

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Zur Einführung</b> . . . . .	<b>1</b>
1.1 Problemstellung . . . . .	1
1.2 Anwendungsbereiche und Bedeutung für die Praxis . . . . .	2
<b>2. Hohlräume im nichtkarbonatischen Festgestein und im Gebirge</b> . . . . .	<b>6</b>
2.1 Allgemeines . . . . .	6
2.2 Poren im Gestein . . . . .	7
2.2.1 Definitionen . . . . .	7
2.2.2 Porenraum von mittel- und grobklastischen Festgesteinen . . . . .	7
2.2.3 Porenraum von tonigen Festgesteinen . . . . .	11
2.2.4 Porenraum von Tuffgesteinen, pyroklastischen und Lavagesteinen . . . . .	12
2.2.5 Porenraum in plutonischen, vulkanischen und metamorphen Gesteinen . . . . .	13
2.3 Fugen (Trennfugen) im Gebirge . . . . .	13
2.3.1 Schichtfugen . . . . .	13
2.3.2 Klüfte . . . . .	15
2.3.3 Schieferungsfugen . . . . .	18
2.3.4 Scherfugen . . . . .	19
2.3.5 Störungen . . . . .	19
2.4 Höhlungen in festen und halbfesten Gesteinen . . . . .	24
Literatur . . . . .	25
<b>3. Grundlagen zur hydrogeologischen Beurteilung nichtkarbonatischer Festgesteine</b> . . . . .	<b>28</b>
3.1 Der Aquifer im festen Gebirge . . . . .	28
3.2 Allgemeines zur Gesteins- und Gebirgsdurchlässigkeit . . . . .	31
3.3 Porendurchlässigkeit bei Festgesteinen (Permeabilität) . . . . .	32
3.4 Fugendurchlässigkeit des aus nicht verkarstungsfähigen Festgesteinen aufgebauten Gebirges . . . . .	35
3.4.1 Strömung in Klüften und Störungen . . . . .	35
3.4.2 Geologische und hydrogeologische Erkundung zur groben Abschätzung der Wegsamkeit des Gebirges . . . . .	36
3.4.3 Pumpversuche zur Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit . . . . .	38
Pumpversuche mit stationären Bedingungen . . . . .	40
Pumpversuche mit nichtstationären Bedingungen . . . . .	42
3.4.4 Vergleiche der Gesteinsdurchlässigkeiten mit Pumpeergebnissen . . . . .	44
3.4.5 Weitere Methoden zur Abschätzung der Gebirgsdurchlässigkeit . . . . .	45
3.4.5.1 Auffüllversuche bei Bohrlöchern . . . . .	45
3.4.5.2 Geophysikalische Transmissivitätsmessungen mit Hilfe des „Einschwingverfahrens“ für den Grundwasserspiegel in Brunnen bei Festgesteinen . . . . .	47
3.4.5.3 Flußmesser (flowmeter)-Messungen in Bohrlöchern . . . . .	48
3.4.5.4 Färbe-, Salzungs- und Isotopenimpfversuche sowie Temperaturmessungen . . . . .	49
3.4.5.5 Auswertung von Grundwasserhöhengleichen-Plänen . . . . .	53
3.4.5.6 Auswertung von Korngrößenuntersuchungen . . . . .	53
3.5 Grundwasserabfluß und -erneuerung und ihr Bezug zum geologischen und lithologischen Aufbau des Gebirges . . . . .	54
3.5.1 Grundwasserhaushalt — Abtrennung des Grundwasserabflusses . . . . .	54

3.5.2	Trockenwetterabflußkurve und ihre Beziehung zu den geologischen Verhältnissen . . . . .	56
3.5.3	Ermittlung von Gebieten erhöhter Grundwasserspende aus Niedrigwasserabflüssen in lithologisch einförmigen Gebieten . . . . .	59
3.6	Zur Chemie des Grundwassers in Festgesteinen . . . . .	62
3.6.1	Grundwasserbeschaffenheit in magmatischen Gesteinen und Metamorphiten . . . . .	62
3.6.2	Grundwasserbeschaffenheit in konsolidierten, nichtkarbonatischen Sedimentgesteinen . . . . .	63
