



Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach e. V. - figawa
Marienburger Straße 15 | 50968 Köln | Telefon +49 (221) 37668-20

Technische Mitteilung der figawa

Kontinuierliche elektrochemische Entsalzung (EDI)

Arbeitskreis Membrantechnik



Hinweise Urheberrecht

© 2014, Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach e. V. - figawa, Köln, Alle Rechte vorbehalten

Die vorliegende Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung und des Nachdrucks, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung von der Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach e. V. - figawa - reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme vervielfältigt oder verbreitet werden. Auch die Rechte der Wiedergabe durch Vortrag, Funk und Fernsehen sind vorbehalten.

Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach e. V. - figawa
Technisch-wissenschaftliche Vereinigung

Fon +49 (221) 37668 - 20
Fax +49 (221) 37668 - 60
Postfach 51 09 60
50945 Köln

info@figawa.de
www.figawa.de

Inhalt

Kurzfassung.....	3
Einleitung.....	3
Grundlagen der EDI Technik.....	3
EDI mit dünnen Zellen - Mischbettzellen.....	4
EDI mit dicken Zellen.....	4
Elektrochemische Vorgänge.....	4
Ausführung der Konzentratzellen.....	5
Speisewasseranforderungen.....	5
Einfluss der Ionenkonzentration.....	5
Einfluss der Härte.....	5
Einfluss der Kieselsäure.....	5
Einfluss der Betriebsparameter auf die Produktqualität.....	6
Anlagentechnik.....	6
Investitions- und Betriebskosten.....	6
Betriebsergebnisse.....	6
Literatur.....	7
Autoren/ figawa.....	7



Technische Mitteilung der figawa

Kontinuierliche elektrochemische Entsalzung (EDI)

Arbeitskreis Membrantechnik

Kurzfassung

Die Elektrodeionisation (EDI) mit Dickschichtzellen und geschichteten Ionenaustauscherharzen hat sich seit der Markteinführung der neuen Module im Jahr 1997 bewährt und einen festen Platz in den Aufbereitungskonzepten bei Reinstwasseranlagen in der Halbleiter- und Solarindustrie, der Pharmawasseraufbereitung und der Zusatzwasseraufbereitung für die Kraftwerksindustrie eingenommen. Die Produktqualität ist der eines herkömmlichen Mischbettionenaustauschers mit interner Regeneration vergleichbar. Die Vorteile der EDI liegen dabei im Wesentlichen in dem modularen, platzsparenden Aufbau und in dem kontinuierlichen, chemikalienfreien Betrieb mit konstanter Produktqualität.

Einleitung

Die Entsalzung von Wasser erfolgte lange Zeit primär mit Ionenaustauschersystemen, die mit Chemikalien regeneriert werden. Diese Technik ist erprobt und wird seit mehr als einem halben Jahrhundert erfolgreich eingesetzt. Der bekannte Nachteil der Ionenaustauschverfahren ist die Verwendung von Chemikalien für die Regeneration und der resultierende Anfall von belastetem Abwasser, das vor Ableitung erfolgreich eingesetzt. Der bekannte Nachteil der Ionenaustauschverfahren ist die Verwendung von Chemikalien für die Regeneration und der resultierende Anfall von belastetem Abwasser, das vor Ableitung neutralisiert werden muss.

Seit den letzten 20 Jahren werden zunehmend Umkehrosmosesysteme zur Vorentsalzung und nahezu vollständigen Entfernung der Salzfracht, der organischen Belastung und der partikulären Verunreinigungen vor den Ionenaustauschanlagen eingesetzt. Solche Systeme reduzierten den Chemikalienaufwand drastisch.

Die Weiterentwicklungen in der Technik der Elektrodeionisation (EDI) haben in den letzten Jahren einen Trend in Richtung der chemikalienfreien Vollentsalzung ausgelöst, insbesondere da die Kombination von Umkehrosmose mit Elektrodeionisation (RO / EDI) zunehmend auch Vorteile im Hinblick auf die Investitions- und Betriebskosten gegenüber der konventionellen Technik mit Ionenaustauschern bietet. Ein weiterer Vorteil der Kombination der RO / EDI Technik gegenüber der konventionellen Entsalzung ist die bessere Entfernung von kolloidaler Kieselsäure und gelösten organischen Substanzen.

