

DIN EN 1997-2

ICS 91.010.30; 93.020

Ersatzvermerk
siehe unten**Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik –
Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds;
Deutsche Fassung EN 1997-2:2007 + AC:2010**

Eurocode 7: Geotechnical design –
Part 2: Ground investigation and testing;
German version EN 1997-2:2007 + AC:2010

Eurocode 7: Calcul géotechnique –
Partie 2: Reconnaissance des terrains et essais;
Version allemande EN 1997-2:2007 + AC:2010

Ersatzvermerk

Ersatz für DIN EN 1997-2:2007-10, die 2007-10 zurückgezogene Vornorm DIN V ENV 1997-2:1999-09 und die 2007-10 zurückgezogene Vornorm DIN V ENV 1997-3:1999-10;
teilweiser Ersatz für DIN 4020:2003-09

Gesamtumfang 198 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250/SC 7 „Eurocode 7 — Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik“ erarbeitet, dessen Sekretariat von NEN (Niederlande) gehalten wird.

Auf nationaler Ebene ist im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. der NABau-Arbeitsausschuss NA 005-05-06 AA „Untersuchungen von Boden und Fels“ zuständig.

Die Norm ist Bestandteil einer Reihe von Einwirkungs- und Bemessungsnormen, deren Anwendung nur im Paket sinnvoll ist. Dieser Tatsache wird durch das Leitpapier L der Kommission der Europäischen Gemeinschaft für die Anwendung der Eurocodes Rechnung getragen, indem Übergangsfristen für die verbindliche Umsetzung der Eurocodes in den Mitgliedstaaten vorgesehen sind. Die Übergangsfristen sind im Vorwort dieser Norm angegeben. Ein nationaler Anhang wird im Laufe der Übergangsfristen erstellt.

Der Anwendungsbereich der DIN EN 1997-2 deckt sich weitgehend mit dem der DIN 4020. Daher wird parallel mit der Erarbeitung des nationalen Anhangs auch die DIN 4020 überarbeitet.

Dieses Dokument enthält die Europäische Berichtigung EN 1997-2:2007/AC:2010.

Der Beginn und das Ende von neuem oder geändertem Text werden durch die Markierungen   angezeigt.

Änderungen

Gegenüber DIN V ENV 1997-2:1999-09, DIN V ENV 1997-3:1999-10 und DIN 4020:2003-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Zusammenführung und Straffung von DIN V ENV 1997-2:1999-09 und DIN V ENV 1997-3:1999-10;
- b) Aufnahme von Inhalten der DIN 4020:2003-09, insbesondere Anhang B;
- c) neuer Anhang A;
- d) neuer Abschnitt 6 „Untersuchungsbericht“;
- e) redaktionelle Überarbeitung.

Gegenüber DIN EN 1997-2:2007-10 wurden aufgrund der europäischen Berichtigung EN 1997-2:2007/AC:2010 folgende Korrekturen vorgenommen:

- f) im gesamten Dokument sind Textteile, Bilder und Tabellen korrigiert worden;
- g) in 1.8 wurden die englischen Bezeichnungen der Abkürzungen aufgenommen;
- h) in 2.4.1.3 und in 4.3.4.1 wurden Übersetzungskorrekturen vorgenommen.

Frühere Ausgaben

DIN 4020: 1953-07, 1990-10, 2003-09
DIN V ENV 1997-2: 1999-09
DIN V ENV 1997-3: 1999-10
DIN EN 1997-2: 2007-10

Deutsche Fassung

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

Eurocode 7:
Geotechnical design —
Part 2: Ground investigation and testing

Eurocode 7:
Calcul géotechnique —
Partie 2: Reconnaissance des terrains et essais

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 12. Juni 2006 angenommen.

Die Berichtigung tritt am 2. Juni 2010 zur Einarbeitung in die drei offiziellen Sprachfassungen der EN in Kraft.

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

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

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



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

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	8
Hintergrund des europäischen Normungsprogramms.....	8
Nationale Normen zur Einführung von Eurocodes	10
Verbindung zwischen Eurocodes und einheitlichen technischen Spezifizierungen (ENs und ETAs) für Bauprodukte	10
Zusatzinformation speziell zum Eurocode 7	10
Nationaler Anhang zur EN 1997-2	11
1 Allgemeines	12
1.1 Anwendungsbereich	12
1.2 Normative Verweisungen	13
1.3 Voraussetzungen	14
1.4 Unterscheidung von Grundsätzen und Anwendungsregeln	14
1.5 Begriffe	15
1.6 Versuchsergebnisse und abgeleitete Werte	17
1.7 Verbindung von EN 1997-1 und EN 1997-2.....	18
1.8 Symbole und Einheiten	18
2 Planung von Baugrunduntersuchungen	22
2.1 Zweck	22
2.2 Abfolge der Baugrunduntersuchungen	25
2.3 Voruntersuchungen	26
2.4 Hauptuntersuchungen	26
2.5 Kontrolluntersuchungen und Überwachung.....	36
3 Probeentnahme in Boden und Fels und Grundwassermessungen	36
3.1 Allgemeines	36
3.2 Probeentnahme mittels Bohrungen	36
3.3 Probeentnahme aus Schürfen, Stollen oder Schächten	36
3.4 Probeentnahme in Böden.....	37
3.5 Probeentnahme in Fels.....	39
3.6 Grundwassermessungen in Böden und Fels	41
4 Felduntersuchungen in Boden und Fels	43
4.1 Allgemeines	43
4.2 Allgemeine Anforderungen	43
4.3 Drucksondierungen mit und ohne Messeinrichtungen für den Porenwasserdruck (CPT,  CPTM,  CPTU).....	45
4.4 Pressiometerversuche (PMT).....	48
4.5 Versuch mit dem flexiblen Dilatometer (FDT)	51
4.6 Standard Penetration Test (SPT)	52
4.7 Rammsondierungen (DP)	54
4.8 Gewichtssondierung (WST)	56
4.9 Flügelscherversuch (FVT)	58
4.10 Flachdilatometerversuch (DMT)	59
4.11 Belastungsversuch für Flachgründungen (PLT)	60
5 Laborversuche für Boden und Fels	62
5.1 Allgemeines	62
5.2 Allgemeine Anforderungen für Laborversuche	62
5.3 Vorbereitung von Bodenproben für Versuche	63
5.4 Herstellung von Probekörpern aus Fels für Versuche.....	64
5.5 Versuche zur Klassifikation, Benennung und Beschreibung von Boden.....	65
5.6 Chemische Untersuchungen an Böden und Grundwasser	70

	Seite
5.7	Indexversuche zur Bestimmung zur Festigkeit von Böden..... 74
5.8	Versuche zur Bestimmung der Festigkeit von Böden..... 75
5.9	Versuche zur Bestimmung der Zusammendrückbarkeit und der Verformungen von Böden..... 80
5.10	Bestimmung der Verdichtung an Böden 83
5.11	Bestimmung der Durchlässigkeit an Böden 84
5.12	Versuche zur Klassifikation von Fels..... 86
5.13	Quellversuche ^{N1)} an Gestein 89
5.14	Bestimmung der Festigkeit von Gestein 92
6	Geotechnischer Untersuchungsbericht..... 97
6.1	Allgemeine Anforderungen 97
6.2	Darstellung der geotechnischen Information 97
6.3	Bewertung der geotechnischen Informationen 98
6.4	Festlegen abgeleiteter Werte 99
Anhang A (informativ) Liste von Versuchsergebnissen von geotechnischen Standardversuchen 100	
Anhang B (informativ) Planung von geotechnischen Untersuchungen 103	
B.1	Phasen der Baugrunduntersuchungen für die geotechnische Bemessung, den geotechnischen Entwurf, die Bauausführung und die Bauwerksnutzung..... 103
B.2	Auswahl von Verfahren für Baugrunduntersuchung zu unterschiedlichen Etappen 104
B.3	Beispiele für Empfehlungen von Untersuchungsabständen und -tiefen..... 106
Anhang C (informativ) Beispiel für die Ableitung von Grundwasserdrücken auf der Grundlage eines Grundwassermodells und von Langzeitmessungen..... 112	
Anhang D (informativ) Drucksondierungen ohne und mit Porenwasserdruckmessungen 114	
D.1	Beispiel für die Ableitung von Werten für den Reibungswinkel und den dränierten Elastizitätsmodul 114
D.2	Beispiel für eine Korrelation zwischen Spitzenwiderstand und Reibungswinkel 115
D.3	Beispiel für eine Methode zur Berechnung der Setzung von Flachgründungen..... 115
D.4	Beispiel für eine Korrelation zwischen Steifemodul und Spitzenwiderstand 116
D.5	Beispiele für die Ermittlung des spannungsabhängigen Steifemoduls aus CPT-Ergebnissen 117
D.6	Beispiel für eine Korrelation zwischen dem Widerstand eines Einzelpfahls bei Druckbelastung und dem Spitzenwiderstand aus der Drucksondierung 118
D.7	Beispiel für eine Methode zur Ermittlung des axialen Widerstands eines Einzelpfahls 120
Anhang E (informativ) Pressiometerversuche (PMT)..... 125	
E.1	Beispiel für ein Verfahren zur Berechnung des Grundbruchwiderstandes von Flachgründungen 125
E.2	Beispiel für ein Verfahren zur Berechnung der Setzungen von Flachgründungen..... 126
E.3	Beispiel für ein Verfahren zur Berechnung des Widerstands eines Einzelpfahls bei Druckbelastung 127
Anhang F (informativ) Standard Penetration Test (SPT) 131	
F.1	Beispiele für die Korrelationen von Schlagzahlen und bezogenen Lagerungsdichten 131
F.2	Beispiele für die Ableitung des wirksamen Reibungswinkels 132
F.3	Beispiel für ein Verfahren zur Berechnung der Setzung von Flachgründungen..... 133
Anhang G (informativ) Rammsondierungen (DP)..... 135	
G.1	Beispiele für Korrelationen von Schlagzahlen und bezogener Lagerungsdichte 135
G.2	Beispiel für eine Korrelation zwischen dem wirksamen Reibungswinkel und der bezogenen Lagerungsdichte..... 135
G.3	Beispiel für die Ableitung des spannungsabhängigen Steifemoduls aus DP-Ergebnissen..... 136
G.4	Beispiel für Korrelationen zwischen Spitzenwiderstand von Drucksondierungen und Schlagzahl 137
G.5	Beispiel für eine Beziehung zwischen den Schlagzahlen verschiedener Rammsonden..... 137
Anhang H (informativ) Gewichtssondierung (WST) 139	

Anhang I (informativ) Flügelscherversuch (FVT)	140
I.1 Beispiele für Verfahren zur Bestimmung von Korrekturfaktoren für die Kohäsion des undränierten Bodens.....	140
I.2 Beispiel der Bestimmung des Korrekturfaktors μ auf der Grundlage der Atterberg-Grenzen.....	140
I.3 Beispiel für die Bestimmung des Korrekturfaktors μ in Abhängigkeit von den Konsistenzgrenzen und des Konsolidierungszustands.....	142
I.4 Beispiel für die Bestimmung des Korrekturfaktors μ auf der Grundlage der Atterberg-Grenzen und des Konsolidierungszustands	142
I.5 Beispiel für die Bestimmung des Korrekturfaktors μ auf der Grundlage der Konsistenzgrenzen und des Konsolidierungszustands.....	143
Anhang J (informativ) Versuch mit dem flachen Dilatometer (DMT)	145
Anhang K (informativ) Belastungsversuch für Flachgründungen (PLT)	146
K.1 Beispiel für die Ableitung des Wertes für die Kohäsion des undränierten Bodens	146
K.2 Beispiel für die Ableitung von Werten für den Verformungsmodul	146
K.3 Beispiel für die Ableitung des Bettungsmoduls	147
K.4 Beispiel für ein Verfahren zur Berechnung der Setzung von Flachgründungen in Sand	148
Anhang L (informativ) Detaillierte Informationen zur Herstellung von Probekörpern aus Böden für Versuche	150
L.1 Einleitung	150
L.2 Vorbereitung von gestörtem Boden für Versuche.....	150
L.3 Herstellung von ungestörten Probekörpern	153
L.4 Herstellung von wiederverdichteten Probekörpern	153
L.5 Herstellung von aufbereiteten und konsolidierten Probekörpern	156
Anhang M (informativ) Detaillierte Informationen über Versuche zur Klassifikation, Benennung und Beschreibung von Böden	157
M.1 Checklisten für Klassifikationsversuche	157
M.2 Bestimmung des Wassergehalts.....	159
M.3 Bestimmung der Dichte.....	159
M.4 Bestimmung der Korndichte.....	160
M.5 Bestimmung der Korngrößenverteilung.....	160
M.6 Bestimmung der Lagerungsdichte von nichtbindigen Böden	161
M.7 Bestimmung der Zerfallsempfindlichkeit	161
M.8 Bestimmung der Frostempfindlichkeit	162
Anhang N (informativ) Detaillierte Informationen zu chemischen Versuchen an Böden	164
N.1 Allgemeines	164
N.2 Bestimmung des Anteils an organischen Bestandteilen.....	164
N.3 Bestimmung des Kalkgehalts.....	165
N.4 Bestimmung des Sulfatgehalts.....	166
N.5 Bestimmung des pH-Werts (Gehalt an Säuren oder Basen)	166
N.6 Bestimmung des Chloridgehalts	167
Anhang O (informativ) Detaillierte Informationen zu Indexversuchen zur Bestimmung der Festigkeit von Böden	168
Anhang P (informativ) Detaillierte Informationen zur Bestimmung der Scherfestigkeit von Böden	169
P.1 Dreiaxiale Kompressionsversuche	169
P.2 Konsolidierte direkte Scherversuche	170
Anhang Q (informativ) Detaillierte Informationen zur Bestimmung der Zusammendrückbarkeit von Böden	171
Q.1 Anzahl der Versuche.....	171
Q.2 Auswertung der Versuchsergebnisse	171
Anhang R (informativ) Detaillierte Informationen über Verdichtungsversuche an Böden	172
R.1 Versuchsverfahren, die bei beiden Versuchstypen anwendbar sind	172

	Seite
R.2 Anforderungen an Verdichtungsversuche.....	172
R.3 Anforderungen an den CBR-Versuch	172
Anhang S (informativ) Detaillierte Informationen zu Versuchen zur Bestimmung der Durchlässigkeit.....	174
S.1 Versuchsverfahren	174
S.2 Anzahl der Versuche	174
S.3 Auswertung der Versuchsergebnisse	175
Anhang T (informativ) Herstellung von Probekörpern für Versuche von Gestein.....	176
Anhang U (informativ) Klassifikationsversuche an Gestein.....	177
U.1 Allgemeines.....	177
U.2 Benennung und Beschreibung von Fels.....	177
U.3 Bestimmung des Wassergehalts	177
U.4 Bestimmung der Dichte und Porosität	178
Anhang V (informativ) Quellversuche an Gestein	179
V.1 Allgemeines.....	179
V.2 Bestimmung des Quelldruckindex bei konstantem Volumen.....	179
V.3 Bestimmung des Quelldehnungsindex bei radial behinderter Dehnung des Probekörpers und axialer Belastung	180
V.4 Bestimmung der Quelldehnung bei unbehinderter Verformung des Probekörpers	180
Anhang W (informativ) Versuche zur Bestimmung der Festigkeit von Gestein.....	181
W.1 Einaxiale Druckfestigkeit und Verformbarkeit.....	181
W.2 Punktlastversuch	182
W.3 Direkter Scherversuch	183
W.4 Brazil-Test.....	184
W.5 Dreiaxialer Kompressionsversuch.....	184
Anhang X (informativ) Literaturhinweise.....	185
X.1 Abkürzungen und Bezeichnungen.....	185
X.2 Dokumente zur Entnahme von Boden und Fels und zu Grundwassermessungen.....	185
X.3 Felduntersuchungen ^(AC) 8) (AC).....	186
X.4 Dokumente zu Laborversuchen	188
X.5 Bücher, Aufsätze und andere Veröffentlichungen über Laborversuche	196

Bilder

Bild 1.1 — Allgemeines Flussdiagramm für die Auswahl von abgeleiteten Werten geotechnischer Eigenschaften.....	17
Bild 1.2 — Allgemeiner Aufbau von CEN-Normen, die mit EN 1997 verknüpft sind	18
Bild B.1 — Hochbauten, Ingenieurbauten.....	107
Bild B.2 — Dämme und Einschnitte	107
Bild B.3 — Linienbauwerke	108
Bild B.4 — Tunnel und Kavernen.....	109
Bild B.5 — Baugruben.....	110
Bild B.6 — Dichtungswand.....	110
Bild B.7 — Pfahlgruppen	111
Bild C.1 — Gemessene und vorausgesagte Grundwasserstände	113
Bild D.1 — Werte für Diagramme von Einflussfaktoren für die Spannungsverteilung mit der Tiefe.....	116
Bild D.2 — Erklärung von $q_{C;I}$, $q_{C;II}$ und $q_{C;III}$.....	123
Bild D.3 — Faktor β für die Form der Pfahlspitze.....	124
Bild E.1 — Pfahlmantelreibung für axial belastete Pfähle.....	130

Bild G.1 — Beispiel für den Zusammenhang zwischen den Schlagzahlen N_{10H} und dem Spitzenwiderstand (q_C) der Drucksonde für enggestufte Sande und Sand-Kies-Gemische137

Bild I.1 — Beispiel von Korrekturfaktoren für c_{fV} auf der Grundlage der Fließgrenze für erstbelastete Tone141

Bild I.2 — Beispiele für Korrekturfaktoren für c_{fV} auf der Grundlage der Plastizitätszahl I_p und der wirksamen Vertikalspannung σ'_{v0} für vorbelastete Tone141

Bild I.3 — Diagramm zur Unterscheidung von erstbelasteten und vorbelasteten Tonen.....142

Bild I.4 — Korrekturfaktoren für erstbelastete und vorbelastete Tone143

Bild K.1 — Tiefenfaktor (C_z) als Funktion des Plattendurchmessers b und der Tiefe z für PLT-Versuche mit einer kreisförmigen Platte auf der Sohle eines unverrohrten Schachtes147

Bild K.2 — Beeinflusster Bereich unter einer Versuchsplatte und einem Fundament148

Bild K.3 — Diagramm für die Setzungsberechnung auf der Grundlage von Belastungsversuchen für Flachgründungen149

Tabellen

Tabelle 2.1 — Vereinfachte Übersicht über die Anwendbarkeit von Verfahren für Felduntersuchungen^a aus den Abschnitten 3 und 4.....28

Tabelle 2.2 — Versuche zur Klassifizierung von Böden.....33

Tabelle 2.3 — Laborversuche für die Bestimmung geotechnischer Kenngrößen35

Tabelle 3.1 — Güteklassen von Bodenproben für Laborversuche und erforderliche Kategorien der Probeentnahme.....38

Tabelle 4.1 — Liste zusätzlicher Darstellungen.....49

Tabelle A.1 — Liste von Versuchsergebnissen von geotechnischen Standardversuchen100

Tabelle B.1 — Beispiel für die Auswahl von Baugrunduntersuchungsverfahren zu unterschiedlichen Etappen.....104

Tabelle D.1 — Ein Beispiel für die Ableitung von Werten für den wirksamen Reibungswinkel φ' und den dränierten Elastizitätsmodul (E') für Quarz- und Feldspatsande aus dem Spitzenwiderstand (q_C).....114

Tabelle D.2 — Beispiele für α -Werte117

Tabelle D.3 — Pfahlspitzenwiderstand (p_b) von in situ hergestellten Pfählen (Ortbetonpfählen) in grobkörnigem Boden mit geringen oder keinen Feinanteilen119

Tabelle D.4 — Pfahlmantelreibung (p_s) von in situ hergestellten Pfählen (Ortbetonpfählen) in grobkörnigem Boden mit geringen oder keinen Feinanteilen119

Tabelle D.5 — Höchstwerte für α_p und α_s für Sande und kiesige Sande122

Tabelle D.6 — α_s -Höchstwerte für Ton, Schluff und Torf.....123

Tabelle E.1 — Beziehungen für die Ableitung des Faktors (k) des Grundbruchwiderstandes von Flachgründungen126

Tabelle E.2 — Formfaktoren λ_d und λ_c für die Setzung von Flachgründungen127

	Seite
Tabelle E.3 — Abgeleitete Werte für den Faktor α für Flachgründungen.....	127
Tabelle E.4 — Pfahlwiderstandsfaktor k bei axialer Druckbelastung von Pfählen.....	128
Tabelle E.5 — Wahl der Bemessungskurven für die Pfahlmantelreibung.....	129
Tabelle F.1 — Korrelation zwischen der normalisierten Schlagzahl $(N_1)_{60}$ und der Lagerungsdichte I_D	131
Tabelle F.2 — Wirkung von Alterung in erstbelasteten Feinsanden.....	132
Tabelle F.3 — Korrelationen zwischen der bezogenen Lagerungsdichte und dem wirksamen Reibungswinkel φ' in Grad von Quarzsanden	132
Tabelle G.1— Wirksamer Reibungswinkel (φ') von grobkörnigem Boden als Funktion der bezogenen Lagerungsdichte (I_D) und der Ungleichförmigkeitszahl (C_U)	135
Tabelle H.1 — Werte des Reibungswinkels (φ') und des dränierten Elastizitätsmoduls (E') für natürlich abgelagerte Quarz- und Feldspatsande, geschätzt mit Hilfe des Widerstands der Gewichtssondierung in Schweden.....	139
Tabelle L.1 — Erforderliche Masse für Versuche an gestörten Bodenproben	152
Tabelle L.2 — Mindestmasse für Siebungen	153
Tabelle L.3 — Größtkorn für Verdichtungsversuche	154
Tabelle L.4 — Erforderliche Masse für Versuche an ungestörten Proben	154
Tabelle L.5 — Zulässige Korngröße in Abhängigkeit von der Größe des Probekörpers	155
Tabelle M.1 — Klassifikationsversuche, empfohlene Mindestzahl von zu untersuchenden Proben für eine Schicht	157
Tabelle M.2 — Checkliste für Klassifikationsversuche an Böden.....	158
Tabelle M.3 — Versuche zur Bestimmung der Dichte, Mindestzahl von Probekörpern, die für eine Schicht zu untersuchen sind	159
Tabelle O.1 — Checkliste für Indexversuche zur Bestimmung der Festigkeit von tonigen Böden.....	168
Tabelle P.1 — Dreiaxiale Kompressionsversuche: empfohlene Mindestanzahl von Versuchen, die in einer Bodenschicht zu untersuchen sind	169
Tabelle P.2 — Direkte Scherversuche, empfohlene Mindestanzahl von Versuchen, die in einer Bodenschicht zu untersuchen sind	170
Tabelle Q.1 — Oedometerversuch mit stufenweiser Belastung, Mindestanzahl von zu untersuchenden Probekörpern aus einer Bodenschicht.....	171
Tabelle S.1 — Durchlässigkeitsversuche, empfohlene Mindestanzahl von zu untersuchenden Proben für eine Bodenschicht	174
Tabelle V.1 — Schwellversuche an Gestein, Mindestanzahl an Probekörpern, die in einer Gesteinsformation zu untersuchen sind	179
Tabelle W.1 — Einaxiale Druckversuche. Empfohlene Mindestanzahl von Probekörpern für eine Formation, Brazil-Tests und Triaxialversuche	182

Vorwort

Dieses Dokument (EN 1997-2:2007 + AC:2010) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juni 2007, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2010 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt ENV 1997-2:1999 und ENV 1997-3:1999.

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

Hintergrund des europäischen Normungsprogramms

1975 beschloss die Kommission der Europäischen Gemeinschaft ein Aktionsprogramm für das Bauwesen nach Artikel 95 des Vertrags. Ziel des Programms war die Beseitigung technischer Handelshindernisse und die Harmonisierung technischer Ausschreibungen.

Im Rahmen dieses Aktionsprogramms ergriff die Kommission die Initiative zur Aufstellung einer Reihe technischer Regeln für die Entwurfsplanung von Bauvorhaben, die in einer ersten Phase als Alternative zu den bestehenden nationalen Regelungen der Mitgliedstaaten dienen und sie letzten Endes ersetzen würden.

Im Laufe von fünfzehn Jahren leitete die Kommission mit Hilfe eines aus Vertretern der Mitgliedstaaten zusammengesetzten Lenkungs Komitees die Entwicklung des europäischen Normungsprogramms, die zu der ersten Generation Europäischer Normen in den achtziger Jahren führte.

1989 beschlossen die Kommission und die Mitgliedstaaten der EU und EFTA auf der Grundlage einer Übereinkunft¹⁾ zwischen der Kommission der Europäischen Gemeinschaft und dem CEN, die Ausarbeitung und Veröffentlichung der Eurocodes dem CEN in Form von Mandaten zu übertragen, um ihnen den künftigen Status Europäischer Normen zu geben (EN). Dies verknüpft de facto die Eurocodes mit den Vorgaben aller Direktiven des Rates und/oder Kommissions-Entscheidungen, die sich mit den Europäischen Normen befassen (z. B. die Bauprodukten-Richtlinie 89/106/EWG — CPD und die Richtlinien des Rates 93/37/EWG, 92/50/EWG und 89/440/EWG über öffentliche Arbeiten und Dienstleistungen und entsprechende EFTA-Richtlinien zum Zweck der Schaffung des gemeinsamen Marktes).

Das Eurocode-Programm des konstruktiven Ingenieurbaus umfasst die folgenden Normen, die meist aus mehreren Teilen bestehen:

1) Übereinkunft zwischen der Kommission der Europäischen Gemeinschaften und dem Europäischen Komitee für Normung (CEN) zur Erarbeitung von Eurocodes zum Entwurf von Gebäuden und Ingenieurbauten (BC/CEN/03/89).

EN 1990, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991, *Eurocode 1: Einwirkung auf Tragwerke*

EN 1992, *Eurocode 2: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahlbetonbauten*

EN 1993, *Eurocode 3: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahlbauten*

EN 1994, *Eurocode 4: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahl-Beton-Verbundbauten*

EN 1995, *Eurocode 5: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauten*

EN 1996, *Eurocode 6: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Mauerwerksbauten*

EN 1997, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik*

EN 1998, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben*

EN 1999, *Eurocode 9: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Aluminiumkonstruktionen*

Die Europäischen Normen berücksichtigen die Verantwortlichkeit der Bauaufsichtsorgane in den Mitgliedsländern und deren Recht zur nationalen Festlegung sicherheitsbezogener Werte, so dass diese Werte von Land zu Land weiterhin unterschiedlich sein können.

Status und Anwendungsbereich von Eurocodes

Die Mitgliedsländer der EU und EFTA betrachten die Eurocodes als Bezugsdokumente für folgende Zwecke:

- zum Nachweis der Übereinstimmung der Hoch- und Ingenieurbauten mit den wesentlichen Anforderungen der Richtlinie 89/106/EWG, dort speziell die wesentliche Anforderung Nr 1: „Mechanischer Widerstand und Stabilität“ und Nr 2: „Brandschutz“;
- als Grundlage für die Vertragsgestaltung für Bauarbeiten und damit verbundene Ingenieurleistungen;
- als Rahmen für die Gestaltung einheitlicher technischer Ausschreibungen von Bauprodukten (ENs und ETAs).

Die Eurocodes haben, soweit sie sich mit der Bauausführung selbst befassen, eine direkte Beziehung zu den erläuternden Dokumenten²⁾ nach Artikel 12 der Richtlinie, obwohl sie sich von einheitlichen Produktnormen unterscheiden³⁾. Daher müssen die sich aus den Eurocodes ergebenden technischen Gesichtspunkte von den Technischen Komitees von CEN und/oder Arbeitsgruppen von EOTA, die mit Produktnormen befasst sind, angemessen berücksichtigt werden, um eine vollständige Verträglichkeit dieser technischen Spezifikationen mit den Eurocodes zu erreichen.

2) Nach Art. 3.3 der Bauproduktenrichtlinie sind den wesentlichen Anforderungen Konkretisierungen in erläuternden Dokumenten zu geben, um die notwendige Verbindung zwischen den wesentlichen Anforderungen und den Mandaten für harmonisierte ENs und ETAGs/ETAs herzustellen.

3) Nach Art. 12 der Richtlinie sollen erläuternde Dokumente:

- a) den wesentlichen Anforderungen eine konkrete Form geben, indem sie die Terminologie und die technischen Grundlagen harmonisieren und, soweit notwendig, Art und Verbindlichkeit jeder Anforderung angeben;
- b) Verfahren angeben, um diese Anforderungs-Merkmale mit den technischen Spezifizierungen, z. B. Berechnungs- und Prüfverfahren, technische Regeln für Projektplanungen, abzustimmen;
- c) als Bezugsdokument bei der Erstellung einheitlicher Normen und Richtlinien für europaweite technische Bewertungen dienen.

De facto spielen die Eurocodes eine ähnliche Rolle in den Bereichen der europäischen Richtlinie ER 1 und teilweise ER 2.

Die Eurocodes enthalten allgemeine konstruktive Entwurfs-Regeln für die tägliche Anwendung bei Entwurf, Bemessung und Berechnung ganzer Tragwerke und Bauprodukte, sowohl traditioneller als auch innovativer Art. Ungewöhnliche Bauverfahren oder Entwurfsbedingungen sind nicht besonders erfasst; der Planer benötigt in solchen Fällen eine zusätzliche Beratung durch Sachverständige.

Nationale Normen zur Einführung von Eurocodes

Nationale Normen, die die Eurocodes einführen, werden den vollständigen Text des Eurocodes (einschließlich irgendwelcher Anhänge) umfassen, wie er von CEN veröffentlicht wird. Vorangestellt werden darf ein nationales Titelblatt und ein nationales Vorwort, ein nationaler Anhang darf folgen.

Der nationale Anhang darf nur Informationen zu denjenigen Kenngrößen enthalten, die im Eurocode der nationalen Festlegung vorbehalten geblieben sind und als „National festgelegte Kenngrößen“ bezeichnet werden. Sie sind bei der Planung von Hoch- und Ingenieurbauwerken anzuwenden, die in dem betreffenden Land errichtet werden, z. B.:

- Werte und/oder Klassen, bei denen der Eurocode Alternativen benennt;
- Werte, die dort anzuwenden sind, wo der Eurocode nur Symbole angibt;
- länderspezifische Daten (geografische, klimatische), z. B. eine Schneehöhenkarte;
- anzuwendende Verfahren, wo der Eurocode Alternativen nennt.

Er darf auch enthalten:

- Entscheidungen zur Anwendung informativer Anhänge;
- benutzerfreundliche Verweise auf nicht konträre ergänzende Informationen zur Anwendung des Eurocodes.

Verbindung zwischen Eurocodes und einheitlichen technischen Spezifizierungen (ENs und ETAs) für Bauprodukte

Es besteht das Gebot der Verträglichkeit zwischen den einheitlichen Spezifizierungen für Bauprodukte und den technischen Regeln des Bauens⁴⁾. Ferner sollten alle begleitenden Informationen zu den CE-Kennzeichen der Bauprodukte, die auf Eurocodes Bezug nehmen, deutlich angeben, welche national festgelegten Kenngrößen eingesetzt wurden.

Zusatzinformation speziell zum Eurocode 7

EN 1997-2 enthält Richtlinien für die Planung und Interpretation von geotechnischen Labor- und Feldversuchen, die als Grundlage für die geotechnische Bemessung von baulichen Anlagen dienen.

EN 1997-2 richtet sich an Auftraggeber, Entwurfsverfasser, geotechnische Labor- und Feldversuchseinrichtungen und öffentliche Verwaltungen.

EN 1997-2 soll in Verbindung mit EN 1997-1 angewendet werden.

Bei der Anwendung von EN 1997-2 sollte den in 1.3 zu Grunde gelegten Annahmen und Bedingungen besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Die sechs Abschnitte der EN 1997-2 werden durch 24 informative Anhänge ergänzt.

4) Siehe Art. 3.3 und Art. 12 der Bauproduktenrichtlinie und ebenso 4.2, 4.3.1, 4.3.2 und 5.2 des ID 1.

Nationaler Anhang zur EN 1997-2

Die nationale Norm EN 1997-2 sollte einen nationalen Anhang mit allen Informationen enthalten, die die Anwendung von EN 1997-2 in dem betreffenden Land berühren.

1 Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich

1.1.1 Anwendungsbereich des Eurocode 7

- (1) Die Anwendung der EN 1997 ist in Verbindung mit EN 1990:2002 vorgesehen, in der die Grundsätze und Anforderungen für Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit festgelegt sind, die Grundlagen der Planung und der Nachweise beschrieben und Richtlinien für die damit verbundenen Gesichtspunkte der Zuverlässigkeit von Tragwerken angegeben werden.
- (2) Es ist vorgesehen, EN 1997 für die geotechnischen Fragen bei der Planung von Hoch- und Ingenieurbauwerken anzuwenden. Sie ist in mehrere Teile gegliedert (siehe 1.1.2).
- (3) EN 1997 behandelt Anforderungen an die Festigkeit, Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit der Bauwerke. Andere Anforderungen, z. B. an den Wärme- und Schallschutz, werden nicht behandelt.
- (4) Die bei der Planung von Hoch- und Ingenieurbauwerken anzusetzenden Zahlenwerte für die Einwirkungen gibt die EN 1991 an. Aus dem Baugrund herrührende Einwirkungen wie Erddrücke müssen nach den in EN 1997 genannten Regeln ermittelt werden.
- (5) Für Fragen der Qualitätssicherung und Ausführung sind eigene Europäische Normen vorgesehen. Auf sie wird in den entsprechenden Abschnitten verwiesen.
- (6) In EN 1997 wird die Ausführung nur so weit behandelt, wie das für die Erfüllung der Voraussetzungen der Bemessungsregeln erforderlich ist.
- (7) EN 1997 deckt nicht die besonderen Anforderungen an einen erdbebensicheren Entwurf ab. EN 1998 gibt ergänzende Regeln für eine geotechnische seismische Bemessung an, die die Regeln dieser Norm vervollständigen oder anpassen.

1.1.2 Anwendungsbereich von EN 1997-2

- (1) EN 1997-2 ist dafür bestimmt, in Verbindung mit EN 1997-1 benutzt zu werden, und liefert Regeln in Ergänzung zu EN 1997-1 hinsichtlich:
 - der Planung der Baugrunderkundungen und der Berichterstattung über die Baugrunderkundung;
 - allgemeiner Anforderungen an einige allgemein gebräuchliche Laborversuche und Felduntersuchungen;
 - der Interpretation und Bewertung von Versuchsergebnissen;
 - der Ableitung von geotechnischen Kenngrößen und Koeffizienten.

Ferner werden Beispiele für die Anwendung der Ergebnisse von Felduntersuchungen für die Berechnung angegeben.

ANMERKUNG Das Festlegen charakteristischer Werte wird in EN 1997-1 abgehandelt.

- (2) Diese Norm liefert keine besonderen Regeln für umweltbezogene Baugrunduntersuchungen.
- (3) Nur allgemein gebräuchliche geotechnische Labor- und Feldversuche werden in dieser Norm behandelt. Diese wurden auf der Grundlage ihrer Bedeutung für die geotechnische Anwendung, ihrer Verfügbarkeit in kommerziellen geotechnischen Laboren und dem Vorliegen eines anerkannten Versuchsverfahrens in Europa ausgewählt. Die Laborversuche für Böden sind hauptsächlich an gesättigten Böden anwendbar.

ANMERKUNG Es ist zu erwarten, dass Überarbeitungen der vorliegenden Norm schrittweise Labor- und Feldversuche enthalten werden, die zusätzliche Gesichtspunkte zum Verhalten von Boden und Fels abdecken.

(4) Die Regeln dieser Norm gelten in erster Linie für Projekte der Geotechnischen Kategorie 2, wie sie in EN 1997-1:2004, 2.1 definiert ist. Die Anforderungen an die Baugrunduntersuchungen für die Kategorie 1 sind normalerweise beschränkt, da sich die Bestätigung der Anforderungen häufig auf die örtliche Erfahrung stützt. Für Projekte der Geotechnischen Kategorie 3 wird der erforderliche Umfang der Untersuchungen normalerweise mindestens der gleiche sein wie für Projekte der geotechnischen Kategorie 2 in den folgenden Abschnitten. Zusätzliche Untersuchungen und höherwertige Versuche können — abhängig von den Anforderungen, die das Projekt in die Geotechnische Kategorie 3 stellen — erforderlich werden.

(5) Die Ableitung von geotechnischen Kennwerten ist vor allem für die Bemessung von Pfählen und Flachgründungen auf der Grundlage von Feldversuchen gedacht, die in EN 1997-1:2004, Anhänge D, E, F und G ausgearbeitet sind.

1.2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 1990:2002, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1997-1:2004, *Eurocode 7 — Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 1: Allgemeine Regeln*

EN ISO 14688-1, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden — Teil 1: Benennung und Beschreibung*

EN ISO 14688-2, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden — Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen*

EN ISO 14689-1, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels — Teil 1: Benennung und Beschreibung*

EN ISO 22475-1⁵⁾, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Aufschluss- und Probeentnahmeverfahren und Grundwassermessungen — Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung*

EN ISO 22476-1⁵⁾, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Felduntersuchungen — Teil 1: Drucksondierungen mit elektrischen Messwertaufnehmern und Messeinrichtungen für den Porenwasserdruck*

EN ISO 22476-2, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Felduntersuchungen — Teil 2: Rammsondierungen*

EN ISO 22476-3, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Felduntersuchungen — Teil 3: Standard Penetration Test*

EN ISO 22476-4⁵⁾, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Felduntersuchungen — Teil 4: Pressiometerversuch nach Ménard*

EN ISO 22476-5⁵⁾, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Felduntersuchungen — Teil 5: Versuch mit dem flexiblen Dilatometer*

5) In Vorbereitung.

EN ISO 22476-6⁶⁾, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Felduntersuchungen — Teil 6: Versuch mit dem selbstbohrenden Pressiometer*

EN ISO 22476-7⁶⁾, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Feldversuche — Teil 7: Seitendruckversuch*

EN ISO 22476-8⁶⁾, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Felduntersuchungen — Teil 8: Versuch mit dem Verdrängungspressiometer*

EN ISO 22476-9⁶⁾, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Felduntersuchungen — Teil 9: Flügel-scherversuch*

EN ISO 22476-12, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Felduntersuchungen — Teil 12: Druck-sondierungen mit mechanischen Messwertaufnehmern*

EN ISO 22476-13⁶⁾, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Felduntersuchungen — Teil 13: Belas-tungsversuch für Flachgründungen*

ANMERKUNG Die Literaturhinweise enthalten eine Anzahl von CEN-ISO-Technischen Spezifikationen (CEN ISO/TS), die Hinweise auf die Versuchsdurchführung, die Geräte, die Bewertung und Darstellung einiger Feld- und Laborversuche liefern. Diese technischen Spezifikationen können zu gegebener Zeit zu Europäischen/ISO-Normen erhoben werden. Das nationale Normungsinstitut kann darüber entscheiden, seine nationale Norm während der Laufzeit einer CEN ISO/TS in Kraft zu lassen. Nationale Anhänge zu EN 1997-2 dürfen entsprechende Hinweise auf nationale Praktiken geben.

1.3 Voraussetzungen

- (1) Es wird auf EN 1990:2002, 1.3 und EN 1997-1:2004, 1.3 hingewiesen.
- (2) Die Vorschriften dieser Norm beruhen auf nachstehenden Voraussetzungen:
 - die für die Planung erforderlichen Unterlagen werden von angemessen qualifiziertem Personal gesammelt, dokumentiert und interpretiert;
 - die Bauwerke werden von angemessen qualifiziertem und erfahrenem Personal geplant;
 - bei den Beteiligten, die für die Erstellung der Entwurfsgrundlagen, für die Planung und für die Ausführung zuständig sind, sind Kontinuität und eine sachgerechte Kommunikation gegeben.

1.4 Unterscheidung von Grundsätzen und Anwendungsregeln

- (1) Je nach dem Charakter der einzelnen Regel wird in EN 1997-2 zwischen Grundsätzen und Anwendungsregeln unterschieden.
- (2) Die Grundsätze umfassen:
 - allgemeine Feststellungen und Begriffsbestimmungen, zu denen es keine Alternative gibt;
 - Anforderungen und Berechnungsmodelle, bei denen ohne ausdrückliche Zulassung keine Abweichung zulässig ist.
- (3) Den Grundsätzen wird der Buchstabe P vorangestellt.
- (4) Die Anwendungsregeln sind Beispiele allgemein anerkannter Regeln, die den Grundsätzen und den Anforderungen entsprechen.

⁶⁾ Geotechnische Geräte- und Ausführungsnormen, die diese Ergebnisse liefern, werden in CEN/TC 341 vorbereitet.

(5) Alternativen zu den in EN 1997-2 angegebenen Anwendungsregeln sind zulässig, wenn sie den entsprechenden Grundsätzen entsprechen und hinsichtlich Sicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit mindestens dem entsprechen, was man bei Anwendung der Eurocodes erwarten würde.

ANMERKUNG Wenn anstelle einer Bemessung nach den Anwendungsregeln eine alternative Bemessung vorgelegt wird, so entspricht sie nicht vollständig EN 1997-2, auch wenn das Vorgehen im Rahmen der Prinzipien der EN 1997-1 bleibt. Wenn EN 1997-2 in Bezug auf eine Eigenschaft angewendet wird, die im Anhang Z einer Produkt-Richtlinie oder einer ETAG aufgeführt ist, kann es sein, dass die Anwendung einer alternativen Bemessungsregel für eine CE-Kennzeichnung inakzeptabel ist.

(6) In der EN 1997-2 werden die Anwendungsregeln durch eine in Klammern gesetzte Nummer bezeichnet, wie z. B. in dieser Regel.

1.5 Begriffe

1.5.1 Einheitliche Begriffe in allen Eurocodes

(1)P Die in allen Eurocodes einheitlich verwendeten Begriffe sind in EN 1990 angegeben.

1.5.2 Einheitliche Begriffe in Eurocode 7

(1)P Die in Eurocode 7 einheitlich verwendeten Begriffe sind in EN 1997-1:2004, 1.5.2 angegeben.

1.5.3 Besondere Begriffe in EN 1997-2

1.5.3.1

abgeleiteter Wert

(en: derived value)

Wert für einen geotechnischen Kennwert, der aus Versuchsergebnissen auf theoretischer Grundlage, durch Korrelation oder auf Grund von Erfahrungen erhalten wird (siehe 1.6)

1.5.3.2

gestörte Probe

(en: disturbed sample)

Probe, deren Bodengefüge, Wassergehalt und/oder Bestandteile während der Probeentnahme verändert wurden

1.5.3.3

Messwert

(en: measured value)

Wert, der bei einem Versuch gemessen wird

1.5.3.4

natürlicher Probekörper

(en: natural specimen)

Probekörper, der aus einer verfügbaren (gestörten, ungestörten, aufgearbeiteten) Probe hergestellt wird

1.5.3.5

Güteklasse

(en: quality class)

Klassifikation, durch die die Güte einer Bodenprobe im Labor bewertet wird

ANMERKUNG Für Laborversuche werden Bodenproben in fünf Güteklassen eingeteilt (siehe 3.4.1).

1.5.3.6

aufgearbeitete (durchwalkte) Probe

(en: remoulded sample)

Probe, deren Boden- oder Felsgefüge völlig zerstört ist

1.5.3.7

aufgearbeiteter (durchwalkter) Probekörper

(en: remoulded specimen)

völlig gestörter Probekörper mit natürlichem Wassergehalt

1.5.3.8

wiederverdichteter Probekörper

(en: re-compacted specimen)

Probekörper, der mit einem Stampfer oder unter vorgegebener statischer Belastung in eine Form gepresst wird

1.5.3.9

aufgearbeiteter Probekörper

(en: reconstituted specimen)

im Labor hergestellter Probekörper; bei feinkörnigen Böden wird er aus Schlamm (an oder über der Fließgrenze) hergestellt und dann konsolidiert (sedimentiert), bei grobkörnigen Böden wird er trocken (getrocknet) oder im Wasser entweder geschüttet oder eingeregnet und verdichtet oder konsolidiert

1.5.3.10

aufbereiteter und rekonsolidierter Probekörper

(en: re-consolidated specimen)

Probekörper, der in einer Form oder einer Zelle unter statischer Belastung rekonsolidiert wird, während er Wasser abgeben kann

1.5.3.11

Probe

(en: sample)

Teil vom Boden oder Gestein, der aus dem Baugrund mit Entnahmetechniken gewonnen wurde

1.5.3.12

Probekörper

(en: specimen)

Teil einer Boden- oder Gesteinsprobe, an dem ein Laborversuch durchgeführt wird

1.5.3.13

Indexversuch zur Bestimmung der Festigkeit

(en: strength index test)

einfacher Versuch, der einen ersten Anhalt über die Scherfestigkeit liefert, der nicht zwingend einen repräsentativen Wert darstellt

ANMERKUNG Das Ergebnis eines solchen Versuches ist mit Unsicherheit behaftet.

1.5.3.14

Schwellen

(en: swelling)

Ausdehnung auf Grund einer Verringerung der wirksamen Spannung, die entweder auf der Verringerung der totalen Spannung oder auf der Absorption von Wasser bei konstanter totaler Spannung beruht

ANMERKUNG Schwellen schließt die Umkehr sowohl der Zusammendrückung als auch der Konsolidation ein.

1.5.3.15

ungestörte Bodenprobe

(en: undisturbed sample)

Bodenprobe, bei der keine nennenswerte Veränderung in den Bodeneigenschaften aufgetreten ist

1.6 Versuchsergebnisse und abgeleitete Werte

(1) Versuchsergebnisse und abgeleitete Werte bilden die Grundlage für die Festlegung der charakteristischen Werte von Baugrundeigenschaften, die für die Bemessung geotechnischer Bauvorhaben in Übereinstimmung mit EN 1997-1:2004, 2.4.3 benutzt werden.

ANMERKUNG 1 Der Ablauf der geotechnischen Bemessung besteht aus einigen wenigen aufeinander folgenden Phasen (Bild 1.1), die erste Phase deckt die Baugrunduntersuchung und die Versuche ab, die folgende Phase besteht in der Festlegung charakteristischer Werte und die letzte Phase besteht in der Bemessung und den rechnerischen Nachweisen. Bestimmungen für die erste Phase werden in der vorliegenden Norm angegeben. Die Festlegung charakteristischer Werte und die Bemessung der Konstruktion werden in EN 1997-1 geregelt.

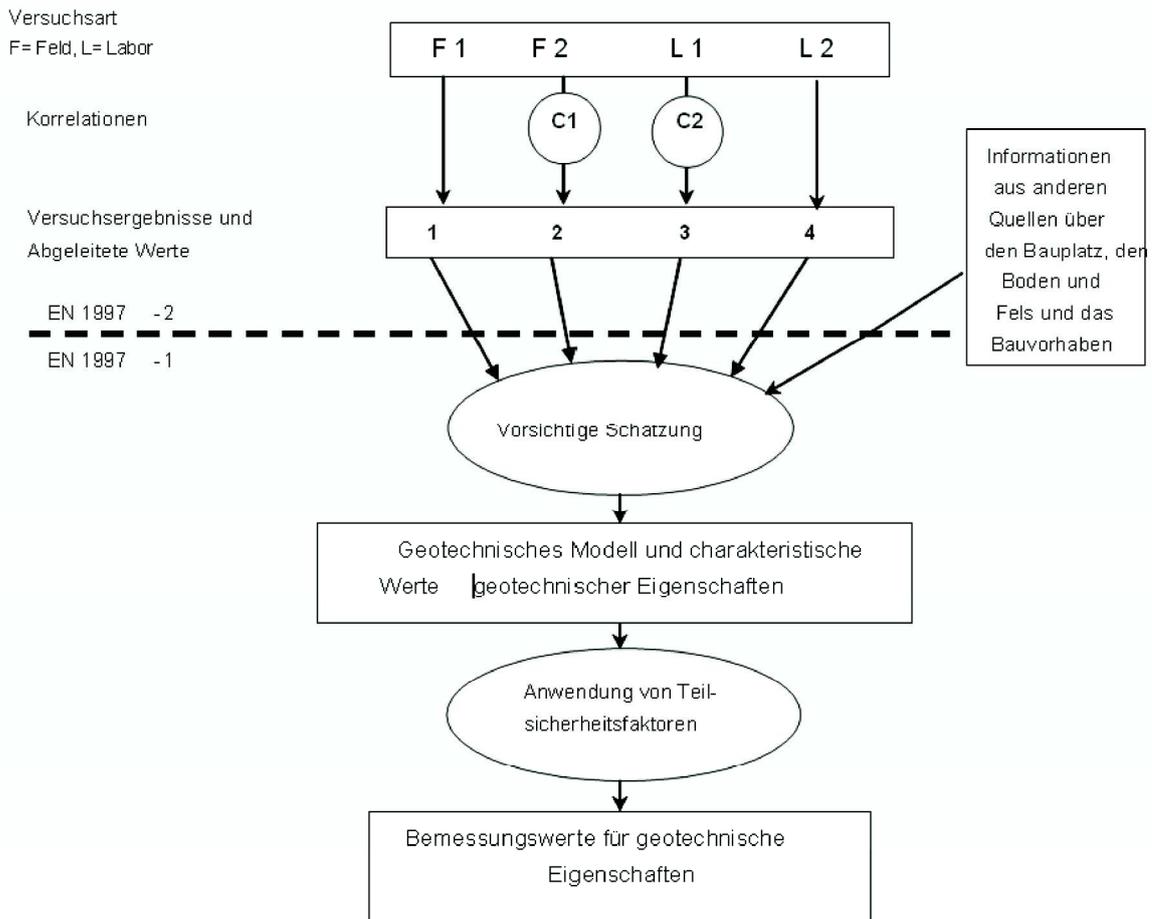


Bild 1.1 — Allgemeines Flussdiagramm für die Auswahl von abgeleiteten Werten geotechnischer Eigenschaften

(2) Versuchsergebnisse können Versuchskurven oder Werte geotechnischer Parameter sein. Im Anhang A wird eine Liste der Versuchsergebnisse angegeben, die als Verweis auf Versuchsnormen ^{AC} 7) ^{AC} dient.

(3) Abgeleitete Werte geotechnischer Parameter und/oder Koeffizienten werden durch Theorie, Korrelation oder Erfahrung aus Versuchswerten erhalten.

^{AC} 7) ^{AC} Geotechnische Geräte- und Ausführungsnormen, die diese Ergebnisse liefern, werden in CEN/TC 341 vorbereitet.

ANMERKUNG 2 Die Korrelations-Beispiele zur Bestimmung abgeleiteter Werte, die in den Anhängen zu Abschnitt 4 dieser Norm angegeben werden, sind der Literatur entnommen. Diese Beziehungen können den Wert eines geotechnischen Parameters oder eines Koeffizienten mit einem Versuchswert verknüpfen, wie z. B. dem Wert für q_c eines CPT. Sie dürfen ebenfalls einen geotechnischen Parameter auf der Grundlage theoretischer Überlegungen mit einem Versuchsergebnis verbinden (z. B. um den Wert für den Reibungswinkel φ' aus den Ergebnissen von Pressiometerversuchen oder der Plastizitätszahl abzuleiten).

ANMERKUNG 3 In gewissen Fällen wird die Ableitung geotechnischer Parameter über Korrelationen nicht vor der Festlegung des charakteristischen Wertes durchgeführt, sondern erst nachdem die Versuchsergebnisse korrigiert oder in konservative Schätzwerte überführt wurden.

1.7 Verbindung von EN 1997-1 und EN 1997-2

(1) Bild 1.2 stellt den allgemeinen Aufbau der CEN-Normen dar, die sich mit Problemen des geotechnischen Ingenieurwesens befassen und unmittelbar mit EN 1997 verknüpft sind. Der Entwurf, die Berechnung und die Bemessung werden in EN 1997-1 behandelt. Die vorliegende Norm gibt Regeln für die Baugrunduntersuchungen an und Regeln zur Bestimmung geotechnischer Parameter oder Werte für Koeffizienten, die benutzt werden, um charakteristische Werte festzulegen (die in EN 1997-1 beschrieben sind). Sie gibt auch informative Beispiele für Berechnungsverfahren von Flach- und Tiefgründungen. Die Anwendung der EN 1997 bedarf der Kenntnis anderer Normen, vor allem der Normen, die sich auf die Baugrunduntersuchungen und die Ausführung geotechnischer Arbeiten beziehen.

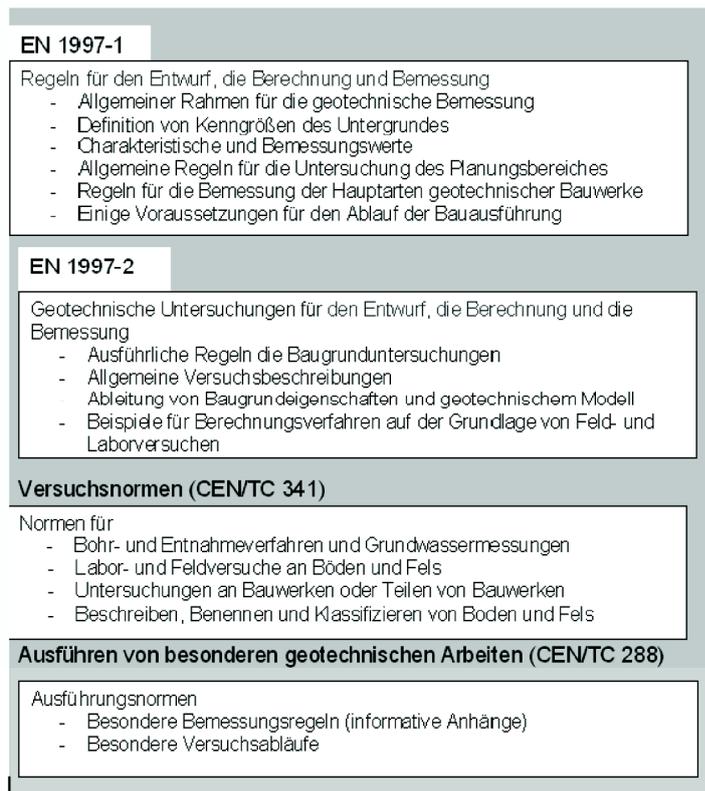


Bild 1.2 — Allgemeiner Aufbau von CEN-Normen, die mit EN 1997 verknüpft sind

1.8 Symbole und Einheiten

(1) Für die Anwendung der EN 1997-2 gelten die folgenden Symbole.

ANMERKUNG Die Schreibweise der Symbole folgt der ISO 3898:1997.

Lateinische Buchstaben

C_c	Kompressionsbeiwert
c'	wirksame Kohäsion
c_{fV}	Kohäsion des undränierten Bodens aus dem Flügelscherversuch
c_u	Kohäsion des undränierten Bodens
C_s	Schwellbeiwert
c_v	Konsolidierungsbeiwert
C_α	Kriechbeiwert
D_n	Korngröße, wobei n % der Gewichtsanteile kleiner sind als die Korngröße z. B. D_{10} , D_{15} , D_{30} , D_{60} und D_{85}
E	Elastizitätsmodul
E'	Elastizitätsmodul des dränierten Bodens
E_{FDT}	Modul des flexiblen Dilatometers
E_M	Modul des Ménard-Pressiometers
E_{meas}	bei der Kalibrierung gemessene Energie
E_{oed}	Steifemodul aus dem Oedometerversuch
E_{PLT}	Steifemodul des Belastungsversuchs für Flachgründungen
E_r	Energieverhältnis ($= E_{meas}/E_{theor}$)
E_{theor}	theoretische Energie
E_u	Elastizitätsmodul des undränierten Bodens
E_0	Anfangswert des Elastizitätsmoduls
E_{50}	Elastizitätsmodul entsprechend 50 % der maximalen Festigkeit
I_A	Aktivitätszahl
I_C	Konsistenzzahl
I_D	bezogene Lagerungsdichte
I_{DMT}	Materialindex aus dem Versuch mit dem flachen Dilatometer
I_L	Liquiditätszahl

I_P	Plastizitätszahl
K_{DMT}	Horizontalspannungsindex aus dem Versuch mit dem flachen Dilatometer
$\boxed{AC} k$	Durchlässigkeitsbeiwert \boxed{AC}
k_s	Bettungsmodul
m_v	Koeffizient der Volumenänderung
N	Schlagzahl je 300 mm Eindringung des SPT
N_k	Konusfaktor für CPT (siehe Gleichung (4.1))
N_{kt}	Konusfaktor für CPTU (siehe Gleichung (4.2))
N_{10L}	Schlagzahl je 10 cm Eindringung von DPL
N_{10M}	Schlagzahl je 10 cm Eindringung von DPM
N_{10H}	Schlagzahl je 10 cm Eindringung von DPH
N_{10SA}	Schlagzahl je 10 cm Eindringung von DPSH-A
N_{10SB}	Schlagzahl je 10 cm Eindringung von DPSH-B
N_{20SA}	Schlagzahl je 20 cm Eindringung von DPSH-A
N_{20SB}	Schlagzahl je 20 cm Eindringung von DPSH-B
N_{60}	Schlagzahl des SPT korrigiert um den Energieverlust
$(N_1)_{60}$	Schlagzahl des SPT korrigiert um den Energieverlust und entsprechend dem wirksamen Überlagerungsdruck normalisiert
p_{LM}	Grenzdruck des Ménard-Pressiometers
q_c	Spitzenwiderstand der Spitzendrucksonde
q_t	Spitzenwiderstand der Spitzendrucksonde, um die Einflüsse des Porenwasserdrucks korrigiert
q_u	einaxiale Druckfestigkeit
w_{opt}	optimaler Wassergehalt

Griechische Buchstaben

α	Korrelationsfaktor für $\boxed{AC} E_{oed}$ \boxed{AC} und q_c (siehe Gleichung (4.3))
φ	Reibungswinkel
φ'	Reibungswinkel des dränierten Bodens (effektiver Reibungswinkel)

μ	Korrekturfaktor zur Ableitung von c_u aus c_{fv} (siehe Gleichung (4.4))
$\rho_{d,max}$	maximale Trockendichte
σ_C	einaxiale Druckfestigkeit von Fels
σ'_p	\square wirksamer Vorbelastungsdruck oder wirksame vertikale Spannung beim Bruch in situ \square
σ_T	Zugfestigkeit von Fels
σ_{v0}	\square totale vertikale Anfangsspannung \square
σ'_{v0}	\square wirksame vertikale Anfangsspannung \square
ν	Poisson-Zahl

Abkürzungen

CPT	\square elektrische \square Drucksondierung \square (en: cone penetration test) \square
\square CPTM	mechanische Drucksonde \square \square (en: mechanical cone penetration test) \square
CPTU	Drucksondierung mit Porenwasserdruckmessung \square (en: cone penetration test with pore water pressure measurement) \square
DMT	Versuch mit dem flachen Dilatometer \square (en: flat dilatometer test) \square
DP	Rammsondierung \square (en: dynamic probing) \square
DPL	Sondierung mit der leichten Rammsonde \square (en: dynamic probing light) \square
DPM	Sondierung mit der mittelschweren Rammsonde \square (en: dynamic probing medium) \square
DPH	Sondierung mit der schweren Rammsonde \square (en: dynamic probing heavy) \square
DPSH-A	Sondierung mit der überschweren Rammsonde Typ A \square (en: dynamic probing superheavy, type A) \square
DPSH-B	Sondierung mit der überschweren Rammsonde Typ B \square (en: dynamic probing superheavy, type B) \square
FDP	Pressiometer mit Vollverdrängung \square (en: full displacement pressuremeter) \square
FDT	Versuch mit dem flexiblen Dilatometer \square (en: flexible dilatometer test) \square
FVT	Flügelscherversuch \square (en: field vane test) \square
MPM	Ménard-Pressiometer \square (en: Ménard pressuremeter) \square
PBP	Pressiometer mit Vorbohrung \square (en: pre-bored pressuremeter) \square
PLT	Belastungsversuch für Flachgründungen \square (en: plate loading test) \square
PMT	Pressiometerversuch \square (en: pressuremeter test) \square

RDT	Dilatometerversuch in Fels AC (en: rock dilatometer test) AC
SBP	selbstbohrendes Pressiometer AC (en: self-boring pressuremeter) AC
SDT	Dilatometerversuch in Böden AC (en: soil dilatometer test) AC
SPT	Standard Penetration Test AC (en: standard penetration test) AC
WST	Gewichtssondierung AC (en: weight sounding test) AC

(2) Für geotechnische Berechnungen werden folgende Einheiten oder ihre Zusammensetzung empfohlen:

— Kraft	kN
— Moment	kNm
— Wichte	kg/m ³
— Rohdichte	kN/m ³
— Spannung, Druck, Festigkeit, Steifigkeit	kPa
— Durchlässigkeitsbeiwert	m/s
— Konsolidierungsbeiwert	m ² /s

2 Planung von Baugrunduntersuchungen

2.1 Zweck

2.1.1 Allgemeines

(1)P Geotechnische Untersuchungen sind so zu planen, dass die wesentlichen geotechnischen Informationen und Kennwerte mit Sicherheit in den verschiedenen Projektphasen zur Verfügung stehen. Die geotechnischen Informationen müssen ausreichen, um bekannten oder voraussichtlichen Gefahren für das Bauvorhaben zu begegnen. Für Bauzustände und den Endzustand sind Informationen und Daten bereitzustellen, um die Risiken von Unfällen, Bauverzögerungen und Schäden abdecken zu können.

(2) Die Ziele der geotechnischen Untersuchungen sind, die Beschaffenheit von Boden und Fels sowie die Grundwasserverhältnisse festzustellen, die Eigenschaften von Boden und Fels zu bestimmen und zusätzliche wichtige Kenntnisse über den Planungsbereich zusammenzutragen.

(3)P Die geotechnischen Informationen sind sorgfältig zu erheben, aufzuzeichnen und zu bewerten. Diese Informationen müssen die Baugrundverhältnisse, die Geologie, die Geomorphologie, die Seismizität und die Hydrologie, sofern sie von Bedeutung sind, einschließen. Hinweise auf die Veränderlichkeit des Baugrundes sind zu berücksichtigen.

(4) Baugrundbedingungen, die die Wahl der geotechnischen Kategorie beeinflussen können, sollten so früh wie möglich während der Erkundung festgestellt werden.

ANMERKUNG Auf Grund des Ergebnisses der geotechnischen Untersuchungen kann es erforderlich werden, die Geotechnische Kategorie des Projektes zu ändern (siehe 1.1.2(4)).

(5) Die geotechnischen Untersuchungen sollten aus den Baugrunduntersuchungen und anderen Untersuchungen des Planungsbereichs bestehen, wie z. B.:

- der Bewertung bestehender Bauwerke, wie Hochbauten, Brücken, Tunnel, Dämme und Böschungen;
- der Entwicklungsgeschichte des Planungsbereiches und seiner Umgebung.

(6) Vor der Planung des Untersuchungsprogramms sollten die verfügbaren Informationen und Unterlagen in einer Vorstudie bewertet werden.

(7) Beispiele für Informationen und Unterlagen, die benutzt werden können, sind:

- topographische Karten;
- alte kommunale Karten, die die frühere Nutzung des Geländes beschreiben;
- geologische Karten und Beschreibungen;
- ingenieurgeologische Karten;
- hydrogeologische Karten und Beschreibungen;
- geotechnische Karten;
- Luftbilder und frühere Bildauswertungen;
- geophysikalische Untersuchungen aus der Luft;
- frühere Untersuchungen im Planungsbereich und in seiner Umgebung;
- frühere Erfahrungen aus der Gegend;
- örtliche Klimabedingungen.

(8) Sofern es angemessen ist, sollten Baugrunduntersuchungen aus Feld- und Laborversuchen, aus Recherchen in vorhandenen Unterlagen und Überwachungen bestehen.

(9)P Bevor das Untersuchungsprogramm aufgestellt wird, muss die Örtlichkeit besichtigt, das Ergebnis aufgezeichnet und mit den Informationen abgeglichen werden, die durch die Vorstudien gesammelt wurden.

(10) Das Programm für die Baugrunderkundung sollte nochmals überprüft werden, sobald die Ergebnisse vorliegen, sodass die anfänglichen Annahmen überprüft werden können. Insbesondere

- sollte die Anzahl der Untersuchungspunkte erhöht werden, wenn dies erforderlich erscheint, um einen genauen Einblick in die Komplexität und Veränderlichkeit des Baugrunds in dem Planungsbereich zu erhalten;
- sollten die erhaltenen Kennwerte daraufhin überprüft werden, ob sie ein Abbild des Verhaltens für den Boden und den Fels ergeben. Falls erforderlich, sollten zusätzliche Versuche festgelegt werden;
- sollte jede der Einschränkungen bezüglich der Daten bedacht werden, die in EN 1997-1:2004, 3.4.3(1) angegeben sind.

(11) Besondere Aufmerksamkeit sollte den Planungsbereichen gewidmet werden, in denen durch eine frühere Nutzung die natürlichen Untergrundverhältnisse gestört sein können.

(12)P Ein geeignetes Qualitätssicherungssystem muss für das Labor, für das Feldlabor und das Ingenieurbüro eingerichtet sein. Eine Qualitätsüberprüfung muss in allen Phasen der Untersuchungen und ihrer Auswertung kompetent durchgeführt werden.

2.1.2 Baugrund

(1)P Die Baugrunduntersuchungen müssen eine Beschreibung der Untergrundverhältnisse liefern, die für die vorgesehene Baumaßnahme maßgebend sind, und eine Grundlage für die Festlegung der geotechnischen Kennwerte eröffnen, die für alle Bauzustände maßgebend sind.

(2) Die erhaltenen Informationen sollten — falls möglich — die Bewertung folgender Aspekte zulassen:

- die Eignung des Planungsbereiches unter Berücksichtigung des Bauvorhabens und das erforderliche Sicherheitsniveau;
- die Verformung des Baugrundes durch das Bauwerk oder durch Bauarbeiten, ihre räumliche Ausbreitung und ihr zeitlicher Verlauf;
- die Sicherheit bezüglich der Grenzzustände (z. B. Bodensenkung, Bodenhebung, Auftrieb, Boden- und Felsrutschungen, Knicken von Pfählen usw.);
- Einwirkungen des Baugrundes auf das Bauwerk (z. B. Seitendruck auf Pfähle) und ihre Größe in Abhängigkeit von der Konstruktion und der Herstellung;
- Gründungsarten (z. B. Bodenverbesserung, Möglichkeit des Aushubs, der Rammpbarkeit von Pfählen, der Entwässerung);
- Reihenfolge der Gründungsarbeiten;
- die Auswirkungen des Bauwerkes und seines Gebrauchs auf die Umgebung;
- alle zusätzlich erforderlichen Baumaßnahmen (z. B. Baugrubenverbau, Verankerung, Ummantelung von Bohrpfählen, Ausräumen von Hindernissen);
- Auswirkungen der Bauarbeiten auf die Umgebung;
- die Art und Ausdehnung von Bodenverunreinigungen im Planungsbereich und seiner Nachbarschaft;
- die Wirksamkeit von Maßnahmen, um die Verunreinigung einzuschließen oder unschädlich zu machen.

