

Inhaltsverzeichnis

1 Grundwasser, der unbekannte Lebensraum	
<i>(F. Mösslacher & C. Griebler)</i>	17
1.1 Begriffe und Definitionen	19
1.2 Entstehung: hydrogeologische Aspekte	23
1.2.1 Flächige Neubildung	24
1.2.2 Linienhafte Neubildung	26
1.3 Die Untergrundmatrix	30
1.3.1 Grundwasserleiter	31
1.3.2 Beschaffenheit der Deckschicht	34
1.4 Verweilzeit des Grundwassers	36
1.5 Austrittsformen	37
1.5.1 Quellen	37
1.5.2 Exfiltrationszonen	38
1.6 Klassifikation von Grundwassertypen	38
1.7 Globale Grundwasservorkommen	42
2 Physikalisch-chemische Eigenschaften des Grundwassers und biogeochemische Stoffkreisläufe	
<i>(C. Griebler)</i>	45
2.1 Beschaffenheit des Grundwassers	47
2.2 Stabilität und Homogenität	51
2.3 Abiotische Umweltbedingungen	52
2.3.1 Temperaturverhältnisse	52
2.3.2 Hydrostatischer Druck	54
2.3.3 Der pH-Wert	55
2.3.4 Das Redox-Potenzial	55
2.4 Biogeochemische Stoffkreisläufe	55
2.4.1 Molekularer Sauerstoff in unterirdischen Lebensräumen	56
2.4.2 Der Kohlenstoff-Kreislauf	59
2.4.3 Der Stickstoff-Kreislauf	64
2.4.4 Der Schwefel-Kreislauf	66
2.4.5 Eisen und Mangan	69
2.4.6 Der Phosphor-Kreislauf	72
3 Mikroorganismen in Grundwasser-Ökosystemen	
<i>(C. Griebler)</i>	75
3.1 Bedingungen für mikrobielles Leben	78
3.1.1 Temperatur	78
3.1.2 Wasser und Transport	79
3.1.3 Der pH-Wert	80
3.1.4 Molekularer Sauerstoff	80

3.1.5	Hydrostatischer Druck	81
3.2	Geschichtlicher Hintergrund	81
3.3	Herkunft und Ursprung von Mikroorganismen	86
3.3.1	Sedimentation und Überleben	86
3.3.2	Passiver Transport und aktive Besiedelung	86
3.3.3	Entstehung des Lebens im Untergrund	88
3.3.4	Anthropogener Eintrag	88
3.4	Transport und Verbreitung	89
3.5	Die mikrobielle Gemeinschaft	91
3.5.1	Eubakterien (<i>Bacteria</i>)	91
3.5.2	Archaeobakterien (<i>Archaea</i>)	93
3.5.3	Protozoen (Protisten, Einzeller)	97
3.5.4	Pilze	100
3.5.5	Algen und Cyanobakterien	102
3.5.6	Viren	102
3.6	Das mikrobielle Nahrungsnetz	103
3.7	Abundanz und mikrobielle Biomasse	105
3.8	Verbreitung und Verteilung von Mikroorganismen	110
3.8.1	Heterogenität des Untergrunds	110
3.8.2	Die ungesättigte und die gesättigte Zone	113
	Der Kapillarsaum	115
	Die gesättigte Zone	116
3.8.3	Leben im Fels	125
3.9	Diversität	127
3.9.1	Systematik und Taxonomie	128
3.9.2	Diversität der mikrobiellen Gemeinschaften in unterirdischen Lebensräumen	129
3.9.3	Die morphologische Diversität	130
3.9.4	Die physiologische Diversität	131
3.9.5	Die taxonomische Diversität	132
3.10	Mikrobielle Aktivitäten	138
3.10.1	Energiestoffwechsel	138
3.10.2	Heterotrophe Mikroorganismen	143
3.10.3	Primärproduktion in unterirdischen Lebensräumen	144
3.10.4	Aktuelle mikrobielle Aktivitäten im Untergrund	146
3.11	Die Bildung von Sediment	156

4 Die Fauna

	(F. Mösslacher & H.J. Hahn)	159
4.1	Klassifikation	162
4.1.1	Einteilung nach ökologischen Kriterien	163
4.1.2	Einteilung nach biologischen Kriterien	165
4.1.3	Vereinheitlichung der Klassifikation	167