3.6.3	Wichtige gelöste Bestandteile im Grundwasser von Festgesteinen . . . . .	64
	Schwermetalle . . . . .	64
	Barium und Strontium . . . . .	66
	Lithium . . . . .	67
	Brom und Jod . . . . .	67
	Fluor und Bor . . . . .	68
	Chlor . . . . .	68
	Literatur . . . . .	69
<b>4.</b>	<b>Berechnungsgrundlagen und Rechenverfahren für Wasserströmung in Trennfugen (M. WALLNER)</b> . . . . .	<b>72</b>
4.1	Problemstellung . . . . .	72
4.2	Berechnungsgrundlagen . . . . .	73
4.3	Berechnungsverfahren . . . . .	78
	Literatur . . . . .	84
<b>5.</b>	<b>Grundwasservorkommen und Wassergewinnung in verschiedenartigen Gesteinsbereichen und ausgewählten Grundwasserlandschaften</b> . . . . .	<b>86</b>
	Vorbemerkung (H. KARRENBERG und R. HOHL) . . . . .	86
5.1	Magmatite des kristallinen Grundgebirges . . . . .	89
5.1.1	Fennoskandia . . . . .	89
5.1.2	Böhmische Masse (mit einem Beitrag von R. HOHL) . . . . .	93
5.1.3	Sonstige Kristallingebiete im westeuropäischen Raum (mit einem Beitrag von R. HOHL) . . . . .	96
5.1.4	Kristallingebiete in Afrika, Nord- und Südamerika . . . . .	99
5.1.5	Zusammenfassung der Erfahrungen für den Bereich der Magmatite . . . . .	102
	a) Gewinnbare Wassermengen . . . . .	102
	b) Wasserqualität . . . . .	104
	c) Wasserbedarfsdeckung . . . . .	104
	d) Maßnahmen zur Erkundung und Gewinnung . . . . .	104
	Literatur . . . . .	105
5.2	Metamorphite (Gneise, Glimmerschiefer, Phyllite (mit Beiträgen von R. HOHL)	106
	Gneise . . . . .	107
	Glimmerschiefer und Phyllite . . . . .	108
	Literatur . . . . .	110
5.3	Nichtkarbonatische Gesteine des gefalteten Paläozoikums in Europa (Quarzite, Sandsteine, Konglomerate, Grauwacken, Siltsteine, Tonsteine, Diabase, Schalesteine, Keratophyre und Tuffe) . . . . .	110
5.3.1	Rheinisches Schiefergebirge . . . . .	111
	Quarzite . . . . .	112
	Sandsteine, Grauwacken und Mischgesteine . . . . .	114
	Siltsteine, Tonsteine und Mischgesteine in gebänderter oder flasriger Art . . . . .	115
	Diabase, Schalestein und Roteisenstein . . . . .	116
	Zusammenfassender Überblick . . . . .	116
5.3.2	Harz (R. HOHL) . . . . .	119
5.3.3	Vogtländisch-Thüringisches Schiefergebirge (R. HOHL) . . . . .	122
5.3.4	Zusammenfassung von Erfahrungen bei gefalteten Gesteinen des Variszischen Gebirges (Kap. 5.3.1—5.3.3) . . . . .	127
	Literatur . . . . .	128

5.3.5	Klastische Gesteine des gefalteten Teils der Subvariszischen Saumsenke, am Beispiel des Steinkohlenreviers der Ruhr (Wechselfolgen von Sandsteinen, Siltsteinen und Tonsteinen)	129
5.3.5.1	Hydrogeologischer Überblick über das Ruhrkarbon und sein Deckgebirge	131
5.3.5.2	Hydrogeologische Verhältnisse im Oberkarbon des Ruhrgebietes	132
5.3.5.3	Zur bergbaulichen Wasserwirtschaft im Ruhrgebiet	136
5.3.5.4	Gewinnung von nutzbarem Grundwasser außerhalb der Grubenbereiche und Beseitigung von Abwässern	138
	Literatur	139
5.3.6	Vergleiche mit anderen gefalteten Teilen der Subvariszischen Saumsenke	140
5.3.6.1	Aachen-Erkelenzer Steinkohlenrevier	140
5.3.6.2	Steinkohlenrevier von Ibbenbüren	141
	Literatur	144
5.3.7	Zusammenfassung von Erfahrungen in gefalteten Schichtfolgen der Subvariszischen Saumsenke (Kap. 5.3.5—5.3.6)	144
