

# Inhalt

**Vorwort zur 10. Auflage — V**

**Autorenverzeichnis — VII**

**Abkürzungen — XI**

**A. N. Grohmann**

**1 Einleitung — 1**

- 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“ — 7
- 1.3 Der Antagonismus zwischen Durchflussprinzip und Kreislaufprinzip — 9
- 1.4 Das Menschenrecht auf Wasser und Leitsätze für die nachhaltige Nutzung von Wasser — 11
- 1.5 Literatur — 12

**G. Michel†**

**2 Hydrogeologie — 15**

- 2.1 Einführung — 15
- 2.2 Grundwasser als Bestandteil der Erde — 16
  - 2.2.1 Geologische Grundlagen — 16
  - 2.2.2 Hydrosphäre — 18
  - 2.2.3 Alter des Grundwassers — 20
- 2.3 Allgemeine Hydrogeologie — 21
  - 2.3.1 Ungesättigte Sickerwasserzone — 21
  - 2.3.2 Gesättigte Grundwasserzone — 23
    - 2.3.2.1 Hydrogeologische Grundlagen — 23
    - 2.3.2.2 Geohydraulische Grundlagen — 25
  - 2.3.3 Grundwasserneubildung — 27
- 2.4 Hydrogeochemie — 29
  - 2.4.1 Geogenese der Inhaltsstoffe — 29
  - 2.4.2 Einflussfaktoren auf die Löslichkeit — 31

2.4.3	Hydrochemische Prozesse im Grundwasser —	31
2.4.4	Abhängigkeit von der Temperatur —	33
2.4.5	Chemische Gleichgewichte —	33
2.4.6	Grundwasserbeschaffenheit —	33
2.5	Grundwassergewinnung —	35
2.6	Mineral-, Thermal- und Heilwasser —	36
2.6.1	Genese —	36
2.6.1.1	Thermalwässer —	36
2.6.1.2	Radonhaltige Wässer —	38
2.6.1.3	Säuerlinge —	38
2.6.1.4	Chlorid-Wässer und Sole —	40
2.6.1.5	Sulfat-Wässer —	41
2.6.1.6	Schwefel-Wässer —	41
2.6.2	Bezeichnungen (Standards) für besondere Grundwässer —	41
2.6.3	Regionale Verbreitung —	42
2.7	Wasserschutz —	43
2.7.1	Wasserrechtliche Grundsätze —	43
2.7.2	Trinkwasserschutzgebiete für Grundwasser —	44
2.7.3	Trinkwasserschutzgebiete für Oberflächenwasser —	45
2.7.4	Heilquellenschutzgebiete —	45
2.8	Literatur —	47

**W. Nissing**

<b>3</b>	<b>Chemie des Wassers —</b>	<b>51</b>
3.1	Eigenschaften des Wassers —	51
3.1.1	Physikalische Eigenschaften —	51
3.1.1.1	Struktur und Aggregatzustände des Wassers —	51
3.1.1.2	Physikalische Größen —	51
3.1.2	Physikochemische Eigenschaften —	56
3.1.2.1	Wasser als Lösemittel —	56
3.1.2.2	Konzentrationsangaben für Stoffe im Wasser —	58
3.1.2.3	Löslichkeit von Gasen —	60
3.1.2.4	Löslichkeit fester Stoffe —	62
3.1.2.5	Färbung und Trübung —	63
3.1.2.6	Elektrische Leitfähigkeit —	63
3.1.2.7	Osmotischer Druck —	65
3.1.2.8	Redoxpotenzial und Redoxspannung —	66
3.2	Spezies mit pH-Wert als Leitparameter —	68
3.2.1	Einleitung —	68
3.2.2	pH-Wert, Säuren und Basen —	69
3.2.2.1	pH-Wert —	69
3.2.2.2	Die Gleichgewichtskonstanten —	71

3.2.2.3	Die Aktivitätskoeffizienten — 76
3.2.3	pH-Wert-Pufferung — 77
3.2.3.1	Säure- und Basekapazität des Wassers — 77
3.2.3.2	Die Titrationskurve natürlicher Wässer, m-Wert und p-Wert — 78
3.2.3.3	Der pH-Wert belüfteten Wassers — 81
3.2.4	Calcitlöslichkeit — 84
3.2.4.1	Geschichte des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts — 84
3.2.4.2	Löslichkeitsprodukt von Calcit — 86
3.2.4.3	pH-Wert der Calcitsättigung und Temperaturabhängigkeit — 87
3.2.4.4	Graphische Darstellung der Calcitsättigung und Calcitlösekapazität — 89
3.2.5	Spezies der Schwermetalle Blei, Cadmium, Kupfer und Zink — 93
3.2.6	Spezies des Eisens und des Aluminiums — 96
3.2.7	Spezies der toxischen und der desinfizierend wirkenden Stoffe — 98
3.3	Werkstoff und Wasser — 99
3.3.1	Einleitung — 99
3.3.2	Silikate, Kalk und Zement — 101
3.3.3	Korrosion metallischer Werkstoffe — 103
3.3.4	Kunststoffe — 111
3.3.5	Zusätze, Begleitstoffe, Reaktionsprodukte und Verunreinigungen — 116
3.4	Literatur — 117

