

# Durch dicht und dünn Membranen ermöglichen die Nutzung alternativer Wasserressourcen



Die Belastung der natürlichen Wasserressourcen stellt nicht nur in den wasserarmen, trockenen Gebieten Klimazonen der Welt ein gravierendes Problem dar. Auch im eher wasserreichen Europa sind in vielen Regionen Oberflächengewässer und Grundwasserkörper durch Wasserentnahme und Verschmutzung aus diffusen und punktförmigen Quellen stärker in Anspruch genommen als dies eine nachhaltige Wasserrirtschaft erlaubt.

Die Auswirkungen von Wasserknappheit zeigten sich etwa im Sommer 2008, als Barcelona über mehrere Wochen per Tankschiff mit Trinkwasser aus Frankreich und aus Meerwasserentsalzungsanlagen im Süden des Landes versorgt wurde. Noch dramatischer stellt sich im Herbst 2008 die Situation auf Zypern dar, wo nach Jahren der Dürre, die Talsperren trocken gefallen sind.

In Küstenregionen wird die Situation häufig dadurch verschärft, dass durch übermäßige Entnahme von Grundwasser Salzwasser in die Grundwasserleiter eindringt und diese für viele Nutzungen unbrauchbar macht oder zumindest eine aufwendigere Wasseraufbereitung erforderlich wird.

Und selbst dort, wo genügend Wasser fließt, enthält dieses oft Substanzen, die dort eigentlich nicht sein sollten. Durch die menschliche Aktivität gelangen Industriechemikalien ebenso wie Rückstände von Arzneimitteln und Körperpflegeprodukten ins Abwasser und Spuren davon in unsere Gewässer. Da für einige dieser Spurenschadstoffe die Gefährlichkeit und das mit ihnen möglicherweise verbundene Gesundheitsrisiko nicht abschließend geklärt sind, gilt es, sie im Sinne des Vorsorgegedankens weitestgehend zu reduzieren und ihren Eintrag zu minimieren.

## Neue Quellen für den Durst der Welt

Angesichts von Wasserknappheit und immer neuen Problemstoffen im Wasser wird es für die Wasserbewirtschaftung eine zunehmend schwierige und anspruchsvolle Aufgabe, ausrei-

chend Wasser in benötigter Qualität zur Verfügung zu stellen. Die Erschließung alternativer Wasserressourcen stellt eine wichtige Anpassung an diese Herausforderung dar.

In Regionen mit struktureller Wasserknappheit bildet die Meerwasserentsalzung schon heute einen unverzichtbaren Bestandteil des Wasserressourcenmanagements und deckt große Teile des Trinkwasser- und Bewässerungsbedarfs. Weltweit produzieren mehr als 12.000 Entsalzungsanlagen Süßwasser entweder destillativ in einem sehr energieintensiven Prozess oder mit einer Ressourcen schonender Alternative in Form von Umkehrosmose und anderen Membranverfahren.

Die Nutzung von aufbereitetem Abwasser kann ebenfalls zur Minderung des Frischwasserbedarfs und zur Erweiterung der Ressourcenverfügbarkeit beitragen. Zumeist wird es für Nicht-Trinkwasserzwecke in Industrie und Landwirtschaft eingesetzt. Aber auch die direkte oder indirekte Verwendung in der Trinkwasserversorgung ist möglich, wenn entsprechend strenge Qualitätsanforderungen eingehalten werden. Die ungeplante indirekte Wiederverwendung findet bereits heute in vielen großen Flusseinzugsgebieten dieser Welt statt: durch das Einleiten von Abwässern in Oberflächengewässer, aus denen wiederum durch Uferfiltration Trinkwasser gewonnen wird.

Die gezielte Grundwasseranreicherung mit aufbereitetem kommunalem Abwasser ist eine weitere viel versprechende Möglichkeit, die jedoch nur unter der Maßgabe erfolgen darf, dass sich die Grundwasserqualität dadurch nicht verschlechtert. Die Grundwasseranreicherung bietet außerdem besondere Vorteile: So stellt die Bodenpassage selbst einen weiteren bedeutsamen Reinigungsschritt dar, der die Qualität des infiltrierten Wasser verbessert. Zudem ist der Grundwasserkörper in der Lage, überschüssiges Wasser in Zeiten geringer Nachfrage ohne Verdunstungsverluste zu speichern und kann auf diese Weise in Küstenregionen eine wirkungsvolle Bar-

riere gegen eindringendes Salzwasser bilden.

