

Prinzipien der Aufbereitung von Dialysewasser –

vom Wasserwerk zum Dialysegerät (Teil 1)

Wasser für die Hämodialyse

muss hinsichtlich mikrobiologischer und chemischer Inhaltsstoffe bestimmten Qualitätsnormen entsprechen. Dialysewasser soll vor allem frei von suspendierten Partikeln und möglichst arm an gelösten Stoffen sein. Das Ziel ist es, ein einheitlich reines Lösungsmittel für definierte Rezepturen von Dialysierflüssigkeiten zur Verfügung zu stellen. Trinkwasser ist hierzu nicht geeignet, da es solche Anforderungen nicht erfüllt. Es muss vielmehr entsprechend weiter aufbereitet werden. Die einzelnen Herstellungsschritte beschreibt Mikrobiologe Dr. Arnd Goppelsröder in unserer dreiteiligen Reihe.

Herkunft	Anteil in Deutschland
Quell- und Grundwasser aus unterschiedlicher Tiefe, gebildet durch natürliche Versickerung der Niederschläge	71 %
Künstlich angereichertes Grundwasser	12 %
Talsperren	7 %
Uferfiltrat	6 %
Direkt aus Seen oder Flüssen	4 %

Tab.: Herkunft des Rohwassers zur Trinkwasseraufbereitung in Deutschland (aus: Bank, 1995)

Trinkwasser – Ausgangsprodukt zur Herstellung von Dialysewasser

Lassen Sie uns zunächst einen Blick auf das eigentliche Ausgangsmaterial für Dialysewasser, unser Trinkwasser, werfen, das oftmals keinesfalls mehr so »roh« ist, wie es die Natur bereitgestellt hat.

Als Rohwasser für die Aufbereitung von reinem, bei der Herstellung von Dialysierflüssigkeiten benötigten Wasser dient bei uns, wie auch in anderen Staaten, nahezu ausschließlich Trinkwasser. Was als solches bezeichnet werden darf, regeln in vielen Ländern nationale Rechtsnormen. In Deutschland war dies bis vor kurzem die Trinkwasserverordnung von 1990. Sie wurde mittlerweile entsprechend der Richtlinien 80/778/EWG und 98/83/EG modifiziert und damit den EU-Vorgaben für eine europaweite Harmonisierung der Trinkwassernormen angeglichen. Diese »neue« Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) ist seit dem 01. Januar 2003 gültig. Quintessenz dieser Vorschrift ist, dass in »Wasser für den menschlichen Gebrauch« keine Krankheitserreger oder chemischen Stoffe in Konzentrationen enthalten sein dürfen,

die akut oder bei lebenslanger Nutzung (die Nutzung ist definiert in § 3) eine »Schädigung der menschlichen Gesundheit besorgen lassen«. Entsprechende Grenzwerte sind in den Anlagen 1 bis 3 zur TrinkwV 2001 festgelegt.

Aufbereitung von natürlichem Wasser zu Trinkwasser

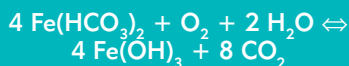
Selbst dort, wo die Natur noch in Ordnung zu sein scheint, bereiten viele Wasserversorger das Rohwasser auf, bevor sie es als Trinkwasser an die Verbraucher abgeben. Das geförderte Rohwasser stammt aus dem natürlichen Wasserkreislauf (Tab.).

Im Rohwasser kann die Zusammensetzung und Konzentration suspendierter und gelöster Stoffe sehr verschieden sein: So unterscheiden sich Grundwässer erheblich von Oberflächenwässern, beispielsweise Talsperrenwasser oder Wasser aus dem Uferfiltrat von Flüssen. Die Aufbereitungsstrategien müssen diesen Unterschieden gerecht werden und dabei gewährleisten, dass das Produkt »Trinkwasser« gesundheitlich unbedenklich ist und keine tech-

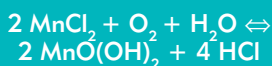
nischen Probleme in Trinkwasserinstallationen verursacht. An zwei Beispielen soll dies stark vereinfacht vorgestellt werden:

Grundwasser wird häufig aus großen Tiefen gefördert, in denen anaerobe Bedingungen vorherrschen. Entsprechend ist es im Extremfall frei von gelöstem Sauerstoff, besitzt einen relativ hohen Gehalt an aggressiver Kohlensäure (CO₂) und ist durchschnittlich zwischen 5 °C und 10 °C kalt. Grundwässer sind mineralienhaltig und enthalten vor allem die Kationen Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺ und Mn²⁺ sowie die Anionen HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻ und NO₃⁻. Die Aufbereitung hat hier primär die folgenden Aufgaben: Eintrag von Sauerstoff und Austreiben des CO₂, Entfernung von Fe²⁺ und Mn²⁺ (*Kasten*). Insbesondere hohe Konzentrationen an wasserlöslichen Eisen- und Manganverbindungen – sie liegen meist als Hydrogencarbonate, Chloride, Sulfate oder Nitrate vor – würden sich bei ausbleibender Aufbereitung in Trinkwasserleitungen und – Installationen sehr nachteilig auswirken. Dort wird das Wasser zunehmend Sauerstoff aufnehmen können. Die gelösten zweiwertigen Fe- und Mn-Ionen würden oxidiert und in unlösliche Verbindungen überführt werden. Krustenbildung in den Leitungen und schnell verstopfte Filter (»Verockerung«) wären die Konsequenz. Im Dialysezentrum könnte sich dies zusätzlich durch verstärktes Scaling und Fouling an Umkehrosmembranen bemerkbar machen. Dieser Prozess wird nun im Wasserwerk gesteuert vorweggenommen, Eisen- und Manganverbindungen gezielt möglichst vollständig ausgefällt und die Fällprodukte über Sandfilter entfernt.

