

3. Wasserwirtschaft und Wasseraufbereitung

Bei der Gewinnung von Trink- und Betriebswasser soll nach Möglichkeit Wasser gewählt werden, das von Natur aus den gestellten Qualitätsanforderungen weitestgehend entspricht. Die Zunahme des Wasserbedarfs in Bevölkerung, Industrie und Landwirtschaft zwingt jedoch dazu, Wasservorkommen zu nutzen, die höhere Anforderungen an die Aufbereitungsverfahren stellen.

Art und Umfang der Aufbereitung richten sich nach der Beschaffenheit des Rohwassers und nach den Qualitätsansprüchen an das Reimwasser für den jeweiligen Verwendungszweck.

3.1. Beschaffenheit des Wassers

Chemisch reines Wasser (H_2O) kommt in der Natur nicht vor. Wasser ist für die meisten Gase, Flüssigkeiten und festen Stoffe (vorwiegend Salze) ein ausgezeichnetes Lösungsmittel und nimmt diese beim Durchgang durch die Atmosphäre und den Boden in sich auf. Daher weichen die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften des in der Natur vorkommenden Wassers von denen des reinen Wassers ab. Der Grad der Abweichung ist u. a. von der Beschaffenheit der passierten Luft- und Bodenschichten, der Temperatur, der Herkunft (Regen-, Grund-, Quell- oder Oberflächenwasser) und anderen Einflußfaktoren abhängig.

Im folgenden werden die wichtigsten Kriterien zur Beurteilung der Wasserbeschaffenheit erläutert.

3.1.1. Physikalische Beschaffenheit

Farbe

Die Färbung des Wassers wird durch Verunreinigungen hervorgerufen.

Ungelöstes Eisen und Mangan färben das Wasser rot bis braun, Huminstoffe gelb bis rot, Mikroorganismen und Algen grünlich.

Trinkwasser soll farblos sein. Bei großer Schichthöhe und im durchfallenden Licht kann es bläulich erscheinen.

Klarheit

Die Klarheit eines Wassers wird durch suspendierte Stoffe, wie Ton, Lehm, Mikroorganismen, ungelöste Eisen- und Manganverbindungen, und andere Stoffe gemindert.

Färbung und Trübung des Wassers verändern sich meist gemeinsam. Plötzlich auftretende Trübungen im sonst klaren Grund- oder Quellwasser nach Niederschlägen deuten auf eingedrungenes Oberflächenwasser und damit auf nicht ausreichende Bodenfiltration hin.

Leicht gefärbtes oder getrübbtes Wasser kann zwar hygienisch einwandfrei sein, es ist jedoch unappetitlich.

Da häufig von Trübstoffen auch Bakterien eingeschlossen werden, soll Trinkwasser klar und durchsichtig sein.

Geruch

Der Geruch des Wassers läßt oft die Herkunft der Verschmutzung erkennen. Tintiger Geruch deutet auf hohen Eisengehalt; muffiger, jauchiger oder fauliger Geruch weist auf organische Verunreinigungen hin. Erdiger oder fischiger Geruch kann in Talssperren oder Seewasser durch Plankton und Algen hervorgerufen werden. Gerüche nach Teer, Öl, Phenol, Ammoniak u. a. stammen von Industrieabwassereinleitungen.

Trinkwasser soll völlig geruchlos sein.

Geschmack

Geschmacks- und Geruchsbeeinträchtigungen haben oft die gleichen Ursachen. Stark eisenhaltige Wässer schmecken tintig, organisch belastete Wässer faulig. Ein hoher Salzgehalt läßt das Wasser brackig schmecken.

In phenolhaltigen Wässern bilden sich beim Chloren Chlorphenole, die bereits in Konzentrationen von wenig über 2 g/l einen typischen jodoformartigen Arzneigeschmack hervorrufen. Die Phenole können durch Abwassereinleitungen oder als Abbauprodukte bestimmter Blaualgenarten ins Wasser gelangen.

Weiche und kohlenensäurearme Wässer schmecken fade.

Viele dieser Geschmacksbeeinträchtigungen verstärken sich mit zunehmender Wassertemperatur.

Trinkwasser soll frisch und angenehm schmecken.

Temperatur

Die Temperatur der Oberflächenwässer ist durch Einfluß der Außentemperatur starken Schwankungen unterworfen. Ein Ausgleich kann durch längeren Aufenthalt im Boden bei der Grundwasseranreicherung erreicht werden.

In genügend tiefen Talsperren und Seen bildet sich im Sommer und Winter eine Temperaturschichtung aus, wobei die Temperaturen unterhalb der Sprungschicht in diesen Jahreszeiten um 4 bis 6 °C liegen. Unbeeinflusstes Grundwasser hat ab etwa 8 m Tiefe eine nahezu konstante Temperatur von 8 bis 10 °C, die im wesentlichen von der mittleren Jahrestemperatur beeinflusst wird. Ab etwa 40 m Tiefe steigen die Wassertemperaturen alle 30 m um etwa 1 °C an.

Stärkere Temperaturschwankungen bei Grund- und Quellwässern weisen auf den Zufluß ungenügend filtrierten Oberflächenwassers hin.

Gutes Trinkwasser soll eine Temperatur von 7 bis 12 °C haben. Zu warmes Wasser schmeckt fade, zu kaltes Wasser kann Magen- und Darmerkrankungen hervorrufen.

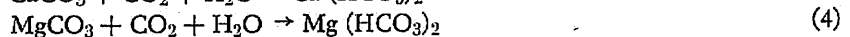
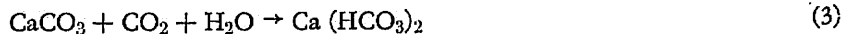
3.1.2. Chemische Beschaffenheit

Kohlensäure

In jedem natürlichen Wasser ist Kohlensäure in freier und gebundener Form vorhanden.

Freie Kohlensäure ist vorwiegend als Kohlendioxid (CO₂) gelöst und nur zu etwa 0,7 Prozent als hydratisierte Kohlensäure (H₂CO₃) im Wasser enthalten, die sich weiter in H⁺-Ionen und HCO₃⁻-Ionen aufspaltet (dissoziiert). In der Praxis der Wassergewinnung spricht man jedoch in diesem Zusammenhang nur von Kohlensäure. Diese führt die fast wasserunlöslichen Kalzium- und Magnesiumkarbonate in wasserlösliche Bikarbonate über.

Die Reaktionsgleichungen dafür sind:



In den Karbonaten ist Kohlensäure als *festgebundene*, in den Bikarbonaten als *halbgebundene Kohlensäure* enthalten. Um den Zerfall des Kalziumbikarbonates in Kohlensäure und Karbonat, der auch ohne Kochen des Wassers erfolgt, zu verhindern, ist noch eine weitere Menge Kohlensäure im Wasser erforderlich, die sogenannte *freie zugehörige Kohlensäure*.

Wasser, das neben der gebundenen nur zugehörige freie Kohlensäure enthält, befindet sich im sogenannten Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht. Ein solches Wasser ist in der Lage, in Rohrleitungen eine Kalk-Rost-Schutzschicht zu bilden.

Ist darüber hinaus noch weitere, *freie überschüssige Kohlensäure* enthalten, so greift dieses Wasser Kalkstein (CaCO₃) an; daher wird dieser Teil der Kohlensäure auch als *aggressive* oder *schutzschichtverhindernde* Kohlensäure bezeichnet.

Die Berechnung der kalkaggressiven Kohlensäure erfolgt nach Tafel 4 bzw. Bild 14.

An der Korrosion von Metallen ist die gesamte freie Kohlensäure beteiligt. Kalkaggressiv wirkt aus vorgenannten Gründen nur ein Teil der freien überschüssigen Kohlensäure.

Tafel 4 Berechnung der kalkaggressiven Kohlensäure

S	G	S	G	S	G	S	G
1	1	51	48,2	101	85,3	151	113,7
2	2	52	49,0	102	85,9	152	114,2
3	3	53	49,9	103	86,5	153	114,7
4	4	54	50,7	104	87,2	154	115,3
5	5	55	51,6	105	87,6	155	115,8
6	6	56	52,4	106	88,4	156	116,3
7	7	57	53,2	107	89,1	157	116,6
8	8	58	54,0	108	89,7	158	117,3
9	9	59	54,8	109	90,4	159	117,6
10	10	60	55,7	110	90,9	160	118,1
11	11	61	56,5	111	91,6	161	118,6
12	12	62	57,2	112	92,8	162	119,1
13	13	63	58,1	113	93,2	163	119,6
14	13,9	64	58,8	114	93,4	164	120,1
15	14,9	65	59,6	115	94,0	165	120,6
16	15,9	66	60,4	116	94,6	166	121,0
17	16,9	67	61,2	117	95,1	167	121,5
18	17,8	68	62,0	118	95,8	168	122,0
19	18,8	69	62,8	119	96,3	169	122,5
20	19,8	70	63,5	120	97,0	170	123,0
21	20,8	71	64,3	121	97,6	171	123,4
22	21,7	72	65,0	122	98,1	172	123,9
23	22,7	73	65,8	123	98,6	173	124,3
24	23,7	74	66,5	124	99,2	174	124,7
25	24,6	75	67,3	125	99,8	175	125,2
26	25,6	76	68,0	126	100,4	176	125,7
27	26,5	77	68,8	127	100,9	177	126,2
28	27,5	78	69,5	128	101,5	178	126,6
29	28,4	79	70,3	129	102,1	179	127,0
30	29,4	80	71,0	130	102,6	180	127,5
31	30,3	81	71,1	131	103,2	185	129,7
32	31,2	82	72,4	132	103,7	190	131,9
33	32,2	83	73,1	133	104,3	195	134,0
34	33,1	84	73,8	134	104,8	200	136,0
35	34,0	85	74,5	135	105,4	210	141,6
36	34,9	86	75,2	136	105,9	220	145,6
37	35,9	87	75,9	137	106,5	230	149,8
38	36,8	88	76,6	138	106,9	240	153,8
39	37,7	89	77,3	139	107,5	250	157,5
40	38,6	90	78,0	140	108,1	260	161,2
41	39,5	91	78,7	141	108,6	270	164,9
42	40,3	92	79,3	142	109,1	280	168,5
43	41,2	93	80,0	143	109,6	290	171,9
44	42,1	94	80,8	144	110,2	300	175,3
45	43,0	95	81,4	145	110,7	320	182,1
46	43,9	96	82,1	146	111,2	340	188,3
47	44,7	97	82,7	147	111,7	360	194,2
48	45,6	98	83,3	148	112,2	380	199,9
49	46,5	99	84,0	149	112,5	400	205,7
50	47,3	100	84,6	150	113,2		

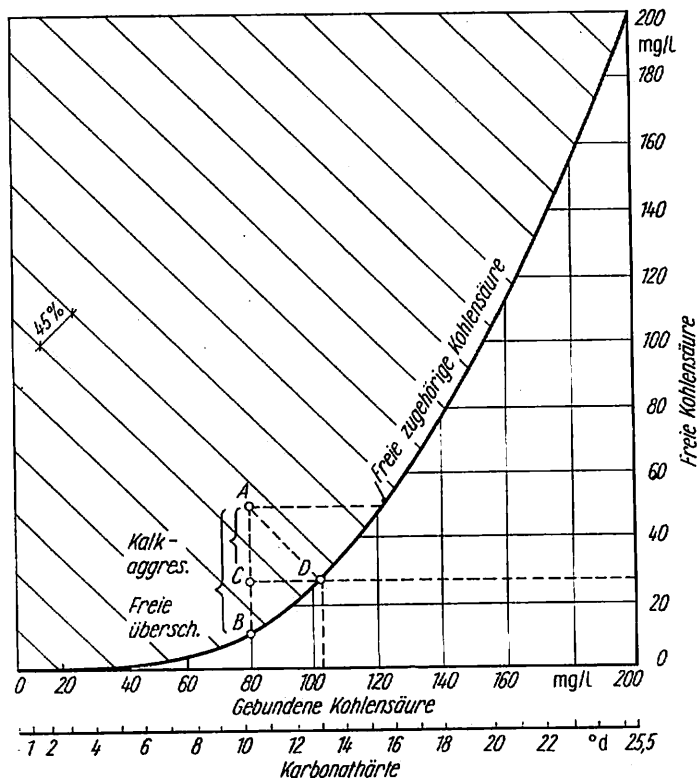


Bild 14. Abhängigkeit von freier und gebundener Kohlensäure

Analysenwert: 80 mg/l gebundene KS

bzw. 10,2 °dH Karbonathärte

50 mg/l freie KS

Nach Bild 14 enthält das Wasser im Augenblick der Untersuchung

11 mg/l freie zugehörige KS (B)

39 mg/l freie überschüssige KS (AB)

22 mg/l kalkaggressive KS (AC)

Der Punkt A ergibt sich als Schnittpunkt der Analysenwerte von gebundener und freier KS. Die Gerade, die von A unter 45° zu AB ausgeht, schneidet die Kurve in D. Der Punkt C entsteht durch den Schnitt der Horizontalen in D und der Vertikalen in A.

Nach dem Angriff auf Kalk enthält das Wasser:

104 mg/l gebundene KS (D)

28 mg/l freie zugehörige KS (D)

0 mg/l freie überschüssige KS

Berechnung der kalkaggressiven KS nach Tafel 4:

Man addiert die Werte für gebundene und freie KS und sucht die erhaltene Summe in der Tafel unter S. Vom danebenstehenden Wert G zieht man die gebundene KS ab und erhält die kalkaggressive KS.

$80 + 50 = 130 = S$

$G = 102,6$

$102,6 - 80 = 22,6$

22,6 mg/l kalkaggressive KS

geb. KS + fr. KS = S

S → G

G - geb. KS = kalkagr. KS

Gesundheitlich ist der Gehalt eines Wassers an freier Kohlensäure bedeutungslos; jedoch schmeckt kohlenäurereiches Wasser frischer und angenehmer.

Im Trinkwasser soll schutzschichtverbindernde Kohlensäure fehlen, d. h., es soll ein sogenanntes Gleichgewichtswasser sein.

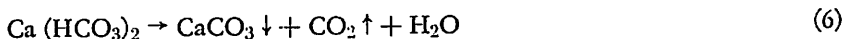
In ihm ist jeder Metallangriff der zugehörigen freien Kohlensäure mit einem Kalkausfall verbunden, und es kommt zur Bildung der Kalk-Rost-Schutzschicht.

Dieser Vorgang kann vereinfacht wie folgt dargestellt werden:

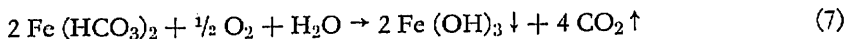
Die zugehörige freie Kohlensäure löst einen Teil des Eisens an der Rohrrinnenwand zu Eisen(II)-bikarbonat.



Da die im Wasser verbleibende freie zugehörige Kohlensäure nicht mehr das gesamte Kalziumbikarbonat in Lösung halten kann, fällt Kalziumkarbonat aus.



Das Eisen(II)-bikarbonat wird von im Wasser gelösten Sauerstoff in Eisen(III)-hydroxid übergeführt, das zusammen mit CaCO_3 ausfällt und die Kalk-Rost-Schutzschicht bildet.



CO_2 geht mit Wasser in Lösung als freie überschüssige Kohlensäure und verhindert zunächst in den folgenden Rohrabschnitten die Schutzschichtbildung. Diese geht demnach vom Beginn der Leitung aus und schiebt sich langsam durch das gesamte Rohrnetz vor.

Wässer mit überschüssiger freier Kohlensäure müssen daher entsäuert werden. Sind sie dazu noch sehr weich, müssen Verfahren angewendet werden, die die Karbonathärte erhöhen (s. Härte).

Außerdem ist zur Schutzschichtbildung, wie aus den Reaktionsgleichungen ersichtlich, in Wasser gelöster Sauerstoff erforderlich.

Sauerstoff

Bei der Berührung zwischen Wasser und Luft wird Sauerstoff im Wasser gelöst. Da bei biologischen Abbauvorgängen vor allem in den oberen Bodenschichten Sauerstoff verbraucht wird, ist der Gehalt an gelöstem Sauerstoff in Grundwässern oftmals sehr gering und kann bis zur völligen Sauerstofffreiheit absinken.

Der Sauerstoffgehalt bildet jedoch keinen Maßstab für die Reinheit eines Grundwassers.

Sauberes Oberflächenwasser ist mit Sauerstoff nahezu gesättigt.

In technischer Beziehung hat der Sauerstoff zwiespältige Bedeutung. In Verbindung mit der freien überschüssigen Kohlensäure greift er metallische Baustoffe, besonders Eisen, Blei und Zink an, wobei die Bleiverbindung in giftiger Menge gelöst werden

kann. Wird jedoch die überschüssige Kohlensäure beseitigt, so bewirkt der Sauerstoff die Schutzschichtbildung aus Kalk und Rost. Dabei ist ein Sauerstoffgehalt von etwa 6 mg O₂ je Liter erforderlich.

Ist die im Wasser gelöste Menge O₂ geringer, so muß belüftet werden. Entsäuerung allein ohne ausreichenden Sauerstoffgehalt führt zur Wiedervereisung des Wassers im Rohrnetz mit Trübung und Rostfärbung des Wassers.

Ebenso wird zur Enteisung und Entmanganung des Wassers Sauerstoff benötigt. Die dazu erforderliche Menge ist zwar theoretisch sehr gering, jedoch ist ein Sauerstoffüberschuß zur Beschleunigung der Reaktion notwendig.

Trinkwasser soll mindestens 6 mg O₂ je Liter enthalten.

Kesselspeisewasser für Hochdruckanlagen müssen wegen Korrosionsgefahr vollständig sauerstofffrei sein.

Schwefelwasserstoff (H₂S)

Da Schwefelwasserstoff schon in Spuren dem Wasser einen widerlichen Geruch und Geschmack verleiht, soll Trinkwasser keinen Schwefelwasserstoff enthalten.

