

Elektroosmotische Verfahren in der Technik.

Von Dr. KURT ILLIG, Berlin-Wilmersdorf.

(Eingeg. 15. Mai 1926.)

Sehr wenig ist bisher über ein Grenzgebiet veröffentlicht worden, das sicherlich dazu berufen ist, in einer ganzen Reihe von Industriezweigen eine mehr oder weniger bedeutende Rolle zu spielen, sofern es dies nicht schon heute tut¹⁾. Es ist schwer, einem Gebiete, das an der Grenze dreier Hauptzweige der exakten Naturwissenschaften liegt, einen anschaulichen, alle Begriffe umfassenden Namen zu geben, denn gar „hart stoßen sich im Raum die Dinge“, wo Physik, Elektrochemie und Kolloidchemie miteinander in Wechselwirkung treten. Da hier nicht weiter auf die Geschichte dieser Wissenschaft eingegangen werden kann, müssen wir uns damit begnügen, ihren Sammelnamen „Elektroosmose“ als einmal vorhanden hinzunehmen.

Schon im Jahre 1807 beobachtete Reuß, daß an den Berührungsflächen fester Nichtleiter mit Flüssigkeiten elektrostatische Ladungen herrschen, die es ermöglichen, die feste und flüssige Phase im elektrischen Potentialgefälle gegeneinander zu verschieben. Während er für diese Vorgänge noch keine Erklärung wußte, hat H. v. Helmholtz dieselben als Kataphorese theoretisch richtig erfaßt, ohne jedoch praktische Nutzenanwendung aus dieser bedeutungsvollen Erkenntnis gezogen zu haben. Erst Graf B. v. Schwerin legte um die Jahrhundertwende mit seinen Versuchen zur Entwässerung von Torf und Alizarinpaste²⁾ den Grundstein zu einer Technologie der Elektroosmose. Ihm und seinen Mitarbeitern, welche er seit 1911 in der Elektroosmose G. m. b. H., der späteren Elektro-Osmose A.-G., Berlin, vereinigte, ist auch in der Hauptsache die weitere Entwicklung und Durchbildung dieses neuen Zweiges der angewandten Elektrochemie zu verdanken. Leider ist die Fachwelt bisher nur sehr mangelhaft über die Einzelheiten und Erfolge bei den verschiedenen Verfahrengruppen unterrichtet worden, wofür wohl in erster Linie Geheimhaltungsgründe maßgebend gewesen sein mögen. Ich bin daher der Elektroosmose A.-G. zu besonderem Dank verpflichtet, daß sie mir, entgegen ihrem bisherigen Grundsatz, jetzt endlich, zwei Jahre nach der an mich ergangenen Aufforderung des Schriftleiters der Zeitschrift für angewandte Chemie, über die technischen Fortschritte der Elektroosmose zu referieren, nicht nur die Genehmigung zur Veröffentlichung der mir bisher vertraulich gegebenen Informationen erteilt, sondern darüber hinaus sämtliche Laboratoriums- und Betriebsjournale zugänglich gemacht hat.

Es soll nun in einigen im Laufe der nächsten Monate erscheinenden Aufsätzen der Versuch gemacht werden, in kurzen Umrissen Arbeitsweise und Zweck einzelner besonders wichtiger elektroosmotischer Verfahren zu skizzieren. Soweit eine gewisse Entwicklung bis zur

Einführung eines elektroosmotischen Verfahrens auf den einzelnen Gebieten zu verzeichnen ist, wird diese kurz gestreift werden. Theoretische Erläuterungen finden nur soweit Raum, als dieselben unbedingt zum Verständnis erforderlich sind. Eine erschöpfende Behandlung des ganzen Stoffes würde im Rahmen dieser Aufsätze zu weit führen und ist daher einer besonderen Arbeit vorbehalten³⁾.

I. Elektroosmotische Wasserreinigung.

Keine Industrie, kein Gewerbe, ja überhaupt kein Leben ohne Wasser! Aber jeder Zweig stellt andere Anforderungen an die Beschaffenheit des zur Verwendung kommenden Wassers, denn reines Wasser im chemischen Sinne wird von der Natur nur wenig geliefert. Vor allem sind es die Carbonate und Sulfate des Calciums und Magnesiums, die sogenannten Härtebildner, deren ganze oder teilweise Beseitigung angestrebt wird, um geeignetes Wasser für die Kesselspeisung, für Brennereien, Färbereien, Gerbereien, Wäschereien und viele andere Gewerbebezüge zu erhalten. Darüber hinaus ist es in vielen Fällen erforderlich, die übrigen schädlichen Salze, vor allem die Chloride, Nitrate, Nitrite, Eisen- und Manganverbindungen zu entfernen. Große Industriegruppen sind auf völlig entsalztes Wasser angewiesen. Zu nennen sind: die Lebensmittelindustrie, pharmazeutische Fabriken, Akkumulatorenfabriken, Leim- und Gelatinefabriken, große Zweige der chemischen Industrie und viele andere mehr.

Ehe nun die Arbeitsweise und der für eine ganze Reihe von Anwendungsgebieten sowohl technisch wie ökonomisch außerordentlich bedeutungsvolle Fortschritt in der Entsalzung und Sterilisierung des Wassers mittels des elektroosmotischen Verfahrens besprochen wird, soll ein kurzer Überblick über die Aufgaben und die bisher bekannten Methoden der Wasserreinigung und die Entwicklung der sich des elektrischen Stromes bedienenden Entsalzungsverfahren gegeben werden.

Von einer Aufzählung der zahlreichen Verfahren zur Reinigung verunreinigter Abwässer soll in diesem Zusammenhang abgesehen werden, da diese Methoden nicht ohne weiteres zum Vergleich mit der Frischwasserbereitung herangezogen werden können. Erwähnt sei nur, daß zahlreiche Patente bestehen, welche die Verwendung von Elektrizität für diesen Zweck als Schutz beanspruchen.

Das primitivste Verfahren zur Enthärtung von Frischwasser, besonders für Brauereien, ist das Abkochen, das durch Kochen unter Druck und gleichzeitige Bewegung späterhin verbessert wurde. Während durch diese Behandlungsweise die Kalk- und Magnesiumsalze nur unvollkommen beseitigt werden, gelingt die Enthärtung mit guten chemischen Reinigungsverfahren verhältnismäßig gut. Am besten haben sich von diesen chemischen Methoden bewährt: das Permutit-, das Kalk-, Soda- und das Sodaregenerativ-Verfahren. Alle drei Verfahren nehmen heute einen derart breiten Raum in der Technik ein, daß sie jedem Fachgenossen genügend bekannt sind.

Um ein völlig salzfreies Wasser zu erhalten, konnte man bisher nur den Weg der Destillation beschreiten,

¹⁾ Nachruf von F. Foerster, „Dr. Botho Graf v. Schwerin“, Z. Elektroch. 23, 126 [1917]. P. H. Praußnitz, „Elektroosmose und Elektrophorese“, Chem.-Techn. Wochenschr. 1920, Nr. 37/38. P. H. Praußnitz, „Über Elektroosmose“ Z. Elektroch. 28, 27 [1922].

²⁾ Z. Elektroch. 9, 741 [1903]; ebenda 23, 126 [1917]: Nachruf von F. Foerster, „Dr. Botho Graf v. Schwerin“.

Angew. Chem. 1926. Nr. 37.

³⁾ K. Illig, „Elektroosmose“ in Vorbereitung befindlicher Band von Engelhardts Monographien über angewandte Elektrochemie, Verlag Wilhelm Knapp, Halle.

d. h. das natürliche Wasser wird verdampft, wobei die Salze zurückbleiben, und der entweichende Wasserdampf wird kondensiert. Im Wasser gelöste Gase entweichen schon bei der Erwärmung zur Siedetemperatur. Vielfach wird auch der Abdampf von Dampfkesselkraftanlagen kondensiert, um destilliertes Wasser herzustellen, doch ist die Menge derart auf billigem Wege erhaltenen entsalzten Wassers meist viel zu gering, so daß in der Hauptsache das teure Destillationsverfahren in Frage kommt.

Während an Kesselspeisewasser die Forderung gestellt wird, daß es weich, also salz- und schlammfrei ist und außerdem zur Verhütung einer Korrosion der Dampfkessel keine gasförmigen Bestandteile, wie Sauerstoff und Kohlendioxyd, enthält, verlangt man von Wasser, welches für Genußzwecke bestimmt ist, daß es einen bestimmten Gehalt an Salzen nach Möglichkeit nicht unterschreitet, da es sonst einen faden Geschmack besitzt. Ebenso wird auf Anwesenheit von Kohlensäure im Trinkwasser Wert gelegt, damit es erfrischend schmeckt. Bekanntlich wird die physiologische Durststillung durch einen bestimmten physiologischen Salz- und Kohlensäuregehalt des Wassers bewerkstelligt. Daß ein derartiges Wasser außerdem klar, farb- und geruchlos ist und keine pathogenen Keime enthält, sind selbstverständliche Forderungen.

