

# Inhaltsverzeichnis Band 1

<b>1 Einführung .....</b>	<b>13</b>
1.1 Entwicklung und Einordnung .....	13
1.2 Sachverständiger für Geotechnik .....	14
1.3 Baugrundinstitute und Baugrundgutachten.....	16
1.4 Baugrundrisiko und Verpflichtung des Auftraggebers.....	17
1.5 Geotechnische Gesellschaften.....	18
<b>2 Grundlagen zur Geologie und Struktur von Boden und Fels .....</b>	<b>19</b>
2.1 Aufbau des Erdkörpers und geologische Einordnung .....	19
2.2 Gesteinsbildung .....	22
2.3 Regionalgeologie in Deutschland .....	23
2.4 Zusammensetzung und Struktur von Böden .....	25
2.5 Struktur und Gefüge von Gesteinen und Gebirge.....	28
<b>3 Wasser im Untergrund.....</b>	<b>31</b>
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</i> 'sches 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 Potentialtheorie .....	39
3.6 Näherungslösung der Potentialtheorie mit Strömungsnetzen .....	42
3.7 Wassermengenbestimmung aus dem Potentialnetz .....	44
3.8 Strom- und Potentiallinien bei Baugrundschichtung .....	44

<b>4 Untersuchungen von Boden und Fels als Baugrund und Baustoff (Baugrunderkundung).....</b>	<b>47</b>
4.1 Normen und rechtliche Einordnung der Baugrunderkundung.....	47
4.2 Begriffe .....	49
4.3 Klassifizierung und Einordnung der Bodenarten.....	50
4.3.1 Allgemeines .....	50
4.3.2 Klassifizierung nach DIN EN ISO 14688 und DIN 4022 .....	50
4.3.3 Klassifizierung nach DIN 18196 .....	57
4.3.4 Klassifizierung nach DIN 18300 .....	60
4.3.5 Klassifizierung nach <i>Handbuch EC 7-1 (2011)</i> .....	62
4.4 Zeichnerische Darstellung der Baugrunderkundungsergebnisse .....	63
4.5 Beschreibung der wichtigsten Bodenarten.....	63
4.6 Geotechnische 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 .....	66
4.6.4 Geotechnische Untersuchungsverfahren .....	67
4.7 Baugrunderkundung durch Bohrungen und Schürfe .....	69
4.7.1 Allgemeines .....	69
4.7.2 Schürfgruben und Schürfschlitz .....	71
4.7.3 Bohrungen .....	71
4.8 Baugrunderkundung durch Sondierungen .....	72
4.8.1 Anwendungsformen von Sondierungen .....	72
4.8.2 Rammsondierungen.....	74
4.8.3 Drucksondierungen .....	77
4.8.4 Flügelsondierungen .....	78
4.9 Beispiel der Darstellung einer Baugrunduntersuchung .....	80
<b>5 Einführung in das geotechnische Feld- und Laborversuchswesen.....</b>	<b>81</b>
5.1 Allgemeines.....	81
5.2 Bodenproben für Laborversuche.....	81
5.3 Durchführen und Auswerten von Laborversuchen .....	82
5.4 Versuche zur Klassifizierung und Einordnung der Böden .....	82
5.4.1 Korngrößenverteilung .....	82
5.4.2 Korndichte .....	84
5.4.3 Organische Anteile .....	84
5.4.4 Kalkgehalt.....	85

