

Hans-Jürgen Lang · Jachen Huder · Peter Amann

Bodenmechanik und Grundbau

Das Verhalten von Böden und Fels
und die wichtigsten
grundbaulichen Konzepte

Sechste, überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 353 Abbildungen und 67 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	4
1.5	Die Lagerungsdichte D	4
1.6	Der Durchlässigkeitsbeiwert k	5
1.7	Die Plastizitätseigenschaften der Böden	6
1.8	Die Liquiditätszahl I_L	7
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	18
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	36
4.1	Einführung	36
4.2	Die Zustandsdarstellung	37
4.3	Die Proctor-Kurve	37
4.4	Einfluß der Bodenart	38
4.5	Eigenschaften des verdichteten Bodens	39
4.6	Verdichtungskontrolle	41
4.7	Beurteilung der Brauchbarkeit gegebener Böden als Dammschüttmaterial	42
4.8	Böden mit Überkorn	42
4.9	Beeinflussung des Wassergehaltes	44
4.10	Auswirkungen der Verdichtung auf den Spannungszustand im Boden	45
4.11	Maschinelle Verdichtung	47
5	Die Formänderungseigenschaften der Böden	48
5.1	Das Verhalten eines elastischen Materials und von Böden	48
5.2	Der Zusammendrückungsmodul M_E bzw. E_v und der Steifemodul E_s	50
5.3	Der Ödometerversuch: Das Zusammendrückungs- diagramm	51
5.4	Der Kompressionsbeiwert C_c	52
5.5	Normal und überkonsolidierte Böden	53
5.6	Die Zeit-Setzungs-Kurve aus dem Ödometerversuch	54
5.7	Der Konsolidationsgrad U	55
5.8	Die Konsolidationstheorie	55
5.9	Die Verteilung der Porenwasserüberdrücke innerhalb der konsolidierenden Tonschicht	59
5.10	Näherungsverfahren für beliebige Randbedingungen	61
5.11	Die Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes k von gesättigten Tonen	62
5.12	Mehrdimensionale Konsolidation	62
5.13	Mehrschichtprobleme	63
5.14	Nicht-plötzliche Belastung	65
5.15	Beschleunigung des Konsolidationsvorganges	66
5.16	Kontrollen des Konsolidationsvorganges	66
5.17	Deformationen, deren Verlauf nicht mittels der Konsolidationstheorie ermittelt werden kann	68
6	Festigkeitseigenschaften der Böden	69
6.1	Einführung	69
6.2	Das Bruchgesetz von Mohr-Coulomb	69
6.3	Die Darstellung des Bruchkriteriums im p',q -Diagramm	70
6.4	Versuche zur experimentellen Ermittlung der Scherparameter	71
6.5	Das Prinzip des triaxialen Scherversuches	73
6.6	Der triaxiale KD-Versuch	74

6.7	Der triaxiale KU-Versuch	74
6.8	Scherfestigkeit körniger Böden	75
6.9	Scherfestigkeit bindiger Böden (Tone)	77
6.10	Grenzgleichgewichtszustände	80
6.11	Scherdeformationen von Böden	81
6.12	Abschätzen des Scherwinkels φ'	82
7	Einflüsse des Grundwassers im Boden	85
7.1	Das Strömungsnetz	85
7.2	Die Bestimmung des k -Wertes	87
7.3	Wasserdrücke im ruhenden Grundwasser	90
7.4	Der Strömungsdruck	91
7.5	Der Druckabbau beim Durchströmen von Schichtpaketen, bestehend aus Schichten unterschiedlicher Durchlässigkeit	92
7.6	Die Anisotropie geschichteter Böden	93
7.7	Wasserdrücke im strömenden Grundwasser	94
7.8	Der hydraulische Grundbruch	96
7.9	Verminderung des Druckes im Grundwasser (Entspannung)	99
7.10	Meßsysteme zur Messung des Potentials	100
7.11	Wasserhaltung in Baugruben	103
7.12	Innere Erosion und Filter	103
8	Setzungsberechnung	105
8.1	Einführung	105
8.2	Prinzip der Setzungsberechnung	105
8.3	Setzungsberechnung in Tabellenform	107
8.4	Einflußtiefe der Zusatzbelastung	108
8.5	Berücksichtigung von kombinierten Be- und Entlastungen	109
8.6	Auftrieb und Gebäudegewicht	110
8.7	Gewichtsausgleich	111
8.8	Vorbelastung	111
8.9	Überbelastung	112
8.10	Schlaffe und starre Lasten	114
8.11	Setzungsdifferenzen	115
8.12	Zulässige Setzungen und Setzungsdifferenzen	116
8.13	Schwerpunktverlagerung und Stabilität von hohen Bauwerken	117
9	Stabilitätsprobleme	118
9.0	Problemstellung	118
9.1	Böschungsstabilität	118
9.1.1	Einführung	118
9.1.2	Vereinfachungen gegenüber der Natur	120

