Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 5. Auflage V

1 Einleitung 1
1.1 Aufgabenstellung der Ingenieurgeologie 1
1.2 Verbindlichkeit von Normen und Richtlinien, Baugrundrisiko 2
1.3 Formelzeichen, Einheiten 5

2 Boden- und felsmechanische Kennwerte, ihre Ermittlung und Bedeutung 7
2.1 Korngröße, Kornverteilung 9
2.1.1 Siebanalyse 9
2.1.2 Sedimentationsanalyse 9
2.1.3 Sieb- und Sedimentationsanalyse 10
2.1.4 Darstellung und Beschreibung der Kornfraktionen 11
2.1.5 Körnungen als Handelsbegriff 14
2.1.6 Hydraulische Instabilität und Filter für Dränmaßnahmen 15
2.1.7 Filtersande und Filterkiese für den Brunnenbau 19
2.1.8 Aufbau und Eigenschaften der Tonminerale 19
2.2 Kalkgehalt, organische und andere Beimengungen 22
2.2.1 Kalkgehalt (V_{Ca}) 22
2.2.2 Organische Bestandteile (V_{gl}) 23
2.2.3 Schwefelverbindungen 24
2.3 Das Drei-Stoff-System Boden und Fels 24
2.3.1 Wassergehalt (w), Sättigungszahl (S_r), Wasseraufnahmevermögen (w_A) 24
2.3.2 Korndichte bzw. Reindichte (ρ_s) 27
2.3.3 Dichte (ρ) und Wichte (γ) 27
2.3.4 Porenanteil (n), Porenzahl (e), Porosität 30
2.4 Lagerungsdichte (D) 31
2.4.1 Lagerungsdichte nichtbindiger Lockergesteine 31
2.4.2 Lagerungsdichte bindiger Lockergesteine, Proctorversuch 32
2.5 Zustandsform, Konsistenzgrenzen 33
2.6 Verformungsverhalten, Druck- und Zugfestigkeit 37
2.6.1 Grundlagen 37
2.6.2 Wirkung des Wassers, Porenwasserdruck 38
2.6.3 Spannungs-Verformungs-Beziehungen 40
2.6.4 Bodensteifigkeit, Steifemodul (E_s), Zeitsetzungsverhalten 41
2.6.5 Verformungsmodul (E_v) und Bettungsmodul (k_s) aus dem Plattendruckversuch 45
2.6.6 California Bearing Ratio (CBR)-Versuch 47
2.6.7 Verformungsmodul (E_v) aus Bohrlochaufweitungsversuchen 48
2.6.8 Diskussion der Verformungsmoduln des Gebirges 48
2.6.9 Primärspannungszustand 50
2.6.10 Druckfestigkeit, Zugfestigkeit, Sprödigkeit 56
2.6.11 Volumenzunahme durch Quellen 64
2.7 Scherfestigkeit 66
2.7.1 Grundlagen 66
2.7.2 Direkter Scherversuch mit vorgegebener Scherfläche 68
2.7.3 Konsolidierte triaxiale Kompressionsversuche 70
2.7.4 Versuche zur Ermittlung der undränierten Scherfestigkeit c_u 71
2.7.5 Großscherversuche 73
2.7.6 Diskussion der Scherfestigkeitsparameter (φ, c) 74
2.8 Durchlässigkeit 80
2.8.1 Durchlässigkeit von Lockergesteinen 81
2.8.2 Durchlässigkeit von Fels 82

Bibliografische Informationen
http://d-nb.info/1009408836

digitalisiert durch DEUTSCHE NATIONAL BIBLIOTHEK

2.8.3 Laborversuche zur Ermittlung des k-Wertes ... 84
2.8.4 Feldversuche zur Ermittlung des k-Wertes ... 86
2.8.5 Durchlässigkeitsbeiwerte ... 96
2.8.6 Grundwasserfließparameter ... 99
2.8.7 Sickerwasser, Grundwasserneubildung, kapillare Steighöhe (h_k) ... 101

