

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 | 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 | 35 |
| 3.3 | Bestimmung von Bodeneigenschaften | 38 |
| 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 | 55 |
| 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 und Einteilen gemäß Regelwerken und Merkblättern | 62 |

| | | | |
|----------|-------|---|------------|
| | 3.4.2 | Bodenansprache nach ortsüblichen, geologischen Bezeichnungen | 70 |
| 3.5 | | Eigenschaften von Fels | 71 |
| | 3.5.1 | Klassifikation nach VOB/C | 72 |
| | 3.5.2 | Klassifikation von Fels für den Straßenbau | 72 |
| | 3.5.3 | Klassifikation und Kennwerte von Fels für den Fels- und Hohlraumbau | 76 |
| 3.6 | | Durchlässigkeit, Kapillarität, Filter und Filterregeln, Dränschichten | 78 |
| | 3.6.1 | Durchlässigkeit | 79 |
| | 3.6.2 | Kapillarität | 82 |
| | 3.6.3 | Filter und Filterregeln, Dränschichten | 83 |
| 3.7 | | Frosteinwirkungen, Frostempfindlichkeit von Böden | 87 |
| | 3.7.1 | Ursachen und das Auftreten von Frosteinwirkungen | 87 |
| | 3.7.2 | Schäden an Bauwerken | 87 |
| | 3.7.3 | Frostkriterien und Frostempfindlichkeit | 88 |
| | 3.7.4 | Frostauswirkung auf den Oberbau im Straßenbau | 88 |
| 3.8 | | Bodenverdichtung | 89 |
| | 3.8.1 | Proctorversuch | 90 |
| | 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 | 115 |
| | | 4.1.9 Verformungen und Verformungsmoduln | 117 |
| | 4.2 | Zusammendrückbarkeit und Schwellung im Oedometerversuch | 126 |
| | | 4.2.1 Einaxiale Konsolidation (Oedometerversuch) | 126 |
| | | 4.2.2 Überkonsolidierte Böden | 132 |
| | | 4.2.3 Zeitsetzung | 134 |
| | 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) | 154 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.4.3 | Messung der Scherfestigkeit mit dem Einaxialen Druckversuch (Zylinderdruckversuch) | 155 |
| 4.4.4 | Messung der Scherfestigkeit mit der Flügelsonde | 155 |
| 4.4.5 | Randbedingungen in den Versuchen zur Bestimmung der Scherfestigkeit | 156 |
| 4.4.6 | Scherversuche und Auswertung | 159 |
| 4.4.7 | Die Scherparameter φ und c | 164 |
| 4.4.8 | Scherverformungen und Dilatanzwinkel | 165 |
| 4.4.9 | Bruchkriterien | 168 |
| 4.4.10 | Sensitivität | 169 |
| 4.4.11 | Scherfestigkeitswerte | 169 |
| 4.5 | Steifigkeit | 170 |
| 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 | 204 |
| 6.5 | Verdichten und Verdrängen | 207 |
| 6.6 | Stabilisierungssäulen | 212 |
| 6.7 | Bodenaustausch | 212 |
| 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 | 238 |
| 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 (SLS) | 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 | 264 |
| 9.5.5 | Vertikalspannung unter einer gleichmäßig belasteten Kreisfläche | 265 |
| 9.5.6 | Vertikalspannung unter einer ungleichmäßig belasteten Kreisfläche | 265 |
| 9.6 | Sohlspannung bei starrem Streifenfundament | 268 |
| 10 | Setzungen und andere Verformungen | 271 |
| 10.1 | Setzungsermittlung mit Hilfe vertikaler Spannungen (indirekte Methode) | 273 |
| 10.2 | Setzungsermittlung mit Hilfe geschlossener Formeln (direkte Methode) | 276 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 10.2.1 | Setzungsberechnung für kennzeichnenden Punkt nach <i>Kany</i> . | 276 |
