2792 III

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA ŚLĄSKIEJ

Städtische Wasserversorgung

von

Dipl.-Ing. Arne Jansen

Biblioteka Śląska Techniczna BIBLIOTEKA Gliwice

Herausgegeben vom
Rustinschen Lehrinstitut

Verlag von Bonneß & Hachfeld / Potsdam und Leipzig

Brief
4

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
BIBLIOTEKA GŁÓWNA
w Gliwicach
141 832

0591/14

Städtische Wasserversorgung

Brief 4

Neunte Stunde (Fortsetzung)

A. Vortrag

c) Die langsame Sandfiltration

1. Allgemeines

106. Der Vorgang bei der Sandfiltration besteht im wesentlichen darin, daß das Rohwasser eine Sandschicht von einer gewissen Mächtigkeit durchläuft. Hierbei werden nicht nur die dem Wasser mechanisch anhaftenden Verunreinigungen, sondern auch die im Rohwasser enthaltenen Keime zum größten Teil zurückgehalten. Die Art und Weise, wie durch den Vorgang der Sandfiltration die Ausscheidung der mechanischen Verunreinigungen, sowie der Keime erfolgt, ist uns bis heute noch nicht in allen Einzelheiten bekannt. Jedenfalls steht aber fest, daß durch rein mechanische Siebwirkung des feinen Filtersandes der wesentliche Teil der organischen und anorganischen Stoffe in der obersten Sandschicht zurückgehalten werden. Dadurch bildet sich eine weiche klebrige Schlammschicht, die sogenannte Filterhaut, in der auch biologische Vorgänge zu suchen sind, die die bakteriologische Reinigung des Wassers bewirken. Auf diese Weise erklärt sich auch, daß ein neues Filter sich erst eine gewisse Zeit einarbeiten muß, um die genügende Reinigungswirkung erzielen zu können.

107. Unter Filterfläche versteht man die Größe der meist waagerechten Oberseite des Filtermaterials.

Die Ergiebigkeit des Filters in der Zeiteinheit dividiert durch die Filterfläche gibt die Filtergeschwindigkeit oder Arbeitsgeschwindigkeit, die meistens in mm in der Stunde oder in m für den Tag angegeben wird. Die tatsächliche Wassergeschwindigkeit, mit der das Wasser durch die Poren des Filters fließt, ist je nach dem Gesamtquerschnitt der Poren etwa das 3 bis 4 fache der Filtergeschwindigkeit.

Unter Laufzeit versteht man die Dauer der Tätigkeit eines Filters von dessen Inbetriebnahme bis zu dem Augenblick, in dem das Filter wegen zu großer Verschmutzung ausgeschaltet und gereinigt werden muß.

Den Unterschied zwischen dem Rohwasserspiegel über dem Filter und dem Spiegel des Filtrates, nachdem dieses das Filter passiert hat, nennt man den Filter- oder Arbeitsdruck. Er dient

zur Überwindung der Widerstände bei der Bewegung des Rohwassers durch das Filter.

2. Bauliche Anordnung des Sandfilters

108. Die erforderliche Größe der Filterfläche ergibt sich aus der Filtergeschwindigkeit und der zu reinigenden Wassermenge. Die Filtergeschwindigkeit wird gewöhnlich zu 100 bis 125 mm in der Stunde oder 2,4 bis 3 m in einem Tag angenommen. Die Leistungsfähigkeit oder Ergiebigkeit des Filters ist dann 2,4 bis 3 m^3 für 1 m^2 Filterfläche. Die Größe der einzelnen Filter schwankt je nach der Größe der Anlage. Filter von 700 bis 1200 m^2 für kleinere, von 1200 bis 2000 m^2 für mittlere und von 2000 bis 3500 m^2 Fläche für große Anlagen haben sich am zweckmäßigsten erwiesen.[1]) Bei der Bemessung der Größe der gesamten Filterfläche muß man darauf Rücksicht nehmen, daß die Filter von Zeit zu Zeit ausgeschaltet und gereinigt werden müssen; es muß also stets mindestens ein Reservefilter angeordnet werden. Unter normalen Verhältnissen kann man annehmen, daß

zu 1 bis 3 im Betrieb befindlichen Filtern 1 Reservefilter,
„ 4 „ 7 „ „ „ „ 2 „ und
„ 8 u. mehr im „ „ „ 3 „ gehören.

Der Filterdruck soll nicht über 0,75 m oder höchstens bis 1 m ansteigen, weil sonst die reinigende Wirkung des Filters beeinträchtigt wird.

109. Die Filter sind so anzuordnen, daß der Zufluß des Rohwassers auf die Filter und der Abfluß des Filtrates in den Reinwasserbehälter mit natürlichem Gefälle erfolgen kann. Der Wasserspiegel im Reinwasserbehälter muß deshalb tiefer liegen als der Wasserspiegel des Filtrates bei dem höchsten Filterdruck (1 m).

110. Die Filter können entweder als offene oder als überdeckte Filter ausgeführt werden. Die offenen Filter sind billiger in der Herstellung und leicht zugänglich; sie haben aber den Nachteil, daß sie in der heißen Jahreszeit durch Algenbildung und Verstaubung, in der kalten Jahreszeit durch Eisbildung leiden. Die überdeckten Filter sind gegen Temperatureinflüsse, Algenbildung und Verstaubung geschützt und ergeben längere Laufzeiten; sie sind aber in der Herstellung teuerer als die offenen Filter. Unter Umständen kann es sich empfehlen bei ein und derselben Anlage offene und überdeckte Filter nebeneinander anzuordnen und sie so zu betreiben, daß die überdeckten Filter dem geringeren Winterbedarf, die offenen dagegen nur den Mehrbedarf im Sommer dienen. Bei den überdeckten Filtern muß für gute Lüftung Sorge getragen werden.

---

[1]) Nach Sonreker, Die Wasserversorgung der Städte.

Um Wasserverluste sowie ein Übertreten des Wassers von einer Filterkammer in die andere zu vermeiden, müssen die Kammern vollständig wasserdicht hergestellt werden. Sohle und Umfassungswände werden aus Mauerwerk, Beton oder Eisenbeton hergestellt und durch Einlagen von Blei oder asphaltierten Geweben gedichtet.

111. Das Filtermaterial soll aus feinem Sand von möglichst gleichmäßiger Beschaffenheit bestehen und eine Korngröße von 0,5 bis 1 mm haben. Fast alle in der Natur vorkommenden Sandarten sind unrein und müssen vor dem Einbringen in die Filterkammer gewaschen werden. Die Dicke der Filtersandschicht soll bei dem Beginn des Betriebes 0,7 bis 1,2 m betragen. Bei jeder Filterreinigung wird die 2 bis 5 cm dicke verschmutzte obere Sandschicht abgeschält, bis schließlich die Filtersandschicht nur noch etwa 30 bis 50 cm dick ist. Dann wird auf einmal frischer Sand bis auf die ursprüngliche Höhe eingebracht.

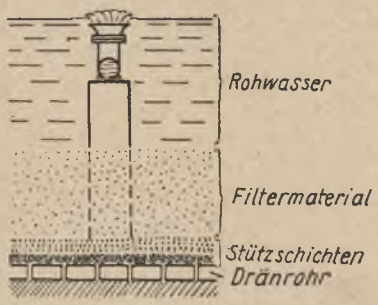


Abb. 53. Filteranlage

Die Stützschichten, auf denen das Filtermaterial ruht, haben, soweit bis jetzt bekannt, keinen Einfluß auf die eigentliche Filtration, sondern haben nur den Zweck, das gereinigte Wasser den Sammelkanälen zuzuführen und das Eindringen des feinen Filtersandes in den Sammelkanal zu verhindern. Zum Sammeln des Wassers unter den Stützschichten dienen Dränrohre (Abb. 53), gelochte Steinzeug- und Zementrohre oder Kanäle aus Ziegeln oder Hohlsteinen.

112. Die Zuführung des Rohwassers zu den Filtern muß so erfolgen, daß der Filtersand nicht aufgewirbelt werden kann. Oft läßt man den Wasserzutritt, ähnlich wie beim Eintritt in die Klärbecken (Abb. 52 — Brief 3, Seite 72), über den ganzen Rand der Filterkammer erfolgen. Bei einer Anordnung wie Abb. 53 erfolgt der Wasserzutritt durch erweiterte Ausflußrohre.

B. Zusammenfassung

Der Vorgang bei der Sandfiltration besteht im wesentlichen darin, daß das Rohwasser eine Sandschicht von einer gewissen Mächtigkeit durchläuft. Sowohl die mechanische wie auch die bakteriologische Reinigung vollzieht sich hauptsächlich in der obersten Schicht des Filtermaterials. Die gesamte Filterfläche ergibt sich aus der Filtergeschwindigkeit und der zu reinigenden Wassermenge. Die Filtergeschwindigkeit, d. h. die Ergiebigkeit des Filters in der Zeiteinheit dividiert durch die Filterfläche kann zu etwa 2,4 bis 3,0 m für den Tag angenommen werden. Die Laufzeit ist die Dauer der Tätigkeit des Filters von dessen Inbetriebnahme bis zu dem Augenblick, in dem eine Reinigung des Filters nötig wird. Der Filterdruck ist der Höhenunterschied zwischen dem Wasserspiegel des Rohwassers über dem

Filter und dem Wasserspiegel des Filtrates. Da die Filter von Zeit zu Zeit gereinigt werden müssen, sind eine Anzahl Reservefilter anzuordnen. Die Filter können offen oder überdeckt angelegt werden und müssen eine wasserdichte Sohle und wasserdichte Wandungen haben. Das Filtermaterial soll aus feinem Sand von einheitlicher Korngröße (0,5 bis 1 mm) bestehen. Die Stützschichten sollen den Eintritt des gereinigten Wassers in die Sammelkanäle erleichtern und den feinen Filtersand zurückhalten.

C. Besprechung des Lehrstoffs

Frage: Worin besteht im wesentlichen der Vorgang bei der Sandfiltration? **Antwort:** Darin, daß das Rohwasser eine Sandschicht von einer gewissen Mächtigkeit durchläuft. **F.:** Was versteht man unter der Filterfläche? **A.:** Die meist waagerechte Oberseite des Filters. **F.:** Was versteht man unter der Laufzeit eines Filters? **A.:** Die Dauer der Tätigkeit des Filters von dessen Inbetriebnahme bis zu dem Augenblick, in dem eine Reinigung des Filters nötig wird. **F.:** Wie groß kann die Filtergeschwindigkeit angenommen werden? **A.:** Etwa zu 2,4 bis 3 m für den Tag. **F.:** Wie wird das gereinigte Wasser unter den Stützschichten gesammelt? **A.:** Durch Drainrohre, gelochte Steinzeug- oder Zementrohre, sowie Kanäle aus Ziegeln oder Hohlsteinen.

D. Zur Wiederholung

71. Aus welchem Grunde wird heutzutage fast alles Wasser für die städtische Wasserversorgung gereinigt, während es früher in der Regel ohne Reinigung benutzt wurde? 72. Welche verschiedene Arten von Wasserreinigung unterscheidet man? 73. Was versteht man unter intermittierender Klärung? 74. Wie groß wählt man die Wassertiefe der Klärbecken? 75. Wie kann man die Ablagerung in den Klärbecken beschleunigen? 76. In welchem Teil des Sandfilters vollzieht sich die bakteriologische Reinigung des Wassers? 77. Was versteht man unter der Filtergeschwindigkeit? 78. Was versteht man unter dem Filterdruck? 79. Wie soll das Filtermaterial beschaffen sein?

E. Aufgaben

18. Wie groß wählt man die Klärbecken?
19. Wie groß wählt man die Filterfläche der einzelnen Filterkammer?

Zehnte Stunde

A. Vortrag

3. Filterbetrieb

113. Wie im Abs. 106 erwähnt, muß sich das Sandfilter erst einarbeiten, bevor das Filtrat brauchbar wird. Die Zeit des Einarbeitens hängt von den Eigenschaften des Rohwassers ab. Stark verunreinigtes Wasser bildet in kurzer Zeit eine ausreichende Filterhaut, während bei weniger verunreinigtem Wasser zur Bildung der Filterhaut oft mehrere Wochen erforderlich sind. Bei der Inbetriebnahme eines Sandfilters wird dieses von unten mit Reinwasser bis über die Sandoberfläche gefüllt. Man hat es dadurch in der Hand, die Geschwindigkeit zu regeln, mit der das aufgebrachte Rohwasser das Filter zu durchfließen hat. Die Filtergeschwindigkeit wird langsam gesteigert, so daß unter normalen Verhältnissen im Laufe von 2 bis 3 Tagen die gewöhnliche Filtergeschwindigkeit erreicht wird.

114. Die Laufzeit des Filters ist von der Filtergeschwindigkeit, der Beschaffenheit des Filtersandes und der Art des Rohwassers abhängig und kann allgemein nicht angegeben werden. Sie schwankt etwa zwischen 8 und 100 Tagen. Hochwassertrübungen des Rohwassers und Algen können besonders schlimme Wirkungen haben. Läßt die Leistung des Filters trotz Einstellung des größten zulässigen Filterdruckes (Abs. 108) nach, so muß das Filter gereinigt werden. Zu diesem Zweck wird zunächst der Zufluß des Rohwassers gesperrt und das Wasser bis zur Oberseite des Filtersandes in den Reinwasserbehälter abgelassen; der Rest muß durch den Rohwasserabfluß ablaufen. Dann wird die Filterhaut und die darunterliegende 2 bis 5 cm dicke Sandschicht mit scharfen Schaufeln abgeschält und in Karren zur Sandwäsche gefahren. Die Oberseite des gereinigten Filters wird durch Abharken geebnet und kann wieder in Betrieb genommen werden. Wenn die Dicke des Filtersandes durch wiederholte Reinigung nur noch 30 bis 50 cm beträgt, wird frischer Sand bis auf die ursprüngliche Höhe (0,7 bis 1,2 m) eingebracht.

