



WASSER

Untersuchung • Beurteilung • Aufbereitung
Chemie • Bakteriologie • Biologie

von

Dr. phil. KARL HÖLL

Regierungsrat a. D., Dipl. Lebensmittelchemiker, Hameln

unter Mitarbeit von

Dr. med. HELMUT PETER

Facharzt für Laboratoriumsdiagnostik, Hameln

und

Dr. rer. nat. DIETRICH LÜDEMANN

Wissenschaftlicher Direktor

am Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes,
Berlin-Dahlem

5., völlig neubearbeitete und erweiterte Auflage
mit 24 Abbildungen in 129 Einzeldarstellungen

WALTER DE GRUYTER & CO.

vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung
Georg Reimer, Karl J. Trübner, Veit & Comp.

B E R L I N 1 9 7 0

1. Auflage 1943
2. Auflage 1958
3. Auflage 1960
4. Auflage 1968
5. Auflage 1970



Copyright 1957, 1960, 1967, 1970 by WALTER DE GRUYTER & CO., vormal's G. J. Göschen'sche Verlagshandlung — J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung — Georg Reimer — Karl J. Trübner — Veit & Comp., D 1 - Berlin 30. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der photomechanischen Wiedergabe, der Herstellung von Mikrofilmen und der Übersetzung vorbehalten. — Archiv-Nr. 57 11 701 — Printed in Germany
Satz und Druck: Buchdruckerei Franz Spiller, Berlin 36 — Einband: W. Hanisch, Berlin-Zehlendorf

VORWORT ZUR 5. AUFLAGE

Überraschend schnell war die vierte Auflage dieses Buches vergriffen. Die Neuauflage wurde von uns auf den neuesten Stand von Ende 1969 gebracht und die zahlreichen, mannigfaltigen Publikationen auf dem engeren Wassergebiet bis 1969 berücksichtigt. Einige der freundlicherweise zur Einsicht übersandten Manuskripte, die 1970 veröffentlicht werden, konnten ebenfalls noch berücksichtigt werden. Die fünfte Auflage soll daher für einige Zeit etwas Endgültiges darstellen.

Nach wie vor ist das Buch in erster Linie dem Trinkwasser gewidmet; da Trinkwasser, Betriebswasser, Badewasser, Flußwasser und Abwasser eng miteinander verflochten sind und ineinander übergehen, werden auch diese Gebiete mehr oder weniger eingehend behandelt. So spielt z. B. eine Polyphosphatbehandlung des Trinkwassers eine große Rolle bei der Nutzung desselben als Schwimmbadwasser (durch Hervorrufen unerwünschter Algenentwicklungen) und über das Abwasser in den Gewässern als Algen-nährstoff.

Die Filtrertechnik wurde in Verbindung mit der Wasserchemie neu behandelt (z. B. Mehrschichtfiltration).

Der Teil Abwasser ist weiterhin sehr kurz gehalten, ebenso wie der biologische Beitrag von Herrn Direktor Dr. Lüdemann. Auf diesen Gebieten sind kürzlich umfangreiche Spezialwerke erschienen. Bei Mineralwasser und Heilwasser ist dies noch nicht der Fall; deshalb wird dieser Abschnitt in der 5. Auflage mit geringen Änderungen beibehalten, um die Grenzen Trinkwasser — Mineralwasser — Heilwasser beurteilen zu helfen z. B. bei Neuerschließungen.

Völlig neu bearbeitet wurde der Abschnitt über Schwimmbadwasser im chemischen und bakteriologischen Teil wegen des großen Fortschritts auf diesem Gebiet sowie das Kapitel Chlor-Nachweis.

Das Buch ist aus der Praxis für die Praxis leicht verständlich geschrieben, um allen Wasserfachleuten, Hygienikern, Technikern, Biologen, Chemikern u. a. die so notwendige Zusammenarbeit zu erleichtern. Auf theoretische Erörterungen und chemische Formeln wurde deshalb weiterhin verzichtet.

Trotz der Verbesserung der apparativen Ausrüstung vieler Wasserlaboratorien konnte m. E. auf einfache Methoden wie z. B. die der visuellen Kolorimetrie nicht verzichtet werden. Bei Feldarbeiten und Expeditionen sowie bei Sonderbestimmungen ist man auf diese angewiesen. G. Kortüm räumt der visuellen Kolorimetrie in seinem bekannten Werk auch jetzt noch gewisse Vorteile vor anderen Verfahren ein. Die Analysenvorschriften berücksichtigen im übrigen die bisherigen Einheitsverfahren der Fachgruppe; auf diesen sind ja schließlich auch die Beurteilungsgrundsätze aufgebaut.

Die im Text angeführten Literatur-Stellen sind in erster Linie als Beleg für die mitgeteilten neuen Erkenntnisse und Forderungen der Wasserchemie gedacht; der Kürze halber

ist bei diesen daher auf die oft langen Titel der Zeitschriften-Veröffentlichungen verzichtet worden.

Die Wasserchemie gewinnt infolge der großen Probleme der Wasserversorgung z. B. der Fernwasserversorgung aus Talsperren u. a. Oberflächengewässern immer größere Bedeutung. Diese Probleme können nur durch Zusammenarbeit aller Disziplinen der Wasserwirtschaft vorangetrieben und gelöst werden. Hierzu möchte das Buch einen Beitrag liefern.

Herrn Direktor Dr. LÜDEMANN, Berlin, und Herrn Dr. med. Peter danke ich für die weitere Mitarbeit.

Herrn Prof. Dr. Hässelbarth und Herrn Dr. Grohmann vom Bundesgesundheitsamt Berlin (Wa Bo Lu) danke ich verbindlichst für die eingehende Durchsicht der Kapitel Aggressivität von Wässern und die Ausrichtung auf die neuesten Erkenntnisse vom Jahr 1970.

Hameln, Frühjahr 1970

Dr. Karl Höll

VORWORT ZUR 4. AUFLAGE

Auf allen Gebieten der Wasserwirtschaft, der Wassergewinnung, -Aufbereitung und -Untersuchung sind in den letzten Jahren große Fortschritte erzielt worden. Für die 4. Auflage ist daher das Buch wiederum völlig neu bearbeitet worden.

Ein Kapitel über die *Durchführung des Pumpversuchs und die hierbei anfallenden Aufgaben für den Wasserchemiker und -hygieniker*, die bisher nirgendwo zusammenfassend dargestellt worden sind, wurde neu aufgenommen.

Besonderer Wert wurde weiterhin auf die örtlichen Erhebungen und die Probleme gelegt, auch bei Oberflächenwässern, die jetzt immer mehr zur Wasserversorgung von Gemeinden und Industrie herangezogen werden müssen.

Über das *Verhalten von Wasser in Behältern* wurde ein Abschnitt hinzugefügt.

Die Fragen der *Mineralölversickerung im Boden* und der *Grundwasserverunreinigung durch Mineralöle* sowie deren Beseitigung aus dem Wasser wurden eingehender behandelt und neue Untersuchungsmethoden aufgezeigt.

Im Kapitel Radioaktivität wurden Hinweise auf die *Dekontaminierung von radioaktiv verseuchtem Wasser* gegeben.

Ein kurzer Überblick wurde ferner über die *Probleme der cancerogenen Stoffe* gegeben. In mehreren Abschnitten des Buches wurden die Ergebnisse der Lysimeter-Forschung des Verfassers verwertet.

In den Abschnitten über die *Wasseraufbereitung* wurden die Erfahrungen mit der *Phosphatimpfung* von aggressivem und hartem Wasser sowie die *Komplexbindung von Eisen und Mangan mit Spezialphosphaten* eingehend berücksichtigt.

Im analytischen Teil wurde die chemische Nomenklatur auf den neuesten Stand gebracht und neuere Untersuchungsmethoden beschrieben, wie z. B. die der Bestimmung und Berechnung der aggressiven Kohlensäure nach U. HÄSSELBARTH; die verfeinerte komplexometrische Calcium-Bestimmung wurde genau beschrieben.

Die Beiträge „*Bakteriologie des Trinkwassers*“ von Dr. med. H. PETER, Hameln, und „*Biologie des Wassers*“ von Dr. rer. nat. D. LÜDEMANN, Berlin-Dahlem, stellen eine ganz besondere Bereicherung der 4. Auflage dar. Der Verfasser ist den Herren Autoren für ihre Mitarbeit außerordentlich dankbar.

Anregungen aus der Praxis sind mir jederzeit wertvoll und sollen in der nächsten Auflage beachtet werden.

Hameln, Sommer 1967

DR. KARL HÖLL

INHALTSÜBERSICHT

1. Teil

CHEMIE DES WASSERS

UNTERSUCHUNG · BEURTEILUNG · AUFBEREITUNG

von Dr. phil. Karl Höll, Hameln

I. Trinkwasseruntersuchung	3
A. Allgemeine Prüfungen an Ort und Stelle	3
1. Ortsbesichtigung	3
a) Verschiedene Brunnentypen	3
b) Die drei Bohrverfahren	5
c) Horizontalbrunnen	6
2. Der Pumpversuch	6
3. Worauf ist bei der Ortsbesichtigung zu achten?	9
a) Allgemeine Erhebungen	9
b) Spezielle hygienische Erhebungen	9
4. Farbstoffversuch u. a. Versuche zur Prüfung auf Grundwasser- verunreinigungen	12
5. Probenahme	13
6. Probemenge	17
7. Konservierung von Wasserproben	17
8. Eingesandte Wasserproben	18
9. Notwendige Prüfungen und Untersuchungen an Ort und Stelle	18
B. Allgemeine Prüfungen im Laboratorium	20
1. Organoleptische Prüfung des Trinkwassers	20
2. Klarheit und Durchsichtigkeit	22
3. Trübung und Absetzbarkeit	22
4. Färbung des Wassers	23
II. Allgemeines über die chemische Wasseruntersuchung	25
A. Allgemeine chemische Arbeitsregeln	25
1. Angaben der Ergebnisse	26
B. Die Untersuchungsverfahren	27
C. Kolorimetrische Arbeitsmethoden	27
1. Allgemeines	27
2. Apparative Hilfsmittel der Kolorimetrie	28
3. Kolorimetrische Arbeitsregeln	30
4. Das Arbeiten mit Hahnzylindern	32

III. Kleine Trinkwasseranalyse	33
A. Die hygienisch-chemische Trinkwasseruntersuchung	33
1. Ammonium-Bestimmung	33
a) Kolorimetrische Ammonium-Bestimmung mit Neflors Reagenz	33
b) Bestimmung von Proteïdammoniak	36
c) Bestimmung von Albuminoïdammoniak	36
2. Nitrit-Bestimmung	37
a) Kolorimetrische Nitrit-Bestimmung nach <i>Zambelli</i>	38
b) Indolmethode (für geringe Nitritmengen)	38
3. Nitrat-Bestimmung	39
a) Kolorimetrische Nitrat-Bestimmung nach <i>Noll</i>	40
b) Neue spezifische Nitrat-Bestimmung mit Natriumsalicylat	41
c) Kolorimetrische Bestimmung kleinster Nitratmengen nach <i>Kuisel</i>	42
d) Hellige-Methode	43
e) Nitron-Methode	43
f) Titrimetrische Bestimmung nach Reduktion zu Ammonium	43
4. Kaliumpermanganatverbrauch (Bestimmung der organischen Substanzen des Wassers)	44
a) Orientierende Feldbestimmungen	44
b) Bestimmung der Permanganatzahl nach <i>Kubel</i> (Oxydierbarkeit)	45
c) Permanganatzahlbestimmung nach <i>Schulze-Trommsdorf</i>	46
5. Bestimmung der Chlorzahl	47
6. Chlorid-Bestimmung	48
a) Titrimetrische Chlorid-Bestimmung nach <i>Mohr-Winkler</i>	48
b) Störungen bei der Chlorid-Bestimmung	49
c) Chlorid-Bestimmung nach <i>Schneebeili</i> und <i>Staub</i>	50
d) Quecksilbernitrat-Methode	50
7. Phosphat-Bestimmung	51
8. Polyphosphat-Bestimmung	53
9. Urochrom-Bestimmung	53
10. Fäkalreaktion	54
11. Sulfat-Bestimmung	55
a) Gravimetrische Sulfat-Bestimmung als Bariumsulfat	56
b) Titrimetrische Sulfat-Bestimmung in sulfatarmen Wässern nach <i>Winkler</i> ..	57
c) Sulfat-Bestimmung nach <i>Ohle</i>	58
d) Titrimetrische Sulfat-Bestimmung nach <i>Sijderius</i>	58
IV. Beurteilung des Trinkwassers	59
A. Allgemeine Anforderungen an ein Trinkwasser hinsichtlich der äußeren Beschaffenheit und der Temperatur	59
1. Färbung, Schönong des Wassers	60
2. Trübung, Klärung des Wassers	63
3. Geruch und Geschmack	64

B. Hygienische Beurteilung des Trinkwassers auf Grund der chemischen Analyse	64
1. Allgemeines	64
2. Bedeutung der chemischen und bakteriologischen Wasseruntersuchung	65
3. Hygienische Maßnahmen bei Verschmutzung des Trinkwassers	67
4. Grundwasser-Versorgung	68
5. Flußwasser-Versorgung	68
6. Talsperrenwasser-Versorgung	69
7. Quellwasser-Versorgung	70
8. Regenwasser-Versorgung	70
C. Entkeimung des Wassers	70
1. Unvollständige Entkeimung durch Filterung	70
2. Entkeimung durch Chemikalienzusatz	72
3. Die Ozon-Entkeimung	72
4. Die Chlorung	73
Nachteile der Chlorung	73
5. Chlordioxid-Entkeimung	74
6. Andere Entkeimungsverfahren	75
7. Auf Grund welcher chemischer Merkmale ist ein Brunnen in hygienischer Beziehung zu beanstanden?	77
D. Die Verschmutzungsindikatoren	78
1. Ammoniak- bzw. Ammoniumverbindungen	78
2. Salpetrige Säure bzw. Nitrit-Ion	79
3. Salpetersäure bzw. Nitrat-Ion	80
4. Kaliumpermanganatzahl und Chlorzahl	82
5. Chlorid-Ion	85
6. Phosphat-Ion	86
7. Sulfat-Ion	87
8. Kalium und Natrium	88
9. Abdampfrückstand	88
10. Absiebbares	89
11. Cancerogene Stoffe im Wasser	89
a) Entfernung	90
b) Verbote und Verordnungen	90
E. Normalwerte für Trinkwasser	91
F. Beispiele für Trinkwasseranalysen von Einzelbrunnen und ihre Auswertung	91
1. Kesselbrunnen, die durch Kuhstalljauche stark verunreinigt sind	91
2. Wasser von einem unverdächtigen Bohrbrunnen	92
3. Wasser aus einem Flachbrunnen	93

