

# Inhalt

Vorwort .....	3
Verfasser .....	4
Bilderverzeichnis .....	11
Tabellenverzeichnis .....	14
<b>1 Einführung .....</b>	<b>15</b>
<b>2 Lebensbedingungen .....</b>	<b>17</b>
Kurzfassung .....	17
2.1 Grundwasser als Lebensraum .....	17
2.2 Kennzeichen von Grundwasserlebensräumen .....	18
2.2.1 Räumliche Strukturen .....	18
2.2.2 Dunkelheit .....	20
2.2.3 Nahrungsarmut .....	21
2.2.4 Konstanz der Lebensbedingungen .....	22
2.3 Chemische und physikalische Lebensbedingungen .....	23
2.3.1 Temperatur .....	23
2.3.2 Molekularer Sauerstoff .....	24
2.3.3 pH-Wert .....	24
2.3.4 Spezifische elektrische Leitfähigkeit .....	24
2.3.5 Redoxpotenzial (Eh-Wert) .....	25
2.3.6 Gelöste Stoffe .....	25
Literatur .....	28
<b>3 Viren .....</b>	<b>29</b>
Kurzfassung .....	29
3.1 Morphologie und Struktur .....	29
3.1.1 Strukturelemente, Form und Größe .....	29
3.2 Einteilung der Viren .....	30
3.2.1 Bakteriophagen .....	31
3.2.2 Humanpathogene Viren .....	31
3.2.3 Klassifizierung .....	32
3.3 Lebenszyklus von Viren .....	33
3.4 Viren im Grundwasser .....	34
3.4.1 Natürliche Viren im Grundwasser .....	34
3.4.2 Vorkommen und Rolle von pathogenen Viren im Grundwasser .....	34
3.4.3 Eintrag von pathogenen Viren ins Grundwasser über Oberflächenwasser/Kläranlage .....	34
3.4.4 Einflussfaktoren auf den natürlichen Rückhalt und die Elimination von Viren .....	35
3.5 Nachweisverfahren .....	36
Literatur .....	37
<b>4 Bakterien in Grundwasserökosystemen .....</b>	<b>39</b>
Kurzfassung .....	39
4.1 Einleitung .....	39
4.2 Allgemeine Charakteristika von Bakterien .....	39
4.3 Vorkommen und Häufigkeit von Bakterien im Grundwasserökosystem .....	42

4.4	Bakterielle Vielfalt (Diversität).....	46
4.5	Wie aktiv sind Grundwasserbakterien? .....	47
4.6	Heterogenität als Schlüsselfaktor .....	48
	Literatur.....	48
<b>5</b>	<b>Pilze</b> .....	<b>51</b>
	Kurzfassung .....	51
5.1	Einleitung .....	51
5.2	Auftreten von Pilzen im Grundwasser.....	52
5.3	Charakteristische Eigenschaften von Pilzen.....	55
5.3.1	Morphologie.....	55
5.3.2	Reproduktion.....	55
5.3.3	Ernährung.....	55
5.3.4	Anforderungen an Sauerstoffkonzentrationen, Temperatur, Wasseraktivität und pH-Wert.....	56
5.4	Einflüsse von Pilzen auf organische Umweltschadstoffe, Metalle und Minerale .....	56
5.4.1	Abbau und Biotransformation organischer Umweltschadstoffe .....	56
5.4.2	Einflüsse auf Metalle und Minerale .....	57
5.5	Mögliche Einflüsse von Pilzen auf die Grundwasserbeschaffenheit, angrenzende Lebensräume und Trinkwasser.....	60
	Literatur.....	60
<b>6</b>	<b>Protozoen</b> .....	<b>63</b>
	Kurzfassung .....	63
6.1	Lebensformtypen .....	63
6.2	Methodische Ansätze zur Analyse der Protozoen im Grundwasser.....	64
6.3	Diversität von Protozoengemeinschaften im Grundwasser .....	65
6.3.1	Heterotrophe Flagellaten und Amöben (Nanofauna) .....	65
6.3.2	Ciliaten (Mikrofauna) .....	66
6.4	Stellung der Protozoen im Nahrungsgewebe des Grundwassers.....	67
	Literatur.....	69
<b>7</b>	<b>Metazoen/Vielzellige Tiere</b> .....	<b>71</b>
	Kurzfassung .....	71
7.1	Tierische Biodiversität im Grundwasser .....	71
7.2	Anpassungen an das Leben im Untergrund .....	72
7.3	Die Tiere des Grundwassers .....	73
7.4	Bedeutung der Umwelt für die Grundwasserfauna.....	78
7.5	Bedeutung der Grundwasserfauna für die Wasserwirtschaft .....	79
7.6	Schutz und Gefährdung der Grundwassertiere.....	80
	Literatur.....	80
<b>8</b>	<b>Pathogene Organismen</b> .....	<b>83</b>
	Kurzfassung .....	83
8.1	Einleitung .....	83
8.2	Indikatorbakterien und die 50-Tage Regel .....	84
8.3	Wasserbürtige Krankheitserreger .....	86
8.3.1	Bakterien .....	86
8.3.2	Viren.....	86
8.3.3	Protozoen.....	87
8.4	Eintrag, Transport und Rückhaltung.....	87

