

Prof. Dr.-Ing. Gerd Möller

Geotechnik-Praxis

Bodenmechanik

 **Bauwerk**

Inhaltsverzeichnis

1	Einteilung und Benennung von Böden	1
1.1	Bezeichnungen	1
1.1.1	Bezeichnungen nach DIN 4022-1	1
1.1.2	Bezeichnungen für Boden oder Fels nach DIN 4020	1
1.2	Kriterien zur Einteilung	2
1.3	Einteilung nach Korngrößen und organischen Bestandteilen	3
1.3.1	Kornstrukturen grob- und feinkörniger Böden	3
1.3.2	Einteilung reiner Bodenarten	4
1.3.3	Einteilung zusammengesetzter Böden	5
1.3.4	Einteilung organischer Böden	8
1.4	Einstufung in Boden- und Felsklassen	9
1.5	Kennzeichnungen nach DIN 4023	10
1.6	Erkennung von Bodenarten mittels einfacher Versuche	13
1.6.1	Reibeversuch	13
1.6.2	Schneideversuch	13
1.6.3	Trockenfestigkeitsversuch	14
1.6.4	Konsistenzbestimmung bindiger Böden	14
1.6.5	Ausquetschversuch	14
2	Wasser im Baugrund	15
2.1	Begriffe aus DIN 4021	16
2.2	Kapillarwasser	17
2.3	Porenwinkelwasser	18
2.4	Hygroskopisches Wasser	19
2.5	Grundwassermessstellen	19
2.6	Betonangreifendes Grundwasser	24
3	Geotechnische Untersuchungen	27
3.1	Untersuchungsziel	27
3.2	DIN-Normen	27
3.3	Untersuchungsverfahren	28
3.4	Vor- und Hauptuntersuchungen	29
3.4.1	Untersuchungen des Baugrunds	29

3.4.2	Untersuchungen für Zwecke der Baustoffgewinnung und -verarbeitung	30
3.5	Baubegleitende Untersuchungen	30
3.5.1	Untersuchungen des Baugrunds	30
3.5.2	Untersuchungen für Zwecke der Baustoffgewinnung und -verarbeitung	30
3.6	Geotechnische Kategorien (GK)	31
3.6.1	Geotechnische Kategorie 1 (GK 1)	31
3.6.2	Geotechnische Kategorie 2 (GK 2)	32
3.6.3	Geotechnische Kategorie 3 (GK 3)	32
3.7	Erforderliche Maßnahmen	33
3.7.1	Geotechnische Kategorie 1	33
3.7.2	Geotechnische Kategorie 2	33
3.7.3	Geotechnische Kategorie 3	34
3.8	Geotechnischer Bericht	34
3.8.1	Darstellung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse	34
3.8.2	Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse	34
3.8.3	Folgerungen, Empfehlungen und Hinweise	35
3.9	Geotechnischer Entwurfsbericht	35
4	Bodenuntersuchungen im Feld	37
4.1	Direkte Aufschlüsse	37
4.1.1	Untersuchungszweck	37
4.1.2	Untersuchungsverfahren	39
4.1.3	DIN-Normen	39
4.1.4	Richtwerte für Aufschlussabstände	39
4.1.5	Richtwerte für Aufschlussstiefen	40
4.1.6	Schurf	42
4.1.7	Untersuchungsschacht	43
4.1.8	Untersuchungsstollen	43
4.1.9	Bohrung (Geräte und Verfahren)	43
4.1.10	Güteklassen für Bodenproben	47
4.1.11	Entnahme von Sonderproben aus Schürfen und Bohrlöchern	48
4.1.12	Darstellung von Aufschlussergebnissen	50
4.2	Sondierungen (indirekte Aufschlussverfahren)	52
4.2.1	DIN-Normen	53
4.2.2	Rammsondierungen nach DIN 4094-3	53
4.2.3	Drucksondierungen nach DIN 4094-1	55
4.2.4	Bohrlochrammsondierung	57
4.2.5	Zusammenhänge zwischen Sondierergebnissen und Bodenkenngrößen	58
4.2.6	Wahl des Sondiergeräts	62
4.2.7	Flügelsondierung (Felduntersuchung)	63
4.3	Plattendruckversuch	65
4.3.1	Untersuchungszweck	65