3 Beschreibung und Klassifikation von Boden und Fels für bautechnische Zwecke ... 103
3.1 Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden und Fels ... 103
3.2 Gruppeneinteilung der Böden nach DIN 18 196 ... 103
3.2.1 Grobkörnige Böden ... 105
3.2.2 Gemischtkörnige Böden ... 105
3.2.3 Feinkörnige Böden ... 106
3.2.4 Organische und organogene Böden ... 106
3.2.5 Aufgeschüttete Bodenarten ... 106
3.3 Beschreibung und Einstufung von Boden und Fels nach den ATV der VOB ... 107
3.3.1 Boden- und Felsklassen nach ATV DIN 18 300, Erdarbeiten ... 107
3.3.2 Boden- und Felsklassen für Bohrarbeiten ... 108
3.3.3 Boden- und Felsklassen für Rohrvortriebsarbeiten ... 109
3.3.4 Sonstige Klassifizierungen nach ATV DIN ... 109
3.4 Beschreibung von Gestein und Gebirge (Fels) ... 110
3.4.1 Gesteinsbeschreibung für bautechnische Zwecke ... 110
3.4.2 Beschreibung von Gebirge (Fels), Verwitterung ... 114
3.4.3 Trennflächen und ihre Bedeutung ... 118
3.4.4 Ausbildung und bruchmechanische Deutung von tektonischen Störungszonen ... 126
3.4.5 Übersicht über die tektonischen Großstrukturen in Deutschland ... 130

4 Erkundungsmethoden ... 133
4.1 Grundlagen und Erkundungsumfang ... 133
4.2 Spezielle Arbeiten im Rahmen der Voruntersuchung ... 134
4.2.1 Geologische und ingenieurgeologische Karten ... 134
4.2.2 Gefahrenhinweis- und Risikokarten ... 135
4.2.3 Erdbebengefährdung ... 137
4.2.4 Rezente tektonische Spannungen und Deformationen ... 145
4.2.5 Erkundung tektonischer Störungszonen ... 148
4.3 Indirekte Aufschlussmethoden ... 149
4.3.1 Projektkartierungen, Luftbildauswertung ... 149
4.3.2 Oberflächengeophysikalische Feldmethoden ... 150
4.3.3 Gasgeochemisches Monitoring ... 154
4.4 Direkte Aufschlussmethoden ... 156
4.4.1 Zu beachtende gesetzliche Vorschriften ... 156
4.4.2 Art und Umfang der Baugrunderkundung ... 157
4.4.3 Einteilung der Boden- und Gesteinsproben, Probenentnahmeverfahren ... 158
4.4.4 Schürfe, Untersuchungsschächte und -stollen ... 160
4.4.5 Bohrungen ... 162
4.4.6 Felduntersuchungen ... 167
4.5 Aufnahme von Aufschlüssen (Schichtenverzeichnisse) ... 172
4.5.1 Aufnahme von Schürfen ... 172
4.5.2 Aufnahme von Bohrungen im Lockergestein ... 173
4.5.3 Aufnahme von Bohrungen im Fels ... 176
4.6 Erfassen der Grundwasserverhältnisse ... 179
4.7 Darstellen der Boden- und Felsarten ... 185
4.8 Bohrlochmessungen ... 186
4.8.1 Bohrlochsondierungen ... 186
4.8.2 Bohrlochabweichungsmessungen ... 187
4.8.3 Geophysikalische Bohrlochmessungen ... 187
4.8.4 Verschiebungsmessungen in Bohrlöchern ... 190

5 Einführung in die Berechnungsverfahren für Flachgründungen und Geländebruch ... 193
5.1 Grundlagen ... 193
5.2 Sicherheitsnachweise für Bauwerke ... 194
5.3 Sohldruckverteilung in Fundamentsohle ... 197