8.4.1	Eintragungspfade .....	87
8.4.2	Rückhalte-mechanismen und Transport .....	88
	Literatur .....	89
<b>9</b>	<b>Biologische Prozesse und Nahrungsgefüge .....</b>	<b>92</b>
	Kurzfassung .....	92
9.1	Grundlagen des Stoffwechsels von Organismen .....	92
9.1.1	Heterotrophe Prozesse .....	94
9.1.1.1	Atmungsprozesse .....	94
9.1.1.2	Gärungen .....	95
9.1.2	Autotrophe Prozesse .....	95
9.1.2.1	Photoautotrophie .....	96
9.1.2.2	Chemoautotrophie .....	96
9.2	Stoffkreisläufe .....	96
9.2.1	Kohlenstoffkreislauf .....	96
9.2.1.1	Aerobe Prozesse und ihre Auswirkungen .....	97
9.2.1.2	Anaerobe Prozesse .....	98
9.2.2	Stickstoffkreislauf .....	98
9.2.2.1	Aerobe Prozesse .....	99
9.2.2.2	Anaerobe Prozesse .....	100
9.2.3	Schwefelkreislauf .....	101
9.2.3.1	Aerobe Prozesse .....	101
9.2.3.2	Anaerobe Prozesse .....	103
9.2.4	Eisen- und Mangankreislauf .....	104
9.2.4.1	Aerobe Prozesse .....	104
9.2.4.2	Anaerobe Prozesse .....	105
9.2.5	Phosphorkreislauf .....	105
9.3	Nahrungsgefüge .....	106
	Literatur .....	110
<b>10</b>	<b>Dienstleistungen der Grundwasserökosysteme .....</b>	<b>111</b>
	Kurzfassung .....	111
10.1	Ökosystemdienstleistungen („ecosystem services“) .....	111
10.2	Grundwasser – eine integrierende Ressource .....	111
10.3	Das Grundwasserökosystem .....	112
10.4	Ökosystemdienstleistungen im Grundwasser .....	113
10.4.1	Die Reinigungsleistung .....	114
10.4.1.1	Trinkwasserproduktion .....	114
10.4.1.2	Schadstoffabbau .....	114
10.4.1.3	Rückhalt von Nährstoffen .....	114
10.4.1.4	Eliminierung von Pathogenen .....	115
10.4.2	Grundwasserfauna und ein offener Sedimentlückenraum .....	115
10.4.3	Bioindikation und Biomonitoring .....	115
10.4.3.1	Mikroorganismen als Bioindikatoren .....	116
10.4.3.2	Grundwasserinvertebraten als ökologische Zeiger .....	116
10.4.4	Der Grundwasserleiter – ein kommunizierendes Gefäß .....	116
10.4.5	Biodiversität .....	117
10.4.6	Heiße Quellen, Mineralwasser und Geothermie .....	117
10.5	Lebensqualität und persönliche Werte .....	118

