

Hans-Jürgen Lang · Jachen Huder
Peter Amann · Alexander M. Puzrin

Bodenmechanik und Grundbau

Das Verhalten von Böden und Fels
und die wichtigsten
grundbaulichen Konzepte

8., ergänzte Auflage

Mit 364 Abbildungen und 42 Tabellen

 Springer

Inhaltsverzeichnis

1	Grundbegriffe	1
1.1	Einführung	1
1.2	Die Korngrößenverteilung.....	1
1.3	Die Kenngrößen des Naturzustandes	3
1.4	Weitere, abgeleitete Kenngrößen	3
1.5	Die Lagerungsdichte D	4
1.6	Der Durchlässigkeitsbeiwert k	4
1.7	Die Plastizitätseigenschaften der Böden	6
1.8	Die Liquiditätszahl I_L	6
1.9	Die Aktivitätszahl I_A	8
1.10	Die Struktur der Böden	8
1.11	Klassifikation der Böden	10
2	Totale und effektive Spannungen	13
2.1	Einführung	13
2.2	Spannungen im elastisch-isotropen Halbraum	13
2.3	Totale Spannung, Porenwasserdruck und effektive Spannung	15
2.4	Spannungsänderungen und Porenwasserüberdruck.....	17
2.5	Porenwasserdruck im teilweise gesättigten Boden.....	19
2.6	Spannungsverhältnisse in unbelasteten und belasteten geschichteten Böden	20
2.7	Der Ruhedruck.....	22
2.8	Spannungen durch Kapillarkräfte.....	23
3	Spannungsausbreitung im Boden	25
3.1	Einführung	25
3.2	Einfluss einer vertikalen Einzelkraft P	26
3.3	Einfluss einer horizontalen Einzelkraft H	28
3.4	Einfluss von Linienlasten	29
3.5	Unendlich lange Streifenlasten.....	29
3.6	Allgemeine Flächenlasten	31
3.7	Berechnung mit Hilfstafeln.....	33
3.8	Berechnung mit Einflusskarten	33
3.9	Randbedingungen in der Natur.....	35
4	Künstliche Verdichtung von Böden	37
4.1	Einführung	37
4.2	Die Zustandsdarstellung	38
4.3	Die Proctorkurve	38
4.4	Einfluss der Bodenart	39

4.5	Eigenschaften des verdichteten Bodens	40
4.6	Verdichtungskontrolle	42
4.7	Beurteilung der Brauchbarkeit gegebener Böden als Dammschüttmaterial	43
4.8	Böden mit Überkorn	43
4.9	Beeinflussung des Wassergehaltes	45
4.10	Auswirkungen der Verdichtung auf den Spannungszustand im Boden	46
4.11	Maschinelle Verdichtung.....	48
5	Formänderungseigenschaften der Böden	49
5.1	Das Verhalten eines elastischen Materials und von Böden ..	49
5.2	Der Zusammendrückungsmodul M_E bzw. E_v und der Steifemodul E_s	51
5.3	Der Ödometerversuch: Das Zusammendrückungsdiagramm	52
5.4	Der Kompressionsbeiwert C_c	53
5.5	Normal und überkonsolidierte Böden.....	54
5.6	Die Zeit-Setzungs-Kurve aus dem Ödometerversuch.....	55
5.7	Der Konsolidationsgrad U	56
5.8	Die Konsolidationstheorie.....	56
5.9	Die Verteilung der Porenwasserüberdrücke innerhalb der konsolidierenden Tonschicht	60
5.10	Näherungsverfahren für beliebige Randbedingungen.....	61
5.11	Die Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes k von gesättigten Tonen.....	63
5.12	Mehrdimensionale Konsolidation.....	63
5.13	Mehrschichtprobleme.....	65
5.14	Nichtplötzliche Belastung.....	66
5.15	Beschleunigung des Konsolidationsvorganges.....	67
5.16	Kontrollen des Konsolidationsvorganges	68
5.17	Deformationen, deren Verlauf nicht mittels der Konsolidationstheorie ermittelt werden kann	68
6	Festigkeitseigenschaften der Böden	71
6.1	Einführung	71
6.2	Das Bruchgesetz von Mohr-Coulomb.....	71
6.3	Die Darstellung des Bruchkriteriums im p', q -Diagramm...	72
6.4	Versuche zur experimentellen Ermittlung der Scherparameter.....	73
6.5	Das Prinzip des triaxialen Scherversuches	75
6.6	Der triaxiale KD-Versuch	75
6.7	Der triaxiale KU-Versuch	75
6.8	Scherfestigkeit körniger Böden	77
6.9	Scherfestigkeit bindiger Böden (Tone)	79
6.10	Grenzgleichgewichtszustände	81
6.11	Scherdeformationen von Böden	83
6.12	Abschätzen des Scherwinkels φ'	85
7	Einflüsse des Grundwassers im Boden	87
7.1	Das Strömungsnetz	87
7.2	Die Bestimmung des k -Wertes	89