#### **4 Chemische Wasseranalyse — 119**

	C. Schlett
4.1	Qualitätssicherung und Akkreditierung — 119
4.1.1	Qualitätsmanagement — 119
4.1.2	Überwachung durch eine neutrale Stelle/Akkreditierung/ Zertifizierung/Zulassung — 124
	E. Stottmeister
4.2	Probenahme und Konservierung zur Analyse chemischer Parameter — 125
4.2.1	Einleitung — 125
4.2.2	Allgemeine Anforderungen an die Probenahme – Organisatorische Maßnahmen — 126
4.2.3	Probenahmearten — 127
4.2.4	Technik der Probenahme — 128
4.2.5	Probenahmeprotokoll — 146
	C. Schlett
4.3	Geruch und Geschmack — 146
4.3.1	Geruchs- und Geschmackssinn — 146

4.3.2	Herkunft von Geruchsstoffen —	147
4.3.3	Analytik von Geruchsstoffen —	149
4.3.4	Vorkommen von Geruchsstoffen —	151
4.3.5	Vorkommen von Geruchs- und Geschmacksstoffen im Trinkwasser —	153
	C. Schlett und R. Nießner	
4.4	Schnelltest und Monitoring —	153
4.4.1	Anwendungsbereich —	153
4.4.2	Untersuchungen mit Chipstrukturen —	154
4.4.3	Schnelltests mit visueller bzw. photometrischer Endbestimmung —	157
4.4.4	Zusammenfassung —	160
	E. Stottmeister	
4.5	Physikalische und physikalisch-chemische Untersuchungen —	161
4.5.1	Temperatur —	161
4.5.2	Färbung —	161
4.5.3	Absorption im Bereich der UV-Strahlung —	163
4.5.4	Trübung —	164
4.5.5	Redox-Spannung (Redoxpotenzial) —	166
4.5.6	pH-Wert —	167
4.5.7	Elektrische Leitfähigkeit —	172
	R. Schuster und B. C. Gordalla	
4.6	Maßanalytische Bestimmungen in der Wasseranalytik —	174
4.6.1	Grundlagen der Maßanalytik —	174
4.6.2	Methoden zur Endpunktbestimmung —	176
4.6.3	Maßanalytische Geräte —	180
4.6.4	Beispiele —	181
	U. Lippold, E. Stottmeister, R. Schuster und A. Kämpfe	
4.7	Instrumentelle Methoden in der Wasseranalytik —	182
4.7.1	Einleitung —	182
4.7.2	Atomabsorptions-Spektrometrie (AAS) —	184
4.7.2.1	Physikalische Grundlagen —	184
4.7.2.2	Messprinzip —	185
4.7.2.3	Störungen in der AAS —	189
4.7.2.4	Kombination der AAS mit der Fließinjektionsanalyse (FIA) —	191
4.7.2.5	Einsatzmöglichkeiten der AAS in der Wasseranalytik —	191
4.7.3	Atomemissions-Spektrometrie (AES) —	192
4.7.3.1	Physikalische Grundlagen —	192

4.7.3.2	Messprinzip — 192
4.7.3.3	Störungen in der AES — 196
4.7.3.4	Einsatzmöglichkeiten der ICP-OES in der Wasseranalytik — 199
4.7.4	ICP-Massenspektrometrie (ICP-MS) — 200
4.7.4.1	Physikalische Grundlagen — 200
4.7.4.2	Messprinzip — 200
4.7.4.3	Störungen in der ICP-MS — 203
4.7.4.4	Vergleich der ICP-MS mit AAS und AES — 207
4.7.4.5	Einsatzmöglichkeiten der ICP-MS in der Wasseranalytik — 209
4.7.5	UV/VIS-Spektrometrie — 209
4.7.5.1	Physikalische Grundlagen — 209
4.7.5.2	Bouguer-Lambert-Beer'sches Gesetz — 212
4.7.5.3	Messprinzip — 213
4.7.5.4	Störungen in der UV/VIS-Spektrometrie — 216
4.7.5.5	Einsatzmöglichkeiten in der Wasseranalytik — 218
4.7.6	Infrarot-Spektrometrie (IR-Spektrometrie) — 221
4.7.6.1	Physikalische Grundlagen — 221
4.7.6.2	Messprinzip — 223
4.7.6.3	Aufbau eines IR-Spektrometers — 223
4.7.6.4	Analytische Anwendungsmöglichkeiten — 226
4.7.7	Gaschromatographie — 227
4.7.7.1	Prinzip und Definition der Methode — 227
4.7.7.2	Aufbau eines Gaschromatographen — 229
4.7.8	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) — 233
4.7.8.1	Prinzip und Definition der Methode — 233
4.7.8.2	Aufbau einer HPLC-Anlage — 234
4.7.9	Ionenchromatographie — 241
	 P. Krämer <sup>†</sup> und D. Knopp
4.8	Immunchemische Methoden in der Umweltanalytik — 244
4.8.1	Einleitung — 244
4.8.2	Entwicklung geeigneter Antikörper – Grundlage aller immunchemischen Methoden — 245
4.8.3	Immunoassay-Formate — 247
4.8.4	Test-Kits — 249
4.8.5	Automatisierte Systeme/Multianalytbestimmung — 252
4.8.6	Integration mit anderen Methoden — 254
4.8.7	Immunologische Schnelltests — 255
4.8.8	Ausblick — 256
	 E. Stottmeister und A. Kämpfe
4.9	Summenparameterbestimmungen — 258
4.9.1	Einleitung — 258

