

Karl Höll

Wasser

Nutzung im Kreislauf
Hygiene, Analyse und Bewertung

herausgegeben von
Reinhard Nießner

9., völlig neu bearbeitete Auflage

DE GRUYTER

Inhalt

Kapitel 1

Einleitung (*A.N. Grohmann*)

1.1	Wasser als Grundlage des Lebens	1
1.2	Beispiele aus der Geschichte der Wasserversorgung	1
1.2.1	Bedenkenswertes in Zeugnissen und Spuren der Vergangenheit	1
1.2.2	Die Versalzung des Bodens in Mesopotamien	2
1.2.3	Das Durchflussprinzip als Grundlage der traditionellen Struktur der Wasserversorgung und der Übergang zum Kreislaufprinzip der Moderne ..	4
1.2.4	Die Gefährlichkeit plausibler Vorurteile und die Verleumdung der „Brunnenvergiftung“	5
1.3	Der Antagonismus zwischen Durchflussprinzip und Kreislauf und die nachhaltige Sicherung der Wasserversorgung	9
1.4	Literatur	11

Kapitel 2

Hydrogeologie (*G. Michel*)

2.1	Einführung	13
2.2	Grundwasser als Bestandteil der Erde	14
2.2.1	Geologische Grundlagen	14
2.2.2	Hydrosphäre	16
2.2.3	Alter des Grundwassers	17
2.3	Allgemeine Hydrogeologie	19
2.3.1	Ungesättigte Sickerwasserzone	19
2.3.2	Gesättigte Grundwasserzone	20
2.3.2.1	Hydrogeologisches Grundlagen	20
2.3.2.2	Geohydraulische Grundlagen	22
2.3.3	Grundwasserneubildung	24
2.4	Hydrogeochemie	27
2.4.1	Geogenese der Inhaltsstoffe	27
2.4.2	Einflussfaktoren auf die Löslichkeit	28
2.4.3	Hydrochemische Prozesse im Grundwasser	28
2.4.4	Abhängigkeit von der Temperatur	29
2.4.5	Chemische Gleichgewichte	30
2.4.6	Grundwasserbeschaffenheit	30
2.5	Grundwassergewinnung	32
2.6	Mineral-, Thermal- und Heilwasser	33
2.6.1	Genese	33
2.6.1.1	Thermalwässer	33

XIV	Inhalt	
2.6.1.2	Radonhaltige Wässer	34
2.6.1.3	Säuerlinge	34
2.6.1.4	Chlorid-Wässer und Sole	37
2.6.1.5	Sulfat-Wässer	37
2.6.1.6	Schwefel-Wässer	37
2.6.2	Bezeichnungen (Standards) für besondere Grundwässer	38
2.6.3	Regionale Verbreitung	39
2.7	Wasserschutz	39
2.7.1	Wasserrechtliche Grundsätze	39
2.7.2	Trinkwasserschutzgebiete für Grundwasser	40
2.7.3	Trinkwasserschutzgebiete für Oberflächenwasser	41
2.7.4	Heilquellenschutzgebiete	41
2.8	Literatur	43

Kapitel 3

Chemie des Wassers (*W. Nissing, R. Nießner*)

3.1	Eigenschaften des Wassers	47
3.1.1	Physikalische Eigenschaften	47
3.1.1.1	Struktur und Aggregatzustände des Wassers	47
3.1.1.2	Physikalische Größen	48
3.1.2	Physikochemische Eigenschaften	51
3.1.2.1	Wasser als Lösemittel	51
3.1.2.2	Konzentrationsangabe für Stoffe im Wasser	53
3.1.2.3	Löslichkeit von Gasen	55
3.1.2.4	Löslichkeit fester Stoffe	57
3.1.2.5	Färbung und Trübung	58
3.1.2.6	Elektrische Leitfähigkeit	58
3.1.2.7	Osmotischer Druck	60
3.1.2.8	Redoxpotenzial und Redoxspannung	61
3.2	Spezies mit pH-Wert als Leitparameter	62
3.2.1	Einleitung	62
3.2.2	pH-Wert, Säuren und Basen	63
3.2.2.1	pH-Wert	63
3.2.2.2	Die Gleichgewichtskonstanten	66
3.2.2.3	Die Aktivitätskoeffizienten	69
3.2.3	pH-Wert-Pufferung	70
3.2.3.1	Säure- und Basekapazität des Wassers	70
3.2.3.2	Die Titrationskurve natürlicher Wässer, m-Wert und p-Wert	71
3.2.3.3	Der pH-Wert belüfteten Wassers	74
3.2.4	Calcitlöslichkeit	77
3.2.4.1	Geschichte des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts	77
3.2.4.2	Löslichkeitsprodukt von Calcit	79
3.2.4.3	pH-Wert der Calcitsättigung und Temperaturabhängigkeit	80
3.2.4.4	Graphische Darstellung der Calcitsättigung und Calcitlösekapazität	81
3.2.5	Spezies der Schwermetalle Blei, Cadmium, Kupfer und Zink	85
3.2.6	Spezies des Eisens und des Aluminiums	88
3.2.7	Spezies der toxischen und der desinfizierend wirkenden Stoffe	89
3.3	Werkstoff und Wasser	90