115. Die bekanntesten Einrichtungen zum Waschen des Sandes sind die Trommelwäsche und die Sandstrahlwäsche.[1]) Die Trommelwäsche besteht aus einer konischen, im Innern mit vorstehenden Winkeleisen versehenen Trommel, die um die waagerecht liegende Achse in langsame Drehbewegung versetzt wird. Der schmutzige Sand wird an dem weiten Ende der Trommel eingeworfen und bewegt sich mit Hilfe der Winkeleisen langsam nach dem schmaleren Ende, während gleichzeitig das Spülwasser dem Sand entgegenläuft und die Schmutzstoffe mit sich nach dem weiteren Ende führt. Der Wasserverbrauch je m^3 gewaschenen Sandes beträgt im Durchschnitt 8 bis 9 m^3. Die Sandstrahlwäsche besteht aus einer Reihe hintereinander aufgestellter, trichterförmiger Kästen. In einem solchen Kasten wird der schmutzige Sand durch Wasserstrahlen aufgerührt. Das schmutzige Spülwasser fließt seitlich über einen Überfall ab, während der schwerere Sand in den Kasten abwärts sinkt und von dort durch einen Wasserstrahlelevator (auch Wasserstrahlejektor genannt) in den nachfolgenden Kasten gehoben wird, wo sich dasselbe Spiel wiederholt. Es werden etwa 4 bis 7 Kästen hintereinander geschaltet, bis die Reinigung genügend weit gefördert ist; jedem Kasten wird frisches Wasser zugeführt. Der Wasserverbrauch je m^3 gewaschenen Sandes beträgt im Durchschnitt etwa 20 m^3.

116. Der Verlust an Rohwasser durch die Filtration einschließlich des Betriebes der Sandwäsche, jedoch ausschließlich des Wasserverlustes, der durch das Einarbeiten des Filters entsteht,

---

[1]) Auch Körtingsche Sandwäsche genannt nach den Herstellern Gebr. Körting, Körtingsdorf bei Hannover.

kann nach Sonreker (vgl. Fußnote Seite 76) zu 3 bis 5% des Rohwassers veranschlagt werden. Dementsprechend sind die Rohwassermengen in ihrer Leistungsfähigkeit größer anzuordnen als die Reinwasserpumpen.

4. Filterregler

117. Bei jedem im Betrieb befindlichen Filter tritt während der Laufzeit eine ständig zunehmende Verschlammung der Filterschicht ein. Die sinkende Durchlässigkeit dieser Schicht hat bei den Filtern, die ohne Geschwindigkeitsregler arbeiten, eine allmähliche Verringerung der Filtergeschwindigkeit und Filterleistung zur Folge. Um ein einwandfreies Filtrat von gleichmäßig guter Beschaffenheit und den günstigsten Wirkungsgrad der Filteranlage zu erreichen, ist es notwendig, daß die Filtergeschwindigkeit während der Laufzeit durch einen Regler auf gleicher Höhe gehalten wird. Der Filterdruck wird dann während der Laufzeit zunehmen. Die einfachste Regelung erfolgt durch Auf- und Zudrehen eines in die Abflußleitung eingebauten Schiebers, so daß die Abflußmenge konstant bleibt. Dabei wird die Auslaufmenge durch einen Überfall oder durch einen Venturi- oder Woltmannsmesser bestimmt. Diese Regelung von Hand hat den Nachteil, daß sie ruckweise erfolgt. Man vermeidet diesen Nachteil, wenn man einen selbsttätigen Filterregler anwendet. Von den vielen gebräuchlichen Ausführungen soll hier nur der selbsttätige Filterregler von Lindley, der von Götze verbessert und zunächst in Bremen verwendet wurde, beschrieben werden.

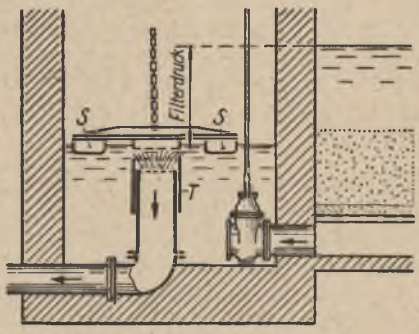


Abb. 54. Filterregler von Lindley

118. Bei diesem Regler (Abb. 54) wird ein Teleskoprohr T durch einen Schwimmer S in solcher Lage zum Wasserspiegel des Filtrats gehalten, daß in das Innere des Teleskoprohres immer die gleiche Wassermenge zum Abfluß gelangt. Wenn der Filterdruck steigt, d. h. wenn der Wasserspiegel des Filtrats gegenüber dem Filterwasserspiegel infolge der Verschmutzung der Filterschicht fällt, so folgt das Teleskoprohr selbsttätig dem sinkenden Wasserspiegel, ohne daß sich die Abflußmenge ändert. Durch die von Götze vorgenommene Verbesserung kann die Einlaßöffnung des Teleskoprohres zur Lage des Schwimmers verstellt und somit die Abflußmenge innerhalb bestimmter Grenzen geändert werden. Ist die Filterhaut so dick geworden, daß der Filterdruck größer als 1 m wird, so muß das Filter gereinigt werden.

119. Um Betriebserfparnisse und bessere Wirkungen bei der Sandfiltration zu erzielen, ist die Doppelfiltration eingeführt worden. Götze hat in Bremen zum erstenmal zwei Sandfilter hintereinander geschaltet betrieben und den Nachweis erbracht, daß ein eingearbeitetes Filter, das hinter ein anderes, unvollkommen oder noch nicht eingearbeitetes geschaltet wird, ohne Schwierigkeit die geringen Reste der Verunreinigung beseitigt, die im Filtrat des ersten Filters noch vorhanden sind. Bei mehreren Wasserwerken wird das Wasser zunächst in Schnellfiltern behandelt, ehe es den Langsamfiltern zugeführt wird; man erreicht dadurch eine viel größere Laufzeit der letzteren.

B. Zusammenfassung

Bei der Inbetriebnahme eines Sandfilters wird dieses von unten mit Reinwasser bis über die Sandoberfläche gefüllt; dann läßt man die Filtergeschwindigkeit langsam zunehmen, bis sich die erforderliche Filterhaut gebildet hat. Wenn der Filterdruck 1 m beträgt, muß das Filter gereinigt werden. Bei jeder Reinigung wird das Wasser im Filter abgelassen und die oberste 2 bis 5 cm dicke verschmutzte Sandschicht abgeschält. Der verschmutzte Sand wird gewöhnlich durch die Trommelwäsche oder die Sandstrahlwäsche gewaschen. Die beste Wirkung des Filters erreicht man, wenn die Filtergeschwindigkeit durch einen selbsttätigen Filterregler während der Laufzeit konstant gehalten wird. Unter Umständen wird eine Doppelfiltration angewendet, indem zwei Filter hintereinander geschaltet werden.

C. Besprechung des Lehrstoffs

Frage: Wie geschieht die Inbetriebnahme eines Sandfilters? **Antwort:** Man füllt das Filter von unten mit Reinwasser bis über die Sandoberseite und hat es dann in der Hand, die Filtergeschwindigkeit zu regeln. **F.:** Welche Dicke muß die Filtersandschicht mindestens haben? **A.:** Eine Dicke von mindestens 30 bis 50 cm. **F.:** Wie groß ist der Verlust an Rohwasser durch die Filtration einschließlich der Sandwäsche? **A.:** Etwa 3 bis 5 % des Rohwassers. **F.:** Welchen Nachteil hat die Regelung der Filtergeschwindigkeit von Hand? **A.:** Sie regelt ruckweise.

A. Vortrag

d) Schnellfilteranlagen

1. Allgemeines

120. Wie bei den langsamen Sandfiltern beruht die reinigende Wirkung des Schnellfilters auch auf dem Vorhandensein einer Filterhaut. Bei Sandfiltern ist man genötigt, das Filter einige Zeit nutzlos arbeiten zu lassen, um die Bildung der Filterhaut zu ermöglichen. Bei den Schnellfiltern wird dagegen die Filterhaut durch ein zugesetztes Fällmittel gebildet und in dieser Weise das Filter in kürzester Zeit arbeitsfähig gemacht. Als Fällmittel wird vielfach schwefelsaure Tonerde verwendet. Die Schnellfilter unterscheiden sich von den Sandfiltern weiter durch ihre größere Filtergeschwindigkeit und durch die Art und Dauer der Filterreinigung. Je nach der Beschaffenheit des Rohwassers gelangt die Schnellfiltration allein oder in Verbindung mit anderen, der Entfernung

besonderer Verunreinigungen dienenden Reinigungsverfahren, wie z. B. chemische Vorbehandlung, Belüftung oder Keimabtötung, zur Anwendung. Viele gewerbliche Betriebe, die sehr bedeutende Wassermengen brauchen, entnehmen am vorteilhaftesten ihr Wasser durch eigene Wasserwerke aus dem nächsten Gewässer; für diese Zwecke gibt es genügend auf den Sonderfall abgestellte Reinigungen. Dabei handelt es sich in der Regel nur um eine Klärung des Wassers, während eine bakteriologische Reinigung oft nicht nötig ist. In solchen Fällen sind Schnellfilter besonders vorteilhaft.

2. Anordnung und Betrieb

121. Die Schnellfilter werden in offener oder geschlossener Form ausgeführt. Die letzten werden oft Druckfilter genannt. Die Filterbehälter sind in der Regel zylindrisch und werden aus Stahlblech hergestellt. Bei den offenen Anlagen verwendet man unter Umständen Behälter mit rechteckiger Grundfläche; dann sind die Behälter in der Regel aus Eisenbeton. Offene Schnellfilter können eine Filterfläche bis zu 100 m^2 besitzen; geschlossene Filter erhalten selten mehr als 6 m^2 Filterfläche.

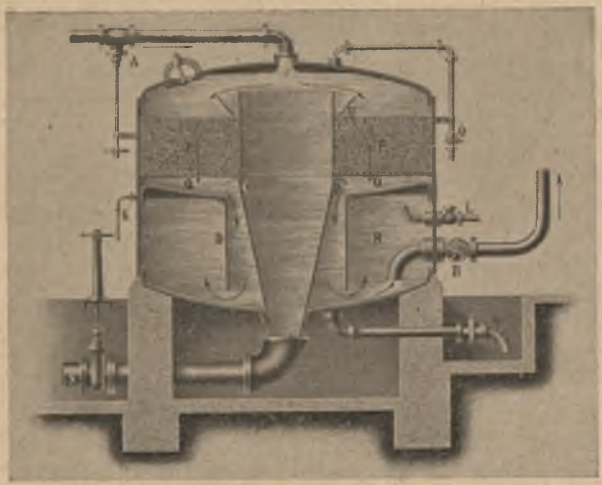
122. Während die Filtergeschwindigkeit bei Sandfiltern etwa 100 bis 125 mm in der Stunde beträgt (Abs. 108), erreicht man bei den Schnellfiltern Filtergeschwindigkeiten von 2000 bis 7000 mm in der Stunde. Die Filtergeschwindigkeit kann um so größer gewählt werden, je geringer der Reinheitsgrad des Filtrats zu sein braucht. Auch hier gilt, wie bei den Sandfiltern, daß die Laufzeit um so größer ist, je kleiner die Filtergeschwindigkeit gewählt wird.

123. Auf Grund der größeren Filtergeschwindigkeit kann als Filtermaterial nicht feiner Sand, sondern nur gröberer Sand und Kies verwendet werden. Als vorteilhafteste Höhe der Filterschicht hat sich 0,6 bis 0,75 m erwiesen. Über der Sandoberseite genügt in der Regel eine Wasserhöhe von 20 bis 50 cm.

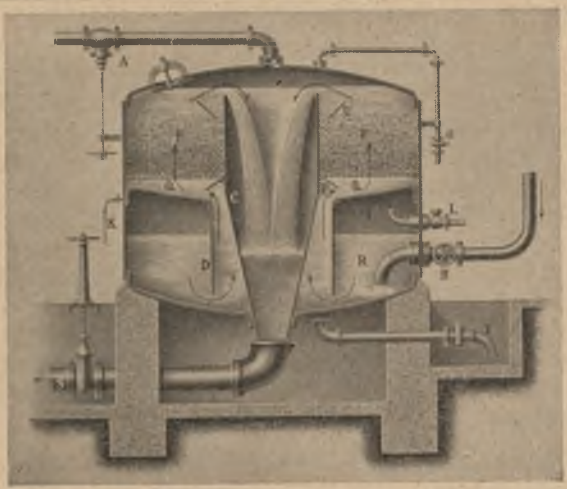
124. Der Filterdruck schwankt etwa zwischen 1 und 4 m. Die Filtergeschwindigkeit wird mit Hilfe von Filterreglern während der Laufzeit konstant gehalten. Schwimmerregler (z. B. der Filterregler von Lindley) benötigen einen offenen Wasserspiegel und sind deshalb für geschlossene Filter nicht verwendbar. Für solche Fälle eignet sich ein von Siemens & Halske gebauter Filterregler, der auf dem Grundsatz des Venturirohres aufgebaut ist. Um den Zeitpunkt für die erforderliche Filterreinigung erkennen zu können, muß jeder Schnellfilter einen Filterdruckmesser besitzen.

125. Die Reinigung der Schnellfilter erfolgt durch Rückspülung, indem das Spülwasser den Filtersand (-kies) von unten nach oben durchströmt und dabei den an den Sand

haftenden Schmutz mit sich reißt und über einen Überlauf abführt. Die Reinigungswirkung kann durch die Anwendung von Rührwerken und durch gleichzeitig mit dem Spülwasser eingeführte



a



b

a) Schaltung beim Filtern b) Schaltung beim Reinigen

Abb. 55. Geschlossenes Schnellfilter mit Starkstromauswaschung
Hans Reisert u. Co., Köln

Luft erhöht werden. Rührwerksfilter, bei denen das Filtermaterial während der Spülung durch feste Stäbe oder lose Ketten aufgerührt wird, wurden früher sehr viel in Amerika verwendet. Sie werden aber heute seltener gebaut, da die Spülung mit Hilfe von Druckluft wirtschaftlicher ist und weniger Zeit in Anspruch nimmt.

