

*Walter Kölle*

# **Wasseranalysen – richtig beurteilt**

Grundlagen, Parameter, Wassertypen,  
Inhaltsstoffe, Grenzwerte nach  
Trinkwasserverordnung und  
EU-Trinkwasserrichtlinie

Dritte, aktualisierte und erweiterte Auflage

Mit CD-ROM



**WILEY-  
VCH**

**WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA**

# Inhaltsverzeichnis

**Inhalt der CD** XIII

**Vorwort** XVII

**Vorwort zur zweiten Auflage** XIX

**Vorwort zur dritten Auflage** XXI

<b>1</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>1</b>
1.1	Maßeinheiten: Menge und Masse	1
1.2	Dezimalvorsilben	3
1.3	Reaktionstypen	4
1.3.1	Lösungs- und Fällungsreaktionen	4
1.3.2	Reduktions- und Oxidationsreaktionen („Redoxreaktionen“)	5
1.3.3	Ionenaustauschreaktionen	8
1.3.4	Neutralisationsreaktionen	8
1.3.5	Sorptionsreaktionen	9
1.3.6	Reaktionsgleichungen	10
1.4	Reaktionsgeschwindigkeiten und Hemmung von Reaktionen	11
1.4.1	Allgemeines	11
1.4.2	Reaktionskinetik	12
1.4.3	Radioaktiver Zerfall	12
1.4.4	Bakterienwachstum	13
1.4.5	Hemmung von Reaktionen	13
1.5	Titration	14
1.6	Ionenbilanz	15
1.6.1	„Klassische“ Ionenbilanz	15
1.6.2	Ionenbilanz unter Berücksichtigung der Komplexbildung	17
1.7	Aufbau eines Analysenformulars	17
1.7.1	Allgemeine Information	17
1.7.2	Gliederung der Parameterliste	18
1.7.3	Welche Datenträger?	19

1.8	Angabe von Analyseergebnissen	19
1.8.1	Angabe als Oxide	21
1.8.2	Angabe: „nicht nachweisbar“, „Spuren“	22
1.8.3	Angabe: „Konzentration = 0“	22
1.9	Angabe von Mischungsverhältnissen	22
1.10	Laboratorien, Analysenwerte, Grenzwerte	23
1.10.1	Gerundete Zahlenwerte	26
1.10.2	Nitrat-Grenzwerte	27
1.10.3	„Ausnahme-Grenzwerte“	28
1.10.4	Geogen oder anthropogen?	30
1.10.5	Grenzwerte für ungelöste Substanzen	30
1.11	Umgang mit großen Datenmengen und „Ausreißern“	32
1.11.1	Häufigkeitsverteilungen	33
1.11.2	Häufigkeitsverteilungen im Wahrscheinlichkeitsnetz	35
1.11.3	Arithmetischer Mittelwert	36
1.11.4	Geometrischer Mittelwert	37
1.11.5	Medianwert, Perzentile	38
1.11.6	Umgang mit Ausreißern und Fehlern	38
1.12	Umgang mit Kundenreklamationen	41
1.13	Datenverarbeitung, Datensicherung	43
1.13.1	Allgemeines	43
1.13.2	Datenverarbeitung und Datensicherung	44
<b>2</b>	<b>Wasser-Typen, Identifizierung von Wässern</b>	<b>47</b>
2.1	Destilliertes (vollentsalztes) Wasser	47
2.2	Regenwasser	48
2.2.1	Emissionen in die Atmosphäre	48
2.2.2	Beschaffenheit des Regenwassers	50
2.3	See- und Talsperrenwasser	52
2.4	Grundwasser	54
2.5	Flusswasser	54
2.6	Wasser in Wasserwerken	55
2.7	Wasser in Hallenbädern	57
2.8	Abwasser	57
2.8.1	Kühlwasser	58
2.8.2	Industrieabwasser	59
2.8.3	Kommunales Abwasser	60
2.9	Meerwasser	63
2.10	Mineralwässer, Quellwässer, Tafelwässer, Heilwässer	63
2.11	Identifizierung von Wässern	65
2.11.1	Unterscheidung individueller Wässer	66
2.11.2	Identifizierung reiner Wässer in Mischungen	66
2.11.3	Identifizierung von Sickerwässern in Gebäuden	67
2.12	Sonstige, spezielle Wässer	68

