

**Hans-Henning Schmidt · Roland F. Buchmaier ·
Carola Vogt-Breyer**

Grundlagen der Geotechnik

Geotechnik nach Eurocode

4.; vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage

 Springer Vieweg

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	1
1.1	Aufgabengebiet der Geotechnik	1
1.2	Regelwerk	3
2	Baugrunderkundung, Geotechnischer Bericht	7
2.1	Definitionen für Boden, Fels und Grundwasser	12
2.2	Pflicht zur Baugrunderkundung	14
2.3	Methoden der Baugrunderkundung	15
2.3.1	Aufschlussverfahren	17
2.3.2	Umfang	21
2.3.3	Grundwassererkundung und -beobachtung	25
2.4	Labor-und Feldversuche	27
2.5	Geotechnischer Bericht – Baugrund- und Gründungsgutachten	28
2.6	Kennwerte für Boden und Fels	29
2.7	Zusammenfassung	32
3	Eigenschaften von Böden und Fels	33
3.1	Gesteine als Dreiphasenstoff	33
3.2	Mineralogische Grundlagen	36
3.3	Bestimmung von Bodeneigenschaften	39
3.3.1	Dichtebestimmung, Wichte	40
3.3.2	Wassergehalt	42
3.3.3	Korngrößenverteilung	43
3.3.4	Zustandsformen und -grenzen	47
3.3.5	Wasseraufnahme	53
3.3.6	Beimengungen	56
3.3.7	Dichte nichtbindiger Böden bei lockerster und dichtester Lagerung; Lagerungsdichte, Verdichtungsfähigkeit	58
3.4	Klassifizieren von Böden	61
3.4.1	Klassifizieren gemäß Regelwerken und Merkblättern	62

3.4.2	Bodenansprache nach ortsüblichen, geologischen Bezeichnungen	70
3.5	Eigenschaften von Fels	71
3.5.1	Klassifikation von Fels für den Straßenbau	72
3.5.2	Klassifikation und Kennwerte von Fels für den Fels- und Hohlraumbau	75
3.6	Durchlässigkeit, Kapillarität, Filter und Filterregeln, Dränschichten . . .	78
3.6.1	Durchlässigkeit	78
3.6.2	Kapillarität "	82
3.6.3	Filter und Filterregeln, Dränschichten	82
3.7	Frosteinwirkungen, Frostepfindlichkeit von Böden	86
3.7.1	Ursachen und das Auftreten von Frosteinwirkungen	86
3.7.2	Schäden an Bauwerken	87
3.7.3	Frostkriterien und Frostepfindlichkeit °	87
3.7.4	Frostauswirkung auf den Oberbau im Straßenbau	88
3.8	Bodenverdichtung	89
3.8.1	Proctorversuch	89
3.8.2	Dichtebestimmung im Feld	95
3.8.3	Indirekte Dichtebestimmungsmethoden (im Feld) . . .	100
4	Formänderungs- und Festigkeitseigenschaften	109
4.1	Spannungen und Verformungen	109
4.1.1	Spannungsbegriff	109
4.1.2	Vorzeichenregelung am Volumenelement	110
4.1.3	Ebener Spannungszustand	111
4.1.4	Transformation des Spannungstensors	112
4.1.5	Hauptspannungen	113
4.1.6	<i>Mohrsche</i> Darstellung des Spannungszustands	114
4.1.7	<i>Mohrsche</i> Darstellung des ebenen Spannungszustands „Polkonstruktion“	115
4.1.8	Porenwasserdruck, totale und effektive Spannung	116
4.1.9	Verformungen und Verformungsmoduln	117
4.2	Zusammendrückbarkeit und Schwellung im Oedometerversuch	125
4.2.1	Einaxiale Konsolidation (Oedometerversuch)	126
4.2.2	Überkonsolidierte Böden	132
4.2.3	Zeitsetzung	133
4.3	Plattendruckversuch	145
4.4	Scherfestigkeit	148
4.4.1	Messung der Scherfestigkeit im Triaxialgerät	152
4.4.2	Messung der Scherfestigkeit mit dem Direkten Schergerät (Rahmenscherversuch)	153