7.3	Wasserdrücke im ruhenden Grundwasser.....	93
7.4	Der Strömungsdruck.....	93
7.5	Der Druckabbau beim Durchströmen von Schichtpaketen, bestehend aus Schichten unterschiedlicher Durchlässigkeit	95
7.6	Die Anisotropie geschichteter Böden	96
7.7	Wasserdrücke im strömenden Grundwasser	96
7.8	Der hydraulische Grundbruch	99
7.9	Verminderung des Druckes im Grundwasser (Entspannung)	102
7.10	Messsysteme zur Messung des Potentials	103
7.11	Wasserhaltung in Baugruben	105
7.12	Innere Erosion und Filter	107
8	Setzungsberechnung	109
8.1	Einführung	109
8.2	Prinzip der Setzungsberechnung.....	109
8.3	Setzungsberechnung in Tabellenform	111
8.4	Einflusstiefe der Zusatzbelastung	112
8.5	Berücksichtigung von kombinierten Be- und Entlastungen	113
8.6	Auftrieb und Gebäudegewicht	114
8.7	Gewichtsausgleich.....	115
8.8	Vorbelastung.....	115
8.9	Überbelastung.....	116
8.10	Schlaffe und starre Lasten	118
8.11	Setzungsdifferenzen	119
8.12	Zulässige Setzungen und Setzungsdifferenzen.....	120
8.13	Schwerpunktverlagerung und Stabilität von hohen Bauwerken	120
9	Stabilitätsprobleme	123
9.0	Problemstellung	123
9.0.1	Einführung	123
9.0.2	Die gemeinsamen Eigenschaften der Stabilitätsprobleme.....	123
9.0.3	Die Lösung des Stabilitätsproblems	124
9.1	Böschungsstabilität	125
9.1.1	Einführung	125
9.1.2	Vereinfachungen gegenüber der Natur	127
9.1.3	Die schwedische Methode der Stabilitätsberechnung	128
9.1.4	Die Einflüsse des Wassers	130
9.1.5	Das vereinfachte Verfahren nach Bishop.....	133
9.1.6	Das vereinfachte Verfahren nach Janbu	133
9.1.7	Die Praxis der Stabilitätsberechnung	135
9.1.8	Die unendlich lange Böschung in einem Reibungsmaterial	136
9.1.9	Die allgemeine Berechnung des Sicherheitsgrads .	136
9.1.10	Die kinematischen Methoden von Culmann und Taylor	137