5.3.1 Mittige und ausmittige Beanspruchung von starren Einzelfundamenten 198
5.3.2 Linien- und Einzellasten auf Streifenfundamenten 200
5.3.3 Grundlagen des Bettungsmodul- und Steifemodulverfahrens 200
5.4 Nachweis der Tragfähigkeit von Flächengründungen 201
5.4.1 Gleitsicherheit (EQU) 201
5.4.2 Kippsicherheit (EQU) 201
5.4.3 Sicherheit gegen Aufschwimmen (UPL) 202
5.4.4 Hydraulischer Grundbruch 203
5.4.5 Grundbruchsicherheit 204
5.5 Sohldruckverteilung und Setzungen von Flachgründungen 205
5.5.1 Theorie der Sohldruckverteilung 205
5.5.2 Sohldruckverteilung im Baugrund 206
5.5.3 Ermittlung der Setzungen von Streifen- und Einzelfundamenten 206
5.6 Grundlagen für die Ermittlung des Erddrucks 212
5.6.1 Erddruckarten 213
5.6.2 Wahl des Erddruckansatzes 213
5.6.3 Bodenkennwerte für Erddruckberechnungen 214
5.7 Standsicherheitsnachweise für Geländebruch 215
5.7.1 Berechnungsmodelle und Sicherheiten 215
5.7.2 Standsicherheit bei ebener Gleitfläche 217
5.7.3 Standsicherheit bei gebrochener Gleitfläche 218
5.7.4 Standsicherheitsnachweis nach dem Lamellenverfahren 219
5.7.5 Starrkörpermethode bzw. Blockgleit-Verfahren 220
5.7.6 Standsicherheit von Felsböschungen . 221
5.7.7 Mechanische Wirkung des Wassers .. 224

6 Ursachen von Setzungen, zulässige Setzungsunterschiede, Risseschäden 227
6.1 Setzungen und Setzungsunterschiede 227
6.2 Ursachen von Rissen und Bauwerksschäden 229
6.2.1 Erhöhung des Wassergehaltes, Wasserdurchströmung 230
6.2.2 Grundwasserabsenkung und Wasserentzug durch Bäume 230
6.2.3 Entnahme von Erdgas und Erdöl 234
6.2.4 Baugrundhebungen infolge Quellerscheinungen oder Kristallisationsdruck 234
6.2.5 Einfluss von Erschütterungen 235

7 Flächengründung, Baugrundverbesserung 241
7.1 Prinzip der Flächengründung, Fundamentarten 241
7.2 Festlegung der Gründungstiefe ... 241
7.3 Zulässiger Sohldruck in einfachen Fällen 242
7.4 Konstruktive und baugrundverbessernde Maßnahmen 244
7.4.1 Konstruktive Maßnahmen 244
7.4.2 Abminderung des Sohldrucks 245
7.4.3 Mechanische Baugrundverbesserungsverfahren 245
7.4.4 Baugrundverfestigung durch Einpressen von Suspensionen oder Lösungen 248
7.4.5 Düsenstrahlverfahren 253

8 Pfahlgründung 255
8.1 Einteilung und Tragverhalten der Pfähle 255
8.1.1 Tragverhalten der Pfähle 255
8.1.2 Pfahlarten und Baustoffe 256
8.2 Grundlagen der Pfahlbemessung . 257
8.2.1 Ermittlung der Pfahltragfähigkeit durch Probebelastungen 259
8.2.2 Bemessungsverfahren für Bohrpfähle aus Erfahrungs- bzw. Tabellenwerten 261
8.2.3 Tragfähigkeit von Reibungspfählen ... 263
8.2.4 Horizontale Einwirkung auf Pfähle ... 264
8.2.5 Negative Mantelreibung und Seitendruck auf Pfähle in weichen Böden ... 265
8.2.6 Tragfähigkeit von Pfahlgruppen 266
8.3 Rammpfähle 267
8.3.1 Fertigpfähle 268
8.3.2 Ortbetonrammpfähle 268
8.4 Bohrpfähle 269
8.4.1 Normalkalibrige Bohrpfähle 270
8.4.2 Großbohrpfähle 271
8.4.3 Pfähle mit kleinen Durchmessern 272