4.4.3	Messung der Scherfestigkeit mit dem Einaxialen Druckversuch (Zylinderdruckversuch)	154
4.4.4	Messung der Scherfestigkeit mit der Flügelsonde	155
4.4.5	Randbedingungen in den Versuchen zur Bestimmung der Scherfestigkeit	155
4.4.6	Scherversuche und Auswertung	157
4.4.7	Die Scherparameter ϕ und c	164
4.4.8	Scherverformungen und Dilatanzwinkel	165
4.4.9	Bruchkriterien	167
4.4.10	Sensitivität	168
4.4.11	Scherfestigkeitswerte	168
4.5	Steifigkeit	169
5	Erd-und Verkehrswegebau	177
5.1	Erdbaugeräte	179
5.2	Auflockerung und Verdichtung	181
5.3	Besonderheiten bei Dämmen	181
5.4	Erdbautechnische Aspekte bei Verkehrswegeentwässerung	181
5.5	Abdichtungen im Erdbau	182
5.6	Anforderungen und Prüfungen	184
5.6.1	Anforderungen an die Kornverteilung	185
5.6.2	Anforderungen an die Verdichtung im Straßenbau	186
5.6.3	Prüfungen im Straßenbau	190
5.6.4	Verdichtungsprüfung bei Felsschüttungen	191
6	Verbesserung und Verfestigung von Böden als Baustoff und Baugrund . . .	193
6.1	Dräns zur Konsolidation	194
6.2	Verfestigung von Bodenkörpern	196
6.3	Verbesserung und Verfestigung im Erdbau	202
6.4	Verdichten in der Tiefe	205
6.5	Verdichten und Verdrängen	207
6.6	Stabilisierungssäulen	212
6.7	Bodenaustausch	213
7	Geokunststoffe	215
7.1	Definitionen	215
7.2	Funktionen	216
7.3	Zielvorstellungen	219
7.4	Ausgangsmaterialien und deren Eigenschaften	220
7.5	Auswahl und Planung	221
7.6	Einsatzbereiche und Funktion	223
7.7	Eigenschaften, Prüfungen und Produktangaben	226

8	Technische Regeln für Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau	231
8.1	Grundlegende Sicherheitskonzepte	234
8.1.1	Probabilistische Sicherheitstheorie	235
8.1.2	Charakteristische Werte	236
8.2	DIN EN 1990: Grundlagen der Tragwerksplanung	237
8.3	Geotechnischer Entwurf gemäß DIN EN 1997-1 mit nationalem Anhang und DIN 1054	238
8.3.1	Begriffe	239
8.3.2	Geotechnische Kategorien	„ . . . 239
8.3.3	Bemessungssituationen und Dauerhaftigkeit	240
8.3.4	Einwirkungen	240
8.3.5	Charakteristische Werte für geotechnische Kenngrößen	241
8.3.6	Grenzzustände der Tragfähigkeit und Grundsätze der Nachweisführung	242
8.3.7	Teilsicherheitsbeiwerte	244
8.4	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	246
8.5	Sonstige Nachweisverfahren	247
9	Spannungsberechnungen im Baugrund, Sohlspannungen	249
9.1	Spannungen infolge Bodeneigengewicht und unendlicher Flächenlasten	249
9.2	Spannungen infolge Lasten, allgemeine Hinweise	252
9.3	Senkrechte Einzellast	254
9.4	Horizontale Einzellast	256
9.5	Spannungen infolge vertikaler Flächenlast	257
9.5.1	Spannungen infolge gleichmäßiger Streifenlast	259
9.5.2	Vertikalspannung unter einer gleichmäßig belasteten Rechteckfläche	261
9.5.3	Vertikalspannung unter dem Eckpunkt einer gleichmäßig belasteten Rechteckfläche . .	262
9.5.4	Vertikalspannung unter der Kante einer Trapezlast	263
9.5.5	Vertikalspannung unter einer gleichmäßig belasteten Kreisfläche	265
9.5.6	Vertikalspannung unter einer ungleichmäßig belasteten Kreisfläche	267
9.6	Sohlspannung bei starrem Streifenfundament	267
10	Setzungen und andere Verformungen	269
10.1	Setzungsermittlung mit Hilfe vertikaler Spannungen (indirekte Methode)	271
10.2	Setzungsermittlung mit Hilfe geschlossener Formeln (direkte Methode)	274