V. Große Trinkwasseranalyse von Leitungswasser (Chemische Untersuchung von Trink- und Brauchwasser bei zentraler Wasserversorgung)	94
A. Arbeitsgang	94
B. Ermittlung des Angriffsvermögens	95
1. Reaktion	95
2. p_{H} -Bestimmung, Wasserstoffionenkonzentration	95
a) Orientierende p_{H} -Bestimmung	96
b) Genauere kolorimetrische p_{H} -Bestimmung	96
c) Genaue elektrometrische p_{H} -Bestimmung	97
d) Die Messung des Redoxpotentials	97
3. Kohlensäure	98
a) Bestimmung der gesamten freien Kohlensäure	99
b) Titrimetrische Kohlensäure-Bestimmung nach <i>Trillich</i>	99
c) Acidimetrische Bestimmung der freien Kohlensäure bei elektrometrischer Endpunktkontrolle nach <i>U. Hässelbarth</i>	100
d) Heyer-Versuch mit Temperierung der Probe nach <i>U. Hässelbarth</i>	101
e) Heyer-Versuch zur Erfassung der spezifischen Temperatur- und Salzeffekte beim untersuchten Wasser	102
4. Säure-Base-Titration	103
a) Allgemeines	103
b) Definition der Titrationsendpunkte	103
c) Korrektur für den m-Wert	104
d) Anwendungsbereich und Störungen	104
5. Bestimmung des Säureverbrauch (m-Wert bzw. p-Wert mit negativen Vorzeichen)	105
a) Direkte Titration des Basenverbrauchs	105
b) Rücktitration eines Basenüberschusses	106
7. Abgeleitete Bestimmungen aus m-Wert, p-Wert und p_{H} -Wert	106
8. Berechnung der Kalkaggressivität (Angriffsvermögen) von Wasser	107
9. Berechnung der freien, überschüssigen Kohlensäure nach <i>U. Hässelbarth</i>	108
10. Bleilösungsversuch	115
11. Sauerstoff-Bestimmung	115
a) Jodometrische Sauerstoff-Bestimmung nach <i>Winkler-Brubns</i>	116
b) Sauerstoff-Bestimmung in Oberflächenwässern und verschmutzten Wässern nach <i>W. Ohle</i> , Jod-Differenzverfahren	118
c) Bestimmung geringster Sauerstoffmengen	119
d) Bestimmung der Sauerstoffzehrung bei Flußwasser und Abwasser	119
12. Sauerstoffdefizit, Sauerstoffsättigungsdefizit	120
13. Sättigungsindex	120
C. Technisch-chemische Wasseranalyse	122
1. Eisen-Bestimmung	122
a) Kolorimetrische Bestimmung des Gesamteisens	123
2. Mangan-Bestimmung	124
a) Kolorimetrische Mangan-Bestimmung	125

3.	Bestimmung der Härte	126
a)	Genau Bestimmung des Hydrogencarbonat-Ions (und der Karbonathärte nach <i>Lunge</i>)	128
b)	Genau Bestimmung der Gesamthärte nach <i>Blacher</i>	128
c)	Rechnerische Ermittlung der Gesamthärte aus der Kalkhärte und Magnesia-härte	129
d)	Schnellmethode der Bestimmung der Gesamthärte mit <i>Titriplex</i>	129
e)	Titrimetrische Ca- und Mg-Bestimmung mit <i>Komplexon</i> (Methode in Anlehnung an die neuen EV)	130
4.	Calcium- und Magnesium-Bestimmung	131
a)	Gravimetrische Calcium-Bestimmung	132
b)	Titrimetrische Calcium-Bestimmung	132
c)	Titrimetrische Magnesium-Bestimmung	133
d)	Bestimmung von Magnesiumchlorid und Calciumchlorid	133
5.	Schwefelwasserstoff und Sulfide	134
a)	Kolorimetrische H ₂ S-Bestimmung bei geringen H ₂ S-Mengen	134
b)	Jodometrische H ₂ S-Bestimmung	134
c)	Direkte jodometrische H ₂ S-Titration	135
6.	Abdampfrückstand, Glührückstand und Glühverlust	135
7.	Elektrolytische Leitfähigkeit	136
8.	Interferometerwert	137
9.	Dichte (Spezifisches Gewicht)	137
10.	Die Radioaktivität von Trinkwasser und ihre Messung	137
a)	Dekontaminierung	140
D.	Künstliche Wasserzusätze	141
1.	Freies Chlor und gebundenes wirksames Chlor	141
a)	Freies wirksames Chlor	141
b)	Gebundenes wirksames Chlor	141
c)	Gesamtchlor	141
A.	Bestimmung von freiem wirksamen Chlor	141
I.	Kolorimetrische Verfahren	141
II.	Titrimetrische Bestimmung des freien Chlors mit <i>DPD</i>	142
B.	Titrimetrische Bestimmung des Gesamtchlors	142
C.	Bestimmung des gebundenen wirksamen Chlors	142
2.	Chlorbedarf des Wassers (Chlorbindungsvermögen)	142
3.	Ozon	143
4.	Wasserstoffsuperoxyd	143
5.	Silber	144
6.	Aluminium-Bestimmung	144
a)	Kolorimetrische Aluminium-Bestimmung	144
b)	Aluminium-Bestimmung nach <i>Gad</i>	144
7.	Bestimmung der Polyphosphate	145
8.	Sulfit-Bestimmung	145
9.	Hydrazin-Bestimmung	145

E. Bestimmung der Metall-Ionen u. a.	146
1. Blei-Bestimmung	146
a) Probenahme und Vorbereitung der Probe für die Bleiuntersuchung	146
b) Kolorimetrische Blei-Bestimmung	146
2. Kupfer-Bestimmung	147
a) Kolorimetrische Kupfer-Bestimmung nach <i>Winkler</i>	147
b) Kupfer und Blei nebeneinander	148
3. Zink-Bestimmung	148
4. Kalium-Bestimmung	149
a) Titrimetrische Kalium-Bestimmung	150
5. Natrium-Bestimmung	150
6. Chrom-Bestimmung	151
7. Arsen-Bestimmung	151
8. Zinn-Bestimmung	153
F. Bestimmung des Fluorid-Ions (nach <i>Sanchis</i>)	153
1. Neue Arbeitsvorschrift	154
2. Gesundheitliche Bedeutung des Fluorid-Ions	154
G. Bestimmung des Jodid-Ions (Nach den neuen EV)	156
H. Kieselsäure-Bestimmung	156
1. Kolorimetrische Bestimmung nach <i>Winkler</i>	156
I. Nachweis einer Grundwasserverunreinigung durch Mineralöl	157
1. Chemische Untersuchung	158
2. Entfernung von Mineralöl aus dem Wasser	159
3. Mineralöl-Versickerung	159
Mineralöle und Cancerogene	161
VI. Beurteilung des Trink- und Brauchwassers für die zentrale Wasserversorgung	163
A. Behandlung und Aufbereitung des Wassers	163
1. Allgemeines	163
a) Die Grundforderungen an Leitungswasser	163
b) Trinkwasser-Aufbereitungsverordnung (Fremdstoff-Verordnung) vom 19. Dezember 1959	163
2. Korrosion	166
a) Das Angriffsvermögen des Wassers (Kaltwasser)	166
b) Nachteilige Veränderung des Angriffsvermögens beim Mischen zweier Wässer	167
c) Rohrerfressungen und Wasserhygiene	169
d) Das Verhalten der metallischen Werkstoffe gegenüber Wasser	169
e) Wasserleitungsrohre (Metall, Kunststoff, Asbestzement)	170
f) Verhalten des Wassers in Behältern	176
Trinkwasserbehälter	176
3. Wasserstoffkonzentration, p_H	176
4. Kohlensäure	177
5. Freie Kohlensäure	178

a)	Technische Bedeutung des Kohlensäuregehalts des Wassers	178
b)	Die zugehörige Kohlensäure	179
c)	Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht und Rostschuttschicht	180
d)	Die Überschuß-Kohlensäure	181
e)	p _H -Wert in Gleichgewichtswässern	181
6.	Entsäuerung des Wassers	183
a)	Mechanische Entsäuerung	183
b)	Chemische Entsäuerung (Marmor, gebr. Dolomit, Ca(OH) ₂)	186
c)	Korrosionsschutz der Leitungsrohre durch Phosphat-Impfung	191
d)	Korrosionsschutz durch Silikat-Behandlung	193
7.	Eisen und Mangan	193
a)	Eisen und Mangan im Leitungswasser	193
b)	Enteisenung (Offene u. geschlossene, Chemische)	194
c)	Entmanganung	197
8.	Die Härte des Wassers	198
a)	Begriff der Härte	198
b)	Vorkommen der Härtebilder	200
c)	Hygienische Bedeutung der Karbonathärte	201
d)	Verhärtung des Grundwassers durch Müllhalden	201
e)	Gesundheitliche Bedeutung der Wasserhärte	202
f)	Bedeutung der Wasserhärte für Brauchwasser und technische Zwecke	203
g)	Wasserstein	204
h)	Enthärtung von Brauchwässern	204
i)	Ionenaustausch-Verfahren	206
k)	Polyphosphat-Impfung	209
9.	Metalle u. a.	211
a)	Blei	211
b)	Kupfer	213
c)	Arsen	213
d)	Zink	214
e)	Zinn	215
f)	Aluminium	215
g)	Chrom, Cadmium, Antimon u. a.	215
10.	Sauerstoff	216
11.	Schwefelwasserstoff	217
B.	Beispiele für Analysen von Leitungswasser und deren Begutachtung	218
1.	Übersicht über vorkommende Analysenwerte	218
a)	Wasseruntersuchung Ibergquelle	218
b)	Wasserwerk L.	220
c)	Wasser aus dem Tiefbrunnen in C.	221
d)	Wasser aus dem Tiefbrunnen der Firma B.	223
e)	Günstige und ungünstige Werte für Leitungswasser	225
VII.	Untersuchung und Beurteilung von Schwimmbadwasser, Wasser für Bauzwecke, Oberflächenwasser (Vorflut) und Abwasser	226
A.	Schwimmbadwasser	226

1. Chemische Untersuchung des Schwimmbadwassers	230
2. Hygienisch-chemische Beurteilung des Schwimmbadwassers	230
3. Nachweis von Harnbestandteilen im Schwimmbadwasser	231
B. Wasser für Bauzwecke	232
1. Beurteilung der Betonschädlichkeit	233
2. Grenzwerte für Betonschädlichkeit des Wassers	234
3. Sulfatbeständige Zemente	235
4. Beton-Anmachwasser	235
5. Grenzwerte für Wasser, das mit Eisen und Stahl in Berührung ist	236
C. Oberflächenwasser und Vorfluter	236
1. Gewässer-Verunreinigung	237
2. Bestimmung des biochemischen Sauerstoffbedarfs	240
3. Biomassentiter	241
4. Bestimmung des Phenolgehalts	242
5. Quantitative Bestimmung der Detergentien (Tenside)	242
D. Abwasser	244
1. Probenahme	244
2. Einige spezielle Abwasserprüfungen	246
3. Beurteilung des Abwassers	248
4. Abwasserklärung	250
5. Biologische Reinigungsverfahren	250
6. Die dritte Abwasserreinigungsstufe	253
7. Gewerbliche Abwässer	253
E. Einige Bemerkungen über Kesselspeisewasser, Kesselwasser und Kühlwasser	256
1. Kesselspeisewasser	256
a) Allgemeines	256
b) Kieselsäure im Kesselspeisewasser	257
c) Sauerstoff im Kesselspeisewasser	258
d) Hydrazin-Bestimmung	259
2. Kühlwasser	260
F. Wasser für Brauereizwecke	261
VIII. Mineralwasser und Heilwasser	263
A. Mineralwasser	263
B. Heilwasser	264
1. Analysen-Normen	267
a) Die große Heilwasser-Analyse	267
b) Die kleine Heilwasser-Analyse	269
c) Kontroll-Analyse	270
d) Hygienische Untersuchung	270
2. Erläuterungen zur Heilwasser-Analyse	270
1. Kationen-Bestimmungen	271

a) Kalium- und Natrium-Bestimmung	271
b) Lithium-Bestimmung	272
c) Flammenphotometrische Lithium-Bestimmung	272
d) Calcium- und Magnesium-Bestimmung	272
e) Eisen-Bestimmung	273
2. Anionen-Bestimmungen	273
a) Chlorid-Bestimmung	273
b) Sulfat-Bestimmung	274
c) Bestimmung der Borsäure	274
d) Bestimmung von Jodid und Bromid	275
3. Bestimmung der Spurenelemente	275
a) Dithizon-Methode	275
b) Dithizon-Analyse	277
c) Beispiel einer kleinen Heilwasser-Analyse	281
C. Das Wasser als Stoff	282
IX. Reagenzien für Trinkwasseruntersuchung	285
X. Begleitschein für Wasserproben	292
Literaturverzeichnis	294

2. Teil

BAKTERIOLOGIE DES TRINKWASSERS

von Dr. med. Helmut Peter, Hameln

I. Allgemeines zu bakteriologischen Untersuchungsverfahren	301
II. Der bakteriologische Arbeitsplatz	304
III. Wasser und Krankheiten	307
IV. Zur Ortsbesichtigung	313
V. Die Probeentnahme	317
VI. Die Bestimmung der Gesamtkeimzahl	322
VII. Die Bestimmung von E. Coli und von coliformen Keimen	330
VIII. Pathogene Colistämme	343
IX. Der Nachweis von Enterokokken und Clostridium Welchii	344
X. Der Nachweis von Viren und Bakteriophagen	348
XI. Das Membranfilterverfahren	352
XII. Die bakteriologische Untersuchung des Badewassers	360
XIII. Der Nachweis pathogener Keime im Wasser	364
Literaturverzeichnis	370