Es entsteht beispielsweise aus löslichem Fe-Hydrogencarbonat das unlösliche Fe-Hydroxid vereinfacht wie folgt:



Lösliches Manganchlorid wird über das schwerlösliche Manganhydroxid zu unlöslichem Braunstein oxidiert:



Vereinfachte Reaktionsschemata zur Fällung von löslichem Eisen und Mangan (aus: Bank, 1995)

An die Aufbereitung von **Oberflächenwässern** werden dagegen andere, meist komplexere Anforderungen gestellt. Mangan und Eisen stellen hier in der Regel

kein Problem dar. Oberflächenwasser ist dagegen häufiger durch Verschmutzungen aus Industrie und Landwirtschaft kontaminiert und enthält deutlich mehr kolloide Teilchen und suspendierte Partikel (Trübstoffe). Auch ist seine mikrobiologische Belastung meist von anderer Qualität als bei Tiefenwässern. Die Aufbereitung wird zwangsläufig vielstufiger ablaufen. An erster Stelle steht beispielsweise die Entfernung von Partikeln und von Kolloiden mittels Flockung und anschließender Sedimentation und Filtration. Bei der Flockung werden kleinste schwebende Teilchen, Kolloide und zum Teil auch gelöste Stoffe in eine filtrierbare Form gebracht. Derartige Teilchen und Kolloide sind negativ geladen, stoßen sich daher ab und bleiben deshalb in der Schwebelage. Durch Zugabe entsprechender Flockungshilfsmittel, etwa positiv geladene Eisen- oder Aluminiumsalze, wird die negative Ladung neutralisiert oder abgeschwächt, die Teilchen können sich zusammenfügen und bilden Flocken. Während des Prozesses werden die löslichen Eisen- oder Aluminiumsalze in unlösliche Verbindungen überführt und in die Flocken integriert. Das filtrierte Rohwasser wird danach über Aktivkohlefilter geleitet, um organische und halorganische Verunreinigungen zu entfernen, und muss oftmals aber auch noch hygienisiert werden. Hierbei wird das Wasser beispielsweise ozonisiert, über eine UV-Strecke geleitet oder aber auch chloriert.

Schlussfolgerungen

Die den natürlichen Gegebenheiten angepasste Aufbereitung des Rohwassers in den Wasserwerken ermöglicht so manchem Dialysezentrum, auf bestimmte Verfahrensschritte bei der Aufbereitung von Dialysezwasser zu verzichten. Andererseits bedeutet die routinemäßige oder episodisch zu erwartende Hygienisierung des Trinkwassers mit Chlor aber auch, die Aufbereitungsstrategie im Dialysezentrum danach auszurichten und die Möglichkeit zu schaffen, freies Chlor sowie dessen Reaktionsprodukte auf geeignete Weise zu neutralisieren.

Nicht immer steht Trinkwasser zur Verfügung, das nach dem neuesten technischen Stand aufbereitet wurde. Auch darf man sich der Tatsache nicht verschließen, dass modernste Technik und der sie bedienende Mensch einmal versagen können. Schließlich können die Versorgungsleitungen vom Wasserwerk bis zum Endverbraucher auf dem oft sehr langen Transportweg unerwünschte chemische Verbindungen und Partikel an das Trinkwasser abgeben. Es empfiehlt sich also für jeden Betreiber eines Dialysezentrums, intensiv mit seinem jeweiligen Wasserversorger zu kommunizieren und Informationen über die örtlichen Gegebenheiten, etwa Einzelheiten über

die Art der Trinkwasseraufbereitung und die Besonderheiten im Versorgungsnetz einzuholen. Auch die Beschaffenheit der eigenen Trinkwasser-Hausinstallationen kann von Bedeutung sein.

Die neue Trinkwasserverordnung schreibt jedem Wasserversorgungsunternehmen vor, einen Maßnahmenplan für eventuell auftretende Unregelmäßigkeiten in der Trinkwasserversorgung zu erarbeiten. Hierin ist auch eine Meldkette ausgearbeitet, die sicherstellt, dass im Notfall alle sensiblen Einrichtungen unverzüglich informiert werden. Sie sollten sich vergewissern, dass Ihr Dialysezentrum darin aufgenommen wurde.

Literatur:

Bank, Matthias:
Basiswissen Umweltechnik: Wasser, Luft, Abfall, Lärm.
3. aktualisierte und erweiterte Auflage. Vogel Verlag, Würzburg 1995.

Oehmichen, U.; Schmitz, M.; Seeliger, P.:
Die neue Trinkwasserverordnung. Der Kommentar aus rechtlicher und technisch-wirtschaftlicher Sicht. Wvgw, Bonn 2001.

Autor:

Dr. rer. nat. Arnd Goppelsröder

Walzbachtal

Prinzipien der Aufbereitung von Dialysewasser –

vom Wasserwerk zum Dialysegerät (Teil 2)

Wasser für die Hämodialyse

muss hinsichtlich mikrobiologischer und chemischer Inhaltsstoffe bestimmten Qualitätsnormen entsprechen. Dialysewasser soll vor allem frei von suspendierten Partikeln und möglichst arm an gelösten Stoffen sein. Das Ziel ist es, ein einheitlich reines Lösungsmittel für definierte Rezepturen von Dialysierflüssigkeiten zur Verfügung zu stellen. Trinkwasser ist hierzu nicht geeignet, da es solche Anforderungen nicht erfüllt. Es muss vielmehr entsprechend weiter aufbereitet werden. Die einzelnen Herstellungsschritte beschreibt Mikrobiologe Dr. Arnd Goppelsröder in unserer dreiteiligen Reihe.

