

Karl-Ernst Quentin

# Trinkwasser

Untersuchung und Beurteilung  
von Trink- und Schwimmbadwasser

Unter Mitarbeit von  
I. Alexander und D. Eichelsdörfer

Mit 47 Abbildungen

Springer-Verlag Berlin Heidelberg NewYork  
London Paris Tokyo 1988

# Inhaltsverzeichnis

A	Trinkwasser	
<b>1</b>	<b>Wasserverbrauch und Trinkwasserversorgung</b>	<b>3</b>
1.1	Literatur	6
<b>2</b>	<b>Gesetze, Richtlinien, Nonnen</b>	<b>7</b>
2.1	Gesetzliche Anforderungen an Trinkwasser	7
2.2	Gesetzliche Anforderungen an Mineralwasser	7
2.3	Gesetzliche Anforderungen an Heilwasser	7
2.4	Zusammenstellung der gesetzlichen Anforderungen	8
2.5	Anforderungen an Wasser für die Viehhaltung und die landwirtschaftliche Bewässerung	9
2.6	Literatur	10
<b>3</b>	<b>Umfang von Trinkwasseranalysen</b>	<b>11</b>
3.1	Analyse nach der Trinkwasser-VO	12
3.2	Analyse des abgefüllten Trinkwassers nach der Mineral- und Tafelwasser-VO	13
3.3	Orientierende Trinkwasseranalyse	14
3.4	Hygienisch-chemische Trinkwasseranalyse	15
3.5	Große Trinkwasseranalyse	15
3.6	Technologische Trinkwasseranalyse	16
3.7	Literatur	17
<b>4</b>	<b>Konzentrationsangaben und Analysendarstellung</b>	<b>18</b>
4.1	Literatur	22
<b>5</b>	<b>Probenahme</b>	<b>23</b>
5.1	Möglichkeiten der Probenahme	23
5.1.1	Probearten	23
5.1.2	Entnahmearten	24
5.1.3	Stoffkonzentration und Stofffracht	24
5.2	Entnahmestelle und Entnahmegерäte	24
5.3	Behältnisse	25
5.4	Konservierung und Kühlung	26
5.5	Probenahmeprotokoll	26
5.6	Schnellteste zur orientierenden Untersuchung und Charakterisierung des Wassers an Ort und Stelle	30
5.6.1	Testpapiere und Teststäbchen	30
5.6.2	Reflektometrische Verfahren	30
5.6.3	Maßanalytische Verfahren	31
5.6.4	Tablettenzählverfahren	31
5.6.5	Colorimetrische Verfahren	31
5.6.5.1	Küvettenteste mit Farbskala	31
5.6.5.2	Teste mit Farbkartenschiebekomparator	31

X Inhaltsverzeichnis

5.6.5.3	Teste mit Drehscheibenkomparator . . . . .	32
5.6.6	Photometrische Verfahren . . . . .	32
5.6.7	Beurteilung . . . . .	32
5.7	Literatur . . . . .	32
<b>6</b>	<b>Geruch und Geschmack . . . . .</b>	<b>34</b>
6.1	Allgemeine Geruchsprüfung . . . . .	34
6.1.2	Geruchsschwellenwert (GSW) . . . . .	34
6.1.3	Geruchsschwellenkonzentration . . . . .	35
6.1.4	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	36
6.2	Allgemeine Geschmacksprüfung . . . . .	36
6.2.1	Geschmacksschwellenkonzentration . . . . .	36
6.2.2	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	37
6.3	Literatur . . . . .	37
<b>7</b>	<b>Allgemeine Untersuchungen . . . . .</b>	<b>38</b>
7.1	Bestimmung der Temperatur . . . . .	38
7.1.1	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	39
7.1.2	Literatur . . . . .	40
7.2	Bestimmung des pH-Werts . . . . .	40
7.2.1	Verfahren . . . . .	41
7.2.2	Formelzeichen und Einheiten . . . . .	43
7.2.3	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	43
7.2.4	Literatur . . . . .	45
7.3	Bestimmung der Redox-Spannung . . . . .	45
7.3.1	Verfahren . . . . .	45
7.3.2	Bezugselektroden . . . . .	48
7.3.3	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	48
7.3.4	Formelzeichen und Einheiten . . . . .	49
7.3.5	Literatur . . . . .	49
7.4	Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit . . . . .	49
7.4.1	Grundlagen . . . . .	50
7.4.2	Temperaturabhängigkeit . . . . .	50
7.4.3	Beziehung zwischen Leitfähigkeit und Mineralstoffgehalt . . . . .	51
7.4.4	Verfahren . . . . .	51
7.4.5	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	53
7.4.6	Literatur . . . . .	54
7.5	Bestimmung der Trübung . . . . .	55
7.5.1	Probenahme . . . . .	55
7.5.2	Bestimmung mit dem Durchsichtigkeitszylinder . . . . .	55
7.5.3	Bestimmung mit der Sichtscheibe . . . . .	55
7.5.4	Messung der Schwächung der durchgehenden Strahlung . . . . .	56
7.5.5	Messung der Intensität der gestreuten Strahlung . . . . .	57
7.5.6	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	57
7.5.7	Literatur . . . . .	58
7.6	Bestimmung der Färbung . . . . .	58
7.6.1	Verfahren . . . . .	58
7.6.2	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	59
7.6.3	Literatur . . . . .	59
7.7	Bestimmung des Gehalts an festen gelösten Stoffen (Abdampfrückstand) . . . . .	59
7.7.1	Verfahren . . . . .	60
7.7.2	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	61
7.7.3	Literatur . . . . .	61
7.8	Bestimmung der Säurekapazität . . . . .	61
7.8.1	Verfahren . . . . .	61
7.8.2	Literatur . . . . .	62