10.2.1	Setzungsberechnung für kennzeichnenden Punkt <i>nach.Kany</i> . .	274
10.2.2	Setzungsberechnung bei außermittiger Last	277
10.3	Treffsicherheit von Setzungsprognosen	281
10.4	Zulässige Setzungen und Setzungsunterschiede .	281
10.5	Konstruktive Setzungsbeeinflussung	283
10.6	Zeitlicher Verlauf der Setzungen	284
10.7	Andere Ursachen für Verformungen	286
11	Grenztragfähigkeit und Stoffmodelle. ..	287
11.1	Plastizität (Grenztragfähigkeit)	287
11.1.1	Allgemeine Aussagen	288
11.1.2	Grundlagen für die Berechnung der Grenztragfähigkeit	290
11.1.3	Berechnung der Grenztragfähigkeit	294
11.2	Elastisch-plastische Modelle	301
11.2.1	Cam-Clay-Modell	302
11.2.2	Weitere Modelle	307
12	Flach- und Flächengründungen	: 309
12.1	Begriffe	309
12.2	Hinweise für den Entwurf und die Bemessung	310
12.3	Nachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)	\ . . . 312
12.3.1	Stark exzentrische Belastung (Kippen)	312
12.3.2	Nachweis der Gleitsicherheit	313
12.3.3	Nachweis der Grundbruchsicherheit	315
12.3.4	Tragwerksversagen durch Fundamentbewegung	327
12.4	Nachweis für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) 328
12.4.1	Setzungen	' 328
12.4.2	Fundamentverdrehung und Begrenzung einer klaffenden Fuge	329
12.4.3	Verschiebungen in der Sohlfläche	330
12.5	Vereinfachter Nachweis des Sohlwiderstands mit Tabellenwerten	331
12.5.1	Nichtbindiger Boden	332
12.5.2	Bindiger Boden	334
12.5.3	Fels	335
12.6	Betonbemessung .	! 338
13	Pfähle	. . . 339
13.1	Pfahlarten und Herstellung	341
13.1.1	Bohrpfähle	. . . 343
13.1.2	Verdrängungspfähle 345
13.1.3	Mikropfähle	347
13.1.4	Vor- und Nachteile der Pfahlarten	347
13.2	Tragverhalten von Pfählen	, ' ' ^48