5.5	Versuche zur Zustandsbeschreibung von Böden .....	85
5.5.1	Dichte.....	85
5.5.2	Porenanteil und Porenzahl.....	85
5.5.3	Wassergehalt.....	86
5.5.4	Lagerungsdichte .....	86
5.5.5	Bestimmung der Zustandsgrenzen bindiger Böden .....	87
5.5.6	Sättigungsgrad .....	88
5.6	Rechnerische Beziehungen zwischen Bodenkenngrößen .....	88
5.7	Geohydraulische Eigenschaften von Böden .....	91
5.8	Bodenmechanische Kenngrößen zur Verformung und Festigkeit .....	92
5.9	Konventionelle erdbautechnische Prüfverfahren .....	92
5.9.1	Allgemeines .....	92
5.9.2	Proctorversuch.....	93
5.9.3	Bestimmung der Trockendichte des Bodens im Feld .....	94
5.9.4	Verdichtungsgrad .....	94
5.9.5	Plattendruckversuch .....	94
<b>6</b>	<b>Spannungszustände in der Bodenmechanik .....</b>	<b>97</b>
6.1	Allgemeines.....	97
6.2	Definition von totalen, effektiven und Porenwasserdruck-Spannungen.....	97
6.3	Ruhedruckspannungen im elastisch-isotropen Halbraum – Primärspannungen .....	98
<b>7</b>	<b>Elastizitätstheorie und Grenzzustände im Boden .....</b>	<b>102</b>
7.1	Elastizitätstheorie .....	102
7.2	<i>Mohr</i> 'sche Darstellung der Spannungen.....	105
7.3	Grenzzustände (Bruchzustände).....	109
7.4	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit.....	111
<b>8</b>	<b>Zusatzspannungen und Setzungsberechnungen.....</b>	<b>112</b>
8.1	Modellvorstellungen .....	112
8.2	Ermittlung von Zusatzspannungen aus Bauwerkslasten.....	112
8.3	Verfahren zur Setzungsberechnung .....	119
8.3.1	Grundlagen .....	119
8.3.2	Setzungsermittlung mit Hilfe vertikaler Spannungen im Boden .....	122
8.3.3	Setzungen und Verkantungen mit Hilfe von geschlossenen Formeln .....	123

<b>9 Verformungs- und Scherfestigkeitsverhalten von Böden .....</b>	<b>127</b>
9.1 Verformungsverhalten von Böden .....	127
9.1.1 Kenngrößen .....	127
9.1.2 Eindimensionaler Kompressionsversuch (KD-Versuch).....	128
9.2 Festigkeitsverhalten von Böden (Scherfestigkeit) .....	132
9.2.1 Grundlagen und Begriffe.....	132
9.2.2 Bedeutung von totalen, effektiven und Porenwasserdruck- spannungen für die Scherfestigkeit.....	134
9.2.3 Laborversuche zur Ermittlung der Scherparameter .....	136
<b>10 Konsolidationstheorie.....</b>	<b>142</b>
10.1 Einleitung .....	142
10.2 Größe des Porenwasserüberdruckes bei Spannungsänderung .....	143
10.3 Eindimensionale Konsolidationstheorie .....	144
10.3.1 Allgemeines .....	144
10.3.2 Herleitung der Differentialgleichung für die eindimensionale Konsolidation nach <i>Terzaghi</i> .....	145
10.3.3 Lösung der Differentialgleichung der eindimensionalen Konsolidationstheorie.....	147
10.3.4 Zeitabhängige Belastung.....	149
10.4 Mehrdimensionale Konsolidationstheorie .....	150
10.5 Konsolidationsbeschleunigung durch Vertikaldränagen .....	150
10.5.1 Wirkungsweise .....	150
10.5.2 Arten und Einbau von Vertikaldränagen .....	151
10.5.3 Berechnung des Konsolidationsvorgangs bei Vertikaldränagen .....	152
10.6 Sekundärkonsolidation .....	156
10.7 Bestimmung des Zeit-Setzungsverhaltens im Laborversuch .....	158
<b>11 Bodenkenngrößen aus Erfahrungswerten und Korrelationen .....</b>	<b>160</b>
11.1 Erfahrungswerte für Bodenkenngrößen .....	160
11.1.1 Allgemeines .....	160
11.1.2 Aus EAU.....	160
11.1.3 Aus EAB.....	161
11.2 Korrelationen zwischen Bodenkenngrößen .....	166
11.3 Ableitung von Bodenkenngrößen aus Sondierungen.....	166
<b>12 Erd- und Wasserdruck.....</b>	<b>170</b>
12.1 Einführung .....	170

