

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Abkürzungen, Formelzeichen und Gleichungen	XV
1 Einleitung	1
2 Allgemeine Hydrogeologie	3
2.1 Theorien und Grundbegriffe	3
2.1.1 Hydrologischer Kreislauf	3
2.1.2 Definitionen des Grundwassers	4
2.1.3 Grundbegriffe der Hydrogeologie	4
2.1.4 Theorien und Grundbegriffe der Grundwasserneubildung	9
2.2 Hohlräume im Untergrund	10
2.2.1 Poren-Hohlräume	10
2.2.1.1 Porenanteil	12
2.2.1.2 Porenzahl	16
2.2.1.3 Kornform, Kornrauigkeit	17
2.2.1.4 Korngrößenanalyse	17
2.2.1.5 Lagerungs-(Packungs-)dichte	18
2.2.2 Trennflächen-(Kluft-)Hohlräume	19
2.2.3 Karst-Hohlräume	23
2.2.4 Anthropogen erzeugte Hohlräume	25
2.3 Geohydraulik	25
2.3.1 Drücke	26
2.3.2 Geohydraulische Leitfähigkeit von Porengesteinen	28
2.3.3 Geohydraulische Leitfähigkeit von Kluftgesteinen	28
2.3.4 Durchlässigkeit	31
2.3.5 Permeabilität	36
2.3.6 REYNOLDS-Zahl	38
2.3.7 Anisotropie	40
2.3.8 Geschwindigkeitsbegriffe	42
2.3.9 Transmissivität	45
2.3.10 Leckage	46
2.3.11 Speichervermögen	48
2.3.11.1 Spezifischer Speicherkoefizient	48
2.3.11.2 Speicherkoefizient bei gespanntem Grundwasser	49
2.3.11.3 Speicherkoefizient bei freiem Grundwasser	50
2.4 Infiltration von Oberflächenwasser	51
2.4.1 Infiltration des Niederschlagswassers	52
2.4.1.1 Bodenpotential	54
2.4.1.2 Matrixpotential	54
2.4.1.3 Druckpotential	56
2.4.1.4 Gravitationspotential	56
2.4.1.5 Osmotisches Potential	56

2.4.1.6	Bodenwasserpotential	57
2.4.1.7	Kapillarität	58
2.4.2	Uferfiltration	63
2.5	Grundwasserdynamik	65
2.5.1	Physikalische Grundlagen	65
2.5.1.1	Atmosphärendruck	65
2.5.1.2	Atmosphärische Druckdifferenz	66
2.5.1.3	Hydrostatischer Druck	68
2.5.1.4	Absolutdruck	70
2.5.1.5	Überlagerungsdruck	71
2.5.1.6	Wasserdruck	71
2.5.1.7	Beeinflussung des Grundwasserstandes durch andere Druckarten	73
2.5.2	Grundwasserfließsysteme	79
2.5.3	Grundwasserabfluss	83
2.5.4	Grundwasseraustritte	84
2.5.4.1	Quellen	84
2.5.4.2	Flüsse	93
2.5.4.3	Seen, Grundwasserblänken	94
2.5.5	Wasserschwinden	94
2.5.6	Einfluss der Grundwasserbewegung auf das Bodengefüge ..	94
2.6	Karten und Schnitte in der Hydrogeologie	96
2.6.1	Kartenwerke	98
2.6.1.1	Topographische Kartenwerke	98
2.6.1.2	Geologische Kartenwerke	98
2.6.1.3	Hydrogeologische Kartenwerke	99
2.6.1.4	Bodenkundliche Kartenwerke	99
2.6.2	Thematische Karten	99
2.6.2.1	Grundwassergleichenkarte	100
2.6.2.2	Grundwasserdifferenzenkarte	106
2.6.2.3	Grundwasserflurabstandskarte	106
2.6.2.4	Hydrogeologische Karte	107
2.6.2.5	Hydrogeologische Schnitte	107
2.6.2.6	Durchlässigkeitsskarte	108
2.6.2.7	Karte der grundwassererfüllten Mächtigkeit	108
2.6.2.8	Transmissivitätskarte	108
2.6.2.9	Grundwasserhöufigkeitskarte	108
2.6.2.10	Konsequenzkarte	108
2.7	Hydrologischer Zyklus – Wasserhaushalt	109
2.7.1	Grundwasservorratsänderungen	114
2.7.2	Niederschlag	115
2.7.2.1	Definition	115
2.7.2.2	Messung	116
2.7.2.3	Darstellung	117
2.7.3	Verdunstung	121
2.7.3.1	Definition	121
2.7.3.2	Messung	123

