Inhalt

1 Einleitung 1

1.1 Aufgabenstellung der Ingenieurgeologie 1
1.2 Verbindlichkeit von Normen und Richtlinien, Baugrundrisiko 2
1.3 Formelzeichen, Einheiten 3

2 Boden- und felsmechanische Kennwerte, ihre Ermittlung und Bedeutung 5

2.1 Korngröße, Kornverteilung . . . 6
2.1.1 Siebanalyse 6
2.1.2 Sedimentationsanalyse 6
2.1.3 Sieb- und Sedimentationsanalyse 7
2.1.4 Darstellung und Beschreibung der Kornfraktionen 7
2.1.5 Körnungen als Handelsbegriff . . 9
2.1.6 Filtermaterial für Dränmaßnahmen und für Brunnen 10
2.1.7 Aufbau und Eigenschaften der Tonminerale 12

2.2 Kalkgehalt, organische und andere Beimengungen 15
2.2.1 Kalkgehalt (V_{ca}) 15
2.2.2 Organische Bestandteile (V_{gl}) . . 16
2.2.3 Schwefelverbindungen 16

2.3 Das Drei-Stoff-System Boden und Fels 16
2.3.1 Wassergehalt (w), Sättigungszahl (S_r), Wasseraufnahmevermögen . . . 16
2.3.2 Korndichte (ϱ_s) 18
2.3.3 Dichte (ϱ) und Wichte (γ) 18
2.3.4 Porenanteil (n) und Porenzahl (e) 20

2.4 Lagerungsdichte 21
2.4.1 Lagerungsdichte nichtbindiger Lockergesteine 21
2.4.2 Lagerungsdichte bindiger Lockergesteine, Proctorversuch 22

2.5 Zustandsform, Konsistenzgrenzen 23

2.6 Verformungsverhalten, Druck- und Zugfestigkeit 27
2.6.1 Wirkung des Wassers, Porenwasserdruck 27
2.6.2 Spannungs-Verformungs-Beziehungen 28
2.6.3 KD-Versuch, Steifemodul (E_s), Zeitsetzungsverhalten 30
2.6.4 Verformungsmodul (E_v) und Bettungsmodul (K_s) aus dem Plattendruckversuch 33
2.6.5 Verformungsmodul (E_v) aus Bohrlochaufweitungsversuchen . 34
2.6.6 Diskussion der Verformungsmoduln des Gebirges 34
2.6.7 Primärspannungszustand 35
2.6.8 Druckfestigkeit, Zugfestigkeit, Sprödigkeit 40
2.6.9 Volumenzunahme durch Quellen 46

2.7 Scherfestigkeit 47
2.7.1 Scherversuch mit vorgegebener Scherfläche 49
2.7.2 Dreiaxialer Druckversuch 50
2.7.3 Großscherversuche 53
2.7.4 Diskussion der Scherfestigkeitsparameter (φ, c) 55

2.8 Durchlässigkeit 59
2.8.1 Durchlässigkeit von Lockergesteinen 59
2.8.2 Durchlässigkeit von Fels 61
2.8.3 Laborversuche zur Ermittlung des k-Wertes 63
2.8.4 Feldversuche zur Ermittlung des k-Wertes 65
2.8.5 Durchlässigkeitsbeiwerte 72
2.8.6 Fließ- bzw. Abstandsgeschwindigkeit 74
2.8.7 Kapillarwasser, kapillare Steighöhe (h_K) 75

3 Beschreibung und Klassifikation von Boden und Fels für bautechnische Zwecke 77

3.1 Gruppeneinteilung der Böden nach DIN 18196 77
3.1.1 Grobkörnige Böden 77
3.1.2 Gemischtkörnige Böden 77
3.1.3 Feinkörnige Böden 77
3.1.4 Organogene Böden 77
3.1.5 Aufgefüllte Bodenarten 78

