

1	Allgemeines	1
1.1	Aufgabengebiet der Geotechnik	1
1.2	Regelwerk	3
1.2.1	Verbindlichkeit von Baunormen	5
1.2.2	Bauvertragliche Regelungen	5
	Literatur	6
2	Baugrunderkundung, Geotechnischer Bericht	7
2.1	Begriffe und Definitionen	7
2.2	Pflicht zur Baugrunderkundung und Baugrundrisiko	9
2.3	Methoden der Baugrunderkundung	12
2.3.1	Aufschlussverfahren	18
2.3.2	Ziele und Umfang im Detail	22
2.3.3	Grundwassererkundung und -beobachtung	27
2.4	Labor- und Feldversuche	29
2.5	Geotechnischer Bericht	30
2.6	Kennwerte für Boden und Fels	30
2.7	Übersicht	33
	Literatur	35
3	Eigenschaften von Böden und Fels	37
3.1	Gesteine als Dreiphasenstoff	37
3.2	Mineralogische Grundlagen	40
3.3	Bestimmung von Bodeneigenschaften	43
3.3.1	Dichtebestimmung, Wichte	46
3.3.2	Wassergehalt	47
3.3.3	Korngrößenverteilung	48
3.3.4	Zustandsformen und -grenzen	52
3.3.5	Wasseraufnahme	59
3.3.6	Beimengungen	61
3.3.7	Dichte nichtbindiger Böden bei lockerster und dichtester Lagerung; Lagerungsdichte, Verdichtungsfähigkeit	62
		VII

3.4	Klassifizieren von Böden	66
3.4.1	Klassifizieren und Einteilen gemäß Regelwerken und Merkblättern	66
3.4.2	Bodenansprache nach ortsüblichen, geologischen Bezeichnungen	74
3.5	Eigenschaften von Fels	75
3.5.1	Klassifikation nach VOB/C	75
3.5.2	Klassifikation von Fels gemäß <i>DIN 14689</i>	76
3.5.3	Klassifikation und Kennwerte von Fels für den Hohlraumbau	79
3.6	Durchlässigkeit, Kapillarität, Filter und Filterregeln, Dränschichten	83
3.6.1	Durchlässigkeit	83
3.6.2	Kapillarität	88
3.6.3	Filter und Filterregeln, Dränschichten	88
3.7	Frosteinwirkungen, Frostepfindlichkeit von Böden	92
3.7.1	Ursachen und das Auftreten von Frosteinwirkungen	92
3.7.2	Schäden an Bauwerken	93
3.7.3	Frostkriterien und Frostepfindlichkeit	93
3.7.4	Frostauswirkung auf den Oberbau im Straßenbau	94
3.8	Bodenverdichtung	95
3.8.1	Proctorversuch	95
3.8.2	Dichtebestimmung im Feld	99
3.8.3	Indirekte Dichtebestimmungsmethoden	106
	Literatur	114
4	Formänderungs- und Festigkeitseigenschaften	117
4.1	Spannungen und Verformungen	117
4.1.1	Spannungsbegriff	118
4.1.2	Vorzeichenregelung am Volumenelement	119
4.1.3	Ebener Spannungszustand	119
4.1.4	Transformation des Spannungstensors	120
4.1.5	Hauptspannungen	122
4.1.6	<i>Mohrsche</i> Darstellung des Spannungszustands	122
4.1.7	<i>Mohrsche</i> Darstellung des ebenen Spannungszustands „Polkonstruktion“	123
4.1.8	Porenwasserdruck, totale und effektive Spannung	125
4.1.9	Verformungen und Verformungsmoduln	127
4.2	Zusammendrückbarkeit und Schwellung im Oedometerversuch	136
4.2.1	Einaxiale Konsolidation (Oedometerversuch)	136
4.2.2	Überkonsolidierte Böden	144
4.2.3	Zeitsetzung	145
4.3	Plattendruckversuch	156