Derartige Konzepte zur Ressourcenerschließung lassen sich nur mit innovativen Technologien und Managementansätzen verwirklichen. Der Lehrstuhl für Chemische Verfahrenstechnik widmet sich seit einigen Jahren in verschiedenen Forschungsprojekten diesen Fragen, insbesondere den Einsatzmöglichkeiten von Membranen bei der Schließung von Wasserkreisläufen und der Erschließung nicht-konventioneller Wasserressourcen wie Meerwasser, behandeltes Abwasser und Regenwasser. So behandelt das von der Europäischen Kommission geförderte Projekt RECLAIM WÄTER die Entwicklung sicherer und kosteneffizienter Strategien zur Minimierung des Risikos und etwaiger Gefährdungen für Gesundheit und Umwelt durch Grundwasseranreicherung mit aufbereitetem Abwasser. Die Untersuchungen bewerten unterschiedliche Aufbereitungstechnologien und -anwendungen im Hinblick auf das Verhalten von chemischen und mikrobiellen Verunreinigungen.

Im Rahmen eines weiteren EU-Forschungsprojektes mit dem Titel AQUAREC wurde erstmals ein Überblick über den Stand der Wasserwiederverwendung in Europa und weltweit erarbeitet. Dabei wurde deutlich, dass Membranen eine Schlüsselrolle in Wasserrecyclinganwendungen spielen, vor allem wenn besonders hohe Wasserqualitäten gefordert sind. Dies ist beispielsweise für die oben genannte Grundwasseranreicherung, industrielles Prozesswasser oder Anwendungen im urbanen Sektor der Fall. Optionen zum Einsatz von Membranverfahren sind Mikrofiltration und Ultrafiltration sowohl in der Behandlung von Kläranlagenabläufen als auch in Membranbelebungsanlagen. Mit zusätzlichen Verfahren wie der Nanofiltration oder der Umkehrosmose lassen sich auch organische Spurenstoffe weitestgehend zurückhalten.

## Was sind Membranen und was leisten sie?

In den zuvor erwähnten Prozessen stellen Membranen eine wichtige Barriere für pathogene Organismen wie Bakterien, Viren und Parasiten dar. Vereinfacht gesprochen wirken Membranen wie Siebe oder Filter, die Partikel und Moleküle bestimmter Größe zurückhalten, während sie für Wasser durchlässig sind. Je nach Porengröße unterscheidet man zwischen „porösen“ oder „dichten“ Membranen, durch die das Wasser mit unterschiedlich hohem Druck gepresst oder gesaugt wird. Die Porengröße gibt einen Anhaltspunkt dafür, welche Größenklassen von Stoffen zurückgehalten werden. Zudem sind bei den dichten Membranen Eigenschaften wie Oberflächenladung und Hydrophilität von Bedeutung. So können mit Nanofiltrations- und Umkehrosmosemembranen sogar gelöste Salze zurückgehalten werden. Membranen und kleine organische Moleküle erreichen so eine Auftrennung von Stoffströmen in den durchgelassenen (gereinigten) Strom, das Permeat, und das von der Membran zurückgehaltene Retentat, in dem die Stoffe angereichert sind, für die die Membran nicht oder schlecht durchlässig ist.

## Forschungsansätze

Im Kontext der Ressourcenerschließung ergeben sich folglich Fragestellungen in verschiedenen Themengebieten: Wie lassen sich diese Prinzipien in der Abwasserwiederverwendung nutzen und weiterentwickeln? Und wie können Nachteile der Membranverfahren vermieden und ihre Anwendung optimiert werden?

Viele der im Abwasser enthaltenen Spurenschadstoffe werden in konventionellen biologischen Kläranlagen nicht hinreichend abgebaut. Ihre Elimination ist daher vordringliche Aufgabe einer weitergehenden Behandlung vor einer Wiederverwendung.

Ein am Lehrstuhl für Chemische Verfahrenstechnik entwickeltes neues Verfahren verbindet Aktivkohleabsorption mit Nanofiltration in einem „Hybridprozess“.

