

Membranen und Wasser: Errungenschaften der letzten 20 Jahre

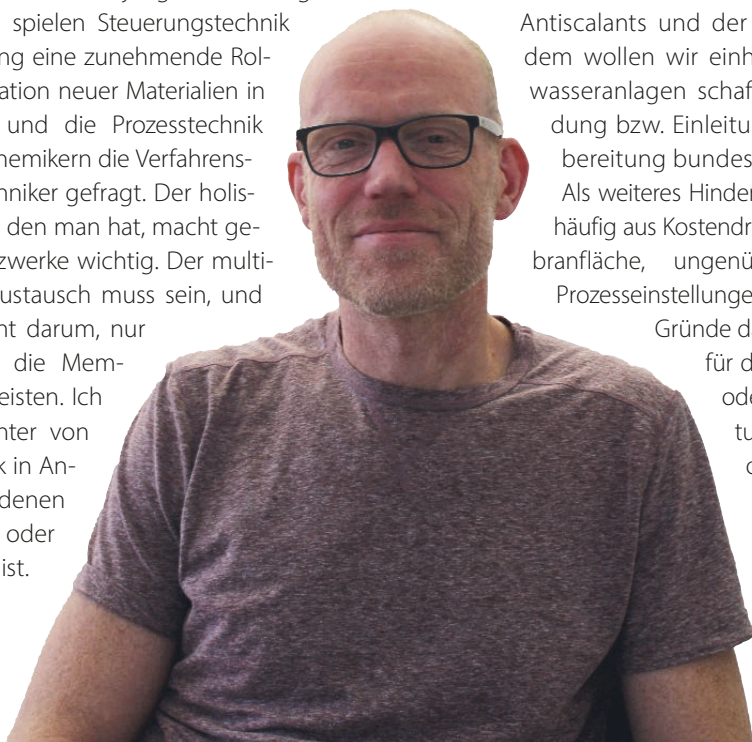
Im Februar 2000 wurde die Deutsche Gesellschaft für Membrantechnik e.V. (DGMT) als unternehmensneutrales Netzwerk zur Förderung der Membrantechnik in Deutschland gegründet. Abgesehen von der Hämodialyse, die als Verfahren alternativlos ist, zählen die Prozess- und Trinkwasseraufbereitung sowie die industrielle und kommunale Abwasserreinigung zu den wichtigsten Anwendungsbereichen der Membrantechnik. In der Zeit seit der Gründung der DGMT konnte die Wasserwelt von einer Vielzahl von Neuentwicklungen an Komponenten und Prozessen profitieren. Daran war und ist auch Prof. Stefan Panglisch, Inhaber des Lehrstuhls Mechanische Verfahrenstechnik an der Universität Duisburg-Essen und wissenschaftlicher Direktor des IWW Zentrums Wasser in Mülheim, beteiligt, der seit Anfang dieses Jahres außerdem die Geschäftsführung der DGMT innehat. gwf Wasser|Abwasser sprach mit ihm über bisher Erreichtes und aktuelle Herausforderungen innerhalb des Netzwerks für die Wasserwirtschaft.

Prof. Panglisch, in vielen Bereichen der Wasseraufbereitung ist die Membrantechnik längst den Kinderschuhen entwachsen. Braucht sie für diesen Bereich noch ein förderndes Netzwerk?

Diese Frage wird im Gespräch mit Firmen tatsächlich häufig gestellt. Ich glaube, dass ein solches Netzwerk wie die DGMT mehr denn je gebraucht wird. Membranverfahren sind zwar etabliert in der Wassertechnik, aber wir können uns nicht auf dem bisher Erreichten ausruhen und es passiert wirklich noch sehr viel in Forschung und Entwicklung. Ein Forum wie die DGMT trägt dazu bei, dass die Industrie Kenntnis erlangt von den Forschungsaktivitäten der Hochschulen und Forschungsinstitute und Wissenschaftler über die Bedürfnisse der Industrie informiert werden und diese in Forschungsprojekte einbeziehen. Das geschieht am einfachsten im direkten Austausch zwischen beiden Parteien. Dabei lässt sich klären, ob und wie Forschungsergebnisse aus dem Labor in die industrielle Produktion transferierbar sind, ob sich Herstellverfahren aufskalieren lassen und ob für neue Materialien oder Prozesse ein Nutzungspotenzial am Markt vorliegt. Die Membrantechnik wurde immer schon interdisziplinär betrieben, und die Vielfalt der beteiligten Disziplinen hat in jüngerer Zeit zugenommen: heute spielen Steuerungstechnik und Digitalisierung eine zunehmende Rolle. Für die Integration neuer Materialien in den Modulbau und die Prozesstechnik sind nach den Chemikern die Verfahrens- und Anlagentechniker gefragt. Der holistische Anspruch, den man hat, macht gerade solche Netzwerke wichtig. Der multi- und bilaterale Austausch muss sein, und mir geht es nicht darum, nur Lobbyarbeit für die Membrantechnik zu leisten. Ich bin kein Verfechter von Membrantechnik in Anwendungen, in denen sie ungeeignet oder unwirtschaftlich ist.

Was sind wesentliche Hindernisse für den Einsatz von Membrantechnologien?

