

Inhaltsverzeichnis Band 1

1	Einführung	12
1.1	Entwicklung und Einordnung	12
1.2	Sachverständiger für Geotechnik	13
1.3	Geotechnische Berichte	16
1.4	Baugrundrisiko und Verpflichtung des Auftraggebers	16
1.5	Geotechnische Gesellschaften	18
2	Grundlagen zur Geologie und Struktur von Boden und Fels	19
2.1	Aufbau des Erdkörpers und geologische Einordnung	19
2.2	Gesteinsbildung	20
2.3	Regionalgeologie in Deutschland	24
2.4	Zusammensetzung und Struktur von Böden	25
2.5	Struktur und Gefüge von Gesteinen und Gebirge	29
3	Wasser im Untergrund	31
3.1	Physikalische Eigenschaften des Wassers	31
3.2	Erscheinungsformen des Wassers im Untergrund	32
3.3	Grundlagen der Wasserströmung im Untergrund	34
3.3.1	Grundgleichungen	34
3.3.2	Hydraulischer Gradient und Strömungskraft	35
3.3.3	Filtergeschwindigkeiten und <i>Darcy'sches</i> Filtergesetz	35
3.4	Erweiterung auf geschichtete Böden	37
3.4.1	Begriffe	37
3.4.2	Vertikale Strömung	38
3.4.3	Horizontale Strömung	38
3.4.4	Variationsmöglichkeiten der Untergrunddurchlässigkeiten	39
3.5	Potenzialtheorie	39
3.6	Näherungslösung der Potenzialtheorie mit Strömungsnetzen	42
3.7	Wassermengenbestimmung aus dem Potenzialnetz	44
3.8	Strom- und Potenziallinien bei Baugrundsichtung	44
4	Untersuchungen von Boden und Fels als Baugrund und Baustoff (Baugrunderkundung)	48
4.1	Normen und rechtliche Einordnung der Baugrunderkundung	48
4.2	Begriffe	50
4.3	Klassifizierung und Einordnung der Bodenarten	51
4.3.1	Allgemeines	51

4.3.2	Klassifizierung nach DIN EN ISO 14688 und DIN 4022	52
4.3.3	Klassifizierung nach DIN 18196	56
4.3.4	Klassifizierung nach VOB-Normen	61
4.3.5	Klassifizierung nach <i>Handbuch Eurocode 7-1 (2015)</i>	62
4.4	Zeichnerische Darstellung der Baugrunderkundungsergebnisse	63
4.5	Beschreibung der wichtigsten Bodenarten	63
4.6	Geotechnische Erkundungen und Untersuchungen für bautechnische Zwecke nach <i>Handbuch EC 7-2 (2011)</i>	65
4.6.1	Allgemeines	65
4.6.2	Aufgabenstellung bei geotechnischen Untersuchungen	66
4.6.3	Art und Umfang der geotechnischen Untersuchungen	67
4.7	Baugrunderkundung durch Bohrungen und Schürfe	69
4.7.1	Allgemeines	69
4.7.2	Schürfgruben und Schürfschlitze	71
4.7.3	Bohrungen	71
4.8	Geophysikalische Erkundungsmethoden	72
4.9	Baugrunderkundung durch Sondierungen	74
4.9.1	Sondierverfahren und Ergebnisinterpretation	74
4.9.2	Rammsondierungen	76
4.9.3	Drucksondierungen	79
4.9.4	Flügelsondierungen	80
4.10	Beispiel der Darstellung einer Baugrunduntersuchung	81
5	Einführung in das geotechnische Feld- und Laborversuchswesen	83
5.1	Allgemeines	83
5.2	Bodenproben für Laborversuche	83
5.3	Durchführen und Auswerten von Laborversuchen	84
5.4	Versuche zur Klassifizierung und Einordnung der Böden	84
5.4.1	Korngrößenverteilung	84
5.4.2	Korndichte	86
5.4.3	Organische Anteile	86
5.4.4	Kalkgehalt	87
5.5	Versuche zur Zustandsbeschreibung von Böden	87
5.5.1	Dichte	87
5.5.2	Porenanteil und Porenziffer	88
5.5.3	Wassergehalt	88
5.5.4	Lagerungsdichte	88
5.5.5	Bestimmung der Zustandsgrenzen bindiger Böden	89
5.5.6	Sättigungsgrad	91
5.6	Rechnerische Beziehungen zwischen Bodenkenngrößen	91
5.7	Geohydraulische Eigenschaften von Böden	91
5.8	Bodenmechanische Kenngrößen zur Festigkeit und Verformung	94
5.9	Konventionelle erdbautechnische Prüfverfahren	94
5.9.1	Allgemeines	94
5.9.2	Proctorversuch	95
5.9.3	Bestimmung der Trockendichte des Bodens im Feld	96
5.9.4	Verdichtungsgrad D_{Pr}	97