2.1.3 Baustoffe

(1)P Geotechnische Untersuchungen von Boden und Fels als Baustoff müssen eine Beschreibung des Materials liefern und seine maßgebenden Kennwerte feststellen.

(2) Die Untersuchungsergebnisse sollten eine Beurteilung hinsichtlich folgender Punkte ermöglichen:

- Tauglichkeit für die vorgesehene Verwendung;
- Ausdehnung des Vorkommens;
- ob eine Gewinnung und Aufbereitung des Materials möglich ist, und, ob und auf welche Art unbrauchbares Material abgetrennt und abgesetzt werden kann;
- Prospektionsverfahren, um Boden und Fels zu erschließen;
- Bearbeitbarkeit von Boden und Fels während des Bauens und mögliche Veränderungen der Eigenschaften während des Transportes, der Lagerung und der weiteren Behandlung;
- Auswirkungen von Baustellenverkehr und großen Lasten auf den Untergrund;
- künftige Maßnahmen zur Entwässerung und/oder Abgrabung, Auswirkungen von Niederschlägen, Widerstand gegen Verwitterung, Anfälligkeit gegen Schrumpfen, Schwellen und Entfestigung.

2.1.4 Grundwasser

(1)P Grundwasseruntersuchungen müssen alle wichtigen Informationen liefern, die für die geotechnische Bemessung und das Bauen benötigt werden.

(2) Grundwasseruntersuchungen sollten, falls erforderlich, folgende Informationen liefern über:

- die Tiefe, die Mächtigkeit, die Ausdehnung und die Durchlässigkeit der wasserführenden Schichten im Baugrund und der Kluftsysteme in Fels;
- die Höhenlage des freien Grundwasserspiegels oder die Druckhöhe wasserführender Schichten, die zeitliche Entwicklung, und die aktuellen Grundwasserstände mit den möglichen Extremwerten und ihren jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeiten;
- die Verteilung des Porenwasserdruckes;
- die chemische Zusammensetzung und Temperatur des Grundwassers.

(3) Die Untersuchungsergebnisse sollten ausreichen, um — falls erforderlich — folgende Gesichtspunkte zu bewerten:

- Möglichkeit zur Grundwasserabsenkung;
- mögliche schädliche Auswirkungen des Grundwassers auf Abgrabungen oder Böschungen (z. B. Gefahr von hydraulischem Grundbruch, übermäßigem Strömungsdruck oder Erosion);
- jede Art von Maßnahmen, die zum Schutz des Bauwerkes erforderlich sind (z. B. Grundwasserabdichtung, Entwässerung und Maßnahmen gegen aggressives Wasser);
- Auswirkungen von Grundwasserabsenkung, Trockenlegung, Wasseraufstau usw. auf die Umgebung;
- das Aufnahmevermögen des Untergrundes von während der Bauarbeiten zugeführtem Wasser;
- ob das örtliche Grundwasser in seiner chemischen Zusammensetzung für bautechnische Zwecke verwendet werden kann.

2.2 Abfolge der Baugrunduntersuchungen

(1)P Die Auswahl der Verfahren für die Baugrunduntersuchungen und deren Umfang müssen auf die vorgesehene Art und den Entwurf des Bauwerkes abgestimmt sein, z. B. Art der Gründung, Art der Untergrundverbesserung oder Stützkonstruktionen, Lage und Einbindetiefe des Bauwerkes.

(2)P Die Ergebnisse der Vorstudien und der Ortsbegehung müssen bei der Auswahl der Untersuchungsverfahren und der Festlegung der Ansatzpunkte für die verschiedenen Untersuchungen berücksichtigt werden. Die Untersuchungen müssen gezielt an den Stellen ausgeführt werden, die die Unterschiede der Baugrundbeschaffenheit bezüglich Boden, Fels und Grundwasser wiedergeben.

(3) Baugrunduntersuchungen sollten normalerweise in Etappen abhängig von den Fragen durchgeführt werden, die sich während der Planung, des Entwurfs und der Baudurchführung des aktuellen Projektes ergeben. Die folgenden Etappen werden einzeln in Abschnitt 2 behandelt:

- Voruntersuchungen für Lage und Vorentwurf für das Bauwerk (siehe 2.3);
- Hauptuntersuchungen (siehe 2.4);
- Kontrolluntersuchungen und baubegleitende Messungen (siehe 2.5).

ANMERKUNG Die Regelungen in dieser Norm beruhen auf der Voraussetzung, dass die Untersuchungsergebnisse, die für eine Phase empfohlen werden, vorliegen, bevor die nächste Phase begonnen wird.

(4) In Fällen, bei denen die Voruntersuchungen und Hauptuntersuchungen zusammen durchgeführt werden, sollten die Abschnitte 2.3 und 2.4 gleichzeitig bedacht werden.

ANMERKUNG Die einzelnen Phasen der Baugrunduntersuchungen, einschließlich der Labor- und Feldarbeiten und der Prozess zur Festlegung von Boden- und Felsparametern, können dem Schema in B.1 und B.2 folgen.

2.3 Voruntersuchungen

(1) Voruntersuchungen sollten so geplant werden, dass — soweit erforderlich — ausreichende Daten erhalten werden, für:

- die Bewertung der Gesamtstandsicherheit und die grundsätzliche Eignung des Planungsbereiches;
- die Bewertung der Eignung des Planungsbereiches im Vergleich mit alternativen Bauplätzen;
- die Bewertung der geeigneten Lage des Bauwerkes;
- die Beurteilung möglicher Auswirkungen der geplanten Arbeiten auf die Umgebung wie benachbarte Gebäude, Bauwerke und Gelände;
- die Beschreibung von Entnahmestellen;
- die Bewertung der möglichen Gründungsarten und jeder Art von Bodenverbesserung;
- die Planung der Haupt- und Kontrolluntersuchungen, einschließlich der Beschreibung der Verbreitung des Baugrundes, der das Verhalten des Bauwerks maßgebend beeinflussen kann.

(2) Eine Voruntersuchung des Baugrunds sollte eine Einschätzung des Baugrunds zu folgenden Punkten liefern, sofern sie von Bedeutung sind:

- Boden- und Felsart und ihrer Schichtung;
- Grundwasserspiegel oder dem Profil des Porenwasserdruckes;
- vorläufige Angaben zu den Festigkeits- und Verformungseigenschaften von Boden und Fels;
- mögliches Auftreten von kontaminiertem Baugrund oder Grundwasser, die sich schädlich auf die Dauerhaftigkeit des Baumaterials auswirken könnten.

2.4 Hauptuntersuchungen

2.4.1 Felduntersuchungen

2.4.1.1 Allgemeines

(1)P Für den Fall, dass die Voruntersuchungen nicht die erforderlichen Informationen liefern, um die Aspekte in 2.3 zu bewerten, müssen ergänzende Untersuchungen in der Hauptuntersuchung ausgeführt werden.

(2) Falls erforderlich, sollten die Felduntersuchungen der Hauptuntersuchung Folgendes einschließen:

- Bohrungen, Schürfe, Schächte und/oder Stollen für die Probengewinnung;
- Grundwassermessungen;
- Feldversuche.

(3) Beispiele für die verschiedenen Arten von Felduntersuchungen sind:

- Feldversuch (z. B. CPT, SPT, Rammsondierungen, WST, Pressiometerversuche, Dilatometerversuche, Belastungsversuche für Flachgründungen, Flügelscherversuche und Durchlässigkeitsversuche);
- Probengewinnung aus Boden und Fels für die Beschreibung von Boden und Fels und für Laborversuche;
- Grundwassermessungen zur Bestimmung des Grundwasserspiegels oder des Porenwasserdruckprofils und ihrer Schwankungen;
- geophysikalische Untersuchungen (z. B. seismische Sondierung, Bodenradar, elektrische Widerstandsmessungen und Bohrlochmessungen);
- Großversuche, um z. B. die Tragfähigkeit oder das Verhalten direkt an Prototypen, wie Anker, zu bestimmen.

(4) Für die Planung von Felduntersuchungen kann die Tabelle 2.1 benutzt werden, die Hinweise auf die Anwendbarkeit von den Felduntersuchungen gibt, die in den Abschnitten 3 und 4 behandelt werden.

ANMERKUNG Siehe auch B.2.

(5)P Wenn eine Kontamination des Baugrunds oder Sumpfgas erwartet wird, sind darüber Informationen von den zuständigen Stellen einzuholen. Diese Informationen müssen bei der Planung der Baugrunduntersuchung berücksichtigt werden.

(6)P Wenn eine Bodenkontamination oder Sumpfgas im Verlauf der Untersuchungen festgestellt wird, muss das dem Auftraggeber und den zuständigen Stellen mitgeteilt werden.

Tabelle 2.1 — Vereinfachte Übersicht über die Anwendbarkeit von Verfahren für Felduntersuchungen^a aus den Abschnitten 3 und 4

Verfahren für Felduntersuchungen ^a	Mögliche Ergebnisse																			
	Probeentnahme						Feldversuche											Grundwasser- messungen		
	Boden			Fels			CPT & CPTU	Pressiometer ^c	RDT Flexible Dilatometer		SDT	SPT ^d	DPL/DPM	DPH/DPSH	WST	FVT	DMT	PLT	Offenes System	Geschlossenes System
	Kategorie A	Kategorie B	Kategorie C	Kategorie A	Kategorie B	Kategorie C														
Grundinformation																				
Bodenart	C1 F1	C1 F1	C2 F2	—	—	—	C2 F2	C3 F3	—	C3 F3	C2 F1	C3 F3	C3 F3	—	—	C2 F2	—	—	—	—
Felsart	—	—	—	R1	R1	R2	R3 ^e	R3	R2		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Schichtenverbreitung ^b	C1 F1	C1 F1	C3 F3	R1	R1	R2	C1 F1	R3 C3 F3	R3	C3 F3	C2 F2	C1 F2	C1 F2	F2	—	C2 F1	—	—	—	—
Grundwasserspiegel	—	—	—	—	—	—	C2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	R2 C1 F2	R1 C1 F1
Porenwasserdruck	—	—	—	—	—	—	C2 F2	F3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	R2 C1 F2	R1 C1 F1
Geotechnische Eigenschaften																				
Korngröße	C1 F1	C1 F1		R1	R1	R2	—	—	—	—	C2 F1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Wassergehalt	C1 F1	C2 F1	C3 F3	R1	R1	—	—	—	—	—	C2 F2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Atterberg-Grenzen	F1	F1	—	—	—	—	—	—	—	—	F2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Dichte	C2 F1	C3 F3	—	R1	R1	—	C2 F2	—	—	—	C2 F2	C2	C2	—	—	C2 F2	—	—	—	—
Scherfestigkeit	C2 F1	—	—	R1	—	—	C2 F1	C1 F1	—	—	C2 F3	C2 F3	C2 F3	C2	F1	C2 F1	R2 C1 F1	—	—	—

Tabelle 2.1 (fortgesetzt)

Verfahren für Felduntersuchungen ^a	Mögliche Ergebnisse																			
	Probeentnahme						Feldversuche												Grundwasser Messungen	
	Boden			Fels			CPT & CPTU	Pressiometer ^c	RDT Flexible Dilatometer SDT	SPT ^d	DPL/DPM	DPH/DPSH	WST	FVT	DMT	PLT	Offenes System	Geschlossenes System		
	Kategorie A	Kategorie B	Kategorie C	Kategorie A	Kategorie B	Kategorie C														
Zusammendrückbarkeit	C2 F1	—	—	R1	—	—	C1 F2	C1 F1	R1	F1	C2 F2	C2 F2	C2 F2	C2	—	C2 F1	C1 F1	—	—	
Durchlässigkeit	C2 F1	—	—	R1	—	—	C3 F2	F3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C2 F3	C2 F2	
Chemische Versuche	C1 F1	C1 F1	—	R1	R1	—	—	—	—	—	C2 F2	—	—	—	—	—	—	—	—	

ANMERKUNG In Abhängigkeit vom Baugrund (wie Bodenart, Grundwasserverhältnisse) und dem geplanten Entwurf wird sich die Auswahl der Untersuchungsverfahren ändern und kann von dieser Tabelle abweichen.

^a Siehe Abschnitte 3 und 4 für die Bezeichnungen.
^b In horizontaler und vertikaler Richtung.
^c Abhängig vom Pressiometer-Typ.
^d Unter der Annahme, dass eine Probe entnommen werden kann.
^e Nur für weichen Fels.

Eignung:

R1 gut in Fels	R2 mäßig in Fels	R3 wenig in Fels
C1 gut in grobem Boden*)	C2 mäßig in grobem Boden	C3 wenig in grobem Boden
F1 gut in feinem Boden *)	F2 mäßig in feinem Boden	F3 wenig in feinem Boden

— nicht geeignet
*) Hauptbodengruppen „grob“ und „fein“ nach ISO 14688-1

2.4.1.2 Programm für Felduntersuchungen

(1)P Das Programm für Felduntersuchungen muss Folgendes enthalten:

- einen Plan mit der Lage der Untersuchungspunkte einschließlich der Untersuchungsarten,
- die Tiefe der Untersuchungen,
- die Arten (Kategorie usw.) von Proben, die genommen werden sollen einschließlich der Kennzeichnung mit Probennummer und Entnahmetiefe,
- Angaben zur Grundwassermessung,
- den einzusetzenden Gerätetyp,
- die anzuwendenden Normen und Vorschriften.

2.4.1.3 Lage und Tiefe der AC Aufschlüsse AC

(1)P Die Lage der Untersuchungspunkte und die Tiefe der Untersuchungen sind auf der Grundlage der Voruntersuchungen in Abhängigkeit von den geologischen Verhältnissen, den Abmessungen des Bauwerkes und den auftretenden technischen Problemen festzulegen.

(2) Bei der Festlegung der Lage der Untersuchungspunkte sollte Folgendes beachtet werden:

- Die Untersuchungspunkte sollten in einem solchen Raster angelegt sein, dass der Schichtenaufbau im Planungsbereich beurteilt werden kann.
- Die Untersuchungspunkte für ein Gebäude oder Bauwerk sollten an den Stellen angeordnet werden, die im Hinblick auf die Grundrissform, das Bauwerksverhalten und die erwartete Lastverteilung (z. B. an den Ecken des Gründungsbereiches) kritisch sind.
- Für Linienbauwerke sollten die Untersuchungspunkte in angemessenem Abstand von der Achse angeordnet werden, abhängig von der Gesamtbreite des Bauwerkes, wie z. B. einem Dammfuß oder einem Einschnitt.
- Für Bauwerke an oder in der Nähe von Hängen und an Geländesprüngen (auch Baugruben) sollten die Untersuchungspunkte auch außerhalb des Bauwerksgrundrisses angeordnet werden, und zwar so, dass die Stabilität des Hanges oder der Baugrube beurteilt werden kann. Bei Rückverankerungen sollten die voraussichtlichen Kräfte in der Krafteinleitungsstrecke besonders beachtet werden.
- Die Untersuchungspunkte sollten so festgelegt werden, dass sie keine Gefahr für das Bauwerk, die Baudurchführung oder die Nachbargrundstücke (z. B. durch Veränderung des Untergrundes und der Grundwasserverhältnisse) darstellen.
- Der Bereich für die Hauptuntersuchungen sollte auf das angrenzende Gelände bis zu der Entfernung ausgedehnt werden, ab der keine Gefahr mehr für dieses Gelände zu erwarten ist.
- Es sollte überlegt werden, ob die Grundwassermessstellen, die während der Baugrunduntersuchung eingerichtet wurden, für die fortlaufende Überwachung während und nach der Bauausführung benutzt werden können.

(3) Bei vergleichsweise einheitlichen Baugrundverhältnissen oder, wenn bekannt ist, dass der Baugrund eine ausreichende Festigkeit und Steifigkeit besitzt, darf ein größerer Abstand oder eine geringere Anzahl von Aufschlusspunkten angeordnet werden. In jedem Fall sollte diese Wahl durch örtliche Erfahrung gerechtfertigt sein.

(4)P Wenn mehr als eine Untersuchungsart an derselben Stelle vorgesehen ist (z. B. CPT und Einsatz eines Kolbenentnahmegertes), müssen die Untersuchungspunkte einen ausreichenden Abstand voneinander haben.

(5) Wenn z. B. Drucksondierungen (CPT) mit Aufschlussbohrungen kombiniert werden, sollten die CPTs vor den Bohrungen ausgeführt werden. Der Mindestabstand sollte dann so sein, dass das Bohrloch nicht oder aller Wahrscheinlichkeit nach nicht das CPT-Loch trifft. Wenn die Bohrung zuerst ausgeführt wird, sollte CPT in einem horizontalen Abstand von mindestens 2 Metern eingedrückt werden.

(6)P Die Untersuchungstiefe ist auf alle Schichten auszudehnen, die das Bauvorhaben beeinflussen oder durch das Bauwerk beeinflusst werden. Bei Dämmen, Wehren, Baugruben unter dem Grundwasserspiegel und wenn eine Wasserhaltung erforderlich ist, ist die Untersuchungstiefe auch in Beziehung zu den hydrogeologischen Verhältnissen zu wählen. Hänge und Geländesprünge sind bis unterhalb von möglichen Gleitflächen zu erkunden.

ANMERKUNG Die Abstände der Untersuchungspunkte und die Untersuchungstiefen in B.3 können zur Orientierung dienen.

2.4.1.4 Probeentnahme

(1)P Die Kategorien der Probeentnahme und die Zahl der zu entnehmenden Proben (siehe 3.4.1 und 3.5.1) sind festzulegen nach

- dem Ziel der Untergrunduntersuchungen,
- der Geologie im Planungsbereich,
- der Komplexität der geotechnischen Struktur.

(2)P Für die Beschreibung und Klassifikation des Baugrundes ist mindestens eine Bohrung oder ein Schurf mit Probeentnahme erforderlich. Die Proben sind aus jeder einzelnen Bodenschicht zu entnehmen, die das Bauvorhaben beeinflusst.

(3) Die Probeentnahme darf durch Felduntersuchungen ersetzt werden, wenn ausreichend örtliche Erfahrungen vorliegen, um die Felduntersuchungen mit den Baugrundverhältnissen zu korrelieren, um eine unzweideutige Interpretation der Ergebnisse sicherzustellen.

(4) Weitere Einzelheiten zur Probeentnahme werden in Abschnitt 3 angegeben.

2.4.1.5 Grundwasser

(1)P Grundwassermessungen müssen entsprechend 3.6 geplant und ausgeführt werden.

2.4.2 Laborversuche

2.4.2.1 Allgemeines

(1) Vor der Aufstellung eines Versuchsprogramms sollten die erwartete Schichtenfolge bekannt sein und die Schichten feststehen, die für die Bemessung bedeutsam sind, um die Versuche und die Anzahl der Versuche für jede Schicht festlegen zu können. Die Schichtbeschreibung sollte das geotechnische Problem, seine Komplexität, die örtliche Geologie und die erforderlichen Kennwerte für die Bemessung berücksichtigen.

2.4.2.2 Visuelle Beurteilung und vorläufiges Baugrundprofil

- (1) Proben und Schürfe sollten visuell untersucht und mit den Bohrprotokollen verglichen werden, damit das vorläufige Baugrundprofil erstellt werden kann. Bei Bodenproben sollte die visuelle Untersuchung mit manuellen Versuchen unterstützt werden, um den Boden zu beschreiben und einen ersten Eindruck über die Konsistenz und das mechanische Verhalten zu geben.
- (2) Wenn ausgeprägte und deutliche Unterschiede in den Eigenschaften verschiedener Proben aus einer Schicht gefunden werden, sollte das vorläufige Bodenprofil weiter unterteilt werden.
- (3) Falls möglich, sollte die Güte der Probe festgestellt werden, bevor die Laborversuche festgelegt werden. Die Güteklassen von Bodenproben sind in Tabelle 3.1 definiert.

2.4.2.3 Versuchsprogramm

- (1)P Die Art des Bauwerks, des Baugrundes und der Schichtenfolge und die geotechnischen Kennwerte, die für die Bemessung benötigt werden, sind bei der Aufstellung des Programms für die Laborversuche zu berücksichtigen.
- (2) Das Programm für die Laborversuche hängt teilweise davon ab, ob vergleichbare Erfahrungen vorliegen. Die Übertragbarkeit und die Qualität vergleichbarer Erfahrungen mit dem bestimmten Boden und Fels sollten nachgewiesen werden. Wenn möglich, sollten die Ergebnisse von Feldbeobachtungen an benachbarten Bauwerken ebenfalls verwendet werden.
- (3)P Die Versuche sind an Probekörpern durchzuführen, die für die untersuchte Schicht kennzeichnend sind. Klassifikationsversuche sind auszuführen, um zu prüfen, ob die Proben und Probekörper repräsentativ sind.

ANMERKUNG Das kann iterativ geprüft werden. In einem ersten Schritt werden Klassifikationsversuche und Indexversuche zur Festigkeit an so vielen Proben wie möglich durchgeführt, um die Streuung der Indexeigenschaften einer Schicht zu bestimmen. In einem zweiten Schritt kann überprüft werden, in welchem Maße die Proben, die für die Festigkeits- und Zusammendrückbarkeitsversuche benutzt wurden, für die Schicht repräsentativ sind. Dazu werden die Ergebnisse der Klassifikations- und der Indexversuche an den Proben, mit denen Festigkeits- und Zusammendrückbarkeitsversuche durchgeführt wurden, mit den Ergebnissen aller Klassifikations- und Indexversuche aus der Schicht verglichen.

- (4) Ein Bedarf für aufwändigere Versuche oder zusätzliche Baugrunduntersuchungen sollte in Bezug auf die geotechnischen Fragestellungen des Projektes, die Bodenart, die Veränderlichkeit des Bodens und das Rechenmodell geprüft werden.

2.4.2.4 Anzahl der Versuche

- (1)P Die notwendige Zahl der zu untersuchenden Probekörper muss auf Grund der Homogenität des Baugrundes, der Qualität und der Bedeutung vergleichbarer Erfahrungen mit dem Untergrund und der Geotechnischen Kategorie des Bauvorhabens festgelegt werden.
- (2) Nach Möglichkeit sollten zusätzliche Probekörper bei schwierigen Böden, beschädigten Probekörpern oder ähnlichen Umständen verfügbar sein.
- (3) Je nach Versuchsart sollte eine Mindestanzahl von Probekörpern untersucht werden.

ANMERKUNG Empfohlene Mindestanzahlen für einige Versuchsarten können aus den Tabellen in den Anhängen L bis W (außer Anhang O und T) entnommen werden. Die Anhänge sollten auch zur Prüfung benutzt werden, ob der Umfang der Versuche ausreichend war.

- (4) Die Mindestanzahl der Versuche darf verringert werden, wenn die geotechnische Berechnung und Bemessung nicht optimiert werden muss und sie mit konservativen Werten für die Bodenkennwerte vorgenommen oder auf vergleichbare Erfahrung oder die Kombination mit Feldinformationen zurückgegriffen wird.

2.4.2.5 Klassifizierungsversuche

(1) Versuche zur Klassifizierung von Boden und Fels sollten ausgeführt werden, um die Zusammensetzung und die Indexeigenschaften für jede Schicht festzustellen. Die Proben für die Klassifizierungsversuche sollten in der Weise ausgesucht werden, dass die Versuche annähernd gleich über den gesamten Bereich und die volle Tiefe der Schichten, die für die Bemessung maßgebend sind, verteilt sind. Somit sollten die Ergebnisse die Streubreite der Indexeigenschaften in den maßgebenden Schichten angeben.

(2) Die Ergebnisse sollten der Kontrolle dienen, ob der Umfang der Untersuchungen ausreichend war oder eine zweite Untersuchungsstufe erforderlich ist.

(3) Geeignete und übliche Klassifizierungsversuche an unterschiedlich gestörten Bodenproben werden in Tabelle 2.2 vorgestellt. Die üblichen Versuche werden im Allgemeinen in allen Phasen der Baugrunduntersuchung ausgeführt (siehe 2.2(3)).

2.4.2.6 Versuche an Proben

(1)P Die Proben für die Versuche müssen so ausgewählt werden, dass sie die Streubreite der Indexeigenschaften jeder maßgebenden Schicht abdecken.

Tabelle 2.2 — Versuche zur Klassifizierung von Böden

Kenngroßen	Bodenart							
	Ton			Schluff			Sand und Kies	
	Art des Probekörpers			Art des Probekörpers			Art des Probekörpers	
	un-gestört	gestört	aufge- arbeitet	un-gestört	gestört	aufge- arbeitet	gestört	aufge- arbeitet
Geologische Beschreibung und Bodenklassifizierung	X	X	X	X	X	X	X	X
Wassergehalt	X	(X)	(X)	X	(X)	(X)	(X)	(X)
Trockendichte	X	(X)	—	X	(X)	—	—	—
Lockerste und dichteste Lagerung	—	—	—	(X)	(X)	(X)	X	X
Konsistenzgrenzen	X	X	X	X	X	X	—	—
Korngrößenverteilung	X	X	X	X	X	X	X	X
Kohäsion des undrnierten Bodens	X	—	—	(X)	—	—	—	—
Durchlässigkeit	X	—	—	X	(X)	(X)	(X)	(X)
Sensitivität	X	—	—	—	—	—	—	—

ANMERKUNG Für bestimmte Bodenarten können weitere Versuche in Betracht kommen, z. B. die Bestimmung des organischen Anteils, Rohdichte und der Aktivität.

X = normalerweise bestimmbar
(X) = möglicherweise bestimmbar, nicht zwingend repräsentativ
— = nicht anwendbar

(2) Aus einer Auffüllung oder einer Schicht aus Sand oder Kies dürfen aufgearbeitete Proben untersucht werden. Die aufgearbeiteten Probekörper sollten annähernd die gleiche Zusammensetzung, Dichte und den Wassergehalt des anstehenden Materials haben.

(3) Laborversuche zur Bestimmung der Kennwerte für die geotechnischen Berechnungen werden in Tabelle 2.3 angegeben.

(4) Geeignete Routinelaborversuche an Felsproben, die die erforderliche Grundlage für die Beschreibung des Gesteins bilden, sind:

- Geologische bzw. petrographische Klassifizierung,
- Bestimmung der Dichte oder Trockendichte (ρ),
- Bestimmung des Wassergehaltes (w),
- Bestimmung des Porenanteils (n),
- Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit (σ_C),
- Bestimmung des Elastizitätsmoduls (E) und der Poissonzahl (ν),
- Punktlastversuch ($I_{s,50}$).

(5) Die Klassifizierung von Felskernproben wird üblicherweise eine geologische Beschreibung, die Kerngewinnung, die Felsgüteklasse (RQD), den Härtegrad, den Durchtrennungsgrad, den Verwitterungsgrad und die Zerklüftung einschließen. Zusätzlich zu den Routineversuchen an Fels nach 2.4.2.6(4) können andere Versuche für verschiedene Zwecke ausgewählt werden, z. B. Versuche zur Bestimmung der Korndichte, der Wellengeschwindigkeit, der Scherfestigkeit von Gestein und der Klüfte, der Brazil-Test, Versuche zur Hitzebeständigkeit sowie zum Schwell- und Erosionsverhalten.

(6) Die Eigenschaften des Gebirges einschließlich der Lagerung und der Klüftung oder Störungen dürfen indirekt mit Kompressions- und Scherversuchen an den Klüften untersucht werden. In weichem Fels können zusätzliche Versuche im Gelände oder großmaßstäbliche Laborversuche an Blockproben ausgeführt werden.

Tabelle 2.3 — Laborversuche für die Bestimmung geotechnischer Kenngrößen

Geotechnische Kenngröße	Bodenart					
	Kies	Sand	Schluff	Ton, normal konsolidiert	Ton, vorbelastet	Torf, organischer Ton
Kompressions-Modul E_{oed} ;	(OED)	(OED)	OED	OED	OED	OED
Kompressions-Index (C_c); [eindimensionale Zusammendrückbarkeit]	(TX)	(TX)	(TX)	(TX)	(TX)	(TX)
Elastizitätsmodul (E); Schubmodul (G)	TX	TX	TX	TX	TX	TX
Dränierte (wirksame) Scherfestigkeit (c'), (φ')	TX SB	TX SB	TX SB	TX SB	TX SB	TX SB
Restscherfestigkeit (c'_R), (φ'_R)	RS (SB)	RS (SB)	RS (SB)	RS (SB)	RS (SB)	RS (SB)
Undräßierte Scherfestigkeit (c_u)	—	—	TX DSS SIT	TX DSS (SB) SIT	TX DSS (SB) SIT	TX DSS (SB) SIT
Dichte (ρ)	BDD	BDD	BDD	BDD	BDD	BDD
Konsolidierungsbeiwert (c_v)			OED TX	OED TX	OED TX	OED TX
Durchlässigkeit (k)	TXCH PSA	TXCH PSA	PTC TXCH (PTF)	TXCH (PTF) (OED)	TXCH (PTF) (OED)	TXCH (PTF) (OED)

— = nicht anwendbar
() = nur bedingt geeignet; Näheres siehe Abschnitt 5.
Abkürzungen für Laborversuche:
BDD Dichtebestimmung
DSS Einfeldscherversuch
OED Kompressionsversuch
PTF Durchlässigkeitsversuch mit fallender Druckhöhe
PTC Durchlässigkeitsversuch mit konstanter Druckhöhe
RS Kreisringscherversuch
SB Rahmenscherversuch
SIT Indexversuch für die Festigkeit (üblicherweise nur für die Voruntersuchung angewandt)
PSA Korngrößenbestimmung
TX Dreiaxialversuch
TXCH Durchlässigkeitsversuch mit konstantem Druck in der Dreiaxialzelle (oder im Permeameter mit flexibler Zellwand)

2.5 Kontrolluntersuchungen und Überwachung

(1)P Falls erforderlich, sind eine Anzahl von Kontrolluntersuchungen und zusätzliche Versuche während der Baumaßnahme durchzuführen, um zu überprüfen, ob die Baugrundverhältnisse, die Eigenschaften der gelieferten Baumaterialien und die Bauausführung den Annahmen und der Ausschreibung entsprechen.

ANMERKUNG Siehe auch EN 1997-1:2004, Abschnitt 4.

(2)P Folgende Kontrollprüfungen sind durchzuführen:

- Überprüfen des Baugrundaufbaus während des Aushubs;
- Inspektion der Baugrubensohle.

(3) Folgende Kontrollprüfungen können durchgeführt werden:

- Messungen des Grundwasserspiegels, der Porenwasserdrücke und ihrer Schwankungen;
- Messungen des Verhaltens benachbarter Bauwerke, Einrichtungen und Baustellen;
- Messungen des Verhaltens des Bauwerkes selbst.

ANMERKUNG Kontrolluntersuchungen und Überwachungen sind von grundlegender Bedeutung bei der Anwendung der Beobachtungsmethode (siehe EN 1997-1:2004, 2.7).

(4)P Die Ergebnisse der Kontrollmessungen sind zusammenzustellen, zu protokollieren und bezüglich der Anforderungen an die Bemessung zu überprüfen. Die Entscheidungen sind auf der Grundlage dieser Befunde zu treffen.

3 Probeentnahme in Boden und Fels und Grundwassermessungen

3.1 Allgemeines

(1)P Die Probeentnahme in Boden und Fels mittels Bohrungen und aus Schürfen, Stollen und Schächten und die Grundwassermessungen müssen so umfassend vorgenommen werden, dass die erforderlichen Werte für die geotechnische Bemessung erhalten werden.

3.2 Probeentnahme mittels Bohrungen

(1)P Bei der Auswahl des Bohrgeräts ist Folgendes zu berücksichtigen:

- die geforderte Probeentnahmekategorie, die in 3.4.1 und 3.5.1 definiert ist,
- die Tiefe, die erreicht werden muss, und der geforderte Durchmesser der Probe,
- die Anforderungen an das Bohrgerät, z. B. Aufzeichnung der Bohrparameter, automatische oder manuelle Steuerung.

(2)P Die Anforderungen nach EN ISO 22475-1 müssen erfüllt werden.

3.3 Probeentnahme aus Schürfen, Stollen oder Schächten

(1)P Wenn Proben aus Schürfen, Stollen oder Schächten entnommen werden, müssen die Anforderungen von EN ISO 22475-1 erfüllt werden.

3.4 Probeentnahme in Böden

3.4.1 Kategorien von Probeentnahmeverfahren und Güteklassen von Proben für Laborversuche

(1)P Die Proben müssen den gesamten Mineralbestand der Schicht enthalten, aus der sie gewonnen wurden. Sie dürfen nicht durch Material aus einer anderen Schicht oder durch Additive verunreinigt sein, die während der Probeentnahme benutzt wurden.

(2)P Drei Kategorien von Verfahren für die Probeentnahme (EN ISO 22475-1) müssen abhängig von der gewünschten Güteklasse der Proben (bezüglich der Güteklasse siehe Tabelle 3.1) in Betracht gezogen werden:

- Verfahren der Probeentnahme nach Kategorie A: Proben der Güteklassen 1 bis 5 können gewonnen werden,
- Verfahren der Probeentnahme nach Kategorie B: Proben der Güteklassen 3 bis 5 können gewonnen werden,
- Verfahren der Probeentnahme nach Kategorie C: nur Proben der Güteklasse 5 können gewonnen werden.

(3) Proben der Güteklassen 1 oder 2 können nur mit Probeentnahmeverfahren der Kategorie A erhalten werden. Es ist beabsichtigt, Proben der Güteklasse 1 oder 2 zu erhalten, in denen die Bodenstruktur während der Probeentnahme oder durch die Probenbehandlung nicht oder nur wenig gestört wurde. Der Wassergehalt und die Porenzahl des Bodens entsprechen dem Zustand in situ. Die Bestandteile und die chemische Zusammensetzung des Bodens sind nicht verändert. Gewisse unvorhersehbare Umstände, wie z. B. Abweichungen in der geologischen Schichtenfolge, können dazu führen, dass Proben einer geringeren Güteklasse gewonnen wurden.

(4) Beim Einsatz von Probeentnahmeverfahren nach der Kategorie B ist es nicht möglich, Proben einer höheren Güteklasse als der Güteklasse 3 zu gewinnen. Es wird hierbei beabsichtigt, Proben zu gewinnen, die alle Bestandteile des anstehenden Bodens mit ihren ursprünglichen Anteilen enthalten und in denen der Boden seinen natürlichen Wassergehalt behalten hat. Die Schichtenfolge oder die Bestandteile des Bodens können bestimmt werden. Die Struktur des Bodens wurde gestört. Gewisse unvorhersehbare Umstände, wie z. B. Abweichungen in der geologischen Schichtenfolge, können dazu führen, dass Proben einer geringeren Güteklasse gewonnen wurden.

(5) Beim Einsatz von Probeentnahmeverfahren nach der Kategorie C ist es nicht möglich, Proben einer höheren Güteklasse als der Güteklasse 5 zu gewinnen. Die Struktur des Bodens wurde völlig verändert. Die allgemeine Anordnung der verschiedenen Schichten oder Bestandteile des Bodens wurde verändert, so dass die anstehenden Schichten nicht genau festgestellt werden können. Der Wassergehalt der Probe ist möglicherweise nicht repräsentativ für den natürlichen Wassergehalt der Bodenschicht, aus der die Probe entnommen wurde.

(6)P Bodenproben für Laborversuche werden auf Grund der Bodeneigenschaften, von denen man annimmt, dass sie während der Probeentnahme, der Behandlung, des Transports und der Lagerung unverändert geblieben sind, in fünf Güteklassen eingeteilt. Die Güteklassen werden in Tabelle 3.1 zusammen mit der erforderlichen Probeentnahmekategorie beschrieben.

Tabelle 3.1 — Güteklassen von Bodenproben für Laborversuche und erforderliche Kategorien der Probeentnahme

Bodeneigenschaften/Güteklasse	1	2	3	4	5
Bodeneigenschaften, die unverändert sind:					
Korngrößenverteilung	*	*	*	*	
Wassergehalt	*	*	*		
Dichte, Lagerungsdichte, Durchlässigkeit	*	*			
Zusammendrückbarkeit, Scherfestigkeit	*				
Eigenschaften, die bestimmt werden können:					
Schichtenfolge	*	*	*	*	*
Schichtgrenzen, grobe Einteilung	*	*	*	*	
Schichtgrenzen, feine Unterteilung	*	*			
Konsistenzgrenzen, Korndichte, organische Bestandteile	*	*	*	*	
Wassergehalt	*	*	*		
Dichte, Lagerungsdichte, Porosität, Durchlässigkeit	*	*			
Zusammendrückbarkeit, Scherfestigkeit	*				
Kategorie der Probeentnahme entsprechend EN ISO 22475-1	A				
	B				
				C	

3.4.2 Benennen und Beschreiben von Boden

(1)P Die Benennung und Beschreibung des Bodens auf der Grundlage der Untersuchung der gewonnenen Proben müssen EN ISO 14688-1 entsprechen.

3.4.3 Planung der Probeentnahme von Boden

(1)P Die Güteklasse und die Anzahl der zu entnehmenden Proben müssen entsprechend den Zielen der Bodenuntersuchungen, der Geologie im Planungsbereich, der Komplexität der geotechnischen Struktur und dem geplanten Bauwerk festgelegt werden.

(2) Zwei unterschiedlichen Strategien kann bei der Probeentnahme mittels Bohrungen gefolgt werden:

- Bohrungen mit Gewinnung einer vollständigen Bodensäule mit Proben, die mit Bohrwerkzeugen im Bohrloch und mit besonderen Entnahmegewerten in ausgewählten Tiefen an der Bohrlochsohle gewonnen werden.
- Bohrungen mit Gewinnung von Proben in vorher festgelegten Tiefen, z. B. auf Grund von gesondert ausgeführten Sondierungen.

(3)P Die Kategorien für die Probeentnahme müssen unter Berücksichtigung der gewünschten Güteklasse für Laborversuche, wie sie in Tabelle 3.1 beschrieben sind, und der erwarteten Bodenart und der Grundwasser-Verhältnisse ausgewählt werden.

(4)P Bei der Auswahl der Bohr- oder Aufschlussverfahren und des Entnahmegertes, das für die geforderte Kategorie des Probeentnahmeverfahrens geeignet ist, muss den Anforderungen von EN ISO 22475-1 gefolgt werden.

ANMERKUNG Die Gewinnung völlig ungestörter Proben ist unter anderem wegen der mechanischen Störung durch den Entnahmeprozess und der unvermeidlichen Druckentlastung bei der Probengewinnung praktisch nicht möglich. Die Störung hängt von der Kategorie des Probeentnahmeverfahrens und der zu entnehmenden Bodenart ab. Die Art des Bodens, der entnommen werden soll, hat bei gleichem Entnahmeverfahren einen entscheidenden Einfluss auf den Grad der Störung von Proben. So neigen hoch sensitive Böden zur Störung, während geringer sensitive Böden, wie die meisten steifen Tone, weniger aufwändige Verfahren für die Entnahme annähernd ungestörter Proben erfordern. Andererseits erfordert jede Fragestellung eine unterschiedliche Genauigkeit, mit der die benötigten Bodenkenngrößen zu bestimmen sind. Das sollte bei der Planung des Entnahmeprogramms berücksichtigt werden, um den annehmbaren Grad der Störung und damit die erforderlichen Verfahren der Probeentnahme festzulegen.

(5) Für ein bestimmtes Vorhaben können besondere Entnahmegerte und -verfahren innerhalb der Entnahmekategorien gefordert werden, wie sie in 3.4.1 beschrieben sind. Das ist z. B. dann der Fall, wenn die Verformungsmoduln (Steifigkeit) unter geringen Spannungen an ungestörten Proben ermittelt werden müssen.

(6)P Die Maße der Proben müssen im Einklang mit der Bodenart, den Arten und der Anzahl der auszuführenden Versuche stehen.

ANMERKUNG Siehe Abschnitt 5 und die Anhänge L, M, N, P, Q, R, S.

(7) Proben sollten bei jedem Schichtwechsel und in bestimmten Abständen, üblicherweise nicht über 3 m, genommen werden. Aus inhomogenen Böden oder, wenn eine genaue Bestimmung der Baugrundeigenschaften gefordert wird, sollte die Probeentnahme mittels Bohrungen durchgehend oder in sehr kurzen Abständen erfolgen.

3.4.4 Behandlung, Transport und Lagerung von Proben

(1)P Behandlung, Transport und Lagerung von Proben müssen in Übereinstimmung mit EN ISO 22475-1 ausgeführt werden.

ANMERKUNG Für die Behandlung und die Aufbewahrung im Labor siehe Abschnitt 5.

3.5 Probeentnahme in Fels

3.5.1 Kategorien von Probeentnahmeverfahren

(1)P Die Proben müssen den gesamten Mineralbestand der Schicht enthalten, aus der sie gewonnen wurden. Sie dürfen nicht durch Material aus einer anderen Schicht oder durch Additive verunreinigt sein, die während der Probeentnahme benutzt wurden.

(2)P Die Trennflächen und die entsprechenden Verfüllungen im Gebirge bestimmen häufig die Festigkeit und die Verformungseigenschaften des Materials im Ganzen. Daher müssen sie so genau wie möglich während der Probeentnahme bestimmt werden, wenn derartige Eigenschaften festgestellt werden müssen.

(3)P Drei Kategorien von Verfahren für die Probeentnahme (siehe EN ISO 22475-1) müssen abhängig von der gewünschten Güte der Proben in Betracht gezogen werden:

- Verfahren der Probeentnahme nach Kategorie A;
- Verfahren der Probeentnahme nach Kategorie B;
- Verfahren der Probeentnahme nach Kategorie C.

(4) Beim Einsatz von Verfahren nach der Kategorie A ist beabsichtigt, Proben zu gewinnen, in denen während des Entnahmeprozesses die Felsstruktur nicht oder nur leicht gestört ist. Festigkeits- und Verformungseigenschaften, Wassergehalt, Dichte, Porosität und Durchlässigkeit der Felsprobe entsprechen den Werten in situ. Die Bestandteile und die chemische Zusammensetzung des Fels sind nicht verändert. Gewisse unvorhergesehene Umstände wie z. B. Änderungen in der geologischen Schichtenfolge können zu einer niedrigeren Güte der erhaltenen Proben führen.

(5) Beim Einsatz von Verfahren nach der Kategorie B ist beabsichtigt, Proben zu gewinnen, in denen alle Bestandteile des Fels in situ in ihren ursprünglichen Anteilen enthalten sind, und die Felsstücke ihre Festigkeit, Verformungseigenschaften, ihren Wassergehalt, ihre Dichte und Durchlässigkeit behalten haben. Beim Einsatz von Verfahren der Kategorie B kann die allgemeine Anordnung von Trennflächen im Gebirge identifiziert werden. Die Struktur des Gebirges und damit seine Festigkeits- und Verformungseigenschaften, sein Wassergehalt, seine Dichte, Porosität und Durchlässigkeit sind gestört. Gewisse unvorhergesehene Umstände wie z. B. Änderungen in der geologischen Schichtenfolge können zu einer niedrigeren Güte der erhaltenen Proben führen.

(6) Beim Einsatz von Verfahren nach der Kategorie C wurden die Struktur des Gebirges und seine Trennflächen völlig verändert. Das Gestein kann zerkleinert worden sein. Einige Änderungen in den Bestandteilen oder in der chemischen Zusammensetzung des Gesteins können auftreten. Felsart, ihre Matrix, Struktur und Gefüge können benannt und beschrieben werden.

3.5.2 Benennung und Beschreibung von Fels

(1)P Das visuelle Benennen und Beschreiben von Fels muss auf der Grundlage von Untersuchungen des Gebirges und der Proben einschließlich aller Beobachtungen von Verwitterung und Trennflächen erfolgen. Das Benennen und Beschreiben muss in Übereinstimmung mit EN ISO 14689-1 vorgenommen werden.

(2)P Die Einstufung der Verwitterung muss auf die geologischen Prozesse bezogen sein und muss die Verwitterungsgrade zwischen unverwittertem Fels und zu Boden entfestigtem Fels abdecken. Die Einstufung muss in Übereinstimmung mit EN ISO 14689-1:2003, 4.2.4 und 4.3.4 vorgenommen werden.

(3)P Trennflächen wie Schichtflächen, Klüfte, Risse, Schieferungen und Störungen müssen bezüglich Muster, Abstand und Neigung durch eindeutige Begriffe quantifiziert werden. Die Beschreibung muss in Übereinstimmung mit EN ISO 14689-1:2003, 4.3.3 erfolgen.

(4)P Die Fels-Güte-Bezeichnung (RQD), die gesamte Kerngewinnung (TCR) und die vollständige Kerngewinnung (SCR), wie sie in EN ISO 22475-1 definiert sind, müssen bestimmt werden.

3.5.3 Planung der Probeentnahme in Fels

(1)P Die Beschaffenheit und die Anzahl der Proben, die gewonnen werden sollen, müssen nach dem Ziel der Baugrunduntersuchungen, der Geologie im Planungsbereich, der Komplexität der geotechnischen Struktur und dem geplanten Bauwerk festgelegt werden.

(2)P Die Kategorie des Probeentnahmeverfahrens, das vorgeschrieben wird, muss entsprechend den Felseigenschaften, die bewahrt werden müssen, nach 3.5.1 und den zu erwartenden Fels- und Grundwasserverhältnissen ausgewählt werden.

(3)P Den Anforderungen in EN ISO 22475-1 muss bei der Auswahl der Bohr- oder Aufschlussverfahren und der Entnahmegерäte entsprechend der vorgegebenen Kategorie der Probeentnahme im Fels gefolgt werden.

(4) Für ein bestimmtes Vorhaben können besondere Entnahmegерäte und -verfahren innerhalb der Kategorien der Probeentnahme in Fels gefordert werden, wie sie in 3.5.1 beschrieben sind.

3.5.4 Behandlung, Transport und Lagerung von Proben

(1)P Nach der Probeentnahme und der visuellen Beurteilung müssen die gewonnenen Kerne entsprechend EN ISO 22475-1 gesichert, behandelt und gelagert werden.

3.6 Grundwassermessungen in Böden und Fels

3.6.1 Allgemeines

(1)P Grundwassermessungen müssen in Übereinstimmung mit 2.1.4 stehen.

(2)P Die Bestimmung des Grundwasserspiegels oder der Porenwasserdrücke in Böden und Fels muss mit offenen oder geschlossenen Systemen zur Grundwassermessung erfolgen, die in den Untergrund eingebaut werden.

ANMERKUNG 3.6 bezieht sich auf positive Porenwasserdrücke im Vergleich zum atmosphärischen Druck. Messungen negativer Porenwasserdrücke werden hier nicht betrachtet.

3.6.2 Planung und Ausführung der Messungen

(1)P Grundwassermessungen und Beprobung müssen, wenn von Bedeutung, nach EN ISO 22475-1 ausgeführt werden.

(2)P Der Typ der Messeinrichtung, der für die Grundwassermessungen benutzt werden soll, muss entsprechend der Art und der Durchlässigkeit des Untergrundes, dem Zweck der Messungen, der erforderlichen Beobachtungsdauer, den erwarteten Grundwasserschwankungen und der zeitlichen Reaktion der Messeinrichtung und des Untergrundes ausgewählt werden.

(3) Es gibt zwei Hauptverfahren, um den Grundwasserdruck zu messen: offene und geschlossene Systeme. In offenen Systemen wird die Grundwasserdruckhöhe an einer Beobachtungsstelle gemessen, die üblicherweise mit einem offenen Rohr versehen ist. In geschlossenen Systemen wird der Grundwasserdruck unmittelbar an der ausgewählten Stelle mit einem Druckaufnehmer gemessen.

(4) Offene Systeme sind am besten für Böden und Fels mit relativ hoher Durchlässigkeit (Aquifere, Aquitarde) geeignet, wie z. B. Sand, Kies oder stark geklüfteter Fels. In Böden und Fels mit geringer Durchlässigkeit können sie, verursacht durch die Zeitverzögerung beim Befüllen und Entleeren des Druckrohres, zu fehlerhaften Interpretationen führen. Die Verwendung einer Filterspitze an einem Schlauch mit geringem Durchmesser in einem offenen System verringert die Zeitverzögerung.

(5) Geschlossene Systeme können in allen Boden- und Felsarten verwendet werden. Sie sollten in Böden und Fels mit sehr geringen Durchlässigkeiten (Aquikluden), z. B. in Ton oder wenig geklüftetem Fels, verwendet werden. Geschlossene Systeme werden ebenfalls empfohlen, wenn artesisches Wasser mit hohen Wasserdrücken angetroffen wird.

(6)P Wenn sehr kurzzeitige Änderungen oder rasche Schwankungen des Porenwasserdrucks beobachtet werden sollen, müssen sie mit Hilfe von Messwertaufnehmern und Datenloggern in allen Boden- und Felsarten kontinuierlich aufgezeichnet werden.

(7)P Wenn der zu untersuchende Bereich an oder in der Nähe offener Gewässer liegt, muss ihr Wasserspiegel bei der Interpretation der Grundwassermessungen berücksichtigt werden. Der Wasserstand in Brunnen, das Auftreten von Quellen und artesischem Wasser müssen ebenfalls vermerkt werden.

(8)P Die Anzahl, die Lage und die Tiefe der Messstellen müssen unter Berücksichtigung des Zweckes der Messungen, der Topographie, der Stratigraphie und der Bodenverhältnisse, insbesondere der Durchlässigkeit des Untergrundes oder des festgestellten Grundwasserleiters gewählt werden.

(9)P Für die Überwachung von Projekten, z. B. Grundwasserabsenkung, Abgrabungen, Auffüllungen und Tunnel, muss die Lage zusätzlich so gewählt werden, dass die erwarteten Änderungen beobachtet werden können.

(10) Zu Vergleichszwecken sollten natürliche Schwankungen des Grundwassers, wenn möglich, außerhalb des Bereiches gemessen werden, der von dem aktuellen Bauvorhaben beeinflusst wird.

(11)P Um Messwerte zu erhalten, die den Porenwasserdruck an der beabsichtigten Stelle in einer Bodenschicht oder in Fels wiedergeben, müssen Vorkehrungen nach EN ISO 22475-1 getroffen werden, um sicherzustellen, dass der Messpunkt gegen andere Schichten oder Grundwasserleiter ausreichend abgedichtet ist.

(12)P Die Anzahl und die Häufigkeit der Ablesungen und die Länge der Messperiode für ein bestimmtes Projekt müssen unter Berücksichtigung des Zweckes der Messungen und der zum Auspendeln erforderlichen Zeit geplant werden.

(13) Die gewählten Kriterien sollten nach einer Anfangsphase den aktuellen Änderungen der beobachteten Messwerte angepasst werden.

(14)P Wenn es beabsichtigt ist, Grundwasserschwankungen zu bewerten, müssen die Messungen über einen langen Zeitraum und in kleineren Intervallen als den Intervallen der natürlichen Schwankungen vorgenommen werden.

(15) Während der Bohrarbeiten gibt die Beobachtung des Wasserspiegels am Ende des Tages und bei Beginn am folgenden Tage (bevor die Bohrarbeiten wieder aufgenommen werden) einen guten Hinweis auf die Grundwasserverhältnisse. Die Ablesungen sollten aufgezeichnet werden. Jeder plötzliche Zufluss oder Verlust von Wasser während der Bohrarbeiten sollte ebenfalls vermerkt werden, da zusätzliche nützliche Informationen erhalten werden können.

(16) Während der ersten Phase der Baugrunduntersuchungen können einige der Bohrlöcher mit offenen gelochten Rohren, die durch Filter geschützt werden, ausgebaut sein. Die Ablesungen des Grundwasserstandes in den folgenden Tagen geben einen ersten Hinweis auf die Grundwasserverhältnisse, es gelten aber die Einschränkungen in 3.6.2(4). Die Gefahren, die sich aus der Verbindung zwischen verschiedenen Grundwasserleitern ergeben, sollten in Betracht gezogen werden, wie auch ggf. zu beachtende Regelung zum Umweltschutz.

3.6.3 Bewertung der Ergebnisse von Grundwassermessungen

(1)P Bei der Bewertung der Grundwassermessungen müssen die geologischen und geotechnischen Verhältnisse im Planungsbereich, die Genauigkeit individueller Messungen, die Schwankungen von Porenwasserdrücken mit der Zeit, die Dauer der Beobachtungsperiode, die Jahreszeit der Messungen und die klimatischen Bedingungen vor und während der Beobachtungsperiode berücksichtigt werden.

(2)P Die ausgewerteten Ergebnisse der Grundwassermessungen müssen die höchsten und niedrigsten Werte des Wasserspiegels oder der Porenwasserdrücke und die zugehörige Messperiode enthalten.

(3)P Wenn erforderlich, müssen obere und untere Grenzwerte für beide extremen und normalen Verhältnisse aus den Messwerten abgeleitet werden. Obere und untere Grenzwerte für extreme Verhältnisse können aus den Messwerten durch Addition oder Subtraktion der zu erwartenden Schwankungen oder eines Teils der Schwankungen auf die extremen oder normalen Werte abgeleitet werden. Da zuverlässige Daten von Langzeitmessungen häufig fehlen, wird es notwendig sein, die abgeleiteten Werte vorsichtig auf der Grundlage der begrenzt verfügbaren Informationen abzuschätzen.

(4) Die Notwendigkeit weiterer Messungen oder die Einrichtung zusätzlicher Messstellen sollte während der Felduntersuchungen und in dem geotechnischen Untersuchungsbericht festgestellt werden.

ANMERKUNG Im Anhang C wird ein Beispiel für ein statistisches Verfahren zur Bewertung der Grundwasserverhältnisse angegeben, wenn Langzeitmessungen in einer Referenzmessstelle im Umfeld verfügbar sind und Messungen über eine kurze Periode im Planungsbereich ausgeführt wurden.

4 Felduntersuchungen in Boden und Fels

4.1 Allgemeines

(1)P Wenn Felduntersuchungen durchgeführt werden, sind diese in Verbindung zu bringen mit der Probeentnahme durch Schürfe und Bohrungen, um Informationen über den Schichtenaufbau im Baugrund, geotechnische Parameter oder direkte Eingangsgrößen für die Bemessungsverfahren (siehe auch EN 1997-1:2004, 3.3) zu erhalten.

(2)P Felduntersuchungen müssen unter Berücksichtigung folgender allgemeiner Gesichtspunkte (siehe auch Abschnitt 2) geplant werden:

- der Geologie/Schichtenaufbau des Baugrundes;
- der Art des Bauwerks, der möglichen Gründungsart und der geplanten Arbeiten während der Errichtung;
- der Art der erforderlichen geotechnischen Parameter;
- der anzuwendenden Bemessungsverfahren.

(3) Die Untersuchungsmethoden oder die Kombination mehrerer Methoden sollten aus Verfahren ausgewählt werden, die in den Teilen der EN ISO 22476 genormt sind und in diesem Abschnitt behandelt werden. Diese sind:

- Drucksondierung;
- Pressiometer- und Dilatometerversuche;
- Standard Penetration Test;
- Rammsondierung;
- Gewichtssondierung;
- Flügelscherversuch;
- Versuch mit dem flachen Dilatometer;
- Belastungsversuch für Flachgründungen.

Tabelle 2.1 gibt einen allgemeinen Überblick über die Anwendbarkeit dieser Versuche unter verschiedenen Baugrundverhältnissen.

(4) Andere ergänzende, international anerkannte Untersuchungsverfahren, wie z. B. geophysikalische Verfahren, dürfen eingesetzt werden.

4.2 Allgemeine Anforderungen

4.2.1 Planung eines gezielten Versuchsprogramms

(1)P Ergänzend zu den Empfehlungen unter 2.3 und den unter 2.4 und 4.1(2) aufgeführten Anforderungen sind Informationen über folgende Fragestellungen zu beschaffen:

- das zu erwartende Baugrundprofil;
- die angestrebte Gesamttiefe der Erkundung;
- Höhenangaben der Geländeoberfläche und, falls verfügbar, des Grundwasserspiegels.

(2)P Im Zuge der Festlegung des Baugrunduntersuchungsprogramms muss die Auswahl der Art der Felduntersuchungen und der eingesetzten Gerätetechnik unter der Zielsetzung erfolgen, dass die bestmögliche technische und wirtschaftliche Lösung für den beabsichtigten Zweck sichergestellt ist.

ANMERKUNG Siehe auch Tabelle 2.1 und B.2.

4.2.2 Durchführung

(1)P Für die Versuche, die in diesem Abschnitt behandelt werden, müssen Gerätetechnik und Versuchsablauf den Anforderungen der **AC** EN ISO 22476-1 bis EN ISO 22476-9 **AC**, EN ISO 22476-12 und EN ISO 22476-13 genügen.

ANMERKUNG Nähere Informationen über die Versuchsdurchführung, die Darstellung und die Interpretation der Versuche mit der Gewichtssonde und dem flachen Dilatometer können CEN ISO/TS 22476-10 bzw. CEN ISO/TS 22476-11 entnommen werden.

(2)P Wenn während der laufenden Untersuchungen Ergebnisse erhalten werden, die nicht den ersten Informationen über das Untersuchungsgebiet und/oder dem Ziel der Untersuchung entsprechen, sind zusätzliche Messungen in Betracht zu ziehen, wie z. B.:

- zusätzliche Versuche;
- Einsatz anderer Untersuchungsverfahren.

(3) Der Auftraggeber sollte umgehend benachrichtigt werden, wenn die geforderte Erkundungstiefe nicht erreicht wird.

4.2.3 Interpretation

(1)P Bei der Interpretation der Ergebnisse von Felduntersuchungen, insbesondere im Zusammenhang mit der Ableitung geotechnischer Parameter/Koeffizienten aus den Versuchsergebnissen, sind alle zusätzlichen Informationen über die Baugrundverhältnisse zu berücksichtigen.

(2)P Die Ergebnisse aller Probenahmen durch Bohrungen und Schürfe entsprechend Abschnitt 3 müssen vorliegen und sind der Interpretation der Versuchsergebnisse zugrunde zu legen.

(3)P Bei der Interpretation der Versuchsergebnisse sind mögliche geotechnische und versuchstechnische Einflüsse auf die Ergebnisse zu berücksichtigen. Wenn eine Boden- oder Felsformation Anisotropien aufweist, ist das Hauptaugenmerk im Hinblick auf die Anisotropie auf die Belastungsachse zu richten.

(4)P Wenn Korrelationen benutzt werden, um geotechnische Kenngrößen/Koeffizienten abzuleiten, ist deren Eignung für jedes einzelne Projekt sorgfältig zu prüfen.

(5)P Wenn die Angaben der Anhänge D bis K benutzt werden, muss sichergestellt sein, dass die Baugrundverhältnisse des Untersuchungsgebiets (Bodenart, Ungleichförmigkeitsgrad, Konsistenzzahl usw.) mit den vorgegebenen Grenzbedingungen für die Korrelationen vereinbar sind. Örtliche Erfahrungen sind zur Bestätigung der Ergebnisse zu benutzen, soweit diese verfügbar sind.

ANMERKUNG 1 Die Anhänge D bis K geben Beispiele für Korrelationen zur Festlegung abgeleiteter Werte und für den Gebrauch von Versuchswerten in den Bemessungsverfahren.

ANMERKUNG 2 X.3 enthält Beispiele für Korrelationen zur Festlegung abgeleiteter Werte und außerdem Beispiele für die direkte Anwendung von Versuchsergebnissen für die Bemessung.

4.3 Drucksondierungen mit und ohne Messeinrichtungen für den Porenwasserdruck (CPT, AC CPTM, AC CPTU)

4.3.1 Zweck

(1) Das Ziel der Drucksondierung (CPT) ist die Ermittlung des Widerstands, den der Boden oder weiche Fels gegen eine Spitze und durch die örtliche Reibung an der Mantelfläche gegen das Eindringen der Sonde ausübt.

(2)P Bei der Drucksondierung wird eine Drucksonde unter Verwendung von Verlängerungsstangen senkrecht in den Boden eingedrückt. Die Sonde ist mit einer gleichmäßigen Eindringgeschwindigkeit in den Boden einzudrücken. Sie besteht aus einem Kegel und, je nach Zweck, einem zylindrischen Mantel oder Reibungsmantel. Es ist der Eindringwiderstand der Spitze q_c (Spitzenwiderstand) und, falls zweckdienlich, die lokale Mantelreibung am Sondenschaft zu messen.

(3)P Bei elektrischen Drucksondierungen sind alle Messungen mit Messwertaufnehmern durchzuführen, die in der Drucksonde angeordnet sind.

(4) Bei mechanischen Drucksondierungen werden die Messungen im Allgemeinen entfernt von der Drucksonde vorgenommen.

(5) Die piezometrische Drucksondierung, CPTU, ist eine elektrische Drucksondierung, bei der durch zusätzliche Messinstrumente der Porenwasserdruck während des Eindringens in Höhe der Spitze der Sonde gemessen wird.

(6) Die Versuchsergebnisse sollten hauptsächlich für die Bestimmung des Baugrundprofils genutzt werden, zusammen mit den Ergebnissen der Probenahme aus Bohrungen oder Schürfen oder anderen Aufschlüssen gemäß Abschnitt 3 in Verbindung mit anderen Feldversuchen zur Erstellung eines Bodenprofils.

(7) Die Ergebnisse können auch zur Festlegung geotechnischer Parameter, z. B. der Festigkeits- und Verformungseigenschaften von Boden und weichem Fels, benutzt werden, wenn das Eindringen der Drucksonde möglich ist. Sie können auch als direkte Eingangsgröße für Bemessungsverfahren benutzt werden, im Allgemeinen bei grob- und feinkörnigem Boden, aber möglicherweise auch bei anderen Ablagerungen.

(8) Die Ergebnisse können ebenfalls zur Ermittlung von Pfahllänge und ihrem Pfahldruck- oder Pfahlzugwiderstand oder zur Festlegung der Abmessungen von Flachgründungen benutzt werden.

4.3.2 Besondere Anforderungen

(1)P Die Versuche sind in Übereinstimmung mit einem Verfahren durchzuführen und zu dokumentieren, das die in EN ISO 22476-1 für die Drucksondierungen mit elektrischen Druckaufnehmern CPT und CPTU oder in EN ISO 22476-12 für die mechanische Drucksondierung AC CPTM AC gestellten Anforderungen erfüllt.

(2)P Bei der Planung des Versuchsprogramms für ein Projekt sind neben den Anforderungen in 4.2.1 folgende Punkte festzulegen:

- Art der verlangten Drucksondierung nach EN ISO 22476-1 oder EN ISO 22476-12;
- im Falle von Porenwasserdruck-Dissipationsversuchen: Tiefe und Zeitspanne, falls anwendbar.

(3)P Jede Abweichung von den Anforderungen in EN ISO 22476-1 oder EN ISO 22476-12 ist zu begründen und zu dokumentieren. Vor allem Einflüsse auf die Ergebnisse sind zu erläutern.

4.3.3 Auswertung der Versuchsergebnisse

(1)P Zusätzlich zu den Anforderungen in 4.2 sind die Feldberichte und Versuchsbericht entsprechend EN ISO 22476-1 oder EN ISO 22476-12 zur Versuchsauswertung mit zu benutzen.

(2)P Mögliche geotechnische Einflüsse auf den Eindringwiderstand müssen bei der Interpretation der Versuchsergebnisse berücksichtigt werden, z. B. sollte in Tonen der um den Einfluss des Porenwasserdruckes korrigierte Spitzenwiderstand (q_t) zur Interpretation verwendet werden.

4.3.4 Anwendung der Versuchsergebnisse und von abgeleiteten Werten

4.3.4.1 Tragfähigkeit und Setzungen von Flachgründungen

(1)P Wenn der Grundbruchwiderstand oder die Setzung einer Flachgründung mit CPT-Ergebnissen ermittelt wird, ist entweder ein semi-empirisches oder ein analytisches Bemessungsverfahren anzuwenden.

ANMERKUNG Siehe z. B. EN 1997-1:2004, Anhang D oder F.

(2)P Bei dem semi-empirischen Verfahren, sind alle Besonderheiten des Verfahrens zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Wenn z. B. das semi-empirische Verfahren zur Berechnung der Setzung von Flachgründungen auf der Grundlage von CPT-Ergebnissen (siehe D.3) angewendet wird, wird z. B. nur der Elastizitätsmodul aus dem Spitzenwiderstand q_c bestimmt, wie im Beispiel gezeigt.

(3) Wenn das analytische Beispielverfahren für den Grundbruchwiderstand nach EN 1997-1:2004, Anhang D angewendet wird, darf die Kohäsion des undränierten Bodens feinkörniger Böden (c_u) aus einem CPT mit folgender Gleichung ermittelt werden:

$$c_u = \frac{q_c - \sigma_{v0}}{N_k} \quad (4.1)$$

oder, wenn die Ergebnisse eines CPTU zugrunde liegen:

$$c_u = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{N_{kt}} \quad (4.2)$$

Dabei ist

q_c der Spitzenwiderstand der Drucksonde;

q_t der Spitzenwiderstand, korrigiert um die Einflüsse des Porenwasserdruckes;

N_k, N_{kt} die Koeffizienten, die auf Grund örtlicher Erfahrung oder zuverlässiger Korrelationen geschätzt werden;

σ_{v0} die vertikale Ausgangsspannung in der betrachteten Tiefe.

(4) Wenn das analytische Beispielverfahren für die Berechnung des Grundbruchwiderstands nach EN 1997-1:2004, Anhang D angewendet wird, darf der Reibungswinkel (φ') mit dem Spitzenwiderstand (q_c) auf der Grundlage örtlicher Erfahrung ermittelt werde, falls erforderlich unter Berücksichtigung des Tiefeneinflusses.

ANMERKUNG 1 Ein Beispiel für die Bandbreite der ermittelten Werte von φ' aus q_c für Quarz- und Feldspatsande zur Berechnung des Grundbruchwiderstands von Flachgründungen, wenn Tiefeneffekte nicht berücksichtigt werden müssen, gibt D.1.

ANMERKUNG 2 Zusätzlich ist ein Beispiel für die Korrelation von φ' und q_c für enggestufte Sande in D.2 angegeben. Die Korrelation in D.2 sollte als eine konservative Schätzung betrachtet werden.

(5) **AC** Genauere **AC** Verfahren zur Bestimmung von φ' aus q_c , bei denen die wirksame Vertikalspannung, die Zusammendrückbarkeit und das Vorbelastungsverhältnis berücksichtigt werden, dürfen ebenfalls benutzt werden.