3.3.1	Einleitung	90
3.3.2	Silikate, Kalk und Zement	92
3.3.3	Korrosion metallischer Werkstoffe	94
3.3.4	Kunststoffe	102
3.3.5	Zusätze, Begleitstoffe, Reaktionsprodukte und Verunreinigungen	106
3.4	Literatur	107

Kapitel 4

Chemische Wasseranalyse

4.1	Sicherung der Qualität (<i>C. Schlett</i>)	109
4.1.1	Qualitätsmanagement	109
4.1.2	Überwachung durch eine neutrale Stelle	113
4.2	Probenahme und Konservierung zur Analyse chemischer Parameter (<i>E. Stottmeister</i>)	114
4.2.1	Einleitung	114
4.2.2	Allgemeine Anforderungen an die Probenahme – Organisatorische Maßnahmen	115
4.2.3	Probenahmearten	116
4.2.4	Technik der Probenahme	116
4.2.5	Probenahmeprotokoll	119
4.3	Geruch und Geschmack (<i>C. Schlett</i>)	134
4.3.1	Geruchs- und Geschmackssinn	134
4.3.2	Herkunft von Geruchsstoffen	135
4.3.3	Analytik von Geruchsstoffen	136
4.3.4	Vorkommen von Geruchsstoffen	138
4.3.5	Vorkommen von Geruchs- und Geschmacksstoffen im Trinkwasser	140
4.4	Schnelltest und Monitoring (<i>C. Schlett</i>)	140
4.4.1	Anwendungsbereich	140
4.4.2	Untersuchungen mit chemischen Microchips	141
4.4.3	Schnelltests mit visueller bzw. photometrischer Endbestimmung	143
4.4.4	Zusammenfassung	145
4.5	Physikalische und physikalisch-chemische Untersuchungen (<i>E. Stottmeister</i>)	145
4.5.1	Temperatur	145
4.5.2	Färbung	146
4.5.3	Absorption im Bereich der UV-Strahlung	147
4.5.4	Trübung	148
4.5.5	Redox-Spannung (Redoxpotential)	150
4.5.6	pH-Wert	152
4.5.7	Elektrische Leitfähigkeit	155
4.6	Maßanalytische Bestimmungen in der Wasseranalytik (<i>R. Schuster, B. C. Gordalla</i>)	158
4.6.1	Grundlagen der Maßanalytik	158
4.6.2	Methoden zur Endpunktbestimmung	160
4.6.3	Maßanalytische Geräte	163
4.6.4	Beispiele	163

4.7	Instrumentelle Methoden in der Wasseranalytik (<i>U. Lippold, E. Stottmeister, R. Schuster</i>)	165
4.7.1	Einleitung	165
4.7.2	Atomabsorptions-Spektrometrie (AAS)	166
4.7.2.1	Physikalische Grundlagen	166
4.7.2.2	Messprinzip	167
4.7.2.3	Störungen in der AAS	170
4.7.2.4	Kombination der AAS mit der Fließinjektionsanalyse (FIA)	172
4.7.2.5	Einsatzmöglichkeiten der AAS in der Wasseranalytik	173
4.7.3	Atomemissions-Spektrometrie (AES)	173
4.7.3.1	Physikalische Grundlagen	173
4.7.3.2	Messprinzip	174
4.7.3.3	Störungen in der AES	177
4.7.3.4	Einsatzmöglichkeiten der ICP-OES in der Wasseranalytik	180
4.7.4	ICP-Massenspektrometrie (ICP-MS)	181
4.7.4.1	Physikalische Grundlagen	181
4.7.4.2	Messprinzip	182
4.7.4.3	Störungen in der ICP-MS	184
4.7.4.4	Vergleich der ICP-MS mit AAS und AES	187
4.7.4.5	Einsatzmöglichkeiten der ICP-MS in der Wasseranalytik	189
4.7.5	UV/VIS-Spektrometrie	189
4.7.5.1	Physikalische Grundlagen	189
4.7.5.2	Bouguer-Lambert-Beer'sches Gesetz	192
4.7.5.3	Messprinzip	193
4.7.5.4	Störungen in der UV/VIS-Spektrometrie	196
4.7.5.5	Einsatzmöglichkeiten in der Wasseranalytik	198
4.7.6	Infrarot-Spektrometrie (IR-Spektrometrie)	200
4.7.6.1	Physikalische Grundlagen	200
4.7.6.2	Messprinzip	202
4.7.6.3	Aufbau eines IR-Spektrometers	202
4.7.6.4	Analytische Anwendungsmöglichkeiten	205
4.7.7	Gaschromatographie	206
4.7.7.1	Prinzip und Definition der Methode	206
4.7.7.2	Aufbau eines Gaschromatographen	208
4.7.8	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)	211
4.7.8.1	Prinzip und Definition der Methode	211
4.7.8.2	Aufbau einer HPLC-Anlage	212
4.7.9	Ionenchromatographie	218
4.8	Immunochemische Methoden in der Umweltanalytik (<i>P. Krämer</i>)	221
4.8.1	Einleitung	221
4.8.2	Entwicklung von Antikörpern – Grundlage aller immunochemischen Methoden	222
4.8.3	Immunoassay Formate	225
4.8.4	Test-Kits	227
4.8.5	Automatisierte Systeme und Online Monitoring basierend auf immunochemischer Analyse	229
4.8.6	Integration mit anderen Methoden	231
4.8.7	Einweg-Immunosensoren und Immunosensoren	231
4.8.8	Ausblick	232
4.9	Summenbestimmungen (<i>E. Stottmeister</i>)	234