5.9.5	Plattendruckversuch	97
6	Spannungszustände in der Bodenmechanik	100
6.1	Allgemeines	100
6.2	Definition von totalen, effektiven und Porenwasserdruckspannungen	100
6.3	Ruhedruckspannungen im elastisch-isotropen Halbraum – Primärspannungen	102
7	Elastizitätstheorie und Grenzzustände im Boden	106
7.1	Elastizitätstheorie	106
7.2	<i>Mohr</i> 'sche Darstellung der Spannungen	109
7.3	Grenzzustände (Bruchzustände)	113
7.4	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit	115
8	Zusatzspannungen und Setzungsberechnungen	116
8.1	Modellvorstellungen	116
8.2	Ermittlung von Zusatzspannungen aus Bauwerkslasten	116
8.3	Verfahren zur Setzungsberechnung	122
8.3.1	Grundlagen	122
8.3.2	Setzungsermittlung mithilfe vertikaler Spannungen im Boden	127
8.3.3	Setzungen und Verkantungen mithilfe von geschlossenen Formeln	129
9	Verformungs- und Scherfestigkeitsverhalten	133
9.1	Verformungsverhalten von Böden	133
9.1.1	Kenngößen	133
9.1.2	Eindimensionaler Kompressionsversuch (KD-Versuch)	134
9.2	Festigkeitsverhalten von Böden (Scherfestigkeit)	138
9.2.1	Grundlagen und Begriffe	138
9.2.2	Bedeutung von totalen, effektiven und Porenwasserdruckspannungen für die Scherfestigkeit	141
9.2.3	Laborversuche zur Ermittlung der Scherparameter	143
10	Konsolidationstheorie	150
10.1	Einleitung	150
10.2	Größe des Porenwasserüberdrucks bei Spannungsänderung	151
10.3	Eindimensionale Konsolidationstheorie	152
10.3.1	Allgemeines	152
10.3.2	Herleitung der Differenzialgleichung für die eindimensionale Konsolidation nach <i>Terzaghi</i>	152
10.3.3	Lösung der Differenzialgleichung der eindimensionalen Konsolidationstheorie	155
10.3.4	Zeitabhängige Belastung	157
10.4	Mehrdimensionale Konsolidationstheorie	158
10.5	Konsolidationsbeschleunigung durch Vertikaldränagen	159
10.5.1	Wirkungsweise	159
10.5.2	Arten und Einbau von Vertikaldränagen	159
10.5.3	Berechnung des Konsolidationsvorgangs bei Vertikaldränagen	160
10.6	Sekundärkonsolidation	164
10.7	Bestimmung des Zeit-Setzungsverhaltens im Laborversuch	166