(6) Wenn ein angepasstes Elastizitätsverfahren für die Setzungsberechnung von Flachgründungen auf Grundlage von CPT-Ergebnissen angewendet wird, hängt die Beziehung zwischen Spitzenwiderstand q_c und dem dränierten (Langzeit-)Elastizitätsmodul E' von der Art des Verfahrens ab: ein semi-empirisches oder ein theoretisches Elastizitätsverfahren.

ANMERKUNG EN 1997-1:2004, Anhang F enthält ein angepasstes Elastizitätsverfahren.

(7) Semi-empirische Verfahren dürfen zur Berechnung von Setzungen in grobkörnigem Boden benutzt werden.

ANMERKUNG Ein Beispiel wird in D.3 gegeben.

(8) Wenn ein theoretisches Elastizitätsverfahren benutzt wird, darf der dränierte (Langzeit-)Elastizitätsmodul (E') mit Hilfe des Spitzenwiderstandes (q_c) auf der Grundlage örtlicher Erfahrungen ermittelt werden.

ANMERKUNG Ein Beispiel für eine Auswahl von Werten für Quarz- und Feldspatsande zur Abschätzung von E' aus q_c wird in D.1 angegeben.

(9) Beziehungen zwischen dem Oedometer-Modul (E_{oed}) und dem Spitzenwiderstand (q_c) dürfen ebenfalls zur Setzungsberechnung von Flachgründungen benutzt werden. Häufig benutzt wird folgender Zusammenhang zwischen E_{oed} und q_c :

$$E_{\text{oed}} = \alpha \times q_c \quad (4.3)$$

Dabei ist

α ein Korrelationsfaktor auf Grundlage örtlicher Erfahrungen.

ANMERKUNG Ein Beispiel für eine Beziehung wird in D.4 gegeben.

(10) Wenn ein theoretisches Elastizitätsverfahren zur Berechnung von Setzungen von Flachgründungen benutzt wird, darf ein spannungsabhängiger Oedometer-Modul E_{oed} benutzt werden, der aus dem Spitzenwiderstand q_c abgeleitet wurde.

ANMERKUNG 1 Beispiele für theoretische elastische Verfahren werden in EN 1997-1:2004, Anhang F angegeben.

ANMERKUNG 2 Beispiele für Korrelationen von q_c und E_{oed} werden in D.5 angegeben. Die Korrelationen in D.5 sollten als konservative Abschätzungen betrachtet werden.

4.3.4.2 Pfahltragfähigkeit

(1)P Wenn der Grenzwert des Eindringwiderstands von Druck- oder Zugpfählen aus CPT-Ergebnissen nach EN 1997-1:2004, 7.6.2.3 oder 7.6.3.3 abgeleitet wird, sind Berechnungsregeln anzuwenden, die auf örtlich anerkannten Beziehungen zwischen den Ergebnissen von Pfahlprobelastungen und CPT-Ergebnissen beruhen.

ANMERKUNG 1 D.6 zeigt ein Beispiel für derartige Beziehungen für grobkörnigen Boden.

ANMERKUNG 2 D.7 enthält ein Beispiel für die Einschätzung des Eindringwiderstandes eines Einzelpfahles auf der Grundlage von q_c -Werten aus einer Drucksondierung.

4.4 Pressiometerversuche (PMT)

4.4.1 Zweck

(1) Der Zweck des Pressiometerversuchs ist es, durch die Aufweitung einer zylindrischen, flexiblen Membran unter Druck die Verformung von Boden und weichem Fels in situ zu messen.

(2)P Der Versuch besteht darin, eine Sonde mit einer zylindrischen, flexiblen Membran in den Untergrund einzubringen, entweder in ein vorgebohrtes Loch, selbstbohrend oder durch vollverdrängendes Eindringen. In der festgelegten Tiefe wird die Membran unter Druckaufbringung ausgedehnt, die Druckwerte und die Ausdehnung werden aufgezeichnet, bis ein Maximalwert der Ausdehnung für das eingesetzte Gerät erreicht ist.

ANMERKUNG Die Ausdehnung wird über die radiale Verschiebung gemessen oder aus der Volumenänderung der zylindrischen Membran berechnet.

(3) Der Versuch sollte dazu benutzt werden, Festigkeits- und/oder Verformungsparameter des Untergrundes oder besondere Pressiometer-Parameter abzuleiten.

(4) Die Versuche können dazu dienen, Spannungs-Dehnungs-Kurven von feinkörnigem Boden und weichem Fels abzuleiten.

4.4.2 Besondere Anforderungen

(1)P Bei der Planung des Versuchsprogramms für ein Projekt ist der Typ des Pressiometers, das verwendet werden soll, genau anzugeben.

(2)P Im Allgemeinen sind vier verschiedene Hauptarten von Geräten verfügbar, für die die zugehörigen Normen angewandt werden müssen:

- vorgebohrte Pressiometerversuche (PBP) wie z. B. mit dem flexiblen Dilatometer (FDT), entsprechend EN ISO 22476-5;
- Pressiometer nach Ménard (MPM), eine besondere Art des PBP, entsprechend EN ISO 22476-4;
- selbstbohrendes Pressiometer (SBP), entsprechend EN ISO 22476-6;
- Pressiometer mit Vollverdrängung (FDP), entsprechend EN ISO 22476-8.

ANMERKUNG Das PBP und das MPM werden in ein Versuchsloch abgelassen, das gesondert für den Pressiometerversuch hergestellt wurde. Das SBP wird in den Untergrund mit einem integrierten Schneidkopf am unteren Ende eingebohrt, so dass die Sonde das Material ersetzt und sich somit ihr eigenes Versuchsloch herstellt. Das FDP wird üblicherweise mit einer integrierten Spitze am unteren Ende in den Boden eingedrückt, die das erforderliche Versuchsloch herstellt. Das MPM kann in einigen Fällen in den Untergrund eingedrückt oder eingerammt werden. PBP-, SBP- und FDP-Sonden können eine Anzahl von Formen annehmen, die im Einklang mit der Art des Einbaus und des Messsystems stehen.

(3) Nach dem grundsätzlichen Vorgehen dürfen zwei unterschiedliche Versuchsabläufe angewendet werden:

- ein Versuchsablauf, um einen Pressiometer-Modul (E_M) und einen Grenzdruck (p_{LM}) zu erhalten, die für das Bemessungsverfahren verwendet werden dürfen, das für das Ménard-Pressiometer gilt, und
- ein Verfahren, um andere Parameter für die Steifigkeit oder Festigkeit zu erhalten.

(4)P Die Versuche sind in Übereinstimmung mit einem Versuchsverfahren auszuführen und zu dokumentieren, das die Anforderungen an den speziellen, verwendeten Gerätetyp erfüllt (siehe 4.4.2(2)P).

(5)P Alle Abweichungen von den Anforderungen, die in den zugehörigen Normen angegeben sind, müssen begründet und im Besonderen ihr Einfluss auf die Ergebnisse kommentiert werden.

4.4.3 Interpretation der Versuchsergebnisse

(1)P Zur Bestimmung des auf die zylindrische Kontaktfläche zwischen Untergrund und Sonde wirkenden Drucks ist der aufgebrachte Druck, falls erforderlich, um die Steifigkeit der Membran zu korrigieren.

(2)P Bei Verwendung eines Pressimeters, bei dem die Radialverschiebung gemessen wird, sind die Messwerte in die Hohlraumverformung umzurechnen, und bei weichem Fels sind bei der Korrektur der Membrandruck und die veränderliche Dichte der Membran zu berücksichtigen.

(3)P Bei Verwendung eines Pressimeters mit Messung der Volumenänderung (z. B. MPM) sind die gemessenen Volumenänderungen unter Berücksichtigung der Systemausdehnung zu korrigieren.

(4)P Zusätzlich zu den Anforderungen in 4.2 sind Feldberichte und Versuchsberichte, entsprechend EN ISO 22476-4, EN ISO 22476-5, EN ISO 22476-6 und EN ISO 22476-8, für die einzelnen Versuchsarten als Grundlage für jede weitere Interpretation zu benutzen.

(5) Zusätzlich zu den Darstellungen, die in den Versuchsnormen für die speziellen Geräte gefordert werden, sollten die Darstellungen nach Tabelle 4.1 beachtet werden.

Tabelle 4.1 — Liste zusätzlicher Darstellungen

Sonde	Art des Bau- grunds	Abszisse	Ordinate
Gerät mit Radialverschiebung			
selbstbohrend, eingedrückt	alle	Hohlraumverformung für jeden Geber	Aufgebrachter Druck
vorgebohrt	alle	Hohlraumverformung für jedes Geberpaar	Aufgebrachter Druck
selbstbohrend	alle	Anfangshohlraumverformung für jeden Geber	Aufgebrachter Druck
alle	alle	Hohlraumverformung für Entlastungs-/ Wiederbelastungszyklus für jeden Geber	Aufgebrachter Druck
alle	Ton	Logarithmus der Hohlraumverformung für jeden Geber	Aufgebrachter Druck
alle	Sande	Natürlicher Logarithmus der jeweiligen Hohlraumverformung für jeden Geber	Natürlicher Logarithmus des wirksamen aufgebrachten Druckes
Gerät mit volumetrischer Verschiebung (ohne MPM)^a			
vorgebohrt	alle	Volumenänderung	Aufgebrachter Druck
vorgebohrt	alle	Geschwindigkeit der Volumenänderung	Aufgebrachter Druck
^a Bei MPM-Versuchen wird der Druck auf der Abszisse und die Volumenänderung auf der Ordinate dargestellt.			

4.4.4 Anwendung der Versuchsergebnisse und von abgeleiteten Werten

4.4.4.1 Allgemeine Kriterien

(1)P Wenn ein indirektes oder ein analytisches Bemessungsverfahren angewendet wird, sind die geotechnischen Kennwerte der Scherfestigkeit und des Schermoduls aus der Pressiometerkurve mit Methoden abzuleiten unter Verwendung eines Verfahrens, das für den jeweiligen Versuchs- und den Gerätetyp zutreffend ist.

(2)P Wenn ein direktes oder halbempirisches Bemessungsverfahren angewendet wird, sind alle Gesichtspunkte dieses Verfahrens zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Direkte Bemessungsverfahren für Gründungen nutzen unmittelbar die Messergebnisse aus Feldversuchen anstelle konventioneller Bodeneigenschaften.

(3)P Wenn z. B. das halbempirische Verfahren zur Bestimmung der Setzungen von Flachgründungen mit MPM-Ergebnissen benutzt wird, darf nur ein Modul (E_M) für dieses besondere Verfahren angewendet werden, der aus Ergebnissen mit dem Ménard-Pressiometer gewonnen wurde.

ANMERKUNG Beispiele für Setzungsberechnungen finden sich in E.2.

4.4.4.2 Grundbruchwiderstand von Flachgründungen

(1)P Bei Verwendung eines halbempirischen Verfahrens sind alle Aspekte im Zusammenhang mit diesem Verfahren zu beachten, insbesondere die technischen Einzelheiten des benutzten Gerätetyps, der für das Verfahren festgelegt ist. EN ISO 22476-4 ist zu beachten.

ANMERKUNG 1 Das halbempirische Verfahren nach Ménard ist in EN 1997-1:2004, Anhang E beschrieben.

ANMERKUNG 2 Ein Beispiel für die Berechnung des Grundbruchwiderstands wird in E.1 angegeben.

(2) Wenn eine analytische Methode angewendet wird, darf die Festigkeit des Bodens mit empirischen und theoretischen Verfahren bestimmt werden, aber nur auf der Grundlage örtlicher Erfahrung.

ANMERKUNG EN 1997-1:2004, Anhang D gibt Beispiele für derartige analytische Verfahren.

(3) Der Reibungswinkel (φ') darf aus SBP-Versuchen in grobkörnigem Boden mit theoretischen Verfahren und aus FDP- und PBP-Versuchen mit Hilfe empirischer Beziehungen bestimmt werden, aber nur auf der Grundlage örtlicher Erfahrung.

4.4.4.3 Setzung von Flachgründungen

(1) Setzungen von Flachgründungen dürfen aus MPM-Versuchen mit Hilfe eines halbempirischen Verfahrens bestimmt werden.

ANMERKUNG Ein Beispiel für die Berechnung wird in E.2 angegeben.

(2) Wenn ein analytisches Verfahren angewendet wird, darf die Steifigkeit des Bodens unter Verwendung theoretischer Modelle für die Interpretation des Pressiometerversuchs bestimmt werden, aber nur auf der Grundlage örtlicher Erfahrung.

ANMERKUNG EN 1997-1:2004, Anhang F gibt Beispiele für derartige analytische Verfahren.

4.4.4.4 Pfahlwiderstände

(1) Die Grenzwert des Eindringwiderstands von Pfählen darf direkt aus spannungsgesteuerten Versuchen abgeleitet werden.

ANMERKUNG Ein Beispiel für die Berechnung des Grenzwerts des Eindringwiderstands wird in E.3 angegeben.

(2) Zur indirekten Ermittlung des Grenzwerts des Eindringwiderstands (Druck- und Zugwiderstand) eines Pfahles aus den Ergebnissen von Pressiometerversuchen kann ein analytisches Verfahren zur Ableitung von Werten für den Spitzen- und den Mantelwiderstand auf Grund örtlicher Erfahrung angewendet werden.

4.5 Versuch mit dem flexiblen Dilatometer (FDT)

4.5.1 Zweck

(1) Der Zweck des Versuchs mit dem flexiblen Dilatometer ist es, in situ die Verformbarkeit von Fels (Dilatometerversuch in Fels RDT) und von Boden (Dilatometerversuch in Boden SDT) durch das Messen der radialen Ausdehnung eines Bohrlochabschnitts unter einem bekannten gleichförmigen Druck zu bestimmen, der mit Hilfe einer zylindrischen Dilatometer-Sonde aufgebracht wird.

(2)P Der Versuch besteht darin, eine zylindrische Sonde mit einer äußeren ausdehnbaren Membran in ein Bohrloch niederzubringen und in ausgewählten Zeitintervallen oder in halbkontinuierlicher Weise die radiale Verformung des Bohrloches während des Aufweitens der Sonde unter bekanntem radialen Druck zu messen.

(3) Der RDT sollte hauptsächlich in weichem und hartem Fels eingesetzt werden, während der SDT bevorzugt in weichem bis steifem Boden benutzt werden sollte, um Profile der Änderung der Verformbarkeit über die Tiefe zu erhalten.

(4) Die Versuche mit den zylindrischen Dilatometern können dazu benutzt werden, die Verformungs- und Kriecheigenschaften von ungestörtem Fels in situ zu bestimmen.

(5) In brüchigem oder tonigem Fels und in gebrochenen oder eng geklüfteten Formationen, aus denen nur unzureichende und für repräsentative Laborversuche ungeeignete Kerne zu gewinnen sind, dürfen Versuche mit dem zylindrischen Dilatometer für eine schnelle Bohrlochmessung zur Bestimmung von Indexkennwerten und zum Vergleich der relativen Verformbarkeit verschiedener Gesteinsschichten benutzt werden.

4.5.2 Besondere Anforderungen

(1)P Bei der Planung eines Versuchsprogramms für ein Projekt müssen die besonderen Anforderungen an das Versuchsgerät, das verwendet werden soll, genau angegeben werden.

(2)P Die Versuche müssen in Übereinstimmung mit einem Versuchsverfahren ausgeführt und dokumentiert werden, das die Anforderungen in EN ISO 22476-5 erfüllt.

(3)P Alle Abweichungen von den Anforderungen, die in EN ISO 22476-5 angegeben werden, müssen begründet und im Besonderen ihr Einfluss auf die Ergebnisse kommentiert werden.

4.5.3 Interpretation der Versuchsergebnisse

(1)P Zusätzlich zu den Anforderungen in 4.2 müssen die Feldberichte und Versuchsberichte entsprechend EN ISO 22476-5 für den besonderen Versuchstyp zu Interpretationszwecken benutzt werden.

(2) Für die Interpretation der Versuche mit dem flexiblen Dilatometer wird die Poisson-Zahl des Bodens oder des Fels benötigt, die bekannt sein muss oder angenommen werden muss.

4.5.4 Anwendung der Versuchsergebnisse und von abgeleiteten Werten

(1) Die Ergebnisse aus den Versuchen mit dem flexiblen Dilatometer dürfen dazu benutzt werden, mit Hilfe einer Verformungsberechnung den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit von Flachgründungen auf Boden oder Fels nachzuweisen.

(2) Bei der Durchführung einer Verformungsberechnung darf unter der Annahme, dass der Boden oder Fels sich linear elastisch und isotrop verhält, der Elastizitätsmodul (E) gleich dem Dilatometermodul (E_{FDT}) angesetzt werden.

(3)P Wenn ein indirektes oder analytisches Bemessungsverfahren benutzt wird, sind die geotechnischen Kennwerte für den Schermodul aus der Dilatometer-Kurve unter Benutzung eines Verfahrens abzuleiten, das für den speziellen Versuch zutrifft.

4.6 Standard Penetration Test (SPT)

4.6.1 Zweck

(1) Der Zweck des Standard Penetration Tests ist die Ermittlung des Bodenwiderstands an der Bohrloch-sole gegen die dynamische Eindringung eines in Längsrichtung zweigeteilten Entnahmeggeräts (oder einer geschlossenen Spitze) und die Entnahme gestörter Proben zur Bestimmung der Bodenart.

(2)P Das Probeentnahmeggerät ist in den Boden einzurammen, indem ein Rammbar mit einer Masse von 63,5 kg aus einer Höhe von 760 mm auf einen Amboss oder Schlagkopf fällt. Die Schlagzahl (N), die erforderlich ist, um das Entnahmeggerät über eine Tiefe von 300 mm (nach der Eindringung unter dem Eigengewicht und einer Anfangsrammung für den vollständigen Kontakt) einzurammen, ist der Eindringwiderstand.

(3) Der Versuch wird hauptsächlich zur Ermittlung der Festigkeits- und Verformbarkeitseigenschaften von grobkörnigem Boden angewendet.

(4) Nützliche zusätzliche Daten können auch für andere Bodenarten erhalten werden.

4.6.2 Besondere Anforderungen

(1)P Die Versuche müssen in Übereinstimmung mit EN ISO 22476-3 ausgeführt und dokumentiert werden.

(2)P Jede Abweichung von den Anforderungen in EN ISO 22476-3 muss begründet und insbesondere ihr Einfluss auf die Versuchsergebnisse kommentiert werden.

4.6.3 Interpretation der Versuchsergebnisse

(1)P Zusätzlich zu den Anforderungen in 4.2 müssen die Feldberichte und Versuchsberichte nach EN ISO 22476-3 für Interpretationszwecke benutzt werden.

(2)P Vorhandene Bemessungsverfahren für Fundamente auf der Grundlage von SPT sind empirischer Natur. Die geräteabhängigen Arbeitsanweisungen sind angepasst worden, um zuverlässigere Ergebnisse zu erhalten. Daher ist die Anwendung geeigneter Korrekturfaktoren bei der Interpretation der Ergebnisse zu beachten (siehe EN ISO 22476-3).

(3)P Das Energieverhältnis (E_r) muss für die Versuchseinrichtung bekannt sein, wenn die Ergebnisse der quantitativen Bewertung von Gründungen oder der Gegenüberstellung der Ergebnisse dienen sollen. E_r ist als das Verhältnis der tatsächlichen Energie (E_{meas}) (während der Kalibrierung gemessene Energie), die die Schlagvorrichtung auf das Gestänge unterhalb des Ambosses einbringt, zu der theoretischen Energie (E_{theor}), die für die Schlagvorrichtung berechnet wird. Die gemessene Schlagzahl (N) muss entsprechend korrigiert werden (siehe EN ISO 22476-3).

(4) In Sanden sollten der Energieverlust auf Grund der Gestängelänge und die Auswirkung des wirksamen Überlagerungsdruckes berücksichtigt werden (siehe EN ISO 22476-3:2005, A.2 und A.4).

(5) Weitere Korrekturen sollten bei Benutzung eines Liners (siehe EN ISO 22476-3:2005, A.3) oder bei der Verwendung einer geschlossenen Spitze beachtet werden.

4.6.4 Anwendung der Versuchsergebnisse und von abgeleiteten Werten

4.6.4.1 Allgemeine Kriterien

(1) Für Sande liegen umfangreiche empirische Erfahrungen für die Nutzung dieses Versuchs vor, z. B. zur quantitativen Bewertung der bezogenen Lagerungsdichte, des Grundbruchwiderstands und Setzung von Gründungen, obwohl die Ergebnisse nur als Näherungen betrachtet werden sollten. Die meisten der vorhandenen Verfahren beruhen immer noch auf nicht korrigierten oder teilweise korrigierten Werten.

(2) Es gibt keine allgemeine Festlegung bezüglich der Anwendung der SPT-Ergebnisse in tonigem Boden. Grundsätzlich sollte die Anwendung auf eine qualitative Bewertung des Bodenprofils oder auf die qualitative Abschätzung der Festigkeitseigenschaften des Bodens beschränkt werden.

(3) Wenn eine direkte Korrelation zwischen einem anderen geeigneten Versuch und den Ergebnissen des SPT existieren, können diese bei guter Kenntnis der örtlichen Verhältnisse auch quantitativ für tonigen Boden ausgewertet werden.

4.6.4.2 Grundbruchwiderstand von Flachgründungen in Sanden

(1) Wenn ein analytisches Verfahren für die Berechnung des Grundbruchwiderstands benutzt wird, darf der wirksame Reibungswinkel (φ') aus SPT-Ergebnissen abgeleitet werden.

ANMERKUNG EN 1997-1:2004, Anhang D gibt Beispiele für analytische Verfahren für die Berechnung des Grundbruchwiderstands.

(2) Der Wert von φ' darf empirisch abgeleitet werden aus:

— direkten Korrelationen mit SPT-Ergebnissen,

— Korrelationen mit der bezogenen Lagerungsdichte, wobei die bezogene Lagerungsdichte aus SPT-Ergebnissen abgeleitet wird.

ANMERKUNG 1 Siehe zum Beispiel F.1 und F.2.

ANMERKUNG 2 Die Beziehungen in F.1 können dazu benutzt werden, um die bezogene Lagerungsdichte I_D entweder aus N_{60} oder $(N_1)_{60}$ (siehe EN ISO 22476-3) zu bestimmen.

(3) Der Verformungswiderstand von Sand nimmt häufig zu, je länger die geologische Periode der Konsolidierung andauert. Dieser „Alterungs“-Effekt zeigt sich in höheren Schlagzahlen und sollte berücksichtigt werden.

(4) Überkonsolidierung sollte berücksichtigt werden, da sie höhere Schlagzahlen bei gleichen Werten für I_D und σ'_{v0} bewirkt.

ANMERKUNG 1 F.1 zeigt einige beispielhafte Beziehungen, mit denen die beiden Effekte aus der Alterung und der Überkonsolidierung berücksichtigt werden können.

ANMERKUNG 2 Wenn die Effekte der Überkonsolidierung und der Alterung mit Hilfe der bezogenen Lagerungsdichte aus den Beziehungen in F.2 korrigiert werden, dürfen die erhaltenen abgeleiteten Werte für φ' als konservativ angenommen werden.

4.6.4.3 Setzung von Flachgründungen in Sand

(1) Wenn ein rein empirisches Verfahren benutzt wird, kann der dränierte Elastizitätsmodul (E') über empirische Beziehungen aus den Werten der Schlagzahl (N) abgeleitet werden.

(2) Wahlweise kann die bezogene Lagerungsdichte auf der Grundlage der N_{60} -Werte abgeleitet werden. Anschließend darf zur Berechnung von E' aus der bezogenen Lagerungsdichte eine geeignete Korrelation benutzt werden.

(3) Die direkten Bemessungsverfahren beruhen auf Vergleichen der Schlagzahlen (N) mit Ergebnissen von Belastungsversuchen oder mit gemessenen Fundamentsetzungen. Zulässige Sohldrücke für eine maximale Setzung von 25 mm oder die Setzung, die einem aufgebracht Druck entspricht, können mit Hilfe entsprechender Verfahren in Abhängigkeit von der Breite des Fundamentes, seiner Einbindetiefe in den Untergrund und der Höhe des Grundwasserspiegels erhalten werden.

ANMERKUNG Das Beispielfahrer für die Berechnung der Setzungen von Flachgründungen in Sand, das in F.3 angegeben wird, kann verwendet werden.

4.6.4.4 Pfahlgründungen in Sand

(1)P Wenn die Grenztragfähigkeit von Druck- oder Zugpfählen aus SPT-Ergebnissen nach EN 1997-1:2004, 7.6.2.3 oder 7.6.3.3 abgeleitet wird, müssen Berechnungsregeln verwendet werden, die auf örtlich begründeten Beziehungen zwischen den Ergebnissen aus statischen Probelastungen und SPT-Ergebnissen beruhen.

4.7 Rammsondierungen (DP)

4.7.1 Zweck

(1) Der Zweck der Rammsondierungen ist es, in situ den Widerstand von Boden und weichem Fels gegen das dynamische Eindringen einer Spitze zu bestimmen.

(2)P Ein Rammbar mit vorgegebener Masse und Fallhöhe ist zum Einrammen der Spitze zu benutzen. Der Eindringwiderstand ist als die Schlagzahl definiert, die erforderlich ist, um die Spitze über eine festgelegte Strecke einzurammen. Es muss die kontinuierliche Aufzeichnung in Abhängigkeit von der Tiefe erfolgen. Proben werden nicht gewonnen.

(3) Die Versuchsergebnisse sollten insbesondere in Verbindung mit den Ergebnissen der Probenahme aus Bohrungen und Aufschlüssen entsprechend Abschnitt 3 zur Bestimmung des Bodenprofils oder als relativer Vergleich mit anderen in-situ-Versuchen benutzt werden.

(4) Die Ergebnisse dürfen auch zur Bestimmung von Festigkeits- und Verformungseigenschaften von Boden auf Grundlage geeigneter Korrelationen benutzt werden. Dies ist im Allgemeinen bei grobkörnigen Böden, in speziellen Fällen aber auch bei feinkörnigen Böden möglich.

(5) Die Ergebnisse können ebenfalls dazu benutzt werden, die Tiefenlage sehr dicht gelagerter Bodenschichten zu bestimmen, z. B. für die Angabe der Länge von Spitzendruckpfählen.

4.7.2 Besondere Anforderungen

(1)P Zur Planung des speziellen Untersuchungsprogramms für ein Projekt ist zusätzlich zu den Anforderungen in 4.2.1 die Art der erforderlichen Rammsondierung nach EN ISO 22476-2 festzulegen.

(2)P Die Versuche sind in Übereinstimmung mit EN ISO 22476-2 auszuführen und zu protokollieren.

ANMERKUNG In EN ISO 22476-2 werden fünf unterschiedliche Verfahren geregelt, die einen weiten Bereich der spezifischen Rammenergie je Schlag umfassen: DPL, DPM, DPH, DPSH-A und DPSH-B.

- Leichte Rammsondierung (DPL): Verfahren stellt die untere Grenze der Bandbreite an Fallmassen der Rammsonden dar. Schlagzahl: N_{10L} .
- Mittelschwere Rammsondierung (DPM): Verfahren entspricht der mittleren Fallmasse im Vergleich zu den anderen Rammsonden. Schlagzahl: N_{10M} .
- Schwere Rammsondierung (DPH): Verfahren, das der mittleren bis sehr schweren Fallmasse der Rammsonden entspricht. Schlagzahl: N_{10H} .
- Überschwere Rammsondierung (DPSH-A und DPSH-B): Verfahren, die dem oberen Ende der möglichen Fallmassen entsprechen und den Abmessungen des SPT angenähert sind. Schlagzahl: N_{10SA} oder N_{20SA} , N_{10SB} oder N_{20SB} .

(3)P Jede Abweichung von den Anforderungen in EN ISO 22476-2 muss begründet und besonders ihr Einfluss auf die Versuchsergebnisse erläutert werden.

ANMERKUNG Abweichungen bestehen z. B. hinsichtlich:

- der Fallhöhe und der Masse des Rammhärens;
- der Maße der Spitze: z. B. einer Fläche von 10 cm² für die DPM-Spitze anstelle von 15 cm², wie in EN ISO 22476-2:2005, Abschnitt 4 vorgegeben.

(4) An Örtlichkeiten, die nur unter besonderen Schwierigkeiten erreicht werden können, dürfen leichtere Geräte und andere Verfahren eingesetzt werden, als sie in EN ISO 22476-2 beschrieben sind.

4.7.3 Interpretation der Versuchsergebnisse

(1)P Zusätzlich zu den Anforderungen in 4.2 müssen die Feldberichte und Versuchsberichte entsprechend EN ISO 22476-2 zu Interpretationszwecken mit herangezogen werden.

(2)P Mögliche geotechnische Einflüsse und Geräteeinflüsse auf den Eindringwiderstand sind entsprechend EN ISO 22476-2:2005, 5.4 bei der Interpretation der Versuchsergebnisse zu beachten.

4.7.4 Anwendung der Versuchsergebnisse und von abgeleiteten Werten

(1) Für grobkörnigen Boden können Korrelationen zwischen einigen geotechnischen Kenngrößen und Feldversuchen hergestellt werden. Die Korrelationen dürfen zur quantitativen Interpretation für die Gründungsdimensionierung herangezogen werden. Hierbei wird vorausgesetzt, dass die Gestängereibung vernachlässigbar klein ist oder ordnungsgemäß korrigiert wurde.

(2) Für feinkörnigen Boden sollten die Ergebnisse quantitativ nur bei sehr guter Kenntnis der örtlichen Bedingungen und spezifischen, abgesicherten Korrelationen benutzt werden. Die während des Versuchs auftretende Mantelreibung ist bei diesen Bodenarten besonders zu beachten und sollte angemessen berücksichtigt werden.

(3) Zwischen den unterschiedlichen Arten der Rammsondierungen sowie zwischen ihren Ergebnissen und denen anderer Versuche oder geotechnischen Kenngrößen existieren unterschiedliche Korrelationen. In manchen Fällen wurde die Gestängereibung verhindert oder korrigiert, aber die tatsächlich in die Sonde eingetragene Energie wurde nicht gemessen. Deshalb können diese Korrelationen nicht als allgemein gültig angesehen werden.

ANMERKUNG 1 Beispiele für derartige Korrelationen sind im Anhang G aufgeführt.

ANMERKUNG 2 Die Korrelationen im Anhang G sollten als konservative Näherungen betrachtet werden.

(4) Wenn ein analytisches Verfahren für die Berechnung des Grundbruchwiderstands von Flachgründungen benutzt wird, darf der Reibungswinkel (φ') von grobkörnigem Boden aus der Schlagzahl und der zugehörigen bezogenen Lagerungsdichte (I_D) über entsprechende Korrelationen bestimmt werden.

ANMERKUNG 1 EN 1997-1:2004, D.4 enthält ein Beispiel für derartige analytische Verfahren.

ANMERKUNG 2 Beispiele für Korrelationen zur Ermittlung von φ' sind in G.1 und G.2 enthalten.

(5) Wenn ein Verfahren auf Grundlage der Elastizitätstheorie angewandt wird, um die Setzungen von Flachgründungen zu berechnen, dürfen der Oedometer-Modul E_{Oed} und die Schlagzahl benutzt werden.

ANMERKUNG 1 EN 1997-1:2004, Anhang F gibt Beispiele für derartige elastizitätstheoretische Verfahren.

ANMERKUNG 2 Entsprechende Beispiele für Beziehungen zur Bestimmung des Oedometer-Moduls werden in G.3 angegeben.

(6) Wenn bewährte Korrelationen zwischen dem Grenzwert des Eindringwiderstands aus statischen Pfahlbelastungsversuchen (EN 1997-1:2004, 7.6.2.3) und dem Spitzenwiderstand (q_c) in grobkörnigem Boden für die Bemessung benutzt werden, darf q_c aus den Werten N_{10} oder N_{20} mit Hilfe anerkannter Beziehungen bestimmt werden.

ANMERKUNG 1 Beispiele für Korrelationen mit DPH werden in G.4 angegeben.

ANMERKUNG 2 Ein Beispiel für die Korrelationen zwischen den Ergebnissen verschiedener Rammsondierungen werden in G.5 angegeben.

4.8 Gewichtssondierung (WST)

4.8.1 Zweck

(1) Der Zweck der Gewichtssondierung ist die Bestimmung des Bodenwiderstandes in situ gegen das statische und/oder drehende Eindringen einer schraubenförmigen Spitze.

(2)P Die Gewichtssondierung ist als ein statischer Versuch durchzuführen, wenn der Eindringwiderstand in weichem Boden geringer als 1 kN ist. Wenn der Eindringwiderstand 1 kN übersteigt, ist die Sonde manuell oder mechanisch zu drehen, und die Anzahl der Halbdrehungen für die jeweilige Tiefe ist zu erfassen. Man erhält eine fortlaufende Aufzeichnung in Abhängigkeit von der Tiefe. Proben werden nicht gewonnen.

ANMERKUNG Weitere Informationen über die Versuchsdurchführung, Darstellung und Interpretation für den WST sind in CEN ISO/TS 22476-10 (siehe X.3.5) zu finden.

(3) Die Gewichtssondierung sollte hauptsächlich benutzt werden, um ein fortlaufendes Bodenprofil zu gewinnen und einen Hinweis auf die Schichtenfolge zu erhalten. Sondierungen sind selbst in steifen Tonen und dicht gelagerten Sanden gut möglich.

(4) Die Gewichtssondierung darf ebenfalls benutzt werden, um die bezogene Lagerungsdichte grobkörniger Böden zu bestimmen.

(5) Die Ergebnisse können auch benutzt werden, um die Tiefe sehr dicht gelagerter Bodenschichten festzustellen, zur Festlegung der Länge von Spitzendruckpfählen.

4.8.2 Besondere Anforderungen

(1) Die Versuche sollten in Übereinstimmung mit einem anerkannten Verfahren ausgeführt und protokolliert werden.

(2)P Jede Abweichung von den Anforderungen an die Verfahren in (1) muss begründet und besonders ihr Einfluss auf die Versuchsergebnisse erläutert werden.

ANMERKUNG Weitere Informationen über die Versuchsdurchführung, Darstellung und Interpretation finden sich in CEN ISO/TS 22476-10.

4.8.3 Interpretation der Versuchsergebnisse

(1)P Die Anforderungen in 4.2 sind zur Interpretation der Versuchsergebnisse einzuhalten.

(2) Zusätzlich sollten die Feld- und Versuchsberichte entsprechend den Verfahren nach 4.8.2(1) zu Interpretationszwecken benutzt werden.

ANMERKUNG Weitere Informationen über eine Versuchsdurchführung, Darstellung und Interpretation finden sich in CEN ISO/TS 22476-10.

(AC) 3 (AC) Folgende Einflüsse können sich auf die Auswertung der Ergebnisse auswirken:

- Die Widerstandsänderungen mit der Tiefe können von den Änderungen in der Bodenschichtung abhängen.
- In sehr weichen bis festen Tönen ist der Widerstand oft geringer als 1 kN oder annähernd konstant und geringer als 10 Halbdrehungen für 0,2 m Eindringung.
- Da die Sensitivität von Ton ebenfalls den Eindringwiderstand beeinflusst, kann die Festigkeit von Ton nicht direkt aus dem Eindringwiderstand bestimmt werden, sondern es ist dafür die Kalibrierung für jeden Untersuchungsbericht erforderlich.
- In sehr locker und locker gelagerten Schluffen und Sanden werden ziemlich geringe und konstante Eindringwiderstände erhalten.
- In mitteldicht und dicht gelagerten Schluffen und Feinsanden werden größere Eindringwiderstände (10 bis 30 Halbdrehungen für 0,2 m Eindringung) erhalten, die mit zunehmender Tiefe nahezu konstant bleiben.
- In Sanden und Kiesen nimmt die Streuung der Eindringwiderstände mit der Korngröße zu.
- In schluffigen Sanden und in Grobkies entspricht ein hoher Eindringwiderstand nicht immer einer hohen Lagerungsdichte oder Festigkeit und (günstigen) Verformungseigenschaften.

4.8.4 Anwendung der Versuchsergebnisse und von abgeleiteten Werten

(1)P Wenn der Grundbruchwiderstand oder die Setzung einer Flachgründung aus den Ergebnissen von Gewichtssondierungen ermittelt werden soll, muss ein analytisches Verfahren für die Bemessung benutzt werden.

(2) Wenn ein analytisches Verfahren für die Ermittlung des Grundbruchwiderstands benutzt wird, darf der Reibungswinkel (φ') über Korrelationen mit dem Widerstand der Gewichtssondierung festgelegt werden.

ANMERKUNG EN 1997-1:2004, Anhang D gibt Beispiele für analytische Verfahren.

(3) Derartige Korrelationen sollten sich auf vergleichbarer, für die Bemessungssituation relevanter Erfahrung gründen.

ANMERKUNG Der Anhang H zeigt als Beispiel eine Beziehung, die für Quarz- und Feldspatsande in einer bestimmten europäischen Region abgeleitet wurde.

(4) Wenn ein angepasstes elastizitätstheoretisches Verfahren für die Setzungsberechnung von Flachgründungen aus Ergebnissen der Gewichtssondierung verwendet wird, darf der dränierte (Langzeit-)Elastizitätsmodul (E') aus dem Widerstand der Gewichtssondierung auf der Grundlage örtlicher Erfahrung ermittelt werden. Im Fall von Quarz- und Feldspatsanden dürfen Korrelationen dazu benutzt werden, einen Wert für den Reibungswinkel (φ') aus dem Widerstand der Gewichtssondierung abzuschätzen.

ANMERKUNG 1 EN 1997-1:2004, Anhang F enthält solch ein angepasstes Verfahren auf Grundlage der Elastizitätstheorie.

ANMERKUNG 2 (AC) Beispiele für Korrelationen zu Abschätzung des Elastizitätsmoduls des dränierten Bodens und den Reibungswinkel (φ') von Sand aus Quarz und Feldspat werden im Anhang H angegeben. (AC)

(5) In grobkörnigem Boden darf der Widerstand der Gewichtssondierung auch zur direkten Abschätzung der Tragfähigkeit von Flachgründungen und von Pfählen benutzt werden.

(6) In feinkörnigem Boden darf der Widerstand der Gewichtssondierung zur Schätzung der undränierten Scherfestigkeit des Bodens auf der Grundlage örtlicher Erfahrung, unter Berücksichtigung der Sensitivität des Bodens und der Wasserverhältnisse im Bohrloch verwendet werden.

4.9 Flügelscherversuch (FVT)

4.9.1 Zweck

(1) Der Zweck des Flügelscherversuches ist die Messung des Widerstands gegen das Drehen eines Flügels in situ in weichem, feinkörnigen Boden, um die Kohäsion des undrännierten Bodens und die Sensitivität zu bestimmen.

(2)P Der Flügelscherversuch ist mit einem rechtwinkligen Flügel auszuführen, der aus vier Schneiden besteht, die um 90° gegeneinander versetzt sind, und der bis zu der gewünschten Tiefe eingedrückt und anschließend gedreht wird.

(3) Der Flügelscherversuch darf ebenfalls dazu benutzt werden, die Kohäsion des undrännierten Bodens in steifen Tonen, Schluffen und glazialen Tonen zu bestimmen. Die Zuverlässigkeit der Versuchsergebnisse schwankt in Abhängigkeit von der Bodenart.

(4) Nach ausreichender Drehung des Flügels, wobei der Boden entlang der Bruchfläche völlig durchwarkt wird, kann die gestörte Scherfestigkeit gemessen und die Sensitivität des Bodens berechnet werden.

4.9.2 Besondere Anforderungen

(1) Die Versuche sollten in Übereinstimmung mit den Anforderungen nach EN ISO 22476-9 ausgeführt und protokolliert werden.

(2)P Jede Abweichung von den Anforderungen der EN ISO 22476-9 muss begründet und besonders ihr Einfluss auf die Ergebnisse erläutert werden.

4.9.3 Interpretation der Versuchsergebnisse

(1)P Zusätzlich zu den Anforderungen in 4.2 müssen die Feldberichte und Versuchsberichte entsprechend EN ISO 22476-9 zu Interpretationszwecken benutzt werden.

(2) Die Ergebnisse anderer Feldversuche, z. B. CPT, SPT, WST oder DP, falls sie ausgeführt wurden, sollten verfügbar sein und berücksichtigt werden.

4.9.4 Anwendung der Versuchsergebnisse und von abgeleiteten Werten

(1)P Wenn der Grundbruchwiderstand einer Flachgründung, der Grenzwert des Eindringwiderstands von Druck- oder Zugpfählen oder die Standsicherheit von Böschungen auf der Grundlage von Ergebnissen von Flügelscherversuchen bewertet werden sollen, muss ein analytisches Verfahren für die Bemessung benutzt werden.

(2)P Um abgeleitete Werte für die Kohäsion des undrännierten Bodens (c_u) aus Ergebnissen von Flügelscherversuchen zu erhalten, muss das Versuchsergebnis c_{fv} nach folgender Formel korrigiert werden:

$$c_u = \mu \times c_{fv} \quad (4.4)$$

Der Korrekturfaktor μ muss auf der Grundlage örtlicher Erfahrungen bestimmt werden.

(3) Die bekannten Korrekturfaktoren sind im Allgemeinen mit der Fließgrenze, der Plastizitätszahl, der wirksamen Vertikalspannung oder dem Konsolidierungsgrad in Beziehung gesetzt worden.

ANMERKUNG Anhang I enthält Beispiele für derartige Korrekturfaktoren.

4.10 Flachdilatometerversuch (DMT)

4.10.1 Zweck

(1) Der Zweck des Versuchs mit dem flachen Dilatometer ist die Bestimmung der in-situ-Festigkeits- und Verformungseigenschaften von Böden durch Ausdehnung einer dünnen kreisförmigen Stahlmembran, die bündig auf einer Seite einer spatenförmigen Stahlsonde angebracht ist, die senkrecht in den Untergrund eingebracht wird.

(2)P Der Versuch besteht darin, den Druck auf die Membran im Ausgangszustand, bei Beginn der Verformung und bei der Verschiebung des Membranzentrumspunktes von 1,10 mm in den Boden zu messen. Der Versuch ist in ausgewählten Tiefen oder in annähernd fortlaufender Weise auszuführen.

(3) Die Ergebnisse von DMT-Versuchen können dazu benutzt werden, Angaben über die Bodenschichtung, den Spannungszustand in-situ, die Verformungseigenschaften und die Scherfestigkeit zu erhalten.

(4) Der DMT-Versuch sollte bevorzugt in Tonen, Schluffen und Sanden angewandt werden, in denen die Korngröße im Vergleich zu der Abmessung der Membran klein ist.

ANMERKUNG Weitere Informationen zu Versuchsdurchführung, Darstellung und Interpretation des DMT finden sich in CEN ISO/TS 22476-11 (siehe X.3.7).

4.10.2 Besondere Anforderungen

(1) Die Versuche sollten in Übereinstimmung mit einem anerkannten Verfahren ausgeführt und protokolliert werden.

(2)P Jede Abweichung von den Anforderungen der in (1) angegebenen Verfahren muss begründet und besonders ihr Einfluss auf die Ergebnisse erläutert werden.

ANMERKUNG Weitere Informationen zu Versuchsdurchführung, Darstellung und Interpretation des DMT finden sich in CEN ISO/TS 22476-11.

4.10.3 Interpretation der Versuchsergebnisse

(1)P Die Anforderungen in 4.2 müssen zur Interpretation der Versuchsergebnisse befolgt werden.

(2) Zusätzlich sollten die Feldberichte und Versuchsberichte gemäß dem Verfahren in 4.10.2(1) zu Interpretationszwecken verwandt werden.

ANMERKUNG Weitere Informationen zu einer Versuchsdurchführung, Darstellung und Interpretation des DMT finden sich in CEN ISO/TS 22476-11.

4.10.4 Anwendung der Versuchsergebnisse und von abgeleiteten Werten

4.10.4.1 Tragfähigkeit und Setzung von Flachgründungen

(1)P Wenn die Tragfähigkeit von Flachgründungen auf Grund von DMT-Ergebnissen bewertet wird, muss ein analytisches Verfahren für die Bemessung benutzt werden.

(2) Wenn ein analytisches Verfahren angewendet wird, darf der abgeleitete Wert der undrÄnigten Scherfestigkeit (c_u) von nicht zementierten Tonen, fÄr die die DMT-Ergebnisse den Materialindex $I_{DMT} < 0,8$ ergeben, nach folgender Beziehung ermittelt werden:

$$c_u = 0,22 \sigma'_{v0} (0,5 K_{DMT})^{1,25} \quad (4.5)$$

Dabei ist

K_{DMT} der horizontale Spannungsindex oder jeder andere wohl dokumentierte Zusammenhang auf der Grundlage örtlicher Erfahrung.

ANMERKUNG EN 1997-1:2004, Anhang D enthÄlt Beispiele fÄr analytische Verfahren.

(3) Wenn ein angepasstes elastizitÄtstheoretisches Verfahren angewendet wird, darf die eindimensionale Setzung von FlachgrÄndungen mit Hilfe des eindimensionalen Tangentenmoduls (E_{oed}) berechnet werden, der aus DMT-Versuchsergebnissen ermittelt wurde. In feinkörnigem Boden sollte dieses Vorgehen nur angewendet werden, wenn die Summe aus dem wirksamen Überlagerungsdruck und dem Spannungszuwachs infolge der Fundamentbelastung geringer als die Vorbelastung ist.

ANMERKUNG 1 EN 1997-1:2004, Anhang F enthÄlt solch ein angepasstes Verfahren auf Grundlage der ElastizitÄtstheorie.

ANMERKUNG 2 In Anhang J wird ein Beispiel fÄr eine Setzungsermittlung gezeigt.

4.10.4.2 PfahltragfÄhigkeit

(1)P Wenn der Grenzwert des Eindringwiderstands von Druck- oder ZugpfÄhlen mit DMT-Ergebnissen abgeleitet wird, muss ein analytisches Rechenverfahren angewendet werden, um die Werte fÄr den Spitzenwiderstand und die Mantelreibung abzuleiten.

4.11 Belastungsversuch fÄr FlachgrÄndungen (PLT)

4.11.1 Zweck

(1) Der Zweck des Belastungsversuchs fÄr FlachgrÄndungen ist die Bestimmung der vertikalen Verformung und der Verformungseigenschaften von Boden und Fels in situ durch Aufzeichnung der Last und der dazugehÄrigen Setzung, wenn eine starre Platte, die ein Fundament nachbildet, den Baugrund belastet.

(2)P Der Belastungsversuch fÄr FlachgrÄndungen muss auf einer sorgfÄltig eingeebneten und ungestÄrten OberflÄche entweder des Baugrundes oder auf der Sohle einer Grube in einer bestimmten Tiefe oder auf der Sohle einer Bohrung mit groÄem Durchmesser, eines Erkundungsschachtes oder eines Stollens ausgefÄhrt werden.

(3) Der Versuch wird bei allen Bodenarten, AuffÄllungen und Fels angewendet. Normalerweise sollte er nicht bei sehr weichem, feinkörnigem Boden benutzt werden.

4.11.2 Besondere Anforderungen

(1)P Der Versuch muss in Übereinstimmung mit EN ISO 22476-13 ausgefÄhrt und protokolliert werden.

(2)P Jede Abweichung von den Anforderungen der EN ISO 22476-13 muss begründet und besonders ihr Einfluss auf die Ergebnisse erlÄutert werden.

ANMERKUNG Abweichungen bestehen z. B. hinsichtlich der Abmessungen der Platte und der VersuchsdurchfÄhrung (stufenweise Belastung, konstante Verformungsgeschwindigkeit).

4.11.3 Interpretation der Versuchsergebnisse

(1)P Zusätzlich zu den Anforderungen in 4.2 müssen die Feldberichte und Versuchsberichte entsprechend EN ISO 22476-13 zu Interpretationszwecken benutzt werden.

4.11.4 Anwendung der Versuchsergebnisse und von abgeleiteten Werten

(1) Die Ergebnisse eines PLT dürfen zur Vorhersage des Verhaltens von Flachgründungen benutzt werden.

(2) Für die Ableitung geotechnischer Kenngrößen einer homogenen Schicht (für die Verwendung indirekter Verfahren für die Bemessung) sollte die Schicht unter der Platte eine Mächtigkeit von mindestens der zweifachen Breite oder des zweifachen Durchmessers haben.

(3) Die Ergebnisse eines PLT dürfen nur für direkte Bemessungsverfahren benutzt werden, wenn:

- die Maße der Platte unter Berücksichtigung der Breite der geplanten Gründung gewählt wurden (in diesem Fall werden die Beobachtungen direkt übertragen);
- eine homogene Schicht mit der Dicke bis zur zweifachen Breite der geplanten Flachgründung vorhanden ist (in diesem Fall werden die Ergebnisse von Platten mit geringeren Maßen — ohne Berücksichtigung der geplanten Fundamentbreite — dazu benutzt, die Ergebnisse auf empirischer Grundlage auf die tatsächlichen Gründungsabmessungen zu übertragen).

(4) Wenn ein analytisches Bemessungsverfahren für den Grundbruchwiderstand verwendet wird, darf die Kohäsion des undränierten Bodens (c_u) aus einem PLT abgeleitet werden, der mit einer konstanten Eindringgeschwindigkeit schnell genug ausgeführt wurde, um praktisch jede Entwässerung auszuschließen.

ANMERKUNG 1 EN 1997-1:2004, Anhang D enthält Beispiele für analytische Bemessungsverfahren für den Grundbruchwiderstand.

ANMERKUNG 2 In K.1 ist ein Beispiel für eine gebräuchliche Beziehung zur Festlegung des abgeleiteten Wertes von c_u angegeben.

(5) Wenn ein angepasstes elastizitätstheoretisches Verfahren für Setzungsberechnungen benutzt wird, darf der Elastizitätsmodul (E) aus dem Steifemodul (E_{PLT}) des Belastungsversuchs für Flachgründungen auf der Grundlage anerkannter Erfahrung abgeleitet werden.

ANMERKUNG 1 EN 1997-1:2004, Anhang F enthält solch ein angepasstes Verfahren auf Grundlage der Elastizitätstheorie zur Setzungsbewertung.

ANMERKUNG 2 In K.2 ist die Ermittlung des E_{PLT} dargestellt.

(6) Der Bettungsmodul (k_s) zur Berechnung von Verformungen darf aus Ergebnissen eines Versuches mit stufenweiser Belastung abgeleitet werden.

ANMERKUNG In K.3 ist ein Beispiel für die Berechnung von k_s dargestellt.

(7) Für direkte Bemessungen dürfen die Ergebnisse des PLT direkt auf das Gründungsproblem ohne die Verwendung irgendwelcher geotechnischer Kenngrößen übertragen werden.

(8) Setzungen von Streifengründungen in Sand dürfen mithilfe von PLT-Ergebnissen abgeleitet werden.

ANMERKUNG K.4 enthält ein Beispiel dafür.

5 Laborversuche für Boden und Fels

5.1 Allgemeines

(1)P Das Programm für die Laborversuche ist in Verbindung mit den anderen Teilen des Baugrunduntersuchungsprogramms aufzustellen (weitere Einzelheiten siehe Abschnitt 2).

(2) Bei der Auswahl von Proben für Versuche sollten so weit wie möglich die Informationen aus Feldversuchen und Sondierungen genutzt werden (siehe 2.4.1.3).

5.2 Allgemeine Anforderungen für Laborversuche

5.2.1 Allgemeine Anforderungen

(1) Die Anforderungen dieses Abschnitts sollten als Mindestanforderungen betrachtet werden.

(2) Je nach Baugrundbedingungen oder geotechnischer Fragestellung können zusätzliche Festlegungen, zusätzliche Anforderungen an die Darstellungen oder zusätzliche Bewertungen erforderlich sein.

(3)P Einzelheiten der Versuche, die zur Bestimmung der Entwurfparameter erforderlich sind, sind festzulegen.

5.2.2 Verfahren, Geräte und Darstellung

(1)P Die Versuche sind nach den bestehenden EN- und EN-ISO-Dokumenten durchzuführen. Gleiches gilt für die Erstellung der Versuchsberichte.

ANMERKUNG Für einige Laborversuche sind CEN ISO/TS-Dokumente vorhanden. Eine Reihe von EN-ISO-Dokumenten ist in Vorbereitung.

(2) Unter der Voraussetzung, dass die Anforderungen dieser Norm erfüllt werden, können auch andere Versuchsmethoden und Verfahren gewählt werden.

(3)P Es ist zu prüfen, dass das benutzte Laborgerät seinen Zweck erfüllt, einsatzfähig und kalibriert ist und die Kalibrierung den Anforderungen entspricht.

(4) Die Zuverlässigkeit der Geräte und des Versuchsverfahrens sollte überprüft werden, indem die Versuchsergebnisse mit Ergebnissen verglichen werden, die an vergleichbaren Boden- und Gesteinsarten erhalten wurden.

(5)P Die Versuchsverfahren und die Versuchsdurchführung sind zusammen mit den Versuchsergebnissen zu dokumentieren. Jede Abweichung vom Standardversuchsverfahren ist zu dokumentieren und zu begründen.

(6) Wenn es angebracht ist, sollten die Ergebnisse der Klassifikationsversuche zusammen mit dem Baugrundprofil in einer Zeichnung dargestellt werden, die die Benennung des Bodens und die Ergebnisse der Klassifikationsversuche zusammenfasst.

(7) Wenn möglich und erforderlich, sollten in der gleichen Zeichnung die Entnahmepunkte von Proben für andere Laborversuche (z. B. Oedometer- und Dreiaxialversuche) dargestellt werden.

5.2.3 Auswertung von Versuchsergebnissen

- (1) Die Anforderungen für die Auswertung von Laborversuchsergebnissen sind in 6.3 angegeben.
- (2) Die Ergebnisse von einzelnen Versuchen sollten mit den Ergebnissen anderer Versuche verglichen werden, um sicherzustellen, dass keine Widersprüche zwischen den zur Verfügung stehenden Daten bestehen.
- (3) Die Versuchsergebnisse sollten mit Werten aus der Literatur, mit Korrelationen, mit Ergebnissen von Klassifikationsversuchen und vergleichbaren Erfahrungen verglichen werden.

5.3 Vorbereitung von Bodenproben für Versuche

5.3.1 Zweck

- (1) Die Vorbereitung von Boden für Laborversuche dient der Herstellung von Probekörpern, die so repräsentativ wie möglich für den Boden sind, aus dem die Proben entnommen wurden.
- (2) Für die unterschiedlichen Fragestellungen kann zwischen fünf verschiedenen Arten der Probenherstellung unterschieden werden: gestörte, ungestörte, wiederverdichtete, aufgearbeitete sowie aufbereitete und rekonsolidierte Proben.

5.3.2 Anforderungen

5.3.2.1 Probenmenge

- (1)P Der Probekörper, der für Versuche genutzt wird, muss ausreichend groß sein, um
 - das Größtkorn in ausreichender Menge zu enthalten und
 - den natürlichen Eigenschaften wie der Struktur und der Textur (z. B. Diskontinuitäten) Rechnung zu tragen.

ANMERKUNG Mindestmengen für gestörten Boden für Klassifikationsversuche und Versuche an wiederverdichteten Proben werden im Anhang L angegeben. Die Mengen für Boden zur Herstellung von ungestörten Versuchskörpern für Versuche zur Ermittlung der Festigkeit und Zusammendrückbarkeit sind ebenso im Anhang L angegeben.

5.3.2.2 Behandlung und Bearbeitung

- (1)P Es sind die Anforderungen von EN ISO 22475-1 zu beachten.
- (2)P Alle Proben sind klar und eindeutig zu beschriften.
- (3)P Bodenproben sind gegen Beschädigung und Austrocknung und gegen übermäßige Temperaturwechsel zu schützen. Mit besonderer Vorsicht sollten ungestörte Proben behandelt werden, um Verformungen und Feuchtigkeitsverluste bei der Herstellung der Probekörper zu verhindern. Das Material der Probenbehälter darf nicht mit dem Boden chemisch reagieren.
- (4)P Wenn die Versuchsergebnisse durch Feuchtigkeitsverlust beeinflusst werden können, darf Boden vor dem Versuch nicht getrocknet werden.
- (5) Ungestörte Proben sollten unter Bedingungen kontrollierter Luftfeuchtigkeit bearbeitet werden. Wenn die Bearbeitung unterbrochen wird, sollten die Probekörper gegen Wassergehaltsänderungen geschützt werden.
- (6)P Bei der Bearbeitung von Proben ist ein Zerschneiden von Einzelkörnern zu vermeiden. Bei einer speziellen Behandlung von verkitteten und zementierten Böden ist die Bearbeitungsmethode festzulegen.

(7)P Die Methoden zur Probenteilung müssen sicherstellen, dass repräsentative Teile entstehen. Dabei ist zu vermeiden, dass große Bestandteile in den Teilproben ungleichmäßig verteilt werden.

5.4 Herstellung von Probekörpern aus Fels für Versuche

5.4.1 Zweck

(1) Ziel ist es, Probekörper aus Gestein herzustellen, die so repräsentativ wie möglich für die untersuchte Felsformation sind.

ANMERKUNG Die Anhänge T bis W und X.2 enthalten weitere Details über die Herstellung von Felsprobekörpern für Versuche und einige Empfehlungen.

5.4.2 Anforderungen

(1)P Es ist festzulegen, wie ein Probekörper aus Gestein herzustellen ist. Wenn diesen Festlegungen nicht entsprochen werden kann, sind die Probekörper so weitgehend wie möglich entsprechend den Festlegungen herzustellen und es ist zu dokumentieren, wie die Probekörper hergestellt worden sind.

(2)P Alle Geräte und Einrichtungen zur Gewährleistung der Geradheit, der Ebenheit und der Rechtwinkligkeit von Endflächen sind regelmäßig zu kontrollieren, wobei sie mindestens den Anforderungen im Hinblick auf die Toleranzen der einzelnen Versuche für Gestein entsprechen müssen.

(3)P Folgendes ist festzulegen:

- die Lagerungsbedingungen für Gesteinsproben (für mittelfristige und/oder langfristige Lagerung);
- die Feuchtigkeitsbedingungen der Probekörper zur Zeit des Versuchs;
- das Verfahren zur Herstellung von Probekörpern;
- das Verfahren zur Bestimmung der Abmessungen und der Formtoleranzen.

(4) AC P AC Jede Änderung des Wassergehalts sollte vermieden werden. Wenn eine Änderung des Wassergehalts auftreten sollte, ist deren Auswirkung — falls erforderlich — als Teil der Vorbereitung des Versuchs entgegenzuwirken.

(5) Der Grund und die Auswirkung jeder Änderung des Wassergehalts sollten dokumentiert werden.

(6)P Das Verfahren des Nachkernens auf bestimmte Abmessungen sollte in Bezug auf das Laborverfahren des Kernens, das verwendete Kühlmittel und die Erfordernis einer erneuten Sättigung des Probekörpers festgelegt werden.

(7) Mit den Messwerten und den Ergebnissen eines Versuchs sollte Folgendes aufgezeichnet und dokumentiert werden:

- die Herkunft des Probekörpers einschließlich der Ort der Entnahme und die Entnahmetiefe;
- Einzelheiten der Herstellung des Probekörpers und des Versuchs;
- Bemerkungen über die Repräsentativität des Probekörpers;
- alle Messungen der Größe und der Form einschließlich der Übereinstimmung mit den Anforderungen;
- der Wassergehalt der Probe / des Probekörpers (bei Probeneingang, während seiner Herstellung und nach der Sättigung);
- Bedingungen bei der Trocknung (Luft- oder Ofentrocknung, unter Druck oder unter Teilvakuum).

(8) Die folgenden Informationen über die Proben sollten für die Bewertung der Versuchsergebnisse angegeben werden:

- die Beschreibung des Probekörpers einschließlich der Gesteinsart (wie z. B. Sandstein, Kalkstein, Granit usw.), der Ort der Entnahme und die Orientierung von natürlichen Strukturen und sowie alle Arten von Diskontinuitäten, Einschlüssen oder Inhomogenitäten;
- eine Skizze des Probekörpers oder eine Farbfotografie für nicht gleichförmige, homogene Gesteinsarten;
- eine Angabe zum Kerngewinn und zum RQD (Rock Quality Designation), wenn möglich;
- Messergebnisse zum Nachweis der Toleranzprüfungen der Ebenheit der Elemente im Hinblick auf eine zylindrische Mantelfläche, die Ebenheit der Endflächen und die Rechtwinkligkeit der Endflächen im Bezug auf die Achse des Kerns.

5.5 Versuche zur Klassifikation, Benennung und Beschreibung von Boden

5.5.1 Allgemeines

(1)P Die Klassifikation, Benennung und Beschreibung von Boden sind in Übereinstimmung mit EN ISO 14688-1 und EN ISO 14688-2 vorzunehmen.

ANMERKUNG Der Anhang M liefert weitere Einzelheiten über die einzelnen Klassifikationsversuche und deren Bewertung sowie Empfehlungen zur Mindestzahl von Proben und Versuchen für eine Schicht.

5.5.2 Anforderungen für alle Klassifikationsversuche

(1) Bei allen Klassifikationsversuchen sollte besonderes Augenmerk auf die Wahl der Temperatur bei Ofentrocknung gelegt werden, da zu hohe Temperaturen einen schädlichen Einfluss auf die Messwerte haben können.

5.5.3 Bestimmung des Wassergehalts

5.5.3.1 Zweck und Anforderungen

(1) Zweck des Versuchs ist die Bestimmung des Wassergehalts eines Bodens. Der Wassergehalt ist definiert als das Verhältnis der Masse des freien Wassers zu der Masse des getrockneten Bodens.

(2) Probekörper, an denen der Wassergehalt bestimmt wird, sollten wenigstens die Güteklasse 3 nach 3.4 haben.

(3) Falls die Probe mehr als eine Bodenart enthält, sollten Wassergehalte an Probekörpern der unterschiedlichen Bodenarten bestimmt werden.

ANMERKUNG Weitere Informationen zur Durchführung, Darstellung und Auswertung der Wassergehaltsbestimmung finden sich in CEN ISO/TS 17892-1 (siehe X.4.1.2).

5.5.3.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

(1)P Bei nennenswerten Beimengungen von Gips, bei stark organischen Böden, bei Böden, deren Porenwasser gelöste Bestandteile enthält, und bei Böden mit geschlossenen Poren, die mit Wasser gefüllt sind, ist dies — falls erforderlich — bei der Auswertung der Versuchsergebnisse zu berücksichtigen.

(2) Es sollte überprüft werden, inwieweit der im Labor ermittelte Wassergehalt der Probe repräsentativ ist für den Wert in situ. Der Einfluss der Entnahmemethode, des Transports und der Behandlung, der Methode zur Herstellung des Probekörpers und der Laborumgebung sollte bei dieser Bewertung berücksichtigt werden.

(3) Für einen Boden nach (1)P ist eine Trocknungstemperatur von etwa 50 °C eher angebracht als die üblicherweise vorgeschriebenen (105 ± 5) °C, aber die Ergebnisse sollten mit Vorsicht bewertet werden.

5.5.4 Bestimmung der Dichte

5.5.4.1 Zweck und Anforderungen

(1) Der Versuch dient dazu, die Dichte eines Bodens einschließlich der eingeschlossenen Flüssigkeit und des Gases zu bestimmen.

(2) Die Probekörper sollten mindestens die Güteklasse 2 nach 3.4 haben.

(3)P Das verwendete Versuchsverfahren ist festzulegen.

ANMERKUNG Weitere Informationen zur Durchführung, Darstellung und Auswertung der Bestimmung der Dichte finden sich in CEN ISO/TS 17892-2 (siehe X.4.1.3).

5.5.4.2 Auswertung und Anwendung der Versuchsergebnisse

(1) Bei der Auswertung der Versuchsergebnisse sind mögliche Probenstörungen zu berücksichtigen.

(2) Bis auf den Fall von speziellen Entnahmemethoden ergibt die Bestimmung der Dichte von grobkörnigen Böden im Labor in der Regel nur eine Näherung.

(3) Die Dichte kann verwendet werden, um die Bemessungswerte der Einwirkungen des Bodens festzulegen und die Ergebnisse anderer Laborversuche auszuwerten.

(4) Die Dichte kann ebenso dazu verwendet werden, um andere Parameter des Bodens zu bestimmen. So kann z. B. die Trockendichte des Bodens berechnet werden in Verbindung mit dem Wassergehalt.

5.5.5 Bestimmung der Korndichte

5.5.5.1 Zweck und Anforderungen

(1) Ziel des Versuchs ist es, mit einer konventionellen Methode die Dichte der festen Bestandteile des Bodens zu bestimmen.

(2)P Bei der Wahl des Versuchsverfahrens ist die Bodenart zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Weitere Informationen zur Durchführung, Darstellung und Auswertung der Bestimmung der Korndichte finden sich in CEN ISO/TS 17892-3 (siehe X.4.1.4).

5.5.5.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

(1)P Wenn für eine Bodenschicht die gemessenen Werte für die Korndichte nicht innerhalb des normalerweise erwarteten Bereichs von 2 500 kg/m³ bis 2 800 kg/m³ fallen, sind die Mineralogie des Bodens, seine organischen Bestandteile und seine geologische Herkunft zu überprüfen.

5.5.6 Bestimmung der Korngrößenverteilung

5.5.6.1 Zweck und Anforderungen

(1) Ziel des Versuchs ist es, den Prozentsatz der Masse der einzelnen Korngrößenbereiche in einem Boden zu bestimmen.

ANMERKUNG Weitere Informationen zur Durchführung, Darstellung und Auswertung der Bestimmung der Korngrößenverteilung finden sich in CEN ISO/TS 17892-4 (siehe X.4.1.5).

(2)P Je nach Größe der Körner sind zwei Methoden zur Bestimmung der Korngrößen anzuwenden:

- die Siebung für Korngrößen $> 63 \mu\text{m}$ (oder entsprechend dem Sieb mit der nächstgelegenen Maschenweite);
- die Sedimentationsanalyse für Korngrößen $\leq 63 \mu\text{m}$ (oder entsprechend einem Sieb mit einer der am nächsten liegenden Maschenweite), bei der ein Aräometer oder eine Pipette verwendet wird.

(3) Es können auch gleichwertige Methoden verwendet werden, vorausgesetzt, sie sind gegenüber den zwei in (2)P beschriebenen Methoden geeicht.

(4)P Vor einer Sedimentationsanalyse dürfen die Proben des feinkörnigen Bodens nicht getrocknet werden.

(5) Falls erforderlich, sind vor der Siebung oder Sedimentation Verfahren zum Entfernen von organischen Bestandteilen, Salzen oder Karbonaten einzusetzen oder bei der Auswertung Korrekturen durchzuführen, um den Einfluss von Karbonaten, Salzen und organischen Bestandteilen zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Karbonate und organische Bestandteile können zur Zementierung oder Koagulation führen und damit die Korngrößenverteilung beeinflussen.

