

Inhaltsverzeichnis

1	Einteilung und Benennung von Böden	1
1.1	Bodenmechanische und geologische Begriffe	1
1.1.1	Bezeichnungen	1
1.1.2	Erdaufbau, Erdzeitalter und Gesteinsbildungen	2
1.1.3	Nutzung von Boden oder Fels	4
1.2	Kriterien zur Einteilung	4
1.3	Einteilung nach Korngrößen und organischen Bestandteilen	7
1.3.1	Kornstrukturen grob- und feinkörniger Böden	7
1.3.2	Einteilung reiner Bodenarten	10
1.3.3	Einteilung zusammengesetzter Böden	11
1.3.4	Einteilung von Böden mit organischen Bestandteilen	15
1.4	Einstufung in Boden- und Felsklassen	16
1.5	Kennzeichnungen nach DIN 4023	17
1.6	Erkennung von Bodenarten mit Hilfe einfacher Verfahren	20
1.6.1	Reiberversuch	21
1.6.2	Schneideversuch	21
1.6.3	Trockenfestigkeitsversuch	21
1.6.4	Konsistenzbestimmung bindiger Böden	22
1.6.5	Plastizität bindiger Böden (Knetversuch)	22
1.6.6	Ausquetschversuch	22
1.6.7	Schüttelversuch	23
2	Wasser im Baugrund	24
2.1	Allgemeines	24
2.2	Regelwerke	25
2.3	Begriffe	25
2.4	Kapillarwasser	27
2.5	Porenwinkelwasser	29
2.6	Hygroskopisches Wasser	30
2.7	Betonangreifende Grundwässer und Böden	30
2.8	Untersuchungen der Grundwasserverhältnisse	32
2.9	Grundwassermessstellen	34
2.10	Wasserdurchlässigkeit von Böden	39
3	Geotechnische Untersuchungen	40
3.1	Untersuchungsziel	40
3.2	Regelwerke	41
3.3	Verantwortung für die Untersuchungen	41
3.4	Planung der Untersuchungen	41
3.5	Untersuchungsverfahren	42
3.6	Untersuchungen von Baugrund und Grundwasser	44
3.6.1	Voruntersuchungen	45
3.6.2	Hauptuntersuchungen	46
3.6.3	Baubegleitende Untersuchungen	47

3.6.4	Baugrund- und Bauwerksüberwachung nach der Bauausführung	48
3.7	Untersuchungen von Boden und Fels als Baustoff	48
3.7.1	Voruntersuchungen	49
3.7.2	Hauptuntersuchungen	49
3.7.3	Baubegleitende Untersuchungen	50
3.8	Geotechnische Kategorien (GK)	50
3.8.1	Geotechnische Kategorie GK 1	50
3.8.2	Geotechnische Kategorie GK 2	51
3.8.3	Geotechnische Kategorie GK 3	53
3.9	Erforderliche Maßnahmen	56
3.9.1	Geotechnische Kategorie GK 1	56
3.9.2	Geotechnische Kategorie GK 2	56
3.9.3	Geotechnische Kategorie GK 3	57
3.10	Geotechnischer Bericht	57
3.10.1	Geotechnischer Untersuchungsbericht	58
3.10.2	Aus- und Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse	58
3.10.3	Folgerungen, Empfehlungen und Hinweise	59
3.11	Geotechnischer Entwurfsbericht	59
4	Bodenuntersuchungen im Feld	60
4.1	Allgemeines	60
4.2	Direkte Aufschlüsse	60
4.2.1	Untersuchungszweck	60
4.2.2	Untersuchungsverfahren	60
4.2.3	Regelwerke	62
4.2.4	Richtwerte für Aufschlussabstände	62
4.2.5	Mindestwerte für Aufschlusstiefen	64
4.2.6	Schurf	70
4.2.7	Untersuchungsschacht	70
4.2.8	Untersuchungsstollen	71
4.2.9	Bohrung	71
4.2.10	Verfahren zur Probenentnahme im Boden	74
4.2.11	Probenentnahme mit Entnahmegeräten aus Schürfen und Bohrlöchern	77
4.2.12	Darstellung von Aufschlussergebnissen	80