Trotzdem muß in manchen Gegenden, wo atmosphärische Niederschläge selten sind und trinkbares, unschädliches Wasser nirgends in erreichbarer Nähe ist, zu einer Destillation von Seewasser oder sonst unbrauchbarem Wasser für Genußzwecke gegriffen werden, wie z. B. in Baku und Krasnowodsk am Kaspischen Meer. Dort konnte auch der Nachweis erbracht werden, daß der dauernde Genuß von destilliertem Wasser nicht gesundheitsschädlich ist⁴⁾, wie heute noch vielfach angenommen wird.

Für die Zwecke der Trinkwasserreinigung kommt das elektroosmotische Wasserreinigungs- oder besser gesagt Entsalzungsverfahren im allgemeinen nicht in Frage. Es sind zwar eine ganze Reihe von Verfahren ausgearbeitet worden, welche sich der Einwirkung der bei der Elektrolyse von natürlichem Wasser entstehenden Zersetzungsprodukte allein oder in Kombination mit andern Maßnahmen bedienen, um eine Entkeimung des Wassers und die Zerstörung organischer Schwebestoffe zu bewirken; eine ganze oder teilweise Entsalzung findet hierbei jedoch nicht statt. Es soll über diese interessante Frage der Einwirkung des elektrischen Stromes auf Bakterien noch weiter unten einiges gesagt werden. Das Problem der elektrolytischen und elektroosmotischen Trinkwasserentkeimung als Ganzes wird jedoch später Gegenstand eines besonderen Aufsatzes sein.

Von allen den zahlreichen Verfahren, die sich zur Reinigung von Trinkwasser der Einwirkung des elektrischen Stromes bedienen, sind in dem vorliegenden Zusammenhang nur die Ideen Tiemanns zu erwähnen. Er führte als erster auf dem Gebiete der elektrischen Wasserreinigung Diaphragmen ein. Das Wesen seines Verfahrens besteht in der „Ionenwirkung des Sauerstoffs in seiner aktiven Form durch die gesamte Flüssigkeit in kürzester Zeit“. Tiemann sucht dies dadurch zu erreichen⁵⁾ (Fig. 1), daß das Wasser im Anodenraum vermittelt mechanischer Vorrichtungen in Schnellumlauf gesetzt wird und ihm feste körnige oder pulverförmige unlösliche, den Strom gut leitende Stoffe zugesetzt werden. Im Anodenraum sind die Elektroden in Serie senkrecht zum Diaphragma angeordnet, und das Wasser wird gezwungen, durch die engen Räume zwischen den Anoden mit einer solchen Geschwindigkeit zu strömen, daß die festen Stoffe mitgerissen werden. Die körnigen Stoffe, als welche wegen ihrer Beständig-

keit gegen den aktiven Sauerstoff nur Kohle und Mangansuperoxyd in Frage kommen, werden beim Vorbeitreiben an den Anoden einpolig elektrisiert und machen den Sauerstoff somit in Ionenwirkung durch die ganze Flüssigkeit hindurch wirksam.

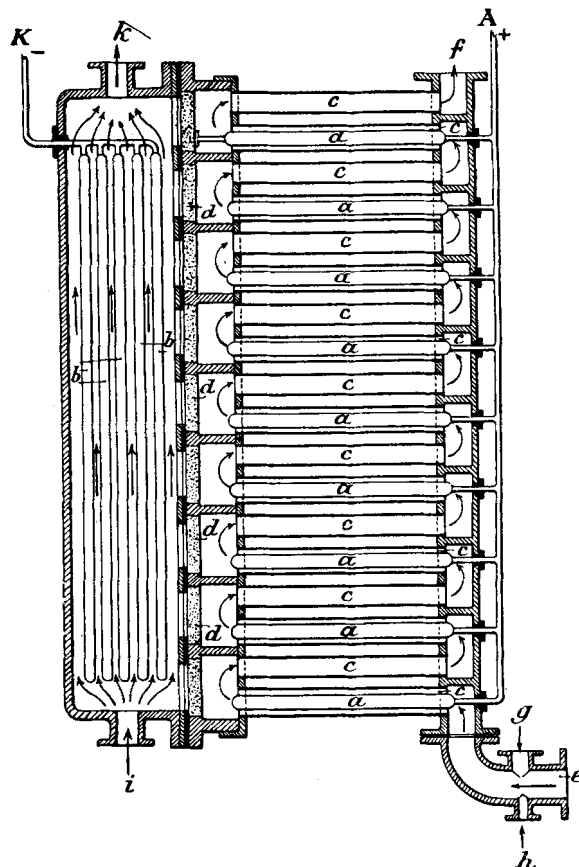


Fig. 1.

Tiemann will auf die vorbeschriebene Weise das Wasser vollkommen entkeimen, enteisenen und entmanganen. In dem einen der Zusatzpatente ersetzt der Erfinder die stets frisch zugeführten körnigen Stoffe durch gleichartige fest eingelagerte Stoffe.

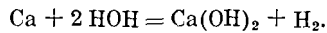
Von vollkommen neuen Gesichtspunkten in wissenschaftlicher wie technischer Hinsicht geht das elektroosmotische Wasserreinigungsverfahren aus. Bei den chemischen Methoden zur Enthärtung des Wassers werden die in Lösung vorhandenen Härtebildner, die Carbonate und Sulfate, durch Zusatz solcher chemischen Verbindungen, die mit ihnen unlösliche, ausfällbare Verbindungen bilden, entfernt. Durch Zugabe von oxydativen Stoffen, wie Superoxyde, Ozon oder durch nascierenden, elektrolytisch entwickelten Sauerstoff werden Eisen- und Manganverbindungen ausgefällt und pathogene Keime abgetötet. Durch Destillation bleiben die Salze zurück, und das Wasser wird über seinen gasförmigen Aggregatzustand durch anschließende Kondensation in reiner Form erhalten. Das elektroosmotische Verfahren hingegen bedient sich physikalisch-chemischer Arbeitsmethoden, um auf elegantem Wege Elektrolyte und Kolloide sowie pathogene Keime aus dem Wasser zu entfernen.

Bekanntlich sind alle im Wasser gelösten Salze mehr oder weniger dissoziiert. Das Calciumcarbonat z. B. ist nach dem Massenwirkungsgesetz als undissoziiertes CaCO_3 und als Ca-Kation und CO_3 -Anion vorhanden. Ordnet man nun im Wasser zwei Elektroden an, verbindet die eine derselben mit dem positiven, die andere mit dem negativen Pol einer Gleichstromquelle, so wandern die Ca-Ionen nach dem negativen, die CO_3 -Ionen nach dem positiven Pol; sie werden aber durch diesen Vorgang

⁴⁾ Ztschr. f. diätetische u. phys. Therapie, 8, Heft 10 [1905].

⁵⁾ D. R. P. 301 585, 302 226, 302 227.

nicht entfernt. Vielmehr spielt sich folgender Vorgang ab: das positiv geladene Ca-Ion gibt seine Ladung an die Kathode ab, verweilt hier aber nur eine kurze Zeit als metallisches Calcium, da es mit zwei Hydroxylionen des ebenfalls dissoziierten Wassers in Reaktion tritt unter Bildung von



Es wird also nicht Calcium, sondern Wasserstoff durch sekundäre Reaktion an der Kathode in Freiheit gesetzt.

An der Anode spielt sich ein analoger Vorgang ab. Der Kohlensäurerest vereinigt sich mit zwei Wasserstoffionen des dissoziierten Wassers zu Kohlensäure, und Sauerstoff wird in Freiheit gesetzt. Es wird also durch normale Elektrolyse niemals gelingen, Calciumcarbonat aus dem Wasser zu entfernen, sondern es wird ein ewiges Wechselspiel zwischen den Ionen stattfinden und lediglich eine Wasserzersetzung unter Wasserstoff- und Sauerstoffentwicklung vorgenommen, gemäß nachstehender Umsetzungsreihe:

1. $\text{Ca} + \text{CO}_2 = \text{Ca (Kathode)} + \text{CO}_2 \text{ (Anode)}$
2. $\text{Ca} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_2 \text{ (Kathodenprodukt)}$
3. $2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{O}_2 \text{ (Anodenprodukt)}$
4. $\text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_2\text{CO}_3 = \text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}.$

Was für Calciumcarbonat gilt, spielt sich in analoger Weise bei der elektrolytischen Zerlegung von den andern im Wasser gelösten und dissoziierten Salzen ab. Ihre Zersetzungsprodukte bleiben im Wasser gelöst und eine Abscheidung findet demnach nicht statt.