(6) Es sollte berücksichtigt werden, dass für einige Böden, z. B. für kalkige Böden, eine Behandlung zur Beseitigung von Karbonaten unzweckmäßig ist.

5.5.6.2 Auswertung und Anwendung der Versuchsergebnisse

(1)P Der Versuchsbericht hat Folgendes zu dokumentieren:

- die verwendete Trocknungsmethode;
- ob und mit welcher Methode organische Bestandteile, Salze und Karbonate entfernt wurden;
- gegebenenfalls der Anteil von Karbonaten und/oder organischen Bestandteilen;
- ob die Massenanteile angegeben werden bezogen auf die Gesamtmasse (einschließlich von Karbonaten und organischen Bestandteilen).

(2) Die Korngröße, bei der n % der Gewichtsanteile kleiner sind, kann mit D_n bezeichnet werden. Die Korngrößen D_{10} , D_{30} und D_{60} können bei der Bestimmung der Ungleichförmigkeitszahl und der Krümmungszahl verwendet werden.

(3) Die Korngrößen D_{15} und D_{85} können bei den Filterkriterien für Boden verwendet werden.

5.5.7 Bestimmung der Konsistenzgrenzen

5.5.7.1 Zweck und Anforderungen

(1) Die Konsistenzgrenzen (Atterberg'sche Grenzen) umfassen die Fließgrenze, die Ausrollgrenze und die Schrumpfgrenze. Hier wird nur die Bestimmung der Fließgrenze und der Ausrollgrenze behandelt.

(2) Die Konsistenzgrenzen werden verwendet, um das Verhalten von Tonen und schluffigen Böden bei der Änderung des Wassergehalts zu charakterisieren. Die Klassifikation von Tonen und schluffigen Böden beruht in erster Linie auf den Konsistenzgrenzen.

(3)P Die Versuchsmethode, die zur Bestimmung der Fließgrenze verwendet wird (Fallkegel oder Casagrande-Gerät), ist festzulegen.

(4) Bei der Bestimmung der Fließgrenze ist im Allgemeinen die Fallkegelmethode gegenüber der Casagrande-Methode vorzuziehen. Speziell für Böden mit geringer Plastizität gibt der Fallkegel zuverlässigere Ergebnisse.

(5) Die Probekörper sollten mindestens die Güteklasse 4 nach 3.4 haben, wenn die Versuchsergebnisse alle Bodenarten in einer Schicht charakterisieren sollen.

ANMERKUNG Weitere Informationen zur Durchführung, Darstellung und Auswertung der Bestimmung der Konsistenzgrenzen finden sich in CEN ISO/TS 17892-12 (siehe X.4.1.6).

5.5.7.2 Auswertung und Anwendung der Versuchsergebnisse

(1) Aus Korrelationen mit der Fließ- oder Ausrollgrenze können unterschiedliche geotechnische Eigenschaften, z. B. die Zusammendrückbarkeit oder der optimale Wassergehalt, abgeleitet werden.

(2) Die Plastizitätszahl I_p wird aus der Fließgrenze und der Ausrollgrenze ermittelt. I_p kann zur Klassifikation von Böden und über Korrelation zur Bestimmung einiger geotechnischer Eigenschaften wie z. B. der Festigkeit verwendet werden.

(3) Die Konsistenzzahl I_C (oder der Liquiditätsindex I_L) kann aus der Fließgrenze und der Ausrollgrenze sowie dem aktuellen Wassergehalt des Bodens berechnet werden. Sie kann verwendet werden, um die Zustandsform eines Bodens zu beschreiben und um über Korrelationen einige geotechnische Eigenschaften zu bestimmen.

(4) Die Aktivitätszahl I_A kann aus der Plastizitätszahl I_p und dem prozentualen Anteil der Tonpartikel ermittelt werden. I_A kann verwendet werden, um einen Boden zu klassifizieren und über Korrelationen unterschiedliche geotechnische Eigenschaften z. B. die Scherfestigkeit des Bodens zu bestimmen.

5.5.8 Bestimmung der Lagerungsdichte von grobkörnigen Böden

5.5.8.1 Zweck und Anforderungen

(1) Die Lagerungsdichte setzt die Porenzahl einer Bodenprobe ins Verhältnis zu Vergleichswerten, die durch Standardlaborversuche ermittelt werden. Sie ergibt einen Indexwert über den Zustand der Verdichtung eines unbehindert entwässernden, grobkörnigen Bodens.

(2)P Folgendes ist festzulegen oder zu überprüfen:

- die Menge und die Qualität der Proben;
- das verwendete Versuchsverfahren;
- die Herstellung der einzelnen Probekörper.

(3) Der untersuchte Boden sollte weniger als 10 % Feinbestandteile enthalten (Bestandteile < 0,063 mm) und weniger als 10 % Kies (Bestandteile > 2 mm).

(4)P Ergebnisse von Versuchen zur Bestimmung der Lagerungsdichte sind zusammen mit den Ergebnissen der Versuche zur Korngrößenverteilung, dem Wassergehalt, der Korndichte und ggf. dem Prozentsatz des Überkorns zu dokumentieren. Alle Abweichungen im Hinblick auf (3) sind zu dokumentieren.

ANMERKUNG Weitere Informationen zur Durchführung, Darstellung und Auswertung der Bestimmung der Lagerungsdichte finden sich in X.4.1.7.

5.5.8.2 Auswertung und Anwendung der Versuchsergebnisse

(1) Bei der Auswertung der Lagerungsdichten sollte berücksichtigt werden, dass die dichteste und lockerste Lagerung, die im Laborversuch ermittelt wird, nicht unbedingt die Grenzwerte der Dichte in der Natur darstellen müssen. Darüber hinaus ist im Allgemeinen festzustellen, dass die Versuchsergebnisse eine große Streuung der Dichte aufweisen.

(2) Die Lagerungsdichte kann verwendet werden, um die Scherfestigkeit und die Zusammendrückbarkeit von grobkörnigen Böden zu charakterisieren.

5.5.9 Bestimmung der Zerfallsempfindlichkeit

5.5.9.1 Zweck

(1) Zweck des Versuchs ist es, die Zerfallsempfindlichkeit von tonigen Böden festzustellen. Versuche zur Zerfallsempfindlichkeit werden an tonigen Böden in erster Linie im Hinblick auf Erddämme, Dichtungen und andere Bauwerke durchgeführt, die in Kontakt mit Wasser stehen.

(2) Vier Versuche werden behandelt (siehe M.7):

- Der Pinhole-Versuch: Dieser Versuch modelliert die Wirkung von Wasser, das durch einen Riss fließt.
- Der doppelte Aräometer-Versuch: Dieser Versuch vergleicht die Zerfallsempfindlichkeit von Tonpartikeln in Wasser ohne mechanische Durchmischung mit derjenigen, die man bei mechanischer Durchmischung und unter Zusatz eines Dispersionsmittels erhält.
- Der Krümelversuch: Dieser Versuch untersucht das Verhalten von Bodenkrümeln, die in eine Lösung von Natriumhydroxid gegeben werden.
- Die Bestimmung von löslichen Salzen im Porenwasser: Dieser Versuch ermöglicht eine Korrelation des prozentualen Natriumanteils zu den gesamten gelösten Salzen einer gesättigten Lösung.

5.5.9.2 Anforderungen

(1)P Folgendes ist festzulegen:

- die Lagerung der Proben, so dass sie vor dem Versuch nicht trocknen können;
- das Versuchsverfahren und
- die Herstellung des Probekörpers.

(2)P Die Ergebnisse der Versuche zur Zerfallsempfindlichkeit sind mit der Korngrößenverteilung und den Konsistenzgrenzen der Probe in Beziehung zu setzen.

(3) Beim Pinhole-Versuch sollten die Verdichtungsbedingungen des Probekörpers, ob z. B. auf der nassen oder trockenen Seite des optimalen Wassergehalts eingebaut wurde, und das zugegebene Wasser (z. B. destilliertes oder Wasser der Entnahmestelle) festgelegt werden.

(4) Beim doppelten Aräometer-Versuch kann ein dritter Versuch erforderlich werden, wenn es notwendig erscheint, den Einfluss des Wassers auf den suspendierten Boden zu untersuchen.

(5) Beim Krümelversuch kann die Verwendung von destilliertem Wasser zusätzlich zur Natriumhydroxidlösung sinnvoll sein.

5.5.10 Frostempfindlichkeit

5.5.10.1 Zweck

- (1) Die Frostempfindlichkeit von Böden spielt eine wesentliche Rolle beim Entwurf von Gründungen, bei denen die Gründungssohle über der Eindringtiefe des Frosts liegt.
- (2) Straßen, Landebahnen, Schienenwege und Bauwerke auf Flächengründungen, Pipelines und andere Bauwerke können bei gefrierendem frostempfindlichen Boden unter Wasserzutritt Frosthebungen ausgesetzt sein. Frostempfindlicher Boden kann in seinem natürlichen Zustand oder aufgefüllt als Gründung für Bauwerke verwendet werden.
- (3) Die Gefahr von Frosthebungen kann über Korrelationen mit Ergebnissen von Klassifikationsversuchen (Korngrößenverteilung, kapillare Steighöhe und/oder Feinanteil) oder mit Hilfe von Laborversuchen an natürlichen, wiederverdichteten und wiederkonsolidierten oder aufbereiteten Proben abgeschätzt werden.

ANMERKUNG Ein Beispiel findet sich in M.8 und X.5.

5.5.10.2 Anforderungen

- (1) Wenn die Frostempfindlichkeit nicht aufgrund von Klassifizierungsversuchen am Boden klar beurteilt werden kann, sollten Frosthebungsversuche im Labor durchgeführt werden. Organische Böden, Torf, salzhaltige Böden, künstliche Böden und grobe Böden mit einer weitgestuften Kornverteilungskurve gehören zu den Beispielen von Böden, die zusätzlich zu der Beurteilung über Korrelationen Laborversuche erfordern.
- (2) Zur Untersuchung der Frostempfindlichkeit eines Bodens in seinem natürlichen Zustand sollten natürliche Proben untersucht werden. Um die Frostempfindlichkeit von Auffüllungen abzuschätzen, sollten Versuche an wiederverdichteten und anschließend rekonsolidierten Probekörpern oder an aufbereiteten Probekörpern durchgeführt werden.
- (3) Der Frostempfindlichkeitsversuch im Labor ist ein Frosthebungsversuch. Wenn die Gefahr der Aufweichung beim Auftauen untersucht werden soll, sollte ein CBR-Versuch nach dem Auftauen des Probekörpers durchgeführt werden. Der wiederverdichtete oder aufbereitete Probekörper sollte einem oder mehreren Frost-Tau-Wechseln vor dem Versuch unterzogen werden.

5.5.10.3 Auswertung der Versuchsergebnisse

- (1) Die Versuchsergebnisse sollten in Abhängigkeit von der Bauaufgabe, den Bemessungsregeln und den vorliegenden Erfahrungen im Hinblick auf die Konsequenzen von Frosteinflüssen interpretiert werden.

5.6 Chemische Untersuchungen an Böden und Grundwasser

5.6.1 Generelle Anforderungen an chemische Untersuchungen

5.6.1.1 Geltungsbereich

- (1) Obwohl die genaue chemische Zusammensetzung des Bodens für bautechnische Fragestellungen in der Regel von begrenztem Interesse ist, kann das Vorhandensein von bestimmten chemischen Bestandteilen im Boden sehr bedeutsam sein, z. B. für die Dauerhaftigkeit von geotechnischen Bauwerken.
- (2) Chemische Standarduntersuchungen sind in bodenmechanischen Laboratorien in der Regel beschränkt auf den Gehalt an organischen Bestandteilen (Glühverlust, gesamter organischer Anteil, organische Bestandteile), den Kalkgehalt, den Sulfatgehalt, den pH-Wert (sauer oder basisch) und den Chloridgehalt. Die vorliegende Norm behandelt lediglich diese fünf Versuche.

ANMERKUNG 1 Der Anhang N enthält weitere Einzelheiten über jeden chemischen Versuch, seine Auswertung sowie weitere Hinweise.

ANMERKUNG 2 Es gibt weitere chemische Bestandteile, die auf Stahl und Beton sehr aggressiv wirken, z. B. Sulfide, Magnesium, Ammonium. Die entsprechenden chemischen Untersuchungen werden nicht in dieser Norm behandelt.

ANMERKUNG 3 Die Korrosionsempfindlichkeit von Stahlkonstruktionen im Boden wird in der Regel mit Hilfe von Messungen des elektrischen Widerstands und der Bestimmung des Redoxpotenzials (nicht in dieser Norm behandelt) sowie der pH-, Chlorid- und Sulfatbestimmungen ermittelt.

5.6.1.2 Zweck

(1) Die hier beschriebenen chemischen Versuche dienen dazu, den Boden zu klassifizieren und die schädigende Wirkung des Bodens und des Grundwassers auf Beton, Stahl und den Boden selbst zu beurteilen. Die Versuche sind nicht gedacht für Fragestellungen, die die Umwelt betreffen.

5.6.1.3 Anforderungen

(1)P Bei allen chemischen Versuchen ist Folgendes festzulegen:

- die zu untersuchenden Proben;
- die Zahl der zu untersuchenden Proben;
- die anzuwendenden Versuchsverfahren;
- Vorbehandlungen einschließlich der Behandlung des Überkorns (d. h. $D > 2$ mm);
- die Zahl der Versuche pro Bodenschicht und die Zahl der Wiederholversuche;
- die Zahl von Einzelversuchen zur Bestimmung des Mittelwerts;
- die Art der Darstellung im Versuchsbericht;
- die zusätzlich erforderlichen Klassifizierungsversuche für jeden Versuch oder eine Versuchsreihe.

(2)P Die vorgeschriebenen Verfahren zum Mischen und Teilen sind genau einzuhalten, um Fehler zu vermeiden.

(3) Gestörte Bodenproben können für chemische Versuche verwendet werden, allerdings müssen die Korngröße und der Wassergehalt repräsentativ für die Bedingung in situ sein (Güteklassen 1 bis 3).

(4) Zur Bestimmung des organischen Gehalts muss lediglich die Korngrößenverteilung repräsentativ sein (Güteklasse 4).

ANMERKUNG Die empfohlenen Untersuchungsverfahren sind im Anhang N zusammengestellt.

5.6.1.4 Auswertung der Versuchsergebnisse

(1)P Die Versuchsergebnisse sind zusammen mit der geologischen Beschreibung und den vorherrschenden Umweltbedingungen zu überprüfen.

(2)P Dabei sind für die gemessenen Parameter, soweit erforderlich, eingeführte Klassifizierungen zu berücksichtigen.

5.6.2 Bestimmung der organischen Anteile

5.6.2.1 Zweck

(1) Der Versuch zur Bestimmung des Anteils an organischen Bestandteilen dient zur Klassifizierung des Bodens. Im Boden mit wenig oder ohne Ton sowie ohne Kalk wird der Anteil an organischen Bestandteilen meistens aus dem Glühverlust bei einer kontrollierten Temperatur ermittelt. Andere geeignete Versuche können ebenso verwendet werden. So kann z. B. der Gehalt an organischen Bestandteilen aus dem Masseverlust durch Behandlung mit Wasserstoffperoxid (H_2O_2) bestimmt werden, mit der eine genaue Messung der organischen Bestandteile möglich ist.

(2) Organische Bestandteile können einen unerwünschten Einfluss auf das bautechnische Verhalten von Böden haben. Zum Beispiel werden durch organische Bestandteile die Tragfähigkeit reduziert und die Zusammendrückbarkeit sowie das Schwell- und Schwindpotenzial erhöht. Gas kann zu großen Sofortsetzungen führen und die Konsolidationsparameter und die Scherfestigkeit beeinflussen, die in Laborversuchen ermittelt wurden. Organische Bestandteile sind nachteilig bei der Stabilisierung von Böden im Straßenbau. Darüber hinaus haben sie in der Regel einen niedrigen pH-Wert und enthalten Sulfate, die einen schädigenden Einfluss auf Gründungen haben können.

5.6.2.2 Anforderungen

(1)P Folgendes ist zusätzlich zu den Anforderungen von 5.6.1.3 für jeden Versuch bzw. für jede Versuchsreihe festzulegen:

- die Trocknungstemperatur;
- die Glühtemperatur;
- die erforderlichen Korrekturen für das gebundene Wasser, Kalkgehalt usw.;
- der Faktor für die Umrechnung des Kohlenstoffgehalts in den Gehalt organischer Bestandteile.

(2)P Inhomogene Proben erfordern größere Probemengen und entsprechende Geräte. Es sind entsprechend große Tiegel zu verwenden.

(3)P Der Glühverlust ist als Prozentsatz des ursprünglichen Trockengewichts zusammen mit der Trocknungstemperatur, der Glühtemperatur sowie den Trocknungs- und Glühzeiten anzugeben.

(4)P Der Anteil an organischen Bestandteilen ist als Prozentsatz des ursprünglichen Trockengewichts zusammen mit dem Bestimmungsverfahren anzugeben.

5.6.2.3 Auswertung der Versuchsergebnisse

(1) In Ton und schluffigen Böden mit mittlerem Anteil an organischen Bestandteilen kann der Fehler bei der Korrektur für gebundenes Wasser oder für den Kalkanteil so groß sein, dass spezielle Untersuchungsverfahren notwendig werden.

5.6.3 Bestimmung des Kalkgehalts

5.6.3.1 Zweck

(1) Die Bestimmung des Kalkgehalts dient zur Klassifizierung natürlicher kalkhaltiger Böden und Gestein oder als Index zur Bewertung des Grads der Zementierung.

(2) Die Bestimmung des Kalkgehalts beruht auf der Reaktion mit Salzsäure, die Kohlendioxid freisetzt. Es wird in der Regel angenommen, dass als einziges Karbonat Calciumcarbonat ($CaCO_3$) vorhanden ist. Der Kalkgehalt wird aus dem Kohlendioxidgehalt ermittelt, das bei der Behandlung mit HCl freigesetzt wird.

5.6.3.2 Anforderungen

- (1)P Vor der Auswahl einer geeigneten Vorbehandlung ist der Boden visuell anzusprechen.
- (2) Falls erforderlich, können bei inhomogener Verteilung des Kalkgehalts in Boden oder Gestein zunächst große Proben verwendet werden. Repräsentative Proben können durch Brechen und Teilen hergestellt werden.
- (3)P Der Kalkgehalt wird in Prozent der ursprünglichen Trockenmasse angegeben.

5.6.3.3 Auswertung der Versuchsergebnisse

- (1)P Einige Karbonate, z. B. Dolomit, lösen sich möglicherweise nicht während der festgelegten Zeit in der standardisierten Salzsäurelösung. Bei Boden- oder Gesteinsarten, die solche Karbonate enthalten, sind spezielle Versuche erforderlich.

5.6.4 Bestimmung des Sulfatgehalts

5.6.4.1 Zweck

- (1) Der Versuch dient zur Bestimmung des Sulfatgehalts als Hinweis für mögliche schädliche Wirkungen des Bodens auf Stahl und Beton. Alle natürlich vorkommenden Sulfate sind mit wenigen Ausnahmen in Salzsäure löslich, einige sind in Wasser löslich.
- (2) Der Gehalt an säurelöslichen Sulfaten wird in den folgenden Abschnitten als Gesamtsulfatgehalt bezeichnet, um ihn vom Gehalt an wasserlöslichem Sulfat zu unterscheiden. Es ist wichtig zu erkennen, welcher der beiden Werte maßgebend ist.
- (3) Grundwasser, das gelöste Sulfate enthält, insbesondere Natrium- und Magnesiumsulfate, kann Beton und andere Materialien im Boden oder an der Geländeoberfläche angreifen. Die Klassifizierung von Boden und Grundwasser im Hinblick auf den Sulfatgehalt ist daher notwendig, um gegebenenfalls geeignete Vorsichtsmaßnahmen zu ergreifen.

5.6.4.2 Anforderungen

- (1)P Für jeden Versuch oder jede Versuchsreihe ist zusätzlich zu den in 5.6.1.3 aufgeführten Punkten festzulegen, ob säurelösliches oder wasserlösliches Sulfat in den Untersuchungen bestimmt werden soll.
- (2)P Bei inhomogenen Böden, die sichtbare Gipskristalle enthalten, sind große Probenmengen erforderlich, die gemahlen, gemischt und geteilt werden müssen, um repräsentative Probekörper zu erhalten. Eine visuelle Beurteilung ist erforderlich, bevor das geeignete Verfahren der Probenvorbereitung festgelegt wird.

5.6.4.3 Auswertung der Versuchsergebnisse

- (1)P Die Versuchsergebnisse sind als SO_3^{2-} oder SO_4^{2-} in Prozent der Trockenmasse oder in g/l anzugeben, abhängig davon, ob es sich um säure- oder um wasserlösliche Sulfate handelt.

5.6.5 Bestimmung des pH-Werts (Gehalt an Säure oder Basen)

5.6.5.1 Zweck

- (1) Der pH-Wert des Grundwassers oder eines Extrakts von Boden in Wasser ist zur Beurteilung im Hinblick auf einen übermäßig hohen Gehalt an Säure oder Basen erforderlich.

5.6.5.2 Anforderungen

(1)P Zusätzlich zu den allgemeinen Anforderungen an chemische Untersuchungen ist für jeden Versuch oder jede Versuchsreihe festzulegen,

- ob der Boden getrocknet werden muss oder nicht und
- wie groß das Verhältnis von Boden zu Wasser sein muss.

(2)P Zur Kalibrierung des pH-Meters sind Standardpufferlösungen zu verwenden.

(3)P Versuchsergebnisse sind als pH-Wert der Bodensuspension oder des Grundwassers anzugeben. Das Versuchsverfahren ist anzugeben.

5.6.5.3 Auswertung der Versuchsergebnisse

(1) Bei der Auswertung sollte berücksichtigt werden, dass bei einigen Böden die Messwerte durch Oxidation beeinflusst werden können.

5.6.6 Bestimmung des Chloridgehalts

5.6.6.1 Zweck

(1) Der Versuch dient zur Bestimmung des wasserlöslichen oder säurelöslichen Chloridanteils, um den Salzgehalt des Porenwassers oder des Bodens bewerten zu können. Die Ergebnisse geben einen Anhalt über die möglichen Einflüsse des Grundwassers auf Beton, Stahl und andere Baustoffe sowie Boden.

5.6.6.2 Anforderungen

(1)P Zusätzlich zu den in 5.6.1.3 aufgezählten Punkten ist für jeden Versuch oder für jede Versuchsreihe festzulegen,

- ob wasserlösliche oder säurelösliche Chloride zu bestimmen sind und
- ob der Boden zu trocknen ist oder nicht.

(2)P Nach dem Trocknen ist der Boden sorgfältig zu durchmischen, um alle Salze, die durch Migration eine Oberflächenverkrustung gebildet haben, wieder homogen zu verteilen.

5.6.6.3 Auswertung der Versuchsergebnisse

(1)P Der Chloridgehalt ist in g/l oder als Prozentsatz der Trockenmasse des Bodens anzugeben. Zum Versuchsverfahren ist anzugeben, ob wasserlösliche oder säurelösliche Chloride bestimmt worden sind.

5.7 Indexversuche zur Bestimmung zur Festigkeit von Böden

5.7.1 Zweck

(1) Indexversuche zur Bestimmung der Festigkeit dienen zur schnellen und einfachen Ermittlung der undrännierten Scherfestigkeit c_u von bindigen Böden.

(2) Diese Norm behandelt folgende Indexversuche:

- Laborflügelversuch und
- Fallkegelversuch.

5.7.2 Anforderungen

(1)P Die Versuche sind an ungestörten Probekörpern der Güteklasse 1 durchzuführen.

ANMERKUNG 1 Weitere Informationen zur Durchführung, Darstellung und Auswertung der Bestimmung der Scherfestigkeit von Böden finden sich in CEN ISO/TS 17892-6 (siehe X.4.3).

ANMERKUNG 2 Der Anhang O enthält Informationen über jeden der behandelten Indexversuche und eine Checkliste zur Durchführung der Versuche.

5.7.3 Anwendung der Versuchsergebnisse

(1) Es sollte bedacht werden, dass die ermittelten Werte für c_u die Kohäsion des undränierten Bodens des Bodens in seinem Zustand im Labor darstellen. Sie müssen nicht repräsentativ für die Kohäsion des undränierten Bodens des Bodens in situ sein.

(2) In Abhängigkeit von den Eigenschaften des Bodens und dem verwendeten Indexversuch sind die Versuchsergebnisse eine mehr oder weniger gute Annäherung an die Kohäsion des undränierten Bodens c_u .

(3) Indexversuche zur Bestimmung der Scherfestigkeit sollten bei der Bemessung nur verwendet werden, wo gut dokumentierte vergleichbare Erfahrungen mit ähnlichen Böden vorliegen.

(4) Wenn gut dokumentierte vergleichbare Erfahrungen vorliegen, kann die Kohäsion des undränierten Bodens von Indexversuchen bei der analytischen Ermittlung des Grundbruchwiderstandes nach EN 1997-1:2004, D.3 verwendet werden.

(5) Die Versuchsergebnisse können verwendet werden, um die Streuung der undränierten Scherfestigkeit innerhalb einer Schicht zu bestimmen.

5.8 Versuche zur Bestimmung der Festigkeit von Böden

5.8.1 Zweck und Anwendungsbereich

(1) Die Versuche werden zur Bestimmung der dränierten oder undränierten Scherparameter durchgeführt.

(2) Folgende Scherversuche werden behandelt:

- Einaxialer Druckversuch;
- unkonsolidierter, undränkter dreiaxialer Kompressionsversuch;
- konsolidierter, dreiaxialer Kompressionsversuch;
- Rahmenscherversuch und Kreisringscherversuch.

(3) Rahmenscherversuche und Kreisringscherversuche sollten verwendet werden, um Boden unter dränierten Bedingungen zu untersuchen.

ANMERKUNG Bei hohen Schergeschwindigkeiten muss man damit rechnen, dass sich bindige Böden mit geringer Durchlässigkeit in beiden Schergeräten undränert verhalten. Der Versuch gibt dann ein Maß für die Kohäsion des undränierten Bodens.

(4) In diesem Abschnitt werden nur Scherversuche behandelt, bei denen der Boden entweder voll gesättigt oder trocken ist.

5.8.2 Allgemeine Anforderungen

(1) Zur Bestimmung der Scherfestigkeit von Ton, Schluff und organischen Böden sollten ungestörte Proben (Güteklasse 1) verwendet werden. Für bestimmte Böden oder spezielle Anwendungen können auch Versuche mit aufbereiteten und konsolidierten Probekörpern oder mit Probekörpern aus aufbereitetem Material durchgeführt werden.

(2) Für Grobschluff und Sand können die Probekörper wiederverdichtet oder aufbereitet verwendet werden. Das Herstellungsverfahren ist mit besonderer Sorgfalt auszuwählen, um so gut wie möglich die für die Bemessung maßgebende Struktur und Dichte des Bodens herzustellen.

(3)P Für wiederverdichtete und aufbereitete Probekörper sind die Zusammensetzung, die Dichte und der Wassergehalt entsprechend den Bedingungen in situ und die Herstellungsmethode festzulegen.

(4)P Für Versuche zur Bestimmung der Scherfestigkeit ist Folgendes festzulegen oder auszuwerten:

- die Anzahl der erforderlichen Versuche,
- die Festlegung, aus welchem Teil der Probe die Probekörper genommen werden sollen,
- die erforderliche Güteklasse der Probe,
- die Herstellungsmethode des Probekörpers,
- die Orientierung des Probekörpers,
- die Art des Versuchs,
- die erforderlichen Klassifikationsversuche,
- gegebenenfalls die Konsolidierungsspannungen,
- gegebenenfalls die Zeitspanne der Belastungsstufen während der Konsolidation,
- die Schergeschwindigkeit,
- das Bruchkriterium,
- die Kriterien für die Beendigung des Versuchs (z. B. die Verformung, bei der der Versuch zu beenden ist),
- Akzeptanzkriterien (z. B. für Sättigung und Streuung),
- die Genauigkeit der Messungen,
- Darstellung der Versuchsergebnisse,
- alle Verfahren, die zusätzlich zu denen verwendet werden, die in der Bezugsnorm angegeben sind.

(5) Die Scherfestigkeit einer Probe ist aus mindestens drei Versuchen mit unterschiedlichen Konsolidationsspannungen zu bestimmen.

(6)P Bei der Ermittlung der Scherfestigkeit einer Bodenschicht ist Folgendes zu berücksichtigen:

- die Art des Abscherens;
- das Verfahren zur Herstellung der Probekörper;
- die Notwendigkeit für zusätzliche Klassifikationsversuche.

(7) Wenn Proben der Güteklasse 2 untersucht werden, sollten die Probestörungen bei der Auswertung des Versuchs berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Anhang P gibt Richtwerte für die Mindestzahl von Proben und Versuchen für eine Bodenschicht und darüber hinaus zusätzliche Informationen zum Versuch und zu seiner Auswertung.

5.8.3 Auswertung und Anwendung der Versuchsergebnisse

(1)P Die Darstellung der Versuchsergebnisse muss — soweit zutreffend und angebracht — Folgendes enthalten:

- die effektiven Spannungspfade;
- die Mohr'schen Kreise;
- die Spannungs-Dehnungs-Kurven;
- die Porenwasserdruck-Spannungskurven;
- die Porenwasserdruckparameter.

ANMERKUNG Eine lineare Extrapolation von Versuchsergebnissen kann falsche Werte für die Festigkeit des Bodens ergeben, da die Hüllkurve der Versagenszustände — speziell im Bereich von niedrigen Spannungen — in der Regel keine Gerade ist.

(2)P Der Spannungsbereich, für den die wirksamen Scherparameter bestimmt wurden, ist anzugeben.

(3) Es gibt eine Reihe von Verfahren zur Bestimmung der Spannungs-Dehnungs- und Festigkeitsparameter eines Bodens im Labor und im Feld. Wenn möglich, sollten die Ergebnisse von verschiedenen Versuchsverfahren bei der Auswertung der Versuchsergebnisse miteinander verglichen werden.

(4) Bei der Auswertung der Versuchsergebnisse sollte die Verformungsgeschwindigkeit berücksichtigt werden.

(5) (Dreiaxiale) Kompressionsversuche und direkte Scherversuche liefern allgemein anerkannte Scherparameter, die bei Standardnachweisverfahren verwendet werden können. Sie sind nicht notwendigerweise anwendbar bei anderen Berechnungsverfahren.

(6) Es sollte in Betracht gezogen werden, dass insbesondere einaxiale Druckversuche und unkonsolidierte undrännierte Kompressionsversuche nicht notwendigerweise die Kohäsion des undrännierten Bodens des Bodens in situ darstellen.

5.8.4 Einaxialer Druckversuch

5.8.4.1 Anforderungen

(1) Der einaxiale Druckversuch sollte an Probekörpern von Böden durchgeführt werden, die eine hinreichend geringe Durchlässigkeit haben, um undrännierte Bedingungen während des Versuchs zu gewährleisten.

(2) Unterbrechungen zwischen der Herstellung des Probekörpers und dem Versuch sollten vermieden werden, um Änderungen des Wassergehalts des Probekörpers zu vermeiden.

ANMERKUNG Weitere Informationen zur Durchführung, Darstellung und Auswertung der Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit finden sich in CEN ISO/TS 17892-7 (siehe X.4.4.1).

5.8.4.2 Auswertung und Anwendung der Versuchsergebnisse

- (1) Das Versuchsergebnis ist ein Näherungswert für die einaxiale Druckfestigkeit des untersuchten Bodens.
- (2) Die Kohäsion des undrännierten Bodens c_u kann bestimmt werden als die halbe einaxiale Druckfestigkeit.
- (3) Die wirksamen Spannungen im Probekörper können von den wirksamen Spannungen in situ abweichen. Aufgrund dieses Unterschieds entspricht das Versuchsergebnis nicht notwendigerweise der undrännierten Scherfestigkeit des Bodens in situ.

5.8.5 Unkonsolidierter undrännierter dreiaxialer Kompressionsversuch

5.8.5.1 Anforderungen

- (1)P Die Versuche sind so durchzuführen, dass keine Drainage des Probekörpers möglich ist.
- (2)P Während der Herstellung der Probekörper und während des Versuchs darf kein Wasser in die Probe gelangen (z. B. durch die Entwässerungsleitungen oder vom Aufnehmer für den Porenwasserdruck usw.).
- (3)P Der Wassergehalt vor und nach dem Versuch und die Dichte vor dem Versuch sind für jeden Probekörper zu bestimmen.

ANMERKUNG Weitere Informationen zur Durchführung, Darstellung und Auswertung der Bestimmung der Scherfestigkeit mit dem unkonsolidierten undrännierten dreiaxialen Kompressionsversuch finden sich in CEN ISO/TS 17892-8 (siehe X.4.4.2).

5.8.5.2 Auswertung und Anwendung der Versuchsergebnisse

- (1) Das Ergebnis des Versuchs ist die Kohäsion des undrännierten Bodens c_u des untersuchten Bodens.
- (2) Die wirksamen Spannungen können in dem Probekörper von den wirksamen Spannungen in situ abweichen. Aufgrund dieses Unterschieds muss das Versuchsergebnis nicht notwendigerweise der undrännierten Scherfestigkeit des Bodens in situ entsprechen.

5.8.6 Konsolidierter dreiaxialer Kompressionsversuch

5.8.6.1 Anforderungen

- (1)P Die Versuche sind mit ungestörten Bodenproben der Güteklasse 1 durchzuführen.

ANMERKUNG Weitere Informationen zur Durchführung, Darstellung und Auswertung der Bestimmung der Scherfestigkeit mit dem konsolidierten dreiaxialen Kompressionsversuch finden sich in CEN ISO/TS 17892-9 (siehe X.4.4.3).

- (2)P Zusätzlich zu den Anforderungen von 5.8.2 ist bei konsolidierten dreiaxialen Kompressionsversuchen Folgendes festzulegen oder auszuwerten:

- die Sättigungsmethode und das Sättigungskriterium;
- der erforderliche Gegendruck;
- alle Verfahren, die zusätzlich zu denen verwendet wurden, die in den Bezugsnormen angegeben sind (z. B. Schmierung von Endflächen, lokale Messung von Verformungen oder Porenwasserdruck).

- (3)P Bei konsolidierten undrännierten Dreiaxialversuchen sind die Anforderungen an die Messungen des Porenwasserdrucks und des totalen Spannungspaths beim Abscheren festzulegen.

(4)P Bei konsolidierten dränierten Versuchen sind die Anforderungen an das Volumenmessgerät und es ist der Spannungspfad beim Abscheren festzulegen.

(5)P Bei jedem Probekörper sind der Wassergehalt vor und nach dem Versuch und die Dichte vor dem Versuch zu bestimmen.

(6) Eine Bestimmung der Konsistenzgrenzen und der Korngrößenverteilung sollte für jede Serie von Dreiaxialversuchen einer Schicht durchgeführt werden.

(7)P Bei den Versuchen ist klar anzugeben, welche Art des Versuchs durchgeführt wurde, welche Scherparameter angegeben werden, die Schergeschwindigkeit und das Bruchkriterium, das der angegebenen Scherfestigkeit zugrunde liegt (z. B. maximale Hauptspannungsdifferenz, maximales Spannungsverhältnis).

(8)P Der Versuchsbericht sollte jede bekannte Abweichung vom Standardversuchverfahren angeben, z. B. beim Sättigungsgrad der Probekörper, beim Versuchsverfahren, bei der Zusammensetzung des Probekörpers.

(9) In Übereinstimmung mit 2.4.2.3 (4) ist die Notwendigkeit zu prüfen, ob die Verwendung weiterentwickelter neuerer Versuchsverfahren sinnvoll ist. Dazu gehören z. B. dreiaxiale Extensionsversuche, Einfachscherversuche, ebene (biaxiale) Kompressions- und Extensionsversuche und echte Dreiaxialversuche, Scherversuche einer vorgegebenen Bruchfläche, die alle die Möglichkeit von anisotroper statt von isotroper Konsolidation bieten.

5.8.6.2 Auswertung und Anwendung der Versuchsergebnisse

(1) Bei der Bewertung der Versuchsergebnisse sollte berücksichtigt werden, dass die Kohäsion des undränierten Bodens, die Porenwasserdruckparameter und die Spannungs-Dehnungsbeziehungen stärker durch Probenstörungen beeinflusst werden als die wirksamen Scherparameter.

ANMERKUNG Zuverlässige Spannungs-Dehnungsmoduln speziell für steife Böden können nur mit weiterentwickelten Versuchen mit speziellen Verfahren zur Messung von Dehnungen und axialen Kräften genau bestimmt werden (siehe 5.9).

(2) In Abhängigkeit von der Versuchsart wird die dränierte oder Kohäsion des undränierten Bodens bestimmt. Man erhält den wirksamen Reibungswinkel φ' und die wirksame Kohäsion c' oder die Kohäsion des undränierten Bodens c_u .

(3) Die Werte können sowohl in dränierten als auch undränierten Standsicherheitsnachweisen angewendet werden.

ANMERKUNG Siehe EN 1997-1:2004, Anhang D.

5.8.7 Konsolidierte direkte Scherversuche mit dem Kasten- und dem Kreisringschergerät

5.8.7.1 Anforderungen

(1)P Die Versuche sind mit ungestörten Bodenproben der Güteklasse 1 durchzuführen.

ANMERKUNG Weitere Informationen zur Durchführung, Darstellung und Auswertung der Bestimmung der Festigkeit mit dem Kasten- und dem Kreisringschergerät finden sich in CEN ISO/TS 17892-10 (siehe X.4.4.4).

(2)P Die Entnahmetiefe und Orientierung des Probekörpers sind zu berücksichtigen, um die Bedingungen in situ so gut wie möglich nachzubilden. In Rahmenscherversuchen und Kreisringscherversuchen wird der Bruch in einer annähernd horizontalen Ebene in der Mitte des Probekörpers erzwungen.

(3)P Porenwasserunterdrücke oder Porenwasserüberdrücke sind während des Abscherens zu vermeiden, da sie nicht gemessen und bei der Auswertung der Versuchsergebnisse nicht berücksichtigt werden können. Die Schergeschwindigkeit muss klein genug sein, damit Porenwasserdrücke abgebaut werden können.

5.8.7.2 Festlegungen und Anwendung von Ergebnissen

- (1) Die Ergebnisse von Kasten- und Kreisringscherversuchen repräsentieren die Festigkeit unter dränen Bedingungen. Die Ergebnisse sind der wirksame Reibungswinkel φ' und die wirksame Kohäsion c' (siehe Anmerkung in 5.8.1(3)).
- (2) Die Werte können in Standsicherheitsuntersuchungen verwendet werden.

ANMERKUNG Siehe EN 1997-1:2004, Anhang D.

5.9 Versuche zur Bestimmung der Zusammendrückbarkeit und der Verformungen von Böden

5.9.1 Allgemeines

- (1) Die Norm behandelt die Anforderungen für die Messungen von Verformungen von Böden im Dreiaxialgerät und im Oedometer.

5.9.2 Versuche zur Bestimmung der Zusammendrückbarkeit mit dem Oedometer

5.9.2.1 Zweck

- (1) Im Oedometer, in dem seitliche Verformungen des Probekörpers behindert werden, wird der Probekörper stufenweise axial belastet oder entlastet, wobei er axial dränen kann. Der Kompressions- und Schwellversuch im Oedometer und die Parameter, die das Sackungsverhalten bei einer Flutung des Bodens beschreiben, werden in dieser Norm behandelt.
- (2) Alternativ können Versuche mit kontinuierlicher Belastung (konstanter Verformungsgeschwindigkeit) durchgeführt werden.
- (3) Zweck des stufenweisen Kompressions- und Schwellversuchs ist es, die Parameter zur Zusammendrückung, Konsolidation und zum Schwellen eines Bodens zu bestimmen.
- (4) Die Aufgabe des Versuchs zur Bestimmung des Sackungsverhaltens ist es, die Zusammendrückungsparameter des Bodens im ungesättigten Zustand und zusätzlich das Sackungsverhalten bei der Flutung der Probe aufgrund des Zusammenbruchs der Kornstruktur zu bestimmen.

5.9.2.2 Anforderungen

- (1)P Zur Bestimmung der Zusammendrückbarkeit von Ton, Schluff oder organischen Böden müssen ungestörte Bodenproben (Güteklasse 1) verwendet werden.

ANMERKUNG Der Verformungsmodul bei kleinen Dehnungen (z. B. der Modul von Tonen bei Verformungen von weniger als 1 %) ist sehr empfindlich gegenüber Störungen während der Probeentnahme. Entsprechend 3.4.3(3)P sind besondere Entnahmegерäte und Verfahren zu verwenden (z. B. die Entnahme von Blockproben oder Kolbenentnahmegерäte mit feststehendem Kolben oder andere Methoden, die bekannterweise die besten Ergebnisse für die untersuchten Böden ergeben).

- (2)P Für wiederverdichtete Probekörper sind die Zusammensetzung, die Dichte und der Wassergehalt der Probekörper entsprechend den Bedingungen in situ und die Herstellungsmethode der Probekörper festzulegen.

(3)P Bei der Bestimmung der Zusammendrückbarkeit einer Bodenschicht sind folgende Punkte in Betracht zu ziehen:

- die vorhandenen Ergebnisse von Felduntersuchungen;
- vorhandene Messungen von Setzungen von benachbarten Bauwerken;
- Anzahl und Qualität der Proben;
- Anzahl und Art der Feldversuche;
- spezielle Überlegungen für sensitive und zementierte Probekörper;
- Herstellung der Probekörper;
- Orientierung der Probekörper;
- Bedarf an zusätzlichen Klassifikationsversuchen.

(4) Es ist zu prüfen, ob alternative Versuche zu den Oedometerversuchen mit stufenweiser Belastung, z. B. Versuche mit konstanter Verformungsgeschwindigkeit, durchgeführt werden sollten.

(5)P Die Vertikalspannung in der ersten Laststufe darf die wirksamen Vertikalspannungen in situ nicht überschreiten.

ANMERKUNG Z. B. ist bei entfestigenden Tonen eine Anfangsspannung von einem Viertel der wirksamen Spannung in situ angebracht.

(6) Beim Kompressionsversuch muss die höchste Laststufe deutlich über der maximalen wirksamen Vertikalspannung liegen, die in situ auftreten wird. Bei Schwellversuchen muss die Entlastung der Vertikalspannung im Versuch die Entlastung in situ nachbilden.

(7)P Bei Sackungsversuchen sind die Probekörper unter Berücksichtigung der bestehenden Kenntnisse über das Verhalten des Bodens bei Überflutung auszuwählen. Die bei der Überflutung des Probekörpers wirkenden Spannungen müssen dem Bereich der Vertikalspannungen in situ entsprechen.

ANMERKUNG 1 Weitere Informationen zur Durchführung, Darstellung und Auswertung der Bestimmung der Zusammendrückbarkeit finden sich in CEN ISO/TS 17892-5 (siehe X.4.5).

ANMERKUNG 2 Anhang Q gibt Richtwerte für die Mindestzahl von Proben und Versuchen für eine Bodenschicht und zusätzliche Informationen zum Versuch und dessen Auswertungen.

5.9.2.3 Auswertung und Anwendung der Versuchsergebnisse

(1) Die Ergebnisse des Oedometerversuchs können verwendet werden zur Einschätzung der Vorkonsolidierungsspannung von Tonen, organischen Böden und schluffigen Böden.

(2) Dabei sollte berücksichtigt werden, dass die Vorkonsolidierungsspannung stark durch Probenstörungen bei der Entnahme beeinflusst werden kann.

(3) Die am meisten verwendeten Werte zur Charakterisierung der Zusammendrückbarkeit sind der Steifemodul E_{oed} , der Koeffizient der Volumenänderung m_v , der Kompressionsbeiwert C_c und die Vorkonsolidierungsspannung σ'_p . Die Entlastung und Wiederbelastung können durch den Schwellbeiwert C_s beschrieben werden. Die Zahlenwerte für diese Parameter werden direkt von den entsprechenden Abschnitten der $\langle \text{AC} \rangle$ Versuchskurven $\langle \text{AC} \rangle$ abgeleitet.

(4) Kriechsetzungen können mit dem Beiwert C_α für die Sekundärkompression berechnet werden.

(5) Der Konsolidierungsbeiwert c_v kann mit Hilfe der eindimensionalen Konsolidationstheorie abgeleitet werden.

(6) Die Parameter in 5.9.2.3(3) können für einfache Berechnungen der Setzungen von Gründungen verwendet werden.

(7) Bei den Berechnungsverfahren zur Setzungsermittlung darf der Steifemodul E_{oed} verwendet werden.

ANMERKUNG Beispiele für Berechnungsmethoden sind in EN 1997-1:2004, F.1 und F.2 angegeben.

5.9.3 Dreiaxialversuche zur Bestimmung der Verformbarkeit

5.9.3.1 Zweck

(1) Dreiaxialversuche zur Bestimmung der Verformbarkeit von Böden dienen zur Ermittlung der Verformungsmoduln (Steifigkeitsparameter).

(2) In Abhängigkeit vom Belastungspfad können unterschiedliche Steifigkeiten ermittelt werden.

(3) In Abhängigkeit von den Drainagebedingungen kann ein dränierter oder undränkter Modul E' oder E_u bestimmt werden.

(4) Aufgrund der Nichtlinearität des Bodenverhaltens von Boden können unterschiedliche Moduln definiert werden, z. B. ein Tangenten- und/oder Sekantenmodul für unterschiedliche Spannungs- oder Dehnungsniveaus.

5.9.3.2 Anforderungen

(1)P Zur Bestimmung der Steifigkeit einer Bodenschicht sind ungestörte Bodenproben (Güteklasse 1) zu verwenden.

ANMERKUNG Die Verformungsmoduln von Böden bei kleinen Dehnungen (z. B. Modul für Dehnungen < als 1 %) sind sehr empfindlich gegenüber Störungen bei der Probeentnahme. Entsprechend 3.4.3 (3)P können besondere Entnahmegерäte und Methoden verwendet werden, z. B. Entnahme von Blockproben oder Entnahmegерäte mit festem Kolben oder andere Methoden, von denen bekannt ist, dass sie sehr gute Ergebnisse bei den zu untersuchenden Bodenarten ergeben.

(2)P Eine spezielle Messeinrichtung zur Messung von Spannungen und Dehnungen mit einer hohen Auflösung ist bei der Bestimmung der Steifigkeit bei Dehnungen unter 0,1 % zu verwenden.

ANMERKUNG Für die Bestimmung der Moduln bei kleinen Dehnungen können auch Verfahren verwendet werden, die auf der Ausbreitung von Scherwellen oder anderen dynamischen Methoden beruhen.

(3)P Bei der Bestimmung der Steifigkeitseigenschaften einer Bodenschicht sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- die Qualität der Proben;
- die Sensitivität, die Sättigung, der Konsolidierungszustand und die Zementierung des Bodens;
- die Herstellung des Probekörpers und
- die Orientierung des Probekörpers.

5.9.3.3 Auswertung und Anwendung der Versuchsergebnisse

(1) Die Steifigkeit eines Bodens kann beschrieben werden durch den Verlauf einer Kurve oder durch bekannte Werte, z. B. durch den elastischen Anfangs-Modul E_0 oder durch E_{50} , das ist der Modul bis zu einer Belastung von 50 % der maximalen Scherspannung.

(2) Die Moduln und Spannungs-Dehnungskurven von weichen, normal konsolidierten Böden können in einigen Fällen aus den Standarddreiaxialversuchen bestimmt werden.

5.10 Bestimmung der Verdichtung an Böden

5.10.1 Zweck

(1) Diese Norm behandelt den Proctorversuch und den CBR-Versuch (California Bearing Ratio).

ANMERKUNG Der Anhang R enthält eine Empfehlung über die Mindestzahl von Proben, die für eine Schicht zu untersuchen sind, und zusätzliche Informationen zum Versuch und seiner Auswertung.

5.10.2 Verdichtungsversuche

5.10.2.1 Zweck

(1) Der Proctorversuch dient der Bestimmung der Beziehung zwischen der Trockendichte und dem Wassergehalt unter festgelegten Verdichtungsbedingungen.

5.10.2.2 Anforderungen

(1)P Folgendes ist festzulegen oder zu überprüfen:

- die Behandlung von Böden mit Überkornanteil;
- die Behandlung von steifen bindigen Böden;
- die Vorbereitung des Probekörpers;
- der Versuchsablauf und die angewandte Verdichtungsarbeit und
- ob Geräte (Versuchszylinder und Fallgewicht) verwendet wurden, wie sie in der Norm festgelegt sind.

(2) Die Möglichkeit der Durchführung von Versuchen in situ anstelle der Laborversuche sollte bei bestimmten Bodenarten geprüft werden.

5.10.2.3 Auswertung und Anwendung der Versuchsergebnisse

(1)P Die Verdichtungseigenschaften des Bodens sind zusammen mit der Kornverteilungskurve und ggf. der Korrektur des Überkorns als Anteil der Trockenmasse zu dokumentieren.

(2) Der optimale Wassergehalt w_{opt} und die entsprechende maximale Trockendichte $\rho_{d,max}$, die mit der Verdichtung erreicht wurde, können verwendet werden, um den Verdichtungserfolg von verdichteten Schüttungen zu beurteilen.

5.10.3 California Bearing Ratio (CBR)-Versuch

5.10.3.1 Zweck

- (1) Der Versuch dient zur Bestimmung des CBR-Werts einer verdichteten oder ungestörten Bodenprobe.
- (2) Der CBR-Wert wird erhalten als Prozentzahl einer Standardbelastung entsprechend einer Standardeindringung, bei der ein zylindrischer Druckstempel mit einer Standardquerschnittsfläche in das Bodenmaterial gedrückt wird.

5.10.3.2 Anforderungen

- (1)P Folgendes ist festzulegen oder zu überprüfen:
- die Herstellungsmethode für jeden Probekörper;
 - wie viele Versuche in einer Versuchsreihe durchzuführen sind;
 - die Behandlung von Böden mit Überkorn ($D > 16$ mm);
 - die Zeit zum Abklingen der Wasseraufnahme der Probekörper;
 - ob der Probekörper geflutet werden muss;
 - ob beim Fluten der Probe das Schwellen gemessen werden muss;
 - die Auflast beim Fluten und während des Versuchs;
 - der Wassergehalt, bei dem die Probekörper vorbereitet werden;
 - die Trockendichte des Probekörpers oder die Verdichtungsarbeit;
 - ob Geräte (Zylinder und Fallgewicht) entsprechend dem Standard verwendet wurden;
 - ob der Versuch an einem oder beiden Enden des Probekörpers durchzuführen ist.

5.10.3.3 Auswertung der Versuchsergebnisse

- (1)P Die Ergebnisse des CBR-Versuchs sind zusammen mit der Kornverteilung und gegebenenfalls dem Überkorn als Anteil der Trockenmasse anzugeben.
- (2) Der CBR-Wert kann als Parameter für die Bemessung von flexiblen Straßendecken verwendet werden. Er kann auch angewandt werden, um die Festigkeit des Untergrunds für Straßen, Eisenbahnen und Flugfelder zu beurteilen.

5.11 Bestimmung der Durchlässigkeit an Böden

5.11.1 Zweck

- (1) Der Versuch dient zur Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwerts und/oder der Wasserleitfähigkeit bei wassergesättigtem Boden.

5.11.2 Anforderungen

(1)P Bei der Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwerts für eine Bodenschicht sind folgende Punkte zu beachten:

- bevorzugter Versuchstyp für die Bestimmung der Durchlässigkeit;
- Orientierung des Probekörpers;
- die Notwendigkeit von zusätzlichen Klassifizierungsversuchen.

ANMERKUNG Weitere Informationen zur Durchführung, Darstellung und Auswertung der Bestimmung der Durchlässigkeit finden sich in CEN ISO/TS 17892-11 (siehe X.4.7).

(2)P Abgestimmt auf die spätere Anwendung der Versuchsergebnisse ist Folgendes festzulegen:

a) bei Ton, Schluff und organischen Böden:

- die Spannungen, unter denen der Probekörper untersucht wird;
- das Kriterium für das Erreichen und Aufrechterhalten einer stationären Durchströmung;
- Richtung der Durchströmung des Probekörpers;
- hydraulischer Gradient, unter dem der Probenkörper zu untersuchen ist;
- die Notwendigkeit von Gegendruck und der erforderliche Grad der Sättigung;
- die Chemie der Flüssigkeit, mit der die Probe durchströmt wird;

b) in Sand und Kies:

- Lagerungsdichte, mit der der Probekörper herzustellen ist;
- der hydraulische Gradient, unter dem der Probekörper untersucht wird;
- Notwendigkeit für Gegendruck und der erforderliche Grad der Sättigung.

(3) Der hydraulische Gradient im Laborversuch sollte dem im Feld soweit als möglich entsprechen, es sei denn, infolge der speziellen Problemstellung ergeben sich andere Anforderungen.

(4)P Bei der Festlegung des hydraulischen Gradienten ist zu überprüfen, ob der Gradient beim Versuch und der Gradient in situ im Gültigkeitsbereich des Darcy'schen Gesetzes liegen.

(5) Im Versuchsbericht ist jede Abweichung vom Standardversuchsverfahren, z. B. Grad der Sättigung des Probekörpers, der Versuchsdurchführung, der Zusammensetzung des Probekörpers usw., anzugeben.

(6) Für Durchlässigkeitsversuche mit Ton, Schluff oder organischen Böden sollten nur Probekörper der Güteklasse 1 oder 2 verwendet werden.

(7) Bei Sand und Kies dürfen Probekörper der Güteklasse 3 und aufbereitete oder wiederverdichtete Bodenproben verwendet werden.

(8) Es sollte überprüft werden, ob der Einfluss der Volumenänderungen aufgrund von Konsolidation auf den Durchlässigkeitsbeiwert vernachlässigt werden kann.

ANMERKUNG Eine Empfehlung über die Mindestzahl von Bodenproben und Versuchen für eine Schicht wird im Anhang S zusammen mit zusätzlichen Informationen zum Versuch und seiner Auswertung gegeben.

5.11.3 Auswertung und Anwendung der Versuchsergebnisse

- (1) Bei der Auswertung sollte Folgendes berücksichtigt werden:
- wie weit die Randbedingungen (Sättigungsgrad, Fließrichtung, hydraulischer Gradient, Spannungen, Dichte und Schichtung, Umläufigkeit und Druckverlust im Filter und den Leitungen) die Versuchsergebnisse beeinflussen und
 - wie gut diese Randbedingungen die Situation in situ nachbilden.
- (2) Für nicht gesättigte Böden können sich erheblich kleinere Werte ergeben als diejenigen, die bei wassergesättigten Böden gemessen werden.
- (3) Es sollte geprüft werden, ob eine Temperaturkorrektur vorzunehmen ist.
- (4) Der Durchlässigkeitsbeiwert kann aus den Versuchsergebnissen unter der Annahme der Gültigkeit des Darcy'schen Gesetzes ermittelt werden.
- (5) Der Durchlässigkeitsbeiwert kann verwendet werden, um beim Entwurf von Baugruben und Erddämmen die Sickerwassermengen abzuschätzen, um die Durchführbarkeit von Grundwasserabsenkungsmaßnahmen zu beurteilen, um Spundwände zu bemessen und um Strömungsdrücke abzuschätzen usw.

5.12 Versuche zur Klassifikation von Fels

5.12.1 Allgemeines

- (1) Folgende Versuche werden in dieser Norm behandelt:
- Benennung und Beschreibung von Fels;
 - Wassergehalt;
 - Dichte und Porosität.
- (2) Die Klassifizierung bezieht sich auf die Einteilung von Fels in spezielle Gruppen oder Kategorien, die für spezielle Bauingenieurzwecke definiert sind. Die Klassifizierung berücksichtigt die mineralogischen Bestandteile, das Gefüge, die Verfestigung, die Gesteinsdichte, den Wassergehalt, die Porosität und die Gesteins- und Gebirgsfestigkeit.

ANMERKUNG Der Anhang U enthält weitere Einzelheiten und Empfehlungen zu Klassifizierungsversuchen.

5.12.2 Anforderungen für alle Klassifizierungsversuche

- (1)P Die Ergebnisse der Klassifizierungsversuche sind insgesamt zu beurteilen und mit den Bohrprotokollen, den entsprechenden geophysikalischen Aufzeichnungen, den Fotos der Kerne und vergleichbaren Erfahrungen zu vergleichen.
- (2) Die Boden- und Felsklassifikation (Gebirgsklassifikation) sollte mit den zur Verfügung stehenden geologischen Informationen verglichen werden, um ein ingenieurgeologisches Modell zu erstellen.
- (3) Wenn geologische Karten zur Verfügung stehen, sollten diese als Hilfe für die Klassifizierung von Fels (Gebirge) und Gestein verwendet werden.
- (4) Zur Absicherung der Beschreibung können die Berücksichtigung eines zweiten Gutachtens und die Nutzung von Vergleichsproben erforderlich sein.

5.12.3 Benennung und Beschreibung von Fels

5.12.3.1 Zweck und Anforderungen

(1) Die Benennung und Beschreibung von Fels und Gestein werden auf Grundlage der mineralischen Zusammensetzung, der maßgebenden Korngröße, der Genese, des Gefüges, der Verwitterung und anderer Merkmale durchgeführt. Die Beschreibung kann an Bohrkernen, an Handstücken oder am Gebirgsverband in situ erfolgen.

(2)P Die Laborversuche sind in Übereinstimmung mit EN ISO 14689-1 durchzuführen.

(3) Es können auch detailliertere Beschreibungen von Fels angewendet werden. Dann sollte Folgendes festgelegt werden:

- das Felsklassifizierungssystem (Gebirgsklassifikationen),
- die Notwendigkeit für vertiefte geologische Untersuchungen,
- Art und Umfang des Berichts.

(4) Die Benennung und Beschreibung von Fels und Gestein sind unabhängig von der Homogenität an allen Proben vorzunehmen, die im Labor angeliefert wurden, da die Klassifikation und Beschreibung des Fels die Vorgaben für alle Versuche sowie die Festlegung der Kennwerte bilden.

5.12.3.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

(1) Die Klassifizierung und Beschreibung des Fels an Bohrkernen sollten auf Grundlage des höchstmöglichen Kerngewinns durchgeführt werden, um Diskontinuitäten und Hohlräume zu identifizieren.

(2) Die Störung der Kerne durch den Bohrvorgang sollte ausgewertet werden, da sich die meisten Klassifizierungssysteme bei der Bestimmung der Felsqualität (Gebirgsqualität) auf die Klüfte und ihre Qualität beziehen.

5.12.4 Bestimmung des Wassergehalts

5.12.4.1 Zweck und Anforderungen

(1)P Mit Ausnahme der unter 5.12.4.2(2) genannten Gesteine ist der Wassergehalt von Gesteinen mit der Ofentrocknungsmethode bei (105 ± 5) °C zu bestimmen.

(2)P Falls erforderlich, ist festzulegen, wie der Wassergehalt während der Probennahme und der Lagerung konstant gehalten wird.

(3)P Folgendes ist festzulegen:

- die Auswahl der Proben für Versuche;
- die Lagerung im Labor vor der Versuchsdurchführung;
- die mögliche Aufsättigung von ausgetrockneten Proben mit Hilfe eines Vakuum-Sättigungs-Verfahrens;
- die Anzahl der Versuche je Schicht;
- die Anzahl der Versuche, die parallel zu anderen Versuchen der gleichen Felsformation durchgeführt werden;
- die Anzahl von durchzuführenden Genauigkeitskontrollen.

(4) Es sollten Proben mit einer Masse von wenigstens 50 g oder Kernstücke mit Abmessungen von der 10fachen Größe des größten Korns verwendet werden.

(5)P Im Versuchsbericht muss erwähnt werden, ob der Wassergehalt dem Wassergehalt in situ entspricht.

ANMERKUNG Da bislang noch keine ISO/CEN-Normen für Versuche an Gesteinproben zur Verfügung stehen, können Verfahren angewendet werden, die in U.3 und X.4.9.2 angegeben werden.

5.12.4.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

(1) Die Ergebnisse der Wassergehaltsbestimmung sollten mit dem Wassergehalt bei voller Sättigung verglichen werden, der von der Dichte (oder Porosität des Probekörpers) abhängt. Ungewöhnliche Versuchsergebnisse sollten durch wiederholte Versuche überprüft werden.

(2) Gesteinsarten mit nennenswertem Anteil von Gips sollten bei 50 °C untersucht werden, da das gebundene Wasser bei 105 °C teilweise ausgetrieben wird.

(3) Bei Gesteinsarten, bei denen das Porenwasser gelöste Salze enthält, oder bei Gesteinsarten mit geschlossenen Poren sollte dies bei der Auswertung des Wassergehalts berücksichtigt werden.

(4) Der Wassergehalt sollte korreliert werden mit der Festigkeit und den Verformungseigenschaften von Felsformationen in Bohrloch und Feldversuchen.

(5) Vergleiche mit verfügbaren Korrelationen zwischen Wassergehalt und Gesteinsart sollten durchgeführt werden.

5.12.5 Bestimmung der Dichte und Porosität

5.12.5.1 Zweck und Anforderungen

(1) Im Versuch wird die Feucht- und Trockendichte bestimmt, um die Porosität und daraus abgeleitete Eigenschaften einer Felsprobe zu ermitteln. Die Feucht- und Trockendichte wird ermittelt auf Grundlage von Wägungen, die voraussetzen, dass eine zuverlässige Bestimmung des Volumens der Probe vorliegt.

(2) Das Volumen der Poren kann auf Grundlage der Trockendichte und der Korndichte berechnet werden, die mit den für Böden geltenden Methoden bestimmt werden, unter der Voraussetzung, dass keine geschlossenen Poren in dem Gesteinsprobekörper vorhanden sind. Die Porosität ist das Verhältnis des Porenvolumens zum Gesamtvolumen.

(3)P Folgendes ist festzulegen:

- die Auswahl der Proben für die Versuche;
- die Lagerungsbedingungen vor dem Versuch;
- ob ausgetrocknete Proben wieder zu sättigen sind und mit welcher Technik;
- die Anzahl der Versuche je Felsformation;
- ob parallel dazu noch andere Versuche für die gleiche Felsformation durchzuführen sind.

(4) Es ist ein Probekörper zu untersuchen, der eine Masse von mindestens 50 g und Mindestabmessungen von der 10fachen Größe des Größtkorns aufweist.

ANMERKUNG Da zurzeit noch keine ISO-CEN-Norm für Versuche an Gesteinsproben zur Verfügung steht, können Labormethoden entsprechend den Anforderungen des Anhangs U.4 und der Literatur von Anhang X.4.9.3 angewendet werden.

5.12.5.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

(1) AC gestrichener Text AC Die Dichte und Porosität sollten Bestandteil des Berichts über die Beschreibung des Gesteins und der bekannten Festigkeits- und Verformungseigenschaften der Felsformationen in Bohrlöchern und auf Versuchsgeländen sein.

(2) Die Dichte und Porosität sollten genutzt werden für Vergleiche der Festigkeit und der Verformungseigenschaften von Gestein und, um Korrelationen für verschiedene Gesteinsarten aufzustellen.

(3) Das Vorhandensein von geschlossenen Poren kann die Porosität beeinflussen. Die Bestimmung des gesamten Porenvolumens sollte auf Grundlage der Dichte der festen Bestandteile einer gemahlten Probe erfolgen.

ANMERKUNG Weitere Informationen zur Durchführung, Darstellung und Auswertung der Bestimmung der Dichte und Porosität finden sich in CEN ISO/TS 17892-3 (siehe X.4.9.3).

5.13 Quellversuche^{N1)} an Gestein

5.13.1 Allgemeines

(1) Diese Norm behandelt folgende Versuche zur Bestimmung des Quellpotenzials von Gestein, das der Befeuchtung und Austrocknung oder Entlastung in feuchter Umgebung ausgesetzt ist:

- Quelldruckindex bei konstantem Volumen;
- Quelldehnungsindex bei radial behinderter Dehnung des Probekörpers und axialer Belastung;
- Quelldehnung bei unbehinderter Dehnung des Probekörpers.

ANMERKUNG Einige Gesteinsarten, insbesondere solche mit hohem Tonanteil, neigen zum Quellen, zum Aufweichen und zum Zerfall, wenn sie angefeuchtet, getrocknet oder unter Wasser entlastet werden. Die Indexversuche dienen zur Klassifizierung der Quelleigenschaften unter genau definierten Bedingungen. Die Versuche werden in der Regel mit weicheren Gesteinsarten wie Tonschiefer und Schiefer durchgeführt. Die Versuche können verwendet werden, um festeren Fels, der der Verwitterung ausgesetzt ist, zu charakterisieren.

(2) Gestein, das während des Versuchs zerfällt, sollte mit den entsprechenden Klassifikationsversuchen für Böden weiter klassifiziert werden, wie z. B. der Schrumpfgrenze, der Fließ- und Ausrollgrenze, der Kornverteilung und dem Typ und Anteil von Tonmineralien.

ANMERKUNG Weitere Einzelheiten für die einzelnen Quellversuche und ihre Interpretation sowie einige Hinweise sind im Anhang V enthalten.

N1) Nationale Fußnote: In der EN 1997-2 wird nicht wie im Deutschen zwischen den beiden Prozessen des *Schwellens* und des *Quellens* unterschieden. Der englische Sammelbegriff *Swelling* wurde in 5.13 mit *Quellen* übersetzt.

5.13.2 Allgemeine Anforderungen

(1) Die Probekörper sollten soweit wie möglich den für rechtwinklige Zylinder oder rechtwinklige Prismen empfohlenen Verfahren entsprechen. Die Größe der Proben muss die Herstellung von Probekörpern durch Nachkernen bzw. durch Bearbeiten in einer Drehbank erlauben, wobei eine Achse zur Messung des Quellens senkrecht zur Schieferung bzw. Schichtung ist.

ANMERKUNG Empfehlungen für rechtwinklige Zylinder und Prismen siehe in X.4.8.

(2)P Folgendes ist festzulegen:

- die Auswahl der Proben für Versuche;
- die Herstellung der Probekörper, ihre Orientierung und ihre Abmessungen;
- die Anzahl der Versuche, die für eine Formation erforderlich sind;
- das Versuchsverfahren, das Gerät und die Eichung;
- das verwendete Wasser (natürlich oder destilliert, die Wasserchemie);
- die Beobachtungszeit;
- ob der Quelldruck oder die Verformung als eine Funktion der Zeit aufzutragen ist;
- die Auswahl der erforderlichen zusätzlichen Parameter;
- die Anforderungen an den Bericht.

