

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	Heilquellschutzgebiete — 45
2.8	Literatur — 47

W. Nissing

3	Chemie des Wassers — 51
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 [†] 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 Anreicherungsmethoden — 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 [†] 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	Biotopt 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	Entamöba 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	Biomanipulation — 517
7.2.5.9	Einsatz von Herbiziden — 519
7.2.5.10	Entferungen von Makrophyten durch Mähboote — 520
7.2.5.11	Entferungen 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 Trinkwasser- versorgungsanlagen — 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

8 **Toxikologie — 659**

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

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

H. Bartel

11	Aufbereitung von Wasser — 893
----	--------------------------------------

11.1	Einleitung — 893
------	-------------------------

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 ₂ -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 Enteisenung 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[†] und C. Zwiener

12	Badewasser — 957
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 ₅ -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 Klärschlams — 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