

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> . . . . .	1	2.4.2	Lagerungsdichte bindiger Lockergesteine, Proctorversuch . . . . .	29
<b>1.1</b>	<b>Aufgabenstellung der Ingenieurgeologie</b> . . . . .	1	<b>2.5</b>	<b>Zustandsform, Konsistenzgrenzen</b> . . . . .	31
<b>1.2</b>	<b>Verbindlichkeit von Normen und Richtlinien, Baugrundrisiko</b> . . . . .	2	<b>2.6</b>	<b>Verformungsverhalten, Druck- und Zugfestigkeit</b> . . . . .	34
<b>1.3</b>	<b>Formelzeichen, Einheiten</b> . . . . .	4	2.6.1	Wirkung des Wassers, Porenwasserdruck . . . . .	35
<b>2</b>	<b>Boden- und felsmechanische Kennwerte, ihre Ermittlung und Bedeutung</b> . . . . .	7	2.6.2	Spannungs-Verformungs-Beziehungen . . . . .	37
<b>2.1</b>	<b>Korngröße, Kornverteilung</b> . . . . .	8	2.6.3	Kompressionsversuch, Steifemodul ( $E_s$ ), Zeitsetzungsverhalten . . . . .	38
2.1.1	Siebanalyse . . . . .	9	2.6.4	Verformungsmodul ( $E_s$ ) und Bettungsmodul ( $k_s$ ) aus dem Plattendruckversuch . . . . .	41
2.1.2	Sedimentationsanalyse . . . . .	9	2.6.5	Verformungsmodul ( $E_s$ ) aus Bohrlochaufweitungsversuchen . . . . .	44
2.1.3	Sieb- und Sedimentationsanalyse . . . . .	10	2.6.6	Diskussion der Verformungsmoduln des Gebirges . . . . .	44
2.1.4	Darstellung und Beschreibung der Kornfraktionen . . . . .	10	2.6.7	Primärspannungszustand . . . . .	46
2.1.5	Körnungen als Handelsbegriff . . . . .	13	2.6.8	Druckfestigkeit, Zugfestigkeit, Sprödigkeit . . . . .	50
2.1.6	Filtermaterial für Dränmaßnahmen . . . . .	15	2.6.9	Volumenzunahme durch Quellen . . . . .	57
2.1.7	Filtersande und Filterkiese für den Brunnenbau . . . . .	17	<b>2.7</b>	<b>Scherfestigkeit</b> . . . . .	59
2.1.8	Aufbau und Eigenschaften der Tonminerale . . . . .	17	2.7.1	Scherversuch mit vorgegebener Scherfläche . . . . .	61
<b>2.2</b>	<b>Kalkgehalt, organische und andere Beimengungen</b> . . . . .	20	2.7.2	Triaxialer Druckversuch . . . . .	63
2.2.1	Kalkgehalt ( $V_{Ca}$ ) . . . . .	20	2.7.3	Großscherversuche . . . . .	65
2.2.2	Organische Bestandteile ( $V_{org}$ ) . . . . .	21	2.7.4	Diskussion der Scherfestigkeitsparameter ( $\Phi$ , $c$ ) . . . . .	69
2.2.3	Schwefelverbindungen . . . . .	22	<b>2.8</b>	<b>Durchlässigkeit</b> . . . . .	72
<b>2.3</b>	<b>Das Drei-Stoff-System Boden und Fels</b> . . . . .	22	2.8.1	Durchlässigkeit von Lockergesteinen . . . . .	73
2.3.1	Wassergehalt ( $w$ ), Sättigungszahl ( $S_r$ ), Wasseraufnahmevermögen ( $w_A$ ) . . . . .	22	2.8.2	Durchlässigkeit von Fels . . . . .	75
2.3.2	Korndichte ( $\rho_s$ ) . . . . .	25	2.8.3	Laborversuche zur Ermittlung des $k$ -Wertes . . . . .	76
2.3.3	Dichte ( $\rho$ ) und Wichte ( $\gamma$ ) . . . . .	25	2.8.4	Feldversuche zur Ermittlung des $k$ -Wertes . . . . .	78
2.3.4	Porenanteil ( $n$ ), Porenzahl ( $e$ ) . . . . .	27	2.8.5	Durchlässigkeitsbeiwerte . . . . .	88