Außerdem ist Schwefelwasserstoff giftig.

Durch Bildung von Schwefelsäure kann er zur Zerstörung von Werkstoffen führen.

Schwefelwasserstoff kann als Produkt von Fäulnisvorgängen in das Wasser gelangen und ist dann ein Indikator für fäkale Verunreinigung.

Er kann aber auch geologischen Ursprungs sein, z. B. bei der Zersetzung von Schwefelkies durch Kohlensäure.

Durch Belüften ist H₂O vollständig aus dem Wasser zu entfernen.

Eisen (Fe)

Eisenverbindungen kommen in vielen Grund- und Quellwässern und in geringer Menge auch in Oberflächenwässern vor. Eisen tritt am häufigsten als Eisenbikarbonat Fe(HCO₃)₂ und seltener als Eisensulfat FeSO₄ im Wasser auf. In diesen Formen ist es leicht ausfällbar.

Schwieriger aufzubereiten sind Wässer, die Eisen an Huminsäure gebunden enthalten.

Schon bei einem Eisengehalt von etwa 0,3 mg/l schmeckt das Wasser tintig.

Gesundheitliche Bedeutung hat der Eisengehalt nicht. Technisch und auch hauswirtschaftlich ist ein erhöhter Gehalt an Eisen und Mangan außerordentlich störend, da bei der Berührung mit Luftsauerstoff das wasserunlösliche Eisenhydroxid Fe(OH)₃ ausfällt. Dadurch wird die Produktion in Papier- und Zellulosefabriken, Bleichereien, Färbereien und Molkereien stark beeinträchtigt (Brunnen, Rohrleitungen, Behälter und Wasserzähler verschlammten und verhärteten; Wäsche wird gelb und fleckig; Getränke leiden im Geschmack).

Man unterscheidet folgende Stufen des Eisengehaltes im Wasser:

geringer Eisengehalt	0,2 ... 0,5 mg/l
mittlerer Eisengehalt	0,5 ... 1,0 mg/l
hoher Eisengehalt	1 ... 3 mg/l
sehr hoher Eisengehalt	über 3 mg/l

■ *Im Trinkwasser beträgt der zulässige Fe-Grenzwert 0,1 mg/l.*

- Bei Überschreitung dieses Grenzwertes im Rohwasser muß eine Enteisung durchgeführt werden.

Mangan (Mn)

Mangan tritt häufig zusammen mit Eisen auf, jedoch meist in geringerer Menge. Es liegt im Wasser in den gleichen Verbindungen vor wie Eisen und verursacht auch die gleichen Störungen.

■ *Der Mangangehalt im Trinkwasser darf nicht größer als 0,05 mg/l sein.*

- Geringe Manganmengen können in der Aufbereitung gemeinsam mit dem Eisen in den gleichen Anlagen ausgefällt werden.
- Bei hohen Mangangehalten im Rohwasser wird z. T. auch die biologische Entmanganung durchgeführt, wobei bestimmte Manganbakterien und -algen die gelösten Mangan(II)-Verbindungen oxydieren und das gebildete Mangandioxidhydrat in ihrer Zellmembran speichern.

Ammoniumverbindungen

Die Stickstoffverbindungen spielen bei der Beurteilung der Wassergüte eine große Rolle, da sie als Abbau- und Zerfallprodukte organischer Verbindungen (besonders der Eiweiße) auf fäkale Verunreinigung oder eingedrungene häusliche Abwässer hinweisen. Organische Stickstoffverbindungen werden von Mikroorganismen schrittweise über Ammoniak (NH_3), Ammoniumverbindungen und Nitrite zu Nitraten abgebaut. Dieser Vorgang heißt Mineralisation.

■ *Am Grad der Mineralisation kann man die Stärke bzw. die zeitliche Entfernung der Verunreinigung abschätzen.*

Ammoniumverbindungen deuten meist darauf hin, daß die Verunreinigung so massiv war, daß die Selbstreinigungskraft des Wassers nicht oder noch nicht für die weitgehende Mineralisation ausreichte oder daß die Verunreinigung in der Nähe der Entnahmestelle erfolgte.

Ammoniumverbindungen können jedoch auch auf chemischem Wege durch Reduktionsvorgänge zwischen Eisen(II)-Verbindungen stark eisenhaltiger Wässer oder Bodenschichten und Nitraten ins Wasser gelangen.

■ *Im Trinkwasser sollen Ammoniumverbindungen höchstens in Spuren nachweisbar sein.*

Nitrite (NO_2^-)

Auch Nitrite sollen im Trinkwasser nur in Spuren auftreten, da ihr Vorhandensein in den meisten Fällen auf fäkale Verunreinigungen zurückzuführen ist.

Sie können jedoch auch auf rein chemischem Wege durch Reduktion von Nitraten entstehen.

Für die hygienische Beurteilung nitrithaltiger Wässer ist neben der Einschätzung anderer Faktoren, die auf organische oder fäkale Verunreinigungen hinweisen (Ammoniumverbindungen, Nitrate, Chloride, Colititer, Keimzahl), die genaue Herkunft der Nitrite im Wasser zu klären.

Nitrate (NO_3^-)

Nitrate stellen die Endstufe der oxydativen Stickstoff-Mineralisation dar und bilden mengenmäßig den Hauptbestandteil der anorganischen Stickstoffverbindungen. Durch die wachsende Belastung der Gewässer mit Abfallstoffen und durch Auswaschung von Kunstdünger aus dem Boden ist in den letzten Jahren der Nitratgehalt vieler Wässer gestiegen.

Im Trinkwasser dürfen höchstens 50 mg/l enthalten sein.

Wegen der Bildung von Methämoglobin im Blut durch nitrathaltiges Wasser darf der Höchstwert im Trinkwasser, das bei der Herstellung von Säuglingsnahrung verwendet wird, nur etwa 30 mg/l betragen.

Chloride (Cl^-)

Chloride sind für den menschlichen Genuß unschädlich. In Trinkwasser beträgt der zulässige Grenzwert 250 mg/l.

Ein erhöhter Chloridgehalt im Wasser (ab 30 mg/l) kann ein Anzeichen von Verunreinigung durch Abwasser sein, er kann aber auch geologische Ursachen haben (Salzlagerstätten) oder bei Grundwasserfassungen in Meeresnähe auftreten. Erhöhter Chloridgehalt beeinträchtigt den Geschmack des Trinkwassers.

Fluoride (F^-)

Fluoride kommen in natürlichen Wässern häufig vor und sind geologischen Ursprungs oder stammen in Oberflächenwässern auch von Industrieabwasser-Einleitungen.

Fluor ist als Spurenelement im Trinkwasser in Konzentrationen um 1 mg/l und in Nahrungsmitteln erwünscht, da es für die Knochenbildung notwendig ist und der Caries (Zahnfäule) entgegenwirkt.

Sehr niedrige und auch hohe Fluoridgehalte im Trinkwasser führen zu Zahnschäden.

Eine Fluoridierung des Trinkwassers wird in größerem Ausmaß in der DDR in Karl-Marx-Stadt und in Westdeutschland in Kassel durchgeführt, indem der natür-

liche Fluoridgehalt des Wassers durch Zugabe von Fluoridverbindungen auf etwa 1 mg/l angehoben wird.

Sulfate (SO_4^{--})

Sulfate können sowohl durch Einleitung industrieller und häuslicher Abwässer (Detergentien) als auch durch Lösevorgänge und chemische Umsetzungen im Boden ins Wasser gelangen.

Da sie in höheren Konzentrationen gesundheitsschädlich sind, beträgt der Grenzwert für Trinkwasser 250 mg/l.

In Konzentrationen über 300 mg/l beginnt unter den in der TGL „Beton in aggressiven Wässern“ genannten Bedingungen die Zerstörung von Beton durch Bildung des sogenannten Zementbazillus.

Sulfite (SO_3^{--})

Sulfite kommen in natürlichen unbeeinflussten Wässern nicht vor.

Sie stammen meist aus Abwässern der Zellstoffindustrie und der Gaswerke.

Phosphate (P_2O_5)

In reinen natürlichen Wässern sind Phosphate höchstens in Zehntel-Milligramm-Konzentrationen enthalten.

Höhere Gehalte weisen direkt auf Verschmutzung durch tierische und menschliche Abfallstoffe, besonders Jauche, oder auf mit Phosphat-Kunstdünger überdüngte Böden hin.

Gesundheitliche Schäden entstehen auch durch höhere Phosphatgehalte nicht. Deshalb kann man die korrosionshemmende Wirkung dieses Salzes mittels der Phosphatierung des Reinwassers auf 1 bis 5 mg/l ausnutzen.

Cyanide (CN)

Cyanide dürfen auf Grund ihrer hohen Giftigkeit im Trinkwasser nicht nachweisbar sein.

Sie stammen stets aus Industrieabwässern (Härtereien, Galvaniken).

Blei (Pb)

Blei tritt im Grund- und Oberflächenwasser selten auf.

Es kann jedoch aus Bleileitungen bei Vorhandensein von Sauerstoff und freier überschüssiger Kohlensäure Bleibikarbonat entstehen und im Wasser gelöst werden. Dies geschieht verstärkt in Hausanschlußleitungen und Installationen aus Blei während der Wasserstillstandszeit in den Nachtstunden.

Gleichgewichtswasser mit einer Karbonathärte von mindestens 7°dH ist in der Lage, eine Schutzschicht aus basischem Bleikarbonat und Kalziumkarbonat zu bilden.

Wegen der Giftigkeit der Bleiverbindungen beträgt der zulässige Gehalt im Trinkwasser 0,1 mg/l.

Der sicherste Schutz gegen Bleivergiftungen ist das Nichtverwenden von Bleirohren.

Chromverbindungen

Chromverbindungen im Wasser sind stets auf Industrieabwasser-Einleitungen zurückzuführen.

Vor allem die Chrom(III)-Verbindungen sind starke Gifte und müssen daher von Trinkwasser völlig ferngehalten werden.

Arsenverbindungen

Arsen (As) kommt im Grundwasser selten vor.

Erhöhte Gehalte haben geologische Ursachen oder stammen aus Industrieabwässern.

Müssen arsenhaltige Grundwässer für die Trinkwassergewinnung genutzt werden, so ist unbedingt eine Entarsenierung bis auf einen Restgehalt von 0,2 mg/l durchzuführen, oder das Wasser ist mit nichtarsenhaltigem zu verschneiden.

Phenole

Phenole können sich als Zersetzungsprodukte absterbender Algen oder bei der Verwesung von Holz und Laub bilden. Stark phenolhaltig können die Abwässer von chemischen Betrieben, Kokereien und Gaswerken sein.

*Nach den Bemessungsgrundlagen des Amtes für Wasserwirtschaft [3] gelten zwei höchstzulässige Richtwerte für Phenole im Trinkwasser:
bei Chlorung 0,005 mg/l
ohne Chlorung 0,05 mg/l*

Bei der Chlorung phenolhaltigen Wassers bilden sich Chlorphenole, die selbst in sehr großen Verdünnungen noch zu erheblichen Geschmacksbeeinträchtigungen (Apothekengeschmack) führen.

- Die Bildung von Chlorphenolen im Wasser kann teilweise verhindert werden, wenn vor der Chlorung Ammoniak zugesetzt wird. In diesem Fall verbindet sich das Chlor wegen der größeren Affinität mit dem Ammoniak zu Chloraminen.
- Auch die oxydative Zerstörung der Phenole mittels Hochchlorung mit nachfolgender Entchlorung ist möglich.

Härte

Die Härte des Wassers wird durch dessen Gehalt an Kalzium- und Magnesiumverbindungen bestimmt.

Die Karbonate und Bikarbonate dieser Erdalkalimetalle bilden die sogenannte *Karbonathärte* (KH), die mineralsauren Salze (Chloride, Sulfate, Phosphate, Nitrate) des Kalziums und Magnesiums die sogenannte *Nichtkarbonathärte* (NKH).

Die KH wird beim Erhitzen des Wassers stark herabgesetzt, da durch das Entweichen der freien Kohlensäure die Bikarbonate zerfallen und als Karbonate ausflocken [vgl. Gl. (9)].

Im Wasser verbleibt nur die von den Karbonaten gebildete KH, die jedoch sehr gering ist. Die ausfallenden Karbonate bilden den sogenannten Kessel- oder Wasserstein.

Aus diesem Grund wird die KH auch als *vorübergehende* oder *temporäre Härte* bezeichnet.

Im Gegensatz dazu nennt man die NKH *bleibende* oder *permanente Härte*.

Die Summe von KH und NKH ist die *Gesamthärte* (GH).

Als Maß für die Härte sind Härtegrade (°H) festgelegt worden. Die als Index hinzugesetzten kleinen Buchstaben kennzeichnen die Herkunft der Maßeinheiten, z. B.

1 deutscher Härtegrad (°dH) = 10 mg CaO/l Wasser = 7,14 MgO/l

1 französischer Härtegrad (°fH) = 10 mg CaCO₃/l Wasser

1 englischer Härtegrad (°eH) = 10 mg CaCO₃/0,7 l Wasser

1 amerikanischer Härtegrad (ppm) = 1 mg CaCO₃/l Wasser

Für die Umrechnung der Maßeinheiten gelten folgende Faktoren:

1° dH = 1,79° fH = 1,25° eH = 17,8 ppm (Abkürzung für parts per million).

Da sich sämtliche Maßeinheiten für Härtegrade auf Kalziumverbindungen beziehen, sind die Magnesiumsalze, die meist mit weniger als 20 Prozent an der Härtebildung beteiligt sind, entsprechend umzurechnen.

Die Härte des Wassers wird im wesentlichen von der geologischen Beschaffenheit der durchflossenen Bodenschichten beeinflusst, jedoch können auch Abwassereinleitungen oder Auslaugungen von Industrierückständen und Müllkippen an der Aufhärtung beteiligt sein. Nach Klut werden folgende Härtestufen unterschieden:

Gesamthärte in °dH	0 ... 4	4 ... 8	8 ... 12	12 ... 18	18 ... 30	>30
Bezeichnung des Wassers	sehr weich	weich	mittelhart	ziemlich hart	hart	sehr hart

Die Bemessungsgrundlagen [3] sehen für die Gesamthärte als Richtwert mindestens 4°dH und höchstens 30°dH vor. Der Mittelwert liegt bei 8 bis 10°dH.

Die Karbonathärte soll mindestens 2 bis 3°dH betragen, um die Bildung einer Kalk-Rost-Schutzschicht zu gewährleisten.

Von wesentlicher gesundheitlicher Bedeutung ist die Härte des Wassers nicht.

Der Gehalt des Wassers an Ca- und Mg-Salzen ist jedoch in technischer und wirtschaftlicher Beziehung außerordentlich wichtig. Seifen, die aus fettsauren Salzen be-

stehen, bilden mit den Härtebildnern die sogenannte Kalkseife, die in grauen Flocken ausfällt und damit nicht nur dem eigentlichen Waschvorgang verlorenggeht, sondern auch durch die Ablagerungen zu Schwierigkeiten führt.

- Wasser zum Kesselspeisen und für einige gewerbliche Zwecke muß enthärtet oder vollentsalzt werden. In technischem Maßstab geschieht das durch die Zugabe alkalischer Salze (Kalk, Soda), Trinatriumphosphat oder mittels des Basenaustauschverfahrens.

pH-Wert (Reaktion)

Die Reaktion eines Wassers wird meist vom Verhältnis der freien Kohlensäure zur Karbonathärte bestimmt. Der pH-Wert, das Maß für die Reaktion, liegt bei der Mehrzahl der natürlichen Wässer in der Nähe des Neutralpunktes (etwa zwischen pH 6,5 und 7,5).

Ein pH-Wert von < 7 bedeutet saure und von > 7 alkalische Reaktion. Der pH-Wert 7 kennzeichnet den Neutralpunkt.

Schwach saure Reaktion findet man bei weichen, kohlensäurereichen Wässern, wie sie in den Talsperren des Erzgebirges und bei huminsäurehaltigen Wässern aus Moor-gebieten anzutreffen sind. Werden Mineralsäuren im Wasser festgestellt, liegt eine Verunreinigung durch Abwässer vor.

Der pH-Wert des Trinkwassers soll dem Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht entsprechen.

Einige Werte für die KH, freie zugehörige Kohlensäure und den pH-Wert von Gleichgewichtswässern zeigt die folgende Übersicht.

Karbonathärte in °dH	freie zugehörige Kohlensäure in mg/l	pH-Wert
25,5	199,5	6,8
19,4	98,0	7,0
15,8	51,9	7,2
12,9	27,1	7,4
10,7	14,1	7,6
8,8	7,2	7,8
4,7	1,5	8,2
3,1	0,6	8,4
1,9	0,2	8,6

- Die Messung des pH-Wertes ist bei der Wasseraufbereitung ein ausgezeichnetes Mittel, um den Reaktionsablauf verschiedener Reinigungsverfahren, wie Fällungs- und Flockungsreaktionen, Entsäuerung und Enthärtung, zu kontrollieren.

3.1.3. Bakteriologische und biologische Beschaffenheit

Trinkwasser als wichtigstes Lebensmittel muß frei sein von Krankheitserregern und darf keine gesundheitsschädigenden Eigenschaften haben. Auf den direkten Nachweis der Erreger der durch verunreinigtes Wasser übertragbaren Krankheiten, wie Typhus, Paratyphus, Cholera und Ruhr, wird bei den erforderlichen Kontrolluntersuchungen verzichtet.

Moderne Verfahren gestatten den Nachweis pathogener (krankmachender) Keime, sind jedoch recht kompliziert und sehr zeitraubend. Da die genannten Krankheitserreger mit den Ausscheidungen von Mensch und Tier zusammen mit allen anderen darmbewohnenden Organismen in das Wasser gelangen, werden die Darmbakterien *Escherichia coli* als Anzeiger einer fäkalen Verunreinigung benutzt; denn wo *Coli* ist, kann Typhus sein.