4.3	Sondierungen (indirekte Aufschlussverfahren)	82
4.3.1	Allgemeines	82
4.3.2	DIN-Normen	83
4.3.3	Rammsondierungen nach DIN EN ISO 22476-2	83
4.3.4	Drucksondierungen nach DIN 4094-1	85
4.3.5	Bohrlochrammsondierungen nach DIN 4094-2	88
4.3.6	Korrelationen zwischen Sondierungsergebnissen und Bodenkenngrößen	89
4.3.7	Wahl des Sondiergeräts	94
4.3.8	Flügelsondierung (Felduntersuchung)	95
4.4	Plattendruckversuch	98
4.4.1	Untersuchungszweck und Versuchsbedingungen	98
4.4.2	DIN-Norm	98
4.4.3	Begriffe	99
4.4.4	Geräte für den Plattendruckversuch	99
4.4.5	Verformungsmodul E_v	100
4.4.6	Bettungsmodul k_s	102
4.5	Aussagekraft von Bodenuntersuchungen	103
4.6	Beobachtungsmethode	103

5	Untersuchungen im Labor	106
5.1	Mehrphasensysteme des Bodens	106
5.2	Korngrößenverteilung	109
5.2.1	DIN-Normen	110
5.2.2	Siebanalyse	110
5.2.3	Schlämmanalyse (Sedimentationsanalyse)	113
5.2.4	Siebung und Sedimentation	115
5.2.5	Kenngößen der Körnungslinie	116
5.2.6	Filterregel von <i>Terzaghi</i>	117
5.2.7	Bodenklassifikation nach DIN 18196 und DIN EN ISO 14688-2	118
5.3	Wassergehalt	125
5.3.1	DIN-Normen	125
5.3.2	Definition des Wassergehalts	125
5.3.3	Mit w in Beziehung stehende Kenngößen feuchter Böden	126
5.3.4	Mit w in Beziehung stehende Kenngößen gesättigter Böden	127
5.3.5	Bestimmung des Wassergehalts durch Ofentrocknung	127
5.3.6	Bestimmung des Wassergehalts durch Schnellverfahren	128
5.4	Dichte	128
5.4.1	DIN-Normen	129
5.4.2	Definitionen	129
5.4.3	Mit ρ und ρ_d in Beziehung stehende Kenngößen	129
5.4.4	Feldversuche nach DIN 18125-2	130
5.4.5	Laborversuche nach DIN 18125-1	134
5.5	Korndichte	134
5.5.1	DIN-Normen	134
5.5.2	Definition der Korndichte	134
5.5.3	Bestimmung mit dem Kapillarpyknometer	135
5.6	Organische Bestandteile	137
5.6.1	DIN-Norm	137
5.6.2	Definition des Glühverlustes	137
5.6.3	Versuchsdurchführung und -auswertung	137
5.6.4	Bodenklassifikation nach DIN 18196	138
5.7	Kalkgehalt	139
5.7.1	DIN-Normen	139
5.7.2	Qualitative Bestimmung des Kalkgehalts	140
5.7.3	Bestimmung des Kalkgehalts nach DIN 18129	140
5.8	Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen)	141
5.8.1	DIN-Normen	141
5.8.2	Qualitative Bestimmung der Konsistenzgrenzen	142
5.8.3	Definitionen	142
5.8.4	Bestimmung der Ausrollgrenze	145
5.8.5	Bestimmung der Schrumpfgrenze	145
5.8.6	Bodenklassifikation nach DIN 18196	146
5.8.7	Plastische Bereiche und ansetzbarer Sohlwiderstand nach DIN 1054	148
5.9	Proctordichte (Proctorversuch)	150
5.9.1	DIN-Norm	150
5.9.2	Definitionen	150
5.9.3	Geräte für den Proctorversuch	150
5.9.4	Durchführung und Auswertung des Proctorversuchs	151
5.9.5	Anforderungen aus Regelwerken an den Verdichtungsgrad D_{Pr}	156
5.10	Dichte nichtbindiger Böden (lockerste u. dichteste Lagerung)	158
5.10.1	Regelwerke	158
5.10.2	Definitionen und Einstufungen von Lagerungsdichten	158