An dieser Stelle setzt das von der Elektro-Osmose A.-G., Berlin, ausgebildete neue Verfahren ein^{*)}. Es liegt ihm der Gedanke zugrunde, daß ein elektrochemischer Weg zur Lösung dieses Problems nur beschreibbar ist, wenn es durch geeignete Maßnahmen gelingt, die primären Abscheidungsprodukte an den Elektroden festzuhalten, oder eine Rückwanderung der sekundären Umsetzungsprodukte in das zu reinigende Wasser zu verhindern. Erreicht wird dies durch die Einführung geeigneter Diaphragmen. Es ist jedem Chemiker geläufig, daß man überall dort, wo im Kathoden- und Anodenraum verschiedene Elektrolyte vorgesehen sind oder die Elektrodenprodukte voneinander getrennt gehalten werden sollen, ein Diaphragma als geeignete Trennwand anordnet. Ob es sich nun hierbei um ein galvanisches Element oder um eine elektrochemische Apparatur für die fabrikatorische Gewinnung von wertvollen Zersetzungsprodukten oder um irgendwelche anderen elektrochemischen Arbeitsprozesse handelt, fast immer werden wir lediglich die Anordnung eines einzigen Diaphragmas als Einrichtung zur zweckmäßigen Trennung von Anoden- und Kathodenraum finden. Würde man dieses Prinzip auf den vorliegenden Fall, auf die Entsalzung von Wasser übertragen, so würde folgendes erreicht werden:

Im Anodenraum würden alle Anionen als Säuren, im Kathodenraum alle Kationen als Hydroxyde als sekundäre Reaktionsprodukte letzten Endes angesammelt werden, reines Wasser würde man aber in keiner der beiden Kammern erhalten. Bei dem elektroosmotischen Verfahren wurde diese Aufgabe ganz einfach dadurch gelöst, indem für jede Elektrode eine eigene, von dem zu reinigenden Wasser durch ein Diaphragma abgetrennte Kammer vorgesehen wurde (Fig. 2). Es wird also ein System aus drei, durch Diaphragmen getrennten Kammern erhalten. In dem Mittelraum M befindet sich das zu entsalzende Rohwasser, in dem einen Seitenraum A ist die Anode, in dem andern Seitenraum K die Kathode angeordnet. Das

Diaphragma D_a , welches dem Anodenraum vorgeschaltet ist, muß die Eigenschaft haben, die Anionen unter dem Einfluß des elektrischen Potentials leicht nach dem Anodenraum hindurchtreten zu lassen, während es für Wasser undurchlässig sein muß. Umgekehrt muß das dem Kathodenraum vorgelagerte Diaphragma D_k nur den Kationen einen leichten Durchtritt gewähren. Sobald nun

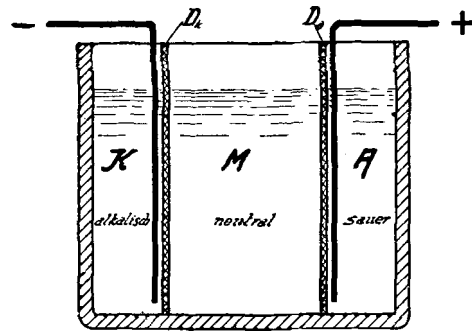


Fig. 2.

ein Gleichstrom angelegt wird, wandern die Ionen aus dem Mittelraum durch die Diaphragmen nach den Elektroden, geben hier, wie bei jeder normalen Elektrolyse, ihre Ladungen ab und treten in Sekundärreaktionen ein, die, wie wir noch sehen werden, teilweise für die ökonomische Durchführung des Verfahrens ausgenutzt werden können. Es werden somit nach und nach alle Salze aus dem Mittelraum entfernt und in die sauren und alkalischen Bestandteile zerlegt, die sich in dem mit Wasser gefüllten Anoden- und Kathodenraum ansammeln. Um den Erfolg dieser Arbeitsmethode zu unterstützen, entfernt man die Zersetzungsprodukte aus den Elektrodenkammern durch eine kontinuierliche Wasserspülung. Der Prozeß wird so lange fortgesetzt, bis das im Mittelraum befindliche zu reinigende Wasser keine Salze mehr enthält. Naturgemäß steigt hierbei die Spannung allmählich an, da das Wasser, je salzärmer es ist, dem elektrischen Strom einen desto größeren Widerstand entgegensetzt.

Im Grunde genommen handelt es sich während der eben beschriebenen Phase dieses Wasserentsalzungsverfahrens um einen elektrolytischen Prozeß, der mit elektroosmotischen Vorgängen nur das Prinzip der Apparatur gemein hat. Anders ist dies bei der nun folgenden zweiten Phase. Sobald das im Mittelraum befindliche Wasser nur noch sehr geringe Salzmengen enthält und die Spannung beträchtlich hoch angestiegen ist, adsorbieren die vorhandenen Kolloide, wie Kieselsäure, kolloidale Eisen- und Mangansalze die wenigen noch vorhandenen Ionen und werden im Potential durch diese Ionen als Träger ebenfalls durch die Diaphragmen hindurch nach den Elektrodenräumen gebracht. Dieser Vorgang ist ein echt elektroosmotischer.

Eine sehr wichtige Begleiterscheinung des elektroosmotischen Entsalzungsverfahrens ist die Hand in Hand damit verlaufende vollkommene Entkeimung des Wassers. Es wurde in tiefgründigen Untersuchungen nachgewiesen, daß mit dem Fortschreiten des Prozesses eine ständige Abnahme der lebenden Keime und schließlich ihre restlose Abtötung stattfindet, so daß das Wasser die letzte Zelle völlig keimfrei verläßt. Auf welchen physiologischen Vorgängen letzten Endes dieser Abtötungsprozeß beruht, konnte bisher noch nicht einwandfrei ermittelt werden. Tatsache ist jedenfalls, daß auch die Leibessubstanzen der abgetöteten Bakterien im Potentialgefälle aus dem Mittelraum entfernt werden, also in gleicher Weise wie Kolloide mit adhätierenden Dissoziationsprodukten nach den Elektroden durch die Diaphrag-

^{*)} D. R. P. 383 666, 394 360, 395 752.

men hindurch abwandern. Es wäre zu begrüßen, wenn sich maßgebende Stellen mit dieser interessanten Frage eingehend beschäftigten, um eine einwandfreie wissenschaftliche Erklärung zu finden.

Um das elektroosmotische Wasserreinigungsverfahren kontinuierlich durchzuführen, verwendet man nicht einen einzigen Dreizellenapparat, da dieser nur ein diskontinuierliches Arbeiten gestattet, vielmehr reiht man eine Serie derartiger Apparate in filterpressenartiger Anordnung hintereinander. Als besonders zweckmäßig hat sich ein System von 10 Dreizellenapparaten erwiesen (Fig. 3). Das zu reinigende Wasser fließt in den Mittel-

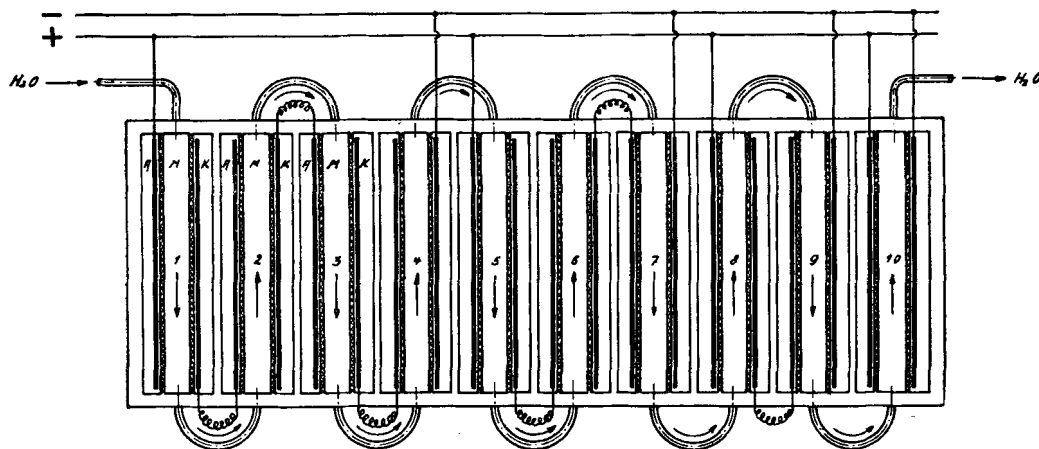


Fig. 3.

raum des Dreikammersystems 1 ein, strömt an den Diaphragmen entlang, wird am andern Ende dieses Mittelraumes mittels eines besonderen Hebers nach dem Mittelraum des Systems 2 kontinuierlich hinübergeleitet und in gleicher Weise nacheinander durch sämtliche Mittelräume, bis es nach Durchströmen des letzten Mittelraumes im System den Apparat verläßt. Das Spülwasser für die Elektrodenräume fließt aus einer an der einen Längswand angebrachten Speiseleitung den einzelnen Kammern zu, während Anoden- und Kathodenräume je eine besondere Sammelrinne für das ausfließende, mit den sauren oder alkalischen Zersetzungsprodukten angereicherte Spülwasser besitzen (Fig. 4). Der Zulauf des Spülwassers wird so geregelt, daß für die Spülung der Anodenräume eine Wassermenge verwendet wird, die etwa 40% der in den Mittelräumen zu entsalzenden Wassermenge gleichkommt. Die Kathodenräume hingegen stellen eine Art Vorlauf für das zu entsalzende Wasser dar, denn das in denselben sekundär aus den Mittelräumen zur Abscheidung kommende Ca(OH)_2 entcarbonisiert weitgehend das Rohwasser, während ein großer Teil der Anionen sogar aus den Kathodenräumen durch die Mittelräume hindurch nach den Anoden wandert, so daß das Rohwasser nach Verlassen der Kathodenräume einen erheblich niederen Prozentsatz der ursprünglich vorhandenen Salze enthält. Man leitet also überall dort, wo größere elektroosmotische Wasserreinigungsanlagen zur Aufstellung kommen, und daher die Aufstellung einer Pumpanlage rentabel ist, das zur Reinigung bestimmte Rohwasser zuerst durch die Kathodenräume, und pumpt es dann zum ersten Mittelraum. Der Aufwand an elektrischer Energie für die elektroosmotische Reinigung wird auf diese Weise zweimal ausgenutzt, und zwar zuerst indirekt durch Verwendung des Kathodenproduktes für eine chemische Vorenthärtung, bzw. für eine Teilentfernung leicht wandernder Ionen und dann für die restliche eigentliche, direkte elektroosmotische Entsalzung. Gerade in diesem Moment dürfte