5.13.3 Auswertung der Versuchsergebnisse

(1)P Die Versuchsergebnisse sind unter Einbeziehung der ingenieurgeologischen Ansprache zu überprüfen und die Klassifizierungsparameter sind festzulegen.

(2) Die Werte, die in der Bemessung verwendet werden, sollten verglichen werden mit Erfahrungen, die an vergleichbaren Felsarten unter ähnlichen Bedingungen, z. B. dem Klima, der Belastung und der Feuchtigkeit, ermittelt worden sind.

(3) Die kurz- und besonders die langfristigen Verwitterungsprozesse beim Quellen, des Aufweichens oder des Zerfalls aufgrund von Feuchtigkeit und Austrocknung können selbst für ähnliche Bedingungen im Hinblick auf die Belastung und den Wassergehalt wegen des Einflusses u. a. der natürlichen Klüftung, der Spannungen, der Entwässerung und der Chemie des Porenwassers nur zum Teil in Laborversuchen modelliert werden.

5.13.4 Bestimmung des Quelldruckindex bei konstantem Volumen

5.13.4.1 Zweck und Anforderungen

(1) Der Versuch dient dazu, den Druck zu bestimmen, der erforderlich ist, um eine Gesteinsprobe bei konstantem Volumen zu halten, wenn sie in Wasser getaucht wird.

(2) Der Versuch eignet sich zur Abschätzung des Quelldrucks in situ in Verbindung mit einem Vergleich mit dokumentierter Erfahrung für die Felsformation.

(3)P Der Probekörper muss mit einer Entnahmemethode der Kategorie A gekernt worden sein.

ANMERKUNG Der Versuch kann ausgeführt werden entsprechend den Empfehlungen in V.2.

5.13.4.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

(1)P Die zur Aufrechterhaltung des konstanten Volumens erforderliche Kraft ist zu korrigieren, um die Deformationen des Versuchsgeräts zu berücksichtigen (Lager und Biegung der Filtersteine).

(2) Der maximale Quelldruck bei konstantem Volumen sollte als oberer Grenzwert für den Quelldruck unter den spezifizierten Laborbedingungen verwendet werden.

(3) Bevor ein im Laborversuch bestimmter maximaler Quelldruck bei der Bemessung verwendet wird, sind Beobachtungen im Feld im Hinblick auf den kurzfristigen und langfristigen Verwitterungsprozess durch Quellen, Aufweichen oder Zerfall aufgrund von Befeuchtung und Trocknung in Betracht zu ziehen, wobei die Belastungsbedingungen, der Wassergehalt und die Porenwasserchemie zu beachten sind.

5.13.5 Bestimmung des Quelldehnungsindex bei radial behinderter Dehnung des Probekörpers unter axialer Belastung

5.13.5.1 Zweck und Anforderungen

(1) Der Versuch dient dazu, die axiale Quelldehnung zu bestimmen, die sich bei konstanter axialer Belastung einstellt, wenn der radial in seiner Dehnung behinderte Probekörper in Wasser getaucht wird.

(2)P Die Probekörper sind mit einer Entnahmemethode der Kategorie A zu kernen.

ANMERKUNG Der Versuch kann entsprechend den Empfehlungen in V.3 durchgeführt werden.

5.13.5.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

(1)P Die zur Aufrechterhaltung des konstanten Volumens erforderliche Kraft ist zu korrigieren, um die Deformationen des Versuchsgeräts zu berücksichtigen (Lager und Biegung der Filtersteine).

(2) Die axiale Quelldehnung bei konstanter Auflast sollte verwendet werden, um das Quellpotenzial in situ abzuschätzen, wobei dokumentierte Erfahrungen für die Felsformation berücksichtigt werden sollten.

(3) In Abhängigkeit von der Vertikalspannung liefert der Versuch Grundlagen für die Auswertung der vertikalen Hebung oder der seitlichen Verformung im Übergang zwischen Fels und Bauwerk.

5.13.6 Bestimmung der Quelldehnung bei unbehinderter Dehnung des Probekörpers

5.13.6.1 Zweck und Anforderungen

(1) Der Versuch dient dazu, die Quelldehnungen zu bestimmen, die sich in einem Probekörper bei unbehinderter Dehnung entwickeln, wenn er in Wasser getaucht wird.

(2)P Der Versuch ist nur an Probekörpern durchzuführen, die mit einer Entnahmemethode mindestens der Kategorie B entnommen wurden und deren Geometrie sich während des Versuchs nicht merklich ändert.

(3) Es ist empfehlenswert, zerfallendes, wenig beständiges Gestein besser im Quellversuch mit radial behinderter Dehnung zu untersuchen.

ANMERKUNG Der Versuch kann entsprechend den Empfehlungen in V.4 ausgeführt werden.

(4)P Der Versuchsbericht hat klar zum Ausdruck zu bringen, dass der Probekörper nicht radial während des Versuchs behindert war.

5.13.6.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

- (1) Der Versuch eignet sich zur Abschätzung des Quellpotenzials in situ in Verbindung mit einem Vergleich mit dokumentierter Erfahrung für dieselbe geologische Felsformation.
- (2) Die unbehinderte Quelldehnung und ihre Richtung in Bezug zur Schichtung oder Bänderung sollten nur als eine Abschätzung des Quellpotenzials in situ verwendet werden.

5.14 Bestimmung der Festigkeit von Gestein

5.14.1 Allgemeines

- (1) Die Norm enthält fünf Laborversuchsmethoden zur Bestimmung der Festigkeit von Gestein:
 - einaxialer Kompressions- und Verformungsversuch;
 - Punktlastversuch;
 - direkter Scherversuch;
 - Brazil-Test;
 - dreiaxialer Kompressionsversuch.

ANMERKUNG Der Anhang W enthält weitere Einzelheiten über die einzelnen Festigkeitsversuche und ihre Interpretation.

5.14.2 Anforderungen für alle Festigkeitsversuche

- (1)P Folgendes ist festzulegen:
 - die Proben, die zu untersuchen sind;
 - die Herstellung des Probekörpers;
 - die Anzahl der Versuche je Schicht;
 - weitere zusätzlich erforderliche Parameter;
 - die Versuchsmethoden.

ANMERKUNG Der Anhang W enthält Empfehlungen für die Mindestzahl an Versuchskörpern, die für eine Schicht beim einaxialen Kompressionsversuch, beim Brazil-Test und beim Dreiaxialversuch für Vorhaben der Geotechnischen Kategorie 2 zu untersuchen sind, wobei die Standardabweichung der Festigkeit und die vorliegenden Erfahrungen berücksichtigt werden.

5.14.3 Auswertung der Versuchsergebnisse

- (1) Bei der Auswertung der Versuchsergebnisse sollte ein Vergleich der vorhandenen Datensammlungen vorgenommen werden, um die Daten auf Anomalien hin zu überprüfen, wobei gleichzeitig der Bereich der Festigkeit und der Deformationsparameter des Gesteins belegt werden. Dabei sind auch Korrelationen mit den Ergebnissen von Klassifikationsversuchen einzubeziehen.
- (2) Alle Versuchsergebnisse sind zusammenzufassen und im Hinblick auf die geologische Beschreibung und die Klassifikationseigenschaften zu analysieren, wobei statistische Methoden verwendet werden, soweit es angebracht ist.
- (3) Die Werte können verwendet werden, um die Festigkeit und die Deformationseigenschaften in situ auszuwerten und Gesteins- und Gebirgseigenschaften zu klassifizieren.

5.14.4 Einaxialer Kompressions- und Verformungsversuch

5.14.4.1 Zweck und Anforderungen

- (1) Beim einaxialen Druckversuch werden die Druckfestigkeit, der Young'sche Verformungsmodul und die Poissonzahl eines zylindrischen Probekörpers aus Gestein ermittelt.
- (2) Der Versuch dient zur Klassifikation und zur Beschreibung von intaktem Gestein.
- (3)P Zusätzlich zu den Anforderungen von 5.14.2 ist Folgendes festzulegen:
 - die Orientierung der Probe und ihre Maße;
 - das Versuchsverfahren;
 - gegebenenfalls die Definition des Verformungsmoduls (Tangentenmodul, Durchschnitts- oder Sekantenmodul) und der Poissonzahl als eine Funktion der Spannung oder der Dehnung.
- (4)P Die Probekörper sind aus Kernen herzustellen, die mit der Entnahmemethode der Kategorie A entnommen wurden.
- (5) Empfehlungen für die Durchführung von einaxialen Kompressions- und Verformungsversuchen sollten angewendet werden.

ANMERKUNG Empfehlungen zur Durchführung solcher Versuche sind im Anhang W angegeben.

5.14.4.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

- (1) Die einaxiale Druckfestigkeit sollte bestimmt werden als die maximale Vertikalspannung, die während des Druckversuchs erreicht wird.
- (2) Der Verformungsmodul, der als das Verhältnis der axialen Spannungsänderung zur axialen Dehnung unter der entsprechenden Spannungsänderung definiert ist, sollte mit einer der drei folgenden Definitionen bestimmt werden:
 - der Tangentenmodul, der für eine bestimmte Spannung ermittelt wird (d. h. 50 % der Bruchspannung);
 - der Durchschnittsmodul für den linearen Bereich der Spannungs-Dehnungskurve;
 - der Sekantenmodul, der ermittelt wird vom Spannungs-Null-Punkt bis zu einer bestimmten Spannung (d. h. 50 % der Bruchspannung).
- (3) Die Poissonzahl sollte aus der Neigung der Kurve ermittelt werden, die sich bei der Auftragung der axialen Spannung über der radialen Dehnung ergibt.
- (4) Der Verformungsmodul und die Poissonzahl sollten für den gleichen Spannungsbereich ermittelt werden.
- (5) Die Versuchsergebnisse sollten im Hinblick auf die Felsklassifikation ausgewertet werden. Das Bruchbild des Probekörpers ist in einer Zeichnung zu skizzieren.
- (6) Die einaxiale Druckfestigkeit σ_C kann als Klassifizierungsparameter für die Qualität des intakten Gestein verwendet werden. In Verbindung mit den Ergebnissen von dreiaxialen Kompressionsversuchen kann sie verwendet werden, um die Mohr-Coulomb'schen Bruchparameter φ (Reibungswinkel) und c (Kohäsion) in einem Mohr'schen Diagramm zu bestimmen.

ANMERKUNG Der Verformungsmodul E und die Poissonzahl ν dürfen für Setzungsberechnungen nach EN 1997-1:2004, Anhang F verwendet werden.

5.14.5 Punktlastversuch

5.14.5.1 Zweck und Anforderungen

- (1) Der Punktlastversuch dient als Indexversuch zur Klassifizierung von Gestein. Der Versuch kann ebenso zur Abschätzung der Festigkeit einer Gruppe von Gesteinen mit gleicher Kompetenz (gleicher Festigkeit) herangezogen werden.
- (2) Der Punktlastversuch ermöglicht keine direkte Messung der Gesteinsfestigkeit, er ist vielmehr ein Indexversuch. Korrelationen zwischen den Ergebnissen von Punktlastversuchen und den Festigkeiten sind in jedem Fall zu dokumentieren.
- (3)P Zusätzlich zu den Anforderungen von 5.14.2(1)P sind die Versuchsverfahren im Hinblick auf Kerne, Blöcke und unregelmäßige Handstücke festzulegen.
- (4)P Die Probekörper sind aus Kernen herzustellen, die mit einer Entnahme der Kategorie A gewonnen wurden.
- (5) Probekörper von Blöcken und unregelmäßigen Handstücken aus Schürfen können verwendet werden, wenn dies entsprechend dokumentiert ist und die Probekörper mit einem Entnahmeverfahren der Kategorie B gewonnen wurden.
- (6) Empfehlungen für die Durchführung von Punktlastversuchen sollten angewendet werden.

ANMERKUNG Empfehlungen zu diesem Versuch sind in W.2 angegeben.

5.14.5.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

- (1)P Wegen der großen Streuung sind die Auswertung der Eigenschaften des Gesteins und die Angabe anderer Festigkeitsparameter auf Grundlage einer statistischen Auswertung durchzuführen. Aus den Versuchsdaten, die mindestens aus 10 Einzelversuchen bestehen, sind die zwei größten und die zwei kleinsten Werte auszusondern, bevor der Mittelwert aus den restlichen Versuchsergebnissen bestimmt wird.
- (2) Zur Klassifizierung von Proben oder Schichten mit dem Mittelwert von Punktlastversuchen sollten mindestens 5 Versuche vorliegen.
- (3) Im Versuch werden der Punktlast-Index an Gesteinskörpern sowie ihr Anisotropie-Index gemessen, der dem Verhältnis der Punktlast-Indizes in den Richtungen mit den größten und kleinsten Werten entspricht.

5.14.6 Direkter Scherversuch

5.14.6.1 Zweck und Anforderungen

- (1) Im direkten Scherversuch werden der Spitzenwert der Scherfestigkeit und die Restscherfestigkeit in Abhängigkeit von der Normalspannung auf der Scherfläche bestimmt.
- (2) Diese Norm regelt Laborversuche zur Bestimmung der Scherfestigkeitsparameter und der Eigenschaften von Trennflächen, die für die Scherfestigkeit maßgebend sind.
- (3) Bei der Bestimmung der Eigenschaften von Trennflächen, die für die Scherfestigkeit maßgebend sind, sollten die Art und die Rauigkeit der Trennfläche, der Typ und die Dicke des Füllmaterials und die Anwesenheit von Wasser in der Trennfläche beschrieben werden.

(4)P Zusätzlich zu den Anforderungen von 5.14.2(1)P ist Folgendes festzulegen:

- die Orientierung und die Abmessung des Probekörpers;
- die Anforderungen an das Versuchsgerät;
- die Verformungsgeschwindigkeit während des Versuchs;
- die Normalspannung, die während jedes einzelnen Teilversuchs aufzubringen ist.

(5)P Die Probekörper sind aus Kernen herzustellen, die mit einem Entnahmeverfahren der Kategorie A gewonnen wurden, oder aus Blöcken, die in Schürfen entnommen wurden, wobei mindestens eine Probeentnahme der Kategorie B verwendet wurde.

(6) Empfehlungen für die Durchführung von direkten Scherversuchen sollten angewendet werden.

ANMERKUNG Die Empfehlungen zur Versuchsdurchführung enthält W.3.

5.14.6.2 Auswertung von Versuchsergebnissen

(1) Die Auswertung der Versuchsergebnisse als Festigkeit in Abhängigkeit von der Spannung senkrecht zur Scherfläche sollte eine Untersuchung der Scherfläche enthalten. Dadurch lassen sich Schichtungen und Schieferungen, Klüfte im Probekörper, die Eigenschaften der Trennflächen zwischen Gestein und Beton oder andere untersuchte Einzelheiten berücksichtigen.

(2) Die Scherparameter φ (Reibungswinkel) und c (Kohäsion) werden auf Grundlage mehrerer Scherversuche an verschiedenen Probekörpern festgelegt, die aus einer Felsformation entnommen wurden, wobei das Mohr-Coulomb'sche Bruchkriterium zugrunde gelegt wird. Alternativ können die Parameter der Restscherfestigkeit aufgrund von Mehrfachversuchen unter unterschiedlichen Normalspannungen auf einer Bruchfläche ermittelt werden.

(3) In dem Versuch wird die Scherfestigkeit in einer erzwungenen Bruchfläche in Abhängigkeit von den senkrecht auf diese Bruchfläche wirkenden Spannungen ermittelt. Die maximale Festigkeit und die Restfestigkeit nach einer bestimmten Scherdeformation können ermittelt werden. Es ist üblich, die Scherfläche bewusst in eine bekannte Bruchfläche zu legen.

(4) Der Versuch dient zur Klassifizierung der Festigkeit und Beschreibung von intaktem und geklüftetem Fels. Die Ergebnisse sollten nicht ohne geologische Korrelationen und eine Felsklassifizierung für Feldbedingungen verwendet werden.

5.14.7 Brazil-Test

5.14.7.1 Zweck und Anforderungen

(1) Der Brazil-Test dient zur indirekten Messung der einaxialen Zugfestigkeit eines Probekörpers aus Gestein.

(2)P Zusätzlich zu den Anforderungen von 5.14.2(1)P ist Folgendes festzulegen:

- die Orientierung und die Abmessungen des Probekörpers;
- das Versuchsverfahren.

(3)P Die Streuung der Versuchsergebnisse dieser Versuchsverfahren erfordert jeweils zwei Versuche an Proben, die parallel geschnitten werden.

(4) Für Schiefer und andere anisotrope Gesteinsarten wird empfohlen, die Probekörper parallel und senkrecht zur Schichtung herauszuarbeiten. Für Probekörper, die parallel zur Schichtung entnommen wurden, ist die Belastungsrichtung im Verhältnis zur Schichtung festzulegen.

(5)P Die Probekörper sind aus Kernen herzustellen, die mit einer Entnahmemethode der Kategorie A gewonnen wurden.

(6) Empfehlungen für die Durchführung des Brazil-Tests sollten angewendet werden.

ANMERKUNG Empfehlungen zur Durchführung der Versuche enthält W.4.

5.14.7.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

(1) Bei der Auswertung der Zugfestigkeit sollte in Betracht gezogen werden, dass durch verborgene Schwächezonen im Probekörper das Ergebnis beeinflusst wird. Daher sollte die Bruchfläche nach dem Versuch untersucht und skizziert werden.

(2) Der Versuch ermöglicht eine indirekte Bestimmung der Zugfestigkeit σ_T in einer erzwungenen Bruchfuge.

(3) Die Zugfestigkeit σ_T kann als Klassifizierungsparameter für die Qualität von intaktem Gestein verwendet werden und um die Mohr'schen Scherparameter φ (Reibungswinkel) und c (Kohäsion) aus einem Mohr'schen Diagramm mit der zugehörigen maximalen Spannung σ_1 und den Mohr'schen Kreisen von einaxialen oder dreiaxialen Druckversuchen zu ermitteln.

(4) Der Versuch dient zur Festigkeitsklassifizierung und Beschreibung von intaktem Gestein. Die Versuchsergebnisse sollten nicht ohne geologische Korrelationen und ein Felsklassifizierungssystem für Feldbedingungen verwendet werden.

5.14.8 Dreiaxialer Kompressionsversuch

5.14.8.1 Zweck und Anforderungen

(1) Der dreiaxiale Kompressionsversuch dient dazu, die Festigkeit von zylindrischen Gesteinsproben zu ermitteln, die einer dreiaxialen Kompression ausgesetzt werden. Mehrere Versuche ermöglichen die Bestimmung der Mohr'schen Umhüllenden, aus der Reibungswinkel und Kohäsion bestimmt werden können.

ANMERKUNG In der Regel werden keine Vorkehrungen für die Drainage des Porenwassers oder für die Messung des Porenwasserüberdrucks getroffen. In einigen Felsarten (z. B. Schiefer, porösem Kalkstein und Kreide) kann unter bestimmten Bedingungen der Porenwasserdruck das Ergebnis beeinflussen. In solchen Felsarten sind weiterentwickelte Dreiaxialversuche notwendig, um den Porenwasserdruck und die volumetrischen Verformungen zu messen. Solche Versuchsverfahren können ähnliche Messtechniken erfordern, wie sie auch für die einaxiale Druckfestigkeit nach W.1 verwendet werden.

(2)P Zusätzlich zu den Anforderungen von 5.14.2(1)P sind die Orientierung und Abmessung des Probekörpers unter Berücksichtigung des Versuchsverfahrens festzulegen.

(3)P Die Probekörper sind aus Kernen herzustellen, die mit einer Entnahmemethode der Kategorie A gewonnen wurden.

(4) Empfehlungen für die Durchführung von dreiaxialen Kompressionsversuchen sollten angewendet werden.

ANMERKUNG Empfehlungen zur Versuchsdurchführung sind in W.5 enthalten.

5.14.8.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

(1) Ein Dreiaxialversuch besteht aus einer Reihe von Kompressionsversuchen, die mit unterschiedlichen Zeldrücken in einer Dreiaxialzelle durchgeführt wurden. Die Umhüllende der Wertepaare von Zeldruck und axialer Spannung beim Bruch kann verwendet werden, um die Mohr-Coulomb'schen Scherparameter φ (Reibungswinkel) und c (Kohäsion) zu bestimmen.

(2) Die Homogenität der Probekörper einer Versuchsserie, aus denen die Versuchsparameter bestimmt werden, sollte auf Grundlage der geologischen Beschreibung und der Klassifizierungsparameter für Fels bewertet werden.

(3) Die so bestimmten Festigkeitsparameter beziehen sich auf das Gestein. Die Eigenschaften im Feld können nur festgelegt werden, indem die Maßstabeffekte bei der Übertragung von Ergebnissen von Elementversuchen von Gestein auf die Gebirgseigenschaften in situ berücksichtigt werden.

6 Geotechnischer Untersuchungsbericht

6.1 Allgemeine Anforderungen

(1)P Die Ergebnisse einer geotechnischen Untersuchung müssen in einem geotechnischen Untersuchungsbericht zusammengestellt werden, der einen Teil des geotechnischen Entwurfsberichtes darstellen muss.

(2)P Der geotechnische Untersuchungsbericht muss aus Folgendem bestehen:

- einer Darstellung aller verfügbaren geotechnischen Informationen einschließlich der geologischen Verhältnisse und sonstiger maßgeblicher Angaben;
- einer geotechnischen Bewertung der Informationen mit den Annahmen, die bei der Interpretation der Versuchsergebnisse zu Grunde lagen.

(3) Die Informationen können in einem Bericht oder in mehreren Teilen dargestellt werden.

(4) Der geotechnische Untersuchungsbericht kann abgeleitete Werte enthalten.

(5)P Der geotechnische Untersuchungsbericht muss — soweit erforderlich — bekannte Einschränkungen der Ergebnisse darlegen.

(6) Der geotechnische Untersuchungsbericht sollte zusätzlich erforderliche Feld- und Laboruntersuchungen vorschlagen und ihre Notwendigkeit begründen. Diese Vorschläge sollten ein ausführliches Programm für die zusätzlichen Untersuchungen enthalten.

6.2 Darstellung der geotechnischen Information

(1)P Die Darstellung der geotechnischen Information muss einen Bericht über alle durchgeführten Feld- und Laboruntersuchungen enthalten.

(2) Soweit erforderlich, sollte der Bericht folgende Informationen enthalten:

- Ziel und Anwendungsbereich der geotechnischen Untersuchung einschließlich einer Beschreibung des Baugeländes und seiner Topographie, des geplanten Bauwerkes und des Planungsstadiums, auf das sich der Bericht bezieht;
- eine Einstufung des Bauwerkes in eine Geotechnische Kategorie;
- die Namen aller Gutachter und Subunternehmer;

- Zeitangaben zur Durchführung der Feld- und Laborversuche;
- Ergebnisse der Ortsbesichtigung des Baugeländes und seiner Umgebung, wobei besonders zu erwähnen sind:
 - a) Anzeichen für Grundwasser;
 - b) das Verhalten benachbarter Bauwerke;
 - c) Aufschlüsse in Steinbrüchen und Entnahmestellen;
 - d) instabile Bereiche;
 - e) Aufschlüsse durch Bergbau am Baugelände und in der Nachbarschaft;
 - f) Schwierigkeiten während des Aushubs;
 - g) die Geschichte des Baugeländes;
 - h) die Geologie des Baugeländes einschließlich Störungen;
 - i) Vermessungsdaten mit Plänen des Bauvorhabens und Eintragung aller Untersuchungspunkte;
 - j) Information aus Luftbildern;
 - k) örtliche Erfahrung in dem Bereich;
 - l) Information über die Seismizität.

(3)P Die Darstellung der geotechnischen Information muss eine Dokumentation der Untersuchungsverfahren, der Vorgehensweisen und der Ergebnisse enthalten, einschließlich aller wesentlichen Berichte über:

- Vorstudien;
- Felduntersuchungen, wie z. B. Probeentnahme, Versuche im Feld, Grundwassermessungen;
- Laborversuche.

(4)P Die Ergebnisse aus den Feld- und Laboruntersuchungen müssen entsprechend den Anforderungen der EN- und/oder ISO-Normen dargestellt und beschrieben werden, welche für die durchgeführten Untersuchungen maßgeblich wurden.

6.3 Bewertung der geotechnischen Informationen

(1)P Die Bewertung der geotechnischen Informationen muss dokumentiert werden und — soweit erforderlich — Folgendes einschließen:

- die Ergebnisse der Felduntersuchungen und der Laborversuche, die entsprechend den Abschnitten 3 bis 5 dieser Norm bewertet wurden;
- eine kritische Würdigung der Ergebnisse der Feld- und Laboruntersuchungen und aller anderen Informationen, die in 6.2 aufgelistet sind;
- eine Beschreibung der Lagerung der Schichten;
- eine ausführliche Beschreibung aller Schichten, ihrer physikalischen Eigenschaften und ihres Deformations- und Festigkeitsverhaltens, mit Bezug auf die Ergebnisse der Untersuchungen;

— Hinweise auf Unregelmäßigkeiten wie z. B. Hohlräume und Bereiche mit gestörten Lagerungsverhältnissen.

(2)P Soweit erforderlich muss dokumentiert werden, dass

— die Ergebnisse mit Berücksichtigung des Grundwasserspiegels, der Bodenart, des Bohrverfahrens, des Probeentnahmeverfahrens, des Transports, der Behandlung und der Herstellungsweise der Probekörper, für die Laborversuche interpretiert wurden,

— die Unterteilung der Schichten, die auf Grund von Vorstudien und der Ortsbegehung vorgenommen wurden, anhand der erhaltenen Ergebnisse überprüft wurde.

(3) Die Dokumentation der Bewertung der geotechnischen Informationen sollte — sofern erforderlich — Folgendes einschließen:

— tabellarische und graphische Darstellung der Ergebnisse von Felduntersuchungen und Laborversuchen in Querschnitten, die die wesentlichen Schichten und ihre Grenzen einschließlich des Grundwasserspiegels in Bezug auf die Anforderungen an das Bauvorhaben aufzeigen;

— die Werte für die geotechnischen Kenngrößen für jede einzelne Schicht;

— eine Überprüfung der abgeleiteten Werte geotechnischer Kenngrößen (siehe 6.4).

(4) Eine Mittelwertbildung kann das Vorhandensein einer Schwächezone verdecken und sollte mit Vorsicht angewandt werden. Es ist wichtig, dass Schwächezonen erkannt werden. Unterschiede in den geotechnischen Kenngrößen und Koeffizienten können bedeutende Unterschiede in den Baugrundbedingungen anzeigen.

(5) Die Dokumentation sollte Vergleiche der einzelnen Ergebnisse mit Erfahrungen für jede einzelne geotechnische Kenngröße einschließen, wobei ungewöhnlichen Ergebnissen in einer Schicht besondere Aufmerksamkeit zu schenken ist, die sich bei einem Vergleich mit Ergebnissen anderer Feld- und Laborversuchen ergeben, mit denen die gleiche geotechnische Kenngröße ermittelt werden kann.

(6) Die Dokumentation der Bewertung sollte begründen, wenn Schichten, die sich bezüglich der Kenngrößen der Baugrundkenngößen nur wenig unterscheiden, zu einer Schicht zusammengefasst werden können.

(7) Eine Abfolge feingeschichteter Lagen mit deutlich unterschiedlicher Zusammensetzung und/oder unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften darf als eine Schicht betrachtet werden, wenn das Gesamtverhalten maßgebend ist und das Verhalten angemessen mit den gewählten Baugrundkenngößen beschrieben werden kann.

(8) Bei der Festlegung der Grenzen zwischen verschiedenen Schichten sowie des Grundwasserspiegels darf üblicherweise eine lineare Verbindung zwischen den Untersuchungspunkten angenommen werden, vorausgesetzt, die Abstände der Untersuchungspunkte sind ausreichend klein und die Baugrundverhältnisse genügend homogen. Eine lineare Interpolation und ihre Begründung sollten dokumentiert werden.

6.4 Festlegen abgeleiteter Werte

(1)P Wenn Korrelationen benutzt wurden, um geotechnische Kenngrößen oder Koeffizienten abzuleiten, müssen die Korrelationen und ihre Anwendbarkeit dokumentiert werden.

Anhang A (informativ)

Liste von Versuchsergebnissen von geotechnischen Standardversuchen

(1) Die in der Tabelle A.1 aufgeführten Feld- und Laborversuche und ihre Ergebnisse sollten in dem Bericht über die Baugrunderkundung, soweit sie verfügbar sind, dargestellt werden.

Tabelle A.1 — Liste von Versuchsergebnissen von geotechnischen Standardversuchen

Feldversuch ^a	Versuchsergebnisse
CPT	Spitzenwiderstand q_c lokale Mantelreibung f_s Reibungsverhältnis R_f
CPTU	Um den Porenwasserdruck korrigierter Spitzenwiderstand q_t lokale Mantelreibung f_s gemessener Porenwasserdruck u
Rammsondierung	Schlagzahl N_{10} für folgende Versuche: DPL, DPM, DPH Schlagzahl N_{10} oder N_{20} für die DPSH-Versuche
SPT	Schlagzahl N Energie-Korrektur E_r Bodenbeschreibung
Pressiometerversuch nach Ménard	Pressiometer-Modul E_M Kriechdruck p_f (en: partial factor) Grenzdruck p_{LM} Expansionskurve
Versuch mit dem flexiblen Dilatometer	Dilatometer-Modul E_{FDT} Verformungskurve
Alle anderen Pressiometerversuche	Expansionskurve
Flügelscherversuch	Kohäsion des undränierten Bodens (unkorrigiert) c_{fv} Kohäsion des undränierten Bodens (durchwahlt) c_{rv} Drehmoment — Drehwinkel-Kurve
Gewichtssondierung	Fortlaufende Aufzeichnung des Widerstands der Gewichtssonde Der Widerstand der Gewichtssonde ist — entweder die Eindringtiefe unter einer Standardbelastung — oder die Anzahl der halben Umdrehungen, erforderlich für jeweils 0,2 m Eindringung unter der Standardbelastung von 1 kN.
Belastungsversuch für Flachgründungen	Grenzsohlldruck p_u

Tabelle A.1 (fortgesetzt)

Feldversuch ^a	Versuchsergebnisse
Versuch mit dem flachen Dilatometer	<p>korrigierter Kontaktdruck ohne Ausdehnung p_0</p> <p>korrigierter Druck unter Ausdehnung p_1 von 1,1 mm</p> <p>Dilatometer-Modul E_{DMT}, Materialindex I_{DMT} und horizontaler Spannungsindex K_{DMT}</p>
Laborversuche ^b	Versuchsergebnisse
Wassergehalt (Boden)	Wert für w
Dichte (Boden)	Wert für ρ
Korndichte (Boden)	Wert für ρ_s
Korngrößenverteilung (Boden)	Körnungsverteilungskurve
Konsistenzgrenzen (Boden)	Ausroll- und Fließgrenzen w_p, w_L
Bezogene Lagerungsdichte (Boden)	Werte für e_{max}, e_{min} und I_D
Organischer Anteil (Boden)	Wert für den \boxed{AC} Glühverlust \boxed{AC} C_{OM}
Kalkgehalt (Boden)	Wert für Kalkgehalt C_{CaCO_3}
Sulfatgehalt (Boden)	Wert für Sulfatgehalt $C_{SO_4^{2-}}$ oder $C_{SO_3^{2-}}$
Chloridgehalt (Boden)	Wert für den Chloridgehalt C_{Cl}
pH (Boden)	pH-Wert
Kompressionsversuch (Boden)	<p>Drucksetzungskurve (unterschiedliche Darstellungsmöglichkeiten)</p> <p>Zeitsetzungskurve (unterschiedliche Darstellungsmöglichkeiten)</p> <p>Sekundärsetzungskurve (Kriechkurve)</p> <p>Werte für E_{oed} (Druckintervall) und σ'_p oder C_s, C_c, σ'_p</p> <p>Wert für C_α</p>
Laborflügelsonde (Boden)	Wert für die Kohäsion des undränierten Bodens c_u
Fallkegelversuch (Boden)	Wert für die Kohäsion des undränierten Bodens c_u
Einaxialer Druckversuch (Boden)	Wert für die einaxiale Druckfestigkeit $q_u = 2 c_u$
Unkonsolidierter, undränkter Kompressionsversuch (Boden)	Wert für die Kohäsion des undränierten Bodens c_u
Dreiaxialversuch, konsolidiert (Boden)	<p>Spannungs-Dehnungskurven und Porenwasserdruckkurven</p> <p>Spannungspfade</p> <p>Mohr'sche Spannungskreise</p> <p>c', φ' oder c_u</p> <p>Veränderlichkeit von c_u mit σ'_c</p> <p>Verformungsparameter E' oder E_u</p>

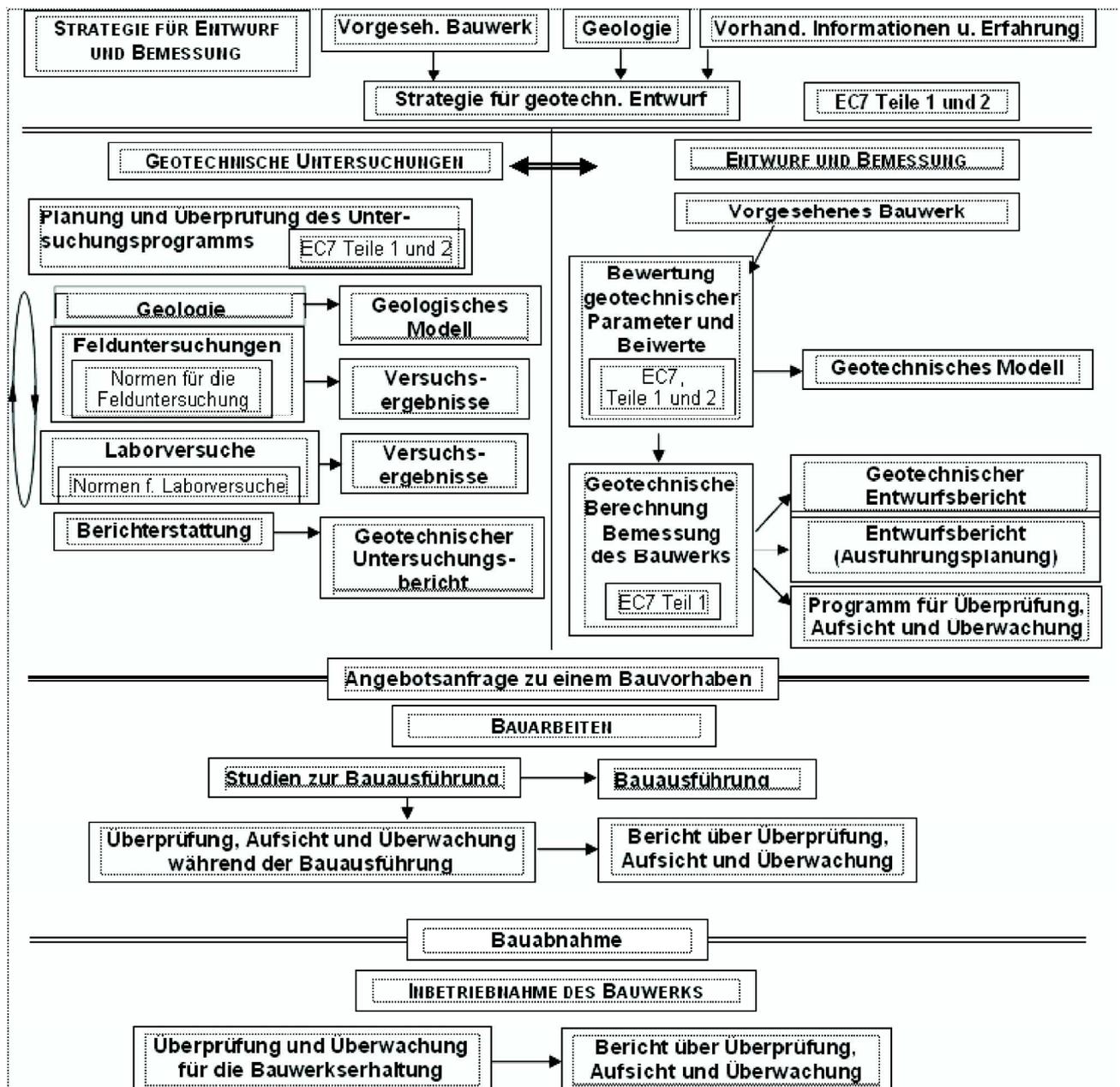
Tabelle A.1 (fortgesetzt)

Laborversuche ^b	Versuchsergebnisse
Konsolidierter direkter Scherversuch (Rahmenschergerät) (Boden)	Spannungs-Verschiebungs-Kurve $\tau - \sigma$ -Diagramm c', φ' Restscherfestigkeit
California bearing ratio (Boden)	Wert für den CBR-Index I_{CBR}
Durchlässigkeit (Boden)	Durchlässigkeitsbeiwert k : — aus dem Durchlässigkeitsversuch im Labor — aus Durchlässigkeitsversuchen im Feld — aus Kompressionsversuchen
Wassergehalt (Fels)	Wert für w
Dichte und Porosität (Fels)	Wert für ρ und n
Schwellen (Fels)	Schwellendruckindex Schwellendruck Unbehindertes Schwellen Schwellen unter gleich bleibender Belastung
Einaxiale Zusammendrückung und Verformung (Fels)	Wert für σ_{C} Wert für den Verformungsmodul E Wert für die Poisson-Zahl ν
Punktlastversuch (Fels)	Festigkeitsindex $I_{\text{s},50}$
Direkter Scherversuch (Fels)	Spannungs-Verschiebungs-Kurve Mohr'sches Diagramm c', φ' Restscherfestigkeit
Brazil Test (Fels)	Zugfestigkeit σ_{T}
Dreiaxialer Kompressionsversuch (Fels)	Spannungsverformungskurven Spannungspfade Mohr'sche Kreise c', φ' Wert für den Verformungsmodul E und Poisson-Zahl ν
^a Siehe Abschnitt 4. ^b Siehe Abschnitt 5.	

Anhang B (informativ)

Planung von geotechnischen Untersuchungen

B.1 Phasen der Baugrunduntersuchungen für die geotechnische Bemessung, den geotechnischen Entwurf, die Bauausführung und die Bauwerksnutzung



B.2 Auswahl von Verfahren für Baugrunduntersuchung zu unterschiedlichen Etappen

Tabelle B.1 — Beispiel für die Auswahl von Baugrunduntersuchungsverfahren zu unterschiedlichen Etappen

AC

Voruntersuchungen		Hauptuntersuchungen		Kontrolluntersuchungen	
Auswertung historischer, topographischer, geologischer und hydrogeologischer Karten. Gewinnung von Mineralien Luftbildinterpretation. Archive. Ortsbesichtigung Erste geophysikalische Aufnahmen	Feinkörniger Boden CPT, SS, DP, SE FVT oder SPT TP, PS, OS GW	Vorläufige Wahl der Gründungsmethode.	Pfahlgründung SS, CPT, DP, SR FVT, SPT, PIL PS, OS, CS, PMT GWC	Prüfung der Gründungsart und -bemessung, der Baugrundverbesserung und der Standsicherheit während der Bauzeit.	Pfahlgründung PIL, Rammversuche an Pfählen Druckwellenmessungen GWC, Setzungen Neigungen
	Grobkörniger Boden SS, CPT, DP, SR, SPT AS, OS, TP GW		Flachgründung SS oder CPT, DP, FVT, DMT oder PMT, BJT PS, OS, CS, TP GWC		Flachgründung Prüfen der Bodenart Prüfung der Steifigkeit (CPT) Setzungen, Neigungen, GWC, mögliche Volumenänderung durch Veränderung des Wassergehalts
	Fels SR, CPT, MWD PLT CS, AS, TP GW		Pfahlgründung CPT, DP, SR SPT, DMT, PIL OS, TP GWO		Pfahlgründung PIL, Rammversuche an Pfählen Druckwellenmessungen GWC, Setzungen Neigungen
	Pfahl- oder Flachgründung SR, MWD, Kluftaufnahme RDT, PMT, BJT TP, CS GWO		Flachgründung CPT, DP SPT, PMT, BJT, DMT PLT OS, TP GWO		Flachgründung Prüfen der Bodenart Prüfung der Steifigkeit (CPT, DP, SPT) Setzungen
Erste Aufschlüsse					Pfahl- oder Flachgründung Prüfen der Neigung und der Klüftung im Fels und an seiner Oberfläche Kontaktprüfung zwischen Pfahlspitze/Fundament und Felsoberfläche Prüfen der Grundwasserverhältnisse.

Tabelle B.1 (fortgesetzt)

Abkürzungen	
<u>Felsuntersuchungen</u>	<u>Probeentnahme</u>
BJT Seitendruckgerät	PS Kolbenentnahmegerät
DP Rammsondierung	CS Entnahme mit Kernrohr
SR Boden/Fels-Sondierung	AS Entnahme mit Schnecke
SS Statische Sondierung (z. B. Gewichtssondierung, WST)	OS offenes Entnahmegerät
CPT(U) Drucksondierung (mit Aufzeichnung des Porenwasserdrucks)	TP Entnahme aus Schürfen
SPT Standard Penetration Test	
PMT Pressiometerversuch	
DMT Dilatometerversuch	<u>Grundwassermessungen</u>
FVT Flügelscherversuch	GW Grundwassermessungen
PLT Belastungsversuch für Flachgründungen	GWO Grundwassermessungen mit offenem System
MWD Messungen während des Bohrens	GWC Grundwassermessungen mit geschlossenem System
SE Seismische Messungen	
PIL Pfahlprobebelastung	
RDT Dilatometerversuch in Fels	
ANMERKUNG Boden umfasst natürliche und anthropogene Ablagerungen. Überwachung und Aufzeichnung sind in dieser Übersicht nicht enthalten. Laborversuche sind in diesem Flussdiagramm nicht dargestellt.	

B.3 Beispiele für Empfehlungen von Untersuchungsabständen und -tiefen

(1) Folgende Abstände von Aufschlusspunkten sollten als Richtwerte benutzt werden:

- bei Hoch- und Industriebauten ein Rasterabstand von 15 m bis 40 m;
- bei großflächigen Bauwerken ein Rasterabstand von nicht mehr als 60 m;
- bei Linienbauwerken (Straßen, Eisenbahnen, Kanäle, Rohrleitungen, Deiche, Tunnel, Rückhaldedämme) ein Abstand zwischen 20 m und 200 m;
- bei Sonderbauwerken (z. B. Brücken, Schornsteinen, Maschinenfundamenten), zwei bis sechs Aufschlüsse je Fundament;
- bei Staudämmen und Wehren Abstände zwischen 25 m und 75 m in maßgebenden Schnitten.

(2) Für die Untersuchungstiefe z_a sollten folgende Werte als Richtwerte benutzt werden. (Die Bezugsebene für z_a ist der tiefste Punkt der Gründung des Bauwerkes, eines Bauwerkselements oder der Baugrubensohle.) Bei Alternativangaben für die Festlegung von z_a sollte der jeweils größte Wert angewendet werden.

ANMERKUNG Bei sehr großen und besonders schwierigen Bauvorhaben sollten einige der Aufschlüsse in größere Tiefen geführt werden, als sie in B.3(5) bis B.3(13) angegeben werden.

(3) Größere Untersuchungstiefen sollten immer dort gewählt werden, wo ungünstige geologische Bedingungen, wie weiche oder stark zusammendrückbare Schichten, unter Schichten mit höherer Tragfähigkeit zu vermuten sind.

(4) Bei Bauwerken entsprechend B.3(5) bis B.3(8) und B.3(13) auf kompetenten Schichten kann die Untersuchungstiefe bis auf $z_a = 2$ m gemindert werden, wenn die Geologie geklärt ist, anderenfalls sollte die Untersuchungstiefe wenigstens eines Aufschlusses bis $z_a = 5$ m geführt werden. Wenn Fels in der vorgesehenen Gründungstiefe eines Bauwerks angetroffen wird, sollte dieser als Bezugsebene für z_a genommen werden. Anderenfalls bezieht sich z_a auf die Oberfläche des Fels.

(5) Bei Hoch- und Ingenieurbauten sollte der größere Wert der folgenden Bedingungen angewandt werden (siehe Bild B.1a)):

- $z_a \geq 6$ m
- und $z_a \geq 3,0 \times b_F$

Dabei ist

b_F die kürzere Seite der Gründung.

(6) Bei Platten Gründungen und bei Bauwerken mit mehreren Gründungskörpern, deren Einflüsse sich in tieferen Schichten überlagern:

$$z_a \geq 1,5 \times b_B$$

Dabei ist

b_B die kleinere Bauwerksseitenlänge (siehe Bild B.1b)).

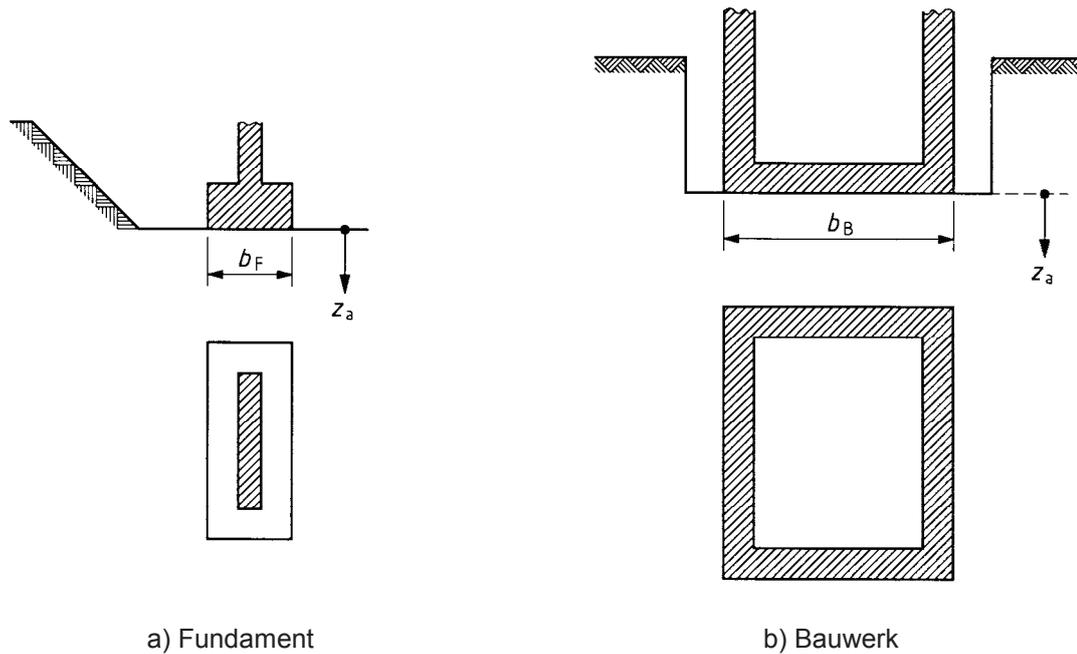


Bild B.1 — Hochbauten, Ingenieurbauten

(7) Dämme und Einschnitte, der höhere Wert folgender Bedingungen sollte gewählt werden (siehe Bild B.2).

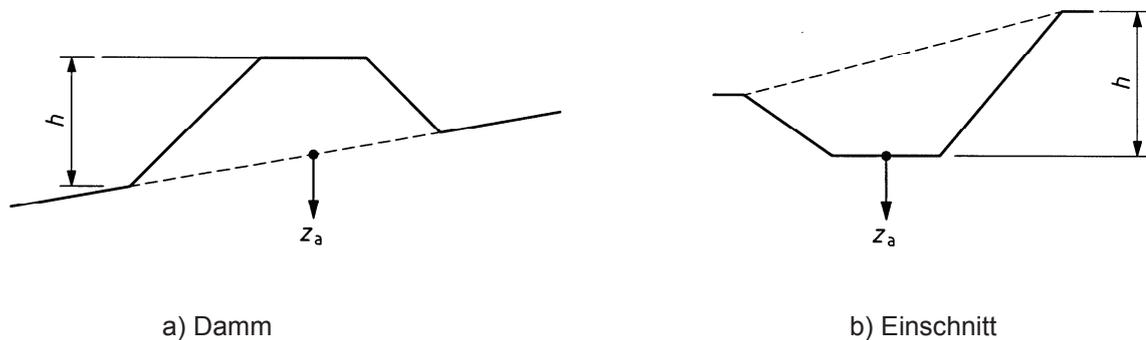


Bild B.2 — Dämme und Einschnitte

a) Bei Dämmen:

— $0,8 h < z_a < 1,2 h$

— $z_a \geq 6 \text{ m}$

Dabei ist

h die Dammhöhe.

b) Bei Einschnitten:

— $z_a \geq 2,0 \text{ m}$

— $z_a \geq 0,4h$

Dabei ist

h die Einschnittstiefe.

(8) Linienbauwerke, der größere Wert der folgenden Bedingungen sollte gewählt werden (siehe Bild B.3).

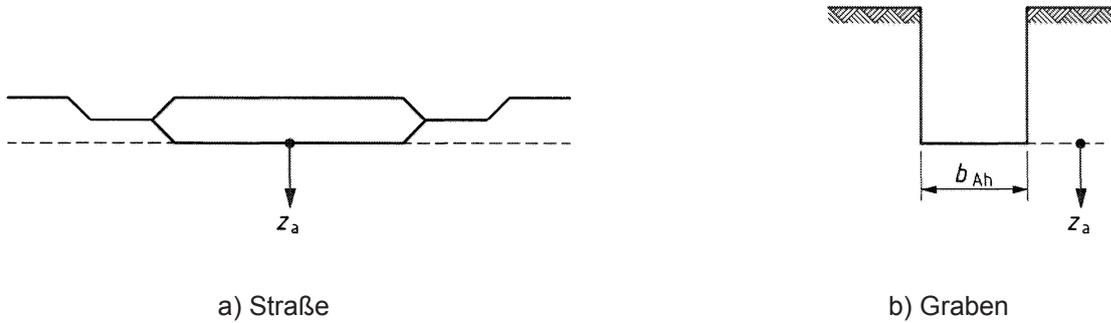


Bild B.3 — Linienbauwerke

a) Bei Straßen und Flugplätzen:

$z_a \geq 2$ m unter die vorgesehene Aushubsohle.

b) Bei Gräben und Rohrleitungen, der größte Wert für:

— $z_a \geq 2$ m unter die Aushubsohle;

— $z_a \geq 1,5 b_{Ah}$

Dabei ist

b_{Ah} die Breite des Aushubs.

c) Wenn relevant, sollten die Empfehlungen bezüglich von Dämmen und Einschnitten befolgt werden.

(9) Bei Tunneln und Kavernen (siehe Bild B.4):

$$b_{Ab} < z_a < 2,0 b_{Ab}$$

Dabei ist

b_{Ab} die Ausbruchsbreite.

Die Grundwasserverhältnisse, wie in (10)b) beschrieben, sollten ebenfalls berücksichtigt werden.

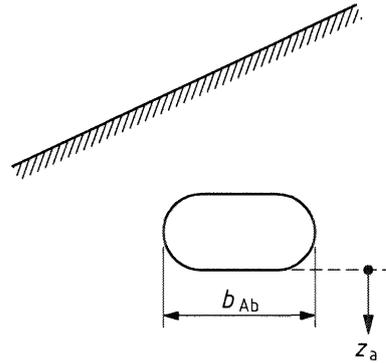


Bild B.4 — Tunnel und Kavernen

(10) Baugruben (siehe Bild B.5):

a) Wenn die Grundwasserdruckfläche und Grundwasseroberfläche unter der Baugrubensohle liegen, sollte der höhere Wert der folgenden Bedingungen gewählt werden:

— $z_a \geq 0,4h$

— $z_a \geq (t + 2,0) \text{ m}$

Dabei ist

t die Einbindetiefe der Umschließung;

h die Baugrubentiefe.

b) Wenn die Grundwasserdruckfläche und Grundwasseroberfläche über der Baugrubensohle liegen, sollte der höhere Wert folgender Bedingungen gewählt werden:

— $z_a \geq (1,0H + 2,0) \text{ m}$

— $z_a \geq (t + 2,0) \text{ m}$

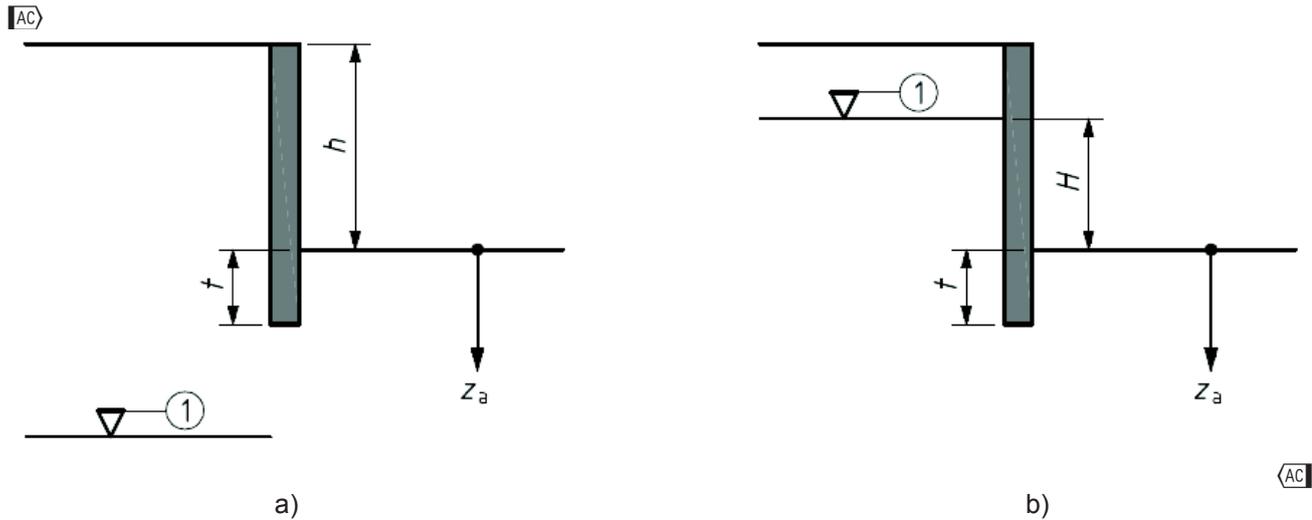
Dabei ist

H die Höhe der Grundwasseroberfläche über der Baugrubensohle;

t die Einbindetiefe der Umschließung.

Wenn kein Grundwasserhemmer bis zu dieser Tiefe erreicht wird:

$z_a \geq (t + 5) \text{ m}$



Legende

1 Grundwasseroberfläche (GW)

Bild B.5 — Baugruben

(11) Bei Staubauwerken sollte z_a abhängig von der vorgesehenen Stauhöhe, den hydrogeologischen Verhältnissen und den Konstruktionsweisen festgelegt werden.

(12) Bei Dichtungswänden (siehe Bild B.6):

— $z_a \geq 2$ m unter der Oberfläche des Grundwassernichtleiters.

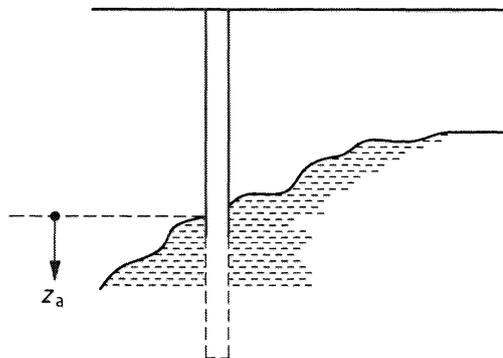


Bild B.6 — Dichtungswand

(13) Bei Pfählen (siehe Bild B.7) sollten folgende drei Bedingungen erfüllt sein:

- $z_a \geq 1,0 b_g$
- $z_a \geq 5,0$ m
- $z_a \geq 3 D_F$

Dabei ist

D_F der Pfahlfußdurchmesser und

b_g das kleinere Maß eines in der Fußebene liegenden Rechtecks, das die Pfahlgruppe umschließt.

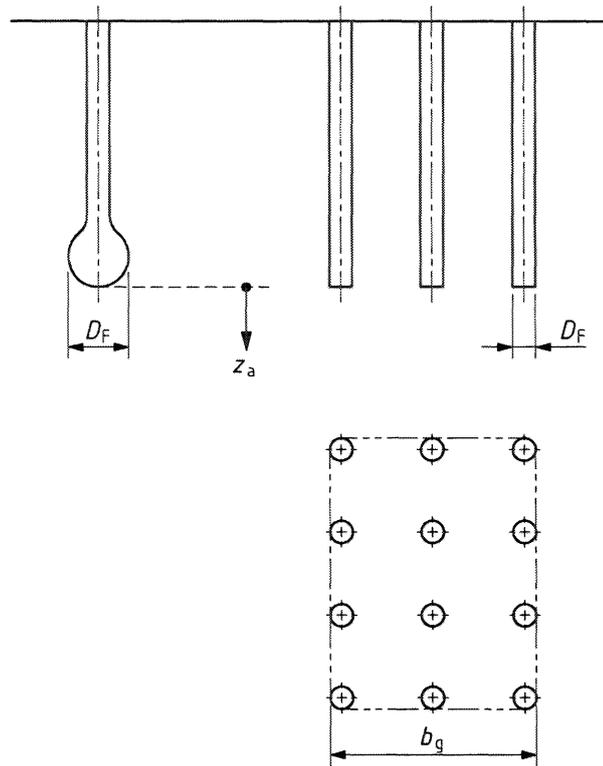


Bild B.7 — Pfahlgruppen

Anhang C (informativ)

Beispiel für die Ableitung von Grundwasserdrücken auf der Grundlage eines Grundwassermodells und von Langzeitmessungen

(1) Der natürliche Grundwasserdruck ist Teil des hydrologischen Zyklus. Er ist von Niederschlag, Verdunstung, Schneeschmelze, Oberflächenabfluss usw. beeinflusst.

(2) Um ein Modell der Grundwasserverhältnisse für ein Gelände, auf dem ein Bauwerk geplant ist, und für seine Umgebung aufzustellen, sollten vorhandene hydrogeologische Informationen zusammengestellt und mit den neu gewonnenen Ergebnissen der Grundwassermessungen verglichen werden. Derartige Informationen könnten sein:

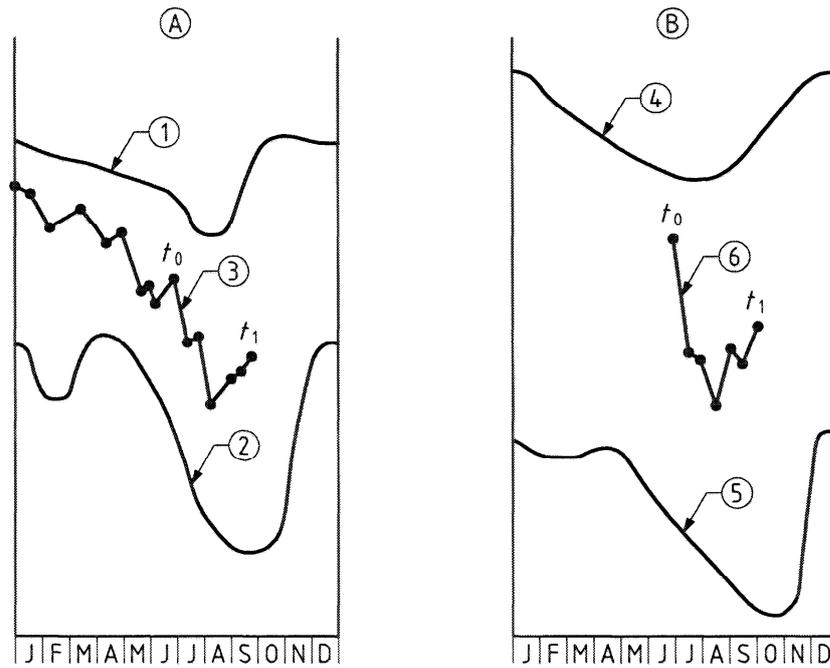
- Schwankungen des Wasserspiegels;
- hydrogeologische Karten;
- Ergebnisse früherer Messungen in der Umgebung;
- typische Wasserspiegel offener Gewässer oder in Brunnen;
- Ergebnisse von Langzeitmessungen in ähnlichen Grundwasserleitern.

(3) Die Grundwassermessungen für ein Bauvorhaben enthalten normalerweise lediglich Kurzzeitmessungen. In solchen Fällen ist es von Bedeutung, eine Vorhersage des zu erwartenden Grundwasserdrucks für die aktuelle Entwurfs- und Bemessungssituation und das Baugelände zu machen. Eine derartige Vorhersage kann auf dem oben genannten Modell und auf Langzeitmessungen des Grundwassers in einem ähnlichen Grundwasserleiter in der gleichen Gegend wie der des Bauvorhabens in Kombination mit einer Kurzzeitmessung im Planungsbereich beruhen.

(4) Mit Einsatz statistischer Methoden ist es möglich, den Grundwasserdruck mit einer Genauigkeit von wenigen kPa auf der Grundlage von Messungen über 15 Jahre in einem Referenzsystem und während einer Messzeit über drei Monate im aktuellen Planungsbereich zu bestimmen, siehe Bild C.1.

(5) Die Grundwasserschwankungen können auch mit einem konzeptionellen Modell simuliert werden. Niederschlag und Lufttemperatur können als Eingangswerte für das Modell benutzt werden. Der Einfluss auf den Grundwasserstand wird an den Ergebnissen von Langzeitmessungen der Grundwasserspiegelschwankungen in der Umgebung kalibriert.

ANMERKUNG Für weitere Informationen und Beispiele siehe X.2.



A) Referenzmessstelle

B) Messstelle zur Vorhersage

Legende

- 1 Höchste Grundwasserstände, die über 15 Jahre in der Referenzmessstelle gemessen wurden
- 2 Niedrigste Grundwasserstände, die über 15 Jahre in der Referenzmessstelle gemessen wurden
- 3 Grundwasserstände in der Referenzmessstelle, die im gleichen Jahr der Beobachtungen in der Messstelle zur Vorhersage im aktuellen Untersuchungsbereich gemessen wurden
- 4 Vorausgesagter höchster Grundwasserstand in der Messstelle zur Vorhersage im aktuellen Untersuchungsbereich
- 5 Vorausgesagter niedrigster Grundwasserstand in der Messstelle zur Vorhersage im aktuellen Untersuchungsbereich
- 6 In der Zeit von t_0 bis t_1 gemessene Werte des Grundwasserstandes in der Messstelle zur Vorhersage im aktuellen Untersuchungsbereich

ANMERKUNG Das linke Diagramm gibt den höchsten und niedrigsten Grundwasserstand in einer Referenzmessstelle wieder. Das rechte Diagramm enthält aktuell gemessene Werte mit der Vorhersage der höchsten und niedrigsten Grundwasserstände.

Bild C.1 — Gemessene und vorausgesagte Grundwasserstände

Anhang D (informativ)

Drucksondierungen ohne und mit Porenwasserdruckmessungen

D.1 Beispiel für die Ableitung von Werten für den Reibungswinkel und den dränierten Elastizitätsmodul

(1) Tabelle D.1 ist ein Beispiel, das für die Ableitung von Werten für den Reibungswinkel (φ') und den dränierten (Langzeit-)Elastizitätsmodul (E') für Quarz- und Feldspatsande aus dem Wert q_c zur Berechnung von Grundbruchsicherheit und der Setzung von Flachgründungen benutzt werden kann.

(2) Dieses Beispiel beruht auf der Korrelation des arithmetischen Mittelwertes von q_c einer Schicht mit den arithmetischen Mittelwerten von φ' und E' .

Tabelle D.1 — Ein Beispiel für die Ableitung von Werten für den wirksamen Reibungswinkel φ' und den dränierten Elastizitätsmodul (E') für Quarz- und Feldspatsande aus dem Spitzenwiderstand (q_c)

Bezogene Lagerungsdichte	Spitzenwiderstand (q_c) (aus dem CPT) MPa	Wirksamer Reibungswinkel ^a (φ') °	Dräniertes Elastizitätsmodul ^b (E') MPa
Sehr locker	0,0 bis 2,5	29 bis 32	< 10
locker	2,5 bis 5,0	32 bis 35	10 bis 20
mitteldicht	5,0 bis 10,0	35 bis 37	20 bis 30
dicht	10,0 bis 20,0	37 bis 40	30 bis 60
sehr dicht	> 20,0	40 bis 42	60 bis 90

^a Die angegebenen Werte gelten für Sande. Für schluffige Böden sollten die Werte um 3° gemindert werden. Für Kiese sollten die Werte um 2° erhöht werden.

^b E' ist ein Näherungswert an den spannungs-zeitabhängigen Sekantenmodul. Die für den dränierten Modul angegebenen Werte entsprechen den Setzungen über 10 Jahre. Sie werden unter der Annahme erhalten, dass die Verteilung der Vertikalspannung der 2:1-Näherung folgt. Ferner deuten einige Untersuchungen darauf hin, dass diese Werte in schluffigem Boden 50 % niedriger und in kiesigem Boden 50 % höher sein können. In vorbelasteten grobkörnigen Böden kann der Modul beträchtlich höher sein. Wenn Setzungen für Sohlrücke größer 2/3 des Bemessungsohldruckes im Grenzzustand berechnet werden, sollte der Modul auf die Hälfte der in dieser Tabelle angegebenen Werte begrenzt werden.

ANMERKUNG Dieses Beispiel wurde von Bergdahl et al. (1993) veröffentlicht. Für weitere Informationen und Dokumente siehe X.3.1.

D.2 Beispiel für eine Korrelation zwischen Spitzenwiderstand und Reibungswinkel

(1) Es folgt ein Beispiel für die Ableitung des Reibungswinkels (φ') aus dem CPT-Spitzenwiderstand (q_c) in Sanden.

(2) Die deterministische Korrelation wird durch folgende Gleichung ausgedrückt:

$$\varphi' = 13,5 \times \lg q_c + 23$$

Dabei ist

φ' der wirksame Reibungswinkel, in Grad;

q_c der Spitzenwiderstand, in MPa.

Diese Beziehung gilt für enggestufte Sande ($C_u < 3$) über Grundwasser und den Spitzenwiderstand innerhalb der Grenzen von $5 \text{ MPa} \leq q_c \leq 28 \text{ MPa}$.

ANMERKUNG 1 Dieses Beispiel beruht auf Versuchen mit der elektrisch messenden Drucksonde und Dreiaxialversuchen im Labor.

ANMERKUNG 2 Dieses Beispiel wurde von Stenzel et al. (1978) und in DIN 4094-1 (2002) veröffentlicht. Für weitere Informationen und Dokumente siehe X.3.1.

