

Vorwort	3
1 Allgemeines	15
1.1 Aufgabengebiet der Geotechnik	15
1.2 Regelwerk	17
2 Baugrunderkundung, Geotechnischer Bericht	20
2.1 Definitionen für Boden, Fels und Grundwasser	27
2.2 Pflicht zur Baugrunderkundung	27
2.3 Methoden der Baugrunderkundung	29
2.3.1 Aufschlussverfahren	30
2.3.2 Umfang	35
2.3.3 Grundwassererkundung und -beobachtung	38
2.4 Labor- und Feldversuche	40
2.5 Geotechnischer Bericht - Baugrund- und Gründungsgutachten	41
2.6 Kennwerte für Boden und Fels	41
2.7 Zusammenfassung	44
3 Eigenschaften von Böden und Fels	45
3.1 Gesteine als Dreiphasenstoff	45
3.2 Mineralogische Grundlagen	47
3.3 Bestimmung von Bodeneigenschaften	50
3.3.1 Dichtebestimmung, Wichte	51
3.3.2 Wassergehalt	52
3.3.3 Korngrößenverteilung	54
3.3.4 Zustandsformen und -grenzen	58
3.3.5 Wasseraufnahme	65
3.3.6 Beimengungen	66
3.3.7 Dichte nichtbindiger Böden bei lockerster und dichtester Lagerung; Lagerungsdichte, Verdichtungsfähigkeit	68
3.4 Klassifizieren von Böden	70
3.4.1 Klassifizieren gemäß Vorschriften und Merkblättern	71
3.4.2 Bodenansprache nach ortsüblichen, geologischen Bezeichnungen	79
3.5 Eigenschaften von Fels	80
3.5.1 Klassifikation von Fels für den Straßenbau	81
3.5.2 Klassifikation und Kennwerte von Fels für den Fels- und Hohlraumbau	84
3.6 Durchlässigkeit, Grundwasserströmung, Kapillarität, Filter und Filterregeln, Dränschichten	87
3.6.1 Durchlässigkeit	87
3.6.2 Grundwasserströmung	90
3.6.3 Kapillarität	95

3.6.4	Filter und Filterregeln, Dränschichten	95
3.7	Frosteinwirkungen, Frostempfindlichkeit von Böden	99
3.7.1	Ursachen und das Auftreten von Frosteinwirkungen	99
3.7.2	Schäden an Bauwerken	100
3.7.3	Frostkriterien und Frostempfindlichkeit	100
3.7.4	Frostauswirkung auf den Oberbau im Straßenbau, s. auch Abschn. 5.101	101
3.8	Bodenverdichtung	102
3.8.1	Proctorversuch	102
3.8.2	Dichtebestimmung im Feld.....	108
3.8.3	Indirekte Dichtebestimmungsmethoden im Feld.....	112
3.8.3.1	Sondierungen, genormt.....	112
3.8.3.2	Dichtebestimmungen, nicht genormt	118
4	Formänderungs- und Festigkeitseigenschaften	121
4.1	Spannungen und Verformungen	121
4.1.1	Spannungsbegriff	121
4.1.2	Vorzeichenregelung am Volumenelement	122
4.1.3	Ebener Spannungszustand	122
4.1.4	Transformation des Spannungstensors	123
4.1.5	Hauptspannungen	124
4.1.6	<i>Mohrsche</i> Darstellung des Spannungszustands.....	125
4.1.7	<i>Mohrsche</i> Darstellung des ebenen Spannungszustands „Polkonstruktion“	126
4.1.8	Porenwasserdruck, totale und effektive Spannung	127
4.1.9	Verformungen und Verformungsmoduln	127
4.2	Zusammendrückbarkeit und Schwellung im Oedometerversuch	134
4.2.1	Einaxiale Konsolidation (Oedometerversuch)	134
4.2.2	Überkonsolidierte Böden	139
4.2.3	Zeitsetzung	140
4.3	Plattendruckversuch	151
4.4	Scherfestigkeit	154
4.4.1	Messung der Scherfestigkeit im Triaxialgerät	158
4.4.2	Messung der Scherfestigkeit mit dem Direkten Schergerät (Kastenscherversuch).....	159
4.4.3	Messung der Scherfestigkeit mit dem Einaxialen Druckversuch (Zylinderdruckversuch)	160
4.4.4	Messung der Scherfestigkeit mit der Flügelsonde	160
4.4.5	Randbedingungen in den Versuchen zur Bestimmung der Scherfestigkeit	161
4.4.6	Scherversuche und Auswertung	163
4.4.7	Die Scherparameter φ und c	169
4.4.8	Scherverformungen und Dilatanzwinkel	170