<b>2.4</b>	<b>Lagerungsdichte (<math>D</math>)</b> . . . . .	28	2.8.6	Grundwasserfließparameter . . . . .	91
2.4.1	Lagerungsdichte nichtbindiger Lockergesteine . . . . .	28	2.8.7	Kapillarwasser, kapillare Steighöhe ( $h_k$ ) . . . . .	93

<b>3</b>	<b>Beschreibung und Klassifikation von Boden und Fels für bautechnische Zwecke</b> . . . . .	95	<b>4.2</b>	<b>Indirekte Aufschlussmethoden</b> . . . . .	133
<b>3.1</b>	<b>Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden und Fels</b> . . . . .	95	4.2.1	Projektkartierungen, Luftbilddauswertung . . . . .	133
<b>3.2</b>	<b>Gruppeneinteilung der Böden nach DIN 18 196</b> . . . . .	95	4.2.2	Geophysikalische Feldmethoden	134
3.2.1	Grobkörnige Böden . . . . .	97	4.2.3	Gasgeochemisches Monitoring zur Erkundung von Störungzonen . . . . .	138
3.2.2	Gemischtkörnige Böden . . . . .	97	<b>4.3</b>	<b>Direkte Aufschlussmethoden</b>	138
3.2.3	Feinkörnige Böden . . . . .	98	4.3.1	Zu beachtende gesetzliche Vorschriften . . . . .	138
3.2.4	Organische und organogene Böden . . . . .	98	4.3.2	Art und Umfang der Baugrunderkundung . . . . .	140
3.2.5	Aufgeschüttete Bodenarten . . . . .	98	4.3.3	Einteilung der Bodenproben . . . . .	141
3.2.6	Trennflächen in Lockergesteinen	98	4.3.4	Schürfe, Untersuchungsschächte und -stollen . . . . .	142
<b>3.3</b>	<b>Beschreibung und Einstufung von Boden und Fels nach den ATV der VOB</b> . . . . .	99	4.3.5	Bohrungen . . . . .	143
3.3.1	Boden- und Felsklassen nach DIN 18 300, Erdarbeiten . . . . .	99	4.3.6	Felduntersuchungen . . . . .	149
3.3.2.	Zusätzliche ATV-Boden- und Felsklassifikationen . . . . .	100	<b>4.4</b>	<b>Aufnahme von Aufschlüssen (Schichtenverzeichnisse)</b> . . . . .	154
<b>3.4</b>	<b>Beschreibung von Gestein und Gebirge (Fels)</b> . . . . .	101	4.4.1	Aufnahme von Schürfen . . . . .	154
3.4.1	Gesteinsbeschreibung für bautechnische Zwecke . . . . .	102	4.4.2	Aufnahme von Bohrungen im Lockergestein . . . . .	155
3.4.2	Beschreibung von Gebirge (Fels), Verwitterung . . . . .	105	4.4.3	Aufnahme von Bohrungen im Fels . . . . .	156
3.4.3	Trennflächen und ihre Bedeutung . . . . .	108	<b>4.4.4</b>	<b>Erfassen der Grundwasserverhältnisse</b> . . . . .	160
3.4.4	Ausbildung und bruchmechanische Deutung von tektonischen Störungszonen . . . . .	116	<b>4.4.5</b>	<b>Darstellung der Boden- und Felsarten</b> . . . . .	163
<b>4</b>	<b>Erkundungsmethoden</b> . . . . .	123	<b>4.5</b>	<b>Bohrlochmessungen</b> . . . . .	165
<b>4.1</b>	<b>Voruntersuchung</b> . . . . .	124	4.5.1	Bohrlochsondierungen . . . . .	165
4.1.1	Geologische und ingenieur-geologische Karten . . . . .	124	4.5.2	Bohrlochneigungsmessungen (DV) . . . . .	165
4.1.2	Erdbebengefährdung . . . . .	125	4.5.3	Geophysikalische Bohrlochmessungen . . . . .	166
4.1.3	Rezente tektonische Spannungen und Deformationen . . . . .	130	4.5.4	Verschiebungsmessungen in Bohr- löchern . . . . .	169