---

12.2	Begriffe und Bezeichnungen.....	171
12.3	Erddrucktheorie nach <i>Coulomb</i> mit ebenen Gleitflächen .....	173
12.3.1	Annahmen.....	173
12.3.2	Aktiver Erddruck .....	173
12.3.3	Passiver Erddruck.....	175
12.4	Aktiver und passiver Grenzzustand im Halbraum – Flächenbruch- bzw. Zonenbruchtheorie nach <i>Rankine</i> .....	175
12.5	Bewertung der Theorien von <i>Coulomb</i> und <i>Rankine</i> .....	179
12.6	Praktische Erddruckberechnung .....	179
12.6.1	Allgemeines .....	179
12.6.2	Ansatz des Neigungswinkels des Erddruckes .....	180
12.6.3	Erddruck infolge Bodeneigengewicht mit ebenen Gleitflächen .....	180
12.6.4	Erddruck infolge Kohäsion .....	183
12.6.5	Mindesterddruck.....	184
12.6.6	Erdruhedruck .....	186
12.6.7	Erddruck infolge Nutzlasten auf der Geländeoberfläche.....	186
12.6.8	Erddruck bei geschichtetem Boden .....	188
12.6.9	Erddruck bei gebrochener Geländelinie bzw. geknickter Wand .....	189
12.6.10	Passiver Erddruck mit gekrümmten Gleitflächen .....	190
12.7	Erddruck bei wassergesättigten, bindigen Böden .....	191
12.8	Verdichtungserddruck .....	191
12.9	Räumlicher Erddruck .....	191
12.10	Hydrostatischer Wasserdruck.....	192
12.11	Näherungsweise Berücksichtigung der Wasserströmung .....	192
12.12	Maßgebliche Wasserspiegelhöhen .....	193
<b>13</b>	<b>Sicherheitsnachweise nach Eurocode EC 7-1 / DIN 1054:2010-12 .....</b>	<b>194</b>
13.1	Stand der neuen nationalen und europäischen Normen .....	194
13.1.1	Allgemeines .....	194
13.1.2	Geotechnische Normen zur Berechnung und Bemessung.....	195
13.1.3	Normenhandbuch EC 7-1 .....	196
13.1.4	Europäische Ausführungsnormen für geotechnische und Spezialtiefbauverfahren.....	197
13.2	Berechnungsmodelle .....	198
13.3	Grundlagen zum neuen Sicherheitskonzept mit Teilsicherheitsbeiwerten .	198
13.4	Anwendungshinweise und Grundgleichungen.....	200
13.5	Bemessungswerte von Einwirkungen mit Kombinationsbeiwerten .....	202
13.6	Nachweisverfahren, Grenzzustände und Grenzzustandsbedingungen .....	204

13.6.1	Grenzzustände in der Geotechnik .....	204
13.6.2	Grenzzustand der Lagesicherheit.....	205
13.6.3	Grenzzustand Versagen von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund...	205
13.6.4	Grenzzustand der Gesamtstandsicherheit.....	206
13.7	Besondere Regelungen in der Geotechnik .....	206
13.7.1	Begriffsfestlegungen für Bauwerke .....	206
13.7.2	Geotechnische Kategorien .....	207
13.7.3	Bemessungssituationen bei geotechnischen Bauwerken .....	208
13.7.4	Berücksichtigung von Wasserdruck .....	209
13.8	Teilsicherheitsbeiwerte .....	210
13.9	Berechnungsverfahren und Berechnungsabläufe.....	212

## **14 Standsicherheit von Böschungen und Geländesprünge** ..... 214

14.1	Begriffe und Definitionen .....	214
14.2	Bruchkinematik und Berechnungsverfahren.....	214
14.3	Sicherheitsdefinition und Grenzzustandsbedingung.....	216
14.4	Bemessungswerte der Einwirkungen und Beanspruchungen .....	217
14.4.1	Eigengewichte .....	217
14.4.2	Lasten in oder auf dem Gleitkörper .....	217
14.4.3	Kräfte von vorgespannten Zuggliedern .....	218
14.4.4	Wasserdruck .....	218
14.4.5	Porenwasserüberdruck infolge Konsolidation.....	219
14.4.6	Sonstige Einwirkungen .....	220
14.5	Bemessungswerte der Widerstände .....	220
14.5.1	Scherfestigkeit des Bodens .....	220
14.5.2	Zugglieder.....	222
14.5.3	Äußere Kräfte und äußere Momente .....	224
14.6	Lamellenverfahren nach <i>Krey/Bishop</i> für kreisförmige Gleitflächen.....	225
14.6.1	Theoretische Grundlagen und Herleitung der Berechnungsformeln .....	225
14.6.2	Bemessungswerte der Beanspruchungen im Lamellenverfahren.....	227
14.6.3	Bemessungswerte der Widerstände im Lamellenverfahren.....	228
14.6.4	Lage der Gleitlinie .....	229
14.7	Sonderfall .....	230
14.8	Bestimmung des Böschungswinkels mit Hilfe von Nomogrammen .....	230
14.9	Blockgleitverfahren (Stützlinienverfahren) .....	230
14.10	Verfahren mit inneren Gleitflächen .....	232
14.11	Berechnung des Ausnutzungsgrades $\mu$ beim Verfahren Blockgleiten und zusammengesetzte Mechanismen .....	236