4.4.9	Bruchkriterien.....	172
4.4.10	Sensitivität	173
4.4.11	Scherfestigkeitswerte	173
4.5	Steifigkeit.....	174
5	Erd- und Verkehrswegebau	180
5.1	Erdbaugeräte	182
5.2	Auflockerung und Verdichtung.....	183
5.3	Besonderheiten bei Dämmen.....	184
5.4	Erdbautechnische Aspekte bei Verkehrswegeentwässerung.....	185
5.5	Abdichtungen im Erdbau.....	186
5.6	Anforderungen und Prüfungen	187
5.6.1	Anforderungen an die Kornverteilung.....	188
5.6.2	Anforderungen an die Verdichtung im Straßenbau.....	188
5.6.3	Prüfungen im Straßenbau	192
5.6.4	Verdichtungsprüfung bei Felsschüttungen	193
6	Verbesserung und Verfestigung von Böden als Baustoff und Bau- grund	195
6.1	Dräns zur Konsolidation.....	196
6.2	Verpressen (Injizieren), Vermörteln und Vereisen	198
6.3	Verbesserung und Verfestigung im Erdbau.....	203
6.4	Verdichten in der Tiefe.....	204
6.5	Verdichten und Verdrängen.....	208
6.6	Stabilisierungssäulen	212
6.7	Bodenaustausch	213
7	Geokunststoffe	215
7.1	Definitionen	215
7.2	Funktionen.....	216
7.3	Zielvorstellungen	218
7.4	Ausgangsmaterialien und deren Eigenschaften.....	219
7.5	Auswahl und Planung.....	220
7.6	Einsatzbereiche und Funktion.....	221
7.7	Eigenschaften, Prüfungen und Produktangaben.....	224
8	Geotechnischer Entwurf von Erd- und Grundbauwerken	227
8.1	Altes und neues Sicherheitskonzept	229
8.2	<i>Eurocode 0 (EN 1990):</i> Grundlagen der Tragwerksplanung	232
8.2.1	Begriffe	233
8.2.2	Nachweisverfahren mit γ -Faktoren.....	236
8.3	Entwurf gemäß <i>DIN 1054</i>	240

