

CARBONIT®

Premium Trinkwasserfilter

Medizintechnik

**Presseauszüge
Fortdrucke**

 **CARBONIT®**
FILTER MADE IN GERMANY



Vorwort

Die **Notwendigkeit einer Nachbehandlung des Leitungswassers** für medizinische Zwecke ist unbestritten. Schließlich kommt das kostbare Nass auf seinem Weg vom Ort der Herstellung bis zur Entnahmestelle mit vielerlei Materialien in Berührung, die es in chemisch-physikalischer und hygienischer Sicht altern lassen. Besonders die jeweilige Hausinstallation, die nicht mehr in der Verantwortung des Wasserversorgers liegt, hat hierbei entscheidenden Einfluss.



v.l.n.r.: Jan Westerbarkey, Coralie Westerbarkey, Dr. Peter Westerbarkey

Hochsensible Bereiche, wie die künstliche Blutwäsche (Dialyse) und Duschen in Krankenhäusern, erfordern einwandfreie Wasserqualitäten. Aber auch bei Wasserautomaten sowie der Lebensmittel- und Pharmatechnik sind abgestimmte Nachbehandlungen des Trinkwassers erforderlich.

Diese Broschüre erläutert anhand konkreter Beispiele und Fachartikel ausgewählte Anwendungen. Vielfach wird dabei auf Veröffentlichungen aus dem CONZEMA-Verlag zurückgegriffen. Auf Grund der Fülle an Informationsmaterial kommen die zahlreichen anderen Anwendungsgebiete für CARBONIT-Produkte (Haustechnik, Schwimmbad, Aquaristik, Industrie etc.) nicht zu Wort.

Viel Spaß beim Lesen wünscht Ihnen die Geschäftsführung

CARBONIT Filtertechnik GmbH
Dr. Peter Westerbarkey & Jan Westerbarkey



INHALT

- 04 Mikrobiologische Analysen zur Qualitätsbeurteilung von Dialyseflüssigkeiten – Bemerkungen über deren Aussagekraft
Dr. rer. nat. A. Goppelsröder
- 08 Überlegungen zum Einsatz von Aktivkohlefiltern in Wasseraufbereitungssystemen für die Hämodialyse
Dr. rer. nat. A. Goppelsröder
- 12 Prinzipien der Aufbereitung von Dialysewasser – vom Wasserwerk zum Dialysegerät (Teil 1)
Dr. rer. nat. A. Goppelsröder
- 14 Prinzipien der Aufbereitung von Dialysewasser – vom Wasserwerk zum Dialysegerät (Teil 2)
Dr. rer. nat. A. Goppelsröder
- 17 Prinzipien der Aufbereitung von Dialysewasser – vom Wasserwerk zum Dialysegerät (Teil 3)
Dr. rer. nat. A. Goppelsröder
- 20 Mikrobiologische Experimente mit Säurekonzentrat – ist Säurekonzentrat »autosteril«?
Dr. rer. nat. A. Goppelsröder / Dr. rer. nat. W. Weber / Dipl.-Ing. W. Kahn
- 23 Ultrareines Wasser zur Herstellung von Konzentrat und Dialysierflüssigkeit – Bessere Dialysequalität durch Reinstwasserversorgung
- 24 »In-house«-Herstellung von Dialysekonzentraten – Ein Erfahrungsbericht aus München
Dr. med. R. Bieber
- 25 Die Qual der Wasser-Wahl
Dr. P. Westerbarkey

Mikrobiologische Analysen zur Qualitätsbeurteilung von Dialyseflüssigkeiten –

Bemerkungen über deren Aussagekraft

Seit einigen Jahren gehört die **mikrobiologisch-hygienische Kontrolle von Dialyseflüssigkeiten** (insbesondere Permeat, Bicarbonat-Konzentrat und fertige Dialyseflüssigkeit) zum Standard in modernen Dialysezentren. In diesem Beitrag hinterfragt der Mikrobiologe *Dr. Arndt Goppelsröder* kritisch die Aussagekraft mikrobiologischer Analysen, die zur Qualitätsbeurteilung von Dialyseflüssigkeiten herangezogen werden.

Empfehlungen zur Durchführung einer mikrobiologisch-hygienischen Qualitätskontrolle sind in den »Leitlinien für die Praxis der angewandten Hygiene in Behandlungseinheiten für Dialyse« des Arbeitskreises für angewandte Hygiene in der Dialyse⁽¹⁾ formuliert. Die hierin angeführten, standardisierten Analysemethoden haben sich insbesondere als Werkzeuge zum Schutz der Patienten vor akuten Pyrogen-

reaktionen bewährt und erlauben eine gewisse Einschätzung des Hygienezustandes der verwendeten Flüssigkeiten. Methodisch bedingte Unzulänglichkeiten schmälern allerdings die Aussagekraft der Befunde. Dies wird nun oftmals bei deren Beurteilung und der Risikoabwägung im Hinblick auf Gesundheitsbeeinträchtigungen infolge einer chronischen Belastung der Patienten mit geringen Pyrogenmengen nicht ausreichend berücksichtigt.

Probengewinnung

Bereits die üblichen Beprobungsstrategien beinhalten einige Schwächen, die – einmal erkannt – dazu führen müssen, Analyse- daten relativiert zu bewerten. Grob betrachtet lassen sich bezüglich der Dialyseflüssigkeiten drei Teilsysteme unterscheiden, für die eine Qualitätskontrolle zu fordern ist:

- Umkehrosmose mit Permeatleitungen,
- Bicarbonatsystem,
- Dialysierflüssigkeit in jedem einzelnen Dialysegerät.

Gängig ist die Entnahme eines geringen Flüssigkeitsvolumens an einer oder mehreren Probennahmestellen zur Analyse im Labor. Entnimmt man an einer Stelle der Permeat-Ringleitung eine Probe von 100 ml, ist darin nun die Information über den mikrobiologisch/hygienischen Zustand des durchfließenden Permeats, zu einer bestimmten Betriebszeit, während eines bestimmten, kurzen Entnahmezeitraums (wenige Sekunden), an einer bestimmten Stelle im System »eingefangen« – nicht mehr! Selbstverständlich lässt die Beprobung des Permeats keine unmittelbaren Rückschlüsse auf die Qualität der Dialysierflüssigkeit in einem bestimmten Dialysegerät zu. Die kleine Einzelprobe enthält sogar nur Bruchteile der Informationen,

die nötig wären, lediglich das gesamte Permeatsystem möglichst wissenschaftlich korrekt zum Zeitpunkt der Probennahme beurteilen zu können. Hinzu kommt, dass mit Hilfe der gängigen Routineanalysen wiederum nur ein Teil der in einer Probe enthaltenen Informationen aufgeschlüsselt werden kann. Auch drei weitere Proben der gleichen Art aus einem Versorgungsnetz, das möglicherweise 200 m und mehr lang ist, würden an diesen Tatsachen nichts Wesentliches ändern^(2,3). Wo liegen im Einzelnen die Probleme?

Besiedlung eines Systems durch Mikroorganismen – Biofilme

Mikroorganismen in wässrigen Systemen neigen generell dazu, sich in einem für sie energetisch besonders günstigen Umfeld anzureichern und sich dort zu vermehren. Insbesondere in »Extrembiotopen«, wie es das Bicarbonat-Konzentrat und das nährstoffarme Permeat darstellen, aber auch unter den günstigeren Lebensbedingungen in der fertigen Dialysierflüssigkeit, findet zunächst eine Anheftung von Zellen an flüssigkeitüberströmten Oberflächen statt. Sind die minimalsten Ansprüche eines so immobilisierten Mikroorganismus befriedigt, beginnt er sich zu teilen, Mikrokolonien zu bilden, die schließlich zusammenwachsen können. Man spricht dann von einem »Biofilm«. In einem solchen initialen Biofilm, der zunächst durch besonders anpassungsfähige Bakterien gebildet wird, entstehen nun unter Umständen auch Verhältnisse, die es anspruchsvolleren Mikroorganismen ermöglichen, darin Fuß zu fassen. Biofilme können weite Teile eines Versorgungssystems oder aber nur wenige Abschnitte davon bewachsen. Wo ein Biofilm lokalisiert ist und in welcher Ausprägung er sich entwickeln konnte, lässt sich durch eine Beprobung der über ihn hinwegfließenden Flüssigkeit nicht feststellen. Auch stellen

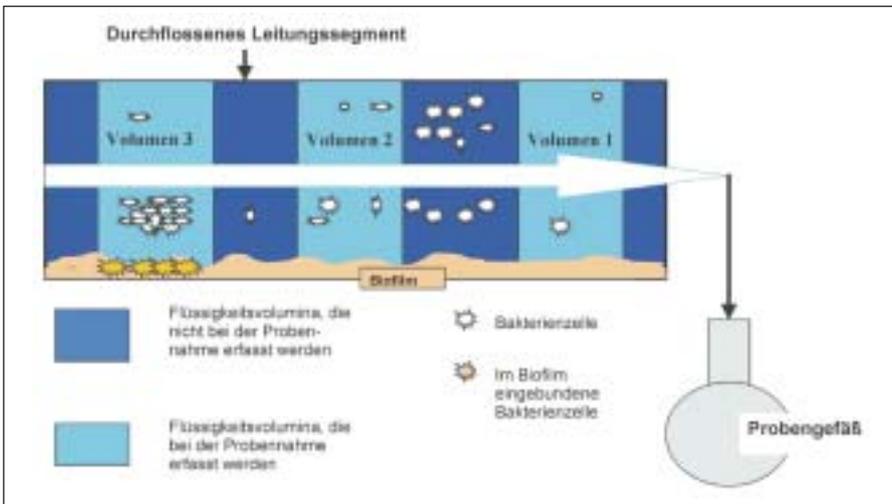


Abb. 1: Probenentnahme inhomogener Suspensionen

Biofilme dynamische Gebilde dar. Je nach physiologischem Zustand und in Abhängigkeit von den einwirkenden Scherkräften gibt er einmal mehr, einmal weniger Zellen frei, die dann im vorbeifließenden Medium als Zellaggregate oder als Einzelzellen suspendiert werden. Diese Suspension ist nicht homogen. So können im Volumen 1, das als Probe genommen wurde, wenige Zellen enthalten sein, in der nachfolgenden Flüssigkeitssäule, die ungenutzt abläuft, zehnmal so viel oder mehr (Abb. 1). Gleiches trifft auch auf Stoffwechsel- und Abbauprodukte zu, die aus einem Biofilm abgegeben werden⁽³⁾.

Bearbeitung des Informationsgehalts einer Probe

In einer Flüssigkeitsprobe können Zellen oder Zellaggregate von Mikroorganismen, deren Stoffwechsel- und Abbauprodukte, und organische beziehungsweise anorganische chemische Verunreinigungen anderen Ursprungs enthalten sein. Letztere stammen beispielsweise aus Leitungs- und Dichtungsmaterialien. Zur (bis dato: unvollständigen) Analyse dieser Faktoren haben sich zwei Routinemethoden etabliert: Die Bestimmung des »Keimgehaltes« und die Ermittlung des Endotoxingehaltes einer Dialyseflüssigkeit.

Die Bestimmung des »Keimgehaltes«

Der »Keimgehalt« von Dialyseflüssigkeiten wird als koloniebildende Einheiten/ml (KBE/ml) ausgedrückt. Im Prinzip wird auf einem festen Nährmedium (Nähr-Agar) eine definierte Menge der zu überprüfenden Flüssigkeit gleichmäßig aufgebracht, bei etwa 20 °C und 37 °C bebrütet, danach die gewachsenen, sichtbaren Kolonien ausgezählt und auf 1 ml Probenflüssigkeit

berechnet. Eine andere Möglichkeit besteht darin, ein definiertes Probenvolumen über einen sterilen Bakterienfilter zu filtrieren und das Filterblättchen danach auf den Nähr-Agar zu legen. Bei Bedarf können dann die so erhaltenen Einzelkolonien weiter bearbeitet, und etwa eine Keimdifferenzierung durchgeführt werden.