2.7.3.3	Bestimmungen der Evapotranspiration.....	128
2.7.3.4	Darstellung	133
2.7.4	Abfluss	133
2.7.4.1	Definition	135
2.7.4.2	Messung.....	137
2.7.4.3	Darstellung	139
2.7.5	Grundwasserbilanz.....	155
3	Angewandte Hydrogeologie	157
3.1	Grundwassergewinnung.....	157
3.1.1	Beratung, Gutachtererstellung.....	158
3.1.2	Voruntersuchungen	159
3.1.2.1	Wasserbedarfsermittlung	159
3.1.2.2	Geologische Analyse	160
3.1.2.3	Hydrogeologische Analyse.....	160
3.1.2.4	Auswertung von Luft- und Satellitenbildern (Fernerkundung).....	161
3.1.2.5	Grundlagen der Grundwasserstandsmessung.....	161
3.1.2.6	Einrichtungen zur Messung des Grundwasserstandes und des Porenwasserdruckes	162
3.1.2.7	Messung und Messwerterfassung.....	165
3.1.2.8	Messnetze.....	166
3.1.2.9	Nutzung vorhandener Messstellen und deren Daten	167
3.1.2.10	Defekte an Grundwassermessstellen.....	170
3.1.2.11	Funktionsprüfung.....	171
3.1.3	Bestimmung der Grundwasserneubildung	171
3.1.3.1	Allgemeine Anmerkungen.....	171
3.1.3.2	Bestimmung der Grundwasser-Neubildungsrate mit Lysimetern.....	174
3.1.3.3	Bestimmung der Grundwasser-Neubildungsrate aus dem Bodenwasserhaushalt.....	175
3.1.3.4	Bestimmung der Grundwasser-Neubildungsrate aus dem Abfluss in Vorflutern.....	177
3.1.3.5	Bestimmung der Grundwasser-Neubildungsrate aus der Wasserhaushaltsgleichung	177
3.1.3.6	Bestimmung der Grundwasser-Neubildungsrate aus Grundwasserganglinien	179
3.1.3.7	Bestimmung der Grundwasser-Neubildungsrate aus der Chlorid-Massenkonzentration des Grundwassers und des Niederschlags.....	179
3.1.3.8	Bestimmung der Grundwasser-Neubildungsspende aus Wasserwerksdaten	180
3.1.3.9	Anwendbarkeit der Bestimmungsmethoden in verschiedenartigen Untersuchungsgebieten.....	181
3.1.3.10	Grundwasserneubildung in Deutschland und Einflussgrößen	182