D.3 Beispiel für eine Methode zur Berechnung der Setzung von Flachgründungen

(1) Es folgt ein Beispiel für ein semi-empirisches Verfahren für die Berechnung von Setzungen von Flachgründungen in grobkörnigem Boden. Der Wert für den Elastizitätsmodul (E'), der aus dem Spitzenwiderstand (q_c) abgeleitet wird und für dieses Verfahren benutzt wird, ist:

— $E' = 2,5 q_c$, bei axialsymmetrischen (kreisförmigen und quadratischen) Flachgründungen und

— $E' = 3,5 q_c$, bei (Streifenfundamenten) Gründungen bei ebenem Spannungszustand.

(2) Die Setzung (s) einer Gründung unter dem Belastungsdruck q wird durch folgende Gleichung ausgedrückt:

$$s = C_1 \times C_2 \times (q - \sigma'_{v0}) \times \int_0^{z_1} \frac{I_z}{C_3 \times E'} \times dz$$

Dabei ist

$$C_1 = 1 - 0,5 [\sigma'_{v0} / (q - \sigma'_{v0})];$$

$$C_2 = 1,2 + 0,2 \times \lg t;$$

C_3 der Korrekturfaktor abhängig von der Ausbildung der Flachgründung:

— 1,25 bei quadratischen Gründungen und

— 1,75 bei Streifenfundamenten mit $L > 10 B$;

σ'_{v0} die ursprünglich wirksame Vertikalspannung in der Gründungssohle;

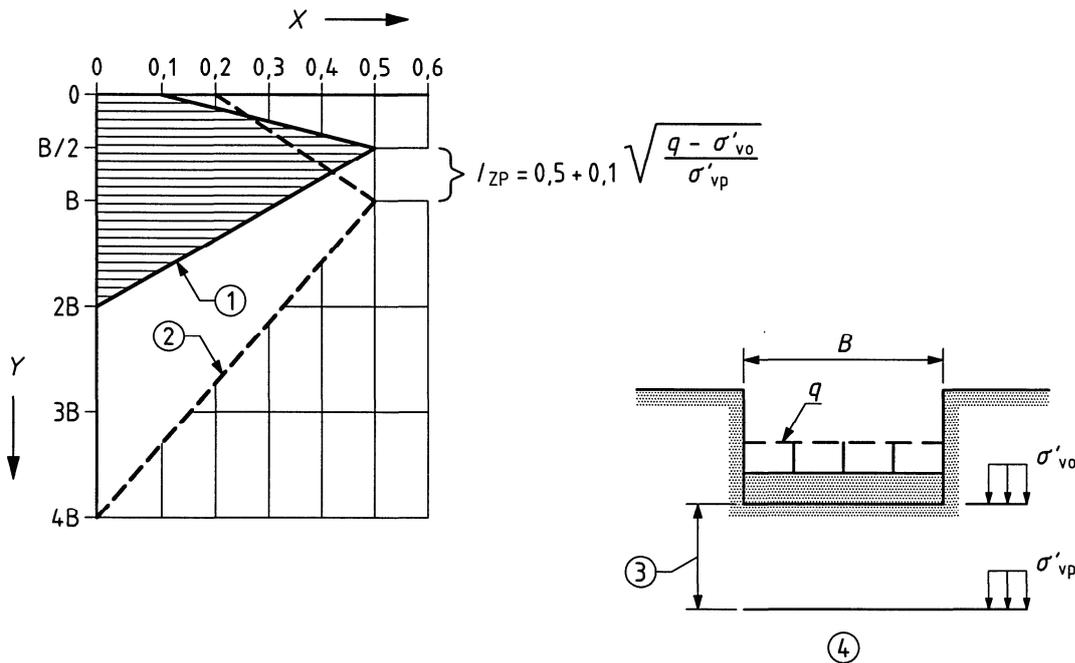
AC z_1 die Tiefe, die durch die Größe der Sohlspannung und die Fundamentabmessungen beeinflusst wird, in m AC;

I_z ein Einflussfaktor der Spannung (siehe unten).

(3) Bild D.1 zeigt die Verteilung des Einflussfaktors (I_z) der Vertikalspannung für axialsymmetrische (kreisförmige und quadratische) Flachgründungen und für ebenen Spannungszustand (flache Streifenfundamente).

ANMERKUNG 1 Der Spitzenwiderstand (q_c) in diesem Beispiel entstammt Messungen, die mit einer elektrisch messenden Drucksonde ausgeführt wurden.

ANMERKUNG 2 Dieses Beispiel wurde von Schmertmann (1970) und Schmertmann et al. (1978) veröffentlicht. Für weitere Informationen und Beispiele siehe X.3.1.



Legende

- X Einflussfaktor I_z der Vertikalspannung, starre Fundamente
- Y bezogene Tiefe unterhalb der Gründungsohle
- 1 axialsymmetrisch ($L/B = 1$)
- 2 ebener Verformungszustand ($L/B > 10$)
- 3 $B/2$ (axialsymmetrisch); B (ebener Verformungszustand)
- 4 Bezugstiefe für I_{zp}

Bild D.1 — Werte für Diagramme von Einflussfaktoren für die Spannungsverteilung mit der Tiefe

D.4 Beispiel für eine Korrelation zwischen Steifemodul und Spitzenwiderstand

(1) Tabelle D.2 gibt ein Beispiel für abgeleitete α -Werte (siehe 4.3.4.1(9) Gleichung (4.3)) für verschiedene Bodenarten als Funktion des Spitzenwiderstandes.

ANMERKUNG Dieses Beispiel wurde von Sanglerat (1972) veröffentlicht. Für weitere Informationen und Dokumente siehe X.3.1.

Tabelle D.2 — Beispiele für α -Werte

Boden	q_c	α
Schwach plastischer Ton	$q_c \leq 0,7 \text{ MPa}$	$3 < \alpha < 8$
	$0,7 < q_c < 2 \text{ MPa}$	$2 < \alpha < 5$
	$q_c \geq 2 \text{ MPa}$	$1 < \alpha < 2,5$
Schwach plastischer Schluff	$q_c < 2 \text{ MPa}$	$3 < \alpha < 6$
	$q_c \geq 2 \text{ MPa}$	$1 < \alpha < 2$
Stark plastischer Ton Stark plastischer Schluff	$q_c < 2 \text{ MPa}$	$2 < \alpha < 6$
	$q_c > 2 \text{ MPa}$	$1 < \alpha < 2$
Stark organischer Schluff	$q_c < 1,2 \text{ MPa}$	$2 < \alpha < 8$
Torf und stark organischer Ton	$q_c < 0,7 \text{ MPa}$	$1,5 < \alpha < 4$
	$50 < w \leq 100 (\%)$	$1 < \alpha < 1,5$
	$100 < w \leq 200 (\%)$ $w > 200 (\%)$	$0,4 < \alpha < 1,0$
Kreide	$2 < q_c \leq 3 \text{ MPa}$	$2 < \alpha < 4$
	$q_c > 3 \text{ MPa}$	$1,5 < \alpha < 3$
Sande	$q_c < 5 \text{ MPa}$	$\alpha = 2$
	$q_c > 10 \text{ MPa}$	$\alpha = 1,5$

AC

D.5 Beispiele für die Ermittlung des spannungsabhängigen Steifemoduls aus CPT-Ergebnissen

(1) Dies ist ein Beispiel der Ableitung des von der Vertikalspannung abhängigen Steifemoduls aus Kompressionsversuchen (E_{oed}), der häufig für Setzungsberechnungen von Flachgründungen empfohlen wird. Er ist wie folgt definiert:

$$\text{AC} \quad E_{\text{oed}} = w_1 p_a \left(\frac{\sigma'_v + 0,5 \Delta\sigma'_v}{p_a} \right)^{w_2} \quad \text{AC}$$

Dabei ist

w_1 der Steifebeiwert;

w_2 der Steifeexponent;

für Sande mit einer Ungleichförmigkeitszahl $C_U \leq 3$, $w_2 = 0,5$;

für Tone mit geringer Plastizität ($I_p \leq 10$; $w_L \leq 35$), $w_2 = 0,6$;

- σ'_v die wirksame Vertikalspannung in der Gründungssohle oder in jeder anderen Tiefe darunter infolge des Überlagerungsdrucks des Bodens;
- $\Delta\sigma'_v$ durch das Bauwerk hervorgerufene wirksame Vertikalspannung in der Gründungssohle oder in jeder anderen Tiefe darunter;
- p_a der atmosphärische Druck;
- I_p die Plastizitätszahl;
- w_L die Fließgrenze.

(2) Werte für den Steifebeiwert (w_1) können aus CPT-Ergebnissen unter Verwendung z. B. folgender Gleichungen in Abhängigkeit der Bodenart abgeleitet werden:

— Enggestufte Sande ($C_U \leq 3$) über Grundwasser;

$$w_1 = 167 \times \lg q_c + 113 \quad (\text{Gültigkeitsbereich: } \boxed{\text{AC}} 5 \text{ MPa} \leq q_c \leq 30 \text{ MPa } \boxed{\text{AC}})$$

— Weitgestufte Sande ($C_U > 6$) über Grundwasser;

$$w_1 = 463 \times \lg q_c - 13 \quad (\text{Gültigkeitsbereich: } \boxed{\text{AC}} 5 \text{ MPa} \leq q_c \leq 30 \text{ MPa } \boxed{\text{AC}})$$

— Leicht plastische Tone mit mindestens steifer Konsistenz ($0,75 \leq I_c \leq 1,30$) und über Grundwasser (I_c ist die Konsistenzzahl);

$$w_1 = 15,2 \times q_c + 50 \quad (\text{Gültigkeitsbereich: } \boxed{\text{AC}} 0,6 \text{ MPa} \leq q_c \leq 3,5 \text{ MPa } \boxed{\text{AC}})$$

ANMERKUNG 1 Dieses Beispiel beruht auf Versuchsergebnissen mit der elektrisch messenden Drucksonde und Kompressionsversuchen im Labor.

ANMERKUNG 2 Diese Beispiele wurden von Stenzel et al. (1978) und Biedermann (1984) und in DIN 4094-1:2002 veröffentlicht. Für weitere Informationen und Beispiele siehe X.3.1.

D.6 Beispiel für eine Korrelation zwischen dem Widerstand eines Einzelpfahls bei Druckbelastung und dem Spitzenwiderstand aus der Drucksondierung

(1) In den Tabellen D.3 und D.4 werden Beispiele für gesicherte Korrelationen zwischen den Ergebnissen von statischen Belastungsversuchen und CPT-Ergebnissen in grobkörnigem Boden mit geringen oder keinen Feinanteilen angegeben. Pfahlspitzenwiderstand (p_b) und Pfahlmantelreibung (p_s) von in situ hergestellten Pfählen werden als Funktion von Spitzenwiderstand aus der Drucksondierung (q_c) (CPT) und der bezogenen Setzung des Pfahlkopfes angegeben.

Tabelle D.3 — Pfahlspitzenwiderstand (p_b) von in situ hergestellten Pfählen (Ortbetonpfählen) in grobkörnigem Boden mit geringen oder keinen Feinanteilen

Bezogene Setzung $s/D_s; s/D_b$	Pfahlspitzenwiderstand p_b , bei mittlerem Spitzenwiderstand der Drucksondierung q_c (CPT)			
	MPa			
	$q_c = 10$	$q_c = 15$	$q_c = 20$	$q_c = 25$
0,02	0,70	1,05	1,40	1,75
0,03	0,90	1,35	1,80	2,25
0,10 (= s_g)	2,00	3,00	3,50	4,00

ANMERKUNG Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden. Bei in situ hergestellten Pfählen (Ortbetonpfählen) mit Pfahlverbreiterung sind die Werte mit 0,75 zu multiplizieren.

s ist die bezogene Pfahlkopfsetzung;
 D_s ist der Durchmesser des Pfahlmantels;
 D_b ist der Durchmesser des Pfahlfußes;
 s_g ist der Grenzwert der Pfahlkopfsetzung.

Tabelle D.4 — Pfahlmantelreibung (p_s) von in situ hergestellten Pfählen (Ortbetonpfählen) in grobkörnigem Boden mit geringen oder keinen Feinanteilen

Mittlerer Spitzenwiderstand aus der Drucksondierung q_c (CPT)	Pfahlmantelreibung p_s
MPa	MPa
0	0
5	0,040
10	0,080
≥ 15	0,120

ANMERKUNG Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

ANMERKUNG 1 Dieses Beispiel beruht auf Versuchsergebnissen mit einer elektrisch messenden Drucksonde.

ANMERKUNG 2 Das Beispiel wurde in DIN 1054:2003-01 veröffentlicht. Für weitere Informationen und Beispiele siehe X.3.1.

D.7 Beispiel für eine Methode zur Ermittlung des axialen Widerstands eines Einzelfahls

(1) Es folgt ein Beispiel zur Ermittlung des maximalen axialen Widerstands eines Einzelfahls auf der Grundlage von q_c -Werten einer elektrisch messenden CPT. Im Fall einer Vorbelastung oder eines Aushubs nach der Ausführung eines CPT sollten die q_c -Werte gemindert werden.

(2) Der größte Eindringwiderstand eines Pfahles folgt der Gleichung:

$$F_{\max} = F_{\max;\text{base}} + F_{\max;\text{shaft}}$$

Dabei ist

$$F_{\max;\text{base}} = A_{\text{base}} \times P_{\max;\text{base}}$$

und

$$F_{\max;\text{shaft}} = C_p \int_0^{\Delta L} p_{\max;\text{shaft};z} dz$$

Dabei ist

A_{base} die Pfahlfußfläche, in m^2 ;

C_p der Umfang des Teils des Pfahlmantels in der Schicht, in der der Pfahlfuß abgesetzt ist, in m;

F_{\max} der größte Eindringwiderstand des Pfahles, in MN;

$F_{\max;\text{base}}$ der größte Pfahlfußwiderstand, in MN;

$F_{\max;\text{shaft}}$ der größte Pfahlmantelwiderstand in MN;

$\boxed{\text{AC}}$ $p_{\max;\text{shaft};z}$ $\boxed{\text{AC}}$ der größte Pfahlmantelreibung in der Tiefe z , in MPa;

$P_{\max;\text{base}}$ der größte Pfahlspitzenwiderstand, in MPa;

ΔL der Abstand vom Pfahlfuß bis zur Unterkante der ersten Bodenschicht oberhalb des Fußes, in der $q_c < 2$ MPa ist; darüber hinaus gilt $\Delta L \leq$ der Länge des verbreiterten Teils der Pfahlspitze, falls ausgeführt, in m;

z die Tiefe oder vertikale Richtung (nach unten positiv);

D_{eq} der äquivalente Durchmesser der Pfahlfußfläche, in m;

$$D_{\text{eq}} = 1,13 \times a \sqrt{\frac{b}{a}}$$

Dabei ist

a die Länge der kürzeren Seite der Pfahlfußfläche, in m;

b die größere Seite, in m, mit $b \leq 1,5 \times a$.

(3) Der größte Pfahlspitzenwiderstand $p_{\max;\text{base}}$ kann nach folgender Gleichung abgeleitet werden:

$$p_{\max;\text{base}} = 0,5\alpha_p \beta s \left(\frac{q_{c;I;\text{mean}} + q_{c;II;\text{mean}}}{2} + q_{c;III;\text{mean}} \right)$$

und

$$p_{\max;\text{base}} \leq 15 \text{ MPa}$$

Dabei ist

α_p der Pfahlklassenfaktor, wie in Tabelle D.5 angegeben;

β der Faktor, mit dem die Form der Pfahlspitze berücksichtigt wird, wie in Bild D.3 gezeigt; β wird durch Interpolation zwischen den Grenzkurven in Bild D.3 gefunden;

s der Faktor, mit dem die Ausbildung des Pfahlfußes berücksichtigt wird. Er muss auf folgende Weise bestimmt werden:

$$s = \left(1 + \frac{\sin \varphi'}{r} \right) / (1 + \sin \varphi')$$

Dabei ist

$$r = L/B;$$

L die Länge der größeren Seite der rechtwinkligen Pfahlspitze;

B die Länge der kleineren Seite der Pfahlspitze;

φ' der wirksame Reibungswinkel.

$q_{c;I;\text{mean}}$ der arithmetische Mittelwert von $q_{c;I}$ -Werten für die Tiefe von der Pfahlfußebene bis zu der Ebene, die mindestens um das 7fache und höchstens um das 4fache des äquivalenten Durchmessers des Pfahlfußes D_{eq} tiefer liegt (siehe Bild D.2);

$$q_{c;I;\text{mean}} = \frac{1}{d_{\text{crit}}} \int_0^{d_{\text{crit}}} q_{c;I} dz$$

Dabei ist

$$\boxed{\text{AC}} \quad 0,7 D_{\text{eq}} < d_{\text{crit}} < 4 D_{\text{eq}} \quad \boxed{\text{AC}}$$

In der kritischen Tiefe erreicht der berechnete Wert $p_{\max;\text{base}}$ sein Minimum;

$q_{c;II;\text{mean}}$ ist der arithmetische Mittelwert der niedrigsten $q_{c;II}$ -Werte über die Tiefe aufwärts von der kritischen Tiefe bis zur Pfahlfußebene (siehe Bild D.2);

$$q_{c;II;\text{mean}} = \frac{1}{d_{\text{crit}}} \int_{d_{\text{crit}}}^0 q_{c;II} dz$$

$q_{c;III;mean}$ ist der arithmetische Mittelwert der $q_{c;III}$ -Werte über einen Tiefenbereich, der von der Pfahlfußebene bis zum 8fachen des Pfahlfußdurchmessers oberhalb der Pfahlfußebene oder, im Fall von $b > 1,5 \times a$ bis $8 \times a$ oberhalb der Pfahlfußebene reicht. Diese Vorgehensweise beginnt mit dem niedrigsten $q_{c;II}$ -Wert, der für die Berechnung von $q_{c;II;mean}$ verwendet wurde (siehe Bild D.2);

$$q_{c;III;mean} = \frac{1}{8D_{eq}} \int_0^{-8D_{eq}} q_{c;III} dz$$

Für Bohrpfähle, die mit dem Schneckenbohrer ohne Verrohrung hergestellt werden, sollte $q_{c;III;mean}$ 2 MPa nicht überschreiten, es sei denn, dass die Ergebnisse von CPTs, die in einem Abstand von ≤ 1 m nach der Pfahlherstellung durchgeführt wurden, für die Berechnung des Pfahlwiderstandes verwendet werden.

(4) Das Maximum der Pfahlmantelreibung $p_{max;shaft;z}$ sollte auf folgende Weise bestimmt werden:

$$p_{max;shaft;z} = \alpha_s \times q_{c;z;a}$$

Dabei ist

α_s der Faktor entsprechend den Tabellen D.5 und D.6;

$q_{c;z;a}$ der geglättete Wert für q_c in der Tiefe z , in MPa.

Wenn $q_{c;z} \geq 12$ MPa über ein durchgehendes Tiefenintervall von 1 m oder mehr ist, dann ist $q_{c;z;a} \leq 15$ MPa für dieses Intervall.

Wenn das Tiefenintervall mit $q_{c;z;a} > 12$ MPa weniger als 1 m beträgt, dann ist $q_c \leq 12$ MPa für dieses Intervall.

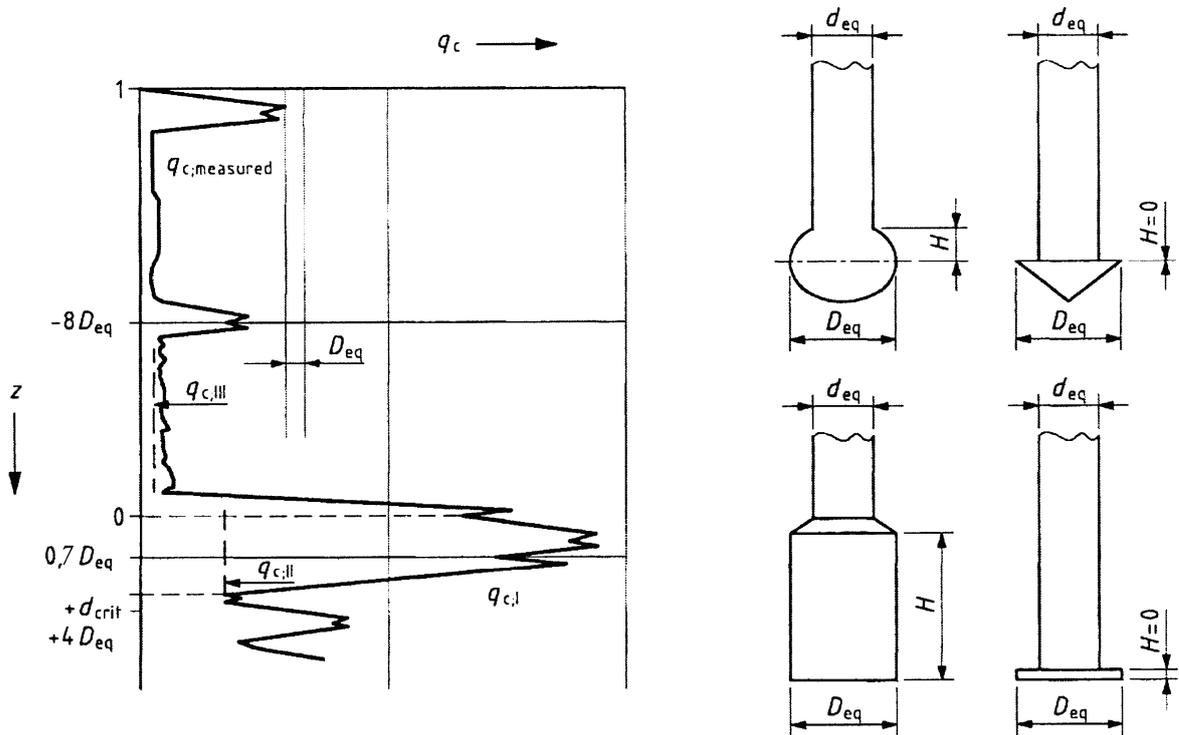
Tabelle D.5 — Höchstwerte für α_p und α_s für Sande und kiesige Sande

Pfahlklasse oder Typ	α_p	α_s^a
Verdrängungspfähle (Boden), Durchmesser > 150 mm		
— Vorgefertigte Rammspfähle,	1,0	0,010
— Ortbetonspfähle, die durch Rammen eines Stahlrohres mit geschlossenen Enden hergestellt werden. Das Stahlrohr wird während des Betonierens gezogen.	1,0	0,012
Pfähle mit Bodenersatz, Durchmesser > 150 mm		
— Bohrspfähle (unverrohrt, mit Schneckenbohrer hergestellt)	0,8	0,006 ^b
— Bohrspfähle (mit Bohrspülung).	0,6	0,005
^a Gültige Werte für fein- bis grobkörnige Sande. Für sehr grobkörnige Sande ist ein Abminderungsfaktor von 0,75 erforderlich, für Kies beträgt dieser Abminderungsfaktor 0,5.		
^b Dieser Wert wird für den Fall verwendet, wenn Ergebnisse von CPTs verwendet werden, die vor Einbringen des Pfahles durchgeführt wurden. Wenn CPTs verwendet werden, die in der Nähe der unverrohrt hergestellten Bohrspfähle durchgeführt werden, darf α_s auf 0,01 erhöht werden.		

Tabelle D.6 — α_s -Höchstwerte für Ton, Schluff und Torf

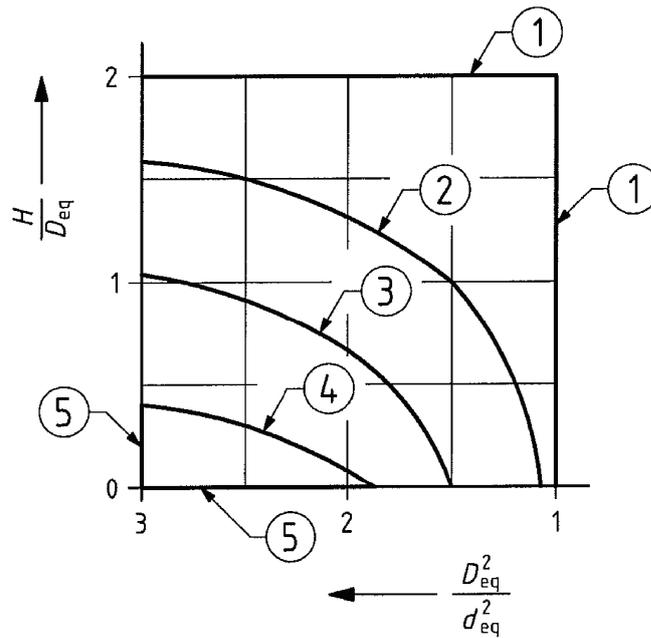
Bodenart	q_c MPa	α_s
Ton	> 3	< 0,030
Ton	< 3	< 0,020
Schluff		< 0,025
Torf		0

AC



AC

Bild D.2 — Erklärung von $q_{c,I}$, $q_{c,II}$ und $q_{c,III}$



Legende

- 1 Grenzkurve 1; $\beta = 1,0$
- 2 Grenzkurve 2; $\beta = 0,9$
- 3 Grenzkurve 3; $\beta = 0,8$
- 4 Grenzkurve 4; $\beta = 0,7$
- 5 Grenzkurve 5; $\beta = 0,6$

Für H , D_{eq} und d_{eq} siehe Bild D.2.

Bild D.3 — Faktor β für die Form der Pfahlspitze

ANMERKUNG Dieses Beispiel wurde in NEN 6743-1 veröffentlicht. Für weitere Informationen und Beispiele siehe X.3.1.

Anhang E (informativ)

Pressiometerversuche (PMT)

E.1 Beispiel für ein Verfahren zur Berechnung des Grundbruchwiderstandes von Flachgründungen

(1) Es folgt ein Beispiel für ein Verfahren zur Berechnung des Grundbruchwiderstandes von Flachgründungen unter Verwendung eines halbempirischen Verfahrens und der Ergebnisse eines MPM-Versuches.

(2) Der Grundbruchwiderstand wird nach

$$R/A' = \sigma_{v0} + k (p_{LM} - p_0)$$

berechnet.

Dabei ist

R der Widerstand der Gründung gegen lotrechte Belastung;

A' die wirksame Grundfläche nach EN 1997-1;

σ_{v0} die totale Vertikalspannung vor Beginn der Baumaßnahme in der Gründungssohle (Ausgangsspannung);

p_{LM} der repräsentative Wert des Grenzdrucks nach Ménard in der Gründungssohle der Flachgründung;

$p_0 = [K_0 (\sigma_{v0} - u) + u]$ mit K_0 normalerweise gleich 0,5, und σ_{v0} als der totalen Vertikalspannung in der Versuchstiefe und u als dem Porenwasserdruck in der Versuchstiefe;

k ein Pfahlwiderstandsfaktor bei Druckbelastung nach Tabelle E.1;

B die Gründungsbreite;

L die Gründungslänge;

D_e die äquivalente Tiefe der Gründung.

Tabelle E.1 — Beziehungen für die Ableitung des Faktors (*k*) des Grundbruchwiderstandes von Flachgründungen

Bodenart	<i>p</i> _{LM} Kategorie	<i>p</i> _{LM} MPa	<i>k</i>
Ton und Schluff	A	< 0,7	0,8 [1 + 0,25 (0,6 + 0,4 <i>B/L</i>) <i>D_e/B</i>]
	B	1,2 bis 2,0	0,8 [1 + 0,35 (0,6 + 0,4 <i>B/L</i>) <i>D_e/B</i>]
	C	> 2,5	0,8 [1 + 0,50 (0,6 + 0,4 <i>B/L</i>) <i>D_e/B</i>]
Sand und Kies	A	< 0,5	[1 + 0,35 (0,6 + 0,4 <i>B/L</i>) <i>D_e/B</i>]
	B	1,0 bis 2,0	[1 + 0,50 (0,6 + 0,4 <i>B/L</i>) <i>D_e/B</i>]
	C	> 2,5	[1 + 0,80 (0,6 + 0,4 <i>B/L</i>) <i>D_e/B</i>]
Kreide			1,3 [1 + 0,27 (0,6 + 0,4 <i>B/L</i>) <i>D_e/B</i>]
Mergel und verwitterter Fels			[1 + 0,27 (0,6 + 0,4 <i>B/L</i>) <i>D_e/B</i>]

ANMERKUNG Dieses Beispiel wurde von dem französischen Ministerium: Ministère de l'Équipement du Logement et des Transport (1993) veröffentlicht. Für weitere Informationen und Beispiele siehe X.3.2.

E.2 Beispiel für ein Verfahren zur Berechnung der Setzungen von Flachgründungen

(1) Es folgt ein Beispiel für ein Verfahren zur Berechnung der Setzungen *s* von Flachgründungen unter Verwendung eines halbempirischen Verfahrens, das für MPM-Versuche entwickelt wurde:

$$s = (q - \sigma_{v0}) \times \left(\frac{2 B_0}{9 E_d} \left(\frac{\lambda_d B}{B_0} \right)^\alpha + \frac{\alpha \lambda_c B}{9 E_c} \right)$$

Dabei ist

*B*₀ die Bezugsbreite von 0,6 m;

B die Gründungsbreite;

*λ*_d und *λ*_c Formfaktoren aus Tabelle E.2;

α ein rheologischer Faktor aus Tabelle E.3;

*E*_c der gewichtete Wert von *E*_M unmittelbar unter der Gründung;

*E*_d der harmonische Mittelwert von *E*_M in allen Schichten bis 8 × *B* unter der Gründung;

*σ*_{v0} die totale Vertikalspannung vor Beginn der Baumaßnahme in der Gründungssohle (Ausgangsspannung);

q die Bemessungsnormalspannung auf der Gründung.

Tabelle E.2 — Formfaktoren λ_d und λ_c für die Setzung von Flachgründungen

L/B	Kreis	Quadrat	2	3	5	20
λ_d	1	1,12	1,53	1,78	2,14	2,65
λ_c	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5

Tabelle E.3 — Abgeleitete Werte für den Faktor α für Flachgründungen

Art des Untergrunds	Beschreibung	E_M/p_{LM}	α
Torf			1
Ton	vorbelastet	$\langle AC \rangle > 16 \langle AC \rangle$	1
	erstbelastet	9 bis 16	0,67
	durchwakt	7 bis 9	0,5
Schluff	vorbelastet	> 14	0,67
	erstbelastet	5 bis 14	0,5
Sand		> 12	0,5
		5 bis 12	0,33
Sand und Kies		> 10	0,33
		6 bis 10	0,25
Fels	stark geklüftet		0,33
	unverändert		0,5
	verwittert		0,67

ANMERKUNG Dieses Beispiel wurde von dem französischen Ministerium: Ministère de l'Équipement du Logement et des Transport (1993) veröffentlicht. Für weitere Informationen und Beispiele siehe X.3.2.

E.3 Beispiel für ein Verfahren zur Berechnung des Widerstands eines Einzelfahls bei Druckbelastung

(1) Es folgt ein Beispiel für ein Verfahren zur Berechnung des Grenzwerts Q des Pfahlwiderstands bei Druckbelastung aus MPM-Versuchen nach folgender Formel:

$$Q = A \times k \times [p_{LM} - p_0] + P \sum [q_{si} \times z_i]$$

Dabei ist

A die Aufstandsfläche des Pfahles, die für Pfähle mit geschlossener Spitz dem Pfahlquerschnitt bei Pfählen mit offener Spitze einem Teil davon gleichzusetzen ist;

p_{LM} der repräsentative Grenzdruck in der Tiefe der Pfahlspitze, korrigiert für eine eventuell darunter liegende weiche Schicht;

$p_0 = [K_0 (\sigma_{v0} - u) + u]$ mit K_0 normalerweise gleich 0,5, und σ_{v0} als der totalen Vertikalspannung vor Beginn der Baumaßnahme in der Versuchstiefe und u als dem Porenwasserdruck in der Versuchstiefe;

k Pfahlwiderstandsfaktor bei Druckbelastung nach Tabelle E.4;

P der Umfang des Pfahls;

q_{si} der Pfahlmantelreibung der Bodenschicht in der Bodenschicht i nach Bild E.1, abgelesen in Verbindung mit Tabelle E.5;

z_i die Dicke der Bodenschicht i .

ANMERKUNG Dieses Beispiel wurde von dem französischen Ministerium: Ministère de l'Équipement du Logement et des Transport (1993) veröffentlicht. Für weitere Informationen und Beispiele siehe X.3.2.

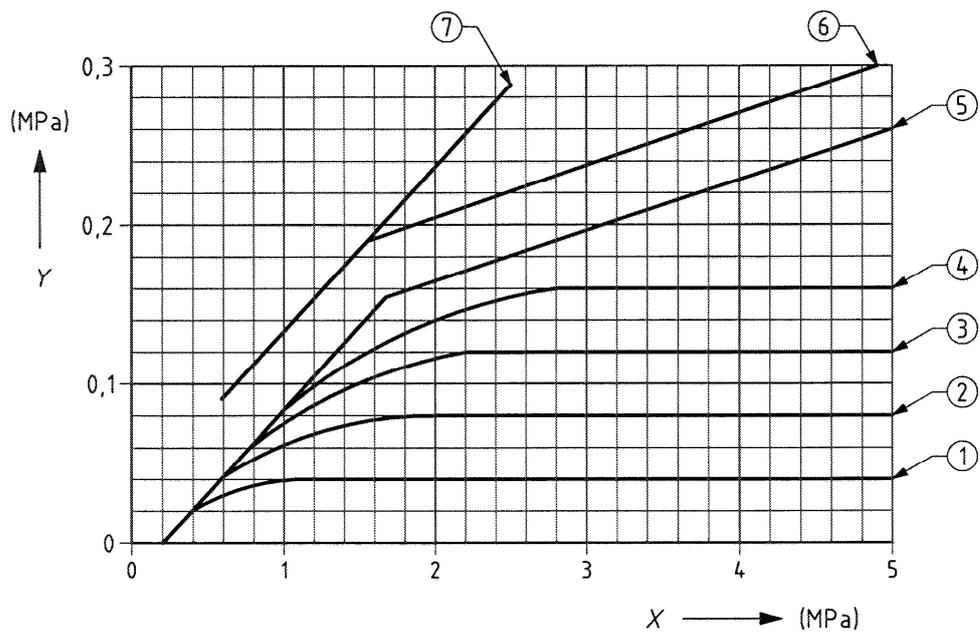
Tabelle E.4 — Pfahlwiderstandsfaktor k bei axialer Druckbelastung von Pfählen

Bodenart	p_{LM} Kategorie	p_{LM} MPa	Bohrpfähle und Pfähle mit geringer Verdrängung	Vollverdrängungs- pfähle
Ton und Schluff	A	< 0,7	1,1	1,4
	B	1,2 bis 2,0	1,2	1,5
	C	> 2,5	1,3	1,6
Sand und Kies	A	< 0,5	1,0	4,2
	B	1,0 bis 2,0	1,1	3,7
	C	> 2,5	1,2	3,2
Kreide	A	< 0,7	1,1	1,6
	B	1,0 bis 2,5	1,4	2,2
	C	> 3,0	1,8	2,6
Mergel	A	1,5 bis 4,0	1,8	2,6
	B	> 4,5	1,8	2,6
Verwitterter Fels	A	2,5 bis 4,0	a	a
	B	> 4,5		

^a k ist für die nächst ähnliche Bodenart zu wählen.

Tabelle E.5 — Wahl der Bemessungskurven für die Pfahlmantelreibung

Bodenart		Ton und Schluff			Sand und Kies			Kreide			Mergel		v.* Fels
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	
<i>p</i> _{LM} Kategorie													
Pfahltyp													
Bohrpfähle und Senkkästen	Nicht gestützt	1	1/2	2/3	—		—	1	3	4/5	3	4/5	6
	Dickspülung	1	1/2	1/2	1	1/2	2/3	1	3	4/5	3	4/5	6
	Vorübergehende Verrohrung	1	1/2	1/2	1	1/2	2/3	1	2	3/4	3	4	—
	Dauerverrohrung	1	1	1	1	1	2				2	3	—
Senkkasten mit Handaushub		1	2	3	—	—	—	1	2	3	4	5	6
Verdrängungs- pfähle	Geschlossenes Stahlrohr	1	2	2	2	2	3				3	4	4
	Vorgefertigter Betonpfahl	1	2	2	3	3	3				3	4	4
	Ortbetonpfahl	1	2	2	2	2	3	1	2	3	3	4	—
	Ummantelter Schaft (Beton gerammter Stahlpfahl) ^a	1	2	2	3	3	4				3	4	—
Verpress- pfähle	Niederdruck	1	2	2	3	3	3	2	3	4	5	5	—
	Hochdruck	1	4	5	5	5	6	—	5	6	6	6	7
^a Ein röhrenförmiger oder mit H-Querschnitt vorgefertigter Stahlpfahl mit Verbreiterungsschuh wird, unter gleichzeitigem Einfüllen von Beton oder Mörtel in den Ringraum, eingerammt. * v. = verwitterter													



Legende

- (X) Grenzdruck (p_{LM})
- (Y) Pfahlmantelreibung (q_{si})
- 1 bis 7 Bemessungskurven für die Mantelreibung

Bild E.1 — Pfahlmantelreibung für axial belastete Pfähle

Anhang F (informativ)

Standard Penetration Test (SPT)

F.1 Beispiele für die Korrelationen von Schlagzahlen und bezogenen Lagerungsdichten

- (1) Es folgen Beispiele für die Korrelationen von Schlagzahlen und bezogenen Lagerungsdichten.
- (2) Die Beziehung zwischen Schlagzahl N_{60} , bezogener Lagerungsdichte $I_D = (e_{\max} - e)/(e_{\max} - e_{\min})$ und der wirksamen gesamten Anfangsspannung $\sigma'_{v,0}$ ($\text{kPa} \times 10^{-2}$) für einen gegebenen Sand kann durch folgenden Ausdruck dargestellt werden:

$$\frac{N_{60}}{I_D^2} = a + b \sigma'_{v,0}$$

Die Koeffizienten a und b für erstbelastete Sande sind nahezu konstant für

$$0,35 < I_D < 0,85 \text{ und } 0,5 < \sigma'_{v,0} < 2,5, \text{ in } \text{kPa} \times 10^{-2}.$$

(siehe Skempton 1986, Tabelle 8)

- (3) Für erstbelastete natürliche Sandablagerungen wurde die Beziehung zwischen der normalisierten Schlagzahl $(N_1)_{60}$ und I_D in Tabelle F.1 entwickelt:

Tabelle F.1 — Korrelation zwischen der normalisierten Schlagzahl $(N_1)_{60}$ und der Lagerungsdichte I_D

AC

	sehr locker	locker	mitteldicht	dicht	sehr dicht
$(N_1)_{60}$	0 – 3	3 – 8	8 – 25	25 – 42	42 – 58
I_D	0 % – 15 %	15 % – 35 %	35 % – 65 %	65 % – 85 %	85 % – 100 %

AC

AC gestrichener Text AC

- (4) Für Feinsande sollten die N -Werte im Verhältnis 55:60 gemindert und für Grobsande im Verhältnis 65:60 erhöht werden.
- (5) Der Widerstand von Sand gegen Verformungen ist umso größer, je länger der Zeitraum der Konsolidation ist. Dieser „Alterungseffekt“ zeigt sich in höheren Schlagzahlen und scheint eine Zunahme des Koeffizienten α zu bewirken.

Typische Ergebnisse für erstbelastete Feinsande sind in Tabelle F.2 angegeben.

Tabelle F.2 — Wirkung von Alterung in erstbelasteten Feinsanden

	Alter Jahre	$(N_1)_{60} / I_D^2$
Laborversuche	10^{-2}	35
Kürzliche Auffüllungen	10	40
Natürliche Ablagerungen	$> 10^2$	55

(6) Vorbelastung vergrößert den Koeffizienten b um den Faktor

$$\frac{1 + 2 \times K_0}{1 + 2 \times K_{\text{ONC}}}$$

Dabei sind

K_0 und K_{ONC} die in-situ-Spannungsverhältnisse von horizontaler zu vertikaler wirksamen Spannung für vorbelasteten bzw. erstbelasteten Sand.

(7) Alle oben erwähnten Beziehungen sind vorherrschend für Quarzsande aufgestellt worden. Ihre Anwendung bei stärker zermahlbaren und zusammendrückbaren Sanden wie kalkhaltige Sande oder selbst Quarzsande mit einem nicht vernachlässigbaren Anteil an Feinkorn könnte zu einer Unterschätzung von I_D führen.

ANMERKUNG Diese Beispiele wurden von Skempton (1986) veröffentlicht. Für weitere Informationen und Beispiele siehe X.3.3.

F.2 Beispiele für die Ableitung des wirksamen Reibungswinkels

(1) Dies ist ein Beispiel für die Ableitung des wirksamen Reibungswinkels φ' von Quarzsanden von der bezogenen Lagerungsdichte (I_D). Die Werte für φ' werden auch von der Kornform und dem Spannungszustand beeinflusst (siehe Tabelle F.3).

Tabelle F.3 — Korrelationen zwischen der bezogenen Lagerungsdichte und dem wirksamen Reibungswinkel φ' in Grad von Quarzsanden

Bezogene Lagerungsdichte I_D %	Feinkörnig		Mittel		Grobkörnig	
	gleichförmig	ungleichförmig	gleichförmig	ungleichförmig	gleichförmig	ungleichförmig
40	34	36	36	38	38	41
60	36	38	38	41	41	43
80	39	41	41	43	43	44
100	42	43	43	44	44	46

ANMERKUNG Dieses Beispiel wurde von US Army Corps of Engineers (1993) veröffentlicht. Für weitere Informationen und Beispiele siehe X.3.3.3.

F.3 Beispiel für ein Verfahren zur Berechnung der Setzung von Flachgründungen

(1) Dies ist ein Beispiel eines empirischen direkten Verfahrens für die Setzungsberechnung von Flachgründungen in körnigem Boden.

(2) Es wird angenommen, dass die Setzung für Spannungen, die geringer als der Vorbelastungsdruck sind, 1/3 der entsprechenden Setzung für erstbelasteten Sand beträgt. Die Sofortsetzung s_i in mm eines quadratischen Fundaments mit der Breite B in m ergibt sich in einem vorbelasteten Sand aus, wenn $q' \geq \sigma'_p$ ist:

$$s_i = \sigma'_p \times B^{0,7} \times \frac{I_{cc}}{3} + (q' - \sigma'_p) \times B^{0,7} \times I_{cc}$$

Dabei ist

σ'_p maximaler vorhergehender Überlagerungsdruck, in kPa;

q' mittlere wirksame Sohlpressung, in kPa;

$I_{cc} = a_f / B^{0,7}$;

a_f Zusammendrückbarkeit des Baugrunds unter dem Fundament $\Delta s_i / \Delta q'$, in mm/kPa.

Wenn $q' \leq \sigma'_p$ ist, gilt die Gleichung:

$$s_i = \sigma'_p \times B^{0,7} \times \frac{I_{cc}}{3}$$

und für erstbelastete Sande:

$$s_i = (q' - \sigma'_p) \times B^{0,7} \times I_{cc}$$

(3) Aus einer Regressionsanalyse der Setzungsbeobachtungen erhält man den Wert für I_{cc} aus der Gleichung:

$$I_{cc} = 1,71 / \bar{N}^{1,4}$$

Dabei ist

\bar{N} die über die Einflusstiefe gemittelte SPT-Schlagzahl.

Der Standardfehler für a_f variiert zwischen etwa 1,5 für \bar{N} größer als 25 bis 1,8 für \bar{N} kleiner als etwa 10.

(4) Für dieses besondere empirische Verfahren sollten die N -Werte nicht um den Einfluss des Überlagerungsdruckes korrigiert werden. Das den N -Werten entsprechende Energieverhältnis (E_r) wird nicht erwähnt. Es wird vorausgesetzt, dass der Einfluss des Grundwasserspiegels bereits in den gemessenen Schlagzahlen berücksichtigt ist; allerdings sollte für feinkörnige oder schluffige Sande unter Wasser bei $N > 15$ die Korrektur $N' = 15 + 0,5 \times (N - 15)$ vorgenommen werden.

Liegen Kiese oder Sande vor, sollte die SPT-Schlagzahl um den Faktor von etwa 1,25 vergrößert werden.

(5) Für Fälle, bei denen N mit der Tiefe anwächst oder konstant bleibt, ist der Wert für \bar{N} der arithmetische Mittelwert der über die Einflusstiefe $z_1 = B^{0,75}$ gemessenen N -Werte, innerhalb der 75 % der Setzung auftreten. Wenn N eine gleichbleibende Abnahme mit der Tiefe anzeigt, wird entweder $2B$ oder die Sohle der weichen Schicht als Einflusstiefe gewählt, je nachdem, welche von beiden die geringere ist.

(6) Ein Korrekturfaktor f_s sollte für das Längen-Breiten-Verhältnis (L/B) der Gründung angewendet werden:

$$f_s = \left[\frac{1,25 \times \frac{L}{B}}{\frac{L}{B} + 0,25} \right]^2$$

Der Wert für f_s nähert sich 1,56, wenn L/B gegen Unendlich geht. Für $D/B < 3$ braucht kein Korrekturfaktor für die Tiefe (D) angewendet zu werden.

(7) Gründungen in Sanden und Kiesen weisen zeitabhängige Setzungen auf. Folgender Korrekturfaktor f_t sollte für die Sofortsetzung angewendet werden:

$$f_t = (1 + R_3 + R_t \lg t/3)$$

Dabei ist

f_t der Korrekturfaktor für die Zeit $t \geq 3$ Jahre;

R_3 der zeitabhängige Faktor für die Setzung, die während der ersten 3 Jahre nach Fertigstellung des Bauwerks auftritt;

R_t der zeitabhängige Faktor für die Setzung, die in jeder logarithmischen Zeitperiode nach drei Jahren auftritt.

(8) Für statische Lasten sind 0,3 und 0,2 konservative Werte für R_3 bzw. R_t . Damit ist für $t = 30$ Jahre $f_t = 1,5$. Für schwingende Lasten (hohe Schornsteine, Brücken, Silos, Turbinen usw.) betragen die Werte für R_3 und R_t 0,7 bzw. 0,8, so dass für $t = 30$ Jahre $f_t = 2,5$ ist.

ANMERKUNG Dieses Beispiel wurde von Burland und Burbridge (1985) veröffentlicht. Für weitere Informationen und Beispiele siehe X.3.3.

Anhang G (informativ)

Rammsondierungen (DP)

G.1 Beispiele für Korrelationen von Schlagzahlen und bezogener Lagerungsdichte

(1) Dies sind Beispiele für die aus Rammsondierungen DP abgeleitete bezogene Lagerungsdichte (I_D) für verschiedene Werte der Ungleichförmigkeitszahl C_U (Gültigkeitsbereich: $3 \leq N_{10} \leq 50$):

— enggestufter Sand ($C_U \leq 3$) über Grundwasser

$$I_D = 0,15 + 0,260 \lg N_{10L} \text{ (DPL)}$$

$$I_D = 0,10 + 0,435 \lg N_{10H} \text{ (DPH)}$$

— enggestufter Sand ($C_U \leq 3$) unter Grundwasser

$$I_D = 0,21 + 0,230 \lg N_{10L} \text{ (DPL)}$$

$$I_D = 0,23 + 0,380 \lg N_{10H} \text{ (DPH)}$$

— weitgestufter Sand-Kies ($C_U \geq 6$) über Grundwasser

$$I_D = -0,14 + 0,550 \lg N_{10H} \text{ (DPH)}$$

ANMERKUNG Diese Beispiele wurden von Stenzel et al. (1978) und in DIN 4094-3 veröffentlicht. Für weitere Informationen und Beispiele siehe X.3.4.

G.2 Beispiel für eine Korrelation zwischen dem wirksamen Reibungswinkel und der bezogenen Lagerungsdichte

(1) Dies ist ein Beispiel für die Ableitung des wirksamen Reibungswinkels φ' aus der bezogenen Lagerungsdichte (I_D) für die Berechnung der Tragfähigkeit grobkörniger Böden, siehe Tabelle G.1.

Tabelle G.1— Wirksamer Reibungswinkel (φ') von grobkörnigem Boden als Funktion der bezogenen Lagerungsdichte (I_D) und der Ungleichförmigkeitszahl (C_U)

Bodenart	Körnungslinie	Bereich von	Reibungswinkel (φ')
		I_D %	Grad
schwach feinkörniger Sand Sand, Sand und Kies	enggestuft ($C_U < 6$)	15 bis 35 (locker)	30
		35 bis 65 (mitteldicht)	32,5
		> 65 (dicht)	35
Sand, Sand und Kies, Kies	weitgestuft ($6 \leq C_U \leq 15$)	15 bis 35 (locker)	30
		35 bis 65 (mitteldicht)	34
		> 65 (dicht)	38

ANMERKUNG Dieses Beispiel wurde in DIN 1054-100 veröffentlicht. Für weitere Informationen und Beispiele siehe X.3.4.

G.3 Beispiel für die Ableitung des spannungsabhängigen Steifemoduls aus DP-Ergebnissen

(1) Dies ist ein Beispiel der Ableitung des von der Vertikalspannung abhängigen Steifemoduls aus einaxialen Kompressionsversuchen (E_{oed}), der häufig für Setzungenberechnungen von Flachgründungen empfohlen wird. Er wird folgendermaßen bestimmt:

$$E_{\text{oed}} = w_1 p_a \left(\frac{\sigma'_v + 0,5 \Delta \sigma'_v}{p_a} \right)^{w_2}$$

Dabei ist

- w_1 der Steifebeiwert;
- w_2 der Steifeexponent;
 für Sande mit einer Ungleichförmigkeitszahl $C_U \leq 3$: $w_2 = 0,5$;
 für Tone mit geringer Plastizität ($I_p \leq 10$; $w_L \leq 35$): $w_2 = 0,6$;
- σ'_v die wirksame Vertikalspannung in der Gründungssohle oder in jeder beliebigen Tiefe darunter infolge des Überlagerungsdrucks des Bodens;
- $\Delta \sigma'_v$ die wirksame Vertikalspannung in der Gründungssohle auf Grund des Bauwerks oder in jeder beliebigen Tiefe darunter;
- p_a der atmosphärische Druck;
- I_p die Plastizitätszahl;
- w_L die Fließgrenze.

(2) Werte für den Steifebeiwert (w_1) können aus Rammsondierungen abgeleitet werden, z. B. unter Anwendung folgender Gleichungen, die von der Bodenart abhängig sind:

— enggestufte Sande ($C_U \leq 3$) über Grundwasser

$$w_1 = 214 \lg N_{10L} + 71 \quad (\text{DPL; Gültigkeitsbereich: } 4 \leq N_{10L} \leq 50)$$

$$w_1 = 249 \lg N_{10H} + 161 \quad (\text{DPH; Gültigkeitsbereich: } 3 \leq N_{10H} \leq 10)$$

— gering plastische Tone von mindestens steifer Konsistenz ($0,75 \leq I_c \leq 1,30$) und über Grundwasser (I_c ist die Konsistenzzahl)

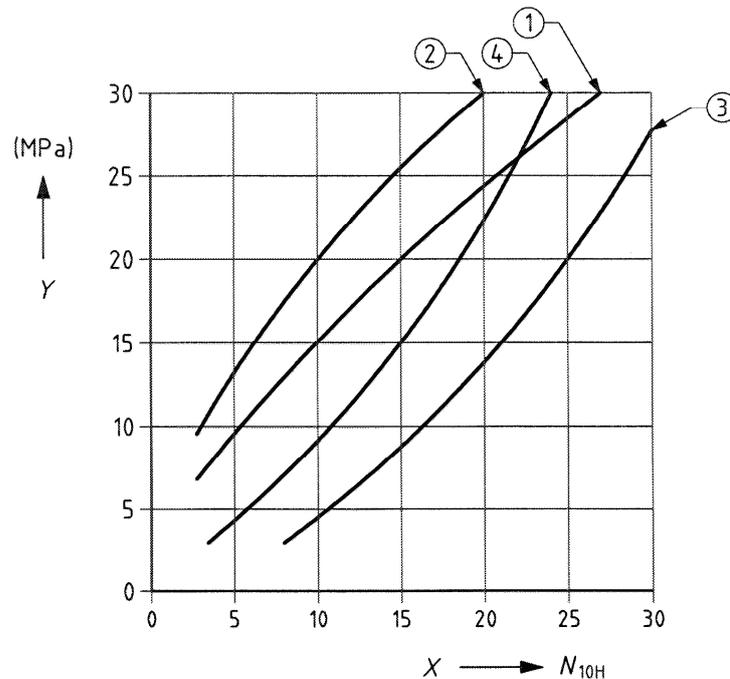
$$w_1 = 4 N_{10L} + 30 \quad (\text{DPL; Gültigkeitsbereich: } 6 \leq N_{10L} \leq 19)$$

$$w_1 = 6 N_{10H} + 50 \quad (\text{DPH; Gültigkeitsbereich: } 3 \leq N_{10H} \leq 13).$$

ANMERKUNG Diese Beispiele wurden von Stenzel et al. (1978), Biedermann (1984) und in DIN 4094-3:2002 veröffentlicht. Für weitere Informationen und Beispiele siehe X.3.4.

G.4 Beispiel für Korrelationen zwischen Spitzenwiderstand von Drucksondierungen und Schlagzahl

(1) Dies ist ein Beispiel für die Schätzung des Spitzenwiderstandes q_c von Drucksondierungen in Sanden und Sand-Kies-Gemischen aus den Ergebnissen von Sondierungen mit der schweren Rammsonde DPH, um die Grenztragfähigkeit von Pfählen mit den entsprechenden Korrelationen abzuleiten, die aus statischen Pfahlbelastungsversuchen aufgestellt wurden, siehe Bild G.1, 4.3.4.2(1)P und D.6).



Legende

- X Anzahl der Schläge
- Y Spitzenwiderstand q_c
- 1 Enggestufter Sand über Grundwasser
- 2 Enggestufter Sand im Grundwasser
- 3 Weitgestufter Sand und Kies über Grundwasser
- 4 Weitgestufter Sand und Kies im Grundwasser

Bild G.1 — Beispiel für den Zusammenhang zwischen den Schlagzahlen N_{10H} und dem Spitzenwiderstand (q_c) der Drucksonde für enggestufte Sande und Sand-Kies-Gemische

ANMERKUNG Dieses Beispiel wurde von Stenzel et al. (1978) und in DIN 4094-3 veröffentlicht. Für weitere Informationen und Beispiele siehe X.3.4.

G.5 Beispiel für eine Beziehung zwischen den Schlagzahlen verschiedener Rammsonden

(1) Das ist ein Beispiel für die Beziehung zwischen den Schlagzahlen N_{10L} der Rammsondierung DPL und den Schlagzahlen N_{10H} der Rammsondierung DPH in enggestuften Sanden ($C_U < 3$) oberhalb des Grundwasserspiegels:

a) Eingangswert: DPH-Ergebnisse

$$N_{10L} = 3 N_{10H}$$

Gültigkeitsbereich: $3 \leq N_{10H} \leq 20$

b) Eingangswert: DPL-Ergebnis

$$N_{10H} = 0,34 N_{10L}$$

Gültigkeitsbereich: $3 \leq N_{10L} \leq 50$

ANMERKUNG Diese Beispiele wurden von Stenzel (1978) und Biedermann (1984) und in DIN 4094-3:2002 veröffentlicht. Für Tone siehe Butcher, A.P., McElmeel, K., Powell, J.J.M. (1995). Für weitere Informationen und Beispiele siehe X.3.4.

Anhang H (informativ)

Gewichtssondierung (WST)

(1) Dieser Anhang liefert ein Beispiel für Werte für den wirksamen Reibungswinkel (φ') und den dränierten Elastizitätsmodul (E'), die auf Grund schwedischer Versuche mit Hilfe des Widerstands der Gewichtssondierung geschätzt wurden. In diesem Beispiel ist der Mittelwert des Widerstands der Gewichtssondierung in einer Schicht zu den Mittelwerten von φ' und E' in Beziehung (siehe Tabelle H.1) gesetzt.

Tabelle H.1 — Werte des Reibungswinkels (φ') und des dränierten Elastizitätsmoduls (E') für natürlich abgelagerte Quarz- und Feldspatsande, geschätzt mit Hilfe des Widerstands der Gewichtssondierung in Schweden

Bezogene Lagerungsdichte	Widerstand der Gewichtssondierung ^a Halbe Umdrehungen/0,2 m	Wirksamer Reibungswinkel ^b φ' Grad	Dräniertes Elastizitätsmodul ^c E' MPa
sehr locker	0 bis 10	29 bis 32	< 10
locker	10 bis 30	32 bis 35	10 bis 20
mitteldicht	20 bis 50	35 bis 37	20 bis 30
dicht	40 bis 90	37 bis 40	30 bis 60
sehr dicht	> 80	40 bis 42	60 bis 90

^a Vor der Ermittlung der bezogenen Lagerungsdichte sollte der Widerstand der Gewichtssondierung durch den Faktor 1,3 geteilt werden.

^b Die angegebenen Werte gelten für Sande. Für schluffigen Boden sollte eine Abminderung um 3° vorgenommen werden. Für Kiese dürfen 2° hinzugefügt werden.

^c E' ist eine Näherung an den spannungs-zeitabhängigen Sekantenmodul. Die angegebenen Werte für den dränierten Modul entsprechen Setzungen nach 10 Jahren. Sie werden unter der Annahme erlangt, dass die Verteilung der Vertikalspannung der 2:1-Näherung folgt. Einige Untersuchungen deuten ferner an, dass diese Werte in schluffigem Boden 50 % niedriger und in kiesigem Boden 50 % höher sein können. In vorbelastetem grobkörnigen Boden kann der Modul bedeutend höher sein. Wenn Setzungen für Sohldrücke berechnet werden, die größer als 2/3 des Bemessungsdrucks im Grenzzustand sind, sollte der Modul auf die Hälfte der in der Tabelle angegebenen Werte gesetzt werden.

(2) Wenn nur Ergebnisse von Gewichtssondierungen verfügbar sind, sollte aus dem jeweiligen Bereich in Tabelle H.1 der niedrigere Wert für den wirksamen Reibungswinkel und den Elastizitätsmodul gewählt werden.

(3) Bei der Auswertung der Diagramme des Widerstandes von Gewichtssondierungen für die Verwendung in Tabelle H.1 sollten Spitzenwerte, die z. B. durch Steine oder Kies verursacht wurden, nicht berücksichtigt werden. Derartige Spitzenwerte kommen häufig bei Gewichtssondierungen in Kies vor.

ANMERKUNG Dieses Beispiel wurde von Bergdahl et al. (1993) veröffentlicht. Für weitere Informationen und Beispiele siehe X.3.5.

Anhang I (informativ)

Flügelscherversuch (FVT)

I.1 Beispiele für Verfahren zur Bestimmung von Korrekturfaktoren für die Kohäsion des undränierten Bodens

(1) Beispiele für Verfahren zur Bestimmung von Korrekturfaktoren für die Ergebnisse aus Flügelscherversuchen, um die Kohäsion des undränierten Bodens (c_u) aus dem gemessenen Wert (c_{fv}) des Flügelscherversuchs zu erhalten, werden in den Bildern I.2 bis I.5 angegeben. Diese Korrekturfaktoren beruhen hauptsächlich auf der Nachrechnung von Böschungsbrüchen und Belastungsversuchen in weichen Tönen. Alle Verfahren führen zu einem Wert des Korrekturfaktors (μ), der in den folgenden Gleichungen benutzt wird, um den Wert für die Kohäsion des undränierten Bodens (c_u) festzulegen:

$$c_u = \mu \times c_{fv}$$

Dabei ist

c_{fv} der gemessene Wert der undränierten Scherfestigkeit aus dem Flügelscherversuch;

μ der Korrekturfaktor.

(2) Das angewandte Verfahren sollte auf örtlichen Erfahrungen in der anstehenden Ausbildung des Tons beruhen. Es sollte ebenso bedacht werden, dass die dränierete Scherfestigkeit geringer sein kann als die Kohäsion des undränierten Bodens.

ANMERKUNG Für weitere Informationen siehe X.3.6.

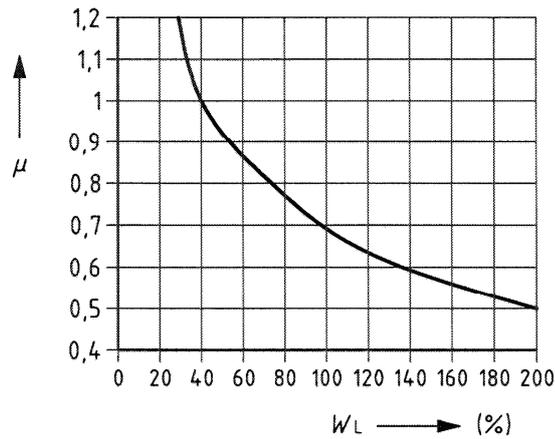
I.2 Beispiel der Bestimmung des Korrekturfaktors μ auf der Grundlage der Atterberg-Grenzen

(1) Bei weichen erstbelasteten Tönen wird der Korrekturfaktor (μ) an die Fließgrenze oder die Plastizitätszahl gebunden. Ein Beispiel für die Korrekturkurve wird in Bild I.1 dargestellt.

(2) Ein Korrekturfaktor größer als 1,2 sollte nicht ohne Absicherung durch zusätzliche Untersuchungen benutzt werden.

(3) In gerissenen (klüftigen) Tönen können Korrekturfaktoren so niedrig wie 0,3 erforderlich werden. In gerissenen Tönen sollte die Kohäsion des undränierten Bodens mit anderen Methoden als mit Flügelscherversuchen, z. B. mit Belastungsversuchen für Flachgründungen, bestimmt werden.

ANMERKUNG Das Danish Geotechnical Institute (1959) gibt Beispiele für Korrekturfaktoren in gerissenen Tönen an. Für weitere Informationen und Beispiele siehe X.3.6.



Legende

- w_L Fließgrenze
- μ Korrekturfaktor

Bild I.1 — Beispiel von Korrekturfaktoren für c_{fv} auf der Grundlage der Fließgrenze für erstbelastete Tone

ANMERKUNG Das Beispiel in Bild I.1 wurde von Larsson et al. (1984) veröffentlicht. Für weitere Informationen und Beispiele siehe X.3.6.

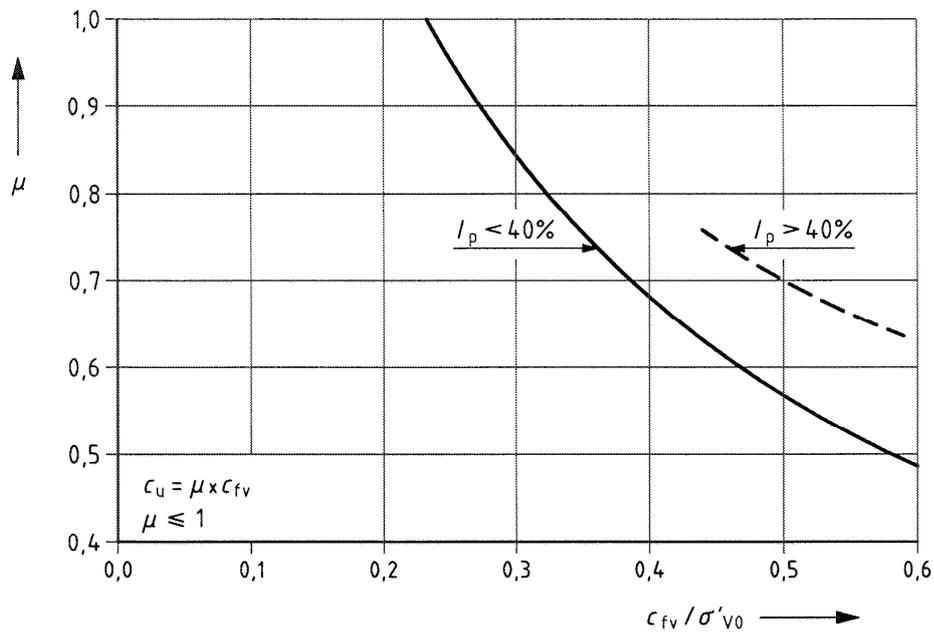
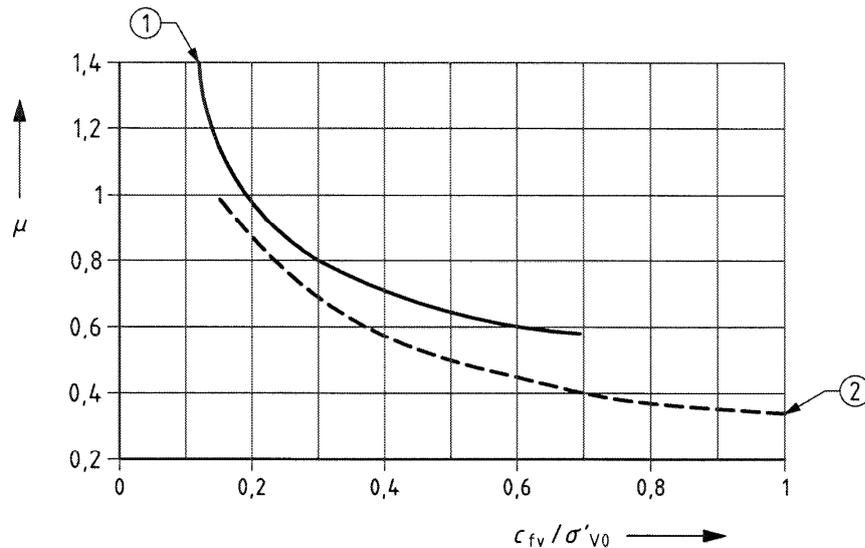


Bild I.2 — Beispiele für Korrekturfaktoren für c_{fv} auf der Grundlage der Plastizitätszahl I_p und der wirksamen Vertikalspannung σ'_{v0} für vorbelastete Tone

ANMERKUNG Das Beispiel in Bild I.2 wurde von Aas (1979) veröffentlicht. Für weitere Informationen siehe X.3.6.



Legende

- 1 erstbelastet (NC)
- 2 vorbelastet (OC)

Bild I.4 — Korrekturfaktoren für erstbelastete und vorbelastete Tone

ANMERKUNG Für weitere Informationen siehe X.3.6.

I.5 Beispiel für die Bestimmung des Korrekturfaktors μ auf der Grundlage der Konsistenzgrenzen und des Konsolidierungszustands

- (1) Diese Vorgehensweise wird ebenfalls dargestellt, um der Auswirkung der Vorbelastung Rechnung zu tragen.
- (2) Der Korrekturfaktor (μ) für erstbelastete und gering vorbelastete Tone kann folgendermaßen bestimmt werden:

$$\mu = \left(\frac{0,43}{w_L} \right)^{0,45} \geq 0,5$$

Dabei ist

w_L die Fließgrenze (siehe Bild I.1).