4.9.1	Einleitung	234
4.9.2	Gesamter und gelöster organisch gebundener Kohlenstoff (TOC, DOC)	234
4.9.3	Permanganat-Index (Oxidierbarkeit mit Kaliumpermanganat)	237
4.9.4	Adsorbierbare organisch gebundene Halogene (AOX)	238
4.10	Bestimmung von Metallen und Halbmetallen (<i>U. Lippold</i>)	240
4.10.1	Einleitung	240
4.10.2	Probenahme und Probenkonservierung	241
4.10.3	Instrumentelle Bestimmungsmethoden	241
4.11	Bestimmung von nichtmetallischen anorganischen Wasserinhaltsstoffen (<i>R. Schuster, A. Seubert</i>)	252
4.12	Bestimmung organischer Wasserinhaltsstoffe (<i>E. Stottmeister</i>)	260
4.13	Isolierungs- und Anreicherungsverfahren (<i>C. Schlett</i>)	263
4.13.1	Allgemeines	263
4.13.2	Flüssig-Flüssig-Anreicherung	264
4.13.3	Fest-Flüssig-Anreicherung (SPE)	265
4.13.4	Festphasen-Mikroextraktion (SPME)	270
4.13.5	Dampfraum-Techniken	272
4.13.5.1	Statische Dampfraumanalyse	272
4.13.5.2	Dynamische Dampfraumanalyse (CLSA sowie Purge & Trap)	273
4.13.6	Zusammenfassung	276
4.14	Radioaktive Stoffe in Trinkwasser (<i>H. Rühle</i>)	276
4.14.1	Einleitung	276
4.14.2	Begriffe, radiologische Größen und Maßeinheiten	277
4.14.3	Herkunft radioaktiver Stoffe im Wasserkreislauf	279
4.14.4	Messverfahren zur Bestimmung von Radionukliden in Trinkwasser	282
4.14.5	Ergebnisse der Überwachung radioaktiver Stoffe im Trinkwasser	284
4.14.6	Strahlenexposition der Bevölkerung	286
4.14.7	Grenzwerte für radioaktive Stoffe im Trinkwasser	289
4.14.8	Danksagung	291
4.15	Literatur	291

Kapitel 5

Mikrobiologie des Wassers (*S. Carlson*[†], *M. Seidel*)

5.1	Einleitung	305
5.2	Trinkwasserepidemien	307
5.2.1	Ursachen und Verlauf	307
5.2.2	Typhus, Cholera und Parasiten als häufigste Ursachen von Trinkwasserepidemien	313
5.3	Überlebenszeit pathogener Mikroorganismen in Grundwasserleitern und Wasserfiltern	318
5.3.1	Biotop Grundwasser	318
5.3.2	Persistenz von Mikroorganismen	320
5.3.3	Adsorption und Desorption	322
5.3.4	Transportprozesse und Filterwirkung	322
5.3.5	Filtration bei Dauerbelastung	323
5.3.6	Schutzzonen	324

5.3.7	Bakterien in Wasserfiltern mit körnigem Material	325
5.4	Ortsbesichtigung und Probennahme	326
5.5	Hinweise zu Nährmedien	327
5.6	<i>E. coli</i> und coliforme Bakterien als Indikatoren für fäkale Kontaminationen	329
5.7	Koloniezahl	332
5.8	Enterokokken (Fäkalstreptokokken)	335
5.9	Sulfitreduzierende Sporen bildende Anaerobier (Clostridien)	336
5.10	Untersuchungen auf Seuchen- und andere Krankheitserreger	338
5.10.1	Klassifizierung der Mikroorganismen	338
5.10.2	Antigene	339
5.10.3	Fimbrien (Pili)	340
5.10.4	Toxine, Pathogenitätsfaktoren	340
5.10.5	Plasmide	341
5.10.6	Erregerspektrum, epidemiologische und klinische Charakteristika sowie Immunreaktionen des Intestinaltraktes	341
5.11	Enterobacteriaceae	345
5.11.1	Einleitung	345
5.11.2	Verfahren zur Anzüchtung	346
5.11.3	Pathogene <i>Escherichia coli</i>	347
5.11.4	<i>Salmonella</i>	352
5.11.5	<i>Shigella</i>	354
5.11.6	<i>Yersinia</i>	356
5.11.7	<i>Citrobacter</i> , <i>Klebsiella</i> und <i>Enterobacter</i>	358
5.11.8	<i>Proteus</i> , <i>Providencia</i> , <i>Morganella</i>	359
5.11.9	<i>Hafnia</i> , <i>Serratia</i> und <i>Edwardsiella</i>	359
5.11.10	<i>Kluyvera</i> , <i>Rahnella</i> , <i>Budvicia</i> und <i>Buttiauxella</i>	360
5.12	Micrococcaceae	360
5.13	<i>Campylobacter</i> und <i>Heliobacter</i>	362
5.13.1	<i>Campylobacter</i>	362
5.13.2	<i>Heliobacter</i>	364
5.14	Vibrionen	366
5.14.1	Übersicht	366
5.14.2	<i>Vibrio cholerae</i> 01 und <i>Vibrio eltor</i> 01	366
5.14.3	Sonstige Vibrionen	369
5.15	<i>Pseudomonas</i> , <i>Xanthomonas</i> , <i>Flavobacterium</i> , <i>Alcaligenes</i> , <i>Acinetobacter</i> (Nonfermenter)	370
5.15.1	Einleitung	370
5.15.2	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	371
5.15.3	<i>Burkholderia</i>	373
5.15.4	Weitere Nonfermenter	374
5.16	Weitere pathogene Bakterien im Wasser	374
5.16.1	<i>Aeromonas</i>	374
5.16.2	<i>Plesiomonas</i>	377
5.16.3	<i>Leptospira</i>	377