ein wesentlicher ökonomischer Effekt des Verfahrens bei seiner Anwendung im Großen liegen, da eine automatische, durch den Prozeß bedingte Vorenthärtung des Rohwassers ohne chemische Mittel vorgenommen wird. Als besonders vorteilhaft hat sich bei der Herstellung völlig gereinigten Wassers erwiesen, in der eben geschilderten Weise nur in den ersten acht Dreikammersystemen zu arbeiten, dagegen in den Elektrodenräumen der Systeme 9 und 10 elektroosmotisch gereinigtes Wasser als Spülwasser zu verwenden. Der Verbrauch dieses reinen Wassers für Spülzwecke ist nicht groß und fällt zahlenmäßig kaum ins Gewicht, da die Strömungsgeschwindigkeit des Spülwassers in diesen Kammern außerordentlich klein sein kann.

Zur praktischen Durchführung wird das Verfahren so geleitet, daß man durch geeignete Hintereinander- oder Parallelschaltung der einzelnen Systeme direkt die Netzspannung von 110 oder 220 Volt verwendet. In den ersten Zellen ist die Leitfähigkeit des Wassers infolge des hohen Salzgehaltes noch groß. Man benötigt dort also nur eine niedere Spannung, während durch große Stromstärke die Entsalzungsleistung gesteigert wird. Nachdem das Wasser durch die ersten Entsalzungsräume geströmt ist, ist sein Salzgehalt so weit gesunken, daß bereits eine beträchtliche Steigerung des Potentials eintritt, und so fort bis zur letzten Zelle, wo schon praktisch der hohe Widerstand völlig entsalzten Wassers zu überwinden ist und nur noch Kolloide, durch Adsorption mit den wenigen noch vorhandenen Ionen vereinigt, von diesen im Potential nach den Elektrodenräumen transportiert werden. Natürlich verläuft die Steigerung kontinuierlich von System 1—10, und die Erfahrung hat gelehrt, daß diesen Verhältnissen am besten dadurch Rechnung getragen wird, indem man die Systeme 1—4, 5—7, 8—9 und 10 (Fig. 3) unter sich hintereinander schaltet und die Gruppen parallel an die Stromzuführungsschienen anschließt.

Wie schon weiter oben ausgeführt wurde, müssen die zur Verwendung kommenden Diaphragmen die folgenden Eigenschaften haben:

1. Undurchlässig für Wasser.
2. Durchlässig für Ionen im Potential.
3. Undurchlässig für die Anoden- und Kathodenprodukte,
4. Möglichst geringer Widerstand für den elektrischen Strom.
5. In jeder beliebigen Größe herstellbar.
6. Lange haltbar.
7. Mechanisch widerstandsfähig.
8. Billig.

Besitzt ein Diaphragma nur eine der Eigenschaften 1—3 unvollkommen, so ist das Gelingen einer vollständigen Reinigung des Wassers in Frage gestellt. Sind jedoch Diaphragmen, welche die technischen Bedingungen erfüllen, sehr teuer oder mechanisch nicht genügend haltbar, so daß sie oft ausgewechselt werden müssen, oder setzen sie dem elektrischen Strom einen hohen Widerstand entgegen, so schließen sie die Wirtschaftlichkeit eines elektroosmotischen Wasserreinigungsverfahrens von

vornherein aus. Bei der Auswahl geeigneter Diaphragmen muß außerdem noch unterschieden werden, ob sie den Anoden- oder Kathodenraum von dem Mittelraum abtrennen sollen, da es bekanntlich Diaphragmen mit spezifisch anodischen und solche mit ausgesprochen kathodischen Eigenschaften gibt. Ein anodisches Diaphragma läßt Anionen leichter hindurchtreten als Kationen, während kathodische Diaphragmen für Kationen durchlässiger sind als für Anionen. Auf die Gründe für diese interessante Erscheinung kann hier nicht näher eingegangen werden. Wichtig für das Verständnis der elektroosmotischen Wasserreinigung ist nur die Tatsache, daß

Präparierung allen vorhin aufgestellten Bedingungen als kathodisches Diaphragma in hervorragender Weise genügt. Die Kationen lassen sich mit ihm ohne besondere Schwierigkeiten aus dem Mittelraum entfernen. Handelt es sich um die Entsalzung von Wässern mit geringer permanenter Härte, so kann dieses Gewebe ohne besondere Nachteile auch an der Anodenseite Verwendung finden. Bei einem höheren Sulfat- oder Chloridgehalt des Wassers ist jedoch die Verwendung von anodischen Diaphragmen unerlässlich. Hierzu eignen sich tierische Membranen, in erster Linie besonders hergestellte Ledersorten. Eine richtige Kombination entsprechend abgestimmter Dia-

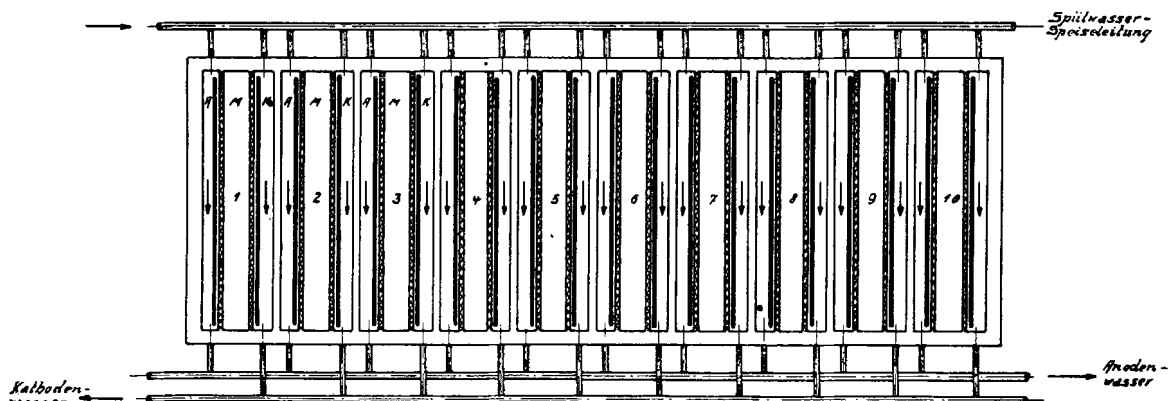


Fig. 4.

auch die gleichen Ionenarten untereinander unterschiedlich leicht durch ein Diaphragma wandern. So schießt z. B. das NH_4 -Ion durch ein kathodisches Diaphragma im Potentialgefälle förmlich hindurch, während Ca- und Mg-Ionen ungleich langsam hindurchwandern. Umgekehrt sind HCO_3 , Cl-, NO_3 -Ionen mittels eines anodischen Diaphragmas schnell und leicht aus dem Wasser im Mittelraum eines Dreizellenapparates zu entfernen, während sich z. B. das SO_4 -Ion in dieser Beziehung träger verhält. Man hat es durch die richtige Auswahl geeigneter Diaphragmen und eine entsprechend angepaßte Arbeitsweise vollkommen in der Hand, selektiv zu arbeiten, das heißt, man kann einzelne Bestandteile bevorzugt gegenüber andern Salzen aus dem Rohwasser entfernen, was in vielen Fällen von besonderer praktischer Bedeutung sein kann, wie z. B. in Bierbrauereien, wo es von der Anwesenheit der einen und der Abwesenheit anderer Salze in dem zur Verwendung gelangenden Wasser abhängt, welchen Charakter das Bier hat.

Es soll vorstehende Auseinandersetzung nun nicht etwa so aufgefaßt werden, daß ein anodisches Diaphragma für Kationen oder umgekehrt ein kathodisches Diaphragma für Anionen völlig undurchlässig ist. Die Charakteristik für spezifisch anodisches oder kathodisches Verhalten liegt lediglich in der durchschnittlichen Geschwindigkeit, mit welcher ein Diaphragma vornehmlich Anionen oder Kationen unter dem Einfluß eines elektrischen Gleichstroms hindurchtreten läßt.

Würde man also zur elektroosmotischen Wasserreinigung z. B. ausschließlich kathodische Diaphragmen verwenden, so würden die Kationen, d. h. die alkalischen Bestandteile, schneller aus dem Mittelraum entfernt werden als die Anionen, so daß bald im Mittelraum saure Reaktion eintreten würde. Ganz abgesehen von derart störenden Reaktionen würde die Stromausbeute erheblich herabgesetzt werden, weil der Mehrbedarf an Kationen aus den Salzen des Spülwassers im Anodenraum herbeigeschafft werden müßte.