7.9	Bestimmung der Basekapazität . . . . .	63
7.9.1	Verfahren . . . . .	63
7.9.2	Literatur . . . . .	64
<b>8</b>	<b>Gelöste Mineralstoffe . . . . .</b>	<b>65</b>
8.1	Bestimmung von Natrium und Kalium	
8.1.1	Verfahren der Flammenspektralphotometrie (Natrium und Kalium). . . . .	65
8.1.2	Bestimmung mit dem Kalignost-Verfahren (Kalium). . . . .	66
8.1.3	Beurteilung und Grenzwerte. . . . .	67
8.1.4	Literatur . . . . .	69
8.2	Bestimmung von Calcium. . . . .	69
8.2.1	Komplexometrische Bestimmung. . . . .	69
8.2.2	Bestimmung mit AAS. . . . .	70
8.2.3	Beurteilung und Grenzwerte. . . . .	70
8.3	Bestimmung von Magnesium. . . . .	70
8.3.1	Komplexometrische Bestimmung. . . . .	71
8.3.2	Bestimmung mit AAS. . . . .	71
8.3.3	Beurteilung und Grenzwerte. . . . .	71
8.4	Bestimmung der Härte. . . . .	71
8.4.1	Komplexometrische Bestimmung. . . . .	72
8.4.2	Bestimmung mit Kaliumpalmitat . . . . .	72
8.4.3	Sonstige Verfahren . . . . .	73
8.4.4	Beurteilung und Grenzwerte. . . . .	73
8.4.5	Literatur. . . . .	77
8.5	Bestimmung von Ammonium. . . . .	77
8.5.1.	Photometrische Bestimmung mit Natriumdichlorisocyanurat und Natriumsalicylat (Indophenolbestimmung). . . . .	78
8.5.2	Bestimmung nach Destillation. . . . .	80
8.5.3	Beurteilung und Grenzwerte. . . . .	81
8.5.4	Literatur. . . . .	81
8.6	Bestimmung der Metalle durch Atomabsorptions- spektrometrie (AAS). . . . .	82
8.6.1	Prinzip des Verfahrens. . . . .	82
8.6.2	Atomisierungsmethoden. . . . .	83
8.6.2.1	Flammenatomisierung . . . . .	83
8.6.2.2	Elektrothermische Atomisierung (Graphitrohrküvette). . . . .	83
8.6.2.3	Hydridverfahren. . . . .	84
8.6.2.4	Kaltdampfverfahren für Quecksilber. . . . .	85
8.6.3	Arbeitsvorschriften. . . . .	85
8.6.3.1	Probenahme und Stabilsierung. . . . .	85
8.6.3.2	Bestimmung mit der Flammenatomisierung. . . . .	86
8.6.3.3	Bestimmung mit der elektrothermischen Atomisierung. . . . .	88
8.6.3.4	Bestimmung mit dem Hydridverfahren. . . . .	89
8.6.3.5	Quecksilberbestimmung mit dem Kaltdampfverfahren. . . . .	91
8.6.3.6	Differenzierung zwischen anorganischem und organisch gebundenem Quecksilber. . . . .	92
8.6.4	Auswertung, Fehlergrenzen und Angabe der Werte. . . . .	93
8.6.5	Spezielle Angaben für die einzelnen Elemente und Beurteilungshinweise. . . . .	94
8.6.6	Literatur. . . . .	96
8.7	Einzelangaben zur Bestimmung von Elementen mit AAS . . . . .	97
8.7.1	Bestimmung von Aluminium. . . . .	97
8.7.1.1	Bestimmung mit AAS. . . . .	97
8.7.1.2	Photometrische Bestimmung mit Eriochromcyanin R. . . . .	97
8.7.1.3	Beurteilung und Grenzwerte. . . . .	99
8.7.1.4	Literatur. . . . .	99

