

SSo,

Dieter Richter  
Ingenieur-  
und  
Hydrogeologie

**W**  
DE  
**G**

Walter de Gruyter  
Berlin • New York  
1989

# Inhalt

Verzeichnis der Formel- und Nebenzeichen .....	XVII
--	------

## 1 Ingenieurgeologie

1.1 Einführung .....	1
1.2 Die Gesteine (Böden und Fels) und ihr geomechanisches Verhalten .....	2
1.2.1 Böden (LockergeSteine) .....	2
1.2.1.1 Bodenphysikalische Kennwerte sowie ihre Ermittlung und Bedeutung .....	3
Korngrößen-Analyse 3 • Porenanteil und Porenzahl 8 • Dichte und Wichte 10 • Lagerungsdichte 14 • Zustandsgrößen 18 • Kalkgehalt und organische Substanz 22 • Zusammendrückbarkeit 22 • Scherfestigkeit 28 • Wasser- Bewegung im Boden 41 (Kapillarität 41 • Porenwasser-Druck und -Strömung 42)	
1.2.1.2 Einteilung der Böden für bautechnische Zwecke .....	42
Grobkörnige Böden 43 • Gemischtkörnige Böden 43 • Feinkörnige Böden 43 • Organische Böden 43	
1.2.2 Fels (Festgesteine) .....	46
1.2.2.1 Allgemeines .....	46
1.2.2.2 Die wichtigsten Festgesteine .....	46
Sedimentgesteine 46 • Magmatite 49 • Metamorphite 49 • Gesteinsneben- gruppen 49 (Pyroklastika 49 • Migmatite 51)	
1.2.2.3 Trennflächen im Fels .....	51
Schichtflächen 51 • Schieferung 51 • Klüfte 51 • Störungen 59 • Messung, Beschreibung und Darstellung von Trennflächen 60	
1.2.2.4 Geotechnische Eigenschaften und Verhalten von Festgesteinen ..	63
Verwitterungszustand 64 • Verwitterungsempfindlichkeit 65 • Dichte und Wichte 66 • Porosität und Wasser-Aufnahme 67 • Härte 67 • Gesteinsfestig- keit 69 (Druckfestigkeit 69 • Scherfestigkeit 72 • Zugfestigkeit 74) • Ge- steinsverformbarkeit 76 • Bearbeitbarkeit und Gewinnbarkeit 78 • Faustreg- eln zur Beurteilung der technischen Verwendbarkeit von Festgesteinen 79	
1.2.2.5 Geotechnische Eigenschaften und Verhalten des Gebirges .....	80
Gebirgsfestigkeit 81 (Druckfestigkeit 81 • Scherfestigkeit 82) • Gebirgsver- formbarkeit 83 • Gebirgsspannung (Gebirgsdruck) 88 • Bergwasser 92	
1.2.3 Einstufung der Gesteine in Boden- und Felsklassen nach der Verdingungsordnung für Bauleistungen .....	96
1.3 Ablauf einer ingenieurgeologischen Untersuchung .....	97
1.3.1 Voruntersuchung .....	97
1.3.1.1 Karten und Luftbilder .....	97
Topographische Karten 97 • Geologische Karten 100 • Spezialkarten 105 (Baugrund-Karten 105 • Hydrogeologische Karten 106) • Luftbilder 107	
1.3.2 Eingehende ingenieurgeologische Untersuchung (Hauptuntersuchung)...	109