Als Kriterium für die allgemeine bakterielle Verunreinigung gilt die Gesamtkeimzahl, die keine Rückschlüsse auf die vorhandenen speziellen Bakterienarten zuläßt.

Der Keimgehalt des Oberflächenwassers, das besonders bakterienreich ist, verringert sich durch die Filterwirkung des Bodens beim Eindringen in den Untergrund. Daher ist Grundwasser aus größeren Tiefen in nichtklüftigen Gesteinen nahezu keimfrei. Quellwässer und uferfiltriertes Grundwasser werden in ihrem Bakteriengehalt stark von großen Niederschlägen und extrem hohen Wasserständen beeinflußt.

Gesamtkeimzahl

Die Gesamtkeimzahl erfaßt schädliche und unschädliche Bakterien und ist daher ein guter Indikator für die allgemeine bakterielle Verunreinigung und für die Reinigungskraft der durchflossenen Bodenschichten. Die noch zulässige Keimzahl beträgt bei Oberflächenwasser 100 Keime/ml und bei Grundwasser 20 Keime/ml.

Bacterium coli

Colibakterien selbst sind als normale Bewohner des Warmblüterdarmes nicht gesundheitsgefährdend. Ihr Vorkommen im Wasser ist jedoch ein Warnzeichen für fäkale Verunreinigungen und die Möglichkeit des Vorhandenseins pathogener Keime.

Der Nachweis von *Bacterium coli* ist bei der bakteriologischen Wasseruntersuchung das wichtigste Verfahren, da es unmittelbar fäkale Verunreinigungen erkennen läßt.

Bei der Untersuchung von abgestuften Wassermengen auf Bacterium coli gibt die geringste Wassermenge, in der noch Coli nachgewiesen wurde, den Colititer an.

Für Trinkwasser soll der Colititer größer als 100 sein, d. h., in 100 ml Wasser darf kein *Bacterium coli* gefunden werden.

Plankton

Um ein umfassendes Bild über ein zu beurteilendes Wasser zu bekommen, müssen neben den physikalischen, chemischen und bakteriologischen Analysen auch biologische

Untersuchungen angestellt werden. Der Vorteil einer biologischen Begutachtung eines Wassers liegt darin, daß sie nicht wie andere Methoden einen Augenblickszustand fixiert, sondern den durch die Entwicklung bedingten Gesamtzustand erkennen läßt und auch Rückschlüsse auf nicht ohne weiteres erkennbare, räumlich entfernte oder zeitlich zurückliegende Verunreinigungen erlaubt.

Die vor allem in den Oberflächenwässern ständig stattfindenden biologischen Prozesse führen zu fortwährenden Veränderungen der Wasserbeschaffenheit. Daran sind alle Mikroorganismen, also auch die im Wasser schwebenden kleinsten Pflanzen und Tiere, das Plankton, beteiligt.

Planktonten halten sich vorwiegend in den oberen Schichten von stehenden und langsam fließenden Gewässern auf und sind in ihrem Wachstum stark vom Nährstoffgehalt des Gewässers abhängig. Schwellenwerte, die maßgeblich ihre Entwicklung beeinflussen, sind meist der Phosphatgehalt oder die Menge an verwertbaren Stickstoffverbindungen.

Um das Algenwachstum in Trinkwassertalsperren einzuschränken, ist es deshalb notwendig, das Einzugsgebiet in Schutzzonen einzuteilen und den Zufluß von stark nährstoffhaltigem Abwasser und von Auswaschungen der mit Kunst- und Naturdünger behandelten Nutzungsflächen zu unterbinden.

Massenentwicklung von Plankton führt besonders bei der Aufbereitung durch Verkürzung der Filterlaufzeiten zu großen Schwierigkeiten und ist oftmals Ursache für Geschmacksbeeinträchtigungen des Trinkwassers.

3.1.4. Richtwerte für Trinkwasser

Im folgenden werden die Richtwerte für Trinkwasser, die in den Bemessungsgrundlagen des Amtes für Wasserwirtschaft [3] festgehalten sind, wiedergegeben. Abweichungen von den gegebenen Richtwerten erfordern eine eingehende Stellungnahme. Nicht in jedem Fall ist bei Nichteinhaltung dieser Richtwerte das untersuchte Trinkwasser zu beanstanden, da nicht nur die Menge, sondern auch die Art der Entstehung der Verunreinigungen (z. B. NH_4 und NO_2) für die Beurteilung maßgebend ist (Tafel 5).

3.2. Anforderung an Betriebswasser

Die in den Richtwerten für Trinkwasser angegebenen Kriterien gelten ebenso für Wasser, das zur Bereitung von Lebensmitteln und zur Reinigung von damit in Berührung kommenden Geräten und Gefäßen verwendet wird.

In vielen Fällen wird in der Industrie Trinkwasser in der Produktion verwendet, obwohl dafür Wasser mit geringeren Qualitätsansprüchen genügen würde. Für manche Verwendungszwecke werden von der Industrie jedoch auch höhere Ansprüche an das Wasser in chemischer Hinsicht gestellt, als für Trinkwasser notwendig ist. So stellen

Tafel 5 Richtwerte für Trinkwasser

Eigenschaften	Dimension	Minimalwert	Mittelwert	Höchstwert
<i>physikalische</i>				
Farbe				farblos
Klarheit				klar
Geruch				geruchlos
Geschmack				frisch
Temperatur		5 °C	7 ... 12 °C	
Abdampfrückstand	mg/l	–	500	1000
Absiebbares	ml/m ³			0,5
<i>chemische</i>				
Kohlensäure	mg/CO ₂ /l	schutzsäureschichtverhindernde Kohlensäure soll fehlen		
Sauerstoff	mg O ₂ /l	6	–	–
Schwefelwasserstoff	mg H ₂ S/l	0	–	–
Eisen	mg Fe/l	–	–	0,1
Mangan	mg Mn/l	–	–	0,05
Ammoniumverbindungen	mg NH ₄ /l	–	–	Spuren
Nitrite	mg NO ₂ /l	–	–	Spuren
Nitrate	mg NO ₃ /l	–	–	50
Chloride	mg Cl/l	–	30	250
Sulfate	mg SO ₄ /l	–	70	250
Phosphate	mg P ₂ O ₅ /l	–	–	Spuren
Blei	mg Pb/l	–	–	0,1
Kaliumpermanganatverbrauch	mg KMnO ₄ /l	0	4 ... 6	12
Gesamthärte	°dH	4	8 ... 10	30
Karbonathärte	°dH	2 ... 3	–	–
pH-Wert		soll dem Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht entsprechen		
<i>Phenole</i>				
bei Chlorung	mg/l	–	–	0,005
ohne Chlorung		–	–	0,05
<i>bakteriologische und biologische</i>				
Keimzahl bei				
Oberflächenwasser	ml	–	20	100
Grundwasser	ml	–	–	20
Bacterium coli		soll in 100 ml Wasser fehlen		

Bei größeren Anlagen und bei Oberflächenwasserfassung ist grundsätzlich ein biologisches Gutachten einzuholen.

z. B. Bleichereien, Färbereien, Papier- und Zellstofffabriken, Stärke- und Zuckerfabriken sowie Brauereien und Wäschereien an den Eisen- und Manganengehalt des Wassers weitergehende Forderungen.

Für Kesselspeisewasser gelten hinsichtlich des Gehaltes an Kohlensäure, Sauerstoff und Gesamthärte besondere Bedingungen.

Industrie-eigene Aufbereitungsanlagen, die häufig nach in der Wasserwirtschaft nicht üblichen Spezialverfahren arbeiten, müssen dann die weitergehenden Qualitätsansprüche garantieren.

3.3. Wasseraufbereitungsanlagen

Die Aufbereitung des in der Natur vorkommenden und erschlossenen Wassers hat den Zweck, es für bestimmte spezielle Verwendungsarten nutzbar zu machen. Dies geschieht, indem chemische und physikalische Verfahren angewendet und biologische Prozesse genutzt werden, die in verschiedener Weise zu dem gewünschten Reinigungseffekt bzw. zu chemisch einwandfreiem Wasser für den menschlichen Genuß oder sonstigen Gebrauch führen.

Robwasser soll schon im allgemeinen weitestgehend den Anforderungen an Trink- und Betriebswasser entsprechen.

Auf natürliche Art gereinigtes und biologisch aufbereitetes Wasser, das keiner weiteren Behandlung bedarf, nimmt heute eine untergeordnete Stellung im Gesamtwasserhaushalt ein.

Der steigende Bedarf zwingt dazu, auch Wasser minderer Qualität zu verwenden, wodurch an die Aufbereitung höhere Anforderungen gestellt werden. Die verschiedenen physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften des Rohwassers erfordern eine individuelle Behandlung des jeweils verwendeten Naturproduktes.

In erster Linie wird die Aufbereitung von Trink- und Betriebswasser behandelt. Auf spezielle Aufbereitungsmethoden für Industriekesselspeisewasser usw. wird auf die hierfür besonders herausgegebene Literatur verwiesen.

Die genannten drei Hauptverfahren der Wasseraufbereitung bilden die Grundlage zur

- physikalischen Aufbereitung durch Verfahren zur Entfernung der ungelösten und kolloidalen Stoffe,
- chemischen Aufbereitung durch Verfahren zur Beseitigung der gelösten Stoffe,
- biologischen bzw. bakteriologischen Aufbereitung durch Verfahren zur Entfernung der unerwünschten und schädlichen biologischen Bestandteile und Entkeimung des Wassers.

Die Lösung solcher Probleme verlangt die Zusammenarbeit von Ingenieuren, Chemikern, Biologen und Hygienikern.

3.3.1. Absetzverfahren

Mechanische Sieb- und Absetzverfahren werden mittels Rechen, Sandfängen, Siebbändern, Siebtrommeln und Absetzbecken durchgeführt.

Rechen

Die Stäbe der Rechen haben meist einen Abstand von 20 bis 50 mm. Zuweilen ist ein Feinrechen nachgeschaltet, dessen Abstand etwa 2 bis 5 mm beträgt.

Es werden vorwiegend noch einfache feststehende Rechenanlagen mit Handbedienung betrieben. Künftig sollen jedoch mehr automatische Greiferrechen mit Rechengutzerkleinerern Anwendung finden. Es ist besonders darauf zu achten, daß bei mechanischen Anlagen dem Wärter Blockierungen und Störungen durch sperrige Güter mittels Signalsystems kenntlich gemacht werden. Ferner müssen alle beweglichen Teile, Lager usw. gut gefettet sein.

Sandfänge werden für besondere Fälle den Einläufen zum Absetzbecken vorgeschaltet.

Je nach den mitgeführten schweren Sinkstoffen und der Größe der Sandfänge erfolgt die Reinigung. Die Größenberechnung richtet sich nach den mitgeführten Mengen der schweren Sinkteilchen.

Siebbänder laufen um 2 rotierende Achsen, die aus Maschendraht von Kupfer, Bronze oder Kunststoffgewebe hergestellt sind.

■ *Je nach Grad der Verschmutzung und erwünschtem Reinigungseffekt beträgt die Maschenweite 0,6 bis 2 mm.*

Eine volle Abdichtung zwischen Band- und Dichtleiste ist nicht möglich, so daß die Verwendung feineren Gewebes wenig Zweck hat.

Die Reinigung geschieht entweder durch Bürsten oder Spülrohre bzw. Düsen in umgekehrter Fließrichtung. Dabei leiten Rinnen das Schmutzwasser ab.

Siebtrommeln oder *Mikrosiebtrommeln* sind aus Siebbändern entwickelt worden. In England erstmals angewendet, haben diese Anlagen für Industriezwecke und als Vorfilter für Aufbereitungsanlagen von Trinkwasser künftig große Bedeutung. Die Siebtrommel läuft um eine zweiseitig gelagerte Hohlwelle mit einer offenen und einer geschlossenen Stirnseite. Die Trommel ist mit einem Stützgerüst umgeben, auf dem einzelne Rahmen mit dem Siebgewebe befestigt sind.

■ *Die Maschenweite ist sehr klein, in der Regel 30 bis 50 μ m, und liegt auf einem Stützgewebe von nichtrostendem Metall von $\approx 2,5$ mm Maschenweite.*

Es soll einem vorzeitigen Verschleiß des sehr feinen Gewebes (Dederon) vorgebeugt werden.

Der Antrieb befindet sich an der geschlossenen Stirnseite (Bild 15 und 17).

Der Filtervorgang läuft wie folgt ab:

- Das Rohwasser fließt in den inneren Raum der Trommel ein und durch das Gewebe nach außen ab. Dabei wird mit einem Wasserüberdruck von 0,15 m WS hinreichende Wirkung erzielt. Die Schwebestoffe und ungelösten Stoffe werden an der Innenseite des Gewebes zurückgehalten und durch immerwährende Drehung der Trommel nach oben gebracht.
- An diesem Punkt wird durch ein Spülrohr oder Düsensystem Reinwasser mit 0,3 at Druck von außen auf das Gewebe gebracht. Der anhaftende Schmutz gelangt in eine angebrachte Spülwasserrinne und wird durch die Hohlachse abgeleitet. Die benötigte Reinwassermenge für Spülzwecke beträgt etwa 1 bis 1,3 Prozent.

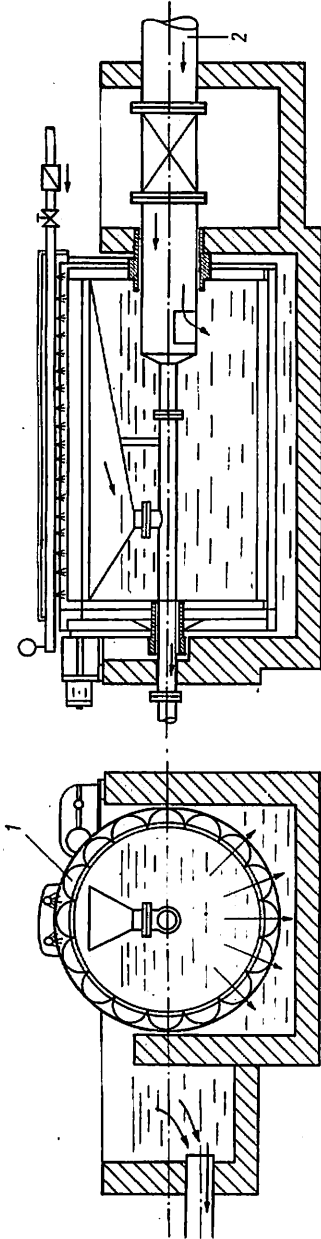


Bild 15. Trommelfilter – System „Pasavant“
 1 Korbbogensieb, 2 Einlauf

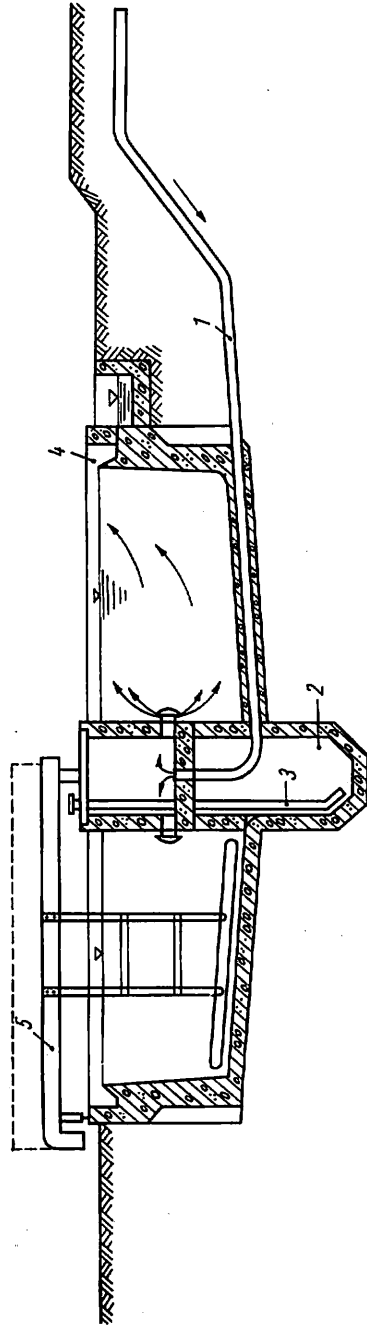


Bild 16. Absetzbecken (rund) mit Schlammräumer
 1 Zulauf Rohrwasser, 2 Schlammraum, 3 Schlammabzugrohr, 4 Klarwasserrohr, 5 Schlammräumer

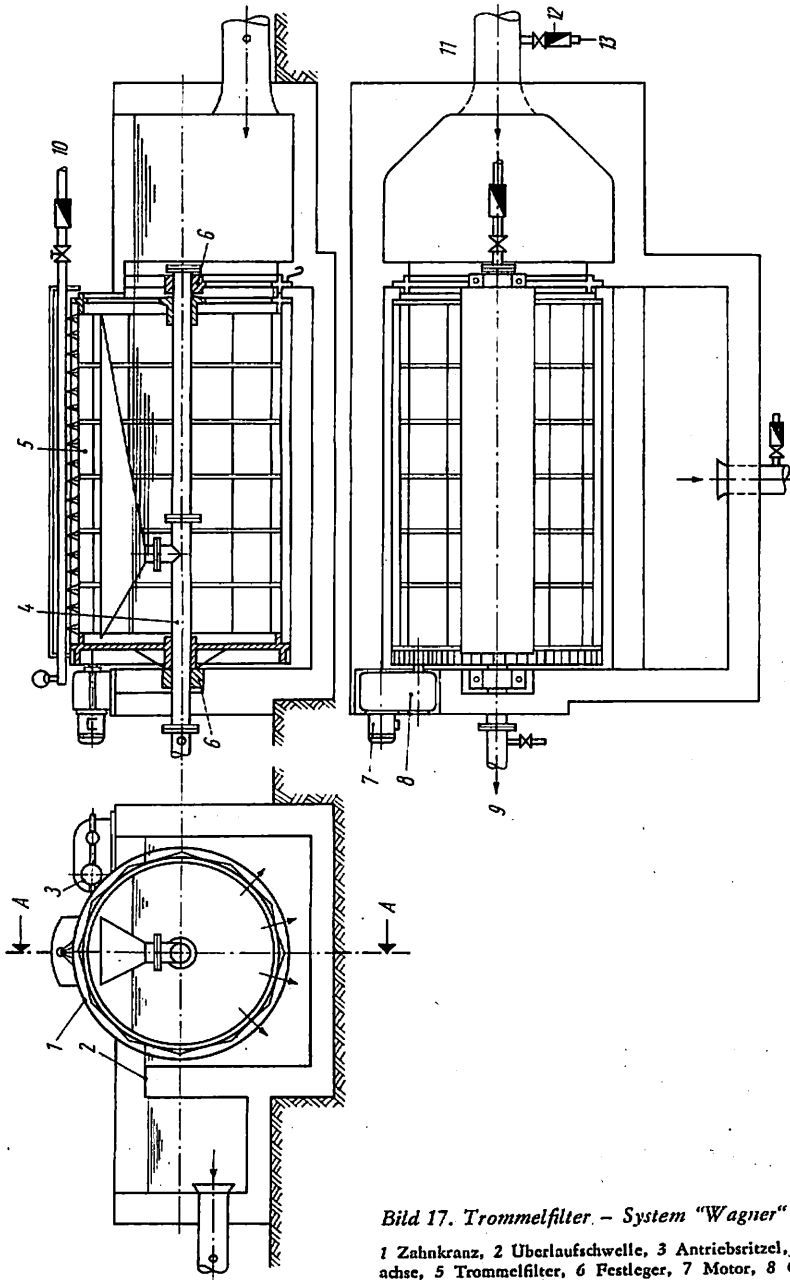


Bild 17. Trommelfilter. – System "Wagner"

- 1 Zahnkranz, 2 Überlaufschwelle, 3 Antriebsritzel, 4 Hohlachse, 5 Trommelfilter, 6 Festleger, 7 Motor, 8 Getriebe, 9 Schlammwasser, 10 Spülwasser, 11 Rohwasser, 12 Flügelradzähler, 13 Planktonentnahmestelle

Die Drehzahl der Trommel wird mit einem stufenlosen Getriebe geregelt, dies ist erforderlich, da die Qualität des Rohwassers jahreszeitlich verschieden ist. Vor allem treten in Talsperren verschiedene Mengen von Plankton auf, die eine entsprechende Einstellung der Umlaufgeschwindigkeiten erfordern.