126. Da die Reinigung in ganz kurzer Zeit erfolgt, sind Reservefilter in der Regel nicht nötig; jedenfalls genügt bei großen Anlagen ein Reservefilter.

127. In den Abb. 55 ist ein geschlossenes Schnellfilter mit Starkstromauswaschung dargestellt; Abb. 55 a zeigt das Filter im Betrieb, Abb. 55 b die Schaltung bei der Reinigung. In einem zylindrischen geschlossenen Behälter ruht auf einem durchlässigen Filterboden Q das Filtermaterial F, das aus feinem Perlsand besteht. Das Rohwasser fließt durch das Ventil A zentrisch in den Behälter, so daß der Filterkies nicht aufgewirbelt wird. Das Filtrat gelangt durch den ringförmigen zwischen den Zylindern C und D gebildeten Schacht in den Reinwasserraum R, von wo es durch das Abflußrohr B abfließt. Ist der Filterdruck so stark gestiegen, daß eine Filterreinigung notwendig ist, so wird zunächst das Ventil A geschlossen, dann das Ventil S und das Luftventil L, das mit einem durch eine Luftpumpe gespeisten Windkessel in Verbindung steht, geöffnet. Die einströmende Preßluft verdrängt das in dem Raum R befindliche Reinwasser und treibt es mit großer Geschwindigkeit durch das Filtermaterial von unten nach oben. Das Wasser reißt allen Schlamm mit sich, stürzt in den Zylinder C und wird durch das offene Ventil S abgeleitet. Durch den plötzlichen Druck hebt sich anfangs das ganze Filtermaterial und fällt dann durch das entgegenströmende reine Spülwasser zurück, wobei es von allem Schlamm befreit wird. Dieser Vorgang dauert etwa 20 bis 40 Sekunden. Filtermaterial geht dabei nicht verloren. Durch das Einlassen größerer oder kleinerer Luftmengen hat man es in der Hand, beliebig viel Waschwasser zu verwenden. Die Menge der Luft wird in der Regel durch die Größe des im Windkessel herrschenden und an einem Manometer ablesbaren Druckes bestimmt. Nach Schließen des Luftventils S und langsamem Öffnen des Ventils A ist das Filter wieder betriebsfähig. Die Luft entweicht allmählich durch das Ventil K, so daß sich der Reinwasserraum wieder mit Wasser füllt.

B. Zusammenfassung

Das Wesen der Schnellfiltration besteht neben der größeren Filtergeschwindigkeit darin, die Filterhaut durch Zusatz von Fällmitteln in kurzer Zeit künstlich zu bilden und die Filterreinigung in kurzer Zeit durch Rückspülung vorzunehmen. Die Schnellfiltration eignet sich besonders gut, wenn nur eine Klärung des Wassers und keine bakteorologische Reinigung erforderlich ist. Die offenen und geschlossenen Filterbehälter werden aus Stahlblech oder aus Eisenbeton hergestellt und erhalten eine kreisrunde oder rechteckige Grundfläche. Die Filtergeschwindigkeit beträgt etwa 2 bis 7 m in der Stunde, der Filterdruck etwa 1 bis 4 m. Das Filtermaterial besteht aus Kies oder grobem Sand. Die Rückspülung erfolgt, indem das Reinwasser den Filtersand von unten nach oben durchströmt und dabei den an dem Sand haftenden Schmutz mit sich reißt und über einen Überfall abführt.

C. Besprechung des Lehrstoffs

Frage: Wie bildet sich die Filterhaut bei Schnellfiltern? **Antwort:** Durch Zusatz von Fällmitteln, z. B. schwefelsaurer Tonerde. **F.:** Für welche Zwecke ist die Schnellfiltration besonders vorteilhaft? **A.:** Wenn nur eine Klärung und keine bakteorologische Reinigung des Wassers erforderlich ist. **F.:** Aus welchem Material werden Schnellfilterbehälter hergestellt? **A.:** Aus Stahlblech oder aus Eisenbeton. **F.:** Woraus bestimmt sich die größte Filtergeschwindigkeit? **A.:** Aus dem erforderlichen Reinheitsgrad des Filtrats. **F.:** Wie groß wählt man die Höhe der Filterschicht bei Schnellfiltern? **A.:** Etwa 0,6 bis 0,75 m.

D. Zur Wiederholung

80. Wann muß ein Filter gereinigt werden? 81. Woraus besteht die Trommelwäsche? 82. Warum wird die Filtergeschwindigkeit während der Laufzeit in der Regel konstant gehalten? 83. Woraus besteht der Filterregler von Linden? 84. Welche zwei Hauptformen unterscheidet man bei den Schnellfiltern? 85. Wie groß wählt man die Filterfläche eines geschlossenen Schnellfilters? 86. Woraus besteht das Filtermaterial bei Schnellfiltern? 87. Wie viele Reservefilter sind bei Schnellfiltern nötig?

E. Aufgaben

20. Wie geschieht die Filterreinigung bei langsam wirkenden Sandfiltern?
21. Welches sind die Merkmale der Schnellfiltration?
22. Wie erfolgt die Reinigung von Schnellfiltern?

Elfte Stunde

A. Vortrag

e) Entkeimung des Wassers

128. Die Entkeimung des Wassers kann in verschiedener Weise erfolgen. Wenn das Wasser eine kurze Zeit über etwa 80° erhitzt wird, so werden die in ihm enthaltenen Bakterien und deren Keime abgetötet. Diese Wirkung wird hauptsächlich in Epidemiezeiten und im Kleinen in den einzelnen Haushaltungen benutzt. In einzelnen Fällen hat sie auch im Großen Anwendung gefunden, sie erfordert aber dann große Koch- und Kühlapparate.

129. Wie in Abs. 106 erwähnt, wird jedes Wasser durch die langsame Sandfiltration praktisch keimfrei. Dabei ist unter Umständen eine Vorreinigung des Rohwassers in Klärbecken erforderlich. Durch die Schnellfiltration kann das Wasser nur dann entkeimt werden, wenn die Filtergeschwindigkeit nicht zu groß und das Filtermaterial nicht zur grobkörnig ist.

Außer dem Abkochen und der Filtration gibt es noch verschiedene andere Verfahren zur Entkeimung des Wassers, die hier kurz beschrieben werden sollen.

1. Chlorung

130. Das Chlor kann in Form von Chlorkalk, Natriumhypochlorit oder Chlorgas zur Entkeimung des Wassers verwendet werden.

In zahlreichen großen Städten Nordamerikas wird schon seit

vielen Jahren in umfangreichem Maße Chlorkalk zur Abtötung gesundheitsschädlicher Keime im Trinkwasser angewandt. In Deutschland bestand im Anfang eine starke Abneigung gegen die Verwendung von Chlorkalk und so kam es, daß die Leitung von vielen Wasserwerken dieses einfache und billige Mittel benutzten, um die Gefahr der Typhusepidemien zu bannen, es aber aus Rücksicht auf die Vorurteile der Bevölkerung zunächst nicht öffentlich bekannt werden ließ.

131. Der käufliche Chlorkalk (Bleichkalk) ist ein weißliches hygroskopisches Pulver, in der Hauptsache ein Doppelsalz von Kalziumhypochlorit (unterchlorigsaurem Kalk) und Chlorkalzium $Ca(OCl)_2 + CaCl_2$, wofür auch die einheitliche Formel $CaOCl_2$ geschrieben werden kann. Außerdem enthält er noch geringe Mengen von basischem Kalziumchlorit $CaCl(OH)$ und von basischem Hypochlorit $CaOCl(OH)$. Der Vorgang der chemischen Umsetzung des Chlorkalks unter der Einwirkung des Wassers in Gegenwart von oxydierbarer Substanz stellt sich kurz so dar:

$$CaOCl_2 = CaCl_2 + O \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (35)$$

d. h. aus dem Chlorkalk bildet sich Chlorkalzium unter Freiwerden von Sauerstoff. Dieser freie (sogen. „aktive") Sauerstoff ist es, der bei seinem Entstehen die eigentliche keimtötende Kraft ausübt. Der Chlorkalk wird jedoch nach dem, dem Sauerstoffgehalt gleichwertigen (äquivalenten) Chlorgehalt bewertet. Der käufliche Chlorkalk hat 20 bis 40, meistens 35% „wirksames Chlor".

132. Die zur Erzielung einer ausreichenden Wirkung erforderliche Zusatzmenge hängt ab von der Beschaffenheit des Wassers, von dem Grad der Keimtötung, den man erreichen will und davon, ob das Wasser noch nach anderen Verfahren behandelt wird. Wenn der Gehalt an organischen Stoffen nicht zu groß ist, genügt im allgemeinen ein Zusatz von 1 bis 2 g Chlorkalk auf 1 m^3 Wasser. Der Chlorkalk wird zunächst in einer kleineren Menge Wasser gelöst, diese Chlorkalklösung wird dann dem Rohwasser in gewünschter Menge an geeigneter Stelle zugesetzt. Wird dem Wasser zuviel Chlorkalk zugesetzt, so nimmt es unter Umständen einen schlechten Geruch und Geschmack an. Das überschüssige, zuviel zugesetzte Chlor kann dann durch Natriumthiosulfat, Natriumsulfit oder Kaliumpermanganat beseitigt werden. Diese Antichlormittel dürfen jedoch erst dann zugesetzt werden, wenn der Chlorkalk seine Wirkung getan hat, da die Antichlormittel die Desinfektionswirkung aufheben.

133. Abb. 56 gibt eine schematische Darstellung der Chlorungsanlage der Stadt Boonton, Amerika.[1]) Der Chlorkalk wird in

[1]) Nach Imhof und Saville, Die Desinfektion von Trinkwasser mit Chlorkalk in Nordamerika. Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung. 1910. S. 1119.

geschlossenen Gefäßen bezogen. Zunächst wird er in gewogener Menge in einem Behälter in wenig Wasser durch Umrühren aufgelöst. Dann kommt er in den Mischbehälter, ebenfalls mit Rührwerk, wo mit einer genau meßbaren Wassermenge die eigentliche Chlorkalklösung hergestellt wird, die auf 1 Teil Chlorkalk 100 bis 400 Teile Wasser enthält. Da die Lösung mit der Zeit ihre keimtötende Wirkung verliert, darf nicht zuviel auf einmal hergestellt werden (etwa für 8 Stunden Betrieb). Die Lösung wird von der Sohle des Mischbehälters mittels einer Pumpe in den Meßbehälter gehoben. Dieser hat eine genau einstellbare Ausflußöffnung, so daß man imstande ist, jede beliebige Menge der Chlorkalklösung zufließen zu lassen. In dem Meßbehälter wird immer der gleiche Wasserspiegel gehalten, weil die Pumpe mehr gibt als nötig ist und der Überfluß durch den Rücklauf wieder in den Mischbehälter kommt. Ein Läutewerk meldet selbsttätig, wenn sich der Wasserspiegel aus irgendeinem Grunde ändert. Die gemessene Chlorkalklösung wird dem Rohwasser mit natürlichem Druck zugesetzt. Hierzu dienen Rohrleitungen, die an verschiedenen Stellen des Rohwasserquerschnittes Öffnungen haben. Die Stelle des Zusatzes ist dort, wo die vom Staubecken kommende Zuleitung in die zur Stadt führende Gefälleitung übergeht.

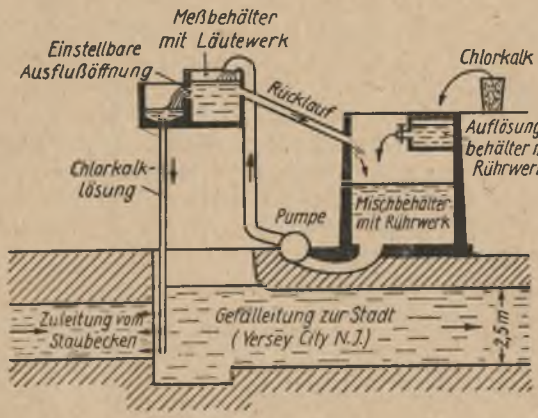


Abb. 56. Chlorungsanlage der Stadt Boonton, Amerika

134. Statt Chlorkalk, der den Nachteil hat, daß er bei der Lagerung in der Luft einen Teil des wirksamen Chlors verliert, wird auch Natriumhypochlorit (Elektrolytchlor) verwendet. Es entsteht durch Einwirkung des elektrischen Stromes auf eine Kochsalzlösung als eine wasserklare, nach Chlor riechende, stark alkalisch reagierende Flüssigkeit, die je nach der Konzentration der Salzlösung und der Einwirkungsdauer des elektrischen Stromes (Gleichstrom) in verschiedenen Stärken hergestellt werden kann. Durch Elektrolytchlor ist es möglich gewesen, ein für eine Färberei bestimmtes Wasser, dem man aus technischen Gründen

Chlorkalk nicht zusetzen konnte, in ganz billiger Weise einwandfrei für den Betrieb zu reinigen.[1])

135. Das billigste, einfachste und fast überall anwendbare Verfahren zur Chlorung des Wassers ist heute zweifellos der Zusatz von Chlorgas, das in Stahlflaschen in flüssiger Form im Handel erhältlich ist. Bringt man Chlorgas in das Wasser, so verbindet es sich mit dem Wasserstoff zu Salzsäure und der Sauerstoff wird frei. Der Vorgang vollzieht sich nach der Formel:

$$2\,Cl + H_2O = 2\,HCl + O \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (36)$$

Bei dem sogen. direkten Verfahren wird eine vorher dosierte Chlorgasmenge entweder unmittelbar oder mit Hilfe von Druckwasser in dem zu behandelnden Wasser zerstäubt. Bei dem indirekten Verfahren wird dagegen zunächst zu einer kleinen Wassermenge das Chlor gegeben und dieses konzentrierte Chlorwasser dem zu behandelnden Wasser beigemischt. Die zur Entkeimung erforderlichen Chlormengen sind sehr gering, es genügen schon etwa 0,3 g für 1 m^3 Wasser. Wenn das Rohwasser eine größere Menge von organischen Stoffen enthält, so sind jedoch höhere Zusatzmengen erforderlich.