8.7.2	Bestimmung von Antimon . . . . .	100
8.7.2.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	100
8.7.2.2	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	100
8.7.2.3	Literatur . . . . .	100
8.7.3	Bestimmung von Arsen . . . . .	100
8.7.3.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	100
8.7.3.2	Photometrische Bestimmung mit Silberdiethyldithiocarbamat . . . . .	100
8.7.3.3	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	102
8.7.3.4	Literatur . . . . .	103
8.7.4	Bestimmung von Barium . . . . .	103
8.7.4.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	103
8.7.4.2	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	104
8.7.4.3	Literatur . . . . .	104
8.7.5	Bestimmung von Beryllium . . . . .	104
8.7.5.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	104
8.7.5.2	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	105
8.7.5.3	Literatur . . . . .	105
8.7.6	Bestimmung von Blei . . . . .	105
8.7.6.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	105
8.7.6.2	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	105
8.7.6.3	Literatur . . . . .	107
8.7.7	Bestimmung von Borsäure . . . . .	107
8.7.7.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	107
8.7.7.2	Photometrische Bestimmung mit Azomethin-H . . . . .	108
8.7.7.3	Sonstige Verfahren . . . . .	109
8.7.7.4	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	109
8.7.7.5	Literatur . . . . .	110
8.7.8	Bestimmung von Cadmium . . . . .	110
8.7.8.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	110
8.7.8.2	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	111
8.7.8.3	Literatur . . . . .	112
8.7.9	Bestimmung von Calcium . . . . .	112
8.7.9.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	112
8.7.9.2	Komplexometrische Bestimmung . . . . .	112
8.7.10	Bestimmung von Chrom . . . . .	113
8.7.10.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	113
8.7.10.2	Sonstige Verfahren . . . . .	113
8.7.10.3	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	113
8.7.10.4	Literatur . . . . .	114
8.7.11	Bestimmung von Cobalt . . . . .	114
8.7.11.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	114
8.7.11.2	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	114
8.7.11.3	Literatur . . . . .	115
8.7.12	Bestimmung von Eisen . . . . .	115
8.7.12.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	116
8.7.12.2	Probenahme . . . . .	116
8.7.12.3	Photometrische Bestimmung mit 5-Sulfosalicylsäure . . . . .	116
8.7.12.4	Photometrische Bestimmung mit 1,10-Phenanthrolin . . . . .	117
8.7.12.5	Photometrische Bestimmung mit Bathophenanthrolin . . . . .	118
8.7.12.6	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	119
8.7.12.7	Literatur . . . . .	120
8.7.13	Bestimmung von Germanium . . . . .	121
8.7.13.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	121
8.7.13.2	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	121
8.7.13.3	Literatur . . . . .	121
8.7.14	Bestimmung von Kupfer . . . . .	121
8.7.14.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	121
8.7.14.2	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	122

8.7.14.3	Literatur . . . . .	.123
8.7.15	Bestimmung von Lithium . . . . .	.123
8.7.15.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	.123
8.7.15.2	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	.123
8.7.15.3	Literatur . . . . .	.123
8.7.16	Bestimmung von Magnesium . . . . .	.123
8.7.16.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	.123
8.7.17	Bestimmung von Mangan . . . . .	.124
8.7.17.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	.124
8.7.17.2	Photometrische Bestimmung mit Formaldoxim . . . . .	.124
8.7.17.3	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	.125
8.7.17.4	Literatur . . . . .	.126
8.7.18	Bestimmung von Molybdän . . . . .	.128
8.7.18.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	.127
8.7.18.2	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	.127
8.7.18.3	Literatur . . . . .	.127
8.7.19	Bestimmung von Nickel . . . . .	.127
8.7.19.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	.127
8.7.19.2	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	.128
8.7.19.3	Literatur . . . . .	.129
8.7.20	Bestimmung von Quecksilber . . . . .	.129
8.7.20.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	.129
8.7.20.2	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	.129
8.7.20.3	Literatur . . . . .	.130
8.7.21	Bestimmung von Rubidium . . . . .	.130
8.7.21.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	.130
8.7.21.2	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	.131
8.7.21.3	Literatur . . . . .	.131
8.7.22	Bestimmung von Selen . . . . .	.131
8.7.22.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	.131
8.7.22.2	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	.131
8.7.22.3	Literatur . . . . .	.132
8.7.23	Bestimmung von Silber . . . . .	.132
8.7.23.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	.132
8.7.23.2	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	.133
8.7.23.3	Literatur . . . . .	.133
8.7.24	Bestimmung von Strontium . . . . .	.133
8.7.24.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	.133
8.7.24.2	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	.134
8.7.24.3	Literatur . . . . .	.134
8.7.25	Bestimmung von Thallium . . . . .	.134
8.7.25.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	.134
8.7.25.2	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	.134
8.7.25.3	Literatur . . . . .	.135
8.7.26	Bestimmung von Uran . . . . .	.135
8.7.26.1	Photometrische Bestimmung mit Arsenazo III . . . . .	.135
8.7.26.2	Sonstige Verfahren . . . . .	.136
8.7.26.3	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	.137
8.7.26.4	Literatur . . . . .	.137
8.7.27	Bestimmung von Vanadium . . . . .	.137
8.7.27.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	.137
8.7.27.2	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	.137
8.7.27.3	Literatur . . . . .	.138
8.7.28	Bestimmung von Wolfram . . . . .	.138
8.7.28.1	Bestimmung mit AAS . . . . .	.138
8.7.28.2	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	.138
8.7.28.3	Literatur . . . . .	.139
8.7.29	Bestimmung von Zink . . . . .	.139