4.4	Scherfestigkeit	159
4.4.1	Messung der Scherfestigkeit im Triaxialgerät	164
4.4.2	Messung der Scherfestigkeit im Direkten Scherversuch	166
4.4.3	Messung der Scherfestigkeit mit dem Einaxialen Druckversuch (Zylinderdruckversuch)	167
4.4.4	Messung der Scherfestigkeit mit der Flügelsonde	168
4.4.5	Randbedingungen in den Versuchen zur Bestimmung der Scherfestigkeit	169
4.4.6	Direkte Scher- und Triaxialversuche: spezielle Randbedingungen und Details zur Durchführung und Auswertung	172
4.4.7	Die Scherparameter φ und c	177
4.4.8	Scherverformungen und Dilatanzwinkel	178
4.4.9	Grenz- oder Bruchkriterien	180
4.4.10	Sensitivität	182
4.4.11	Erfahrungswerte für die Scherfestigkeit	182
4.5	Steifigkeit bei allgemeiner Beanspruchung	183
	Literatur	189
5	Erd- und Verkehrswegebau	193
5.1	Begriffe, Planungsgrundsätze und Geräte im Erdbau	193
5.2	Regelwerke und Baustoffe im Erdbau	197
5.3	Dämme und Einschnitte	198
5.4	Erdbautechnische Aspekte bei Verkehrswegeentwässerung	199
5.5	Abdichtungen im Erdbau	200
5.6	Anforderungen und Prüfungen	201
5.6.1	Anforderungen an die Kornverteilung	202
5.6.2	Anforderungen an die Verdichtung im Erdbau für den Straßenbau	203
5.6.3	Umfang und Methodik der Prüfungen im Erdbau gemäß <i>ZTVE-StB 17</i>	206
5.7	Bodenbehandlung im Erdbau	207
	Literatur	210
6	Methoden zur Baugrundverbesserung	213
6.1	Definitionen und Klassifikation der Verfahren	213
6.2	Statische Verdichtung und dränierende Verfahren	214
6.3	Verfestigung von Bodenkörpern	216
6.4	Verbesserung und Verfestigung im Erdbau	222
6.5	Verdichten in der Tiefe	223
6.6	Verdichten und Verdrängen	225
6.7	Stabilisierungssäulen	230

6.8	Bodenaustausch	230
	Literatur	232
7	Geokunststoffe	235
7.1	Begriffe, Regelwerke und weiterführende Literatur	235
7.2	Funktionen	236
7.3	Eigenschaften der Fertigprodukte	239
7.4	Ausgangsmaterialien und deren Eigenschaften	239
7.5	Auswahl und Planung	241
7.6	Einsatzbereiche und Funktion	242
7.7	Prüfungen und Produktangaben	246
	Literatur	249
8	Technische Regeln für Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau . . .	251
8.1	Grundlegende Sicherheitskonzepte	251
8.1.1	Probabilistische Sicherheitstheorie	253
8.1.2	Charakteristische Werte	254
8.2	DIN EN 1990: Grundlagen der Tragwerksplanung	255
8.3	Geotechnischer Entwurf gemäß DIN EN 1997-1 mit nationalem Anhang und DIN 1054	256
8.3.1	Inhaltliche Struktur der geotechnischen Normung	257
8.3.2	Geotechnische Kategorien	258
8.3.3	Bemessungssituationen und Dauerhaftigkeit	259
8.3.4	Einwirkungen	259
8.3.5	Charakteristische Werte für geotechnische Kenngrößen	260
8.3.6	Grenzzustände der Tragfähigkeit (ULS) und Grundsätze der Nachweisführung	261
8.3.7	Teilsicherheitsbeiwerte	263
8.4	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (SLS)	265
8.5	Sonstige Nachweisverfahren	265
	Literatur	266
9	Spannungen im Baugrund und Sohlspannungen	269
9.1	Spannungen infolge Bodeneigengewicht und unendlicher Flächenlasten	269
9.2	Spannungen infolge Lasten, allgemeine Hinweise	272
9.3	Senkrechte Einzellast	275
9.4	Horizontale Einzellast	276
9.5	Spannungen infolge vertikaler Flächenlast	277
9.5.1	Spannungen infolge gleichmäßiger Streifenlast	280
9.5.2	Vertikalspannung unter einer gleichmäßig belasteten Rechteckfläche	282