Nach seiner Aufbereitung aus natürlichen Rohwässern (vgl. *Dialyse aktuell* 7/2003) wird Trinkwasser über kilometerlange Rohrsysteme zu den Endverbrauchern geleitet. Es enthält abhängig von seiner Herkunft neben suspendierten Partikeln ein großes Spektrum gelöster organischer und anorganischer Komponenten.

Besonders die Härtebildner und das im Rahmen von Hygienisierungsmaßnahmen künstlich zudosierte Chlor können die Funktionsweise der empfindlichsten Aufbereitungsstufe im Dialysezentrum, der Umkehrosmose, erheblich beeinträchtigen. Während Trinkwasser das Verteilungsnetz durchfließt, kann seine Zusammensetzung oder Partikelfracht je nach Alter und Zustand des öffentlichen Rohrnetzes und der Trinkwasser-Hausinstallationen nachträglich verändert werden. Die Zielsetzung der Wasseraufbereitung im Dialysezentrum muss folglich sein, in einem ersten Schritt Inhaltsstoffe zu entfernen, die den Umkehrosmoseprozess nachteilig beeinflussen oder die Membran schädigen. Im zweiten Schritt wird dann das Lösungsmittel für die Dialysekonzentrate mittels Umkehrosmose hergestellt, wobei auch die restlichen der spezifisch für Dialysepatienten schädlichen organischen und anorganischen Inhaltsstoffe zurückgehalten werden (Tab.).

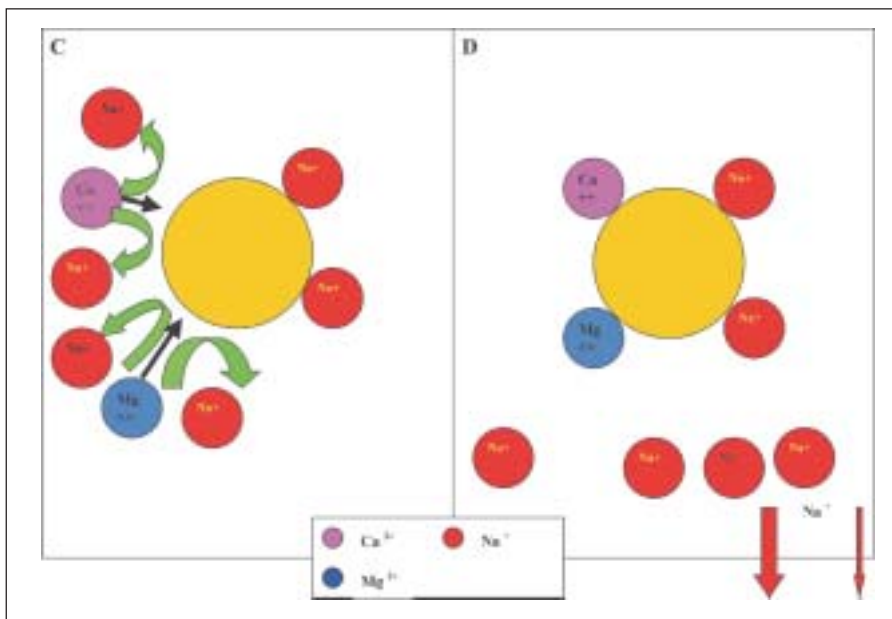
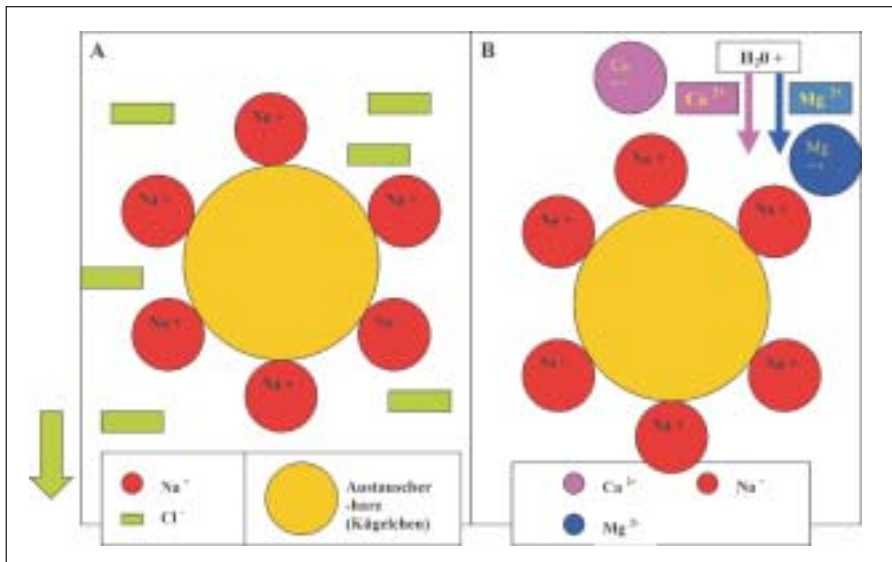
An erster Stelle von Schritt 1 steht die