4.2	Beschreibung der Gruppen	167
4.2.1	Schwämme (Porifera)	169
4.2.2	Hohltiere (Coelenterata, Cnidaria, Hydrozoa)	169
4.2.3	Strudelwürmer (Plathelminthes, Turbellaria)	170
4.2.4	Rädertierchen (Rotatoria)	172
4.2.5	Bauchhärlinge (Gastrotricha)	172
4.2.6	Fadenwürmer (Nematoda)	174
4.2.7	Weichtiere (Mollusca)	176
4.2.8	Gliederwürmer (Annelida)	177
4.2.9	Milben (Acari)	181
4.2.10	Krebstiere (Crustacea)	183
4.2.11	Insekten (Insecta)	204
4.2.12	Wirbeltiere (Vertebrata)	204

5 Evolution, Adaptation und Verbreitung

	(F. Mösslacher)	209
5.1	Artbildungsprozesse	212
5.1.1	Voraussetzung für die Artbildung	212
5.1.2	Artbildungskonzepte	214
5.2	Dynamischer Adaptationsbegriff	216
5.3	Evolutionsszenarien	217
5.3.1	Besiedelung	217
5.3.2	Evolution regressiver Merkmale	224
5.4	Adaptation	226
5.4.1	Morphologische Anpassungen	231
5.4.2	Physiologische Anpassungen	232
5.4.3	Anpassungen im Verhalten	237
5.5	Verbreitung und Verteilung der Fauna	239
5.5.1	Zoogeographische Verbreitungsmuster	240
5.5.2	Räumliche Verbreitung durch aktive Migration	244
5.5.3	Verbreitung entlang von Höhengradienten	245
5.5.4	Verbreitung im Karstgrundwasser	246
5.5.5	Verbreitung in stabilen Porengrundwassersystemen	246
5.5.6	Verbreitung in dynamischen, fluvialen Porengrundwassersystemen	248
5.5.7	Verbreitung in Porengrundwassersystemen mit stabilen und dynamischen Komponenten	250
5.5.8	Zeitliche Verbreitungsmuster	251

6 Grundwasser – Eine ökosystemare Betrachtung

	(C. Griebler & F. Mösslacher)	253
6.1	Die unterirdische Hydrosphäre	255
6.2	Grundwasser als Ökosystem	257
6.3	Energie- und Stoffflüsse	260

6.3.1	Energie- und Stoffflüsse im See	260
6.3.2	Energie- und Stoffflüsse im Fließgewässer	261
6.3.3	Energie- und Stoffflüsse im Grundwasser	262
6.4	Nahrungsketten und Nahrungsnetze	264
6.4.1	Die klassische Nahrungskette	264
6.4.2	Die trophische Pyramide	266
6.4.3	Das Nahrungsnetz	266
6.4.4	Das mikrobielle Nahrungsgefüge	267
6.4.5	Das Detritus-Nahrungsnetz und die mikrobielle Schleife	268
6.5	Struktur von Lebensgemeinschaften	270
6.6	Lebensstrategien im Grundwasser	272
6.6.1	r-, K- und A-selektierende Lebensräume bzw. Lebensstrategien	273
6.6.2	i- und s-Strategie von Lebensgemeinschaften	277
6.7	Die Verteilung der Grundwasser-Organismen im Ökosystem	278
6.7.1	Ontogenese	278
6.7.2	Hydrologie und Verteilung mit der Tiefe	280
6.7.3	Redox-Bedingungen und Sauerstoff	281
6.7.4	Verfügbarkeit von organischem Material	281
6.8	Biodiversität	282
6.8.1	„Hot spots“ – Orte höchster Biodiversität	282
6.9	Ökologische Bedeutung der Fauna	284
6.9.1	Grundwasser-Organismen als „Bioingenieure“	285
6.9.2	Die Bedeutung der Fauna in künstlichen Grundwassersystemen	285
6.10	Das Porengrundwasser-Ökosystem der Lobau – Fallbeispiel für einen alluvialen Aquifer (<i>F. Mösslacher</i>)	287
6.10.1	Einleitung	287
6.10.2	Untersuchungsgebiete und Methoden	288
6.10.3	Abiotische und biotische Parameter	291
6.10.4	Die Fauna	298
6.10.5	Anpassung der Grundwasser-Organismen in der Lobau	301
6.11	Das Mammut-Höhlen Ökosystem – Fallbeispiel für ein Karstsystem (<i>F. Mösslacher</i>)	303
6.11.1	Einleitung	303
6.11.2	Einteilung der Höhlenhabitats	304
6.11.3	Die Fauna im Längsverlauf von Höhlenflüssen	305
6.11.4	Die Verteilung von Arten nach ihren ökologischen Ansprüchen	307
6.11.5	Reduktion der Höhlenfauna in den Grund-Flüssen seit 1990	308
6.11.6	Höhlenfauna als Anzeiger der biologischen Integrität	309