XIV Inhaltsverzeichnis

8.7.29.1	Bestimmung mit AAS. . . . .	139
8.7.29.2	Beurteilung und Grenzwerte. . . . .	139
8.7.29.3	Literatur. . . . .	140
8.7.30	Bestimmung von Zinn. . . . .	140
8.7.30.1	Bestimmung mit AAS. . . . .	140
8.7.30.2	Beurteilung und Grenzwerte. . . . .	141
8.7.30.3	Literatur. . . . .	141
8.8	Bestimmung der Metalle durch Atomemissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-AES). . . . .	141
8.8.1	Literatur. . . . .	144
8.9	Bestimmung mit der Ionenchromatographie (IC). . . . .	144
8.9.1	Literatur. . . . .	145
8.10	Bestimmung von Bromid. . . . .	145
8.10.1	Gaschromatographische Bestimmung . . . . .	146
8.10.2	Bromidbestimmung im Untersuchungswasser. . . . .	148
8.10.3	Störungen. . . . .	149
8.10.4	Beurteilung und Grenzwerte. . . . .	149
8.11	Bestimmung von Iodid und gemeinsame Bromid-Iodid-Bestimmung. . . . .	149
8.11.1	Gaschromatographische Bestimmung . . . . .	150
8.11.2	Iodidbestimmung im Untersuchungswasser. . . . .	150
8.11.3	Gemeinsame Bestimmung von Bromid und Iodid. . . . .	151
8.11.4	Beurteilung und Grenzwerte. . . . .	152
8.11.5	Literatur zu Bromid und Iodid . . . . .	152
8.12	Bestimmung von Chlorid . . . . .	152
8.12.1	Maßanalytische Bestimmung mit Quecksilber(II)-nitrat . . . . .	153
8.12.2	Maßanalytische Bestimmung mit Silbernitrat . . . . .	154
8.12.3	Nephelometrische Bestimmung als Silberchlorid. . . . .	154
8.12.4	Sonstige Verfahren . . . . .	155
8.12.5	Beurteilung und Grenzwerte. . . . .	155
8.12.6	Literatur. . . . .	157
8.13	Bestimmung von Cyanid. . . . .	157
8.13.1	Verfahren. . . . .	157
8.13.2	Beurteilung und Grenzwerte. . . . .	160
8.13.3	Literatur. . . . .	160
8.14	Bestimmung von Fluorid. . . . .	161
8.14.1	Photometrische Bestimmung mit Lanthan-Alizarinkomplexen nach Wasserdampf-Säuredestillation . . . . .	161
8.14.2	Potentiometrische Bestimmung mit ionensensitiver Elektrode . . . . .	164
8.14.3	Beurteilung und Grenzwerte. . . . .	165
8.14.4	Literatur. . . . .	167
8.15	Bestimmung von Nitrat . . . . .	167
8.15.1	Photometrische Bestimmung durch UV-Absorption. . . . .	167
8.15.2	Photometrische Bestimmung nach Reduktion zu Ammoniak . . . . .	169
8.15.3	Photometrische Bestimmung mit 4-Fluorphenol . . . . .	169
8.15.4	Sonstige Verfahren. . . . .	170
8.15.5	Beurteilung und Grenzwerte. . . . .	170
8.15.6	Literatur. . . . .	172
8.16	Bestimmung von Nitrit . . . . .	173
8.16.1	Photometrische Bestimmung mit Sulfanilsäure und 1-Naphtylamin . . . . .	174
8.16.2	Photometrische Bestimmung mit Sulfanilamid und N-(1-Naphtyl-)-ethylendiamindihydrochlorid. . . . .	175
8.16.3	Sonstige Verfahren. . . . .	176
8.16.4	Beurteilung und Grenzwerte. . . . .	176
8.16.5	Literatur. . . . .	177
8.17	Bestimmung von Phosphat . . . . .	177
8.17.1	Probenahme und Probenvorbehandlung. . . . .	178