- 4.9.2 Gesamter und gelöster organisch gebundener Kohlenstoff (TOC, DOC) — **258**
- 4.9.3 Permanganat-Index (Oxidierbarkeit mit Kaliumpermanganat) — **262**
- 4.9.4 Adsorbierbare organisch gebundene Halogene (AOX) — **264**
  
- U. Lippold
- 4.10 Bestimmung von Metallen und Halbmetallen — **266**
- 4.10.1 Einleitung — **266**
- 4.10.2 Probenahme und Probenkonservierung — **266**
- 4.10.3 Instrumentelle Bestimmungsmethoden — **267**
  
- R. Schuster und A. Seubert
- 4.11 Bestimmung von nichtmetallischen anorganischen Wasserinhaltsstoffen — **279**
  
- E. Stottmeister und A. Kämpfe
- 4.12 Bestimmung organischer Wasserinhaltsstoffe — **289**
  
- C. Schlett und T. Licha
- 4.13 Isolierungs- und Anreicherungsverfahren — **293**
- 4.13.1 Allgemeines — **293**
- 4.13.2 Flüssig-Flüssig-Anreicherung — **294**
- 4.13.3 Fest-Flüssig-Anreicherung (SPE) — **295**
- 4.13.4 Festphasen-Mikroextraktion (SPME) — **300**
- 4.13.5 Dampfraum-Techniken — **303**
- 4.13.5.1 Statische Dampfraumanalyse — **303**
- 4.13.5.2 Dynamische Dampfraumanalyse (CLSA sowie Purge & Trap) — **304**
- 4.13.6 Zusammenfassung — **306**
  
- H. Rühle und Th. Bünger
- 4.14 Radioaktive Stoffe in Trinkwässern — **307**
- 4.14.1 Begriffe, radiologische Größen und Maßeinheiten — **307**
- 4.14.2 Überwachung der Umweltradioaktivität – Gesetzliche Regelungen — **309**
- 4.14.3 Herkunft radioaktiver Stoffe im Wasserkreislauf — **311**
- 4.14.4 Messverfahren zur Bestimmung von Radionukliden in Trinkwasser — **315**
- 4.14.5 Ergebnisse der Überwachung radioaktiver Stoffe im Trinkwasser — **316**
- 4.14.6 Strahlenexposition der Bevölkerung — **320**
- 4.14.7 Grenzwerte für radioaktive Stoffe im Trinkwasser – Trinkwasserverordnung — **324**

- 4.14.8 Mineral- und Heilwässer — 328
- 4.15 Literatur — 328

S. Carlson<sup>†</sup> und M. Seidel

## **5 Mikrobiologie des Wassers — 347**

- 5.1 Einleitung — 347
- 5.2 Trinkwasserepidemien — 349
  - 5.2.1 Ursachen und Verlauf — 349
  - 5.2.2 Typhus, Cholera und Parasiten als häufigste Ursachen von Trinkwasserepidemien — 356
- 5.3 Überlebenszeit pathogener Mikroorganismen in Grundwasserleitern und Wasserfiltern — 363
  - 5.3.1 Biotop Grundwasser — 363
  - 5.3.2 Persistenz von Mikroorganismen — 365
  - 5.3.3 Adsorption und Desorption — 367
  - 5.3.4 Transportprozesse und Filterwirkung — 367
  - 5.3.5 Filtration bei Dauerbelastung — 368
  - 5.3.6 Schutzzonen — 369
  - 5.3.7 Bakterien in Wasserfiltern mit körnigem Material — 370
- 5.4 Ortsbesichtigung und Probenahme — 372
- 5.5 Hinweise zu Nährmedien — 373
- 5.6 E. coli und coliforme Bakterien als Indikatoren für fäkale Kontaminationen — 375
- 5.7 Koloniezahl — 378
- 5.8 Enterokokken (Fäkalstreptokokken) — 381
- 5.9 Sulfitreduzierende Sporen bildende Anaerobier (Clostridien) — 382
- 5.10 Untersuchungen auf Seuchen- und andere Krankheitserreger — 385
  - 5.10.1 Klassifizierung der Mikroorganismen — 385
  - 5.10.2 Antigene — 386
  - 5.10.3 Fimbrien (Pili) — 387
  - 5.10.4 Toxine, Pathogenitätsfaktoren — 387
  - 5.10.5 Plasmide — 388
  - 5.10.6 Erregerspektrum, epidemiologische und klinische Charakteristika sowie Immunreaktionen des Intestinaltraktes — 388
- 5.11 Enterobacteriaceae — 393
  - 5.11.1 Einleitung — 393
  - 5.11.2 Verfahren zur Anzüchtung — 393
  - 5.11.3 Pathogene Escherichia coli — 396
  - 5.11.4 Salmonella — 400
  - 5.11.5 Shigella — 403
  - 5.11.6 Yersinia — 405
  - 5.11.7 Citrobacter, Klebsiella und Enterobacter — 407

