



Membranfilter sichern zunehmend die Trinkwasserqualität

Das Universallösungsmittel Wasser ist ein zentrales, unverzichtbares Element für alles irdische Leben. Dies gilt in besonderer Weise für das Trinkwasser für den menschlichen Gebrauch, das durch nichts ersetzt werden kann und jederzeit in ausreichender Menge und hygienisch einwandfreier Beschaffenheit zur Verfügung stehen sollte. Für diese lebenswichtige Aufgabe der Wasseraufbereitung stellt die Membranfiltration als ein noch relativ junges Verfahren einen wesentlichen Fortschritt dar. Im Kreis Aachen entsteht derzeit unter der wissenschaftlichen Betreuung von Duisburger Wissenschaftlern und in enger Zusammenarbeit mit dem Rheinisch-Westfälischen Institut für Wasserforschung (IWW) die weltweit größte Membranfiltrationsanlage zur Talsperrenwasseraufbereitung.

Druckbetriebene Membranfiltrationsverfahren werden in der Wassertechnologie – d.h. in der Trink-, Prozess- sowie Abwasseraufbereitung – seit einigen Jahren zunehmend zur Stofftrennung eingesetzt. Diese Verfahren können im Vergleich zu herkömmlichen Technologien in besonderer Weise umweltentlastend sein, da es sich um ein rein physikalisches Trennprinzip handelt und sich der Chemikalienbedarf üblicherweise auf die Vermeidung von störenden Belägen auf den Membranen beschränkt, die sich während des Betriebes ausbilden. Der Einsatz der Membranfiltration kann zudem Aufbereitungskosten einsparen. Das gilt insbesondere dann, wenn durch die Membranfiltration gleichzeitig mehrere herkömmliche Aufbereitungsstufen ersetzt werden

können. Speziell bei der Trinkwasseraufbereitung sind die Membranverfahren darüber hinaus – oft im Gegensatz zu konventionellen Verfahren – zumeist in der Lage, wachsende Qualitätsansprüche zu erfüllen. Daher werden druckbetriebene Membranfiltrationsverfahren immer mehr als attraktive Alternative gesehen.

Vier Verfahren stehen zur Auswahl

Bei den druckbetriebenen Membranverfahren wird das Wasser aufgrund einer Druckdifferenz zwischen der Rohwasserseite und der Filtratseite einer Membran durch die Membran gepresst. Im Idealfall gelingt es so, alle unerwünschten Wasserinhaltsstoffe zurückzuhalten, wobei letztlich von Art und Größe des abzutrennenden

Wasserinhaltsstoffs die Wahl des Membranfiltrationsverfahrens bzw. des notwendigen transmembranen Drucks abhängt (Bild 1). Grundsätzlich unterscheidet man zwischen den Verfahren Umkehrosmose (UO), Nanofiltration (NF), Ultrafiltration (UF) und Mikrofiltration (MF).

- Eine Umkehrosmose-Membran kann als dicht und porenfrei beschrieben werden. Das Wasser gelangt nur durch Diffusion durch die Membran, während die gelösten Wasserinhaltsstoffe von der Membran mehr oder weniger vollständig zurückgehalten werden. Die Umkehrosmose ist das klassische Membranverfahren bei der Meerwasserentsalzung und Kesselspeisewasseraufbereitung.

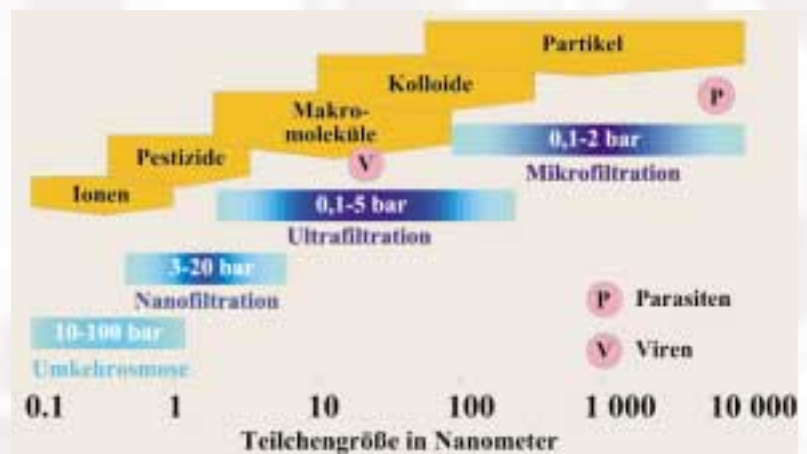


Bild 1: Einsatzbereiche der druckbetriebenen Membranverfahren hinsichtlich der abzutrennenden Größe der Wasserinhaltsstoffe

