

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Herkunft des Wassers</b>	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Das Wasser der Erde	2
1.3	Wasserhaushalt und Wasserbilanzen	3
1.3.1	Wasserhaushaltsgleichungen	3
1.3.2	Wasserwirtschaftliche Bilanzen	5
1.3.3	Wasserbilanzen der Wasserversorgung	7
1.3.4	Wasserbilanzen der Land- und Forstwirtschaft	8
1.3.5	Die Wasserbilanz Deutschlands	11
1.4	Der Wasserbedarf der Menschen	12
1.5	Sorgsamer Umgang mit Wasser	15
1.6	Angewandte Hydrogeologie	17
1.6.1	Grundwasser	17
1.6.2	Alter des Wassers	20
1.7	Typologie des Wassers	21
1.8	Klimawandel und Wasserressourcen	24
1.9	Literatur	26
<b>2</b>	<b>Chemie des Wassers</b>	29
2.1	Wasser als „Element“	29
2.2	Molekularer Hintergrund	30
2.2.1	Summenformel und Struktur des Wassermoleküls	31
2.2.2	Wasser als polares Molekül – Wasserstoffbrückenbindungen (H-Brücken)	37
2.2.3	Thermodynamische Zusammenhänge – Isotopomere	42
2.3	Physikalische Eigenschaften	48
2.3.1	Strukturen – Dichte-anomalie – Aggregatzustände – Phasendiagramm	48
2.3.2	Oberflächenspannung des Wassers – Kapillarwirkung	58
2.3.3	Viskosität – Kompressibilität	59
2.4	Wasser als Lösemittel	60
2.4.1	Elektrolyte – Nichtelektrolyte – Arten von Lösungen – Gehaltsangaben – Wasserhärte	61
2.4.2	Lösevorgang – Hydratationsenthalpie – Lösungsenthalpie – Temperatur- und Druckabhängigkeit	65
2.4.3	Chemisches Gleichgewicht: Eigendissoziation des Wassers – Löslichkeitsgleichgewichte – Komplexgleichgewichte	69
2.4.4	Ionen im Wasser, pH-Wert, Leitfähigkeit	74
2.4.5	Tenside – Kolloide – Sol-Gel-Prozess	88
2.4.6	Kolligative Eigenschaften: Dampfdrucksenkung – Siedepunkterhöhung – Gefrierpunktterniedrigung – Osmose	91
2.4.7	Dampfdruck homogener Gemische zweier Flüssigkeiten – Fraktionierte Destillation	96

2.5	Chemische Reaktionen des Wassers .....	100
2.5.1	Thermochemische und photokatalytische Wasserspaltung .....	100
2.5.2	Brennstoffzelle .....	102
2.5.3	Redoxchemie des Wassers – Elektrochemie in wässriger Lösung – Korrosion .....	105
2.5.4	Kondensations- und Hydrolysereaktionen .....	114
2.5.5	Kristallwasser, Aquakomplexe und feste Hydrate .....	117
2.6	Das Wassermolekül als Funktionseinheit in der Umwelt .....	120
2.6.1	Speziation – Gekoppelte Gleichgewichte .....	120
2.6.2	Summenparameter und Spezies .....	121
2.6.3	Gleichgewichtskonstanten und Konzentrationsquotienten .....	127
2.6.4	CO <sub>2</sub> , Kohlensäure und Carbonate .....	128
2.6.5	Wasser in der Biosphäre: Photosynthese – Atmung – Carboanhydrase ..	136
2.7	Literatur .....	142
<b>3</b>	<b>Stoffe in Wasser .....</b>	<b>145</b>
3.1	Grundzüge der Analytik und Qualitätssicherung .....	145
3.1.1	Klassische Methoden der Wasseranalytik .....	145
3.1.2	Messmethoden für anorganische Stoffe .....	147
3.1.3	Messmethoden für organische Stoffe (Summenparameter) .....	147
3.1.4	Analytik organischer Einzelstoffe .....	148
3.1.5	Qualitätssicherung in der Wasseranalytik .....	152
3.2	Natürliche Hauptinhaltsstoffe in Wässern .....	153
3.2.1	Gase .....	155
3.2.2	Ungelöste Stoffe .....	155
3.2.3	Gelöste anorganische Stoffe .....	156
3.2.4	Natürliche organische Stoffe .....	158
3.3	Natürliche und anthropogene anorganische Spurenstoffe .....	160
3.3.1	Nickel .....	161
3.3.2	Arsen .....	162
3.3.3	Uran .....	164
3.3.4	Fluorid .....	166
3.3.5	Radon .....	167
3.4	Anthropogene organische Spurenstoffe .....	167
3.4.1	Überblick .....	167
3.4.2	Organische Spurenstoffe im Wasserkreislauf .....	170
3.5	Literatur .....	176
<b>4</b>	<b>Wasser als Lebensraum .....</b>	<b>179</b>
4.1	Anpassungen an den Lebensraum Wasser .....	180
4.1.1	Biofilme .....	181
4.1.2	Diversität der Mikroorganismen im Wasser .....	190
4.1.3	Differenzierungen von Bakterien: Überdauerungsstadien, Kultivierbarkeit und VBNC .....	192
4.2	Lebensräume gegliedert nach Substratverfügbarkeit .....	194
4.2.1	Lebensräume mit geringer Substratverfügbarkeit .....	201
4.2.2	Lebensräume mit mittlerer Substratverfügbarkeit .....	202