4.1.4	Erkundung tektonischer Störungszonen . . . . .	132	<b>5</b>	<b>Einführung in die Berechnungsverfahren für Flachgründungen und Geländebruch</b> . . . . .	171
			<b>5.1</b>	<b>Sicherheitsnachweise für Bauwerke</b> . . . . .	172

<b>5.2</b>	<b>Sohldruckverteilung in Fundamentsohle</b> . . . . .	175	<b>6</b>	<b>Ursachen von Setzungen, zulässige Setzungsunterschiede, Risseschäden</b> . .	199
5.2.1	Mittige und ausmittige Beanspruchung von starren Einzelfundamenten . . . . .	175	<b>6.1</b>	<b>Setzungen und Setzungsunterschiede</b> . . . . .	199
5.2.2	Linien- und Einzellasten auf Streifenfundamenten . . . . .	177	<b>6.2</b>	<b>Ursachen von Rissen und Bauwerksschäden</b> . . . . .	201
5.2.3	Grundlagen des Bettungsmodul- und Steifemodulverfahrens . . . .	178	6.2.1	Erhöhung des Wassergehaltes, Wasserdurchströmung . . . . .	202
<b>5.3</b>	<b>Nachweis der Tragfähigkeit von Flachgründungen</b> . . . . .	179	6.2.2	Grundwasserabsenkung und Wasserentzug durch Bäume . . .	203
5.3.1	Gleitsicherheit . . . . .	179	6.2.3	Entnahme von Erdgas und Erdöl	205
5.3.2	Kippsicherheit . . . . .	179	6.2.4	Baugrundhebungen infolge Quellerscheinungen oder Kristallisationsdruck . . . . .	206
5.3.3	Sicherheit gegen Wasserdruck und Auftrieb . . . . .	179	6.2.5	Einfluss von Erschütterungen . .	206
5.3.4	Hydraulischer Grundbruch . . . .	180	<b>7</b>	<b>Flachgründung, Baugrundverbesserung</b> . .	211
5.3.5	Grundbruchsicherheit . . . . .	181	<b>7.1</b>	<b>Prinzip der Flachgründung, Fundamentarten</b> . . . . .	211
<b>5.4</b>	<b>Sohldruckverteilung und Setzungen von Flachgründungen</b> . . . . .	182	<b>7.2</b>	<b>Festlegung der Gründungstiefe</b> . . . . .	211
5.4.1	Theorie der Sohldruckverteilung	182	<b>7.3</b>	<b>Aufnehmbarer Sohldruck in einfachen Fällen</b> . . . . .	212
5.4.2	Sohldruckverteilung im Baugrund . . . . .	182	<b>7.4</b>	<b>Konstruktive und baugrundverbessernde Maßnahmen</b> . . . . .	214
5.4.3	Ermittlung der Setzungen von Streifen- und Einzelfundamenten	183	7.4.1	Konstruktive Maßnahmen . . . .	214
<b>5.5</b>	<b>Grundlagen für die Ermittlung des Erddrucks</b> . . . . .	188	7.4.2	Abminderung der Sohlpressung .	215
5.5.1	Erddruckarten . . . . .	188	7.4.3	Mechanische Baugrundverbesserungsverfahren . . . . .	215
5.5.2	Wahl des Erddruckansatzes . . . .	189	7.4.4	Baugrundverfestigung durch Einpressen von Suspensionen oder Lösungen . . . . .	218
5.5.3	Bodenkennwerte für Erddruckberechnungen . . . . .	189	<b>8</b>	<b>Pfahlgründung</b> . . . . .	225
<b>5.6</b>	<b>Standsicherheitsnachweise für Geländebruch</b> . . . . .	190	<b>8.1</b>	<b>Einteilung und Tragverhalten der Pfähle</b> . . . . .	225
5.6.1	Standsicherheit bei ebener Gleitfläche . . . . .	192	8.1.1	Tragverhalten der Pfähle . . . . .	225
5.6.2	Standsicherheit bei gebrochener Gleitfläche . . . . .	193	8.1.2	Herstellungsarten und Baustoffe	226
