

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 New York  
London Paris Tokyo 1988

## Inhaltsverzeichnis

<b>A</b>	<b>Trinkwasser</b>	
<b>1</b>	<b>Wasserverbrauch und Trinkwasserversorgung</b>	. . . . . 3
1.1	Literatur. . . . .	6
<b>2</b>	<b>Gesetze, Richtlinien, Nonnen</b>	. . . . . 7
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>	. . . . . 11
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>	. . . . . 18
4.1	Literatur. . . . .	22
<b>5</b>	<b>Probenahme</b>	. . . . . 23
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 Entnahmegeräte. . . . .	24
5.3	Behältnisse. . . . .	25
5.4	Konservierung und Kühlung. . . . .	26
5.5	Probenahmekprotokoll. . . . .	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 Natrium dichlorisocyanurat 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 Atomabsorptionspektrometrie (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 Stabilisierung . . . . .	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

## XII Inhaltsverzeichnis

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-Phanthroline . . . . .	.117
8.7.12.5	Photometrische Bestimmung mit Bathophenanthroline . . . . .	.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
8.17.1	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-Naphthylamin . . . . .	174
8.16.2	Photometrische Bestimmung mit Sulfanilamid und N-(1-Naphthyl-)ethylenediamindihydrochlorid . . . . .	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-phenylen diamin. . . . .	191
8.20.2	Berechnung der Verteilung des Sulfidschwefels auf H <sub>2</sub> S und HS". . . . .	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 undissozierten 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-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-phenylen diamin(DPD) . . . . .	218
9.3.2	Photometrische Bestimmung mit N,N-Diethyl-1,4-phenylen diamin(DPD) . . . . .	220
9.3.3	Colorimetrische Bestimmung mit N,N-Diethyl-1,4-phenylen diamin(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-phenylen diamin(DPD) . . . . .	223
9.4.1.2	Photometrische Bestimmung mit N,N-Diethyl-1,4-phenylen diamin(DPD) . . . . .	225
9.4.1.3	Colorimetrische Bestimmung mit N,N-Diethyl-1,4-phenylen diamin(DPD) . . . . .	226
9.4.2	Bestimmung des Gesamtchlors . . . . .	226
9.4.2.1	Maßanalytische Bestimmung mit N,N-Diethyl-1,4-phenylen diamin(DPD) . . . . .	226
9.4.2.2	Photometrische Bestimmung mit N,N-Diethyl-1,4-phenylen diamin(DPD) . . . . .	227
9.4.2.3	Colorimetrische Bestimmung mit N,N-Diethyl-1,4-phenylen diamin(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-phenylen diamin(DPD) . . . . .	228
9.4.4.2	Photometrische Bestimmung mit N,N-Diethyl-1,4-phenylen diamin(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>	<b>242</b>
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

## XVIII Inhaltsverzeichnis

<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 Anaerobier (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

<b>XX</b>	<b>Inhaltsverzeichnis</b>	
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 <sub>S4&gt;3</sub> ) .	355
21.14	Bestimmung der Wassertemperatur. . . . .	355
21.15	Literatur. . . . .	357
<b>22</b>	<b>Darstellung der Untersuchungsergebnisse</b> . . . . .	358
22.1	Kontrollanalyse. . . . .	358
22.2	Betriebseigene Überwachung . . . . .	359
22.3	Literatur. . . . .	360
<b>Anhang</b>		
Trinkwasserverordnung . . . . .		361
<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .		375