5.16.4	^a Chromobacterium violaceum	378
5.16.5	Listeria	378
5.16.6	Sporocytophaga-Gruppe	380
5.16.7	Bacillus cereus	380
5.16.8	Bacillus-Arten	381
5.16.9	Mykobakterien	382
5.17	Parasiten	387
5.17.1	Entamoeba histolytica	387
5.17.2	Freilebende Amöben	389
5.17.3	Giardia lamblia	391
5.17.4	Cyclospora cayetanensis	393
5.17.5	Cryptosporidium parvum	393
5.17.6	Nachweis von Giardia-Zysten und Cryptosporidium-Oozysten in Wasserproben	395
5.17.7	Sonstige Parasiten	396
5.18	Literatur	397

Kapitel 6

Wasservirologie (*K. Botzenhart, M. Seidel*)

6.1	Aufbau und biologische Eigenschaften von Viren	411
6.2	Epidemiologie	412
6.3	Übertragungswege	414
6.4	Infektionsdosis und Risikoabschätzung	415
6.5	Viruskonzentrationen in Abwässer und Oberflächengewässern	416
6.6	Persistenz	417
6.7	Virusreduktion bei der Wasseraufbereitung und Desinfektion	418
6.8	Nachweisverfahren	421
6.9	Bakteriophagen	423
6.10	Literatur	424

Kapitel 7

Biologische Aspekte der Wassernutzung und Wasserqualität

7.1	Übersicht (<i>I. Chorus, J. Clasen</i>)	427
7.2	Stehende Gewässer (<i>I. Chorus, J. Clasen, J. Fastner</i>)	432
7.2.1	Einleitung	432
7.2.2	Artenzusammensetzung des Phytoplanktons	432
7.2.3	Phytoplankton-Mengen und ihre Begrenzung	434
7.2.3.1	Nährstofflimitation	434
7.2.3.2	Lichtlimitation	437
7.2.3.3	Nährstoff- und Lichtlimitation – Wechsel im Jahresgang	438
7.2.3.4	Phytoplankton und Makrophyten – Bistabile Zustände	439
7.2.4	Beschreibung und Prognose des Trophie-Zustandes	440

7.2.5	Maßnahmen zur Reduzierung von Populationen nutzungsbeeinträchtigender Algen und Cyanobakterien	445
7.2.5.1	Einleitung	445
7.2.5.2	Sanierung von punktförmigen Nährstoff-Quellen	447
7.2.5.3	Sanierung von diffusen Quellen	448
7.2.5.4	Interne Düngung und Gegenmaßnahmen	450
7.2.5.5	Abzug des Hypolimnions	452
7.2.5.6	Künstliche Durchmischung	452
7.2.5.7	pH-Anhebung	453
7.2.5.8	Bio-manipulation	453
7.2.5.9	Einsatz von Herbiziden	455
7.2.6	Biologische Untersuchung von stehenden Gewässern	456
7.2.6.1	Planung und Vorbereitung von Freilandarbeit	456
7.2.6.2	Probenahme	457
7.2.6.3	Ortsbesichtigung und Vor-Ort-Messungen	459
7.2.6.4	Analyse von Phytoplankton	461
7.2.6.5	Analyse von Zooplankton	465
7.3	Fließgewässer (<i>G. Friedrich, M. Sommerhäuser</i>)	467
7.3.1	Einleitung	467
7.3.2	Allgemeine Hinweise zur Untersuchung	469
7.3.2.1	Auswahl der Probestelle und des Probenahme-Zeitpunktes	469
7.3.2.2	Zeitaufwand	470
7.3.2.3	Qualitative und quantitative Untersuchungen	470
7.3.2.4	Spezielle Aspekte der Probenahme von Organismen aus Fließgewässern ..	470
7.3.2.5	Arbeitssicherheit	471
7.3.2.6	Qualitätssicherung	471
7.3.3	Organismengruppen	472
7.3.3.1	Makrozoobenthos	472
7.3.3.2	Makrophyten	472
7.3.3.3	Benthische Algen	474
7.3.3.4	Phytoplankton	475
7.3.4	Bewertung einzelner Störgrößen	475
7.3.4.1	Saprobie	475
7.3.4.2	Eutrophierung	480
7.3.4.3	Säurestatus von Fließgewässern	481
7.3.4.4	Salzbelastung	482
7.3.4.5	Toxizität	483
7.3.5	Untersuchung und Bewertung der Fließgewässerstruktur (Struktur-gütebewertung)	484
7.3.6	Ökologische Bewertung, Leitbild und Entwicklungsziel	486
7.3.7	Ganzheitliche Bewertung – die Europäische Wasserrahmenrichtlinie	487
7.3.8	Die Bedeutung der Gewässertypisierung für Untersuchungen und Bewertungen gemäß Wasserrahmenrichtlinie	490
7.3.9	Untersuchung und Bewertung gemäß Wasserrahmenrichtlinie	492
7.3.9.1	Phytoplankton	494
7.3.9.2	Makrophyten und Phytobenthos	496
7.3.9.3	Makrozoobenthos	497
7.3.9.4	Fische	500
7.3.9.5	Begleitende chemische Untersuchungen (ACP)	501
7.3.9.6	Chemischer Zustand der Fließgewässer nach WRRL	503
7.3.10	Spezielle Untersuchungsverfahren	503