Grundlagen der EDI Technik

Der EDI Prozess ist in der Lage, ionisierte und ionisierbare Substanzen aus dem Wasser zu entfernen. Dies geschieht unter Verwendung von Ionenaustauschermembranen, elektrisch leitenden Medien, in der Regel als Ionenaustauscherharz und einem spannungsinduziertem elektrischen Potential. Seit den Anwendungen im Laborbereich vor etwa 20 Jahren wurde der EDI Prozess ständig weiterentwickelt, um die Kosten zu senken und den Entsalzungswirkungsgrad zu verbessern.

Die meisten der heute kommerziell erhältlichen EDI Module wurden aus den bekannten Stacks für die Elektrodialyse abgeleitet, mit alternierend angeordneten kationen- und anionenpermeablen Membranen und dazwischen liegenden wasserdurchflossenen Kanälen. Kanäle, die in Richtung der positiv geladenen Anode (+) durch eine Anionenaustauschmembran (AAM) und in Richtung der negativ geladenen Kathode (-) durch eine Kationenaustauschmembran (KAM) begrenzt sind, sind die Kammern für die Entsalzung (Diluat). Die dazwischenliegenden Kanäle sind die Kammern für das Konzentrat.

Um eine Ionenwanderung in der weitgehend entsalzten Lösung zu ermöglichen, sind die Diluatkammern mit Ionenaustauscherharz als leitfähigem Medium gefüllt. Mit einer externen Spannungsquelle wird über die Elektroden ein elektrisches Feld angelegt, das die Ionen in der Flüssigkeit in Richtung der entgegengesetzt geladenen

Elektrode bewegt. Dadurch tritt in den Diluatkammern eine Reduzierung (Entsalzung) und in den Konzentratkammern eine Anreicherung (Konzentrierung) an Ionen auf. Abbildung 1 zeigt das Prinzip des EDI Prozesses.

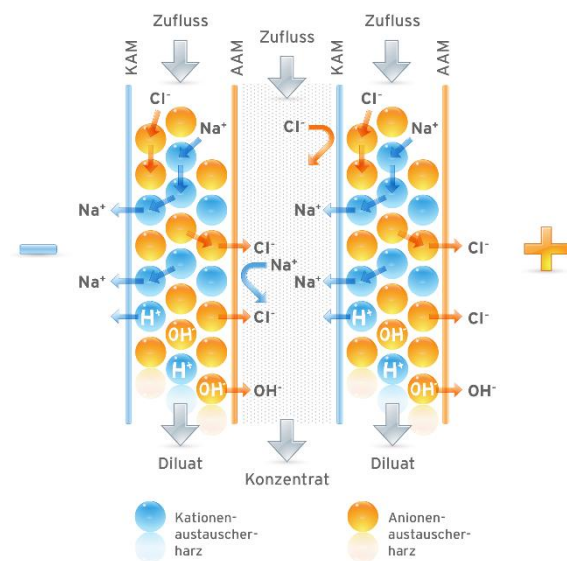


Abbildung 1: Prinzip des EDI Prozesses

Dargestellt sind zwei Diluatkammern, eine Konzentratkammer und die Elektroden. In einem EDI Modul sind mehrere solcher Zellen zusammengebaut und parallel durchströmt.

Gegenwärtig existieren zwei grundlegende Modulbauweisen. Die Platten-/Rahmenausführung entspricht dem klassischen Elektrodialysestack und ist ähnlich einer Kammerfilterpresse oder eines Plattenwärmeaustauschers aufgebaut. Diluat-



kanäle und Konzentratkanäle werden abwechselnd zwischen den Elektroden angeordnet und mit Dichtungen zu Modulen zusammengepresst. Eine Erhöhung der Anzahl an Zellpaaren erhöht die hydraulische Durchsatzleistung einer Einheit. Der Hauptvorteil dieser Anordnung ist der einfache Zusammenbau des Moduls.