Die kulturtechnisch ermittelte Anzahl der KBE/ml repräsentiert nun keineswegs die Gesamtkeimzahl im Prüfgut. Bei allen bekannten Kulturmethoden werden nur

solche Mikroorganismen zu sichtbaren Kolonien auswachsen, die in der Lage sind, das in dem Kulturmedium enthaltene Nährstoffspektrum in der angebotenen Konzentration entsprechend zu nutzen. Weitere ausschlaggebende Faktoren sind die Bebrütungstemperatur und die Dauer der Inkubation. Schnell wachsende Arten können langsam wachsende bei einer bestimmten Temperatur und Bebrütungszeit unterdrücken. Auf einem definierten Kultur-Agar werden die einen Arten gedeihen, die anderen eben nicht oder zu langsam, so dass sie überwuchert oder gehemmt werden. Man kann es sozusagen nicht jedem Mikroorganismus gleich »recht machen«. Zellaggregate von einigen hundert Zellen wachsen genauso zu einer einzigen sichtbaren Kolonie aus, wie eine Einzelzelle. Überhaupt nicht erfasst werden Formen, die zwar stoffwechselaktiv sind, sich aber auf den bekannten Medien nicht kultivieren lassen und nur mikroskopisch nachgewiesen werden können. Vergleicht man die mikroskopisch ausgezählte Gesamtzellzahl in einer Wasserprobe mit den kulturtechnisch ermittelten koloniebildenden Einheiten aus der gleichen Probe bei Verwendung verschiedener Medien, Bebrütungstemperaturen und Inkubationszeiten (Abb. 2), so wird

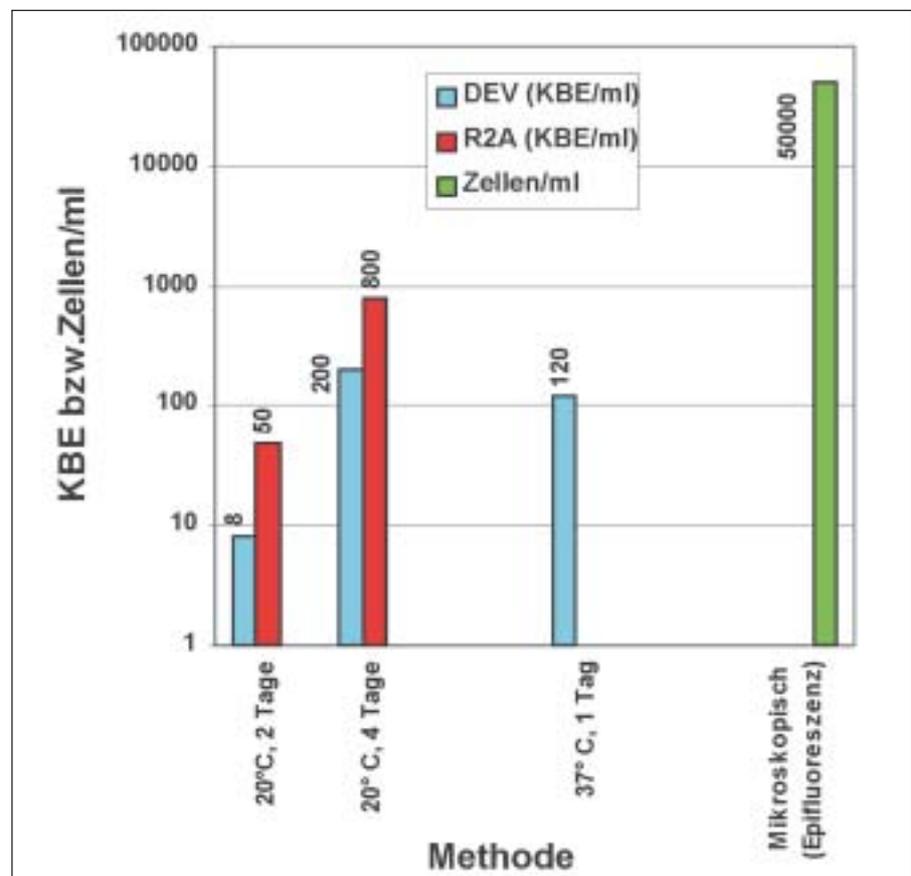


Abb. 2: Keimzahl von Dialyseflüssigkeiten (KBE/ml) bei Verwendung verschiedener Medien, Bebrütungstemperaturen und Inkubationszeiten (aus 3, verändert)

deutlich, wie unterschiedlich die Ergebnisse für ein und dieselbe Probe sein können, und in welchen Größenordnungen Kulturmethoden den wahren Keimgehalt unterschätzen ^(2, 3, 4).

Die Bestimmung des Endotoxingehalts

Endotoxine sind chemisch gesehen Lipopolysaccharide und Bausteine der äußeren Zellmembran gramnegativer Bakterien. Beim Abbau der äußeren Bakterienmembran werden sie freigesetzt und können in die Dialyseflüssigkeiten gelangen. Sie sind potente Pyrogene, und können beim Menschen bereits in parenteral aufgenommenen Mengen von etwa 1 ng/kg Körpergewicht akute Fieberreaktionen erzeugen. Da unter den Mikroorganismen, die sich in einem (nicht entsprechend behandelten) Dialysesystem etablieren können, gramnegative Bakterien in der Regel dominieren (ca. 94 Prozent der kultivierbaren Mikroorganismen), können durchaus kritische Endotoxinkonzentrationen erreicht werden. Im Gegensatz zu Bakterienzellen können Endotoxine beziehungsweise Endotoxinbruchstücke Dialysatormembranen – je nach Membranmaterial – in geringen Anteilen passieren, ins Patientenblut gelangen und akute Fieberreaktionen beim Patienten hervorrufen, wenn ein bestimmter Schwellenwert überschritten wurde. Auf die Problematik einer chronischen Endotoxinbelastung mit geringeren, nicht fiebererzeugenden Konzentrationen im Rahmen der Hämodialyse wurde bereits in einem früheren Beitrag eingegangen ⁽⁵⁾.

Mit Hilfe des LAL-Tests (Limulus Amöbozyten Lysat-Test) können sehr geringe Endotoxinmengen in Dialyseflüssigkeiten nachgewiesen werden. Er reagiert mit Endotoxinen unterschiedlicher Bakterienarten in gleicher Ausprägung, hingegen erweisen sich Menschen und andere Warmblüter als unterschiedlich sensitiv gegenüber Endotoxinen verschiedener Herkunft ⁽⁶⁾.

Die untere Nachweisgrenze des derzeit empfindlichsten (chromogenen) LAL-Tests liegt theoretisch bei ungefähr 0,005 EU beziehungsweise IU/ml, wenn im Testgut keine, den Reaktionsablauf störenden Substanzen enthalten sind. Dies ist beispielsweise bei der Analyse von Permeat anzunehmen. 0,005 EU/ml entsprechen 0,5 pg/ml des Endotoxins von *E. coli* Typ 055:B5. Als Einheiten werden häufig verwendet: 1 IU = 1 EU = 100 pg Endotoxin EC 055:B5. Die Sensitivität des Tests nimmt jedoch bei Anwesenheit von Störfaktoren (Hemmstoffe, extreme pH-Werte) teilweise vehement ab. Um die Hemmung

der Nachweisreaktion auszuschalten, kann eine Verdünnung der Testlösung, was wiederum auch eine Verdünnung der Endotoxinkonzentration zur Folge hat, Hilfe bringen ⁽⁷⁾. Aus diesem Grund liegt die untere Nachweisgrenze von Endotoxin im Bicarbonat-Konzentrat selbst bei Anwendung des chromogenen LAL-Tests lediglich um etwa 0,25 EU/ml.

Werden die vom Arbeitskreis für angewandte Hygiene in der Dialyse ⁽¹⁾ für Permeat und Dialyseflüssigkeit als oberer Grenzwert empfohlenen Endotoxinkonzentrationen von jeweils <0,25 EU/ml (= <0,025 ng Endotoxin/ml) nicht überschritten, ist davon auszugehen, dass akute Fieberreaktionen verhindert werden. Chronische Belastungen mit geringen Endotoxinmengen und die daraus resultierenden langfristig zu erwartenden Gesundheitsbeeinträchtigungen der Dialysepatienten infolge einer permanent induzierten Bildung von Entzündungsmediatoren können aber möglicherweise dennoch nicht ausgeschlossen werden ^(8, 9).

Die Bestimmung des Gesamtpyrogengehalts

Bisher war nur von Endotoxinen als den einzigen pyrogen wirkenden Verunreinigungen in Dialyseflüssigkeiten die Rede. Tatsächlich sind darin aber auch noch andere, vergleichbar wirkende Substanzen zu vermuten, die mit dem LAL-Test nicht erfasst werden können. Es sind Verunreinigungen, welche aus den verwendeten Materialien (Leitungs- und Dichtungsmaterial, Produktionsrückstände) herrühren, oder als Stoffwechselprodukte beziehungsweise Zersetzungsprodukte auch von grampositiven Bakterien und von Pilzen freigesetzt werden ^(6, 9, 10, 11). Je nach Molekulargewicht können viele dieser, zum Teil noch nicht näher definierten Verbindungen eine Dialysatormembran relativ einfach passieren.

Der bisherige »Goldstandard«, die fiebererzeugende Wirkung einer Mischung chemisch unterschiedlicher Pyrogene in einer Probe annähernd zu bestimmen, ist seit etwa 60 Jahren der Kaninchen-Pyrogen-Test. Hierbei wird einem Kaninchen eine Testlösung (10 ml/ kg Körpergewicht) injiziert und die vor und nach der Injektion rektal gemessene Temperatur verglichen. Ein Anstieg der Körpertemperatur deutet darauf hin, dass die Lösung mit Pyrogenen kontaminiert war. Es ist jedoch nicht möglich, etwas über deren chemische Natur auszusagen. Außerdem ist die Sensitivität verschiedener Kaninchenrassen beziehungsweise -stämme unterschiedlich. Kaninchen wiederum reagieren nicht unbedingt so auf diverse pyrogene Substanzen, wie es ein Mensch täte.

Die Fieberschwelle beim Kaninchen liegt bei etwa 50 bis 350 pg/ml *E. coli*-Endotoxin (0,5-3,5 IU/ml), diejenige des Menschen zwischen 20 und 50 pg/ml (0,2-0,5 IU/ml) ⁽⁶⁾. Mit Hilfe des Kaninchen-Pyrogen-Tests können geringere Endotoxinmengen, im Gegensatz zum LAL-Test, nicht nachgewiesen werden, da eine Fieberreaktion ausbleibt. Auch andere Pyrogene werden entsprechend erst dann erfasst, wenn nach Überschreiten eines Schwellenwertes eine Temperaturerhöhung induziert wurde.

Der Kaninchen-Pyrogen-Test hat nach vorliegenden Informationen wohl wegen der wesentlich einfacheren sowie kostengünstiger durchzuführenden LAL-Tests nie eine besondere Rolle bei der Qualitätsbeurteilung von Dialyseflüssigkeiten gespielt.

Die Messung von Zytokinen

Als eine Konsequenz der Entdeckung des Interleukin-1 im Jahre 1980 durch *Charles Dinarello* und Mitarbeiter, wurde 1982 eine Methode vorgeschlagen, Pyrogene auf Basis von Leukozyten zu testen. Mittlerweile sind eine Reihe von Versuchen durchgeführt worden, für verschiedenen Fragestellungen Testsysteme mit aufgereinigten Blutzellen zu entwickeln. Diese Testsysteme haben aber bisher nicht den allgemeinen Durchbruch erfahren, den man sich erhofft hatte, da sie sehr arbeitsintensiv und kaum standardisierbar sind. Man macht sich hierbei die Tatsache zunutze, dass Monozyten durch Pyrogene dazu angeregt werden, Entzündungsmediatoren (z.B. die Zytokine IL-1, IL-6, TNF- α) auszuschütten. Diese können mittels ELISA gemessen werden ^(6, 10).

Seit 1995 hat man sich verstärkt mit Methoden auseinandergesetzt, bei denen humanes Spender-Vollblut anstatt aufgereinigter Zellen verwendet wird. Hierbei wird Vollblut mit der zu testenden Lösung versetzt und die erfolgte Zytokinbildung als Reaktion auf anwesende Pyrogene in der Testlösung ermittelt. Zur Qualitätskontrolle von Dialyseflüssigkeiten wurden bereits Versuche durchgeführt. Mittlerweile ist auch schon ein Test-Kit für bestimmte Anwendungsbereiche auf dem Markt ^(6, 11).

Der Vorteil solcher Vollbluttests besteht darin, dass keine aufwändigen Aufreinigungs- und Zellkulturverfahren erforderlich sind, dennoch aber die humanspezifische Pyrogenwirkung aller in einer Lösung enthaltenen Substanzen ermittelt werden könnte. Die Zukunft wird erweisen, ob – und wenn ja – für welche Anwendungsgebiete und mit welcher Sensitivität sich der Vollbluttest als Routinemethode etablieren kann.

Abschließende Bemerkungen

Die empfohlenen Methoden der mikrobiologischen Qualitätskontrolle von Dialyseflüssigkeiten haben sich in der Praxis als Instrumente bewährt, eine Belastung von Dialyseflüssigkeiten durch bestimmte Mikroorganismen und durch Endotoxine zu erkennen. Allerdings sollten die Unzulänglichkeiten dieser Methoden immer berücksichtigt werden, wenn es darum geht, unerklärliche Fieberreaktionen oder die mikrobiologische Qualität der Behandlungsflüssigkeiten hinsichtlich längerfristiger Auswirkungen auf den Patienten zu beurteilen.

Bei einer Beprobung wird aus betriebswirtschaftlichen Gründen oftmals nur eine geringe Anzahl von Flüssigkeitsproben aus den Teilsystemen (Permeat- und Bicarbonatversorgung, einzelne Dialysegeräte) entnommen und ausgewertet. Mit den üblichen Untersuchungsmethoden, der Koloniezahlbestimmung und des LAL-Tests, wird die wahre mikrobiologische Belastung einer Testlösung in der Regel unterschätzt. All dies führt zu einer lückenhaften Entscheidungsgrundlage bei der Risikobeurteilung. Neue, aussagekräftigere Testverfahren befinden sich in der Entwicklung, stehen aber für die Anwendung in der Dialyse offenbar noch nicht als Routinemethoden zur Verfügung.