- Bei der Nanofiltration werden Wasserinhaltsstoffe sowohl durch eine Siebwirkung (verursacht durch Poren mit Durchmessern von einigen Nanometern) als auch durch elektrostatische Abstoßungseffekte von der ladungstragenden Membran zurückgehalten. Durch diese Effekte werden auch elektrisch geladene Wasserinhaltsstoffe wie z. B. Ionen zurückgehalten, die aufgrund ihrer Größe eigentlich die Membran passieren müssten. Die Nanofiltration eignet sich insbesondere dann, wenn dem Wasser sowohl zweiwertige Ionen – wie Härte und Sulfat – als auch Huminstoffe (organische Abbauprodukte) und/oder organische Spurenstoffe wie zum Beispiel Pestizide entzogen werden sollen.
- Die Rückhaltung von Ultrafiltrations- und Mikrofiltrations-Membranen schließlich beruht hauptsächlich auf einem Siebeffekt der porösen Membranen, der durch Porenradien von etwa 10 bis über 1.000 Nanometer verursacht wird. Bild 1 dokumentiert, dass die Mikrofiltration im Allgemeinen Partikel schon sehr weitgehend zurückhalten kann. Dies gilt auch für die in letzter Zeit weltweit in Diskussion stehenden durchfallerregenden Parasiten wie zum Beispiel Giardien und Cryptosporidien, die als Krankheitserreger durch die üblichen Desinfektionsmethoden in der Regel nicht mit ausreichender Sicherheit abgetötet werden können und daher praktisch vollständig entfernt werden müssen. Die Ultrafiltration bietet eine zusätzliche Sicherheit, wenn auch kleinste Partikel wie zum Beispiel Viren zurückgehalten werden sollen.

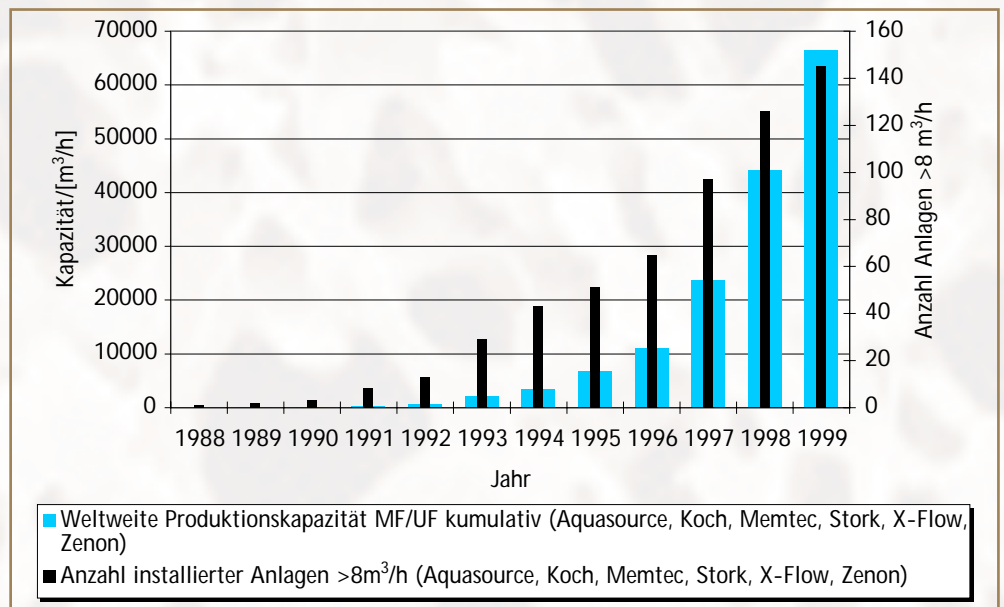


Bild 2: Weltweite Produktionskapazität und die Anzahlsumme von zur Trinkwasseraufbereitung installierten MF/UF-Anlagen >8 m³/h

lagen erreicht wird. Dies zeigt, dass die Niederdruck-Membranfiltration zwar eine relativ junge, aber weltweit stark expandierende Technologie in der Trinkwasseraufbereitung ist.

Topp bei Maxi und Mini

In Deutschland ist derzeit noch keine NF-, UF- oder MF-Anlage zur Trinkwasseraufbereitung in Betrieb, die mehr als 1.000 m³/h Trinkwasser produziert. Bislang gibt es lediglich zwei technische Ultrafiltrations-Anlagen in Neckarburg (seit 1998) mit ca. 75 m³/h und in Hermeskeil (Kreis Trier-Saarburg) mit ca. 140 m³/h (seit 1999). Dessen ungeachtet steigt das Interesse an der Ultrafiltration hierzulande jedoch stetig an. Ein besonders viel versprechendes Pilotprojekt stellen die Untersuchungen zur Integration der Membranfiltration in die Aufbereitungsanlage Roetgen des Wasserwerks des Kreises Aachen (WdKA) dar. Hier soll mit finanzieller Unterstützung des Bundesforschungsministeriums die Ultrafiltration zur Aufbereitung von Talsperrenwasser eingesetzt werden. Dabei wird die derzeit weltweit größte Membranfiltrationsanlage zur Trinkwasseraufbereitung mit einer Kapazität von ca. 6.000 m³/h entstehen.

Doch dazu später mehr – bleiben wir zunächst einmal bei kleineren Dimensionen.