Es wurde nun ein besonderes Gewebe aus vegetabilischen Fasern gefunden, das infolge einer besonderen

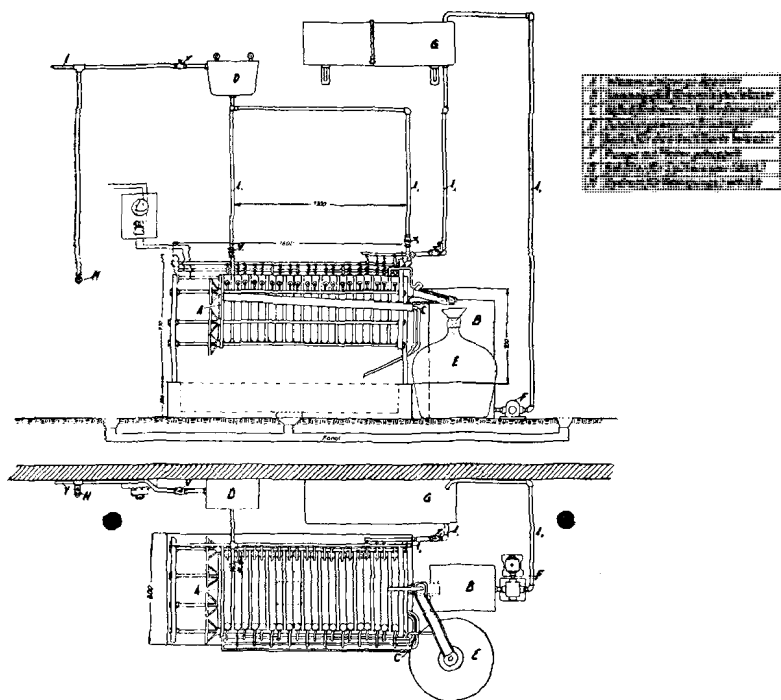
phragmen an der Anodenseite wird je nach dem Chloridgehalt oder Sulfatgehalt des zu reinigenden Wassers am zweckmäßigsten sein. So wird man z. B. bei einem Chlorgehalt von 3 g im Hektoliter Wasser die ersten 6—7 Dreizellensysteme eines elektroosmotischen Wasserreinigungsapparates beiderseitig mit den vegetabilischen Gewebediaphragmen, die letzten Zellen anodisch mit Lederdiaphragmen ausrüsten. Bei 7 g Chlor im Hektoliter sind jedoch Lederdiaphragmen schon von der dritten oder vierten Zelle ab nötig. Immerhin gehört eine große Erfahrung dazu, um auf Grund einer Analyse des zu reinigenden Wassers von vornherein die richtige Auswahl der Diaphragmenkombination zu treffen.

Die Frage geeigneter Elektroden ist gegenüber der Diaphragmenfrage von untergeordneter Bedeutung. Als Kathoden werden Eisen- oder Zinkblech verwendet, während für die Anoden Kohle bzw. Graphit oder noch besser Magnesit verwendet werden.

Konstruktiv und technisch wurde die Apparatur in der Abteilung für Elektrochemie der Siemens & Halske A.-G., Berlin-Siemensstadt, durchgebildet. Es ist dieser Firma gelungen, gestützt auf ihre langjährigen Erfahrungen im Bau elektrochemischer Apparaturen, in eleganter Weise alle die zahlreichen konstruktiven Schwierigkeiten zu lösen und einen elektroosmotischen Wasserreinigungsapparat zu schaffen, der sich in der Praxis in hervorragender Weise bewährt⁷⁾. Die größten Schwierigkeiten bereitete einmal die Abdichtung der einzelnen Kammern gegeneinander und dann die Durchbildung eines unbedingt zuverlässigen Hebers, der es gestattet, das Wasser vom Mittelraum des ersten Systems ohne die Gefahr eines Abreißen zum zweiten und so fort nacheinander zum letzten Mittelraum zu leiten. Der Apparat ist filterpressenartig gebaut. Die einzelnen Kammern werden durch U-förmig gebogene Rohre erhalten. Die Rohre, welche die Elektrodenräume umschließen, sind mit Kautschukschläuchen überzogen, während die die Mittelräume umrahmenden Rohre hartgummiert sind. Jedes Dreizellensystem ist von dem benachbarten durch eine Gummipatte oder ein hartgummiertes Eisenblech

⁷⁾ Die kompletten elektroosmotischen Wasserreinigungsanlagen werden von der Elektro-Osmose A.-G., Berlin SW 68, Lindenstr. 35, geliefert.

abgetrennt. — Sämtliche Rahmen werden nebst den dazwischen gespannten Diaphragmen gleichzeitig hängend und ruhend in einem Gestell angeordnet und vermittle mehrerer Spindeln räder fest aneinandergepreßt. Es hat sich gezeigt, daß der Apparat nur durch die mit Kautschukschläuchen überzogenen Rahmenrohre dicht zu bekommen war, eine völlig neuartige Konstruktion, die zur Erteilung des D. R. P. Nr. 397 684 führte. Durch seine sinnreiche Konstruktion kann der Apparat zwecks Reinigung oder Auswechslung der Diaphragmen jederzeit in wenigen Minuten auseinandergenommen und wieder zusammengesetzt werden. Die Figg. 5 und 6 zeigen ein Schema einer



Schema einer elektroosmotischen Wasserreinigungsanlage für die Herstellung von destilliertem Wasser

Fig. 5/6.

betriebsfertigen elektroosmotischen Wasserreinigungsanlage. Der Apparat in Fig. 5 liefert bei einem Eindampfdruckstand des zu entsalzenden Rohwassers von etwa 200 mg im Liter pro Stunde etwa 30–35 l völlig entsalzten Wassers. Der Raumbedarf beträgt etwa 2,5 cbm bzw. 1,7 qm Flächenbedarf.

Leistungsfähigkeit und Strombedarf des Apparates sind vornehmlich von der Härte bzw. dem Salzgehalt des Rohwassers abhängig. Aus den vorstehenden Ausführungen geht ohne weiteres hervor, daß mit steigendem Salzgehalt des zu entsalzenden Wassers die Stundenleistung des Apparates geringer und der Strombedarf demgemäß höher ist. Während für die völlige Entsalzung von 1 cbm Wasser mit einem Eindampfdruckstand von etwa 200 mg im Liter etwa 10 Kilowattstunden aufgewendet werden müssen, erfordert ein Wasser mit etwa 200–600 mg Eindampfdruckstand 10–30 Kilowattstunden. Ein Vergleich der Kosten der elektroosmotischen Wasserentsalzung mit den Kosten der Destillation läßt sich natürlich nur von Fall zu Fall vornehmen, da hierfür jeweiliger örtlicher Strompreis, Kohle- bzw. Gaspreis, Calorienwert der Kohle und calorischer Effekt des zum Vergleich herangezogenen Destillierapparates ausschlaggebend sind. Und nur an Hand dieser Zahlen kann für jeden Fall errechnet werden, wie sich die Wirtschaftlichkeit des elektroosmotischen Verfahrens gegenüber den thermischen Verfahren auswirkt.

Um ein zahlenmäßiges Beispiel zu geben, sollen die praktischen Verhältnisse in einem Werk der Berliner Großindustrie betrachtet werden. Zu errechnen ist der

Preis für destilliertes Wasser entsprechend den Vorschriften des D. A. B. V., hergestellt vermittle Kohlefeuerung, Gasfeuerung und nach dem elektroosmotischen Verfahren. Die an die Beschaffenheit von destilliertem Wasser gestellten Anforderungen des D. A. B. V. (1910), S. 60, lauten wörtlich:

„Klare, farb-, geruch- und geschmacklose Flüssigkeit, die Lackmuspapier nicht verändert. 20 ccm destilliertes Wasser dürfen durch Silbernitratlösung (Salzsäure), Bariumnitratlösung (Schwefelsäure), Ammoniumoxalatlösung (Calciumsalze), Quecksilberchloridlösung (Ammoniak), Neßlers Reagens (Ammoniumsalze), Schwefelwasserstofflösung, auch nach Zusatz von Ammoniakflüssigkeit (Schwermetallsalze) nicht verändert werden.

Eine Mischung von 25 ccm destilliertem Wasser und 50 ccm Kalkwasser muß, in einem gut verschlossenen Gefäß aufbewahrt, innerhalb einer Stunde klar bleiben (Kohlensäure).

Kocht man 100 ccm destilliertes Wasser mit 1 ccm verdünnter Schwefelsäure und 0,3 ccm Kaliumpermanganatlösung *) drei Minuten lang, so darf die rote Farbe der Mischung nicht verschwinden (organische Stoffe, salpetrige Säure).