Im Gegensatz dazu sind rund gewickelte Module komplizierter im Aufbau und der Herstellung. Aufgrund der geringen Bedeutung dieser Anordnung wird im Folgenden auf diese Bauart nicht eingegangen, zumal die grundlegende Funktionsweise dieselbe ist.

Abhängig von der Dicke der Diluatkammer werden zwei Hauptbauarten unterschieden: Module mit dünnen Zellen von 2-3 mm und Module mit dicken Zellen von 8-10 mm.

EDI mit dünnen Zellen - Mischbettzellen

Die ersten kommerziellen EDI Module enthielten als Diluatkammern sog. dünne Zellen, gefüllt mit Mischbett Ionenaustauscherharz. Obwohl die Leistungsfähigkeit über die Jahre verbessert wurde, blieb die zugrundeliegende Technik unverändert.

In Mischbettzellen bilden sich während des Betriebs zwei unterschiedliche Zonen in den Diluatkammern aus. Auf dem Weg des Wassers durch die Zelle werden stark ionisierte Substanzen zuerst abgeschieden, dann folgt die Abscheidung von schwach ionisierten Substanzen. Die elektrochemischen Vorgänge in den zwei Zonen gehen zwar ineinander über, unterscheiden sich aber grundsätzlich.

In der ersten Zone überwiegen die Transportvorgänge im elektrischen Feld. Das Ionenaustauscherharz dient in erster Linie als leitfähiges Medium um den Transport der Ionen aus der Diluatkammer durch die jeweilige Ionenaustauschermembran in die Konzentratkammer zu beschleunigen. Das Harz hat eine um mehrere Größenordnungen höhere Leitfähigkeit als das Wasser. Es wird ein ununterbrochener Transportweg über Kontakte jeweils einer Harzsorte untereinander durch die Diluatkammer benötigt (Abbildung 2).

Nachdem der überwiegende Teil der stark ionisierten Substanzen im oberen Teil des Harzbettes entfernt wurde, ist die Leitfähigkeit im unteren Teil der Zelle nur noch von der Leitfähigkeit der Harze ab-

hängig. An den Stellen, an denen die Grenzstromdichte überschritten wird, tritt Was-

sowohl die stark ionisierten als auch die schwach ionisierten Substanzen entfernen.

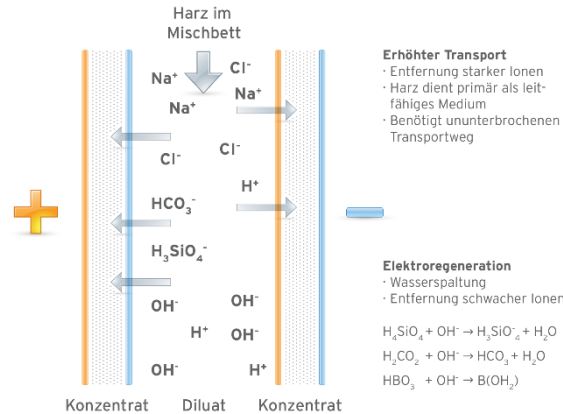


Abbildung 2: Elektrochemische Mechanismen in der Mischbettzelle

terspaltung auf und die Konzentrationen an Wasserstoffionen und Hydroxyionen steigen. Die Zersetzung des Wassers wird an den bipolaren Kontaktstellen von Harz / Harz und Harz / Membranen ausgelöst. An diesen Stellen halten die gebildeten Wasserstoff- und Hydroxyionen die Harze in einem hochregenerierten Zustand und die schwach ionisierten Spezies wie Kohlenstoffdioxid und Kieselsäure reagieren zu stark ionisierten Substanzen, die in die Konzentratkammern abtransportiert werden können.