5.4	Klastische Gesteine des ungefalteten Paläozoikums in den europäischen Tafelgebieten (ohne Rotliegendes)	145
5.4.1	Ungefaltete Vorland-Sedimente des variszischen Gebirges zwischen Ruhrgebiet und Nordsee (ohne Rotliegendes)	145
5.4.2	Baltischer Schild in der Umgebung der Baltischen Synklise	147
5.4.3	Baltischer Schild in der nördlichen Umrahmung des Moskauer Beckens	148
5.4.4	Böhmen	150
5.4.5	Hinweise auf ungefaltetes Paläozoikum in anderen Teilen der Erde	151
5.4.6	Zusammenfassung für den Bereich des ungefalteten Paläozoikums	151
	Literatur	153
5.5	Das Molassestockwerk des paläozoischen Gebirges (Oberkarbon und Rotliegendes)	154
5.5.1	Allgemeines (R. HOHL und H. KARRENBERG)	154
5.5.2	Hydrogeologische Verhältnisse der permosilesischen Sedimente im sächsisch-thüringischen Raum (R. HOHL)	155
5.5.3	Hydrogeologische Verhältnisse der Vulkanitkomplexe des Molasse-Stockwerkes in Thüringen und Sachsen (R. HOHL)	162
5.5.4	Zur Hydrogeologie der Sedimente und Vulkanite des Saar-Wetterau-Werra-Troges	165
5.5.5	Zur Hydrogeologie der Ablagerungen im Rotliegendbecken des nördlichen Mitteleuropa	169
5.5.6	Zusammenfassung einiger Erfahrungen für den Bereich der Rotliegend-Sedimente und -Vulkanite	170
	Literatur	171
5.6	Sandsteine des Mesozoikums	173
5.6.1	Sandsteine der Trias	174
5.6.1.1	Buntsandstein in Deutschland	174
	Geologischer Überblick	174
	Hydrogeologischer Überblick	175
	Grundwasserneubildung	179
	Grundwasserbeschaffenheit	179
	Grundwassergewinnung und -nutzung	180
5.6.1.2	Vergleich mit dem Buntsandstein in England und Frankreich	181
5.6.1.3	Sandsteine des Unteren und Mittleren Keupers, vorwiegend in Süddeutschland	183
5.6.1.4	Sandsteine des Oberen Keupers (Rhät) in der Bundesrepublik Deutschland	185
5.6.2	Sandsteine des Juras	185
5.6.3	Sandsteine der Unterkreide	186
5.6.3.1	Osning-Sandstein	187
5.6.3.2	Hilssandstein	187

5.6.4 Sandsteine der Oberkreide im sächsisch-böhmischen Bereich (R. Нонн)	188
5.6.5 Bedeutende Sandsteinbildungen des Mesozoikums außerhalb Europas	191
5.6.6 Zusammenfassung einiger Erfahrungen bei mesozoischen Sandsteinen des ungefalteten Deckgebirges	193
Literatur	194
5.7 Mergelgesteine des Mesozoikums und des Tertiärs	197
5.7.1 „Steinmergel“ des Mittleren Keupers im nördlichen Teil der Bundesrepublik Deutschland	198
5.7.2 „Flammenmergel“ des Albien im nördlichen Teil der Bundesrepublik Deutschland	199
5.7.3 Oberkretazische Mergelgesteine (Cenoman bis Ober-Santon) im Deckgebirge des Steinkohlenreviers der Ruhr	199
5.7.4 Mergel der höheren Oberkreide (Vorhelmer Schichten des Campans) im zentralen Teil des Münsterschen Beckens	202
Literatur	205
5.8 Vulkanische Gesteine des Mesozoikums und Känozoikums	206
5.8.1 Allgemeines	206
5.8.2 Island (Iceland)	208
a) Geologischer Überblick	208
b) Hydrogeologie	209
c) Wasserbilanz, Wasserversorgung und sonstige Wassernutzung	212
5.8.3 Kanarische Inseln	212
a) Geologischer Überblick	213
b) Hydrogeologie	213
c) Zur Wasserbilanz und Wasserversorgung	215
5.8.4 Oahu (Hawaii-Inseln)	216
a) Geologischer Überblick	216