7.3.10.1	Exposition künstlicher Aufwuchsträger	503
7.3.10.2	Emergenzuntersuchung	504
7.3.10.3	Biologische Untersuchung des Hyporheals	504
7.3.10.4	Untersuchung temporärer Gewässer	505
7.4	Biogene Geruchs- und Geschmacksstoffe (<i>F. Jüttner</i>)	506
7.4.1	Überblick	506
7.4.2	Gruppeneinteilung der biogenen Geruchsstoffe	509
7.4.2.1	Schwefelhaltige Geruchsstoffe	509
7.4.2.2	Lipoxygenase-Produkte	510
7.4.2.3	Carotin-Oxygenase-Produkte	513
7.4.2.4	Terpene	515
7.4.3	Besonderheiten der Analyse von biogenen Geruchsstoffen	517
7.5	Cyanobakterientoxine (<i>I. Chorus, J. Fastner, J. Pietsch</i>)	520
7.5.1	Cyanotoxine und ihre toxikologische Bewertung	520
7.5.2	Vorkommen von Cyanotoxinen	525
7.5.3	Risiken für die menschliche Gesundheit	528
7.5.4	Maßnahmen zum Schutz vor Cyanotoxinen im Trinkwasser und in Badegewässern	530
7.5.5	Probenahme und Probenaufbereitung	533
7.5.5.1	Arbeitssicherheit und Probenahme	533
7.5.5.2	Probenaufarbeitung	535
7.5.6	Detektion und Identifikation	537
7.5.6.1	Bioassays und Toxizitätstest	537
7.5.6.2	Biochemische Methoden	537
7.5.6.3	Physikalisch-chemische Methoden	538
7.5.7	Bewertung und Ausblick	540
7.6	Organismen in Trinkwasseranlagen (<i>H. Schreiber, B. Westphal, D. Schoenen</i>)	541
7.6.1	Einleitung	541
7.6.2	Überblick	541
7.6.3	Trinkwassergewinnung und Aufbereitung	545
7.6.4	Verteilung und Speicherung	546
7.6.5	Hygienische Beurteilung	548
7.6.6	Vermeidung und Bekämpfung von Organismen in Trinkwasser- versorgungsanlagen	549
7.6.7	Probenahme und Untersuchung von Kleintieren in Trinkwasser- versorgungsanlagen	550
7.6.7.1	Untersuchungsprogramme und Methoden	550
7.6.7.2	Techniken der Probenahme	553
7.6.7.3	Auswertung	558
7.6.7.4	Verockerung	558
7.7	Literatur	560
Kapitel 8		
Toxikologie		
8.1	Genetische Toxikologie (<i>T. Grummt</i>)	581
8.1.1	Allgemeine Aspekte	581
8.1.2	Relevante Testsysteme für die praxisbezogene Gentoxizitätsprüfung	582
8.1.3	Bakterielles Testsystem – Ames-Test	583

