
Jens Engel • Carsten Lauer

Einführung in die Boden- und Felsmechanik

Grundlagen und Berechnungen

Mit 212 Bildern und 85 Tabellen



Fachbuchverlag Leipzig
im Carl Hanser Verlag

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung: Aufgaben und Ziele der Bodenmechanik	13
1.1	Entwurf eines Bauwerks – Rolle der Geotechnik im Bauingenieurwesen	13
1.2	Boden- und Felsmechanik als Teil der Bauingenieurtätigkeit	15
1.3	Beispiel für ein Bauprojekt: Beschreibung	16
2	Geologische Grundlagen	19
2.1	Nutzen geologischer Informationen für Bauprojekte	19
2.2	Allgemeine geologische Grundlagen	21
2.2.1	Aufbau der Erde im Überblick	21
2.2.2	Geologische Zeitrechnung	23
2.3	Hydrogeologische Grundlagen	28
2.3.1	Kreislauf des Wassers, Bilanzgleichung	28
2.3.2	Wasser im Untergrund	29
2.3.3	Grundwasserleiter	30
2.3.4	Quellen	32
2.4	Minerale	33
2.4.1	Systematik der Minerale	33
2.4.2	Mineralbestimmung auf Grundlage physikalischer Eigenschaften	37
2.4.3	Gesteinsbildende Minerale	39
2.5	Gesteine	39
2.5.1	Kreislauf der Gesteine	40
2.5.2	Gesteinsarten – Überblick	41
2.5.2.1	Magmatische Gesteine	41
2.5.2.2	Sedimentgesteine	42
2.5.2.3	Metamorphite	44
2.5.3	Gesteinsbestimmung	45

2.5.3.1	Struktur	46
2.5.3.2	Textur	47
2.5.3.3	Gesteinsbestimmung an Handstücken	47
3	Baugrund (Gebirge)	51
3.1	Fels	51
3.1.1	Gestein-Fels-Gebirge	51
3.1.2	Benennung und Beschreibung von Fels	51
3.1.2.1	Benennung und Beschreibung des Gesteins	52
3.1.2.2	Verwitterungsgrad	54
3.1.2.3	Trennflächengefüge	55
3.1.3	Gebirgsklassifizierung mit dem Q -System (Quality-System)	56
3.1.4	Berechnung von Gebirgskennwerten, Gebirgsklassifizierung GSI	59
3.2	Böden (Lockergesteine)	62
3.2.1	Unterscheidungskriterien	62
3.2.2	Benennung und Beschreibung	64
4	Erkundung und Untersuchung von Boden und Fels in situ	67
4.1	Vorbereitung, Planung	67
4.1.1	Grundlagen – Aufgabenstellung	67
4.1.2	Planungshinweise, Informationsquellen	69
4.1.3	Geologische Karten	70
4.2	Baugrunderkundung	72
4.2.1	Geotechnische Kategorien	73
4.2.2	Umfang der Erkundung	74
4.3	Erkundungsarten	78
4.3.1	Direkte Aufschlüsse	78
4.3.2	Probenahme	79
4.4	Indirekte Verfahren: Sondierungen	83

5	Untersuchung von Boden im Labor	87
5.1	Stoffbestand – Zusammensetzung	87
5.1.1	Phasenzusammensetzung	87
5.1.2	Beimengungen	91
5.1.3	Korngrößenverteilung	92
5.1.4	Stoffzustand: Grenzwerte des Stoffbestands	94
5.1.4.1	Konsistenzgrenzen bindiger Böden	94
5.1.4.2	Grenzen der Lagerungsdichte	96
5.1.5	Klassifizierung – Bodengruppen nach DIN 18196	97
5.2	Gütekontrolle im Erdbau, Verdichtung	99
5.2.1	Proctorkennwerte	99
5.2.2	Verdichtungskontrolle	100
5.3	Spannungen, Verformungen, Kräfte	104
5.3.1	Spannungen und Kräfte	104
5.3.1.1	Mohrscher Kreis	104
5.3.1.2	Wirksame Spannung	105
5.3.1.3	Eigengewicht des Bodens	107
5.3.1.4	Strömungskräfte	107
5.3.2	Verformungsmaße	109
5.4	Durchlässigkeit	110
5.4.1	Grundlagen	110
5.4.2	Experimentelle Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwerts	111
5.5	Scherfestigkeit	116
5.5.1	Grundlagen	116
5.5.1.1	Bruchbedingung	116
5.5.1.2	Einflüsse auf φ und c	120
5.5.1.3	Kritisches Hauptspannungsverhältnis – aktive, passive Grenzzustände	122
5.5.2	Experimentelle Ermittlung	124