4.3.2	DIN-Norm	66
4.3.3	Begriffe	66
4.3.4	Geräte für den Plattendruckversuch	66
4.3.5	Verformungsmodul E_v	67
4.3.6	Bettungsmodul k_s	69
4.4	Aussagekraft von Bodenuntersuchungen	69
4.5	Beobachtungsmethode	69
5	Laborversuche	71
5.1	Mehrphasensysteme des Bodens	71
5.2	Korngrößenverteilung	74
5.2.1	DIN-Norm	75
5.2.2	Siebanalyse	75
5.2.3	Schlämmanalyse (Sedimentationsanalyse)	77
5.2.4	Siebung und Sedimentation	80
5.2.5	Charakteristische Größen der Körnungslinie	80
5.2.6	Filterregel von TERZAGHI	81
5.2.7	Bodenklassifikation nach DIN 18196	82
5.3	Wassergehalt	87
5.3.1	DIN-Normen	87
5.3.2	Definition des Wassergehalts	87
5.3.3	Mit w in Beziehung stehende Kenngrößen feuchter Böden	87
5.3.4	Mit w in Beziehung stehende Kenngrößen gesättigter Böden	88
5.3.5	Bestimmung des Wassergehalts durch Ofentrocknung	89
5.4	Dichte	90
5.4.1	DIN-Normen	90
5.4.2	Definitionen	90
5.4.3	Mit ρ und ρ_d in Beziehung stehende Kenngrößen	90
5.4.4	Feldversuche nach DIN 18125-2	91
5.5	Korndichte	95
5.5.1	DIN-Normen	95
5.5.2	Definition der Korndichte	95
5.5.3	Bestimmung mit dem Kapillarpyknometer	95
5.6	Organische Bestandteile	97
5.6.1	DIN-Norm	97
5.6.2	Definition des Glühverlustes	97
5.6.3	Versuchsdurchführung und -auswertung	97
5.6.4	Bodenklassifikation nach DIN 18196	98
5.7	Kalkgehalt	99
5.7.1	DIN-Normen	100
5.7.2	Qualitative Bestimmung des Kalkgehalts	100
5.7.3	Bestimmung des Kalkgehalts nach DIN 18129	100

5.8	Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen)	101
5.8.1	DIN-Normen.....	101
5.8.2	Qualitative Bestimmung der Konsistenzgrenzen.....	102
5.8.3	Definitionen.....	102
5.8.4	Bestimmung der Fließgrenze.....	102
5.8.5	Bestimmung der Ausrollgrenze.....	105
5.8.6	Bestimmung der Schrumpfgrenze.....	105
5.8.7	Bodenklassifikation nach DIN 18196.....	106
5.8.8	Plastische Bereiche und zulässige Bodenpressungen nach DIN 1054.....	107
5.9	Proctordichte (Proctorversuch)	109
5.9.1	DIN-Norm.....	109
5.9.2	Definitionen.....	109
5.9.3	Geräte für den Proctorversuch.....	110
5.9.4	Anforderungen aus Regelwerken an den Verdichtungsgrad D_{Pr}	114
5.10	Dichte bei lockerster und dichtester Lagerung	116
5.10.1	DIN-Normen.....	116
5.10.2	Definitionen.....	116
5.10.3	Dichte bei dichtester Lagerung (Rütteltischversuch).....	118
5.10.4	Dichte bei lockerster Lagerung (Einfüllung mit Trichter).....	119
5.11	Wasserdurchlässigkeit	120
5.11.1	Allgemeines.....	120
5.11.2	DIN-Norm.....	120
5.11.3	Definitionen.....	121
5.11.4	Beziehungen der Filtergeschwindigkeit zum hydraulischen Gefälle.....	122
5.11.5	Temperatureinfluss.....	123
5.11.6	Versuch mit veränderlichem hydraulischem Gefälle.....	123
5.11.7	Versuch bei konstantem hydraulischem Gefälle.....	124
5.12	Einaxiale Zusammendrückbarkeit	126
5.12.1	Allgemeines.....	126
5.12.2	Normen.....	127
5.12.3	Kompressionsversuch.....	127
5.12.4	Steifemodul.....	131
5.12.5	Modellgesetz für Setzungszeiten.....	133
5.13	Scherfestigkeit	133
5.13.1	Allgemeines.....	133
5.13.2	DIN-Normen.....	134
5.13.3	Begriffe aus DIN 18137-1.....	135
5.13.4	Rahmenscherversuch.....	138
5.13.5	Triaxialversuch nach DIN 18137-2.....	142
5.13.6	Auswertung des Triaxialversuchs.....	144
5.14	Einaxiale Druckfestigkeit	147
5.14.1	DIN-Norm.....	147
5.14.2	Definitionen.....	147
5.14.3	Druck-Stauchungsdiagramm.....	148