3.1.4	Geophysikalische Messungen.....	186
3.1.4.1	Oberflächen-Geophysik	186
3.1.4.2	Geophysikalische Bohrlochmessungen	188
3.1.4.3	Anwendung und Auswertung geophysikalischer Messungen.....	196
3.1.5	Hauptuntersuchungen.....	196
3.1.5.1	Qualitätskriterien für Bohr- und Ausbauarbeiten...	196
3.1.5.2	Bau von Brunnen und Grundwassermessstellen...	196
3.1.5.3	Ausschreibungen.....	198
3.1.6	Bohrverfahren	202
3.1.6.1	Trockenbohrverfahren	202
3.1.6.2	Spülbohrverfahren.....	209
3.1.6.3	Schräg-, Horizontalbohrverfahren	211
3.1.6.4	Bohrlochsprengungen (Torpedieren)	212
3.1.6.5	Wartung und Rückbau von Brunnen und Grundwassermessstellen	212
3.2	Geohydraulische Untersuchungen	213
3.2.1	Grundlagen.....	213
3.2.2	Laboruntersuchungen.....	214
3.2.2.1	Untersuchungen des Durchlässigkeitskoeffizienten von Lockergesteinen anhand der Korngrößen-verteilung	214
3.2.2.2	Untersuchungen des Durchlässigkeitskoeffizienten von Lockergesteinen mittels Durchströmungs-versuchen.....	218
3.2.2.3	Untersuchungen des Durchlässigkeitskoeffizienten von Festgesteinen mittels Durchströmungs-versuchen.....	221
3.2.2.4	Generelle Anmerkungen zu den Untersuchungs-ergebnissen im Labor	221
3.2.3	Geländeuntersuchungen.....	221
3.2.3.1	Pumpversuche	222
3.2.3.2	Weitere Geländeuntersuchungen.....	252
3.2.3.3	Orientierende Bestimmungen des Durchlässigkeits-koeffizienten	260
3.2.4	Bestimmungen der geohydraulischen Leitfähigkeit mittels Markierungs-(Tracer-)Versuchen.....	264
3.2.4.1	Bestimmung der geohydraulischen Leitfähigkeit mittels Farbstoff	265
3.2.4.2	Bestimmung der geohydraulischen Leitfähigkeit mittels Salz	267
3.2.4.3	Bestimmung der geohydraulischen Leitfähigkeit mittels Sporen.....	267
3.2.4.4	Bestimmung der geohydraulischen Leitfähigkeit mittels Bakterien.....	268
3.2.4.5	Bestimmung der geohydraulischen Leitfähigkeit mittels anthropogen eingebrachter Schadstoffe ..	268

3.2.4.6	Bestimmung des Durchlässigkeitskoeffizienten, der Abstandsgeschwindigkeit und der longitudinalen Dispersion mittels radioaktiver Isotope in Brunnen oder Grundwassermessstellen	269
3.3	Grundwassermodelle.....	270
3.3.1	Einführung.....	270
3.3.2	Numerische Grundwassermodelle.....	272
3.3.3	Grundlagen	272
3.3.4	Erstellung und Anwendung	274
3.3.5	Grundwasserströmungs-Modelle.....	276
3.3.6	Stofftransport-Modelle	276
3.3.7	Software	278
3.4	Wassergewinnung	278
3.4.1	Wassergewinnung in Wassermangelgebieten	279
3.4.2	Wassergewinnung aus Oberflächengewässern und deren Umgebung	284
3.4.3	Wassergewinnung durch Quellenfassungen, Sickeranlagen und Stollen	288
3.4.4	Wassergewinnung durch Brunnen	292
3.4.4.1	Wassergewinnung durch Schachtbrunnen und Rammbrunnen.....	292
3.4.4.2	Wassergewinnung durch Vertikalbrunnen	295
3.4.4.3	Wassergewinnung durch Horizontalfilterbrunnen ..	297
3.4.4.4	Brunnenausbau und Bestimmung brunnen-abhängiger Daten	302
3.4.4.5	Pumpversuche zur Bestimmung der Ergiebigkeit von Brunnen.....	312
3.4.5	Grundwasseranreicherung bzw. Abwasserbeseitigung durch Sickeranlagen	314
3.4.6	Wasserverbringung	320
3.4.7	Gewinnung von Mineral-, Heil- und Thermalwässern	324
3.4.8	Gewinnung von Wärme aus Wasser und Boden	324
3.4.8.1	Grundlagen der Geothermie	324
3.4.8.2	Nutzung des Grundwassers und Oberflächenwassers.....	326
3.4.8.3	Nutzung des Gesteins und des Grundwassers	326
3.4.8.4	Nutzung des Bodens	326
3.4.8.5	Nutzung des Grubenwassers	327
3.4.8.6	Weitere Nutzungsmöglichkeiten.....	327
3.5	Bauen im Grundwasser.....	327
3.6	Grundwasserabsenkung.....	331
3.7	Grundwasseranstieg	335
3.8	Trinkwasserschutz.....	335
3.8.1	Schutzgebiete	336
3.8.1.1	Wasserschutzgebiete.....	336
3.8.1.2	Perspektiven des Grundwasserschutzes.....	342
3.8.1.3	Heilquellenschutzgebiete	343