Die Entkeimung des Wassers durch Chlorung bedarf einer sorgfältigen Überwachung durch eine sorgfältig ausgebildete Mannschaft.

B. Zusammenfassung

In den einzelnen Haushaltungen kann das Wasser zu Epedemiezeiten durch Abkochen von den gesundheitsschädlichen Keimen befreit werden. Durch langsame Sandfiltration und unter Umständen auch durch Schnellfiltration kann das Wasser ebenfalls entkeimt werden. Eines der am häufigsten angewandten Verfahren zur Entkeimung des Wassers ist die Chlorung. Das Chlor wird dabei als Chlorkalk, Natriumhypochlorit oder Chlorgas dem Wasser zugesetzt. Die eigentliche keimtötende Kraft beruht auf dem freien Sauerstoff, der durch die Mischung des Rohwassers mit der Chlorverbindung ausgeschieden wird. Der käufliche Chlorkalk ist ein Doppelsalz von Kalziumhypochlorit und Chlorkalzium. Er wird zunächst in einer kleinen Menge Wasser gelöst, diese Chlorkalklösung wird dann dem Rohwasser in gewünschter Menge an geeigneter Stelle zugeführt. Natriumhypochlorit entsteht durch Einwirkung des elektrischen Stromes auf eine Kochsolzlösung als eine wasserklare, nach Chlor riechende Flüssigkeit und wird in verschiedenen Stärken hergestellt. Chlorgas ist im Handel in Stahlflaschen in flüssiger Form erhältlich und wird bei dem direkten Verfahren entweder unmittelbar oder mit Hilfe von Druckwasser in dem Rohwasser zerstäubt. Bei dem indirekten Verfahren wird zunächst zu einer kleinen Wassermenge das Chlor gegeben und dieses konzentrierte Chlorwasser dem Rohwasser beigemischt. Das dem Rohwasser etwa zu viel zugesetzte Chlor wird, zur Vermeidung von schlechtem Geruch und Geschmack, durch Zusatz von verschiedenenen Antichlormitteln beseitigt.

C. Besprechung des Lehrstoffs

Frage: Auf welche Temperatur muß das Wasser erhitzt werden, damit die gesundheitsschädlichen Keime abgetötet werden? **Antwort:** Auf mindestens 80°.

---

[1]) Gesundheitsingenieur. 1913. S. 150. Verlag Oldenbourg, München.

F.: Kann man durch Schnellfiltration das Wasser entkeimen? **A.:** Ja, wenn die Filtergeschwindigkeit nicht zu groß und das Filtermaterial nicht zu grobkörnig ist. **F.:** Worauf beruht die keimtötende Wirkung des Chlorzusatzes? **A.:** Auf dem freien Sauerstoff, der durch die Mischung des Wassers mit der Chlorlösung ausgeschieden wird. **F.:** Welche Menge Chlorkalk wird in der Regel dem Rohwasser zugesetzt? **A.:** Zu 1 m^3 Wasser etwa 1 bis 2 g Chlorkalk. **F.:** Wie wird das Elektrolytchlor hergestellt? **A.:** Es entsteht durch die Einwirkung des elektrischen Stromes auf eine Kochsalzlösung. **F.:** Wie wird das Chlorgas nach dem direkten Verfahren dem Rohwasser zugesetzt? **A.:** Die vorher zugemessene Chlormenge wird entweder unmittelbar oder mit Hilfe von Druckwasser in dem Rohwasser zerstäubt.

A. Vortrag

2. Ozonierung

136. Das Ozon, der dreiatomige Sauerstoff (O_3) wurde im Jahre 1840 von Schönbein entdeckt. Es hat die Eigenschaft, in Berührung mit oxydierbaren Substanzen ein Atom Sauerstoff abzugeben und dabei wieder in den gewöhnlichen zweiatomigen Sauerstof (O_2) überzugehen. Das Ozon ist daher ein außerordentlich energisch wirkendes Oxydationsmittel, das gegenüber anderen, in der Chemie benutzten Oxydationsmitteln, den Vorteil hat, daß es nach seiner Wirkung keine störenden Salze oder andere unangenehmen Stoffe, sondern nur reinen Sauerstoff zurückläßt. Die Eigenschaft des Ozons, gesundheitsschädliche Keime im Trinkwasser zu vernichten, ist seit langer Zeit bekannt. Die praktische Verwendung dieser Wirkung in größerem Maße wurde aber erst erreicht, nachdem es möglich geworden ist, das Ozon auf einfachem und verhältnismäßig billigem Wege herzustellen.

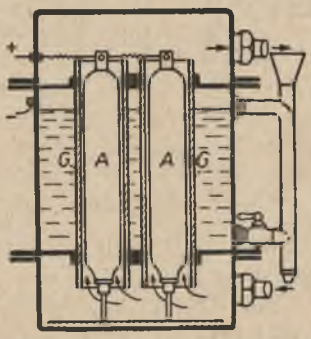


Abb. 57. Ozon-Erzeuger nach Siemens u. Halske, Berlin

137. Heute wird das zur Verwendung gelangende Ozon aus der atmosphärischen Luft hergestellt, indem man diese in besonderen Apparaten der sogen. stillen elektrischen Entladung aussetzt, wobei sich ein Teil des in der Luft enthaltenen inaktiven Sauerstoffs (O_2) in aktiven Sauerstoff (O_3) oder Ozon umsetzt. Bei dem Ozonerzeuger von Siemens & Halske (Abb. 57) findet die Entladung zwischen Aluminium- und Glaszylindern statt. Jede Ozonröhre besteht aus einem Aluminiumzylinder A und einem durch Wasser gekühlten Gaszylinder G. Die Wasserkühlung ist deshalb erforderlich, weil Temperaturerhöhungen die Ozonbildung beeinträchtigen. Sechs bis acht Ozonröhren sind in einem gußeisernen Kasten vereinigt. Der eine Pol (+) des hoch-

gespannten Wechselstromes ist an den Aluminiumzylinder angeschlossen und sorgfältig isoliert. Der andere Pol (—) wird von dem Glaszylinder gebildet und ist durch Kühlwasser und Gußeisenkasten geerdet. Eine Berührung des Kastens ist deshalb ganz ungefährlich. Die zu ozonierende Luft tritt unten in den Kasten ein, nimmt ihren Weg zwischen den Zylindern hindurch und verläßt als Ozonluft den Kasten an seinem oberen Teil. Von der Seite kann man durch eine Glasscheibe (in der Abbildung nicht angegeben) in den Apparat hineinsehen, um an dem bläulichen Licht der Entladung zu erkennen, ob der Apparat ordnungsmäßig arbeitet. Die Betriebshochspannung beträgt etwa 6000 bis

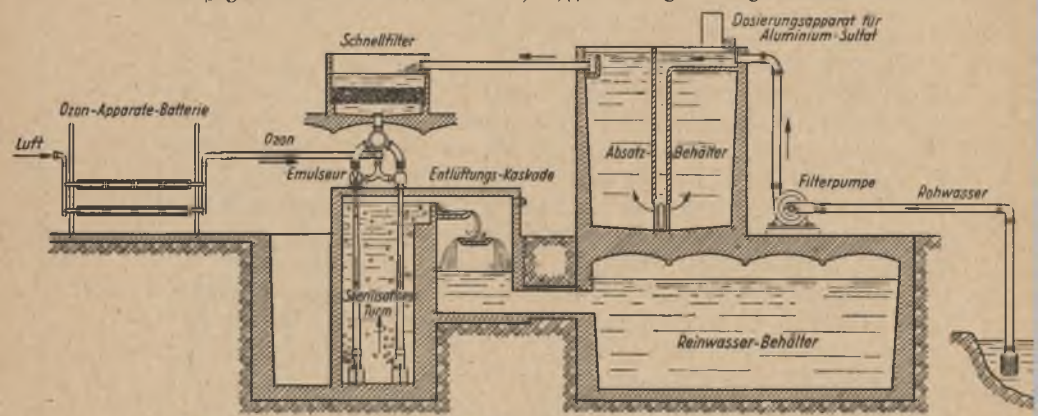


Abb. 58. Schematische Darstellung des Ozonwasserwerkes in Leningrad

10 000 Volt. Aus 1 m³ Luft werden etwa 2 bis 4 g Ozon gewonnen.

138. Bringt man das zu reinigende Wasser in feiner Verteilung mit einem Ozonluftstrom in Berührung, so werden die organischen Bestandteile des Wassers durch das Ozon oxydiert und gleichzeitig die im Wasser enthaltenen Keime abgetötet. An und für sich gibt es kein Rohwasser, das nicht durch Ozonierung entkeimt werden kann. Dagegen sind die Schwierigkeiten und somit die Kosten der Entkeimung nicht bei allen Rohwassern gleich groß. Zur Vermeidung von unnötigem Ozonverbrauch wird das Wasser deshalb vor der Ozonierung gewöhnlich durch Schnellfilter vorgereinigt.

139. Als Beispiel ist das von Siemens & Halske im Jahre 1911 für die Stadt St. Petersburg, jetzt Leningrad, erbaute Ozonwasserwerk Penkowaza in Abb. 58 schematisch dargestellt. Das Rohwasser wird bei dieser Anlage aus der Newa entnommen und durch Pumpen in Absatzbehälter gedrückt. Vor dem Einlauf in die Absatzbehälter wird dem Wasser etwa 30 g Aluminiumsulfat auf 1 m³ Wasser als Fällmittel zugesetzt. Nach etwa zweistündigem Aufenthalt in den Absatz-

behältern wird das Wasser durch Schnellfilter gereinigt. Die Filtergeschwindigkeit beträgt dabei 4,5 m in der Stunde, die stündliche Leistungsfähigkeit 2000 m³. Die Ozonapparaten-Batterie hat 128 auf Gestellen montierte Ozonapparate zu je 6 Elementen mit je einem inneren Aluminiumzylinder und einem äußeren Glaszylinder und arbeitet mit einer Spannung von 6500 Volt. Sie erhält Luft, die zur Erhöhung der Ozonausbeute durch Eismaschinen vorgetrocknet ist. Die Ozonleitung ist durch sogen. Emulseure mit den Abflußleitungen von den Schnellfiltern verbunden. Beim Durchgang durch die Emulseure, die nach dem Grundsatz der Wasserstrahlpumpen arbeiten, saugt das Wasser durch die Fallwirkung die Ozonluft an, mischt sich mit dieser und steigt in den Sterilisationstürmen aus Eisenbeton von unten nach oben auf. Von den Sterilisationstürmen fließt das Wasser über Entlüftungskaskaden in die Reinwasserbehälter. Da das Newawasser viel organische Stoffe enthält, so ist der Zusatz von Aluminiumsulfat erforderlich, um ein befriedigendes Ergebnis der Reinigung zu erhalten.

3. Ultraviolette Strahlen

140. Aus Quarz hergestellte und mit Quecksilberdämpfen gefüllte Lampen strahlen, wenn sie vom elektrischen Strom durchflossen werden, ein Licht aus, das an ultravioletten Strahlen außerordentlich reich ist. Diese Strahlen haben die Eigenschaft, daß sie klares Wasser bis zu einer Tiefe von etwa 30 cm durchdringen und nach 1 bis 2 Minuten langer Einwirkung alle im Wasser befindlichen Keime abtöten. Nach den bisher vorliegenden Untersuchungen ist aber das Verfahren unsicher und bedarf einer besonders sorgfältigen Überwachung. Es eignet sich nur für die Entkeimung kleiner Wassermengen und soll hier nicht näher besprochen werden.

4. Zusatz von Ätzkalk[1])

141. Nach einem Referat in Gesundheitsingenieur 1914 S. 49 wurde in London gefunden, daß ein Zusatz von einem Teil Ätzkalk zu 5000 Teilen Themsewasser gesundheitsschädliche Keime nach 5 bis 24 Stunden völlig abtöte. Smit empfiehlt besonders für die Tropen die Desinfektion des Wassers durch Kalkzusatz und nachfolgende Schnellfiltration. Das Verfahren hat bisher wenig Anwendung gefunden.

B. Zusammenfassung

Der dreiatomige Sauerstoff, das sog. Ozon, hat die Eigenschaft, in Berührung mit oxydierbaren Substanzen, ein Atom Sauerstoff abzugeben

[1]) Die Bedeutung der Bezeichnung „Ätzkalk" ist besonders im Baugewerbe umstritten, deshalb sollte das Wort überhaupt nicht mehr benutzt werden. Es wird hier trotzdem beibehalten, weil es bei der Wasserreinigung durchaus gebräuchlich ist. Ätzkalk ist $Ca(OH)_2$, also gelöschter Kalk.

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

und in den gewöhnlichen zweiatomigen Sauerstoff zu übergehen. Hierauf beruht die keimtötende Wirkung des Ozons. Das Ozon wird aus der atmosphärischen Luft hergestellt, indem man diese in besonderen Apparaten der sog. stillen elektrischen Entladung aussetzt. Bei dem Ozonerzeuger von Siemens und Halske erfolgt die Entladung zwischen einem Aluminiumzylinder und einem den ersten umgebenden, durch Wasser gekühlten Glaszylinder. Die Luft steigt von unten zwischen den Zylindern auf und wird dabei in Ozonluft verwandelt. Wenn das Rohwasser in feiner Verteilung mit der Ozonluft in Berührung gebracht wird, so werden die organischen Bestandteile im Wasser oxydiert und gleichzeitig die im Wasser enthaltenen Keime vernichtet. Die Mischung von Ozonluft und Wasser erfolgt in sog. Sterilisationstürmen. Ultraviolette Strahlen haben die Eigenschaft, klares Wasser bis zu etwa 30 cm Tiefe zu durchdringen und nach 1 bis 2 Minuten Einwirkung die im Wasser enthaltenen Keime abzutöten. Die Entkeimung des Wassers kann auch durch Zusatz von Ätzkalk erfolgen.