10.6	Schlusswort.....	118
	Literatur.....	119
<b>11</b>	<b>Künstliche Grundwasseranreicherung und Uferfiltration.....</b>	<b>121</b>
	Kurzfassung .....	121
11.1	Einleitung .....	121
11.1.1	Künstliche Infiltration .....	122
11.1.2	Uferfiltration.....	122
11.2	Abbauprozesse und resultierende Gradienten .....	123
11.3	Rolle und Verhalten von Mikroorganismen.....	126
11.3.1	Algen und Cyanobakterien.....	126
11.3.2	Bakterien .....	127
11.3.3	Protozoen.....	127
11.3.4	Viren .....	128
11.3.5	Metazoen .....	128
11.4	Mechanismen der Elimination von Mikroorganismen.....	130
	Literatur.....	132
<b>12</b>	<b>Bakterieller Abbau von Schadstoffen an kontaminierten Standorten.....</b>	<b>137</b>
	Kurzfassung .....	137
12.1	Hydrochemische Randbedingungen .....	137
12.2	Natürlicher Abbau.....	139
12.2.1	Mikrobiologischer Abbau von Teerölschadstoffen .....	139
12.2.2	Praxisbeispiel Teerölschadstoffe.....	140
12.2.2.1	Standortbeschreibung .....	140
12.2.2.2	Schadstoffkonzentrationen und -verteilungsprofile .....	140
12.2.2.3	Redoxzonierung.....	141
12.2.2.4	Mikrobiologische Bestandsaufnahme (Most Probable Number, MPN).....	142
12.2.2.5	Abbauversuche in Mikrokosmen .....	142
12.2.3	Mikrobiologischer Abbau von chlorierten Kohlenwasserstoffen.....	143
12.2.4	Praxisbeispiel chlorierte Kohlenwasserstoffe .....	144
12.2.4.1	Standortbeschreibung .....	144
12.2.4.2	Schadstoffkonzentrationen und -verteilungsprofile .....	144
12.2.4.3	Redoxzonierung.....	145
12.2.4.4	Mikrobiologische Bestandsaufnahme (Most Probable Number, MPN und Polymerase Chain Reaction, PCR).....	146
12.2.4.5	Abbauversuche in Mikrokosmen .....	148
12.2.4.6	Isotopenchemie.....	149
12.3	Nutzung des mikrobiologischen Abbaus zur Elimination von Grundwasserverunreinigungen.....	149
12.3.1	Natürlicher Abbau (Monitored Natural Attenuation, MNA) .....	149
12.3.2	Stimulierter natürlicher Abbau (Enhanced Natural Attenuation, ENA) .....	150
12.3.3	Biologische Abstrombarrieren .....	150
12.3.4	In-situ-Sanierung (Schadensherd).....	150
12.4	Ausblick .....	151
	Literatur.....	151
<b>13</b>	<b>Auswirkungen biologischer Prozesse auf die Rohwasserförderung.....</b>	<b>153</b>
	Kurzfassung .....	153
13.1	Verockerung – Eisenablagerungen (rotbraune Beläge).....	153
13.1.1	Eisen(II)-Oxidation mit Sauerstoff (chemisch und biologisch) .....	154

