

Dimitrios Kolymbas

Geotechnik

Bodenmechanik, Grundbau und Tunnelbau

2., korrigierte und ergänzte Auflage

Mit 547 Abbildungen



Springer

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung – Was ist Geotechnik?	1
1.1	Geschichte der Geotechnik	5
1.2	Anwendungen der Geotechnik	7
1.3	Mechanisches Verhalten von Geomaterialien	7
1.4	Selbstorganisation und Musterbildung	13
1.5	Boden-Wasser Wechselwirkung	14
1.6	Methoden der Geotechnik	16
1.7	Vielfalt in der Geotechnik	16
2	Entstehung der Gesteine und des Bodens	21
3	Aufbau des Bodens	25
3.1	Kornverteilung	26
3.2	Bodenansprache	29
3.3	Mineralogische Zusammensetzung der Böden	30
3.4	Bodenstruktur	30
3.5	Spezielle Böden	32
4	Bodenkenngrößen	35
4.1	Dichten und andere Kennzahlen	35
4.2	Dichtebestimmung in situ	38
4.3	Schnellverfahren für die Bestimmung des Wassergehalts	38
4.4	Konsistenz	39
4.5	Bodenklassifikation	44
5	Grundwasser	47
5.1	Grundwasserströmung	48
5.2	Gesetz von Darcy	51
5.3	★ Elektroosmose	52
5.4	Durchlässigkeit	53
5.5	Bestimmung der Durchlässigkeit im Labor	54

5.5.1	Versuch mit konstanter Druckhöhe	54
5.5.2	Versuch mit veränderlicher Druckhöhe	55
5.6	Porenwasserdruck	56
5.7	Potentialgleichung	57
5.8	Freier Grundwasserspiegel	62
5.8.1	Stationärer Fall	62
5.8.2	★ Instationärer Fall	64
5.8.3	★ Anwendbarkeit des Gesetzes von DARCY bei Strömungen mit $dv/dt \neq 0$	67
5.9	Transport durch das strömende Grundwasser	68
5.10	Strömungskraft	70
5.11	Filter	70
5.12	Durchlässigkeit von Fels	71
6	Spannungen im Boden	73
6.1	Spannung	73
6.2	Spezielle Spannungszustände	75
6.3	Das Diagramm von Mohr	76
6.4	Spannungsfelder	77
6.5	Spannungsausbreitung	80
6.6	Setzungsberechnung	82
6.7	Deformation bei eindimensionaler Kompression	89
6.7.1	Beispiel einer Setzungsberechnung	96
6.8	Effektive Spannungen	98
6.8.1	Hydraulischer Grundbruch	102
6.8.2	★ Prinzip der effektiven Spannungen	103
7	★ Ungesättigte Böden	107
7.1	Kapillarität	107
7.2	Osmotische Saugspannung	109
7.3	Filter	110
7.4	Dampfdruck	111
7.5	Messung der Saugspannung	113
7.6	Transport von Wasser und Luft in ungesättigten Böden	114
7.6.1	Diffusiver Transport	114
7.6.2	Luftströmung	115
7.6.3	Wasserströmung	116
7.7	Kapillardruckkurve	117
7.8	Effektive Spannungen in ungesättigten Böden	118
8	Scherfestigkeit	121
8.1	Reibung zwischen starren Körpern	122
8.2	Innere Reibung	123
8.3	Kohäsion	126
8.4	Der Rahmenscherversuch	129

8.5	Der Triaxialversuch	131
8.6	Entfestigung und Restscherfestigkeit	134
8.7	Scherfestigkeit kohäsiver Böden	137
	8.7.1 Anmerkungen zur Kohäsion	138
8.8	★ Triaxialversuch, ergänzende Angaben	141
8.9	★ Durchführungsvarianten des Triaxialversuches	143
	8.9.1 Konsolidierungsphase	143
	8.9.2 D-Versuch	144
	8.9.3 CU-Versuch	145
	8.9.4 UU-Versuch	146
8.10	★ Fehlerquellen beim Triaxialversuch	146
8.11	★ Ergebnisse von Triaxialversuchen	148
8.12	★ Verhalten von undrängierten Proben	153
	8.12.1 ★ Undrängierte zyklische Belastung	156
8.13	★ Verflüssigung	157
8.14	Scherfestigkeit von Fels	162
	8.14.1 Elastizität	163
	8.14.2 Scherfestigkeit von Festgestein	164
	8.14.3 Zugfestigkeit von Felsgestein	165
	8.14.4 Sprödes und duktiles Verhalten	166
	8.14.5 Entfestigung	167
	8.14.6 Punktlastversuch	168
	8.14.7 Klufitreibung	169
	8.14.8 Anisotropie	170
	8.14.9 Geschwindigkeitsabhängigkeit von Boden und Fels	172
	8.14.10 Maßstabeffekt	174
	8.14.11 Diskrete Modelle	175
	8.14.12 Festigkeit der Felsmasse	176
	8.14.13 Quellen und Schwellen	179
	8.14.14 Felsmechanische Feldversuche	181
9	Konsolidierung	185
9.1	★ Herleitung der Differentialgleichung	186
9.2	Ablauf der Konsolidierung	190
9.3	★ Kriechen	195
10	Erddruck	197
10.1	Berücksichtigung der Kohäsion	202
10.2	Erddruck infolge Auflasten	203
10.3	Verschiebungsabhängigkeit des Erddruckes	204
10.4	Grafische Verfahren	205
	10.4.1 Verfahren von Culmann	205
	10.4.2 Verfahren von Engesser	205
10.5	★ Lösung von Rankine	206
10.6	Verteilung des Erddrucks	210

