

# Inhalt

<b>0 Grundlagen der Darstellung</b>	<b>9</b>
<b>1 Begriff und Aufgabe der Bodenmechanik</b>	<b>11</b>
<b>2 Der Baugrund</b>	
2.1 Geologische Grundlagen	12
2.1.1 Aufbau der Erde und Erdzeitalter	12
2.1.2 Grundbegriffe der Mineralogie	14
2.2 Gesteine	16
2.2.1 Erstarrungsgesteine (Eruptivgesteine)	17
2.2.2 Ablagerungsgesteine (Sedimentgesteine)	17
2.2.3 Umwandlungsgesteine (Metamorphe Gesteine)	18
2.2.4 Verfahren zur Beschreibung von Fels	19
2.3 Böden	19
2.3.1 Entstehung der Böden	19
2.3.2 Physikalischer Aufbau der Böden	21
2.3.3 Benennung und Einteilung der Böden	22
2.3.3.1 Benennung der Bodenarten nach Korngrößen	22
2.3.3.2 Bodengruppen (Bodenklassifikation nach DIN 18 196)	23
2.3.3.3 Boden- und Felsklassen nach DIN 18 300	27
2.3.3.4 Einteilung der Böden nach ihrer Belastbarkeit (DIN 1054)	29
2.3.3.5 Erkennen der Bodenarten auf der Baustelle (Feldversuche)	29
2.3.4 Allgemeine Beurteilung der Böden	30
2.3.4.1 Böden als Baugrund	30
2.3.4.2 Böden als Baustoff	32
2.4 Die Schichtung des Baugrunds	32
2.4.1 Ursachen der heutigen Schichtung	32
2.4.2 Einfluß der Schichtung auf die Standsicherheit	34
2.5 Das Wasser im Baugrund	35
<b>3 Geotechnische Untersuchungen</b>	
3.1 Zweck der geotechnischen Untersuchungen	39
3.2 Vorschriften	41
3.2.1 Art und Umfang der geotechnischen Untersuchungen	41
3.2.1.1 Begriffe, Grundlagen und geotechnische Kategorien	41
3.2.1.2 Richtwerte für Abstände und Erkundungstiefen	44
3.2.2 Schichtenverzeichnis und Darstellung der Ergebnisse	46
3.2.3 Bodenproben	52
3.2.3.1 Bohrproben	53
3.2.3.2 Sonderproben	53
3.2.3.3 Kennzeichnung der Bodenproben	56
3.2.3.4 Aufbewahrung und Transport der Proben	56
3.2.3.5 Proben zur Untersuchung auf betonschädliche Stoffe	56
3.3 Methoden und Technik der Bodenuntersuchungen	56
3.3.1 Vorerkundung	56
3.3.2 Schurf	57
3.3.3 Bohrungen	58
3.3.3.1 Allgemeines	58
3.3.3.2 Bohrmethoden und Bohrgeräte	64