8.17.2	Direkte Bestimmung des gelösten Orthophosphats. . . . .	179
8.17.3	Bestimmung von Orthophosphat nach Extraktion. . . . .	180
8.17.4	Bestimmung der gelösten Orthophosphate und der gelösten kondensierten anorganischen Phosphate. . . . .	181
8.17.5	Beurteilung und Grenzwerte. . . . .	182
8.17.6	Literatur. . . . .	183
8.18	Bestimmung von Silicium. . . . .	183
8.18.1	Photometrische Bestimmung mit Ammoniummolybdat . . . . .	183
8.18.2	Sonstige Verfahren. . . . .	185
8.18.3	Beurteilung und Grenzwerte. . . . .	185
8.18.4	Literatur. . . . .	186
8.19	Bestimmung von Sulfat. . . . .	186
8.19.1	Voruntersuchung. . . . .	186
8.19.2	Nephelometrische Bestimmung. . . . .	187
8.19.3	Gravimetrische Bestimmung. . . . .	188
8.19.4	Sonstige Verfahren. . . . .	189
8.19.5	Beurteilung und Grenzwerte. . . . .	189
8.19.6	Literatur. . . . .	190
8.20	Bestimmung von Sulfidschwefel. . . . .	190
8.20.1	Photometrische Bestimmung mit N,N-Diethyl-1,4-phenylendiamin. . . . .	191
8.20.2	Berechnung der Verteilung des Sulfidschwefels auf H <sub>2</sub> S und HS <sup>-</sup> . . . . .	193
8.20.3	Beurteilung und Grenzwerte. . . . .	194
8.20.4	Literatur. . . . .	194
9	Gelöste Gase. . . . .	195
9.1	Bestimmung der Kohlensäure und ihrer Anionen. . . . .	195
9.1.1	Parameter und Definitionen. . . . .	195
9.1.1.1	/»-Wert, »-Wert und anorganischer Kohlenstoff C <sub>KS</sub> . . . . .	195
9.1.1.2	Aktivitätskoeffizienten, Ionenstärke, Temperatur, pH-Wert, Säure- und Basekapazität . . . . .	196
9.1.2	Bestimmung der undissoziierten Kohlensäure. . . . .	198
9.1.2.1	Bestimmung mit pH-Wert und K <sub>S4,3</sub> . . . . .	199
9.1.2.2	Bestimmung mit pH-Wert und K <sub>B</sub> . . . . .	200
9.1.3	Bestimmung mit Hydrogencarbonationen. . . . .	202
9.1.4	Bestimmung der Carbonationen. . . . .	202
9.1.4.1	Bestimmung mit pH-Wert und K <sub>S4,3</sub> . . . . .	203
9.1.4.2	Bestimmung mit pH-Wert und K <sub>B</sub> . . . . .	203
9.1.5	Definitionsgleichungen und Basisformeln für die Konzentrationsberechnung der Kohlensäure-Spezies . . . . .	203
9.1.5.1	Dissoziationskonstante des Wassers, Aktivitätskoeffizienten der H <sup>+</sup> - bzw. OH <sup>-</sup> -Ionen und ihr Produkt . . . . .	203
9.1.5.2	Dissoziationskonstanten der Kohlensäure, Aktivitätskoeffizienten und ihr Produkt . . . . .	204
9.1.5.3	Formelzeichen. . . . .	207
9.1.6	Beurteilung und Grenzwerte. . . . .	207
9.1.7	Literatur. . . . .	207
9.2	Bestimmung des gelösten Sauerstoffs. . . . .	208
9.2.1	Bestimmung mit der Sauerstoffelektrode. . . . .	209
9.2.1.1	Kalibrierung der Meßanordnung. . . . .	210
9.2.1.2	Einstellung des Nullpunkts. . . . .	210
9.2.1.3	Einstellung der Steilheit. . . . .	210
9.2.1.4	Messung. . . . .	214
9.2.1.5	Störungen. . . . .	214
9.2.2	Maßanalytische Bestimmung (Winklermethode). . . . .	215
9.2.3	Formelzeichen und Druckeinheiten. . . . .	216