C. Besprechung des Lehrstoffs

Frage: Was ist Ozon? **Antwort:** Ozon ist der dreiatomige Sauerstoff. **F.:** Wie wird das Ozon hergestellt? **A.:** Aus der atmosphärischen Luft, indem man diese in besonderen Apparaten der sog. stillen elektrischen Entladung aussetzt. **F.:** Warum ist die Berührung des Kastens eines Siemens und Halske Ozonerzeugers nicht gefährlich? **A.:** Weil der Kasten geerdet ist. **F.:** Welche Eigenschaft haben die ultravioletten Strahlen? **A.:** Sie haben die Eigenschaft, daß sie klares Wasser bis zu einer Tiefe von etwa 30 cm durchdringen und dabei die im Wasser enthaltenen Keime nach 1 bis 2 Minuten Bestrahlung abtöten.

D. Zur Wiederholung

88. Wird die Entkeimung des Wassers durch Abkochen für die zentrale Wasserversorgung verwendet? 89. In welcher Form wird das Chlor dem Wasser zugeführt? 90. Wodurch bestimmt sich die erforderliche Zusatzmenge der Chlorlösung? 91. Wie kann man das zu viel zugesetzte Chlor wieder beseitigen? 92. Wie wird das Chlorgas im Handel bezogen? 93. Wie wird das Chlorgas nach dem indirekten Verfahren dem Rohwasser zugesetzt? 94. Welche für die Wasserreinigung wichtige Eigenschaft besitzt das Ozon?

E. Aufgaben

23. Woraus besteht der Chlorkalk?
24. Wie wird der Chlorkalk dem Rohwasser zugesetzt?
25. Es ist die Herstellung der Ozonluft mittels des Ozonerzeugers von Siemens und Halske zu beschreiben.

Zwölfte Stunde

A. Vortrag

f) Enteisenung des Wassers

142. Über das Vorkommen des Eisens im Wasser und die Nachteile des eisenhaltigen Wassers für Haushaltzwecke und verschiedene gewerbliche Zwecke (Wäschereien, Gerbereien usw.) sowie für das Rohrnetz der städtischen Wasserwerke ist in der Einführung (Abs. 14) einiges gesagt worden. Das Eisen kommt im Wasser in der Regel als Eisenoxydul vor, das entweder an Kohlensäure oder an Huminstoffen oder auch an Schwefelsäure gebunden ist.

Ein Eisengehalt des Grundwassers von 2 bis 4 mg im Liter kommt häufig vor; bei einigen Anlagen zeigt das Grundwasser sogar mehr als 30 mg im Liter. Oft wechselt der Eisengehalt bei einer und derselben Anlage mit der Zeit. So stieg er z. B. im Berliner Werk Wuhlheide stellenweise von 2,8 mg/l im Jahre 1914 auf 33 mg/l im Jahre 1921.

143. Kommt das eisenhaltige Wasser in innige Berührung mit der Luft, so wird das Eisenoxydul durch den Sauerstoff der Luft in Eisenoxydhydrat überführt. Das Eisenoxydhydrat ist im Wasser nicht löslich und fällt in rotbraunen Flocken aus. Die verschiedenen Enteisenungsverfahren sind deshalb auf diese Wirkung der Luft aufgebaut. Je nach den Verbindungen, an denen das Eisenoxydul gebunden ist, und je nach der Zusammensetzung des Wassers in chemischer Beziehung sind auch die verschiedenen Methoden der Enteisenung anzuwenden. Leicht enteisenen lassen sich alle Wasser mit hohem Gehalt an Karbonaten und geringem Gehalt an organischen (Humus-) Stoffen. Das Eisen scheidet sich aus ihnen meist in großen Flocken aus, so daß es sich durch Sandfilter von 2 mm Korn weitgehend entfernen läßt. Die Eisenausscheidung wird ferner durch Kontaktwirkung gefördert, wenn das Wasser mit bereits ausgeschiedenem Eisenoxydhydrat oder mit Stoffen in Berührung kommt, die eine rauhe Oberfläche besitzen. Bei weichem und karbonatarmem Wasser geht die Eisenausscheidung dagegen in der Regel sehr langsam und in feinflockiger, oft schleimiger Form vor sich. Bei ihnen ist Filtersand von nicht mehr als 1 mm Korn zu empfehlen. Besonders erschwerend auf die Eisenausscheidung wirken größere Mengen von freier Kohlensäure und gelöster organischer Bestandteile. Die Ausscheidung der organischen Stoffe erfordert außer genügender Belüftung gewöhnlich die Anwendung chemischer Fällmittel, z. B. Eisenchlorit, Kaliumpermanganat oder schwefelsaurer Tonerde. Sehr schwach eisenhaltige Wasser lassen das Eisen oft schwer ausscheiden. Es empfiehlt sich dann unter Umständen eine Beeisenung des Wassers mit Eisenvitriol und nachherige Enteisenung.

144. Enteisenetes Wasser darf auch bei längerer Aufbewahrung keine weitere Ausscheidungen von Eisen aufweisen. Der Eisengehalt des enteiseneten Wassers darf deshalb in der Regel nicht größer sein als etwa 0,2 mg im Liter. Man unterscheidet offene und geschlossene Enteisenungsanlagen.

1. Offene Enteisenungsanlagen

145. Bei den offenen Enteisenungsanlagen wird das eisenhaltige Wasser mit der atmosphärischen Luft in Berührung gebracht. Diese Belüftung des Wassers kann in verschiedener Weise erfolgen. Nach dem Verfahren von Piefke wird das Rohwasser zwecks Belüftung in einem Riesler durch eine etwa 3 m

hohe, auf einem Eisenrost ruhende Koksschicht geführt und dadurch mit einer großen Kontaktfläche in Berührung gebracht. Die gleichmäßige Verteilung des Wassers auf die Rieslerfläche erfolgt durch Brausen, Siebbleche oder gelochte Wellbleche. Durch 1 m^2 Rieslerfläche fließen durchschnittlich 3 bis 4 m^3 Wasser. Statt Koks verwendet man häufig auch Backsteine oder Holzhorden.

Nach dem Verfahren von Oesten wird die Belüftung dadurch erzielt, daß man das Rohwasser durch eine Brause in Tropfen aufgelöst etwa 2 bis 3 m durch die Luft fallen läßt (Regenfall). Beim Aufprallen des Wassers auf den Wasserspiegel wird die Ausflockung des Eisens gefördert.

Die Belüftung kann auch durch Zerstäubung des Wassers mittels sogen. „Amsterdamer Düsen" (vgl. Abs. 149) oder durch Einblasen von Luft auf der Sohle von offenen Wasserbehältern erreicht werden.

146. Nach der Belüftung, sei es durch Riesler, Regenfall oder Zerstäubung, gelangt das Wasser fast immer zunächst in ein Absetzbecken, das den Zweck hat, die schon in der Belüftungsanlage ausgeschiedenen Eisenflocken abzufangen, so daß das Filter weniger stark belastet wird. Hier verweilt das Wasser einige Stunden. Das Absetzbecken wird zweckmäßig mit trichterförmiger Sohle und Schlammableitung versehen, so daß man den ausgefallenen Eisenschlamm von Zeit zu Zeit durch Spülung beseitigen kann, ohne das Becken zu diesem Zweck entleeren zu müssen.

147. Von dem Absetzbecken gelangt das eisenarme Wasser auf die Filter, wo die Enteisenung vollendet wird. Früher hat man langsam wirkende Sandfilter benutzt, die mit 0,5 bis 1 m Filtergeschwindigkeit in der Stunde betrieben wurden. Die Anwendung von Schnellfiltern ist wesentlich wirtschaftlicher, weil die Filterreinigung einfacher ist (Rückspülung) und geringere Betriebskosten entstehen als beim Betrieb von Langsamfiltern. Die Filtergeschwindigkeit kann bis auf 10 m in der Stunde gesteigert werden. Von den Filtern gelangt das Wasser in den Reinwasserbehälter, der zum Ausgleich der Verbrauchsschwankungen dient.

148. Als Beispiel einer offenen Enteisenungsanlage ist in der Abb. 59 die im Jahre 1913 erbaute Enteisenungsanlage der Wasserversorgung für die Stadt Potsdam[1]) dargestellt. Bei dieser Anlage handelte es sich nicht nur darum, den verhältnismäßig niedrigen, an Huminstoffen gebundenen Eisengehalt bis auf unschädliche Mengen zu entfernen, sondern auch die sich unangenehm bemerkbar machende Gelbfärbung des Wassers zu beseitigen. Um das für die Anlage geeignetste System festzulegen, wurden über ein Jahr lang Versuche mit den verschiedenen Systemen angestellt. Unter Berücksichtigung aller technischer und wirtschaftlicher Umstände wurde

[1]) Sonderdruck D aus der Zeitschrift: Das Gas- und Wasserfach. Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung. 1914.

schließlich der Entwurf der Firma Halvor Breda grundsätzlich zur endgültigen Ausführung empfohlen.

149. Die erbaute Anlage ist für eine Leistung von 500 m³ in der Stunde eingerichtet (Abb. 59). Das Rohwasser wird durch besondere Vorpumpen unter Vermittlung einer Rohrverteilungs-

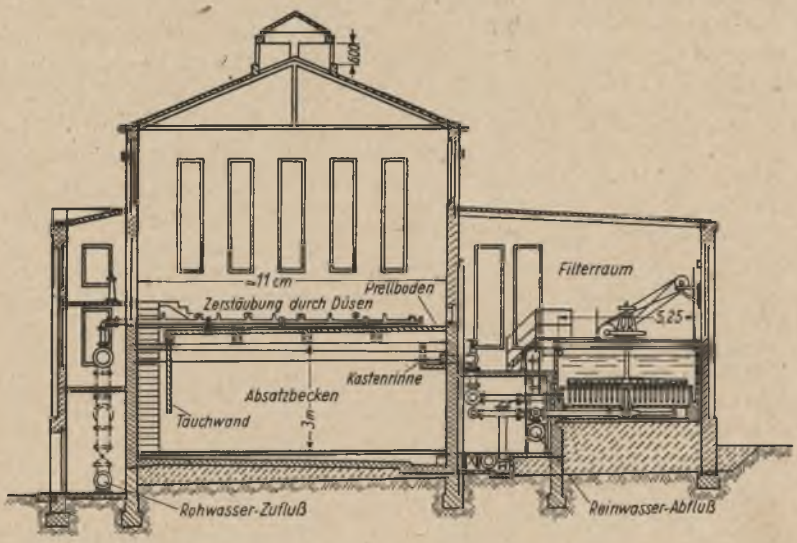


Abb. 59. Enteisenungsanlage der Wasserversorgung Potsdam

anlage mit einem Druck von etwa 4 m durch 240 Stück „Amsterdamer Düsen" etwa 2,6 m hochgespritzt (in dem Raum links) und fällt zunächst auf einen darunter liegenden Prellboden. Dicht über dem Prellboden in den Längswänden des Düsenraumes angebrachte Luftschlitze führen dem zerstäubenden Wasser reichlich atmosphärische Luft zu. Die „Amsterdamer Düsen" (vgl. Abb. 60) bewirken durch das heftige Aufeinanderprallen zweier im rechten Winkel sich treffenden Wasserstrahlen nicht nur eine sehr feine Zerstäubung des Wassers, sondern sie erteilen den Wasserteilchen auch eine kräftige Stoßwirkung. Das zerstäubte und belüftete Wasser läuft über den leicht geneigten Prellboden in vier darunter liegende Absetzbecken.

Abb. 60. Zerstäuber — Amsterdamer Düsen
Halvor Breda A.-G., Berlin W 15

150. Diese Becken sind so groß bemessen, daß sich das Wasser bei höchster Belastung der Anlage zwei Stunden darin aufhält

und genügend Zeit hat, eine gute Ausflockung der Eisenverbindungen und Farbstoffe zu bewirken, um auf diese Weise die Wirkung der Filtration vorzubereiten und gleichzeitig die Filter zu entlasten. Eine Tauchwand in ganzer Breite der Becken auf der Zuflußseite und eine in der Höhe angebrachte Kastenrinne auf der Abflußseite nötigen das Wasser, die Becken in ganzer Ausdehnung mit gleichmäßiger Geschwindigkeit von unten nach oben zu durchfließen. Dabei wird ein Teil der ausfallenden Niederschläge bereits zu Boden sinken und kann von Zeit zu Zeit durch Entschlammungsvorrichtungen entfernt werden.

151. Das in die Kastenrinne überfallende Wasser gelangt nunmehr auf die Filteranlage. Diese besteht aus sechs in dem unmittelbar neben dem Düsenraum liegenden Filterraum in einer Reihe angeordneten zylindrischen Schnellfiltern von je 4,6 m Durchmesser bzw. 16,67 m^2 wirksamer Filterfläche. Im ganzen steht also eine Filterfläche von 100 m^2 zur Verfügung, so daß sich eine Filtergeschwindigkeit von 5 m in der Stunde bei der Höchstbelastung ergibt. Als Filtermaterial dient ein fein gewaschener, geglühter und gesiebter Quarzsand von 0,75 bis 1 mm Korngröße, der in einer Schichthöhe von 0,7 m liegt und mit Hilfe einer in der Höhe verstellbaren, von einer Transmission angetriebenen Rührwerksvorrichtung unter Rückspülung mit Reinwasser ausgewaschen wird.

152. Besondere Druckregler sorgen für eine gleichmäßige Filtergeschwindigkeit; die zunehmende Verschlammung der Filter wird durch selbstregistrierende Apparate kontrolliert. Das erste Filtrat nach jedesmaliger Kieswäsche wird durch die Spülleitung abgelassen. Das Nutzfiltrat läuft in den Reinwasserbehälter und wird von da aus durch die Druckpumpenanlage in den Hochbehälter bzw. in das Versorgungsnetz gedrückt.