3.3.4	Sondierungen . . . . .	68
3.3.4.1	Rammsondierungen . . . . .	69
3.3.4.2	Drucksondierungen (CPT) . . . . .	73
3.3.4.3	Quantitative Zusammenhänge bei Sondierungen . . . . .	75
3.3.4.4	Flügelsonden . . . . .	78
3.3.4.5	Seitendrucksonden . . . . .	78
3.3.5	Geophysikalische Untersuchungen . . . . .	79
3.3.6	Probebelastung . . . . .	82
3.3.6.1	Begriffe und allgemeine Versuchsdurchführung . . . . .	82
3.3.6.2	Probebelastungen für Flächengründungen . . . . .	82
3.3.6.3	Plattendruckversuch . . . . .	84
3.3.6.4	CBR-Versuch . . . . .	90
3.3.7	Dynamische Belastung . . . . .	90
3.3.7.1	Dynamischer Plattendruckversuch . . . . .	90
3.3.7.2	Flächendeckende dynamische Verdichtungskontrolle . . . . .	92
3.3.8	Ingenieurbioologische Bodenaufschlüsse . . . . .	94
<b>4</b>	<b>Bodenkenngößen, ihre Ermittlung und Bedeutung</b>	
4.1	Korngröße und Korngrößenverteilung . . . . .	95
4.2	Kornform, Korngefüge und Beimengungen . . . . .	98
4.3	Wassergehalt, Sättigungszahl, Wasseraufnahmevermögen . . . . .	100
4.4	Korndichte und Kornwichte . . . . .	104
4.5	Porenanteil und Porenzahl . . . . .	107
4.6	Dichte und Wichte des Bodens . . . . .	108
4.7	Lagerungsdichte . . . . .	113
4.7.1	Lagerungsdichte nichtbindiger Böden . . . . .	113
4.7.2	Lagerungsdichte bindiger Böden . . . . .	116
4.7.3	Nachprüfen der Verdichtung . . . . .	118
4.8	Zustandsformen, Konsistenzgrenzen nach Atterberg . . . . .	119
4.9	Durchlässigkeit und kapillare Steighöhe . . . . .	124
<b>5</b>	<b>Festigkeits- und Formänderungseigenschaften der Böden</b>	
5.1	Scherfestigkeit . . . . .	129
5.1.1	Begriffe . . . . .	129
5.1.2	Scherparameter $c$ und $\phi$ . . . . .	134
5.1.3	Versuche zur Bestimmung der Scherfestigkeit . . . . .	136
5.1.3.1	Versuchsanordnungen für die Untersuchung von Scherfugen . . . . .	136
5.1.3.2	Triaxialversuch . . . . .	140
5.1.3.3	Einaxialer Druckversuch . . . . .	145
5.1.3.4	Flügelsondenversuch . . . . .	146
5.2	Zusammendrückbarkeit . . . . .	147
5.2.1	Begriffe . . . . .	147
5.2.2	Kenngößen für die Zusammendrückbarkeit der Böden und ihre Ermittlung . . . . .	148
5.2.2.1	Steifemodul $E_s$ und spezifische Setzung $s'$ . . . . .	148
5.2.2.2	Elastizitätsmodul $E$ . . . . .	151
5.2.2.3	Verformungsmodul $E_v$ . . . . .	151
5.2.2.4	Mittlerer Zusammendrückungsmodul $E_m$ . . . . .	151
5.2.2.5	Zusammenhang zwischen den Kenngößen . . . . .	152
5.2.3	Zeitsetzungslinie . . . . .	152
5.3	Bodendynamische Kennwerte . . . . .	154

## 6 Erdstatische Berechnungen

6.1	Spannungsverteilung unter Bauwerken . . . . .	157
6.1.1	Sohlspannungsverteilung . . . . .	157
6.1.1.1	Begriffe . . . . .	157
6.1.1.2	Berechnung der Sohlnormalspannungen . . . . .	160
6.1.2	Spannungsverteilung im Boden . . . . .	169
6.1.2.1	Begriffe . . . . .	169
6.1.2.2	Berechnung der Spannungsverteilung im Boden . . . . .	171
6.2	Setzungen der Bauwerke . . . . .	178
6.2.1	Wesen und Ursachen der Setzungen . . . . .	178
6.2.2	Unterlagen für Setzungsberechnungen . . . . .	179
6.2.3	Setzungsberechnungen bei schlaffen und starren Gründungen . . . . .	180
6.2.4	Methoden der Setzungsermittlung bei mittiger Belastung . . . . .	180
6.2.4.1	Spannungen im Boden und Grenztiefe . . . . .	180
6.2.4.2	Setzungsermittlung mit Hilfe geschlossener Formeln . . . . .	182
6.2.4.3	Setzungsermittlung mit Hilfe der lotrechten Spannungen im Boden . . . . .	188
6.2.5	Setzungsermittlung bei ausmittiger Belastung . . . . .	193
6.2.5.1	Ermittlung der Verkantung starrer Gründungskörper mit Hilfe geschlossener Formeln . . . . .	193
6.2.5.2	Ermittlung der Setzungen einzelner Punkte mit Hilfe der Spannungen im Boden . . . . .	196
6.2.6	Setzung infolge von Grundwasserabsenkung . . . . .	196
6.2.7	Konsolidation . . . . .	197
6.2.8	Typische Setzungserscheinungen, Rißbildungen und Setzungsbeobachtungen . . . . .	198
6.2.9	Maßnahmen gegen unterschiedliche Setzungen . . . . .	200
6.3	Grundbruch . . . . .	201
6.3.1	Ursachen eines Grundbruchs . . . . .	201
6.3.2	Bruchlast . . . . .	201
6.3.3	Grundbruchsicherheit . . . . .	202
6.3.4	Grundbruch bei lotrecht und mittig belasteten Flachgründungen . . . . .	204
6.3.5	Grundbruch bei schräg und ausmittig belasteten Flachgründungen . . . . .	208
6.4	Gelände- und Böschungsbruch . . . . .	211
6.4.1	Begriffe . . . . .	211
6.4.2	Berechnungsgrundlagen . . . . .	212
6.4.3	Berechnungen mit Lamellenverfahren . . . . .	216
6.4.4	Berechnung mit lamellenfreien Verfahren . . . . .	226
6.4.5	Stand sicherheitsuntersuchungen in besonderen Fällen . . . . .	229
6.4.5.1	Zulässige Böschungsneigungen bei einheitlichem Boden . . . . .	229
6.4.5.2	Ansatz ebener und gebrochener Gleitflächen . . . . .	230
6.5	Langzeitrutschung . . . . .	232
6.6	Wirkung des Wassers im Boden . . . . .	232
6.6.1	Wasserdruck . . . . .	232
6.6.2	Wasserbewegung im Boden, Strömungsnetze . . . . .	235
6.6.3	Einfluß der Wasserbewegung auf die Wichte des Bodens . . . . .	238
6.6.4	Hydraulischer Grundbruch . . . . .	239
6.6.5	Erosionsgrundbruch . . . . .	244