3.2 Beschreibung von Gestein bzw. Fels 78
3.2.1 Gesteinsbeschreibung für bautechnische Zwecke 78
3.2.2 Trennflächen und ihre Bedeutung 80
3.2.3 Einteilung und Entstehung der Klüfte 81
3.2.4 Aufnahme und Beschreibung von Trennflächen 84
3.2.5 Darstellung des Trennflächengefüges 87
3.2.6 Ausbildung und bruchmechanische Deutung von tektonischen Störungszonen . . . 88
3.2.7 Plastische Gesteins- und Gebirgsdeformation 90

3.3 Bodenklassen nach DIN 18300 . 91

4 Aufschlußarbeiten 93

4.1 Vorerkundung 93
4.1.1 Geologische und ingenieurgeologische Karten . . 93
4.1.2 Erdbebengefährdung 94
4.1.3 Rezente tektonische Spannungen und Deformationen 96

4.2 Indirekte Aufschlußmethoden . 98
4.2.1 Projektkartierungen, Luftbildauswertung 98
4.2.2 Geophysikalische Feldmethoden 98

4.3 Direkte Aufschlußmethoden . . 100
4.3.1 Zu beachtende gesetzliche Vorschriften 100
4.3.2 Art und Umfang der Baugrunderkundung 101
4.3.3 Einteilung der Bodenproben . . 101
4.3.4 Schürfe, Untersuchungsschächte und -stollen 102
4.3.5 Bohrungen 103
4.3.5.1 Kernbohrungen 104
4.3.5.2 Rammkernbohrungen 108
4.3.5.3 Drehbohrungen 108
4.3.5.4 Greiferbohrungen 108
4.3.5.5 Schlagbohrungen 108
4.3.5.6 Spülbohrungen 108
4.3.5.7 Kleinbohrungen 108

4.3.6 Sondierungen 109
4.3.6.1 Rammsondierungen 109
4.3.6.2 Drucksondierungen 111
4.3.6.3 Flügelsondierungen 113
4.3.6.4 Seitendrucksonde 114

4.4 Aufnahme von Aufschlüssen (Schichtenverzeichnisse) 114

4.4.1 Aufnahme von Schürfen 114
4.4.2 Aufnahme von Bohrungen im Lockergestein 114
4.4.3 Aufnahme von Bohrungen im Fels 116
4.4.4 Erfassen der Grundwasserverhältnisse 117
4.4.5 Darstellung der Boden- und Felsarten 122

4.5 Auschreibung von Bohrarbeiten 122

4.6 Bohrlochmessungen 124

4.6.1 Optische Bohrlochsondierungen 124
4.6.2 Bohrlochneigungsmessungen . . 124
4.6.3 Geophysikalische Bohrlochmessungen 124

5 Einführung in die Berechnungsverfahren für Flächengründungen und Standsicherheit von Böschungen 126

5.1 Spannungsverteilung in Gründungssohle 127

5.1.1 Mittige und außermittige Belastung von starren Einzelfundamenten 127
5.1.2 Linien- und Einzellasten auf Streifenfundamenten 128
5.1.3 Bettungsmodul- und Steifemodulverfahren 129

5.2 Gleitsicherheit, Kippsicherheit, Auftrieb 129

5.2.1 Ermittlung der Gleitsicherheit . 129
5.2.2 Kippsicherheit 130
5.2.3 Sicherheit gegen Auftrieb 130

5.3 Grundbruchsicherheit 130

5.3.1 Berechnungsverfahren bei lotrechten und mittigen Lasten . 131
5.3.2 Berechnungsverfahren bei schrägen und außermittigen Lasten 132

5.4 Spannungsverteilung im Baugrund 132

5.4.1 Theorie der Spannungsverteilung 132
5.4.2 Berechnung der Spannungsverteilung 133

5.5 Setzungsberechnung 134

5.5.1 Grundgleichung der Setzungsberechnung 134
5.5.2 Setzungsberechnung bei gleichmäßiger Sohlspannungsverteilung 134
5.5.3 Setzungsberechnung bei trapez- oder dreieckförmiger Sohlspannungsverteilung 135
5.5.4 Setzungsberechnung bei kreisförmigen Lastflächen 136
5.5.5 Genauigkeit der Setzungsberechnung 136
5.5.6 Zeitlicher Verlauf der Setzungen 137
5.5.7 Setzungsbeobachtungen 138