13.1.2	Eisen(II)-Oxidation unter Nitrat reduzierenden Bedingungen.....	155
13.2	Weißer Belag auf schwarzen Ablagerungen .....	155
13.3	Schleimige Beläge.....	157
13.3.1	Methan .....	159
13.3.2	Leicht verwertbarer, gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) .....	162
13.4	Maßnahmen zur Verminderung von Belagsbildungen.....	166
	Literatur.....	167
<b>14</b>	<b>Spannungsfeld Geothermie – Ökologie: Mögliche Einflüsse von geothermischen Anlagen auf Grundwasserökosysteme.....</b>	<b>168</b>
	Kurzfassung .....	168
14.1	Einleitung .....	168
14.2	Formen der Erdwärmennutzung .....	169
14.3	Erdwärmennutzung führt zu Veränderungen in der Umwelt.....	169
14.4	Effekte der Temperaturveränderungen auf Biozönosen.....	170
14.5	Das Pilotprojekt Aquitherm .....	172
14.6	Rechtliche Aspekte.....	174
14.6.1	Deutschland.....	174
14.6.2	Europa .....	175
14.7	Schlussfolgerungen und Vorschläge zur Umsetzung.....	176
	Literatur.....	177
<b>15</b>	<b>Probenahme für mikrobiologische, molekularbiologische und faunistische Untersuchungen.....</b>	<b>179</b>
	Kurzfassung .....	179
15.1	Allgemeines .....	179
15.2	Grundwasserprobenahme .....	180
15.2.1	Mikrobiologische und molekularbiologische Untersuchungen.....	180
15.2.2	Metazoen (vielzellige Tiere).....	183
15.2.2.1	Übersicht.....	183
15.2.2.2	Darstellung der Methoden.....	183
15.2.3	Kolbenhubpumpe mit Doppelpacker .....	185
15.2.4	Netzsammler.....	186
15.2.5	Fallen.....	187
15.2.6	Aufbereitung und Fixierung der Tierproben.....	188
15.3	Beprobung von Feststoffen.....	189
15.3.1	Mikrobiologische und molekularbiologische Untersuchungen.....	189
15.3.2	Metazoen, Vielzeller.....	190
	Literatur.....	190
<b>16</b>	<b>Mikrobiologische Methoden .....</b>	<b>192</b>
	Kurzfassung .....	192
16.1	Einführung.....	192
16.2	Bestimmung der bakteriellen Biomasse.....	193
16.2.1	Mikroskopische Methoden .....	193
16.2.1.1	Gesamtzellzahlen.....	193
16.2.1.2	Differenzierter Nachweis toter oder stoffwechselaktiver Zellen.....	194
16.2.1.3	Spezifischer Nachweis mittels Antikörper.....	195
16.2.1.4	Spezifischer Nachweis mittels Gensonden (FISH) .....	195
16.2.1.5	Flow-Cytometrie .....	195
16.2.2	Kultivierungsverfahren (Lebendbakterienzahlen) .....	196

16.2.2.1	Heterotrophe Bakterien.....	196
16.2.2.2	Stoffwechselgruppen und autotrophe Bakterien.....	197
16.2.2.3	Besiedlungsanalysen (basierend auf Kultivierungsverfahren).....	197
16.2.3	Nachweis von Biomolekülen .....	197
16.2.3.1	Nukleinsäuren.....	197
16.2.3.2	ATP-Gehalt.....	198
16.2.3.3	Membranlipide.....	198
16.3	Messung mikrobieller Aktivitäten.....	198
16.3.1	Enzymaktivitäten .....	199
16.3.2	Biochemische Merkmale und Verwertungsspektren von Isolaten .....	200
16.3.3	Umsatz radioaktiv markierter Moleküle .....	200
16.3.4	In-situ Messungen und Modellökosysteme .....	201
16.3.5	Messung von chemischen Parametern und Isotopenverhältnissen.....	201
16.4	Analysen der Besiedlungszusammensetzung .....	202
16.4.1	Molekulargenetische Techniken .....	204
16.4.2	Genetische Fingerprints (Besiedlungsmuster) .....	205
16.4.3	Interpretation und Auswertungsmöglichkeiten von Besiedlungsmustern .....	206
16.4.4	Membranfettsäuren.....	207
16.5	Weiterführende Entwicklungen.....	208
16.5.1	Nachweis metabolischer Gene.....	208
16.5.2	mRNA-Analysen und Genexpression .....	208
16.5.3	Chip-Technologie.....	209
	Literatur .....	209
<b>17</b>	<b>Rechtliche Regelungen zum Grundwasserschutz .....</b>	<b>217</b>
	Kurzfassung .....	217
17.1	Europarecht .....	217
17.1.1	EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL).....	217
17.1.2	EG-Grundwasserrichtlinie .....	218
17.1.3	Weitere relevante EG-Richtlinien .....	219
17.2	Nationales Recht/Bundesrecht.....	220
17.2.1	Das Wasserhaushaltsgesetz (WHG).....	220
17.2.2	Die Grundwasserverordnung.....	221
17.2.3	Bundesbodenschutzgesetz/Altlastenverordnung .....	222
17.2.4	Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) .....	222
17.2.5	Düngeverordnung .....	223
17.2.6	Wassergefährdende Stoffe.....	223
17.2.7	Trinkwasserverordnung .....	223
17.3	Wasserrecht der Länder .....	224
17.4	Ökologische Parameter in Gesetzen und Verordnungen.....	224
<b>Glossar</b>	.....	<b>226</b>