| 10.2.2 | Setzungsberechnung bei außermittiger Last | 278 |
| 10.3 | Treffsicherheit von Setzungsprognosen | 283 |
| 10.4 | Zulässige Setzungen und Setzungsunterschiede | 284 |
| 10.5 | Konstruktive Setzungsbeeinflussung | 285 |
| 10.6 | Zeitlicher Verlauf der Setzungen | 286 |
| 10.7 | Andere Ursachen für Verformungen | 288 |
| 11 | Grenztragfähigkeit und Stoffmodelle | 289 |
| 11.1 | Plastizität (Grenztragfähigkeit) | 289 |
| 11.1.1 | Allgemeine Aussagen | 290 |
| 11.1.2 | Grundlagen für die Berechnung der Grenztragfähigkeit | 292 |
| 11.1.3 | Berechnung der Grenztragfähigkeit | 296 |
| 11.2 | Elastisch-plastische Modelle | 303 |
| 11.2.1 | Cam-Clay-Modell | 304 |
| 11.2.2 | Weitere Modelle | 309 |
| 12 | Flach- und Flächengründungen | 311 |
| 12.1 | Begriffe | 311 |
| 12.2 | Hinweise für den Entwurf und die Bemessung | 312 |
| 12.3 | Nachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) | 314 |
| 12.3.1 | Stark exzentrische Belastung (Kippen) | 314 |
| 12.3.2 | Nachweis der Gleitsicherheit | 315 |
| 12.3.3 | Nachweis der Grundbruchsicherheit | 317 |
| 12.3.4 | Tragwerksversagen durch Fundamentbewegung | 330 |
| 12.4 | Nachweis für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) | 330 |
| 12.4.1 | Setzungen | 331 |
| 12.4.2 | Fundamentverdrehung und Begrenzung einer klaffenden Fuge | 332 |
| 12.4.3 | Verschiebungen in der Sohlfläche | 333 |
| 12.5 | Vereinfachter Nachweis des Sohlwiderstands mit Tabellenwerten | 334 |
| 12.5.1 | Nichtbindiger Boden | 335 |
| 12.5.2 | Bindiger Boden | 338 |
| 12.5.3 | Fels | 338 |
| 12.6 | Betonbemessung | 341 |
| 13 | Pfähle | 343 |
| 13.1 | Pfahlarten und Herstellung | 347 |
| 13.1.1 | Bohrpfähle | 349 |
| 13.1.2 | Verdrängungspfähle | 351 |
| 13.1.3 | Mikropfähle | 353 |
| 13.1.4 | Vor- und Nachteile der Pfahlarten | 354 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 13.2 | Tragverhalten von Pfählen | 354 |
| 13.2.1 | Einwirkungen und Beanspruchungen | 357 |
| 13.2.2 | Axiales Tragverhalten und Widerstände von Einzelpfählen | 359 |
| 13.3 | Axiale Pfahlprobelastungen | 360 |
| 13.4 | Axiale Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten | 364 |
| 13.4.1 | Widerstände von Bohrpfählen | 365 |
| 13.4.2 | Widerstände von Fertigrammpfählen | 369 |
| 13.4.3 | Widerstände von Mikropfählen | 370 |
| 13.4.4 | Erfahrungswerte für sonstige Pfähle | 370 |
| 13.5 | Konstruktive Gesichtspunkte | 372 |
| 14 | Baugruben und Gräben | 375 |
| 14.1 | Baugruben und Gräben nach DIN 4124 | 377 |
| 14.2 | Regelböschungen nach DIN 4124 | 380 |
| 14.3 | Verbaute Gräben | 382 |
| 14.4 | Gesicherte Böschungen | 383 |
| 14.5 | Baugrubenverbauten | 386 |
| 15 | Böschungen und Geländesprünge – Gesamtstandsicherheit | 395 |
| 15.1 | Kinematik und Bruchmechanismen | 396 |
| 15.2 | Zeitlicher Verlauf von Rutschungen | 399 |
| 15.3 | Einwirkungen und Widerstände | 400 |
| 15.3.1 | Einwirkungen | 400 |
| 15.3.2 | Widerstände | 400 |
| 15.4 | Berechnungsverfahren | 401 |
| 15.4.1 | Grenzzustand und Sicherheiten | 401 |
| 15.4.2 | Lamellenfreie Methode für Gleitkreis | 403 |
| 15.4.3 | Lamellenfreie Methode bei gerader Gleitlinie | 404 |
| 15.4.4 | Lamellenfreie Methode bei böschungparalleler Gleitlinie | 406 |