5.10.3	Dichte bei dichtester Lagerung (Rütteltischversuch)	162
5.10.4	Dichte bei lockerster Lagerung (Einfüllung mit Trichter)	162
5.11	Wasserdurchlässigkeit	165
5.11.1	Allgemeines	165
5.11.2	DIN-Normen	165
5.11.3	Definitionen	165
5.11.4	Beziehungen der Filtergeschwindigkeit zum hydraulischen Gefälle	167
5.11.5	Temperatureinfluss	168
5.11.6	Versuch im Versuchszylinder mit Standrohren	169
5.11.7	Untersuchung in der Triaxialzelle (isotrope statische Belastung)	171
5.12	Einaxiale Zusammendrückbarkeit	172
5.12.1	Allgemeines	172
5.12.2	DIN-Normen	174
5.12.3	Begriffe (nach DIN 15135)	174
5.12.4	Kompressionsversuch (Oedometerversuch)	175
5.12.5	Steifemodul	177
5.12.6	Modellgesetz für Setzungszeiten	180
5.13	Scherfestigkeit	181
5.13.1	Allgemeines	181
5.13.2	DIN-Normen	182
5.13.3	Begriffe nach DIN 18137-1	182
5.13.4	Rahmenscherversuch	185
5.13.5	Triaxialversuch nach DIN 18137-2	189
5.13.6	Auswertung des Triaxialversuchs	191
5.14	Einaxiale Druckfestigkeit	196
5.14.1	DIN-Norm	196
5.14.2	Definitionen	197
5.14.3	Druck-Stauchungs-Diagramm	197
5.15	Charakteristische Werte von Bodenkenngößen	199
5.15.1	Forderungen von DIN EN 1997-1 und DIN 1054	199
5.15.2	Werte gemäß DIN 1055-2	200
6	Spannungen und Verzerrungen	204
6.1	Darstellungen	204
6.1.1	Koordinatensysteme	204
6.1.2	Spannungs- und Deformationszustände	206
6.1.3	Spannungstransformation in kartesischen Koordinatensystemen	207
6.2	Sonderfälle	208
6.2.1	Hauptspannungen	209
6.2.2	Ebene Spannungs- und Deformationszustände	211
6.2.3	Symmetrie- und Antimetrieebenen	211
6.3	Spannungs-Verzerrungs-Beziehungen	212
6.3.1	Stoffgesetze bei <i>Hooke'schem</i> Material	212
6.3.2	Steifemodul, Elastizitätsmodul und Schubmodul	214
6.3.3	Bilinear-elastische und nichtlineare Stoffgesetze	214
6.4	Rechnerische Druckspannungen im Baugrund	215
6.4.1	Eigenlast aus trockenem oder erdfeuchtem Boden	215
6.4.2	Totale und effektive Druckspannungen	216
6.5	Vereinfachungen zur Lastausbreitung	217
6.6	Halbraum unter vertikaler Punktlast <i>F</i>	219
6.6.1	Spannungen und Deformationen nach <i>Boussinesq</i>	219
6.6.2	Spannungen nach <i>Fröhlich</i>	222

6.7	Halbraum unter horizontaler Punktlast F	224
6.8	Halbraumspannungen infolge vertikaler Linienlast f	225
6.8.1	Spannungen nach <i>Boussinesq</i>	226
6.8.2	Spannungen nach <i>Fröhlich</i>	227
6.9	Halbraumspannungen infolge horizontaler Linienlast f	227
6.10	Halbraumspannungen infolge vertikaler Streifenlast q	228
6.11	Halbraumspannungen unter schlaffen Rechtecklasten	229
6.12	Spannungen σ_z unter Eckpunkten schlaffer Rechtecklasten	230
6.13	Beiwerte für vertikale Normalspannungen des Halbraums	235
6.14	Spannungen σ_z infolge beliebiger Lasten	238
7	Berechnungsgrundlagen der neuen Normen	241
7.1	Allgemeines	241
7.2	Einwirkungen, geotechnische Kenngrößen, Widerstände	242