Entfernung von Partikeln

Unser Trinkwasser enthält suspendierte Teilchen, wie etwa Sand, Rost- und Karbonatpartikel. Je nach Verfahren der Trinkwasseraufbereitung und Zustand des öffentlichen Versorgungsnetzes oder der Trinkwasser-Hausinstallationen, können diese in merklichen Mengen enthalten sein. Sand kann etwa bei Arbeiten am Verteilungsnetz ins Rohrsystem gelangen, während Rost und Karbonatpartikel sich von Rohrwandungen oder darauf aufgelagerten Krusten lösen können. Größere Mengen derartiger Teilchen führen im Dialysezentrum auf Dauer zur Verblockung von Aktivkohlefiltern und Enthärteranlagen, die parallel zu ihren jeweils eigentlichen Funktionen auch als mechanische Filter wirken. Umkehrosmosemembranen werden ebenso beeinträchtigt. Partikel sollten daher zuvor wirksam abfiltriert werden. Bei einer durchschnittlichen Partikelbelastung aus dem öffentlichen Versorgungsnetz eignen sich hierzu mechanische Partikelfilter entsprechend DIN 19 632, die üblicherweise am Anfang der Trinkwasserhausinstallation unmittelbar nach der Wasseruhr eingebaut sind. Die Filtereinsätze aus Kunststoff oder Metall müssen, je nach Bauart, regelmäßig ausgetauscht

Tab.: Verfahrensschritte bei der Aufbereitung von Trink- zu Dialysewasser

Verfahrensschritt	Zielsetzung
1	Entfernung von Partikeln und bestimmter gelöster Bestandteile aus dem Trinkwasser. Hierbei werden all die anorganischen, organischen und optimalerweise auch mikrobiologischen Verunreinigungen entfernt, die bei Schritt 2, der Umkehrosmose, störend oder gar schädigend Einfluss nehmen könnten.
2	Aufreinigung des vorbehandelten Wassers mit Hilfe der Umkehrosmose zu »Umkehrosmosewasser« = »Permeat«, dem eigentlichen Lösungsmittel für die Herstellung von Dialysierflüssigkeiten.



Schematische Darstellung der Enthärtung, A-D (Erläuterungen siehe Text)

oder im eingebauten Zustand durch Rückspülung gereinigt und nach DIN 1988 / TRWI Teil 8 gewartet werden. Es ist zu beachten, dass manuell gereinigte Filtereinsätze aus hygienischen Gründen nicht wieder verwendet werden dürfen. Bei hoher Partikelbelastung, die eventuell auch aus der Hausinstallation selbst stammt, wird mittlerweile der zusätzliche Einsatz von Quarzsandfiltern als Vorstufe zur Aktivkohlefiltration diskutiert.

Entfernung von freiem Chlor und (chlor-)organischen Verunreinigungen

Zur Entfernung von freiem und gebundenem Chlor als Folge der Hygienisierung des öffentlichen Trinkwassernetzes, sowie anderer (halogen-) organischer Verunreinigungen aus dem nunmehr mechanisch vorgefilterten Trinkwasser emp-

fehlt es sich, eine Aufreinigung über Aktivkohlefilter vorzunehmen. Freies Chlor, das die Umkehrosmosemembran angreifen würde, wird hierbei im Kontakt mit der Aktivkohle katalytisch zersetzt. Gebundenes Chlor und viele organische Verunreinigungen werden durch adsorptive Vorgänge an die Aktivkohle gebunden. Da sich Aktivkohlefilter durch die stetige Aufnahme von Wasserinhaltsstoffen mit der Zeit erschöpfen, muss unbedingt die vom Hersteller angegebene Standzeit beachtet und gegebenenfalls ein Austausch des Filtermaterials vorgenommen werden.

Entfernung von Härtebildnern

Um den Wirkungsgrad einer Umkehrosmoseanlage zu erhöhen und die Membran vor Auflagerungen zu schützen, müssen die Härtebildner aus dem Betriebswasser möglichst vollständig entzogen werden.

In Deutschland werden zur Dialysewasser-Herstellung verbreitet starksaure Kationenaustauscher eingesetzt, die vor Ort automatisch mit Kochsalzlösung regeneriert werden können. Mit ihnen lässt sich kein vollentsalztes Wasser herstellen, da sie besonders dafür ausgelegt sind, Calcium- und Magnesium-Ionen, die wichtigsten Härtebildner, zu binden. Diese besitzen die größte Affinität zum hier verwendeten Austauscherharz.

Anionen, etwa Nitrit-, Nitrat-, Hydroxid- und Chlorid -Ionen, werden nicht zurückgehalten und erscheinen unverändert auch im Produktwasser.

Bauprinzip einer Enthärtungsanlage

Die einfachste Ausführung einer Enthärtungsanlage in Dialysezentren besteht aus einem Gehäuse, angefüllt mit einer Schüttung aus speziellen Ionenaustauscher-Harzkügelchen (Durchmesser etwa 0,3–0,8 mm) und einer damit verbundenen Anlage zur Herstellung einer konzentrierten Kochsalzlösung. Am Gehäuse des Austauschers befinden sich Anschlüsse für die Zuführung des aufzubereitenden Wassers, den Ablauf von enthärtetem Produktwasser und die Zuführung der als Regenerierungsmittel verwendeten Kochsalzlösung. Ein separater Ablauf für die bei der Regenerierung anfallende Lösung nebst Spülwasser führt direkt in den Ausguss.

Die mit dieser Gerätekombination verbundenen Mess- und Regeleinheiten koordinieren automatisch die Produktion von enthärtetem Wasser im Wechsel mit der Regeneration des verbrauchten Austauscherharzes. Um die Wasseraufbereitung während der Regenerationszeit nicht unterbrechen zu müssen, sind in der Regel zwei solcher Anlagen vorhanden, die abwechselnd betrieben werden.

