

Karl Höll

Wasser

Untersuchung · Beurteilung · Aufbereitung
Chemie · Bakteriologie · Virologie · Biologie

6., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage

Unter Mitwirkung von

Sven Carlson
Dietrich Lüdemann
Hans Rüffer



Walter de Gruyter · Berlin · New York 1979

Inhalt

Teil 1: Chemie des Wassers

Untersuchung · Beurteilung · Aufbereitung

I. Trinkwasseruntersuchung	3
A. Allgemeine Prüfungen an Ort und Stelle	3
1. Ortsbesichtigung	3
a) Verschiedene Brunnentypen	3
b) Die drei Bohrverfahren	6
c) Horizontalbrunnen	6
d) Der Pumpversuch bei Neuerschließungen	6
2. Worauf ist bei der Ortsbesichtigung zu achten?	9
a) Allgemeine Erhebungen	9
b) Spezielle hygienische Erhebungen Einzelwasserversorgung	10
Zentrale Wasserversorgung	12
3. Farbstoffversuch u.a. Versuche zur Prüfung auf Grundwasser- verunreinigungen	12
4. Probenahme	13
5. Probemenge	18
6. Konservierung von Wasserproben	19
7. Eingesandte Wasserproben	19
8. Notwendige Prüfungen und Untersuchungen an Ort und Stelle	19
B. Allgemeine Prüfungen im Laboratorium	21
1. Organoleptische Prüfung des Trinkwassers	21
2. Klarheit und Durchsichtigkeit	23
3. Trübung und Absetzbarkeit	24
4. Färbung des Wassers	26
II. Allgemeines über die chemische Wasseranalyse	27
A. Allgemeine chemische Arbeitsregeln	27
Angaben der Ergebnisse	28
B. Die Untersuchungsverfahren	29
C. Kolorimetrische Arbeitsmethoden	30
1. Allgemeines	30
2. Apparative Hilfsmittel der Kolorimetrie	31
3. Photometrische Ausrüstung	33
4. Kolorimetrische Arbeitsregeln	33
5. Das Arbeiten mit Hehnerzylindern	35
III. Kleine Trinkwasseranalyse	36
A. Die hygienisch-chemische Trinkwasseruntersuchung	36
1. Bestimmung von Ammonium-Ionen	36
a) Kolorimetrische Ammonium-Bestimmung mit Neßler Reagenz	37

b) Bestimmung von Proteid-Ammoniak	39
c) Bestimmung von Albuminoid-Ammoniak	39
2. Bestimmung von Nitrit-Ionen	40
a) Kolorimetrische Nitrit-Bestimmung nach Zambelli	40
b) Indol-Methode (Schnellbestimmung an Ort und Stelle)	41
c) Nitrin-Methode	42
3. Bestimmung von Nitrat-Ionen	42
a) Kolorimetrische Nitrat-Bestimmung nach Noll	43
b) Neue spezifische Nitrat-Bestimmung mit Natriumsalicylat	45
c) Nitrat-Reduktion mit Devarda-Legierung	45
d) Kolorimetrische Bestimmung kleinster Nitratmengen nach Kuisel	46
e) Photometrische Nitrat-Bestimmung mit Dimethylphenol	46
f) Hellige-Methode	46
g) Nitron-Methode	47
h) Titrimetrische Bestimmung nach Reduktion zu Ammonium	47
4. Kaliumpermanganat-Verbrauch (Bestimmung der organischen Substanzen im Wasser)	47
Bestimmung von Huminsubstanzen	51
a) Orientierende Feld-Bestimmungen	48
b) Bestimmung der Permanganatzahl nach Kubel (Oxidierbarkeit)	49
c) Permanganatzahl-Bestimmung nach Schulze-Trommsdorf	50
5. Bestimmung der Chlorzahl	52
6. Bestimmung von Chlorid-Ionen	52
a) Titrimetrische Chlorid-Bestimmung nach Mohr-Winkler	53
b) Störungen bei der Chlorid-Bestimmung	54
c) Chlorid-Bestimmung nach Schneebei und Staub	55
d) Quecksilber(II)nitrat-Methode	55
e) Chlorid-Bestimmung mit ionenselektiver Elektrode Methode Orion	55
7. Bestimmung von Phosphat-Ionen	56
8. Bestimmung von Polyphosphat	58
9. Bestimmung von Urochrom	58
10. Fäkalreaktion	60
11. Bestimmung von Sulfat-Ionen	60
a) Gravimetrische Sulfat-Bestimmung als Bariumsulfat	61
b) Titrimetrische Sulfat-Bestimmung in sulfatarmen Wässern nach Winkler	63
c) Sulfatbestimmung nach Ohle	63
d) Titrimetrische Sulfat-Bestimmung nach Sijderius	64
e) Weitere Methoden	64
IV. Beurteilung des Trinkwassers	65
A. Allgemeine Anforderungen an ein Trinkwasser hinsichtlich der äußeren Beschaffenheit und der Temperatur	65
1. Färbung, Schönung des Wassers	67
2. Trübung, Klärung des Wassers, Flockungsverfahren, Flockungshilfsmittel	71
3. Geruch und Geschmack	72