5.6.3	Standsicherheitsnachweis nach den Lamellenverfahren . . . . .	194			
5.6.4	Starrkörpermethode bzw. Blockgleit-Verfahren . . . . .	195			
5.6.5	Mechanische Wirkung des Wassers . . . . .	196			

<b>8.2</b>	<b>Grundlagen der Pfahlbemessung</b> . . . . .	226	<b>10</b>	<b>Baugruben</b> . . . . .	255
8.2.1	Ermittlung der Pfahltragfähigkeit durch Probelastungen . . . . .	228	<b>10.1</b>	<b>Baugrubenaushub</b> . . . . .	255
8.2.2	Bemessungsverfahren für Bohrpfähle aus Erfahrungs- bzw. Tabellenwerten . . . . .	230	<b>10.2</b>	<b>Geböschte Baugruben</b> . . . . .	256
8.2.3	Ermittlung der Pfahltragfähigkeit von gerammten Verdrängungspfählen nach Erfahrungs- bzw. Tabellenwerten . . . . .	233	<b>10.3</b>	<b>Baugrubenverbau</b> . . . . .	256
8.2.4	Tragfähigkeit von Zugpfählen . . . . .	233	10.3.1	Trägerbohlwandverbau . . . . .	257
8.2.5	Horizontale Einwirkung auf Pfähle . . . . .	233	10.3.2	Spundwandverbau . . . . .	257
8.2.6	Negative Mantelreibung und Seitendruck auf Pfähle in weichen Böden . . . . .	235	10.3.3	Bohrpfahlwände . . . . .	258
8.2.7	Tragfähigkeit von Pfahlgruppen . . . . .	235	10.3.4	Schlitzwände . . . . .	258
<b>8.3</b>	<b>Rammpfähle</b> . . . . .	237	10.3.5	Sonderbauweisen . . . . .	260
8.3.1	Fertigpfähle . . . . .	237	<b>10.4</b>	<b>Dichtwände</b> . . . . .	260
8.3.2	Ortbetonrammpfähle . . . . .	238	10.4.1	Dichtwände im Schlitzwandverfahren . . . . .	260
<b>8.4</b>	<b>Bohrpfähle</b> . . . . .	239	10.4.2	Schmalwände . . . . .	261
8.4.1	Normalkalibrige Bohrpfähle . . . . .	239	10.4.3	Wannenförmige Dichtung von Baugruben . . . . .	262
8.4.2	Großbohrpfähle . . . . .	240	<b>10.5</b>	<b>Ankersicherung</b> . . . . .	263
8.4.3	Pfähle mit kleinen Durchmessern . . . . .	241	10.5.1	Herstellung von Verpress- bzw. Injektionsankern . . . . .	264
<b>9</b>	<b>Schutz der Bauwerke vor Grundwasser</b> . . . . .	243	10.5.2	Ankersysteme von Verpress- und Injektionsankern . . . . .	265
<b>9.1</b>	<b>Dränung von Bauwerken</b> . . . . .	244	10.5.3	Prüfung der Anker . . . . .	266
<b>9.2</b>	<b>Druckwasserhaltende Abdichtung von Bauwerken</b> . . . . .	246	10.5.4	Bemessung der Anker . . . . .	267
<b>9.3</b>	<b>Dezentrale Regenwasserversickerung</b> . . . . .	247	<b>11</b>	<b>Wasserhaltung</b> . . . . .	271
<b>9.4</b>	<b>Betonangreifende Wässer und Böden</b> . . . . .	248	<b>11.1</b>	<b>Offene Wasserhaltung</b> . . . . .	272
9.4.1	Entnahme und Untersuchung von Grundwasser- und Bodenproben . . . . .	248	<b>11.2</b>	<b>Grundwasserabsenkung mit Brunnen</b> . . . . .	273
9.4.2	Betonaggressive Stoffe und ihre Wirkung . . . . .	250	<b>11.3</b>	<b>Grundwasserabsenkung mittels Vakuumverfahren</b> . . . . .	277
9.4.3	Beurteilung der Aggressivität . . . . .	252	<b>11.4</b>	<b>Elektroosmotische Entwässerung</b> . . . . .	277
9.4.4	Bauliche Schutzmaßnahmen . . . . .	253	<b>11.5</b>	<b>Berechnung einer Grundwasserabsenkung</b> . . . . .	278