Denn nicht nur der Bau von großtechnischen Anlagen, sondern auch die kleintechnische Anwendung

(<100 m³/h) bei der Aufbereitung von Quell- und Karstwässern verspricht eine lohnende Entwicklung für Membranhersteller, Anlagenbauer und -betreiber. Bei dieser Zweckbestimmung ist ein besonders hoher Automatisierungsgrad der Anlagen- und Prozesssteuerung wünschenswert, da die Membran häufig einer stark schwankenden Zulaufqualität ausgesetzt ist. Auch auf diesem Forschungsgebiet sind die Wasserspezialisten der Duisburger Universität um Rolf Gimbel gemeinsam mit ihren Kollegen von der Technischen Informatik aktiv.

Die ausgezeichnete Rückhaltung partikulärer Wasserinhaltsstoffe durch Mikrofiltration und Ultrafiltration zeigt sich schließlich auch bei der Aufbereitung eisen- und manganhaltiger Wässer, wo Mangan und Eisen nach Oxidation in partikulärer Form an der Membran abgeschieden werden. Diese weitere Stärke des Verfahrens eröffnet ein neues Anwendungsfeld bei der Aufbereitung der bei der konventionellen Trinkwasseraufbereitung anfallenden Filtrückspülwässer aus Filtern, in denen Eisen und Mangan zurückgehalten wird. Aber auch vielen Oberflächenwasserwerken und Schwimmbädern ist an einer Wiederverwendung ihrer Filtrückspülwässer gelegen, was gleichfalls grundsätzlich mit Membranverfahren möglich ist und mit hoher Wahrscheinlichkeit zukünftig verstärkt praktiziert wird.

Expertenwissen:

„Kleines Einmaleins“
der Membran-Technologie

Dicht gepackt und rückspülbar:
Die Kapillarmembranen

Die vielfältige Nachfrage nach Niederdruck-Membranverfahren zur Trinkwasseraufbereitung konzentriert sich in Deutschland zur Zeit weitgehend auf die Ultrafiltration mit so genannten Kapillarmembranen, da hiermit auch eine sichere Entfernung von Viren möglich ist.

Die Vorteile der Kapillarmembranen sind in ihren relativ hohen Packungsdichten (ca. $600\text{--}1200\text{ m}^2/\text{m}^3$) und insbesondere in ihrer Rückspülbarkeit – d. h. der Möglichkeit einer regelmäßigen mechanischen Abreinigung der auf der aktiven Schicht abgelagerten Wasserinhaltsstoffe – zu sehen. Die Membranen sind schlauchförmig mit einem inneren Durchmesser von ca. 0,5 bis 5 mm. Sie sind selbsttragend und können aus unterschiedlichen Materialien hergestellt werden. Üblicherweise bestehen die Kapillaren aus Celluloseacetat, Polyacrylnitril, Polysulfon, Polyethersulfon, Polypropylen oder eventuell auch aus möglichen Derivaten. Die Membranen sind häufig integral asymmetrisch. Das bedeutet, dass sie aus nur einem Material bestehen und die Schichten der Membran in Durchflussrichtung großporiger werden. Die trennende Schicht, auch aktive Schicht genannt, kann sowohl an der Innenseite der Kapillarwand als auch an der Außenseite liegen (Bild A).

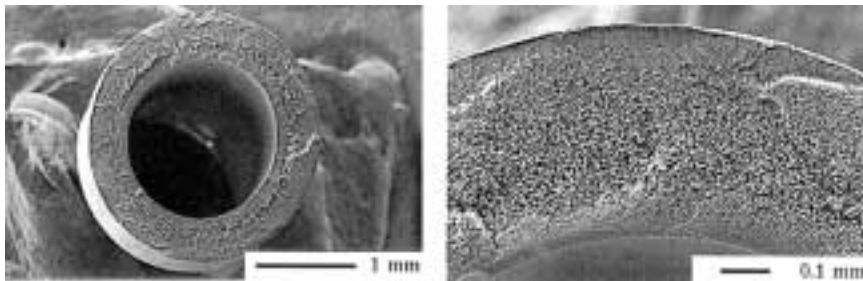


Bild A: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen einer Ultrafiltrationsmembran

Die verschiedenen Membranen unterscheiden sich in erster Linie durch ihre Trenngrenze und ihre Durchlässigkeit (Permeabilität). Die Trenngrenze wird üblicherweise als MWCO der Membran angegeben. MWCO bedeutet Molecular Weight Cut Off und entspricht dem Molekulargewicht des Wasserinhaltsstoffes, welcher von der Membran zu 90 % zurückgehalten wird. Die zur Trinkwasseraufbereitung eingesetzten Ultrafiltrations-Kapillarmembranen haben in der Regel einen MWCO von etwa 100.000 Dalton. Die Permeabilität einer Membran entspricht dem Filtratvolumenstrom, der pro Quadratmeter Membranfläche und pro Bar transmembranen Druck erreicht werden kann. Die Unterschiede in der Permeabilität

von Kapillarmembranen mit gleicher Trenngrenze werden durch eine unterschiedliche Oberflächenporosität bzw. eine unterschiedliche Porenradienverteilung verursacht. Die mittleren Porendurchmesser liegen bei einer jeweils sehr engen Porenradienverteilung etwa zwischen 10 nm und 30 nm.