9 Schutz der Bauwerke vor Grundwasser 275
9.1 Grundwasserstände, Bemessungswasserstand 275
9.2 Dränung von Bauwerken 277
9.3 Druckwasserhaltende Abdichtung von Bauwerken 278
9.4 Dezentrale Regenwasserversickerung 279
9.5 Betonangreifende Wässer und Böden 280
9.5.1 Entnahme und Untersuchung von Grundwasser- und Bodenproben 280
9.5.2 Untersuchungsmethoden 282
9.5.3 Betonaggressive Stoffe und ihre Wirkung 282
9.5.4 Beurteilung der Aggressivität 285
9.5.5 Bauliche Schutzmaßnahmen 285

10 Baugruben 287
10.1 Baugrubenaushub 287
10.2 Geböschte Baugruben 288
10.3 Baugrubenverbau 288
10.3.1 Trägerbohlwandverbau 289
10.3.2 Spundwandverbau 290
10.3.3 Bohrpfahlwände 290
10.3.4 Schlitzwände 291
10.3.5 Sonderbauweisen 292
10.4 Dichtwände 292
10.4.1 Dichtwände im Schlitzwandverfahren . 293
10.4.2 Schmalwände 294
10.4.3 Sohldichtung von Baugruben 294
10.5 Ankersicherung 296
10.5.1 Herstellung von Verpressankern 296
10.5.2 Ankersysteme von Verpressankern 298
10.5.3 Prüfung der Anker 299
10.5.4 Bemessung der Anker 300

11 Wasserhaltung 303
11.1 Rechtliche Grundlagen 303
11.2 Offene Wasserhaltung 305
11.3 Grundwasserabsenkung mit Brunnen 306
11.4 Grundwasserabsenkung mittels Vakuumverfahren 309
11.5 Elektroosmotische Entwässerung 310
11.6 Berechnung einer Grundwasserabsenkung 311
11.7 Grundwasserkommunikationsanlagen 313

12 Erdarbeiten 315
12.1 Gewinnung und Förderung 317
12.2 Einbau und Verdichtung 319
12.2.1 Verdichtbarkeit der Boden- und Felsarten 320
12.2.2 Verdichtungsgeräte 321
12.2.3 Verdichtungsanforderungen nach ZTVE und RiL 836 322
12.2.4 Verdichtungskontrollen 324
12.2.5 Vorbereiten der Dammaufstandsfläche und Verdichten der Böschungsbereiche 326
12.2.6 Hinterfüllen und Überschütten von Bauwerken 327
12.3 Bodenverbesserung und Bodenverfestigung 328
12.3.1 Bodenverbesserung und Bodenverfestigung mit Kalk oder hydraulischen Bindemitteln 328
12.3.2 Bodenverfestigung 330
12.3.3 Verbesserung der Tragfähigkeit und der hydraulischen Stabilität durch Geokunststoffe 330
12.4 Frostwirkung 334
12.4.1 Frostempfindlichkeit von Erdstoffen und Fels 334
12.4.2 Tragschicht und Frostschutzschicht im Straßenbau 335
12.4.3 Bettung, Frostschutz- und Planumschutzschicht bei Gleisanlagen 336

