

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Allgemeines</b>	<b>1</b>
1.1	Aufgabengebiet der Geotechnik	1
1.2	Regelwerk	3
<b>2</b>	<b>Baugrunderkundung, Geotechnischer Bericht</b>	<b>7</b>
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
<b>3</b>	<b>Eigenschaften von Böden und Fels</b>	<b>33</b>
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, Frostempfindlichkeit 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 Frostempfindlichkeit . . . . .	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	<b>Formänderungs- und Festigkeitseigenschaften . . . . .</b>	<b>109</b>
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 $\phi$ 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
<b>5</b>	<b>Erd- und Verkehrswegebau . . . . .</b>	<b>177</b>
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
<b>6</b>	<b>Verbesserung und Verfestigung von Böden als Baustoff und Baugrund . . . .</b>	<b>193</b>
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
<b>7</b>	<b>Geokunststoffe . . . . .</b>	<b>215</b>
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

<b>8</b>	<b>Technische Regeln für Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau</b>	<b>231</b>
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
<b>9</b>	<b>Spannungsberechnungen im Baugrund, Sohlspannungen</b>	<b>249</b>
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
<b>10</b>	<b>Setzungen und andere Verformungen</b>	<b>269</b>
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 nach <i>Kany</i> . .	274
10.2.2	Setzungsberechnung bei außermittiger Last . . . . .	277
10.3	Treffericherheit 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	<b>Grenztragfähigkeit und Stoffmodelle</b> . . . . .	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	<b>Flach- und Flächengründungen</b> . . . . .	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	<b>Pfähle</b> . . . . .	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 . . . . .	348

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
<b>14</b>	<b>Baugruben und Gräben . . . . .</b>	<b>369</b>
14.1	Baugruben und Gräben nach DIN 4124 . . . . .	371
14.2	Regelböschungen nach DIN 4124 . . . . .	374
14.3	Verbaute Gräben . . . . .	376
14.4	Gesicherte Böschungen . . . . .	377
14.5	Baugrubenverbauten . . . . .	380
<b>15</b>	<b>Böschungen und Geländesprünge – Gesamtstandsicherheit . . . . .</b>	<b>389</b>
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
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 böschungsparelle 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	Ingenieurbioologische Bauweisen . . . . .	426
15.8.3	Sicherung von Felsböschungen . . . . .	431

<b>16</b>	<b>Erddruck</b>	<b>433</b>
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
<b>17</b>	<b>Entwurf und Berechnung von Stützbauwerken</b>	<b>477</b>
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
<b>18</b>	<b>Verankerungen . . . . .</b>	<b>523</b>
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
<b>19</b>	<b>Wechselwirkung Bauwerk – Baugrund . . . . .</b>	<b>555</b>
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
<b>20</b>	<b>Pfahlgründungen . . . . .</b>	<b>587</b>
20.1	Axial belastete Pfähle . . . . .	589
20.1.1	Konstruktionshinweise . . . . .	589
20.1.2	Berechnungsannahmen . . . . .	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



<b>21</b>	<b>Sicherung bestehender Bauwerke</b>	<b>617</b>
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
<b>22</b>	<b>Bauen im Grundwasser</b>	<b>635</b>
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	Elektroosmose	676
22.4.8	Setzungen durch GW-Absenkung	677
22.5	Feldversuche zur Bestimmung der Durchlässigkeit	677
<b>23</b>	<b>Baugrunderdynamik</b>	<b>685</b>
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
<b>Anhang</b>		<b>717</b>
	Technisches Regelwerk: Normen, Empfehlungen	717
	Regelwerke für den Erdbau	731
	Bücher, Zeitschriften	734
	Abkürzungen und Symbole, Nebenzeichen	736
<b>Literatur</b>		<b>749</b>
<b>Sachverzeichnis</b>		<b>767</b>