EDI mit dicken Zellen

Die elektrochemischen Reaktionen in dicken Schichtbettzellen laufen anders ab als in dünnen Zellen (Abbildung 3).

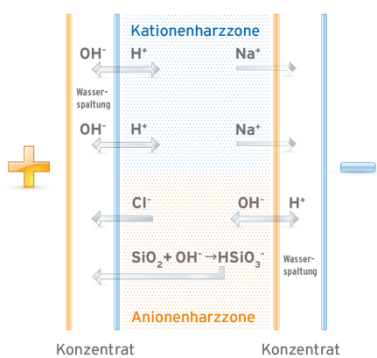


Abbildung 3: Elektrochemische Mechanismen in der Schichtbettzelle

Da nur eine Harzsorte an einer bestimmten Stelle zwischen den Membranen vorhanden ist, ist der Transport von Gegenionen nicht möglich. Um die Elektroneutralität zu wahren, muss Wasserspaltung für den Ionentransport auftreten und

Schichtbettzellen weisen die positiven Eigenschaften der Dünn-

schichtzellen auf, haben aber die zusätzlichen Vorteile einer kostengünstigeren Herstellung, eines geringeren Flächenbedarfs an Ionenaustauschermembranen pro Einheit und einer sehr robusten Bauart durch die dicken Rahmen.

Diese Module können daher bei hohem Betriebsdruck eingesetzt werden.

Aufgrund des wechselnden pH Profils haben EDI Zellen eine entkeimende Wirkung auf das durchfließende Wasser.

Elektrochemische Vorgänge

Die Wasserspaltung ist notwendig, um schwach ionisierte Substanzen wie Kieselsäure, Kohlenstoffdioxid und Bor und in dicken Zellen auch die stark ionisierten Substanzen zu entfernen. Der theoretisch erforderliche Strom für die Wasserspaltung zur Entfernung einer bestimmten Fracht an ionisierten Substanzen kann unter Anwendung des 1. Faraday Gesetzes quantitativ ermittelt und mit dem tatsächlich an einer Zelle aufgewendeten Strom verglichen werden.

Im Ergebnis einer solchen Berechnung benötigt die EDI mit dicken Zellen auf Grund des höheren Volumenstroms mehr Strom pro Zelle als die EDI mit dünnen Zellen, um den gleichen Stromwirkungsgrad zu erzielen. Zudem kann durch die Reduzierung des Stromwirkungsgrades der Grad der Wasserspaltung erhöht und damit die Ionisierung der schwachen Anionen und deren Entfernung verbessert werden. Es ist nicht ungewöhnlich, unter 10 % Stromwirkungsgrad (E-Faktor größer als 10) zu arbeiten, um die Entfernrungsrate für Kieselsäure und Bor zu erhöhen.

Infolge des Ohmschen Gesetzes bedingt eine Erhöhung des Stromes entweder eine Erhöhung der Spannung oder eine Reduzierung des elektrischen Widerstands des Moduls.

Eine Erhöhung der Spannung hat verschiedene Nachteile, insbesondere im Hinblick auf den höheren Energiebedarf und



das erhöhte Sicherheitsrisiko, sodass die Reduzierung des Zellwiderstandes deshalb von größter Bedeutung ist.

Ausführung der Konzentratzellen

Da alle EDI Systeme Ionenaustauscherharze mit einer sehr hohen Leitfähigkeit in den Entsalzungszellen einsetzen, ist die Leitfähigkeit im Konzentratstrom der wirklich limitierende Faktor.