8.4	Entwurf gemäß <i>Eurocode 7: DIN EN 1997-1 (2005)</i>	245
8.5	Geotechnische Kategorien (<i>GK</i>).....	252
8.6	Beobachtungsmethode	253
9	Spannungsberechnungen im Baugrund, Sohlspannungen	255
9.1	Spannungen infolge Bodeneigengewicht und unendlicher Flächenlasten	255
9.2	Spannungen infolge Lasten, allgemeine Hinweise	258
9.3	Senkrechte Einzellast	259
9.4	Horizontale Einzellast	261
9.5	Spannungen infolge Flächenlasten	261
9.5.1	Spannungen infolge gleichmäßiger Streifenlast.....	264
9.5.2	Gleichmäßige Last unter einem Rechteckfundament	265
9.5.3	Vertikalspannung unter dem Eckpunkt einer Rechtecklast	266
9.5.4	Vertikalspannung unter der Kante einer Trapezlast	268
9.5.5	Vertikalspannung unter einer gleichmäßig belasteten Kreisplatte.....	269
9.5.6	Vertikalspannung unter einer ungleichmäßig belasteten Kreisplatte.....	270
9.6	Sohlspannung bei starrem Streifenfundament	271
10	Setzungen und andere Verformungen	272
10.1	Indirekte Setzungsberechnung	273
10.2	Direkte Setzungsermittlung mit Hilfe geschlossener Formeln	276
10.2.1	Setzungsberechnung für kennzeichnenden Punkt nach Kany.....	276
10.2.2	Setzungsberechnung bei außermittiger Last	278
10.3	Treffsicherheit von Setzungsprognosen	282
10.4	Zulässige Setzungen und Setzungsunterschiede	283
10.5	Konstruktive Setzungsbeeinflussung	285
10.6	Zeitlicher Verlauf der Setzungen	285
10.7	Andere Ursachen für Verformungen	288
11	Grenztragfähigkeit und Stoffmodelle	289
11.1	Plastizität (Grenztragfähigkeit)	289
11.1.1	Allgemeine Aussagen.....	289
11.1.2	Grundlagen für die Berechnung der Grenztragfähigkeit.....	291
11.1.3	Berechnung der Grenztragfähigkeit	295
11.1.3.1	„Untere Schranke“ („Untere Grenzbedingung“).....	296
11.1.3.2	„Obere Schranke“ („Obere Grenzbedingung“)	297
11.1.3.3	Gleitlinien-Methode (Flächenbruch).....	299
11.1.3.4	Grenzgleichgewichtsmethode (kinematische Methode)	300
11.1.3.5	Vergleich der Methoden.....	300
11.2	Elastisch-plastische Modelle	302
11.2.1	Cam-Clay-Modell.....	303
11.2.2	Weitere Modelle	308

12	Flach- und Flächengründungen	309
12.1	Begriffe	309
12.2	Nachweise für Flach- und Flächengründungen	310
12.3	Nachweis der Sicherheit gegen Kippen bei ausmittiger Beanspruchung	311
12.4	Nachweis der Gleitsicherheit	313
12.5	Nachweis der Grundbruchsicherheit	315
12.6	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	325
12.7	Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen	326
12.8	Nachweis der Gesamtstandsicherheit	327
12.9	Nachweis von aufnehmbaren Sohldrücken mit Tabellenwerten	328
12.10	Betonbemessung	333
13	Pfahlgründungen	334
13.1	Pfahlarten und Herstellung	336
13.2	Einwirkungen, Tragwirkung, Widerstände	341
13.3	Widerstände von Bohrpfählen	351
13.4	Widerstände von Verdrängungspfählen	353
13.5	Pfahlwiderstände für verpresste Mikropfähle	357
13.6	Konstruktive Gesichtspunkte	358
14	Baugruben und Gräben	359
14.1	Baugruben und Gräben nach <i>DIN 4124</i>	360
14.2	Regelböschungen nach <i>DIN 4124</i>	363
14.3	Verbaute Gräben	365
14.4	Gesicherte Böschungen	367
14.5	Baugrubenverbauten	369
15	Böschungs- und Geländebruch	376
15.1	Kinematik und Bruchmechanismen	377
15.2	Zeitlicher Verlauf von Rutschungen	379
15.3	Einwirkungen und Widerstände	380
15.3.1	Einwirkungen	380
15.3.2	Widerstände	380
15.4	Berechnungsverfahren	381
15.4.1	Sicherheiten	381
15.4.2	Lamellenfreie Methode für Gleitkreise	383
15.4.3	Lamellenfreie Methode bei gerader Gleitlinie	384
15.4.4	Lamellenfreie Methode bei böschungspareller Gleitlinie	384
15.4.5	Bemessungsdiagramm für homogene Böschungen	386
15.4.6	Lamellenverfahren mit kreisförmigen Gleitlinien	386
15.4.7	Lamellenverfahren für böschungsparelle Gleitlinien	390
15.4.8	Verfahren für Bruchmechanismen mit geraden Gleitlinien	391