3.8.1.4	Quellschutzgebiete	345
3.8.2	Ursachen der Gewässerbeeinflussung und Rechts- vorschriften.....	345
3.8.2.1	Rechtliche Grundlagen	349
3.8.2.2	Direkte Beeinflussung durch feste und flüssige Abfallstoffe.....	358
3.8.2.3	Beeinflussung durch land- und forstwirtschaftliche Nutzung.....	373
3.8.2.4	Beeinflussung durch bergbauliche Aktivitäten	383
3.8.2.5	Beeinflussung durch Baumaßnahmen und urbane Nutzung.....	384
3.8.2.6	Beeinflussung durch Gewerbe und Industrie	387
3.8.2.7	Beeinflussung durch militärische Aktivitäten	388
3.8.2.8	Beeinflussung über den Luftpfad	389
3.8.2.9	Beeinflussung durch Brände	391
3.8.2.10	Beeinflussung durch den Straßenverkehr	392
3.8.2.11	Thermische Beeinflussung.....	393
3.8.2.12	Beeinflussung durch Arzneimittel.....	395
3.8.2.13	Beeinflussung durch Friedhöfe	396
3.8.2.14	Beeinflussung durch Nanopartikel	397
3.8.2.15	Geogene Grundwasserbeeinflussung.....	398
3.8.3	Verminderung der Gewässerbeeinflussung	398
3.8.4	Auswirkungen von Grundwasserentnahmen	404
3.8.4.1	Land- und forstwirtschaftliche Ertragsminderungen durch Grundwasserentnahmen	404
3.8.4.2	Baugrundschäden durch Grundwasserentnahmen	410
4	Physikalische Grundlagen	413
4.1	Mechanik.....	413
4.1.1	Druck	413
4.1.2	Kraft	413
4.1.3	Arbeit, Energie und Leistung	414
4.1.4	Materialeigenschaften.....	418
4.2	Wärmelehre	421
4.2.1	Temperatur	421
4.2.2	Wärmeausdehnung.....	421
4.2.3	Wärmemenge (Wärmeenergie).....	421
4.2.4	Ausbreitung der Wärme	422
5	Grundwasserbeschaffenheit	423
5.1	Physikalische Grundlagen der Hydrochemie	423
5.1.1	Physikalische Eigenschaften.....	423
5.1.1.1	Molekulare Struktur	424
5.1.1.2	Temperaturabhängige physikalische Eigenschaften	427