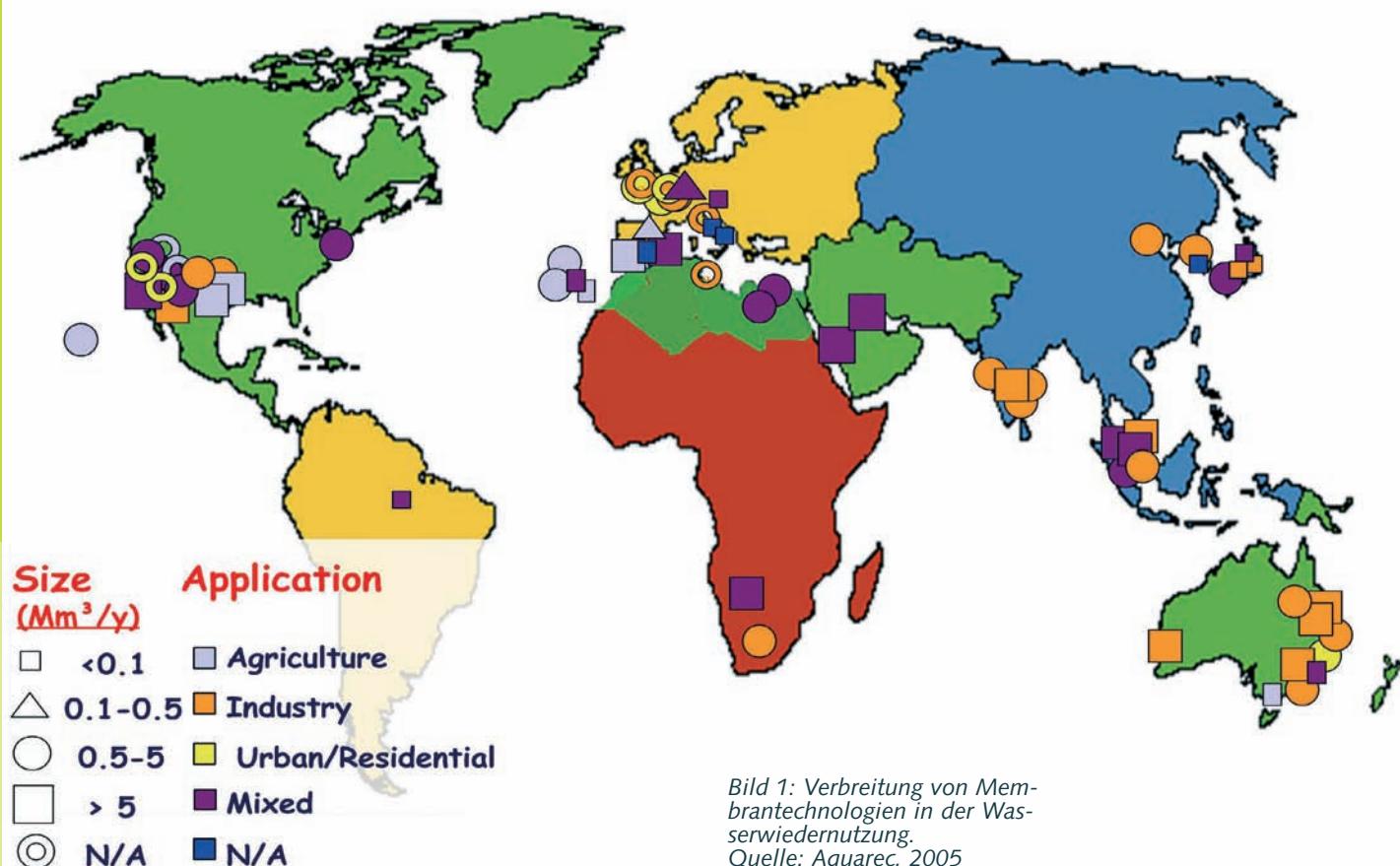


Bild 1: Verbreitung von Membrantechnologien in der Wasserverwiedernutzung.  
Quelle: Aquarec, 2005



Bild 2: REM-Aufnahme der Bruchfläche einer Hohlfaser-membran  
Quelle: Melin, 2007



Bild 3: Umkehrosmose-Block der Wasserrecyclinganlage in Scottsdale, Arizona, USA.