5.6 Erddruck 138

5.6.1 Erddruckarten 138
5.6.2 Wahl des Erddruckansatzes . . . 138
5.6.3 Bodenkennwerte für Erddruckberechnungen 140
5.6.4 Ermittlung des Erddruckes in einfachen Fällen 141
5.6.5 Erddruckverteilung 141

5.7 Standsicherheitsberechnungen bei Böschungen 143

5.7.1 Standsicherheit bei ebener Gleitfläche 144
5.7.2 Standsicherheit bei gebrochener Gleitfläche 144
5.7.3 Standsicherheitsnachweis nach den Lamellenverfahren 145
5.7.4 Starrkörpermethode mit ebenen Gleitflächen 146

5.8 Mechanische Wirkung des Wassers 147
5.8.1 Berücksichtigung von Wasser im Böschungsbereich 148
5.8.2 Hydraulischer Grundbruch . . . 149

6 Ursache von Setzungen, zulässige Setzungsunterschiede, Risseschäden 150

6.1 Setzungen und Setzungsunterschiede 150
6.2 Ursachen von Rissen und Bauwerksschäden 152
6.2.1 Erhöhung des Wassergehaltes, Wasserdurchströmung 153
6.2.2 Absenkung der Grundwasseroberfläche 153
6.2.3 Entnahme von Erdgas und Erdöl 155
6.2.4 Baugrundhebungen infolge Quellerscheinungen oder Kristallisationsdruck 156
6.2.5 Einfluß von Erschütterungen . . 156

7 Flachgründung 160

7.1 Prinzip der Flachgründung, Fundamentarten 160
7.2 Festlegung der Gründungstiefe . 160
7.3 Ermittlung der zulässigen Bodenpressung 161
7.3.1 Vorläufige und endgültige zulässige Bodenpressung 161
7.3.2 Vorläufige zulässige Bodenpressung nach Tabellenwerten 161
7.4 Konstruktive und baugrundverbessernde Maßnahmen 163
7.4.1 Konstruktive Maßnahmen 163
7.4.2 Abminderung der Sohlpressung . 164
7.4.3 Mechanische Baugrundverbesserungsverfahren 164
7.4.4 Baugrundverfestigung durch Einpressen von Suspensionen oder Lösungen 166

8 Pfahlgründung 171

8.1 Einteilung und Tragverhalten der Pfähle 171
8.1.1 Tragverhalten der Pfähle 171
8.1.2 Beanspruchung der Pfähle 171
8.1.3 Herstellungsarten und Baustoffe 171
8.2 Tragverhalten der Pfähle 172
8.2.1 Ermittlung der Pfahltragfähigkeit durch Probebelastungen 173
8.2.2 Halbempirische Berechnungsverfahren auf statischer Grundlage 174
8.2.3 Halbempirische Verfahren auf dynamischer Grundlage 176
8.2.4 Tragfähigkeit von Zugpfählen . . 176
8.2.5 Horizontale Einwirkung auf Pfähle 176
8.2.6 Negative Mantelreibung und Seitendruck auf Pfähle in weichen Böden 177
8.2.7 Tragfähigkeit von Pfahlgruppen 178

8.3 Rammpfähle 179
8.3.1 Fertigpfähle 180
8.3.2 Ortbetonrammpfähle 180
8.4 Bohrpfähle 181
8.4.1 Normalkalibrige Bohrpfähle . . 182
8.4.2 Großbohrpfähle 182
8.4.3 Kleinkalibrige Pfähle 183

9 Schutz von Bauwerken gegen Grundwasser 184

9.1 Dränung von Bauwerken 184
9.2 Druckwasserhaltende Abdichtung von Bauwerken . . . 186
9.3 Beton in aggressiven Wässern . . 186
9.3.1 Entnahme und Untersuchung von Grundwasser- und Bodenproben 187
9.3.2 Betonaggressive Stoffe und ihre Wirkung 189
9.3.3 Beurteilung der Aggressivität . . 191
9.3.4 Bauliche Schutzmaßnahmen . . 192