<b>3</b>	<b>Physikalische, physikalisch-chemische und allgemeine Parameter</b>	<b>69</b>
3.1	Temperatur	69
3.1.1	Temperatur natürlicher Wässer	70
3.1.2	Temperaturänderungen	71
3.1.3	Ausschlusskriterien	72
3.1.4	„Falsche Temperaturen“	72
3.2	Elektrische Leitfähigkeit	73
3.2.1	Allgemeines	73
3.2.2	Anwendungsbeispiele	74
3.2.3	Typische Werte der elektrischen Leitfähigkeit	75
3.3	pH-Wert, Säure und Lauge in der Umwelt	76
3.3.1	pH-Wert	76
3.3.2	Rechnerischer Umgang mit dem pH-Wert	80
3.3.3	Säure und Lauge in der Umwelt	81
3.3.4	Bilder zum Thema „Verwitterung von Eisensulfiden und Silicaten“	85
3.3.5	Beeinflussung des pH-Wertes auf der Rohwasserseite und bei der Wasseraufbereitung	85
3.4	Sauerstoff	85
3.4.1	Allgemeines	85
3.4.2	Herkunft	86
3.4.3	Chemie	86
3.4.4	Eckpunkte der Konzentration	87
3.4.5	Ausschlusskriterien	88
3.4.6	Konzentrationsänderungen im Rohwasser	88
3.4.7	Konzentrationsunterschiede Roh-/Reinwasser	89
3.4.8	Analytik	89
3.4.9	Wirkungen	90
3.5	Kohlenstoffdioxid	92
3.5.1	Allgemeines	92
3.5.2	Geochemische Aspekte	92
3.5.3	Wirkung auf den Menschen	93
3.5.4	Historische Wortschöpfungen	94
3.6	Geruch	95
3.6.1	Allgemeines	95
3.6.2	Ursachen von Geruchsproblemen in der Praxis	97
3.7	Färbung	98
3.7.1	Allgemeines	98
3.7.2	Herkunft	99
3.7.3	Eckpunkte des Parameterwertes	99
3.7.4	Änderungen des Parameterwertes	100
3.7.5	Analytik	100
3.7.6	Wirkungen	101
3.8	Trübung	101
3.8.1	Allgemeines	101

- 3.8.2 Herkunft 101
- 3.8.3 Eckpunkte des Parameterwertes 102
- 3.8.4 Änderungen des Parameterwertes 103
- 3.8.5 Analytik 104
- 3.9 Redoxspannung 104
  - 3.9.1 Kontrolle der Desinfektion 104
  - 3.9.2 Kontrolle der Brunnenverockerung 106
  - 3.9.3 Redoxspannung als Milieu-Indikator 106
- 3.10 Aufgegebene Parameter (Abdampfrückstand, Glührückstand) 108
  - 3.10.1 Allgemeines 108
  - 3.10.2 Abdampfrückstand, Glührückstand 108
  
- 4 Anorganische Wasserinhaltsstoffe, Hauptkomponenten 109**
  - 4.1 Erdalkalimetalle, Härte 109
    - 4.1.1 Calcium 114
    - 4.1.2 Magnesium 119
    - 4.1.3 Strontium 122
    - 4.1.4 Barium 124
  - 4.2 Alkalimetalle 126
    - 4.2.1 Natrium 128
    - 4.2.2 Kalium 131
  - 4.3 Eisen und Mangan 135
    - 4.3.1 Eisen 135
    - 4.3.2 Mangan 151
  - 4.4 Anionen (außer Nitrit und Nitrat) 162
    - 4.4.1 Chlorid 162
    - 4.4.2 Sulfat, Sulfit, Schwefelwasserstoff 173
    - 4.4.3 Carbonat, Hydrogencarbonat 181
    - 4.4.4 Phosphat 182
    - 4.4.5 Kieselsäure (Silicat) 191
  - 4.5 Stickstoff und Stickstoffverbindungen 195
    - 4.5.1 Nitrat 198
    - 4.5.2 Nitrit 205
    - 4.5.3 Ammonium 208
  - 4.6 Chemische Verschmutzungsindikatoren 215
  