5.11.8	Proteus, Providencia, Morganella —	408
5.11.9	Hafnia, Serratia und Edwardsiella —	409
5.11.10	Kluyvera, Rahnella, Budvicia und Buttiauxella —	409
5.12	Micrococcaceae —	410
5.13	Campylobacter und Helicobacter —	412
5.13.1	Campylobacter —	412
5.13.2	Helicobacter —	414
5.14	Vibrionen —	416
5.14.1	Übersicht —	416
5.14.2	Vibrio cholerae 01 und Vibrio eltor 01 —	416
5.14.3	Sonstige Vibrionen —	419
5.15	Pseudomonas, Xanthomonas, Flavobacterium, Alcaligenes, Acinetobacter (Nonfermenter) —	421
5.15.1	Einleitung —	421
5.15.2	Pseudomonas aeruginosa —	422
5.15.3	Burkholderia —	424
5.15.4	Weitere Nonfermenter —	425
5.16	Weitere pathogene Bakterien im Wasser —	425
5.16.1	Aeromonas —	425
5.16.2	Plesiomonas —	428
5.16.3	Leptospira —	428
5.16.4	Chromobacterium violaceum —	429
5.16.5	Listeria —	430
5.16.6	Sporocytophaga-Gruppe —	431
5.16.7	Bacillus cereus —	432
5.16.8	Bacillus-Arten —	433
5.16.9	Mykobakterien —	433
5.16.10	Legionellen —	439
5.17	Parasiten —	441
5.17.1	Entamoeba histolytica —	441
5.17.2	Freilebende Amöben —	443
5.17.3	Giardia lamblia —	445
5.17.4	Cyclospora cayetanensis —	447
5.17.5	Cryptosporidium parvum —	448
5.17.6	Nachweis von Giardia-Zysten und Cryptosporidium-Oozysten in Wasserproben —	451
5.17.7	Sonstige Parasiten —	451
5.18	Literatur —	452

M. Seidel

**6 Wasservirologie — 467**

6.1	Aufbau und biologische Eigenschaften von Viren —	467
-----	--	-----

6.2	Epidemiologie —	469
6.3	Übertragungswege —	471
6.4	Infektionsdosis und Risikoabschätzung —	472
6.5	Viruskonzentrationen in Abwasser und Oberflächengewässern —	473
6.6	Persistenz —	474
6.7	Virusreduktion bei der Wasseraufbereitung und durch Desinfektion —	475
6.8	Nachweisverfahren —	478
6.9	Bakteriophagen —	481
6.10	Literatur —	481

## **7 Biologische Aspekte der Wassernutzung und Wasserqualität — 485**

	I. Chorus und J. Clasen	
7.1	Übersicht —	485
	I. Chorus, A. Melzer und U. Raeder	
7.2	Stehende Gewässer —	490
7.2.1	Einleitung —	490
7.2.2	Artenzusammensetzung des Phytoplanktons —	491
7.2.3	Phytoplanktonbiomasse und ihre Begrenzung —	494
7.2.3.1	Nährstofflimitation —	494
7.2.3.2	Lichtlimitation —	497
7.2.3.3	Nährstoff- und Lichtlimitation – Wechsel im Jahresgang —	499
7.2.3.4	Einfluss des Klimawandels auf Phytoplankton-Biomasse und Artenzusammensetzung —	500
7.2.3.5	Phytoplankton und Makrophyten – Bistabile Zustände —	500
7.2.4	Beschreibung und Prognose des Trophie-Zustandes —	501
7.2.5	Maßnahmen zur Reduzierung von Populationen nutzungsbeeinträchtigender Algen und Cyanobakterien —	507
7.2.5.1	Einleitung —	507
7.2.5.2	Sanierung von punktförmigen Nährstoff-Quellen —	509
7.2.5.3	Sanierung von diffusen Quellen —	510
7.2.5.4	Interne Düngung und Gegenmaßnahmen —	513
7.2.5.5	Abzug des Hypolimnions —	515
7.2.5.6	Künstliche Durchmischung —	516
7.2.5.7	pH-Anhebung —	517
7.2.5.8	Bio-manipulation —	517
7.2.5.9	Einsatz von Herbiziden —	519
7.2.5.10	Entfernungen von Makrophyten durch Mähboote —	520
7.2.5.11	Entfernungen von Makrophyten durch den Besatz mit Graskarpfen —	520