Dead-End – ab durch die Mitte

Beim Einsatz von Ultrafiltrations-Kapillarmembranen wird zwischen Dead-End Betrieb (die Membran wird im Wesentlichen nur durchströmt) und Cross-Flow Betrieb (die Membran wird nicht nur durchströmt, sondern auch relativ stark überströmt) unterschieden, wobei aber auch Kombinationen dieser klassischen Betriebsweisen zunehmend interessant werden. Bei geringem Feststoffgehalt im zu filtrierenden Wasser – eine Bedingung, die häufig bei der Trinkwasseraufbereitung erfüllt ist – wird der Dead-End Betrieb dem Cross-Flow Betrieb vorgezogen. Dies ist zum einen in dem deutlich geringeren Energiebedarf des Dead-End Verfahrens mit etwa $0,06\text{--}0,12\text{ kWh}/\text{m}^3$ – gegenüber dem des Cross-Flow Verfahrens mit ca. $1\text{--}7\text{ kWh}/\text{m}^3$ – begründet. Zum anderen ist der Anlagenbau im Falle des Dead-End Betriebes sehr viel einfacher und kostengünstiger als im Cross-Flow Betrieb.

Meist wird bei der Ultrafiltration zur Trinkwasseraufbereitung vom Inneren der Kapillare nach außen filtriert. Das bedeutet, dass bei diesen UF-Kapillarmembranen die aktive Schicht innen liegt. Dementsprechend bezeichnet man die Betriebsweise als IN/OUT-Betrieb. Bei einer Rückspülung wird bei der Ultrafiltration vorher gesammeltes Filtrat von der Filtratseite der Membran zur aktiven Schicht zurückgepresst, um die abgelagerten Stoffe abzulösen und aus dem Kapillarinnern heraus zu transportieren. Dies bedeutet beim IN/OUT-Betrieb eine Rückspülung von der Membranaußenseite in das Innere der Kapillare. In vielen Fällen werden zur Verbesserung der Reinigungsleistung Chemikalien (z. B. Chlorbleichlauge oder H_2O_2) zugesetzt. Eine Verbesserung der mechanischen Reinigungswirkung kann auch durch eine kombinierte Überströmreinigung und Rückspülung erreicht werden.

Als Membranmodul wird die kleinste anschlussfähige technische Einheit bezeichnet, mit der die Membranfiltration nach Anschluss an eine Druckerhöhungs- oder Unterdruckstufe direkt möglich ist. Um ein Modul herzustellen, werden bei der mit Überdruck betriebenen Ultrafiltration die Kapillarmembranen in Bündeln zusammengefasst, in ein Rohr eingebracht und an beiden Rohrenden mit Epoxidharz vergossen. Bei dem so genannten XIGA-Konzept,

nach dem die Pilot-Anlage im Kreis Aachen arbeitet, werden mehrere dieser Elemente in bis zu sechs Meter lange, horizontal angeordnete Standarddruckrohre eingebaut. Hierbei wird die Membran im IN/OUT-Modus betrieben.

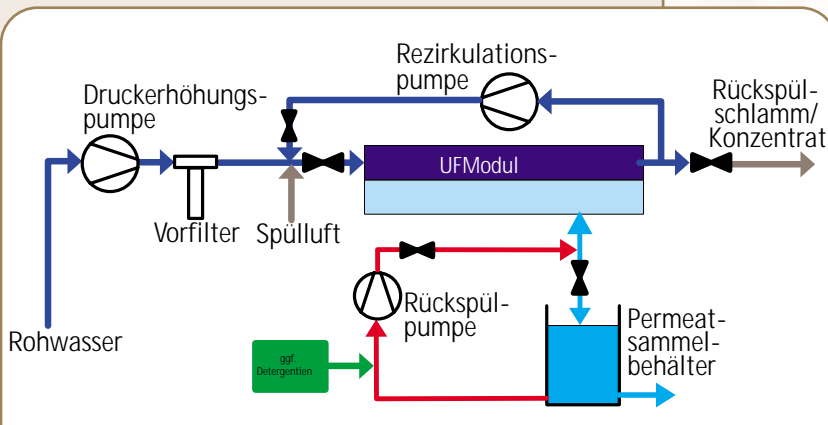


Bild B: Funktionsschema bei der mit Überdruck betriebenen Ultrafiltration mit Kapillarmodulen

Durch das noch junge Alter der Niederdruck-Membranfiltration erklärt sich auch die Vielfalt der Verfahrenskonzepte für Ultrafiltrations-Anlagen mit Kapillarmodulen. Bild B zeigt ein verallgemeinertes Funktionsschema für mit Überdruck betriebene Anlagen. Bei diesen Verfahren sind Rezirkulation (zur Einstellung des Cross-Flow-Betriebs), Teilabschlag und Spülluft nicht in jedem Konzept enthalten; gemeinsam sind dagegen allen Verfahren die Vorfiltration, die Druckerhöhung und die Rückspülung mit Filtrat. Bei der Rückspülung wird Wasser aus einem Sammelbehälter mittels der Rückspülpumpe zur Filtratseite des Moduls gefördert. Gegebenenfalls werden dem Spülwasser noch Chemikalien zum Zwecke der Desinfektion zugesetzt.