			<b>11.6</b>	<b>Grundwasserkommunikationsanlagen</b> . . . . .	280
			<b>12</b>	<b>Erdarbeiten</b> . . . . .	281
			<b>12.1</b>	<b>Gewinnung und Förderung</b> . . . . .	283
			<b>12.2</b>	<b>Einbau und Verdichtung</b> . . . . .	285
			12.2.1	Verdichtbarkeit der Boden- und Felsarten . . . . .	286

12.2.2	Verdichtungsgeräte . . . . .	287	<b>13.4</b>	<b>Erfahrungswerte von Böschungsneigungen in den deutschen Mittelgebirgen</b> . . . . .	314
12.2.3	Verdichtungsanforderungen nach ZTVE und RiL 836 . . . . .	288	13.4.1	Alte Gebirge . . . . .	314
12.2.4	Verdichtungskontrollen . . . . .	290	13.4.2	Schichtgesteine . . . . .	315
12.2.5	Vorbereiten der Dammaufstandsfläche und Verdichten der Böschungsbereiche . . . . .	293	13.4.3	Tertiäre und quartäre Gesteine, Braunkohletagebaue . . . . .	316
12.2.6	Hinterfüllen und Überschütten von Bauwerken . . . . .	294	<b>13.5</b>	<b>Standsicherheit von Böschungen in Steine und Erdenbetrieben</b> . . . . .	317
<b>12.3</b>	<b>Bodenverbesserung und Bodenverfestigung</b> . . . . .	294	<b>14</b>	<b>Standsicherheit und Verformung von Dämmen</b> . . . . .	319
12.3.1	Bodenverbesserung und Bodenverfestigung mit Kalk . . . . .	295	<b>14.1</b>	<b>Standsicherheit von Dämmen</b> . . . . .	319
12.3.2	Bodenverfestigung mit Zement . . . . .	296	14.1.1	Grundbruchsicherheit . . . . .	319
12.3.3	Verbesserung der Tragfähigkeit und Standfestigkeit durch Geokunststoffe . . . . .	297	14.1.2	Gleit- bzw. Spreizsicherheit . . . . .	319
<b>12.4</b>	<b>Frostwirkung</b> . . . . .	299	14.1.3	Sicherheit gegen Böschungsbruch . . . . .	320
12.4.1	Frostempfindlichkeit von Erdstoffen und Fels . . . . .	299	14.1.4	Dämme auf wenig tragfähigem Untergrund . . . . .	321
12.4.2	Tragschicht und Frostschuttschicht im Straßenbau . . . . .	300	<b>14.2</b>	<b>Setzungen von Dämmen auf tragfähigem Untergrund</b> . . . . .	322
12.4.3	Bettung, Frostschutz- und Planumschutzschicht bei Gleisanlagen . . . . .	301	<b>14.3</b>	<b>Maßnahmen zur Erhöhung der Standsicherheit und Abminderung der Setzungen</b> . . . . .	323
<b>13</b>	<b>Standsicherheit von Böschungen</b> . . . . .	303	14.3.1	Maßnahmen bei der Dammschüttung . . . . .	324
<b>13.1</b>	<b>Böschungsneigungen in Lockergesteinen</b> . . . . .	304	14.3.2	Punkt- und streifenförmige Bodenstabilisierung . . . . .	325
13.1.1	Grobkörnige Böden . . . . .	304	14.3.3	Teilweiser oder vollständiger Bodenaustausch . . . . .	326
13.1.2	Feinkörnige Böden . . . . .	305	<b>15</b>	<b>Rutschungen</b> . . . . .	329
13.1.3	Gemischtkörnige Böden . . . . .	305	<b>15.1</b>	<b>Ursachen von Rutschungen</b> . . . . .	329
13.1.4	Heterogene (geschichtete) Böden . . . . .	305	15.1.1	Geologische Voraussetzungen . . . . .	329
13.1.5	Aufgespülte Böden und Kippenböschungen . . . . .	306	15.1.2	Veränderungen der Neigung oder Höhe eines Hanges bzw. einer Böschung . . . . .	331