- 5 Anorganische Wasserinhaltsstoffe, Spurenstoffe 219**
  - 5.1 Datenbasis 220
  - 5.2 Mobilisierungs- und Immobilisierungsprozesse 223
    - 5.2.1 Prozesse in der Natur 223
    - 5.2.2 Mobilisierung durch Korrosionsprozesse 225
    - 5.2.3 Sonstige Mobilisierungsprozesse 226
    - 5.2.4 Spurenstoffe in der Landwirtschaft 226
  - 5.3 Parameter 227
    - 5.3.1 Aluminium 227

- 5.3.2 Antimon 229
- 5.3.3 Arsen 230
- 5.3.4 Blei 233
- 5.3.5 Bor 238
- 5.3.6 Cadmium 239
- 5.3.7 Chrom 241
- 5.3.8 Cyanid 242
- 5.3.9 Fluorid 243
- 5.3.10 Kupfer 244
- 5.3.11 Nickel und Cobalt 246
- 5.3.12 Quecksilber 250
- 5.3.13 Selen 252
- 5.3.14 Silber 253
- 5.3.15 Thorium 254
- 5.3.16 Uran 254
- 5.3.17 Zink 257
- 5.3.18 Zinn 260
  
- 6 Organische Wasserinhaltsstoffe 263**
- 6.1 Allgemeines 263
- 6.2 Substanzen, die aus Molekülen einheitlicher Beschaffenheit bestehen 264
  - 6.2.1 Eigenschaften einheitlicher organischer Substanzen 264
  - 6.2.2 Herkunft einheitlicher organischer Substanzen 265
  - 6.2.3 Wirkungen einheitlicher organischer Substanzen 265
- 6.3 Refraktäre Substanzen 266
  - 6.3.1 Eigenschaften refraktärer organischer Substanzen 267
  - 6.3.2 Herkunft refraktärer organischer Substanzen 268
  - 6.3.3 Wirkungen refraktärer organischer Substanzen 273
  - 6.3.4 Bilder zum Thema „Organische Substanzen“ 275
- 6.4 Organische Wasserinhaltsstoffe, Parameter 275
  - 6.4.1 Biochemischer Sauerstoffbedarf 277
  - 6.4.2 Chemischer Sauerstoffbedarf (bestimmt mit Kaliumdichromat) 277
  - 6.4.3 Chemischer Sauerstoffbedarf (bestimmt mit Kaliumpermanganat), Kaliumpermanganatverbrauch 279
  - 6.4.4 Gelöster organischer Kohlenstoff („DOC“), gesamter organischer Kohlenstoff („TOC“) 280
  - 6.4.5 Geruch und Färbung 281
  - 6.4.6 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe („PAK“) 281
  - 6.4.7 Organische Chlorverbindungen 283
  - 6.4.8 Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte (bzw. „organisch-chemische Stoffe zur Pflanzenbehandlung und Schädlingsbekämpfung einschließlich ihrer toxischen (bzw. relevanten) Hauptabbauprodukte, PBSM“ bzw. „Pestizide“) 284