7.2.1	Einwirkungen	243
7.2.2	Geotechnische Kenngrößen	244
7.2.3	Widerstände	244
7.3	Charakteristische und repräsentative Werte	244
7.3.1	Charakteristische Werte	244
7.3.2	Repräsentative Werte	245
7.4	Grenzzustände	246
7.5	Bemessungssituationen und Teilsicherheitsbeiwerte	247
7.5.1	Bemessungssituationen	247
7.5.2	Teilsicherheitsbeiwerte	249
7.6	Bemessungswerte	251
7.6.1	Bemessungswerte von Einwirkungen	252
7.6.2	Bemessungswerte von geotechnischen Kenngrößen	253
7.6.3	Bemessungswerte von Bauwerkseigenschaften	253
7.7	Rechnerische Nachweisführung der Tragsicherheit	253
7.7.1	Verlust der Lagesicherheit (EQU)	254
7.7.2	Versagen im Tragwerk und im Baugrund (STR und GEO)	254
7.7.3	Versagen durch Aufschwimmen (UPL)	256
7.7.4	Versagen durch hydraulischen Grundbruch (HYD)	256
7.8	Beobachtungsmethode	257
8	Sohldruckverteilung	259
8.1	Allgemeines	259
8.2	Kennzeichnende Punkte und Linien	260
8.3	Bodenpressungen in der Sohlfuge nach DIN-Normen	261
8.3.1	Regelwerke	261
8.3.2	Gleichmäßige Verteilung und ansetzbare Sohlwiderstände nach DIN 1054	262
8.3.3	Geradlinige Verteilung	266
8.4	Sohldruckverteilung unter Flächengründungen	275
9	Setzungen	277
9.1	Allgemeines	277
9.2	Regelwerke	277
9.3	Begriffe	278

9.4	Kennzeichnende Punkte und Linien	279
9.5	Elastisch-isotroper Halbraum mit Einzellast	280
9.6	Elastisch-isotroper Halbraum mit konstanter Rechtecklast σ_0	281
9.7	Grenztiefe für Setzungsrechnungen	282
9.8	Halbraum mit konstanter Kreislast σ_0	284
9.9	Grundlagen für Setzungsrechnungen nach DIN 4019-1	284
9.9.1	Erforderliche Berechnungsunterlagen	284
9.9.2	Sohl- und Baugrundspannungen	285
9.10	Geschlossene Formeln bei mittiger Last nach DIN 4019-1	285
9.10.1	Setzung der Eckpunkte schlaffer, konstanter Rechtecklasten	286
9.10.2	Setzung starrer Rechteckfundamente	287
9.10.3	Setzung von Kreisfundamenten	292
9.11	Indirekte Setzungsrechnung nach DIN 4019-1	293
9.11.1	Ablauf der Setzungsermittlung	294
9.11.2	Anwendungsbeispiel aus DIN 4019-1	295
9.12	Setzungen infolge von Grundwasserabsenkung	296
9.13	Schräge und außermittige Belastungen nach DIN 4019-2	298
9.13.1	Ansatz waagerechter Lasten und Sohlspannungen	298
9.13.2	Setzungen und Verkantungen bei Verwendung geschlossener Formeln	300
9.13.3	Setzungen und Verkantungen infolge lotrechter Baugrundspannungen	305
9.14	Setzungsproblematik bei Hochbauten	306
9.14.1	Gegenseitige Beeinflussung	306
9.14.2	Mulden- und Sattellage	308
9.14.3	Setzungen bei inhomogenem Baugrund	309
9.15	Zulässige Setzungsgrößen	309
10	Erddruck	314
10.1	Allgemeines	314
10.2	Regelwerke	314
10.3	Angaben nach DIN 4085	314
10.3.1	Begriffe	314
10.3.2	Erforderliche Unterlagen	317
10.3.3	Allgemeines zur Erddruckermittlung	317
10.4	Erdruchedruck	319
10.4.1	Unbelastetes horizontales Gelände	319
10.4.2	Unbelastetes geneigtes Gelände	320