B. Hygienische Beurteilung des Trinkwassers auf Grund der chemischen Analyse	73
1. Allgemeines	73
2. Bedeutung der chemischen und bakteriologischen Wasseruntersuchung	74
3. Hygienische Maßnahmen bei Verschmutzung des Trinkwassers	77
4. Grundwasser-Versorgung	77
5. Oberflächenwasser-Versorgung	78
a) Flußwasser-Versorgung	78
b) Talsperrenwasser-Versorgung	80
6. Quellwasser-Versorgung	81
7. Regenwasser-Versorgung	81
C. Entkeimung des Wassers	81
1. Unvollständige Entkeimung durch Filterung	81
2. Entkeimung durch Chemikalienzusatz	83
3. Die Ozon-Entkeimung	84
4. Die Chlorung	85
5. Elektrochlor-Verfahren	87
6. Chlordioxid-Entkeimung	87
7. Hypochlorit und Chloramin	88
8. Andere Entkeimungsverfahren	89
9. Auf Grund welcher chemischer Merkmale ist ein Brunnen in hygienischer Beziehung zu beanstanden?	91
D. Die Verschmutzungsindikatoren	92
1. Ammoniak bzw. Ammonium-Ionen	92
2. Nitrit-Ionen	93
3. Nitrat-Ionen	94
4. Kaliumpermanganatzahl	97
5. Organisch gebundener Kohlenstoff	98
6. Chlorzahl	98
7. Chlorid-Ionen, Entsalzung	99
8. Phosphat-Ionen	102
9. Sulfat-Ionen	103
10. Kalium und Natrium	104
11. Abdampfrückstand	104
12. Absiebbares	105
13. Cancerogene Stoffe im Wasser	105
a) Entfernung	107
b) Verbote und Verordnungen	107
E. Normalwerte für Trinkwasser	107
F. Beispiele für Trinkwasseranalysen von Einzelbrunnen und ihre Auswertung	108
1. Kesselbrunnen, die durch Kuhstalljauche stark verunreinigt sind	108
2. Wasser von einem unverdächtigen Bohrbrunnen	109
3. Wasser aus einem Flachbrunnen	109