Die Durchlaufmenge ist abhängig von der Maschenweite des Gewebes, der Umlaufgeschwindigkeit, dem Verschmutzungsgrad des Rohwassers und dem zu erzielenden Effekt. Sie schwankt von $0,08 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ bis $28 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$.

Bei den angegebenen Werten ist freie Siebfläche zugrunde gelegt.

Absetzbecken natürlicher Form sind Seen, Talsperren, Teiche u. ä.

Die Wirkung der Absetzbecken beruht darauf, daß die Durchflußgeschwindigkeit des Wassers durch Querschnittserweiterung verringert wird. Dadurch können sich die ungelösten Stoffe (Schwebestoffe) absetzen.

Die Größenbestimmung von *Absetzanlagen* ist kompliziert, da der Absetzvorgang durch Rohwasserqualität, Temperatur, Reinwassergüte, hydraulische Verhältnisse u. a. beeinflußt wird. Zugrunde zu legende Werte beruhen auf Erfahrungen.

Im Prinzip kann das Absetzbecken nach der Aufenthaltszeit des Rohwassers oder nach der sogenannten Oberflächenbelastung ermittelt werden.

$$t_a = \frac{V}{Q}$$

Darin bedeuten:

V Rauminhalt des Absetzbeckens in m^3

Q Durchfluß in m^3

t_a Aufenthaltszeit in h

Oberfläche = Durchfluß dividiert durch kleinste Sinkgeschwindigkeit.

Kleinste Sinkgeschwindigkeit ist die Geschwindigkeit, welche die kleinsten Schwebestoffe benötigen, um am Ende des Absetzvorganges den Boden des Beckens gerade zu erreichen.

Daraus wird dann die Flächenbelastung definiert; sie entspricht der kleinsten Sinkgeschwindigkeit.

$$\text{Flächenbelastung in } \text{m}^3/\text{m}^2\text{h} = \frac{\text{Durchfluß}}{\text{Oberfläche}}$$

Die Berechnung nach der Sinkgeschwindigkeit ist schwierig, weil in der Trinkwasseraufbereitung die Schwebestoffe in Flockenform mit stark wechselnden Eigenschaften auftreten. Die Absetzzeit schwankt zwischen 1 bis 3 h.

Von besonderer Bedeutung sind die hydraulischen Verhältnisse im Absetzbecken. Es wird laminares Fließen und stabiles Strömen verlangt.

Diese Forderungen führen bei Rechteckbecken zu langen, schmalen und flachen Formen. Ihre Wassertiefe beträgt etwa 2 m, die Breite 5 m und die Länge oft über 50 m. Ältere Becken weisen oft ein Verhältnis von Breite zu Länge wie etwa 1 : 4 auf.

Wichtig ist bei Absetzanlagen auch die gleichmäßige Belastung.

Dazu müssen die Zu- und Abläufe der Becken richtig ausgebildet werden. In den Zulaufgerinnen darf ein Absetzen der Schweb- und Sinkstoffe nicht erfolgen.

Ungünstig beeinflusst wird der Wirkungsgrad von Absetzbecken durch:

- Windströmungen an der Oberfläche
- Einwirkung der auftretenden Temperaturunterschiede auf die Strömung
- Einwirkung auf die Strömung durch Turbulenz, hervorgerufen durch schlechte Einlaufkonstruktion oder Widerstände im Becken

Es werden drei maßgebliche Bereiche im technologischen Ablauf des Absinkens der Schmutzstoffe unterschieden.

- Auswirkung des Einlaufes
- Auswirkungen innerhalb des Absetzbereiches
- Einflüsse am Auslauf des Beckens

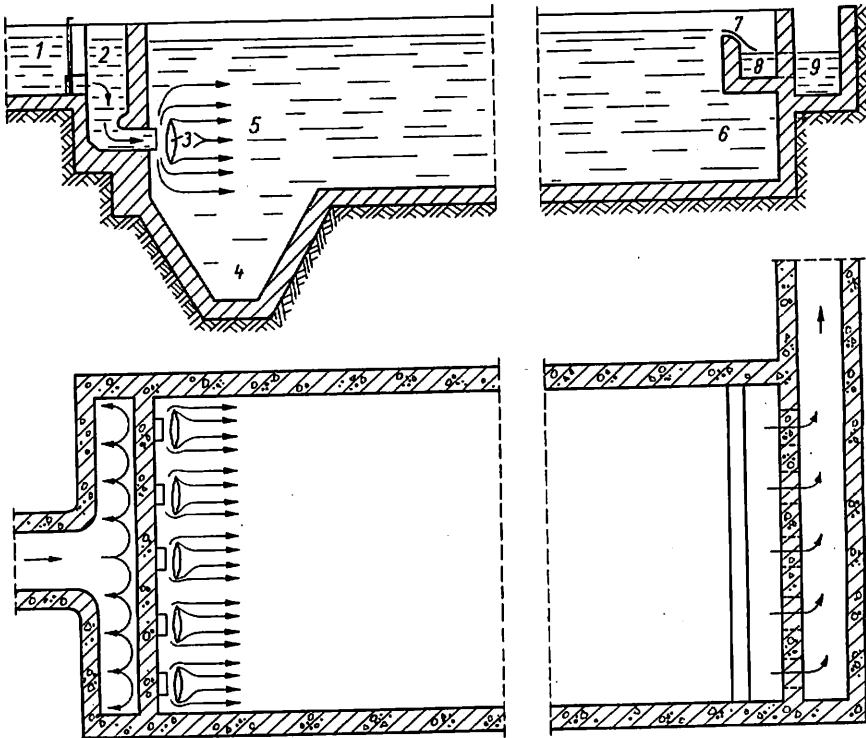


Bild 18. Absetzbecken (rechteckig) mit Pralltellereinlauf (Stengeleinlauf)

1 Rohwasserzulauf, 2 Verteilrinne, 3 Prallteller, 4 Schlammraum, 5 Eintrittsseite, 6 Austrittsseite, 7 Oberlaufschwelle, 8 Entnahmerinne, 9 Klarwasserablauf

Der *Einlauf* ist so anzulegen, daß die turbulente Strömung herabgesetzt und eine gleichmäßige Verteilung zum Beckenquerschnitt erzielt wird. Man ist dabei von Tauchwänden abgekommen und bevorzugt Rohwasserverteilungs Kanäle an der Stirnseite des Rechteckbeckens. Weiterhin gibt es Pralltellereinläufe (Bild 18), gelochte Verteilungswände, T-Rohre und andere Ausführungen.

Die Verteilkanäle oder Rinnen für mehrere Absetzbecken müssen so bemessen sein, daß die Stoffe nicht absinken. Die Geschwindigkeit beträgt in diesen Kanälen 0,3 m/s.

Im *Absetzbereich* sinken die absetzbaren Stoffe zu Boden. Der vorzusehende Schlammraum muß aus der anfallenden Menge und der vorzusehenden Stapelzeit berechnet werden.

Der Absetzbereich ist so zu bemessen, daß der Absetzvorgang unbedingt beendet wird.

Im *Auslaufbereich* wird das abgesetzte Wasser über Auslaufeinrichtungen gesammelt und zur weiteren Behandlung oder Nutzung weitergeleitet. Die den gleichen physikalischen Gesetzen entsprechenden Vorgänge im Rechteckbecken laufen auch im Rundbecken ab.

- Ein wesentlicher Vorteil des Rundbeckens ist, daß die Sinkstoffe zentral gesammelt und abgeführt werden können. Zumeist wird das Wasser in der Mitte eingeleitet und strömt gleichmäßig bei Geschwindigkeitsverminderung der am Rand befindlichen Entnahmerinne zu. Wichtig ist eine genaue horizontale Anordnung der Überlaufschwelle zur Wasserrinne mit eventuellen Dreieck-Verzahnungen (Bild 16).

Die Aufenthaltszeiten im Rundbecken entsprechen etwa denen im Rechteckbecken.

Die Kosten für das Anlegen von Rundbecken sind höher als die für Rechteckbecken.

Bei gleichen Aufenthaltszeiten sind in der Praxis stabilere Strömungsverhältnisse im Rechteckbecken erzielt worden. Außerdem ist für jedes Rundbecken größerer Leistung ein mechanisches Räumgerät notwendig, während für rechteckige Anlagen ein solches für mehrere Becken verwendet werden kann.

Neuerdings werden Mehretagenbecken gebaut mit Zwischenwänden und Bandkratzern. Dadurch sollen der hydraulische Wirkungsgrad und der Entschlammungseffekt erhöht werden.

Mechanisch-chemische Absetzverfahren

Mechanisch-chemische Vorgänge finden in den Absetzvorgängen statt, wenn durch Zugabe von Fällungsmitteln ein größerer Effekt erzielt werden soll. Fast alle Absetzverfahren werden heute in dieser Art durchgeführt, da die meisten Schwebstoffe und Kolloide nur durch Chemikalienzusatz zum Absetzen kommen.

Die bekanntesten Flockungsmittel sind:

Aluminiumsulfat	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$
Eisensulfat	$\text{Fe}(\text{SO}_4) \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$
Eisenchlorid	Fe_2Cl_3

Diese Chemikalien vereinigen sich mit den zunächst noch nicht absetzbaren Stoffen bzw. Kolloiden (elektrische Entladung und Neutralisation), bilden mit ihnen Flocken und sinken als größere Teilchen zu Boden.

Die Temperaturen und der pH-Wert spielen eine beachtliche Rolle beim Flockungsprozeß. Günstige Resultate werden erzielt bei Verwendung von

Aluminiumsulfat pH-Wert	5,5 ... 6,5 und 8 ... 9
Zugabe:	10 ... 50 g/m ³
Eisenchlorid pH-Wert	5,5 ... 6,5 und 8 ... 9
Zugabe:	10 ... 30 g/m ³
Eisensulfat pH-Wert	5,5 ... 6,5
Zugabe:	20 ... 50 g/m ³

Die Verschiedenheit des Rohwassers erfordert fast immer eine individuelle Behandlungsmethode. Es ist festgestellt worden, daß bei zu niedriger Temperatur die Flockung ganz aussetzt oder zu kleine Flockung entsteht, die nicht zum Absetzen führt.

Neuerdings werden zusätzlich aktivierte Kieselsäure, Kalziumkarbonat oder feine Tonteilchen als Flockungshilfsmittel bzw. -beschleuniger angereichert. Die Zugabe erfolgt in gelöstem Zustand.

Aluminiumsulfat wird in Blöcken oder Pulver bezogen, in säurefesten Lösebehältern zu 10 %iger oder 20 %iger Lösung nach etwa 6 h Lösezeit zubereitet und nach errechneter Zugabe dosiert.

Die verwendeten Pumpen müssen säurefest sein; der Betrieb kann automatisch geregelt werden.

Die Lösebottiche sind meist mit einem elektrisch betriebenen Rührwerk ausgerüstet.

Eisenchlorid wird in Pulverform oder granuliert geliefert. Die Lösung wird ebenfalls in säurefesten Behältern hergestellt.

Das Flockungsmittel wird in das Wasser geschüttet und nicht umgekehrt! Infolge seiner hygroskopischen Eigenschaft ist eine Trockendosierung nicht möglich.

Eisensulfat besteht aus leichtlöslichen feinkörnigen Kristallen. Es wird ebenfalls in Wasser in Lösebehältern mit Rührvorrichtung eingefüllt und die Lösung dosiert zugegeben. Durch Zugabe von Chlor aus normaler Chloranlage kann eine wirksame Eisensulfatchloridlösung dem Rohwasser zur Flockenbildung zugeführt werden. Alle zugegebenen Lösungen sind Säuren, die mehr oder weniger ätzend wirken.

Es ist Schutzkleidung, Schutzbrille zu tragen. Für gute Entlüftung des Raumes ist zu sorgen.

Nach der Chemikalienzugabe erfolgt eine intensive Vermischung mit dem Rohwasser.

Die Zugabe des gelösten Flockungsmittels geschieht teilweise in Mischrinnen oder mittels Turbomischern. In den Flockungsbecken befinden sich langsam rotierende Paddel.

Die Aufenthaltszeit beträgt zwischen 20 und 40 min.

Die Zuführung zum Absetzbecken soll strömungstechnisch gut ausgeführt sein, um nicht durch zu hohe Turbulenz die gebildeten Flocken zu zerstören.

Schlammkontaktanlagen

Die Erkenntnis, daß die Erhöhung der Kontaktfolge der Frischflocken mittels langsamlaufenden Rührwerken und der Kontakt mit aktiven Altschlammteilchen die Absetzfähigkeit der Schwebestoffe erheblich beschleunigt, hat zur Entwicklung der Schlammkontaktanlagen geführt. In diesen sind die Arbeitsgänge Mischung, Flockung und Absetzen vereinigt. Dadurch wird eine weitgehende Automatisierung des Betriebes erreicht, und Raum und Chemikalien können eingespart werden.

In der Verfahrenstechnik wird dabei unterschieden zwischen

- Schwebefilterverfahren und
- Schlammkontaktverfahren mit starkem Schlammwasserkreislauf

Beim Schwebefilterverfahren durchströmt das bereits mit den Chemikalien versetzte Rohwasser das Aggregat von unten nach oben und passiert eine Zone, in der sich Flocken in Schwebefilter befinden.

Nach diesem Prinzip arbeitet die in der Sowjetunion entwickelte sogenannte Korridor-Anlage (Bild 19).

Die Schwebefilterzone mit einer Höhe von mindestens 2,0 m wird oben von den Überleitungsöffnungen zum Eindickungsraum begrenzt. Die Querschnittserweiterung in dieser Ebene bewirkt eine plötzliche Verringerung der Aufstiegs geschwindigkeit, wodurch eine scharfe Trennung zwischen Klarwasser- und Schwebefilterzone eintritt. Das Klarwasser wird über die Klarwasserabzüge, die im Mittelteil regulierbar sind, abgezogen.

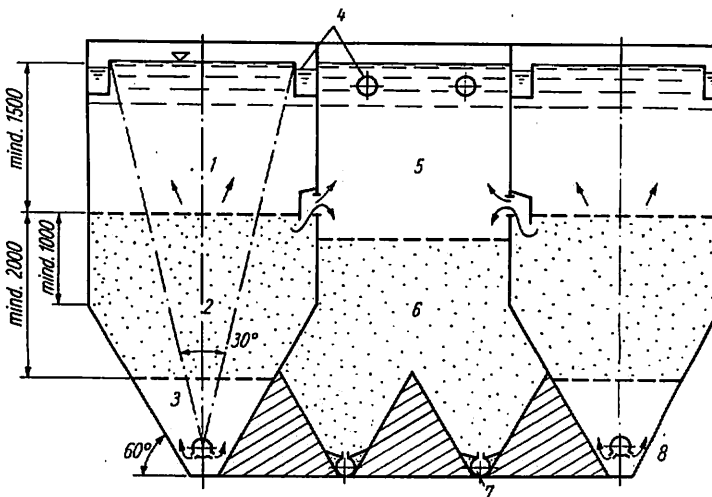


Bild 19. Schlammkontakt-Kläraggregat Typ „Korridor“

1 Klarwasserzone, 2 Schwebefilterzone, 3 Reaktionszone, 4 Klarwasserabzug, 5 Klarwasserzone, 6 Schlammverdickzone, 7 Schlammwasserabzug, 8 Rohwasserzulauf

Das Entfernen des eingedickten Schlammes erfolgt kontinuierlich aus dem Mittelteil (Korridor).