7.2.6	Biologische Untersuchung von stehenden Gewässern —	521
7.2.6.1	Planung und Vorbereitung von Freilandarbeit —	521
7.2.6.2	Probenahme —	522
7.2.6.3	Ortsbesichtigung und Vor-Ort-Messungen —	524
7.2.6.4	Analyse von Phytoplankton —	526
7.2.6.5	Analyse von Zooplankton —	531
	G. Friedrich und M. Sommerhäuser	
7.3	Fließgewässer —	533
7.3.1	Einleitung —	533
7.3.2	Allgemeine Hinweise zur Untersuchung —	535
7.3.2.1	Auswahl der Probestelle und des Zeitpunktes bei biologischen Probenahmen —	535
7.3.2.2	Zeitaufwand —	537
7.3.2.3	Qualitative und quantitative Untersuchungen —	537
7.3.2.4	Spezielle Aspekte der Probenahme von Organismen aus Fließgewässern —	538
7.3.2.5	Arbeitssicherheit —	538
7.3.2.6	Qualitätssicherung —	539
7.3.3	Probenahme einzelner Organismengruppen —	539
7.3.3.1	Makrozoobenthos und Fische —	539
7.3.3.2	Makrophyten —	540
7.3.3.3	Benthische Algen —	542
7.3.3.4	Phytoplankton / Organismische Drift —	543
7.3.4	Bewertung einzelner Störgrößen —	544
7.3.4.1	Saprobie —	544
7.3.4.2	Eutrophierung —	548
7.3.4.3	Säurestatus von Fließgewässern —	549
7.3.4.4	Salzbelastung —	550
7.3.4.5	Toxizität —	552
7.3.5	Strukturgüte der Fließgewässer – Untersuchung und Bewertung (Strukturgütebewertung) —	552
7.3.6	Ökologische Bewertung, Leitbild und Entwicklungsziel —	555
7.3.7	Ökologische Bewertung gemäß der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie —	556
7.3.8	Die Bedeutung der Gewässertypisierung für Untersuchungen und Bewertungen gemäß Wasserrahmenrichtlinie —	559
7.3.9	Untersuchung und Bewertung gemäß Wasserrahmenrichtlinie —	562
7.3.9.1	Phytoplankton —	564
7.3.9.2	Makrophyten und Phytobenthos —	566
7.3.9.3	Makrozoobenthos —	567
7.3.9.4	Fische —	569

7.3.9.5	Begleitende chemische Untersuchungen (ACP) —	570
7.3.9.6	Untersuchung und Bewertung aufgrund naturschutzrechtlicher Vorgaben —	572
7.3.10	Spezielle Untersuchungsverfahren —	573
7.3.10.1	Exposition künstlicher Aufwuchsträger —	573
7.3.10.2	Emergenzuntersuchung —	573
7.3.10.3	Untersuchung temporärer Gewässer —	574
7.3.10.4	Marschengewässer —	574
7.3.10.5	Biologische Untersuchung des Hyporheals und Kolmation —	575
7.3.10.6	Umsiedlung benthischer Tiere —	575
7.3.10.7	Strahlwirkungskonzept —	576
	F. Jüttner	
7.4	Biogene Geruchs- und Geschmacksstoffe —	577
7.4.1	Überblick —	577
7.4.2	Gruppeneinteilung der biogenen Geruchsstoffe —	580
7.4.2.1	Schwefelhaltige Geruchsstoffe —	580
7.4.2.2	Lipoxygenase-Produkte —	582
7.4.2.3	Carotin-Oxygenase-Produkte —	585
7.4.2.4	Terpene —	587
7.4.3	Besonderheiten der Analyse von biogenen Geruchsstoffen —	590
	I. Chorus und J. Fastner	
7.5	Cyanobakterientoxine —	593
7.5.1	Cyanotoxine und ihre toxikologische Bewertung —	593
7.5.2	Vorkommen von Cyanotoxinen —	598
7.5.3	Risiken für die menschliche Gesundheit —	602
7.5.4	Maßnahmen zum Schutz vor Cyanotoxinen im Trinkwasser und in Badegewässern —	604
7.5.5	Probenahme und Probenaufbereitung —	607
7.5.5.1	Arbeitssicherheit und Probenahme —	607
7.5.5.2	Probenaufarbeitung und Extraktion —	608
7.5.6	Detektion und Identifikation —	610
7.5.6.1	Bioassays und Toxizitätstest —	610
7.5.6.2	Biochemische Methoden —	611
7.5.6.3	Physikalisch-chemische Methoden —	612
	H. J. Hahn, D. Schoenen und B. Westphal	
7.6	Invertebraten in Trinkwasserversorgungsanlagen —	614
7.6.1	Einleitung —	614
7.6.2	Historie der biologischen Trinkwasseruntersuchung —	615
7.6.3	Ökologische Grundlagen der Besiedlung von Wasserversorgungsanlagen —	618

7.6.3.1	Eintragspfade —	618
7.6.3.2	Nahrungsgrundlagen —	618
7.6.3.3	Standorte und Lebensräume —	620
7.6.4	Hygienische Beurteilung —	625
7.6.5	Management von Organismen in Trinkwasserversorgungsanlagen —	626
7.6.6	Probenahme und Untersuchung von Invertebraten in Trinkwasserversorgungsanlagen —	630
7.6.7	Techniken der Probenahme —	632
7.6.8	Fazit —	634
7.7	Literatur —	634
<b>8</b>	<b>Toxikologie —</b>	<b>659</b>
	T. Grummt†	
8.1.	Genetische Toxikologie —	659
8.1.1	Allgemeine Aspekte —	659
8.1.2	Relevante Testsysteme für die praxisbezogene Gentoxizitätsprüfung —	660
8.1.3	Bakterielles Testsystem – Ames-Test —	662
8.1.4	Der Mikrokerntest —	665
8.1.5	Bewertung der Gentoxizitätsprüfung —	666
	P.-D. Hansen	
8.2	Unerwünschte Wirkungen —	667
8.2.1	Einleitung —	667
8.2.2	Biotestverfahren, Biosensoren und bioanalytische Analysensysteme —	669
8.2.3	Fischei-Test —	674
8.2.4	Gentoxizität —	676
8.2.5	Immuntoxizität —	680
8.2.6	Endokrine Wirkungen —	683
8.2.6.1	Bedeutung und Fallstudie —	683
8.2.6.2	Methoden zur Messung von endokrinen Wirkungen —	686
	H. H. Dieter	
8.3	Bewertende Toxikologie —	689
8.3.1	Grundlagen —	689
8.3.2	NOAEL, ADI, Extrapolationsfaktoren und Wirkungsschwelle —	692
8.3.3	Ableitung gesundheitlicher Leitwerte (LW) für Trinkwasser —	696
8.3.4	Gesundheitliche Höchstwerte für vorübergehend kürzere als lebenslange Exposition —	701
8.4	Literatur —	705