10 Baugruben 193

10.1 Baugrubenaushub 193
10.2 Geböschte Baugruben 193
10.3 Baugrubenverbau 194
10.3.1 Einfacher Baugrubenverbau . . 194
10.3.2 Trägerbohlwandverbau 194
10.3.3 Spundwandverbau 195
10.3.4 Bohrpfahlwände 195
10.3.5 Schlitzwände 196
10.3.6 Sonderbauweisen 197
10.4 Dichtungswände 197
10.4.1 Dichtungswände im Schlitzwandverfahren 197
10.4.2 Schmalwände 199
10.4.3 Wannenförmige Dichtung von Baugruben 199
10.5 Ankersicherung 200
10.5.1 Herstellung von Verpreß- bzw. Injektionsankern 201
10.5.2 Ankersysteme von Verpreß- bzw. Injektionsankern 202
10.5.3 Prüfung der Anker 203
10.5.4 Bemessung der Anker 204

11 Wasserhaltung 206

11.1 Offene Wasserhaltung 206
11.2 Grundwasserabsenkung durch Brunnen 207
11.3 Grundwasserabsenkung mittels Vakuumverfahren 208
11.4 Elektroosmotische Entwässerung 209
11.5 Berechnung einer Grundwasserabsenkung 210

12 Erdarbeiten 212

12.1 Gewinnung und Förderung . . . 213

12.2 Einbau und Verdichtung 216

12.2.1 Verdichtbarkeit der Boden- und Felsarten 216
12.2.2 Verdichtungsgeräte 217
12.2.3 Verdichtungsanforderungen nach ZTVE 219
12.2.4 Verdichtungskontrollen 219
12.2.5 Vorbereiten der Dammaufstandsfläche und Verdichten der Böschungsbereiche 221
12.2.6 Hinterfüllen und Überschütten von Bauwerken 222

12.3 Bodenverbesserung und Bodenverfestigung 223

12.3.1 Bodenverbesserung und Bodenverfestigung mit Kalk . . . 223
12.3.2 Bodenverfestigung mit Zement . 224
12.3.3 Verbesserung der Tragfähigkeit und Standfestigkeit durch Geotextilien 224

12.4 Frostwirkung 225

12.4.1 Frostempfindlichkeit von Erdstoffen und Fels 225
12.4.2 Frostschutzmaßnahmen 226

13 Standsicherheit von Böschungen 227

13.1 Böschungsneigungen in Lockergesteinen 228

13.1.1 Grobkörnige Böden 228
13.1.2 Feinkörnige Böden 228
13.1.3 Gemischtkörnige Böden 228
13.1.4 Heterogene (geschichtete) Böden 229
13.1.5 Aufgespülte Böden und Kippenböschungen 229
13.1.6 Unterwasserböschungen in Baggerseen 229

13.2 Böschungen im Fels 230

13.2.1 Einfluß des Trennflächengefüges und der Frostbeständigkeit 230
13.2.2 Böschungsneigungen und Böschungsformen 232
13.2.3 Herstellen von Felsböschungen . 233

13.3 Sicherungsmaßnahmen 233

13.3.1 Maßnahmen beim Böschungsbau 234
13.3.2 Lebendverbaumaßnahmen . . . 235
13.3.3 Entwässerungsmaßnahmen . . . 235

13.4 Erfahrungswerte von Böschungsneigungen in den deutschen Mittelgebirgen 236

13.4.1 Alte Gebirge 236
13.4.2 Schichtgesteine des Mesozoikums 237
13.4.3 Tertiäre und quartäre Gesteine, Braunkohletagebaue 238

14 Standsicherheit und Verformungen von Dämmen 240

14.1 Standsicherheit von Dämmen . . 240

14.1.1 Grundbruchsicherheit 240
14.1.2 Gleitsicherheit 240
14.1.3 Sicherheit gegen Böschungsbruch 241
14.1.4 Dämme auf erstkonsolidiertem, weichem Untergrund 242