100 ccm destilliertes Wasser dürfen beim Verdampfen höchstens 0,001 g Rückstand hinterlassen.“

Das in Rede stehende Wasser hat folgende Analyse pro Kubikmeter:

Reaktion: neutral, geschmack- und geruchlos

Abdampfdruckstand	596 g
Glührückstand	394 g
Glühverlust	202 g
Kieselsäure (SiO ₂)	17,6 g
Eisen (Fe)	4,2 g
Kalk (CaO)	109,2 g
Magnesia (MgO)	10,2 g
Gesamthärte	12,4 ° (Deutsche Härtegrade)
Temporäre Härte	11,2 ° „ „
Bleibende Härte	1,2 ° „ „
Chlor (Cl)	56,8 g
Schwefelsäure (SO ₄)	67,2 g
Freie Kohlensäure (CO ₂)	17,6 g
Sauerstoff (O ₂)	6,9 g
Salpetersäure	nicht vorhanden
Salpetrige Säure	„ „
Ammoniak	„ „

Für die Destillation mittels Kohlefeuerung steht westfälische Kohle mit 7500 WE/kg für M 32,— pro Tonne loco Verbraucherstelle Berlin zur Verfügung. 1 kg dieser Kohle verdampft bei fünffacher Verdampfung, unter Berücksichtigung des η -Wertes des Kessels, 5 kg Wasser. Um daher 1 cbm (1000 kg) Wasser zu verdampfen, sind 200 kg Kohle erforderlich. Bei einem Tonnenpreis von M 32,— kostet demnach 1 cbm destilliertes Wasser M 6,40.

Für Destillation mittels Gasfeuerung steht Mischgas (0,57 Vol.-% Kohlendgas und 0,43 Vol.-% Wassergas) mit 4200 WE/cbm zur Verfügung. Der Kubikmeter dieses Gases kostet M 0,16. 1 cbm Wasser benötigt zu seiner vollständigen Verdampfung bei einer Dampfspannung von 1 Atm. $1000 \times 640 = 640\,000$ WE. Bei der Feuerung mit Mischgas muß noch der Wirkungsgrad des Brenners berücksichtigt werden. Nimmt man diesen außerordentlich günstig mit 50% an, so werden von den 4200 WE des Mischgases nur 2100 WE der Verdampfung des Wassers nutzbar gemacht. Es werden demnach $\frac{640000}{2100} = 305$ cbm Mischgas zur Destillation von 1 cbm Wasser benötigt. Diese kosten dann M. 48,80.

*) Sonderbarerweise fehlt die Angabe der Konzentration, da mit einer KMnO₄-Lösung, deren Konzentration über $\frac{1}{100}$ n liegt, kleine Mengen organischer Stoffe durch erkennbare Entfärbung nicht ermittelt werden können.

Für die elektroosmotische „Destillation“ — wenn man vergleichsweise so sagen darf — des in Rede stehenden Wassers sind im ungünstigsten Fall 30 Kilowattstunden pro Kubikmeter Wasser nötig. Bei einem Strompreis von M 0,16 pro Kilowattstunde kostet das destillierte Wasser also äußerst M 4,80.

Bezieht das gleiche Industrierwerk sein Wasser von einem der größten Berliner Lieferanten für destilliertes Wasser, so muß es ab Werk für jeden Ballon à 60 l M 1,50 bezahlen, wozu noch Anfuhrspesen von M 0,85 kommen mithin M 2,35 für 60 l oder M 39,— für 1 cbm.

Die Frage, wie das gleiche Berliner Industrierwerk destilliertes Wasser bewerten muß, wenn es hierfür Kondenswasser verwendet, wurde ebenfalls eingehend untersucht; es zeigte sich jedoch, daß, ganz abgesehen davon, daß das Kondenswasser kein ideales destilliertes Wasser darstellt, die Bewertung zahlenmäßig nicht ohne weiteres zu erfassen ist, weil zu viele Faktoren ineinandergreifen, deren Bewertung höchst unsicher ist. Denn das Kesselspeisewasser muß enthärtet werden, soll nicht der calorische Verdampfungseffekt des Kessels sinken. Ferner läßt sich sehr schwer zahlenmäßig feststellen, wie die nachteiligen Folgen für einen Kessel rechnungsmäßig eingesetzt werden müssen, wenn nicht das Kondenswasser dem Kessel zurückgeführt wird. Auch die Betriebssicherheit bei Wiederverwendung des Kondensats spielt eine wichtige Rolle, die jedoch kaum richtig bewertet werden kann. Es ist daher nicht möglich, den Preis für Kondenswasser als destilliertes Wasser in den Kreis der vergleichenden Betrachtungen mit einzubeziehen.

Nachstehende Tabelle zeigt noch einmal zusammengefaßt die vergleichweisen Kosten von 1 cbm destilliertem Wasser, je nachdem, ob es mittels Kohle, Gasfeuerung, oder nach dem elektroosmotischen Verfahren gewonnen oder käuflich erworben wird.

Destillation (5fache Verdampfung):		Käuflich. Wasser u. Anfuhr	Elektroosmotische Entsalzung
Kohlefeuerung	Gasfeuerung		
M 32,— für 1 t 200 kg (7500 WE) M 6,40	M 0,16 f. 1 cbm 305 cbm M 48,80	M 2,35 für 60 l M 39,—	M 0,16 f. 1KW-Std. 30 KW-Std. M 4,80

Die Ersparnisse betragen also in dem erläuterten Fall bei Anwendung des elektroosmotischen Verfahrens

gegenüber Kohlefeuerung:	25 %
„ Gasfeuerung:	90 %
„ Kauf von destilliertem Wasser:	88 %

Wie schon weiter oben erwähnt wurde, läßt sich dieses Beispiel nicht verallgemeinern, da für die Frage der Wirtschaftlichkeit des elektroosmotischen Verfahrens die jeweiligen örtlichen Verhältnisse ausschlaggebend sind. So kann z. B. bei geringem Salzgehalt des Rohwassers das elektroosmotische Verfahren selbst dann noch billiger sein als die thermischen Methoden, wenn der Strompreis verhältnismäßig hoch ist. Es muß eben in jedem Fall oben skizziertes Rechenexempel durchgeführt werden. Auch die Verbraucherstelle spielt bei der Auswahl des Verfahrens eine Rolle. Ein Industrierwerk mit großem Bedarf an destilliertem Wasser wird sich wohl immer von rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten leiten lassen, da es keine Rolle spielt, ob nun Abdampf verwendet werden soll, ob eine thermische Destillieranlage oder die elektroosmotische Apparatur zur Aufstellung kommt, ausschlaggebend wird nur der wirtschaftliche Gesichtspunkt sein. Eine Fabrik jedoch, in deren Rahmen eine größere Destillieranlage nicht recht paßt, oder ein Krankenhaus usw., wird das elektroosmotische Verfahren in jedem Fall bevorzugen, weil es das denkbar sauberste Verfahren ist,

wenig Platz beansprucht, keinen Schornstein benötigt, keine Verbrennungsprodukte erzeugt, auch bei geringem Bedarf lohnend ist und in jedem Fall billigeres destilliertes Wasser liefert als solches käuflich zu haben ist. Auch das teure Anheizen einer Destillieranlage kommt in Betracht. Nimmt man den extremen Fall an, es soll destilliertes Wasser aus dem gleichen Rohwasser unseres obigen Beispiels direkt neben einer westfälischen Zeche erzeugt werden, so ergibt sich das folgende Bild:

Die Kohle kostet ab Zeche 17,— M pro t. Bei fünffacher Verdampfung kostet dann 1 cbm destilliertes Wasser M 3,40. Befindet sich ein Gaswerk daneben, so erzeugt dieses 1 cbm Mischgas aus 1,14 kg Kohle, wobei bereits der Gewinn an Koks und Teer usw. in Abzug gebracht ist. Für die 305 cbm Mischgas, welche zur Verdampfung von 1 cbm Wasser gebraucht werden, werden demnach 350 kg Kohle in der Gasanstalt verbraucht. Das Gas kostet also schon lediglich an Kohle rund M 6,—.

Legt man einer Kilowattstunde als Wärmeeinheit 864 WE. zugrunde und nimmt man den thermischen Wirkungsgrad der Erzeugung von elektrischem Strom aus Kohle mit 10,9% an, so erfordert 1 KW-Stunde $\frac{864 \cdot 100}{7500 \cdot 10,9} = 1,05$ kg Kohle. 30 KW-Stun-

den kosten also $\frac{17 \cdot 30 \cdot 1,05}{1000} = M 0,54$. Ebenso, wie bei dem Gas-

preis alle andern Unkosten unberücksichtigt geblieben sind, und nur der rein calorische Effekt in den Kreis der Betrachtungen gezogen wurde, gibt auch der vorstehende rein calorisch errechnete Strompreis nur einen Anhaltspunkt für die Energieausbeute. In Wirklichkeit wird in einem derartigen Elektrizitätswerk, das die erforderliche Kohle direkt vor der Tür hat, mit einem Strompreis von etwa 3 Pf. pro Kilowattstunde gerechnet werden müssen. Es kostet dann destilliertes Wasser nach dem elektroosmotischen Verfahren M 0,90 pro Kubikmeter. Vergleichen wir wieder die Kosten für 1 cbm destilliertes Wasser nach den drei Herstellungsmethoden und für käufliches Wasser für den eben angenommenen Fall nebeneinander, so ergibt sich folgendes Bild:

Destillation (5fache Verdampfung):		Käufliches Wasser u. Anfuhr	Elektroosmotische Entsalzung
Kohlefeuerung	Gasfeuerung		
M 17,— für 1 t 200 kg (7500 WE) M 3,40	M 0,019 f. 1 cbm 305 cbm M 6,—	M 1,65 f. 60 l M 27,55	M 0,018 f. 1KW-St. 30 KW-Std. M 0,54 (M 0,90)

Bei sämtlichen Berechnungen wurden, wie erwähnt, der Anlagenwert, dessen Verzinsung und Amortisation, Betriebskosten, Generalia usw. außer Ansatz gelassen, weil es ganz unmöglich ist, hierfür Vergleichswerte zu schaffen. Daß eine elektroosmotische Apparatur jedoch in den meisten Fällen gegenüber einer Destillationsanlage konkurrenzfähig ist, geht aus folgender, einfacher Rechnung hervor: Der größte bisher gebaute Typ eines elektroosmotischen Wasserreinigungsapparates liefert bei Verwendung des oben in der Analyse wiedergegebenen Rohwassers etwa 300 l entsalztes Wasser in der Stunde, mithin 7 cbm in 24 Stunden. Der Preis dieses Apparates beträgt rund M 10 000,— ab Fabrik und soll inklusive Fracht, Montage und Inbetriebsetzung mit rund M 13 000,— eingesetzt werden. In dem konkreten Fall des Berliner Industrierwerkes kostet 1 cbm destilliertes Wasser nach diesem Verfahren M 4,80 netto, während er mittels Kohlefeuerung destilliert M 6,40 netto kostet. Wenn also vermittels des elektrischen Verfahrens 8125 cbm destilliertes Wasser hergestellt worden sind, was nach 3,8 Jahren, das Jahr mit 300 Arbeitstagen angenommen, der Fall ist, sind mit der Preisdifferenz zwischen M 6,40 und M 4,80 allein die M 13 000,— Anschaffungskosten des Apparates bezahlt. Da ein Destillierapparat ebenfalls nicht billig ist, außerdem höhere Betriebskosten erfordert als der elektroosmotische Appa-

rat, ist letzterer noch viel schneller lediglich mit den Ersparrnissen bezahlt. Gegenüber einem gasbeheizten Apparat ist die elektroosmotische Anlage aus der Preisdifferenz des destillierten Wassers bereits in 42 Tagen bezahlt. Die Verhältnisse verschieben sich naturgemäß überall dort besonders stark zugunsten des elektroosmotischen Verfahrens, wo für größere Anlagen Spitzenleistungen herangezogen werden können, die ja bekanntlich zu erheblich niederen Preisen abgegeben werden. Diesem Umstand kommt der Vorzug des Verfahrens entgegen, daß es diskontinuierlich betrieben werden kann.

Auch vom rein volkswirtschaftlichen Standpunkt aus ergibt sich ein recht anschauliches Bild, wenn man die Calorienmengen miteinander vergleicht, welche in allen drei Fällen zur Erreichung des Endpunktes aufgewendet werden müssen. Für die Herstellung von 1 cbm destilliertem Wasser sind erforderlich:

Kohle	Gas	Strom	
		über Strom erzeugt	aus Wasserkraft
7500 WE für 1 kg	4200 WE f. 1 cbm	7875 a. Kohle aufgew. WE f. 1 KW-St.	864 WE f. 1 KW-St.
200 kg	305 cbm	30 KW-Std.	30 KW-Std.
1500 000 WE	1281 000 WE	236 350 WE	25 920 WE

Der große Unterschied zwischen dem thermischen und dem elektrischen Verfahren besteht eben darin, daß sich im ersteren Fall die gesamte Wassermenge durch Wärmezufuhr von dem flüssigen in den gasförmigen und weiter wieder in den flüssigen Aggregatzustand verwandeln muß, um einen verhältnismäßig kleinen unerwünschten Bestandteil, die Salze, als bei der Verdampfungstemperatur des Wassers nichtflüchtige Substanzen, als Rückstand zu entfernen, während man bei dem elektroosmotischen Verfahren die Salze durch Elektrolyse und Elektroosmose aus dem Wasser entfernt und somit der überwiegenden Hauptmasse der zu behandelnden Materie, eben dem Wasser selbst, keinerlei Energie zuführt.

Bei den bisherigen Betrachtungen wurde immer von völlig entsalztem, dem „aqua destillata“ völlig gleichwertigem Wasser gesprochen. Es ist aber ohne weiteres verständlich, daß es das elektroosmotische Verfahren gestattet, das Rohwasser nur teilweise zu entsalzen, also hartes Wasser weich zu machen. Es ist hierfür lediglich erforderlich, das zu reinigende Wasser entsprechend schneller durch die Mittelräume zirkulieren zu lassen, je nachdem, welcher Entsalzungsgrad gewünscht wird. E. J a l o w e t z berichtet über Versuche⁹⁾, welche er mit einem Laboratoriumsapparat mit einer Leistungsfähigkeit von 4—10 l Stundenleistung angestellt hat, um aus ein und demselben Rohwasser verschieden harte Wässer zu erzielen. Die Analyse des Rohwassers ergab für 1 cbm:

Kalk	136,6 g
Magnesia	41,8 g
Schwefelsäure	41,0 g
Kohlensäure	112,2 g
Gesamthärte	19,3 ° deutsche Härtegrade
Carbonathärte	14,0 ° „ „

Durch drei verschieden eingestellte Durchflußgeschwindigkeiten wurden folgende Ergebnisse erzielt:

Versuch	Leistung in der Minute	Gesamthärte	Carbonathärte	Stromverbrauch für je 1 hl entsalztes Wasser
I	100 ccm	2,2 ° D. H.	1,1 ° D. H.	0,43 KW-Std.
II	150 „	2,8 ° „	0,7 ° „	0,29 „
III	250 „	5,0 ° „	1,4 ° „	0,17 „

⁹⁾ E. J a l o w e t z, Verfahren zur Verbesserung von harten Brauwässern auf elektroosmotischem Wege, „Gambrinus“, Ztschr. f. d. Brau- und Malzindustrie 1925, Heft 7.

J a l o w e t z hat diese Versuche ausgeführt, um festzustellen, in welchem Umfang das elektroosmotische Verfahren für die wahlweise, teilweise Entsalzung von Rohwässern für die Herstellung verschiedener Biersorten geeignet ist. Obgleich seine zahlreichen Versuche den Beweis erbracht hatten, daß vermittels des elektroosmotischen Verfahrens jede gewünschte Zusammensetzung der Salze in dem Wasser in gewissem Umfang erreichbar ist — unter der Voraussetzung, daß das Verfahren jeweils richtig geleitet wurde — hat er auch Maisch- und Gärversuche mit den verschiedenen Wässern und mit dem Rohwasser, sowie mit im Brauereibetrieb abgekochtem Wasser durchgeführt. Über das Ergebnis dieser Versuche schreibt er wörtlich¹⁰⁾:

„Ich unterlasse die Anführung der Versuche, weil die Ergebnisse in allen Punkten mit den allgemein bekannten Erfahrungen übereinstimmen. Das Bier aus dem nicht abgekochten Wasser, mit einer Carbonathärte von 14 deutschen Härtegraden war rot, schmeckte hart und rau; günstiger waren die Ergebnisse beim abgekochten Wasser, mit dessen Verwendung weniger dunkle und etwas milder schmeckende Biere erhalten wurden. Sehr abweichend von diesen waren die Biere aus dem entsalzten Wasser sowohl in der Farbe, als auch im Geschmacke. Ich kann nicht behaupten, daß die Biere aus den drei entsalzten Wasserproben verschieden waren, was ja kaum zu erwarten stand, und da das Pilsener Brauwasser auch eine Gesamthärte von etwa fünf deutschen Härtegraden hat, so wird man mit der Entsalzung nur in dem Falle so weit gehen, wenn es sich tatsächlich um die Erzeugung eines Bieres handelt, das dem Original-Pilsenerbier in der Qualität möglichst nahekommen soll. Die Frage, wie weit man entsalzen soll, kann niemals generell entschieden werden; man wird dies für jeden einzelnen Fall feststellen müssen. In den meisten Fällen handelt es sich um die Beseitigung der Carbonate, denn jene Wässer, die neben Carbonaten noch Sulfate der alkalischen Erden enthalten, erzeugen ja Biere von bestimmtem Charakter, die sich großer Beliebtheit erfreuen, aber auch bei diesen Wässern tritt eine wesentliche Qualitätsverbesserung durch Beseitigung eines Teiles der Carbonate ein. Immerhin liegt in der elektroosmotischen Wasserbehandlung nach vielen Bemühungen ein Verfahren vor, das die Möglichkeit bietet, die für eine bestimmte Qualität des Bieres nicht erwünschten Salze auszuschcheiden; das Verfahren darf nicht mechanische Anwendung finden in dem Sinne, daß man bei der Einführung nahezu alle Salze eliminiert; das Ergebnis kann wohl befriedigen. Da aber das Verfahren eine beliebige Entsalzung zuläßt, wird man gut tun, mit den verschieden weit entsalzten Wässern Versuche vorzunehmen und dann den Apparat auf diese Leistung einzustellen.“

Wie aus nebenstehender Tabelle über die Versuchsreihen von J a l o w e t z hervorgeht, ist der Stromverbrauch bei einer nur teilweisen Entsalzung naturgemäß erheblich geringer als bei der völligen Entsalzung, weil ja auch die Zuflußgeschwindigkeit des Rohwassers ein Mehrfaches derjenigen beträgt, welche gewählt werden muß, wenn völlig entsalztes Wasser erhalten werden soll. J a l o w e t z hat ausgerechnet, daß bei der teilweisen Entsalzung seines angegebenen Rohwassers mit einem Stromverbrauch von etwa 1 KW-Stunde für je 1 hl Bier gerechnet werden muß.