Es bleibt darum nur, einen Weg zu verfolgen, die Möglichkeiten gängiger Analyseverfahren so gut als möglich auszuschöpfen. Dies bedeutet, die Beprobungsweise so zu optimieren, dass bei einer Probennahme möglichst viele Beprobungsstellen in den unterschiedlichen Teilsystemen berücksichtigt werden. Dialyseflüssigkeiten sollten in möglichst kurzen Zeitabständen überprüft werden. Dies empfiehlt sich insbesondere während der zunehmend mit extremen Temperaturen aufwartenden Sommermonaten, die eine überdurchschnittliche Erwärmung der Zentralversorgungsanlagen (Permeat, evtl. Bicarbonat-Konzentrat) und eine deswegen verstärkte Vermehrung von Mikroorganismen in den Versorgungsleitungen erwarten lassen.

Neben der Koloniezahl in einer Probe sollte regulär, nicht nur ausnahmsweise, die Endotoxinkonzentration bestimmt werden.

Die beste Strategie aber ist es, mikrobiologische Verunreinigungen nicht nur zu messen, sondern sie im Vorfeld zu verhindern. Darum sollten Aufbereitungs- und Versorgungssysteme für Dialyseflüssigkeiten so ausgelegt sein, dass möglichst ohne übermäßigen Mehraufwand an Kosten und Zeit Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen vorbeugend, und nicht nur reaktiv, in kurzen Intervallen und gefahrlos für die Patienten, durchgeführt werden können.

Literatur

- (1) *Arbeitskreis für angewandte Hygiene in der Dialyse* (Hrsg.): Leitlinie für die Praxis der angewandten Hygiene in Behandlungseinheiten für Dialyse. Pabst Science Publishers, Lengerich – Berlin – Düsseldorf – Leipzig – Riga – Scottsdale (USA) – Wien – Zagreb 1998
- (2) Nystrand, R.: Microbiological testing of dialysis water system. 8. Int. Dialysefachtagung in Erfurt, 7.-8. Mai 1999.
- (3) Flemming, H.C.: Biofilme, Biofouling und mikrobielle Schädigung von Werkstoffen. Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft. Band 129. Kommissionsverlag R. Oldenbourg, München 1994.
- (4) Nystrand, R.: Standards and standardisation of detection methods for bacteria and endotoxin in water and dialysis fluid. Nieren- und Hochdruckkrankheiten 28 (1999), 43-48.
- (5) Goppelsröder, A.: Mikrobiologische Anforderungen an Reinstwasser und andere Dialyseflüssigkeiten. Dialyse aktuell 1 (2000), 18-21.
- (6) Bonenberger, J.; Diekmann, W.; Fennrich, S.; Fischer, M.; Friedrich, A.; Hansper, M.; Hartung, T.; Jahnke, M.; Löwer, J.; Montag, T.; Petri, E.; Sonntag, H.-G.; Weigand, M.; Wendel, A.; Zucker, B.: Pyrogentestung mit Vollblut. Zusammenfassung eines Status-Workshops am Paul-Ehrlich-Institut, Langen, am 22.11.1999. Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 7 (2000), 525-533.
- (7) Scheer, R.: Der Limulustest. Theorie und Praxis der Prüfung auf Pyrogene und Endotoxine. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart 1989.
- (8) Lonnemann, G.: Klinische Relevanz der hämodialyseassoziierten Zytokininduktion. Nieren- und Hochdruckkrankheiten 28 (1999), 49-55.
- (9) Lonnemann, G.; Krautzig, S.; Koch, K.M.: Quality of water and dialysate in haemodialysis. Nephrol Dial Transplant 11 (1996), 946-949.
- (10) Bonnie-Schorn, E.; Grassmann, A.; Uhlenbusch-Körwer, I.; Weber, C.; Vienken, J.: Water quality in hemodialysis. Good dialysis practice. Fresenius Medical Care, Oberursel 1998.
- (11) Hartung, T.; Aaberge, I.; Berthold, S.; Carlin, G.; Charton, E.; Coecke, S.; Fenrich, S.; Fischer, M.; Gommer, M.; Halder, M.; Haslov, K.; Jahnke, M.; Montag-Lessing, T.; Poole, S.; Schechtmann, L.; Wendel, A.; Werner-Felmayer, G.: Novel pyrogen tests based on the human fever reaction. Altweb-ECVAM Reports, <http://altweb.jhsph.edu/publications/ECVAM/ecvam43.htm>

Autor:

Dr. rer. nat. A. Goppelsröder

Walzbachtal

Aktivkohlefiltern in Wasseraufbereitungssystemen für die Hämodialyse

Für die **Wasseraufbereitung in der Hämodialyse** stehen bestimmte Aktivkohlefilter optional seit langer Zeit zur Verfügung. Derartige Filter werden grundsätzlich vor der Umkehrosmoseanlage im Rohwassersegment installiert und sind dem Enthärter vor- oder nachgeschaltet. Über die Frage, ob dies sinnvoll und notwendig ist, gehen die Meinungen auseinander. Im Vertrauen auf die konstant gute Qualität des Trinkwassers, sind nicht alle Dialysezentren in Deutschland standardmäßig mit Aktivkohleeinheiten ausgerüstet. Der nachfolgende Beitrag gibt einige grundsätzliche Informationen zum Verständnis der Aktivkohlewirkung und befasst sich kritisch mit dem Einsatz im Dialysebereich.

Was ist Aktivkohle?

Wie alte Sanskrit-Texte belegen, wurde in Indien bereits vor etwa 4.000 Jahren Trinkwasser über Holzkohlefilter geleitet, wahrscheinlich um Schwebstoffe zu entfernen oder den Geruch beziehungsweise Geschmack zu verbessern. Der organisierte Gebrauch von Holzkohle erfolgte allerdings erst sehr viel später in England zu Beginn des 19. Jahrhunderts. Hier diente sie in der Industrie zunächst der Entfernung von Farbstoffen aus Flüssigkeiten.

Unsere moderne Aktivkohle ist nun allerdings nicht mehr mit einfacher Holzkohle zu vergleichen. Sie ist vielmehr das Resultat der Umwandlung unterschiedlicher kohlenstoffreicher Ausgangsmaterialien mit Hilfe spezieller Verfahren, welche erst im 20. Jahrhundert entwickelt und verfeinert wurden.

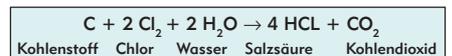
So kommen heute etwa Stein- und Braunkohle, Holz, Torf, neuerdings auch Fruchtkerne (Pfirsich- oder Olivenkerne), und auch Kokosnussschalen als Rohstoffe zum Einsatz. Diese werden zunächst bei Hitze unter Sauerstoffabschluss verkohlt. Hierbei werden flüchtige Stoffe, etwa Teer, entfernt. Übrig bleibt im Wesentlichen das Kohlenstoffgerüst des Ausgangsmaterials, wobei die äußere Struktur etwa pflanzlicher Zellwände erhalten bleibt. Der eigentliche Prozess der Aktivierung kann im Anschluss mit Hilfe verschiedener Verfahren durchgeführt werden. Zur Herstellung von Aktivkohle für die Wasseraufbereitung wird häufig das Gasaktivierungsverfahren angewandt. Das vorverkohlte Produkt wird bei einer Reaktionstemperatur von etwa 800 bis 1.000 °C einem Gasstrom, etwa Wasserdampf, Kohlendioxid oder Luft ausgesetzt, wobei durch eine milde Oxidation ein Teil des Kohlenstoffs und die in der Kohle noch enthaltenen Kohlenwasserstoffe entfernt werden. Als Folge wird die kristalline Struktur des Kohlenstoffs so verändert, dass feinste Poren entstehen, und die innere Oberfläche dieser nunmehr »aktivierten« Kohle (engl. daher: *activated carbon*) enorm vergrößert wird.

Durch Variieren einzelner Verfahrensparameter kann dies gezielt gesteuert werden. Nach ihrem Porendurchmesser unterscheidet man Mikroporen (< 1 nm), Mesoporen (1 nm – 25 nm) und Makroporen (> 25 nm).

Eigenschaften von Aktivkohle

Aufgrund der großen inneren Oberfläche der »aktivierten Kohle« (600 – 1.600 m²/g) können entsprechend viele Moleküle der in unserem Trinkwasser in geringen Mengen gelösten organischen Verbindungen an den Feststoff angelagert und damit dem Wasser entzogen werden. Es handelt sich um natürliche Substanzen, wie etwa Huminsäuren, aber auch um Stoffe die aus Verunreinigungen des Grundwassers herrühren, etwa Bestandteile der Gülle, Pflanzenschutzmittel, Lösungsmittel und dergleichen mehr. Auch die jeweilige Hausinstallation hat Einfluss auf die Wasserqualität. Unter der ständigen Anlagerung solcher Verbindungen (Adsorption) erschöpft sich die Aufnahmefähigkeit eines Filters. Die verwendete Aktivkohle muss daher entsprechend der Herstellerempfehlungen nach einer vorgegebenen Betriebsdauer ausgetauscht werden.

Unabhängig vom Vermögen, eventuell im Wasser gelöste Substanzen zu adsorbieren, besitzt Aktivkohle auch die Eigenschaft, das von den Wasserwerken mitunter als Desinfektionsmittel zudosierte Chlor aus dem Trinkwasser zu neutralisieren. Dies erfolgt durch Reduktion des freien Chlors an der Aktivkohle zu nichtaktivem Chlor nach der folgenden Reaktionsgleichung:



Da Aktivkohle in diesem Falle als Katalysator wirkt, kann es zu keiner Beladung ihrer Oberflächen kommen. Die Wirkung bleibt also mit einer unten angesprochenen Einschränkung unabhängig von der Standzeit erhalten.

Einsatz von Aktivkohle bei der Wasseraufbereitung für die Dialyse

Bei der Wasseraufbereitung in Dialysezentren werden Aktivkohlefilter – wenn überhaupt – überwiegend mit der Begründung eingesetzt, die Umkehrosmembran gegen eventuell im Trinkwasser gelöstes Chlor zu schützen. Das Rückhaltevermögen von Aktivkohle bezüglich gelöster organischer Verbindungen findet hierbei nur wenig Beachtung, da solche Substanzen eine intakte Umkehrosmembran ohnehin so gut wie nicht passieren können.

Zum Einsatz kommen bis heute fast ausschließlich sogenannte Festbettfilter (Schüttfilter), die im Wesentlichen aus einem mit Aktivkohlegranulat gefüllten Filtergehäuse bestehen. Das zu reinigende Rohwasser wird über dieses Granulat geleitet und dann dem weiteren Aufbereitungsprozess (Enthärter, Umkehrosmembran) zugeführt. Meist werden Aktivkohlefilter vor den Enthärter installiert, gelegentlich auch direkt zwischen Enthärter und Umkehrosmembranlage platziert.

Mikroorganismen im Trinkwasser

Bisher wurde die Aktivkohlefiltration von Trinkwasser nur unter dem Aspekt der Entfernung einiger unerwünschter gelöster Substanzen betrachtet. Trinkwasser enthält nach der Passage vom Wasserwerk über das Verteilungsnetz zum Endverbraucher, dem Dialysezentrum, allerdings auch größere Partikel, die nicht gelöst, sondern suspendiert sind. Dabei kann es sich um feinen Sand sowie Rost- oder Kalkpartikel handeln, welche sich von der Leitungsoberfläche abgelöst haben, relativ einfach aber wieder mit Hilfe von Schwebstofffiltern entfernt werden können.

Auch ist Trinkwasser nicht steril. Es mag zwar extrem keimarm das Wasserwerk verlassen, sobald es jedoch das Leitungsnetz durchfließt, wird es merklich mit Mikroorganismen angereichert. Als Kontaminationsquelle sind Biofilme verantwortlich, die sich auf den flüssigkeitsbenetzten Teilen des Rohrsystems gebildet haben. Durch die herkömmlichen kulturtechnischen Nachweismethoden der mikrobiellen Belastung im Trinkwasser wird der tatsächliche Gehalt an suspendierten Keimen in einer Wasserprobe zwangsläufig beträchtlich unterschätzt. Es werden nur Mikroorganismen erfasst, die auf den angebotenen Nährmedien wachsen und zählbare Kolonien (koloniebildende Einheiten, KBE) bilden können. Mikroskopische Vergleichsuntersuchungen zeigen jedoch, dass tatsächlich zwischen 50 und 1.000 mal mehr lebende Zellen vorhanden sind. Grund-

lage für ihre Nährstoffversorgung sind beispielsweise Materialien aus dem Rohrleitungsnetz, die verwertbare Stoffe enthalten (z.B. Dichtungsmaterialien, bestimmte Kunststoffrohre u.ä.). Auch viele der in geringen Mengen im Trinkwasser ohnehin gelösten organischen Verunreinigungen können von Mikroorganismen genutzt werden. So genügen bereits 10 µg/Liter assimilierbarer Verbindungen, um eine Biofilmbildung zu begünstigen.