XVI Inhaltsverzeichnis

9.2.4	Beurteilung und Grenzwerte. . . . .	216
9.2.5	Literatur. . . . .	218
9.3	Bestimmung des Ozons. . . . .	218
9.3.1	Maßanalytische Bestimmung mit N,N-Diethyl-1,4-phenylendiamin(DPD). . . . .	218
9.3.2	Photometrische Bestimmung mit N,N-Diethyl-1,4-phenylendiamin(DPD). . . . .	220
9.3.3	Colorimetrische Bestimmung mit N,N-Diethyl-1,4-phenylendiamin(DPD). . . . .	221
9.3.4	Sonstige Verfahren. . . . .	221
9.3.5	Beurteilung und Grenzwerte. . . . .	222
9.3.6	Literatur. . . . .	222
9.4	Bestimmung des Chlors. . . . .	222
9.4.1	Bestimmung des freien Chlors. . . . .	223
9.4.1.1	Maßanalytische Bestimmung mit N,N-Diethyl-1,4-phenylendiamin(DPD). . . . .	223
9.4.1.2	Photometrische Bestimmung mit N,N-Diethyl-1,4-phenylendiamin(DPD). . . . .	225
9.4.1.3	Colorimetrische Bestimmung mit N,N-Diethyl-1,4-phenylendiamin(DPD). . . . .	226
9.4.2	Bestimmung des Gesamtchlors. . . . .	226
9.4.2.1	Maßanalytische Bestimmung mit N,N-Diethyl-1,4-phenylendiamin(DPD). . . . .	226
9.4.2.2	Photometrische Bestimmung mit N,N-Diethyl-1,4-phenylendiamin(DPD). . . . .	227
9.4.2.3	Colorimetrische Bestimmung mit N,N-Diethyl-1,4-phenylendiamin(DPD). . . . .	227
9.4.2.4	Sonstige Verfahren. . . . .	228
9.4.3	Berechnung des gebundenen Chlors. . . . .	228
9.4.4	Bestimmung des Chlordioxids, Chlorits und Chlors. . . . .	228
9.4.4.1	Volumetrische Bestimmung mit N,N-Diethyl-1,4-phenylendiamin(DPD). . . . .	228
9.4.4.2	Photometrische Bestimmung mit N,N-Diethyl-1,4-phenylendiamin(DPD). . . . .	230
9.4.5	Beurteilung und Grenzwerte. . . . .	231
9.4.6	Literatur. . . . .	233
<b>10</b>	<b>Bestimmung der Aggressivität. . . . .</b>	<b>234</b>
10.1	Aggressivitätsbegriff und Untergliederung. . . . .	234
10.2	Verhalten des Wassers gegenüber Kalk, kalkhaltigen Werkstoffen und Rostschichten. . . . .	234
10.2.1	Berechnung des Calciumcarbonatsättigungsgrads mit Hilfe des Löslichkeitsprodukts. . . . .	235
10.2.2	Berechnung der Calciumcarbonatsättigung mit Hilfe des Sättigungsindex. . . . .	236
10.2.3	Experimentelle Bestimmung mit dem Marmorlöseversuch (Heyer-Versuch). . . . .	237
10.2.4	Untersuchung mit Hilfe der Leitfähigkeit. . . . .	238
10.2.5	Experimentelle Bestimmung mit Hilfe des pH-Wert-Schnelltests. . . . .	239
10.3	Beurteilung. . . . .	240
10.3.1	Übersättigtes Wasser. . . . .	240
10.3.2	Gleichgewichtswasser. . . . .	240
10.3.3	Ungesättigtes Wasser. . . . .	241
10.3.4	Mischwasser. . . . .	241
10.4	Literatur. . . . .	241

<b>11</b>	<b>Organische Belastungsstoffe</b>	242
11.1.	Bestimmung des organisch gebundenen Kohlenstoffs	242
11.1.1	Definition	242
11.1.2	Bestimmung	242
11.1.3	Sonstige Verfahren	245
11.1.4	Beurteilung und Grenzwerte	245
11.1.5	Literatur	246
11.2	Bestimmung der Oxidierbarkeit (Kaliumpermanganatverbrauch)	246
11.2.1	Maßanalytische Bestimmung in saurer Lösung	246
11.2.2	Sonstige Verfahren	248
11.2.3	Beurteilung und Grenzwerte	248
11.2.4	Literatur	249
11.3	Bestimmung des spektralen Absorptionskoeffizienten im ultravioletten Bereich	249
11.3.1	Bestimmung	249
11.3.2	Beurteilung	249
11.3.3	Literatur	250
11.4	Bestimmung von Kohlenwasserstoffen (Mineralölen)	250
11.4.1	Probenahme, Extraktion und Reinigung des Extrakts	251
11.4.2	Dünnschichtchromatographisches Verfahren	251
11.4.3	Infrarotspektrometrisches Verfahren	252
11.4.4	Sonstige Verfahren	254
11.4.5	Beurteilung und Grenzwerte	254
11.4.6	Literatur	255
11.5	Bestimmung leichtflüchtiger Halogenkohlenwasserstoffe	255
11.5.1	Bestimmung mit der Gaschromatographie	256
11.5.2	Sonstige Verfahren	258
11.5.3	Beurteilung und Grenzwerte	259
11.5.4	Literatur	259
11.6	Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen	260
11.6.1	Bestimmung mit der zweidimensionalen Dünnschichtchromatographie	260
11.6.2	Bestimmung mit der eindimensionalen Dünnschichtchromatographie	263
11.6.3	Sonstige Verfahren	265
11.6.4	Beurteilung und Grenzwerte	265
11.6.5	Literatur	265
11.7	Bestimmung der Phenole	266
11.7.1	Bestimmung mit 4-Aminoantipyrin	266
11.7.1.1	Destillationsverfahren mit anschließender Direktbestimmung für flüchtige Phenole	267
11.7.1.2	Destillationsverfahren mit anschließender Farbstoffextraktion für flüchtige Phenole	268
11.7.1.3	Direkte Bestimmung der Gesamtphenole ohne Destillation	269
11.7.2	Gaschromatographische Bestimmung	269
11.7.3	Sonstige Verfahren	272
11.7.4	Beurteilung und Grenzwerte	272
11.7.5	Literatur	273
11.8	Bestimmung von Tensiden (Detergentien)	274
11.8.1	Bestimmung der anionischen Tenside	275
11.8.2	Bestimmung der nichtionischen Tenside	277
11.8.3	Sonstige Verfahren	280
11.8.4	Beurteilung und Grenzwerte	280
11.8.5	Literatur	280