13.2.1	Einwirkungen und Beanspruchungen	351
13.2.2	Axiales Tragverhalten und Widerstände von Einzelpfählen . . .	353
13.3	Axiale Pfahlprobelastungen	354
13.4	Axiale Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten	358
13.4.1	Widerstände von Bohrpfählen	359
13.4.2	Widerstände von Fertigrammpfählen	362
13.4.3	Widerstände von Mikropfählen	365
13.4.4	Erfahrungswerte für sonstige Pfähle	366
13.5	Konstruktive Gesichtspunkte	366
14	Baugruben und Gräben	369
14.1	Baugruben und Gräben nach DIN 4124	3/1
14.2	Regelböschungen nach DIN 4124	374
14.3	Verbaute Gräben	376
14.4	Gesicherte Böschungen	377
14.5	Baugrubenverbauten	380
15	Böschungen und Geländesprünge – Gesamtstandsicherheit	389
15.1	Kinematik und Bruchmechanismen	390
15.2	Zeitlicher Verlauf von Rutschungen	393
15.3	Einwirkungen und Widerstände	394
15.3.1	Einwirkungen	394
15.3.2	Widerstände ,	394 ¹
15.4	Berechnungsverfahren	395
15.4.1	Grenzzustand und Sicherheiten	395
15.4.2	Lamellenfreie Methode für Gleitkreis ,,,,	397
15.4.3	Lamellenfreie Methode bei gerader Gleitlinie	398
15.4.4	Lamellenfreie Methode bei böschungspareller Gleitlinie	400
15.4.5	Bemessungsdiagramm für homogene Böschungen	401
15.4.6	Lamellenverfahren mit kreisförmigen Gleitlinien	402
15.4.7	Lamellenverfahren für annähernd böschungsparallele Gleitlinien	406
15.4.8	Verfahren für Bruchmechanismen mit geraden Gleitlinien . . .	406
15.4.9	Variation der Bruchgeometrie	412
15.5	Wasserdrücke und äußere Kräfte	414
15.5.1	Wasserdrücke	414
15.5.2	Äußere Kräfte	416
15.6	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	421
15.7	Empfehlungen für Böschungsneigungen	421
15.8	Böschungssicherungsmethoden	422
15.8.1	Beispiele von Sicherungsmaßnahmen für Landverkehrswege . .	423
15.8.2	Ingenieurbiologische Bauweisen	426
15.8.3	Sicherung von Felsböschungen	431

16	Erddruck	433
16.1	Einfluss der Scherfestigkeit	434
16.2	Erddruck als Funktion der Wandbewegung	435
16.3	Neigungswinkel des Erddrucks	438
16.4	Größe und Verteilung des aktiven und passiven Erddrucks	439
16.4.1	Flächenbruch nach Rankine	439
16.4.2	Erddruck nach Coulomb	444
16.5	Erdwiderstand bei gekrümmten oder mehreren Gleitflächen	446
16.6	Erddruckermittlung mit kinematischen Methoden	448
16.7	Geschichteter Baugrund	451
16.8	Ermittlung des Erddrucks für allgemeine Fälle nach DIN 4085; Erddrucktabelle und Diagramme	452
16.8.1	Aktiver Erddruck – ebener Fall	452
16.8.2	Erdruhedruck	457
16.8.3	Erddruckbeiwerte für aktiven Erddruck und Erdruhedruck sowie Gleitflächenwinkel	460
16.8.4	Passiver Erddruck (Erdwiderstand), ebener Fall	460
16.8.5	Räumlicher Erddruck vor schmalen Druckflächen	466
16.9	Teilmobilisierter Erdwiderstand	469
16.10	Zusatz-Erddruck infolge Verdichtung	471
16.11	Erddruck bei dynamischer Anregung	472
16.12	Erddruck infolge sackender Hinterfüllung und Silodruck	472
16.13	Erddruck infolge Hangbewegung	474
16.14	Ansatz des Erddrucks	475
17	Entwurf und Berechnung von Stützbauwerken	477
17.1	Entwurfshinweise	479
17.2	Regelwerke und Geotechnische Kategorien /	480
17.3	Nachweis der Grenzzustände	480
17.4	Einwirkungen aus Erddruck	481
17.5	Stützmauern und zusammengesetzte Konstruktionen	485
17.5.1	Massive Stützmauern	485
17.5.2	Raumgittermauern	487
17.5.3	Bewehrte Bodensysteme	488
17.5.4	Winkelstützmauern	496
17.6	Stützwände	499
17.6.1	Stützsysteme und Berechnungsverfahren	500
17.6.2	Nachweise nach DIN EN 1997-1 mit DIN 1054 und EAU sowie EAB	503
17.6.3	Aufgelöste Wände	507
17.6.4	Fangedamm	509
17.7	Verformungen	512