1.3.3	Ingenieurgeologische Arbeiten und Betreuung während der Bauzeit	110
1.3.4	Ingenieurgeologische Arbeiten nach Beendigung des Bauwerkes	110
1.4	Untersuchungsmethoden zur Erkundung des Untergrundes	110
1.4.1	Natürliche Aufschlüsse	111
1.4.2	Aufschluß-Arbeiten	111
1.4.2.1	Schürfe	111
1.4.2.2	Bergmännisch hergestellte Aufschlüsse	112
1.4.2.3	Bohrungen	112
	Bohr-Verfahren und -Geräte 113 • Drehkernbohr-Verfahren mit Spülung 113 : Trockendrehbohr-Verfahren 117 • Rammbohr-Verfahren 119*Schlagbohr-Verfahren 119 • Greiferbohr-Verfahren 120 • Sondierbohr-Verfahren 120	
1.4.2.4	Sondierungen	122
	Rammsondierungen 122 • Drucksondierungen 126 • Flügelsondierungen 128	
1.4.2.5	Geophysikalische Verfahren	129
1.4.3	Aufnahme von Aufschlüssen	132
1.4.3.1	Aufnahme von Schürfen	132
1.4.3.2	Aufnahme von Bohrungen	132
	Bohrungen im Lockergestein 132 • Bohrungen im Fest-(Fels-)gestein 135 • Erfassen von Grundwasser 136 • Bohrloch-Messungen 139 (Optische Sondierungen 139 • Bohrloch-Neigungsmessungen 139)	
1.4.4	Zeichnerische Darstellung von Boden- und Felsarten	140
1.4.5	Bohrprogramm und Fehlerquellen	142
1.4.6	Ausschreibung von Bohrarbeiten	147
1.5	Allgemeine Aufgaben der Ingenieurgeologie	147
1.5.1	Baugrund-Untersuchung	147
1.5.1.1	Einteilung der Gesteine als Baugrund	148
	Festgesteine 148 • Halbfestgesteine 149 • Lockergesteine 150	
1.5.1.2	Einteilung der Baugrund-Arten	150
	Sehr guter Baugrund 150 • Guter Baugrund 150 • Bedingt geeigneter Baugrund 151 • Schlechter Baugrund 151 • Ungeeigneter Baugrund 151	
1.5.1.3	Standfestigkeit des Baugrundes	151
1.5.1.4	Tragfähigkeit des Baugrundes	154
	Spannungsverteilung im Baugrund 154 • Setzungen 159 (Setzungsberechnung 159 • Typische Setzungserscheinungen 165 • Risse-Schäden 168 • Maßnahmen gegen unterschiedliche Setzungen 169 • Nicht vorhersehbare Setzungen 170 • Einfluß von Erschütterungen 171 • Kontrolle von Setzungen 172) • Grundbruch-Sicherheit 173 (Grundbruch-Berechnung bei lotrecht und mittig belasteten Flachgründungen 176 • Grundbruch-Berechnung bei schräg und außermittig belasteten Flachgründungen 177) • Kippsicherheit 179 • Gleitsicherheit 179 • Auftrieb 180 • Bodensenkungen und Erdfälle durch Auslaugen des Untergrundes 181 • Schwellen des Baugrundes 184 • Frost-Wirkungen auf den Baugrund 185	
1.5.2	Verbesserung der Tragfähigkeit des Baugrundes	188
1.5.2.1	Mechanische Verdichtung	188
	Oberflächen-Verdichtung 188 • Tiefen-Verdichtung und Rüttestopf-Ver-	