b) Hydrogeologie	216
c) Wassergewinnung und Wasserbedarf	217
5.8.5 Vogelsberg	218
a) Geologischer Überblick	218
b) Zur Hydrogeologie	219
c) Nutzung und wasserwirtschaftliche Bedeutung	220
5.8.6 Deccan-Trap in Indien	220
a) Geologischer Überblick	221
b) Hydrogeologie	222
c) Wassergewinnung und Wasserhaushalt	223
5.8.7 Vergleiche und Zusammenfassung	224
Literatur	225
<b>6. Umweltfragen bei Grundwasser in nichtverkarstungsfähigen Festgesteinen</b>	<b>228</b>
6.1 Verunreinigungen des oberflächennahen Grundwassers in klüftigen, nichtkarbonatischen Festgesteinen und Grundwasserschutz	228
6.1.1 Allgemeines	228
6.1.2 Art der Belastungen	229
6.1.2.1 Natürliche Belastungen des Grundwassers	229
6.1.2.2 Anthropogene chemische Verunreinigungen des Grundwassers	230
6.1.2.3 Spezielle Beeinträchtigungen durch Bergbauhalden, Kippen, Dämme und Planierungen mit Bergmaterial des Bergbaus	234
6.1.2.4 Verunreinigungen in geklüfteten Festgesteinen durch Mineralöl und Mineralölprodukte	235
6.1.2.5 Auswirkungen organischer Abfallstoffe und Abwässer	239
6.1.3 Gebirgsspezifische Ausbreitung von Verunreinigungen des Grundwassers und von Abwässern	240
6.1.4 Präventiver Grundwasserschutz bei geklüfteten nichtkarbonatischen Festgesteinen	241
6.1.4.1 „Richtlinien für Schutzgebiete“, bisher mit begrenzter Anwendungsmöglichkeit für Festgesteine	241

6.1.4.2	Notwendige Berücksichtigung von Sonderverhältnissen bei geklüfteten nichtkarbonatischen Festgesteinen in den Richtlinien zur Festlegung von Schutzgebieten . . . . .	244
6.1.4.3	Ausweisung von Vorrang- bzw. Schongebieten . . . . .	246
	Literatur . . . . .	247
6.2	Versenkung von Abwässern in Festgesteinskomplexe des tieferen Untergrundes	249
6.2.1	Allgemeines . . . . .	249
6.2.2	Hydrogeologische Voraussetzungen für die mögliche Nutzung von nichtkarbonatischen Festgesteinen zur Speicherung (Endlagerung) von flüssigen Abfällen . . . . .	250
6.2.2.1	Auswahl „günstiger“ Gebiete aufgrund der allgemeinen geologischen Situation . . . . .	250
6.2.2.2	Spezielle Erkundung der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse . . . . .	252
6.2.2.3	Darstellung der hydrogeologischen Verhältnisse . . . . .	253
6.2.3	Eigenschaften des natürlichen Flüssigkeitsinhalts des Injektionskörpers (Aquifers) und der injizierten Flüssigkeiten . . . . .	255
6.2.4	Chemische Reaktionen zwischen Abwasser, Gestein und Lagerstättenwasser . . . . .	256
6.2.5	Kontrollen des Versenk- und Ausbreitungsvorgangs . . . . .	257
6.2.6	Nichtkarbonatische Festgesteine als Speicher für tiefversenkte Abwässer (Beispiele) . . . . .	258
6.2.6.1	Sandsteine . . . . .	258
6.2.6.2	Schiefer . . . . .	260
6.2.6.3	Basalt . . . . .	261
6.2.6.4	Gneis . . . . .	261
6.2.7	Auslösen von Erdbeben durch Fracken in Festgestein . . . . .	261
	Literatur . . . . .	262
7.	Ingenieurgeologisch-geotechnische Aspekte (A. PAHL und H.-J. SCHNEIDER) . . . . .	264
7.1	System Fels/Wasser . . . . .	264
7.2	Wasser im Felsbau unter Tage . . . . .	269
7.3	Bergwasser in Böschungen, Baugruben und bei Talsperren . . . . .	275
	Literatur . . . . .	278
	Sachverzeichnis . . . . .	280