

# 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-Immunsensoren und Immunsensoren .....	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 Anreicherungsmethoden ( <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*<sup>†</sup>, *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

XVIII Inhalt

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	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

### Wasserviurologie (*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	Biomanipulation .....	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 (Strukturgütebewertung) .....	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 Badgewässern .....	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

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 Barriersystem

9.1	Das multiple Barriersystem ( <i>H.-J. Brauch</i> ) . . . . .	635
9.1.1	Einleitung . . . . .	635
9.1.2	Krankheitserreger und Indikatororganismen . . . . .	636
9.1.3	Aufbau des multiplen Barriersystems . . . . .	637
9.1.4	Einzugsgebiet . . . . .	638
9.1.5	Voraufbereitung von Oberflächenwasser . . . . .	639
9.1.6	Langsandsfiltration, 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	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, 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, $\text{ClO}_2$ .....	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 <sub>2</sub> -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 Enteisenerung und Entmanganung .....	841
11.3.5.3	Denitrifizierung .....	844
11.3.5.4	Langsamsandfiltration/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*<sup>†</sup>, *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	Manometrische BSB <sub>5</sub> -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

XXVIII      Inhalt

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
<b>Register .....</b>		<b>1001</b>