V. Große Trinkwasseranalyse von Leitungswasser (Chemische Untersuchung von Trink- und Brauchwasser bei zentraler Wasserversorgung)	111
A. Arbeitsgang	111
B. Ermittlung des Angriffsvermögens	112
1. Reaktion	112
2. pH-Bestimmung, Wasserstoffionenkonzentration	112
a) Orientierende pH-Bestimmung	113
b) Genauere kolorimetrische pH-Bestimmung	114
c) Genaue elektrometrische pH-Bestimmung	114
d) Die Messung des Redoxpotentials	115
3. Kohlensäure	116
a) Vorprüfung auf freie Kohlensäure	116
b) Titrimetrische Kohlensäure-Bestimmung nach Trillich	116
c) Acidimetrische Bestimmung der freien Kohlensäure bei elektrometrischer Endpunktskontrolle nach Hässelbarth	117
d) Heyer-Versuch mit Temperierung der Probe nach Hässelbarth	119
e) Heyer-Versuch zur Erfassung der spezifischen Temperatur- und Salzeffekte beim untersuchten Wasser	119
4. Säure-Base-Titration	121
a) Säure-Kapazität	121
b) Definition der Titrationsendpunkte	121
c) Korrektur für den m-Wert	122
d) Anwendungsbereich und Störungen	122
5. Bestimmung des Säureverbrauchs (m-Wert bzw. p-Wert mit positivem Vorzeichen, bisher Alkalität)	123
6. Bestimmung des Basenverbrauchs (m-Wert bzw. p-Wert mit negativem Vorzeichen)	123
a) Direkte Titration des Basenverbrauchs	124
b) Rücktitration eines Basenüberschusses bei Kohlensäure-Wässern	124
7. Abgeleitete Bestimmungen aus m-Wert, p-Wert und p_H -Wert	124
8. Berechnung der Kalkaggressivität (Angriffsvermögen) von Wasser	125
9. Berechnung der freien überschüssigen Kohlensäure nach Hässelbarth	126
10. Bleilösungsversuch	134
11. Sauerstoff-Bestimmung	135
a) Iodometrische Sauerstoff-Bestimmung nach Winkler-Bruhns	136
b) Sauerstoff-Bestimmung in Oberflächenwässern und verschmutzten Wässern nach Ohle, Iod-Differenzverfahren	138
c) Bestimmung geringster Sauerstoffmengen	139
d) Bestimmung der Sauerstoffzehrung bei Flußwasser und Abwasser	139
12. Sauerstoffdefizit, Sauerstoffsättigungsdefizit	140
13. Sauerstoff-Sättigungsindex	141
C. Technisch-chemische Wasseranalyse	143
1. Bestimmung von Eisen-Ionen	143
a) Kolorimetrische Bestimmung des Gesamteisens	144
b) Phenanthrolin-Methode	145

2. Bestimmung von Mangan-Ionen	146
a) Kolorimetrische Mangan-Bestimmung	
b) Mangan-Bestimmung in Chlorid-Wässern mit Formaldoxim	147
3. Bestimmung der Härte	148
a) Genaue Bestimmung von Hydrogencarbonat-Ionen (und der Carbonathärte nach Lunge)	149
b) Genaue Bestimmung der Gesamthärte nach Blacher	150
c) Rechnerische Ermittlung der Gesamthärte aus der Kalkhärte und Magnesiahärte	151
d) Schnellmethode der Bestimmung der Gesamthärte mit Titriplex	152
e) ÄDTA-Methode	152
a) Calcium-Bestimmung	152
b) Magnesium-Bestimmung mit ÄDTA	153
4. Calcium- und Magnesium-Bestimmung	154
a) Gravimetrische Calcium-Bestimmung	154
b) Titrimetrische Calcium-Bestimmung	155
c) Titrimetrische Magnesium-Bestimmung	156
d) Bestimmung von Magnesiumchlorid und Calciumchlorid	156
5. Schwefelwasserstoff und Sulfide	156
a) Kolorimetrische H_2S -Bestimmung bei geringen H_2S -Mengen	157
b) Jodometrische H_2S -Bestimmung	157
c) Direkte iodometrische H_2S -Titration	158
6. Abdampfrückstand, Glührückstand und Glühverlust	159
7. Elektrolytische Leitfähigkeit	160
8. Interferometerwert	161
9. Dichte (Spezifisches Gewicht)	161
10. Die Radioaktivität von Trinkwasser und ihre Messung	161
a) Messung der Radioaktivität	163
b) Dekontaminierung	168
D. Künstliche Wasserzusätze	169
1. Freies Chlor und gebundenes wirksames Chlor	169
a) Freies wirksames Chlor	169
b) Gebundenes wirksames Chlor	169
c) Gesamtchlor = wirksames Chlor	169
Bestimmung von freiem wirksamen Chlor	169
Kolorimetrische Verfahren	169
Titrimetrische Bestimmung des freien Chlors mit DPD	170
Titrimetrische Bestimmung des Gesamtchlors	170
Bestimmung des gebundenen wirksamen Chlors (Chloramine)	170
d) Chlordioxid-Bestimmung	170
2. Chlorbedarf des Wassers (Chlorbindungsvermögen)	171
3. Ozon-Bestimmung	171
4. Wasserstoffperoxid	172
5. Silber-Bestimmung	172
6. Aluminium-Bestimmung	173
a) Kolorimetrische Aluminium-Bestimmung	173