11 Bodenkenngrößen aus Erfahrungswerten und Korrelationen	168
11.1 Erfahrungswerte für Bodenkenngrößen	168
11.1.1 Allgemeines	168
11.1.2 Erfahrungswerte für Bodenkenngrößen aus <i>EAU (2012)</i>	168
11.1.3 Erfahrungswerte für Bodenkenngrößen aus <i>EAB (2012)</i>	171
11.2 Korrelationen zwischen Bodenkenngrößen	176
11.3 Ableitung von Bodenkenngrößen aus Sondierungen	176
12 Erd- und Wasserdruck	180
12.1 Einführung	180
12.2 Begriffe und Bezeichnungen	181
12.3 Erddrucktheorie nach <i>Coulomb</i> mit ebenen Gleitflächen	183
12.3.1 Annahmen	183
12.3.2 Aktiver Erddruck	184
12.3.3 Passiver Erddruck	185
12.4 Aktiver und passiver Grenzzustand im Halbraum – Flächenbruch- bzw. Zonenbruchtheorie nach <i>Rankine</i>	186
12.5 Bewertung der Theorien von <i>Coulomb</i> und <i>Rankine</i>	190
12.6 Praktische Erddruckberechnung	190
12.6.1 Allgemeines	190
12.6.2 Ansatz des Erddruckneigungswinkels	190
12.6.3 Erddruck infolge Bodeneigengewicht mit ebenen Gleitflächen	192
12.6.4 Erddruck infolge Kohäsion	193
12.6.5 Passiver Erddruck mit gekrümmten Gleitflächen	194
12.6.6 Mindesterddruck	196
12.6.7 Erdruhedruck	197
12.6.8 Erddruck infolge Nutzlasten auf der Geländeoberfläche	198
12.6.9 Erddruck bei geschichtetem Boden	200
12.6.10 Erddruck bei gebrochener Geländelinie bzw. geknickter Wand	201
12.7 Erddruck bei wassergesättigten, bindigen Böden	201
12.8 Verdichtungserddruck	202
12.9 Räumlicher Erddruck	202
12.10 Hydrostatischer Wasserdruck	203
12.11 Berücksichtigung der Wasserströmung	203
12.12 Maßgebliche Wasserspiegelhöhen	204
13 Sicherheitsnachweise in der Geotechnik nach Eurocode EC 7-1 / DIN 1054:2010-12	205
13.1 Stand der nationalen und europäischen Normen	205
13.1.1 Allgemeines	205
13.1.2 Geotechnische Normen zur Berechnung und Bemessung	206
13.1.3 Normenhandbuch EC 7-1	207
13.1.4 Europäische Ausführungsnormen für geotechnische und Spezialtiefbauverfahren	208
13.2 Berechnungsmodelle	209
13.3 Grundidee zum Sicherheitskonzept mit Teilsicherheitsbeiwerten	209
13.4 Anwendungshinweise und Grundgleichungen	211
13.5 Bemessungswerte von Einwirkungen mit Kombinationsbeiwerten	213

13.6	Nachweisverfahren, Grenzzustände und Grenzzustandsbedingungen	215
13.6.1	Grenzzustände in der Geotechnik	215
13.6.2	Grenzzustand der Lagesicherheit	216
13.6.3	Grenzzustand Versagen von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund	217
13.6.4	Grenzzustand der Gesamtstandsicherheit	217
13.7	Besondere Regelungen in der Geotechnik	218
13.7.1	Begriffsfestlegungen für Bauwerke	218
13.7.2	Geotechnische Kategorien	219
13.7.3	Bemessungssituationen bei geotechnischen Bauwerken	219
13.7.4	Berücksichtigung von Wasserdruck	220
13.8	Teilsicherheitsbeiwerte	221
13.9	Berechnungsverfahren und Berechnungsabläufe	221
14	Standicherheit von Böschungen und Geländesprüngen	226
14.1	Begriffe und Definitionen	226
14.2	Bruchkinematik und Berechnungsverfahren	226
14.3	Sicherheitsdefinition und Grenzzustandsbedingung	228
14.4	Bemessungswerte der Einwirkungen und Beanspruchungen	229
14.4.1	Eigengewichte	229
14.4.2	Lasten in oder auf dem Gleitkörper	230
14.4.3	Kräfte von vorgespannten Zuggliedern	230
14.4.4	Wasserdruck	230
14.4.5	Porenwasserüberdruck infolge Konsolidation	232
14.4.6	Sonstige Einwirkungen	232
14.5	Bemessungswerte der Widerstände	232
14.5.1	Scherfestigkeit des Bodens	232
14.5.2	Zugglieder	234
14.5.3	Äußere Kräfte und äußere Momente	236
14.6	Lamellenverfahren nach <i>Krey/Bishop</i> für kreisförmige Gleitflächen	237
14.6.1	Theoretische Grundlagen und Herleitung der Berechnungsformeln	237
14.6.2	Bemessungswerte der Beanspruchungen im Lamellenverfahren	239
14.6.3	Bemessungswerte der Widerstände im Lamellenverfahren	240
14.6.4	Lage der Gleitlinie	241
14.7	Sonderfall	241
14.8	Bestimmung des Böschungswinkels mithilfe von Nomogrammen	242
14.9	Blockgleitverfahren (Stützlinienverfahren)	242
14.10	Verfahren mit inneren Gleitflächen	244
14.11	Berechnung des Ausnutzungsgrades μ beim Verfahren Blockgleiten und zusammengesetzte Mechanismen	248
15	Baugrundverbesserung und Stabilisierungssäulen	249
15.1	Einleitung	249
15.2	Verfahren ohne Bodenaustausch	250
15.2.1	Oberflächenverdichtung	250
15.2.2	Vorbelastung	251
15.2.3	Konsolidationsbeschleunigung durch Vertikaldränagen	252
15.2.4	Dynamische Intensivverdichtung	252
15.2.5	Weitere Verfahren	254