Überlegungen zur Verkeimung von herkömmlichen Aktivkohlefiltern

Die im Trinkwasser suspendierten Bakterien, gelegentlich auch niedere Pilze, besiedeln relativ rasch die einem Enthärter und einer Umkehrosmembran vorgeschalteten Aktivkohlefilter. So können bereits nach relativ kurzer Betriebsdauer Mikrokolonien und ganze Biofilme das Aktivkohlegranulat im Festbettfilter überziehen. Je nach Nährstoffgehalt des Rohwassers bilden sich Biofilme unterschiedlicher Ausprägung aus. Der Grund für die rasche Ausbreitung von Mikroorganismen in diesen Anlagen ist die gute Wegsamkeit der mit relativ großen flüssigkeitsdurchspülten Zwischenräumen versehenen Aktivkohleschüttungen. Die adsorptiven Eigenschaften der Aktivkohle scheinen nach den bislang allerdings spärlichen Beobachtungen nicht generell stark behindert zu werden. Offenbar erfolgt jedoch eine Verlängerung der Adsorptionszeit in Abhängigkeit von der Biofilmdicke. Die in einem solchen Biofilm eingebetteten Mikroorganismen sind prinzipiell auch in der Lage, geeignete, bereits in der Aktivkohle aus dem Trinkwasser adsorbierte Verbindungen als Nährstoffquelle zu nutzen. Würden solche Substanzen nach längerem Betrieb der Anlage dort akkumuliert, könnte dies die Entwicklung von Biofilm noch zusätzlich fördern. Über die Fähigkeit biofilmbewachsender Aktivkohle, Chlor zu neutralisieren, liegen mir derzeit keine Informationen vor. Die Reaktion setzt aber einen Kontakt zwischen freiem Chlor und dem Kohlenstoffgerüst voraus, der möglicherweise durch einen ausgeprägten Biofilm erheblich behindert wird. Auch hinsichtlich dieser hypothetischen Überlegung empfiehlt es sich, Aktivkohlefilter nach Vorgabe des Herstellers rechtzeitig auszutauschen.

Es lässt sich regelmäßig beobachten, dass Wasserproben aus dem Leitungssegment zwischen Aktivkohlefilter/Enthärteranlage und der Umkehrosmembrananlage im Vergleich zu unbehandeltem Trinkwasser deutlich aufgekeimt sind. Dies ist ein Indiz dafür, dass Biofilme in Aktivkohlefiltern, aber auch in manchen Enthärteranlagen, Zellen oder Zellaggregate freigesetzt und das Produktwasser zusätzlich kontaminiert haben.

Insbesondere nach Ruhetagen, in denen Filter und Enthärter nicht permanent durchgespült wurden, ist dieses Phänomen besonders ausgeprägt zu erwarten.

Bakterien und Pilze können eine intakte Umkehrosmembran nicht durchdringen, gelangen also nicht auf die Reinstwasserseite. Auch Pyrogene werden von ihr zuverlässig zurückgehalten. Allerdings besteht die Möglichkeit, dass bei niedrigen Überströmungsraten ein verstärktes Biofilmwachstum auf der Rohwasserseite der Membran begünstigt wird, und damit die Gefahr der Verblockung durch sogenanntes »Biofouling« wächst.

Aktivkohle-Blockfilter

Neben den herkömmlichen, oben beschriebenen Aktivkohle-Schüttfiltern werden seit einigen Jahren Systeme des Herstellers *Carbonit* angeboten, die aus kompakten, platzsparenden Aktivkohleblöcken in Form von Hohlzylindern bestehen. Diese sind jeweils in einem Filtergehäuse so eingebaut, dass das zu reinigende Trinkwasser die Außenseite des Zylinders anströmt, es die Zylinderwand passiert, hierbei durch die Aktivkohle aufgereinigt und schließlich über den Hohlraum als Filtrat wieder ausgeleitet wird. Was die Adsorption von Trinkwasserverunreinigungen und die Chlorneutralisation anbelangt, sind sie mit herkömmlichen Filtern vergleichbar. Im Unterschied zu den Schüttfiltern erweisen sich die mittleren Durchmesser der flüssigkeitsdurchströmten Zwischenräume beim Blockfilter jedoch als erheblich geringer. Je nach Blockfiltertyp liegen sie zwischen 0,45 µm und 10 µm. Schüttfilter dagegen weisen Zwischenräume bis in den Millimeterbereich auf (abhängig von der Form und der Größe des Granulats). Somit kann beim Einsatz von Blockfiltern mit sehr gering dimensionierten Zwischenräumen bereits eine Sterilfiltration durchgeführt werden, allerdings auf Kosten der Durchflussleistung (wenige Liter pro Minute).

Wird eine sehr hohe Durchflussleistung benötigt, müssen zwangsläufig Blocktypen mit größeren Zwischenräumen oder Blockfilter mit integrierter Kapillarmembran gewählt werden. Eine Sterilfiltration mit grobporigen Blöcken alleine ist nicht möglich, allerdings ist ein gewisser Rückhalt an Bakterien und Pilzen aus dem Rohwasser infolge einer Tiefenfilterwirkung zu vermuten. Hierbei könnten Zellen (und andere Partikel) bereits in den äußeren Schichten des Aktivkohleblocks mechanisch abgetrennt werden. Sie würden daher zunächst nicht auf die Filtratseite gespült.

Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass Mikroorganismen die tieferen Filterschichten durchwachsen und so ins Filtrat gelangen. Fraglich ist nur, wie lange dies dauert und in welchem Ausmaße das gefilterte Wasser hierdurch verkeimt würde. Jedoch ist zu erwarten, dass sich innerhalb der Blockfilter nur vergleichsweise schwach entwickelte Biofilme bilden. Dies hängt mit der hohen Durchströmgeschwindigkeit zusammen, die zwangsläufig dann auftritt, wenn ein großes Wasservolumen pro Zeiteinheit durch enge Zwischenräume geleitet wird. In Schüttelfiltern der gleichen Durchsatzleistung wäre dieser Einflussfaktor aufgrund der größeren Lücken in der Granulatsäule erheblich abgeschwächt.

Carbonit-Blockfilter mit einer hohen Durchflussrate (bis einige Kubikmeter pro Stunde) werden bereits in Dialysezentren mit gutem Erfolg eingesetzt. Sie werden direkt vor der Umkehrosmoseanlage installiert und mit in der Regel deutlich verkeimten Weichwasser aus der Enthärteranlage gespeist. Zweck dieser Konstellation ist es, die Umkehrosmosemembran vor der Zerstörung durch Chlor, aber auch vor einer hohen Keimbelastung und damit letztlich vor möglichem Biofouling zu schützen. Darüber hinaus werden gleichzeitig gelöste organische Verunreinigungen sowie Stoffwechselprodukte aus Biofilmen zurückgehalten. Beides sind potentielle Nährstoffe für Mikroorganismen. Die bereits auf der Membran siedelnden Mikroorganismen werden von der Nährstoffzufuhr abgeschnitten und damit ihre Vermehrungsrate herabgesetzt.

Allerdings sollte auch bei dieser Verfahrensweise auf eine Aktivkohlefiltration noch vor der Enthärteranlage nicht verzichtet werden, da auch Austauschharze empfindlich auf Chlor reagieren.

Schlussbemerkung

Nach einer im Papier des AK Wasser zitierten, 1994 veröffentlichten Umfrage bei 3.094 deutschen Wasserversorgungsunternehmen, wurde bei 45 Prozent aller Wasserversorgungsanlagen ständig desinfiziert, um die mikrobiologisch einwandfreie Qualität des Trinkwassers zu gewährleisten. Chlorhaltige Desinfektionsmittel wurden dabei zu 90 Prozent eingesetzt. Es ist davon auszugehen, dass sich die Zahlen bis heute nur geringfügig geändert haben.

Nicht alle Wasserwerke müssen regelmäßig chlorieren. Doch ist nie auszuschließen, dass auch bei sonst bester Trinkwasserqualität eine Situation eintritt, die eine Desinfektionsmaßnahme im gesamten Verteilungsnetz erfordert. Ob die Kommunikation zwischen Wasserversorgungsbetrieb und Dialysezentren dann wohl immer funktioniert?

Es empfiehlt sich also zum Schutz der Umkehrosmosemembran vor Chlor immer, das Rohwasser über Aktivkohle zu filtern. Es spielt keine Rolle, ob ein Festbettfilter oder ein Blockfilter verwendet wird. Blockfilter hingegen könnten weitere Vorteile für den Betrieb solcher Umkehrosmose-Anlagen bringen, die aufgrund permanent oder periodisch niedriger Überströmungsraten eher für ein Biofouling der Membran anfällig sind.

Literatur

Sontheimer, H., Crittenden, J.C., Summers, R.S. (Eds.): *Activated Carbon for Water Treatment*. DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe, Karlsruhe 1988.

Kolb, F.R.: *Biologische Reinigung Xenobiotika-haltiger Abwässer in einem Aktivkohle-Festbett-Schlaufenreaktor mit Membranstoffübertragung*. Berichte aus Wassergüte und Abfallwirtschaft. Berichtsheft Nr. 128. TU München, München 1997.

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

Flemming, H.-C.: *Biofilme, Biofouling und mikrobielle Schädigung von Werkstoffen*. Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft. Band 129. München 1994.

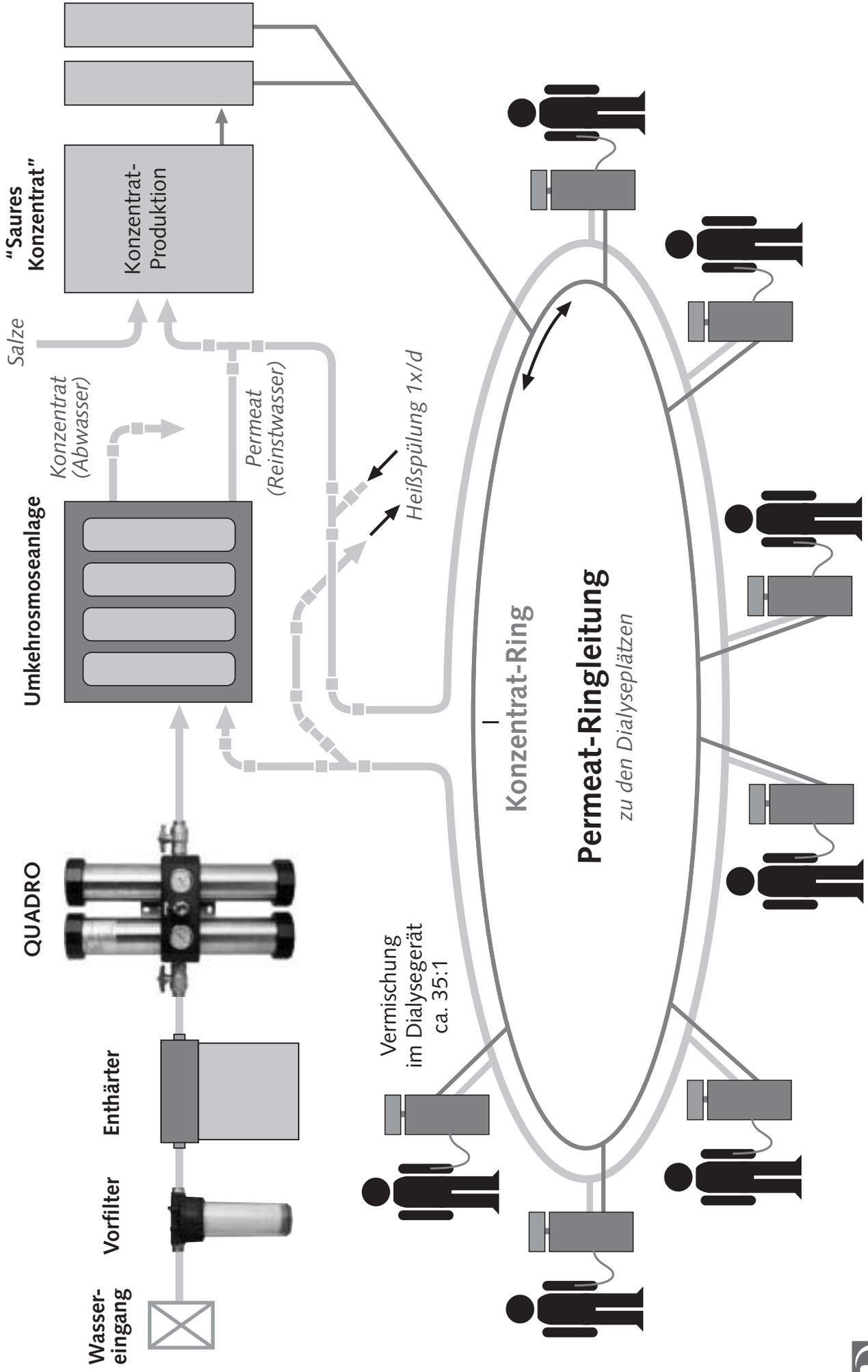
Flemming, H.-C.: *Biofilme in Trinkwassersystemen*. In: *gwf Wasser Special 139* (1998), S. 65-72.

Wichmann, K.: *Natürliche organische Wasserinhaltsstoffe in der Grundwasseraufbereitung*. In: *gwf Wasser Special 139* (1998), S. 59-64.