9.5.3	Vertikalspannung unter dem Eckpunkt einer gleichmäßig belasteten Rechteckfläche	282
9.5.4	Vertikalspannung unter der Kante einer Trapezlast	284
9.5.5	Vertikalspannung unter einer gleichmäßig belasteten Kreisfläche	286
9.5.6	Vertikalspannung unter einer ungleichmäßig belasteten Kreisfläche	286
9.6	Sohlspannung bei starrem Streifenfundament	289
	Literatur	290
10	Setzungen und andere Verformungen	293
10.1	Allgemeine Vorbetrachtungen	293
10.2	Setzungsermittlung mit Hilfe vertikaler Spannungen (indirekte Methode)	295
10.3	Setzungsermittlung mit Hilfe geschlossener Formeln (direkte Methode)	299
10.3.1	Setzungsberechnung für kennzeichnenden Punkt nach <i>Kany</i>	299
10.3.2	Setzungsberechnung bei außermittiger Last	301
10.4	Treffsicherheit von Setzungsprognosen	306
10.5	Zulässige Setzungen und Setzungsunterschiede	307
10.6	Konstruktive Setzungsbeeinflussung	308
10.7	Zeitlicher Verlauf der Setzungen	309
10.8	Andere Ursachen für Verformungen	311
	Literatur	312
11	Grenztragfähigkeit und weitere Stoffmodelle	315
11.1	Plastizität (Grenztragfähigkeit)	315
11.1.1	Allgemeine Aussagen	316
11.1.2	Grundlagen für die Berechnung der Grenztragfähigkeit	319
11.1.3	Berechnung der Grenztragfähigkeit	322
11.2	Elastisch-plastische Modelle	330
11.2.1	Cam-Clay-Modell	331
11.2.2	Weitere Modelle	335
	Literatur	336
12	Flach- und Flächengründungen	339
12.1	Begriffe	339
12.2	Hinweise für den Entwurf und die Bemessung	341
12.3	Nachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)	342
12.3.1	Stark exzentrische Belastung (Kippen)	343
12.3.2	Nachweis der Gleitsicherheit	343
12.3.3	Nachweis der Grundbruchsicherheit	346
12.3.4	Tragwerksversagen durch Fundamentbewegung	358

12.4	Nachweis für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) . . .	358
12.4.1	Setzungen	359
12.4.2	Fundamentverdrehung und Begrenzung einer klaffenden Fuge	359
12.4.3	Verschiebungen in der Sohlfläche	361
12.5	Vereinfachter Nachweis des Sohlwiderstands mit Tabellenwerten . . .	361
12.5.1	Nichtbindiger Boden	363
12.5.2	Bindiger Boden	365
12.5.3	Fels	367
12.6	Betonbemessung	368
	Literatur	369
13	Pfähle	371
13.1	Definitionen, Pfahlarten und Herstellung	371
13.1.1	Bohrpfähle	373
13.1.2	Verdrängungspfähle	377
13.1.3	Mikropfähle	379
13.1.4	Vor- und Nachteile der Pfahlarten	379
13.2	Tragverhalten von Pfählen	380
13.2.1	Einwirkungen und Beanspruchungen	383
13.2.2	Axiales Tragverhalten und Widerstände von Einzelpfählen . .	386
13.3	Axiale Pfahlprobelastungen	386
13.4	Axiale Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten	390
13.4.1	Widerstände von Bohrpfählen	392
13.4.2	Widerstände von Fertigrammpfählen	395
13.4.3	Widerstände von Mikropfählen	397
13.4.4	Erfahrungswerte für sonstige Pfähle	398
13.5	Konstruktive Gesichtspunkte	398
	Literatur	399
14	Bau unterirdischer Leitungen	401
14.1	Baugruben und Gräben nach DIN 4124	401
14.2	Verbaute Gräben	404
14.3	Grabenlose Verfahren für den Kanal- und Leitungsbau	405
	Literatur	410
15	Böschungen und Geländespünge – Gesamtstandsicherheit	411
15.1	Einführung, Begriffe	411
15.2	Kinematik und Bruchmechanismen	412
15.3	Einwirkungen und Widerstände	416
15.3.1	Einwirkungen	416
15.3.2	Widerstände	417