3. Teil

BIOLOGIE DES WASSERS

von Dr. rer. nat. Dietrich Lüdemann, Berlin

I. Biologische Wasseruntersuchungen	379
---	-----

II. Methodik	381
A. Probenahme	381
1. Biologische Gewässeruntersuchung	381
B. Geräte	384
1. Membranfilter-Verfahren	386
2. Boden- und Schlammuntersuchungen	388
C. Ökologische Verfahren der biologischen Wasseranalyse	391
1. Saprobien-system	391
2. Leitorganismen	394
3. Beurteilung der Ergebnisse	396
III. Biologische Trinkwasseruntersuchung	401
A. Organismen in Wassergewinnungs- und Aufbereitungsanlagen	402
B. Mängel an Quelfassungen	404
C. Wasserwerksanlagen	404
1. Langsamfilter	407
2. Schnellfilter	408
3. Aktivkohlefilter	409
4. Leitungsnetz	409
IV. Möglichkeiten zur Bekämpfung von Organismen in Trinkwasserversorgungsanlagen	410
Literaturverzeichnis	415
Sachregister zum 1.—3. Teil	417

ABKÜRZUNGEN

- EV = Deutsche Einheitsverfahren zur Wasseruntersuchung
S. u. S. = Schleicher u. Schüll-Filter
* = Reagenz des Deutschen Arzneibuchs
GWF = Gas- und Wasserfach (Zeitschrift)
Lit. Ber. = Literaturberichte über Wasser, Abwasser usw. s. S. —
DVGW = „Deutscher Verein von Gas- und Wasserfachmännern“
WHO = Weltgesundheitsorganisation

1. TEIL

Chemie des Wassers
Untersuchung • Beurteilung • Aufbereitung

von

Dr. phil. KARL HÖLL
Regierungsrat a. D., Dipl. Lebensmittelchemiker, Hameln

I. Trinkwasseruntersuchungen

A. Allgemeine Prüfungen an Ort und Stelle

1. Ortsbesichtigung

Die Beurteilung einer Trinkwasseranlage ist ohne die genaue Kenntnis der örtlichen Verhältnisse dieser Anlage nicht möglich. Wenn der Begutachter ein Urteil über die Brauchbarkeit eines Wassers zur Trinkwasserversorgung abgeben soll, muß er sich zuvor durch eine Ortsbesichtigung die notwendigen Ortskenntnisse verschaffen. Hierzu bemerkt *Spitta* ganz treffend: „Wer über ein Trinkwasser ein hygienisches Urteil abgibt, ohne die Wasserfassungsstelle gesehen und geprüft zu haben, tut — von Ausnahmefällen abgesehen — nicht viel anders wie ein Kurpfuscher, der Fernbehandlung treibt.“

Für die Ortsbesichtigung sind gewisse Fachkenntnisse erforderlich. Zunächst muß der Begutachter die einzelnen Brunnentypen kennen.

a) Verschiedene Brunnentypen

Man unterscheidet Schachtbrunnen, Rammbrunnen und Bohrbrunnen.

Die Kesselbrunnen oder Schachtbrunnen stellen im einfachsten Falle ein gemauertes, mehr oder weniger tiefes Bassin dar, in dem sich das Grundwasser von unten her ansammelt und aus dem das Wasser mit Hilfe eines Eimers herausgeschöpft wird. Dies ist der offene Kesselbrunnen (die Zisterne), der hygienisch am ungünstigsten zu beurteilen und heutzutage abzulehnen ist¹⁾. Er soll zum mindesten eine Bedachung aus Blech haben, und zwar eine sattelförmige mit einer seitlichen Klappe für den Wassereimer. Besonders ungünstig sind die Kesselbrunnen aus unverfugten Feldsteinen, aus Holz oder ungemauerten Ziegelsteinen, weil bei ihnen Oberflächenwasser seitlich einsickern kann, was durch dunkle Streifen unter den Fugen zu erkennen ist. Die Kesselwandungen sollten wenigstens aus gut verfugten hartgebrannten Ziegelsteinen bestehen. Erstrebenswert sind mindestens gut verfugte Betonringe, die beim Bau des Brunnenkessels in die Erde eingelassen werden, und zwar mindestens 7 m tief.

Bis mindestens 3 m unter der Erdoberfläche soll die Kesselwandung auf jeden Fall wasserdicht sein. Am besten wird beim Bau des Kesselbrunnens die Kesselwandung in der gesamten Tiefe des Kessels mit Ton umstampft in einem Mantel von 30—50 cm Dicke.

Bei Schöpfeimergebrauch ist mindestens zu fordern, daß zum Schöpfen stets nur ein und derselbe, saubergehaltene Eimer benutzt wird und daß er durch eine Kette fest angeschlossen wird.

¹⁾ s. Arch. f. Hygiene, 148, 40 (1964).

Neben dem Brunnen soll eine Bank stehen zum Aufstellen eines Eimers, in den aus dem Schöpfeimer umgegossen wird.

Der geschlossene Kesselbrunnen ist hygienisch schon günstiger zu beurteilen; er ist durch einen Brunnendeckel aus Eisen oder Beton, der über den Brunnenrand übergreifen soll, verschlossen. Die älteren Brunnen dieser Art haben noch Holzdeckel, die jedoch nicht genügend dicht sind und infolgedessen durch Pilzansammlungen zu Keimträgern werden. Überhaupt sollen deshalb im Kesselbrunnen keine Holzteile vorhanden sein.

Auf dem Brunnendeckel oder neben demselben steht die Pumpe, deren Steigrohr durch den Brunnendeckel bis fast auf den Kesselboden geht bzw. je nach dem Wasservorrat zweckmäßigerweise $\frac{1}{2}$ bis 1 m über dem Grund endet. Der Brunnenschacht soll mindestens bis $\frac{1}{2}$ m über die Erdoberfläche aufgeführt sein, damit Regenwasser und Schmutzwasser dem Brunnen ferngehalten werden.

Die Kesselbrunnen kann man äußerlich von den Rohrbrunnen dadurch unterscheiden, daß die Pumpe auf oder neben einem Brunnendeckel steht. Kesselbrunnen sind zumeist Flachbrunnen, hygienisch also ungünstiger als Tiefbrunnen, d. h. Bohrbrunnen. Die Kesselbrunnen haben jedoch den Vorteil, daß sie stets einen größeren Wasservorrat aufweisen, aus dem eine größere Wassermenge jederzeit schnell erhältlich ist (s. S. 6, Abs. 3).

Kesselbrunnen werden als Schachtbrunnen bezeichnet, weil sie im Gegensatz zu den Bohrbrunnen und Rammbrunnen durch Ausschachten des Bodens erstellt werden.

Zisternen: In manchen Gegenden, z. B. an der friesischen Küste oder auf der Insel Helgoland, ist das Sammeln von Regenwasser seit jeher die einzige Möglichkeit der Trinkwasserbeschaffung. Wegen der aus der Luft und von der Dachfläche leicht einschwebbaren Verunreinigungen sollte zu Beginn eines Regenfalles jeweils das erste Regenwasser mit Hilfe einer schwenkbaren Rinne abgeleitet und erst das später herabfließende Wasser der Zisterne zugeleitet werden (Über Zisternenwasserversorgung auf Helgoland s. *K. Höll*, Arch. f. Hygiene 113, 283—295 [1935]).

Als Norm für eine Zisternenwasserversorgung wird von *R. Meyer* eine Dachfläche von 150 m² für eine sechsköpfige Familie angesehen („Zur Trinkwasserversorgung aus Zisternen“, Arch. f. Hygiene 137, 454—476 [1953]).

Bohrbrunnen: Bei den Bohrbrunnen unterscheidet man Flachbrunnen (3 bis 7 m tief) und Tiefbrunnen (7 bis 50 m tief und mehr).

Flachbrunnen sind z. B. die Abessinierbrunnen, die durch Rammen eines mit einer Spitze versehenen Brunnenrohres in das Erdreich und Aufsetzen einer Handpumpe gefertigt werden. Sie werden daher auch **Rammbrunnen** genannt. Die Spitze des Brunnenrohres hat über der Stahlspitze Schlitzlöcher (von 3 bis 6 mm ϕ auf 1 m verteilt), die mit Bronze- oder Messingsieben (**Tressen-** oder **Köpergewebe**) umkleidet sind. Boden und Grundwasser dürfen aber nicht aggressiv sein. Es gibt jetzt auch Kunststoffspitzen mit Schlitzlöchern und Kunststoff-Tressen-Gewebe. Die Tressengewebe werden mit Drähten und Spangen an dem Filterrohr befestigt.

Die Entwicklung dieser Brunnenfilter ging vom Holzfilter über das Stahlfilter, Kupferfilter und Steinzeugfilter zum Kunststofffilter einerseits und zum Kunstharz-Preßholzfilter (Schönebecker Filter Ges., Hannover) andererseits. Die drei letzteren haben den Vorzug

der Unempfindlichkeit gegen Materialangriff. Die korrosionsfesten OBO-Filter der Schönebecker Brunnenfilter GmbH eignen sich ganz besonders für aggressive Wässer, auch für stark aggressive Mineralwässer. Bei Unterwasserpumpen verwendet man jetzt Polyamid-Filter- und Steigrohre.

Die Filter können im Laufe der Jahre verkrusten und verockern und müssen dann durch Spülungen gereinigt werden. Oft ist auch eine Säurespülung notwendig. Eine Spezialfirma hierfür ist z. B. die Fa. F. Petzold GmbH, München 9 (Steintod-Verfahren), sowie die Fa. Aquaphos, Fischbach.

Die Tiefbrunnen sind Bohrbrunnen. Sie werden durch Einbohren eines Mantelrohres in das Erdreich (die „Bohrfahrt“) und Herablassen des Filters und Aufsatzrohres (Brunnenrohres) in das ausgehöhlte Mantelrohr erstellt. Das Filter oder der Filterkorb wird in eine Kiesschüttung gebettet. Die Kiespackung richtet sich nach der Siebanalyse der umgebenden Bodenpartien, damit der Brunnen nicht versandet (Kiesschüttungsbrunnen). Der Brunnen ist gebrauchsfertig, sobald das Mantelrohr „gezogen“ und die Abdichtung des Brunnens erfolgt ist.

Bei größeren Wasserwerken sind mehrere Brunnen zu einer „Brunnengalerie“ vereinigt und durch eine gemeinsame Saugleitung oder Heberleitung, die evtl. zu einem Sammelbrunnen führt, verbunden. Saug- und Heberleitungen müssen besonders sorgfältig wasserdicht und luftdicht verlegt werden. Auch Sickerrohr-Leitungen werden zu Sickerkammern vereinigt (Eternit oder Steinzeug).

Für mittlere bis große Wasserwerke ist in den letzten Jahren der Tellerbrunnen entwickelt worden und hat sich offenbar in der Praxis gut bewährt, weil er nicht so leicht verockert (C. Abwieser, „Kommunalwirtschaft“, H. 2/3 [1955], und G. Bohrisch, Komm. Wirtsch., H. 7 [1956]).

Tiefbrunnen werden mit Unterwasserpumpen betrieben, Rammburgen mit Übertagepumpen.

Flachbrunnen, insbesondere Kesselbrunnen, sollten heute zur Trinkwasserversorgung nicht mehr gebaut werden; je tiefer, desto besser ist der Schutz vor Eindringen von Bakterien (S. 295) und von Nitraten (S. 80).

Nähere Angaben über Brunnen und Brunnenhygiene findet man in den „Hygienischen Leitsätzen für die Trinkwasserversorgung“ (Veröffentlichungen auf dem Gebiet der Medizinalverwaltung, Berlin [1932], bei H. Beger, Brunnenhygiene, Berlin [1947], in der „Brunnenordnung“, Verlag Carl Heymann, Berlin [1935], und bei E. Bieske, Bohrbrunnen, München [1953]). Leitsätze für die Einzel-Trinkwasserversorgung enthält DIN 2001 (18).

b) Die drei Bohrverfahren

Man arbeitete früher nach dem Drehbohrverfahren (von Hand), heute, nach dem Meißelbohrverfahren (durch maschinelles stoßweises Herablassen des Meißels) oder nach dem Spülbohrverfahren (Rotary-Bohrung) mit Rollenmeißel und Spülwasser; man unterscheidet also Trockenbohrungen und Spülbohrungen. Die Spülbohrung erfordert bedeutend weniger Arbeitszeit; sie erbringt aber nicht die häufig erwünschten ungestörten Bodenproben.

Vorschriften über die Durchführung von Bohrarbeiten und Grundwasser-Erschließungen geben DIN 18 301 und DIN 18 302. Letztere schreibt auch eine gründliche Reinigung der Mantelrohre, Aufsatzrohre und Filterrohre vor dem Einbau vor, was oft zu wenig beachtet wird.

c) Horizontalbrunnen

Für größere Wasserversorgungen baut man jetzt Horizontalfilterbrunnen, bei denen horizontale Filterrohre mit vertikalen Sammelschächten kombiniert sind. Beim *R a n e y - V e r f a h r e n* werden diese Filterrohre durch hydraulische Pressung in den Grundwasserträger von einem Schacht aus gepreßt. Beim *F e h l m a n n - V e r f a h r e n* wird zunächst ein Bohrrohr horizontal getrieben und das Filterrohr eingeführt und beim *P r e u ß a g - V e r f a h r e n*, das auch für feinen Sand angewandt werden kann, wird ähnlich verfahren; die horizontalen Filterrohre werden hierbei mit Filterkiesschichten umgeben. Horizontalbrunnen sind sehr viel leistungsfähiger als Vertikalbrunnen.

Horizontalbrunnen geben auch eine gewisse Wasserreserve im Sammelschacht; sie beunruhigen die wasserführenden Schichten und überhaupt den Boden nicht so stark wie Vertikalbrunnen. Die großflächige Entnahme im Horizontalbrunnen ist an und für sich schon günstiger als die punktförmige im Vertikalbrunnen; ganz besonders ist dies der Fall in Gebieten mit Versalzungs- und Verhärtungsgefahr bei starker Inanspruchnahme (Coning effect). Pro 1 m Schachttiefe sind 12,5 cbm Wasservorrat im 4-m-Schacht vorhanden.

In Österreich ist auch bereits ein Kleinhorizontalbrunnen eingeführt (*L. D. György*, Gas, Wasser, Wärme 17, H. 11 [1963]; er hat jetzt allgemeine Anerkennung gefunden.

Der „Mannesmann-Schräginfiltrator“ dient zur Anreicherung des Grundwassers mit Oberflächenwasser (Fa. Mannesmann, Düsseldorf).