<b>13.2</b>	<b>Böschungen im Fels</b> . . . . .	306	15.1.3	Wirkung des Wassers . . . . .	331
13.2.1	Einfluss des Trennflächengefüges und der Frostbeständigkeit . . . . .	306	15.1.4	Vegetation und menschliche Eingriffe . . . . .	332
13.2.2	Böschungsneigungen und Böschungsformen . . . . .	307			
13.2.3	Herstellen von Felsböschungen . . . . .	309			
<b>13.3</b>	<b>Sicherungsmaßnahmen</b> . . . . .	310			
13.3.1	Maßnahmen beim Böschungsbau . . . . .	310			
13.3.2	Lebendverbaumaßnahmen . . . . .	312			
13.3.3	Entwässerungsmaßnahmen . . . . .	313			

<b>15.2</b>	<b>Erkennungsmerkmale und Untersuchungsmethoden . . .</b>	<b>333</b>	<b>16</b>	<b>AbfalldPONen, Boden- und Grundwasserschutz .</b>	<b>379</b>
15.2.1	Beschreibung der wichtigsten Begriffe einer Rutschung . . . . .	333	<b>16.1</b>	<b>Abfallrechtliche Grundlagen .</b>	<b>379</b>
15.2.2	Erkennen von Rutschungen und Rutschhangen im Gelände . . . . .	335	<b>16.2</b>	<b>Klassifikation der Abfallarten und Deponiekonzepte . . . . .</b>	<b>381</b>
15.2.3	Lage- und höhenmäßige Aufnahme und Darstellung . . . . .	338	<b>16.3</b>	<b>Das Multibarrierenkonzept . .</b>	<b>383</b>
15.2.4	Aufschlussarbeiten . . . . .	339	16.3.1	Deponieuntergrund . . . . .	383
15.2.5	Lagebestimmung der Gleitfläche und Bewegungsmessungen . . . . .	341	16.3.2	Deponieabdichtungssysteme . . .	396
15.2.6	Altersdatierung und Bewegungsablauf . . . . .	343	<b>16.4</b>	<b>Umschlieungstechniken . . .</b>	<b>401</b>
<b>15.3</b>	<b>Arten von Rutschungen, Klassifikation . . . . .</b>	<b>346</b>	<b>16.5</b>	<b>Untersuchung und Bewertung von Verdachtsflächen . . . . .</b>	<b>402</b>
15.3.1	Fallen . . . . .	347	16.5.1	Erfassung . . . . .	404
15.3.2	Kippen . . . . .	348	16.5.2	Untersuchung und Gefährdungsabschätzung . . . . .	405
15.3.3	Gleiten . . . . .	348	16.5.3	Wirkungspfad Boden-Mensch-Nutzpflanze . . . . .	409
15.3.4	Driften . . . . .	349	16.5.4	Wirkungspfad Boden-Grundwasser . . . . .	416
15.3.5	Fließen . . . . .	350	16.5.5	Luftpfad . . . . .	423
15.3.6	Komplexe Rutschungstypen . . . . .	353	<b>16.6</b>	<b>Sicherungs- und Sanierungsmöglichkeiten . . .</b>	<b>426</b>
<b>15.4</b>	<b>Berechnungsansätze und Diskussion der Scherparameter . . . . .</b>	<b>353</b>	16.6.1	Nutzungsbeschränkung, Kontrolle und Überwachung . . . . .	427
<b>15.5</b>	<b>Vorkehrende Maßnahmen und Sanierung von Rutschungen . . . . .</b>	<b>356</b>	16.6.2	Sicherung . . . . .	430
15.5.1	Verbesserung bzw. Wiederherstellung des Boschungsgleichgewichtes . . . . .	358	16.6.3	Sanierungsmaßnahmen . . . . .	430
15.5.2	Oberflachendranung . . . . .	359	<b>16.7</b>	<b>Bebauung von Verdachtsflächen und kontaminierten Standorten . . . . .</b>	<b>436</b>
15.5.3	Tiefdranung . . . . .	359	16.7.1	Kennzeichnungs- und Untersuchungspflicht . . . . .	436