Wirkungsweise der zur Wasserenthärtung verwendeten Ionenaustauscher

Starksaure Kationenaustauscher sind Kunstharze, die durch Polymerisation von Styrol mit Divinylbenzol entstehen. Die Schlüsselpositionen innerhalb eines solchen Polymers nehmen negativ geladene Sulfonsäurereste mit ihren entsprechenden Gegenkationen, etwa Na^+ , ein. Bei dem hier besprochenen Typ des starksauren Kationenaustauschers sind alle derartigen Bindungsstellen nach dem Einwirken einer Kochsalzlösung mit Natrium-Ionen belegt (Abb. A).

Wenn das zu enthärtende Wasser darüber geleitet wird, verdrängt **ein** zweiwertiges Calcium- oder Magnesium-Ion jeweils **zwei** einwertige Natrium-Ionen aus dem Harzgerüst und wird dort selbst gebunden. (Abb. C und D).

Ionenaustauscherharze geben so nach und nach ihre Natrium-Ionen im Tausch mit den im Trinkwasser enthaltenen Kationen ab. Die Natrium-Ionen gelangen im Gegenzug ins Weichwasser (Abb. D).

Nach einer gewissen Betriebszeit ist das Austauscherharz weitgehend mit Härtebildnern beladen und erschöpft. Nun müssen diese wieder im Austausch mit Natrium-Ionen entfernt werden, um das System wieder leistungsfähig zu machen. Eine annähernd gesättigte Kochsalzlösung wird zu diesem Zweck über das Harzbett geleitet, bis der in *Abbildung A* skizzierte Zustand wieder erreicht ist. Durch den immensen Überschuss an Natrium-

Ionen werden die Calcium- sowie Magnesium-Ionen wieder aus dem Harz gelöst und ihre freiwerdenden Bindungsstellen erneut mit Natrium-Ionen belegt. Die entstandene Lösung aus Härtebildnern, Chlorid-Ionen und überschüssigem NaCl wird verworfen, ebenso das anschließend zur Spülung benötigte Wasser. Die nunmehr regenerierte Anlage ist hierdurch wieder zur Wasserenthärtung geeignet.

Weichwasser ist der eigentliche Rohstoff für die Umkehrosmose

Das in mehreren Etappen vorgereinigte und enthärtete Wasser (Weichwasser) dient nun als »Rohwasser« für den wichtigsten, zweiten Schritt der Dialysewasseraufbereitung, die Umkehrosmose. Dieses Verfahren wird Gegenstand des nächsten und letzten Beitrags in dieser Reihe sein.

Literatur

Bendlin, H.: *Reinstwasser von A-Z. Grundlagen und Lexikon*. VCH-Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, New York, Basel, Cambridge, Tokyo 1995.

DVGW Deutsche Vereinigung des Gas und Wasserfaches e.V. (Hrsg): *Praxis der Trinkwasser-Installation. Aktuelle Empfehlungen zur DIN 1988 und den dazugehörigen DVGW-Arbeitsblättern*. DVGW-Fachbuchreihe Praxis. 1. Auflage. wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn 2002.

Günther, R.: *Wasseraufbereitung für die Dialyse*. In: H. E. Franz (Hrsg): *Dialyse 1998*. 23. Internationale Dialysefachtagung für Krankenschwestern und Krankenpfleger. Pabst Science Publishers, Lengerich, Berlin, Düsseldorf, Leipzig, Riga, Scottsdale AZ (USA), Wien, Zagreb 1998.

Goppelsröder, A.: *Überlegungen zum Einsatz von Aktivkohlefiltern in Wasseraufbereitungssystemen für die Hämodialyse*. *Dialyse aktuell* 7/2002, S. 34-37

- *Prinzipien der Aufbereitung von Dialysewasser – vom Wasserwerk zum Dialysegerät (Teil 1)*. *Dialyse aktuell* 7/2003, S. 36-38

Autor:
Dr. A. Goppelsröder
Walzbachtal

Prinzipien der Aufbereitung von Dialysewasser –

vom Wasserwerk zum Dialysegerät (Teil 3)

Wasser für die Hämodialyse

muss hinsichtlich mikrobiologischer und chemischer Inhaltsstoffe bestimmten Qualitätsnormen entsprechen. Dialysewasser soll vor allem frei von suspendierten Partikeln und möglichst arm an gelösten Stoffen sein. Das Ziel ist es, ein einheitlich reines Lösungsmittel für definierte Rezepturen von Dialysierflüssigkeiten zur Verfügung zu stellen. Trinkwasser ist hierzu nicht geeignet, da es solche Anforderungen nicht erfüllt. Es muss vielmehr entsprechend weiter aufbereitet werden. Die einzelnen Herstellungsschritte beschreibt Mikrobiologe Dr. Arnd Goppelsröder in unserer dreiteiligen Reihe.

Weichwasser, das unter Verwendung der bereits erläuterten Aufbereitungsschritte hergestellt wurde, dient als Rohwasser für zentrale Umkehrosmoseanlagen in Dialysezentren. Im Vergleich zum Trinkwasser ist die Qualität und die Quantität darin suspendierter und gelöster Stoffe wesentlich verändert.