5.15	Charakteristische Werte von Bodenkenngrößen	149
5.15.1	Forderungen der DIN 1054	149
5.15.2	Werte gemäß E DIN 1055-2	150
6	Spannungen und Verzerrungen	153
6.1	Darstellungen	153
6.1.1	Koordinatensysteme	153
6.1.2	Spannungs- und Verzerrungszustände	155
6.1.3	Spannungstransformation in kartesischen Koordinatensystemen	155
6.2	Sonderfälle	157
6.2.1	Hauptspannungen	157
6.2.2	Ebene Spannungs- und Deformationszustände	158
6.2.3	Symmetrie- und Antimetrieebenen	158
6.3	Spannungs-Verzerrungs-Beziehungen	159
6.3.1	Stoffgesetze bei HOOKEschem Material	159
6.3.2	Steifemodul, Elastizitätsmodul und Schubmodul	161
6.4	Rechnerische Druckspannungen im Baugrund	162
6.4.1	Eigenlast aus trockenem oder erdfeuchtem Boden	162
6.4.2	Totale und effektive Druckspannungen	162
6.5	Vereinfachungen zur Lastausbreitung	164
6.6	Halbraum unter Punktlast P	165
6.6.1	Spannungen und Deformationen nach BOUSSINESQ	166
6.6.2	Spannungen nach FRÖHLICH	167
6.7	Halbraumspannungen infolge einer Linienlast p	169
6.7.1	Spannungen nach BOUSSINESQ	169
6.7.2	Spannungen nach FRÖHLICH	169
6.8	Halbraumspannungen infolge einer Streifenlast q	170
6.9	Halbraumspannungen unter schlaffen Rechtecklasten	171
6.10	Spannungen σ_z unter Eckpunkten schlaffer Rechtecklasten	172
6.11	Einflusswerte für σ_z-Spannungen des Halbraums	175
6.12	Spannungen σ_z unter beliebigen Lasten	176
7	Berechnungsgrundlagen der DIN 1054	178
7.1	Allgemeines	178
7.2	Einwirkungen, Beanspruchungen und Widerstände	178
7.2.1	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	178
7.2.2	Widerstände und Sicherheitsklassen	179
7.3	Charakteristische Werte und Bemessungswerte	179