14.2 Ermittlung der Dammsetzungen 243

14.3 Maßnahmen zur Erhöhung der Standsicherheit und Abminderung der Setzungen . . 244

14.3.1 Maßnahmen bei der Dammschüttung 245
14.3.2 Punktförmige Bodenstabilisierung 245
14.3.3 Teilweiser oder vollständiger Bodenaustausch 246

15 Rutschungen 247

15.1 Ursachen von Rutschungen . . . 247
15.1.1 Geologische Voraussetzungen . 247
15.1.2 Veränderungen der Neigung oder Höhe eines Hanges bzw. einer Böschung 248
15.1.3 Wirkung des Wassers 248
15.1.4 Vegetation und menschliche Eingriffe 249

15.2 Erkennungsmerkmale und Untersuchungsmethoden 250
15.2.1 Beschreibung der wichtigsten Begriffe einer Rutschung 250
15.2.2 Erkennen von Rutschungen und Rutschhängen im Gelände 251
15.2.3 Lage- und höhenmäßige Aufnahme und Darstellung . . . 252
15.2.4 Aufschlußarbeiten 253
15.2.5 Lagebestimmung der Gleitfläche und Bewegungsmessungen . . . 254
15.2.6 Altersstellung und Bewegunsablauf 257

15.3 Arten von Rutschungen, Klassifikation 259
15.3.1 Abbrüche 259
15.3.2 Gleiten 259
15.3.3 Fließen 260
15.3.4 Kriechen 260

15.4 Berechnungsansätze und Diskussion der Scherparameter . 262

15.5 Vorkehrende Maßnahmen und Sanierung von Rutschungen . . . 265
15.5.1 Verbesserung bzw. Wiederherstellung des Gleichgewichtes 265
15.5.2 Oberflächendränung 266
15.5.3 Tiefdränung 266
15.5.4 Stabilisierung von Rutschungen 267
15.5.5 Gründung von Bauwerken an rutschgefährdeten Hängen 268

15.6 Als rutschungsanfällig bekannte Schichten 268
15.6.1 Rheinisches Schiefergebirge . . . 269
15.6.2 Buntsandsteingebiete 270
15.6.3 Grenze Röt/Muschelkalk und Mittlerer/Oberer Muschelkalk . 271
15.6.4 Keuper 274
15.6.5 Jura/Kreide 275
15.6.6 Tertiär 277

16 Abfalldeponien und Altlasten 281

16.1 Abfallrechtliche Grundlagen . . 281

16.2 Klassifikation der Abfallarten und Deponiekonzepte 281

16.3 Das Multibarrierenkonzept . . . 282
16.3.1 Deponieuntergrund 284
16.3.1.1 Standorterkundung 285
16.3.1.2 Wasserbewegung und Schadstofftransport 287
16.3.1.3 Schadstoffrückhaltung 288
16.3.1.4 Sickerwasserangriff und chemische Beständigkeit der Tonminerale 290
16.3.2 Deponiebasisabdichtung 292
16.3.2.1 Mineralische Basisabdichtung . . 292
16.3.2.2 Kombinierte Basisabdichtung . . 295
16.3.3 Oberflächenabdichtung 296
16.3.4 Umschließungstechniken 297
16.3.5 Qualitätssicherung 298

16.4 Geotechnische Eigenschaften von Müll 298

16.5 Altlasten 300
16.5.1 Erfassen von Altlastenverdachtsflächen 301
16.5.2 Untersuchung und Gefährdungsabschätzung 301
16.5.2.1 Aufschlußarbeiten 302
16.5.2.2 Wasserpfad 303
16.5.2.3 Luftpfad 306
16.5.2.4 Bodenpfad 310
16.5.3 Sicherungs- und Sanierungsmöglichkeiten 313
16.5.3.1 Kontrolle und Überwachung . . 313
16.5.3.2 Sicherung und Sanierung 313
16.5.4 Bebauung von Altablagerungen und kontaminierten Standorten . 316