15.3	Verfahren mit vollem oder teilweisem Bodenaustausch	254
15.3.1	Konventioneller Bodenaustausch	254
15.3.2	Kasten-Bodenaustausch Verfahren	255
15.3.3	Spülverfahren	255
15.3.4	Nassbaggerung	256
15.3.5	Bodenverdrängung	256
15.4	Tiefenrüttlung	256
15.4.1	Anwendungsbereiche	256
15.4.2	Rütteldruckverfahren	257
15.4.3	Rüttelstopfverfahren	258
15.4.4	Berechnung und Bemessung von Rüttelstopfsäulen	259
15.5	Geokunststoffummantelte Säulen	264
15.5.1	Verfahrensbeschreibung	264
15.5.2	Bemessung	264
15.5.3	Allgemeine Erfahrungen aus ausgeführten Projekten	267
15.6	Bindemittelgebundene Stabilisierungssäulen und Tragglieder	267
15.6.1	Tragverhalten und Abgrenzung	267
15.6.2	Vermörtelte Stopfsäulen und Betonrüttelsäulen	268
15.6.3	Kalk-Zement-Säulen	269
15.6.4	CSV-Verfahren	269
15.6.5	Fräs-Misch-Injektions-Verfahren (FMI)	270
15.6.6	Weitere pfahlartige Tragglieder	270
15.7	Geogitterbewehrte Tragschichten	271
15.7.1	Konstruktion	271
15.7.2	Berechnung und Bemessung	272
15.8	Prüfungen	274
16	Numerische Verfahren in der Geotechnik	275
16.1	Allgemeines	275
16.2	Grundlagen der Methode der Finiten-Elemente	275
16.2.1	Eigenschaften finiter Elemente am Beispiel eines Dreieckelements	275
16.2.2	Höherwertige Finite-Elemente-Typen	280
16.2.3	Physikalische Nichtlinearitäten bzw. Stoffgesetze von Böden	281
16.3	Stoffgesetze in Finite-Elemente Software	283
16.4	Berechnungsorganisation bei nichtlinearem Stoffverhalten	285
16.5	Diskontinuität	285
16.6	Berücksichtigung von Primärzuständen	286
16.7	Modellierung	287
16.8	Anwendungsgebiete	288
A	Tabellen, Formeln, Bodenkenngrößen	290
A-1	Abkürzungen und Formelzeichen	290
A-2	Formeln zur Ermittlung der passiven Erddruckbeiwerte nach <i>Pregl/Sokolovski</i> mit gekrümmten Gleitflächen	295
A-3	Räumlicher Erddruck	297
A-3.1	Räumlicher aktiver Erddruck nach DIN 4085	297
A-3.2	Räumlicher passiver Erddruck nach DIN 4085	298
A-4	Erfahrungswerte für Bodenkenngrößen, aus <i>v. Soos/Engel (2017)</i>	301