10.4.3	Erdruchedruck nach DIN 4085	321
10.5	Wirkungen der Stützwandbewegung	324
10.5.1	Erddruckkräfte	324
10.5.2	Bruchfiguren	325
10.6	Zonenbruch nach <i>Rankine</i>	326
10.7	Linienbruch nach <i>Coulomb</i>	331
10.7.1	Aktiver Erddruck	332
10.7.2	Passiver Erddruck	333
10.8	Verallgemeinerung der Erddrucktheorie von <i>Coulomb</i>	334
10.8.1	Aktiver Erddruck nach <i>Müller-Breslau</i>	334
10.8.2	Passiver Erddruck nach <i>Müller-Breslau</i>	335
10.8.3	Aktiver Erddruck bei Böden mit Kohäsion	337
10.8.4	Passiver Erddruck bei Böden mit Kohäsion	337

10.9	Aktiver Erddruck gemäß DIN 4085	338
10.9.1	Voraussetzungen der Berechnungsformeln	341
10.9.2	Formeln für Erddrücke und Erddruckkräfte aus Bodeneigenlast	343
10.9.3	Verteilung des Erddrucks aus Bodeneigenlast	345
10.9.4	Gleichmäßig verteilte vertikale Last auf ebener Geländeoberfläche	349
10.9.5	Vertikale Linien- und Streifenlasten auf ebener Geländeoberfläche	354
10.9.6	Horizontale Linien- oder schmale Streifenlasten	357
10.9.7	Erddruckanteil aus Kohäsion	357
10.9.8	Mindesterddruck	360
10.10	Passiver Erddruck gemäß DIN 4085	361
10.10.1	Formeln für Erddrücke und Erddruckkräfte infolge Bodeneigenlast	363
10.10.2	Vertikale Flächenlasten auf ebener Geländeoberfläche	369
10.10.3	Erddruckanteil aus Kohäsion	372
10.10.4	Mobilisierbare Erddruckkraft	375
10.11	Grafische Bestimmung des Erddrucks nach <i>Culmann</i>	376
10.12	Sonderfälle gemäß DIN 4085	377
10.12.1	Verdichtungserddruck	377
10.12.2	Silodruck	378
10.12.3	Erddruck bei dynamischen Anregungen des Bodens	379
10.12.4	Erddruck bei vertikaler Durchströmung des Bodens	380
10.13	Zwischenwerte des Erddrucks	380
10.13.1	Erddruck zwischen aktivem Erddruck und Erdruhedruck	381
10.13.2	Erddruck zwischen Erdruhedruck und passivem Erddruck	381
11	Grundbruch	382
11.1	Allgemeines	382
11.2	DIN-Normen	382
11.3	Begriffe	383
11.4	Einflussgrößen und Modelle des Versagenszustands	383
11.5	Theorie von <i>Prandtl</i>	383
11.5.1	Voraussetzungen	383
11.5.2	Spannungs- und Winkelbeziehungen in den <i>Rankine</i> -Zonen	384
11.5.3	Bedingungen in Übergangszone, <i>Prandtl</i> -Zone	385
11.5.4	Grundbruchformel nach <i>Prandtl</i> , Lösung für die Übergangszone	385
11.6	Verfahren von <i>Buisman</i>	387
11.7	Grundbruchsicherheit nach DIN 1054 und DIN 4017	388
11.7.1	Allgemeines	388
11.7.2	Anwendungserfordernisse	390
11.7.3	Kenngrößen des Baugrunds	390
11.7.4	Nachweis der Grundbruchsicherheit gemäß DIN 1054 und E DIN 1997-1	391
11.7.5	Einwirkungen	391
11.7.6	Grundbruchwiderstände	393
11.7.7	Grundwerte der Tragfähigkeitsbeiwerte und Formbeiwerte	394
11.7.8	Lastneigungsbeiwerte	397
11.7.9	Geländeneigungsbeiwerte	401
11.7.10	Sohneigungsbeiwerte	402
11.7.11	Berücksichtigung von Bermenbreiten	403
11.7.12	Durchstanzen	404
11.7.13	Abmessungen von Gleitkörpern unter Streifenfundamenten	405