Vor der Verlegung der Horizontalbrunnen sind besonders gründliche Voruntersuchungen nötig, um Fehlplanungen zu verhindern (*G. Keller*, Bohrtechnik — Brunnenbau 7, [1956]). Eines der größten zentralgesteuerten Wasserwerke in Duisburg-Hamborn hat Horizontalbrunnen (*G. Kopf*, Schweiz. Mon. Bull, 36, 226–232 u. 254–265 [1956], ferner Hannover, Hamburg, Berlin, Hameln u. a.).

2. Der Pumpversuch

Zur Prüfung der Leistungsfähigkeit eines neu erbohrten Brunnens wird ein Pumpversuch gefahren, gewöhnlich mit einer provisorischen Pumpe. Das Probepumpen soll bei kleineren Bohrvorhaben 3 Tage, bei größeren 1–3 Wochen dauern, währenddessen die Absenkung des „ungesenkten Grundwasserspiegels“ in bestimmten Zeitabständen und bei ansteigenden Förderleistungen mit einem Kabellichtlot, das an einem Band mit Zentimetereinteilung im Bohrloch herabhängt, gemessen wird¹⁾. Die Absenkung ist trichterförmig („Absenkungstrichter“). Sobald der Wasserspiegel bei gleichbleibender Leistung einige Zeit gleich bleibt, ist der „Beharrungszustand“ erreicht, d. h. es fließt dann vom Grundwasserträger so viel Wasser zu, wie entnommen wird. Wenn bei weiterem Pumpen der Grundwasserspiegel weiter absinkt, muß die Pumpenleistung entsprechend herabgesetzt werden.

¹⁾ Lief. H. Ch. Spohr, Frankfurt/M.

Wichtig für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit eines Brunnens ist auch das häufige Messen des Wiederanstieges des Grundwasserspiegels: Langsames Absinken des Grundwasserspiegels während des Pumpversuchs und schneller Anstieg desselben nach dem Abstellen zeigen an, daß der Brunnen ergiebig ist und der Grundwasservorrat groß ist.

Das DVGW-Arbeitsblatt W 111 (1963) und DIN 18 301 und 18 302 (1958) geben nähere Anweisungen für den Brunnenbautechniker. Im W 111 findet man auch ein Analysenschema für hydroämische Analysen beim Pumpversuch.

Bei einem Pumpversuch sind mehrere sorgfältige chemische Untersuchungen durch einen versierten Wasserchemiker vorzunehmen, mindestens zu Anfang und zu Ende des Pumpversuchs und gegebenenfalls bei verschiedenen Förderstufen.

Im DVGW-Arbeitsblatt W 111 ist auch ein Zapfhahn am Steigrohr oder am Krümmer desselben vorgeschrieben, so daß eine einwandfreie Probenahme möglich ist. Es kommt nämlich darauf an, auch eine Zu- oder Abnahme des Sauerstoff-Gehalts und CO_2 -Gehalts festzustellen. Überhaupt soll bei Neuerschließungen sogleich festgestellt werden, ob das Wasser aggressive Eigenschaften hat und aufbereitet werden müßte, was für die Bauplanung des Wasserwerkes und die Finanzierung einer Aufbereitungsanlage von großer Bedeutung ist. Für die Wahl des Brunnenfilters ist dies ebenfalls wichtig.

An diesem Zapfhahn ist die Temperaturmessung sinnvoller als am Ende des oft langen Ableitungsrohres. Besonders bei hochsommerlicher Wärme und bei Frost macht die Erwärmung bzw. Abkühlung durch das freihängende Rohr viel aus. Schwankungen von zehntel Graden sind für die Beurteilung aber von Bedeutung. Beim Ansaugen von Tiefenwasser steigt die Wassertemperatur an, im Sommer aber auch beim Ansaugen von Oberflächenwasser (S. 19). Über den Zapfhahn zieht man den Entnahmeplastikschlauch und befüllt, wie auf S. 14 angegeben, die Probeflaschen. Hierbei muß besonders darauf geachtet werden, daß keine Luftblasen in die Probeflaschen geraten.

Feinste Bläschen rühren jedoch oft vom „Wirbel“ der Unterwasserpumpe her, und beim Ansetzen der Sauerstoffproben erkennt man dann an dem weißen Mangan-Niederschlag, daß kein Sauerstoff im Wasser vorhanden ist, was ja bei Tiefenwasser regelmäßig der Fall ist. Das Ansteigen oder Abnehmen des Sauerstoffgehalts ist für die Beurteilung des Zutritts von Oberflächenwasser von Bedeutung; später ersieht man daran, ob die Verrohrung dicht ist.

Wenn kein Zapfhahn am Steigrohr-Krümmer angebracht ist, muß man das Ableitungsrohr an seinem Ende so aufrichten, daß es etwas ansteigt und das ausfließende Wasser darin aufgestaut wird; ein abwärts geneigtes Ablaufrohr ist nämlich nicht voll gefüllt, und so hat Luftsauerstoff Zutritt zum Wasser und gibt ein falsches Resultat. Bei kohlen-säurereicherem Wässern kann auch CO_2 entweichen; besonders ist bei Mineralwässern und Heilwässern (Säuerlingen) damit zu rechnen.

Nach dem Aufrichten des Ablaufrohres kann man nach kurzer Wartezeit mit Hilfe des Entnahme-Plastikschlauches (S. 14) die Wasserproben am Rohrende entnehmen. Das Ablaufrohr soll aber möglichst kurz sein, für die Probeentnahme eventuell gekürzt, d. h. für kurze Zeit soll die erste Rohrverbindung hinter dem Krümmer gelöst werden.

Am besten ist aber, wie oben gesagt, die Probenahme an einem Zapfhahn am Krümmer des Steigrohres, zumal die Ableitungsrohre oft rostig sind und Eisen in gelöster und

ungelöster Form an das Wasser abgeben. Bei kurzzeitigen Pumpversuchen muß man hiermit auch manchmal bei dem Steigrohr rechnen.

Für die erste Beurteilung des neu zu erschließenden Wassers sind neben den Fragen der Aggressivität der Eisen- und Mangangehalt sowie die Härtegrade und ihre Schwankungen während des Pumpversuchs wichtig. Bei der ersten Untersuchung zu Beginn des Pumpversuchs ist manchmal gelöstes oder ungelöstes Eisen von der Rohrtour feststellbar. Wenn der Brunnen noch nicht vollständig klar gepumpt ist, ist der ermittelte Eisengehalt problematisch. Bevor das Wasser nicht vollkommen klar ist (wovon man sich mit Hilfe eines 1 m bis 1,5 m langen Schauhohres überzeugen müßte), ist eine Untersuchung auf Eisen verfrüht. Das Klarpumpen dauert bei manchen Böden (Sand und Kies) nur einige Stunden, bei anderen (Lehm und Löß, besonders mit Feinschluff) viele Tage. Der beste Zeitpunkt der Probenahme ist durch telefonische Verbindung zwischen dem Bohrmeister und dem chemischen Laboratorium zu verabreden, da auch bei Umstellung auf höhere Leistung zumeist erneut eine Trübung des Wassers auftritt.

Durch Messung des Redox-Potentials kann man feststellen, ob ein Brunnen zur Verockerung neigen wird.

Wenn das Redoxpotential E_{OH} $10 \text{ mV} \pm 20 \text{ mV}$ bei pH -Werten von ca. 7,0 bzw. das rH $14,5 \pm 0,5$ ist, so ist keine Brunnenverockerung zu befürchten. Bei höheren Werten, besonders bei höheren rH -Werten ist dies aber wahrscheinlich, wenn mehr als 0,2 mg Fe in dem abgepumpten Wasser für einige Tage konstant vorhanden ist.

In manchen Gegenden ist auch der Chlorid- und Sulfatgehalt von erstrangiger Bedeutung, wenn z. B. Salzstöcke oder Salzlinsen in der betr. Bodenformation zu erwarten sind.

Eine bakteriologische Untersuchung des Wassers ist vor dem endgültigen Ausbau des Brunnens gewöhnlich nicht ratsam bzw. führt sie u. U. zu falschen Schlüssen. Das ist z. B. dann der Fall, wenn das Wasser vor Beginn des Pumpversuchs aus dem Bohrloch überläuft und beim Pumpen in dasselbe zurückgeht. Während vor dem Abpumpen das Wasser im Bohrloch dem Oberflächenwasser keinen Zutritt gibt, wird nach Aufhören dieses Druckes das Oberflächenwasser leicht in das leere Bohrloch eindringen. Obwohl dann angenommen wird, daß nur Tiefenwasser gefördert wird, ist dieses keimhaltig.

Nach dem Einbau der endgültigen Pumpe in die fertige Verrohrung gibt die bakteriologische Untersuchung nach mindestens dreitägigem Pumpen schon ein besseres Bild über den Keimgehalt des Wassers und auch über die Dichtigkeit der Verrohrung. Je nach dem Reinheitszustand der verwendeten Rohrtour und der verwendeten Kiespackung sind ungünstige bakteriologische Resultate aber auch dann noch mit Vorbehalt hinzunehmen. Ein günstiger bakteriologischer Befund ist aber ein Beweis, daß die Rohre sauber sind, daß Oberflächenwasser keinen Zutritt hat und daß die Rohrtour dicht ist.

Hohe Keimzahlen sind zuweilen darauf zurückzuführen, daß Wasser aus den oberen Grundwasserhorizonten im Bohrloch herunterläuft und sich dem Tiefenwasser beimischt. In diesem Falle sind die bakteriologischen und chemischen Befunde nicht parallel.

Neben dem Abpumpen sollen auch die Grundwasserstände in den rings um die Bohrung zu errichteten Peilrohren gemessen werden, wozu das erwähnte Kabellichtlot dient.

Bei Pumpversuchen soll ferner die Ermittlung der Grundwasser-Neubildung einhergehen.

Es ist dafür Sorge zu tragen, daß das abgepumpte Wasser nicht im Brunnenbereich versickern kann; es muß vielmehr in Rohren oder Rinnen bis zum nächsten Vorfluter fortgeleitet werden. Auf jeden Fall muß das geförderte Wasser aus dem Bereich des Absenkungstrichters abgeleitet werden.

3. Worauf ist bei der Ortsbesichtigung zu achten?

a) Allgemeine Erhebungen

1. Liegt a) ein Bohrbrunnen oder b) ein Kesselbrunnen (offener oder geschlossener) vor? (s. o.)

Zu a) Handelt es sich um einen Flachbrunnen oder Tiefbrunnen?

2. Wie tief ist der Brunnen?

3. Oder liegt eine Quelfassung vor und wie ist diese abgedeckt und gefaßt?

Zu 1. Wie tief liegt der Grundwasserspiegel?¹⁾

Sinkt der Wasserspiegel bei starker Wasserentnahme im Brunnen ab?¹⁾

Ändert der Grundwasserspiegel seinen Stand bei starken anhaltenden Regenfällen oder beim Steigen und Fallen des Wasserspiegels benachbarter Gewässer?

Wie ist das Gefälle des Grundwasserstromes? (Zum Brunnen hin oder vom Brunnen weg?) Dies kann gegebenenfalls durch Peilrohr- oder Wasserstandsmessungen benachbarter Brunnen ermittelt werden.

Wie weit ist das vom Brunnen versorgte Haus entfernt?

Liegen die Filterrohre tief genug, damit Oberflächenwasser nicht angesaugt wird?

b) Spezielle hygienische Erhebungen

Einzelwasserversorgung

1. Sind in der Nähe der Wassergewinnungsanlage Stallungen, Stallabflüsse, Abortanlagen, Abwasserkanäle, Schmutzwassergräben, Sickergräben, Sickergruben, Müllhaufen, Rieselfelder, Friedhöfe, Zeltplätze, Kläranlagen, Kiesgruben, Mineralöllager, Anlagen mit radioaktiven Abfällen, Tankstellen, Ölheizungsanlagen u. a. vorhanden?

Wenn ja, in welcher Entfernung vom Brunnen und in welcher Richtung fließt der Grundwasserstrom? Bei Flachbrunnen in sandigen Böden darf die Entfernung nicht weniger als 10 bis 20 m, in kiesigen Böden nicht weniger als 50 m von solchen Verunreinigungsherden betragen unter der Voraussetzung, daß die Verschmutzungsstellen talwärts vom Brunnen liegen. Bei Senkgruben und Abwasserversickerungen soll die Entfernung entsprechend noch größer sein. Bei schweren Tonböden genügen mitunter geringere Abstände. Auch bei Tiefbrunnen kann man geringere Abstände je nach der Bodenbeschaffenheit zulassen (Ausnahme: Schottergestein, besonders in abschüssigem Gelände z. B. Molassegebiete von Niederbayern).

¹⁾ Zur Messung dient der Rangsche Brunnenmesser (Brunnenpfeife) oder das genauere Lichtlot (Lief. H. C. Spohr, Frankfurt/Main 1) oder das neue Meßgerät der Hydrometr. Werkstätten Dr. Bovensiepen, Kaufbeuren im Allgäu.

Bei Uferfiltration von Flußwasser soll der Brunnenabstand vom Ufer mindestens 50 m betragen. Nach Erfahrungen des Verf. sind Bach- und Flußbetten zumeist sehr gut abgedichtet; bei unterschiedlichem Salzgehalt findet man deshalb oft keinerlei Beeinflussung von Brunnen, die direkt an solchen Flüssen stehen. Durch neuere Untersuchungen ist dies bestätigt (*J. Holluta*, Kommunal-Wirtschaft [1955]).

Für zentrale Wasserversorgungsanlagen ist ein größerer Schutzbezirk vorgeschrieben, die Schutzzone 1. Ordnung, der Fassungsbereich des Brunnens und die Schutzzone 2. Ordnung, die engere Schutzzone und die Schutzzone 3. Ordnung (Wasser-Einzugsgebiet). Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete sind im DVGW- Arbeitsblatt W 101 (für Grundwasser) und W 102 (für Tal-sperrenwasser, Campingplätze, Müllkippen u. a.) angegeben.

2. Weiden ständig oder mitunter Haustiere in der Nähe des Brunnens? Bestehen überhaupt Möglichkeiten von Verunreinigung in näherer oder weiterer Entfernung? (Besonders wichtig in Gebirgen mit klüftigen Böden.)
3. Sind Salzlagerstätten, Solquellen, Sümpfe oder Moore in der Nähe des Brunnens?
4. Hat das Gelände Gefälle zum Brunnen hin oder vom Brunnen weg?
5. Kann das beim Pumpen überlaufende Wasser vom Brunnen weglaufen? Oder versickert es am Brunnenrohr?