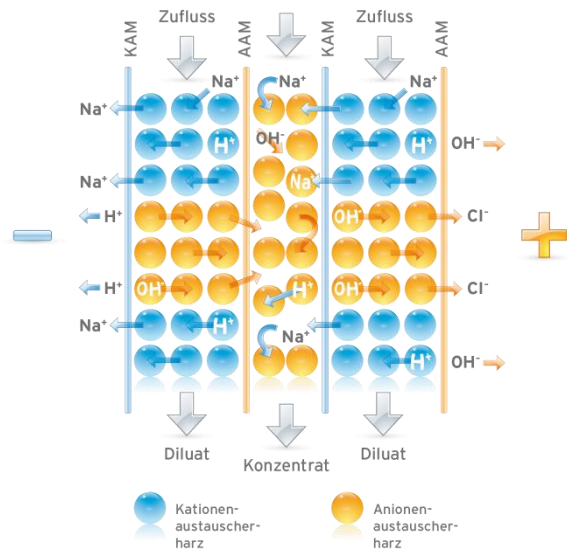


Abbildung 4: Schichtbettzelle mit gefüllten Konzentratzellen

Abbildung 4 zeigt ein Zelldesign, bei dem sowohl die Konzentratzellen als auch die Entsalzungszellen mit Ionenaustauscherharz als leitfähigem Medium gefüllt sind. Ionenaustauscherharz hat eine um Größenordnungen höhere Leitfähigkeit als Umkehrosomosepermeat und macht das System damit unabhängig von der geringen Leitfähigkeit des Wassers.

Für EDI Systeme, die kein Ionenaustauscherharz im Konzentrat verwenden, gibt es die Möglichkeit die Leitfähigkeit des Wassers im Konzentratstrom zu erhöhen und/oder die Schichtdicke der Zelle zu reduzieren.

Die Leitfähigkeit kann erhöht werden durch die Erhöhung der Aufkonzentrierung und/oder durch die direkte Zugabe einer Salzlösung in den Konzentratstrom. Allerdings wird die Aufkonzentrierungsrate meist begrenzt durch die Qualität des Speisewassers im Hinblick auf Härteausfällungen im Konzentrat. Die Zugabe einer Salzlösung hat den Nachteil, dass sich der Konzentrationsunterschied zwischen Entsalzungszelle und Konzentrierungszelle erhöht und damit die Gefahr der Rückdiffu-

sion von Ionen durch die nicht vollständig permselektiven Ionenaustauschermembranen zunimmt.

Bei vielen Systemen wird zusätzlich das Konzentrat umgewälzt, um ein gleichmäßiges Konzentrationsprofil entlang der Ionenaustauschermembran zu erzielen. Vorteil einer solchen Maßnahme ist, dass durch die höhere Überströmung die Filmdicke und damit die Konzentrationsüberhöhung an der Membranoberfläche geringer sind. Nachteilig sind der erhöhte apparative Aufwand, die Komplexität des Systems und nicht zuletzt der zusätzliche Stromverbrauch für die Umwälzpumpen, der 50 bis 70 % des Gesamtstromverbrauchs eines Systems ausmachen kann.

Speisewasseranforderungen

Die kommerziell erhältlichen EDI Module sind ausgelegt zur Restentsalzung von Umkehrosomosepermeat. Die Anforderungen an das Speisewasser ergeben sich aus Tabelle 1.

Tabelle 1: Anforderungen an das Speisewasser der EDI

Parameter	Mindestqualität
Leitfähigkeit ρ [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	< 40
Gesamthärte [meq/l]	< 0,002 WCF _{max} =95%
	0,002- 0,01 WCF _{max} =90%
Kieselsäure(reaktiv) [mg/l]	< 0,5
Gesamtchlor [mg/l]	nicht nachweisbar
Fe, Mn, H ₂ S [mg/l]	jeweils < 0,01
Partikel	n. n.
Temperatur [°C]	5 - 35

Die Unterschiede in den Anforderungen der verschiedenen Modulhersteller sind marginal und können vernachlässigt werden. Die Praxis hat gezeigt, dass sich EDI

¹ Der Einfluss des gelösten CO₂ wird empirisch ermittelt über das Feedwater Conductivity Equivalent \rightarrow FCE (nach Ionpure) oder die Total Exchangeable Anions \rightarrow TEA (nach E-Cell)

Systeme unter Einhaltung der genannten Grenzwerte problemlos betreiben lassen.