B. Zusammenfassung

Das Eisen kommt im Wasser in der Regel gelöst als Eisenoxydul vor. Kommt eisenhaltiges Wasser in intensive Berührung mit der Luft, so wird das Eisenoxydul in Eisenoxydhydrat überführt, das in rotbraunen Flocken ausfällt. Diese Ausscheidungen haben für das Rohrnetz sowie für Haushaltzwecke und verschiedene gewerbliche Zwecke große Nachteile. Das eisenhaltige Wasser muß deshalb vor der Verwendung enteisenet werden; das enteisenete Wasser darf in der Regel nur etwa 2 mg Eisen im Liter enthalten.

Bei den offenen Enteisenungsanlagen wird das eisenhaltige Wasser mit der atmosphärischen Luft in Berührung gebracht. Diese Belüftung erfolgt durch Riesler, Regenfall, Zerstäubung des Wassers mittels Amsterdamer Düsen oder durch Einblasen von Luft auf der Sohle offener Wasserbehälter. Nach der Belüftung gelangt das Wasser zunächst in ein Absetzbecken, wo es sich einige Stunden aufhält und einen großen Teil der Eisenflocken zurücklässt. Das eisenarme Wasser gelangt nunmehr auf die Filter, in der Regel Schnellfilter, wo die Eisenausscheidung vollendet wird.

C. Besprechung des Lehrstoffs

Frage: In welcher Verbindung kommt das Eisen im Grundwasser vor? **Antwort:** In der Regel als Eisenoxydul an Kohlensäure oder Huminstoffe gebunden. **F.:** Worauf sind die Enteisenungsverfahren aufgebaut? **A.:** Darauf, daß der Eisengehalt des Wassers bei inniger Berührung mit der Luft als Eisenoxydhydrat ausgefällt wird, das durch Absatzbecken und Filter zurückgehalten werden kann. **F.:** Welchen Eisengehalt darf das enteisenete Wasser noch haben? **A.:** Einen Eisengehalt von höchstens 0,2 mg im Liter. **F.:** Wie wird die Belüftung und Ausflockung des eisenhaltigen Wassers nach dem Verfahren von Oesten bewirkt? **A.:** Man läßt das Rohwasser durch eine Brause in Tropfen aufgelöst etwa 2 bis 3 m durch die Luft fallen. Beim Anprallen der Wassertropfen auf den Wasserspiegel wird die Ausflockung des Eisens gefördert.

A. Vortrag

2. Geschlossene Enteisenungsanlage

153. Bei den geschlossenen Enteisenungsanlagen erfolgt die Belüftung und Filtration in geschlossenen schmiedeeisernen Kesseln von Zylinderform, die einzeln ausgeschaltet und durch Spülung gereinigt werden können. Bei den neueren Anlagen dieser Art wird die Luft meist durch Kompressoren zugeführt. Man hat es dadurch in der Hand, die Luftmenge auf das gerade noch notwendige Minimum einzuregeln. Zu einer guten Vermischung von Luft und Wasser in kurzer Zeit bedient man sich besonderer Mischapparate. Der Überschuß an Luft, mit dem in der Regel gearbeitet werden muß, um eine einwandfreie Wirkung zu erzielen, entweicht größtenteils durch selbsttätige Entlüftungsventile; der Rest bleibt im Wasser. Die Bevölkerung der Gemeinden, in denen die geschlossenen Enteisenungsanlagen verwendet werden, begegneten anfangs diesem etwas perlenden Trinkwasser mit Mißtrauen, gewöhnt sich aber bald daran. Ein Versuch, durch Verminderung der Luftzufuhr

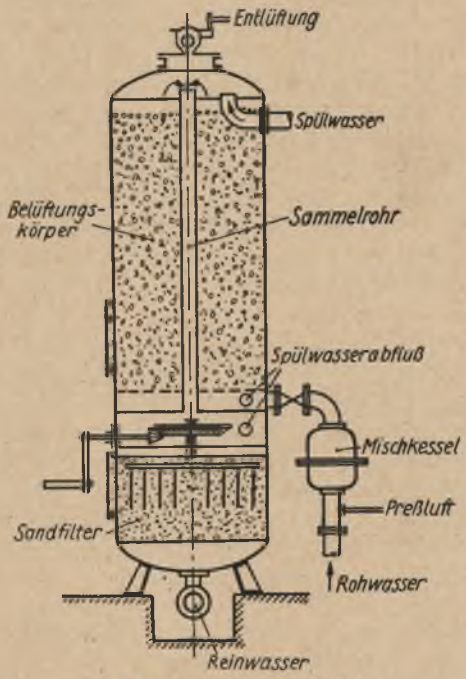


Abb. 61. Enteisenungskessel

das Perlen im Wasser zu beseitigen, mußte aufgegeben werden, weil der Eisengehalt im Reinwasser stieg.

154. Das Filtermaterial besteht entweder aus Quarzsand oder feinem Quarzkies von etwa 2 bis 3 mm Korngröße. Die Wirkung des Filters ist im allgemeinen um so besser, je feiner das Korn ist. Mit Rücksicht auf die Spülung des Filters darf die Korngröße aber nicht kleiner sein als 1 mm. Um das Filter zu entlasten und die Auflockung des Eisens bei hohem Eisengehalt zu fördern, ist es zweckmäßig, einen besonderen Kontaktkörper einzubauen, der aus grobem, porösen und scharfkantigen Material, z. B. Steinschlag oder Lavamasse, besteht. Der Kontaktkörper muß wie das Filtermaterial von Zeit zu Zeit durch Rückspülung gereinigt werden können.

155. In Abb. 61 ist ein geschlossenes Enteisenungsgerät der Firma Halvor Breda schematisch dargestellt. Das Gerät wird in die Druckleitung eingebaut. Die Luft wird mittels eines Kompressors in das Rohr eingedrückt, durch welches das Rohwasser in den Apparat eintritt. Rohwasser und Luft gelangen zunächst in einen Mischkessel, wo sie durch Stoßplatten innig vermischt werden. Dieses Gemisch gelangt nunmehr in den Enteisenungskessel und zieht langsam von unten nach oben durch den Belüftungskörper (Kontaktkörper) aus Lavamasse. Die überschüssige Luft sammelt sich im oberen Teil des Kessels und entweicht hier in kurzen Zwischenräumen durch ein selbsttätig wirkendes Ventil ins Freie. Das Wasser fällt durch ein Sammelrohr in den unteren kleineren Teil des Behälters und durchfließt dort ein Feinkiesfilter, das durch Filter- und Kontaktwirkung den Rest des Eisens zurückhält. Von dem Filter gelangt das enteisente Wasser in die Reinwasserleitung.

Die Spülung erfolgt umgekehrt. Das aus Reinwasser bestehende Spülwasser durchfließt nach Umstellung von Schiebern den Belüftungskörper von oben nach unten und gelangt unterhalb desselben zum Abfluß; das Kiesfilter wird unter gleichzeitiger Betätigung eines Rührwerkes durch Rückspülung gereinigt. Der Spülwasserbedarf, sowie die Häufigkeit der Spülungen sind um so größer, je höher der Eisengehalt des Rohwassers ist.

156. Außer der Möglichkeit des Einbaues in jede Druckleitung haben die geschlossenen Enteisenungsanlagen als Vorteile geringen Raumbedarf, geringe Betriebskosten, einfache Bedienung und Schutz gegen Verseuchung des Wassers. Nachteile dieser Anlagen sind bisweilen ungenügende Wirkung und Unzugänglichkeit der einzelnen Teile.

g) Entmanganung des Wassers

157. Wie das Eisen, so ist auch das Mangan im Wasser unerwünscht. Besonders schädlich ist das Mangan für das

Gärungsgewerbe, für die Papierherstellung, für Wäschereien und Färbereien. Hier kann schon ein Gehalt von 1 mg im Liter schaden. In Rohrleitungen bewirkt das Mangan Inkrustationen (Ansätze) wie das Eisen und vermehrt dadurch stark die Rauheit der Wandungen.

158. Ähnlich wie beim Eisen unterscheidet man leicht und schwer ausscheidbares Mangan. Die Entmanganung kann durch einfaches Rieseln über Koks oder durch Sandfiltration erfolgen. Bei den Dresdener Wasserwerken erfolgt die Entmanganung nach dem biologischen Verfahren von Vollmar. Das Wasser durchfließt dort unter Druck eine mit manganspeichernden Algen besetzte, in zwei übereinander angeordneten Kammern gelagerte Kiesschicht von 3 mm Korngröße und zusammen 1,4 m Höhe. Jedes m^2 Kiesfläche vermag durchschnittlich 25 m^3 Wasser in der Stunde zu entmanganen.

B. Zusammenfassung

Bei den geschlossenen Enteisenungsanlagen erfolgt die Enteisenung in geschlossenen schmiedeeisernen Kesseln, die in jede Druckleitung eingebaut werden können. Die erforderliche Luft wird durch einen Kompressor zugeführt und in einem Mischkessel mit dem Wasser innig vermischt. Dieses Gemisch gelangt in den Enteisenungskessel und zieht langsam von unten nach oben durch einen Belüftungskörper. Die überschüssige Luft entweicht oben durch ein selbsttätig wirkendes Ventil, während das Wasser durch ein Rohr in den unteren Teil des Kessels fällt, wo es ein Kiesfilter durchfließt, bevor es in die Reinwasserleitung gelangt. Die Reinigung des Filters sowie des Belüftungskörpers erfolgt durch Rückspülung.

Das Mangan im Wasser ist wie das Eisen für die Rohrleitung und für verschiedene gewerbliche Betriebe schädlich und muß deshalb vor der Verwendung des Wassers beseitigt werden. Die Entmanganung kann durch Rieselung und Filtration oder nach dem biologischen Verfahren von Vollmar vorgenommen werden.

C. Besprechung des Lehrstoffs

Frage: Wie wird die Luft bei den geschlossenen Enteisenungsanlagen dem Rohwasser zugeführt? **Antwort:** Die Luft wird durch Kompressoren zugeführt und in einem Mischkessel mit dem Wasser vermischt. **F.:** Warum muß bei den geschlossenen Enteisenungsanlagen mit einem Luftüberschuß gearbeitet werden? **A.:** Um eine einwandfreie Wirkung zu erzielen. **F.:** Woraus besteht der Kontaktkörper? **A.:** Aus grobem, porösen und scharfkantigen Material, z. B. Steinschlag oder Lavamasse. **F.:** Wie erfolgt die Entmanganung? **A.:** Durch Rieselung und Filtration oder nach dem biologischen Verfahren von Vollmar mit Hilfe von manganspeichernden Algen.

D. Zur Wiederholung

95. Warum muß das eisenhaltige Wasser vor der Verwendung enteisenet werden? 96. Was wirkt besonders erschwerend auf die Enteisenung? 97. Wie geschieht die Belüftung des Wassers nach dem Enteisenungsverfahren von Piefke? 98. Gelangt das Wasser bei den offenen Enteisenungsanlagen von der Belüftungsanlage unmittelbar auf die Filter? 99. Wo bleibt der Überschuß an Luft, der bei den geschlossenen Enteisenungsanlagen dem Rohwasser zugeführt werden muß? 100. Welches sind die Vorteile der geschlossenen Enteisenungsanlagen?

E. Aufgaben

26. Was muß man von einem enteiseneten Wasser verlangen?
27. Worauf beruht die Wirkung der Amsterdamer Düsen?
28. Es ist die Wirkungsweise eines Enteisenungsapparates der Firma Halvor Breda kurz zu beschreiben.

Dreizehnte Stunde

A. Vortrag

h) Enthärtung des Wassers

159. Während die Härte des Wassers für Genußzwecke belanglos ist, ja härteres Wasser vielfach als wohlschmeckender bezeichnet wird, ist ein hartes Wasser für viele industrielle und gewerbliche Zwecke, z. B. als Kesselspeisewasser und Kühlwasser, für Färbereien, Wäschereien, Bleichereien, Brauereien usw. ungeeignet und bedarf daher vor seiner Verwendung eine Enthärtung. Die Härte des Wassers wird durch den Gehalt an kohlensauren und mineralsauren Kalk- und Magnesiumsalzen bestimmt. Die ersten bilden die Kohlensäure- oder Karbonathärte. Der größte Teil dieser Härte umfaßt die beim Kochen sich ausscheidende vorübergehende Härte (vgl. Einführung Abs. 11). Die mineralsauren Kalk- und Magnesiumsalze bilden die sog. Mineralsäure- oder Nichtkarbonathärte, die beim Kochen nicht ausgeschieden wird und daher zusammen mit einem geringen Teil der Karbonathärte die bleibende Härte bildet.

160. Das zweckmäßigste Verfahren zur Enthärtung des Wassers muß, nach den örtlichen Verhältnissen, unter den in der Praxis bewährten Verfahren ausgewählt werden. Hier soll nur das häufig verwendete Kalk-Soda-Verfahren beschrieben werden. Nach diesem Verfahren wird die Karbonathärte durch Kalk, die Nichtkarbonathärte durch Soda ausgeschieden. Das Rohwasser wird zweckmäßig vorher auf etwa 50 bis 80° vorgewärmt. Hierdurch wird schon ein Teil der Karbonathärte ausgeschieden, wobei Kohlensäure sowie ein Teil der im Wasser gelösten Gase entweichen. Außerdem vollzieht sich die Ausfällung durch den Kalk-Soda-Zusatz im warmen Wasser schneller als im kalten.