dichtung 188 • Grobkorn-Stabilisierung und dynamische Intensivverdichtung 191	
1.5.2.2 Boden-Austausch .....	191
1.5.2.3 Verfestigung und Dichtung des Baugrundes durch Injektionen.. .	193
1.5.3 Gründungen .....	196
1.5.3.1 Flachgründungen .....	196
Sohlspannungsverteilung 197 • Mittige und außermittige Belastung von starren Einzelfundamenten 200 • Linien- und Einzellasten auf Streifenfundamenten 202 • Zulässige Bodenpressungen (Sohl-Normalspannungen) in Regelfällen 202 • (Nichtbindiger Baugrund 203 • Bindiger Baugrund 204 • Fels 205)	
1.5.3.2 Tiefgründigen .....	206
Pfahlgründungen 206 (Fertigpfähle 208 • Ortpfähle 209 • Ermittlung der Tragfähigkeit von Pfählen 212 • Ausbildung der Pfahlgründungen 217) • Pfeiler-, Brunnen- und Senkkasten-Gründungen 219	
1.5.4 Erddruck .....	221
1.5.5 Böschungen .....	225
1.5.5.1 Allgemeines .....	225
1.5.5.2 Standsicherheit von Böschungen .....	227
Standsicherheitsberechnungen 227 (Ebene Gleitflächen 228 • Kreisförmige Gleitflächen 230)	
1.5.5.3 Böschungen in einheitlichen Lockergesteinen .....	232
Nichtbindige Lockergesteine 232 • Bindige Lockergesteine 233 • Gemischtkörnige Lockergesteine 235 • Geschichtete Lockergesteine 236 • Messung von Böschungsbewegungen in Lockergesteinen 237	
1.5.5.4 Böschungen im Fels .....	237
Messung von Böschungsbewegungen im Fels 241 • Böschungsneigung und -form 242 • Herstellung von Felsböschungen 243	
1.5.5.5 Sicherungsmaßnahmen .....	244
Entwässerungsmaßnahmen 244 • Biologische Böschungssicherung 246 • Stütz- und Fangkonstruktionen 247 (Stützmauern 247 • Schlitz- und Bohrpfahl-Wände 249 • Gabionenmauern 250 • Futtermauern 250 • Fangbauwerke 250 • Stützknaggen 251 • Stützpfiler 251) • Oberflächen-Versiegelung 252 • Anker-Sicherung 252	
1.5.6 Hang- und Böschungsbewegungen (Rutschungen) .....	254
1.5.6.1 Ursachen von Massenbewegungen .....	255
Geologische Faktoren 255 • Veränderung von Neigung oder Höhe eines Hanges oder einer Böschung 256 • Einfluß des Wassers 256 • Veränderung der Vegetation 257	
1.5.6.2 Klassifikation der Hangbewegungen .....	257
Kriechbewegungen 257 • Gleitbewegungen (Rutschungen i.e.S.) 258 (Elemente einer Rutschung im Lockergestein 258 • Elemente einer Rutschung im Festgestein 259 • Arten von Rutschungen 260 (Einfache Gleitungen 260 • Rotationsrutschungen auf gekrümmten Gleitflächen 261 • Kombinierte Rutschungen 262 • Zusammengesetzte Rutschungen 263) • Fließbewegungen 263 • Abbrüche 264 • Aufwölbung plastischer Schichten in der Talsohle 265	