| 15.4.5 | Bemessungsdiagramm für homogene Böschungen | 407 |
| 15.4.6 | Lamellenverfahren mit kreisförmigen Gleitlinien | 408 |
| 15.4.7 | Lamellenverfahren für annähernd böschungsparallele Gleitlinien | 412 |
| 15.4.8 | Verfahren für Bruchmechanismen mit geraden Gleitlinien | 412 |
| 15.4.9 | Variation der Bruchgeometrie | 418 |
| 15.5 | Wasserdrücke und äußere Kräfte | 420 |
| 15.5.1 | Wasserdrücke | 420 |
| 15.5.2 | Äußere Kräfte | 422 |
| 15.6 | Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit | 426 |
| 15.7 | Empfehlungen für Böschungsneigungen | 427 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 15.8 | Böschungssicherungsmethoden | 428 |
| 15.8.1 | Beispiele von Sicherungsmaßnahmen für Landverkehrswege | 429 |
| 15.8.2 | Ingenieurbiologische Bauweisen | 432 |
| 15.8.3 | Sicherung von Felsböschungen | 436 |
| 16 | Erddruck | 439 |
| 16.1 | Einfluss der Scherfestigkeit | 440 |
| 16.2 | Erddruck als Funktion der Wandbewegung | 441 |
| 16.3 | Neigungswinkel des Erddrucks | 444 |
| 16.4 | Größe und Verteilung des aktiven und passiven Erddrucks | 445 |
| 16.4.1 | Flächenbruch nach Rankine | 445 |
| 16.4.2 | Erddruck nach Coulomb | 450 |
| 16.5 | Erdwiderstand bei gekrümmten oder mehreren Gleitflächen | 452 |
| 16.6 | Erddruckermittlung mit kinematischen Methoden | 454 |
| 16.7 | Geschichteter Baugrund | 456 |
| 16.8 | Ermittlung des Erddrucks für allgemeine Fälle nach DIN 4085; Erddrucktabelle und Diagramme | 458 |
| 16.8.1 | Aktiver Erddruck – ebener Fall | 458 |
| 16.8.2 | Erdruhedruck | 463 |
| 16.8.3 | Erddruckbeiwerte für aktiven Erddruck und Erdruhedruck sowie Gleitflächenwinkel | 466 |
| 16.8.4 | Passiver Erddruck (Erdwiderstand), ebener Fall | 466 |
| 16.8.5 | Räumlicher Erddruck vor schmalen Druckflächen | 472 |
| 16.9 | Teilmobilisierter Erdwiderstand | 475 |
| 16.10 | Zusatz-Erddruck infolge Verdichtung | 477 |
| 16.11 | Erddruck bei dynamischer Anregung | 478 |
| 16.12 | Erddruck infolge sackender Hinterfüllung und Silodruck | 478 |
| 16.13 | Erddruck infolge Hangbewegung | 480 |
| 16.14 | Ansatz des Erddrucks | 481 |
| 17 | Entwurf und Berechnung von Stützbauwerken | 483 |
| 17.1 | Entwurfshinweise | 485 |
| 17.2 | Regelwerke und Geotechnische Kategorien | 486 |
| 17.3 | Nachweis der Grenzzustände | 486 |
| 17.4 | Einwirkungen aus Erddruck | 487 |
| 17.5 | Stützmauern und zusammengesetzte Konstruktionen | 491 |
| 17.5.1 | Massive Stützmauern | 491 |
| 17.5.2 | Raumgittermauern | 493 |
| 17.5.3 | Bewehrte Bodensysteme | 494 |
| 17.5.4 | Winkelstützmauern | 502 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 17.6 | Stützwände | 505 |
| 17.6.1 | Stützsysteme und Berechnungsverfahren | 506 |
| 17.6.2 | Nachweise nach DIN EN 1997-1 mit DIN 1054 und EAU sowie EAB | 509 |
| 17.6.3 | Aufgelöste Wände | 513 |
| 17.6.4 | Fangedamm | 515 |
| 17.7 | Verformungen | 518 |
| 17.8 | Dränanlagen | 526 |
| 17.9 | Baugruben in weichen Böden | 528 |
| 18 | Verankerungen | 529 |
| 18.1 | Verpressanker | 531 |
| 18.1.1 | Herstellung | 532 |
| 18.1.2 | Ankertypen und Bezeichnungen | 537 |
| 18.1.3 | Korrosionsschutz | 538 |
| 18.1.4 | Stahl, Stahlzugfestigkeit | 540 |
| 18.1.5 | Kraftübertragung in den Baugrund | 541 |
| 18.1.6 | Prüfungen | 544 |
| 18.1.7 | Nachweise | 549 |