XXII	Inhalt	
8.1.4	Nachweis von Chromosomenaberrationen in der Säugerzellkultur	585
8.1.5	Chromosomenanalyse in peripheren Lymphozyten von exponierten Personen (Humanbiomonitoring)	588
8.1.6	Mikrokernanalyse	589
8.1.7	Der UDS-Test	590
8.1.8	Der Comet-Assay	593
8.1.9	Testbatterie	595
8.1.10	Zytotoxizität	598
8.1.11	Integrales Konzept zur toxikologischen Charakterisierung von Microcystin	599
8.2	Unerwünschte Wirkungen (<i>P.-D. Hansen</i>)	602
8.2.1	Einleitung	602
8.2.2	Biotestverfahren, bioanalytische Systeme und Biosensoren	603
8.2.3	Fischei-Test	606
8.2.4	Gentoxizität	606
8.2.5	Immuntoxizität	609
8.2.6	Endokrine Wirkungen	611
8.2.6.1	Bedeutung und Fallstudie	611
8.2.6.2	Methoden zur Messung von endokrinen Wirkungen	613
8.3	Bewertende Toxikologie (<i>H. H. Dieter</i>)	615
8.3.1	Einleitung	615
8.3.2	NOAEL, NAEL, ADI, Extrapolationsfaktor und Wirkungsschwelle	617
8.3.3	Ableitung gesundheitlicher Leitwerte für Trinkwasser	619
8.3.4	Ableitung gesundheitlicher Leitwerte für kurze Exposition	623
8.4	Literatur	626

Kapitel 9

Sicherheit und Schutz vor Krankheitserregern durch ein multiples Barrierensystem

9.1	Das multiple Barrierensystem (<i>H.-J. Brauch</i>)	635
9.1.1	Einleitung	635
9.1.2	Krankheitserreger und Indikatororganismen	636
9.1.3	Aufbau des multiplen Barrierensystems	637
9.1.4	Einzugsgebiet	638
9.1.5	Voraufbereitung von Oberflächenwasser	639
9.1.6	Langsamsandfiltration, Bodenpassage, Uferfiltration	640
9.1.7	Aufbereitung und Desinfektion	641
9.1.8	Rohrnetzpflege und Desinfektionskapazität	642
9.1.9	Fazit	644
9.2	Die besondere Bedeutung des Ressourcenschutzes (<i>W. Engel</i>)	646
9.2.1	Allgemeines	646
9.2.2	Flächendeckender Gewässerschutz	648
9.2.3	Anlagenbezogener Gewässerschutz	649
9.2.4	Wasserschutzgebiete	650
9.3	Fallbeispiel für eine sichere Wasserversorgung ohne Desinfektion (<i>D. Petersohn</i>)	655
9.3.1	Die Voraussetzungen	655

9.3.2	^a Die Entwicklung der Wasserversorgung Berlins und die Bevorzugung von Grundwasser	656
9.3.3	Die Einstellung der Desinfektion in Berlin und die Begrenzung des Chlorverbrauchs	657
9.4	Biofilme – die bevorzugte Lebensform der Mikroorganismen (<i>H.-C. Flemming</i> , <i>J. Wingender</i>)	660
9.4.1	Aufmacher	660
9.4.2	Was sind Biofilme?	660
9.4.3	Charakteristische Eigenschaften von Biofilmen	661
9.4.4	Frühe Entdeckung – späte Erforschung	662
9.4.5	Einfluss auf die Gesundheit	665
9.4.6	Entwicklung von Biofilmen	666
9.4.7	Anheftung an eine Oberfläche	668
9.4.8	Vermehrung der Bakterien	669
9.4.9	Ausmaß des Biofilms	669
9.4.10	Innerer Zusammenhalt	670
9.4.11	Bestandteile der EPS	671
9.4.12	EPS-Struktur	672
9.4.13	Diffusion in der Gelmatrix	673
9.4.14	Kommunikation im Biofilm	673
9.4.15	Ausblick	675
9.4.16	Zusammenfassung	677
9.5	Desinfektion von Trinkwasser (<i>W. Schmidt</i>)	677
9.5.1	Einleitung	677
9.5.2	Chlor und Chlor abspaltende Stoffe	679
9.5.3	Dichlorisocyanurat, Chloramine und gebundenes Chlor	682
9.5.4	Chlordioxid, ClO_2	684
9.5.5	Ozon	686
9.5.6	Silber	686
9.5.7	Ultraviolette Strahlen (UV-Strahlen)	697
9.5.8	Peroxide und andere Desinfektionsmittel	689
9.5.9	Desinfektionskapazität in Leitungsnetzen	689
9.5.10	Nachweis der Desinfektionsmittel	690
9.6	Desinfektionsnebenprodukte (<i>W. Schmidt</i>)	692
9.6.1	Bedeutung der Desinfektionsnebenprodukte (DNP)	692
9.6.2	Trihalogenmethane (THM), halogenierte Kohlenwasserstoffe	693
9.6.3	Chlorit und Chlorat	695
9.6.4	Bromat	696
9.6.5	Bilanz der Bildung von Desinfektionsnebenprodukten	697
9.7	Auftreten und Bekämpfung von Legionellen (<i>B. Schaefer</i>)	698
9.7.1	Vorkommen und Bewertung von Legionellen im Trinkwasser	698
9.7.2	Regelungen zur Verminderung eines Legionellen-Infektionsrisikos	702
9.7.3	Untersuchungsgang zum Nachweis von Legionellen im Trinkwasser	703
9.8	Literatur	705

Kapitel 10

Befund und Bewertung (*H. H. Dieter, H. Höring, T. Baumann*)