Papier des AK Wasser im BBU zur Trinkwasserhygiene. <http://home.dinx.de/members/11172/notizen/trink/igumedk1.html>

Autor:
Dr. rer. nat. Arnd Goppelsröder
Walzbachtal

Reinstwasseraufbereitung für Dialyse-Ringleitungen



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

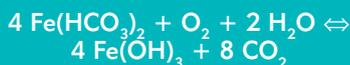
Selbst dort, wo die Natur noch in Ordnung zu sein scheint, bereiten viele Wasserversorger das Rohwasser auf, bevor sie es als Trinkwasser an die Verbraucher abgeben. Das geförderte Rohwasser stammt aus dem natürlichen Wasserkreislauf (Tab.).

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-

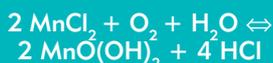
nischen Probleme in Trinkwasserinstallationen verursacht. An zwei Beispielen soll dies stark vereinfacht vorgestellt werden:

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 Dialysegewässern 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.*).

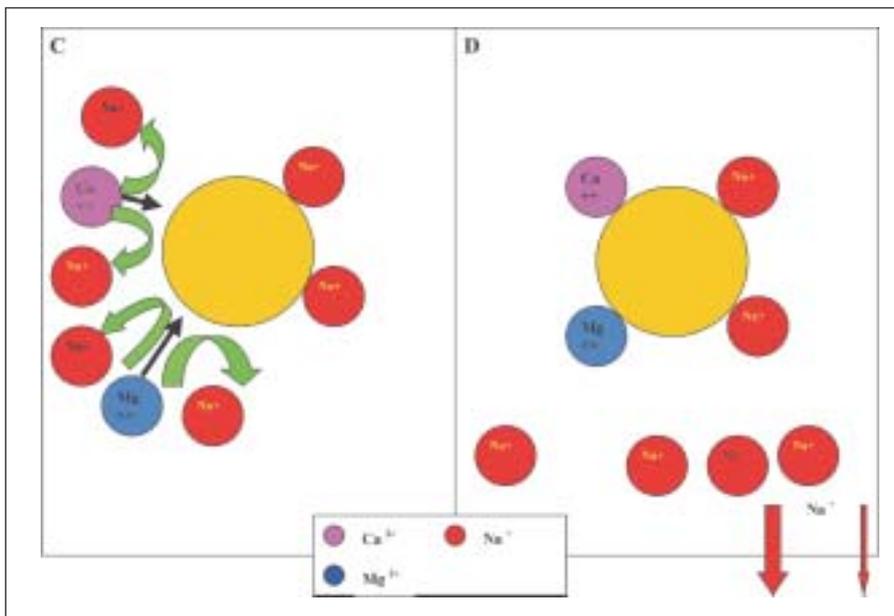
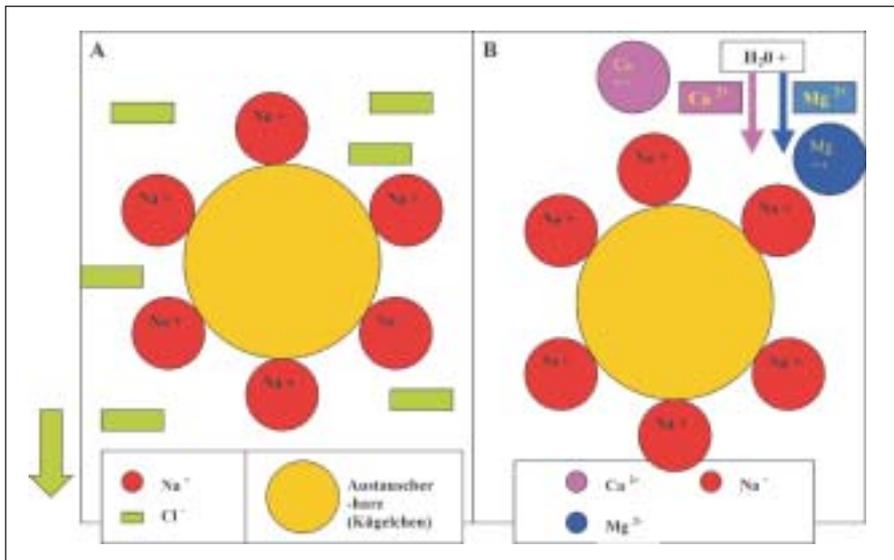
An erster Stelle von Schritt 1 steht die

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 Trinkwasserverteilungsnetzes, sowie anderer (halogen-) organischer Verunreinigungen aus dem nunmehr mechanisch vorgefilterten Trinkwasser empfiehlt 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 Dialysewasserherstellung 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-Harz-Kügelchen (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 Austauschharzes. 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 Austauschharz 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. wgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn 2002.

Günter, 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 zweiwertigen 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

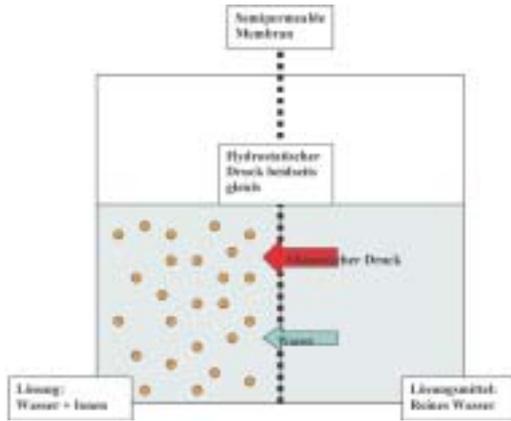


Abb. 1.2

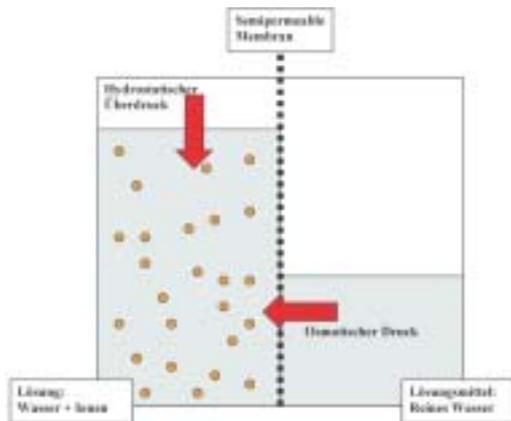


Abb. 1.3

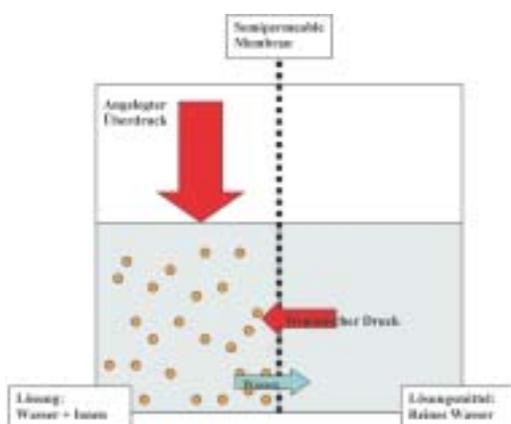
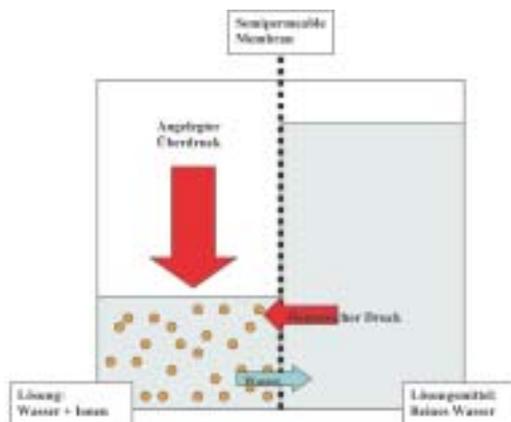


Abb. 1.4



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 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)

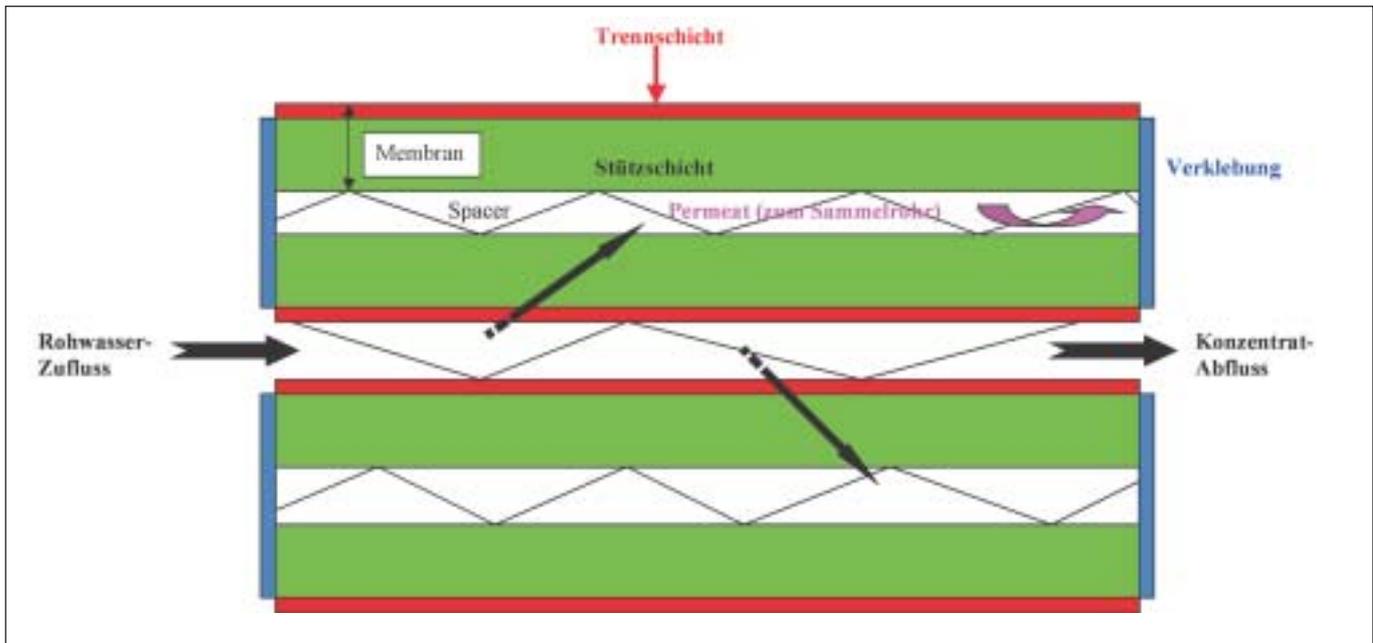


Abb. 2: Schematischer Querschnitt durch ein Wickelmodul (Erläuterungen im Text)

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 Stützschrift zusammengesetzt sind. Die Wicklung erfolgt so, dass sich die Trenn- und die Stützschrift der beiden Membranen jeweils gegenüber liegen. Dazwischen sind jeweils netzförmige Abstandhalter (Spacer) eingelegt. Die Stützschrift 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 Dialysegerät« vor. Damit sind wir allerdings noch nicht direkt »am Dialysegerät« angelangt. Aufbereitungsprozesse, die insbesondere die hygienische Qualität von Permeat bis zur Einspeisung ins Dialysegerät 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

Mikrobiologische Experimente mit Säurekonzentrat –

ist Säurekonzentrat »autosteril«?

Angesichts einer angespannteren Finanzsituation im Gesundheitswesen müssen Betreiber von Dialysezentren ihre Betriebskosten schärfer kalkulieren. **Konzentrat-Systeme mit Zentralversorgung im Dialysezentrum** könnten eine Alternative zu dezentraler Versorgung einzelner Dialysegeräte über Kanister sein. Wie steht es aber um die Hygiene dieser »zentralen« Konzentrat-Versorgungen? Dieser wichtigen Frage wird in diesem Beitrag nachgegangen.

Konzentrat-Systeme mit Zentralversorgung arbeiten zwar nicht wesentlich kostengünstiger, sind aber umweltfreundlicher und einfacher zu handhaben als eine dezentrale Versorgung der einzelnen Dialysegeräte über Kanister. Nicht ohne Grund wurden zentrale Konzentrat-Versorgungssysteme bereits in den 90' er Jahren gerne von den Betreibern der Dialysezentren akzeptiert.

Als unter Umständen problematisch erwiesen sich jedoch schon bald »zentrale« Bikarbonatversorgungen aufgrund hygienischer Bedenken. Bikarbonat-Konzentrat ist bekanntermaßen recht anfällig gegenüber einer Verkeimung (Grassmann et al. 2000) und in relativ kurzer Zeit bilden sich Biofilme auf allen medienberührten Oberflächen (Man et al. 1998, eigene Beobachtungen), wenn keine geeigneten Gegenmaßnahmen getroffen werden (Abb. 1). Ein solcher Biofilm kann bei neueren Bikarbonat-Zentralversorgungssystemen mit speziell entwickelter Verfahrenstechnik verhindert werden, die allerdings bei »klassischen« Anlagen nicht eingesetzt wird. Bei der Bikarbonat-Versorgung kommen immer häufiger Kartuschen zum Einsatz, die mittlerweile als ausgereiftes Produkt – als Einmalartikel sowie in wiederbefüllbarer Form – an fast jedem Dialysegerät genutzt werden können. Damit dürfte hier das Problem »Verkeimung« gelöst sein.

Dass solche Bedenken für das saure Konzentrat, wenn diese denn gelegentlich bestehen, ungerechtfertigt sind, soll in der Folge ausgearbeitet werden.