9.1.11	Hilfsmittel zur Ermittlung der Standsicherheit einfacher Böschungen im homogenen Boden.....	139
9.1.12	Geometrie des Bruches; andere Methoden.....	141
9.1.13	Einführung von Ankerkräften in die Stabilitätsberechnung	142
9.2	Tragfähigkeit.....	142
9.2.1	Einführung.....	142
9.2.2	Problemstellung	143
9.2.3	Die Näherungsmethoden für den undrainierten Zustand	143
9.2.4	Die statische Methode für den drainierten Zustand	144
9.2.5	Die allgemeine Tragfähigkeitsformel	145
9.2.6	Die Tragfähigkeitsfaktoren N_c , N_q und N_γ	146
9.2.7	Allgemeines und örtliches Abscheren	147
9.2.8	Einflüsse des Porenwasserdruckes	148
9.2.9	Grösse der Sicherheit F_{stat}	148
9.2.10	Andere Randbedingungen	148
9.2.11	Exzentrizität des Lastangriffes	149
9.2.12	Formfaktoren s	150
9.2.13	Tiefenfaktoren d	150
9.2.14	Lastneigungsfaktoren i	150
9.2.15	Geländeneigungsfaktoren g	150
9.2.16	Fundamentneigungsfaktoren b'	151
9.2.17	Undrainierte Belastung ($\varphi = 0$).....	151
9.2.18	Ableiten des Fundamentes auf der Fundamentsohle	152
9.2.19	Der Begriff der „zulässigen Bodenpressung“.....	153
9.3	Erddruck.....	153
9.3.1	Einführung.....	153
9.3.2	Die Erddrucktheorie von Rankine.....	154
9.3.3	Deformationen und Erddruck	154
9.3.4	Verteilung des Erddruckes	155
9.3.5	Wirkung der Kohäsion	156
9.3.6	Kurzfristige Stabilität und Wirkung des Grundwassers.....	157
9.3.7	Die Erddrucktheorie von Coulomb.....	157
9.3.8	Der Erddruck als Stabilitätsproblem (nach Coulomb)	158
9.3.9	Der Einfluss der Kohäsion.....	160
9.3.10	Der Einfluss von Auflasten auf dem Gelände.....	162
9.3.11	Der Einfluss der Wandreibung	162
9.3.12	Zusammenfassung der Näherungsverfahren und Einflüsse	163
9.3.13	Allgemeine Randbedingungen.....	163
9.3.14	Grafische Ermittlung des Erddruckes.....	164
9.3.15	Die freie Standhöhe h_c	164
9.3.16	Erddruck in geschichteten Böden.....	165
9.3.17	Erddruck auf eine Winkelstützmauer.....	167
9.3.18	Abschirmung des Erddruckes	168
9.3.19	Einfluss des Wassers auf den Erddruck	169

9.3.20	Erddruck-Umlagerung	169
9.3.21	Gewölbewirkung	170
10	Vertikale Baugrubenabschlüsse	173
10.1	Problemstellung	173
10.2	Übersicht über die wichtigsten Wandsysteme.....	173
10.3	Belastungen der Wände	177
10.4	Bauzustände	179
10.5	Die nicht abgestützte, im Boden eingespannte Wand.....	180
10.6	Die einfach abgestützte Wand	182
10.7	Mehrfach abgestützte Wand	187
10.8	Erdwiderstand vor schmalen Druckflächen	188
10.9	Systemsicherheit und Abstützungen	189
11	Die Sohldruckverteilung unter Fundamenten	191
11.1	Einführung	191
11.2	Allgemeiner Grundsatz.....	191
11.3	Die relative Steifigkeit K	192
11.4	Das Spannungstrapezverfahren	193
11.5	Das Bettungsmodulverfahren (Bettungszifferverfahren)....	194
11.6	Der Bettungsmodul k_s	196
11.7	Das Steifezahlverfahren	198
11.8	Bemerkungen zu den Verfahren.....	200
11.9	Das starre Fundament	201
12	Tiefgründung	203
12.1	Einführung	203
12.2	Baugrundverbesserung.....	203
12.3	Pfahlarten.....	205
12.4	Der Lasttransport in Pfählen	206
12.5	Die Abschätzung von Spitzenwiderstand und Mantelreibung	207
12.6	Die negative Mantelreibung.....	208
12.7	Rammpfähle in sensitiven Böden	210
12.8	Die Setzung von Einzelpfählen.....	210
12.9	Die Gruppenwirkung.....	213
12.10	Die horizontale Belastung von Pfählen.....	213
13	Sicherheitsüberlegungen	217
13.1	Einführung	217
13.2	Stabilitätsprobleme	218
13.3	Böschungsstabilität	221
13.4	Tragfähigkeit von Fundamenten.....	222
13.5	Erddruckprobleme.....	223
13.6	Abgleiten und Kippen von Fundamenten	226
13.7	Hydraulischer Grundbruch	226
13.8	Auftriebssicherheit von Bauwerken	226
13.9	Deformationen (Setzungen)	227
13.10	Zusammenfassung	227
14	Ausgewählte Beispiele	229
14.0	Einführung	229