Die chemischen Vorgänge sind folgende:

$$\underset{\text{dopp.-kohlens. Kalk}}{CaH_2(CO_3)_2} + \underset{\text{Ätzkalk}}{Ca(OH_2)} = \underset{\text{unlösl. einf. kohlens. Kalk}}{2\,CaCO_3} + \underset{\text{Wasser}}{2\,H_2O}$$

$$\underset{\text{dopp.-kohlen. Magnesia}}{MgH_2(CO_3)_2} + \underset{\text{Ätzkalk}}{2\,Ca(OH)_2} = \underset{\text{unlösl. Magnesiumhydrat}}{Mg(OH)_2} + \underset{\text{unlösl. einf. kohlens. Kalk}}{2\,CaCO_3} + \underset{\text{Wasser}}{2\,H_2O}$$

$$\underset{\text{freie Kohlensäure}}{CO_2} + \underset{\text{Ätzkalk}}{Ca(OH)_2} = \underset{\text{unlösl. einf. kohlens. Kalk}}{CaCO_3} + \underset{\text{Wasser}}{H_2O}$$

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 = CaCO_3 + Na_2SO_4$$

schwefels. Kalk — Soda — unlösl. einf. kohlens. Kalk — leicht lösl. Glaubersalz

$$MgSO_4 + Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 = Mg(OH)_2 + CaCO_3 + Na_2SO_4$$

schwefels. Magnesia — Soda — Ätzkalk — unlösl. Magnesiumhydrat — unlösl. kohlens. Kalk — leicht lösl. Glaubersalz

Etwa vorhandene Chloride und Nitrate des Kalziums und Magnesiums werden in einer den Sulfaten entsprechenden Weise umgesetzt. Die Kalzium- und Magnesiumverbindungen fallen als unlösliche Verbindungen in Form von Schlamm aus, der teils durch Absetzwirkung in Reaktionsräumen, teils durch nachfolgende

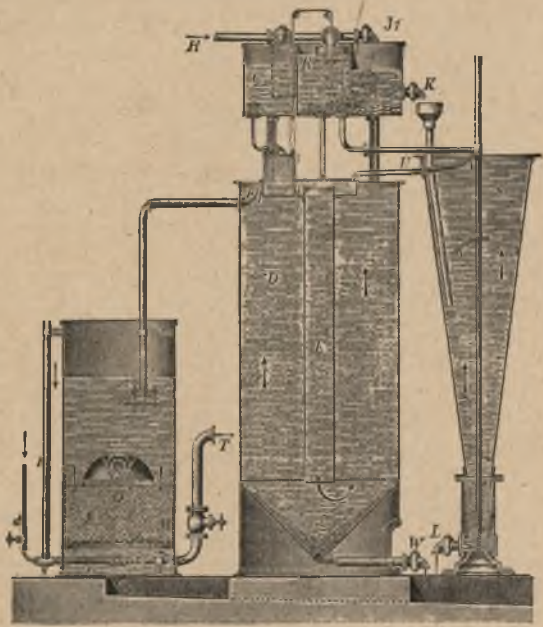


Abb. 62. Kalk-Soda-Entwässerungsgerät
Hans Reisert u. Co., Köln

Schnellfiltration von dem Wasser getrennt wird. Gleichzeitig mit diesen Verbindungen erfolgt auch eine Bindung der freien Kohlensäure und die Ausscheidung von Eisen- und Manganverbindungen. Es verbleiben somit im Wasser nur leichtlösliche Salze des Natriums, die vom Sodazusatz herrühren und die für die meisten Verwendungszwecke unschädlich sind.

161. Der Zusatz von Kalk und Soda erfolgt in wässrigen Lösungen. Die notwendigen Mengen der Zusätze können entweder berechnet oder durch Versuche bestimmt werden. Es ist jedoch immer mit einem Sodaüberschuß zu arbeiten, der um so größer sein muß, je weiter die Enthärtung getrieben werden soll.

Zu viel zugesetzter Ätzkalk wird durch überschüssige Soda als kohlensaurer Kalk ausgefällt.

162. Abb. 62 zeigt ein Kalk-Soda-Enthärtungsgerät der Firma Hans Reisert, Köln-Braunsfeld. Das Gerät besteht aus einem Verteilungsbehälter, einem Kalksättiger, einem Reaktionsbehälter und einem Kiesfilter. Das zu reinigende Rohwasser fließt durch das Rohr H in den Verteilungsbehälter. Dieser besteht aus dem Rohwasserabteil R, in dem das Wasser im Betrieb immer auf gleicher Höhe gehalten wird, aus dem Kalklöschabteil J, in dem man den Kalk ablöscht und zu Brei verrührt, dem Abteil C zum Auflösen der Soda und dem etwas tieferstehenden Sodareguliergefäß. Da man Kalk nicht wie Soda bis zur beliebigen Konzentration im Wasser auflösen kann, so bedient man sich der Eigenschaft des Kalkes, sich in einem ganz bestimmten Verhältnis 1 : 778 im Wasser zu lösen, so daß dieses sich mit dem Kalk sättigt. Über diese Sättigung hinaus nimmt das Wasser keinen Kalk mehr in Lösung auf. Auf dieser Grundlage ist der „Dervaux'sche Kalksättiger" gebaut. Er besteht aus einem aufrechtstehenden konischen Gefäß S, dessen engster Querschnitt sich unten befindet. Durch den Hahn K und das darunter befindliche Rohr mit Trichter wird die vor einer Arbeitsschicht im Abteil J bereitete Kalkmilch in den Kalksättiger eingeführt, nachdem man unmittelbar vorher die ausgelaugten Kalkreste durch den Hahn L entfernt hat. Eine genau eingestellte Wassermenge fließt aus dem Rohrwasserabteil R durch das Ventil V und das Rohr v unter die vorher eingeführte Kalkmilch und wirbelt diese stets auf. Das Wasser nimmt den Kalk mit in die Höhe, bis nach erfolgter Sättigung die Wassergeschwindigkeit infolge der zunehmenden Querschnittserweiterung so gering wird, daß die Kalkteilchen, weil schwerer, nicht mehr folgen. Das Kalkwasser verläßt, nachdem es sich vollständig mit dem Kalk gesättigt hat, geklärt den Kalksättiger durch das Rohr U. Die zurückfallenden Kalkteilchen werden immer wieder von der Wasserströmung erfaßt und bis zur völligen Erschöpfung ausgelaugt.

Die Menge des aus dem Kalksättiger S durch das Rohr U kommenden Kalkwassers wird durch das Ventil V im Rohwasserabteil R des Verteilungsbehälters eingestellt. Durch den Regler P strömt das übrige Rohwasser unmittelbar zum Mischrohr E. Dahin gelangt auch die genau bemessene Sodalösung aus dem Abteil C. Das Gemisch der drei Zuflüsse geht, sich innig vermengend, im Mischrohr E nach unten und gelangt in den Reaktionsbehälter D. Ein großer Teil des ausgeschiedenen Schlammes setzt sich in den trichterförmigen unteren Teil des Reaktionsbehälters ab und wird von Zeit zu Zeit durch den Hahn W abgelassen. Das Wasser selbst steigt im Raum D in die Höhe und fließt von oben durch das Überfallrohr in das

Reisert'sche Kiesfilter F, um darauf durch das Rohr T das Reinigungsgerät völlig klar zu verlassen. Das Filter kann durch Rückspülung mit einem Gemisch von Wasserdampf und Luft in wenigen Minuten über die Leitung bei y gereinigt werden.

Das Gerät wird, wenn gewünscht, mit einer Einrichtung zum Vorwärmen geliefert. Für solche Fälle, in denen nur wenig Grundfläche für den Wasserreiniger verfügbar ist, liefert die Firma eine besonders gedrängte Bauart, bei welcher das Filter in den Wasserreiniger unten eingebaut ist.

i) Entsäuerung des Wassers

163. Enthält das Wasser größere Mengen von freier Kohlensäure, so greift es unter Umständen die Rohrwandungen (Eisen, Blei und Beton) stark an. Es ist zu bemerken, daß nicht die gesamte Menge der freien Kohlensäure für die aggressive (angreifende) Wirkung in Betracht kommt, sondern daß ein gewisser Teil erforderlich ist, um die im Wasser gelösten Bikarbonate im gelösten Zustand zu erhalten (als doppelkohlensaurer Kalk und doppelkohlensaures Magnesium). Erst der Überschuß der freien Kohlensäure über diese für die Erhaltung der gelösten Bikarbonate erforderliche Menge ist als „aggressive Kohlensäure" anzusprechen. Hieraus erklärt sich die sehr zu beachtende Tatsache, daß derselbe Gehalt an freier Kohlensäure einem weichen Wasser aggressive Eigenschaften verleiht, ein hartes Wasser dagegen vollständig harmlos erscheinen läßt.

164. Ist der Überschuß an freier Kohlensäure gering, so genügt eine einfache Belüftung durch Rieseler oder Regenfall, um das Wasser so weit zu entsäuern, daß es die aggressive Wirkung verliert. Ist der Überschuß an freier Kohlensäure dagegen erheblich, so gelangen verschiedene besondere Verfahren zur Anwendung. Von diesen sind zu nennen: der Zusatz von Chemikalien, die sog. Vakuumrieselung und die Rieselung über Marmorgrieß. Für die Beseitigung größerer Mengen von freier Kohlensäure hat sich die Zerstäubung des Wassers mittels Amsterdamer Düsen und darauffolgende Rieselung über Marmorgrieß gut bewährt.

B. Zusammenfassung

Hartes Wasser ist für viele industrielle und gewerbliche Zwecke ungeeignet und muß deshalb vor der Verwendung enthärtet werden. Die Enthärtung erfolgt in der Regel mittels des Kalk-Soda-Verfahrens. Die kohlensauren Kalk- und Magnesiumverbindungen werden dabei durch Kalk, die mineralsauren Kalk- und Magnesiumverbindungen durch Soda ausgeschieden. Eine Enthärtungsanlage zur Durchführung dieses Verfahrens besteht in der Hauptsache aus einem Verteilungsbehälter, einem Kalksättiger, einem Reaktionsbehälter und einem Kiesfilter. Gleichzeitig mit der Ausscheidung der oben erwähnten Verbindungen erfolgt auch eine Bindung der freien Kohlensäure und die Ausscheidung von Eisen und Mangan. Die aggressive

Wirkung des Wassers auf die Rohrwandungen beruht auf dem Vorhandensein der sog. „aggressiven Kohlensäure" im Wasser. Die aggressive Kohlensäure kann nach verschiedenen Verfahren beseitigt werden.

C. Besprechung des Lehrstoffs

Frage: Was versteht man unter Nichtkarbonathärte des Wassers? **Antwort:** Die Nichtkarbonathärte umfaßt die im Wasser gelösten mineralsauren Kalk- und Magnesiumverbindungen. **F.:** Wie erfolgt die Enthärtung nach dem Kalk-Soda-Verfahren? **A.:** Die Karbonathärte wird durch Zusatz von Kalk, die Nichtkarbonathärte durch Zusatz von Soda ausgeschieden. **F.:** Wie werden die durch den Kalk-Soda-Zusatz ausgefällten Kalk- und Magnesiumverbindungen von dem Wasser getrennt? **A.:** Teils durch Absetzwirkung in Reaktionsräumen, teils durch Schnellfiltration. **F.:** Unter welchen Umständen wird eine Entsäuerung des Wassers nötig? **A.:** Wenn das Wasser einen Überschuß an freier Kohlensäure enthält, die die Wandungen der Rohre angreift.

A. Vortrag

IV. Aufspeicherung des Wassers

a) Zweck und Größe des Hochbehälters

165. Die ideale Art der Wasserversorgung wäre die, dem Versorgungsgebiet jederzeit die Wassermenge zuzuführen, die dem augenblicklichen Verbrauch entspricht. Eine solche Anordnung ist aber schon deshalb nicht möglich, weil man diesen Verbrauch im voraus nicht kennt. In Wirklichkeit stellen sich auch verschiedene andere Hindernisse entgegen. Die dem Versorgungsgebiet zugeführte Wassermenge wird deshalb nur ganz zufällig mit dem gleichzeitigen Verbrauch zusammenfallen, in der Regel aber von diesem mehr oder weniger verschieden sein. In einigen Tagesstunden wird somit der Verbrauch größer, in anderen Tagesstunden geringer sein als die zugeführte Wassermenge. Die Summe des Mehrverbrauchs, die also gleich der Summe des Minderverbrauchs ist, da sich Mehr- und Minderverbrauch ausgleichen, nennt man die fluktuierende Wassermenge.

166. Im folgenden sollen die Anlagen beschrieben werden, die zur Aufspeicherung von Wasser für die Zwecke eines geordneten Betriebes von Wasserversorgungsanlagen dienen. Diese Anlagen nennt man Hochbehälter oder oft einfach Behälter. Ein Hochbehälter soll in den Stunden, in welchen der Zufluß den Verbrauch übersteigt, die überschüssige Wassermenge aufnehmen und diese in den Stunden, in welchen der Zufluß unter dem Verbrauch herabsinkt, wieder abgeben. Um diesen Zweck zu erfüllen, muß der Hochbehälterinhalt mindestens gleich der fluktuierenden Wassermenge sein. Neben dieser hat der Behälter noch eine gewisse Wassermenge als Reserve für den Fall eines außergewöhnlichen Bedarfs, z. B. zur Bekämpfung von Feuersbrünsten u. dgl., aufzunehmen. Der Hochbehälter bildet eine wertvolle Sicherheit gegen die Unterbrechung der Wasserlieferung bei einem etwaigen Versagen der Fördermaschinen oder Bruch

der Zuleitung. Ein weiterer Vorteil des Hochbehälters besteht darin, daß man den Betrieb in den Stunden des schwachen Verbrauchs einstellen und die Versorgung dem Hochbehälter allein überlassen kann, während beim Fehlen eines Behälters der Betrieb ununterbrochen aufrechterhalten werden muß.

167. Da der Mindestinhalt des Hochbehälters im wesentlichen durch die fluktuierende Wassermenge gegeben wird, so ist die Bestimmung dieser Wassermenge von großer Bedeutung. Außer von dem täglichen Wasserbedarf ist die fluktuierende Wassermenge auch von der Betriebsform abhängig, und zwar spielt dabei nicht nur die Betriebszeit, sondern auch die Art und Weise, wie die Betriebszeit auf die Tagesstunden verteilt ist, eine Rolle. Bei mittleren und größeren Anlagen beträgt die Betriebsdauer in der Regel 16 bis 20 Stunden (von 6 Uhr vorm. beginnend). Für diese Verhältnisse kann die fluktuierende Wassermenge im Durchschnitt zu etwa 25% des mittleren Tagesverbrauchs angenommen werden. Beim Entwurf einer Anlage ist der voraussichtliche Wasserbedarf nach den Erfahrungen von Städten in ähnlichen Verhältnissen zu ermitteln und die fluktuierende Wassermenge nach Feststellung der Betriebsform abzuleiten. Bei künstlicher Hebung des Wassers kann man zu einem gewissen Grad den Gang der Maschinen und Pumpen den Schwankungen des Verbrauchs anpassen. In solchen Fällen dient der Behälter wesentlich als Reserve.