Im Allgemeinen werden die Ultrafiltrations-Module bei der Trinkwasseraufbereitung aus Kostengründen im Dead-End betrieben. Ausnahmen bilden hier kombinierte UF/Pulverkohle-Anlagen und Anlagen zur Aufbereitung von zum Beispiel zeitweise stark trübstoffhaltigen Quell- oder Karstwässern. Bei den kombinierten UF/Pulverkohle-Anlagen wird das mit pulverförmiger Aktivkohle angereicherte Konzentrat – bzw. nur ein Anteil davon – wieder vor das Membranmodul rezirkuliert. Damit können auch niedermolekulare organische Störstoffe aus dem Wasser entfernt werden. Bei der Aufbereitung von Quell- oder Karstwässern ist die Ultrafiltrations-Anlage häufig einer stark schwankenden Zulaufqualität ausgesetzt. Bei sehr hohen Störstoffkonzentrationen wird dann nicht mehr im Dead-End Betrieb filtriert, sondern in den Cross-Flow umgeschaltet.

Mit vereinten Kräften:

Pilotanlage mit Weltrekordgröße

Die in der Trinkwasseraufbereitungsanlage Roetgen (TWA Roetgen) des Wasserwerks des Kreises Aachen (WdKA) derzeit im Aufbau befindliche Membranfiltrationsanlage soll nach ihrer Komplettierung eine Kapazität von $6.000 \text{ m}^3/\text{h}$ aufweisen und wäre somit die größte Niederdruck-Membrananlage der Welt für die Talsperrenwasseraufbereitung. Um diese technologische Herausforderung optimal zu meistern, hat das WdKA in Zusammenarbeit mit dem Duisburger Fachgebiet Verfahrenstechnik / Wassertechnik und dem IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung die bisher umfangreichsten Pilotversuche ihrer Art in Deutschland gestartet. An dem auch vom Bundesforschungsministerium unterstützten Projekt sind darüber hinaus Duisburger Experten für Technische Informatik (Prof. Dr. Kochs) und für Aquatische Mikrobiologie (Prof. Dr. Flemming) sowie das Hygiene-Institut der Universität Bonn beteiligt.

Bislang sind in dem seit etwa fünf Jahren laufenden Forschungs- und Entwicklungsprojekt drei Pilotanlagen – davon eine Mikrofiltrations- und zwei Ultrafiltrations-Anlagen – mit Kapazitäten von $5\text{-}10 \text{ m}^3/\text{h}$ sowie eine Ultrafiltrations-Anlage mit $150 \text{ m}^3/\text{h}$ im Einsatz. Die Dimensionen dieser im Dead-End (zur Erläuterung vgl. Kasten „Expertenwissen“) betriebenen Pilotanlagen entsprechen schon heute der Größe eines kleinen bis mittleren Wasserwerkes.

Wie bei derartigen Großvorhaben sinnvoll und notwendig, wurden die Forschungsarbeiten zeitlich gestaffelt. Im ersten Teil des Untersuchungsprogramms, der einen Zeitraum von ca. zwei Jahren umfasste, wurde zunächst die grundsätzliche Eignung der Membranfiltration zur Gewinnung von Trinkwasser aus Talsperrenwasser überprüft. Dazu wurden die drei kleineren Pilotanlagen mit insgesamt vier unterschiedlichen Zulaufwässern betrieben, wobei die Zulaufwässer an verschiedenen Stellen der TWA Roetgen entnommen wurden (vgl. Bild 3).

- Das Wasser nach der 2. konventionellen Filterstufe entspricht dabei dem Trinkwasser vor der abschließenden Desinfektion.