5.1.1.3	Elektrolytische Dissoziation (pH-Wert)	432
5.2	Chemische und physikalisch-chemische Grundlagen der Hydrochemie	434
5.2.1	Einheiten und Größen in der Chemie	434
5.2.1.1	Stoffmenge	434
5.2.1.2	Äquivalent	436
5.2.1.3	Molare Masse	437
5.2.1.4	Stoffmengenkonzentration	438
5.2.1.5	Molalität	438
5.2.1.6	Äquivalentkonzentration	438
5.2.1.7	Stoffmengenanteil der Äquivalente	440
5.2.1.8	Masse	440
5.2.1.9	Massenkonzentration	440
5.2.1.10	Massenanteil	441
5.2.1.11	Volumenanteil von Gasen	442
5.2.1.12	Umrechnung von Konzentrationen	442
5.2.1.13	Angloamerikanische Einheiten	444
5.2.1.14	Ältere Einheiten	445
5.2.2	Löslichkeit von Feststoffen in Wasser	445
5.2.2.1	Elektrolytische Dissoziation	447
5.2.2.2	Löslichkeit organischer Stoffe	450
5.2.2.3	Löslichkeitsprodukt (Löslichkeitskonstante)	450
5.2.3	Löslichkeit von Gasen in Wasser	453
5.2.4	Ionenstärke als Funktion der Stoffmengenkonzentration	455
5.2.5	Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht	460
5.2.6	Einfluss des pH-Wertes auf die Löslichkeit	471
5.2.7	Einfluss des Redoxpotentials auf die Löslichkeit	473
5.2.8	Elektrische Leitfähigkeit	485
5.3	Physikalisch-chemische Prozesse beim Grundwasserfließen	489
5.3.1	Auflösung und Ausfällung	490
5.3.2	Adsorption, Desorption und Absorption	492
5.3.3	Ionen-Austausch	495
5.3.4	Diffusion und Ionensiebeffekt in Tongesteinen	499
5.3.5	Oxidation und Reduktion	500
5.3.6	Eintrag und Transport organischer Stoffe im Untergrund	504
5.3.7	Thermodynamik	506
5.4	Geohydrochemische Analyse und ihre Auswertung	512
5.4.1	Physikalische, chemische und mikrobiologische Parameter einer Wasseranalyse	513
5.4.1.1	Probenahme	513
5.4.1.2	Probenvorbereitung	514
5.4.1.3	Übersicht der Analysenverfahren	515
5.4.1.4	Qualitätssicherung in der Analytik	515
5.4.1.5	Untersuchungen vor Ort	516
5.4.1.6	Untersuchungen im Labor	519
5.4.1.7	Untersuchungen organischer Inhaltsstoffe	529
5.4.1.8	Umrechnung von Analysenwerten	531

5.4.1.9	Bewertung der Analysenergebnisse	531
5.4.2	Untersuchung der Radioaktivität und Isotopie	532
5.4.3	Berechnungen nicht analysierter Parameter	533
5.4.4	Plausibilitätskontrollen und Genauigkeitsanforderungen	538
5.4.5	Auswertung und Darstellung von Untersuchungsergebnissen	539
5.4.5.1	Einzeldiagramme	542
5.4.5.2	Sammeldiagramme	546
5.4.5.3	EDV-Auswertung und Darstellung von Wasser- analysen	554
5.4.6	Typisierung von Grundwässern	563
5.4.6.1	Typisierung nach dem grundwasserleitenden Gestein	564
5.4.6.2	Typisierung nach geohydrochemischen Eigenschaften unabhängig vom grundwasser- leitenden Gestein	565
5.4.6.3	Einteilung nach Nutzungsmöglichkeiten	571
5.5	Isotopenhydrologie	575
5.5.1	Stabile Sauerstoff- und Wasserstoffisotope	576
5.5.2	Stabile Schwefel-Isotope	578
5.5.3	Radioaktives Wasserstoff-Isotop (^3H)	578
5.5.4	Radioaktives Krypton-Isotop (^{85}Kr)	579
5.5.5	Radioaktives Kohlenstoff-Isotop (^{14}C)	579
5.5.6	Mehrfach-Isotopenstudien	580
5.5.7	Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW) und Schwefel- hexafluorid (SF6)	580
5.6	Grundwasserbiologie	580
5.6.1	Makrofauna des Grundwassers	581
5.6.2	Mikrobiologie des Grundwassers	581
5.6.2.1	Hygiene des Trinkwassers	583
5.6.2.2	Mikrobielle Prozesse	585
5.6.2.3	Nachweis von Bakterien, Viren und Parasiten	589
5.6.2.4	Floristische und faunistische Hinweise auf Grundwasser	590
6	Anhang	593
7	Literatur	631
7.1	DIN-Normen	674
7.2	DIN-Taschenbücher	681
7.3	TGL	681
7.4	DVGW-Publikationen	681
7.5	DWA- (früher ATV-, DVWK-)Publikationen	683
7.6	Publikationen der Länderarbeitsgemeinschaften (LABO, LAGA, LAWA)	684

8 Tabellenverzeichnis	686
9 Abbildungsverzeichnis	691
10 Stichwortverzeichnis	700
11 Marktpartner	715