13 Standsicherheit von Böschungen 339
13.1 Böschungsneigungen in Lockergesteinen 340
13.1.1 Grobkörnige Böden 340
13.1.2 Feinkörnige Böden 340
13.1.3 Gemischtkörnige Böden 341
13.1.4 Heterogene (geschichtete) Böden 341
13.1.5 Aufgespülte Böden und Kippenböschungen 342
13.2 Böschungen im Fels 342
13.2.1 Einfluss des Trennflächengefüges und der Frostbeständigkeit 342
13.2.2 Böschungsneigungen und Böschungsformen 343
13.2.3 Herstellen von Felsböschungen 345
13.3 Sicherungsmaßnahmen 345
13.3.1 Maßnahmen beim Böschungsbau 346
13.3.2 Lebendverbaumaßnahmen 348
13.3.3 Entwässerungsmaßnahmen 349

13.4 Erfahrungswerte von Böschungsneigungen in den deutschen Mittelgebirgen ... 349
13.4.1 Alte Gebirge ... 350
13.4.2 Schichtgesteine ... 350
13.4.3 Tertiäre und quartäre Gesteine, Braunkohletagebaue und Tagebaurestlöcher ... 351
13.5 Standsicherheit von Böschungen in Steine- und Erdenbetrieben ... 353

14 Standsicherheit und Verformung von Dämmen ... 355
14.1 Standsicherheit von Dämmen ... 355
14.1.1 Grundbruchsicherheit ... 355
14.1.2 Gleit- bzw. Spreizsicherheit ... 356
14.1.3 Sicherheit gegen Böschungsbruch ... 356
14.1.4 Dämme auf wenig tragfähigem Untergrund ... 357
14.2 Setzungen von Dämmen auf tragfähigem Untergrund ... 358
14.3 Maßnahmen zur Erhöhung der Standsicherheit und Abminderung der Setzungen ... 360
14.3.1 Maßnahmen bei der Dammschüttung . 360
14.3.2 Punkt - und streifenförmige Bodenstabilisierung ... 361
14.3.3 Teilweiser oder vollständiger Bodenaustausch ... 363

15 Rutschungen ... 365
15.1 Ursachen von Rutschungen ... 366
15.1.1 Geologische Voraussetzungen ... 366
15.1.2 Veränderungen der Neigung oder Höhe eines Hanges bzw. einer Böschung ... 367
15.1.3 Wirkung des Wassers ... 367
15.1.4 Vegetation und menschliche Eingriffe . 369
15.2 Erkennungsmerkmale und Untersuchungsmethoden ... 369
15.2.1 Beschreibung der wichtigsten Begriffe einer Rutschung ... 370
15.2.2 Erkennen von Rutschungen und Rutschhängen im Gelände ... 371
15.2.3 Lage- und höhenmäßige Aufnahme und Darstellung ... 374
15.2.4 Aufschlussarbeiten ... 376
15.2.5 Lagebestimmung der Gleitfläche und Bewegungsmessungen ... 378
15.2.6 Altersdatierung und Bewegungsablauf ... 380
15.3 Arten von Rutschungen, Klassifikation ... 384
15.3.1 Fallen ... 384
15.3.2 Kippen ... 386
15.3.3 Gleiten ... 386
15.3.4 Driften ... 387
15.3.5 Fließen ... 388
15.3.6 Komplexe Rutschungstypen ... 391
15.4 Berechnungsansätze und Diskussion der Scherparameter .. 391
15.5 Vorbeugende Maßnahmen und Sanierung von Rutschungen ... 395
15.5.1 Verbesserung bzw. Wiederherstellung des Böschungsgleichgewichtes ... 396
15.5.2 Oberflächendränung ... 398
15.5.3 Tiefdränung ... 398
15.5.4 Stabilisierung von Hangrutschungen .. 399
15.5.5 Gründung von Bauwerken an rutschungsgefährdeten Hängen ... 401
15.5.6 Risikobewertung, Überwachungs- und Warnanlagen ... 401
15.6 Rutschungsanfällige Schichten ... 403
15.6.1 Grundgebirge ... 404
15.6.2 Buntsandsteingebiete ... 406
15.6.3 Grenze Röt/Muschelkalk und Mittlerer/Oberer Muschelkalk ... 407
15.6.4 Keuper ... 410
15.6.5 Jura ... 412
15.6.6 Kreide ... 414
15.6.7 Tertiär ... 416
15.6.8 Quartär ... 419