10.1	Einleitung	713
10.2	Ortsbesichtigung	714
10.2.1	Zustand der technischen Einrichtungen	714
10.2.2	Umgebung der Fassungsanlage	715
10.2.3	Vor-Ort-Untersuchungen und Monitoring	717
10.3	Rechtsnormen für den Gewässerschutz	718
10.4	Die Trinkwasserverordnung (TrinkwV)	719
10.4.1	Der Begriff Trinkwasser	719
10.4.2	Kurze Kommentierung der TrinkwV	721
10.4.3	Auswahl von Parametern und Festsetzung von Grenzwerten	723
10.4.4	Feststellung einer Grenzwertüberschreitung	727
10.4.5	Weiterführung der Wasserversorgung bei Grenzwertüberschreitungen	728
10.5	Besonderheiten der natürlichen Mineral-, Quell-, Tafel- und Heilwässer ...	731
10.5.1	Natürliche Mineral-, Quell- und Tafelwässer	731
10.5.2	Heilwässer	736
10.6	Erläuterungen zu chemischen Parametern und zu Indikatorparametern ...	738
10.6.1	Vorbemerkung	738
10.6.2	Acrylamid	738
10.6.3	Aluminium	739
10.6.4	Arzneimittelreste und -abbauprodukte; endokrine Disruptoren	741
10.6.5	Arsen	743
10.6.6	Blei	746
10.6.7	Bor	749
10.6.8	Bromat	751
10.6.9	Cadmium	752
10.6.10	Chloroform und gechlortes Trinkwasser	754
10.6.11	Eisen	756
10.6.12	Epichlorhydrin	759
10.6.13	Fluor	760
10.6.14	Kupfer	762
10.6.15	Mangan	764
10.6.16	Nitrat, Nitrit und Ammonium	765
10.6.17	Pflanzenschutzmittel	770
10.6.18	pH-Wert	771
10.6.19	Phosphat	772
10.6.20	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	773
10.6.21	Selen	776
10.6.22	Sulfat	777
10.6.23	Vinylchlorid	777
10.7	Erläuterungen zu ergänzenden Stichworten	779
10.7.1	Härte des Wassers	779
10.7.2	Haushaltsfilter zur Wasseraufbereitung (Kleinfiler im Haushalt)	780
10.7.3	Physikalische Wasserbehandlung	781
10.7.4	Salzgehalt (Mineralgehalt) des Trinkwassers und destilliertes Wasser	782
10.7.5	Trinkwasser als Arznei?	785

10.7.6	Positive Definition des Trinkwassers	787
10.7.7	Privatisierung und Wettbewerb in der Wasserversorgung	788
10.7.8	Kosten der Wasserversorgung	790
10.7.9	Regenwasser	791
10.8	Literatur	792

Kapitel 11

Aufbereitung von Wasser (*H. Bartel*)

11.1	Einleitung	807
11.2	Ziele der Aufbereitung	809
11.3	Bausteine der Aufbereitung	812
11.3.1	Stoffaustausch an Grenzflächen	812
11.3.1.1	Bedeutung der Belüftung für die Wasseraufbereitung	812
11.3.1.2	Belüftung und CO ₂ -Ausgasung	812
11.3.1.3	Adsorption	814
11.3.1.4	Ionenaustausch	818
11.3.2	Fällung und Flockung	821
11.3.2.1	Einleitung	821
11.3.2.2	Fällung durch Kristallisation	821
11.3.2.3	Fällung durch Mitfällung oder Kondensation	824
11.3.2.4	Flockung	826
11.3.3	Partikelabtrennung	830
11.3.3.1	Sedimentation/Flotation	830
11.3.3.2	Filterung über körniges Material (Festbett-Kornfilter)	832
11.3.3.3	Poröse Filteroberflächen und Membranfilter	837
11.3.4	Umkehrosmose und Meerwasserentsalzung	838
11.3.5	Biologische Methoden	841
11.3.5.1	Einleitung	841
11.3.5.2	Biologische Enteisung und Entmanganung	841
11.3.5.3	Denitrifizierung	844
11.3.5.4	Langsandsandfiltration/Bodenpassage	846
11.4	Aufbereitungsstoffe	847
11.4.1	Einleitung	847
11.4.2	Anforderungen an Aufbereitungsstoffe	850
11.4.3	Tabellarische Übersicht der Aufbereitungsstoffe	852
11.5	Verfahrenskombinationen zur Aufbereitung von Wasser	857
11.6	Dezentrale Trinkwasserversorgung (Kleinanlagen)	857
11.6.1	Einleitung	857
11.6.2	Kleinanlagen zur Vollversorgung	861
11.6.3	Kleinanlagen zur Teilversorgung	863
11.7	Literatur	864

Kapitel 12

Badewasser (*F. Tiefenbrunner*[†], *C. Zwiener*)