15.4.9	Variation der Bruchgeometrie	397
15.5	Wasserdrücke und äußere Kräfte	398
15.5.1	Wasserdrücke	398
15.5.2	Äußere Kräfte	400
15.6	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	404
15.7	Empfehlungen für Böschungsneigungen	404
15.8	Böschungssicherungsmethoden	405
15.8.1	Beispiele von Sicherungsmaßnahmen für Landverkehrswege	406
15.8.2	Ingenieurbiologische Bauweisen	407
15.8.3	Sicherung von Felsböschungen	411
16	Erddruck	415
16.1	Einfluss der Scherfestigkeit	416
16.2	Erddruck als Funktion der Wandbewegung	416
16.3	Neigungswinkel des Erddrucks	419
16.4	Größe und Verteilung des aktiven und passiven Erddrucks	420
16.4.1	Flächenbruch nach Rankine	420
16.4.2	Erddruck nach Coulomb	425
16.5	Erdwiderstand bei gekrümmten oder mehreren Gleitflächen	427
16.6	Grafische Erddruckermittlung	429
16.7	Geschichteter Baugrund	431
16.8	Ermittlung des Erddrucks für allgemeine Fälle nach <i>DIN 4085</i> ; Erddrucktabelle und Diagramme	432
16.8.1	Aktiver Erddruck - ebener Fall	433
16.8.2	Erdruhedruck	437
16.8.3	Erddruckbeiwerte für aktiven Erddruck und Erdruhedruck sowie Gleitflächenwinkel	439
16.8.4	Passiver Erddruck (Erdwiderstand), ebener Fall	439
16.8.5	Räumlicher Erddruck vor schmalen Druckflächen	446
16.8.5.1	Räumlicher aktiver Erddruck	446
16.8.5.2	Räumlicher passiver Erddruck	447
16.9	Teilmobilisierter Erdwiderstand	449
16.10	Zusatz-Erddruck infolge Verdichtung	450
16.11	Erddruck bei dynamischer Anregung	451
16.12	Erddruck infolge sackender Hinterfüllung und Silodruck	452
16.13	Erddruck infolge Hangbewegung	453
16.14	Ansatz des Erddrucks	455
17	Entwurf und Berechnung von Stützbauwerken	457
17.1	Entwurfshinweise	458
17.2	Regelwerke und Regeln	459
17.2.1	Nachweis der Grenzzustände	459

17.3	Stützmauern	460
17.3.1	Gewichtsmauern	460
17.3.2	Raumgittermauern	462
17.3.3	Bewehrte Bodensysteme	463
17.3.4	Winkelstützmauern	470
17.4	Stützwände	473
17.4.1	Einwirkungen aus Erddruck	474
17.4.2	Stützsysteme und Berechnungsverfahren	478
17.4.2.1	Einfach gestützte Wände	481
17.4.2.2	Eingespannte Wände	482
17.4.3	Aufgelöste Wände	484
17.4.4	Fangedamm	486
17.4.5	Verformungen	489
17.5	Einfluss von Wasser	496
17.5.1	Wasserüberdruck	497
17.5.2	Umströmung von Wänden	497
17.5.3	Hydraulischer Grundbruch	499
17.5.4	Dränanlagen	502
17.6	Aufbruch der Baugrubensohle	503
18	Verankerungen	505
18.1	Verpressanker	506
18.1.1	Herstellung	508
18.1.2	Ankertypen und Bezeichnungen.....	512
18.1.3	Korrosionsschutz	513
18.1.4	Stahl, Stahlzugfestigkeit	515
18.1.5	Kraftübertragung in den Baugrund	516
18.1.6	Prüfungen	519
18.1.7	Nachweise	523
18.1.8	Gegenseitige Beeinflussung, Ankerabstände, Vorspannung.....	526
18.2	Ankerwände und Ankerplatten.....	528
18.3	Länge und Lage von Ankern	529
18.3.1	Verankerung von Stützwänden	529
18.3.2	Verankerungen von anderen Bauwerken	531
19	Wechselwirkung Bauwerk – Baugrund	533
19.1	Modelle für die Wechselwirkung	534
19.2	Hinweise zur Gebrauchstauglichkeit	535
19.3	Berechnung der Wechselwirkung bei Flächengründungen.....	538
19.4	Bettungsmodulverfahren.....	543
19.4.1	Grundfälle	545
19.4.2	Unendlich langer Balken	546