Ganz generell wird die teilweise Entsalzung des Rohwassers mittels des elektroosmotischen Verfahrens überall dort mit Vorteil angewendet werden, wo es lediglich darauf ankommt, ein weicherer Wasser zu erhalten, also z. B. in Brauereien, in Brennereien und Likörfabriken, in Wäschereien und für die Zwecke der Kesselspeisung.

In den meisten Fällen wird für die Kesselspeisung jedoch ein völlig entsalztes Wasser in Frage kommen. Die Wirtschaftlichkeit des elektroosmotischen Verfahrens wird auch fast immer einer vielseitigen Einführung des Verfahrens in dieser Richtung förderlich sein. Denn die Er-

¹⁰⁾ loco cit.

sparsnisse treten nicht allein gegenüber den meisten Enthärtungsverfahren zutage, vielmehr wird durch die Beseitigung aller Salze, also auch der Nithärtebildner, durch das elektroosmotische Verfahren die Korrosion der Dampfkessel in viel höherem Maße hintangehalten, wie dies z. B. bei Lokomotiven besonders wichtig ist. Eine besondere Stellung nehmen in dieser Hinsicht die Hochdruckdampfkessel ein. Die Bemühungen der einschlägigen Fabriken für Hochleistungsdampfkessel sind seit langem darauf gerichtet, ein dem destillierten Wasser annähernd ähnlich salzfreies Wasser möglichst ökonomisch zu bereiten, da in Kesseln zur Erzeugung extrem hochgespannten Dampfes aus Betriebssicherheitsgründen nur vollkommen enthärtetes Wasser in Anwendung kommen darf. Versuche der physikalisch-technischen Reichsanstalt¹¹⁾ haben gezeigt, daß durch lokale Schlammanhäufungen und ungleichmäßige Verteilung von Kesselsteinbelägen Wärmestauungen entstehen, die zu Überhitzungen und Deformationen der Bleche führen können. Da aber auch Methoden zur Verhinderung des Absitzens von Kesselstein die Möglichkeit einer durch Schlammanhäufungen, Zusammenbacken und Festbrennen drohenden Explosionsgefahr in Hochdruckkesseln nicht ausschließen, ist die restlose Enthärtung des Speisewassers außerhalb des Kessels eine gebietserische Forderung. Es sind daher die verschiedensten Wege beschritten worden, um dieses grundlegende Problem durch bestmögliche Ausnutzung der für die Destillation des Frischwassers erforderlichen Wärme ökonomisch und technisch gleich befriedigend zu lösen¹²⁾. Mit dem elektroosmotischen Verfahren wird daher gerade diesem Zweig moderner Hochleistungstechnik ein Rüstzeug in die Hand gegeben, das die eleganteste Lösung dieser vielbearbeiteten Aufgabe darstellt.

Es wurde schon von anderer Seite auf die vielseitige Anwendungsfähigkeit des neuen Verfahrens hingewiesen¹³⁾; je mehr man sich jedoch mit dieser Frage beschäftigt, desto größer wird der Kreis derjenigen Gewerbebezweige, für die dieses saubere, einfache und billig arbeitende Verfahren eigentlich das gegebene darstellt. Ganz abgesehen von normalen Destillieranlagen, die in fast jedem Fall wirtschaftlich von dem elektroosmotischen Verfahren übertroffen werden, sind hier folgende ständige Verbraucher an destilliertem Wasser zu nennen, für die das Verfahren unbedingt von großem Interesse sein wird: wissenschaftliche und Hochschulinstitute, Akkumulatorenfabriken und Elektrizitätswerke. Letztere können durch Aufstellung elektroosmotischer Apparaturen auf ihren Unterstationen erhebliche Summen sparen, die sie jetzt allein für den Transport des im Hauptwerk hergestellten oder teuer gekauften Wassers nach diesen Nebenstellen aufwenden müssen. Ebenso benötigen galvanische und Spiegelbelegeanstalten laufend beträchtliche Mengen destillierten Wassers. Wie groß der Bedarf der chemischen und pharmazeutischen Industrie an völlig salzfreiem Wasser ist, läßt sich nur ahnen. Auch kleine Betriebe, wie Apotheken, Drogerien und Krankenhäuser, benötigen dauernd destilliertes Wasser, das sie allein schon deswegen mittels des elektroosmotischen Verfahrens am vorteilhaftesten herstellen, weil das teure und lästige Anheizen einer Destillier-

anlage in Fortfall kommt und das Verfahren diskontinuierliches Arbeiten gestattet. Neuerdings werden in landwirtschaftlichen Versuchsanstalten Anlagen zur künstlichen Beregnung unter Verwendung von destilliertem Wasser aufgestellt. Auch dort käme das neue Verfahren in Frage.

Es ist nicht möglich, alle Verwendungszweige aufzuzählen, soll auch nicht der Zweck dieses Aufsatzes sein, vielmehr soll die Fachwelt mit einem grundlegend neuen Verfahren vertraut gemacht werden, das in seinem ganzen Mechanismus so originell und interessant ist, daß ihm allgemeine Achtung gebührt. [A. 113.]

Verzeichnis der Trivialnamen organischer Verbindungen.

Herausgegeben von der Deutschen Chemischen Gesellschaft.

Von RICHARD WILLSTÄTTER, München.

(Eingeg. 7. Juli 1926.)

Der Vorstand der Deutschen Chemischen Gesellschaft hat ein von den Schriftleitern des Chemischen Zentralblattes, den Herren Dr. M. Pflücke und Dr. E. Behrle, zusammengestelltes alphabetisches Verzeichnis von Trivialnamen der organischen Verbindungen mit den zugehörigen Bruttoformeln herausgegeben, das soeben im Verlag Chemie erschienen ist. Das übersichtlich gedruckte und gut ausgestattete Heft umfaßt die Literatur der Jahre 1910 bis Ende Februar 1926. Es führt nämlich auf 63 dreispaltigen Seiten die Trivialnamen an, die in den Stelzner'schen Literatur-Registern I—V (1910—1921) und ferner im Chemischen Zentralblatt der Jahre 1922 bis Februar 1926 vorkommen. Das Aufsuchen der Verbindungen in den Registern wird dadurch erleichtert, daß man das Ausrechnen ihrer Bruttoformeln erspart, und daß für die Formeln der Abkömmlinge die Berechnung vereinfacht wird. Das Heft leistet aber mehr als es verspricht. Es gibt viele Stichwörter des Registers, die uns darüber unterrichten, ob die betreffenden Stoffe in der Literatur der letzten sechzehn Jahre behandelt worden sind. Und es gibt ungemein viele Phantasienamen und Handelsbezeichnungen von Arzneimitteln, Farbstoffen (z. B. finden wir für mehr als ein Dutzend Indanthrenfarbstoffe die Formeln angeführt) und anderen Fabrikwaren, deren Zusammensetzung uns unbekannt oder nicht geläufig ist; wir finden die empirischen Formeln und damit sofort in unseren Registerbänden die Literatur. Das Namen-Formel-Register wird daher den Chemikern in der Industrie gewiß ebenso willkommen und nützlich sein wie den Laboratorien der Hochschulen. [A. 190.]

Phenolhaltige Abwässer und ihre Reinigungsmöglichkeit.

Von Dr. H. BACH, Oberchemiker der Emschergenossenschaft, Essen.

Vortrag in der Fachgruppe für Wasserchemie auf der Hauptversammlung des Vereins deutscher Chemiker in Kiel.

(Eingeg. 29. Mai 1926.)

In den letzten Jahren gewinnt die Frage der schadlosen Beseitigung phenolhaltiger Abwässer immer mehr an Bedeutung. Es handelt sich da in erster Linie um Abwässer von sogenannten Nebenproduktenanlagen¹⁾ bei Steinkohlenkokereien, sowie bei Gaswerken. Daneben spielen auch Abwässer von Braunkohlenschwelereien, Braunkohlengasgene-

¹¹⁾ Z. Dampftr. 39 [1907]; Barth, Kesselsysteme und Feuerung. I. Teil zit. nach Ullmann, Enzyklopädie Bd. 11, S. 585.

¹²⁾ M. Ott, Zeitgemäße Kesselanlagen für elektrische Kraftwerke, Hanomag-Nachrichten, Heft 86 [1920].

¹³⁾ E. Mayer u. R. Schön, Österr. Ch. Ztg. [1924]. — E. Mayer, Elektrotechnik und Maschinenbau, S. 306 [1925].

¹⁾ Vgl. Ost, „Lehrbuch der chemischen Technologie“. Abschnitt „Die Kokerei“.