Will ein Dialysezentrum aufgrund größeren Kostendrucks nennenswert sparen, bleibt als eine der wenigen Möglichkeiten die Selbsherstellung des sauren Konzentrats. In der Regel fällen diese Entscheidung Zentren, die bereits über ein zentrales Versorgungssystem verfügen, da solche Überlegungen in dieser Verbindung am meisten Sinn machen. Wir haben uns deshalb die Frage gestellt, ob die Gefahr einer Verkeimung in der Kombination Selbsherstellung/Zentralversorgung größer ist als bei einer industriellen Versorgung.

Stand des Wissens

Es gibt keine uns bekannte Veröffentlichung oder Beobachtung, dass ein sachgerecht betriebenes Zentralversorgungssystem für Säurekonzentrat auch älterer Bauart jemals verkeimt wäre. In der neueren Über-

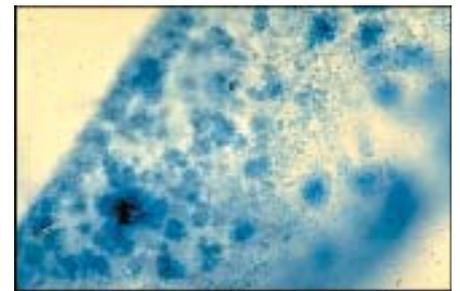


Abb. 1: Biofilm auf der inneren, medienberührenden Oberfläche eines Schlauches (Schlauchmaterial unbekannt) aus einer Bikarbonat-Zentralversorgung. Färbung: Lactophenolblau; Objektiv. 100 x, Ölimmersion.

sichtsliteratur findet sich hierzu die Aussage, die hohe Salzkonzentration und der niedrige pH-Wert verhindere ein Mikroorganismenwachstum, Säurekonzentrat sei »autosteril« (etwa: Bonnie-Schorn et al. 1998, Grassmann et al. 2000). Arbeiten, die solches belegen, werden nicht zitiert. Uns ist lediglich die Veröffentlichung von Mergeryan et al. (1994) bekannt, in der dies durch Untersuchungsergebnisse untermauert wird.

Was den kritischen Geist in diesem Zusammenhang jedoch etwas unsicher in der Beurteilung werden lässt, ist die Tatsache, dass selbst hochprozentige Salzlösungen von Mikroorganismen besiedelt werden können. Viele dieser Spezialisten können extreme Elektrolyt-Verhältnisse ertragen oder setzen diese sogar voraus. Zu ihnen gehören Vertreter der halophilen Eubakterien, Cyanobakterien (Galinski 1995, Wagner 1995) oder bestimmte Mikroalgen (Kirst 1995).

Gibt es folglich Organismen, die in der Lage sind, sich in Säurekonzentrat-Systemen zu etablieren?

Die Herstellung von Säurekonzentrat erfolgt nicht unter Reinstraumbedingungen. In einem sauberen Raum werden idealerweise von einer entsprechend mit Labor-kittel, Kopfhaut, Einmalhandschuhen und Mund-Naseschutz ausgerüsteten Person manuell einem mit Umkehrosmosewasser gefüllten Mischtank definierte Salz- und

Essigsäuremengen (Eisessig) im richtigen Verhältnis zudosiert (zirka-Angaben der Firma CK-Medizintechnik: 23 % verschiedene Salze, 3 % Glucose, 0.6 % Eisessig, pH zwischen 3 und <4). Bereits diese Vorgehensweise schließt eine, wenn auch geringe Kontaminationsgefahr der Lösung mit Umweltkeimen nicht aus. Die entstandene Lösung wird über ein mehr oder weniger langes Leitungsnetz an die Orte des Verbrauchs transportiert. Dort wiederum besteht die Möglichkeit eines Keimeintrages über die Entnahmekupplungen für Säurekonzentrat am Dialyseplatz. Hygienisch bedenklich wäre es, wenn ein Teil der so ins System gelangten Mikroorganismen fähig wäre, sich dort zu vermehren und in Form von Biofilmen zu etablieren. Um Hinweise darüber zu erhalten, ob Keime der menschlichen Haut und Schleimhäute sowie möglicherweise zu einer besonderen Anpassung befähigte Mikroorganismen aus der Umwelt im Säurekonzentrat wachsen und Biofilme bilden können, haben wir einfache, orientierende Experimente durchgeführt.

Erstes Experiment

Wie eine früher gemachte, unveröffentlichte Beobachtung gezeigt hatte, war auf der inneren Oberfläche eines lange benutzten Schlauchsegments aus der Wandleitung einer Säurekonzentrat-Versorgungsanlage mikroskopisch keinerlei Anzeichen eines Biofilms zu erkennen. Im aktuellen Fall hatten wir die Gelegenheit, ein derartiges Schlauchsegment (PU = Polyurethan) aus einem Dialysezentrum erneut mikroskopisch zu untersuchen. Es handelte sich um Material, mit dem seit ungefähr acht Jahren Säurekonzentrat zu den Dialyseplätzen geleitet wurde.

Von der inneren, medienberührenden Oberfläche des Schlauchstücks wurden mit einer Rasierklinge Flächenschnitte angefertigt, diese in Lactophenolblau auf einem Objektträger eingedeckt und anschließend lichtmikroskopisch untersucht.



Abb. 2: Innere Oberfläche eines Schlauchs (PU) aus einem Säurekonzentrat-Versorgungssystem, etwa 8 Jahre in Betrieb. Keine Mikroorganismen feststellbar. Lediglich einige dunkle, anorganische Partikel sind erkennbar. Kleine, runde, seifenblasenartige Gebilde im Hintergrund sind material-spezifische Strukturen des Schlauches. Färbung: Lactophenolblau; Objektiv 100x, Olimmersion.

Das Ergebnis war eindeutig: Es war keine Besiedlung durch Mikroorganismen erkennbar. Lediglich einige locker verstreute, anorganische Partikel, eventuell Ausfällungen aus der Lösung, waren zu erkennen (Abb. 2).

Zweites Experiment

Zunächst sollte untersucht werden, wie sich ubiquitäre Umweltmikroorganismen, die einen Teil der natürlichen menschlichen Haut- beziehungsweise Schleimhautflora (das Bakterium *Staphylococcus aureus*, der Hefepilz *Candida albicans*) bilden beziehungsweise etwa auch aus Staub (das anaerob wachsende Bakterium *Clostridium sporogenes*) isoliert werden können (Brandis und Pulverer 1988), in Säurekonzentrat verhalten. Während *Staphylococcus aureus* und *Candida albicans* vegetative Zellen entwickeln, die gegen chemisch/physikalische Stressfaktoren relativ empfindlich reagieren, vermag *Clostridium sporogenes* sehr resistente Endosporen als Überdauerungsstadien zu bilden.

Nach DAB 10 wurden je 10 ml einer fertigen Säurekonzentratlösung mit 10^6 KBE *Staphylococcus aureus*, *Clostridium sporogenes* beziehungsweise *Candida albicans* beimpft und 48 Stunden bei 37 °C inkubiert. Die beimpften Proben wurden abfiltriert, die Filter mit physiologischer Kochsalzlösung gewaschen und anschließend auf entsprechend geeigneten Nährmedien bebrütet. Nach einer Bebrütungsdauer von 48 h bei 37 °C konnten die Keime nicht mehr nachgewiesen werden. Offenbar waren alle lebensfähigen Zellen im Säurekonzentrat abgestorben oder so geschädigt worden, dass sie nicht mehr fähig waren, sichtbare, auszählbare Kolonien auf den angebotenen Nährmedien zu bilden. Bezüglich *S. aureus* und *C. albicans* decken sich diese Ergebnisse mit den Beobachtungen von Mergeryan et al. (1994), die jedoch *Clostridium sporogenes* nicht untersucht hatten, dafür aber bei den hier nicht berücksichtigten Bakterienarten *Pseudomonas aeruginosa* und *Escherichia coli* eine vergleichbare letale Wirkung von Säurekonzentrat ermittelt hatten.

Drittes Experiment

Garten- oder Komposterde enthält eine Vielzahl von Bakterien und Pilze. Das darin anzutreffende Artenspektrum stellt eine potentielle Quelle der Kontamination u.a. auch für Dialyseflüssigkeiten aufgrund des Eintrags von keimhaltigen Staub aus der Umgebung dar. Insbesondere seien hier Eubakterien, darunter viele Sporenbildner, und saprophytische Deuteromyceten (viele »Schimmelpilze«) mit ihren Konidien erwähnt.

Schimmelpilze gedeihen im Gegensatz zu den meisten Bakterien oftmals auch noch bei sehr niedrigen pH-Werten unter pH 3. Viele von ihnen begnügen sich darüber hinaus mit extrem geringen Nährstoffgehalten und bilden sogar auf reinem Wasseragar noch Myzel aus. Verschiedene, häufig nachweisbare Pilzarten sind zumindest halotolerant, können also auch höhere Elektrolytkonzentrationen vertragen und Biomasse bilden.

Ein Jahre zurückliegendes Experiment mit Blumenerde und einem Säurekonzentrat aus einem handelsüblichen Kanister hatte gezeigt, dass in unverdünntem Säurekonzentrat kein Myzelwachstum sichtbar war, sich dagegen in mit Aqua demin. auf etwa 30 Prozent verdünntem Konzentrat ein nicht näher bestimmter Pilz sichtbar entwickeln konnte und submers Myzel gebildet hatte. Gerade diese Beobachtung regte uns zu folgendem Experiment an: Je drei Reagenzglasröhrchen mit Schraubkappenverschluss wurden mit 5 ml Säurekonzentrat (unverdünnt) oder einem mit Aqua demin. verdünnten Säurekonzentrat (80 %, 50 % und 20 % Säurekonzentrat) unsteril beschickt und mit je einer mais-korngroßen Menge unbehandelter Komposterde versehen. Die Ansätze wurden bei Raumtemperatur vier Wochen inkubiert und wöchentlich auf Myzelwachstum und Trübung kontrolliert. Nach Abschluss der vierwöchigen Inkubation wurden die Ansätze aufgeschüttelt und Flüssigkeit mit suspendierten Komposterdeparkeln entnommen. Hiervon wurden Ausstrichpräparate angefertigt und nach Eindeckelung in Lactophenolblau lichtmikroskopisch auf Mikroorganismen-Wachstum (Bakterien, Pilzhyphen, Hefen) untersucht.

In unverdünntem und in den auf 80 Prozent und 50 Prozent mit Aqua demin. verdünnten Ansätzen konnte mikro- und makroskopisch keinerlei Hinweis auf ein Wachstum gefunden werden (Abb. 3).



Abb. 3: Komposterdeparkel (Pflanzenfragment) aus einem Ansatz mit unverdünntem Säurekonzentrat, Ausstrichpräparat. Kein Mikroorganismenwachstum erkennbar. Färbung: Lactophenolblau; Trockenobjektiv 40x.

Tab. 1: Makroskopische Auswertung auf Anzeichen von Mikroorganismenwachstum der Ansätze von Säurekonzentrat und den davon mit Aqua demin. hergestellten Verdünnungen nach Beimpfung mit Komposterde. Inkubation bei Raumtemperatur, Inkubationsdauer: 4 Wochen (0=kein sichtbares Mycelwachstum, keine Trübung; +=sichtbares Mycelwachstum, ++ Trübung)

Kulturröhrchen Nr.	Säurekonzentrat-Verdünnung	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4
1	unverdünnt	0	0	0	0
2	unverdünnt	0	0	0	0
3	unverdünnt	0	0	0	0
4	80%	0	0	0	0
5	80%	0	0	0	0
6	80%	0	0	0	0
7	50%	0	0	0	0
8	50%	0	0	0	0
9	50%	0	0	0	0
10	20 %	0	0	+	+
11	20 %	0	0	+	+
12	20%	0	0	+	+

Lediglich in dem auf 20 Prozent der Ausgangskonzentration verdünnten Säurekonzentrat wurde ein heller Flaum von Myzel sichtbar, der die im Ansatz sedimentierten Komposterdepartikel bedeckte (Tab. 1). Die lichtmikroskopische Analyse von Ausstrichpräparaten (Tab. 2) bestätigte diese Beobachtungen. Neben fädigem Myzel von Hyphenpilzen (Abb. 4) konnten in dem am stärksten verdünnten Ansatz auch noch vereinzelt Hefezellen nachgewiesen werden (Abb. 5). Bakterien waren im mikroskopischen Ausstrich nicht zu finden.



Abb. 5: Knospende Hefezelle (Bildmitte) aus einem Ansatz mit Komposterde in 20 %igem Säurekonzentrat, Ausstrichpräparat. Färbung: Lactophenolblau; Objektiv 100 x, Ölimmersion.