Einfluss der Ionenkonzentration

Die Ionenkonzentration im Speisewasser in Verbindung mit der Durchflussrate bestimmt den theoretischen Strombedarf und der Strom-Wirkungsgrad / E-Faktor die Qualität des Produktes. Da Umkehrosomosemembranen keine gelösten Gase zurückhalten können, ist immer gelöstes Kohlenstoffdioxid im Speisewasser enthalten. Die Konzentration an austauschbaren Anionen (TEA) ist deshalb größer als die an austauschbaren Kationen (TEC).

Die Hersteller von EDI Modulen verwenden empirische Methoden zur Berechnung der austauschbaren Anionen im Wasser, die die Konzentration an schwachen Anionen stärker gewichten, als die von starken Anionen. Diese empirischen Methoden sind in den jeweiligen Auslegungsprogrammen der Modulhersteller hinterlegt. Die Konzentration kann reduziert werden durch die Verwendung von Umkehrosomosemembranen mit höherer Rückhaltung, durch den Einsatz von zweistufigen Umkehrosomosesystemen oder durch die Entfernung des gelösten Kohlenstoffdioxids.

Einfluss der Härte

Die Wasserspaltung in den Zellen führt zu einem stetigen Transport von OH⁻ Ionen in Richtung Anode und demzufolge zu einem hohen pH Wert an der Oberfläche der Anionenaustauschermembran in der Konzentratzelle. Entsprechend ihrer Löslichkeit fallen CaCO₃ und Mg(OH)₂ auf den Membranen aus, wenn gewisse Grenzkonzentrationen für Härte im Einspeisewasser überschritten werden. Ähnlich wie bei Umkehrosomosemembranen können auch bei EDI Modulen Ausfällungen durch das Reinigen mit geeigneten Chemikalien beseitigt werden. Das Erfordernis, öfter zu reinigen, steigt mit der Konzentration an Härte im Speisewasser an. Auch andere Substanzen wie Eisen und Mangan können als Hydroxide ausfallen, wenn gewisse Grenzkonzentrationen überschritten werden.

Einfluss der Kieselsäure

Hohe Konzentrationen an Kieselsäure können die Produktqualität negativ beeinflussen und insbesondere bei Anwesenheit von Magnesium zu irreversiblen Ausfällungen in den Konzentratzellen führen.



Einfluss der Betriebsparameter auf die Produktqualität

Hauptinflussfaktoren auf die Leistungsfähigkeit eines EDI Systems sind Stromüberschuss, Zulaufkonzentration, Durchfluss pro Modul und die gewünschte Restqualität im Hinblick auf die Leitfähigkeit und die Kieselsäure ergeben kombinierte Effekte, die man heutzutage mit leistungsfähigen Computerprogrammen relativ sicher prognostizieren kann, wenn die in Tabelle 1 gezeigten Zulaufbedingungen eingehalten sind.

Anlagentechnik

Da EDI Systeme mit Umkehrosmosepermeat versorgt werden ist der erste Schritt in der gesamten Verfahrenskette die Vorbehandlung des Rohwassers, die dafür zu sorgen hat, dass die Umkehrosmoseanlage problemlos ohne Scaling oder Fouling zu betreiben ist. Die Art der Vorbehandlung richtet sich nach der Qualität des Rohwassers. Wenn man in die Vorbehandlung eine Enthärtungsanlage integriert, hat man die Anforderungen an das Einspeisewasser für die EDI bereits weitgehend erfüllt. Alternativ zur Vorbehandlung mit Enthärtung kann auch mit Antiscalants in Verbindung mit einer zweistufigen Umkehrosmose gearbeitet werden.

Abhängig von der Größenordnung der TEA und dem darin enthaltenen Anteil an Kohlenstoffdioxid folgt ein System zur CO₂ Entfernung, entweder durch pH Anhebung und Überführung des CO₂ zum HCO₃⁻ oder durch Membranentgasung im Umkehrosmosepermeat. Danach folgt die Umkehrosmoseanlage.