A-5	Korrelationen zwischen Bodenkenngrößen	303
A-5.1	Durchlässigkeit	303
A-5.2	Optimaler Wassergehalt und Proctordichte	303
A-5.3	Parameter der Zusammendrückbarkeit von Boden	304
A-5.4	Parameter der Scherfestigkeit	306
A-5.5	Weitere Korrelationen	307
A-6	Merkmale und Beispiele zur Einstufung in die Geotechnischen Kategorien – Anhang AA aus <i>Handbuch Eurocode 7-1 (2015)</i>	307
B	Zahlenbeispiele	313
B-3	Wasser im Untergrund	314
B-3.1	Strömungsgeschwindigkeit – Kontinuitätsgleichung	314
B-3.2	Wasserdruckermittlung und hydraulischer Gradient	314
B-3.3	Berechnung der effektiven Wichte infolge Strömung	315
B-3.4	Strom- und Potenziallinien	316
B-3.5	Sickerströmung bei geschichtetem Untergrund	318
B-4	Untersuchung und Klassifizierung von Boden u. Fels	322
B-4.1	Klassifizierung verschiedener Bodenarten	322
B-5	Einführung in das geotechnische Feld- und Laborversuchswesen	323
B-5.1	Bestimmung von klassifizierenden Kenngrößen	323
B-5.2	Prüfung der Lagerungsdichte eines nichtbindigen Bodens	323
B-5.3	Ermittlung der Konsistenz eines bindigen Bodens	324
B-5.4	Proctordichte und Verdichtungsgrad	325
B-6	Spannungszustände in der Bodenmechanik	327
B-6.1	Wichte und Bodenbestimmung	327
B-6.2	Totale, effektive und neutrale Spannungen	327
B-6.3	Totale, effektive und Porenwasserdruckspannungen	328
B-7	Elastizitätstheorie und Grenzzustände im Boden	329
B-7.1	Dreidimensionaler und eindimensionaler Spannungszustand	329
B-7.2	Spannungen und Verzerrungen in einer Bodenprobe	329
B-7.3	Spannungen und Verzerrungen, räumlich und eben	330
B-7.4	Beanspruchungen einer Bodenprobe, <i>Mohr'scher</i> Spannungskreis	332
B-7.5	Spannungszustände aus verschiedenen Lastfällen	334
B-8	Berechnung von Zusatzspannungen und Setzungen	338
B-8.1	Horizontalspannungen im elastisch isotropen Halbraum infolge Liniennlast	338
B-8.2	Zusatzspannungen im Untergrund für unterschiedliche Punkte	339
B-8.3	Setzungen unter einer Gründungsplatte	342
B-8.4	Zeitdauer für das Abklingen von Setzungen	343
B-8.5	Setzungen infolge von mehreren Fundamenten	344
B-8.6	Setzungsberechnung mit geschlossenen Formeln	346
B-8.7	Setzungsberechnung mit geschlossenen Formeln bei geschichtetem Untergrund	347
B-8.8	Setzungen und Fundamentverkantung unter einem Brückenpfeiler	347
B-9	Verformungs- und Scherfestigkeitsverhalten	349
B-9.1	Auswertung eines Kompressionsversuches	349
B-9.2	Spannungsermittlung bei Porenwasserüberdruck	351

B-9.3	Scherparameter aus Rahmenscherversuch	352
B-9.4	Auswertung eines Triaxialversuches	353
B-9.5	Triaxialversuche mit unterschiedlichen Randbedingungen	355
B-10	Konsolidationstheorie	362
B-10.1	Zeitlicher Setzungsverlauf	362
B-10.2	Spannungsverteilung in einer Tonschicht	363
B-10.3	Porenwasserüberdrücke zu unterschiedlichen Zeiten	364
B-10.4	Entwurf und Gründung mit Vertikaldränagen	365
B-12	Erddruck und Wasserdruck	367
B-12.1	Erddruckermittlung bei homogenem Boden	367
B-12.2	Erddruckermittlung bei geschichtetem Boden	369
B-12.3	Aktiver und passiver Erddruck auf eine Gewichtsstützwand	371
B-12.4	Erd- und Wasserdruckbelastung auf eine Spundwand	374
B-14	Standsicherheit von Böschungen und Geländesprüngen	376
B-14.1	Lamellenverfahren – Böschungsbruchnachweis	376
B-14.2	Böschungsbruchnachweise unter Berücksichtigung einer Verankerung	379
B-14.3	Böschungsbruchnachweis unter Berücksichtigung einer Verankerung und Wasserdruck	381
B-14.4	Böschungsbruchnachweis mit Nomogramm	381
B-14.5	Böschungsbruchnachweise im Anfangszustand	382
B-14.6	Nachweis der Gesamtstandsicherheit mit dem Blockgleitverfahren nach DIN 4084	386
B-14.7	Nachweis der Gesamtstandsicherheit mit dem Verfahren Starrkör- perbruchmechanismus	390
B-15	Verfahren zur Baugrundverbesserung	393
B-15.1	Rüttelstopfsäulen in einer Weichschicht	393
B-15.2	Geokunststoffummantelte Säulen in einer Weichschicht	394
B-15.3	Geogitterbewehrte Tragschicht über pfahlähnlichen Traggliedern	397
B-16	Numerische Verfahren	401
B-16.1	Berechnung einer tiefen Baugrube mit der FEM	401

Literaturverzeichnis	408
-----------------------------	------------

Stichwortverzeichnis	424
-----------------------------	------------