Tab. 2: Mikroskopische Auswertung der Ansätze (vgl. Tab. 1) auf Anzeichen von Mikroorganismenwachstum (0 = keine Bakterien, Hefen oder Hyphenpilze nachweisbar; += Pilzhypen, ++ = Hefen, +++ = Bakterien nachweisbar)

Kulturröhrchen Nr.	Säurekonzentrat-Verdünnung	Woche 4
1	unverdünnt	0
2	unverdünnt	0
3	unverdünnt	0
4	80%	0
5	80%	0
6	80%	0
7	50%	0
8	50%	0
9	50%	0
10	20 %	+ / ++
11	20 %	+ / ++
12	20%	+ / ++

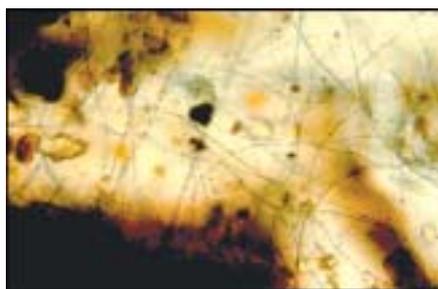


Abb. 4: Komposterdepartikel (Pflanzenfragment) aus einem Ansatz mit 20 %igem Säurekonzentrat, Ausstrichpräparat. Das Fragment ist mit Pilzhypen bewachsen. Lactophenolblau; Trockenobjektiv 40x.

Diskussion der Ergebnisse

Die Experimente haben gezeigt, dass vegetative Zellen von ausgewählten Testorganismen im Säurekonzentrat vollständig inaktiviert wurden. Die Ergebnisse einer anderen Autorengruppe (Mergeryan et al.) wurden hierbei für die gemeinsam verwendeten Testorganismen bestätigt. Auch bei extrem hoher Kontamination von unverdünntem und verdünntem Säurekonzentrat durch Beimpfen mit unbehandelter Komposterde wurde weder makro- noch mikroskopisch ein Wachstum beziehungsweise die Vermehrung von Mikroorganismen festgestellt. Nur bei einem, mit Aqua demin auf 20-prozentiges Säurekonzentrat verdünnten Ansatz, wurden sichtbare Hyphen auf den Komposterdepartikeln am Boden der Kulturröhrchen gebildet. Mikroskopisch konnten darüber hinaus auch vereinzelt knospende Hefezellen beobachtet werden.

Schließlich konnte lichtmikroskopisch an Schlauchmaterial, welches nahezu acht Jahre in einer Säurekonzentrat-Versorgungsanlage eines Dialysezentrums eingesetzt war, belegt werden, dass sich während der langen Betriebsdauer keine Mikroorganismen auf den medienberührenden Schlauchflächen etabliert hatten. Eigene, früher gemachte, Beobachtungen wurden hierdurch bestätigt.

Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass aufgrund der chemischen Zusammensetzung des Säurekonzentrats ein Mikroorganismenwachstum beziehungsweise eine Vermehrung unterbunden wurde. Die Ableitung hieraus, Säurekonzentrat sei »autosteril«, wäre allerdings unzulässig. Zum einen wurden lediglich einige orientierenden Experimente durchgeführt. Eine statistische Absicherung der Aussagen kann in diesem Rahmen naturgemäß nicht durchgeführt werden. Andererseits geben sie keinen Anhaltspunkt darüber, ob insbesondere Dauerstadien von Mikroorganismen zur Gänze abgetötet oder »nur« in ihren Lebensaktivitäten auf nahezu Null reduziert wurden. Dieser Frage wird in weiteren Experimenten nachgegangen und zu gegebener Zeit hierüber berichtet werden.

Auf Grundlage der bisher vorliegenden Resultate ist davon auszugehen, dass in sachgerecht hergestelltem Säurekonzentrat keine Vermehrung von Mikroorganismen und keine Biofilmbildung auf medienberührenden Materialien stattfinden kann.

Literatur

Grassmann, A.; Uhlenbusch-Körwer, I.; Bonnie-Schorn, E.; Vienken, J.: *Composition and management of hemodialysis fluids*. Pabst Verlag, Lengerich, Berlin, Riga, Rom, Zagreb 2000.

Bonnie-Schorn, E.; Grassmann, A.; Uhlenbusch-Körwer, I.; Weber, C.; Vienken, J.: *Water quality in hemodialysis*. Fresenius Medical Care, Bad Homburg/Oberursel 1998)

Galinski, E.A.: *Halophile und halotolerante Eubakterien*. In: Hausmann, K. und Kremer, B.P.: *Extremophile: Mikroorganismen in ausgefallenen Lebensräumen*. 2. Auflage. VCH Verlag, Weinheim, New York, Basel, Cambridge, Tokyo 1995, S. 89-112.

Wagner, G.: *Halobakterien – Leben im biotischen Grenzbereich*. In: Hausmann, K. und Kremer, B.P.: *Extremophile: Mikroorganismen in ausgefallenen Lebensräumen*. 2. Auflage. VCH Verlag, Weinheim, New York, Basel, Cambridge, Tokyo 1995, S.141-157.

Kirst, G.O.: *Halophile Mikroalgen*. In: Hausmann, K. und Kremer, B.P.: *Extremophile: Mikroorganismen in ausgefallenen Lebensräumen*. 2. Auflage. VCH Verlag, Weinheim, New York, Basel, Cambridge, Tokyo 1995, S.159-176.

Mergeryan, H.; Bode, U.; Schwartz, P.; Hildebrand, U.: *Wachstumsverhalten unterschiedlicher Keime in verschiedenen in der Dialyse genutzten Flüssigkeiten*. In: Referate zum 5. Seminar der Dr. med. Curt Möller-Gedächtnisstiftung. Kassel 1994, S. 87-97

Brandis, H. und Pulverer, G.: *Lehrbuch der Medizinischen Mikrobiologie*. G. Fischer Verlag, Stuttgart, New York 1988

Autoren:

Dr. rer. nat. Arnd Goppelsröder
Mikrobiologe

Dr. rer. nat. Wolfgang Weber
Apotheker

Dipl.-Ing. Wolfgang Kahn

Ultrareines Wasser

zur Herstellung von Konzentrat und Dialysierflüssigkeit – ein aktuelles Thema

Bessere Dialysequalität durch Reinstwasserversorgung

Es gibt heutzutage **ausreichend Möglichkeiten** dafür Sorge zu tragen, dass Dialysepatienten optimal versorgt werden. Wir wollen uns in diesem Beitrag darauf beschränken, solche für eine erstklassige Wasser- und Konzentratversorgung aufzuzeigen.

Seit nahezu 15 Jahren bietet die **CK-Medizintechnik GmbH & Co. KG** unterschiedliche Lösungen zur Selbsterstellung von Konzentraten an. Damit wird bereits Entscheidendes für eine Kontrolle der eingesetzten Konzentrate getan. Weltweit haben dies viele Zentren erkannt und nutzen schon lange die Einfachheit dieser Systeme – auch unter dem Gesichtspunkt »erweiterte Flexibilität« bei der Konzentratauswahl – für Bicarbonat und saures Konzentrat. Die Verfügbarkeit pharmazeutisch einwandfreier und exakt dosierter Salzpakete sowie zuverlässiger Technik aus zertifiziertem Betrieb lassen eine Realisierung einfach und kostengünstig gestalten.

»Die Selbsterstellung von Konzentrat in unserem Klinikzentrum seit nunmehr über drei Jahren hat uns überzeugt, so dass wir uns leicht auch in unserem zweiten Zentrum für eine solche Anlage entscheiden konnten«, äußert sich Prof. Dr. *Ottmar Knoll* in Bad Wildungen mit zwei zertifizierten Dialysen.

Aber Konzentrat stellt nur einen gewissen Anteil an sauberer Dialysierflüssigkeit dar. Ein weiterer entscheidender Faktor ist die Umkehrosmoseanlage zur Entsalzung und Keimrückhaltung. Hierbei angewandte Techniken namhafter Anlagenbauer sind heutzutage sehr gut und weitgehendst ausgereift. Heißreinigung, tottraumfreie

Zulaufschläuche und Kupplungen gehören fast überall zum Standard bei Neuanlagen. Trotzdem erfährt man immer noch von Verkeimungen, die mit mehr oder weniger großem Aufwand beseitigt werden müssen.



Produktionsanlagen mit Filtration und Verteilung für Konzentrate in Verbindung mit hochgestellten Lagertanks zur Schwerekräftversorgung zentraler Leitungen

Einen zusätzlichen Schutz der empfindlichen Membran stellt eine neuartige Filtrationstechnik aus dem Hause »Carbonit« dar, die im Bereich Dialyse über CK-Medizintechnik vertrieben wird.

Es handelt sich dabei um patentierte Filtersysteme deutscher Produktion, die dafür Sorge tragen, dass die Osmosemodule nicht mehr so stark mit Mikroorganismen sowie deren Abbauprodukten, zum Beispiel Endotoxine, belastet werden und sich somit auf die Entsalzung fokussieren.

Dazu Dr. *Richard Bieber*, Nephrologe in München, Betreiber von zwei Dialysezentren in Bogenhausen und Perlach und auch engagiert in der Konzentrat-Selbsterstellung: »Natürlich muss das Wasser schon im Zufluss zur Umkehrosmoseanlage gereinigt werden. Schwebstoffe, Bakterien und anorganische Schmutzstoffe sind die Hauptziele. Auch Chlor und Chlorabbauprodukte werden erfasst. Diese Feinstfilt-

ration findet vorzugsweise hinter dem Enthärter statt, der ja auch ein mikrobiologisch problematischer Punkt ist. Wir verwenden erfolgreich die Carbonit-Filter, deren Filtrationsqualität der einer Sterilfiltration nahe kommt. Die Leistungen solcher ergänzenden Filtersysteme sind in Bezug auf Standfestigkeit, Optimierung der Wasserqualität und finanzieller Belastung als gut zu bezeichnen«.



Quadro 60/120, Carbonit-Filtergerät zum Schutz der wertvollen RO-Module

Es ist erkennbar, dass die Möglichkeiten zur Erlangung ultrareiner Dialysierlösungen noch lange nicht ausgeschöpft sind. Eine Auseinandersetzung mit den aufgezeigten Themen lohnt sich. Nähere Informationen stehen bei CK-Medizintechnik zur Verfügung oder auf der Internetseite www.ckmed.com.

Weitere Informationen erhalten Sie bei:

CK-Medizintechnik GmbH & Co. KG
individuelle Dialysetechnik
Marienstr. 14
33142 Büren-Steinhausen
Tel.: 02942/7632 • Fax: 02942/7631
www.ckmed.com

»In-house«-Herstellung von Dialysekonzentraten

Ein Erfahrungsbericht aus München

Jeder Dialysebetreiber sollte heute wissen, welche **ökologische und ökonomische Belastung** die konventionelle Konzentratversorgung aus Kanistern oder Containern darstellt. Dabei gibt es seit Jahren sehr gute bis hervorragende Alternativen. Wir wollen im Folgenden unsere Erfahrung aus nahezu fünf Jahren darlegen.

Die herkömmliche Versorgung mit Dialysekonzentrat erfolgt seit jeher aus Kanistern in Größen zwischen sechs und zehn Litern. Später verbreiteten sich mit zentralen Versorgungssystemen Container von 300 bis 800 Liter. Beide Systeme haben Vor- und Nachteile. Wir haben einen anderen Weg gewählt und uns in unseren beiden Münchener Zentren von vornherein für die »in-house«-Produktion entschieden, weil uns die **Argumente** überzeugten. Bis heute stehen wir zur Richtigkeit dieser Entscheidung.

Zunächst standen für uns Überlegungen im Vordergrund, überflüssiges Transportvolumen zu verhindern, denn es macht wenig Sinn nahezu 80 Prozent Wasser per LKW über unsere Strassen zu transportieren. Man denke dabei nur an steigende Kraftstoffpreise, Straßenbelastung und Umweltverschmutzung. Bei Verwendung von »nur« Salzpaketen reduziert sich der Transportaufwand auf die restlichen 20 Prozent. Verpackungsmaterial wird ebenfalls ganz erheblich eingespart. Dieselbe Betrachtung gilt später auch für die Entsorgung desselben.

Die Lagerhaltung wird vereinfacht durch kleinere Gewichte und Volumina. Das Handling vor Ort mit den Produkten gestaltet sich ebenfalls wesentlich einfacher. Statt einem Gewicht von über 500 kg, das unter Umständen wöchentlich bewegt werden muss, hat man es lediglich mit

Beuteln von ungefähr 25 kg zu tun, die darüber hinaus nur etwa einmal im Monat angeliefert werden müssen.

Der Aufbau einer Konzentrat-Mischanlage im Haus ist technisch mit relativ einfachen Mitteln zu bewerkstelligen und in der Regel nach entsprechender Planungsphase innerhalb eines Tages erledigt. Es muss ein Permeatanschluss, gegebenenfalls eine 400 V-Steckdose und möglichst ein Bodenabfluss vorhanden sein.



Abb.: 1.000-Liter-Produktionstank mit Filtration

Als Räumlichkeit kann der Osmoseraum oder das bisherige Konzentratlager dienen. Die Grundvoraussetzung für eine saubere Dialyse ist das Vorhandensein von ultra-reinem Permeat. Um dieses zu erreichen, haben wir uns schon seit langem für eine tägliche Heißwasser-Reinigung des Permeatkreislaufs und für spezielle Aktivkohle-Monoblock-Filter entschieden. Letztere befreien das Wasser hinter dem Enthärter von den zwangsläufig vorhandenen Keimen. Die damit erreichte Wasserqualität (Endotoxine = null) ist natürlich auch für die Konzentrat-Herstellung ideal. Das Personal muss in die manuell relativ anspruchsvolle, jedoch sehr verantwortungsvolle Aufgabe gründlich eingewiesen werden. Das sollte durch den Anbieter erfolgen, der auch ein QM-System nachzuweisen hat, ebenso wie der Lieferant für spezielle Salzpakete. Aufgrund der Verantwortung vor dem Medizingesetz warnen wir vor »Billigangeboten« oder »Selbstversorgung«. Die Herstellung des Konzentrats kann während der normalen Dialysezeit erfolgen und erfordert kein besonderes Zeitmanagement. Einzelne Arbeitsschritte können zeitlich getrennt sein. So erfolgt die Wasserbefüllung frühmorgens oder bereits automatisch während der Nachtstunden. Die Salzzugabe kann dann später während einer ruhigeren Phase, zum Beispiel nach dem Anhängen der Patienten erledigt werden.