16 Grundlagen für die Bewertung von Deponie- und Altlastenstandorten, Flächenrecycling, Bodenaushub sowie Bergbaufolgen ... 421
16.1 Abfallrechtliche Grundlagen ... 421
16.2 Klassifikation der Abfallarten und Deponiekonzepte ... 423
16.2.1 Abfallarten und Übertagedeponien ... 423
16.2.2 Untertagedeponien ... 424
16.3 Deponieuntergrund ... 426
16.3.1 Standorterkundung ... 428
16.3.2 Wasserbewegung und Schadstofftransport ... 430
16.4 Untersuchung und Bewertung von Verdachtsflächen ... 438
16.4.1 Grundlagen ... 438

16.4.2 Untersuchung und Gefährdungsabschätzung ... 440
16.5 Flächenrecycling ... 445
16.6 Verwertung von Bodenaushub und Bauschutt ... 446
16.6.1 Verwertungsgebot, Abfallarten ... 446
16.6.2 Klassifikation der Abfallarten ... 447
16.6.3 Untersuchungsumfang, Probennahme ... 448
16.6.4 Anforderungen an die Verwertung ... 449
16.7 Bergbaufolgen ... 452
16.7.1 Zuständigkeit und Unterlagen der Bergbehörde ... 453
16.7.2 Gefährdungsabschätzung und Risikobewertung ... 454
16.7.3 Tagesnaher und oberflächennaher Bergbau ... 457
16.7.4 Tiefer Bergbau ... 459
16.7.5 Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs ... 460
16.7.6 Methangasaustritte ... 462

17 Tunnelbau ... 463
17.1 Grundbergriffe des Tunnelbaus ... 463
17. 2 Aufgaben und Grenzen der ingenieurgeologischen Erkundung, Risikomanagement ... 464
17.2.1 Erkundungsinhalte, Richtlinien ... 464
17.2.2 Risikomanagement und Gefährdungsbilder ... 465
17.2.3 Spezielle Erkundungsmethoden ... 467
17.2.4 Tunnelplanung in Karstgebieten ... 472
17.2.5 Erkundung und Auswirkungen der Grundwassersituation ... 475
17.2.6 Auftreten von Gasen im Gebirge ... 492
17.2.7 Umweltbelastung ... 492
17.2.8 Ermittlung geotechnischer Kennwerte ... 493
17.2.9 Lösbarkeit und Erweichbarkeit ... 495
17.3 Gebirgsklassifizierung ... 500
17.3.1 Qualitative Gebirgsklassifizierung ... 501
17.3.2 Quantitative Gebirgsklassifizierung ... 504
17.3.3 Gebirgsverhaltenstypen und Systemverhalten nach ÖGG-Richtlinie und SIA-Norm ... 508
17.3.4 Darstellung und Wertung der Gebirgstypen bzw. -klassen ... 509
17.4 Ingenieurgeologische Baubetreuung ... 511
17.4.1 Ingenieurgeologisch-geotechnische Vortriebsdokumentation ... 511
17.4.2 Ingenieurgeologisches Nachtragsmanagement ... 514
17.5 Standfestigkeit und Tragverhalten des Gebirges ... 516
17.5.1 Lage, Richtung und Querschnitt des Hohlraumes, Bergschlaggefährdung ... 517
17.5.2 Spannungszustand, Spannungsumlagerung, Gebirgsdruck ... 519
17.5.3 Geotechnische Messungen und Verformungsverhalten bei Mittelgebirgstunneln ... 525
17.5.4 Verbundwirkung von Gebirge und Spritzbetonausbau ... 532
17.5.5 Bemessungsannahmen für die Tunnelstatik ... 536
17.6 Bauweisen ... 545
17.6.1 Offene und halboffene Bauweisen ... 545
17.6.2 Konventioneller bergmännischer Vortrieb ... 546
17.6.3 Teilschnittmaschinen ... 549
17.6.4 Tunnelvortriebsmaschinen ... 550
17.6.5 Grabenloser Leitungsbau ... 560
17.7 Ausbrucharbeiten ... 563
17.7.1 Bagger und Sprengvortrieb ... 563
17.7.2 Profilhaltung und Mehrausbruch ... 565
17.8 Sicherungsarbeiten, Gebirgsvergütung ... 566
17.8.1 Spritzbetonausbau ... 567
17.8.2 Ankersicherung ... 569
17.8.3 Firstsicherung durch Spieße, Dielen oder Schirme ... 574
17.8.4 Gebirgsvergütung durch Injektionen ... 576
17.8.5 Gebirgsvergütung durch Bodenvereisung ... 578