Die folgende EDI kann entweder über einen Permeatbehälter mit Pumpstation oder direkt an den Permeatausgang der Umkehrosmose angebunden werden. Der Wirkungsgrad im Hinblick auf den Konzentratanfall beträgt 85 bis 95 %. Das Konzentrat der EDI kann vor die Umkehrosmose zurückgeführt werden, so dass bei der EDI kein Abwasser anfällt. Der Aufbau der EDI Anlage ist wie bei der Umkehrosmose



Abbildung 5: EDI Anlage Leistung 5 x 60 m³/h mit je 15 Modulen pro Rack (Bild: Hager+Elsässer GmbH)

modular, indem entsprechend der gewünschten Durchsatzleistung eine entsprechende Anzahl Module parallel geschaltet werden, die wiederum zu Anlagengruppen, sogenannten Racks, zusammengefasst werden können. Die großen EDI Module sind für einen maximal zulässigen Einspeisepressure ausgelegt, so dass der Restdruck bequem dazu ausreicht, der EDI im Bedarfsfall zur Verbesserung der Produktqualität nicht regenerierbare Ionenaustauscher nachzuschalten.

Investitions- und Betriebskosten

Vergleicht man die Investitionskosten einer Vollentsalzungsanlage auf Ionenaustauscherbasis mit nachgeschalteten Mischbetten einschließlich Chemikalienlager und Neutralisation mit den Investitionskosten einer EDI Anlage so ergibt sich dass die Kombination Umkehrosmose/ EDI bei Durchsatzleistungen kleiner als 30 m³/h immer kostengünstiger als die Ionenaustauschanlage ist, bei Leistungen über 100 m³/h die Ionenaustauschanlage dagegen immer günstiger ist. Zwischen 30 und 100 m³/h ist der Rohwassersalzgehalt der entscheidende Faktor (Auswertung Kostenstand 2005).

Bei der Betrachtung der Investitionskosten darf der Platzbedarf nicht außer Acht gelassen werden. Die Ionenaustauschanlage benötigt erheblich mehr Platz als die Kombination RO / EDI.

Betrachtet man die Betriebskosten so erkennt man die sehr starke Abhängigkeit

der Kosten bei der Ionenaustauschanlage vom Salzgehalt des Rohwassers. Dies muss so sein, da der Chemikalienaufwand und der Abwasseranfall proportional mit dem Salzgehalt steigen. Diese Steigerung ist bei der RO/ EDI nicht ausgeprägt, da die Abhängigkeit vom Salzgehalt in dem Maße nicht besteht.

Bei der Qualität des entsalzten Wassers ist im Hinblick auf Restsalzgehalt und Restkieselsäuregehalt kein nennenswerter Unterschied zu erwarten.

Betriebsergebnisse

Tabelle 2 und Abbildung 6 zeigen typische Betriebsergebnisse von Umkehrosmose/ EDI Anlagen, hier erhoben an der seit 15 Jahren in Betrieb befindlichen Anlage bei der Firma ABB in Lenzburg/ Schweiz.

Tabelle 2: Qualität RO Permeat und EDI Diluat (ABB Lenzburg / CH) [6]

Parameter	RO Permeat	EDI Produkt
Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	2 - 6	0,056 - 0,057
Widerstand [$\text{M}\Omega \times \text{cm}$]	./.	17,5 - 18,0
Natrium [$\mu\text{g}/\text{l}$]	500 - 1000	0,1 - 1,0
Kieselsäure [$\mu\text{g}/\text{l}$]	15 - 25	0,5 - 2,0
DOC [$\mu\text{g}/\text{l}$]	10	3 - 4

Da die EDI ein vollkontinuierlicher Prozess ist, der von keinen Regenerationen unterbrochen wird, ist die Ablaufqualität entsprechend der eingestellten Betriebsparameter gleichmäßig hoch und konstant. Schwankungen in der Rohwasserzusammensetzung schlagen praktisch nicht durch.