12.1	Einleitung	867
12.2	Der Badegast als Quelle harmloser, fakultativ pathogener und pathogener Mikroorganismen	868
12.3	Eintrag aus der Umgebung der Badeanlage	870
12.4	Erkrankungen, die durch Kontakt mit Badewasser hervorgerufen werden können	871
12.5	Risikobewertung von pathogenen Organismen in Oberflächengewässern ..	873
12.6	Einfluss der Temperatur	876
12.7	Naturbäder	877
12.7.1	Übersicht	877
12.7.2	Bäder an Oberflächengewässern	877
12.7.3	Kleinbadeteiche	880
12.8	Künstliche Beckenbäder	883
12.8.1	Übersicht	883
12.8.2	Durchströmung	886
12.8.3	Aufbereitung	888
12.8.4	Depotchlorung (Desinfektionskapazität)	891
12.8.5	Luftkanäle	892
12.8.6	Warmsprudelbecken (WSB)	893
12.9	Literatur	894

Kapitel 13

Abwasserreinigung zum Schutze der Gewässer und ihrer Nutzbarkeit

(*H. Ruffer*, *R. Karger*, *H. Horn*)

13.1	Allgemeines	897
13.2	Die Untersuchung von kommunalem Abwasser	899
13.2.1	Überblick	899
13.2.2	Probenahme	900
13.2.3	Hydraulische Verhältnisse, Fließzeiten, Abwassermengenmessung	902
13.2.4	Abwasseranalytik	904
13.2.4.1	Allgemeines	904
13.2.4.2	Äußere Charakterisierung	905
13.2.4.3	Absetzbare Stoffe (Schlammstoffe) und Glührückstand	906
13.2.4.4	Gesamte Schwebstoffe (ungelöste Stoffe)	907
13.2.4.5	Säure- bzw. Lauge-Bindungsvermögen	907
13.2.4.6	Übersicht über die Bestimmung von organischen Substanzen	908
13.2.4.7	Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB; Kaliumdichromat-Methode)	910
13.2.4.8	Organisch gebundener Kohlenstoff (TOC und DOC)	913
13.2.4.9	Adsorbierbare organische Halogenverbindungen (AOX)	913
13.2.4.10	Übersicht über Bestimmung und Bedeutung des biochemischen Sauerstoffbedarfs (BSB)	914
13.2.4.11	Der Verdünnungs-BSB	916

13.2.4.12 ^a	Manometrische BSB ₅ -Bestimmung	919
13.2.4.13	BSB-Bestimmung mit handelsüblichen Messgeräten	920
13.2.4.14	Stickstoffverbindungen	921
13.2.4.15	Phosphorverbindungen	922
13.2.4.16	Tenside	923
13.2.5	Haltbarkeitstest	923
13.2.6	Biologische Tests zur Abwasserbeurteilung	924
13.2.6.1	Allgemeines	924
13.2.6.2	OECD-Confirmatory-Test	926
13.2.6.3	Assimilations-Zehrungstest (A-Z-Test)	927
13.2.7	Kriterien zur Beurteilung von Industrieabwasser	929
13.2.7.1	Beeinträchtigung des Entwässerungssystems	930
13.2.7.2	Beeinträchtigung der Funktion des Klärwerks	932
13.3	Eigenschaften des kommunalen Abwassers	936
13.4	Abwasserreinigung	938
13.4.1	Hinweise zum Abwasserrecht	938
13.4.2	Abwasserableitung	940
13.4.3	Rechnerische Ermittlung des Abwasserzuflusses	941
13.4.4	Verfahren der Abwasserreinigung	942
13.4.4.1	Allgemeines	942
13.4.4.2	Schlammbelebungsverfahren	944
13.4.4.3	Stickstoffelimination	946
13.4.4.4	Phosphorelimination	949
13.4.4.5	Tropfkörper	952
13.4.4.6	Membranverfahren	952
13.4.4.7	Schlammbehandlung	953
13.4.4.8	Verwendung des gereinigten Abwassers und des Klärschlammes	955
13.4.5	Überwachung der Klärfunktion	956
13.4.5.1	Zulauf – Rohabwasser	956
13.4.5.2	Vorklärbecken	958
13.4.5.3	Biologische Stufe	959
13.4.6	Kleinkläranlagen	966
13.5	Industrieabwasser	972
13.5.1	Allgemeines	972
13.5.2	Vermeidung von Industrieabwasser durch produktintegrierten Umweltschutz	973
13.5.3	Beispiele aus dem Bereich Industrieabwasser	974
13.5.3.1	Fleischverarbeitende Industrie	974
13.5.3.2	Milchverarbeitung	976
13.5.3.3	Brauereien	979
13.5.3.4	Textilindustrie	980
13.6	Literatur	983
 Anhang		
Normen (<i>B. C. Gordalla</i>)		
A.1	Allgemein anerkannte Regeln der Technik	987
A.2	Rechtsnormen	989

A.3	Technische Normen und Empfehlungen	993
A.3.1	DIN, CEN, ISO: Deutsches Institut für Normung e.V.	994
A.3.2	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammunter- suchung (DEV)	995
A.3.3	Regelwerk des DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasser- faches e.V. und der DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.	996
A.3.4	Trinkwasserkommission und Badewasserkommission des Umweltbundes- amtes (TWK und BWK; bis 1994 des Bundesgesundheitsamtes)	996
A.3.5	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)	998
Register	1001