XII Inhaltsverzeichnis

9.1.3	Die schwedische Methode der Stabilitätsberechnung . . .	121
9.1.4	Die Einflüsse des Wassers	123
9.1.5	Das vereinfachte Verfahren nach Bishop	125
9.1.6	Das vereinfachte Verfahren nach Janbu	126
9.1.7	Die Praxis der Stabilitätsberechnung	127
9.1.8	Die unendlich lange Böschung in einem Reibungsmaterial	128
9.1.9	Hilfsmittel zur Ermittlung der Standsicherheit einfacher Böschungen im homogenen Boden	129
9.1.10	Geometrie des Bruches; andere Methoden	131
9.1.11	Einführung von Ankerkräften in die Stabilitäts- berechnung	131
9.2	Tragfähigkeit	131
9.2.1	Einführung	131
9.2.2	Die allgemeine Tragfähigkeitsformel	132
9.2.3	Die Tragfähigkeitsfaktoren N_c , N_q und N_γ	133
9.2.4	Allgemeines und örtliches Abscheren	134
9.2.5	Einflüsse des Porenwasserdruckes	134
9.2.6	Größe der Sicherheit F_{stat}	135
9.2.7	Andere Randbedingungen	135
9.2.8	Exzentrizität des Lastangriffes	136
9.2.9	Formfaktoren s	137
9.2.10	Tiefenfaktoren d	137
9.2.11	Lastneigungsfaktoren i	137
9.2.12	Geländeneigungsfaktoren g	138
9.2.13	Fundamentneigungsfaktoren b'	138
9.2.14	Undrainierte Belastung ($\varphi = 0$)	139
9.2.15	Ableiten des Fundamentes auf der Fundamentsohle . .	140
9.2.16	Der Begriff der „zulässigen Bodenpressung“	140
9.3	Erddruck	141
9.3.1	Einführung	141
9.3.2	Deformationen und Erddruck	141
9.3.3	Verteilung des Erddruckes	142
9.3.4	Der Erddruck als Stabilitätsproblem	143
9.3.5	Der Einfluß der Kohäsion	145
9.3.6	Der Einfluß von Auflasten auf dem Gelände	146
9.3.7	Allgemeine Randbedingungen	147
9.3.8	Graphische Ermittlung des Erddruckes	148
9.3.9	Die freie Standhöhe h_c	150
9.3.10	Erddruck in geschichteten Böden	150
9.3.11	Erddruck auf eine Winkelstützmauer	151
9.3.12	Abschirmung des Erddruckes	152
9.3.13	Einfluß des Wassers auf den Erddruck	153
9.3.14	Erddruck-Umlagerung	153
9.3.15	Gewölbewirkung	154
10	Vertikale Baugrubenabschlüsse	157
10.1	Problemstellung	157
10.2	Übersicht über die wichtigsten Wandsysteme	157