6.7	Erdauflast, aktiver und passiver Erddruck . . . . .	245
6.7.1	Erdauflast . . . . .	245
6.7.2	Grundlagen zum aktiven und passiven Erddruck . . . . .	245
6.7.2.1	Grenz- und Zwischenwerte des Erddrucks . . . . .	246
6.7.2.2	Erddrucktheorien . . . . .	248
6.7.2.3	Grundwerte für die Berechnung von Erddruck und Erdwiderstand . . . . .	250
6.7.3	Der aktive Erddruck $E_a$ bei nichtbindigen Böden . . . . .	251
6.7.3.1	Grundlagen . . . . .	251
6.7.3.2	Berechnung des Erddrucklastanteils $E_{ag}$ mit Erddruckbeiwerten . . . . .	252
6.7.3.3	Culmannsche $E$ -Linie . . . . .	255
6.7.3.4	Ponceletsche Zeichnung . . . . .	257
6.7.3.5	Ermittlung bei Ansatz gekrümmter oder gebrochener Gleitflächen . . . . .	258
6.7.3.6	Verteilung des aktiven Erddrucks aus Bodeneigenlast . . . . .	265
6.7.3.7	Aktiver Erddruck bei gleichmäßig verteilter Auflast, bei geschichtetem Baugrund, bei gebrochener Mauerrückwand, bei Kragplatten und bei nicht geradlinig verlaufender Geländeoberfläche . . . . .	266
6.7.3.8	Erddruck auf Winkelstützmauern . . . . .	272
6.7.4	Der passive Erddruck (Erdwiderstand) bei nichtbindigen Böden . . . . .	275
6.7.4.1	Grundlagen . . . . .	275
6.7.4.2	Berechnung mit Erdwiderstandsbeiwerten . . . . .	276
6.7.4.3	Culmannsche $E_p$ -Linie . . . . .	278
6.7.4.4	Ponceletsche Zeichnung . . . . .	280
6.7.4.5	Ermittlung bei Ansatz gekrümmter und gebrochener Gleitflächen . . . . .	281
6.7.4.6	Verteilung des passiven Erddrucks aus Bodeneigenlast . . . . .	285
6.7.4.7	Passiver Erddruck bei Flächenaufast, bei geschichtetem Boden und bei gebrochener Mauerrückwand . . . . .	286
6.7.5	Erdruhedruck $E_0$ . . . . .	286
6.7.6	Aktiver und passiver Erddruck bei Böden mit Reibung und Kohäsion . . . . .	287
6.7.6.1	Berechnung mit Erddruckbeiwerten . . . . .	288
6.7.6.2	Zeichnerische Ermittlung (erw. Culmann-Verfahren) . . . . .	290
6.7.7	Aktiver und passiver Erddruck bei reinen Kohäsionsböden . . . . .	295
6.7.8	Sonderfälle von Erddruck und Erdwiderstand . . . . .	295
6.7.8.1	Erddruck infolge von Punkt-, Linien-, Streifen- und Horizontallasten . . . . .	295
6.7.8.2	Räumlicher aktiver Erddruck . . . . .	301
6.7.8.3	Räumlicher Erdwiderstand vor schmalen Druckflächen . . . . .	302
6.7.8.4	Erddruckumlagerungen . . . . .	307
6.7.8.5	Verdichtungserddruck $E_v$ . . . . .	308
6.7.8.6	Erhöhter Erddruck . . . . .	310
6.7.8.7	Zusammenwirken von Erd- und Wasserdruck . . . . .	310
6.7.8.8	Siloerddruck und Erddruck auf Kellerwände . . . . .	314