7.4	Grenzzustände	179
7.5	Teilsicherheitsbeiwerte und Lastfälle	180
8	Sohldruckverteilung	184
8.1	Allgemeines	184
8.2	Kennzeichnende Punkte und Linien	185
8.3	Bodenpressungsverteilungen in der Sohlfuge nach DIN-Normen	186
8.3.1	DIN-Normen	186
8.3.2	Gleichmäßige Verteilung nach DIN 1054	186
8.3.3	Geradlinige Verteilung	187
8.4	Sohldruckverteilung unter Flächengründungen nach DIN 4018	191
9	Setzungen	193
9.1	DIN-Normen	193
9.2	Begriffe	194
9.3	Kennzeichnende Punkte und Linien	195
9.4	Elastisch-isotroper Halbraum mit Einzellast	196
9.5	Elastisch-isotroper Halbraum mit konstanter Rechtecklast σ_0	197
9.6	Grenztiefe für Setzungsberechnungen	197
9.7	Halbraum mit konstanter Kreislast σ_0	199
9.8	Grundlagen für Setzungsberechnungen nach DIN 4019-1	199
9.8.1	Erforderliche Berechnungsunterlagen	199
9.8.2	Sohl- und Baugrundspannungen	200
9.9	Geschlossene Formeln bei mittiger Last nach DIN 4019-1	200
9.9.1	Setzung der Eckpunkte schlaffer, konstanter Rechtecklasten	201
9.9.2	Setzung starrer Rechteckfundamente	202
9.9.3	Setzung von Kreisfundamenten	204
9.10	Indirekte Setzungsberechnung nach DIN 4019-1	204
9.10.1	Ablauf der Setzungsermittlung	204
9.10.2	Anwendungsbeispiel aus DIN 4019-1	206
9.11	Setzungen infolge von Grundwasserabsenkung	207
9.12	Schräge und außermittige Belastungen nach DIN 4019-2	208
9.12.1	Ansatz waagerechter Lasten und Sohlspannungen	209
9.12.2	Setzungen und Verkantungen bei Verwendung geschlossener Formeln	209
9.12.3	Setzungen und Verkantungen infolge lotrechter Baugrundspannungen	212
9.13	Setzungsproblematik bei Hochbauten	213
9.13.1	Gegenseitige Beeinflussung	213

9.13.2	Setzungen bei inhomogenem Baugrund	215
9.14	Zulässige Setzungsgrößen	215
10	Erddruck	220
10.1	Allgemeines	220
10.2	DIN-Normen	220
10.3	Angaben der E DIN 4085	220
10.3.1	Begriffe	220
10.3.2	Erforderliche Unterlagen	223
10.3.3	Allgemeines zur Erddruckermittlung	223
10.4	Erdruhedruck	224
10.4.1	Unbelastetes horizontales Gelände	224
10.4.2	Unbelastetes geneigtes Gelände	226
10.4.3	Erdruhedruck nach E DIN 4085	226
10.5	Wirkungen der Stützwandbewegung	229
10.5.1	Erddruckkräfte	229
10.5.2	Bruchfiguren	230
10.6	Zonenbruch nach RANKINE	231
10.7	Linienbruch nach COULOMB	236
10.7.1	Aktiver Erddruck	236
10.7.2	Passiver Erddruck	237
10.8	Verallgemeinerung der Erddrucktheorie von COULOMB	238
10.8.1	Aktiver Erddruck nach MÜLLER-BRESLAU	238
10.8.2	Passiver Erddruck nach MÜLLER-BRESLAU	239
10.8.3	Aktiver Erddruck bei Böden mit Kohäsion	240
10.8.4	Passiver Erddruck bei Böden mit Kohäsion	241
10.9	Aktiver Erddruck gemäß E DIN 4085	241
10.9.1	Voraussetzungen der Berechnungsformeln	245
10.9.2	Formeln für Erddrücke und Erddruckkräfte aus Bodeneigenlast	246
10.9.3	Verteilung des Erddrucks aus Bodeneigenlast	249
10.9.4	Vertikale Flächen- und Linienlasten auf ebener Geländeoberfläche	251
10.9.5	Erddruckanteil aus Kohäsion	257
10.10	Passiver Erddruck gemäß E DIN 4085	261
10.10.1	Formeln für Erddrücke und Erddruckkräfte infolge Bodeneigenlast	262
10.10.2	Vertikale Flächenlasten auf ebener Geländeoberfläche	266
10.10.3	Erddruckanteil aus Kohäsion	267
10.11	Grafische Bestimmung des Erddrucks nach CULMANN	268
10.12	Verdichtungserddruck und Silodruck	270
10.12.1	Aktiver Verdichtungserddruck gemäß E DIN 4085	270
10.12.2	Verdichtungserdruhedruck gemäß DIN V 4085-100	270