Die zulässige Aufstiegs geschwindigkeit in der Rohwasserzone beträgt 1,8 bis 3,6 m/h und ist von Rohwasserqualität, Art und Menge der eingesetzten Flockungsmittel abhängig.

Schwebefilteranlagen sind sehr empfindlich gegenüber wechselnden Betriebsbedingungen, wie Unter- und Überbelastungen und Schwankungen der Rohwassergüte.

Beim Schlammkontaktverfahren mit starkem Schlammwasserkreislauf bewirkt eine Umwälzpumpe das Mischen mit den zugesetzten Chemikalien und dem Kontaktschlamm. Sie erzeugt einen Kreislauf innerhalb der Anlage, der etwa das 2- bis 5fache der Rohwassermenge ausmacht. Dadurch wird die Höhe der Reinwasseraustrittsflächen, eine plötzliche Veränderung der Fließrichtung und der Wassergeschwindigkeit erreicht, die zur Trennung von Schlammwasser und Reinwasser führt. Der Überschussschlamm wird mittels eines langsam laufenden Schlammräumers dem Schlammtrichter zugeführt und von dort abgezogen.

Die Aufstiegs geschwindigkeiten liegen bei 2,9 bis 4,3 m/h. Anlagen dieser Art sind der Accelator und der Reaktivator (Bild 20).

- Gegenüber den Schwebefilteranlagen erfordern Anlagen mit starkem Schlammwasserkreislauf einen höheren Ausrüstungsaufwand, jedoch sind sie gegen Schwankungen der Wassergüte und der Wassermenge weitgehend unempfindlich.

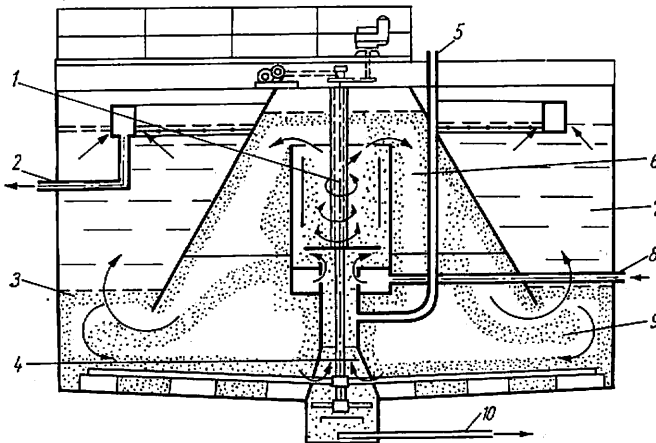


Bild 20. Reaktivator

1 Schnellmischung und Umwälzung, 2 Reinwasserabfluß, 3 Reinwasseraustrittsfläche, 4 Kontaktschlammumwälzung, 5 Chemikalienzusatz, 6 Langsam Mischung und Flockenbildung, 7 Reinwasser, 8 Rohwasserzulauf, 9 Absctzzone, 10 Schlammwasser

3.3.2. Filteranlagen

Filtration ist die wichtigste Verfahrenstechnik in der Wasseraufbereitung. Ungelöste feste Substanzen werden beim Durchgang durch poröses oder anderes Filtermaterial von dem flüssigen Medium getrennt. Diese Substanzen, wie z. B. Kolloidal oder gelöste Eisenverbindungen, sollen entsprechend vorbehandelt und in eine gelöste Form übergeführt werden.

Die Filteranlage kann in der Wasseraufbereitungsanlage als Kernstück bezeichnet werden.

Im wesentlichen dienen die Filter zur Entfernung von Farbe, Geruchs- und Geschmacksbeeinträchtigungen sowie zur Enteisung, Entmanganung, Entsäuerung, Enthärtung und Entsalzung.

Die Filter sollen folgende Verunreinigungen aus dem Rohwasser zurückhalten:

- anorganische und organische, belebte und unbelebte Sink- und Schwebstoffe
- kolloidale Trübstoffe
- Farbe, hervorgerufen durch feste kolloidale und gelöste Stoffe
- Hydroxide (entstehen erst bei der Enteisung und Entmanganung)

Arten der Filter

Grundlage für die Entwicklung der Filtertechnik in der Wasseraufbereitung bildet der Langsandsandfilter. Das Prinzip der Langsandsandfiltration ist mit der in der Natur vorkommenden natürlichen Bodenfiltration gleichzusetzen. Um schneller und rationeller die Aufgaben, die hauptsächlich auf die Schönung und Entkeimung des Wassers begrenzt sind, lösen zu können, wurden Schnellfilter entwickelt.

Wesentliche Vorteile des Schnellfilters gegenüber dem Langsamfilter sind:

- höhere Filtergeschwindigkeiten
- betrieblich vorteilhaftere Reinigung des Filterbetts
- größere Schlammaufnahmefähigkeit

Schnellfilter werden unterteilt:

nach der Bauweise in

offene und geschlossene Schnellfilter

nach der Betriebsweise in

Einstufen- oder Mehrstufenfilter sowie Einkammer- und Mehrkammerfilter.

Einstufenfilter

Die Filtration erfolgt nur in einer Stufe, d. h., das Wasser durchläuft nur ein Filterbett und wird dann dem Verwendungszweck zugeführt. Einstufenfilter sind dann Einkammerfilter, wenn nur ein Filterbehälter betrieben wird.

Mehrkammerfilter werden dadurch charakterisiert, daß sie zwei oder mehrere Filterbehälter oder zwei oder mehrere Filterkammern in einem gemeinsamen Behälter parallelgeschaltet haben.

Mehrstufenfilter

Bei Mehrstufenfiltern sind zwei oder mehrere Filterbehälter oder -kammern in einem gemeinsamen Behälter hintereinandergeschaltet. Daraus ist zu erkennen, daß Mehrstufenfilter dann angewendet werden, wenn die an das Reinwasser gestellten Qualitätsforderungen erhöht werden.

Ein-, Zwei- und Mehrschichtfilter

Grundlage für das Charakteristikum der Ein-, Zwei- oder Mehrschichtfilter ist der Filterbettaufbau, Einschichtfilter sind aus gleichartiger Filtermasse bezüglich Material- und Korngröße, Mehrschichtfilter mit gleichartigem Material verschiedener Korngrößen aufgebaut. Zweischichtfilter besitzen in der Regel ein Filterbett aus verschiedenartiger Filtermasse in bezug auf Material und Korngröße, wie z. B. Quarzkies- und Anthrazit-Filtermaterial.

In diesem Zusammenhang wird es nicht für erforderlich gehalten, auf weitere Filterarten einzugehen, wie z. B. Immediumfilter, Ionenaustauscher, Anschwemmfilter und Kerzenfilter.

Filtration mit Langsamfiltern

In Langsamfiltern erfolgt eine gleichzeitige mechanische und biologische Reinigung.

Der *mechanische Effekt* beruht auf der Durchdringung der bis zu 1,5 m hohen Sandschicht des Filters, wobei sich das Wasser mit einer Geschwindigkeit von 0,15 bis 0,30 m/h bewegt. Im Wasser enthaltene Schwebe- und Quellstoffe werden dabei fast restlos zurückgehalten.

Die *biologische Reinigung* vollzieht sich in einer gallertartigen Schicht aus organischen Stoffen, die sich an der Filteroberfläche bildet. Fast alle im Wasser enthaltenen Keime werden in dieser Schicht zurückgehalten.

Die Reinigung der Langsamfilter erfolgt, indem von Zeit zu Zeit die biologisch aktive Schicht einschließlich der darunterliegenden Sandschichten von etwa 5 cm Dicke beseitigt werden. Hat die Kiesschicht ein bestimmtes Mindestmaß erreicht, so wird der Filter wieder aufgefüllt. In bestimmten Zeitabständen, die ein bis fünf Jahre betragen können, ist das gesamte Filtermaterial auszuräumen und zu waschen. Die 0,4 bis 0,5 m hohe Stützsicht sollte hierbei ebenfalls gereinigt und neu gesetzt werden.

Wegen der geringen Filtergeschwindigkeit benötigen die Langsamfilter eine große Filterfläche. Sofern ungünstige Platzverhältnisse vorliegen, können Langsamfilter nicht eingesetzt werden. Aus diesem Grund ist der an sich sehr gut und wirtschaftlich arbeitende Langsamfilter mehr und mehr vom Schnellfilter ersetzt worden.

Filtration mit Schnellfiltern

Der Filtrationsvorgang mit Schnellfiltern erfolgt durch Sieb-, Absatzwirkung, durch katalytische und adsorptive Vorgänge sowie durch chemische Wirkung.

Folgende Faktoren beeinflussen den Filtrationsvorgang:

- die Korngröße des Filtermaterials
- die Filtergeschwindigkeit
- die Filterbettiefe
- die Rohwasserbeschaffenheit

3.3.3. Anlagen zur Beseitigung gelöster Stoffe

Bei der Gewinnung von Industrierwasser müssen vor allem besonders schädliche gelöste Stoffe aus dem Rohwasser entfernt werden. Das sind hauptsächlich

- die freie bzw. hochaggressive Kohlensäure,
- Schwefelwasserstoffgase, die beton- u. eisenzerstörend wirken, sowie
- die gelösten Eisen- und Manganverbindungen.

Für Trinkwasser ist eine Entkarbonisierung (Enthärtung) nicht so notwendig wie für Kesselspeisewasser, Wasser für die chemische und Textilindustrie.

Sauerstoff ist ebenfalls eisen- und betonzerstörend, allerdings muß zu einer Schutzschichtbildung für metallische Rohre bei sauerstoffarmem Wasser Sauerstoff zugeführt werden.

Mechanische und chemische Entsäuerung

Durch Zufuhr von Luft mit hohem CO_2 -Gehalt findet im Rohwasser eine Entsäuerung statt. Schwefelwasserstoffgase werden entfernt, und das Wasser wird geruch- und geschmacklich verbessert.

Die Oxydation von Eisen und Mangan führt zur Flockung und zur besseren Ausscheidung dieser Stoffe.

Eine intensive Berührung mit Luft setzt voraus, daß das Rohwasser in feinsten Strahlen oder Tropfen versprüht wird.

Man verwendet dazu verschiedene Düsen, Kaskaden, Riesler, Stabwalzen usw.

Die Verdüsung kann sowohl im Freien als auch in geschlossenen Kammern erfolgen. Das Wasser wird durch ein Rohrverteilsystem entweder von oben nach unten oder umgekehrt durch eingesetzte Düsen verschiedener Art versprüht. Es werden Pralltellerdüsen, Horndüsen, Kreiselkraftdüsen, Injektordüsen und andere verwendet. Für die Belüftung zum Ausscheiden von Eisen genügen Pralltellerdüsen, während für das Binden der gasförmigen Stoffe Düsen mit guter Feinsprühung bevorzugt werden.

In geschlossenen Räumen ist eine gute Durchlüftung vorzusehen, die entweder durch Fenster mit Jalousien oder mittels Ventilatoren erreicht wird. Um einer Vereisung der Wände des Belüftungsraumes im Winter vorzubeugen, wird eine zweite Wand mit Abstand, eventuell als Umgang, gebaut. Da die abzuleitenden Gase aggressiv wirken,

muß für Fenster, Rahmen, Luftkanäle, Maueröffnungen usw. beständiges Material verwendet werden, wie z. B. Plaste, Keramik oder besondere Schutzanstriche (Bild 21).

Für Berechnungen der Verdüsung gilt:

- Düsenabstand etwa 1,0 m,
- Flächenbelastung allgemein 3 bis 6 m³/m²h.

Technische Daten

- für Pralltellerdüsen
Vordruck etwa 250 mm WS, Durchsatz etwa 4 bis 6 m³h.
Sprührichtung von oben nach unten, Fallhöhe 3 bis 4 m.
Entsäuerungseffekt 50 bis 70 Prozent.

Zur Belüftung für die Enteisung:

- für Kreiselkraftdüsen
Vordruck etwa 10 m WS, Durchsatz je nach Anschlußquerschnitt 3,5 bis 8,0 m³/h, Verdüsung von unten nach oben, Spritzhöhe etwa 3 bis 4 m. Hauptanwendung Entgasung, Wirkungsgrad 50 bis 70 Prozent.
- für Horndüsen
2 schräg nach oben gerichtete Wasserstrahlen prallen an eine Zwischenwand. Durchsatz etwa 2,5 bis 5,0 m³/h.
Vordruck 5 bis 10 m WS, Spritzhöhe etwa 2 bis 2,5 m.
Horndüsen werden wenig verwendet, Nachteile durch Verockerung.
- für Injektordüsen
Durchsatz von oben nach unten, Leistung wie bei Pralltellerdüsen. Durch injektorähnliche Ausführung soll Luft aus der Umgebung dem Wasserstrahl sofort beigemischt werden (Bild 22, 23 u. 24).

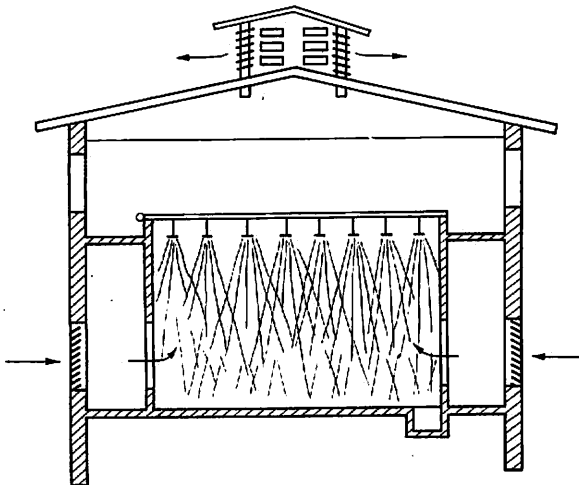


Bild 21. Pralltellerverdüsung mit natürlicher Belüftung

Kaskadensystem

Bei dieser Anlage (Bild 25) gelangt das Wasser von oben über eine Anordnung von Stufen fein verteilt nach unten und nimmt dabei meist so viel Sauerstoff auf, wie für die Enteisenung notwendig ist.

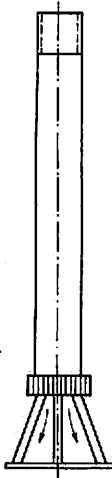


Bild 22
Pralltellerdüse

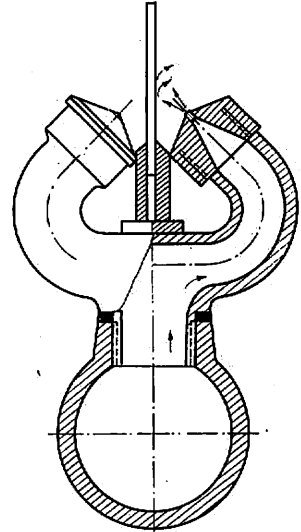


Bild 23
Amsterdamerdüse

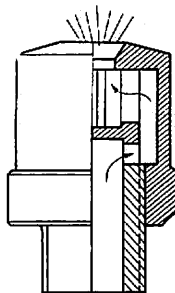


Bild 24
Kreiseldüse

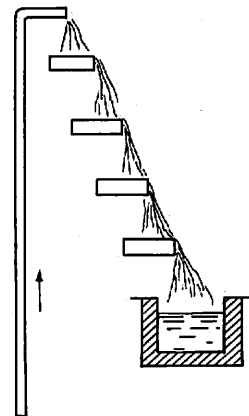


Bild 25. Kaskadenverdüsung
(Schema)

Der Berechnung werden die Überlaufkanten zugrunde gelegt, man nimmt etwa eine Belastung bis $70 \text{ m}^3/\text{mh}$ Überlauf an. Vergleiche haben gezeigt, daß der Durchsatz dem von Pralltellerdüsen annähernd gleicht.

Bau und Betrieb von Kaskadenanlagen sind im Vergleich zu Düsenkonstruktionen billiger.

Rieselanlagen

Sie werden nur noch in Sonderfällen angewendet.

Das zu belüftende Wasser läuft über eine Schicht von Koks, Holz, Ziegeln oder Schlackenmaterial.

Teilweise wird das Wasser über dem Füllmaterial auch durch Düsen versprüht, so daß sowohl ein Entgasen als auch ein Zurückhalten von ungelösten Stoffen erfolgt. Das Reinigen des verschmutzten Füllmaterials ist jedoch sehr aufwendig.

Eine weitere Art der Belüftung ist die Anwendung von Stabwalzen. Sie werden hauptsächlich für die biologische Behandlung von Abwasser eingesetzt. Versuche zur Entfernung der aggressiven Kohlensäure sind dabei sehr erfolgreich verlaufen.

Druckbelüftung

Dem Rohwasser wird zur Entfernung von gelösten Eisenverbindungen Luft in die unter Druck stehenden Förderleitungen zugeführt. Mittels Verdichters wird die Luft bei etwa 2 at Überdruck in die Druckwasserleitung oder in die Druckfilter gepreßt. Zur guten Vermischung mit dem Rohwasser befindet sich ein Luftmischer (Bild 27) in der Leitung. Das ist ein kleiner Kessel mit eingebauten Leit- oder Prallblechen.

Eine andere Art der Druckbelüftung wird durch Verwendung von Filterkerzen aus porösem keramischen Material erreicht. In den inneren Hohlraum der Kerzen wird Luft gedrückt, die Kerzen werden vom Rohwasser umflossen, wobei durch die feineren Poren die Luft austritt und eine gute Vermischung erzielt wird. Für größeren Sauerstoffbedarf wählt man Druckgefäße, als Oxydatoren bekannt. In diese Kessel wird ein Kontaktmaterial (Kies oder Basalt) gefüllt. Das Wasser fließt von unten nach oben durch einen Düsenboden. Ebenfalls von unten wird die Druckluft zugeführt. Die Kessel werden so berechnet und gebaut, daß Geschwindigkeiten von 70 bis 100 m/h erzielt werden. Die meist zuviel eingebrachte Luft muß durch gute Entlüftung im oberen Teil des Oxydatoren entfernt werden (Bild 26).