168. Man wird im allgemeinen mit dem Behälterinhalt möglichst in die Höhe gehen. Im Boden eingebaute Behälter für kleinere Anlagen erhalten häufig einen Inhalt gleich dem mittleren Tagesverbrauch, für mittlere und größere Anlagen etwas weniger. Nur bei Behältern auf Unterbau wird man den Behälterinhalt nach dem Minimum bemessen, weil bei diesen die Vergrößerung des Inhalts die Baukosten wesentlich erhöht. Nach einer Zusammenstellung von Weyrauch[1]) ist der Gesamtbehälterinhalt von 35 deutschen Städten im Mittel etwa 70 Liter je Kopf der Bevölkerung.

B. Zusammenfassung

Der Hauptzweck des Hochbehälters besteht darin, in den Stunden des schwachen Verbrauchs die dem Versorgungsgebiet überschüssig zugeführte Wassermenge aufzuspeichern und sie in den Stunden des starken Verbrauchs wieder abzugeben. Der Behälter muß deshalb mindestens die sog. fluktuierende Wassermenge fassen können. Daneben muß der Hochbehälter eine gewisse Wassermenge als Reserve für den Fall eines außergewöhnlichen Bedarfs, z. B. für Feuerbekämpfung oder beim Bruch der Zuleitung, aufnehmen können. Die fluktuierende Wassermenge ist außer von dem täglichen Wasserverbrauch auch von der Betriebsform der Anlage abhängig und kann bei mittleren und größeren Anlagen zu etwa 25% des mittleren Tagesbedarfs angenommen werden. Wenn Hochbehälter ins Gelände eingebaut werden können, wird man mit dem Behälterinhalt möglichst in die

[1]) Weyrauch, Die Wasserversorgung der Städte.

Höhe gehen. Bei Turmbehältern wird man dagegen den Inhalt nach dem Minimum bemessen, weil eine Vergrößerung des Inhalts die Baukosten wesentlich erhöht.

C. Besprechung des Lehrstoffs

Frage: Was versteht man unter der fluktuierenden Wassermenge? **Antwort:** Die Wassermenge, die in den Stunden des Minderverbrauchs gesammelt werden muß, um in den Stunden des Mehrverbrauchs die fehlende Menge decken zu können. **F.:** Wie groß muß der Inhalt eines Hochbehälters mindestens sein? **A.:** Mindestens gleich der fluktuierenden Wassermenge. **F.:** Wodurch bestimmt sich die fluktuierende Wassermenge? **A.:** Durch den täglichen Wasserverbrauch sowie durch die Betriebsform der Anlage. **F.:** Warum werden Turmbehälter nach dem Minimum bemessen, während man Erdbehälter in der Regel etwas größer macht? **A.:** Weil bei Turmbehältern eine Vergrößerung des Inhalts die Baukosten wesentlich erhöht, was bei Erdbehältern nicht der Fall ist.

D. Zur Wiederholung

101. Woraus besteht die vorübergehende Härte? 102. Welcher Unterschied besteht zwischen Nichtkarbonathärte und bleibender Härte? 103. Warum ist es zweckmäßig, das Rohwasser vorzuwärmen, bevor es in den Enthärtungsapparat gelangt? 104. Was versteht man unter aggressiver Kohlensäure? 105. Welches ist der Hauptzweck des Hochbehälters? 106. Wie unterscheidet man die Hochbehälter bezüglich der baulichen Ausführung? 107. Wie groß kann die fluktuierende Wassermenge bei einer mittleren Anlage geschätzt werden?

E. Aufgaben

29. Welcher Unterschied besteht zwischen Kabonathärte und vorübergehender Härte?
30. Es ist die Wirkungsweise des Enthärtungsgerätes der Firma Halvor Breda kurz zu beschreiben.

F. Gesamtwiederholung aus dem vierten Brief

Bei der Inbetriebnahme eines Sandfilters wird dieses von unten mit Reinwasser bis über die Sandoberfläche gefüllt; dann läßt man die Filtergeschwindigkeit langsam zunehmen, bis sich die erforderliche Filterhäut gebildet hat. Wenn der Filterdruck 1 m beträgt, wird das Filter gereinigt, indem die oberste verschmutzte Sandschicht abgeschält wird. Durch selbsttätige Filterregler kann die Filtergeschwindigkeit während der Laufzeit konstant gehalten werden. Die Schnellfiltration unterscheidet sich von der langsamen Sandfiltration außer durch die größere Filtergeschwindigkeit wesentlich durch die Art der Reinigung. Man unterscheidet offene und geschlossene Schnellfilter. Die Rückspülung erfolgt, indem das Reinwasser den Filtersand von unten nach oben durchströmt und dabei den an dem Sand haftenden Schmutz mit sich reißt. Die Entkeimung des Wassers kann in verschiedener Weise erfolgen. Die am häufigsten verwendeten Verfahren sind: die Chlorung des Wassers durch Chlorkalk, Natriumhypochlorit oder Chlorgas, die Ozonierung und die Behandlung mit ultravioletten Strahlen. Eisenhaltiges Wasser hat die Eigenschaft, nach kurzem Stehen eine Trübung anzunehmen und darauf einen gelbbraunen Niederschlag zu bilden, der aus Eisenoxydul besteht. Dieser Eisengehalt ist bei Verwendung des Wassers zu Genuß- und Fabrikationszwecken störend. Die verschiedenen Verfahren, solches Wasser nutzbar zu machen, gründen sich auf die Eigenschaft des Luftsauerstoffes, das Eisen auszufällen. Demgemäß besteht die Behandlung darin, das Wasser mit Luft innig in Berührung zu bringen, die Luft genügend lange einwirken zu lassen und das dann ausgeschiedene Eisen durch Filter vom Wasser zu trennen. Man verwendet offene und geschlossene Apparate.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach

SELBSTUNTERRICHT DER ABTEILUNG FÜR TECHNIK

Rechnen, Mathematische Wissenschaften, Mechanik, Graphische Statik

Grundlegendes Rechnen, 8 Briefe.
Berufliches Rechnen im Metallgewerbe, 9 Briefe.
Algebra
Teil I, 9 Briefe.
Teil II, etwa 5 Briefe.
Planimetrie, etwa 6 Briefe.
Stereometrie, 3 Briefe.
Einführung in die analytische Geometrie, 4 Briefe.
Stabrechnen, 2 Briefe.
Mathematisch-technische Tafeln, 3 Briefe.
Sphärische Trigonometrie, 4 Briefe.
Differential- und Integralrechnung, etwa 5 Briefe.
Graphische Statik, 19 Briefe.
Mechanik der festen Körper
Teil I, 7 Briefe.
Teil II, 4 Briefe.
Teil III, etwa 5 Briefe

Zeichnen

Zeichenmittel der Technik, 4 Briefe.
Geometrisches Zeichnen, 5 Briefe.
Skizzieren im Metallgewerbe, 2 Briefe.
Perspektivisches Zeichnen im Metallgewerbe, 1 Brief.
Maschinenzeichnen, 9 Briefe.
Einführung in das Bauzeichnen, 2 Briefe.
Planzeichnen, 4 Briefe.
Fachzeichnen für Klempner, 4 Briefe und 8 Mappen.
Fachzeichnen für Schlosser Teil II, 1 Brief und 2 Mappen.

Maschinenbau, Modellbau, Schlosserei, Klempnerei, Kalkulation, Fabrikanlagen

Eisenhüttenkunde, etwa 10 Briefe.
Maschinenteile
Teil I, 10 Briefe.
Teil II, 10 Briefe.
Werkstoffkunde Teil II, 6 Briefe.
Holzmodellbau, etwa 9 Briefe.
Metallbearbeitung, 6 Briefe.
Schnitt-, Stanz- und Ziehwerkzeuge, etwa 6 Briefe.
Härtetechnik, etwa 2 Briefe.
Werkstoffprüfung im Metallgewerbe, etwa 9 Briefe.
Schweißtechnik, etwa 5 Briefe.
Messen und Meßgeräte, 7 Briefe.
Einführung in den Hebezeugbau, etwa 6 Briefe.
Fachkunde für Klempner, 7 Briefe.
Fachkunde für Bauschlosser, 5 Briefe.
Kältetechnik, 5 Briefe.
Dieselmaschinen
Teil I, 2 Briefe.
Teil II, 4 Briefe.
Teil III, 2 Briefe.
Wasserkraftmaschinen, 2 Briefe.
Kolbendampfmaschinen, etwa 10 Briefe.
Kraftfahrzeuge, ihre Pflege und Instandsetzung, etwa 12 Briefe.
Gasmotorenanlagen für Kraftfahrzeuge, 1 Brief.
Aufbau der Verdichter und ihres Zubehörs, etwa 7 Briefe.
Dampferzeugung, etwa 10 Briefe.
Wirtschaftliche Fertigung, 9 Briefe.
Vorkalkulation, 10 Briefe.
Fabrikanlagen, 5 Briefe.

Physik, Chemie, Elektrotechnik, Funktechnik, Fernmeldetechnik, Feinmechanische Technik

Technische Physik, 12 Briefe.
Wärmemechanik, 5 Briefe.
Statik der Flüssigkeiten und Gase, 2 Briefe.
Einführung in die Chemie, etwa 10 Briefe.
Quantitative Analyse, etwa 5 Briefe.
Organische Chemie, etwa 12 Briefe. Hierzu etwa 2 Briefe mit Versuchen.
Grundlagen der Elektrotechnik, 12 Briefe.
Elektrotechnik für Handwerk und Betrieb, etwa 10 Briefe.
Elektrische Meßinstrumente, 7 Briefe.
Bau- und Einrichtung elektrischer Licht- und Kraftverteilungsanlagen
Teil II, 3 Briefe.
Teil III, 3 Briefe.
Teil IV, etwa 2 Briefe.
Elektrische Maschinen, etwa 8 Briefe
Funktechnik
Teil I, 11 Briefe.
Teil II, 25 Briefe.
Teil III, 13 Briefe.
Rundfunkempfangsanlagen, etwa 8 Briefe.
Fernsehtechnik, etwa 6 Briefe.
Fernsprechtechnik, etwa 7 Briefe.
Feinmechanische Konstruktionsgrundlagen, etwa 10 Briefe.

Flugzeugbau, Flugmotoren

Flugphysik, etwa 5 Briefe.
Flugzeugbau
Teil I, 2 Briefe.
Teil II, etwa 3 Briefe.
Teil III, etwa 3 Briefe.
Teil IV, etwa 5 Briefe.
Teil V, etwa 4 Briefe.
Teil VI, etwa 2 Briefe.
Flugmotoren, 3 Briefe.
Flugzeugnavigation, 4 Briefe.

Hoch- und Tiefbau, Feldmessen, Heizung und Entwässerung, Tischlerei

Bau- u. Kunstgeschichte, etwa 7 Briefe.
Stillehre in der angewandten Kunst, etwa 5 Briefe.
Baustoffkunde, etwa 8 Briefe.
Einführung in d. Bauzeichnen, 2 Briefe.
Entwerfen im Hochbau
Teil I, 7 Briefe.
Teil II, 3 Briefe.
Teil III, 6 Briefe.
Teil IV, 2 Briefe.
Fabrikanlagen, 5 Briefe.
Baubetriebslehre
Teil I, 3 Briefe.
Teil II, etwa 2 Briefe.
Teil III, 2 Briefe.
Teil IV, 2 Briefe.
Landwirtschaftliche Baukunde, etwa 8 Briefe.
Wärme-, Schall- und Erschütterungsschutz im Bauwesen, 6 Briefe.
Lüftungs- und Bewetterungsanlagen, etwa 3 Briefe.
Heiz und Kochanlagen, 3 Briefe.
Zentralheizung, 11 Briefe.
Entwurf und Ausführung von Zentralheizungsanlagen, 3 Briefe.
Zimmererarbeiten
Teil I, 2 Briefe.
Teil II, 3 Briefe.
Teil III, 5 Briefe.
Teil IV, 1 Brief.
Teil V, 3 Briefe.
Werkstoffe des Tischlers, etwa 6 Briefe.
Oberflächenbehandlung des Holzes, 3 Briefe.
Möbeltischlerei, etwa 10 Briefe.
Kalkulation für Tischler, 4 Briefe und 1 Lehrmittelmappe.
Dachdeckungen, etwa 5 Briefe.
Steinerne Treppen, 2 Briefe.
Stalltreppen, 3 Briefe.
Tunnelbau, etwa 4 Briefe.
Grundbau, 13 Briefe.
Straßenbau, 9 Briefe.
Einführung in die städtische Wasserversorgung, 2 Briefe.
Städtische Wasserversorgung, 7 Briefe.
Stadtentwässerung, etwa 6 Briefe.
Einführung i.d. Talsperrenbau, 2 Briefe.
Einführung in den Brückenbau, 1 Brief.
Stählerne Brücken, 4 Briefe.
Massivbrücken, etwa 5 Briefe.
Hölzerne Brücken, 3 Briefe.
Beton und Eisenbeton, 3 Briefe.
Berechnungsgrundlagen im Beton und Stahlbetonbau, etwa 9 Briefe.
Gesteinskunde, etwa 4 Briefe.
Planzeichnen, 4 Briefe.
Verwertung d. Luftbildes, etwa 4 Briefe.
Vermessungskunde, 11 Briefe.

Gesetzeskunde, Normen, Pädagogik, Lehrmittel

Gesetzeskunde, 7 Briefe.
Dinormen für Werkstatt und Selbstunterricht, etwa 5 Briefe.
Pädagogik für Lehrmeister, 1 Brief.
Lehrmittel: Raumbilder (Werkzeugmaschinen), 2 Mappen.
Raumbild (Die Simpsonsche Regel)