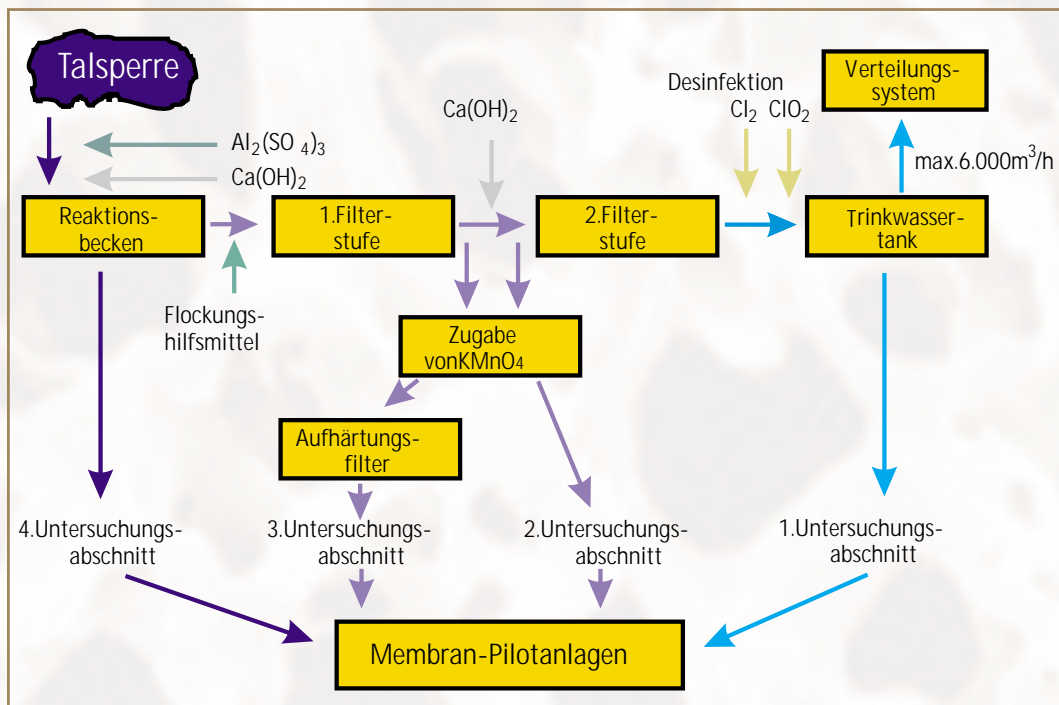


Bild 3: Aufbereitungsschema der TWA Roetgen mit den unterschiedlichen Entnahmestellen für die Pilotanlagenversuche

Keine Chance für Mikroorganismen

Zur Überprüfung hoher Erfolgsquoten bei der Rückhaltung, d.h. der Herausfiltration von Mikroorganismen oder auch zur Anerkennung der Membranfiltration als Desinfektionsschritt – d.h. zur sicheren Abtrennung aller im Wasser eventuell vorhandenen krankheitserregenden Mikroorganismen – wie sie etwa von der DIN2000 gefordert werden, wurden als Modellsubstanzen E.coli (Bakterien mit ca. 0,5-1,5 μm Durchmesser), B.subtilis (Sporen mit ca. 0,3 μm) und MS2-Phagen (Viren mit ca. 0,025 μm) in hohen Konzentrationen zudosiert. Ein Größenvergleich der eingesetzten Mikroorganismen ist in Bild 4 dargestellt. In den bisherigen Versuchen

- Will man das Wasser nach der 1. konventionellen Filterstufe als Zulauf zur Membran (Feed) nutzen, so muss zur Entmanganung im zweiten Untersuchungsabschnitt dem Zulaufwasser zunächst Natronlauge zur Erhöhung des pH-Wertes – und damit zur Verbesserung der Entmanganungsleistung – und anschließend Kaliumpermanganat zudosiert werden. Das im Talsperrenwasser zeitweise vorhandene gelöste Mangan wird dadurch zu partikulärem Braunstein oxidiert, welcher dann ebenfalls an der Membran abgeschieden wird und zu Ablagerungsschichten auf der Membran führt, die die hydraulische Durchlässigkeit nicht wesentlich behindern und beim Rückspülvorgang relativ leicht ablösbar sind.
- Im dritten Untersuchungsabschnitt wurde die Entmanganung mit einem Calciumcarbonat-Filter ausgeführt.
- Im vierten Untersuchungsabschnitt wurden die Pilotanlagen direkt nach Zugabe des Flockungsmittels Alaun ($Al_2(SO_4)_3$) betrieben.

Ein sehr stabiler Betrieb bei Flächenbelastungen bis zu 105 l/(m²·h) und Ausbeuten über 97% ergab sich für die beiden Ultrafiltrations-Pilotanlagen bei Zulauf des mit Kaliumpermanganat versetzten Wassers nach der 1. konventionellen Filterstufe. Die sich aus dem Braunstein bildende

Deckschicht dient offensichtlich als Schutz vor Ablagerung von schwer entfernbaren Membranbelägen und lässt sich gut durch die regulären Rückspülungen von den UF-Membranen ablösen. Bei direkter Einspeisung des mit Alaun versehenen Talsperrenwassers in die Anlagen wurde insbesondere für die Pilotanlage nach dem XIGA-Konzept eine vergleichsweise hohe Flächenbelastung von 90 l/(m²·h) bei einer relativ hohen Ausbeute von 95% erreicht. Auch in diesem Fall wirkt sich die Zugabe eines belagbildenden Stoffes in den Anlagenzulauf offenbar leistungserhöhend aus.

konnten hervorragende Werte bei den Rückhaltungen der verwendeten UF- und MF-Membranen sowohl für E.coli als auch für B.subtilis von bis zu 99,99999% nachgewiesen werden. Bei einem Rückhalteversuch mit dem Coliphagen MS2 wurden im Filtrat der UF-Membranen keine, aber im Filtrat der MF-Pilotanlage bei einer Zulaufkonzentration von ca. 3000/ml immerhin 85 MS2-Phagen/ml nachgewiesen (Bild 5). Als erfreuliches Resümee konnten die Wissenschaftler nach dem ersten Teil des Projektes festhalten, dass durch die Einbindung einer Membranfiltration mit Kapillarmembranen – gleich ob Mikrofiltra-