Ein erheblicher Anteil der im Trinkwasser vorhandenen organischen Verbindungen wurde über die Aktivkohlefiltration entfernt. Das eventuell zu Desinfektionszwecken bereits vom Wasserwerk zugesetzte freie Chlor wurde katalytisch neutralisiert. Mit Hilfe einer nachgeschalteten Enthärtungsanlage wurden härtebildende Kationen, überwiegend die zweiseitigen Calcium- und Magnesium – Ionen, gegen einwertige Natrium – Ionen ausgetauscht. Sie sind nun stattdessen in entsprechender Menge im Weichwasser gelöst. Die im Trinkwasser enthaltenen Anionen erscheinen nahezu unverändert auch im Weichwasser.

Von der erhöhten Natriumkonzentration abgesehen, kommen eventuell neue Partikel und Verbindungen hinzu, die ihren Ursprung in den genannten Aufbereitungsprozessen haben. Es sind überwiegend biogene Verunreinigungen. Biofilme entstehen sehr rasch auf den großen Oberflächen der Aktivkohlegranulate und mitunter auf den Kügelchen der Austauschharze. Bisweilen sind sie auch auf den medienberührenden Teilen der Rohr- und Schlauchleitungen zur Umkehrosmoseanlage zu finden. In diesen Biofilmen findet ein reger Stoffwechsel statt: Mikroorganismen werden darin zersetzt oder vermehren sich. Stoffwechsel- und Zersetzungsprodukte, sowie tote und lebende, vermehrungsfähige Zellen können an das vorbeifließende Wasser abgegeben werden und erscheinen schließlich in gelegentlich nicht unerheblichen Mengen im Weichwasser.

Mit Hilfe der Umkehrosmoseanlage können solche, während des Aufbereitungsprozesses nicht beeinflussten oder neu hinzugekommenen Partikel und Substanzen zum größten Teil entfernt werden. Von einigen Ausnahmen abgesehen, beträgt die

Rückhalterate einer optimal funktionierenden Umkehrosmoseanlage für viele gelöste Bestandteile (Tab.) zwischen 90 bis 99 Prozent und für suspendierte Partikel inklusive Mikroorganismen annähernd 100 Prozent. Die Trenngrenze verfügbarer Membranen liegt zwischen 0,0001 und 0,01 μm . Das Rückhaltevermögen einer Umkehrosmosemembran ist von den Eigenschaften der abzutrennenden Substanzen, dem verwendeten Membrantyp und von verschiedenen Betriebsparametern abhängig, beispielsweise der Wassertemperatur und dem angelegten Betriebsdruck.

Tab. 1: Rückhalterate einer gewickelten Composite-Membran bei einem Betriebsdruck von 14-18 bar für einige ausgewählte Substanzen (kombiniert nach Angaben von Nörpel, 1994)

Substanz	Rückhalterate in %
Natrium	95
Kalium	95
Kalzium	98
Magnesium	98
Nitrat	93
Chlorid	95
Sulfat	98
Kieselsäure	93
Kohlendioxid	0
Methanol	21
Äthanol	59
Phenol	64
Äthylenglycol	85
Glycerin	98
Essigsäure	40
Zitronensäure	99,6
Formaldehyd	44
Harnstoff	64
Benzol	99
Toluol	95
Xylol	97
Glucose	99,9
Saccharose	99,9

Abb. 1.1

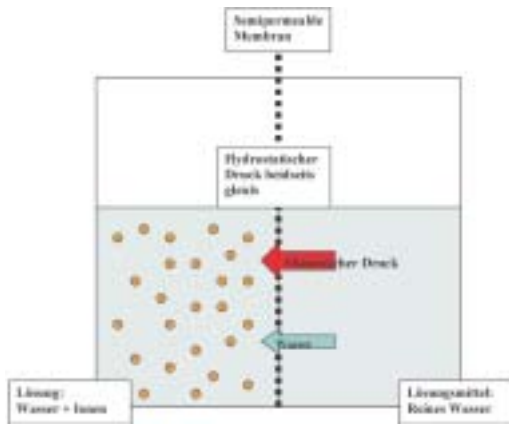


Abb. 1.2

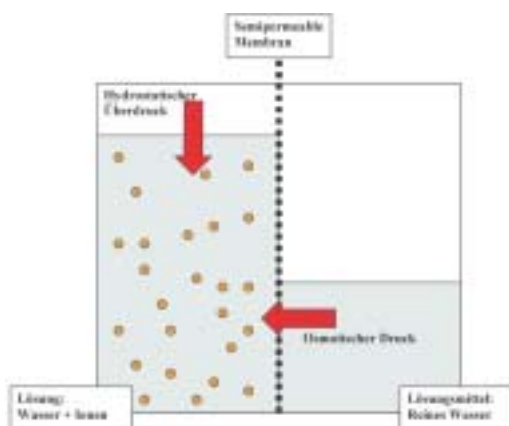


Abb. 1.3

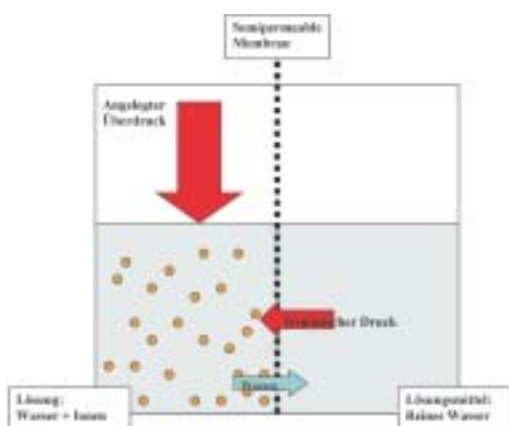
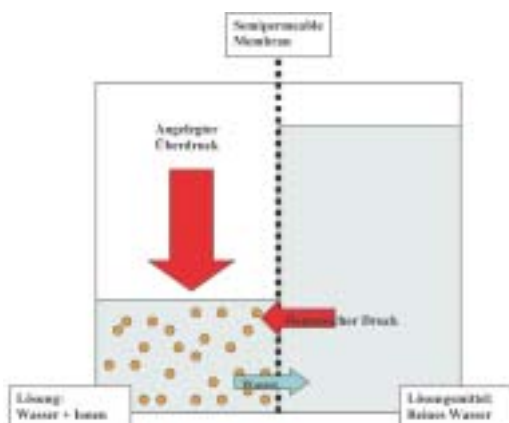