11 Standsicherheit von Böschungen	213
11.1 Die unendlich lange Böschung	213
11.2 Ebene Gleitfugen	215
11.3 Gleitkreise im homogenen Boden	217
11.4 Lamellenverfahren	220
11.5 Zusammengesetzte Starrkörper-Bruchmechanismen	223
11.5.1 Beispiel Böschungsstandsicherheit	224
11.6 Erdrutsche	231
11.7 Mobilisierung der Scherfestigkeit	233
12 Grundbruch	237
12.1 Gleitkreis im Boden ohne Reibung	237
12.2 Zusammengesetzte Starrkörper-Bruchmechanismen	238
12.3 Zonenbruch nach Prandtl	238
12.4 Schräge Lasten	241
13 ★ Kollapstheoreme	243
13.1 ★ Konstruktion von Spannungsfeldern	245
14 ★ Stoffgesetze und Simulationen	249
14.1 Bedeutung von Stoffgesetzen für die Geotechnik	249
14.2 Mathematische Struktur von Stoffgesetzen	250
14.2.1 Elastoplastische Stoffgesetze	251
14.2.2 Hypoplastische Stoffgesetze	254
14.3 Anforderungen an Stoffgesetze	255
14.4 Anmerkungen zu Stoffgesetzen	256
14.5 Mechanische Ähnlichkeit, Dimensionsanalyse und Modellversuche	261
14.5.1 Zentrifugen	263
14.5.2 ★ Π -Theorem	263
15 Flachgründungen	265
15.1 Anforderungen	265
15.2 Gründungsarten	266
15.3 Zulässige Bodenpressungen	266
15.4 Gründungstiefe	268
15.5 Sohldruckverteilung	268
15.6 Das Spannungstrapez-Verfahren	269
15.7 Elastische Lösungen	269
15.7.1 Steifenzahlverfahren	269
15.7.2 Elastische Bettung	270
15.8 Starres Fundament auf elastischem Halbraum	274
15.9 Vergleich der Berechnungsverfahren	274
15.10 Stabilität von Türmen auf weichem Baugrund	274
15.11 Einzelfundamente	276
15.12 Plattengründungen	279

15.13	Abdichtung von Gründungen	280
15.14	Membrangründungen	280
16	Pfahlgründungen	283
16.1	Pfahltypen	283
16.2	Bohren zur Herstellung von Pfählen	291
16.2.1	Bohrhindernisse	296
16.2.2	Verrohrung	296
16.3	Vertikale Tragfähigkeit	297
16.3.1	Ermittlung der Pfahlkraft von Bohrpfählen aus Erfahrungswerten	298
16.3.2	Mantelreibung	300
16.3.3	Mantelverpressung	302
16.3.4	Zugpfähle	302
16.3.5	Schwell- und Wechselbelastung	302
16.4	Horizontale Tragfähigkeit	303
16.4.1	Seitliche Pfahlbelastung	303
16.4.2	Grenzlast von horizontal belasteten Pfählen	308
16.4.3	Berücksichtigung der nichtlinearen Bettung	310
16.4.4	Verdübelung kriechender Hänge	310
16.4.5	Knicken von axial belasteten Pfählen	313
16.5	Statische Probelastung	315
16.6	Dynamische Pfahlprüfung	318
16.6.1	Rammformeln	318
16.6.2	CAPWAP-Verfahren	320
16.6.3	Verfahren von Kolymbas	321
16.6.4	Integritätsprüfung	321
16.7	Gruppenwirkung	323
16.8	Pfahlroste	325
16.9	Pfahlplatten-Gründungen	329
17	Baugrundverbesserung	331
17.1	Bodenaustausch	331
17.1.1	Optimaler Wassergehalt nach Proctor	332
17.1.2	Plattendruckversuch	334
17.1.3	Beimischen von Kalk	336
17.2	Tiefenverdichtung	336
17.2.1	Rütteldruckverdichtung	336
17.2.2	Rüttelstopfverdichtung, Schottersäulen, Sandsäulen	337
17.2.3	Dynamische Intensivverdichtung	342
17.2.4	Sprengverdichtung	343
17.3	Konsolidierung durch Vorbelastung	344
17.4	Vertikaldrains	344
17.5	Injektionen	345
17.5.1	Niederdruckinjektionen	347