4.2.3	Lebensräume mit hoher Substratverfügbarkeit .....	203
4.3	Mikrobiologisch-hygienische Aspekte .....	204
4.3.1	Die klassischen Seuchen .....	204
4.3.2	Neue wasserbürtige Krankheitserreger .....	207
4.3.3	Neue Krankheitserreger mit fäkalem Ursprung .....	209
4.3.4	Neue, im Wassersystem wachsende Krankheitserreger .....	223
4.3.5	Das Indikatorprinzip .....	235
4.3.6	Indikatoren für fäkale Verunreinigungen .....	236
4.3.7	Technische Indikatoren .....	242
4.3.8	Cyanobakterien und Cyanotoxine .....	244
4.4	Mikrobiologische Aspekte bei der Aufbereitung .....	247
4.5	Mikrobiologische Aspekte bei der Desinfektion .....	251
4.6	Quantitative mikrobiologische Risikoabschätzung .....	253
4.7	Literatur .....	256
<b>5</b>	<b>Nutzung des Wassers .....</b>	<b>259</b>
5.1	Charakteristika der Rohwässer für ihre Nutzung .....	259
5.1.1	Grundwässer .....	259
5.1.2	Anthropogen veränderte Grundwässer .....	260
5.1.3	Quell- und Karstwässer .....	261
5.1.4	Seen und Talsperren .....	261
5.1.5	Fließgewässer .....	262
5.2	Wassergewinnung .....	263
5.2.1	Fließgewässer .....	263
5.2.2	Stehende Gewässer .....	264
5.2.3	Grund- und Quellwässer .....	264
5.3	Herkunft des Wassers für die öffentliche Wasserversorgung .....	266
5.4	Ziele und Verfahren .....	267
5.4.1	Überblick .....	267
5.4.2	Sedimentation .....	269
5.4.3	Flockung .....	272
5.4.4	Filtration .....	275
5.4.5	Membranverfahren .....	277
5.4.6	Adsorption .....	278
5.4.7	Gasaustausch .....	281
5.4.8	Entsäuerung .....	282
5.4.9	Enthärtung .....	283
5.4.10	Ionenaustausch .....	285
5.4.11	Oxidation .....	288
5.4.12	Desinfektion .....	288
5.4.13	Biologische Verfahren .....	292
5.4.14	Verfahrenskombinationen .....	294
5.4.15	Die Sicherheit der Wasseraufbereitung (Water Safety Plan) .....	297
5.5	Abwasseranfall und Abwassercharakteristik .....	298
5.5.1	Häusliches Abwasser .....	298
5.5.2	Kommunale Abwässer .....	298
5.5.3	Niederschlagswasser .....	299

5.5.4	Industrielle und gewerbliche Abwässer .....	299
5.6	Kommunale Abwasserreinigung .....	300
5.6.1	Mechanisch-biologische Reinigung .....	300
5.6.2	Weitergehende kommunale Abwasserreinigung .....	301
5.7	Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser .....	302
5.7.1	Wiederverwendung zur landwirtschaftlichen Bewässerung .....	302
5.7.2	Abwasserwiederverwendung für urbane Zwecke .....	303
5.7.3	Industrielle Wiederverwendung .....	304
5.7.4	Indirekte und direkte Abwasserwiederverwendung für Trinkwasser .....	304
5.8	Entsalzung von Brack- und Meerwasser .....	305
5.9	Dezentrale Systeme der Nutzung, Stoffstromtrennung, Reinigung und Kreislaufschließung .....	307
5.10	Werkstoffe und Trinkwasser .....	310
5.11	Literatur .....	317
<b>6</b>	<b>Ordnungsrahmen der Wassernutzung .....</b>	<b>319</b>
6.1	Einleitung .....	319
6.2	Ziele, Motive und Prinzipien von Regelungen .....	322
6.3	Akzeptanz und Akzeptierbarkeit von Risiken der Wassernutzung .....	325
6.3.1	Chemische Stoffe .....	327
6.3.2	Radioaktive Stoffe .....	328
6.3.3	Krankheitserreger .....	329
6.4	Gesundheitliche Leitwerte und Maßnahmenwerte .....	331
6.5	Grenzwerte und Parameterwerte .....	332
6.6	Akteure und Bestandteile des Ordnungsrahmens .....	334
6.7	Wasserhaushalt .....	335
6.8	Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasser) .....	340
6.9	Mineral-, Quell- und Tafelwasser, Heilwasser .....	342
6.10	Badewasser und Badegewässer .....	343
6.11	Bewertung der Wassernutzung und der Effizienz des Ordnungsrahmens ..	345
6.11.1	Methoden der Bewertung .....	345
6.11.2	Indikatoren .....	346
6.11.3	Benchmarking .....	348
6.11.4	Ökobilanz/Life Cycle Assessment .....	349
6.12	Literatur .....	350
<b>Register .....</b>	<b>353</b>	