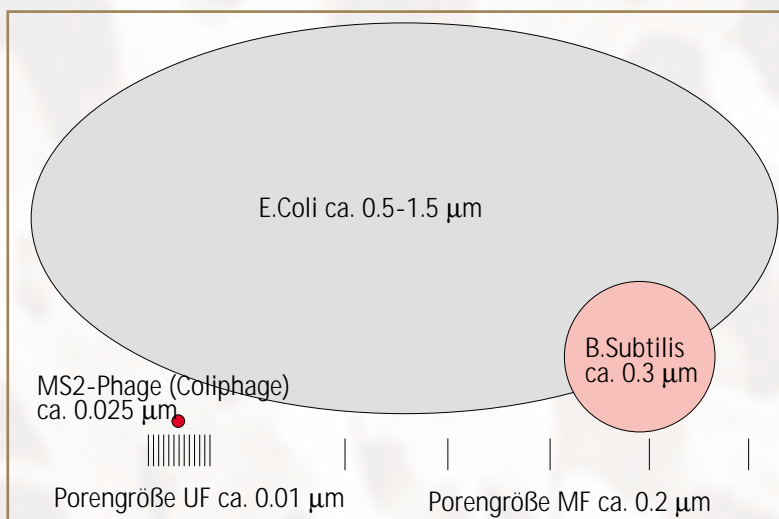


Bild 4: Schematischer Größenvergleich der bei den Rückhaltetests eingesetzten Mikroorganismen

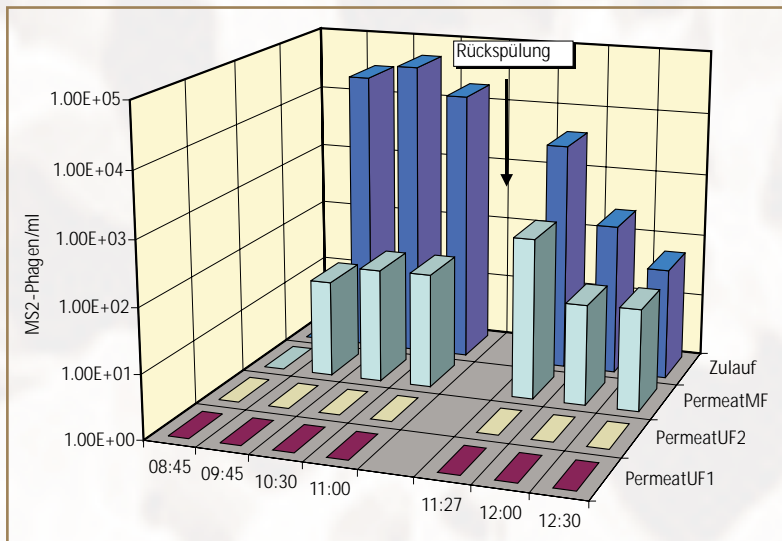


Bild 5: Rückhaltung der im ersten Teil des Forschungsvorhabens eingesetzten Membranen für MS2-Phagen

tion oder Ultrafiltration – eine Trinkwasseraufbereitung mit extrem hoher Sicherheit gewährleistet werden kann, die erheblich über jener liegt, die mit konventioneller Technik erreichbar ist.

Aufgrund dieser sehr guten Ergebnisse werden derzeit die Untersuchungen für den Betrieb der großtechnischen Pilotanlage (150 m³/h) weitergeführt. Diese Pilotanlage, die im November 1999 in Betrieb genommen wurde, ist nach dem so genannten XIGA-Konzept (zur Erläuterung vgl. Kasten) aufgebaut und entspricht in etwa der Größe eines Blocks der späteren gesamten großtechnischen Anlage. Sie besteht aus insgesamt zwölf 6 m langen Druckrohren, wobei jeweils 6 Druckrohre in einem Block übereinander angeordnet sind (Bild 6). Bei Verwendung von 1,5 m langen Kapillarmembran-Elementen (Kapillarinendurchmesser 0,7–0,8 mm) ergibt sich so pro Druckrohr (8" Durchmesser) eine Membranfläche von ca. 135 m² bzw. eine Gesamtfläche für die Anlage von ca. 1.620 m². Neben der Überprüfung der mittels der kleinen Pilotanlagen erhaltenen Befunde soll mit der großtechnischen Pilotanlage zunächst einmal das Engineering-Konzept für die endgültige Großanlage optimiert werden. Außerdem wird eine Strategie zur Überwachung der enormen Eliminationsleistung der Kapillarmembranen unter Einsatz von hochempfindlichen Partikelzählgeräten erarbeitet. Dieser Arbeitsschritt erfolgt in besonders enger Zusammenarbeit mit der Technischen Informatik der Universität Duisburg und unter

Nutzung der dort vorhandenen Erfahrungen auf dem Gebiet der wissensbasierten Informationsverarbeitung etwa durch neuronale Netze. Schließlich werden in Zusammenarbeit mit der Aquatischen Mikrobiologie Untersuchungen zum optimalen Einsatz von Desinfektions- und Reinigungsmitteln angestellt. Dabei soll mit möglichst wenig und möglichst unbedenklichen Chemikalien eine ausreichend gute Desinfektion bzw. Reinigung der Membranen erzielt werden. Beispiel für solche Chemikalien sind Säuren und Laugen, Chlordioxid oder Wasserstoffperoxid. Im Zentrum des Interesses stehen bei diesen Untersuchungen die Desinfektionswirksamkeit, letale Wirkung, die Langzeiteffektivität, die notwendige Konzentration und die entstehenden Nebenprodukte.