Diese Verfahrenskombination hält ein breites Spektrum von Spurenstoffen wie endokrin aktive Substanzen oder Arzneimittelrückstände zurück. Gegenüber der bislang eingesetzten Umkehrosmose bieten sich zudem verschiedene Vorteile wie deutlich weniger salzhaltige Konzentratströme und eine natürliche Zusammensetzung des Filtrats, weshalb auf eine Remineralisierung des Wassers verzichtet werden kann. Außerdem benötigt dieses Verfahren weniger Energie als die Umkehrosmose.

Der Rückhalt bestimmter Substanzen ist nur ein Leistungsmerkmal von Membranprozessen. Entscheidend für deren wirtschaftlichen Einsatz sind vor allem die Optimierung und der Erhalt der Leistungsfähigkeit der Membran. So genanntes Fouling und Scaling führen dazu, dass die Permeabilität der Membran mit der Zeit nachlässt. Dabei lagern sich organische und anorganische Stoffe auf der Oberfläche und in den Poren ab. Durch angepasste Betriebsweise, Rückspülungen und chemische Reinigungen lassen sich Foulingphänomene kontrollieren. Außerdem kann durch die Verbesserung der Materialeigenschaften der Membran deren

Foulingneigung reduziert werden und eine Steigerung des Flusses erreicht werden.

In einem gemeinsamen Projekt mit Membranherstellern, Anwendern sowie weiteren Forschungsinstitutionen werden die Nano- und Membrantechnologie miteinander kombiniert. Ziel ist die Veränderung der chemisch-physikalischen Eigenschaften von Ultrafiltrationsmembranen mittels Nanopartikeln. Die Aktivitäten sind darauf ausgerichtet, mit solchen nano-aktivierten Membranen höhere Flüsse zu erzielen oder zusätzliche Funktionalitäten zu erreichen wie beispielsweise Desinfektion oder den Abbau von Spurenschadstoffen.

Der selektive Rückhalt bestimmter Substanzen geht allerdings mit Effekten einher, welche die Leistungsfähigkeit von Membransystemen negativ beeinflussen können. Hierzu zählt die Aufkonzentrierung der weniger permeablen Komponenten an der Membran. Diese Konzentrationsüberhöhung einer Substanz direkt an der Membran verringert das treibende Potenzial des Stofftransports für die bevorzugt abzutrennende Komponente und hierüber die im realen Betrieb zu erreichenden transmembranen Flüsse. Weiterhin besteht