In der Nähe des Brunnens sollen sich keine Geländemulden, in denen Wasser stehenbleiben und versickern kann, befinden; solche wären mit Lehm auszufüllen. Eine gemauerte Rinne soll das überlaufende Wasser sowie Spülwasser ableiten und nach Möglichkeit soll die Brunnumgebung 1 bis 2 m im Umkreis mit einer dichten Betondecke umgeben sein und das Brunnenrohr fest einzementiert sein. Darüber hinaus ist Tonabdichtung im weiteren Umkreis ratsam.

6. Wie alt ist die Brunnenanlage?
7. Ist der Brunnen ständig im Gebrauch?
8. Ist die Temperatur des Wassers immer gleichmäßig oder ändert sie sich je nach der Jahreszeit beträchtlich?
Oder wechselt die Wassertemperatur häufig mit der Lufttemperatur und den Niederschlägen?
9. Zeigt das Wasser zeitweilig Trübungen oder Verfärbungen?
10. Sind Bäume oder Sträucher nahe am Brunnen? Bejahendenfalls wäre Entfernung wegen der Auflockerung des Bodens und der Rißbildungen durch die Wurzeln ratsam, auch von abgestorbenen Bäumen.
11. Kesselbrunnen müssen bei der Besichtigung aufgedeckt werden und es muß eine Besichtigung der Wandungen des Brunnenkessels vorgenommen werden. Der Erfahrene erkennt beim Ableuchten der Kesselwandungen, ob diese wasserdurchlässig sind. Dunklere oder hellere Streifen, die von den Fugen oder Rissen in den Kessel herabgehen, zeigen den Zutritt von keimhaltigem, evtl. verschmutztem Oberflächenwasser an. Der Brunnenkessel muß dann nach Entleerung und gründlicher Reinigung und Desinfektion neu verfügt werden. Der Kesselrand muß etwa $\frac{1}{2}$ m über den Erdboden herausragen, der Brunnenkranz muß gut abgedeckt sein. Der Brunnen-

kessel muß bis mindestens 3 m unter Gelände wasserdicht sein. Die Gummidichtungsringe im Falz des Eisendeckels müssen intakt sein.

12. Bei Oberflächenwasser ist festzustellen, ob irgendwelche verunreinigten Zuflüsse vorhanden sind oder zeitweilig vorhanden sind. Bei Talsperren ist gegebenenfalls Näheres über das Einzugsgebiet zu ermitteln. Bei fließenden Gewässern ist zu ermitteln, ob oberhalb der Wasser-Entnahmestelle Verunreinigungsmöglichkeiten bestehen. Bei Quellen und kleinen Wasserläufen macht man einen Überlauf durch Einbauen eines Wehrs aus Holz oder Steinen und wartet ein bis mehrere Tage mit der Probenahme.
13. Sind in den letzten Jahren Krankheiten aufgetreten, die durch Trinkwasser übertragbar sind? (Zum Beispiel Typhus, Paratyphus S. 307.)
Unterlagen für Beanstandungen gibt DIN 2001 und DVGW-Arbeitsblätter W 101—102

Zentrale Wasserversorgung

Bei zentralen Wasserversorgungsanlagen sind außer den oben genannten Fragen noch die folgenden zu klären.

1. Bei Entnahme aus Wasserleitungen ist zu ermitteln, ob Bleirohre oder verzinkte Rohre bei den Hausanschlüssen vorliegen. Ist dies zutreffend, so ist eine Probe von dem längere Zeit im Rohr abgestandenen Wasser zur Prüfung auf Blei bzw. Zink zu entnehmen.
2. Können Fehler, z. B. Undichtigkeiten, in den Leitungsrohren vorliegen? Oder Installationsmängel? Aus welchem Material bestehen die Anschlüsse? (Näheres s. *H. Beger*, „Leitfaden der Brunnenhygiene“, Berlin [1947].)
3. Ist eine Filteranlage vorhanden, so sind Proben vor und nach der Filterung zu entnehmen, am zweckmäßigsten korrespondierende Proben unter Berücksichtigung der Fließgeschwindigkeit.
4. Sind einzelne Brunnen in ihrer Beschaffenheit zur Zeit der Probenahme ungünstig? Nach den Leitsätzen für die Trinkwasserversorgung DIN 2000 soll eine Probenahme aus jedem einzelnen Brunnen getrennt möglich sein!
5. Wie ist der bauliche Zustand der Brunnenfassung? Ist der Einsteigschacht dicht oder steht zeitweilig Wasser darin?
6. Ist das Rohrnetz der Gemeinde bzw. Stadt in Ordnung?
Stark inkrustierte Rohre bringen die Gefahr mit sich, daß durch lokale Strömungswiderstände und durch den damit verbundenen Druckabfall Unterdruck im Rohrnetz entstehen kann und an undichten Rohrstellen eine Ansaugung von Schmutzwasser oder Abwasser stattfinden kann (*H. Wittmann* u. *W. Bleines*, GWF 98, 556—562 [1957]).
7. Sind die Entlüftungsrohre gesichert und die Brunnenköpfe dicht und ist die Gummidichtung noch intakt?
8. Sind ausreichende Schutzzonen vorhanden?

Unmittelbare Schutzzone = 1. Ordnung (Fassungsbereich des bzw. der Brunnen) und mittelbare Schutzzone = 2. Ordnung sowie Schutzzone 3. Ordnung (Wassereinzugsgebiet).

9. Ist ein Grundwasser-Beobachtungsdienst an mehreren Peilrohren eingerichtet?
 Ferner Erhebungen wie auf b) S. 9 und 10.
 Unterlagen für Beanstandungen gibt DIN 2000.

4. Farbstoffversuch u. a. Versuche zur Prüfung auf Grundwasserverunreinigungen

Wenn Zweifel bestehen, ob eine Beeinflussung eines Brunnens durch eine in der Nähe befindliche Verunreinigungsquelle (Aborte, Misthaufen, Abwasserkanäle u. a.) stattfinden kann, wird ein Farbstoffversuch angestellt. Man läßt zu diesem Zweck eine Farbstofflösung in der Verunreinigungsquelle, z. B. der Abortgrube, versickern. Am besten ist das Uranin¹⁾ geeignet; auch Fluoresceïn ist brauchbar, aber nicht bei sauren Wässern ($pH < 7$). Fluoresceïn muß jedoch in etwas Alkohol gelöst und dann in verdünnte Lauge gegeben werden. Man nimmt deshalb lieber das Eosin, wenn das genannte Uranin nicht zur Verfügung steht. Diese beiden Farbstoffe brauchen nur mit etwas Alkohol angerieben zu werden und in einen Eimer voll Wasser gegeben zu werden. Für die Prüfung von Einzelbrunnen kommt man mit 10 bis 20 g Farbstoff aus. Tritt der Farbstoff in dem betreffenden Brunnenwasser zutage, so ist der Brunnen zu beanstanden und zu schließen. Man darf die Beobachtung nicht zu früh abbrechen. In gechlortem Wasser werden die Farbstoffe zerstört. Ein Kesselbrunnen darf also vor dem Farbversuch nicht gechlort sein. Uranin ist noch in Verdünnung 1 : 100 Milliarden mit der Fluoreszenzlampe nachweisbar.

Bei negativem Befund des Farbstoffversuches ist trotzdem gewisse Vorsicht geboten, da manche Böden, besonders die sauren Humusböden, die Farbstoffe, insbesondere das Uranin, absorbieren können. Man führt deshalb außerdem noch einen ähnlichen Versuch mit Kochsalz oder Phenol durch, beides Stoffe, die von keinem Boden absorbiert werden und im Brunnenwasser leicht nachgewiesen werden können. Der Phenolnachweis wird am besten mit 2,6-Dibromchinonchlorimid nach *Gibbs* vorgenommen (Blaufärbung). Je nach der Entfernung von der vermeintlichen Verunreinigungsstelle und der Tiefe des Brunnens werden allerdings für den Salzungsversuch 10 bis 800 kg Viehsalz benötigt (*F. Schwille*, GWF 93, H. 8 [1952], *G. Ebeling*, Dtsch. Gewässer-Mitt. 1, H. 3 [1957]. Über das Defizit bei größeren Salzungsversuchen berichtet *K. Eissele* (im GWF 104, 1158—1160 [1963]).

Nicht absorbiert wird ferner das neuerdings empfohlene Saprol der Fa. Nördlinger, Flörheim, das sich im positiven Falle schon durch seinen Geruch im Brunnenwasser zu erkennen gibt.

Auch die Zugabe von kurzlebigen Isotopen zur Verunreinigungsstelle führt hierbei zum Ziel. In manchen Fällen genügt auch schon die Zugabe einer Aufschlammung von Pollen-

¹⁾ „Uranin AP konz. zur Untersuchung unterirdischer Gewässer“ von Fa. E. Merck, Darmstadt (ungiftig für Fische bis 100 mg/l im Vorfluter, *H. Bandt*, Deutsche Fischerei-Zeitung, 170 [1957]). Uranin AC wird jetzt auch in flüssiger Form von der Fa. AC-Chemie, Euskirchen, geliefert.

körnern oder Prodigiosus-Bakterien, besonders in Karstgebieten (J. Zötl, Steir. Beiträge z. Hydrogeologie (1959) und für die „Tracer Methods“ mit Jod 131 und Brom 82: J. Mairhofer, Steir. Beitr. z. Hydrogeol. 1963/64.

Bei Zweifelsfällen über die Bodenbeschaffenheit sollte ein fachkundiger Geologe hinzugezogen werden.

5. Probenahme

Eine sachgemäße Probenahme ist Voraussetzung für die Erzielung einwandfreier Resultate. Die Probenahme soll deshalb grundsätzlich durch den Gutachter selbst, zum mindesten aber von sachverständiger Seite vorgenommen werden. Wenn Korrosionsfragen eine Rolle spielen, wie dies fast immer bei zentralen Wasserversorgungsanlagen der Fall ist, muß der Chemiker sowieso an Ort und Stelle die freie Kohlensäure und den p_H -Wert bestimmen, den Heyer-Versuch und die Sauerstoffproben ansetzen und gegebenenfalls evtl. vorhandenen Schwefelwasserstoff fixieren.

Wenn Filteranlagen oder sonstige Aufbereitungsanlagen vorhanden sind, so müssen Proben von Rohwasser und Reinwasser entnommen werden (S. 11); vor der Probenahme muß die Durchflußgeschwindigkeit des Wassers durch die Anlage festgestellt werden; wenn dieselbe aus den Aufzeichnungen des Wasserwerkes nicht ersichtlich ist, so müßte ein Farbstoff- oder Kochsalzversuch angestellt werden (s. o.). Bei Abwasser-Reinigungsanlagen muß die Nämlichkeit der Proben besonders beachtet werden.

Bei größeren Wasserwerken müssen von jedem einzelnen Brunnen Wasserproben entnommen werden, da diese häufig sehr verschieden in bezug auf ihren Eisengehalt, p_H -Wert und Kohlensäuregehalt sowie Sauerstoff- und Mangangehalt sind. Mitunter kann man durch Ausschaltung eines besonders eisenreichen Brunnens das gesamte Mischwasser verbessern und dadurch eine Enteisungsanlage ersparen. Gerade in bezug auf den Eisen- und Mangangehalt ändern sich die Wässer mitunter ganz erheblich.

Ferner können Verunreinigungen nur einen Teil oder nur einen der Brunnen betreffen, während das Mischwasser einwandfrei erscheint.

Folgende Gesichtspunkte sind bei der Probenahme genau zu beachten:

Probeflaschen: Es dürfen nur absolut reine Flaschen aus farblosem Glas verwendet werden, möglichst solche der hydrolytischen Klasse 1, z. B. aus Jenaer Glas, da bei gewöhnlichem Glas in manchen Wässern der Kieselsäuregehalt zunimmt und der p_H -Wert sich ändert. Für diese Untersuchungen werden auch Polyäthylenflaschen, die außerdem unzerbrechlich sind, verwendet. Bei ihnen ist jedoch die Reinigungskontrolle schwieriger als bei Glasflaschen. Für Radioaktivitätsmessung sind sie vorgeschrieben. In Zukunft werden aber auch glasklare Kunststoffflaschen geliefert (z. B. von der Frohn-Plastik GmbH, Deisenhofen b. München).

Bei Kunststoff-Flaschen ist aber andererseits zu bedenken, daß manche Wasserinhaltsstoffe von dem Kunststoff absorbiert werden und dadurch der Bestimmung entgehen können. Dazu gehören alle Kohlenwasserstoffe, also Mineralöle, ferner Pestizide; aber auch anorganische Bestandteile wie Kieselsäure und Phosphat-Ion können in kurzer Zeit von den Wandungen absorbiert werden. Für die Untersuchung von Kesselspeisewasser und Mineralwasser auf Kieselsäure ist dies zu berücksichtigen.

Kunststoff-Flaschen sind auch von außen her durchlässig für Sauerstoff, was zu Eisenabscheidungen führen kann, die Spurenstoffe absorbieren können.

Der Verschluss der Probeflaschen soll aus einwandfreien Glasstopfen bestehen, allenfalls aus Korkstopfen, die mit Stanniol umgeben sind oder in geschmolzenes Paraffin eingetaucht worden sind. Unpräparierte Korkstopfen, besonders alte, aber auch ganz neue sind unbrauchbar, ebenso Gummistopfen, Gummiringe und Bakelitverschlüsse, da sie störende Gerüche abgeben. Die Flasche darf nicht direkt auf dem Kork versiegelt werden, was man häufig bei eingesandten Proben findet. Am geeignetsten für Glasstopfenflaschen ist der Lübbert-Schneidersche Flaschenverschluss aus verzinktem Eisendraht.

Die Stopfen sind zum Schutz gegen Verunreinigung des Flaschenhalses mit Pergamentpapier zu umhüllen und zuzubinden. Auf der Probeflasche sind die erforderlichen Bezeichnungen sogleich nach der Probenahme anzubringen.

Die Reinigung der Probeflaschen soll durch Schütteln mit reinem Seesand und Wasser erfolgen, das Nachspülen derselben mit Wasser und destilliertem Wasser. Man vermeide Spülen mit Soda und Säuren, da diese sehr fest an der Glaswandung haften und nur durch längeres Stehenlassen und mehrfaches Ausspülen entfernt werden können. Auch Flaschenbürsten vermeide man. Häufig benutzte Probeflaschen sollten jedoch in gewissen Zeitabständen mit Chromschwefelsäure oder mit Pril gereinigt werden und darauf längere Zeit mit häufig erneuertem Wasser stehengelassen werden.