- (3) In vorbelasteten Tonen mit einem Konsolidierungsgrad größer 1,3 kann folgender Korrekturfaktor (μ) angewandt werden:

$$\mu = \left(\frac{0,43}{w_L} \right)^{0,45} \times \left(\frac{R_{OC}}{1,3} \right)^{-0,15}$$

Dabei ist

R_{OC} der Konsolidierungsgrad aus der Vorbelastung.

ANMERKUNG Diese Gleichung stammt von Larsson und Ahnberg (2003). Für weitere Informationen siehe X.3.6.

(4) Wenn der Konsolidierungsgrad aus der Vorbelastung nicht bestimmt wurde, kann er empirisch nach der Beziehung $c_{fv} = 0,45 w_L \times \sigma'_p$ geschätzt werden. Der Korrekturfaktor (μ) wird dann:

$$\mu = \left(\frac{0,45}{w_L} \right)^{0,45} \times \left(\frac{c_{fv}}{0,585 w_L \sigma'_{v0}} \right)^{-0,15}$$

ANMERKUNG Die Gleichung $c_{fv} = 0,45 \times w_L \times \sigma'_p$ stammt von Hansbo (1957). Für weitere Informationen siehe X.3.6.

Anhang J (informativ)

Versuch mit dem flachen Dilatometer (DMT)

(1) Dieser Anhang gibt ein Beispiel für Beziehungen zwischen E_{oed} und DMT-Ergebnissen an. Diese Korrelationen dürfen zur Bestimmung des Wertes des eindimensionalen Tangentenmoduls $E_{\text{oed}} = d\sigma'/d\varepsilon$ aus den Ergebnissen von DMT-Versuchen nach folgender Gleichung verwendet werden:

$$E_{\text{oed}} = R_M \times E_{\text{DMT}}$$

Darin wird R_M entweder auf der Grundlage örtlicher Erfahrung oder unter Verwendung der folgenden Gleichung geschätzt:

- wenn $I_{\text{DMT}} \leq 0,6$, dann ist $R_M = 0,14 + 2,36 \lg K_{\text{DMT}}$
- wenn $0,6 < I_{\text{DMT}} < 3,0$, dann ist $R_M = R_{M0} + (2,5 - R_{M0}) \lg K_{\text{DMT}}$,
worin $R_{M0} = 0,14 + 0,15 (I_{\text{DMT}} - 0,6)$ ist
- wenn $\boxed{\text{AC}} I_{\text{DMT}} \geq 3 \boxed{\text{AC}}$, dann ist $R_M = 0,5 + 21 \lg K_{\text{DMT}}$
- wenn $K_{\text{DMT}} > 10$, dann ist $R_M = 0,32 + 2,18 \lg K_{\text{DMT}}$
- wenn Werte für $R_M < 0,85$ aus der oben angeführten Gleichung erhalten werden, wird R_M gleich 0,85 angenommen.

Dabei ist

I_{DMT} der Materialindex aus dem flachen Dilatometerversuch;

K_{DMT} der Horizontalspannungsindex aus dem flachen Dilatometerversuch.

ANMERKUNG Dieses Beispiel wurde von Marchetti (2001) veröffentlicht. Für weitere Informationen und Berechnungsbeispiele siehe X.3.7.

Anhang K (informativ)

Belastungsversuch für Flachgründungen (PLT)

K.1 Beispiel für die Ableitung des Wertes für die Kohäsion des undränierten Bodens

(1) Dies ist ein Beispiel für die Ableitung der undränierten Scherfestigkeit (c_u). c_u kann unter Verwendung folgender Gleichung erhalten werden:

$$c_u = \frac{p_u - \gamma \times z}{N_c}$$

Dabei ist

p_u der Sohldruck im Grenzzustand der Tragfähigkeit aus PLT-Ergebnissen;

$\gamma \times z$ die Gesamtspannung (Dichte mal Tiefe) in der Versuchstiefe, wenn der Versuch in einem Bohrloch mit einem Durchmesser durchgeführt wird, der kleiner als der dreifache Durchmesser oder die dreifache Breite der Platte ist;

N_c der Grundbruchfaktor für kreisförmige Platten:

$N_c = 6$ (typisch für PLT) auf der Oberfläche des Untergrunds;

$N_c = 9$ (typisch für PLT in Bohrlöchern mit Tiefen, die viermal größer sind als der Durchmesser oder die Breite der Platte).

ANMERKUNG Dieses Beispiel wurde von Marsland (1972) veröffentlicht. Für weitere Informationen und Beispiele siehe X.3.8.

K.2 Beispiel für die Ableitung von Werten für den Verformungsmodul

(1) Dies ist ein Beispiel für die Ableitung des Verformungsmoduls E_{PLT} (Sekantenmodul).

(2) Für Belastungsversuche auf der Geländeoberfläche oder in einer ausgehobenen Grube, deren Breite oder Durchmesser der Sohle mindestens dem Fünffachen des Plattendurchmessers entspricht, kann der Verformungsmodul E_{PLT} mit der Gleichung berechnet werden:

$$E_{PLT} = \frac{\Delta p}{\Delta s} \frac{\pi b}{4} (1 - \nu^2)$$

Dabei ist

Δp der ausgewählte Bereich des beabsichtigten aufgebrachtten Sohldrucks;

Δs die Änderung der Gesamtsetzung für die entsprechende Änderung des aufgebrachtten Sohldrucks Δp einschließlich der Kriechsetzungen;

b der Durchmesser der Platte;

ν die Poisson-Zahl für die Versuchsbedingungen.

(3) Wenn ν nicht auf anderem Weg bestimmt wird, ist ν gleich 0,5 für feinkörnigen Boden unter undränierten Bedingungen und 0,3 für grobkörnigen Boden.

(4) Wenn der Versuch auf einer Bohrlochsohle durchgeführt wird, kann der Wert für E_{PLT} mit folgender Gleichung berechnet werden:

$$E_{\text{PLT}} = \frac{\Delta p}{\Delta s} \times \frac{\pi b}{4} (1 - \nu^2) C_z$$

Dabei ist

C_z ein tiefenabhängiger Korrekturfaktor und definiert als das Verhältnis von der Belastung in der Tiefe zur Setzung der entsprechenden Belastung an der Oberfläche; ein Beispiel für vorgeschlagene Werte wird in Bild K.1 angegeben.

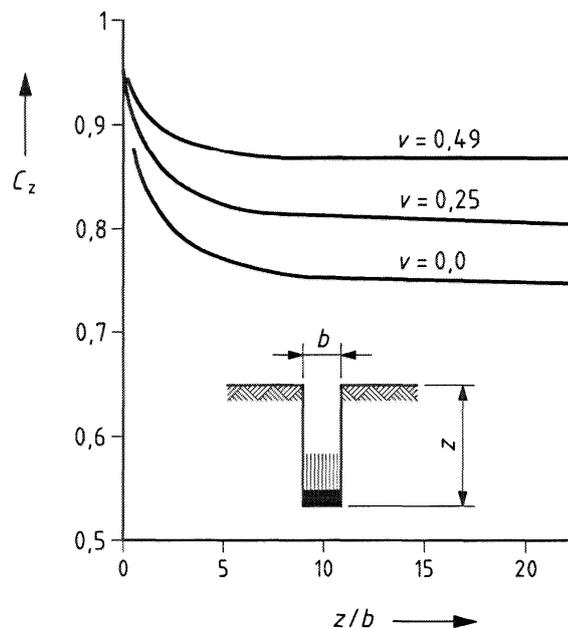


Bild K.1 — Tiefenfaktor (C_z) als Funktion des Plattendurchmessers b und der Tiefe z für PLT-Versuche mit einer kreisförmigen Platte auf der Sohle eines unverrohrten Schachtes

ANMERKUNG Dieses Beispiel wurde von Burland (1969) veröffentlicht. Für weitere Informationen und Beispiele, siehe X.3.8.

K.3 Beispiel für die Ableitung des Bettungsmoduls

(1) Dies ist ein Beispiel für die Ableitung des Bettungsmoduls (k_s). k_s darf nach der Gleichung berechnet werden:

$$k_s = \frac{\Delta p}{\Delta s}$$

Dabei ist

Δp der ausgewählte Bereich des beabsichtigten aufgetragenen Sohldrucks;

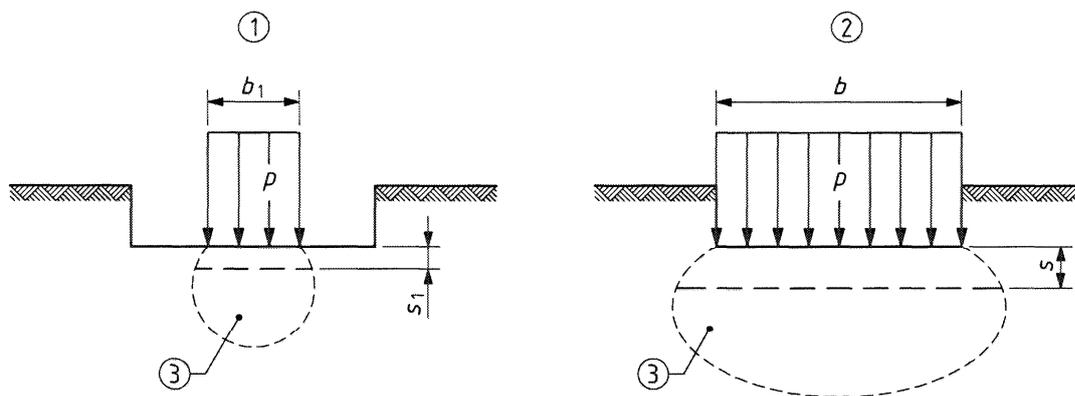
Δs die Änderung der Setzung bei der entsprechenden Änderung des aufgetragenen Sohldrucks Δp einschließlich der Kriechsetzungen.

(2) Die Abmessungen der Belastungsplatte sollten bei der Berechnung von k_s angegeben werden.

ANMERKUNG Dieses Beispiel wurde von Bergdahl (1993) veröffentlicht. Für weitere Informationen und Beispiele siehe X.3.8.

K.4 Beispiel für ein Verfahren zur Berechnung der Setzung von Flachgründungen in Sand

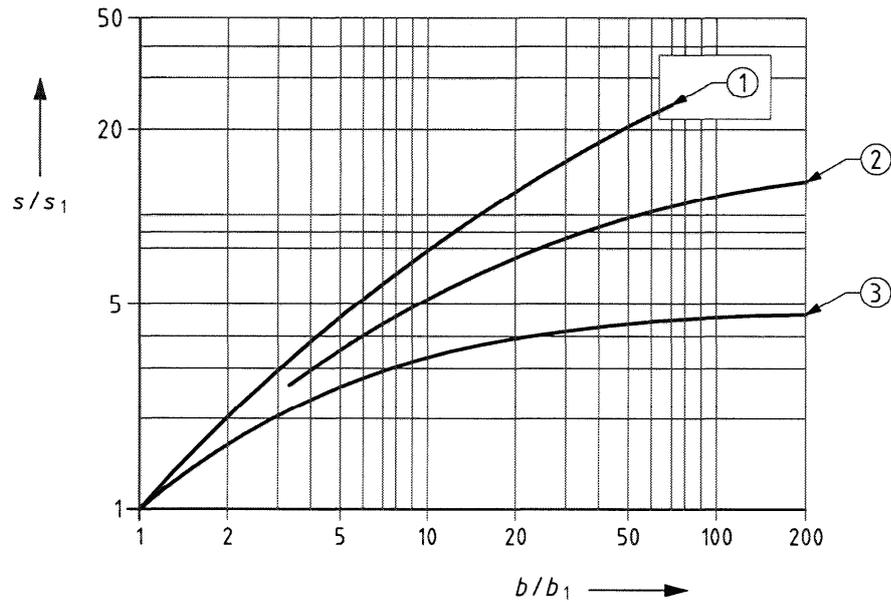
(1) Dies ist ein Beispiel für die direkte Ableitung von Setzungen. Die Setzungen eines Fundaments in Sand dürfen empirisch nach den Beziehungen in Bild K.3 abgeleitet werden, wenn der Untergrund unter dem Fundament bis zu einer Tiefe größer als die zweifache Breite derselbe ist wie der Untergrund unter der Platte (siehe Bild K.2).



Legende

- b_1 Breite der Versuchsplatte
- b Breite des Fundaments
- p Belastung
- s_1 mit PLT gemessene Setzung
- s vorausgerechnete Setzung des Fundaments
- 1 Versuchsplatte
- 2 Fundament
- 3 beeinflusste Zone

Bild K.2 — Beeinflusster Bereich unter einer Versuchsplatte und einem Fundament



Legende

- b/b_1 Breitenverhältnis
 s/s_1 Setzungsverhältnis
- 1 locker
2 mitteldicht
3 dicht

Bild K.3 — Diagramm für die Setzungsberechnung auf der Grundlage von Belastungsversuchen für Flachgründungen

ANMERKUNG Dieses Beispiel wurde von Bergdahl et al. (1993) veröffentlicht. Für weitere Informationen und Beispiele siehe X.3.8.

Anhang L (informativ)

Detaillierte Informationen zur Herstellung von Probekörpern aus Boden für Versuche

L.1 Einleitung

(1) Detaillierte Verfahren werden vom Technischen Komitee CEN/TC 341 auf Grundlage der Empfehlungen des Europäischen Technischen Komitees Nr 5 „Laborversuche“ (ETC 5) der Internationalen Gesellschaft für Bodenmechanik und Geotechnik erarbeitet. In diesem Anhang werden die wesentlichen Anforderungen wiedergegeben.

L.2 Vorbereitung von gestörtem Boden für Versuche

L.2.1 Trocknen des Bodens

(1) Soweit nicht anders festgelegt wird, sollte der Boden normalerweise nicht vor dem Versuch getrocknet werden, sondern in seinem natürlichen Zustand verwendet werden. Wenn ein Trocknen des Bodens erforderlich ist, sollte eines der folgenden Verfahren verwendet werden:

- Trocknung bis zur Massekonstanz in einem Umluftofen bei Temperaturen von $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$,
- Ofentrocknung in einem Umluftofen bei festgelegten Temperaturen von weniger als $100 ^\circ\text{C}$ (D. h. teilweise Trocknung, da die Trocknung bei einer niedrigeren Temperatur nicht notwendigerweise abgeschlossen ist.),
- Lufttrocknung (teilweise) bei Raumtemperatur mit oder ohne Ventilator.

L.2.2 Zerkleinerung

(1) Der Umfang der Zerkleinerung des Materials und die Behandlung von verbleibendem zementiertem Material sollten sich nach den spezifischen Anforderungen und Bedingungen richten und genau festgelegt werden. Insbesondere sollten die Zerkleinerung und Behandlung beim natürlichen Wassergehalt der Probe durchgeführt werden.

(2) Die Bodenklumpen sollten so zerkleinert werden, dass ein Zerbrechen der Einzelpartikel vermieden wird. Die Einwirkungen sollten nicht härter sein, als wenn ein Pistill mit Gummikopf verwendet wird. Spezielle Sorgfalt ist notwendig, wenn die Bestandteile bröckelig sind. Wenn eine große Menge Boden vorzubereiten ist, sollte die Zerkleinerung in kleineren Mengen durchgeführt werden.

L.2.3 Probenteilung

(1) Der zerkleinerte Boden sollte vor der Teilung gründlich durchmischt werden. Die Teilung ist zu wiederholen, bis repräsentative Proben der vorgesehenen Minimalmasse erhalten werden, die als Probekörper des Versuchs dienen.

L.2.4 Probenmenge für Versuche

- (1) Die Mindestmengen gestörten Bodens für die einzelnen Versuche sind in der Tabelle L.1 zusammengestellt. In den Fällen, wo die Mindestmenge von der Größe des Größtkorns abhängig ist, wird sie auf die Mindestmenge für Siebungen bezogen (gekennzeichnet durch „MMS“), die in der Tabelle L.2 angegeben ist.
- (2) Die erforderlichen Mengen in der Tabelle L.1 ermöglichen die Herstellung eines Probekörpers, wobei ein gewisser Verlust berücksichtigt wurde, jedoch nicht ein Einschluss von Überkorn. Wenn nur das Feinkorn für den Versuch erforderlich ist, muss die vorbereitete Probe des ursprünglichen Bodens groß genug sein, um die erforderliche Menge der zu untersuchenden Fraktion zu liefern.
- (3) Falls es erforderlich ist, größere Bestandteile aus der ursprünglichen Probe zu entfernen, um einen Probekörper für den Versuch herzustellen, sind der Korngrößenbereich und der Anteil an der Trockenmasse des entfernten Überkornmaterials zu dokumentieren.

Tabelle L.1 — Erforderliche Masse für Versuche an gestörten Bodenproben

Versuch	Erforderliche Ausgangsmenge	Mindestmasse des vorbereiteten Probekörpers			
		Ton und Schluff	Sand	Kiesiger Boden	
Wassergehalt	mindestens die doppelte Masse des Probekörpers	30 g	100 g	$D = 2 \text{ mm bis } 10 \text{ mm MMS}$	$D > 10 \text{ mm}$ $0,3 \times \text{MMS}$ min. 500 g
Korndichte	100 g	10 g (Korngröße < 4 mm)			
Korngröße					
Siebung	$2 \times \text{MMS}$	MMS			
Sedimentation					
— Aräometer	250 g	50 g	100 g		
— Pipette	100 g	12 g	30 g		
Konsistenzgrenzen	500 g	300 g (Korngröße < 0,4 mm)			
Lagerungsdichte	8 kg	a			
Zerfallsempfindlichkeit	400 g	a			
Verdichtung	S	NS	a		
	— „Proctor“ Topf	25 kg	10 kg		
	— „CBR“ Topf	80 kg	50 kg		
CBR	6 kg	a			
Durchlässigkeit ^b		a			
Durchmesser:					
100 mm	4 kg				
75 mm	3 kg				
50 mm	500 g				
38 mm	250 g				
Abkürzungen:					
<i>D</i> Durchmesser des Größtkorns mit nennenswertem Anteil (10 % oder mehr der Trockenmasse)					
MMS Mindestmasse für Siebungen (siehe Tabelle L.2)					
NS Bodenpartikel, die unempfindlich gegen Kornbruch sind					
S Bodenpartikel, die empfindlich gegen Kornbruch bei der Verdichtung sind					
^a Die Masse des Probekörpers ist abhängig vom Verhalten des Bodens während des Versuchs.					
^b Bei Probekörpern in Durchlässigkeitsversuchen mit einer Probenhöhe, die doppelt so groß ist wie der Durchmesser.					

L.2.5 Vorbereitung von Boden für Verdichtungsversuche

- (1) Boden, der in Verdichtungsversuchen verwendet wird, sollte nicht trocknen können. Wenn es erforderlich ist, den Wassergehalt des Bodens zu vermindern, sollte dies durch Lufttrocknung geschehen.
- (2) Die Obergrenze der zulässigen Korngrößen ist abhängig von der Größe der verwendeten Probenform. Körner, die größer sind als in der Tabelle L.3 festgelegt ist, sollten vor der Vorbereitung des Bodens für den Versuch entfernt werden.

L.3 Herstellung von ungestörten Probekörpern

- (1) Das Verfahren zur Herstellung von Probekörpern aus ungestörten Bodenproben ist abhängig von der Art der Probe und der Art des herzustellenden Probekörpers.
- (2) Richtwerte für die Masse des Bodens für Probekörper für typische Laborversuche sind in der Tabelle L.4 angegeben. Die angegebene Masse reicht aus für einen Probekörper, wobei der Verlust für das Zuschneiden berücksichtigt wurde.

L.4 Herstellung von wiederverdichteten Probekörpern

L.4.1 Allgemeine Anforderungen

- (1) Gestörter Boden kann zu Probekörpern wiederverdichtet werden, wobei eines der folgenden Kriterien zugrunde gelegt wird:
- Verdichtung mit einer festgelegten Verdichtungsarbeit bei einem festgelegten Wassergehalt,
 - Verdichtung auf eine festgelegte Trockendichte bei einem festgelegten Wassergehalt.

Tabelle L.2 — Mindestmasse für Siebungen

Durchmesser des Größtkorns <i>D</i> mm	Mindestmasse für Siebungen (MMS)
75	120 kg
63	70 kg
45	25 kg
37,5	15 kg
31,5	10 kg
22,4	4 kg
20	2 kg
16	1,5 kg
11,2	600 g
10	500 g
8	400 g
5,6	250 g
4	200 g
2,8	150 g
≤ 2	100 g

Tabelle L.3 — Größtkorn für Verdichtungsversuche

Art des Versuchs		Maximale Korngröße mm
Verdichtung	— in einem 1-Liter-Zylinder	20
	— in einem CBR-Zylinder	37,5
CBR-Bestimmung		20

Tabelle L.4 — Erforderliche Masse für Versuche an ungestörten Proben

Art des Versuchs	Abmessung des Probekörpers		Erforderliche Mindestmasse g
	Durchmesser mm	Höhe mm	
Oedometer	50	20	90
	75	20	200
	100	20	350
Einaxiale Druckversuche und Triaxialversuche ^b	35	70	150
	38	76	200
	50	100	450
	70	140	1 200
	100	200	3 500
	150	300	12 000
Rahmenscherversuch	Größe der Fläche		
	60 × 60	20	150
	100 × 100	20	450
	300 × 300	150	30 000
Lagerungsdichte Durchmesser des Größtkorns ^a	Durchmesser des Größtkorns		
	$D = 5,6 \text{ mm}$		125
	$D = 8 \text{ mm}$		300
	$D = 10 \text{ mm}$		500
	$D > 10 \text{ mm}$		$1,4 \times (\text{MMS})^c$
^a D = Durchmesser des Größtkorns mit nennenswertem Anteil (10 % oder mehr der Trockenmasse). ^b Abmessungen des Probekörpers und erforderliche Mindestmasse wurden angesetzt bei allen drei Versuchen. ^c MMS = Mindestmasse für Siebungen nach Tabelle L.2.			

(2) Ton, der zu Probekörpern verdichtet wird, sollte nicht trocknen können. Wenn es erforderlich ist, den Wassergehalt des Bodens zu vermindern, sollte dies unter Lufttrocknung geschehen. Wenn es erforderlich ist, Wasser zuzugeben, um den Wassergehalt zu erhöhen, sollte das Wasser sorgfältig zugemischt werden und der Boden in einem verschlossenen Behälter für mindestens 24 h vor dem Versuch gelagert werden.

(3) Der Boden sollte vor der Wiederverdichtung zerkleinert werden.

(4) Die Obergrenze der zulässigen Korngrößen ist abhängig von der Größe des herzustellenden Probekörpers. Körner, die größer sind als in der Tabelle L.5 angegeben, sollten vor der Verdichtung des Bodens entfernt werden.

(5) Die Korngrößenverteilung des verdichteten Probekörpers sollte vor und nach der Verdichtung überprüft werden.

Tabelle L.5 — Zulässige Korngröße in Abhängigkeit von der Größe des Probekörpers

Art des Probekörpers	Größter Korndurchmesser
Oedometerversuch	$H/5^a$
Direkter Scherversuch (Scherbox)	$H/10$
Druckfestigkeit (zylindrische Probekörper mit $H/d \approx 2$)	$d/5^b$
Durchlässigkeit	$d/12$
^a H = Höhe des Probekörpers. ^b d = Durchmesser des Probekörpers.	

L.4.2 Aufbereitete und verdichtete Proben größer als die Probekörper

(1) Bei der Herstellung von Probekörpern für Oedometerversuche, direkte Scherversuche oder Einaxialversuche sollte der Boden normalerweise auf vorher festgelegte Art in einer geeigneten Art in eine geeignete Form verdichtet werden, die größer ist als die späteren Probekörper. Die verdichtete Probe sollte dann aus der Form herausgedrückt werden und der Probekörper für den Versuch dann in gleicher Weise hergestellt werden wie bei einer ungestörten Probe.

ANMERKUNG Diese Methode eignet sich nicht für grobkörnige Böden.

(2) Probekörper für Durchlässigkeitsversuche können direkt in die Form oder den Zylinder eingebaut werden, in dem der Versuch durchgeführt wird.

(3) Bei Verdichtung mit festgelegter Verdichtungsarbeit sollte die Arbeit normalerweise einer der beiden Verdichtungsarten entsprechen, wie sie für Verdichtungsversuche festgelegt wurden (siehe 5.10 und Anhang R). Die Verdichtung sollte schichtweise erfolgen und jede Schicht sollte leicht aufgeraut werden, bevor die nächste eingebaut wird.

(4) Um die geforderte Dichte zu erhalten, kann der Boden entweder dynamisch oder durch eine statische Last verdichtet werden. Kontrollwägungen und Volumenmessungen sollten nach dem Einbau jeder Schicht durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass die gewünschte Dichte erreicht wird. Es können Vorversuche erforderlich sein, um das geeignete Verfahren festzulegen.

(5) Wenn die verdichtete Probe Ton enthält, sollte sie luftdicht verschlossen und für mindestens 24 h gelagert werden, bevor sie zur Herstellung der Probekörper ausgedrückt wird.

L.4.3 Wiederverdichten von Probekörpern

(1) Zur Herstellung von kleinen Probekörpern für direkte Scherversuche, Oedometerversuche oder Druckfestigkeitsversuche sollte der Boden in eine geeignete Form, einen Ring oder einen Zylinder eingestampft, geknetet oder verdichtet werden. Ein geeigneter Handstampfer, das Harvard-Verdichtungsgerät oder ein Einkneten kann angewendet werden. Es ist darauf zu achten, dass die Bildung von Hohlräumen in dem Probekörper vermieden wird. In Vorversuchen sollte das genaue Verfahren, mit dem die gewünschte Dichte oder Verdichtungsarbeit erreicht werden kann, bestimmt werden. Einzelheiten sind zu dokumentieren, so dass das Verfahren wiederholt werden kann, um weitere Probekörper mit entsprechenden Eigenschaften zur Verfügung zu haben.

(2) Die Verdichtung von zylindrischen Probekörpern mit Durchmessern von 100 mm oder mehr kann mit einem Verdichtungsstamper durchgeführt werden. Die Zahl der Schichten und die Zahl der Schläge pro Schicht sollten festgelegt werden.

(3) Wenn der verdichtete Probekörper Ton enthält, sollte er luftdicht verpackt und vor dem Versuch für mindestens 24 h gelagert werden, um einen Abbau von Porenwasserüberdruck zu ermöglichen.

L.4.4 Sättigung

(1) Ein aufbereiteter und verdichtete Probekörper wird zwangsläufig anfangs nicht gesättigt sein, so dass normalerweise vor dem Versuch eine Sättigung erforderlich ist. Die Sättigung ist mit den üblichen Sättigungsverfahren durchzuführen, die für Versuchsverfahren zur Ermittlung der Scherfestigkeit oder der Zusammendrückbarkeit angegeben werden. Falls erforderlich, sollte die volle Sättigung nachgewiesen werden, indem der B-Wert kontrolliert wird.

L.4.5 Probekörper aus aufbereitetem Material

(1) Ein Boden kann aufbereitet werden, indem er in einem Plastikbeutel verschlossen und mit den Fingern für mehrere Minuten gedrückt und durchgeknetet wird. Ein aufbereiteter Probekörper wird hergestellt, indem der Boden in eine geeignete Form z. B. mit einem Stamper gearbeitet wird. Dies sollte so schnell wie möglich geschehen, um eine Veränderung des Wassergehalts zu vermeiden und ohne dass dabei Luft eingeschlossen wird. Anschließend ist der Probekörper auszudrücken und zuzuschneiden.

L.5 Herstellung von aufbereiteten und konsolidierten Probekörpern

L.5.1 Herstellung der Bodensuspension

(1) Der Boden sollte sorgfältig mit Wasser durchmischt werden, um eine homogene Suspension mit einem Wassergehalt oberhalb der Fließgrenze herzustellen. Die Herstellung der Suspension sollte vorzugsweise beim natürlichen Wassergehalt beginnen, ohne dass der Boden vorher getrocknet wurde. Ein Trocknen des Bodens und ein Zermahlen zu Pulver können seine Eigenschaften verändern. Falls erforderlich können grobe Bestandteile durch eine Nasssiebung mit geeigneten Sieben entfernt werden. Das zugemischte Wasser kann entweder destilliert oder deionisiert sein oder eine geeignete Chemie aufweisen. Die Suspension sollte flüssig genug sein, um geschüttet werden zu können. Dazu reicht gewöhnlich ein Wassergehalt von etwa der doppelten Fließgrenze.

L.5.2 Konsolidation

(1) Die Zelle, in der die Probe konsolidiert wird, sollte groß genug sein, um einen Probekörper oder eine Probe zu liefern, aus der nach Zuschneiden ein Probekörper mit der erforderlichen Größe erhalten wird. Es ist eine Entwässerung der Probe vorzusehen, die verhindert, dass Bodenteilchen ausgeschwemmt werden.

(2) Nachdem die Suspension in die Form gegossen worden ist, sollte die Anfangskonsolidation nur unter dem Gewicht des Kopfstücks erfolgen, bis die Enden des Probekörpers so weit verfestigt sind, dass ein Materialverlust bei weiterer Belastung verhindert wird. Die Vertikalspannung während der Konsolidation sollte so hoch sein, dass damit die Probe nach der Konsolidation bearbeitet werden kann. Die Vertikalspannung sollte ausreichend lange wirken, um sicherzugehen, dass die Konsolidation im Wesentlichen abgeschlossen ist.

L.5.3 Herstellung des Probekörpers

(1) Die konsolidierte Probe sollte aus der Zelle gedrückt und zur Herstellung eines oder mehrerer Probekörper so weit wie erforderlich zugeschnitten werden.

(2) Wenn Oedometerversuche an aufbereitetem Boden durchgeführt werden sollen, können diese in der Zelle durchgeführt werden, in der die Probe im flüssigen Zustand vorkonsolidiert wurde.

Anhang M (informativ)

Detaillierte Informationen über Versuche zur Klassifikation, Benennung und Beschreibung von Böden

M.1 Checklisten für Klassifikationsversuche

(1) Die Anzahl der zu untersuchenden Probekörper ist abhängig von der Variabilität des Bodens und dem Umfang an Erfahrungen mit dem Boden. Sie wird in geringerem Maße als bei anderen bodenmechanischen Versuchen vom geotechnischen Problem beeinflusst. Tabelle M.1 gibt Richtwerte für die Zahl der Klassifikationsversuche.

Tabelle M.1 — Klassifikationsversuche, empfohlene Mindestzahl von zu untersuchenden Proben für eine Schicht

Klassifikationsversuch	Vergleichbare Erfahrung	
	nein	ja
Kornverteilung	4 bis 6	2 bis 4
Wassergehalt	Alle Proben Güteklassen 1 bis 3	
Index-Versuche zur Bestimmung der Festigkeit	Alle Proben der Güteklasse 1	
Konsistenzgrenze (Atterberg-Grenzen)	3 bis 5	1 bis 3
Glühverlust (für organische und tonige Böden)	3 bis 5	1 bis 3
Dichte	an jedem Elementversuch	
Lagerungsdichte	Falls erforderlich	
Korndichte	2	1
Kalkgehalt	Falls erforderlich	
Sulfat Gehalt	Falls erforderlich	
pH-Wert	Falls erforderlich	
Chlorid-Gehalt	Falls erforderlich	
Zerfallsempfindlichkeit	Falls erforderlich	
Frostempfindlichkeit	Falls erforderlich	

(2) Tabelle M.2 enthält eine Checkliste für jeden Klassifizierungsversuch, der in dieser Norm enthalten ist.

Tabelle M.2 — Checkliste für Klassifikationsversuche an Böden

Klassifikationsversuch	Checkliste
Wassergehalt	<p>Kontrolle der Lagerungsbedingungen der Proben, Koordination des Versuchsprogramms mit anderen Klassifikationsversuchen, Ofentrocknung ungeeignet für Gips, organische Böden – Vorsicht ist geboten. Vorhandensein von Gips und organischem Boden vermerken, bei grobkörnigen Böden kann eine Korrektur des Wassergehalts erforderlich sein. Eine Korrektur ist bei salzhaltigen Böden erforderlich.</p>
Dichte	<p>Die Versuchsmethode muss ausgewählt werden. Kontrolle der verwendeten Entnahme und der Bearbeitungsmethoden. Für größere Erdbauprojekte ist die Methode anzupassen oder es sind Feldversuche durchzuführen. Für Sand und Kies können Korrekturen der Dichte erforderlich sein; es sind auch Feldmethoden zu verwenden.</p>
Korndichte	<p>Probenvorbereitung (Ofentrocknung oder feuchte Probe) kann die Ergebnisse beeinflussen. Überprüfen, ob die Bestandteile eingeschlossene Poren enthalten. Für solches Material können spezielle Techniken sinnvoll sein. Vermerken, ob das Material eingeschlossene Poren enthält. Wenn die Versuchsergebnisse außerhalb des Bereichs der typischen Werte liegen, sind zusätzliche Verfahren in Erwägung zu ziehen; die Mineralogie und der organische Anteil beeinflussen die Versuchsergebnisse.</p>
Bestimmung der Korngrößen	<p>Wahl des Versuchsverfahrens ist abhängig von der Korngröße und der Korngrößenverteilung. Kalk und organische Bestandteile beeinflussen das Versuchsergebnis. Falls erforderlich, können bei solchen Materialien die Karbonate und organischen Bestandteile entfernt oder das Versuchsverfahren angepasst werden. Kontrollieren, dass die Probenteilung korrekt durchgeführt wird (Korngröße und Repräsentativität der Probe).</p>
Konsistenzgrenzen (Atterberg-Grenzen)	<p>Auswahl des Versuchsverfahrens für die Fließgrenze; mehrere Verfahren sind anwendbar, aber der Fallkegelversuch wird als das bevorzugte Verfahren empfohlen. Kontrolle der Lagerung der Proben, Kontrolle der Herstellung der Probekörper, speziell der Homogenisierung und Durchmischung, Kontrolle, ob eine Trocknung durchgeführt wurde; eine Trocknung kann die Versuchsergebnisse entscheidend beeinflussen und sollte nicht in einem Trocknungsofen durchgeführt werden. Böden, die oxidieren, sollten schnell untersucht werden. Ergebnisse können für thixotrope Böden nicht zuverlässig sein.</p>
Lagerungsdichte für nichtbindige Böden	<p>Kontrolle der Lagerungsbedingungen der Probe, Auswahl des Versuchsverfahrens, Ergebnisse sind stark abhängig von dem Versuchsverfahren. Die Probekörper haben einen hohen Grad an Inhomogenität.</p>

Tabelle M.2 (fortgesetzt)

Klassifikationsversuch	Checkliste
Zerfallsempfindlichkeit	<p>Es muss geprüft werden, ob unterschiedliche Verdichtungsgrade für die Probekörper festzulegen sind.</p> <p>Es sollte vermieden werden, die Probekörper vor dem Versuch zu trocknen.</p> <p>Versuchsverfahren ist auszuwählen.</p> <p>Es sind zusätzlich Klassifikationsversuche durchzuführen.</p>
Frostempfindlichkeit	—

ANMERKUNG Beispiele für die Klassifikation, Benennung und Beschreibung von Böden sind in den Dokumenten in X.4.1 angegeben.

M.2 Bestimmung des Wassergehalts

M.2.1 Auswertung der Versuchsergebnisse

(1) Wenn das Wasser im Boden salzhaltig ist, bleiben die Salze nach dem Trocknen im Boden und es ergibt sich ein Fehler im ermittelten Wassergehalt. Ein besser geeigneter Wert zur Beschreibung ist der „Flüssigkeitsgehalt“, das ist die Masse der Flüssigkeit (Wasser plus Salz) bezogen auf die Trockenmasse des Bodens.

(2) Bei grobkörnigen Böden kann der im Labor bestimmte Wassergehalt von dem Wassergehalt in situ abweichen, wenn das Größtkorn durch die Größe der Probe begrenzt ist. In solchen Fällen sollte der Wassergehalt in Abhängigkeit vom Anteil der Korngröße, die größer ist als der maximale Korndurchmesser, korrigiert werden.

ANMERKUNG Beispiele für Methoden zur Bestimmung des Wassergehalts werden in den Dokumenten in X.4.1.2 gegeben.

M.3 Bestimmung der Dichte

M.3.1 Versuchsverfahren

(1) Das Verfahren des Ausmessens von Probekörpern ist nur bei bindigen Böden geeignet. Bei grobkörnigen Böden kann die Dichte in der Regel mit ausreichender Genauigkeit durch Feldversuche bestimmt werden, noch genauer durch Messungen an gefrorenen „ungestörten“ Proben.

(2) Tabelle M.3 enthält Richtwerte für die Mindestzahl der erforderlichen Versuche für eine Schicht aus Ton oder Schluff. In der Tabelle bedeutet die Festlegung von nur einem Versuch die Bestätigung der vorliegenden Erfahrungen.

Tabelle M.3 — Versuche zur Bestimmung der Dichte, Mindestzahl von Probekörpern, die für eine Schicht zu untersuchen sind

Variabilität der gemessenen Dichte	Vergleichbare Erfahrung		
	keine	mittlere	umfangreiche
Bereich der gemessenen Dichte $\geq 0,02 \text{ Mg/m}^3$	4	3	2
Bereich der gemessenen Dichte $\leq 0,02 \text{ Mg/m}^3$	3	2	1

ANMERKUNG Beispiele für Verfahren zur Bestimmung der Dichte sind in den Dokumenten in X.4.1.3 angegeben.

M.3.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

- (1) Die Versuchsergebnisse sollten überprüft werden, indem der Sättigungsgrad ermittelt wird, der 100 % nicht überschreiten darf.
- (2) Für grobkörnige Böden kann die Dichte des trockenen Bodens von der Dichte in situ abweichen, wenn die Dichte an einer Probe bestimmt wurde, deren größter Korndurchmesser durch die Probengröße begrenzt ist. In einem solchen Fall sollte die Dichte des trockenen Bodens in Abhängigkeit von dem Prozentsatz der Körner, die größer als der maximale Korndurchmesser sind, korrigiert werden.

M.4 Bestimmung der Korndichte

- (1) Die erforderliche Masse zur Bestimmung der Korndichte ist sehr klein (mindestens 10 g bei Korngrößen < 4 mm). Normalerweise wird eine Teilprobe von einem Probekörper verwendet, für den ein anderer Laborversuch durchgeführt wurde.
- (2) Bei Bestandteilen, die Poren enthalten, haben die Bestandteile nur eine scheinbare Korndichte. Die Dichte der festen Bestandteile kann ermittelt werden, indem die Proben sehr fein gemahlen und der Anteil der geschlossenen Poren mit Wassersättigung oder einer Gasdruckmethode in spezialisierten Laboratorien bestimmt wird. Die Korndichte sollte dann in einem Labor mit spezieller Versuchstechnik bestimmt werden.
- (3) Bei Böden mit organischen Beimengungen sollten Spezialverfahren verwendet werden, sonst sind die Versuchsergebnisse mit Vorsicht zu verwenden.
- (4) Auch moderne Verfahren, wie das Heliumpyknometer, können angewendet werden. Diese Verfahren sollten gegenüber dem Standardverfahren kalibriert werden, z. B. gegenüber den Verfahren, die in den Dokumenten in X.4.1.4 zusammengestellt sind.

ANMERKUNG Beispiele für Verfahren zur Bestimmung der Dichte sind in den Dokumenten in X.4.1.4 zusammengestellt.

M.5 Bestimmung der Korngrößenverteilung

- (1) Bei grobkörnigen Böden (überwiegend Kies und/oder Sand) wird die Korngrößenverteilung des Bodens durch eine Siebung nach dem Waschen bestimmt, wobei eine Sedimentationsanalyse gewöhnlich nicht erforderlich ist. Bei feinkörnigen Böden (vornehmlich Schluff und/oder Ton) wird die Sedimentationsanalyse verwendet mit einer Siebung der Sandfraktionen. Für gemischtkörnige Böden (die alle Korngrößen enthalten) werden Siebung und Sedimentationsverfahren verwendet.
- (2) Mit besonderer Sorgfalt sollten Versuche mit bindigen und organischen Böden durchgeführt werden. So können z. B. Tonpartikel eine zementierende Wirkung haben, die nach einer Trocknung bei 105 °C irreversibel ist, und organische Bestandteile können bei einer Trocknung bei 105 °C teilweise oxidiert werden.
- (3) Moderne Versuchsverfahren, die Röntgen- oder Laserstrahlen zur Dichtemessung verwenden und „Teilchenzähler“, können ebenso angewendet werden. Sie sollten an den Verfahren kalibriert werden, die in (2) vorgeschlagen werden.

ANMERKUNG Beispiele für die Verfahren zur Bestimmung der Korngrößenverteilung sind in den Dokumenten in X.4.1.5 zusammengestellt.

M.6 Bestimmung der Lagerungsdichte von nichtbindigen Böden

(1) Die empfohlene Mindestzahl von Probekörpern, die bei einer Bodenschicht zu untersuchen ist, beträgt 2 für die Bestimmung der dichtesten Lagerung und 3 für die Bestimmung der lockersten Lagerung.

ANMERKUNG Beispiele für Verfahren zur Bestimmung der Lagerungsdichte von nichtbindigen Böden sind in den Dokumenten in X.4.1.7 zusammengestellt.

M.7 Bestimmung der Zerfallsempfindlichkeit

M.7.1 Allgemeines

(1) Einige natürliche tonige Böden zerfallen schnell durch kolloidale Erosion durch langsam in Spalten oder anderen Wasserwegigkeiten strömendes Wasser. Solche Böden sind sehr empfindlich gegen Erosion und Piping. Die Zerfallsempfindlichkeit eines Bodens ist abhängig von der Mineralogie und der Chemie des Bodens sowie von den im Porenwasser und erodierenden Wasser gelösten Salzen. Zerfallsempfindliche Tone haben in der Regel einen hohen Natriumgehalt.

M.7.2 Versuchsdurchführung bei allen Versuchen

(1) Versuche zur Zerfallsempfindlichkeit können nicht bei Böden angewendet werden, die einen Tongehalt von $< 10\%$ und eine Plastizität von $\leq 4\%$ haben.

(2) Die empfohlene Mindestzahl von zu untersuchenden Probekörpern für eine Bodenschicht beträgt zwei für den Pinhole-Versuch, zwei für die doppelte Aräometeranalyse, zwei für den Versuch zur Bestimmung der löslichen Salze des Porenwassers und drei für den Krümelversuch. Die Festlegung der Zahl der durchzuführenden Versuche sollte auf Grundlage von ingenieurmäßigem Sachverstand erfolgen.

ANMERKUNG Beispiele für Verfahren zur Bestimmung der Zerfallsempfindlichkeit von Böden sind in den Dokumenten in X.4.1.8 zusammengestellt.

M.7.3 Pinhole-Versuch

(1) Es wird empfohlen, der in X.4.1.8 zusammengestellten Literatur zu folgen bis auf:

- dass die Probekörper mit einer Harvard-Miniatur-Form bei einem Wassergehalt nahe der Ausrollgrenze verdichtet werden;
- dass fünf Schichten für die gesamte Probenhöhe von (38 ± 2) mm eingebaut werden und
- dass eine konstante Verdichtungsarbeit für jede Schicht aufgebracht wird, so dass die Trockendichte der Probe etwa 95 % der maximalen Trockendichte beträgt, die in Standardverdichtungsversuchen im Labor erreicht wird.

(2) Die Darstellung der Versuche sollte enthalten:

- die Ergebnisse der Klassifizierungsversuche;
- die Dichte des untersuchten Probekörpers;
- den verwendeten Wasserdruck und die Versuchszeit unter dem Wasserdruck;
- die Fließgeschwindigkeit durch den Probekörper;
- die Trübung der Flüssigkeit am Ende des Versuchs;

- den Durchmesser und die Form des Lochs nach dem Versuch;
- die Klassifikation des Bodens.

ANMERKUNG Beispiele für die Durchführung des Pinhole-Versuchs sind in den Dokumenten in X.4.1.8 zusammengestellt.

M.7.4 Doppelte Aräometeranalyse

- (1) Die Darstellung der Versuchsergebnisse sollte die Korngrößenverteilung mit und ohne Dispergierungsmittel und mechanischer Durchmischung sowie den Prozentsatz der Dispergierung enthalten.

M.7.5 Krümelversuch

- (1) Die Darstellung der Versuchsergebnisse sollte eine Spezifizierung als dispersiv oder nichtdispersiv sowie Einzelheiten der verwendeten Chemikalien enthalten.

ANMERKUNG Beispiele solcher Klassifikationen sind in den Dokumenten in X.4.1.8 zusammengestellt.

M.7.6 Bestimmung der im Porenwasser gelösten Salze

- (1) Der Bericht sollte die austauschbaren Natriumanteile enthalten.

ANMERKUNG Beispiele für Verfahren zur Bestimmung von löslichen Salzen im Porenwasser sind in den Dokumenten in X.4.1.8 zusammengestellt.

M.8 Bestimmung der Frostempfindlichkeit

M.8.1 Versuchsdurchführung

- (1) Eine Probe im natürlichen Zustand kann aus ungefrorenem weichem tonigen und schluffigen Boden oder aus gefrorenem Ton, Schluff oder Sand (oder Kies) entnommen werden. Wenn sich die Abmessungen der Probe nicht direkt für einen Versuch eignen, kann die Probe vorsichtig bearbeitet werden.

- (2) Eine Probe, die aufbereitet und verdichtet wird, kann stark gestört werden, solange die Kornverteilung bei der Probeentnahme nicht verändert wird.

- (3) Der Durchmesser des Probekörpers sollte mindestens 5-mal so groß sein wie der Durchmesser des Größtkorns und nicht kleiner als 75 mm. Bei aufbereiteten und konsolidierten Probekörpern sollte ein Minstdurchmesser von 100 mm verwendet werden.

- (4) Sowohl natürliche Probekörper als auch aufbereitete und konsolidierte Probekörper können mit Gegen- druck vor dem Frosthebungsversuch gesättigt werden.

- (5) Wenn ein CBR-Versuch erforderlich wird, sollte der Versuch an einem Probekörper durchgeführt werden, der bei einem Wassergehalt in der Nähe des optimalen Wassergehalts verdichtet wurde, wie er aus der Verdichtungskurve eines Verdichtungsversuchs bestimmt wurde.

- (6) In der Regel wird ein CBR-Versuch pro Probe durchgeführt. Es sind jedoch mehrere Versuche durchzuführen, um den Einfluss z. B. von Wassergehaltsveränderungen und der Verdichtungsarbeit einzuschätzen.

ANMERKUNG Beispiele für die Durchführung der Versuche zur Bestimmung der Frostempfindlichkeit von Böden und ihre Bewertung auf Grundlage von Index-Versuchen sind in den Dokumenten in X.4.1.9 und X.5 zusammengestellt.

M.8.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

- (1) Ein Boden ist als frostempfindlich einzuschätzen, wenn er Hebungen mit Gefügetrennung im Frosthebungsversuch im Labor zeigt.
- (2) Der Grad der Frosteinwirkung in tonigen Böden mit geringer Durchlässigkeit wird durch die Länge des Winters beeinflusst, d. h. durch die Höhe und die geographische Breite der betrachteten Gegend. Für diese Böden gilt: je länger der Winter, umso stärker kann der Frosteinfluss sein. Dies ist in nördlichen und alpinen Ländern in Betracht zu ziehen.

Anhang N (informativ)

Detallierte Informationen zu chemischen Versuchen an Böden

N.1 Allgemeines

N.1.1 Untersuchungsverfahren

(1) Die beschriebenen chemischen Routineverfahren beruhen auf traditionellen Versuchsmethoden, die von vielen geotechnischen Labors ausgeführt werden können. Chemische Versuche zum Nachweis anderer Substanzen sollten in der Regel durch darauf spezialisierte chemische Laboratorien durchgeführt werden.

(2) 100 g Trockensubstanz des Bodens reichen für die meisten chemischen Versuche aus. Gewöhnlich wird zu Beginn eine wesentlich größere Probe trockenen Bodens erforderlich, doch ist für den eigentlichen Versuch eine kleine Probe trockenen Bodens ausreichend. Dafür ist allerdings eine gute Durchmischung der Ausgangsprobe mit anschließender sorgfältiger Probenteilung erforderlich.

(3) Die Lagerungstemperatur vor dem Versuch kann die biologische Zersetzung von organischen Bestandteilen beeinflussen. Wenn möglich, sollte das Probenmaterial für chemische Untersuchungen bei Temperaturen zwischen 5 °C und 10 °C gelagert werden.

(4) Die meisten Verfahren schließen auch Kalibrierungsverfahren ein, bei denen „Blindproben“ und Referenzproben verwendet werden. Elektrochemische Methoden, wie zur Bestimmung des pH-Werts, verwenden genau definierte Kalibrierungsverfahren mit einer festen Anzahl von Lösungen mit bekanntem pH-Wert.

(5) Spezielle Anforderungen können Abweichungen von genormten Untersuchungsverfahren erforderlich machen einschließlich der Aufbereitung. Alle Verfahrensabweichungen sollten eingehend im Versuchsbericht erwähnt werden einschließlich der Gründe für die Abweichungen.

ANMERKUNG Beispiele für Untersuchungsverfahren für die fünf behandelten chemischen Bestimmungen sind in den Dokumenten in X.4.2 zusammengestellt. Gleichwertige Verfahren werden auch in anderen nationalen Normen und Handbüchern beschrieben.

N.1.2 Anzahl der Versuche

(1) Die Zahl der festgesetzten Versuche sollte dem Umstand Rechnung tragen, dass der Anteil organischer Bestandteile, der Kalkgehalt, der Sulfatgehalt, der pH-Wert und der Chloridgehalt sehr stark innerhalb einer geologischen Schicht variieren können. Mehrere Versuche an Proben, die nur geringen Abstand untereinander haben, können notwendig sein, um die örtliche Variabilität zu bestimmen.

N.2 Bestimmung des Anteils an organischen Bestandteilen

N.2.1 Untersuchungsverfahren

(1) Der Glühverlust wird in der Regel an einer repräsentativen Bodenprobe mit einer Korngröße < 2 mm als Masseverlust bestimmt, der beim Glühen einer Probe bei einer bestimmten Glühtemperatur eintritt. Der Anteil an organischen Bestandteilen wird ermittelt unter der Annahme, dass die organischen Bestandteile vollständig beim Glühen verbrennen und dass der Masseverlust nur auf dem Verbrennen der organischen Bestandteile beruht.

(2) Der Glühverlust bezieht sich in der Regel auf Böden mit organischen Bestandteilen, die wenig oder keinen Ton oder keine Carbonate enthalten. Bei Böden mit höherem Anteil von Tonen und/oder Karbonaten kann ein größerer Anteil des Glühverlusts auch darauf zurückgeführt werden.

(3) Eine Trocknungstemperatur kleiner als die üblichen (105 ± 5) °C ist erforderlich, um eine Oxidation von bestimmten organischen Bestandteilen während des Trocknens zu vermeiden. Die Verfahren, die in X.4.2.2 genannt werden, legen eine Trocknungstemperatur von ($50 \pm 2,5$) °C fest, die möglicherweise nicht alles Wasser verdunsten lässt. Vergleichsversuche können dann notwendig sein, um eine geeignete Trocknungstemperatur festzulegen.

(4) Die Glühtemperatur, die in den Beispielen in (1) festgelegt ist, beträgt (440 ± 25) °C, dagegen werden in anderen Normen Temperaturen bis zu 900 °C angegeben. Die Glühtemperatur sollte mit Bedacht festgelegt werden, um Folgendes zu berücksichtigen:

- Einige Tonminerale beginnen bei Temperaturen von etwa 550 °C zu zerfallen.
- Chemisch gebundenes Wasser kann auch bei niedrigeren Temperaturen entweichen. So beginnt dieser Prozess z. B. bei einigen Tonmineralen schon bei 200 °C, Gips beginnt bei etwa 65 °C zu zerfallen.
- In Temperaturbereichen von 650 °C bis 900 °C können Sulfide oxidieren und Carbonate zerfallen.

Aus diesem Grund würde in den meisten Fällen eine Glühtemperatur von 500 °C bis 520 °C angemessen sein.

(5) Für den Trocknungs- und den Glühvorgang sollte eine ausreichende Zeit vorgesehen werden, um sicher zu sein, dass ein konstanter Endwert erreicht wird. Wenn die Glühzeit weniger als 3 h beträgt, ist in dem Versuchsbericht zu belegen, dass eine konstante Probenmasse durch wiederholtes Wägen sichergestellt wurde.

ANMERKUNG Beispiele für Versuche zur Bestimmung des Anteils an organischen Bestandteilen sind in den Dokumenten in X.4.2.2 zusammengestellt.

N.2.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

(1) Die Menge des organisch gebundenen Kohlenstoffs und der organischen Bestandteile kann aus dem Glühverlust abgeleitet werden, wenn der Glühverlust um andere sich dabei verflüchtigende Bestandteile korrigiert wurde.

(2) Die organischen Bestandteile können durch direkte Messung des Gehalts an organischem Kohlenstoff bestimmt werden, wobei die Fehler vermieden werden können, die bei der Bestimmung des Glühverlusts entstehen.

N.3 Bestimmung des Kalkgehalts

N.3.1 Untersuchungsverfahren

(1) Beispiele für Verfahren zur Bestimmung des Kalkgehalts sind in den Dokumenten in X.4.2.3 zusammengestellt. Für die Zwecke der vorliegenden Norm ist die Schnelltitration das bevorzugte Verfahren. Dieses Verfahren liefert in der Regel Ergebnisse, die für Boden hinreichend genau sind, vorausgesetzt, es ist sichergestellt, dass der Lösungsprozess abgeschlossen ist und dass genügend Vergleichsversuche durchgeführt wurden.

(2) Andere Beispiele für Untersuchungsverfahren in den Dokumenten in X.4.2.3 bestimmen den Kalkgehalt durch die Messung des freigesetzten, in einem Behälter unter kontrollierten Temperatur- und Druckbedingungen aufgefangenen Kohlenstoffdioxids (CO₂).

N.3.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

(1) Als Kalkgehalt wird der Masseanteil des Kohlenstoffdioxids (CO_2) in Prozent, bezogen auf die Probenmasse, angegeben. Dies ist formal richtig, aber bei der Anwendung unpraktisch. Die Ergebnisse können auch als äquivalente Masse Calciumkarbonat CaCO_3 angegeben werden. Das ist der für die meisten Bodenarten maßgebende Kalkanteil. Die äquivalente Masse des CaCO_3 wird aus der Masse des CO_2 über die Gleichung ermittelt:

$$\text{CaCO}_3 = 2,273 \times \text{CO}_2$$

Dabei ist

CaCO_3 der Gehalt an CaCO_3 in Prozent der Trockenmasse;

CO_2 der CO_2 -Anteil in Prozent der Trockenmasse.

N.4 Bestimmung des Sulfatgehalts

N.4.1 Untersuchungsverfahren

(1) Das gravimetrische Verfahren zur Bestimmung des Sulfats im Säure- oder Wasserauszug oder im Grundwasser wird als das bevorzugte Verfahren vorgeschlagen, es sei denn, es kann durch einen Vergleich gezeigt werden, dass eine alternative Methode gleiche oder gar bessere Genauigkeit erreicht.

(2) Die kristalline Form von Calciumsulfat, Gips ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$), sollte bei einer Temperatur von $50\text{ }^\circ\text{C}$ getrocknet werden. Gipshaltige Proben beginnen ihr Kristallwasser bei Temperaturen höher als $65\text{ }^\circ\text{C}$ zu verlieren, was zu fehlerhaft hohen Wassergehalten führt.

(3) Die Beziehung zwischen SO_3^{2-} und SO_4^{2-} ergibt sich durch: $\text{SO}_4^{2-} = 1,2 \times \text{SO}_3^{2-}$, wobei der SO_3^{2-} -Gehalt und der SO_4^{2-} -Gehalt in Prozenten anzugeben sind.

ANMERKUNG Beispiele für Verfahren zur Bestimmung des Sulfatgehalts sind in den Dokumenten in X.4.2.4 zusammengestellt.

N.4.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

(1) Die Auswertung sollte berücksichtigen, dass die Löslichkeit von Calciumsulfat in Wasser gering ist, jedoch in geologischen Zeiträumen beträchtliche Mengen gelöst werden können, wie es z. B. in Karstformationen geschieht. Vorsicht ist geboten, wenn die Ergebnisse im Grenzbereich der Klassifizierungskategorien liegen.

(2) Die Anwesenheit von bestimmten anderen Substanzen (insbesondere Sulfide und Sesquioxide) kann die chemischen Reaktionen beeinträchtigen, die ihrerseits wieder die Versuchsergebnisse beeinflussen. Sulfide im Boden können über längere Zeiträume oxidieren und damit über längere Zeiträume zusätzliche Sulfate produzieren.

N.5 Bestimmung des pH-Werts (Gehalt an Säuren oder Basen)

N.5.1 Versuchsverfahren

(1) Es gibt mehrere Methoden zur Bestimmung des pH-Werts. Von diesen Verfahren wird das elektrometrische Verfahren als geeignet empfohlen, das eine direkte Ablesung des pH-Werts entweder in einer Suspension mit Boden oder im Grundwasser erlaubt.

N.5.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

- (1) Versuchsfehler können hervorgerufen werden durch:
- unterlassene oder falsche Kalibrierung des pH-Meters vor und nach einer Versuchsreihe;
 - unzureichenden Schutz der Elektroden während der Zeit, in der das Gerät nicht verwendet wird;
 - zu kurze Vorbereitungszeit bis zur Einstellung konstanter Messbedingungen vor der Ablesung des pH-Werts;
 - Verunreinigung aufgrund unzureichender Reinigung der Behälter für die Entnahme von Grundwasserproben.

ANMERKUNG Beispiele für Verfahren zur Bestimmung des pH-Werts sind in den Dokumenten in X.4.2.5 zusammengestellt.

N.6 Bestimmung des Chloridgehalts

N.6.1 Versuchsverfahren

- (1) Die Verfahren zur Bestimmung des Chloridgehalts umfassen:
- das Mohr'sche Verfahren für wasserlösliche Chloride;
 - das Volhard'sche Verfahren für säurelösliche oder wasserlösliche Chloride;
 - elektrochemische Verfahren.
- (2) Bei den ersten beiden Verfahren wird die Austauschreaktion zwischen Chloriden und Silbernitrat verwendet, doch werden unterschiedliche Analyseverfahren verwendet. Beide Verfahren erfordern eine sorgfältige Beobachtung und Massenbestimmung. Das dritte Verfahren basiert auf der Messung der Leitfähigkeit der im Wasser gelösten Bestandteile einer Probe mit bekanntem Wassergehalt.
- (3) Das Vorhandensein von Chloriden kann mit einem schnellen qualitativen Versuch überprüft werden. Dazu werden etwa 5 ml gefiltertes Grundwasser oder eines Extrakts einer 1:1-Mischung von Wasser und Boden in ein Reagenzglas gefüllt. Wenn die Flüssigkeit stark alkalisch ist (pH-Wert zwischen 12 und 14), werden einige Tropfen von Salpetersäure zugegeben, um die Lösung anzusäuern. Dann werden einige Tropfen einer 1 %igen Silbernitratlösung zugegeben. Eine deutliche Trübung zeigt, dass Chloride in messbaren Mengen vorhanden sind, die mit einem der angegebenen Versuchsverfahren bestimmt werden können.
- (4) Das Volhard'sche Verfahren ist die Grundlage der Versuche, die in 7.2 und 7.3 der BS 1377-3:1990 für wasserlösliche und säurelösliche Chloride und für mineralische Zuschlagstoffe in BS 812-118:1988 angegeben werden. Im Prinzip wird ein Überschuss einer Silbernitratlösung der angesäuerten Chloridlösung zugegeben und der nicht verbrauchte Teil mit Kaliumthiocyanat (Rhodanit) zurücktitriert, wobei Eisenammoniumsulfat ($\text{Fe NH}_4 (\text{SO}_4)_2$) als Indikator verwendet wird.
- (5) Bei der Mohr'schen Methode werden die Versuchslösung und eine reine Vergleichslösung jeweils mit einer 0,02 N Silbernitratlösung titriert, wobei Kaliumdichromat als Indikator verwendet wird. Dies ist die bevorzugte Methode zur Bestimmung von Chloriden im Grundwasser.

ANMERKUNG Beispiele für Versuchsverfahren sind in den Dokumenten in X.4.2.6 angegeben.

N.6.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

- (1) Die theoretische Beziehung zwischen dem Salzgehalt, ausgedrückt als Natriumchloridanteil und Chloridanteil, muss aufgrund des sehr mobilen Charakters der Chloridanionen nicht notwendigerweise zutreffend sein.

Anhang O (informativ)

Detaillierte Informationen zu Indexversuchen zur Bestimmung der Festigkeit von Böden

(1) Tabelle O.1 stellt eine zusammenfassende Checkliste der Verfahren für Indexversuche vor, die in dieser Norm enthalten sind.

Tabelle O.1 — Checkliste für Indexversuche zur Bestimmung der Festigkeit von tonigen Böden

Indexversuch	Checkliste
Jeder Indexversuch zur Bestimmung der Festigkeit	<p>Die Versuche liefern einen Anhaltswert der Scherfestigkeit.</p> <p>Es bestehen große Unsicherheiten bei den Messungen.</p> <p>Mit Vorsicht bei inhomogenen und gerissenen/geklüfteten Böden verwenden.</p> <p>Die Versuchsergebnisse werden durch die Versuchsgeschwindigkeit beeinflusst.</p> <p>Die Reproduzierbarkeit ist zu überprüfen.</p>
Laborflügel	<p>Der Versuch ergibt zusätzlich ein Maß für die Sensitivität und die Festigkeit des gestörten Bodens.</p> <p>Die Art der Drehung (hand- oder motorgetrieben) sollte überprüft werden.</p> <p>Die Versuche können in ausgedrückten Proben oder im Stutzen durchgeführt werden.</p>
Fallkegel	<p>Die Versuche können in ausgedrückten Proben oder im Stutzen durchgeführt werden. Sie können ergänzt werden durch einen Versuch an aufgearbeitetem Material, um die Sensitivität zu bestimmen, d. h. das Verhältnis zwischen ungestörtem und aufgearbeitetem Material.</p> <p>Der Versuch ergibt zusätzlich ein Maß für die Sensitivität und die Festigkeit des gestörten Bodens.</p> <p>Die Abnutzung der Kegelspitze ist zu überprüfen.</p> <p>Der Öffnungswinkel des Kegels ist zu überprüfen.</p>

ANMERKUNG Beispiele für die Durchführung von Laborflügelversuchen und Fallkegelversuchen als Indexversuche sind in den Dokumenten in X.4.3 zusammengestellt.

Anhang P (informativ)

Detaillierte Informationen zur Bestimmung der Scherfestigkeit von Böden

P.1 Dreiaxiale Kompressionsversuche

P.1.1 Anzahl der Versuche

(1) Die Tabelle P.1 enthält Hinweise über die Mindestzahl von erforderlichen Versuchen in Abhängigkeit von der Variabilität des Bodens und den vergleichbaren Erfahrungen mit der Bodenart. Wenn nur ein Satz von Versuchen erforderlich ist, wird der Versuch durchgeführt, um die vorhandenen Erfahrungen zu bestätigen. Wenn die Versuchsergebnisse nicht mit den Erfahrungen übereinstimmen, sollten mehr Versuche durchgeführt werden.

(2) Die Anzahl der Versuche kann vermindert werden, wenn die Scherfestigkeit zusätzlich durch weitere Untersuchungsverfahren, z. B. von Feldversuchen, bestimmt wurde.

ANMERKUNG Beispiele für Versuchsverfahren für dreiaxiale Kompressionsversuche sind in X.4.4 angegeben.

**Tabelle P.1 — Dreiaxiale Kompressionsversuche: empfohlene Mindestanzahl
von Versuchen, die in einer Bodenschicht zu untersuchen sind**

Empfohlene Anzahl von Versuchen zur Bestimmung des wirksamen Reibungswinkels^a			
Korrelationskoeffizient r der Regressionskurve für die Mohr'sche Umhüllende	Vergleichbare Erfahrung		
	keine	mittlere	umfangreiche
$r \leq 0,95$	4	3	2
$0,95 < r \leq 0,98$	3	2	1
$r > 0,98$	2	1	1
Empfohlene Anzahl von Versuchen zur Bestimmung der undrännierten Scherfestigkeit^a			
Variabilität der undrännierten Scherfestigkeit (bei gleicher Konsolidationsspannung)	Vergleichbare Erfahrung		
	keine	mittlere	umfangreiche
$\max c_u / \min c_u > 2$	6	4	3
$1,25 < \max c_u / \min c_u \leq 2$	4	3	2
$\max c_u / \min c_u \leq 1,25$	3	2	1
^a Ein Versuch entspricht einem Satz von drei Einzelversuchen.			

P.1.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

(1) Zusätzlich zu der Auswertung der Versuchsergebnisse sollten Korrelationen über die Kohäsion des undrännierten Bodens in Abhängigkeit der Bodenart, Plastizität usw. herangezogen werden. Die Bewertung der undrännierten Scherfestigkeit sollte die Art des Versuchs berücksichtigen.

(2) Der Reibungswinkel sollte mit Korrelation überprüft werden, z. B. für die Bodenart, die Plastizität, die Lagerungsdichte usw. Unterschiede der Spannungsbedingungen im Labor und in situ (z. B. axialsymmetrischer gegenüber ebenem Verformungszustand) sollten berücksichtigt werden und ggf. der Reibungswinkel angepasst werden. Beziehungen, wie z. B. zwischen den Ergebnissen von Drucksondierungen und dem Reibungswinkel, sollten ebenfalls herangezogen werden.

P.2 Konsolidierte direkte Scherversuche

P.2.1 Versuchsverfahren

(1) Direkte Scherversuche (Rahmen- oder Kreisringscherversuche) werden vorzugsweise für Böden mit Standsicherheitsuntersuchungen durchgeführt, bei denen erwartet wird, dass sich eine deutliche Bruchfläche bildet, oder wenn die Festigkeit an einer Grenzfläche bestimmt werden soll.

(2) Vergleichsstudien zeigen, dass die Versuchsergebnisse von direkten Rahmenscherversuchen und Ringscherversuchen gut übereinstimmen. Bei einem Rahmenschergerät ist die Herstellung von Probekörpern einfacher. In einem Ringscherversuch sind die Spannungen homogener, aber die Dehnungen sind nicht homogen. Es ist allerdings einfacher, große Verformungen zu erzeugen und auf diese Art und Weise die Restscherfestigkeit in einem Boden im Ringschergerät zu bestimmen.

(3) Es sollte doppelt so viel Material von der Bodenschicht entnommen werden, wie für die Zahl der Versuche erforderlich ist.

ANMERKUNG Beispiele für Verfahren für direkte Scherversuche sind in den Dokumenten in X.4.4.4 zusammengestellt.