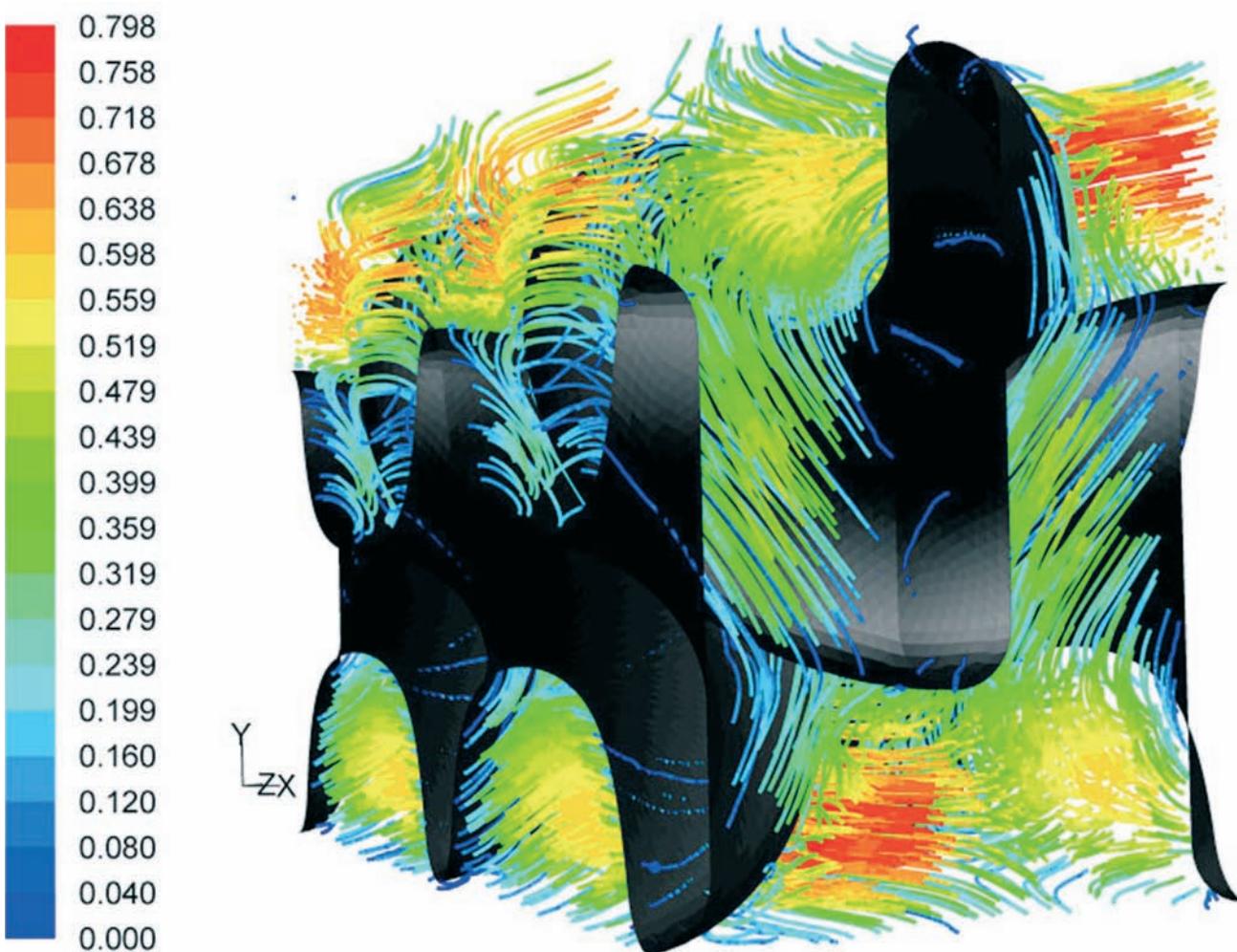


Bild 4: Strömungsbild der umströmten Membranspacer.

die Gefahr, dass die im Konzentrat gelösten Salze an der Membran auskristallisieren und damit die Leistungsfähigkeit des Membransystems mit zunehmender Betriebszeit dauerhaft absinkt. Zudem kann es bei erhöhten Flüssen durch Hochleistungsmembranen zu einer verstärkten Deckschichtbildung suspendierter Stoffe kommen.

Diese negativen Effekte können durch Betriebs- beziehungsweise Modul- und Strömungs- optimierung begrenzt werden. In diesem Zusammenhang werden für ein Umkehrosmose-Modul neuartige Membranspacer entwickelt. Spacer sind Abstandshalter zwischen zwei Flachmembranen und fungieren als statische Mischer. Die neuen Membranspacer sind so gestaltet, dass eine größtmögliche Durchmischung der membrannahen Schicht bei deutlich geringeren Druckverlusten im Strömungskanal erreicht wird. In Computersimulationen werden die Strömungsverhältnisse in Abhängigkeit von der Geometrie und Anordnung der Spacer im Modul modelliert und optimiert.

Über die vorgestellten Vor- haben hinaus bildet die Membrantechnologie auch internatio- nal einen besonderen Schwer-

punkt der Wasserforschung. Neben neuartigen Verfahren wie der Vorwärtsosmose geht es dabei vor allem um eine Reduktion des Energieverbrauchs, um bei zunehmender Verbreitung dieser vielversprechenden Technik die Potenziale möglichst gut für die Bekämpfung der Folgen des Klimawandels nutzen zu können und dabei die Emission von Treibhausgasen durch Wasser- aufbereitung zu minimieren.

[www.reclaim-water.org](http://www.reclaim-water.org)  
[www.aquarec.org](http://www.aquarec.org)

#### Autoren:

Dipl.-Ing. Clemens Fritzmann,  
 Dipl.-Biol. Rita Hochstrat M.Tech.,  
 Dipl.-Ing. Christian Kazner  
 und Dipl.-Ing. Chen Ning Koh  
 sind Wissenschaftliche Mitarbeiter  
 des Lehrstuhls für Chemische  
 Verfahrenstechnik.  
 Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Melin  
 ist Inhaber des Lehrstuhls für  
 Chemische Verfahrenstechnik  
 der Aachener Verfahrenstechnik.