7	Grundwassernutzung und Grundwasserschutz	
	<i>(K.-D. Balke, C. Griebler)</i>	311
7.1	Wasser – Dargebot	313
7.2	Wasser – Nutzung	314
7.3	Grundwasserquantität und -qualität unterliegen steigendem Druck	317
7.3.1	Bevölkerungswachstum	317
7.3.2	Landwirtschaft und Viehzucht	320
7.3.3	Industrie	321
7.3.4	Klimawandel („climate change“)	322
7.4	Grundwassererschließung im Lockergestein	322
7.5	Klassischer Grundwasserschutz	324
7.5.1	Sicherung von Trink- und Brauchwasser	324
7.5.2	Ermittlung der hydraulischen Verhältnisse	325
7.5.3	Die „50-Tage-Linie“	327
7.5.4	Funktion von Grundwasser-Schutzgebieten	327
7.5.5	Grundwasser-Schutzzonen für Lockergesteins-Aquifere	329
7.5.6	Grundwasser-Schutzzonen für Festgesteins-Aquifere	331
7.5.7	Nutzungsbeschränkungen	332
7.5.8	Richt- und Grenzwerte für Trinkwasser	335
7.6	Grundwasserschutz und -nutzen - Sozioökonomische und ökologische Aspekte <i>(C. Griebler & D. L. Danielopol)</i>	335
7.6.1	Nachhaltigkeit und Nachhaltige Entwicklung	338
7.6.2	Der soziale und ökonomische Aspekt	340
7.6.3	Der ökologische Aspekt	344
7.6.4	Der Wert eines intakten Grundwassersystems	350
7.6.5	Evaluation von Störungen im Ökosystem	350
7.7	Biomonitoring <i>(F. Mösslacher)</i>	351
7.7.1	Stressoren für Grundwassersysteme und Organismen	354
7.7.2	Monitoringmethoden	356
7.7.3	Bioindikatoren im Grundwasser	357
7.7.4	Biologisches Monitoring	359
7.7.5	Erstellung ökologisch relevanter Sicherheitskriterien für Grundwasserökosysteme	365
8	Grundwasserverschmutzung und -sanierung	
	<i>(K. Vogt, A. Alfreider & C. Griebler)</i>	367
8.1	Einführung	369
8.2	Schadstoffeinträge in das Grundwasser	369
8.3	Transport von Schadstoffen im Grundwasser	372
8.4	Umweltrelevante Schadstoffe im Grundwasser: Vorkommen, Herkunft, Eigenschaften	374
8.4.1	Pathogene Mikroorganismen und Viren	374
8.4.2	Nitrat	376

8.4.3	Grundwasserversalzung	378
8.4.4	Grundwasserversauerung	379
8.4.5	Schwermetalle, Fluorid und radioaktive Substanzen	379
8.4.6	Kohlenwasserstoffe	381
8.4.7	DNAPLs und LNAPLs	385
8.4.8	Methyl- <i>tert</i> -buthylether (MTBE)	388
8.4.9	Pestizide	389
8.4.10	Sprengstoffe	392
8.5	Sanierung von Grundwasserschadensfällen	392
8.5.1	Sicherungsmaßnahmen	393
8.5.2	<i>Ex situ</i> -Sanierungsverfahren	394
8.5.3	<i>In situ</i> -Sanierungsverfahren	396
8.6	Mikrobieller Abbau von Schadstoffen im Grundwasser	405
9	Methoden in der Grundwasser-Ökologie	
	(C. Griebler)	408
9.1	Erfassung abiotischer Parameter im Untergrund	412
9.1.1	Grundwasserspiegel	412
9.1.2	Aufbau der Sedimentablagerungen	412
9.1.3	Porosität	413
9.1.4	Fließgeschwindigkeit, Durchlässigkeit, Abflussmenge	414
9.1.5	Grundwasserströmung und Gefälle	417
9.1.6	Infiltration und Exfiltration von Grundwasser	417
9.1.7	Physikalisch-chemische Richtgrößen	418
9.2	Sammelmethoden für Wasser, Feststoffe und Organismen	419
9.2.1	Festgesteinsformationen	419
9.2.2	Quellen	420
9.2.3	Brunnen	421
9.2.4	Lockergesteinsablagerungen	422
9.3	Expositionsmethoden	435
9.3.1	Meio- und Makrofauna	435
9.3.2	Mikrobielle Gemeinschaften	436
9.4	Simulation von Grundwasser-Systemen im Labor	440
9.5	Konzeption der Probennahme	440
9.5.1	Räumliche Anordnung der Probenpunkte	440
9.5.2	Probenumfang	443
9.5.3	Probenkonservierung und -transport	446
	Literaturverzeichnis	447
	Sachregister	477
	Glossar	489
	Bildnachweis	494