Abb. 1.4



Prinzip der Umkehrosmose

Das grundlegende Phänomen zum Verständnis der Umkehrosmose (engl. Reverse Osmosis, **RO**) ist der Vorgang der **Osmose**.

Ist eine wässrige Lösung und das entsprechende reine Lösungsmittel durch eine (in der Praxis unrealistisch) nur für Wassermoleküle durchlässige, semipermeable Membran getrennt, kann Folgendes beobachtet werden: Zunächst ist auf beiden Seiten mit jeweils gleichem Volumen und gleich hohen Flüssigkeitsständen ein identischer hydrostatischer Druck eingestellt (Abb. 1.1). Aus dem Lösungsmittel diffundieren Wassermoleküle durch die Membran auf die Seite der Lösung im Bestreben, einen Konzentrationsausgleich zwischen den beiden Flüssigkeiten herzustellen. Diese spezielle Form der Diffusion durch eine semipermeable Membran hindurch wird als **Osmose** bezeichnet. Die sich hierdurch immer weiter verdünnende Lösung nimmt infolge der Wasseraufnahme an Volumen zu, ihre Flüssigkeitssäule steigt, diejenige auf der Lösungsmittel-Seite sinkt. Gelöste Bestandteile passieren im Idealfall die Membran hierbei nicht. Schließlich wird ein Gleichgewicht erreicht zwischen der Kraft, welche die Wassermoleküle des Lösungsmittels durch die Membran auf die Seite der wässrigen Lösung treibt und dem hydrostatischen Druck, der ihr auf Seiten der Lösung infolge der höheren Flüssigkeitssäule entgegen wirkt (Abb. 1.2). Gleiches kann übrigens auch bei Lösungen unterschiedlich hoher Konzentration beobachtet werden, die durch eine derartige Membran getrennt sind. Dieser **hydrostatische Überdruck** wird als »**osmotischer Druck**« bezeichnet.

Umkehrosmose

Bei der **Umkehrosmose** werden die Druckverhältnisse auf beiden Seiten manipuliert. Legt man über eine Druckerhöhungspumpe einen Druck auf Seiten der Lösung an, der größer ist als der zu erwartende osmotische Druck (Abb. 1.3), werden die Wassermoleküle durch die Membran in umgekehrter Richtung aus der Lösung zum Lösungsmittel hin transportiert (Abb. 1.4).

Abb. 1: Stark schematische Darstellung von Osmose und Umkehrosmose (Erläuterungen im Text)

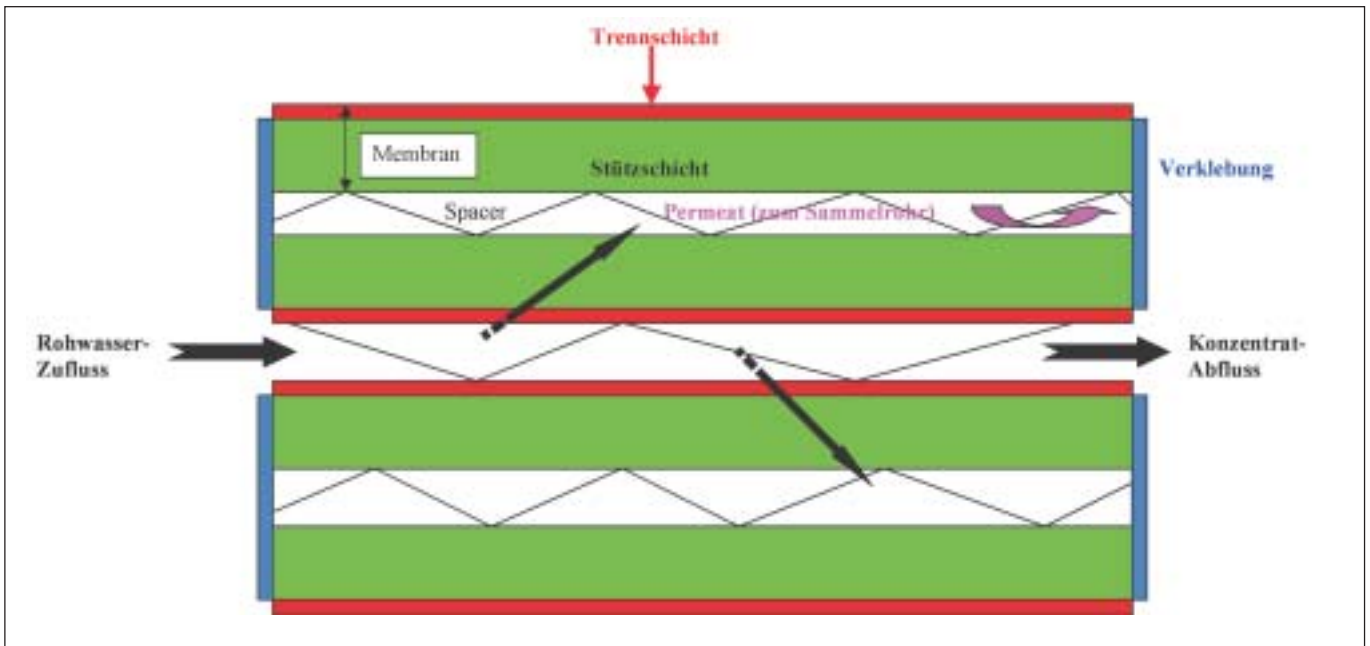


Abb. 2: Schematischer Querschnitt durch ein Wickelmodul (Erläuterungen im Text)