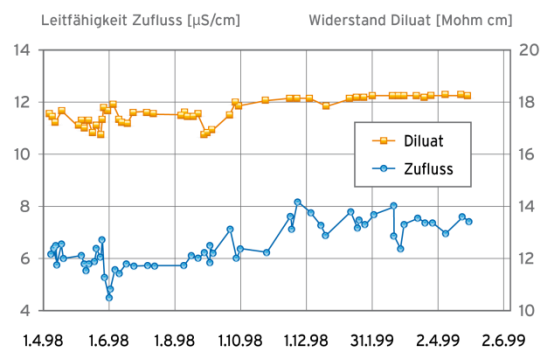
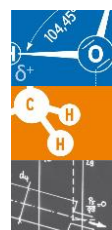


Abbildung 6: Qualität EDI Diluat (ABB Lenzburg / CH) [6]



Literatur

- [1] Nagel, Rolf; Will, Thomas : Membrane Processes for Water Treatment in the Semiconductor Industry, Ultrapure Water Journal, October 1999
- [2] Gifford, Joseph; Atnoor, Deven: An Innovative Approach to Continuous Elektrodeionisation Module and System Design for Power Applications, Proceedings International Water Conference Pittsburgh, October 2000
- [3] Patterson, Michael; Barber, John: Applications of EDI Technology for High-Purity Water in Semiconductor Manufacturing, Proceedings Ultrapure Water Expo 2001 Philadelphia, April 2001
- [4] Tessier, David: Status and Future Direction of EDI Technology, Proceedings Ultrapure Water Expo 2001 Philadelphia, April 2001
- [5] Jha, Anil; Gifford, Joseph: Ultrapure CDI for Microelectronics Applications: A Cost Effective Alternativ to Mixed Bed Polishers, Proceedings Ultrapure Water Asia, March 2004
- [6] Gebicke, Wolfgang; Armonies B.; Eckert B.: New Approaches in High-Purity Water Treatment - 5 Years of Operating Experience with EDI, Ultrapure Water Journal, March 2003
- [7] Nagel, Rolf: Elektrodeionisation (EDI) bei der Zusatzwasseraufbereitung in Kraftwerksanwendungen, VGB PowerTech, 05/2005
- [8] Nagel, Rolf; Seeger, Horst.; Klauer, Jörg: Pharmawasseraufbereitung mit Umkehrosiose und Elektrodeionisation, Pharmind - die pharmazeutische Industrie 07/2006, S. 895 - 901
- [9] Abbildung 1 bis Abbildung 4 entstanden mit freundlicher Genehmigung der Firma Ionpure in Anlehnung an deren technische Handbücher.
- [10] Duscher, Stefan: Ausführungsformen und Anwendungen der Elektrodeionisation (EDI) zur Reinstwasserbereitung, F&S - Filtern und Separieren -Teil 1-2010/5, Teil 2-2010/6, Teil 3-2011/1

Autoren/ figawa

Die vorliegende technische Mitteilung wurde maßgeblich von den Mitgliedern im „figawa Arbeitskreis Membrantechnik“ erarbeitet, mit freundlicher Unterstützung weiterer Mitgliedsunternehmen und deren Mitarbeitern.

Kommentare und Anregungen zu dieser technischen Mitteilung nimmt die figawa-Geschäftsführung gerne entgegen.

Betreuer der figawa-Referent. Dipl.-Ing. Adrian Uhlenbroch (uhlenbroch@figawa.de, [Tel. +49 \(221\) 37668- 53](tel:+492213766853)).

Seit 1926 organisieren sich Hersteller von Produkten und Dienstleister des Gas- und Wasserfachs in einem technisch-wissenschaftlichen Dachverband, der Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach e. V. - figawa. Das Ziel dieser Vereinigung besteht seit ihrer Gründung darin, Produkte und Verfahren im Hinblick auf Sicherheit, Hygiene, Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit in Regelwerken zu verankern. Insgesamt sind mehr als tausend Unternehmen Mitglied in der figawa. Einen aktuellen Überblick finden Sie unter www.figawa.de.