18 Talsperrengeologie ... 579
18.1 Ingenieurgeologische Arbeiten ... 580
18.1.1 Voruntersuchungen für die Planung ... 580
18.1.2 Untersuchung für die Bauausführung ... 580
18.1.3 Mitarbeit bei Bauausführung, Probestau und Betrieb ... 581
18.2 Spezielle Problemstellungen ... 581
18.2.1 Durchlässigkeit des Untergrundes ... 582
18.2.2 Ermittlung der Sickerwasserverluste ... 586
18.2.3 Raumstellung der Wasser leitenden Elemente ... 586
18.2.4 Erosionsgefährdung durch Sickerwasserströmung ... 587

18.2.5 Veränderlich feste oder erweichbare Gesteine ... 589
18.2.6 Erdbebensicherheit und induzierte Seismizität ... 589
18.2.7 Stauhaltungen in verkarstungsfähigen Gesteinen ... 590
18.2.8 Stabilität der Hänge ... 592
18.3 Absperrbauwerke ... 593
18.3.1 Staumauern ... 593
18.3.2 Dämme ... 594
18.4 Untergrundabdichtung ... 597
18.4.1 Horizontale Dichtungselemente ... 598
18.4.2 Vertikale Dichtungswände ... 598
18.4.3 Injektionsschleier ... 599

19 Bauen in Erdfallgebieten ... 605
19.1 Karstterminologie ... 606
19.2 Ursachen der Bodensenkungen und Erdfälle sowie ihre hauptsächliche Verbreitung ... 608
19.2.1 Karbonatkarst ... 608
19.2.2 Sulfatkarst ... 611
19.2.3 Chloridkarst ... 619
19.2.4 Erdfälle durch Erosions- und Suffosionserscheinungen ... 625
19.3 Ingenieurgeologische Untersuchungsmethoden ... 626
19.3.1 Geologisch-morphologische Verfahren ... 626
19.3.2 Geophysikalische Messverfahren ... 628
19.3.3 Geotechnische Untersuchungsverfahren ... 629
19.4 Bautechnische Maßnahmen ... 630
19.4.1 Schäden durch Senkungen und Erdfälle ... 631
19.4.2 Verbesserung des Untergrundes ... 632
19.4.3 Konstruktive Maßnahmen ... 632
19.4.4 Frühwarneinrichtungen ... 634

20 Geotechnische Aspekte der Geothermie ... 637
20.1 Grundlagen der Geothermie ... 637
20.1.1 Geothermischer Gradient ... 637
20.1.2 Geothermische Erkundung ... 638
20.2 Geothermische Verfahren ... 640
20.2.1 Oberflächennahe geothermische Systeme ... 641
20.2.2 Tiefe geothermische Systeme ... 644
20.3 Bergrechtliche und wasserrechtliche Grundlagen ... 647
20.3.1 Bergrecht ... 648
20.3.2 Wasserrecht ... 648
20.3.3 Weitere umweltrechtliche Einflüsse ... 649

Literatur ... 651

Anhang ... 697

Index ... 719