Die zentralen Umkehrosmoseanlage im Dialysezentrum

Das Kernstück einer Umkehrosmoseanlage ist ein Druckkörper, der die Umkehrosmosemembran beherbergt. In Dialysezentren werden heutzutage fast ausschließlich Wickelmembranmodule verwendet, die in ein Druckrohr eingepasst sind. Eine Anordnungsmöglichkeit beim Wickelmembranmodul besteht darin, zwei Membranen spiralförmig um ein zentrales, gelochtes Sammelrohr zu wickeln. Es werden überwiegend mehrschichtig aufgebaute Membranen (Asymmetrische Membranen und Composite-Membranen) verwendet, die aus einer dünnen, für die Stofftrennung verantwortlichen Trenn- oder Sperrschicht, und einer aus ein- oder mehreren Lagen bestehenden stabilisierenden Stützschiicht zusammengesetzt sind. Die Wicklung erfolgt so, dass sich die Trenn- und die Stützseiten der beiden Membranen jeweils gegenüber liegen. Dazwischen sind jeweils netzförmige Abstandshalter (Spacer) eingelegt. Die Stützseiten werden zusammen mit den sie trennenden Spacer am Rande der Membranbahnen verklebt und hierdurch abgedichtet (Abb. 2).

Weichwasser (= »Lösung«), jetzt als »Rohwasser« oder englisch »Feed« bezeichnet, wird unter Druck kontinuierlich in diejenigen Zwischenräume geleitet, die durch die Trennschichten zweier gegenüberliegender Membranbereiche begrenzt werden. Der hierbei angelegte Druck beträgt bei vielen Anlagen in Dialysezentren zwischen 10 und 20 bar.

In der Folge werden Wassermoleküle durch die Trennschichten auf die andere Membranseite gedrückt und in die von den Stütz-

schichten begrenzten Zwischenräume aufgenommen. Letztere kommunizieren nur mit dem zentralen Sammelrohr, in welches das Produktwasser geleitet wird. Das Produktwasser ist wesentlich niedriger konzentriert, als das Rohwasser und entspricht annähernd dem »Lösungsmittel«. Es wird jetzt als »Umkehrosmosewasser« oder »Permeat« bezeichnet und vom Sammelrohr über einen Druckminderer ins Versorgungssystem des Dialysezentrums gespeist.

Auf der Rohwasserseite der Modulwicklung entsteht eine zunehmend konzentrierte Lösung, das »Konzentrat« oder »Retentat«, welches kontinuierlich in den Abfluss geleitet werden muss. Würde dies nicht geschehen, erhielte man eine so hoch konzentrierte Lösung, dass das Löslichkeitsprodukt einzelner gelöster Bestandteile überschritten (»Scaling«) oder Kolloide instabilisiert (»Fouling«) und ausfallen würden. Ähnliche Probleme könnten suspendierte Partikel hervorrufen, die zunehmend auf der Membranoberfläche abgelagert würden (»Silt«). Niederschläge auf der Membran beeinträchtigen deren Effektivität erheblich oder verblocken sie vollständig. Infolge des ständigen Zuflusses von Rohwasser und des Ableitens von überschüssigem Konzentrat (vgl. Abb. 2) wird jedoch eine über die Membranoberfläche streichende Strömung erzeugt, durch die solche Probleme verhindert oder minimiert werden (Querstrom-Filtration, Cross-Flow-Filtration).

Ein Regelventil am Konzentratabgang steuert den Anteil des zu verwerfenden Konzentrats, des nachfließenden Rohwassers und damit auch das Verhältnis von Konzentrat zu Permeat.

Schlussbemerkung

Mit der Beschreibung der Umkehrosmose liegt Ihnen nun das letzte geplante Element in der Trilogie »Prinzipien der Wasseraufbereitung in der Dialyse – vom Wasserwerk zum Dialyseggerät« vor. Damit sind wir allerdings noch nicht direkt »am Dialyseggerät« angelangt. Aufbereitungsprozesse, die insbesondere die hygienische Qualität von Permeat bis zur Einspeisung ins Dialyseggerät betreffen, wurden nicht angesprochen. Diese Problematik wurde bereits in früheren Beiträgen in *Dialyse aktuell* ausführlich diskutiert.

Literatur

Baker, R. W.: *Membrane Technology and Applications*. McGraw-Hill, New York u.a. 2000.

Nörpel, C.: *Spezifische Anforderungen an Trink-, Brau- und Getränkewasser unter besonderer Berücksichtigung der Membrantechnik*. In: K. Marquart et al.: *Rein- und Reinstwasseraufbereitung. Kontakt u. Studium. Band 391*. Expert Verlag, Renningen-Malmsheim 1994, S. 162 ff.

Bendlin, H.: *Reinstwasser von A-Z*. VCH, Weinheim, New York, Basel, Cambridge, Tokyo 1995.

Autor:
Dr. rer. nat. A. Goppelsröder
Walzbachtal