<b>12</b>	<b>Analysenkontrolle</b> . . . . .	282
12.1	Kontrolle mit Hilfe des Abdampfrückstands. . . . .	282
12.2	Kontrolle mit Hilfe der elektrischen Leitfähigkeit . . . . .	282
12.3	Kontrolle mit Hilfe der Ionenbilanzierung . . . . .	282
12.4	Kontrolle mit Hilfe des Kationenaustausches. . . . .	283
12.5	Bilanzierung mit Hilfe der Sulfatkontrolle. . . . .	284
12.6	Literatur. . . . .	284
<b>13</b>	<b>Mikrobiologie</b> . . . . .	285
	Von Dr. I. Alexander	
13.1	Mikrobiologische Untersuchung von Trinkwasser. . . . .	287
13.2	Probenahme. . . . .	289
13.2.1	Häufigkeit der Probenahme. . . . .	289
13.2.2	Vorarbeiten zur Probenahme und zur Untersuchung. . . . .	290
13.2.3.	Probenahme am Zapfhahn. . . . .	291
13.2.4	Probenahme aus Quellen, Behältern ohne Zapfhahn und Oberflächenwasser. . . . .	292
13.2.5	Probenahme aus tiefen Behältern, Brunnen und Oberflächenwasser. . . . .	292
13.3	Untersuchung des Wassers an Ort und Stelle. . . . .	292
13.4	Arbeiten mit Bakterienkulturen. . . . .	293
13.5	Indikatorkeime für fäkale Verunreinigungen und ihre Bestimmung. . . . .	294
13.5.1	Bestimmung von Escherichia coli und Coliformen. . . . .	294
13.5.2	Gramfärbung (Originalmethode). . . . .	301
13.5.3	Bestimmung von Fäkalstreptokokken. . . . .	302
13.5.4	Bestimmung von sulfitreduzierenden, sporenbildenden Anaerobiern (Clostriden). . . . .	303
13.5.5	Bestimmung von Enteroviren. . . . .	305
13.5.6	Bestimmung von Fäkalbakteriophagen. . . . .	305
13.6	Indikatoren für sonstige Verunreinigungen. . . . .	305
13.6.1	Bestimmung der Koloniezahl. . . . .	305
13.6.2	Bestimmung von Pseudomonas aeruginosa. . . . .	307
13.6.3	Bestimmung von pathogenen Staphylokokken. . . . .	309
13.7	Angabe der Ergebnisse. . . . .	310
13.8	Beurteilung und Grenzwerte. . . . .	310
13.9	Literatur. . . . .	311
<b>14</b>	<b>Bestimmung der Radioaktivität</b> . . . . .	314
14.1	Literatur. . . . .	315
<b>B</b>	<b>Schwimm- und Badebeckenwasser</b>	
	Von Dr. D. Eichelsdörfer	
<b>15</b>	<b>Gesetze, Richtlinien, Normen</b> . . . . .	319
15.1	Bundesseuchengesetz . . . . .	319
15.2	KOK-Richtlinie „Wasseraufbereitung für Schwimmbeckenwasser“. . . . .	319
15.3	DIN 19643 „Aufbereitung und Desinfektion von Schwimm- und Badebeckenwasser“. . . . .	320
15.4	Vornorm DIN V 19644 „Aufbereitung und Desinfektion von Wasser für Warmsprudelbecken“. . . . .	320
15.5	Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte und Heilbrunnen. . . . .	321