6.4.9	Polychlorierte und polybromierte Biphenyle und Terphenyle, PCB und PCT	289
6.4.10	Trihalogenmethane („Haloförme“)	290
6.4.11	Benzol	292
6.4.12	Acrylamid, Epichlorhydrin und Vinylchlorid	292
6.4.13	Arzneimittelrückstände	294
6.4.14	Röntgenkontrastmittel	297
6.4.15	Perfluorierte Verbindungen	299
6.4.16	Organophosphonsäuren	300
6.4.17	Hydrazin, Dimethylhydrazin	300
6.4.18	Melamin	301
6.4.19	Methyltertiärbutylether (MTBE)	301
6.4.20	Aufgegebene Parameter (Kjeldahlstickstoff; mit Chloroform extrahierbare Stoffe; gelöste oder emulgierte Kohlenwasserstoffe, Mineralöle; Phenole; oberflächenaktive Stoffe)	302
6.5	Methan (Gärung und Faulung)	305
6.5.1	Allgemeines	305
6.5.2	Methan	309
<b>7</b>	<b>Calcitsättigung</b>	<b>311</b>
7.1	Einführung	311
7.2	Kohlensäure	312
7.2.1	Basekapazität bis pH 8,2	314
7.2.2	Säurekapazität bis pH 4,3	314
7.2.3	Säurekapazität bis pH 8,2	315
7.3	Rolle des Calciums	316
7.3.1	Wässer im Zustand der Calcitsättigung	318
7.3.2	Wässer, die vom Zustand der Calcitsättigung abweichen	319
7.3.3	Einfluss unterschiedlicher Parameter	320
7.3.4	Der pH-Wert der Calciumcarbonatsättigung (Sättigungs-pH-Wert)	322
7.3.5	Calcitlösekapazität	322
7.4	Beurteilung eines Wassers im Hinblick auf die Calcitsättigung	323
7.5	Analysenangaben	325
7.6	Grenzwert	326
7.7	Ausschlusskriterien	327
7.8	Beeinflussung des Sättigungszustandes	329
7.8.1	Rohwasserseitige Beeinflussung, Stoffumsätze	329
7.8.2	Beeinflussung im Rahmen der Trinkwasseraufbereitung	332
7.9	Bedeutung der Calcitsättigung	333
7.9.1	Korrosion von Blei	333
7.9.2	Die „Kalk-Rost-Schutzschicht“	333
7.9.3	Korrosion von Zink	334
7.9.4	Reaktionen mit Zementmörtel	334
7.9.5	Reaktionen mit Asbestzement	334

7.9.6	Calcitübersättigung	334
7.9.7	Bilder zum Thema „Calciumcarbonat in technischen Anlagen“	335
<b>8</b>	<b>Mikrobiologische Parameter und Desinfektionsmittel</b>	<b>337</b>
8.1	Bakteriologische Verschmutzungsindikatoren, Hygiene	338
8.1.1	Bakteriologische Verschmutzungsindikatoren	339
8.1.2	Infektionen über den Luftpfad	345
8.1.3	Interne Probleme	347
8.1.4	Bewertung	349
8.2	Desinfektionsmittel	350
8.2.1	Chlor („freies Chlor“)	350
8.2.2	Chloramin („gebundenes Chlor“)	352
8.2.3	Chlordioxid	354
8.2.4	Ozon	355
8.2.5	Wasserstoffperoxid	356
<b>9</b>	<b>Radioaktivität</b>	<b>357</b>
9.1	Vorbemerkung	357
9.2	Allgemeines	357
9.3	Radioaktive Spaltprodukte	360
9.4	Aktivierungsprodukte, Tritium	361
9.5	Maßeinheiten	362
9.6	Natürliche Hintergrundwerte	362
9.7	Erfahrungen	363
9.8	Grenzwerte	364
9.9	Gefährdungssituation in der Bundesrepublik	365
<b>10</b>	<b>Chronik der gesetzlichen Rahmenbedingungen</b>	<b>367</b>
10.1	Rechtlicher Rahmen	368
10.2	Entwicklung	369
<b>11</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis und Glossar</b>	<b>393</b>
<b>12</b>	<b>Tabellenanhang</b>	<b>409</b>
<b>13</b>	<b>Analysenanhang</b>	<b>427</b>
<b>14</b>	<b>Literatur</b>	<b>461</b>
	<b>Register</b>	<b>483</b>