10.12.3 Silodruck gemäß E DIN 4085	271
10.13 Zwischenwerte des Erddrucks	272
10.13.1 Erddruck zwischen aktivem Erddruck und Erdruehdruck	272
10.13.2 Erddruck zwischen Erdruehdruck und passivem Erddruck	272
11 Grundbruch	274
11.1 Allgemeines	274
11.2 DIN-Normen	274
11.3 Begriffe	274
11.4 Einflussgrößen und Modelle des Versagenszustands	275
11.5 Theorie von PRANDTL	275
11.5.1 Voraussetzungen	275
11.5.2 Spannungs- und Winkelbeziehungen in den RANKINE-Bereichen	276
11.5.3 Bedingungen im Übergangsbereich (PRANDTL-Bereich)	277
11.5.4 Grundbruchformel nach PRANDTL (Lösung für den Übergangsbereich)	277
11.6 Verfahren von BUISMAN	278
11.7 Grundbruchsicherheit nach DIN 1054 und E DIN 4017	280
11.7.1 Anwendungserfordernisse	281
11.7.2 Einwirkungen	281
11.7.3 Grundbruchwiderstände	282
11.7.4 Tragfähigkeits- und Formbeiwerte	284
11.7.5 Lastneigungsbeiwerte	285
11.7.6 Geländeneigungsbeiwerte	286
11.7.7 Sohlneigungsbeiwerte	287
11.7.8 Berücksichtigung von Bermenbreiten	288
11.7.9 Durchstanzen	288
11.7.10 Nachweis der Grundbruchsicherheit	289
11.7.11 Abmessungen von Gleitkörpern unter Streifenfundamenten	291
12 Gleiten und Kippen	293
12.1 Gleiten	293
12.1.1 DIN-Norm	293
12.1.2 Gleitsicherheit von Flach- und Flächengründungen nach DIN 1054	293
12.1.3 Gebrauchstauglichkeit nach DIN 1054	296
12.1.4 Maßnahmen bei nicht erfüllter Gleitsicherheit	297
12.2 Kippen	297
12.2.1 DIN-Normen	298
12.2.2 Kippsicherheit von Flach- und Flächengründungen nach DIN 1054	298
12.2.3 Gebrauchstauglichkeit nach DIN 1054	299
12.2.4 Ungleichmäßige Setzungen bei hohen Bauwerken	300

13 Gelände- und Böschungsbruch	301
13.1 Allgemeines	301
13.2 DIN-Normen	301
13.3 Begriffe	303
13.4 Erforderliche Unterlagen für Berechnungen nach E DIN 4084	304
13.5 Sonderfall der ebenen Gleitfläche	304
13.6 Lamellenverfahren (schwedische Methode)	306
13.7 Berechnungen nach E DIN 4084	309
13.7.1 Grenzzustand, Einwirkungen und Widerstände	309
13.7.2 Arten der Bruchmechanismen und besondere Bedingungen	310
13.7.3 Bruchmechanismen mit einem Gleitkörper oder zusammengesetzt	312
13.7.4 Grenzzustandsbedingung	312
13.7.5 Lamellenverfahren mit kreisförmig gekrümmten Gleitlinien	313
13.7.6 Lamellenfreie Verfahren mit kreisförmigen und geraden Gleitlinien	315
13.7.7 Zusammengesetzte Bruchmechanismen mit geraden Gleitlinien	316
14 Aufschwimmen	319
14.1 Maßnahmen bei nicht erfüllter Sicherheit gegen Aufschwimmen	319
14.2 Regelwerke	320
14.3 Grenzzustand des Verlustes der Lagesicherheit nach DIN 1054	320
14.3.1 Nichtverankerte Konstruktionen	320
14.3.2 Verankerte Konstruktionen	321
14.3.3 Nachweis der Sicherheit gegen Auftrieb nach EAB-100	322
15 Europäische Normung in der Geotechnik	324
15.1 Allgemeines	324
15.2 Eurocode 7	325
15.2.1 Nationaler Anhang (NA)	325
15.2.2 Deutsche Normen	326
15.3 Ausführungsnormen	326
15.4 Bauaufsichtliche Einführung	327
15.4.1 Übergang vom Global- zum Teilsicherheitskonzept	327
15.4.2 Übergang von deutscher auf europäische Normung	329
Literaturverzeichnis	330
Firmenverzeichnis	341
Stichwortverzeichnis	342