Vorbeurteilungen zur Probenahme: Vor dem Einfüllen der Proben muß man das in Rohren abgestandene Wasser erst ablaufen lassen, nicht nur aus den Hausanschlüssen, sondern auch von den Hauptrohren. Deshalb läßt man das Leitungswasser zweckmäßigerweise $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Std. langsam ablaufen und dreht währenddessen den Zapfhahn mehrmals auf und zu. Über Probenahme für die Prüfung auf Bleilöslichkeit S. 146.

Handpumpen müssen vorher 10 bis 20 Minuten abgepumpt werden, und zwar langsam und gleichmäßig. Das Wasser darf dabei nicht in den Brunnen zurückfließen. Annäherndes Erschöpfen des Brunnens muß dabei aber vermieden werden. Wenn der Brunnen längere Zeit nicht in Benutzung war, muß vor der Probenahme mehrere Tage lang abgepumpt werden, jedesmal 10 bis 20 Minuten lang.

Bei verdächtigen Brunnen wird bei Beginn und am Ende des Abpumpens je eine Wasserprobe entnommen. Bei unterschiedlicher Wasserbeschaffenheit liegen besondere hygienische Gefahren vor.

Von Kesselbrunnen sollte nach vollkommener Entleerung und Neufüllung aus dem Grundwasser heraus noch eine zweite Probe entnommen werden, ggf. weitere Proben nach wiederholter Neufüllung des Brunnens.

Das Befüllen der Probeflaschen unter Luftabschluss: Bei Zapfhähnen an Wasserleitungen zieht man einen gereinigten Gummischlauch oder besser einen glasklaren Plastikschlauch (evtl. nach Erwärmen desselben) über das Hahnende. Der Schlauch, der etwas länger als die Flasche sein soll, wird in die Probeflasche bis auf den Flaschengrund eingeführt, nachdem man das Wasser eine Weile durch den Schlauch hat durchfließen lassen. Darauf läßt man das Wasser ganz langsam so lange durch die Flasche durchlaufen, bis es sich mehrmals erneuert hat. Hierbei ist Luftblasenbildung und Sprudeln des Wassers unbedingt zu vermeiden. Danach zieht man den Schlauch langsam

heraus oder die Flasche nach unten ab und setzt den Glasstopfen auf die bis zum Rand des Flaschenhalses gefüllte Flasche so, daß keine Luftblasen in der Flasche verbleiben, wovon man sich durch Neigen der Flasche überzeugt.

Grundsätzlich sollte man die Wasserprobe stets unter Luftabschluß entnehmen, um Eisen- ausfällungen und damit Phosphatverlust sowie auch einen Kohlensäureverlust und damit Kalkausfällungen zu vermeiden. Wenn eine alsbaldige Untersuchung der Wasserproben nicht möglich ist, sollte man eine besondere Probe deshalb an Ort und Stelle mit Säure versetzen (HCl und HNO₃).

Probenahme mit Hilfe des überstauten Trichters: Bei großen Zapfhähnen und Pumpenrohren hilft man sich so, daß man das Wasser in einen Trichter laufen läßt, an dem unten ein bis an den Flaschengrund reichender Gummischlauch befestigt ist. Der Trichter muß beim Befüllen ständig überstaut sein, indem man den Gummischlauch evtl. zusammendrückt und das Ende des Hahnes oder Pumpenrohres in das Wasser unter den Trichterrand eintaucht („Überstauter Trichter“). Nach längerem Überlaufenlassen aus dem Flaschenhals erhält man auch hierbei eine Wasserprobe, die nicht mit der Luft in Berührung war.

Diese Art der Probenahme ist für die Untersuchung auf Sauerstoff, Kohlensäure und Schwefelwasserstoff bei gewöhnlichen Pumpen und sehr großen Zapfhähnen unerlässlich; für die p_H-Bestimmung ist sie ebenfalls vorteilhaft, da bei ihr ein CO₂-Verlust kaum stattfindet.

Zwecks Probenahme aus Bohrlöchern oder Peilrohren wird — gegebenenfalls nach Entfernung der Verschlusskappe — eine Flügelpumpe auf das Rohr aufgesetzt oder aufgeschraubt und bis zum Abfließen von klarem Wasser abgepumpt, mindestens aber eine Viertelstunde lang. Die Probenahme erfolgt mit Hilfe des „überstauten Trichters“ (s. o.), der dicht unter den Pumpenmund gehalten wird und dessen Schlauchende bis auf den Boden der Probeflasche reicht.

Bei Wassererschließungen aus neuen Bohrlöchern wird so lange abgepumpt mit der Motorpumpe, bis das Wasser klar abläuft, was nach 1 bis 5 Tagen der Fall ist. Bei größeren Wassererschließungsvorhaben muß bei Beginn und am Ende des „Pumpversuches“ je eine genaue Wasseruntersuchung angestellt werden, um zu prüfen, ob die Wasserbeschaffenheit während des Pumpversuches sich eventuell geändert hat, was wichtige Rückschlüsse für den geologischen Sachverständigen ermöglicht (S. 7).

Kann aus einem Bohrloch das Grundwasser nicht mit einer Pumpe gefördert werden oder sollen Proben aus verschiedenen Tiefen für die geologischen Belange entnommen werden, so wird hierfür das Schöpferät nach Friedinger verwendet (Hersteller Fa. Feinmech. Gerätebau GmbH, jetzt Fa. Hydrobios, Kiel-Holtenuau). Das Friedinger-Gerät ist beim Herablassen oben und unten offen und wird beim Absinken vollkommen durchströmt, was beim Ruttner-Gerät nicht mit Sicherheit der Fall ist, besonders in engen Bohrrohren nicht.

Ein verbessertes Ruttner-Gerät ist das von Prof. Dr. Kruse (Lief. Franz Bergmann K.G., Berlin-Zehlendorf).

Bei engen Bohrrohren (z. B. 80er Peilrohren) ist der Wasserschöpfer nach Gad gut geeignet, da er mit Sicherheit durchströmt wird (Lief. Franz Bergmann KG, Berlin-Zehlendorf). Das Schöpferät zu ½ l hat 7 cm ϕ , das zu 1 l hat 9 cm ϕ .

Für engste Peilrohre hat die Fa. H. C. Spohr, Frankfurt/Main, kürzlich ein Entnahmehrohr von 4 cm \varnothing und 47 cm Länge herausgebracht. Die Fa. Pumpen-Wart, Erkrath, hat eine Spezial-Entnahmepumpe für Grundwasserbeobachtungsrohre von etwa 2'' \varnothing herausgebracht, die mit Preßluft arbeitet und die keine Beunruhigung des Grundwassers verursacht (Luwa-Pumpe). Die Fa. Fichtel u. Sachs bringt eine Libellenpumpe heraus.

Probenahme von Oberflächenwasser: Für die Probenahme aus Gewässern und offenen Wasserstellen werden Spezialapparaturen benötigt. Das genannte Friedinger-Gerät ist hierfür ebenfalls gut geeignet (Lief. Fa. Hydrobios, Kiel-Holtenau), ferner das gebräuchliche Ruttner-Gerät (Lief. Fa. Franz Bergmann KG, Berlin-Zehlendorf). Die umfangreiche Apparatur nach Spitta-Imhoff liefert ebenfalls die Fa. Bergmann KG. Das Ruttner-Gerät ist kürzlich von H. Hölzl noch verbessert worden. Der Wasserschöpfer von Ekmann-Nansen ist für die Entnahme aus tiefen Seen geeignet. Behelfsmäßig kann man eine Wasserprobe ohne Luftberührung aus Gewässern entnehmen, indem man einen offenen Zylinder mit beiderseits plangeschliffenen Enden in das Wasser versenkt und unter Wasser wieder verschließt. Die Zylinderenden müssen natürlich dicht schließen. Nach dem Herausnehmen und Öffnen des oberen Deckels kann mit Hilfe eines Heberschlauches Wasser von unten abgefüllt werden, das mit der Luft nicht in Berührung war.

Für die Probenahme aus der Tiefe von Gewässern ist der Profundalwasserschöpfer nach R. Liepolt, mit dem man die Mikroschichtung über der Schlammregion genau erfassen kann (S. 68 und 125), zu empfehlen.

Probenahme aus Seen, Talsperren und Fließgewässern: Bei der Probenahme aus Seen muß man berücksichtigen, daß diese häufig eine ausgeprägte Schichtung haben. Die Oberflächenschicht (das Pelagial) hat bei diesen dann eine ganz andere Beschaffenheit als die unter der „Sprungschicht“ liegende Tiefenschicht (das Profundal), was für die Bewertung oft von großer Bedeutung ist, besonders bezüglich der Sauerstoff- und Kohlensäureverhältnisse, des Eisens und Mangans (*I. Grim*, GWF 98, 234–239 [1957].) (S. 69).

Bei Entnahme von Tiefenproben aus Gewässern kann man sich behelfsmäßig der Meyerschen Schöpfflasche bedienen. Die Meyersche Schöpfflasche besteht aus einer starkwandigen Flasche (Sektflasche, die unten mit einem Bleigewicht beschwert ist, das sich in einem die Flasche umgebenden Drahtgeflecht befindet). Die Schöpfflasche wird an einer Schleife des Drahtgeflechts mit einem Seil oder Drahtseil befestigt und in das Wasser herabgelassen. Für die Bestimmung der gasförmigen Bestandteile (CO_2 , O_2 , H_2S) ist diese Probe jedoch nicht brauchbar. Hierzu benötigt man das Ruttner-Gerät oder den Friedinger-Schöpfer (s. o.). Für geringere Tiefen ist die Schillingsche Entnahmeflasche (GWF 79, 229 [1936]), die durch einen doppelt durchbohrten Kork ein kurzes Glasrohr und ein langes, bis auf den Flaschenboden reichendes Glasrohr hat, geeignet. An das kurze Glasrohr wird ein Schlauch angeschlossen, der durch ein Gewicht abgeknickt ist. In der gewünschten Tiefe wird das geknickte Gummistück durch Aufheben des Gewichts geöffnet.

Für die Entnahme von Wasserproben aus oberflächlichen Schichten von Gewässern für die Sauerstoffbestimmung werden gesonderte „Sauerstoffflaschen“ (S. 116), die mit einem doppelt durchbohrten Stopfen verschlossen sind, verwendet. In dem Stopfen

befinden sich zwei Glasröhrchen, von denen das eine bis nahe an den Boden der Flasche reicht und kurz oberhalb des Stopfens endet, während das andere nur wenig in den Flaschenhals hineinragt und oberhalb des Stopfens einen langen Schenkel hat, durch den die Luft aus der Sauerstoffflasche entweichen soll.

Beim Eintauchen einer solchen Vorrichtung erhält man eine Wasserprobe, die mit der Luft kaum oder nur wenig in Berührung war. Bei der großen Entnahmevorrichtung nach Spitta-Imhoff werden zwei Sauerstoffflaschen vom Wasser zwangsläufig durchströmt.

Bei flachen Gewässern, insbesondere kleineren Bachläufen, kommt man auch mit dieser Vorrichtung nicht aus, da man sie nicht tief genug einsenken kann. Man verwendet hierzu das *Bachwasser-Entnahmegerät nach Höll* (Ber. d. I. V. Limn. 12, 360–372 [1955]). Ohne eine solche Vorrichtung ist eine exakte Sauerstoff-Bestimmung in kleinen Fließgewässern nicht durchführbar. Das gleiche gilt für Kohlensäure- und Schwefelwasserstoff-Bestimmung (Hersteller Fa. Fritz Kühn, Frankfurt/Main W 13, und Hans Freye KG, Braunschweig, sowie Franz Bergmann KG, Berlin-Zehlendorf).

Bei Fließgewässern sollen Wasserproben sowohl aus dem Stromstrich als auch an ruhigen Uferstellen genommen werden, gegebenenfalls auch aus verschiedener Tiefe sowie am Gleithang und Prallhang.

Über die *Abwasser-Probenahme* S. 244.

Die *Füllung der Probeflaschen* soll so erfolgen, daß nach Aufsetzen des Glasstopfens auf die bis zum Überlaufen gefüllte Flasche keine Luft mehr in der Flasche verbleibt.

Bei *Frostgefahr* sollen die Flaschenstopfen auf dem Transport ab und zu gelüftet werden, da die Flaschen sonst beim Einfrieren gesprengt werden; auch im Hochsommer ist diese Gefahr vorhanden, wenn sehr kaltes Wasser sich in einer fest verschlossenen Flasche erwärmt.

Bei sehr starkem Frost dürfen die Probeflaschen nicht ganz voll gefüllt werden, sofern zu einem solchen ungünstigen Zeitpunkt eine Probenahme überhaupt tunlich ist (s. u.).

6. Probemenge

Für die kleine hygienische Brunnenanalyse (S. 33) genügen 1 bis 2 Liter Wasser. Für die Gesamtanalyse eines Trink- und Brauchwassers werden mindestens 2 bis 3 Liter Wasserprobe benötigt, neben den Proben für Sauerstoff (S. 116), Kohlensäure (S. 99), Kieselsäure (S. 153), für Phenole (S. 228), Blei (S. 144) und gegebenenfalls für Schwefelwasserstoff (S. 134).

Man füllt am besten mehrere Literflaschen unter Luftabschluß (S. 14), damit man immer Untersuchungswasser, das nicht mit der Luft in Berührung war, zur Verfügung hat. Dadurch erleichtert man sich viele Bestimmungen (z. B. die des Ammoniums, des Eisens und Mangans).

Für Heilwasseranalysen werden bedeutend größere Mengen Wasser benötigt (S. 271).

7. Konservierung von Wasserproben

Bei Einsendung von Wasserproben oder bei längerem Transport der selbst entnommenen Wasserproben empfiehlt sich eine Konservierung mit einigen ml Chloroform pro l. Für die

Kaliumpermanganat-Bestimmung konserviert man mit 3 ml verdünnter Schwefelsäure pro Liter Wasserprobe.

Ungünstiger Zeitpunkt für Untersuchungen: Die Wasseruntersuchung soll möglichst nicht während oder bald nach einer längeren Frostperiode stattfinden. Da bei gefrorenem Boden ein Zutritt von verunreinigtem Wasser zum Grundwasser nicht möglich ist, würde eine zu günstige Beurteilung erfolgen. Ebenso würde man während einer langen Trockenperiode im Sommerhalbjahr eine zu günstige Beurteilung abgeben, da ausgetrockneter Boden das Oberflächenwasser kapillar festhält und Verunreinigungen besser absorbiert.