15.5.4	Stabilisierung von Hangrutschungen . . . . .	360	16.7.2	Flächenrecycling . . . . .	437
15.5.5	Gründung von Bauwerken an rutschungsgefahrdeten Hängen . .	361	<b>16.8</b>	<b>Entsorgung von Bodenaushub und Bauschutt . . . . .</b>	<b>437</b>
15.5.6	Gefahrenbeurteilung, Überwachungs- und Warnanlagen . .	362	16.8.1	Abfallbegriff, Verwertungsgebot .	438
<b>15.6</b>	<b>Als rutschungsanfallig bekannte Schichten . . . . .</b>	<b>363</b>	16.8.2	Klassifikation der mineralischen Reststoffe und Abfälle . . . . .	439
15.6.1	Variszische Gebirge . . . . .	364	16.8.3	Untersuchungsumfang, Probenahme . . . . .	440
15.6.2	Buntsandsteingebiete . . . . .	366	16.8.4	Anforderungen an die Verwertung	441
15.6.3	Grenze Röt/Muschelkalk und Mittlerer/Oberer Muschelkalk . .	367	<b>16.9</b>	<b>Verwertungs- und Beseitigungsnachweise . . . .</b>	<b>444</b>
15.6.4	Keuper . . . . .	370			
15.6.5	Jura . . . . .	372			
15.6.6	Kreide . . . . .	373			
15.6.7	Tertiär . . . . .	374			
15.6.8	Quartär . . . . .	378			

<b>17</b>	<b>Tunnelbau</b> . . . . .	445	17.5.2	Konventioneller bergmännischer Vortrieb . . . . .	510
<b>17.1</b>	<b>Aufgaben und Grenzen der ingenieurgeologischen Erkundung, Risikomanagement</b> . . . . .	446	17.5.3	Maschinelle Vortriebe . . . . .	512
17.1.1	Risikomanagement und Gefährdungsbilder . . . . .	447	<b>17.6</b>	<b>Ausbrucharbeiten</b> . . . . .	521
17.1.2	Spezielle Erkundungsmethoden . . . . .	448	17.6.1	Bagger und Sprengvortrieb . . . . .	521
17.1.3	Tunnelplanung in Karstgebieten . . . . .	452	17.6.2	Profilhaltung und Mehrausbruch . . . . .	523
17.1.4	Erkundung der Grundwassersituation . . . . .	454	<b>17.7</b>	<b>Sicherungsarbeiten</b> . . . . .	524
17.1.5	Auftreten von Gasen im Gebirge . . . . .	466	17.7.1	Spritzbetonsicherung . . . . .	524
17.1.6	Umweltbelastung . . . . .	467	17.7.2	Ankersicherung . . . . .	527
17.1.7	Ermittlung geotechnischer Kennwerte . . . . .	467	17.7.3	Firstsicherung durch Spieße, Dielen oder Schirme . . . . .	531
17.1.8	Lösbarkeit und Erweichbarkeit . . . . .	469	17.7.4	Gebirgsvergütung durch Injektionen . . . . .	533
<b>17.2</b>	<b>Gebirgsklassifizierung</b> . . . . .	471	17.7.5	Gebirgsvergütung durch Bodenvereisung . . . . .	535
17.2.1	Qualitative Gebirgsklassifizierung . . . . .	472	<b>18</b>	<b>Talsperrengeologie</b> . . . . .	537
17.2.2	Quantitative Gebirgsklassifizierung . . . . .	475	<b>18.1</b>	<b>Ingenieurgeologische Arbeiten</b> . . . . .	537
17.2.3	Gebirgsverhaltenstypen und Systemverhalten nach ÖGG-Richtlinie und SIA-Norm . . . . .	477	18.1.1	Voruntersuchungen für die Planung . . . . .	538
17.2.4	Darstellung der Gebirgstypen bzw. -klassen . . . . .	479	18.1.2	Untersuchung für die Bauausführung . . . . .	538
<b>17.3</b>	<b>Ingenieurgeologische Baubetreuung</b> . . . . .	480	18.1.3	Mitarbeit bei Bauausführung, Probestau und Betrieb . . . . .	538