## XII Inhaltsverzeichnis

1.5.6.3	Hinweise auf Hangbewegungen im Gelände	266
1.5.6.4	Untersuchung von Hangbewegungen	267
	Kartierung und Detailaufnahme 267 • Aufschluß-Arbeiten 268 • Alter der Hangbewegungen 271 • Messung von Hangbewegungen 272	
1.5.6.5	Berechnung von Rutschungen	273
1.5.6.6	Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen	275
	Änderung der Hangform 275 • Drainage 276 (Oberflächen-Drainage 276 • Tiefdrainage 277) • Bepflanzung 277 • Rutschungsstabilisierung 277	
1.5.7	Fels- und Tunnelbau	279
1.5.7.1	Allgemeines	279
1.5.7.2	Ingenieurgeologische Untersuchungsarbeiten	279
	Erkundungs- und Aufschlußarbeiten 279 • Geotechnische Fels- und Gebirgsbeschreibung 281 • Bedeutung der tektonischen Verhältnisse des Gebirges für den Hohlraum- und Tunnelbau 284 • Gebirgsdurchlässigkeit und Bergwasser-Anfall 287	
1.5.7.3	Bemessungsannahmen für die Statik beim Felshohlraum-Bau	289
1.5.7.4	Gebirgsklassifikation	292
1.5.7.5	Bau-Durchführung beim Tunnel-Vortrieb in Abhängigkeit von den geologischen Verhältnissen	297
	Tunnel-Bauweisen 297 (Kern-Bauweise 297 • Belgische oder Unterfang-Bauweise 297 • Vollprofil-Bauweise 298 • Neue Österreichische Tunnel-Bauweise 298) • Sicherungsmaßnahmen und Verbau-Arbeiten 302 (Anker-Sicherung 302 • Spritzbeton-Sicherung 303 • Stahlbogen-Verbau 304) • Ausbau 304	
1.5.7.6	Ingenieurgeologische Betreuung und Tunnel-Dokumentation	304
1.5.8	Verkehrswege-Bau	306
1.5.8.1	Allgemeines	306
1.5.8.2	Ingenieurgeologische Untersuchungsarbeiten	306
	Erkundungs- und Aufschlußarbeiten 307 • Einfluß der geologischen Verhältnisse auf die Lage der Trasse 307	
1.5.8.3	Bau tragfähiger Verkehrswege	309
1.5.8.4	Frostschutz-Maßnahmen	313
1.5.8.5	Boden-Verfestigung und -Verbesserung	315
	Boden-Verfestigung 316 • Boden-Verbesserung 317	
1.5.8.6	Punktförmige Boden-Stabilisierung	319
1.5.8.7	Verkehrsdämme auf organischem Boden	320
1.5.8.8	Boden- und Grundwasser-Schutz im Bereich von Verkehrsflächen	321
1.5.8.9	Ingenieurgeologische Betreuung und Bau-Dokumentation	322
1.5.9	Talsperren-Bau	323
1.5.9.1	Allgemeines	323
1.5.9.2	Ingenieurgeologische Untersuchungsarbeiten	323
	Voruntersuchung 324 • Hauptuntersuchung 324 (Untersuchungen im Gründungsbereich des Absperr-Bauwerkes 325 • Untersuchungen im Beckenbereich 327) • Mitarbeit während der Bau-Ausführung und des Probe-staues 328	
1.5.9.3	Spezielle ingenieurgeologische Untersuchungen und Probleme	329
	Durchlässigkeit des Untergrundes 329 • Raumlage der wasserleitenden	

oder -sperrenden geologischen Elemente 333 • Sickerwasser 336 (Ermittlung der Sickerwasser-Verluste 336 • Wirkung des Sickerwassers 336) • Erdbeben-Sicherheit 339

1.5.9.4 Absperr-Bauwerke ..... 342

Geländeform 343 • Allgemeine Anforderungen an den Untergrund 343 • Bedeutung des Auftriebes 345 • Staumauern 347 • Staudämme 349 (Staudamm-Aufbau 349 • Gründungsmaßnahmen 351)

1.5.9.5 Untergrund-Dichtung ..... 353

Horizontale Dichtung 354 • Vertikale Dichtung 354 • (Dichtungswände 355 • Injektionsschleier 355)

**2 Hydrogeologie**

2.1 Einführung ..... 361

2.2 Die Bildung des Grundwassers ..... 361

2.2.1 Hydrologischer Kreislauf und Wasser-Haushalt ..... 362

2.2.2 Niederschlag ..... 363

2.2.3 Verdunstung ..... 367

2.2.4 Abfluß ..... 370

2.2.4.1 Ermittlung des Abflusses ..... 370

2.2.4.2 Die verschiedenen Teile des Abflusses ..... 372

Die hydrogeologische Auswertung von Abfluß-Messungen 373 • Vergleich der Trennungverfahren 379