## 7 Zulässige Belastung des Baugrunds und Lastannahmen für Bauten, Bodenkenngrößen

7.1	Lasten und Lastfälle . . . . .	317
7.2	Stand sicherheitsnachweise für Flächengründungen . . . . .	318

7.3	Zulässige Bodenpressung (Sohnormalspannung) in Regelfällen . . . . .	321
7.3.1	Zulässige Bodenpressung bei nichtbindigem Baugrund . . . . .	323
7.3.2	Zulässige Bodenpressung bei bindigem Baugrund . . . . .	325
7.3.3	Zulässige Bodenpressung bei Schüttungen . . . . .	326
7.3.4	Zulässige Bodenpressung bei Flächengründungen auf Fels . . . . .	327
7.4	Lastannahmen für Bauten, Bodenkenngrößen . . . . .	327
<b>8</b>	<b>Verbessern der Eigenschaften des Baugrunds</b>	
8.1	Grundlagen . . . . .	332
8.2	Bodenersatzverfahren . . . . .	332
8.3	Mechanische Verdichtung . . . . .	333
8.3.1	Mechanische Verdichtung nichtbindiger Böden . . . . .	333
8.3.2	Mechanische Verdichtung bindiger Böden . . . . .	337
8.3.3	Dynamische Intensivverdichtung . . . . .	338
8.4	Injektionen . . . . .	339
8.4.1	Grundlagen . . . . .	339
8.4.2	Zementinjektionen . . . . .	343
8.4.3	Einpressung von Mischungen aus Ton, Schluff, Sand und Binde- mitteln . . . . .	345
8.4.4	Chemische Injektionsmittel . . . . .	346
8.4.5	Bitumeneinpressung . . . . .	348
8.4.6	Hochdruckinjektion (Jet Grouting) . . . . .	348
8.5	Bodenverfestigung durch Entwässerung . . . . .	349
8.6	Elektrochemische Bodenverfestigung . . . . .	351
8.7	Thermische Bodenverfestigung . . . . .	352
8.8	Bodenverfestigung und Bodenverbesserung im Straßenbau . . . . .	353
8.8.1	Bodenverfestigungen . . . . .	354
8.8.2	Bodenverbesserungen . . . . .	355
8.9	Geotextilien . . . . .	357
8.10	Geotechnik der Deponien und Altlasten . . . . .	360
8.10.1	Grundlagen . . . . .	360
8.10.2	Planung und Bau von Deponien . . . . .	360
8.10.3	Sanierung von Altlasten . . . . .	363
<b>9</b>	<b>Der Frost im Baugrund</b>	
9.1	Homogener Bodenfrost . . . . .	364
9.2	Nichthomogener (geschichteter) Bodenfrost . . . . .	364
9.3	Frostkriterien . . . . .	365
9.4	Frostschäden und Gegenmaßnahmen . . . . .	366
<b>10</b>	<b>Anhang</b>	
10.1	Tafeln für Erddruck und Erdwiderstand; Tafel Bodenklassifizierung nach USCS; Tafel des Erdzeitalters . . . . .	371
10.2	Verzeichnis der Berechnungsbeispiele . . . . .	394
10.3	Größen, Formelzeichen und Einheiten . . . . .	396
10.4	Literatur . . . . .	399
10.5	DIN-Normen zum Grundbau . . . . .	402
10.6	Stand sicherheitsnachweise mit Teilsicherheitsbeiwerten . . . . .	409
	<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .	421