5.5.2.1	Direktscherversuch	124
5.5.2.2	Einaxiale Druckfestigkeit	125
5.5.2.3	Triaxialversuch	126
5.6	Zusammendrückbarkeit	128
5.6.1	Grundlagen	128
5.6.2	Druck-Setzungs-Linie: Kennwertansätze	130
5.6.3	Zeit-Zusammendrückungs-Verhalten	134
5.6.4	Experimentelle Bestimmung – Ödometerversuch	138
5.6.5	Plattendruckversuch	139
5.7	Klassifizierungskriterien	141
5.7.1	Lösbarkeit	141
5.7.2	Frostempfindlichkeit	142
5.8	Mittlere Kennwerte, Korrelationen	143
5.8.1	Näherungen für nichtbindige Böden	145
5.8.2	Bindige Böden	146
5.8.2.1	Verdichtungskennwerte	152
6	Rechenverfahren zum Nachweis der Standsicherheit	153
6.1	Erddruck	153
6.1.1	Einführung	153
6.1.1.1	Arten des Erddrucks	153
6.1.1.2	Erddruckneigung	155
6.1.2	Grundlagen der Berechnungsverfahren	157
6.1.2.1	Verfahren mit Gleitflächen	157
6.1.2.2	Untersuchung des Spannungszustands	161
6.1.3	Berechnung des aktiven Erddrucks	162
6.1.3.1	Grafische Verfahren	163
6.1.3.2	Analytische Berechnung – Erddruckbeiwerte	164

6.1.4	Passiver Erddruck	170
6.1.4.1	Ebener Fall – kinematische Lösung	170
6.1.4.2	Ebener Fall – statische Lösung	171
6.1.4.3	Räumlicher passiver Erddruck	172
6.1.5	Erdruchdruck	172
6.1.5.1	Grundlagen	172
6.1.5.2	Erddruckbeiwert $K_{0\gamma h}$	173
6.1.5.3	Vorbelastete Böden, Kohäsion	177
6.1.6	Zwischenwerte, Sonderfälle des Erddrucks	177
6.1.6.1	Mobilisierung des passiven Erddrucks	177
6.1.6.2	Verdichtungserddruck	179
6.1.6.3	Sonderfall – Silodruck (begrenzte Hinterfüllung)	180
6.2	Grundbruch	180
6.2.1	Einführung	180
6.2.2	Ein einfacher Lösungsansatz	181
6.2.3	Allgemeiner Berechnungsansatz	182
6.2.3.1	Anforderungen	182
6.2.3.2	Tragfähigkeitsbeiwerte, Grundbruchfigur	183
6.2.3.3	Nachweisführung	185
6.3	Standsicherheit von Böschungen, Geländebruch	190
6.3.1	Einführung	190
6.3.1.1	Brucharten	190
6.3.1.2	Nachweis der Standsicherheit	191
6.3.2	Ebene Gleitfläche	192
6.3.2.1	Ebene Gleitfläche, $\varphi' > 0, c' = 0$	192
6.3.2.2	Ebene Gleitflächen, $\varphi' > 0$ und $c' > 0$	194
6.3.3	Kreisförmige Gleitfläche	194
6.3.3.1	Lamellenfreie Kreisgleitfläche, $\varphi = 0, c_u > 0$	194

6.3.3.2	Lamellenfreie Kreisgleitfläche mit $c' > 0$ und $\varphi' > 0$	196
6.3.3.3	Lamellenverfahren, kreisförmiger Gleitkörper	196
6.3.4	Beliebige Gleitflächen	198
6.3.4.1	Lamellenverfahren, beliebige Gleitflächenformen	198
6.3.4.2	Starrkörperverfahren	198
6.3.5	Bemessungshilfen für einfache Fälle	199
7	Berechnung von Setzungen des Baugrunds	201
7.1	Spannungsausbreitung im Baugrund	201
7.1.1	Grundlagen	201
7.1.2	Elementare Lösungen	202
7.1.3	Berechnung der Spannungsverteilung	205
7.2	Berechnung von Setzungen	209
7.2.1	Einführung	209
7.2.2	Grundlagen der rechnerischen Ermittlung	209
7.2.3	Ermittlung der Setzungen auf Grundlage einer Druck-Setzungs-Kurve	212
7.2.4	Berechnung der Setzung und Schiefstellung starrer Fundamente	214
7.3	Bestimmung des Bettungsmoduls	217
Literatur	218
Index	223