17.5.2	Felsinjektionen	349
17.5.3	Soil fracturing	350
17.5.4	Düsenstrahlverfahren	351
17.5.5	Injektionsmittel	352
17.6	Bodenvermörtelung	356
17.7	Bodenvereisung	357
17.7.1	Frosthebungen	359
18	Grundwasserhaltung	363
18.1	Dichtwände, Schmalwände	363
18.2	Injektionssohlen	364
18.2.1	Hochliegende Injektionssohlen	365
18.2.2	Tiefliegende Injektionssohlen	366
18.3	Unterwasserbetonsohlen	369
18.4	Wasserhaltung durch Brunnen	370
18.5	Senkkasten, Caissons	376
19	Sicherung von Geländesprüngen	377
19.1	Stützmauern	378
19.2	Grabenverbau	382
19.3	Trägerbohlwand	385
19.4	Spundwände	385
19.5	Bohrpfahlwände	389
19.6	Schlitzwände	394
19.6.1	Lösen des Bodens	394
19.6.2	Wandherstellung	396
19.6.3	Einphasen-Schlitzwand mit eingestellter Spundwand	399
19.6.4	Leitwand	399
19.6.5	Stützflüssigkeit	400
19.6.6	Fugen	403
19.6.7	Dichtigkeit	404
19.6.8	Standsicherheit bei der Herstellung	404
19.7	Statische Berechnung von Stützwänden	407
19.7.1	Berücksichtigung des Grundwassers	413
19.8	Anker	413
19.9	Bewehrte Erde	421
19.9.1	Faserbewehrter Boden	423
19.10	Vernagelte Geländesprünge	424
20	Tunnelbau	431
20.1	Einführung	431
20.2	Geschichtliches	431
20.3	Bezeichnungen im Tunnelbau	432
20.4	Vortrieb	434
20.4.1	Sprengvortrieb	435

20.4.2	Schildvortrieb	437
20.4.3	TBM-Vortrieb	441
20.5	Bergwasser	443
20.6	Sicherung	444
20.7	Tunnelstatik	445
20.7.1	Lösungen für tiefliegende Tunnel	445
20.7.2	Tragwirkung der Systemankerung	453
20.7.3	Einige Näherungslösungen für seichte Tunnel	454
20.8	Oberflächensetzungen infolge Tunnelvortriebs	466
21	Staudämme	469
22	Geotechnische Untersuchungen, Untergrunderkundung	479
22.1	Bodenerkundung	480
22.2	Erkundungsbohrungen	480
22.2.1	Trockenbohrverfahren – Spülbohrverfahren	489
22.2.2	Verrohrung	489
22.2.3	Verfüllen der Bohrlöcher	490
22.2.4	Kleinbohrungen	490
22.3	Bodenproben	490
22.4	Grundwasserbeobachtungsspiegel	491
22.5	Wasserprobenentnahme	491
22.6	Sondierungen	492
22.6.1	Rammsondierung, SPT-Versuch	493
22.6.2	Drucksondierung	494
22.6.3	Flügelsondierung	498
22.6.4	Schwedische Gewichtssonde	500
22.6.5	Pressiometer	500
22.6.6	Seitendrucksonde	501
22.6.7	Dilatometer	502
22.7	★Interpolation geotechnischer Daten, Kriging	502
22.8	Geotechnischer Bericht	506
23	Meßtechnik	509
23.1	Beobachtungsmethode	509
23.2	Statistische Grundlagen der Meßtechnik	510
23.3	Meßgeräte	513
23.3.1	Messung des Porenwasserdrucks	515
24	Umweltgeotechnik	519
24.1	Bewertung der Schadstoffe	519
24.2	Ausbreitung und Abbau der Schadstoffe	520
24.3	Sanierung von kontaminiertem Boden	520
24.3.1	Biologischer Abbau	521
24.3.2	Extraktion	523

24.3.3	Reaktive Wände, Funnels & Gates	523
24.4	Deponien	523
24.4.1	Deponie-Entgasung	525
24.4.2	Deponie-Sickerwasserfassung	527
24.5	Arbeitsschutz	528
25	Geokunststoffe	531
25.1	Prüfverfahren für Geotextilien	537
25.2	Einsatz von Geokunststoffen zur Bodenbewehrung	538
25.2.1	Einsatz von Geokunststoffen zur Belastung von Schottersäulen	538
26	Sicherheit und Normen	541
26.1	Neue Konzepte	542
26.1.1	Teilsicherheiten	542
26.1.2	Grenzzustände	543
26.1.3	Charakteristische Werte	543
26.1.4	Geotechnische Kategorien	544
26.1.5	Einwirkungen/Widerstände	544
26.2	EUROCODE 7	545
26.3	Entstehung der Normen	545
26.4	★Begriffe aus der Wahrscheinlichkeitstheorie	546
26.5	★Sicherheit, wahrscheinlichkeitstheoretisch	548
26.6	★Risikobewertung	550