

Andreas N. Grohmann
Martin Jekel, Andreas Grohmann
Regine Szewzyk, Ulrich Szewzyk

Wasser

Chemie, Mikrobiologie und nachhaltige Nutzung

DE GRUYTER

Inhalt

1	Herkunft des Wassers	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
2	Chemie des Wassers	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 – Dichteanomalie – 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 – Nichteletrolyte – 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 – Gefrierpunktniedrigung – 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 ₂ , Kohlensäure und Carbonate	128
2.6.5	Wasser in der Biosphäre: Photosynthese – Atmung – Carboanhydrase ...	136
2.7	Literatur	142
3	Stoffe in Wasser	145
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
4	Wasser als Lebensraum	179
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
5	Nutzung des Wassers	259
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
6	Ordnungsrahmen der Wassernutzung	319
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
Register		353