b) Photometrische Aluminium-Bestimmung mit Eriochromcyanin	173
c) Aluminium-Bestimmung nach Gad	173
7. Bestimmung der Polyphosphate	174
8. Sulfit-Bestimmung	174
9. Hydrazin-Bestimmung	174
E. Bestimmung der Metall-Ionen	175
1. Blei-Bestimmung	175
a) Probenahme und Vorbereitung der Probe für die Bleiuntersuchung .	175
b) Kolorimetrische Blei-Bestimmung	175
2. Kupfer-Bestimmung	176
a) Kolorimetrische Kupfer-Bestimmung nach Winkler	177
b) Kupfer und Blei nebeneinander	177
3. Zink-Bestimmung	178
4. Kalium-Bestimmung	179
a) Titrimetrische Kalium-Bestimmung	180
b) Flammenphotometrische Kalium-Bestimmung	180
5. Natrium-Bestimmung	180
6. Chrom-Bestimmung	181
7. Arsen-Bestimmung	182
8. Selen-Bestimmung nach Quentin	183
9. Zinn-Bestimmung	183
10. Cadmium-Bestimmung	184
11. Quecksilber-Bestimmung	184
12. Cyanide in geringsten Mengen	184
F. Bestimmung von Fluorid-Ionen (nach Sanchis)	185
1. Neue Arbeitsvorschrift	186
2. Gesundheitliche Bedeutung der Fluorid-Ionen	186
G. Bestimmung von Jodid-Ionen	189
H. Kieselsäure-Bestimmung	190
1. Kolorimetrische Bestimmung nach Winkler	190
I. Nachweis einer Grundwasserverunreinigung durch Mineralöl	191
1. Chemische Untersuchung	192
2. Entfernung von Mineralöl aus dem Wasser	194
3. Mineralöl-Versickerung	194
VI. Beurteilung des Trink- und Brauchwassers für die zentrale Wasserversorgung .	199
A. Behandlung und Aufbereitung des Wassers	199
1. Allgemeines	199
a) Die Grundforderungen an Leitungswasser	199
b) Trinkwasserverordnung (TVO)	199
c) Trinkwasser-Aufbereitungsverordnung (Fremdstoff-Verordnung)	
vom 19. Dezember 1959	202
2. Korrosion	205
a) Das Angriffsvermögen des Wassers (Kaltwasser)	206
b) Nachteilige Veränderung des Angriffsvermögens beim Mischen	
zweier Wasser	207