Nach Neubau, Reparatur oder Reinigung von Brunnen muß man mit der Probenahme 2 bis 3 Wochen warten und während dieser Zeit viel abpumpen.

Einmalige Untersuchungen zu einem ungünstigen Zeitpunkt können u. U. ein falsches Bild geben. Deshalb ist es z. B. notwendig, vor der abschließenden Beurteilung einer zentralen Wasserversorgungsanlage mehrere Untersuchungen zu verschiedenen Jahreszeiten durchzuführen, besonders auch nach längeren Regenperioden und nach längerer Trockenheit.

8. Eingesandte Wasserproben

Vor Einsendung von Proben sollte das Untersuchungslabor eine Anleitung für die Probenahme gemäß den obigen Ausführungen erteilen und Auskünfte für die Erleichterung der Beurteilung der Untersuchungsergebnisse durch einen Begleitschein nach dem im Anhang gegebenen Muster einholen. Bei Frostgefahr und großer Hitze sollen die Proben auf schnellstem Wege durch Boten dem Untersuchungslabor zugestellt werden.

Die Untersuchung eingesandter Proben darf nur eine Ausnahme sein und sich nur auf wenig veränderliche Bestandteile erstrecken (z. B. Chlorid, Nitrat, Härte).

9. Notwendige Prüfungen und Untersuchungen an Ort und Stelle

Temperatur: Während der Probenahme wird sogleich die Temperatur des Wassers und die der Luft gemessen. Die Lufttemperatur darf nur mit einem trockenen Thermometer gemessen werden, und zwar im Schatten. Wenn man es nämlich versäumt, das Thermometer gut abzutrocknen, werden infolge der Verdunstungskälte zu niedrige Temperaturgrade gefunden. Zweckmäßigerweise stellt man also die Lufttemperatur zuerst fest. Bei ausgedehnten Pumpversuchen mißt man die Wassertemperatur häufig, mindestens bei Beginn und am Schluß des Pumpversuches; hierbei auftretende Temperaturabweichungen deuten auf eindringendes Oberflächenwasser hin oder auf das Ansaugen von Tiefenwasser, das eine höhere Temperatur hat („geothermische Tiefenstufe“ je 33 m = 1° C Temperaturerhöhung, s. u.).

Die Temperaturbestimmung erfolgt bei Leitungswasser und Brunnenwasser am besten in einem Topf von mindestens 1 Liter Inhalt, in dem das Wasser einige Minuten übergelaufen ist, mit Hilfe von Thermometern, die in $\frac{1}{10}$ Grade geteilt sind (Entnahmeschlauch benutzen s. S. 14). Es gibt auch besondere Wasserthermometer, die in $\frac{1}{50}$ Grade eingeteilt sind (von 0° bis 30° C).

Das Thermometer darf vor dem Ablesen nicht aus dem Wasser herausgenommen werden. Bei dem „Brunnenthermometer“ bleibt die Quecksilberkugel beim Herausziehen des Geräts in einem Becher mit dem Brunnenwasser (Lief. H. Ch. Spohr, Frankfurt/M.).

Für genauere Messungen bei Leitungswasser dienen Durchflußthermometer nach Thumm (Lief. Fa. Franz Bergmann KG, Berlin-Zehlendorf und Hamburg). Für Temperaturmessungen in Kesselbrunnen, Bohrrohren und Quellrohren (z. B. Steigrohren von Heilquellen) benutzt man sog. Umkippthermometer nach *Negretti* und *Zambra* (Lief. Fa. Franz Bergmann KG, Berlin-Zehlendorf). Bei engen Bohrrohren benutzt man das Quellthermometer, bei dem das Thermometer in einem Schöpfbecher hängt (Lief. Fa. Franz Bergmann KG, Berlin-Zehlendorf und Hamburg).

Bei warmen Mineralquellen und Heilquellen (Thermalquellen) sind Maximumthermometer empfehlenswert.

Bei der Untersuchung von flachen Gewässern und Quellen wird die Temperaturbestimmung in einem mit dem betreffenden Wasser gefüllten Eimer vorgenommen. Für Untersuchungen in der Tiefenzone von Gewässern werden die oben erwähnten Umkippthermometer benutzt. Ein Spezialthermometer nach Ström für Seetiefen für den Bereich von 2 bis 5°, in hundertstel Grade geteilt, liefert Fa. Richter & Wiese, Berlin.

Für die Feststellung des Sauerstoffsättigungsgrades eines Wassers ist eine genaue Temperaturbestimmung auf $\frac{1}{10}$ Grad notwendig.

Auch für die Fragen der Wassererschließung, von Grundwasser und Heilquellen, sind genaueste Temperaturbestimmungen wichtig. Die mittlere Jahrestemperatur ist in Mitteleuropa in 10 m Tiefe 9,5° C. Wenn Grundwasser im Winter weniger als 9,5° C hat oder im Sommer mehr als 9,5° C, dann ist mit Zutritt von Oberflächenwasser, das ja im Winter kälter und im Sommer wärmer ist, zu rechnen.

In höheren Lagen, besonders auf exponierten Gebirgskuppen, ist die mittlere Jahrestemperatur nach Feststellungen des Verf. beträchtlich niedriger als 9,5° C (z. B. Wasserkuppe 6,5° C). Auch auf exponierten Anhöhen von 200 bis 300 m über NN findet man in Norddeutschland selbst im Sommer Wassertemperaturen von 7–8° C.

Die Tiefe, mit der die Wassertemperatur um 1° C zunimmt — die geothermische Tiefenstufe — beträgt in Mitteleuropa 33 m (*R. Kampe*, Schrift.-Reihe des Deutschen Bäderverb., Nr. 8 [1952]).

Die Prüfung der äußeren Beschaffenheit, wie Geruch und Geschmack, muß stets unverzüglich nach der Probenahme erfolgen, da manche Gerüche, wie Schwefelwasserstoff- und Chlorgeruch, beim Transport der Wasserprobe verschwinden können. Auch das Aussehen kann sich beim Stehen der Wasserproben schnell verändern; während das Wasser bei der Entnahme klar und farblos ist, kann es sich z. B. durch Eisenabscheidung bald verfärben und trüben. Für die Beurteilung der Enteisungsvorgänge eines Wassers sind diese Beobachtungen von Wichtigkeit.

Die Prüfung auf freie Kohlensäure muß, wie bereits erwähnt, unter allen Umständen an Ort und Stelle ausgeführt bzw. angesetzt werden. Ebenso muß der Marmorlösungsversuch nach Heyer angesetzt werden und bei längeren Transporten das Umschütteln der Proben besorgt werden, ferner der Sättigungsindex (S. 109 u. f.).

Wenn bei der Probenahme Geruch nach Schwefelwasserstoff wahrgenommen wird, muß derselbe zur quantitativen Bestimmung sogleich mit Cadmiumacetat oder Zinkacetat nach K. E. Quentin fixiert werden (S. 134).

Für genauere Untersuchungen sollte auch der p_H -Wert an Ort und Stelle bestimmt werden (S. 96). Die Sauerstoffproben müssen angesetzt werden (S. 116) und bei Verdacht von Bleiaufnahme aus Bleirohren muß eine besondere Probe des im Rohr längere Zeit abgestandenen Wassers entnommen und mit Essigsäure versetzt werden (S. 144).

Mit dem Wasseruntersuchungskasten der Fa. Franz Bergmann KG, Berlin-Zehlendorf, kann man nach Erfahrung des Verf. die notwendigsten Untersuchungen feldmäßig an Ort und Stelle durchführen. Die Schnellbetriebsbürette nach *Schilling* (von derselben Fa.) hat sich bei Felduntersuchungen ebenfalls bewährt.

B. Allgemeine Prüfungen im Laboratorium

1. Organoleptische Prüfung des Trinkwassers

(Bei jedem Trinkwasser sofort auszuführen)

Geruch: Wenn der Gutachter die Probenahme selbst vornimmt, wird, wie erwähnt, die Geruchsprüfung sogleich an Ort und Stelle vorgenommen, da manche Gerüche, wie der des Schwefelwasserstoffes, alsbald wieder verschwinden.

Bei eingesandten Proben bzw. näherer Untersuchung von mitgeführten Proben verfährt man am besten so, daß man 100 bis 150 ml der Wasserprobe in einem mit Glasstopfen verschlossenen Erlenmeyerkolben von 200 bis 300 ml Inhalt bei kleiner Flamme oder auf dem Wasserbad auf 40° bis 60° erwärmt und nun sofort nach dem Umschütteln den Stopfen lüftet und den Geruch prüft. Allgemeine Gerüche können bezeichnet werden als:

erdig	fischig
torfig	faulig
muffig	fäkalartig
modrig	chemisch (s. u.)
jauchig	aromatisch

An chemischen Gerüchen können auftreten:

Schwefelwasserstoff	Ammoniak
Kohlensäure	Phenol
Chlor	Chlorphenol (Apothekengeruch)
Mineralöl	Xylenol
Benzin	Teer
Benzol	

Bei Oberflächenwässern treten durch starke Planktonentwicklung manchmal typische Gerüche auf, z. B.:

- Erdgeruch durch Cyanophyceen (Blualgen),
- Fischgeruch durch *Asterionella*, *Melosira* u. a. Kieselalgen,
- Gurkengeruch durch *Synura uvella* (Flagellate),
- Trangeruch durch *Uroglena volvox* (Flagellate),
- Tangeruch durch *Dinobryon sertularia* (Flagellate).

Wässer aus sehr tiefen Brunnen, besonders eisenreiche, haben oft einen eigenartigen metallischen oder dumpfen Geruch. Bei schwachem oder zweifelhaftem Schwefelwasser-

stoffgeruch versetzt man eine parallele Geruchsprobe mit etwas Cadmiumacetat zum Vergleich.

Diese Gerüche können auftreten:

1. sehr schwach, nur für erfahrene Untersucher besonders bei Betriebskontrolle ein und desselben Wassers wahrnehmbar und nur gegenüber einer geruchlosen Vergleichsprobe,
2. schwach, für jeden Untersucher gegenüber einer geruchlosen Vergleichsprobe wahrnehmbar,
3. deutlich, für jeden Wasserverbraucher wahrnehmbar,
4. stark, für jeden Wasserverbraucher als unangenehm wahrnehmbar und den Genuß verleidend.

Der Geruchssinn ist zehnmal empfindlicher als der Geschmackssinn.

Raucher haben geringere Geruchsempfindung als Nichtraucher.

Geruchsschwellenwert

Der Geruchsschwellenwert (GSW) ist der Verdünnungsgrad des zu untersuchenden Wassers mit geruchsfreiem Wasser, bei dem gerade noch ein Geruch wahrnehmbar ist.

Nach dem amerikanischen Einheitsverfahren [2] stellt man durch Verdünnen mit absolut geruchlosem Wasser „Geruchsschwellenwerte“ fest. Nach der Formel $G = \frac{V}{U}$

ist der Geruchsschwellenwert G der Verdünnungsgrad des Wassers, wobei V = Volumen des Verdünnungswassers und U = Volumen des Untersuchungswassers in ml ist.

Für die Feststellung des Geruchsschwellenwertes wird in geruchlosen Erlenmeyer-Kolben eine Verdünnungsreihe angesetzt mit absolut geruchsfreiem Wasser, das über Aktivkohle filtriert worden ist, und von der schwächsten Verdünnung an das Auftreten eines Geruchs festgestellt. Muß das Wasser 1 : 10 verdünnt werden, so liegt der Geruchsschwellenwert 10 vor, bei Verdünnung 1 : 100 GSW = 100 vor.

(Einheitsverfahren B 1/2 und F. Malz und J. Gorlas, Jb. Vom Wasser 34. (1967).

Die Geruchsschwellenkonzentration (GSK) ist die Konzentration eines Geruchsstoffes in mg/l, bei der der Geruch gerade noch wahrnehmbar ist.

Beim Chlorphenol ist die GSK = 0,001 mg/l, bei Mineralölen 1 mg/l.

Näheres s. bei J. Holluta, Geruch- und Geschmacksbeeinträchtigung des Trinkwassers, Ursachen und Bekämpfung im GWF 101. 1018—1023 und 1070—1076 (1960). Über spezifische Geruchs- und Geschmacksbeeinträchtigung durch verschiedene Planktonalgen hat H. Liebmann eine Übersicht gegeben [55].

G e s c h m a c k :

Zur Geschmacksprüfung erwärmt man in einem zugedeckten Becherglas etwa 200 ml Wasser auf 30 bis 40° C und verkostet (Vorsicht bei infektiösvächtigem Wasser).

Als Geschmacksempfindungen können auftreten:

1. fade (weiche Wässer),
2. salzig (hoher Kochsalzgehalt),
3. bitterlich (hoher Magnesiumgehalt),
4. laugig (hoher p_H-Wert),
5. säuerlich (niedriger p_H-Wert),

6. zusammenziehend, tintenartig (hoher Eisen- oder Aluminiumgehalt),
7. metallisch (hoher Blei-, Kupfer- oder Zinkgehalt, besonders als „Nachgeschmack“),
8. faulig, widerlich (Verunreinigung. Vorsicht bei Infektionsverdacht!)
9. moorig, muffig (Moorwasser)
und schließlich der Normalfall:
10. o. B. (ohne Besonderheit).

Der Geschmack wird als schwach, deutlich bzw. stark bezeichnet.

In London nehmen die „Wasserschmecker“ nach jeder Wasserprobe Apfelstückchen in den Mund.

Nach den Standard Methods [1961] soll die Geschmacksschwelle 5 nicht überschritten werden; das bedeutet, daß bei fünffacher Verdünnung kein Geschmack wahrnehmbar sein soll.

2. Klarheit und Durchsichtigkeit

(Bei jeder Wasserprobe sofort auszuführen)

Vorprobe an Ort und Stelle: Wie bereits ausgeführt, ist eine Prüfung auf Klarheit und Durchsichtigkeit gleich nach oder wenigstens sehr bald nach der Entnahme durchzuführen, da bei eisenreichen Wässern infolge von Eisenabscheidungen bald Trübungen und Verfärbungen auftreten. Wenn man die Wasserprobe mit dem Entnahmegummischlauch entnommen hat, ist dies weniger zu befürchten. Bei getrübbten Wässern ist aber in jedem Falle mit Absetzen und Klärung zu rechnen und man erhält dann falsche Resultate.