Der Gesamtarbeitsaufwand für einen Ansatz von 500 oder 1.000 Litern (wir be-

treiben beides!) unterscheidet sich nur unwesentlich und liegt mit einiger Routine zwischen 30 und 60 Minuten. Die Salzbeimengung erfolgt streng protokolliert und idealerweise nach dem Vieraugenprinzip. Die von uns eingesetzten vorgefertigten Salzpakete sowie das dazugehörige Protokoll geben uns ein großes Sicherheitsgefühl. Vor Freigabe der fertigen Mischung werden zwei zeitlich unabhängig voneinander bestimmte Proben analysiert. Besondere Aufmerksamkeit sollte dem Umpumpen des freigegebenen Konzentrats in die Vorrattanks gewidmet sein, um diesen korrekt zu befüllen. Die Beschickung der Ringleitung erfolgt bei uns problemlos per Schwerkraft über ein Gefälle von circa einem Meter. Das kann unter idealen Umständen auch direkt aus den Vorrattanks sein. Zusätzlich leiten wir das Konzentrat noch über handelsübliche Sterilfilter, wie sie bei Dialysegeräten zur Anwendung kommen.

Die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens steht außer Frage. Je nach Handhabung lassen sich zwar unterschiedliche Resultate erzielen, eine Halbierung der Konzentratkosten als Ergebnis ist jedoch erreichbar!

Autor:
Dr. med. Richard Bieber
Internist / Nephrologie
Dialysezentrum und Nephrologische Schwerpunktpraxis
Stefan-George-Ring 22
81929 München

Wasser ≠ Wasser

Die Qual der Wasser-Wahl

Die Notwendigkeit ausreichender Flüssigkeitszufuhr ist unbestritten. Doch Kundenerwartungen und Marktrealität sind nicht immer deckungsgleich. Zu unübersichtlich ist mittlerweile das Wasserangebot.

Nach einer Studie von GROHE wünschen die Verbraucher ein klares, lebendiges Wasser ohne Geschmack und Geruch. Frauen sind zumeist sensibler in ihrer Wahrnehmung und lehnen Leitungswasser entschieden häufiger ab als Männer. Als Durstlöscher und zur Nahrungszubereitung soll es in gleichbleibender Qualität rund um die Uhr griffbereit sein.

Anders als Luftsauerstoff, der durch Photosynthese immer wieder neu erschaffen wird, ist der Süßwasservorrat beschränkt und seit Anbeginn der Erde konstant. Er unterliegt einem Alterungsprozess, der mit Transport und Gebrauch zusammenhängt. Das Wasser kommt mit vielerlei Stoffen in Berührung und fast immer hinterlassen diese ihre Spuren im kostbaren Nass. Manche reichern sich im Kreislauf des Wassers an und andere wandeln sich oder nehmen ab.

Ein vermeintlicher Ausweg aus diesem Dilemma ist abgepacktes Wasser. In Flaschen oder als Gallone bei Wasserspendern im Büro. Doch mittlerweile gibt es Zweifel an der Unbedenklichkeit von Trinkwasserspendern mit Gallonen. Nach einer Studie vom Hygieneinstitut der Universität Bonn kann es über die Hände und die Luft zu einer mikrobiellen Belastung mit krankmachenden Keimen und Bakterien kommen. Nur eine regelmäßige, wahrscheinlich wöchentliche Reinigung begrenzt das Gefährdungspotential.

Auch ist abgepacktes Wasser nicht immer die kostengünstigste Alternative und stets mit logistischem Aufwand verbunden.

Wäre es nicht am Besten frisch gezapftes Wasser anzubieten? Nach individuellen Wünschen optimiertes und gefiltertes Leitungswasser. Auch hier gibt es professionelle Wasserautomaten fürs Büro und Haushaltswasserfilter – nicht zu verwechseln mit Kannenfiltern zur Zubereitung von Heißgetränken.



In solchen innovativen Wasserautomaten ohne Gallonen findet im Augenblick der Entnahme eine Filtration statt. Dieses kann auf Wunsch mit lebenswichtigem Sauerstoff oder Kohlensäure versetzt werden. Die Einflüsse von Transport und Hausinstallation bleiben verborgen, da die Nachbehandlung des Leitungswassers

eine gleichbleibende Zapfqualität ermöglicht. Der bewusste Gang zum Wasserautomaten wird schnell zum festen Tagesritual und erlaubt eine portionsweise Aufteilung des Wasserkonsums im Büroalltag. Übrigens sind solche Wasserautomaten auch aus finanzieller Sicht dem typischen Kisten schleppen deutlich überlegen.

Da die Filtration erst im Moment der Entnahme geschieht, ist das Endprodukt frisch und lecker. Das System ist in sich geschlossen, so dass keinerlei Außenluft bei der Entnahme angesaugt wird oder der Wasserbehälter anderen Umweltfaktoren ausgesetzt ist. Der patentierte Hochleistungsfilter mit Membran am Geräteingang sowie der integrierte Keimschutz am Auslauf verantworten ein Optimum an Sicherheit und bequeme Wartungsintervalle.

Der Vorratstank mit Filtrationseinheit (Wassertrolley) ermöglicht auch eine mobile Aufstellung - ohne direkten Anschluss an die Wasserleitung. Hierdurch wird ein Höchstmaß an Flexibilität bei gleichzeitig ansprechendem Design gegeben. Eine unaufdringliche Aufforderung zum gesunden Trinkgenuss.

„Frisches Wasser - aber wie!“



Während das Trinkerlebnis bei der "filtration-on-demand" im Vordergrund steht, bleibt für den Anspruch an Qualität und Hygiene der Focus auf der High-Tech-Filterung im Innern. Durch den jahrelangen Einsatz dieser Premiumfilter selbst in hochsensiblen Bereichen der Pharmaherstellung, Medizintechnik (Dialyse) und Lebensmittelproduktion, liegen wertvolle Erfahrungen vor, die in die Konstruktion von Anfang an eingeflossen sind. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass dieser Meilenstein an Wasserautomaten-Technologie auch in vielen Klinikbereichen und selbst OP-Sälen zu finden ist.

Auch im privaten Haushalt bietet sich eine Filtration an der Entnahmestelle Küche besonders an. Wegen der geringen Entnahmemengen ist hier eine spezielle Filtrationseinheit angebracht. Sei es als einfache Auf Tischvariante mit Anschluss am Auslaufende der Armatur oder als komfortable Untertischoption, bei der die Technik unter der Spüle verborgen bleibt. Außer bei brackigem Wasser oder hohen Nitratbelastungen sind gesinterte (gebackene) **Aktivkohle-Blockfilter** die Methode der Wahl. Durch ihre feinen Poren wirken sie als mechanisches Sieb gegen Partikel und Mikroorganismen, und gleichzeitig durch chemisch-physikalische Adsorption gegenüber unerwünschten Stoffen im Innern. Die im Wasser gelösten Mineralien bleiben erhalten. Bei außergewöhnlichen Belastungen oder niedrigem Leitungsdruck haben sich Aktivkohle-Blockfilter mit integrierter **Hohlfaser-Membran** besonders bewährt. Aus diesem Grund werden sie bereits vielfach eingesetzt. Eine hochentwickelte Technik, die im Hintergrund wirkt und einen gleichbleibenden Wassergenuss ermöglicht.

Beide Filterverfahren - Aktivkohle-Blockfilter und Hohlfaser-

membranen - sind vielfach auf Leistungsfähigkeit, hygienische Sicherheit und Lebensmitteltauglichkeit von unabhängiger Seite begutachtet und zertifiziert worden¹. Der TÜV hat überdies die Praxistauglichkeit der Gutachten bestätigt.

*„... Aufforderung zum
gesunden Trinkgenuss.“*

Gesundheitsbewusste Menschen, die professionell nachbehandeltes Wasser trinken, investieren in ihr wertvollstes Gut überhaupt. Sie reduzieren aktiv mögliche Belastungen, die sich durch Luftverschmutzung, Intensivlandwirtschaft oder Wasseralterung im Körper akkumulieren können. Eine vorausschauende Prävention, die den gesetzgeberischen Entwicklungen im Gesundheitswesen Rechnung trägt und sich auch im Kinder-Umwelt-Survey² des Umweltbundesamtes (UBA) widerspiegelt. Wohlgeschmeckendes, gefiltertes Leitungswasser trägt auf angenehme Art zur Gesundheitsvorsorge bei.

Dr. Peter Westerbarkey

1) siehe: www.wasserfilter.de/de/documents.html

2) siehe:
www.umweltbundesamt.de/survey/index.htm
www.kinder-jugend-gesundheit21.de/

Weitere Informationen unter:
www.interservice-gmbh.com
www.sonnenseite.com/fp/archiv/Akt-News/3596.php

Optimieren Sie Ihre Konzentratversorgung!

Entscheiden Sie sich für das Original!

Erfahren Sie unsere Konzepte für Konzentratherstellung und »ultrareines Wasser«

- Mischanlagen für 500 – 1.000 – 2.000 – Liter saures Konzentrat
- Wiederbefüllbare Glaskapsel »BiCaps« für Bicarbonatlösung
- Salzpakete in Dialysequalität für die »in-house«-Herstellung
- Zentrale Versorgungssysteme »CBG« – concentrate by gravity
- Carbonit-Filtersysteme zur Herstellung ultrareinen Wassers



Diverse Filtertypen »Carbonit«



Dialysepraxis Dr. Braun, Dingolting:
7.000 l Mischank mit Filtration und Verteilung auf hochgesetzte
Tanks zur Schwerkraft-Leitungversorgung



»BiCaps« beim Befüllen mit
Natriumhydrogencarbonat



Carbonit-Filtereinheit »Quadro«

*Es gibt nichts, was man nicht ein
bitchen billiger und ein bisschen
schlechter herstellen könnte.
John Ruskin, engl. Sozialökonom*

Nutzen Sie die 25-jährige Dialyseerfahrung von Spezialisten – **weltweit!**

zertifiziert nach DIN ISO 9001 / EN 13485

Besuchen Sie uns auch im Internet unter www.ckmed.com

CARBONIT® Premium Trinkwasserfilter

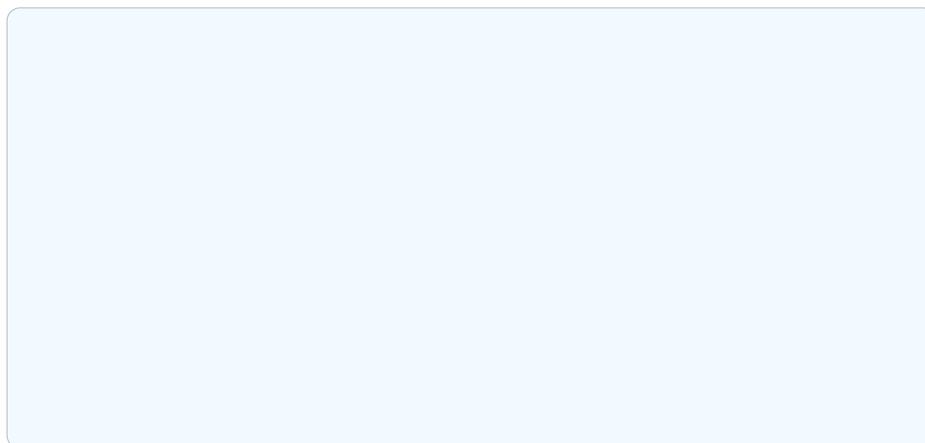
Der einzige Aktivkohle-Blockfilter, der nachweislich u.a. viele Medikamentenrückstände* und auch viele hormonähnliche Stoffe zuverlässig filtert.**

Wasserfilter von CARBONIT®:

- speziell auf europäische Wasserverhältnisse abgestimmt
- umfangreiches Leistungsspektrum für die Entnahme von Schadstoffen
- große Filterkapazität
- niedrige Anschaffungs- und Folgekosten
- kombinierbar mit vielen Vitalisierern



Ihr Fachhandel:



CARBONIT® Filtertechnik GmbH · Infoline: 0700 2-2-7-2-6-6-4-8
C·A·R·B·O·N·I·T

Laut einem Gutachten der TU Berlin reduziert die Filterpatrone CARBONIT® Monoblock® NFP Premium u.a.:

*) Clofibrinsäure, Carbamazepin, Ibuprofen, Ketoprofen, Propiphenazon >99,9 % sowie Diclofenac >99,5%

***) Bentazon, 2,4 D, Dichlorprop., MCPA, Mecoprop. >99,9 % sowie p.p'-DDA >99,5%