c) Rohrzerfressungen und Wasserhygiene	208
d) Das Verhalten der metallischen Werkstoffe gegenüber Wasser	209
e) Wasserleitungsrohre	210
f) Trinkwasserbehälter	219
3. Wasserstoffionen-Konzentration, pH	220
4. Kohlensäure	221
5. Freie Kohlensäure	222
a) Technische Bedeutung des Kohlensäuregehalts des Wassers	222
b) Die zugehörige Kohlensäure	223
c) Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht und Rostschuttschicht	224
d) Die Überschuß-Kohlensäure	225
pH-Wert in Gleichgewichtswässern	225
6. Entsäuerung des Wassers	227
a) Mechanische Entsäuerung	227
b) Chemische Entsäuerung	230
c) Korrosionsschutz der Leitungsrohre durch Polyphosphat-Impfung	235
d) Korrosionsschutz durch Silicat-Behandlung	237
7. Eisen und Mangan	238
a) Eisen und Mangan im Leitungswasser	238
b) Enteisenung	239
c) Entmanganung	243
8. Die Härte des Wassers	244
a) Begriff der Härte	244
b) Vorkommen der Härtebilder	246
c) Hygienische Bedeutung der Carbonathärte	247
d) Verhärtung des Grundwassers durch Müllhalden	247
e) Gesundheitliche Bedeutung der Wasserhärte	248
f) Bedeutung der Wasserhärte für Brauchwasser und technische Zwecke	250
g) Wasserstein	251
h) Enthärtung von Brauchwässern	251
i) Ionenaustausch-Verfahren	253
k) Polyphosphat-Impfung zur Härttestabilisierung	257
9. Metalle	260
a) Blei	260
b) Kupfer	261
c) Arsen	262
d) Zink	264
e) Zinn	264
f) Aluminium	265
g) Chrom, Cadmium, Selen, Antimon, Titan und Quecksilber	265
10. Sauerstoff	266
11. Schwefelwasserstoff	268
B. Beispiele für Analysen von Leitungswasser und deren Begutachtung	268
1. Übersicht über vorkommende Analysenwerte	268
a) Wasseruntersuchung Ibergquelle	268
b) Wasserwerk L.	270

c) Wasser aus dem Tiefbrunnen in C.	271
d) Wasser aus dem Tiefbrunnen der Firma B.	273
e) Hygienisch günstige und ungünstige Werte für Leitungswasser	274
VII. Untersuchung und Beurteilung von Schwimmbadwasser, Wasser für Bauzwecke, Oberflächenwasser (Vorflut) und Kesselspeisewasser	277
A. Schwimmbadwasser	277
1. Chemische Untersuchung des Schwimmbadwassers	284
2. Hygienisch-chemische Beurteilung des Schwimmbadwassers	285
3. Nachweis von Harnbestandteilen im Schwimmbadwasser	285
B. Wasser für Bauzwecke	288
1. Beurteilung der Betonschädlichkeit	288
2. Grenzwerte für Betonschädlichkeit des Wassers	289
3. Sulfatbeständige Zemente	290
4. Beton-Anmachwasser	291
5. Grenzwerte für Wasser, das mit Eisen und Stahl in Berührung ist	291
C. Oberflächenwasser und Vorfluter	292
1. Gewässer-Verunreinigung	293
2. Bestimmung des biochemischen Sauerstoffbedarfs	298
3. Biomassentiter	299
4. Bestimmung des Phenolgehaltes	300
5. Quantitative Bestimmung der Detergentien (Tenside) Pestizide PCB	301
D. Einige Bemerkungen über Kesselspeisewasser, Kesselwasser und Kühlwasser	310
1. Kesselspeisewasser	310
a) Allgemeines	310
b) Kieselsäure im Kesselspeisewasser	311
c) Sauerstoff im Kesselspeisewasser	312
d) Hydrazin-Bestimmung	313
e) Sulfit-Bestimmung	313
2. Heißwasser-Heizungsanlagen	314
3. Kühlwasser	314
E. Wasser für Brauereizwecke	315
VIII. Mineralwasser und Heilwasser	318
A. Mineralwasser	318
B. Heilwasser	320
1. Analysen-Normen	323
a) Die große Heilwasser-Analyse	323
b) Die kleine Heilwasser-Analyse	325
c) Kontroll-Analyse	326
d) Hygienische Untersuchung	326
2. Erläuterungen zur Heilwasser-Analyse	326
Kationen-Bestimmungen	327