P.2.2 Anzahl der Versuche

(1) Die Tabelle P.2 gibt Richtwerte für die empfohlene Mindestanzahl von Versuchen in Abhängigkeit der Variabilität des Bodens und der bestehenden vergleichbaren Erfahrung mit der Bodenart. Die Empfehlung bezieht sich auf Fälle, wo zur Bestimmung der Bodenschicht lediglich direkte Scherversuche zugrunde liegen.

Tabelle P.2 — Direkte Scherversuche, empfohlene Mindestanzahl von Versuchen, die in einer Bodenschicht zu untersuchen sind

Empfohlene Anzahl von Versuchen ^a			
Korrelationskoeffizient der Regressionskurve für die Mohr'sche Umhüllende	Vergleichbare Erfahrung		
	keine	mittlere	umfangreiche
Korrelationskoeffizient < 0,95	4	3	2
0,95 ≤ Korrelationskoeffizient < 0,98	3	2	2
Korrelationskoeffizient ≥ 0,98	2	2	1 ^b

^a Ein Versuch entspricht einem Satz von 3 Einzelversuchen.

^b Ein Versuch und Klassifikationsversuche reichen aus, um die Übereinstimmung mit der vergleichbaren Erfahrung zu belegen. Wenn die Versuchsergebnisse nicht mit den vorliegenden Erfahrungen übereinstimmen, sind zusätzliche Versuche durchzuführen.

Anhang Q (informativ)

Detaillierte Informationen zur Bestimmung der Zusammendrückbarkeit von Böden

Q.1 Anzahl der Versuche

(1) Für eine Bodenschicht, die nennenswert zu den Setzungen des Baugrunds beiträgt, werden in der Tabelle Q.1 Richtwerte für die erforderliche Mindestzahl von Versuchen in Abhängigkeit vom Streubereich der Versuchsergebnisse und der vorhandenen vergleichbaren Erfahrungen mit der Bodenart angegeben.

(2) Die Anzahl der untersuchten Probekörper sollte vergrößert werden, wenn das Bauwerk setzungsempfindlich ist. In der Tabelle Q.1 bedeutet die Festlegung von nur einem Versuch die Bestätigung der bestehenden Erfahrungen. Wenn die Versuchsergebnisse nicht mit den bestehenden Erfahrungswerten übereinstimmen, sollten zusätzliche Versuche durchgeführt werden.

Tabelle Q.1 — Oedometerversuch mit stufenweiser Belastung, Mindestanzahl von zu untersuchenden Probekörpern aus einer Bodenschicht

Streuung des Oedometermoduls E_{oed} (im maßgebenden Spannungsbereich)	Vergleichbare Erfahrung		
	keine	mittlere	umfangreiche
Bereich der Werte von $E_{\text{oed}} \geq 50 \%$	4	3	2
$\approx 20 \%$ < Bereich der Werte von $E_{\text{oed}} < \approx 50 \%$	3	2	2
Bereich der Werte von $E_{\text{oed}} < \approx 20 \%$	2	2	1 ^a

^a Ein Oedometerversuch und Klassifikationsversuche reichen aus, um die Übertragbarkeit vergleichbarer Erfahrungen zu belegen (siehe Q.1(2)).

Q.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

(1) Es gibt vier gebräuchliche Verfahren zur Bestimmung der Zusammendrückbarkeit von Böden:

- Rückrechnungen von gemessenen Setzungen;
- empirische Bewertung von indirekten Baugrunduntersuchungen im Feld, wie z. B. Sondierungen;
- direkte Messungen durch Feldversuche, z. B. Plattendruckversuche und Pressiometerversuche;
- Kompressionsversuche mit Bodenproben im Labor.

(2) Die Rückrechnung von gemessenen Setzungen unter vergleichbaren Belastungen kann eine zuverlässige Methode sein, die Zusammendrückbarkeit eines Bodens zu bestimmen (Es ist schwierig, geschichteten Baugrund, Spannungsumlagerungen und Zeiteffekte dabei zu berücksichtigen). Für Gründungen auf Sand und Kies werden oft Feldversuche, wie Sondierungen, verwendet und sie werden empirisch in der Regel basierend auf vergleichbaren Erfahrungen ausgewertet. In Fällen, wo Sand, grobkörnigere Böden, Schluff und Ton zu erwarten sind, ist eine Kombination von Feld- und Laborversuchen sinnvoll. Laborversuche zur Bestimmung der Zusammendrückbarkeit sind am zuverlässigsten für feinkörnige und organische Böden, wenn Proben der Güteklasse 1 relativ einfach zu entnehmen sind.

ANMERKUNG Beispiele für Versuchsverfahren sind in den Dokumenten in X.4.5 zusammengestellt.

Anhang R (informativ)

Detaillierte Informationen über Verdichtungsversuche an Böden

R.1 Versuchsverfahren, die bei beiden Versuchstypen anwendbar sind

(1) Die Mindestanzahl von Probekörpern, die für eine Schicht untersucht werden sollte, ist drei. Die Anzahl der Versuche sollte auf Grundlage von ingenieurmäßigem Sachverstand erfolgen.

(2) Bei der Festlegung der Versuche sollten die Streuung der Korngrößenverteilung, der Konsistenzgrenzen und die Menge des zu verdichtenden Materials berücksichtigt werden. Für Dämme, Straßenkonstruktionen usw. werden in den relevanten Normen Angaben über die Zahl der durchzuführenden Versuche gemacht.

ANMERKUNG Beispiele für Verfahren für Verdichtungsversuche finden sich in den Dokumenten in X.4.6.

R.2 Anforderungen an Verdichtungsversuche

(1) Die am häufigsten verwendeten Verdichtungsversuche sind der Proctorversuch und der modifizierte Proctorversuch.

(2) Einige stark durchlässige Böden, wie z. B. sauberer Kies, enggestufte und grobe saubere Sande, ergeben keine ausgeprägte maximale Dichte. Daher kann es schwierig sein, einen optimalen Wassergehalt zu ermitteln.

(3) Bei steifen bindigen Böden wird empfohlen, den Boden so weit zu zerkleinern, dass er durch ein 5-mm-Sieb fällt, oder in kleine Brocken zu zerhacken, so dass er durch ein 20-mm-Sieb fällt.

(4) Bei steifen bindigen Böden, die in kleine Brocken zerkleinert werden müssen, hängt das Ergebnis des Verdichtungsversuchs von der Größe der Bodenbrocken ab. Die im Versuch erreichte Dichte wird nicht notwendigerweise mit der in situ erreichten Dichte übereinstimmen.

(5) Bei Böden, die nicht zum Kornbruch neigen, braucht nur eine Probe für die Versuche verwendet zu werden. Die Probe kann mehrere Male verwendet werden, nachdem schrittweise der Wassergehalt erhöht wird. Abweichungen von dem Normverfahren sollten im Versuchsbericht vermerkt werden.

(6) Bei Böden, die Bestandteile enthalten, die zu Kornbruch neigen, sollten Proben mit unterschiedlichen Wassergehalten vorbereitet werden.

R.3 Anforderungen an den CBR-Versuch

(1) Es können in-situ-Versuche ausgeführt werden, doch ist der Laborversuch das maßgebende Verfahren.

(2) Der Versuch kann sowohl an ungestörtem als auch an aufbereitetem Material durchgeführt werden.

(3) Der Wassergehalt des Bodens sollte so gewählt werden, das er den Bedingungen entspricht, für die das Versuchsergebnis verwendet wird.

(4) Der CBR-Versuch sollte an Material durchgeführt werden, das durch ein 20-mm-Sieb fällt. Wenn der Boden Körner > 20 mm enthält, sollten diese entfernt und ihre Masse bestimmt werden. Wenn ihr Anteil > 25 % ist, ist der CBR-Versuch nicht anwendbar.

(5) Wenn unterschiedliche Wassergehalte untersucht werden müssen, sollte aus dem natürlichen Zustand der Probe nach der Zerkleinerung Wasser zugegeben oder entfernt werden. Dabei sollte die Probe nicht trocknen können.

ANMERKUNG Beispiele für Versuchsverfahren sind in den Dokumenten in X.4.2 zusammengestellt.

Anhang S (informativ)

Detaillierte Informationen zu Versuchen zur Bestimmung der Durchlässigkeit

S.1 Versuchsverfahren

- (1) Es sollte doppelt so viel Material aus einer Schicht entnommen werden, wie für die Zahl der erforderlichen Probekörper notwendig ist.
- (2) Die zu untersuchenden Probekörper sollten so ausgewählt werden, dass sie die Grenzwerte der maßgebenden Bodeneigenschaften, z. B. der Zusammensetzung, der Lagerungsdichte, der Porenzahl usw., abdecken.
- (3) Als ein Richtwert sollte der hydraulische Gradient in Ton und Schluff < 30 und in Sand < 10 sein.
- (4) Der erforderliche Sättigungsgrad ist in Abhängigkeit der Bodenart und der erforderlichen Genauigkeit des Durchlässigkeitsbeiwerts festzulegen.

ANMERKUNG Beispiele für Verfahren zur Bestimmung der Durchlässigkeit sind in den Dokumenten in X.4.7 zusammengestellt.

S.2 Anzahl der Versuche

- (1) Die Tabelle S.1 enthält eine Empfehlung für die Mindestanzahl von Versuchen in Abhängigkeit von der Variabilität des Bodens und der vorhandenen vergleichbaren Erfahrung mit der Bodenart.

**Tabelle S.1 — Durchlässigkeitsversuche, empfohlene Mindestanzahl
von zu untersuchenden Proben für eine Bodenschicht**

Variabilität im ermittelten Durchlässigkeitsbeiwert <i>k</i>	Vergleichbare Erfahrung		
	keine	mittlere	umfangreiche
$k_{\max}/k_{\min} > 100$	5	4	3
$10 < k_{\max}/k_{\min} \leq 100$	5	3	2
$k_{\max}/k_{\min} \leq 10$	3	2	1 ^a

^a Ein einzelner Versuch und Klassifizierungsversuche reichen aus, um die Übereinstimmung mit vergleichbarer Erfahrung zu bestätigen.

- (2) In der Tabelle S.1 bedeutet die Festlegung von nur einem Versuch die Bestätigung bestehender Erfahrungen. Wenn die Versuche nicht mit den Erfahrungswerten übereinstimmen, sollten zusätzliche Versuche durchgeführt werden.

S.3 Auswertung der Versuchsergebnisse

(1) Es gibt vier gängige Verfahren zur Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwerts (hydraulische Transmissivität):

- Feldversuche, wie z. B. Pumpversuche oder Durchlässigkeitsversuche im Bohrloch;
- empirische Korrelationen auf Grundlage der Korngrößenverteilung;
- Auswertung von Oedometerversuchen;
- Durchlässigkeitsversuche an Probekörpern im Labor.

Die Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwerts kann optimiert werden in einer Kombination dieser Verfahren.

(2) Auch in relativ homogenen Bodenschichten ist eine starke Variation im Durchlässigkeitsbeiwert aufgrund von kleinen Unterschieden in den Spannungen, der Porenzahl, dem Gefüge, der Korngröße und der Feinschichtung möglich. Die zuverlässigste Methode zur Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwerts ist die Bestimmung in situ.

(3) Auch in verhältnismäßig homogenen Bodenschichten sollte der Durchlässigkeitsbeiwert einer Bodenschicht durch einen oberen und unteren Grenzwert beschrieben werden.

(4) Bei Schluff und Ton stellt die Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwerts mit Oedometerversuchen mit stufenweiser Belastung nur eine grobe Näherung dar. Oedometerversuche mit konstanter Verformungsgeschwindigkeit ermöglichen eine direkte Messung der Durchlässigkeit.

(5) Bei homogenen Sanden kann der Durchlässigkeitsbeiwert mit hinreichender Genauigkeit über Korrelationen wie aus der Korngrößenverteilung ermittelt werden.

(6) Bei Ton, Schluff und organischen Böden, bei denen ungestörte Proben hoher Güteklasse gewonnen werden, können Laborversuche zuverlässige Ergebnisse liefern. Die Repräsentativität der Probekörper sollte genau geprüft werden.

(7) Für einige Bodenarten kann der Sättigungsgrad den Durchlässigkeitsbeiwert in einer Größenordnung von bis zu drei Zehnerpotenzen beeinflussen.

(8) Der Chemismus der Durchflussflüssigkeit kann den Durchlässigkeitsbeiwert in der Größenordnung von mehreren Zehnerpotenzen beeinflussen.

Anhang T (informativ)

Herstellung von Probekörpern für Versuche von Gestein

- (1) Die von der ISRM empfohlenen Verfahren zur Beschreibung, Untersuchung und Überwachung von Fels (ISRM Suggested Methods for Rock Characterisation, Testing and Monitoring) enthalten keine Anforderungen für die Herstellung von Probekörpern für Gesteinsproben. Allerdings enthalten die meisten Versuchsverfahren einen Abschnitt über die Herstellung von Probekörpern mit Anforderungen im Hinblick auf das Probenvolumen und die Qualität, die Herstellungsmethode, die Maße und die Toleranzmaße für die Maße und Formen.
- (2) Beispiele für Standardverfahren zur Herstellung von Kernprobekörpern und die Bestimmung der Abmessungen und Toleranzmaße sind in den Dokumenten in X.4.8 zusammengestellt. Im Folgenden werden Auszüge und Kommentare hierzu gegeben.
- (3) Es ist nicht immer möglich, Kerne zu entnehmen und Probekörper herzustellen, die die gewünschten Kriterien erfüllen, die bei den von der ISRM empfohlenen Verfahren angegeben werden, z. B. für die weicheren, stärker porösen und nur schwach verfestigten Gesteinsarten sowie Gesteinsarten mit einem Gefüge.
- (4) Alle Messgeräte und Einrichtungen zur Gewährleistung der Gradheit, der Ebenheit und der Rechtwinkligkeit von Endflächen sind in festgelegten Abständen zu überprüfen, wobei die Toleranzen mindestens den Anforderungen der betreffenden Versuche entsprechen müssen.
- (5) Die meisten nicht gebrochenen Kerne, die durch Einfachkernrohre, Doppelkernrohre oder Dreifachkernrohre mit dem Rotationsbohrverfahren entnommen werden, können mit oder ohne Nachkernen verwendet werden, nachdem die Endflächen hergestellt worden sind. Es können ebenso Blockproben verwendet werden, die direkt aus dem Fels oder Gestein gewonnen wurden, wenn darauf die Orientierung des Blocks, aus dem der Probekörperkern hergestellt wird, eindeutig festgehalten wird.
- (6) Das erforderliche Probenvolumen ist abhängig vom Versuchsprogramm. In vielen Fällen reichen Proben von 300 mm bis 1 000 mm Länge mit einem Durchmesser > 50 mm aus, um einen Probekörper herzustellen, an dem Klassifizierungsversuche, Festigkeitsversuche und Verformungsversuche durchgeführt werden.
- (7) Die erforderliche Menge an Kernen hängt stark von der natürlichen und induzierten Klüftung des Felsmaterials ab. Die erste Beschreibung des Kerns sollte daher eine Auswertung im Hinblick auf die Klüftung und Homogenität enthalten. Diese Beschreibung sollte verwendet werden, wenn die Kernstücke für die Versuche ausgewählt werden.
- (8) Die Auswahl von Probekörpern aus Abschnitten des Bohrkerns, die keine Klüftung enthalten, kann dazu führen, dass die Probekörper nicht repräsentativ für die Felsformation sind. Dies sollte im Versuchsbericht berücksichtigt werden.
- (9) Bei weichem Gestein (Sedimentgestein) ist die Behandlung der Proben besonders wichtig im Hinblick auf die Verformbarkeit, die Festigkeit und das Quellverhalten. Die Gesteinsproben für solche Versuche sollten im Feld so schnell wie möglich verpackt werden, nachdem sie aus dem Kernrohr gewonnen wurden. Schon kurzzeitige ungeschützte Lagerung kann den Wassergehalt und damit die Eigenschaften des Gesteins verändern.

Anhang U (informativ)

Klassifikationsversuche an Gestein

U.1 Allgemeines

(1) Die Klassifikation von Fels auf Grundlage von Kernen erfordert die größtmögliche Bohrkernlänge, um Diskontinuitäten und mögliche Hohlräume festzustellen. Eine Störung des Kerns durch den Bohrvorgang sollte minimiert werden, da die meisten Qualitätsbezeichnungen von Fels sich auf die Risse im Kern beziehen.

(2) Die meisten Klassifizierungssysteme beziehen sich auf Kerne und Proben aus Rotationskernbohrungen mit Probendurchmessern von mindestens 50 mm. Für die meisten Versuche ist eine nicht gerissene Kernlänge von 50 mm bis 200 mm für Elementversuche ausreichend.

ANMERKUNG 1 Beispiele für Klassifizierungsversuche an Gestein sind in den Dokumenten in X.4.9 zusammengestellt.

ANMERKUNG 2 Es gibt national und international anerkannte Klassifizierungssysteme für unterschiedliche Zwecke. Felsklassifizierungssysteme auf Grundlage von halbnumerischen Verfahren für Ingenieurzwecke werden durch Bieniawski (1989 „Engineering Rock Mass Classification“) zusammengefasst (siehe X.5).

U.2 Benennung und Beschreibung von Fels

(1) EN ISO 14689-1 gilt für die Beschreibung von Fels für geotechnische Aufgaben im Bauingenieurwesen. Die Beschreibung wird durchgeführt an Kernen und anderen Proben aus natürlichem Fels und Gestein.

(2) Es können alle publizierten und örtlich eingeführten Klassifikationssysteme verwendet werden, vorausgesetzt, es wird im Bericht auf eine allgemein zugängliche Literatur Bezug genommen.

ANMERKUNG Beispiele für weitere Benennungsverfahren sind in den Dokumenten in X.4.9.1 zusammengefasst.

U.3 Bestimmung des Wassergehalts

U.3.1 Versuchsverfahren

(1) Wenn es gefordert ist, sollten Kontrollen durchgeführt werden, indem die Ergebnisse mit denen von weiteren Probekörpern aus der gleichen Formation verglichen werden.

ANMERKUNG Beispiele für Versuchsverfahren sind in X.4.9.2 zusammengestellt.

U.3.2 Anzahl der Versuche

(1) In der Regel ist der Wassergehalt mindestens auf jeden Meter Kern zu bestimmen.

U.4 Bestimmung der Dichte und Porosität

U.4.1 Versuchsverfahren

- (1) Die Bestimmung der Porosität (Porenzahl) erfordert die Bestimmung der Dichte der festen Bestandteile (oder eine Abschätzung auf Grundlage örtlicher Erfahrung mit ähnlicher Gesteinsart).
- (2) Das Vorhandensein von geschlossenen Poren kann die Porosität beeinflussen. Die Bestimmung des gesamten Porenvolumens kann auf Grundlage der Korndichte der gemahlene Probe durchgeführt werden. Die Bestimmung des Anteils der offenen und geschlossenen Poren erfordert eine spezielle Untersuchung.
- (3) Die Quecksilberverdrängungsmethode sollte nach Möglichkeit vermieden werden.

ANMERKUNG Beispiele für Versuchsverfahren sind in X.4.9.3 zusammengestellt.

U.4.2 Anzahl der Versuche

- (1) Die Dichte und Porosität sind wenigstens alle 2 m und wenigstens 1-mal für jede Gesteinsart zu bestimmen, unabhängig von der Homogenität des Gesteins. Die Parameter der Dichte/Porosität bilden den Rahmen für die meisten Auswertungen im Hinblick auf die Festigkeit und die Verformungseigenschaften von Gestein.

Anhang V (informativ)

Quellversuche an Gestein

V.1 Allgemeines

(1) Wenn möglich, sollten ungestörte Probekörper aus Gestein untersucht werden, da das Gesteinsgefüge einen wesentlichen Einfluss auf die Quellcharakteristik hat. Wenn die Probe zu weich oder zu stark gebräuch ist, um einen Probekörper herzustellen, wie z. B. bei Kluffüllungen, kann der Quellindexversuch auch an aufbereiteten oder verdichteten Probekörpern durchgeführt werden. Die verwendeten Verfahren sollten im Versuchsbericht beschrieben werden.

(2) Tabelle V.1 gibt Hinweise für die Mindestzahl von Quellversuchen, die für Probekörper unterschiedlicher Abmessungen erforderlich sind. Die Vorschläge beziehen sich auf Baumaßnahmen mit begrenztem Risiko für das Auftreten von quellfähigen Gesteinsarten. Für Maßnahmen mit Felsarten, die stärker zum Quellen neigen, sollte die Zahl der Versuche auf mindestens die doppelte Anzahl der in der Tabelle angegebenen Werte erhöht werden. Andere weiterentwickelte Versuchsverfahren sind möglicherweise besser geeignet, das Quellverhalten in situ zu bestimmen.

ANMERKUNG Beispiele für Quellversuche an Gestein sind in den Dokumenten in X.4.10 zusammengestellt.

Tabelle V.1 — Schwellversuche an Gestein, Mindestanzahl an Probekörpern, die in einer Gesteinsformation zu untersuchen sind

Versuchstyp	Mindestdicke	Mindestdurchmesser	Mindestanzahl von Probekörpern	Bemerkungen
(1) Quelldruckindex bei Volumenkonstanz	15 mm und/oder 10facher Korndurchmesser	2,5fache Dicke	3	der Probekörper muss genau in den Ring passen
(2) Quelldehnungsindex bei radial behinderter Dehnung und axialer Belastung	15 mm und/oder 10fache maximale Korngröße	4fache Dicke	3 und zusätzliche Probekörper für den Wassergehalt	der Probekörper muss genau in den Ring passen
(3) Quelldehnung, bei unbehinderter Dehnung der Probekörper	15 mm und/oder 10facher maximaler Korndurchmesser	15 mm und/oder 10facher maximaler Korndurchmesser	3 und zusätzlich Proben für den Wassergehalt	—

V.2 Bestimmung des Quelldruckindex bei konstantem Volumen

(1) Bei dem Versuchsgerät handelt es sich in der Regel um eine normale Oedometerzelle. Die Versuchseinrichtung sollte allerdings sehr steif sein, um einen Einfluss der Nachgiebigkeit aufgrund der Verformungen der Zelle zu vermeiden.

ANMERKUNG Ein Beispiel für Versuchsverfahren zur Bestimmung des Quelldruckindex bei konstantem Volumen ist in X.4.10.1 angegeben.

V.3 Bestimmung des Quelldehnungsindex bei radial behinderter Dehnung des Probekörpers und axialer Belastung

(1) Das Beispiel erfordert eine Belastungseinrichtung, die in der Lage ist, einen Druck von 5 kPa auf den Probekörper aufzubringen, während sie unter Wasser gesetzt wird. Es ist auch zulässig, andere Drücke festzulegen, die den erwarteten Spannungen besser entsprechen. Die Versuchsberichte und Auswertungen sollten eine Beschreibung der Abweichungen vom normalen Versuchsverfahren enthalten.

ANMERKUNG Ein Beispiel für Versuchsverfahren zur Bestimmung des Quelldruckindex bei radial behinderter Dehnung des Probekörpers und axialer Belastung ist in X.4.10.2 angegeben.

V.4 Bestimmung der Quelldehnung bei unbehinderter Verformung des Probekörpers

ANMERKUNG Ein Beispiel zum Verfahren zur Bestimmung der Quelldehnung bei unbehinderter Verformung des Probekörpers ist in X.4.10.3 angegeben.

Anhang W (informativ)

Versuche zur Bestimmung der Festigkeit von Gestein

W.1 Einaxiale Druckfestigkeit und Verformbarkeit

W.1.1 Versuchsverfahren

(1) Es wird empfohlen, die von der ISRM oder in den ASTM angegebenen Versuchsverfahren zur Bestimmung einaxialer Druckfestigkeit und Verformbarkeit zu verwenden. Zusätzlich können die Modifikationen angewendet werden, wie sie in W.1 beschrieben sind.

ANMERKUNG Siehe X.4.11.1.

(2) Das Versuchsverfahren der ISRM enthält zwei Stufen der Versuche:

— Teil 1: Methode zur Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit von Gestein;

— Teil 2: Methode zur Bestimmung der Verformbarkeit von Gestein bei einaxialem Druck.

(3) Die erste Methode liefert die Druckfestigkeit, die zweite Methode liefert zusätzlich den axialen Deformationsmodul (Young's-Modul) und die Poissonzahl. Die zweite Methode ist die bevorzugte Methode.

(4) Die Versuchsverfahren, die von der ISRM empfohlen werden, sind in ihren Voraussetzungen schwer einzuhalten, insbesondere was die Probenherstellung und die geometrischen Toleranzen angeht. Die Vorgehensweise, die in diesem Anhang empfohlen wird, ist weniger streng. Obwohl es wünschenswert ist, die von der ISRM empfohlenen Versuchsverfahren anzuwenden, werden hier eine Reihe von Mindestvoraussetzungen angegeben. Es erscheint wichtiger, eine größere Anzahl von Versuchen durchzuführen, als weniger Versuche an Proben mit höherer Qualität.

(5) Folgende Zusätze sollten bei den Verfahren nach der ISRM berücksichtigt werden:

— Der Durchmesser der Druckplatten sollte zwischen D und $(D + 10)$ mm liegen, wobei D der Durchmesser der Probe ist. Wenn eine ausreichende Steifigkeit der Druckplatten sichergestellt ist, so kann der Durchmesser $> (D + 10)$ mm sein. Spezielle Vorkehrungen sind notwendig, um die Probe sicher zu zentrieren.

— Mindestens eine der zwei Druckplatten sollte eine kugelförmige Lagerung haben.

— Die Probekörper sollten gerade Kreiszyylinder sein mit einem Verhältnis von Höhe zu Durchmesser zwischen 2 und 3, wobei der Durchmesser nicht weniger als 50 mm betragen sollte. Der Durchmesser des Probekörpers sollte im Verhältnis zum Größtkorn des Gesteins bei weichem Gestein mindestens 6:1 betragen. Vorzuziehen ist jedoch ein Verhältnis von 10:1.

— Die Endflächen der Probe sollten glatt sein mit einer Toleranz von 0,02 % des Probendurchmessers und von der Rechtwinkligkeit zur Probenachse nicht mehr als $0,1^\circ$ abweichen.

— Die Verwendung von Ausgleichsmaterial oder eine andere Endflächenbehandlung als mit maschineller Herstellung ist nicht erlaubt mit Ausnahme von weichem Gestein, bei dem die mechanische Kenngröße des Ausgleichsmaterials besser sein sollte als des untersuchten Gesteins.

— Der Durchmesser und die Höhe des Probekörpers sollten auf 0,1 mm oder 0,2 % ermittelt werden. Der größere der beiden Werte ist maßgebend.

- Im Hinblick auf die Messungen von radialen oder axialen Dehnungen sollte der Messweg der Wegaufnehmer mindestens dem 10fachen Korndurchmesser entsprechen. Die Dehnungsaufnehmer, mechanischen Wegaufnehmer oder LVDT sollten in der Regel im mittleren Drittel des Probekörpers angebracht werden, um den Einfluss von Reibung und Spannungsinhomogenitäten an den Enden zu vermeiden. Die Messung der Vertikaldehnung über die gesamte Probenhöhe ist erlaubt, wenn gezeigt werden kann, dass sich dabei die gleichen Ergebnisse ergeben wie bei einer Messung im mittleren Drittel der Probenhöhe.
 - Die Belastung der Probe sollte mit konstanter Belastungsgeschwindigkeit oder konstanter Verformungsgeschwindigkeit aufgebracht werden, so dass der Bruch innerhalb von 5 min bis 15 min auftritt. Wenn Belastungs- und Entlastungszyklen durchgeführt werden, um die Deformationsparameter genauer zu bestimmen, sollte diese Zeit nicht auf die oben genannte Versuchsdauer angerechnet werden.
 - Die Versuchseinrichtung zum Aufbringen und Messen der Axialbelastung der Probe sollte ausreichend dimensioniert und in der Lage sein, die Belastung mit konstanter Belastungsgeschwindigkeit aufzubringen. Die Parallelität der Belastungsplatten sollte überprüft werden.
- (6) Die Anfangsverformungen enthalten möglicherweise Bettungsverformungen der Probenenden und/oder Verformungen beim Schließen von Mikrorissen im Probekörper. Daher kann die Messung der Vertikalverformung aus den Abstandsänderungen zwischen den beiden Stahlplatten der Belastungsmaschine falsche Verformungseigenschaften ergeben.

W.1.2 Zahl der Versuche

Die Eigenschaften von Gestein können in Abhängigkeit von Lithologie, Genese, Verfestigung, Spannungsgeschichte, Verwitterung und anderen natürlichen Prozessen selbst innerhalb einer geologischen Schicht stark wechseln. Die Tabelle W.1 gibt Empfehlungen für die Mindestanzahl von Versuchen für einaxiale Druckversuche als Funktion der Variabilität des Gesteins und vergleichbare Erfahrungen.

Tabelle W.1 — Einaxiale Druckversuche. Empfohlene Mindestanzahl von Probekörpern für eine Formation, Brazil-Tests und Triaxialversuche

Standardabweichung s der gemessenen Festigkeit % des Mittelwerts	Vergleichbare Erfahrung		
	keine	mittlere	umfangreiche
$s > 50$	6	4	2
$20 < s < 50$	3	2	1
$s < 20$	2	1	0 ^a

^a Nur gültig für sehr homogene Gesteinsarten mit umfangreicher Erfahrung aus der nächsten Umgebung.

W.2 Punktlastversuch

W.2.1 Versuchsverfahren

(1) Es wird empfohlen, beispielsweise die von der ISRM angegebenen Versuchsverfahren für den Punktlastversuch anzuwenden.

ANMERKUNG Siehe X.4.11.2.

(2) Der Versuch kann im Feld mit einem tragbaren Gerät oder im Labor mit einer Laborversuchseinrichtung durchgeführt werden.

(3) Probekörper aus Gestein können entweder als Kerne (diametrale und axiale Versuche), geschnittene Blöcke (Blockversuche) oder als unregelmäßige Gesteinsbrocken (irreguläre Versuche) im Versuch verwendet werden, vorausgesetzt, dass die Anforderungen an Form und Abmessungen der Bezugsnorm (z. B. ISRM) eingehalten werden.

W.2.2 Anzahl der Versuche

(1) Der Mittelwert von Punktlast-Indizes wird verwendet, um Proben oder Schichten zu klassifizieren. Um einen repräsentativen Mittelwert zu erhalten, sind mindestens fünf Einzelversuche durchzuführen.

(2) Für die Charakterisierung von Gestein und die Angabe anderer Festigkeitsparameter ist eine größere Zahl von Versuchen erforderlich als in W.1.2 angegeben ist. Im Allgemeinen sollten mindestens 10 Einzelversuche je Schicht durchgeführt werden.

W.3 Direkter Scherversuch

W.3.1 Versuchsverfahren

(1) Es wird empfohlen, beispielsweise die von der ISRM angegebenen Versuchsverfahren für den direkten Scherversuch anzuwenden.

ANMERKUNG Siehe X.4.11.3.

(2) Folgende Ergänzungen sollten beim Versuchsverfahren der ISRM vorgenommen werden:

— Die Belastungseinrichtung sollte einen größeren Weg erlauben als die erwartete Dilatation oder Konsolidation und sollte auch in der Lage sein, die Belastung innerhalb von 2 % des gewählten Wertes über die gesamte Versuchsdauer zu erhalten. Die Dilatation sollte während des Versuchs mit der gleichen Genauigkeit wie die Scherverformung gemessen werden.

— Die Schergeschwindigkeit sollte in den 10 min vor der Ablesung kleiner als 0,1 mm/min sein. Wenn eine automatische Messwerterfassung verwendet wird, besteht möglicherweise keine Notwendigkeit, die Scherverformung auf 0,1 mm/min zu vermindern.

— Der Probekörper sollte nach jeder neuen Belastungsstufe rekonsolidiert werden und das Abscheren entsprechend den Kriterien der ISRM fortgesetzt werden. Wenn die Probenflächen vor einer neuen Versuchsphase gereinigt werden oder die Proben vor einer Neueinrichtung entlastet werden, sollte dies im Versuchsbericht erwähnt werden. Das Material, das bei der Reinigung entfernt wird, sollte beschrieben werden.

(3) Die direkte Scherfestigkeit kann auch in Feldversuchen bestimmt werden. Dies erfordert eine detaillierte Berücksichtigung der Diskontinuitäten im Fels.

(4) Die Versuchsergebnisse werden verwendet z. B. in einem Standsicherheitsnachweis von Böschungen oder Dammgründungen, Tunneln und Kavernen.

(5) Es können Probekörper von Kernen oder geschnittenen Blöcken verwendet werden. Die Versuchsfläche sollte eine Mindestfläche von 2 500 mm² haben. Im Fall von nicht gefüllten Klüften sollte das Verhältnis des Durchmessers des Probekörpers — oder der Kantenlänge bei quadratischer Querschnittsfläche — zur Größe des größten Korns im Gestein mindestens 10:1 betragen. Es wird empfohlen, das Verhältnis von Kluftlänge zur Kantenlänge des Scherkastens nicht kleiner als 0,5 zu wählen, um mögliche Instabilitätsprobleme des Schergeräts zu vermeiden.

(6) Zum Schneiden der Proben sollten Geräte, wie z. B. ein Kernbohrer mit großem Durchmesser oder eine Gesteinssäge, verwendet werden. Schlagbohrer, Hammer und Meißel sollten vermieden werden, da die Proben so wenig wie möglich gestört werden sollten.

(7) Die Richtung des Probekörpers im Versuchsgerät ist in der Regel so zu wählen, dass die Scherfläche mit der Ebene der Schwächezone im Fels zusammenfällt, z. B. mit einer Klufffläche, mit einer Schnittfläche und einer Schieferungsfläche im Probekörper oder mit der Grenzfläche zwischen Boden und Gestein oder Beton und Gestein.

W.3.2 Anzahl der Versuche

(1) Die Bestimmung der Scherfestigkeit sollte möglichst 5 Versuche auf der gleichen Versuchsebene oder gleichen Kluftcharakteristika umfassen, wobei jeder Prüfkörper bei einer unterschiedlichen, aber konstanten Normalspannung des maßgebenden Spannungsbereichs untersucht werden sollte.

W.4 Brazil-Test

W.4.1 Versuchsverfahren

(1) Es wird empfohlen, beispielsweise die von der ISRM angegebenen Versuchsverfahren für den Brazil-Test anzuwenden.

ANMERKUNG Siehe X.4.11.4.

(2) Die Probekörper sollten auf einen Probedurchmesser nicht kleiner als die NX-Kerngröße ($D \approx 54$ mm) und mit einer Dicke geschnitten werden, die etwa dem Radius des Probekörpers entspricht. Die zylindrische Oberfläche sollte frei sein von Schneidspuren. Unregelmäßigkeiten der Probendicke sollten 0,025 mm nicht überschreiten. Die Endflächen müssen eben sein mit einer Genauigkeit von 0,25 mm und parallel zueinander mit einer Toleranz von 0,25°.

(3) Für Schiefer und anisotrope Gesteinsarten wird empfohlen, sie parallel und senkrecht zur Feinschichtung zurechtzuschneiden. Für Probekörper, die parallel zur Feinschichtung geschnitten werden, ist die Belastungsrichtung anzugeben.

W.4.2 Anzahl der Versuche

(1) Die Tabelle W.1 enthält eine Empfehlung über die Mindestanzahl von Brazil-Tests als Funktion, Variabilität des Fels und der vergleichbaren Erfahrungen mit ihm. Für die Charakterisierung und die Angabe anderer Festigkeitsparameter ist eine größere Zahl von Versuchen notwendig.

W.5 Dreiaxialer Kompressionsversuch

W.5.1 Versuchsverfahren

(1) Es wird empfohlen, beispielsweise die von der ISRM angegebenen Versuchsverfahren für den dreiaxialen Kompressionsversuch anzuwenden.

ANMERKUNG Siehe X.4.11.5.

(2) Probekörper sollten auf einen Durchmesser D nicht kleiner als die NX-Kerngröße ($D \approx 54$ mm) und auf eine Höhe des 2- bis 3fachen des Durchmessers wie in 5.4 definiert und in Übereinstimmung mit den Festlegungen in X.4.8 zugeschnitten werden.

W.5.2 Anzahl der Versuche

(1) Die Tabelle W.1 enthält Empfehlungen für die Mindestzahl dreiaxialer Kompressionsversuche in Abhängigkeit der Variabilität des Gesteins und vergleichbarer Erfahrungen. Für die Charakterisierung und die Angabe anderer Festigkeitsparameter ist eine größere Zahl von Versuchen erforderlich.

Anhang X (informativ)

Literaturhinweise

X.1 Abkürzungen und Bezeichnungen

Folgende Bezeichnungen werden in diesem Anhang benutzt:

ASTM	American Society for Testing and Materials
BS	British Standard
DGF	Dansk Geoteknisk Forening (Danish Geotechnical Society)
DIN	Deutsche Industrienorm (German Industrial Standard)
ETC	European Technical Committee (of ISSMGE)
ISRM	International Society of Rock Mechanics
ISSMGE	International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering
NEN	Nederlandse norm (Dutch Standard)
NF	Norme Francaise (French Standard)
SN	Schweizer Norm (Swiss Standard)
SS	Svensk Standard (Swedish Standard)

X.2 Dokumente zur Entnahme von Boden und Fels und zu Grundwassermessungen

BS 5930:1999, *Code of practice for site investigations*

DIN 4021:1990, *Aufschluss durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme von Bodenproben*

Hvorslev, M.J.: *Subsurface exploration and sampling of soils for civil engineering purposes. US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss, USA, 1949*

NF XP, P 94-202:1995, *Sols: Reconnaissance et essais. Prélèvement des sols et des roches. Méthodologie et procédures*

Svensson, C.: *Analysis and use of groundwater level observations. Gothenburg: Diss. Chalmers University of Technology. Dept. Geology. Publ. A 49, 1984, (In Swedish with abstract and summary in English)*

X.3 Felduntersuchungen ^{AC} 8) ^{AC}

X.3.1 Drucksondierungen

Bergdahl, U., Ottosson, E., Malmborg, B.S.: *Plattgrundläggning (Spread foundations)* (in Swedish). Stockholm: AB Svensk Byggtjänst, 1993, 282 pages

Biedermann, B.: Vergleichende Untersuchungen mit Sonden an Schluff (Comparative investigations with sounding methods in silt.) *Forschungsberichte aus Bodenmechanik und Grundbau Nr 9* (In German). Aachen: Technische Hochschule, 1984

DIN 1054:2003, *Baugrund — Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau*

DIN 4094-1:2002, *Baugrund — Felduntersuchungen — Teil 1: Drucksondierungen*

Lunne, T., Robertson, P.K., Powell, J.J.M.: *Cone penetration testing in geotechnical practice*. Originally London: Blackie Academic & Professional, then New York: Spon Press and E&F Spon, 1997, 312 pages

Melzer, K.J., Bergdahl U.: Geotechnical field investigations. *Geotechnical Engineering Handbook, Volume 1: Fundamentals*. Berlin: Ernst & Sohn, 2002, pp 51-117

NEN 6743-1:2006, *Geotechniek — Berekeningsmethode voor funderingen op palen. Drukpalen (Geotechnics — Calculation method for bearing capacity of pile foundations. Compression piles)*

Schmertmann, J.H.: Static cone to compute settlement over sand. *Jnl Soil Mech. Fdns Div.*, ASCE, 96, SM3, May, 1970, pp 1011-1043

Schmertmann, J.H., Hartman J.P., Brown, P.R.: Improved strain influence factor diagrams. *Jnl Geotech. Engng Div.*, ASCE, 104, GT8, Proc. Paper 7302, August, 1978, pp 1131-1135

Sanglerat, G.: *The penetrometer and soil exploration*. Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 1972, 464 pages

Stenzel, G., Melzer, K.J.: Baugrunderkundung mit Sonden entsprechend DIN 4094 (Soil investigations by penetration testing according to DIN 4094). (In German) *Tiefbau* 20, S., 1978, pp 155-160, 240-244

X.3.2 Pressiometerversuch

EN ISO 22476-7, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Felduntersuchungen — Teil 7: Seitendruckversuch*

Clarke B.G, Gambin M.P.: Pressuremeter testing in onshore ground investigations. *A report by ISSMGE Committee TC 16*. Atlanta: Proc. 1st Int. Conf. on Site Characterization, 1998, Vol. 2, 1429-1468

Clarke, B.G.: *Pressuremeters in Geotechnical design*. Glasgow: Blackie Academic and Professional, 1995, 364 pages

Ministère de l'Équipement du Logement et des Transports (1993). Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de Génie civil, CCTG, Fascicule no. 62, Titre V.

^{AC} 8) ^{AC} Die folgenden Zusammenstellungen enthalten zusätzliche Informationen und Beispiele für die Bestimmung abgeleiteter WErte sowie für die unmittelbare anwendung von Versuchsergebnissen in der Berechnung. Die Zusammenstellungen sind nach Versuchsart geordnet.

X.3.3 Standard Penetration Test

Burland, J.B. and Burbridge, M.C.: *Settlements of foundations on sand and gravel*. UK: Proceedings Inst. Civil Engineers, Part 1, 78, Dec., 1985, pp 1325-1381

Canadian Foundation Engineering Manual. Third Edition, Canadian Geotechnical Society, 1992

Technical Committee on Foundations, BiTech Publishers Ltd, 1995. Clayton C.R.I.

The Standard Penetration Test (SPT): methods and use. London: Construction Industry Research Information Association (CIRIA), Report 143, 143 pages

Skempton, A.W.: *Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure relative density, particle size, ageing and over-consolidation*. Geotechnique 36, No. 3, 1986; pp 425-447

US Army Corps of Engineers: ASCE, Technical Engineering and design guides as adapted from the US Army Corps of Engineers, No. 7: Bearing capacity of soils (1993), ASCE Press

X.3.4 Rammsondierungen

Bergdahl, U., Ottosson, E., Malmberg, B.S.: *Plattgrundläggning (Spread foundations)* (in Swedish). Stockholm: AB Svensk Byggtjänst, 1993, 282 pages

Biedermann, B.: *Vergleichende Untersuchungen mit Sonden an Schluff (Comparative investigations with sounding methods in silt)*. Forschungsberichte aus Bodenmechanik und Grundbau Nr 9 (In German). Aachen: Technische Hochschule, 1984

Butcher, A.P., McElmeel, K., Powell, J.J.M.: Dynamic probing and its use in clay soils. *Proc Int Conf on Advances in Site Investigation Practice*. London: Inst, Civil Engineers, 1995, pp 383-395

DIN 4094-3:2002, *Baugrund — Felduntersuchungen — Teil 3: Rammsondierungen*

DIN V 1054-100:1996, *Baugrund — Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Teil 100: Berechnung nach dem Konzept mit Teilsicherheitsbeiwerten*

Recommendations of the Committee for Waterfront Structures, Harbours and Waterways (EAU 1996). Berlin: W. Ernst & Sohn, 2000, 599 pages

Melzer K.J., Bergdahl, U. (2002): Geotechnical field investigations. *Geotechnical Engineering Handbook, Volume 1: Fundamentals*. Berlin: Ernst & Sohn, 2002, pages 51-117

Stenzel, G., Melzer, K.J.: *Baugrunduntersuchungen mit Sonden entsprechend DIN 4094 (Soil investigations by penetration testing according to DIN 4094)*. Tiefbau 20, S. 155-160, 240-244, 1978

X.3.5 Gewichtssondierung

CEN ISO/TS 22476-10, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Felduntersuchungen — Teil 10: Gewichtssondierung*

X.3.6 Flügelscherversuch

Aas, G.: *Vurdering av korttidsstabilitet i leire på basis av udrenert skjaerfasthet. (Evaluation of short term stability in clays based on undrained shear strength)* (in Norwegian); NGM -79 Helsingfors, 1979; pp. 588-596

Aas, G., Lacasse, S., Lunne, T., Höeg, K. (1986). Use of in-situ tests for foundation design on clay. *ASCE Geotechnical Special Publication 6*

Danish Geotechnical Institute Bulletin No. 7. Copenhagen: DGI, 1959

Hansbo, S.: *A new approach to the determination of the shear strength of clay by the fall-cone test.* Stockholm: Royal Swedish Geotechnical Institute, Proc. No. 14, 1957

Larsson, R., Bergdahl, U., Erikson, L.: *Evaluation of shear strength in cohesive soils with special references to Swedish practice and experience.* Linköping: Swedish Geotechnical Institute, Information 3E, 1984

Larsson, R., Åhnberg, H.: *The effect of slope crest excavations on the stability of slopes.* Linköping: Swedish Geotechnical Institute. Report No 63, 2003

Veiledning for utførelse av vingebror (Recommendations for vane boring) (in Norwegian). Melding No. 4, Utgitt 1982, Rev. 1. Norwegian Geotechnical Institute, 1989

Recommended Standard for Field Vane Test. SGF Report 2:93E. Swedish Geotechnical Society, 1993

X.3.7 Flachdilatometerversuch

CEN ISO/TS 22476-11, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Felduntersuchungen — Teil 11: Flachdilatometerversuch*

Marchetti, S.: In situ test by flat dilatometer. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, Proc. ASCE, Vol. 106, N. GT3, 1980, pp 299-321

Marchetti, S., Monaco, P., Totani, G., Calabrese, M.: *The flat dilatometer test (DMT) in soil investigations.* ISSMGE TC 16 Report

Bali: Proc. Insitu, 2001, 41 pages

X.3.8 Belastungsversuch für Flachgründungen

BS 1377-9:1990, *Methods of test for soils for civil engineering purposes — Part 9: In situ vertical settlement and strength tests*

Burland, J.B.: Reply to discussion. Proc. conf. on in situ investigations of soils and rock. London: Inst. Civil Engineers, 1969, pp 62

Bergdahl U., Ottosson E., Malmberg B.S.: *Plattgrundläggning (Spread foundations)* (in Swedish). Stockholm: AB Svensk Byggjänst, 1993, 282 pages

Marsland, A.: Model studies of deep in-situ loading tests in clay. Civ. Eng. and Pub. Wks. Review, Vol 67, No 792, July 1972, pp 695, 697, 698

X.4 Dokumente zu Laborversuchen

X.4.1 Versuche zur Klassifizierung, Benennung und Beschreibung von Böden

X.4.1.1 Felduntersuchungen

BS 5930:1999, *Code of practice for site investigations*

X.4.1.2 Bestimmung des Wassergehalts

CEN ISO/TS 17892-1, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Laborversuche an Bodenproben — Teil 1: Bestimmung des Wassergehalts*

DIN 18121:1998-04, *Untersuchung von Bodenproben — Wassergehalt — Teil 1: Bestimmung durch Ofentrocknung*

NF P 94-050:1995, *Soils: Investigation and testing. Determination of moisture content, Oven drying method*

BS 1377-2:1990, *Methods of test for soils for civil engineering purposes — Part 2: Classification tests*

SN 670 340:1959, *Essai; Teneur en eau/Versuche; Wassergehalt*

ASTM D2216:1998, *Test method for laboratory determination of water (moisture) content of soil, rock, and soil-aggregate mixtures*

ASTM D2974:2000, *Test methods for moisture, ash, and organic matter of peat and other organic soils*

ASTM D4542-95 (2001), *Test methods for pore water extraction and determination of the soluble salt content of soils by refractometer*

SS 0271 16:1989, *Geotechnical tests — Water content and degree of saturation*

X.4.1.3 Bestimmung der Dichte

CEN ISO/TS 17892-2, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Laborversuche an Bodenproben — Teil 2: Bestimmung der Dichte von feinkörnigem Boden*

DIN 18125:1997-08, *Baugrund, Untersuchung von Bodenproben — Bestimmung der Dichte des Bodens — Teil 1: Laborversuche*

NF P 94-053:1991, *Soils, Investigation and testing. Determination of density of fine soils, Cutting curb, mould and water immersion methods. Sols: Reconnaissance et Essais — Détermination de la masse volumique des sols fins en laboratoire — Méthodes de la trousse coupante, du moule et de l'immersion dans l'eau*

BS 1377-2:1990, *Methods of test for soil for civil engineering purposes — Part 2: Classification tests*

SN 670 335:1960, *Versuche; Raumgewicht; Sandersatz-Methode/Essais; Poids spécifique apparent; Methode du sable*

SS 0271 14:1989, *Geotechnical tests — Bulk density*

X.4.1.4 Bestimmung der Korndichte

CEN ISO/TS 17892-3, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Laborversuche an Bodenproben — Teil 3: Bestimmung der Korndichte, Pyknometerverfahren*

DIN 18124:1997-07, *Baugrund, Untersuchung von Bodenproben — Bestimmung der Korndichte — Kapillarpyknometer, Weithalspyknometer*

NF P 94-054:1991, *Sols: Reconnaissance et Essais — Détermination de la masse volumique des particules solides des sols — Méthode du pycnomètre à eau*

BS 1377-2:1990, *Methods of test for soils for civil engineering purposes — Part 2: Classification tests*

SN 670 335:1960, *Versuche; Raumgewicht; Sandersatz-Methode/Essais; Poids spécifique apparent; Methode du sable*

ASTM D 854-02, *Test Method for Specific Gravity of Soils*

ASTM D 4404:84 (1998), *Determination of pore volume and pore volume distribution of soil and rock by mercury intrusion porosimetry*

SS 0271 15:1989, *Geotechnical tests — Grain density and specific gravity*

X.4.1.5 Bestimmung der Korngrößenverteilung

CEN ISO/TS 17892-4, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Laborversuche an Bodenproben — Teil 4: Bestimmung der Korngrößenverteilung*

DIN 18123:1996-11, *Baugrund, Untersuchung von Bodenproben — Bestimmung der Korngrößenverteilung*

NF P 94-056:1996, *Sols: Reconnaissance et Essais — Analyse granulométrique — Méthode par tamisage à sec après lavage*

XP P 94-041:1995, *Sols: Reconnaissance et Essais — Identification granulométrique — Méthode de tamisage par voie humide*

BS 1377-2:1990, *Methods of test for soils for civil engineering purposes — Part 2: Classification tests; Subclause 9.2 Wet sieving method*

BS 1377-2:1990, *Methods of test for soils for civil engineering purposes — Part 2: Classification tests; Subclause 9.5 Sedimentation by the hydrometer method*

BS 1377-2:1990, *Methods of test for soils for civil engineering purposes — Part 2: Classification tests; Subclause 9.4 Sedimentation by pipette method*

SN 670 810c:1986 *Granulats minéraux et sols; Analyse granulométrique par tamisage/Mineralische Baustoffe und Lockergesteine; Siebanalyse*

SN 670 816:1964, *Matériaux pierreux; Sédimentométrie par la méthode de l'aréomètre/Gesteinsmaterialien; Schlammversuch nach der Araeometermethode*

ASTM D2217-85 (1998), *Standard Practice for Wet Preparation of Soil Samples for Particle Size Analysis and Determination of Soil Constants*

ASTM D422-63 (1998), *Test method for particle size analysis of soil*

SS 0271 23:1992, *Geotechnical tests — Particle size distribution — Sieving*

SS 0271 24:1992, *Geotechnical tests — Particle size distribution — Sedimentation, hydrometer method*

X.4.1.6 Bestimmung der Konsistenzgrenzen

CEN ISO/TS 17892-12, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Laborversuche an Bodenproben — Teil 12: Bestimmung der Zustandsgrenzen*

DIN 18122-1:1997-07, *Baugrund, Untersuchung von Bodenproben — Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen) — Teil 1: Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze*

NF P 94-051:1993, *Soils, Investigation and testing, Determination of Atterberg's limits, Liquid limit test using Casagrande apparatus, Plastic limit test on rolled thread*

NF P94-052-1:1995, *Sols: Reconnaissance et Essais — Détermination des limites d'Atterberg — Partie 1: Limite de liquidité — Méthode du cône de pénétration*

BS 1377-2:1990, *Methods of test for soils for civil engineering purposes — Part 2: Classification tests, Clause 4, Determination of the liquid limit*

BS 1377-2:1990, *Methods of test for soils for civil engineering purposes — Part 2: Classification tests, Clause 5, Determination of the plastic limit and plasticity index*

SN 670 345:1959, *Essais; Limites de consistance/Versuche; Konsistenzgrenzen*

SS 0271 20:1990, *Geotechnical tests — Cone liquid limit*

SS 0271 21:1990, *Geotechnical tests — Plastic limit*

X.4.1.7 Bestimmung der Lagerungsdichte von grobkörnigen Böden

BS 1377-2:1990, *Methods of test for soils for civil engineering purposes — Part 2: Classification tests, Clause 4, Determination of maximum and minimum dry densities for granular soils*

NF P 94-059:2000, *Sols: Reconnaissance et Essais — Détermination des masses volumiques minimale et maximale des sols non cohérents*

X.4.1.8 Bestimmung der Zerfallsempfindlichkeit

BS 1377-5:1990, *Methods of test for soils for civil engineering purposes — Part 5: Compressibility, permeability and durability tests, Clause 6, Determination of dispersibility*

X.4.1.9 Bestimmung der Frostempfindlichkeit

SN 670 321:1994 Dokument der Schweizerischen Normen-Vereinigung, *Versuche an Böden — Frosthebungversuch und CRB-Versuch nach dem Auftauen (CRBF)*

BS 1377-5:1990, *Methods of test for soils for civil engineering purposes — Part 5: Compressibility, permeability and durability tests, Clause 7, Determination of frost heave*

X.4.2 Chemische Versuche an Böden und Grundwasser

X.4.2.1 Allgemeines

BS 1377-3:1990, *Methods of test for soils for civil engineering purposes — Part 3: Chemical and electrochemical tests*

X.4.2.2 Bestimmung der organischen Bestandteile

BS 1377-3:1990, *Methods of test for soils for civil engineering purposes — Part 3: Chemical and electrochemical tests, Clause 4, Determination of the mass loss on ignition or an equivalent method*

ASTM D2974:1987, *Test methods for moisture, ash, and organic matter of peat and other organic soils*

NF P 94-055:1993, *Sols: Reconnaissance et Essais — Détermination de la teneur pondérale en matières organiques d'un sol — Méthode chimique*

XP P94-047:1998, *Sols: Reconnaissance et Essais — Détermination de la teneur pondérale en matière organique — Méthode par calcination*

SS 0271 05:1990, *Geotechnical tests — Organic content — Ignition loss method*

SS 0271 07:1990, *Geotechnical tests — Organic content — Colorimetric method*

X.4.2.3 Bestimmung des Kalkgehalts

BS 1377-3:1990, *Methods of test for soils for civil engineering purposes — Part 3: Chemical and electrochemical tests, Clause 6, Determination of the carbonate content*

DIN 18129, *Baugrund, Untersuchung von Bodenproben — Kalkgehaltsbestimmung*

Head K. H.: *Manual of Soil Laboratory Testing, Vol 1: Soil Classification and Compaction Tests*, 2nd ed
Vol 1:1992

NF P 94-048:1996, *Sols: Reconnaissance et Essais — Détermination de la teneur en carbonate — Méthode du calcimètre*

X.4.2.4 Bestimmung des Sulfatgehalts

BS 1377-3:1990, *Methods of test for soils for civil engineering purposes — Part 3: Chemical and electrochemical tests, Clause 5, Determination of the sulphate content of soil and ground water*

X.4.2.5 Bestimmung des pH-Werts (Gehalt an Säure oder Basen)

BS 1377-3:1990, *Methods of test for soils for civil engineering purposes — Part 3: Chemical and electrochemical tests, Clause 9, Determination of the pH value*

X.4.2.6 Bestimmung des Cloridgehalts

BS 812-118:1988, *Testing aggregates. Methods for determination of sulphate content*

BS 1377-3:1990, *Methods of test for soils for civil engineering purposes — Part 3: Chemical and electrochemical tests, Subclause 7.2/7.3*

X.4.3 Indexversuche zur Bestimmung zur Festigkeit von Böden

X.4.3.1 Laborflügel

BS 1377-7:1990, *Methods of test for soils for civil engineering purposes — Part 7: Shear strength test (total stress)*

NF P 94-072:1995, *Sols: Reconnaissance et Essais — Essai scissométrique en laboratoire*

X.4.3.2 Fallkegel

CEN ISO/TS 17892-6, *Geotechnical investigation and testing — Laboratory testing of soil — Part 6: Fall cone test*

SS 0271 25:1991, *Geotechnical test methods. Undrained shear strength. Fallcone test Cohesive soil*

X.4.4 Bestimmung der Festigkeit von Böden

X.4.4.1 Einaxialer Druckversuch

CEN ISO/TS 17892-7, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Laborversuche an Bodenproben — Teil 7: Einaxialer Druckversuch an feinkörnigen Böden*

NF P 94-077:1997, *Sols: Reconnaissance et Essais — Essai de compression uniaxiale*

X.4.4.2 Unkonsolidierter undrännierter dreiaxialer Kompressionsversuch

CEN ISO/TS 17892-8, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Laborversuche an Bodenproben — Teil 8: Unkonsolidierter undrännierter Triaxialversuch*

NF P 94-070:1994, *Sols: Reconnaissance et Essais — Essais à l'appareil triaxial de révolution — Généralités, définitions*

NF P 94-074:1994, *Sols: Reconnaissance et Essais — Essai à l'appareil triaxial de révolution — Appareillage — Préparation des éprouvettes — Essais (UU) non consolidé non drainé — Essai ($C_U + u$) consolidé non drainé avec mesure de pression interstitielle — Essai (CD) consolidé drainé*

X.4.4.3 Konsolidierter dreiaxialer Kompressionsversuch

CEN ISO/TS 17892-9, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Laborversuche an Bodenproben — Teil 9: Konsolidierte triaxiale Kompressionsversuche an wassergesättigten Böden*

BS 1377-8:1990, *Methods of test for soils for civil engineering purposes — Part 8: Consolidated triaxial compression test*

NF P 94-070:1994, *Sols: Reconnaissance et Essais — Essais à l'appareil triaxial de révolution — Généralités, définitions*

NF P 94-074:1994, *Sols: Reconnaissance et Essais — Essai à l'appareil triaxial de révolution — Appareillage — Préparation des éprouvettes — Essais (UU) non consolidé non drainé — Essai ($C_U + u$) consolidé non drainé avec mesure de pression interstitielle — Essai (CD) consolidé drainé*

X.4.4.4 Konsolidierte direkte Scherversuche mit dem Kasten- und dem Kreisringschergerät

CEN ISO/TS 17892-10, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Laborversuche an Bodenproben — Teil 10: Direkte Scherversuche*

BS 1377-7:1990, *Methods of test for soils for civil engineering purposes — Part 7: Shear strength test (total stress)*

ASTM D 3080-98, *Test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions*

SS 027127, *Geotechnical tests — Shear strength — Direct simple shear test, CU- and CD-tests — Cohesive soil*

NF P 94-071-1:1994, *Sols: Reconnaissance et Essais — Essai de cisaillement rectiligne à la boîte — Partie 1: Cisaillement direct*

NF P 94-071-2:1994, *Sols: Reconnaissance et Essais — Essai de cisaillement rectiligne à la boîte — Partie 2: Cisaillement alterné*

X.4.5 Bestimmung der Zusammendrückbarkeit und Verformungen von Böden

CEN ISO/TS 17892-5:2004-10, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Laborversuche an Bodenproben — Teil 5: Oedometerversuch mit stufenweiser Belastung*

BS 1377-5:1990, *Methods of test for soils for civil engineering purposes — Part 5: Compressibility, permeability and durability tests*

NS 8017:1991, *Geotechnical testing — Laboratory methods — Determination of one-dimensional consolidation properties by oedometer testing — Method using incremental loading*

ASTM D 2435-96, *Test method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils*

XP P 94-090-1:1997, *Sols: Reconnaissance et Essais — Essai œdométrique — Partie 1: Essai de compressibilité sur matériaux fins quasi saturés avec chargement par paliers*

XP P 94-091:1995, *Sols: Reconnaissance et Essais — Essai de gonflement à l'œdomètre — Détermination des déformations par chargement de plusieurs éprouvettes*

SS 0271 26:1991, *Geotechnical tests — Compression properties — Oedometer test, CRS-test — Cohesive soil*

SS 0271 29:1992-12-02, *Geotechnical tests — Compression properties — Oedometer test, incremental loading — Cohesive soil*

X.4.6 Bestimmung der Verdichtung an Böden

BS 1377-4:1990, *Methods of test for soils for civil engineering purposes — Part 4: Compaction related tests, Clause 3, Determination of dry density/moisture content relationship*

BS 1377-4:1990, *Methods of test for soil for civil engineering purposes — Part 4: Compaction related tests, Clause 7, Determination of California Bearing Ratio (CBR)*

ANMERKUNG ASTM D-698-78, D-1557-78 und AASHTO/99 und T180 können für Verdichtungsversuche und ASTM D1883-94 und AASHTO T193 können für Bestimmung des CBR-Werts verwendet werden. BS 1377:1990 hat kleinere Abweichungen von den Festlegungen in den amerikanischen Empfehlungen, die von den meisten Straßenbaulabors verwendet werden.

SS 0271 09, *Geotechnical tests — Compaction properties — Laboratory compaction*

NF P 94-078:1997, *Sols: Reconnaissance et Essais — Indice CBR après immersion — Indice CBR immédiat — Indice Portant Immédiat — Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR*

NF P 94-093:1999, *Sols: Reconnaissance et Essais — Détermination des références de compactage d'un matériau — Essai Proctor normal — Essai Proctor modifié*

X.4.7 Bestimmung der Durchlässigkeit an Böden

CEN ISO/TS 17892-11, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Laborversuche an Bodenproben — Teil 11: Bestimmung der Durchlässigkeit mit konstanter und fallender Druckhöhe*

BS 1377-5:1990, *Methods of test for soils for civil engineering purposes — Part 5: Compressibility, permeability and durability tests*

DIN 18130-1:1998-05, *Baugrund — Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts — Teil 1: Laborversuche*

ISO/DIS 17313, *Soil quality — Determination of hydraulic conductivity of saturated porous materials using flexible wall permeameter, ISO/TC 190/SC 5*

ANMERKUNG ISO/DIS 17313 bezieht sich auf ökologische Versuche und enthält einige sehr strenge normative Regelungen, die nicht unbedingt für geotechnische Zwecke geeignet sind.

X.4.8 Herstellung von Probekörpern für Versuche an Gestein

ASTM D4543-01, *Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances*

X.4.9 Klassifikationsversuche an Gestein

X.4.9.1 Allgemein

BS 5930:1981, *Code of practise for site investigation Section 8: Description and classification of rock for engineering purposes*

ISRM Suggested Methods for Rock Characterisation, Testing and Monitoring, Part I: Site Characterisation (1981)

X.4.9.2 Bestimmung des Wassergehalts

ISRM Part 1, *Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties, Section 1: Suggested method for determination of the water content of a rock sample*

X.4.9.3 Bestimmung der Dichte und Porosität

ISRM Part 1, *Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties, Section 2: Suggested method for porosity/density determination using saturation and calliper techniques*

ISRM Part 1, *Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties, Section 3: Suggested method for porosity/density determination using saturation and buoyancy techniques*

X.4.10 Quellversuche an Gestein

X.4.10.1 Quelldruckindex bei konstantem Volumen

ISRM Suggested Methods For Determining Swelling and Slake-Durability Index Properties, Test 1: Suggested Method for Determination of the Swelling Pressure Index of Zero Volume Change

X.4.10.2 Quelldehnungsindex bei radial behinderter Dehnung des Probekörpers unter axialer Belastung

ISRM Suggested Methods For Determining Swelling and Slake-Durability Index Properties, Test 2: Suggested Method for Determination of the Swelling Strain Index for a Radially Confined Specimen with Axial Surcharge

X.4.10.3 Quelldehnung bei unbehinderter Dehnung des Probekörpers

ISRM Suggested Methods For Determining Swelling and Slake-Durability Index Properties, Test 3: Suggested Method for Determination of the Swelling Strain Developed in an Unconfined Rock Specimen

X.4.11 Bestimmung der Festigkeit von Gestein

X.4.11.1 Einaxiale Druckfestigkeit und Verformbarkeit

ISRM Suggested Methods For Determining Unconfined Compressive Strength and Deformability

ASTM D 2938:1991, *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens*

X.4.11.2 Punktlastversuch

ISRM Suggested Method for Determining Point Load Strength; revised version has been published in International Journal for Rock Mechanics. Min. SCI. & Geomech. Abstr. Vol 22, No. 2, pp. 51-60, 1985

X.4.11.3 Direkter Scherversuch

ISRM Suggested Method for Determining Shear Strength, Part 2: Suggested Method For Laboratory Determination of Direct Shear Strength

X.4.11.4 Brazil Test

ISRM Suggested Method for Determining Tensile Strength of Rock Materials, Part 2: Suggested Method for Determining Indirect Tensile Strength by the Brazil Test

X.4.11.5 Dreiaxialer Kompressionsversuch

ISRM Suggested Method for Determining the Strength of Rock Materials in Triaxial Compression

X.5 Bücher, Aufsätze und andere Veröffentlichungen über Laborversuche

Bieniawski, Z.T. (1989): *Engineering Rock Mass Classification*. New York: Wiley, 251 p.

BRE Paper BR 279 (1995) *Sulphate and acid attack on concrete in the ground: recommended procedures for soil analysis*, Watford, UK: Building Research Establishment

A guide to engineering geological description. DGF Bulletin 1, Rev. 1, DGF May 1995

Head, K.H.: *Manual of Soil Laboratory Testing, Vol. 1: Soil Classification and Compaction Tests*, 2nd ed. London, Pentech Press, 1992

Head, K.H.: *Manual of Soil Laboratory Testing, Vol. 2: Permeability, Shear Strength and Compressibility Tests*, 2nd ed. London, Pentech Press, 1994

Head, K.H.: *Manual of Soil Laboratory Testing, Vol. 3: Effective Stress Tests*, 2nd ed. London, Pentech Press, 1986

Suggested method for determining point load strength, Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol 22, No. 2, *International Journal of Rock Mechanics*, ISRM 1985, pp. 51-60

Sherard, K.L., Decker, R.S. and Ryker, N.L.: Piping in Earth Dams of Dispersive Clay, Vol. 1, Part 1, *Proc. ASCE Specialty Conf. on Performance of Earth and Earth-Supported Structures*, June 1972, Purdue University, West Lafayette, Indiana, pp 589-626

Sherard, K.L., Dunnigan, L.P., Decker, R.S. and Steel, E.F.: *Pinhole test for identifying dispersive soil*, J. Geotechn. Eng. Div., ASCE. Vol. 102, No. GT1 (January), 1976, pp 69-85

Slunga, E. & Saarelainen, S. (1989): *Determination of frost-susceptibility of soil*, A.A.Balkema, Proc. of 12th ICSMFE, Vol. 2, Session 19, Rio de Janeiro, 13-18 August 1989, pp 1465-1468