Chemische Entsäuerung

Die chemische Entsäuerung in der Trinkwasseraufbereitung bewirkt hauptsächlich ein Entfernen der kalkaggressiven Kohlensäure. Dies wird erreicht durch Zugabe von Chemikalien oder durch Filterung über alkalische Materialien. Dabei erhöht sich die Karbonathärte des Wassers.

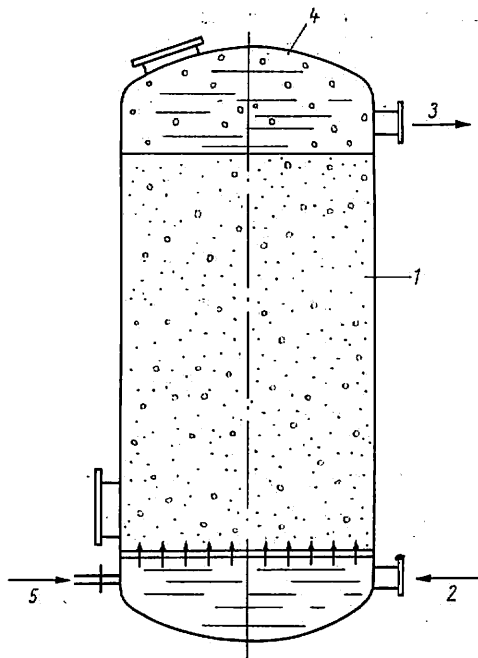


Bild 26. Luftmischer Oxydator

1 grober Kies oder Splitt, 2 Wasserzulauf, 3 Wasserablauf, 4 Entlüftung, 5 Luftzuführung

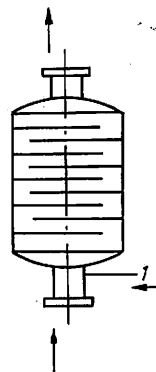


Bild 27. Luftmischer

1 Luftzuführung

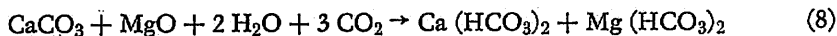
Marmorentsäuerung

Obwohl heute kaum noch mit Marmor (CaCO_3) entsäuert wird, soll diese Art erwähnt werden.

Der Anwendungsbereich beschränkt sich auf weiches Wasser, das eisen- und manganfrei ist und keinen zu hohen CO_2 -Gehalt aufweist. Die Reaktionszeit ist beträchtlich, so daß hohe Filterschichten erforderlich sind. Obwohl bei Marmorentsäuerung nur geringe Wartung nötig ist und sich von selbst ein Gleichgewichtszustand einstellt, überwiegen doch die Nachteile gegenüber anderen Verfahren.

Decarbolithentsäuerung

Decarbolith ist ein aus Dolomit bei etwa 700°C gebranntes Filtermaterial. Es besteht aus CaCO_3 und MgO und wird in verschiedenen Körnungen geliefert. Die Reaktionsgleichung dieser Entsäuerung lautet:



Zur Bildung von 1 g kalkaggressiver Kohlensäure je Liter werden 1,3 bis 2,0 g Decarbolith benötigt. Dabei steigt die Karbonathärte um etwa $0,1^\circ$.

Decarbolith wird in offenen oder geschlossenen Schnellfiltern als Füllmaterial eingebracht.

Über den Düsen ist eine Stützschiicht von etwa 20 cm Höhe erforderlich. Es wird dafür Kies oder Rohcarbolith mit einer Körnung von 4 bis 6 mm verwendet. Die darüberliegende Schicht ist bei offenen Schnellfiltern 1,0 bis 1,5 m und bei geschlossenen bei 2,5 m hoch, die Korngröße 0,5 bis 3,0 mm.

Die Filtergeschwindigkeit ist je nach Rohwasserqualität verschieden. Sie läßt sich rechnerisch festlegen. Für Rohwasser mit mehr als 10 bis 12 °dH soll Decarbolith nicht verwendet werden.

Bei Wasser mit mehr als 30 bis 40 mg Kohlensäure je Liter soll zweistufig gefahren oder eine Belüftung vorgeschaltet werden.

Decarbolith verbraucht sich und muß nach 10 Prozent Schwund nachgefüllt werden.

Die Rückspülung erfolgt wie beim Kiesfilter. Das Filtrat kann erst nach Einstellung des pH-Wertes 9 zum Reinwasserbehälter geleitet werden. Die Spülzeit wird nach den örtlichen Verhältnissen sowie entsprechend der Aufbereitungsart festgelegt.

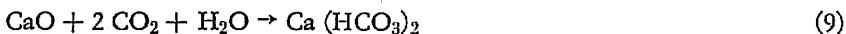
Decarbolithanlagen weisen den größten ökonomischen Nutzen bei Kapazitäten von 500 bis 1500 m³/d auf. Das Entfernen der kalkaggressiven Kohlensäure soll dabei selbsttätig vor sich gehen, so daß nur eine geringe Wartung nötig ist.

Das Ein- und Nachfüllen von Decarbolith soll unter Wasser erfolgen (Vermeidung von Staubeentwicklung und zur Düsenschonung). Während des Einfüllvorganges soll der Filter öfter rückgespült werden; während der ersten Woche des Betriebes einmal täglich.

Kalkzugabe

Die Kalkbehandlung wird nur für mittlere und größere Anlagen angewandt, da sie genau überwacht werden muß. Die Zugabe ist so zu bemessen, daß Kalkablagerungen im Rohrsystem vermieden werden. Zur Herstellung von Kalkmilch oder Kalkwasser, die dem Rohwasser zugeführt werden, wird Branntkalk (CaO), am häufigsten Kalkhydratmehl verwendet.

Die Reaktionsgleichung dazu ist:



Um 10 g kalkaggressive Kohlensäure zu binden, werden 6,4 g Branntkalk benötigt. Die Härte steigt, da 1 °dH \cong 10 mg CaO/l, um 0,64 °dH.

Bei hohem Gehalt an freier überschüssiger Kohlensäure wird vor der Kalkzugabe eine Belüftung vorgeschaltet, so daß weniger Chemikalien erforderlich sind. In größeren Betrieben wird noch stückiger Branntkalk zu Kalkmilch oder Kalkwasser aufbereitet. Weil dieses Verfahren aber einen großen Aufwand an technischen Anlagen erfordert, setzt sich immer mehr die Anwendung des fertigen Kalkhydratmehles [Ca(OH)₂] durch.

Kalkhydrat wird in Papiersäcken angeliefert oder für großen Bedarf lose in Silofahrzeugen transportiert und pneumatisch in Bunker befördert. Von dort wird es den Kalklösebehältern zugeleitet.

In Kalklösebehältern (TGL 27-67161) werden Wasser und Kalkhydrat mittels Rührwerken gemischt. Nach den Betriebsdaten wird eine bestimmte, für eine Betriebsperiode reichende Kalkmilch gewünschter Konzentration in diesen Behältern angesetzt. Man füllt erst Wasser ein und gibt Kalkmehl bei laufendem Rührwerk hinzu. Rückstände sind durch Entleeren zu entfernen. Es sollen nicht mehr als 50 kg Ca(OH) in 1 m³ Wasser gelöst werden. Diese Kalkmilch wird nur in speziellen Fällen direkt verwendet. Durch weitere Zugabe von Wasser erhält man Kalkwasser mit einer Konzentration von 1,0 bis 1,1 kg/m³, die Härte des Kalkwassers beträgt bei einer Temperatur von 10 bis 20 °C etwa 100 °dH.

Dieser Vorgang findet in Kalksättigern statt, die aus Stahlblech gefertigt sind, deren unterer Teil spitzkegelig, der obere Teil zylindrisch ist. Die Kalkmilch und das Lösewasser werden von unten zugeführt.

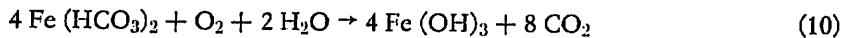
Die Geschwindigkeit soll im zylindrischen Teil 0,7 bis 0,8 m/h betragen. Die Verweilzeit darf nicht kleiner als 3 h sein.

Neuerdings wird Kalkmilch dem Kalksättiger kontinuierlich zugegeben, wodurch ein besserer Wirkungsgrad erreicht wird.

Da alle mit Kalk betriebenen Aufbereitungsanlagen durch Ausscheiden der Rückstände verschlammten und verstopfen, sind immerwährende gründliche Reinigungsarbeiten erforderlich (Bild 28).

Enteisung

Enthält Rohwasser mehr Eisen als 0,1 mg/l, so muß das Eisen entfernt werden. Am meisten ist es als Eisenbikarbonat Fe(HCO₃)₂ im Wasser gelöst enthalten. Durch Zuführung von Luft geht es leicht in die unlösliche Form des Eisenhydroxids über.



Bei Eisensulfat führt die gleiche Methode zum Ziel. Dabei frei werdende Schwefelsäure wird durch Zugabe von Kalk neutralisiert.

Man unterscheidet folgende drei Vorgänge:

- Umwandlung des gelösten zweiwertigen Eisens durch Zuführung von Luft in unlösliches dreiwertiges Eisen
- Ausflockung, begünstigt durch Zugabe von Flockungsmitteln
- Zurückhaltung in Absetzanlagen oder Schnellfiltern

Für die Enteisung haben sich Filter mit Düsenboden bewährt.

Als Filtermaterial für geschlossene Druckfilter wird Kies mittlerer Korngröße von 0,8 bis 1,2 mm und einer Schichthöhe von 2 m eingebracht. Bei höherem Eisengehalt wird eine zweistufige Filtration vorgenommen.

Die Filtergeschwindigkeiten sind abhängig vom Filtermaterial, von der Schütthöhe, von der Rohwasserbeschaffenheit und liegen bei 5 bis 15 m/h.

Zur Oxydation von 1 mg Fe werden 0,14 mg O₂ benötigt.

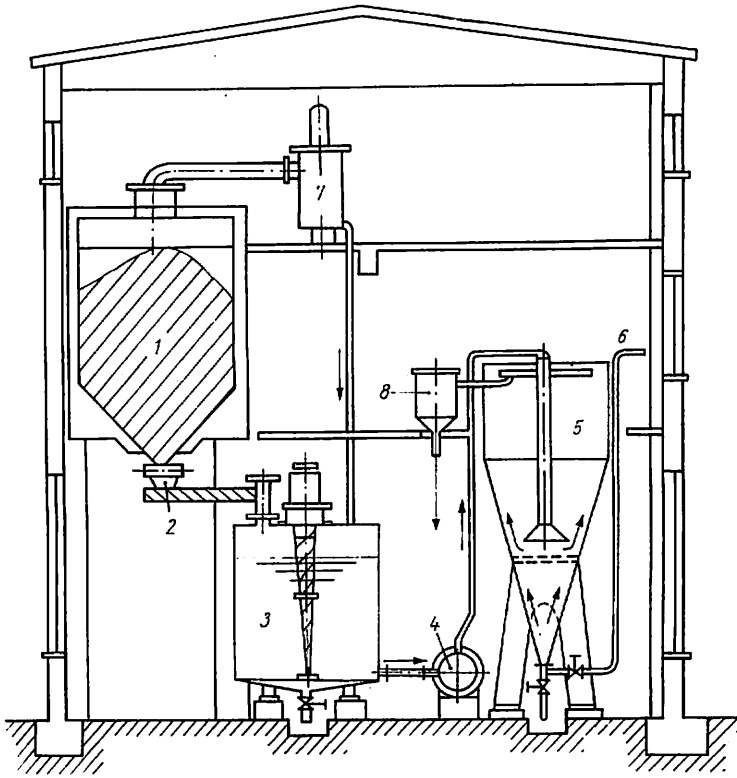


Bild 28. Kalkanlage (Schnitt)

1 Kalkbunker, 2 Förderschnecke, 3 Kalkmilchbehälter, 4 Dosierpumpe, 5 Kalksättiger, 6 Lösewasser, 7 Naßstaabscheider, 8 Kalkwasserverteiler

Die Rückspülung ist sorgfältig nach dem Verfahren Luft-Luft-Wasser durchzuführen. Zur Stabilisierung des pH-Wertes ist meist eine Kalkwasserzugabe notwendig. Für offene Anlagen werden Düsen-Kaskaden und Rieslerbelüftung angewendet.

Beträgt der Eisengehalt unter 5 mg/l, so genügt die einfache Filtration über normale Schnellfilter mit Filtergeschwindigkeiten bis 6 m/h. Die Korngröße des Filtermaterials soll 0,8 bis 1,2 mm sein, die Schichthöhe 1,5 m betragen.

Bei schwierigen Enteisenungen sind besondere Vorbehandlungen des Rohwassers unerlässlich, z. B. in Absetz- oder Reaktionsbecken mit Paddelrädern, Durchlaufzeit etwa 2 h, Zugabe von Flockungsmitteln u. ä.

Durch Dosierung von Oxydationsmitteln, wie Chlor und Chlorverbindungen, sowie Zusatz von Kalk wird auch organisch gebundenes Eisen ausfällbar.

Die Vorgänge bei der Ausscheidung des Eisens zeigen, daß nicht nur eine Siebwirkung vorhanden ist, sondern auch katalytische Kontaktreaktionen mit dem Kies und den ausgeschiedenen Stoffen die Filtration beeinflussen.

Da viele Faktoren bei der Enteisung eines Rohwassers zu beachten sind, kann keine Regel für die erforderlichen Methoden aufgestellt werden. Sie sind vielmehr erst nach entsprechenden Laborversuchen festzulegen.

Entmanganung

Mangan im Wasser wirkt sich vor allem ungünstig im Rohrnetz (schnelles Zusetzen) sowie im Haushalt (braune Wäsche) aus. Es tritt meist zusammen mit Eisen auf. Es gibt zwei Verfahren der Aufbereitung, die chemische und die biologische Behandlung. Wie Eisen ist Mangan als Bikarbonat $[\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2]$ oder als Sulfat (MnSO_4) im Rohwasser vorhanden. Da eine Oxydation nur im alkalischen Zustand des Wassers möglich ist, soll der Entmanganung eine Entsäuerung vorgeschaltet werden. Die sich bildende Kohlen- und Schwefelsäure müssen durch entsprechende Kalkzugabe mit gebunden sein.

Durch Abspalten von CH -Ionen bildet sich Mangandioxid (MnO_2 , Braunstein). Dieses lagert sich auf dem Filterkies des Druckfilters ab und übt eine starke Adsorption auf das im Wasser gelöste Mangan aus. Je stärker diese Schicht wird, um so besser ist die Wirkung der Filtration. Die Einarbeitung bis zur Erzielung eines guten Effekts dauert längere Zeit. Man gibt zur Verkürzung dieser Einlaufzeit entweder Kaliumpermanganat oder Filterkies, etwa 20 bis 25 Prozent, welcher bereits in einer Entmanganung verwendet worden war, zu. Wenn das gesamte Filtermaterial mit Braunstein behaftet ist, ist eine Belüftung nicht mehr erforderlich.

Meist werden druckfeste Kessel mit Kiesfüllung und den sonstigen Einrichtungen für Rückspülung, Ent- und Belüftung, Düsenboden usw. angewendet.

Die Filtergeschwindigkeit beträgt bei Entmanganung bis zu 20 m/h, das Filterkorn 1,0 bis 3,0 mm, die Schichthöhe bis 2,0 m. Sind schwer ausscheidbare Schutzkolloide vorhanden, so erzielt man gute Ergebnisse durch Anwendung von Flockungsmitteln, wie Aluminiumsulfat, Eisenchlorid oder Kaliumpermanganat. Ein Teil der Ausflockung erfolgt bereits im Absetzbecken, der Rest wird im Filter ausgeschieden.

Bei der biologischen Entmanganung nehmen manganspeichernde Algen das im Wasser gelöste Mangan auf. Die Algen sterben ab und werden durch Rückspülung entfernt.

Es werden dafür geschlossene Filter verwendet, die bei 30 m/h Filtergeschwindigkeit, 1,5 m Schichthöhe und einem Filterkorn von 3,0 mm betrieben werden. Sie sind in üblicher Art mit Düsenboden konstruiert und werden in umgekehrter Fließrichtung zurückgespült. Es dürfen dabei nicht alle Algen herausgespült werden. Neue Filter können zwecks schneller Einarbeitung mit etwa 25 Prozent Kies aus bestehenden Anlagen geimpft werden. Damit der biologische Prozeß nicht gestört wird, ist eine vorherige Chlorung unzweckmäßig.

Enthärtung

Obwohl die Härte des Wassers gewisse Nachteile aufweist, wurde für Trinkwasserzwecke bisher die zentrale Enthärtung nicht angewendet, da das Verfahren hohe Kosten verursacht. Künftig muß darauf jedoch mehr Wert gelegt werden, da besonders in den Haushalten durch hohen Seifenmittelbedarf sowie vermehrte Anwendung von Gas-Warmwasser-Apparaten durch Ausscheiden des schädlichen Kesselsteins erheblicher wirtschaftlicher Schaden entsteht.

Für industrielle Zwecke, vor allem bei der Erzeugung von Dampf, ist die Enthärtung unumgänglich notwendig.

Herausragende Verfahren der Wasserenthärtung sind:

- Kalküberschußverfahren
- Kalksoda- und Ätznatron-Verfahren
- Trinatriumphosphat-Verfahren

Gute Ergebnisse wurden durch *Basenaustausch* erzielt. Die verwendeten Behälter sind wie Druckfilter mit Düsenboden gebaut. Auf einer Stützschiicht ist das gekörnte Austauschmaterial (Wofatic) aufgebracht. Das zu behandelnde Wasser muß klar und ohne organische Verunreinigungen sein.

Charakteristisch ist, daß das Filtermaterial nach entsprechender Betriebszeit durch Anwendung von Kochsalzlösung oder Säure wieder regeneriert werden kann.