a) Kalium- und Natrium-Bestimmung	327
b) Natrium-Bestimmung	328
c) Lithium-Bestimmung	328
d) Flammenphotometrische Lithium-Bestimmung	329
e) Calcium- und Magnesium-Bestimmung	329
f) Eisen-Bestimmung	329
Anionen-Bestimmungen	330
a) Bestimmung des Chlorids-Ions	330
b) Bestimmung des Sulfat-Ions	331
c) Bestimmung der Borsäure	331
d) Bestimmung von Iodid- und Bromid-Ionen	332
e) CO ₂ -Bestimmung in Sauerlingen	332
3. Bestimmung der Spurenelemente	333
a) Dithizon-Methode	333
b) Dithizon-Analyse	334
c) Beispiel einer kleinen Heilwasser-Analyse	341
C. Das Wasser als Stoff	342
IX. Reagenzien für Trinkwasser-Untersuchungen	344
X. Begleitschein für Wasserproben	351
Literaturverzeichnis	353
 Teil 2: Untersuchung und Beurteilung von Abwasser	 359
I. Allgemeines	361
II. Untersuchung von Abwasser	366
A. Allgemeines	366
B. Probennahme	366
C. Hydraulische Verhältnisse, Fließzeiten, Abwasser-Mengenmessung	368
D. Äußere Charakterisierung	370
E. Bestimmung der absetzbaren Stoffe (Schlammstoffe) und des Glührückstandes	371
F. Bestimmung der gesamten Schwebestoffe (ungelöste Stoffe)	372
G. Bestimmung des Säure-bzw. Lauge-Bindungsvermögens	373
H. Bestimmung von organischen Substanzen (Schmutzgehalt)	374
I. Bestimmung der Konzentration an Stickstoffverbindungen	387
K. Bestimmung des Gesamtposphors	389
L. Haltbarkeitstest	390
M. Kriterien zur Beurteilung von Industrieabwasser	391
Literaturverzeichnis	399

Teil 3: Bakteriologie und Virologie des Wassers	403
I. Bakteriologie des Wassers	405
A. Allgemeines zu mikrobiologischen Wasseruntersuchungen	405
B. Untersuchungsverfahren	411
1. Bestimmung der Koloniezahl (bisher Keimzahl oder Gesamtkeimzahl)	411
a) Bebrütung auf Nährböden	411
b) Auszählen der Kolonien	413
2. Nachweis von <i>Escherichia coli</i> und coliformen Keimen	413
3. Mikrobiologische Fäkalindikatoren und durch Wasser übertragbare Krankheitserreger	421
4. Trinkwasserverkeimung durch mikrobielle Vorgänge im Wasser	428
Literaturverzeichnis zum bakteriologischen Teil	429
II. Virologie des Wassers	434
A. Vorkommen, Bedeutung und Nachweis von Viren	434
B. Virus-Eliminierung und Virus-Inaktivierung	441
C. Virusgewinnung und Virus-Züchtung	447
Literaturverzeichnis zum virologischen Teil (II. A.—C.)	455
D. Virusvorkommen in Schwimmbadwasser	458
Literaturverzeichnis zum virologischen Teil (II. D.)	466
 Teil 4: Biologie des Wassers	
I. Biologische Wasseruntersuchungen	471
II. Methodik	472
A. Probenahme	472
1. Biologische Gewässeruntersuchung	472
B. Geräte	475
1. Membranfilter-Verfahren	478
2. Boden- und Schlammuntersuchungen	480
C. Ökologische Verfahren der biologischen Wasseranalyse	482
1. Saprobien-System	483
2. Leitorganismen	484
3. Beurteilung der Ergebnisse	488
III. Biologische Trinkwasseruntersuchung	492
A. Organismen in Wassergewinnungs- und Aufbereitungsanlagen	493
B. Mängel an Quelfassungen	495

Inhalt	XIX
C. Wasserwerksanlagen	495
1. Langsamfilter	498
2. Schnellfilter	499
3. Aktivkohlefilter	499
4. Leitungsnetz	500
IV. Möglichkeiten zur Bekämpfung von Organismen in Trinkwasser-Versorgungs- anlagen	501
Literaturverzeichnis	506
Sachregister	509