15.4	Berechnungsverfahren	417
15.4.1	Grenzzustand und Sicherheiten	418
15.4.2	Lamellenfreies Verfahren für Gleitkreise	420
15.4.3	Lamellenfreies Verfahren bei einer gerader Gleitlinie	421
15.4.4	Lamellenfreies Verfahren bei böschungparalleler Gleitlinie	423
15.4.5	Bemessungsdiagramm für Böschungen bei homogenen Böden	423
15.4.6	Lamellenverfahren mit kreisförmigen Gleitlinien	424
15.4.7	Lamellenverfahren für annähernd böschungparallele Gleitlinien	430
15.4.8	Verfahren für Bruchmechanismen mit mehreren geraden Gleitlinien	431
15.4.9	Variation der Bruchgeometrie	437
15.5	Wasserdrücke und äußere Kräfte	439
15.5.1	Wasserdrücke	439
15.5.2	Äußere Kräfte	441
15.6	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	445
15.7	Vorgaben und Empfehlungen für Böschungsneigungen	446
	Literatur	449
16	Erddruck	451
16.1	Begriffliche Definitionen und Einfluss der Scherfestigkeit	451
16.2	Erddruck als Funktion der Wandbewegung	453
16.3	Neigungswinkel des Erddrucks	456
16.4	Größe und Verteilung des aktiven und passiven Erddrucks	458
16.4.1	Flächenbruch nach Rankine	458
16.4.2	Erddruck nach Coulomb	463
16.5	Erdwiderstand bei gekrümmten oder mehreren Gleitflächen	464
16.6	Erddruckermittlung mit weiteren kinematischen Methoden	467
16.7	Geschichteter Baugrund	469
16.8	Ermittlung des Erddrucks für allgemeine Fälle nach <i>DIN 4085</i>	470
16.8.1	Aktiver Erddruck – ebener Fall	471
16.8.2	Erdruhedruck	475
16.8.3	Erddruckbeiwerte für aktiven Erddruck und Erdruhedruck sowie Gleitflächenwinkel	477
16.8.4	Passiver Erddruck (Erdwiderstand), ebener Fall	477
16.8.5	Räumlicher aktiver und passiver Erddruck	483
16.9	Teilmobilisierter Erdwiderstand	487
16.10	Zusatz-Erddruck infolge Verdichtung	489
16.11	Erddruck bei dynamischer Anregung	490
16.12	Erddruck infolge sackender Hinterfüllung und Silodruck	490
16.13	Erddruck infolge Hangbewegung	492

16.14	Erhöhter aktiver Erddruck	493
	Literatur	494
17	Entwurf und Berechnung von Stützbauwerken und Böschungssicherungen	497
17.1	Begriffe, Tragverhalten und Entwurfsprinzipien	497
17.2	Stützmauern	500
17.2.1	Massive Stützmauern	500
17.2.2	Raumgittermauern	503
17.2.3	Winkelstützmauern	503
17.3	Zusammengesetzte Stützkonstruktionen und Böschungssicherungen	505
17.3.1	Bewehrte Bodensysteme	506
17.3.2	Fangedamm	512
17.4	Stützwände	513
17.4.1	Bauweisen für Baugrubenverbauten	514
17.4.2	Berechnung von Stützwänden	520
17.4.3	Verformungen von Stützwänden	530
17.5	Dränanlagen für Stützkonstruktionen	534
17.6	Böschungssicherungsmethoden	536
17.6.1	Beispiele von Sicherungsmaßnahmen für den Verkehrswegebau	537
17.6.2	Ingenieurbiologische Bauweisen	539
17.6.3	Sicherung von Felsböschungen	541
	Literatur	543
18	Verankerungen	545
18.1	Wirkungsprinzip eines Ankers	545
18.2	Verpressanker	547
18.2.1	Herstellung	549
18.2.2	Ankertypen und Bezeichnungen	551
18.2.3	Korrosionsschutz	553
18.2.4	Stahl, Stahlzugfestigkeit	555
18.2.5	Kraftübertragung in den Baugrund	557
18.2.6	Prüfungen	560
18.2.7	Nachweise	565
18.2.8	Gegenseitige Beeinflussung, Ankerabstände, Vorspannung	567
18.3	Ankerwände und Ankerplatten	569
18.4	Länge und Lage von Ankern	570
18.4.1	Verankerung von Stützwänden	570
18.4.2	Weitere Formen und Anwendungen von Verankerungen	573
	Literatur	575