17.8	Dränanlagen	520
17.9	Baugruben in weichen Böden	522
18	Verankerungen	523
18.1	Verpressanker	524
18.1.1	Herstellung	526
18.1.2	Ankertypen und Bezeichnungen	529
18.1.3	Korrosionsschutz	531
18.1.4	Stahl, Stahlzugfestigkeit	534
18.1.5	Kraftübertragung in den Baugrund	535
18.1.6	Prüfungen	537
18.1.7	Nachweise	543
18.1.8	Gegenseitige Beeinflussung, Ankerabstände, Vorspannung . . .	547
18.2	Ankerwände und Ankerplatten	548
18.3	Länge und Lage von Ankern	549
18.3.1	Verankerung von Stützwänden	550
18.3.2	Verankerungen von anderen Bauwerken	552
19	Wechselwirkung Bauwerk – Baugrund	555
19.1	Modelle für die Wechselwirkung	556
19.2	Hinweise zur Gebrauchstauglichkeit	557
19.3	Berechnung der Wechselwirkung bei Flächengründungen	560
19.4	Bettungsmodulverfahren	565
19.4.1	Grundfälle	568
19.4.2	Unendlich langer Balken ! . . .	569
19.4.3	Halbunendlich langer Balken	571
19.5	StEIFEMODULVERFAHREN (Halbraumverfahren) . . . ,	572
19.6	Einflüsse und Bewertung von Bettungsmodul- und StEIFEMODULVERFAHREN . . . ;	577
19.7	Einspannung im Baugrund bei seitlicher Stützung	580
20	Pfahlgründungen	587
20.1	Axial belastete Pfähle	589
20.1.1	Konstruktionshinweise	589
20.1.2	Berechnungsannahmen . . j	590
20.1.3	Statische und kinematische Bestimmtheit bei Pfahlrosten	591
20.1.4	Statisch unbestimmte Pfahlroste	594
20.1.5	Sonderfälle von statisch unbestimmten Pfahlssystemen	598
20.2	Horizontal belastete Pfähle und Pfahlgruppen . . .	601
20.3	Setzungen und Lastverteilungen bei Pfahlgruppen	605
20.4	Pfahl-Knicken ;	607
20.5	Kombinierte Pfahl-Plattengründung	609

21	Sicherung bestehender Bauwerke	617
21.1	Bauausführung gemäß DIN 4123	618
21.2	Unterfangung mit Injektionen bzw. dem Düsenstrahlverfahren	625
21.3	Unterfangungen mit Verbauten	627
21.4	Unterfangung mit Pfählen	628
21.5	Unterfahrungen	630
22	Bauen im Grundwasser	635
22.1	Ebene stationäre Grundwasserströmung	636
22.2	Einfluss des Grundwassers bei der Bemessung	645
22.3	Grundwasseraussperrung	647
22.3.1	Voll ausgesperrtes Grundwasser	647
22.3.2	Teilweise ausgesperrtes Grundwasser (bei Stützwänden)	653
22.4	Grundwasserhaltung	660
22.4.1	Grundwasserabsenkung	660
22.4.2	Grundwasserrückführung (Wiederversickerung)	670
22.4.3	Grundwasserentspannung	671
22.4.4	Offene Grundwasserhaltung	673
22.4.5	Grundwasserhaltung neben einem Gewässer	674
22.4.6	Entwässerung feinkörniger Böden mit Kleinbrunnen und Unterdruck	675
22.4.7	Elektrosmose	676
22.4.8	Setzungen durch GW-Absenkung	677
22.5	Feldversuche zur Bestimmung der Durchlässigkeit	677
23	Baugrunddynamik	685
23.1	Grundlagen	686
23.2	Wellenausbreitung im Untergrund	694
23.3	Messung von Schwingungen	698
23.4	Erschütterungseinwirkungen auf Menschen und Bauwerke	699
23.5	Dynamische Eigenschaften und Kennwerte von Böden	701
23.6	Dynamische Einwirkungen auf Gründungen	706
23.7	Erdbebensicheres Bauen	709
Anhang		717
	Technisches Regelwerk: Normen, Empfehlungen	717
	Regelwerke für den Erdbau	731
	Bücher, Zeitschriften	734
	Abkürzungen und Symbole, Nebenzeichen	736
Literatur		749
Sachverzeichnis		767