2.2.4.3 Quellen ..... 379

Absteigende Quellen 379 • Aufsteigende Quellen 381

2.2.4.4 Grundwasser-Abstrom ..... 383

2.2.5 Grundwasser-Vorratsänderung ..... 384

2.2.6 Grundwasser-Neubildung ..... 384

2.2.6.1 Bestimmung mit Lysimetern ..... 385

2.2.6.2 Bestimmung aus der Wasserhaushaltsgleichung ..... 386

2.2.6.3 Bestimmung aus dem Abfluß in Vorflutern und Quellen ..... 386

2.2.6.4 Bestimmung durch instationäre Berechnung ..... 386

2.2.6.5 Bestimmung anhand der Grundwasser-Stände ..... 387

2.2.6.6 Bestimmung aus Daten von Wasserwerken ..... 387

2.2.6.7 Bestimmung aus dem Chlorid-Gehalt des Niederschlags- und Grundwassers ..... 388

2.2.7 Infiltration des Oberflächen-Wassers ..... 388

2.2.7.1 Infiltration des Niederschlagswassers ..... 388

2.2.7.2 Uferfiltration ..... 389

2.3 Die Grundwasser-Bewegung ..... 389

2.3.1 Die Hohlräume im Untergrund ..... 389

2.3.1.1 Poren-Hohlraum ..... 390

2.3.1.2 Kluft-Hohlraum ..... 392

2.3.1.3 Karst-Hohlraum ..... 394

2.3.2 Die Grundwasser-Leiter ..... 394

2.3.3 Das Wasser-Leitvermögen der Gesteine ..... 402

2.3.3.1 Das Wasser-Leitvermögen von Poren-Grundwasserleitern ..... 403

2.3.3.2	Das Wasser-Leitvermögen von Kluft-Grundwasserleitern . . . . .	409
2.3.3.3	Bestimmung des $k_f$ -Wertes durch Laborversuche . . . . .	411
2.3.3.4	Bestimmung des $k_f$ -Wertes durch Gelände-Versuche . . . . .	413
	Pump-Versuche 413 (Pump-Versuche unter quasistationären Strömungsbedingungen 417 • Pump-Versuche unter nichtstationären Strömungsbedingungen 423) • Bestimmung des $k_f$ -Wertes mittels anderer Methoden 427 • Bestimmung des $k_f$ -Wertes durch Auswertung von Korngrößen-Analysen 432 • Bestimmung des $k_f$ -Wertes mittels radioaktiver Markierungsstoffe 435	
2.3.3.5	Bestimmung der Transmissivität nach dem Einschwing-Verfahren	438
2.3.3.6	Der Speicherkoeffizient . . . . .	439
2.3.3.7	Bestimmung der Strömungsverhältnisse durch Markierungsstoffe (Tracer) . . . . .	441
2.3.4	Die Grundwasser-Oberfläche . . . . .	444
2.3.4.1	Die Grundwasserhöhengleichen-Karte . . . . .	444
2.3.4.2	Flurabstandskarten . . . . .	448
2.4	Die Beschaffenheit des Grundwassers . . . . .	449
2.4.1	Allgemeines . . . . .	449
2.4.2	Physikalische Eigenschaften und Grundlagen . . . . .	449
2.4.2.1	Die physikalischen Eigenschaften des reinen Wassers . . . . .	449
2.4.2.2	Isotopische Zusammensetzung und radiometrische Altersbestimmungen . . . . .	450
2.4.3	Chemische Eigenschaften und Grundlagen . . . . .	452
2.4.3.1	Größen und Einheiten . . . . .	453
	Masse 453 • Stoffmenge 453 • Molare Masse 453 • Molare Äquivalentmasse 454 • Äquivalentmenge 454	
2.4.3.2	Gehalt von Lösungen . . . . .	455
	Anteile 455 • Konzentrationen 455	
2.4.3.3	Das Wasser als Lösungsmittel . . . . .	456
	Die Löslichkeit von festen Stoffen 457 • Elektrolytische Dissoziation, echte und kolloide Lösung 459 • Die Löslichkeit von Gasen 459 • Der pH-Wert und sein Einfluß auf die Löslichkeit 460	
2.4.3.4	Elektrische Leitfähigkeit . . . . .	462
2.4.3.5	Oxidation und Reduktion . . . . .	464
2.4.3.6	Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht . . . . .	466
2.4.3.7	Härte des Grundwassers . . . . .	469
2.4.3.8	Adsorption, Resorption und Ionen-Austausch . . . . .	472
2.4.4	Biologische Vorgänge . . . . .	475
2.4.5	Beurteilung von Grundwässern . . . . .	477
2.4.5.1	Allgemeines . . . . .	477
2.4.5.2	Die physikalischen, chemischen und hygienischen Parameter der Grundwasser-Analyse . . . . .	478
	Physikalische Parameter 478 (Temperatur 478 • Elektrische Leitfähigkeit 478) • Chemische Parameter 478 (pH-Wert 478 • Färbung 478 • Wasserhärte und freie Kohlensäure 479 • Gase 480 • Kieselsäure 480 • Oxidierbarkeit 480 • Ionen-Gehalt 481) • Hygienische Befunde 482	
2.4.5.3	Graphische Darstellung und Auswertung von Analyse-Ergebnissen	483