17.3.1	Ingenieurgeologische Vortriebsdokumentation . . . . .	480	<b>18.2</b>	<b>Spezielle Problemstellungen</b> . . . . .	539
17.3.2	Ingenieurgeologisches Nachtragsmanagement . . . . .	482	18.2.1	Durchlässigkeit des Untergrundes . . . . .	540
<b>17.4</b>	<b>Standfestigkeit und Tragverhalten des Gebirges</b> . . . . .	485	18.2.2	Ermittlung der Sickerwasserverluste . . . . .	543
17.4.1	Lage, Richtung und Querschnitt des Hohlraumes . . . . .	485	18.2.3	Raumstellung der Wasserleitenden Elemente . . . . .	544
17.4.2	Spannungszustand, Spannungsumlagerung, Gebirgsdruck . . . . .	486	18.2.4	Erosionsgefährdung durch Sickerwasserströmung . . . . .	544
17.4.3	Geotechnische Messungen und Verformungsverhalten bei Mittelgebirgstunneln . . . . .	492	18.2.5	Veränderlich feste oder erweichbare Gesteine . . . . .	546
17.4.4	Verbundwirkung von Gebirge und Spritzbetonausbau . . . . .	498	18.2.6	Erdbebensicherheit und induzierte Seismizität . . . . .	547
17.4.5	Bemessungsannahmen für die Tunnelstatik . . . . .	501	18.2.7	Stauhaltungen in verkarstungsfähigen Gesteinen . . . . .	549
<b>17.5</b>	<b>Bauweisen</b> . . . . .	508	18.2.8	Stabilität der Hänge . . . . .	549
17.5.1	Offene und halboffene Bauweisen . . . . .	509	<b>18.3</b>	<b>Absperrbauwerke</b> . . . . .	550
			18.3.1	Staumauern . . . . .	550
			18.3.2	Dämme . . . . .	551
			<b>18.4</b>	<b>Untergrundabdichtung</b> . . . . .	555
			18.4.1	Horizontale Dichtungselemente . . . . .	555
			18.4.2	Vertikale Dichtungswände . . . . .	556
			18.4.3	Injektionsschleier . . . . .	556

<b>19</b>	<b>Bauen in Erdfallgebieten</b>	561	19.4.2	Frühwarneinrichtungen . . . . .	582
<b>19.1</b>	<b>Karstterminologie</b> . . . . .	562	19.4.3	Verbesserung des Untergrundes .	582
<b>19.2</b>	<b>Ursachen der Bodensenkungen und Erdfälle sowie ihre hauptsächlichliche Verbreitung</b> .	562	19.4.4	Konstruktive Maßnahmen . . . . .	584
19.2.1	Karbonatkarst . . . . .	562			
19.2.2	Sulfatkarst . . . . .	565			
19.2.3	Chloridkarst . . . . .	571			
19.2.4	Erdfälle durch Erosions- und Suffosionserscheinungen . . . . .	577			
<b>19.3</b>	<b>Ingenieurgeologische Untersuchungsmethoden</b> . . .	577	<b>20</b>	<b>Nutzung von Erdwärme</b> .	587
19.3.1	Geologisch-morphologische Verfahren . . . . .	578	<b>20.1</b>	<b>Grundlagen der Geothermie</b> .	587
19.3.2	Geotechnische Untersuchungsverfahren . . . . .	579	<b>20.2</b>	<b>Geothermische Verfahren</b> . .	588
<b>19.4</b>	<b>Bautechnische Maßnahmen</b> .	579	20.2.1	Oberflächennahe geothermische Systeme . . . . .	589
19.4.1	Schäden durch Erdfälle und Senkungen . . . . .	580	20.2.2	Tiefe geothermische Systeme . . .	593
			<b>20.3</b>	<b>Bergrechtliche und wasserrechtliche Grundlagen</b> . . . . .	594
			20.3.1	Bergrecht . . . . .	594
			20.3.2	Wasserrecht . . . . .	595
			<b>Literatur</b> . . . . .		597
			<b>Anhang</b> . . . . .		635