Für jedes zu behandelnde Wasser sind dafür spezielle Berechnungen erforderlich, nach denen das entsprechende Austauschmaterial festgelegt wird.

Beseitigung von Geruchs- und Geschmacksstoffen

Im Abschnitt 3.3.1. ist der Einfluß verschiedener Faktoren auf den Geruch und Geschmack des Wassers erwähnt. Die hauptsächlich angewandten Methoden zur Beseitigung dieser Stoffe sind:

- Belüftung
- Adsorption
- Oxydation mit chemischen Mitteln

Durch *Belüften* lassen sich vor allem Schwefelwasserstoffgase und sonstige flüchtige Stoffe entfernen. Das Belüften erfolgt durch Überleiten des Wassers über Kaskaden oder durch Verdüsen. Mit der Belüftung werden gleichzeitig die freie überschüssige Kohlensäure ausgeschieden und der notwendige Sauerstoff zur Enteisung und Entmanganung eingebracht.

Für die Adsorption zur Schönung des Wassers haben sich Aktivkohle, neuerdings auch ein Adsorptionsharz (Wofatic) bewährt.

Aktivkohle wird aus Holz oder Kohle körnig oder pulverisiert hergestellt. Sie ist hochporös und hat damit eine sehr große Oberfläche, die die Adsorption der Geschmacks- und Geruchsstoffe bewirkt.

Die Behandlung mit gekörnter Aktivkohle setzt ein Beschicken mit vollkommen reinem Wasser voraus, stellt also die letzte Stufe einer Aufbereitung dar, damit die Poren nicht zugesetzt und unwirksam werden.

Dazu werden normale Druckfilterkessel mit Düsenboden und Stützschiicht verwendet. Die Schütthöhe beträgt 1,5 bis 3,0 m, die Filtergeschwindigkeit bis zu 30 m/h. Die Korngröße der Aktivkohle liegt zwischen 1,5 bis 3 mm.

Eine Regenerierung ist nach gewisser Laufzeit durch Rückspülen mit Wasser und Einleiten von Wasserdampf erforderlich. Die Aktivkohle kann dazu auch entfernt und anderweitig gereinigt werden.

Die Kohle muß von Zeit zu Zeit nachgefüllt werden.

In offenen Filtern kann man in den Filterkies eine Schicht Aktivkohle von 0,5 m einfügen. Hier ist auf die Schwachstromspülung zu achten.

Vorteilhaft ist die Verwendung pulverisierter Aktivkohle. Sie wird in besonderen Ansetzgefäßen aufgeschwemmt und entweder den Absetzbecken oder kurz vor den Filtern zugeführt.

Der größte Wirkungseffekt muß durch Versuche bestimmt werden. Der Widerstand bei den Filtern steigt, da die feinen Kohleteilchen tief in das Filterbett eindringen. Damit wird die Laufzeit geringer, und es sind häufigere Rückspülungen notwendig. Die Zugabe der Aktivkohle von 1,0 bis 10 g/m³ richtet sich nach dem Grad der Geschmacks- und Geruchsbeeinträchtigung. Auch bei Phenolen im Wasser sind Verbesserungen festgestellt worden.

Wofatit EW absorbiert außer den genannten Beeinträchtigungen auch Chlor und Eisen. Es hat den Vorteil, daß eine Regenerierung im Gegensatz zu Aktivkohle, durch Behandlung mit Natronlauge oder Salzsäurelösung in den Filterkesseln, sehr einfach durchzuführen ist. Es wird auf die von der Lieferfirma genannten Berechnungswerte hingewiesen.

Zum Entfernen nichtflüchtiger geschmacks- und geruchsstörender Stoffe verwendet man Chlor, Chlordioxid und Ozon.

Durch eine Starkchlorung bis zur 10 mg/l wird gleichzeitig eine Entkeimung erzielt. Allerdings ist nach der Behandlung mit Chlor über 0,5 mg/l meist eine Entchlorung des Wassers notwendig, indem es über Aktivkohle geleitet wird.

Bei der Hochchlorung ist eine mehrstündige Reaktionszeit erforderlich. Sind Phenole vorhanden, so tritt meist eine unerwünschte Verbindung zu Chlorphenolen auf, die starken Arzneigeschmack hervorrufen. Es wird in diesem Fall gasförmiges Ammoniak oder eine Ammonsulfatlösung zugegeben.

Die Behandlung mit Chlordioxid ist etwas schwieriger, kostenaufwendiger, weil ClO₂ an Ort und Stelle hergestellt werden muß. Die zur Beseitigung der Geruchs- und Geschmacksbeeinträchtigung benötigte Menge muß jeweils durch Probieren festgestellt werden.

Das Ozon wird hauptsächlich bei der Entkeimung angewandt. Die Anwendung zur Geruchs- und Geschmacksbeseitigung ist im Ergebnis unterschiedlich.

Alle Verfahren zur Schönung des Wassers sind kostspielig. Sie müssen den jeweiligen chemischen Verhältnissen des zu behandelnden Wassers angepaßt sein; denn die Qualität des Rohwassers bei Oberflächenwasser und Uferfiltration wechselt oft.

3.3.4. Entkeimung des Trinkwassers

Entkeimung bedeutet Desinfektion des Wassers. Alle Krankheitserreger und Keime sowie sonstigen Organismen, Bakterien usw. sollen wirkungslos gemacht werden. Es wurde schon erwähnt, daß bei Langsamfiltration ein biologischer Abbau der Keime auf 1 : 1000 bis 1 : 10000 erfolgt. Bei Schnellfiltration, wie sie heute überwiegend angewendet wird, ist eine Keimverminderung auf etwa 1 : 10 bis 1 : 20 erreichbar. Sie bedingt die Notwendigkeit, Trinkwasser unbedingt zu entkeimen.

Durch *Abkochen* des Wassers, 10 bis 15 min lang, ist eine gründliche Desinfektion gegeben. Sie wird vorgeschrieben, wenn Havarien oder sonstige Störungen vorliegen. Damit können aber nur geringe Wassermengen für den menschlichen Genuß keimfrei gemacht werden.

Gegenwärtig ist die *Chlorung* noch das am meisten angewendete Verfahren der Entkeimung. Wird Chlor mit Wasser verbunden, so entsteht unterchlorige Säure (bei Verminderung der Karbonathärte), die weiter in Salzsäure und atomaren Sauerstoff zerfällt. Die dann einsetzende Oxydation der organischen Substanzen macht diese unschädlich.

Chlor wird nach Ablauf des gesamten Reinigungsprozesses dem Reinwasser vor den Reinwasserbehältern zugegeben, um eine gewisse Reaktionszeit zu gewährleisten. Der Zusatz beträgt bis zu 0,5 mg/l. In den Rohrnetzen tritt eine Chlorzehrung auf, so daß am Ende des Netzes nicht mehr der erforderliche Chlorgehalt von 0,1 mg/l vorhanden ist. Da eine Chlorzugabe von mehr als 0,5 mg/l jedoch zu Geruchs- und Geschmacksbeeinträchtigungen führt, begegnet man dem durch Zugabe von Ammoniak. Praktisch hat sich die Anwendung von Ammoniak in Stahlflaschen bewährt. Das Verhältnis Ammoniak zu Chlor ist verschieden und liegt bei 1 : 4 bis 1 : 8.

Die Zugabe von Ammoniak soll vor der Chlorung erfolgen.

Zur Dosierung gibt es von Spezialfirmen entwickelte Apparate, in denen Chlorwasser hergestellt wird.

Der Umgang mit Chlor unterliegt strengen Arbeitsschutzvorschriften, da freies Chlor, konzentriert eingeatmet, tödlich wirkt. In jedem Fall sind Schutzmasken und Handschuhe zu tragen.

Für jede Chloranlage muß eine Bedienungsanweisung vorliegen. Eine ständige Kontrolle der zugeführten Chlormenge ist notwendig (Bild 29 u. 30).

Die Verwendung von verflüssigtem Chlor in Stahlflaschen ist für kleinere und mittlere Anlagen mit Kapazitäten bis 50 m³/h technisch kompliziert und unwirtschaftlich. Man verwendet deshalb Hypochloritlauge mit einem Aktivchlorgehalt von etwa 150 g/l. Die Dosierung erfolgt auf verschiedene Weise. Man gibt in ein Gefäß ver-

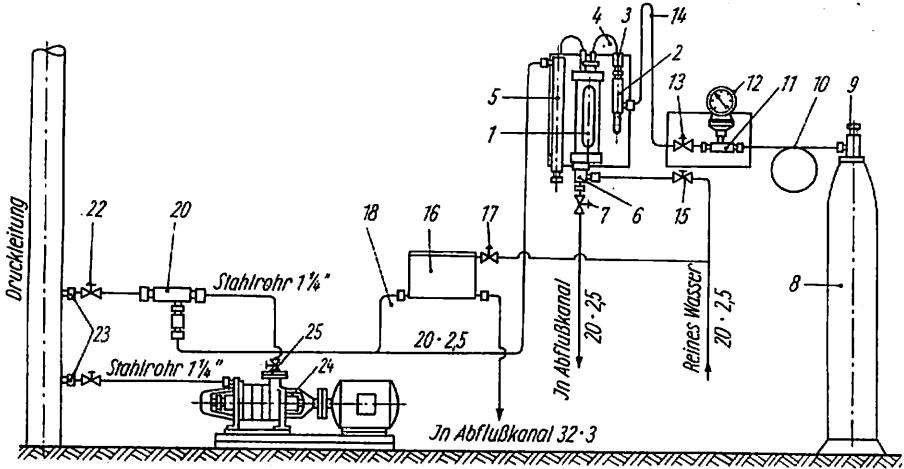


Bild 29. Chlorwasser-Apparat (Schema)

1 Chlorwassermesser, 2 Chlorfilter, 3 Chlorrückschlagventil, 4 Doppelbogen, 5 Mischrohr, 6 Wasseranslußstück, 7 Entlüftungsventil, 8 Chlorflasche, 9 Chlorflaschenventil, 10 Chloranschlußstück, 11 Chlormanometer, 12 Chlormanometer, 13 Chloreinstellventil, 14 Sicherheitsschleife, 15 Wassereinstellventil, 16 Schwimmerreguliergefäß, 17 Wasserventil, 18 Lochscheibe, 19 Rückschlagventil, 20 Injektor, 21 Absperrventil, 22 Absperrventil, 23 Anschlußnippel, 24 Druckerhöhungspumpe, 25 Regulierventil

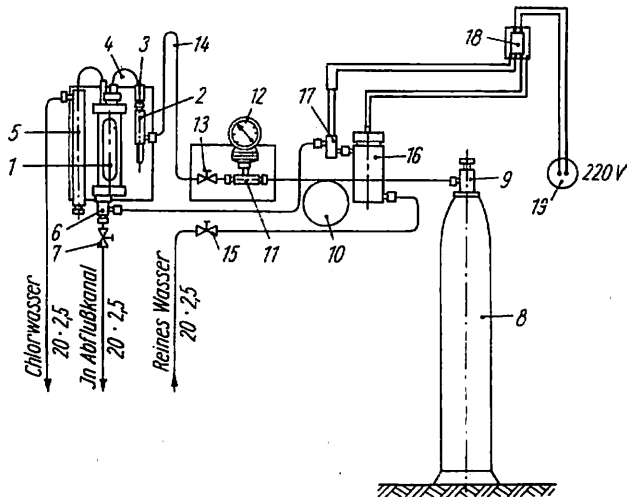


Bild 30. Chlorwasser-Apparat 1/42

1 bis 15 wie Bild 29, 16 Wasservorwärmer, 17 Kontaktthermometer, 18 Relais, 19 Steckdose

dünnte Lösung, Wasser zu Lauge etwa wie 10 : 1. Es wird der gleiche Effekt erzielt wie bei Verwendung von Chlorgas. Die Zugabe kann mit Hand, mit Injektor oder mit Dosierpumpe (Steuerungsmöglichkeit!) erfolgen (Bild 31 und 32).

Ozonierung

Ozon wird mittels elektrischen Verfahrens aus der Luft gewonnen. Durch Zerfall in atomaren Sauerstoff und zweiatomigen Sauerstoff tritt eine wirkungsvolle Oxydation ein. Dabei werden die im Wasser befindlichen oxydierbaren Stoffe, Keime und Bakterien chemisch abgebaut. Das Ozon-Verfahren ist der Chlorung weit überlegen, jedoch auch wesentlich kostenaufwendiger, so daß es z. Z. nur in größeren Anlagen ökonomisch angewendet werden kann.

Entkeimung durch Chlordioxid

In den letzten Jahren wurde Chlordioxid, ein stechend riechendes, grünes, hochexplosives Gas, mit Erfolg zur Entkeimung des Wassers angewendet. CO_2 muß in besonderen Apparaten an Ort und Stelle hergestellt werden. Als Ausgangsprodukt dient Natriumchlorit.

Dem in einer Chlorgasanlage hergestellten Chlorwasser wird eine Natriumchloridlösung zugegeben. Diese Mischung wird dem zu entkeimenden Wasser zugeführt.

Hierbei müssen besondere Arbeitsschutzmaßnahmen getroffen werden. Es sind nur Geräte von dafür beauftragten Spezialbetrieben zu verwenden.

Oligodynamische Entkeimung

Untersuchungen haben ergeben, daß Metallionen, besonders die von Kupfer und Silber, keimtötend wirken.

Beim Katadynverfahren werden Silberpräparate oder Silber in feinsten Pulverform auf Tonkörpern oder Kiesen niedergeschlagen und dem Wasser zugeführt.

Das Verfahren ist sehr kostspielig und wird deshalb nur für kleine bzw. besondere Anlagen angewendet.

Zur Desinfektion von Einzelanlagen, wie Brunnen, Behälter usw., wird ein ähnliches Präparat verwendet, das unter dem Namen *Cumasina* bekannt ist.

3.4. Einfache Wasseruntersuchungen

Die Untersuchung des Wassers setzt Spezialkenntnisse voraus. Eine vollständige Wasseranalyse kann daher nur in einem Laboratorium durch speziell dafür ausgebildete Fachkräfte durchgeführt werden. Dies gilt vor allem hinsichtlich der chemischen, bakteriologischen und biologischen Wasseruntersuchung.

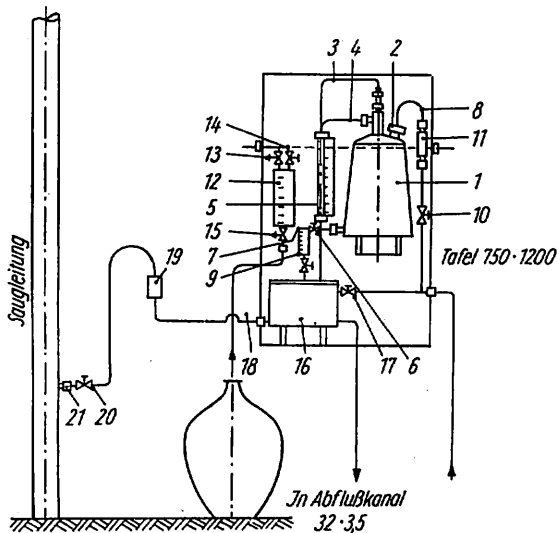


Bild 31. Dosiergerät für Natriumhypochloritlauge (Zuführung mittels Saugleitung)

1 Vorratsbehälter, 2 Füllöffnung, 3 Belüftungsrohr, 4 Rohrbogen, 5 Flüssigkeitsstand, 6 Einstellhahn, 7 Ablauf, 8 Füllbogen, 9 Einstellgefäß, 10 Wasserventil, 11 Injektor, 12 Meßgefäß, 13 Belüftungshahn, 14 Absperthahn, 15 Absperventil, 16 Schwimmerreguliergefäß, 17 Wasserventil, 18 Lodscheibe, 19 Rückschlagventil, 20 Absperventil, 21 Anschlußnippel

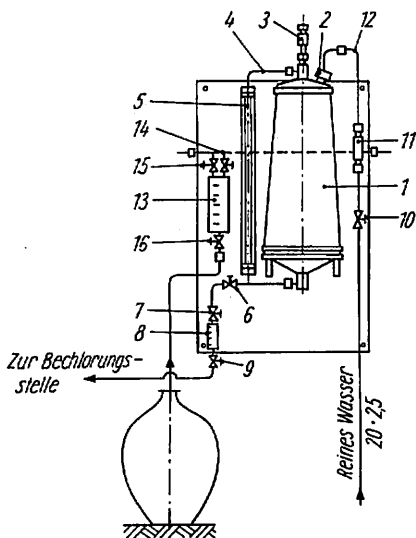


Bild 32. Dosiergerät für Natriumhypochloritlauge mit Injektor und Meßgefäß

1 bis 6 wie Bild 31, 7 Absperventil, 8 Einstellgefäß, 9 Absperthahn, 10 Wasserventil, 11 Injektor, 12 Füllbogen, 13 Meßgefäß, 14 Absperthahn, 15 Belüftungshahn, 16 Absperthahn

Bestimmte Analysenwerte des Wassers können und müssen aber auch am Ort der Probenentnahme festgestellt werden, weil sie sich beim Transport der Proben teilweise verändern oder weil sofort eine bestimmte Aussage über die Funktion einer Anlage getroffen werden muß.

Für derartige Bestimmungen wurden vereinfachte Untersuchungsmethoden entwickelt, nach denen auch ein Nichtspezialist nach entsprechender Unterweisung arbeiten kann. Diese Untersuchungen haben zwar nicht den Genauigkeitsgrad der im Labor durchgeführten Analysen, sie geben jedoch genügend Aufschluß über den jeweiligen Betriebszustand bzw. über etwaige Gefahrenmomente.

3.4.1. Probenentnahme

Die sorgfältige Entnahme der Wasserprobe ist Voraussetzung für eine richtige Analyse.