Einzel diagramme 483 (Säulen-Diagramm 483 • Kreis-Diagramm 485 • Strahlen-Diagramm 486) • Sammeldiagramme 486 (Dreieck-Diagramm 486 • Quadrat-Diagramm 489 • Piper-Diagramm 490 • Vertikal-Diagramm 490) • Darstellung in Karten 491	
2.4.5.4 Grundwasser-Typen . . . . .	493
Einteilung nach dem Lösungsinhalt 493 • Einteilung nach der Nutzungsmöglichkeit 495	
2.5 Hydrogeologische Karten . . . . .	501
2.6 Die Grundwasser-Erkundung und -Erschließung . . . . .	502
2.6.1 Erkundungs- und Aufschlußarbeiten . . . . .	502
2.6.1.1 Fernerkundung . . . . .	505
2.6.1.2 Geophysikalische Untersuchungen an der Erdoberfläche. . . . .	506
Gravimetrie 506 • Seismische Verfahren 506 • Geoelektrische Meßverfahren 506	
2.6.1.3 Aufschluß-Bohrungen. . . . .	506
Bohr-Verfahren 507 (Schlagbohr-Verfahren 507 • Drehbohr-Verfahren 510 • Drehschlagbohr-Verfahren 511) • Bohrloch-Sprengungen 511 • Geophysikalische Bohrloch-Messungen 512 (Geoelektrische Meßverfahren 513 • Messung der natürlichen Gamma-Strahlung (y-Ray-Log) 516 • y-y-(Ray)-Log 517 • Neutron-Gamma (Ray)-Log oder Neutron-Log (NL) 517 • Sonic-Log (SL) 517 • Kaliber Log (KL) 518 • Temperatur Log (TL) 518 • Durchfluß-Messungen 519 • Auswertung der Bohrloch-Messungen 519)	
2.6.2 Grundwasser-Erschließung und -Gewinnung . . . . .	519
2.6.2.1 Quellen. . . . .	519
2.6.2.2 Sickeranlagen . . . . .	520
2.6.2.3 Stollen . . . . .	520
2.6.2.4 Brunnen . . . . .	521
Vertikal-Filterbrunnen (Bohrbrunnen) 521 (Ausbau der Bohrbrunnen 521 • Ausbau im Lockergestein 524 • Ausbau im Felsgestein 530) • Horizontal- und Schräg-Filterbrunnen 531 • Pump-Versuche 531	
2.7 Auswirkung der Grundwasser-Entnahme . . . . .	534
2.8 Bewirtschaftung des Grundwassers. . . . .	537
2.8.1 Uferfiltration. . . . .	538
2.8.2 Anreicherung von Grundwasser. . . . .	538
2.8.2.1 Sickerbecken . . . . .	539
2.8.2.2 Schluckbrunnen . . . . .	539
2.8.3 Speicherung von Grundwasser. . . . .	539
2.9 Schutz des Grundwassers. . . . .	540
2.9.1 Gesetzliche Regelungen. . . . .	541
2.9.2 Wassergefährdende Feststoffe. . . . .	542
2.9.3 Wassergefährdende Flüssigkeiten . . . . .	548
2.9.4 Natürliche Reinigungswirkung des Untergrundes. . . . .	551
2.9.5 Grundwasser-Schutzgebiete . . . . .	556
2.9.5.1 Trinkwasser-Schutzgebiete. . . . .	556
2.9.5.2 Heilquellen-Schutzgebiete . . . . .	562



Literaturverzeichnis.....	565
Normenverzeichnis.....	581
Sachregister.....	583
Quellenverzeichnis der aus anderen Werken unverändert übernommenen Abbildungen.....	607