Die bisherigen Untersuchungsergebnisse mit der großtechnischen Pilotanlage zeigen, dass mit einer Kombination von Flockung und Membranfiltration Talsperrenwasser bei stabilem Betriebsverhalten der Membrananlage direkt aufbereitet werden kann. Mit einer 2. Membranstufe, mit der das Spülwasser der 1. Membranstufe erneut aufbereitet wurde, konnte die Gesamtausbeute auf 98-99% gesteigert werden.

Unterstützung der globalisierten Wasserwirtschaft

Aufgrund der gewaltigen Kapazität der zu bauenden Aufbereitungsanlage von 6.000 m³/h und der in Abhängigkeit von der Größe einer

Membrananlage sinkenden spezifischen Investitionskosten ist damit zu rechnen, dass die gesamten Investitions- und Betriebskosten der Membrananlage (ohne Gebäude) möglicherweise unter 0,20 DM/m³ liegen werden.

Mit der in Roetgen entstehenden großtechnischen Anlage wird in absehbarer Zeit eine Demonstrationsanlage verfügbar sein, die nicht nur für die deutsche Wasserversorgung einen Meilenstein in der Entwicklung neuer Wassertechnologien darstellt, sondern die auch das ohnehin schon sehr positive Image deutscher Trinkwasserversorgungssysteme auf globaler Ebene weiter stärken wird. Ein solcher Imagegewinn kann im internationalen Wettbewerb nur vorteilhaft sein für die zunehmend auch auf dem „Weltwassermarkt“ tätig werdende deutsche Wasserwirtschaft, denn auf diesen Märkten gibt es in den nächsten Jahren und Jahrzehnten ohne Frage noch erheblich mehr zu tun als in Deutschland.



Bild 6: Großtechnische Pilotanlage (150 m³/h) nach dem XIGA-Konzept beim WdKA

KONTAKT

Prof. Dr.-Ing. Rolf Gimbel
Dr.-Ing. Georg Hagemeyer

Fakultät für
Ingenieurwissenschaften
Institut für Energie- und
Umweltverfahrenstechnik

☎ 02 03/3 79-28 64 o. 39 25
Fax: 02 03/3 79-30 17
gimbel@uni-duisburg.de
[http://www.uni-duisburg.de/
FB7/FG15/wt/index1.htm](http://www.uni-duisburg.de/FB7/FG15/wt/index1.htm)

Ihr neuer Stuhl wartet.

Kommen Sie zu D2 Vodafone, dem erfolgreichen Unternehmen der dynamischen Mobilfunkbranche. Sie werden erwartet in unseren Bereichen

Technik

Ihre Aufgaben

liegen in den Bereichen Technische Produkte, Funknetzentwicklung, Technischer Betrieb, Technisches Qualitätswesen, Informationssysteme Technik, Technische Dokumentation, Implementierung Festnetz und UMTS.

Ihr Profil

wird durch ein abgeschlossenes Studium der Elektro- bzw. Nachrichtentechnik, Informatik, Physik, Mathematik oder eine entsprechende Ausbildung geprägt. Idealerweise verfügen Sie bereits über Berufserfahrung. Sie besitzen gute Englischkenntnisse, sind selbstbewusst, packen gerne an und haben Spaß an der Arbeit in einem jungen, dynamischen Team.

IT-Management

Ihre Aufgaben

liegen in den Feldern Systemlösungen, Systembetrieb, Applikationsüberwachung, Informations-Technologien oder Organisation.

Ihr Profil

wird durch ein abgeschlossenes Studium, z. B. der Informatik, Mathematik, Elektrotechnik, oder eine entsprechende Ausbildung geprägt. Idealerweise verfügen Sie bereits über Berufserfahrung. Sie haben Spaß an Teamarbeit, arbeiten eigenverantwortlich und selbständig.

Marketing

Ihre Aufgaben

liegen in der Konzeption und Gestaltung von UMTS-Services und Sie sind verantwortlich für die Umsetzung und kommerzielle Einführung der Dienste zum UMTS-Start. Darüber hinaus entwickeln und implementieren Sie Migrations- und Kompatibilitätsstrategien für GSM/UMTS.

Ihr Profil

wird durch ein abgeschlossenes kaufmännisches oder technisches Studium sowie gutes technisches Verständnis und Marktkenntnissen abgerundet. Idealerweise haben Sie bereits erste Berufserfahrung gesammelt. Sie verfügen über breite Kenntnisse auf dem Gebiet der Dienste und Plattformen im GSM-Umfeld. Gute Englischkenntnisse und Erfahrung im Umgang mit einschlägigen PC-Werkzeugen sind für Sie selbstverständlich. Darüber hinaus zeichnen Sie Teamfähigkeit, Durchsetzungsvermögen und Überzeugungskraft aus.

Berufsanfänger werden durch intensive Einarbeitung („on the job“/„off the job“) auf ihre zukünftige Tätigkeit vorbereitet.

Kennziffer ME 2191

Schicken Sie uns Ihre Bewerbungsunterlagen.
Mit Gehaltswunsch, Starttermin und Kennziffer.
Wir sind gespannt auf Sie.

Mannesmann Mobilfunk GmbH, Abteilung PWM
Am Seestern 1, 40547 Düsseldorf
www.d2vodafone.de



D2_live dabei