15.6	Untersuchungs- und Beurteilungsgrundlagen für Badewasser in der Deutschen Demokratischen Republik, in Österreich und in der Schweiz . . . . .	321
15.7	Literatur . . . . .	322
16	<b>Begriffe</b> . . . . .	324
16.1	Bezeichnung der Wasserarten . . . . .	324
16.2	Parameter-Gruppen der Badewasseruntersuchung . . . . .	325
16.2.1	Mikrobiologische Hygiene-Parameter . . . . .	325
16.2.2	Hygiene-Hilfsparameter . . . . .	325
16.2.3	Betriebstechnische Parameter . . . . .	326
17	<b>Zweck, Umfang und Zeitfolge von Badewasseruntersuchungen</b> . . . . .	327
17.1	Kontrollanalyse durch die Aufsichtsbehörde . . . . .	327
17.2	Betriebseigene Überwachung . . . . .	327
18	<b>Probenahme</b> . . . . .	330
18.1	Behälter und Geräte . . . . .	330
18.2	Technik der Probenahme . . . . .	330
18.2.1	Zapfhahnprobe . . . . .	330
18.2.2	Schöpfprobe . . . . .	331
18.3	Probenahmestellen . . . . .	331
18.4	Transport der Proben . . . . .	332
18.5	Probenahmeprotokoll . . . . .	333
18.6	Literatur . . . . .	333
19	<b>Bestimmung der mikrobiologischen Hygiene-Parameter</b> . . . . .	334
19.1	Bestimmung der Koloniezahl . . . . .	334
19.2	Bestimmung von Escherichia coli und Coliformen . . . . .	335
19.3	Bestimmung von Pseudomonas aeruginosa . . . . .	336
19.4	Literatur . . . . .	332
20	<b>Bestimmung der Hygiene-Hilfsparameter</b> . . . . .	338
20.1	Bestimmung des Chlors . . . . .	338
20.1.1	Bestimmung des freien Chlors . . . . .	339
20.1.2	Bestimmung des Gesamtchlors . . . . .	339
20.1.3	Berechnung des gebundenen Chlors . . . . .	340
20.1.4	Bestimmung der Summe freies Chlor und Chlordioxid . . . . .	340
20.1.5	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	340
20.1.5.1	Konzentration und Konzentrationsbereiche für freies Chlor . . . . .	341
20.1.5.2	Zulässige Maximalkonzentrationen für gebundenes Chlor . . . . .	342
20.1.6	Literatur . . . . .	342
20.2	Bestimmung des pH-Werts . . . . .	343
20.2.1	Elektrometrische Bestimmung des pH-Werts . . . . .	343
20.2.2	Colorimetrische Bestimmung des pH-Werts . . . . .	344
20.2.3	Beurteilung und Grenzwerte . . . . .	344
20.3	Bestimmung der Redox-Spannung . . . . .	345
20.3.1	Verfahren zur Messung der Redox-Spannung . . . . .	346
20.3.2	Beurteilung und Richtwerte . . . . .	347
20.3.3	Literatur . . . . .	347
21	<b>Bestimmung der betriebstechnischen Parameter</b> . . . . .	348
21.1	Bestimmung der Trübung (Klarheit) . . . . .	348
21.2	Bestimmung der Färbung . . . . .	348

## **XX** Inhaltsverzeichnis

21.3	Bestimmung der Oxidierbarkeit mit Kaliumpermanganat . . . . .	349
21.4	Bestimmung des Ammoniums. . . . .	350
21.5	Bestimmung des Nitrats. . . . .	351
21.6	Bestimmung des Aluminiums. . . . .	351
21.7	Bestimmung des Eisens. . . . .	352
21.8	Bestimmung des Chlorids. . . . .	352
21.9	Bestimmung des Sulfats. . . . .	353
21.10	Bestimmung von Phosphat . . . . .	353
21.11	Bestimmung von Ozon. . . . .	354
21.12	Bestimmung von Chlorit . . . . .	355
21.13	Bestimmung der Säurekapazität bis zum pH-Wert 4,3 ( $K_{S4,3}$ ) . . . . .	355
21.14	Bestimmung der Wassertemperatur. . . . .	355
21.15	Literatur. . . . .	357
<b>22</b>	<b>Darstellung der Untersuchungsergebnisse. . . . .</b>	<b>358</b>
22.1	Kontrollanalyse. . . . .	358
22.2	Betriebseigene Überwachung . . . . .	359
22.3	Literatur. . . . .	360
<b>Anhang</b>		
	Trinkwasserverordnung . . . . .	361
	<b>Sachverzeichnis. . . . .</b>	<b>375</b>