## **9 Sicherheit und Schutz vor Krankheitserregern durch multiple Barrierensysteme — 713**

H.-J. Brauch und P. Werner

- 9.1 Multiple Barrierensysteme — 713**
- 9.1.1 Einleitung — 713**
- 9.1.2 Indikatororganismen und Krankheitserreger — 714**
- 9.1.3 Aufbau eines multiplen Barrierensystems — 716**
- 9.1.4 Funktionsweise des Multibarrierensystems — 718**
- 9.1.5 Fazit — 723**

W. Engel

- 9.2 Die besondere Bedeutung des Ressourcenschutzes — 723**
- 9.2.1 Allgemeines — 723**
- 9.2.2 Flächendeckender Gewässerschutz — 726**
- 9.2.3 Anlagenbezogener Gewässerschutz — 727**
- 9.2.4 Wasserschutzgebiete — 728**

D. Petersohn

- 9.3 Fallbeispiel für eine sichere Wasserversorgung ohne Desinfektion — 733**
- 9.3.1 Die Voraussetzungen — 733**
- 9.3.2 Die Entwicklung der Wasserversorgung Berlins und die Bevorzugung von Grundwasser — 734**
- 9.3.3 Die Einstellung der Desinfektion in Berlin und die Begrenzung des Chlorverbrauchs — 735**

H.-C. Flemming und J. Wingender

- 9.4 Biofilme – die bevorzugte Lebensform von Mikroorganismen in der Natur und in technischen Wassersystemen — 738**
- 9.4.1 Einleitung — 738**
- 9.4.2 Was sind Biofilme? — 738**
- 9.4.3 Frühe Entdeckung – späte Erforschung — 741**
- 9.4.4 Innerer Zusammenhalt von Biofilmen — 742**
- 9.4.5 Charakteristische Eigenschaften von Biofilmen — 745**
- 9.4.6 Der Biofilm als Festung: Resistenz und Toleranz — 748**
- 9.4.5 Hygienische Bedeutung von Biofilmen in technischen Wassersystemen — 750**

W. Schmidt

- 9.5 Desinfektion von Trinkwasser — 755**
- 9.5.1 Einleitung — 755**

9.5.2	Desinfektionsmittel — <b>758</b>
9.5.3	Desinfektionskapazität in Leitungsnetzen und Wartung von Anlagen — <b>763</b>
9.5.4	Nachweis der Desinfektionsmittel Chlor und Chlordioxid — <b>765</b>
	W. Schmidt
9.6	Desinfektionsnebenprodukte — <b>767</b>
9.6.1	Einführung — <b>767</b>
9.6.2	Trihalogenmethane (THM), halogenierte Kohlenwasserstoffe — <b>769</b>
9.6.3	Stickstoffhaltige Desinfektionsnebenprodukte — <b>772</b>
9.6.4	Chlorit, Chlorat und Perchlorat — <b>774</b>
9.6.5	Bromat — <b>775</b>
9.6.6	Bilanzierung und Ausblick — <b>776</b>
	B. Schaefer
9.7	Auftreten und Bekämpfung von Legionellen — <b>778</b>
9.7.1	Vorkommen und Bewertung von Legionellen im Trinkwasser — <b>778</b>
9.7.2	Regelungen zur Verminderung eines Legionellen-Infektionsrisikos — <b>782</b>
9.7.3	Untersuchungsgang zum Nachweis von Legionellen im Trinkwasser — <b>784</b>
9.8	Literatur — <b>785</b>
	H. H. Dieter, H. Höring und T. Baumann
10	<b>Befund und Bewertung — 797</b>
10.1	Einleitung — <b>797</b>
10.2	Ortsbesichtigung — <b>798</b>
10.2.1	Zustand der technischen Einrichtungen — <b>798</b>
10.2.2	Umgebung der Fassungsanlage — <b>800</b>
10.2.3	Vor-Ort-Untersuchungen und Monitoring — <b>801</b>
10.3	Rechtsnormen für den Gewässerschutz — <b>802</b>
10.4	Die Trinkwasserverordnung (TrinkwV) — <b>804</b>
10.4.1	Der Begriff Trinkwasser — <b>804</b>
10.4.2	Kurze Kommentierung der TrinkwV — <b>806</b>
10.4.3	Auswahl von Parametern und Festsetzung von Grenzwerten — <b>809</b>
10.4.4	Feststellung einer Grenzwertüberschreitung — <b>815</b>
10.4.5	Weiterführung der Wasserversorgung bei Grenzwertüberschreitungen — <b>816</b>
10.5	Besonderheiten der natürlichen Mineral-, Quell-, Tafel- und Heilwässer — <b>819</b>
10.5.1	Natürliche Mineral-, Quell- und Tafelwässer — <b>819</b>
10.5.2	Heilwässer — <b>825</b>