16.6 Entsorgung von Erdaushub und Bauschutt 318

17 Fels- und Tunnelbau 321

17.1 Aufgabe und Grenzen ingenieurgeologischer Prognosen 321
17.1.1 Erkundung tektonischer Strukturen und ihrer Auswirkungen 323
17.1.2 Erkundung und Auswirkungen der Grundwasserverhältnisse . . 324
17.1.3 Ermittlung felsmechanischer Kennwerte 328
17.1.4 Lösbarkeit und Erweichbarkeit . 329
17.1.5 Gebirgsklassifizierung 330
17.1.6 Ingenieurgeologische Tunnelkartierung 333

17.2 Standfestigkeit und Verformungsverhalten des Gebirges 335
17.2.1 Lage, Richtung und Querschnitt des Hohlraumes 335
17.2.2 Spannungszustand, Spannungsumlagerung, Gebirgsdruck 336
17.2.3 Verformungsverhalten des Gebirges 339
17.2.4 Verbundwirkung Gebirge/ Tunnelschale und Standfestigkeit des Spritzbetonausbaus 343

17.3 Bemessungsannahmen für die Tunnelstatik 344

17.4 Bauweisen 348

17.5 Ausbrucharbeiten 350

17.6 Sicherungsarbeiten 352
17.6.1 Spritzbetonsicherung 352
17.6.2 Ankersicherung 353
17.6.3 Firstsicherung durch Spieße oder Dielen 356
17.6.4 Gebirgsvergütung durch Injektionen 357
17.6.5 Zusammenfassende Beurteilung der Bauhilfsmaßnahmen beim Tunnelvortrieb 358

18 Talsperrengeologie 360

18.1 Ingenieurgeologische Arbeiten . 360
18.1.1 Voruntersuchung für die Planung 360
18.1.2 Untersuchung für die Bauausführung 361
18.1.3 Mitarbeit bei Bauausführung, Probestau und Betrieb 361

18.2 Spezielle Problemstellungen, Untersuchungsmethoden 362
18.2.1 Durchlässigkeit des Untergrundes 363
18.2.2 Ermittlung der Sickerwasserverluste 364
18.2.3 Raumstellung der wasserleitenden Elemente 366
18.2.4 Erosionsgefährdung durch Sickerwasserströmung 367
18.2.5 Veränderlich feste oder erweichbare Gesteine 368
18.2.6 Erdbebensicherheit und induzierte Seismizität 368
18.2.7 Stauhaltungen in verkarstungsfähigen Gesteinen . 371
18.2.8 Stabilität der Hänge 371

18.3 Absperrbauwerke 372
18.3.1 Staumauern 372
18.3.2 Dämme 373

18.4 Untergrundabdichtung 376
18.4.1 Horizontale Dichtungselemente 376
18.4.2 Vertikale Dichtungswände . . . 377
18.4.3 Injektionsschleier 378

19 Bauen in Erdfallgebieten 382

19.1 Karstterminologie 384

19.2 Ursachen der Bodensenkungen und Erdfälle sowie ihre hauptsächliche Verbreitung . . . 384
19.2.1 Karbonatkarst 384
19.2.2 Sulfatkarst 386
19.2.3 Chloridkarst 391
19.2.4 Erdfälle durch Erosions- und Suffosionserscheinungen 396

19.3 Ingenieurgeologische Untersuchungsmethoden 396
19.3.1 Geologisch-morphologische Verfahren 396
19.3.2 Geophysikalische Untersuchungsmethoden 397
19.3.3 Geotechnische Untersuchungsverfahren 399

19.4 Bautechnische Maßnahmen . . . 400
19.4.1 Schäden durch Erdfälle und Senkungen 400
19.4.2 Frühwarneinrichtungen 402
19.4.3 Verbesserung des Untergrundes 402
19.4.4 Konstruktive Maßnahmen 403

Anhang 404

Verzeichnis der einschlägigen Normen einschließlich vorliegender Normenentwürfe 404

Verzeichnis der Technischen Prüfvorschriften für Boden und Fels (TP BF-StB) einschließlich der DGEG-Empfehlungen Nr. 1 bis Nr. 12 408

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen von Fachverbänden, die Regelwerke oder Merkblätter herausgeben 411

Literatur 412

Register 457