19.4.3	Halbunendlich langer Balken	548
19.5	Stifemodulverfahren (Halbraumverfahren)	549
19.6	Einflüsse und Bewertung von Bettungsmodul- und Stifemodulverfahren	554
19.7	Einspannung im Baugrund	557
20	Entwurf und Berechnung von Gründungen auf Pfählen.....	562
20.1	Axial belastete Pfähle	563
20.1.1	Konstruktionshinweise	563
20.1.2	Berechnungsannahmen	564
20.1.3	Statische und kinematische Bestimmtheit bei Pfahlrosten	565
20.1.4	Statisch unbestimmte Pfahlroste	566
20.1.5	Sonderfälle von statisch unbestimmten Pfahlssystemen.....	570
20.2	Horizontal belastete Pfähle und Pfahlgruppen	573
20.3	Setzungen und Lastverteilungen bei Pfahlgruppen	576
20.4	Pfahl - Knicken.....	577
20.5	Kombinierte Pfahl-Plattengründung	579
21	Sicherung bestehender Bauwerke	587
21.1	Bauausführung gemäß <i>DIN 4123</i>	588
21.2	Unterfangung mit Verpressungen und dem Düsenstrahlverfahren.....	594
21.3	Unterfangungen mit Verbauten	596
21.4	Unterfangung mit Pfählen	597
21.5	Unterfahrungen	598
22	Bauen im Grundwasser	601
22.1	Grundwasseraussperrung	602
22.2	Grundwasserabsenkung	605
22.2.1	Absenkung durch Einzelfassung, ebener Fall.....	606
22.2.2	Absenkung durch Einzelfassung, axialsymmetrischer Fall	608
22.2.3	Durchlässigkeit	609
22.2.4	Reichweite	614
22.2.5	Brunnenergiebigkeit	615
22.2.6	GW-Absenkung durch mehrere Brunnen	615
22.2.7	Konstruktion eines Großbrunnens, Pumpen.....	617
22.3	Grundwasserversickerung	619
22.4	Grundwasserentspannung	620
22.5	Offene Grundwasserhaltung	622
22.6	Wasserhaltung neben einem Gewässer.....	623
22.7	Entwässerung feinkörniger Böden mit Kleinbrunnen und	625
22.8	Elektroosmose	625
22.9	Setzungsschäden durch GW-Absenkung	626
22.10	Trockenhaltung von Bauwerken und Umleitung von Grundwasser	626

23	Baugrunddynamik	628
23.1	Grundlagen	629
23.2	Wellenausbreitung im Untergrund	635
23.3	Messung von Schwingungen	639
23.4	Erschütterungseinwirkungen auf Menschen und Bauwerke	641
23.5	Dynamische Eigenschaften und Kennwerte von Böden	643
23.6	Dynamische Einwirkungen auf Gründungen	648
23.7	Erdbebensicheres Bauen	650
24	Anhang	659
24.1	Internationale geotechnische Klassifikation: <i>IGC</i>	659
24.2	Technisches Regelwerk: Normen, Empfehlungen	664
24.3	Regelwerke für den Erdbau	676
24.4	Bücher, Zeitschriften	679
24.5	Abkürzungen und Symbole, Nebenzeichen	682
24.6	Schichtenverzeichnis nach <i>DIN 4022-1</i>	692
	Literatur	695
	Sachverzeichnis	710