- Die Probe soll nach gründlicher Ortsbesichtigung zweckentsprechend und in ausreichender Menge entnommen werden.
- Ihre Qualität darf sich bei Entnahme, Transport und Aufbewahrung nicht verändern.
- Die Zeitspanne bis zu ihrer Untersuchung ist so kurz wie möglich zu halten.
- Die Probenentnahmen werden stets an der gleichen Stelle ausgeführt, um zu vergleichenden Ergebnissen zu kommen.

Außer Datum und Ortsangabe sind entweder direkt auf dem Mattschild der Flasche oder mit Hilfe von Anhängern auch Bemerkungen über die Beschaffenheitsprüfung (z. B. Temperatur, Farbe, Geruch, Reaktion usw.) anzubringen.

Die zu entnehmende Wassermenge richtet sich nach dem Umfang der geplanten Analyse.

Für die Entnahme der *bakteriologischen* Wasserprobe werden Glasflaschen verwendet, die durch Sterilisation keimfrei gemacht wurden und mit einem Glasstopfen, der mit einer Aluminiumfolie überzogen ist, zu verschließen sind.

Die Flaschen werden erst unmittelbar vor Einlaufen des Wassers geöffnet. Dabei dürfen weder der Flaschenrand noch der Glasstopfen mit den Fingern berührt werden. Der Glasstopfen wird mit den Fingern an der Aluminiumfolie am oberen Rand gefaßt, während des Einlaufens des Wassers gehalten und sofort nach der Füllung wieder fest aufgesetzt.

Die Entnahmestelle ist vor der Probenentnahme mit einem in Spiritus getränkten Wattebausch abzuflammen.

Danach läßt man das Wasser langsam zehn Minuten lang ablaufen, erst dann erfolgt das Einfüllen in die Probenflasche. Das Abflammen hat den Zweck, alle außerhalb der Leitung befindlichen und mit Wasser in Berührung kommenden Teile keimfrei zu machen.

Für die *chemische* Untersuchung brauchen die Probenflaschen nicht sterilisiert zu werden, sie müssen aber ebenfalls peinlich sauber sein.

Die Entnahme geschieht wie folgt:

- Die Flasche wird möglichst nahe an den Auslauf gehalten, so daß das Wasser eine geringe Fallhöhe aufweist. Es soll langsam und ohne Wirbelbildung ausfließen. Läßt man das Wasser mit hoher Geschwindigkeit in die Flasche spritzen, so finden eine zusätzliche Sauerstoffaufnahme, eine Verringerung des Kohlensäuregehaltes und möglicherweise eine Oxydation des Eisens statt. Das Untersuchungsergebnis würde dadurch verfälscht werden.
- Die Probenflasche wird zunächst mit dem zu untersuchenden Wasser zwei- bis dreimal ausgespült.
- Erst danach wird die Flasche bis zum Überlaufen gefüllt und der Stopfen so aufgesetzt, daß keine Luftblase zwischen Wasser und Stopfen vorhanden ist.

Die Wasserproben für die *Sauerstoffbestimmung* werden in geeichte Sauerstoffflaschen von 110 bis 130 ml Inhalt gefüllt, wobei die Berührung des Wassers mit Luft vermieden werden muß.

- Vom Entnahmegesäß oder vom Zapfhahn aus wird deshalb ein Schlauch auf den Boden der Sauerstoffflasche geführt und diese von unten her gefüllt.
- Man läßt einige Zeit überlaufen, so daß sich der Inhalt der Flasche mehrmals erneuert, und verschließt die Flasche luftblasenfrei.
- Der Sauerstoff wird durch Zugabe von 0,5 ml Mangan(II)-chlorid-Lösung und 0,5 ml Natronlauge gebunden, da in den meisten Fällen in der Zeit zwischen Probenentnahme und Untersuchung eine Änderung des Sauerstoffgehaltes durch chemische oder biologische Vorgänge bzw. durch Temperaturänderungen befürchtet werden muß.

3.4.2. Sinnesprüfungen

Prüfung des Geruchs und Geschmacks

Wasser ist häufig mit geruchs- und geschmacksbildenden Fremdstoffen belastet, bei deren Bestimmung physikalisch-chemische Analysen versagen. Es muß deshalb eine *organoleptische* Analyse durchgeführt werden.

Für die Probenentnahme dürfen nur Glasflaschen mit eingeschliffenem Stopfen verwendet werden, die keinen Eigengeruch haben.

Keine Plasteflaschen und Flaschen mit Gummistopfen benutzen!

- Geruch und Geschmack werden möglichst bald, jedoch spätestens 2 bis 3 h nach der Probenentnahme geprüft.

- Die Bestimmung soll durch mindestens drei Prüfer und bei Zimmertemperatur (15 bis 20 °C) erfolgen. In Zweifelsfällen sind die Proben bei 50 °C zu untersuchen.

Die *qualitative* Prüfung umfaßt die Beurteilung der Geruchs- und Geschmacksarten. Die Geruchsprüfung ist stets vor der Geschmacksprüfung vorzunehmen! Letztere darf nur dann durchgeführt werden, wenn keine Infektions- oder Vergiftungsgefahr besteht.

Geruchs- und Geschmacksarten werden wie folgt angegeben:

<i>Geruch</i>	<i>Geschmack</i>
ohne Geruch	ohne Besonderheit
erdig	süß
muffig	sauer
jauchig	salzig
faulig	bitter
fischig	erdig
nach chemischen Stoffen (wie z. B. Chlor, Phenol)	muffig
anderweitig fremdartig	fischig
	fade
	metallisch-adstringierend
	nach chemischen Stoffen
	anderweitig fremdartig

Bei der *quantitativen* Prüfung bestimmt man die Geruchs- und Geschmacksintensität. Man richtet sich dabei nach einer 5-Stufen-Skala (Tafel 6).

Tafel 6 Skala zur Prüfung der Geruchs- und Geschmacksintensität des Wassers

Intensität	Bezeichnung	Punktbewertung als Lebensmittel
0	ohne Besonderheit	5 Punkte
I	sehr schwach	4 Punkte
II	schwach	3 Punkte
III	deutlich	2 Punkte
IV	sehr stark	1 Punkt

Ausführung der Bestimmung:

200 ml des zu untersuchenden Wassers werden in einen Erlenmeyerkolben mit Schliffstopfen gefüllt. Nach kräftigem Schütteln wird der Stopfen entfernt und sofort die Geruchsart und -intensität bestimmt.

Zur Bestimmung der Geschmacksart und -intensität erhalten die Prüfer eine Probe in einem 100-ml-Probenglas.

3.4.3. Physikalische, physikalisch-chemische und chemische Untersuchungen

Bestimmung der Temperatur

Das Messen der Wasser- und Lufttemperatur muß unbedingt bei der Probenentnahme erfolgen.

Die Temperatur wird mit einem geeichten Quecksilberthermometer gemessen, das mindestens eine 5/10 °C-Teilung haben muß. Während der Messung darf die Thermometerkugel nicht der direkten Sonnenstrahlung oder anderen Wärmequellen ausgesetzt werden. Wo die örtlichen Gegebenheiten es gestatten, wird die Temperatur von Oberflächen- oder Abwasser durch etwa 5 bis 10 cm tiefes Eintauchen des Thermometers gemessen. Ist dies nicht möglich, so erfolgt die Messung in einer Probenflasche, die mindestens 1 Liter Fassungsvermögen haben muß. Zuvor müssen Schöpfgerät und Flasche mit dem zu messenden Wasser temperiert worden sein.

Das Thermometer wird abgelesen, nachdem die Quecksilbersäule zum Stillstand gekommen ist (im allgemeinen nach 30 bis 45 s).

Zur Messung der Wassertemperatur in verschiedenen Tiefen werden Spezialgeräte verwendet.

Die Temperatur der Luft wird etwa 1 m über der Erdoberfläche im Schatten gemessen. Das Thermometer muß dabei vollkommen trocken sein.

Angabe der Ergebnisse:

Die Temperatur wird in Grad Celsius unter Abrundung auf 0,5 °C angegeben. Das Vorzeichen wird nur bei Temperaturen unter 0 °C hinzugefügt.

Bestimmung der Sichttiefe und Durchsichtigkeit

Die Durchsichtigkeit und die Sichttiefe des Wassers hängen von seiner Farbe und Trübung ab.

Als Maß für die Sichttiefe gilt die Wassertiefe, bei der eine im Gewässer versenkte weiße Scheibe von 20 cm Dmr. gerade noch erkennbar ist.

Die Scheibe ist an einer Schnur mit Zentimeter-Markierung befestigt und wird bei indirektem Sonnenlicht im Wasser versenkt.

Die Messung wird einige Male wiederholt und der Mittelwert errechnet. Die Angabe der Ergebnisse erfolgt in Zentimeter.

Die Methode wird bei der Untersuchung von Oberflächenwasser an Ort und Stelle angewendet.

Bei der Bestimmung der Durchsichtigkeit wird die Höhe der Wassersäule ermittelt, bei der eine untergelegte genormte Schriftprobe gerade noch lesbar ist.

Man benutzt dazu einen etwa 50 cm hohen Glaszylinder mit einer Zentimeter-Einteilung und einem durchsichtigen planparallelen Boden.

Als Testschrift dient eine schwarze Normschrift mit 3,5 mm Buchstabenhöhe auf weißem Grund.

Der Zylinder mit der untergelegten Schrift wird mit der gut durchmischten Wasserprobe so weit gefüllt, bis die Buchstaben bei Durchsicht von oben und bei indirektem Tageslicht gerade noch lesbar sind.

Die Höhe der Wassersäule wird mehrmals bestimmt und der Mittelwert errechnet. Die Durchsichtigkeit wird in Zentimeter angegeben.

Diese Methode eignet sich für die Prüfung von Oberflächenwasser und einigen Abwässern im Labor.

Bestimmung des pH-Wertes

Der pH-Wert eines Wassers kann für die Praxis hinreichend genau nach kolorimetrischen Verfahren (Farbvergleiche) ermittelt werden.

Wenn bestimmte organische Substanzen im Wasser gelöst werden, rufen sie einen bestimmten Farbton oder eine bestimmte Farbtiefe hervor, die vom pH-Wert des Wassers abhängig sind. Solche organische Substanzen werden *Indikatoren* genannt. Sie sind entweder Säuren oder Basen und ändern ihre Farbe nicht an einem Punkt der pH-Skala, sondern innerhalb eines für jeden Indikator charakteristischen pH-Bereiches. Dieser wird sein *Umschlagsgebiet* genannt und erstreckt sich jeweils über etwa 1,2 bis 2,5 pH-Einheiten. Jenseits der Grenzen eines Umschlagsgebietes des Indikators ändern sich Farbton oder Farbtiefe nicht mehr; sie sind dann pH-unabhängig.

Mischungen bestimmter Indikatoren ergeben innerhalb von mehr oder weniger großen pH-Bereichen unterschiedliche, für einzelne pH-Werte charakteristische Farben.

Solche Gemische sind als Misch- oder Universalindikatoren im Handel, ebenso entsprechende Indikatorpapiere.

Ein solcher Mischindikator ist der nach *Czensny*. Er wird oftmals zur Schnellbestimmung des pH-Wertes an Ort und Stelle der Probenentnahme verwendet.

Man verfährt bei der Messung wie folgt:

4 Tropfen *Czensny*-Indikator werden in ein 5 ml fassendes kleines Reagenzglas gegeben, das bis zur Ringmarke mit Untersuchungswasser aufgefüllt wird. Man vergleicht die entstandene Färbung mit einer Farbskala, die auf den Mischindikator abgestimmt ist. Der entsprechende pH-Wert wird abgelesen, Zwischenwerte werden geschätzt.

Genauere Werte erhält man bei der elektrometrischen Bestimmung des pH-Wertes. Diese bleibt jedoch in den meisten Fällen den Laboratorien vorbehalten.

Bestimmung des freien Chlors

Auch das freie Chlor wird durch Farbvergleich festgestellt. Die Bestimmung ist unmittelbar nach der Probenentnahme durchzuführen.

Sie verläuft wie folgt:

50 ml des zu untersuchenden Wassers versetzt man mit 0,5 ml o-Tolidin-Reagens und läßt den Ansatz 5 bis 8 min im Dunkeln stehen. Ist im Wasser freies Chlor vorhanden, dann tritt je nach Konzentration eine Gelbfärbung ein. Die Farbe wird mit Vergleichslösungen verglichen und der Gehalt an freiem Chlor in mg/l angegeben.

Bei ungünstigen Lichtverhältnissen ist die Tolidingelbfärbung schlecht zu erkennen. Man verwendet dann besser Benzidin-Reagens, das mit Chlor eine Blaufärbung ergibt.

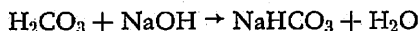
Bestimmung der Kohlensäure

| Nur die freie Kohlensäure im Wasser wird direkt bestimmt; der Anteil an gebundener und aggressiver Kohlensäure wird errechnet.

Sollen mit einer Wasserprobe mehrere Bestimmungen durchgeführt werden, so ist stets zuerst auf freie Kohlensäure zu untersuchen. Die Bestimmung ist möglichst sofort nach der Probenentnahme vorzunehmen.

Ausführung der Bestimmung:

Ein 100-ml-Meßkolben wird bis zur Ringmarke mit dem zu untersuchenden Wasser gefüllt. Dann gibt man 1 Tropfen Phenolphthaleinlösung als Indikator hinzu und titriert vorsichtig mit n/44 Natronlauge. Bei der Titration setzt sich die freie Kohlensäure mit der Natronlauge zu Natriumhydrogencarbonat und Wasser um.



Die Titration ist beendet, wenn die auftretende Rosafärbung für 3 min bestehen bleibt.

Berechnung:

1 ml n/44 NaOH entspricht 1 mg CO₂

Bei Anwendung von 100 ml Untersuchungswasser entspricht 1 ml n/44 NaOH 10 mg CO₂/l.

Bestimmung der Härte

Für die Bestimmung der Gesamthärte an Ort und Stelle der Probenentnahme eignet sich das Verfahren nach *Boutron* und *Boudet*.

In eine Schüttelflasche gibt man 40 ml Untersuchungswasser, läßt tropfenweise Seifenlösung aus einer Seifenbürette zulaufen und schüttelt gut durch. Wenn der dabei entstehende Schaum mit einer Schichthöhe von etwa 1 cm bestehen bleibt und außerdem kein Knistern mehr vernehmbar ist, liest man den Verbrauch der Seifenlösung an der Bürette ab.

| Die Spezialbürette zeigt unmittelbar die Gesamthärte in ° dH an.

1 °dH zeigt 10 mg CaCl an.

Bestimmung des Eisens

50 ml Wasser werden in einem Nebler-Zylinder (Zylinder mit planparallelem Boden) mit 1 Tropfen konzentrierter Salzsäure angesäuert. Durch Zugabe von 1 Tropfen

Wasserstoffsuperoxid wird das zweiwertige Eisen zum dreiwertigen oxydiert. Dann setzt man 1 ml 10%ige Kaliumrhodanid-Lösung zu.

Bei Anwesenheit von Eisen färbt sich die Lösung rosa bis rot.

In einem zweiten Neßler-Zylinder werden 50 ml destilliertes Wasser mit den gleichen Chemikalien versetzt und so lange Eisenvergleichslösung zugegeben, bis Farbgleichheit eintritt.

Es spielt sich dabei folgender chemischer Vorgang ab:



Es bildet sich das blutrote Eisenrhodanid.

Der Eisengehalt in mg/l ergibt sich aus der verbrauchten Menge Eisenvergleichslösung.

Bestimmung der absetzbaren Stoffe

Absetzbare Stoffe werden vorwiegend nach der Volumenmethode bestimmt. Man bestimmt das Volumen der Stoffe, die sich aus einer Wasserprobe von 1 Liter nach 2 Stunden abgesetzt haben.

Man benutzt dazu Imhoff-Trichter, das sind spitz zulaufende Gläser mit einer ml-Einteilung.

Durchführung:

In den Imhoff-Trichter wird möglichst unmittelbar nach der Probenentnahme 1 Liter der sorgfältig gemischten Probe gegeben. Die Probe soll keinen Temperaturschwankungen und nicht dem direkten Sonnenlicht ausgesetzt werden.

10 min vor dem Ablesen wird das Gefäß ruckartig um die Vertikalachse gedreht, um die an den Wänden haftenden Teilchen zu lösen. Im allgemeinen wird das Volumen der abgesetzten Stoffe nach 2 h abgelesen. Die absetzbaren Stoffe werden in ml/l angegeben.

Bestimmung des chemischen Sauerstoffverbrauchs mit Kaliumpermanganat (Kaliumpermanganatverbrauch – PV)

Die Höhe des Kaliumpermanganatverbrauchs in einem Wasser weist auf seinen Gehalt an organischen Substanzen hin.

Der PV ist zwar kein Maß für die Gesamtheit der im Wasser vorhandenen organischen Stoffe, wird aber seit Jahrzehnten zur Beurteilung der organischen Verschmutzung eines Wassers herangezogen.

Ausführung der Bestimmung:

100 ml Wasser werden mit 5 ml verdünnter Schwefelsäure versetzt und bis zum Sieden erhitzt. Dann gibt man 15 ml n/100 KMnO_4 -Lösung zu und kocht 10 min lang. Danach wird 15 ml n/100 Oxalsäure zugesetzt und weiter bis zur Entfärbung erhitzt. Anschließend wird die Lösung mit n/100 KMnO_4 -Lösung bis zur bleibenden schwachen Rosafärbung titriert.

Berechnung:

Verbrauchte ml n/100 KMnO_4 , multipliziert mit 3,16, ergibt den Kaliumpermanganatverbrauch in mg/l .

Aufgaben

1. Kennzeichnen Sie die Beschaffenheit des Wassers, unterteilt nach physikalischer, chemischer, bakteriologischer und biologischer Beschaffenheit!
2. Welche Anforderungen werden an Trink- und Betriebswasser gestellt?
3. Erläutern Sie die wesentlichsten Wasseraufbereitungsanlagen!
4. Beschreiben Sie einige einfache Wasseruntersuchungen!