

<b>Vorwort</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Allgemeines</b> .....	<b>15</b>
1.1 Aufgabengebiet der Geotechnik .....	15
1.2 Regelwerk .....	17
<b>2 Baugrunderkundung, Geotechnischer Bericht</b> .....	<b>20</b>
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
<b>3 Eigenschaften von Böden und Fels</b> .....	<b>45</b>
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
<b>4</b>	<b>Formänderungs- und Festigkeitseigenschaften .....</b>	<b>121</b>
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 $\varphi$ 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
<b>5</b>	<b>Erd- und Verkehrswegebau .....</b>	<b>180</b>
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
<b>6</b>	<b>Verbesserung und Verfestigung von Böden als Baustoff und Bau- grund .....</b>	<b>195</b>
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
<b>7</b>	<b>Geokunststoffe .....</b>	<b>215</b>
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
<b>8</b>	<b>Geotechnischer Entwurf von Erd- und Grundbauwerken .....</b>	<b>227</b>
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 $\gamma$ -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
<b>9</b>	<b>Spannungsberechnungen im Baugrund, Sohlspannungen</b> .....	<b>255</b>
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
<b>10</b>	<b>Setzungen und andere Verformungen</b> .....	<b>272</b>
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
<b>11</b>	<b>Grenztragfähigkeit und Stoffmodelle</b> .....	<b>289</b>
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

<b>12</b>	<b>Flach- und Flächengründungen</b> .....	<b>309</b>
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
<b>13</b>	<b>Pfahlgründungen</b> .....	<b>334</b>
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
<b>14</b>	<b>Baugruben und Gräben</b> .....	<b>359</b>
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
<b>15</b>	<b>Böschungs- und Geländebruch</b> .....	<b>376</b>
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
<b>16</b>	<b>Erddruck</b> .....	<b>415</b>
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
<b>17</b>	<b>Entwurf und Berechnung von Stützbauwerken</b> .....	<b>457</b>
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
<b>18</b>	<b>Verankerungen.....</b>	<b>505</b>
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
<b>19</b>	<b>Wechselwirkung Bauwerk – Baugrund .....</b>	<b>533</b>
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
<b>20</b>	<b>Entwurf und Berechnung von Gründungen auf Pfählen.....</b>	<b>562</b>
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
<b>21</b>	<b>Sicherung bestehender Bauwerke .....</b>	<b>587</b>
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
<b>22</b>	<b>Bauen im Grundwasser .....</b>	<b>601</b>
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



---

<b>23</b>	<b>Baugrunddynamik .....</b>	<b>628</b>
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
<b>24</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>659</b>
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