14.1	Die einfach abgestützte Wand: Einflüsse des Wassers	229
14.2	Hydraulischer Grundbruch und Auftrieb.....	237
14.3	Der Einfluss der Spannungsgeschichte am Beispiel der Vorbelastung	239
14.4	Stabilitätsberechnung nach Janbu.....	244
14.5	Aktiver und passiver Erddruck: Allgemeinere Randbedingungen	249
15	Tropische Böden	257
15.1	Einführung	257
15.2	Das Residualprofil.....	257
15.3	Die Verwitterung	257
15.4	Neubildungen.....	259
15.5	Die Klassifikation tropischer Böden.....	259
15.6	Die äusseren Einflüsse als System-Bestandteile.....	260
15.7	Die Erosion.....	261
16	Boden und Fels	267
16.1	Einführung	267
16.2	Grundeigenschaften von Boden und Fels.....	267
16.3	Trennflächengefüge und Gefügemodell	269
16.4	Lösen und Verdichten von Fels.....	270
16.5	Formänderungseigenschaften von Fels	271
16.6	Festigkeitseigenschaften von Fels	273
16.7	Eigenspannungen im Gebirge	275
17	Beispiele	277
17.0	Einführung	277
17.1	Kenngrossen für Böden	277
17.2	Kenngrossen des Naturzustandes, Volumenbilanz	279
17.3	Totale und effektive Spannungen.....	279
17.4	Festigkeitseigenschaften und einfachste Stabilitätsberechnung.....	282
17.5	Undrainierte Scherfestigkeit s_u	283
17.6	Künstliche Verdichtung	284
17.7	Setzungsberechnung, Kompressionsbeiwert C_c	285
17.8	Setzungsberechnung, Spannungsgeschichte	286
17.9	Eindimensionale Konsolidation	290
17.10	Hydraulische Aspekte einer Baugrube	291
17.11	Sohlpressung von Fundamenten	292
17.12	Stabilitätsberechnung, Einfluss von Porenwasserüberdrücken	294
17.13	Stabilitätsfaktoren.....	297
17.14	Erddruck und Tragfähigkeit	298
17.15	Pfahlfundation	300
17.16	Nicht abgestützte vertikale Wand	301
17.17	Einfach abgestützte vertikale Wand	303
17.18	Mehrfach abgestützte vertikale Wand.....	305
17.19	Bestimmung des k -Wertes aus einem Pumpversuch	306
17.20	Grundwasserabsenkung mit einer Mehrbrunnenanlage.....	307
17.21	Standssicherheit einer Felsböschung	310

Anhang	313
Tabelle A bis E	Spannungsverteilungen im Baugrund 313
Tabelle F	Setzung des kennzeichnenden Punktes K 318
Tabelle G	Sohlpressungen unter einer Fundamentplatte . 319
Tabelle H ₁ bis H ₈	Konsolidation..... 319
Literatur	327
Sachverzeichnis	333