| 18.1.8 | Gegenseitige Beeinflussung, Ankerabstände, Vorspannung | 552 |
| 18.2 | Ankerwände und Ankerplatten | 553 |
| 18.3 | Länge und Lage von Ankern | 555 |
| 18.3.1 | Verankerung von Stützwänden | 555 |
| 18.3.2 | Verankerungen von anderen Bauwerken | 558 |
| 19 | Wechselwirkung Bauwerk – Baugrund | 561 |
| 19.1 | Modelle für die Wechselwirkung | 562 |
| 19.2 | Hinweise zur Gebrauchstauglichkeit | 563 |
| 19.3 | Berechnung der Wechselwirkung bei Flächengründungen | 566 |
| 19.4 | Bettungsmodulverfahren | 571 |
| 19.4.1 | Grundfälle | 574 |
| 19.4.2 | Unendlich langer Balken | 575 |
| 19.4.3 | Halbunendlich langer Balken | 577 |
| 19.5 | Stifemodulverfahren (Halbraumverfahren) | 579 |
| 19.6 | Einflüsse und Bewertung von Bettungsmodul- und Stifemodulverfahren | 583 |
| 19.7 | Einspannung im Baugrund bei seitlicher Stützung | 586 |
| 20 | Pfahlgründungen | 593 |
| 20.1 | Axial belastete Pfähle | 597 |
| 20.1.1 | Konstruktionshinweise | 597 |
| 20.1.2 | Berechnungsannahmen | 598 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 20.1.3 | Statische und kinematische Bestimmtheit bei Pfahlrosten . . . | 599 |
| 20.1.4 | Statisch unbestimmte Pfahlroste | 602 |
| 20.1.5 | Sonderfälle von statisch unbestimmten Pfahlsystemen | 606 |
| 20.2 | Horizontal belastete Pfähle und Pfahlgruppen | 610 |
| 20.3 | Setzungen und Lastverteilungen bei Pfahlgruppen | 613 |
| 20.4 | Pfahl-Knicken | 615 |
| 20.5 | Kombinierte Pfahl-Plattengründung | 617 |
| 21 | Sicherung bestehender Bauwerke | 625 |
| 21.1 | Bauausführung gemäß DIN 4123 | 626 |
| 21.2 | Unterfangung mit Injektionen bzw. dem Düsenstrahlverfahren | 633 |
| 21.3 | Unterfangungen mit Verbauten | 635 |
| 21.4 | Unterfangung mit Pfählen | 637 |
| 21.5 | Unterfahrungen | 638 |
| 22 | Bauen im Grundwasser | 643 |
| 22.1 | Ebene stationäre Grundwasserströmung | 644 |
| 22.2 | Einfluss des Grundwassers bei der Bemessung | 653 |
| 22.3 | Grundwasseraussperrung | 656 |
| 22.3.1 | Voll ausgesperrtes Grundwasser | 656 |
| 22.3.2 | Teilweise ausgesperrtes Grundwasser (bei Stützwänden) | 662 |
| 22.4 | Grundwasserhaltung | 668 |
| 22.4.1 | Grundwasserabsenkung | 668 |
| 22.4.2 | Grundwasserrückführung (Versickerung) | 679 |
| 22.4.3 | Grundwasserentspannung | 680 |
| 22.4.4 | Offene Grundwasserhaltung | 682 |
| 22.4.5 | Grundwasserhaltung neben einem Gewässer | 683 |
| 22.4.6 | Entwässerung feinkörniger Böden mit Kleinbrunnen und Unterdruck | 683 |
| 22.4.7 | Elektrosmose | 685 |
| 22.4.8 | Setzungen durch GW-Absenkung | 685 |
| 22.5 | Feldversuche zur Bestimmung der Durchlässigkeit | 686 |
| 23 | Baugrunddynamik | 693 |
| 23.1 | Grundlagen | 694 |
| 23.2 | Wellenausbreitung im Untergrund | 704 |
| 23.3 | Messung von Schwingungen | 708 |
| 23.4 | Erschütterungseinwirkungen auf Menschen und Bauwerke | 710 |
| 23.5 | Dynamische Eigenschaften und Kennwerte von Böden | 712 |
| 23.6 | Dynamische Einwirkungen auf Gründungen | 717 |
| 23.7 | Erdbebensicheres Bauen | 719 |

| | |
|---|-----|
| Anhang | 729 |
| Technisches Regelwerk: Normen, Empfehlungen | 729 |
| Regelwerke für den Erdbau | 741 |
| Bücher, Zeitschriften | 744 |
| Abkürzungen und Symbole, Nebenzeichen | 747 |
| Literatur | 759 |
| Sachverzeichnis | 773 |