19 **Sonderfälle der Wechselwirkung Bauwerk – Baugrund** 577

19.1 Modelle für die Wechselwirkung 577

19.2 Hinweise zur Gebrauchstauglichkeit 580

19.3 Berechnung der Wechselwirkung bei Flächengründungen 583

19.4 Bettungsmodulverfahren 588

19.4.1 Grundfälle 590

19.4.2 Unendlich langer Balken 592

19.4.3 Halbunendlich langer Balken 593

19.5 Steifemodulverfahren (Halbraumverfahren) 595

19.6 Einflüsse und Bewertung von Bettungsmodul-
und Steifemodulverfahren 599

19.7 Einspannung im Baugrund bei seitlicher Stützung 603

Literatur 608

20 **Pfahlgründungen** 609

20.1 Pfahlroste mit schlanken Pfählen 609

20.1.1 Konstruktionshinweise 611

20.1.2 Berechnungsannahmen 611

20.1.3 Statische und kinematische Bestimmtheit bei Pfahlrosten . . . 612

20.1.4 Statisch unbestimmte Pfahlroste 615

20.1.5 Sonderfälle von statisch unbestimmten Pfahlssystemen 620

20.2 Biegesteife Pfahlssysteme 623

20.3 Setzungen und Lastverteilungen bei Pfahlgruppen 627

20.4 Pfahl-Knicken 629

20.5 Kombinierte Pfahl-Plattengründung 631

Literatur 638

21 **Sicherung bestehender Bauwerke** 641

21.1 Unterfangungen und Bauausführung gemäß *DIN 4123* 641

21.2 Unterfangung mit Injektionen bzw. dem Düsenstrahlverfahren 649

21.3 Unterfangungen mit Verbauten 650

21.4 Unterfangung mit Pfählen 651

21.5 Unterfahrungen 653

Literatur 654

22 **Bauen im Grundwasser** 655

22.1 Allgemeine Vorbetrachtungen 655

22.2 Ebene stationäre Grundwasserströmung 657

22.3 Einfluss des Grundwassers bei der Bemessung 665

22.4 Grundwasseraussperrung 668

22.4.1 Voll ausgesperrtes Grundwasser 668

22.4.2 Teilweise ausgesperrtes Grundwasser (bei Stützwänden) . . . 674

22.5 Grundwasserhaltung 681

22.5.1 Grundwasserabsenkung 681

22.5.2 Grundwasserrückführung (Versickerung) 691

22.5.3 Grundwasserentspannung 692

22.5.4 Offene Grundwasserhaltung 695

22.5.5 Grundwasserhaltung neben einem Gewässer 696

22.5.6 Entwässerung feinkörniger Böden mit Kleinbrunnen
und Unterdruck 696

22.5.7 Elektroosmose 697

22.5.8 Setzungen durch GW-Absenkung 698

22.6 Feldversuche zur Bestimmung der Durchlässigkeit 698

Literatur 704

23 Baugrunderdynamik 707

23.1 Kontext und Grundlagen 707

23.2 Wellenausbreitung im Untergrund 716

23.3 Messung von Schwingungen 720

23.4 Erschütterungseinwirkungen auf Menschen und Bauwerke 722

23.5 Dynamische Eigenschaften und Kennwerte von Böden 724

23.6 Dynamische Einwirkungen auf Gründungen 730

23.7 Erdbebensicheres Bauen 732

Literatur 740

Regelwerk und Fachliteratur 743

Bezeichnungen 745

Stichwortverzeichnis 757