10.6	Erläuterungen zu chemischen Parametern und zu Indikatorparametern (alphabetische Reihung) — <b>827</b>
10.6.1	Vorbemerkung — <b>827</b>
10.6.2	Acrylamid — <b>827</b>
10.6.3	Aluminium — <b>828</b>
10.6.4	Arsen — <b>829</b>
10.6.5	Blei — <b>831</b>
10.6.6	Bor — <b>834</b>
10.6.7	Bromat — <b>835</b>
10.6.8	Cadmium — <b>837</b>
10.6.9	Chloroform und gechlortes Trinkwasser — <b>838</b>
10.6.10	Eisen — <b>840</b>
10.6.11	Epichlorhydrin — <b>842</b>
10.6.12	Fluorid — <b>843</b>
10.6.13	Humanarzneimittel und -rückstände (HAMR); endokrine Disruptoren (EDC) — <b>845</b>
10.6.14	Kupfer — <b>848</b>
10.6.15	Mangan — <b>851</b>
10.6.16	Nitrat, Nitrit und Ammonium — <b>851</b>
10.6.17	Pflanzenschutzmittelwirkstoffe und Metaboliten — <b>857</b>
10.6.18	pH-Wert — <b>859</b>
10.6.19	Phosphat — <b>860</b>
10.6.20	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) — <b>860</b>
10.6.21	Sulfat — <b>862</b>
10.6.22	Vinylchlorid — <b>863</b>
10.7	Erläuterungen zu ergänzenden Stichworten — <b>865</b>
10.7.1	Härte des Wassers — <b>865</b>
10.7.2	Haushaltsfilter zur Wasseraufbereitung (KleinfILTER im Haushalt) — <b>866</b>
10.7.3	Physikalische Wasserbehandlung — <b>867</b>
10.7.4	Salzgehalt (Mineralgehalt) des Trinkwasser und destilliertes Wasser — <b>868</b>
10.7.5	Trinkwasser als Arznei? — <b>871</b>
10.7.6	Positive Definition des Trinkwassers — <b>874</b>
10.7.7	Privatisierung und Wettbewerb in der Wasserversorgung — <b>875</b>
10.7.8	Kosten der Wasserversorgung — <b>877</b>
10.7.9	Regenwasser — <b>878</b>
10.8	Literatur — <b>879</b>

H. Bartel

<b>11</b>	<b>Aufbereitung von Wasser — 893</b>
11.1	Einleitung — <b>893</b>

11.2	Ziele der Aufbereitung —	895
11.3	Bausteine der Aufbereitung —	898
11.3.1	Stoffaustausch an Grenzflächen —	898
11.3.1.1	Bedeutung der Belüftung für die Wasseraufbereitung —	898
11.3.1.2	Belüftung und CO <sub>2</sub> -Ausgasung —	899
11.3.1.3	Adsorption —	901
11.3.1.4	Ionenaustausch —	905
11.3.2	Fällung und Flockung —	908
11.3.2.1	Einleitung —	908
11.3.2.2	Fällung durch Kristallisation —	909
11.3.2.3	Fällung durch Mitfällung oder Kondensation —	911
11.3.2.4	Flockung —	914
11.3.3	Partikelabtrennung —	919
11.3.3.1	Sedimentation/Flotation —	919
11.3.3.2	Filterung über körniges Material (Festbett-Kornfilter) —	921
11.3.3.3	Poröse Filteroberflächen und Membranfilter —	926
11.3.4	Umkehrosmose und Meerwasserentsalzung —	928
11.3.5	Biologische Methoden —	930
11.3.5.1	Einleitung —	930
11.3.5.2	Biologische Enteisung und Entmanganung —	931
11.3.5.3	Denitrifizierung —	934
11.3.5.4	Langsamsandfiltration/Bodenpassage —	937
11.4	Aufbereitungsstoffe —	938
11.4.1	Einleitung —	938
11.4.2	Anforderungen an Aufbereitungsstoffe —	941
11.4.3	Tabellarische Übersicht der Aufbereitungsstoffe —	943
11.5	Verfahrenskombinationen zur Aufbereitung von Wasser —	947
11.6	Dezentrale Trinkwasserversorgung (Kleinanlagen) —	948
11.6.1	Einleitung —	948
11.6.2	Kleinanlagen zur Vollversorgung —	952
11.6.3	Kleinanlagen zur Teilversorgung —	954
11.7	Literatur —	955

F. Tiefenbrunner<sup>†</sup> und C. Zwiener

12	<b>Badewasser —</b>	<b>957</b>
12.1	Einleitung —	957
12.2	Der Badegast als Quelle harmloser, fakultativ pathogener und pathogener Mikroorganismen —	958
12.3	Eintrag aus der Umgebung der Badeanlage —	960
12.4	Erkrankungen, die durch Kontakt mit Badewasser hervorgerufen werden können —	961
12.5	Risikobewertung von pathogenen Organismen in Oberflächengewässern —	963

- 12.6 Einfluss der Temperatur — 967
- 12.7 Naturbäder — 967
- 12.7.1 Übersicht — 967
- 12.7.2 Bäder an Oberflächengewässern — 968
- 12.7.3 Kleinbadeteiche — 971
- 12.8 Künstliche Beckenbäder — 975
- 12.8.1 Übersicht — 975
- 12.8.2 Durchströmung — 978
- 12.8.3 Aufbereitung — 980
- 12.8.4 Depotchlorung (Desinfektionskapazität) — 983
- 12.8.5 Luftkanäle — 985
- 12.8.6 Warmsprudelbecken (WSB) — 985
- 12.9 Literatur — 987