Zur Prüfung füllt man das Wasser in Durchsichtigkeitszylinder von 50 cm Länge oder Hehnerzylinder von 100 ml Inhalt (Fa. Franz Bergmann KG, Berlin-Zehlendorf-West u. Hamburg) und beobachtet gegen eine weiße Unterlage bei zerstreutem Tageslicht.

Es können folgende Grade der Klarheit auftreten:

blank	opalisierend
klar	schwach getrübt
fast klar	stark getrübt
schwach opalisierend	

Man vergleicht die Durchsichtigkeit der Probe mit der von destilliertem Wasser.

Bei getrübbtem Wasser verfährt man folgendermaßen:

3. Trübung und Absetzbarkeit

Man legt unter den Durchsichtigkeitszylinder oder Hehnerzylinder von 100 ml die Snellensche Schriftprobe (DIN Nr. 3,5 vom Deutschen Normenausschuß).

Man läßt so lange Wasser ab, bis die Schrift deutlich zu lesen ist. Die hierbei gefundene Schichthöhe in Zentimetern gibt man als Trübungsgrad an und bezeichnet die Schriftnorm. Den Trübungsgrad kann man auch direkt durch Vergleichstrübungen messen. Hierzu ist am besten eine genau eingestellte Kieselgurlösung geeignet.

Den Vergleich nimmt man in Hehnerzylindern oder 50 cm langen und 2,5 cm weiten Glasrohren mit planparallelem Boden mit Hilfe von Kieselgur-Standardlösungen vor (Reagenz Nr. 17). Die zur Vergleichslösung zuzusetzende Kieselgurmenge in mg/l gibt den Trübungsgrad an, z. B. Trübungsgrad 5 = 5 mg/l Kieselgur bei 50 cm Schichthöhe.

Bei ganz schwachen Trübungen sind Mastixlösungen geeigneter (*J. Rodier u. M. Faivre-Duboz, L'eau 44, 263—271 [1957]*).

In den USA wird der Jackson-Kerzen-Trübungsmesser als Standardmethode verwendet, besonders für Trübungen über 25 Trübungsgrade (Standard Methods 11. Aufl., New York 1961, S. 261—265).

Bisher wurde auch das Stufenphotometer für genaue Trübungsmessungen verwendet, jetzt das Elko II mit zusätzlichem Trübungsglaskörper und Graukeil (Lief. Carl Zeiss, Oberkochen).

Mit dem **lichtelektrometrischen Kolorimeter nach Lange** und dem neuen photoelektrischen Trübungsmesser nach Lange kann man unabhängig von der Farbe des Wassers eine Trübung sehr schnell festlegen, wenn man sich eine Eichkurve einmal hergestellt hat. Das Lange-Kolorimeter kann auch als Feldgerät durch Anschluß an den Akku des Kraftfahrzeugs eingesetzt werden.

Für kontinuierliche Trübungsmessungen im Wasserwerk hat Lange jetzt ein Langrohr-Kolorimeter herausgebracht, das auch mit Selbstschreibvorrichtung geliefert wird und das sehr preiswert ist (Lief. Fa. Dr. Lange, Berlin-Zehlendorf). Durch eine photoelektrische Vorrichtung kann für Wasserwerke eine kontinuierliche Trübungsanzeige eingerichtet werden. Auf dem Prinzip der Rayleigh-Streuung beruht der kontinuierliche neue Trübungsmesser der Metrawatt AG, Nürnberg und München.

Beurteilung bei Wassertrübung:

Plötzlich auftretende Trübungen des Grundwassers können auf eindringendes Oberflächenwasser hindeuten.

Die **Absetzbarkeit** eines getrühten Wassers prüft man durch Vergleich der Trübungswerte der frischen Probe und der 24 Stunden alten Probe. Die Absetzbarkeit spielt mitunter eine Rolle in der Rohrleitungstechnik (Rohrverschlamung durch Rohwasser). Bei stärkeren Trübungen wäre die quantitative Bestimmung der ungelösten Stoffe und deren Glühverlust nach S. 135 vorzunehmen.

Sichttiefe: Bei der Untersuchung von Oberflächenwässern bestimmt man die Durchsichtigkeit und Farbe des Wassers mit Hilfe der „Sichtscheibe“, einer weißen Porzellscheibe von 20 cm \varnothing bzw. Kantenlänge¹⁾, die mit Hilfe einer Meßkette oder eines Halteseils (unterteilt in Meter) in das Wasser herabgelassen wird. Die Länge der Haltekette beim Unsichtbarwerden der Sichtscheibe wird als Sichttiefe angegeben. Durch mehrmaliges Aufziehen und Niederlassen der Sichtscheibe kann man die Sichttiefe ziemlich genau ermitteln (in cm). Angabe: z. B. „Sichttiefe 55,5 cm“, gegebenenfalls „Sichttiefe x m bis Grund“.

Die Beobachtung der untergetauchten Sichtscheibe wird erleichtert durch den Kolkwitzschen „Wassergucker“ (Lieferant Fa. Franz Bergmann KG, Berlin-Zehlendorf).

4. Färbung des Wassers

Auch die Farbe des Wassers muß sogleich nach der Probennahme bestimmt werden, da ausfallende Eisen- und Manganverbindungen, besonders im kolloiden Zustand, eine **Gelbfärbung des Wassers vortäuschen können.**

¹⁾ Auch „Secchi-Scheibe“ genannt

Orientierende Feldbestimmung: Das zu untersuchende Wasser wird in Hehnerzylinder oder in Schaulöhre von 50 cm Höhe gefüllt und in einem kleinen Abstand gegen eine weiße Unterlage beobachtet. Die Färbungen werden bezeichnet als: farblos bzw. als:

schwach gelblich	braun
gelblich	gelblichgrün
gelb	grünlich
gelblichbraun	

Bei sehr schwachen Färbungen vergleicht man mit reinstem destilliertem Wasser (Reagenz Nr. 10) in einem zweiten Hehnerzylinder oder man bezeichnet die Probe als fast farblos. Man kann auch den Ostwaldschen Farbnormen-Atlas zu Hilfe nehmen und die dort angegebenen Farbbezeichnungen zu der Schaulänge von 50 cm Höhe setzen. **Genaue Bestimmung:** Für die genaue Feldbestimmung verwendet man Durchsichtigkeitszylinder von 50 cm Höhe. Getrübte Wässer müssen vor der Farbbestimmung zentrifugiert werden oder die Vergleichslösungen müssen durch Kieselgurzusatz auf den Trübungswert gebracht werden (S. 22). Die amerikanischen Einheitsverfahren [2] unterscheiden erstens die „scheinbare Farbe“ und zweitens die „echte Farbe“ des Wassers bei getrübten und gefärbten Wässern (d. h. vor und nach Zentrifugierung).

Unter feldmäßigen Bedingungen können Farbbestimmungen mit Farbgläsern in der Hellige-Apparatur (Fa. Hellige & Co., Freiburg i. Br.), gegebenenfalls unter Verwendung des Neßlerrohr-Ansatzes nach Herausnahme der Milchglasscheibe aus dem Komparator vorgenommen werden. Auf zwei Farbscheiben sind die Farbwerte von 5 bis 50 mg/l Pt abzulesen.

Zum genauen Farbvergleich verwendet man das Kaliumplatinchlorid-Reagenz (Reagenz Nr. 13) oder Karamellösung (Reagenz Nr. 15). Für manche Wässer ist Methylorange-lösung geeignet ($1/100$ mg als Farbeinheit, also Farbe 1 = 0,01 mg/l Methylorange) (s. W. Ohle, Archiv für Hydrobiologie, S. 386 [1934]). Für gelbgrüne Töne empfiehlt es sich, zugleich Kaliumplatinchlorid und Kupfersulfat (Reagenz Nr. 16) zu verwenden und das Kupfer als mg/l Cu neben dem Platin im Ergebnis anzugeben.

Die Farbwerte werden als mg/l Pt oder mg/l Karamel für Schichthöhe 50 cm angegeben. Mit Hilfe eines Photometers kann der Farbwert mit dem Filter von 460 nm genauer festgelegt werden.

II. Allgemeines über die chemische Wasseruntersuchung

Die Wasseranalyse erfordert peinlich sauberes Arbeiten, da die zu bestimmenden Bestandteile nur in außerordentlich kleinen Mengen im Wasser vorhanden sind und manche von ihnen unter Umständen auch schon durch nicht besonders gesäuberte Geräte eingebracht werden können.

Von vornherein ist daher auf größte Sauberkeit der Entnahme- und Untersuchungsgefäße zu achten. Eine besondere chemische Reinigung und Präparierung der Glasgeräte ist für manche Bestimmungen unumgänglich, z. B. für die Bestimmung des Kaliumpermanganatverbrauchs (S. 44), des Mangans (S. 125) und der Spurenelemente (S. 26).

Die zur Wasseruntersuchung verwendeten Chemikalien und Reagenzien müssen von besonderer Reinheit sein, da auch bei normalen Handelsqualitäten der Chemikalien störende Verunreinigungen in die Wasserproben eingebracht werden können (Qualität: pro analysi, z. B. E. Mercks garantiert reine Reagenzien p. a. und besonders die ultrareinen Reagenzien *S u p r a p u r* der Fa. E. Merck, Darmstadt).

A. Allgemeine chemische Arbeitsregeln

1. Um die Reinheit der verwendeten Reagenzien festzustellen, sind vor deren Ingebrauchnahme stets *Blindversuche* unter gleichen Bedingungen wie bei der Analyse anzustellen.
2. Andererseits ist auch die volle *Wirksamkeit* der Reagenzien mit Hilfe von Vergleichslösungen von Zeit zu Zeit zu kontrollieren.
3. Bei der Wasseruntersuchung wird eine Abscheidung einzelner Bestandteile nur bei wenigen Bestimmungen vorgenommen. Die vorhandenen Wasserbestandteile stören sich daher gegenseitig bei vielen Untersuchungen.

Deshalb muß man vor den einzelnen Bestimmungen stets feststellen, welche Störungen auftreten können. Die häufigsten Störungen sind bei jedem Kapitel gesondert aufgeführt und deren Ausschaltung ist kurz beschrieben. Es ist daher zweckmäßig, den Untersuchungsgang für Trinkwasser, wie er erstmalig in diesem Buch aufgezeigt wird, einzuhalten.

4. Die Wasserproben müssen möglichst bald nach der Entnahme, spätestens nach 10 bis 12 Stunden, untersucht werden, da sie sich beim Stehen bald verändern können. Besonders trifft dies z. B. für verunreinigte Wässer zu, deren Kaliumpermanganatverbrauch sich u. U. in wenigen Stunden verändern kann. Der Untersuchungsgang ist daher in diesem Buch so beschrieben, daß der unerfahrene Untersucher ersieht, wie er eine Wasseruntersuchung anzufangen hat und welche Bestimmungen sofort

ausgeführt werden müssen. Ferner ist aus dem Untersuchungsgang ersichtlich, welche Bestimmungen für die einzelnen Bedarfsfälle ausgeführt werden müssen (kleine Brunnenuntersuchung oder Wasserwerkskontrolle, Brauchwasser usw.).

Bei längerem Stehen der Wasserproben in halbgefüllten Flaschen scheiden harte Wässer leicht etwas Kalk ab, besonders die eisenhaltigen Wässer, was zu Fehlresultaten führt. Einige Untersuchungen müssen nach einer besonderen Probenahme an Ort und Stelle eingeleitet bzw. sofort durchgeführt werden (z. B. die auf Sauerstoff, freie Kohlensäure, Schwefelwasserstoff, Eisen(II)-Verbindungen u. a.).

5. Bei eingesandten Proben, die oft älter als 2 bis 3 Tage sind, kann man viele Untersuchungen überhaupt nicht ausführen (wie z. B. die Bestimmung von CO_2 , O_2 , H_2S , Cl_2 , sowie die des pH -Wertes und des Geruchs); andere Bestimmungen würden nach dem unter 4. Gesagten zu ungenau ausfallen (KMnO_4 -Verbrauch). In solchen Fällen empfiehlt es sich, frische Proben selbst zu entnehmen oder durch Boten einzuholen. Grundsätzlich sollte aber der begutachtende Wasserchemiker die Probenahme selbst vornehmen.
6. Vor der Wasseruntersuchung dürfen Trübungen und Niederschläge nicht ohne weiteres durch Filtrieren entfernt werden, da diese mitunter wichtige Wasserbestandteile adsorbiert haben (z. B. Blei-, Eisen-, Mangan- und Arsenverbindungen). Filtrierpapier enthält außerdem oft Spuren von Ammoniak, Phosphat und anderen Stoffen, die die Analysengenauigkeit beeinflussen. Deshalb ist bei getrübbten Wässern das Zentrifugieren vorzuziehen. Besser als Papierfilter sind „Glasfaserpapiere“ zur Filtration geeignet (G. Giebler und Th. Kempf. — Z. f. analyt. Chemie 199, 23—34 [1964].)
7. Die Probeflaschen müssen vor jeder Entnahme einer Wasserprobe umgeschüttelt werden (Schwitzwasser); vor der Entnahme zur Untersuchung auf Eisen und Mangan müssen zuvor der Flaschenboden und die Wandungen mit einem Gummiwischer bearbeitet werden (S. 124), falls diese Bestimmungen einmal nicht bald nach der Probenahme durchgeführt werden können.

Angaben der Ergebnisse

Die Angaben der Ergebnisse erfolgen, wie es in den Einheitsverfahren der Wasseruntersuchung (1) vorgesehen ist, in mg/l als Kationen und Anionen, also z. B. in mg Fe/l und mg SO_4 /l oder in Millival pro l (mval/l), wobei die für 100 ml Wasser verbrauchte Anzahl ml 0,1-Normallösung direkt den mval-Wert ergibt, bzw. in Millimol pro l (mmol/l), bei undissoziierten Stoffen. Durch die Berechnung als mval ist eine Kontrolle der Analyse möglich, nämlich durch die Feststellung der Summgleichheit der Kationen- und Anionen-Äquivalente.

Die in den englisch sprechenden Ländern übliche Angabe in ppm (parts per million) entspricht der deutschen in mg/l. Gemäß Beschluß des Experten-Komitees der WHO soll aber in Zukunft in allen Ländern der Analysenwert in mg/kg angegeben werden.

Bei Werten über 10 mg/l werden gewöhnlich nur ganze Stellen, unter 10 mg/l auch die Zehntel und unter 1 mg/l auch die Hundertstel angegeben; man kann dadurch auch den Genauigkeitsgrad der Untersuchungsmethode zum Ausdruck bringen.