<b>15 Verfahren zur Baugrundverbesserung.....</b>	<b>237</b>
15.1 Einleitung .....	237
15.2 Verfahren ohne Bodenaustausch.....	238
15.2.1 Oberflächenverdichtung.....	238
15.2.2 Vorbelastung.....	238
15.2.3 Konsolidationsbeschleunigung durch Vertikaldränagen .....	239
15.2.4 Dynamische Intensivverdichtung .....	239
15.2.5 Weitere Verfahren .....	241
15.3 Verfahren mit Voll- oder teilweisem Bodenaustausch .....	241
15.3.1 Konventioneller Bodenaustausch .....	241
15.3.2 Kasten-Bodenaustausch-Verfahren .....	242
15.3.3 Spülverfahren.....	243
15.3.4 Nassbaggerung .....	243
15.3.5 Bodenverdrängung .....	244
15.4 Tiefenrüttlung.....	244
15.4.1 Anwendungsbereiche .....	244
15.4.2 Rütteldruckverfahren.....	244
15.4.3 Rüttelstopfverfahren.....	246
15.4.4 Berechnung und Bemessung von Rüttelstopfsäulen.....	247
15.5 Geokunststoffummantelte Säulen .....	251
15.5.1 Verfahrensbeschreibung.....	251
15.5.2 Bemessung.....	252
15.5.3 Allgemeine Erfahrungen aus ausgeführten Projekten.....	254
15.6 Bindemittelgebundene Stabilisierungssäulen und Tragglieder.....	255
15.6.1 Vermörtelte Stopfsäulen und Betonrüttelsäulen.....	255
15.6.2 Kalk-Zement-Säulen .....	255
15.6.3 CSV-Verfahren.....	256
15.6.4 Fräss-Misch-Injektions-Verfahren (FMI) .....	257
15.6.5 Weitere pfahlartige Tragglieder .....	257
15.7 Geogitterbewehrte Tragschichten .....	257
15.7.1 Konstruktion .....	257
15.7.2 Berechnung und Bemessung .....	258
15.8 Prüfungen .....	262
<b>16 Numerische Berechnungsverfahren.....</b>	<b>263</b>
16.1 Allgemeines.....	263
16.2 Grundlagen der Methode der Finiten-Elemente.....	263

16.2.1	Eigenschaften finiter Elemente am Beispiel eines Dreieckelements .....	263
16.2.2	Höherwertige Finite-Elemente-Typen .....	267
16.3	Physikalische Nichtlinearitäten bzw. Stoffgesetze von Böden .....	269
16.4	Im FE-Programm PLAXIS verwendete Stoffgesetze .....	271
16.5	Berechnungsorganisation bei nichtlinearem Stoffverhalten .....	271
16.6	Diskontinuität .....	273
16.7	Berücksichtigung von Primärzuständen .....	273
16.8	Modellierung .....	274
16.9	Anwendungsgebiete .....	276
<b>Anhang A: Tabellen, Formeln, Bodenkenngrößen .....</b>	<b>279</b>	
A-1:	Abkürzungen und Formelzeichen .....	279
A-2:	Formeln zur Ermittlung der passiven Erddruckbeiwerte nach <i>Sokolovski/Pregl</i> mit gekrümmten Gleitflächen .....	284
A-3:	Räumlicher Erddruck .....	286
A-4:	Erfahrungswerte für Bodenkenngrößen aus v. Soos (2001) .....	288
A-5:	Korrelationen zwischen Bodenkenngrößen .....	290
A-6:	Merkmale und Beispiele zur Einstufung in die Geotechnischen Kategorien .....	295
<b>Anhang B: Zahlenbeispiele .....</b>	<b>299</b>	
Beispiele zu Kapitel 3 .....	302	
Beispiele zu Kapitel 4 .....	310	
Beispiele zu Kapitel 5 .....	311	
Beispiele zu Kapitel 6 .....	315	
Beispiele zu Kapitel 7 .....	317	
Beispiele zu Kapitel 8 .....	326	
Beispiele zu Kapitel 9 .....	335	
Beispiele zu Kapitel 10 .....	348	
Beispiele zu Kapitel 12 .....	353	
Beispiele zu Kapitel 14 .....	361	
Beispiele zu Kapitel 15 .....	376	
Beispiele zu Kapitel 16 .....	383	
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>389</b>	
<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>398</b>	