H. Rüffer, R. Karger, U. Telgmann und H. Horn

- 13 Abwasserreinigung — 989**
  - 13.1 Allgemeines — 989
  - 13.2 Die Untersuchung von kommunalem Abwasser — 992
    - 13.2.1 Überblick — 992
    - 13.2.2 Probenahme — 992
    - 13.2.3 Hydraulische Verhältnisse, Verweilzeiten, Abwassermengenmessung — 995
    - 13.2.4 Abwasseranalytik — 996
      - 13.2.4.1 Allgemeines — 996
      - 13.2.4.2 Äußere Charakterisierung — 997
      - 13.2.4.3 Absetzbare Stoffe (Schlammstoffe) und Glührückstand — 999
      - 13.2.4.4 Abfiltrierbare Stoffe — 1000
      - 13.2.4.5 Säure- bzw. Lauge-Bindungsvermögen — 1000
      - 13.2.4.6 Übersicht über die Bestimmung von organischen Substanzen — 1001
      - 13.2.4.7 Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB; Kaliumdichromat-Methode) — 1002
      - 13.2.4.8 Organisch gebundener Kohlenstoff (TOC und DOC) — 1004
      - 13.2.4.9 Adsorbierbare organische Halogenverbindungen (AOX) — 1006
      - 13.2.4.10 Übersicht über Bestimmung und Bedeutung des biochemischen Sauerstoffbedarfs (BSB) — 1006
        - 13.2.4.11 Der Verdünnungs-BSB — 1008
        - 13.2.4.12 Manometrische BSB<sub>5</sub>-Bestimmung — 1009
        - 13.2.4.13 Stickstoffverbindungen — 1010
        - 13.2.4.14 Phosphorverbindungen — 1011
        - 13.2.4.15 Tenside (Oberflächenaktive Substanzen) — 1012
        - 13.2.4.16 Anthropogene Spurenstoffe — 1012
    - 13.2.5 Haltbarkeitstest — 1013

13.2.6	Biologische Tests zur Abwasserbeurteilung —	1014
13.2.6.1	Allgemeines —	1014
13.2.6.2	OECD-Confirmatory-Test —	1016
13.2.6.3	Assimilations-Zehrungstest (A-Z-Test) —	1017
13.2.7	Kriterien zur Beurteilung von Industrieabwasser —	1020
13.2.7.1	Beeinträchtigung des Entwässerungssystems —	1021
13.2.7.2	Beeinträchtigung der Funktion des Klärwerks —	1022
13.2.8	Wesentliche Kenngrößen des kommunalen Abwassers —	1024
13.3	Abwasserreinigung —	1027
13.3.1	Hinweise zum Abwasserrecht —	1027
13.3.2	Abwasserableitung —	1029
13.3.3	Rechnerische Ermittlung des Abwasserzuflusses —	1030
13.3.4	Verfahren der Abwasserreinigung —	1031
13.3.4.1	Allgemeines —	1031
13.3.4.2	Schlammbelebungsverfahren —	1035
13.3.4.3	Stickstoffelimination —	1037
13.3.4.4	Phosphorelimination —	1039
13.3.4.5	Tropfkörper —	1042
13.3.4.6	Membranverfahren —	1043
13.3.4.7	Aerobe Granula —	1044
13.3.4.8	Schlammbehandlung —	1045
13.3.4.9	Vierte Reinigungsstufe —	1047
13.3.4.10	Verwendung des gereinigten Abwassers und des Klärschlammes —	1048
13.3.5	Überwachung des Kläranlagenbetriebes —	1049
13.3.5.1	Zulauf – Rohabwasser —	1049
13.3.5.2	Vorklärbecken —	1051
13.3.5.3	Biologische Stufe —	1052
13.3.5.4	Monitoring von Prozessgrößen —	1060
13.3.6	Kleinkläranlagen —	1061
13.4	Industrieabwasser —	1067
13.4.1	Allgemeines —	1067
13.4.2	Vermeidung von Industrieabwasser durch produktintegrierten Umweltschutz —	1069
13.4.3	Beispiele aus dem Bereich Industrieabwasser —	1070
13.4.3.1	Fleischverarbeitende Industrie —	1070
13.4.3.2	Milchverarbeitung —	1072
13.4.3.3	Brauereien —	1074
13.4.3.4	Textilindustrie —	1075
13.5	Literatur —	1078

**Anhang — 1085**

B. C. Gordalla

Normen — **1085**

- A.1 Allgemein anerkannte Regeln der Technik — **1085**
- A.2 Rechtsnormen — **1087**
- A.3 Technische Normen und Empfehlungen — **1092**
- A.3.1 DIN, CEN, ISO: Deutsches Institut für Normung e. V. — **1093**
- A.3.2 Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung (DEV) — **1094**
- A.3.3 Regelwerk des DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. und der DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. — **1095**
- A.3.4 Trinkwasserkommission (TWK) und Schwimm- und Badebeckenwasserkommission (BWK) — **1096**
- A.3.5 Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) — **1098**

**Register — 1099**