10.3	Belastungen der Wände	161
10.4	Bauzustände	163
10.5	Die nicht abgestützte, im Boden eingespannte Wand ...	164
10.6	Die einfach abgestützte Wand	166
10.7	Mehrfach abgestützte Wand	171
10.8	Erdwiderstand vor schmalen Druckflächen	172
10.9	Systemsicherheit und Abstützung	173
11	Die Sohldruckverteilung unter Fundamenten	174
11.1	Einführung	174
11.2	Allgemeiner Grundsatz	174
11.3	Die relative Steifigkeit K	175
11.4	Das Spannungstrapezverfahren	176
11.5	Das Bettungsmodulverfahren (Bettungszifferverfahren)	177
11.6	Der Bettungsmodul k_s	179
11.7	Das Steifezahlverfahren	181
11.8	Bemerkungen zu den Verfahren	182
11.9	Das starre Fundament	184
12	Tiefgründung	186
12.1	Einführung	186
12.2	Baugrundverbesserung	186
12.3	Pfahlarten	188
12.4	Der Lasttransport in Pfählen	189
12.5	Die Abschätzung von Spitzenwiderstand und Mantelreibung	190
12.6	Die negative Mantelreibung	191
12.7	Rammpfähle in sensitiven Böden	193
12.8	Die Setzung von Einzelpfählen	194
12.9	Die Gruppenwirkung	196
12.10	Die horizontale Belastung von Pfählen	197
13	Sicherheitsüberlegungen	199
13.1	Einführung	199
13.2	Stabilitätsprobleme	200
13.3	Böschungstabilität	203
13.4	Tragfähigkeit von Fundamenten	204
13.5	Erddruckprobleme	205
13.6	Ableiten und Kippen von Fundamenten	208
13.7	Hydraulischer Grundbruch	208
13.8	Auftriebssicherheit von Bauwerken	208
13.9	Deformationen (Setzungen)	209
13.10	Zusammenfassung	209

14	Ausgewählte Beispiele	210
14.0	Einführung	210
14.1	Die einfach abgestützte Wand: Einflüsse des Wassers	210
14.2	Hydraulischer Grundbruch und Auftrieb	218
14.3	Der Einfluß der Spannungsgeschichte am Beispiel der Vorbelastung	220
14.4	Stabilitätsberechnung nach Janbu	226
14.5	Einfluß von Auflasten und Kohäsion auf Erddrücke	231
15	Tropische Böden	236
15.1	Einführung	236
15.2	Das Residualprofil	237
15.3	Die Verwitterung	237
15.4	Neubildungen	238
15.5	Die Klassifikation tropischer Böden	238
15.6	Die äußeren Einflüsse als Systembestandteil	239
15.7	Die Erosion	240
16	Boden und Fels	245
16.1	Einführung	245
16.2	Grundeigenschaften von Boden und Fels	246
16.3	Trennflächengefüge und Gefügemodell	248
16.4	Lösen und Verdichten von Fels	248
16.5	Formänderungseigenschaften von Fels	248
16.6	Festigkeitseigenschaften von Fels	252
16.7	Eigenstressungen im Gebirge	253
17	Beispiele	255
17.0	Einführung	255
17.1	Kenngrößen für Böden	255
17.2	Kenngrößen des Naturzustandes, Volumenbilanz	257
17.3	Totale und effektive Spannungen	258
17.4	Festigkeitseigenschaften und einfachste Stabilitäts- berechnung	260
17.5	Undrainierte Scherfestigkeit s_u	262
17.6	Künstliche Verdichtung	262
17.7	Setzungsberechnung, Kompressionsbeiwert C_c	263
17.8	Setzungsberechnung, Spannungsgeschichte	266
17.9	Eindimensionale Konsolidation	268
17.10	Hydraulische Aspekte einer Baugrube	269
17.11	Sohlpressung von Fundamenten	271
17.12	Stabilitätsberechnung, Einfluß von Porenwasser- überdrücken	273
17.13	Stabilitätsfaktoren	276
17.14	Erddruck und Tragfähigkeit	277
17.15	Pfahlfundation	279

17.16	Nicht abgestützte vertikale Wand	280
17.17	Einfach abgestützte vertikale Wand	282
17.18	Mehrfach abgestützte vertikale Wand	283
Anhang		287
Tabellen A bis E	Spannungsverteilungen im Baugrund.	287
Tabelle F	Setzung des kennzeichnenden Punktes K..	291
Tabelle G	Sohlpressungen unter einer Fundamentplatte	292
Tabellen H ₁ bis H ₈	Konsolidation	293
Tabellen I ₀ bis I ₉	Einfluß von Belastungen auf der Bodenoberfläche auf die Größe von Erddruckspannungen	300
Tabellen K ₁ bis K ₁₂	Einfluß der Kohäsionen auf die Größe von Erddruckspannungen	307
Literatur		311
Sachverzeichnis		317