12	Gleiten und Kippen	408
12.1	Gleiten	408

12.1.1	DIN-Normen	408
12.1.2	Gleitsicherheit von Flach- und Flächengründungen nach DIN 1054	408
12.1.3	Gebrauchstauglichkeit nach DIN 1054	412
12.1.4	Maßnahmen bei nicht erfüllter Gleitsicherheit	413
12.2	Kippen	413
12.2.1	Allgemeines	413
12.2.2	DIN-Normen	414
12.2.3	Kippsicherheit von Flach- und Flächengründungen nach DIN 1054	414
12.2.4	Gebrauchstauglichkeit nach DIN 1054	416
12.2.5	Ungleichmäßige Setzungen bei hohen Bauwerken	419
13	Geländebruch	420
13.1	Allgemeines	420
13.2	DIN-Normen	420
13.3	Begriffe nach DIN 4084	420
13.4	Erforderliche Unterlagen für Berechnungen gemäß DIN 4084	421
13.5	Sonderfall der ebenen Gleitfläche	422
13.6	Lamellenverfahren (schwedische Methode)	424
13.7	Berechnungen nach Normen	426
13.7.1	Anwendungsbereich	426
13.7.2	Grenzzustand, Einwirkungen und Widerstände	427
13.7.3	Grenzzustandsbedingung	429
13.7.4	Arten der Bruchmechanismen und besondere Bedingungen	430
13.7.5	Bruchmechanismen mit einem Gleitkörper oder zusammengesetzt	431
13.7.6	Lamellenverfahren mit kreisförmig gekrümmten Gleitlinien	432
13.7.7	Lamellenfreie Verfahren mit kreisförmigen und geraden Gleitlinien	434
13.7.8	Zusammengesetzte Bruchmechanismen mit geraden Gleitlinien	436
13.7.9	Anwendungsbeispiele (mit Programm berechnet)	438
13.7.10	Gebrauchstauglichkeit nach DIN 1054 und DIN 4084	440
14	Aufschwimmen	442
14.1	Maßnahmen bei zu geringer Sicherheit gegen Aufschwimmen	443
14.2	Regelwerke	444
14.3	Grenzzustand des Aufschwimmens nach DIN 1054	444
14.3.1	Allgemeines	444
14.3.2	Nichtverankerte Konstruktionen	444
14.3.3	Verankerte Konstruktionen	446
14.3.4	Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen nach EAB	448
15	Methode der Finiten Elemente (FEM)	458
15.1	Allgemeines	458
15.2	Weggrößenverfahren	458
15.2.1	Vektoren des Gesamtmodells	459
15.2.2	Einheitsknotenbewegungen am Gesamtsystem	460
15.2.3	Biegestabelement	460
15.2.4	Steifigkeitsmatrix des Gesamtsystems	464
15.3	Stoffgesetze	466
15.3.1	Ebener Deformationszustand	468
15.3.2	Ebener Spannungszustand	469
15.4	Scheibenelemente	470

15.4.1	Einheitsbewegungen der Elementknoten	470
15.4.2	Ansatzfunktionen für Elementverschiebungen	471
15.4.3	Verzerrungs- und Spannungsvektor des Elements	473
15.4.4	Anwendungsbeispiel	474
16	Europäische Normung in der Geotechnik	479
16.1	Allgemeines	479
16.2	Deutsche und europäische Normung	479
16.3	Eurocode 7	481
16.3.1	Nationaler Anhang (NA)	481
16.3.2	Deutsche Normen und Empfehlungen, die DIN EN 1997-1 ergänzen	482
16.4	Europäische geotechnische Ausführungsnormen	482
16.5	Weitere europäische geotechnische Normen	483
16.6	Bauaufsichtliche Einführung	483
16.6.1	Allgemeines	483
16.6.2	Übergang von deutscher auf europäische Normung	485
Literaturverzeichnis	486
Firmenverzeichnis	501
Stichwortverzeichnis	503