Hier fallen mir als erstes die Konzentrate beim Einsatz dichter Membranen insbesondere in der Trinkwasseraufbereitung ein. Alle Entsorgungswege für die Konzentrate (Direkt- oder Indirekteinleitung) sind Bestandteil der Anlagengenehmigung mit Zustimmung der zuständigen Wasserbehörden. In den letzten Jahren wird die Einleitung von Konzentraten in ein Gewässer durch die Genehmigungsbehörden zunehmend kritisch betrachtet, insbesondere wenn die Konzentrate naturfremde anthropogene Spurenstoffe inklusive der zugesetzten Antiscalants oder Nährsalze in hohen Konzentrationen enthalten. Die Verweigerung der Einleitgenehmigung für die Konzentrate kommt i. d. R. dem Aus der Membrananlage gleich. Der Mangel an langfristig sicheren und genehmigungsfähigen Lösungen für die weitere Behandlung der Konzentrate stellt eine signifikante Technologiebremse dar und führt zu einem Entscheidungs-dilemma und Investitionsrückstau auf Seiten der Wasserversorgung. Genau diese Problematik adressiert das vom BMBF geförderte Verbundvorhaben „KonTriSol“. Im Projekt arbeiten wir unter anderem an der Reduzierung der Verwendung von Antiscalants und der Aufbereitung der Konzentrate. Außerdem wollen wir einheitliche Planungsgrundlagen für Trinkwasseranlagen schaffen, mit deren Hilfe auch die Verwendung bzw. Einleitung der Konzentrate der Trinkwasseraufbereitung bundesweit einheitlich geregelt werden kann. Als weiteres Hindernis sehe ich schlechte Referenzen an, die häufig aus Kostendruck entstehen. Zu wenig installierte Membranfläche, ungenügende Vorbehandlung, ungeeignete Prozesseinstellungen, überfordertes Betriebspersonal – die Gründe dafür sind mannigfaltig. Ebenso ist schlecht für die Reputation, wenn die mit einer Anlage oder einem Verfahren verbundenen Erwartungen von vornherein viel zu hoch sind oder nicht erfüllt werden. Ein konkretes Beispiel war die Annahme, dass eine Ultrafiltration (UF) als Vorbehandlung zur Umkehrosmose (UO) das Biofouling-



potenzial senken würde, eine Hoffnung, die sich nicht erfüllt hat. Und: ist ein schlecht laufendes Verfahren einmal bekannt, ist es unglaublich schwer, den Imageschaden wieder gut zu machen.

Welche Innovationen im Bereich der Membrantechnik zählen Sie zu den vielversprechendsten der letzten 20 Jahre?

Es gibt zahlreiche Innovationen aus der Forschung, die jedoch bei weitem nicht alle ihren Weg in die Praxisanwendung gefunden haben. Zu den wichtigen Entwicklungen, die umgesetzt worden sind, zähle ich das Layer-by-Layer-Verfahren, mit dem Nanofiltrationsmembranen durch mehrmaliges Auftragen ultradünner Polyelektrolytschichten auf UF-Membranen hergestellt werden. Außerdem haben sich viele Varianten der Oberflächenmodifikation zur Funktionalisierung von Membranen (Einstellung der Oberflächenladung, hydrophile oder hydrophobe Oberflächen) etabliert. Dies ist ein immens wichtiger Schritt in Richtung Membranen, die durch eine Nachbehandlung vor Ort auf Kundenbedürfnisse hin zugeschnitten werden können – eine der Zukunftsvisionen, die derzeit diskutiert wird.

Eine weitere wichtige Entwicklung stellen hochvernetzte Membranen für die Wasseraufbereitung dar, die eine besonders hohe Rückhaltung von Bor ermöglichen, sowie die so genannten Thin Film Nanocomposite-Membranen (TFN). Das sind Polymermembranen mit integrierten anorganischen Nanopartikeln (bspw. Zeolithe, Oxide oder Metalle) für bestimmte Funktionen. Diese Membranen stellen einen großen Sprung in Richtung so genannter Mixed Matrix-Membranen dar.

Spektakulär ist auch die industrielle Herstellung biomimetrischer Membranen durch Integration der Aquaporine, der in Zellmembranen vorkommenden Wasserkanäle, für deren Entdeckung der Amerikaner Peter Agre 2003 den Nobelpreis erhielt. Auch die Entwicklung ultradünner aktiver Trennschichten führen zu superpermeablen Membranen. Solche Membranen allein revolutionieren jedoch noch kein Verfahren. Will man die herausragenden Eigenschaften dieser aktiven Trennschichten zur UO nutzen, müssen die damit hergestellten Membranen die mechanische Stabilität für die bei der UO herrschenden hohen Drücke besitzen und es bedarf eines geeigneten Moduls. Aquaporinmembranen sind zwar kommerziell verfügbar, aber eine großtechnische Hochdruckanwendung sehe ich dafür noch nicht. Bei der Meerwasserentsalzung wird der Energiebedarf zudem durch den osmotischen Druck dominiert und nicht durch den Membranwiderstand. Die Energieeinsparung durch superpermeable Membranen ist für diese Anwendung daher nur gering.

Bei den Prozessen sehe ich die Wasserwiederverwendung als einen Riesensprung an, der mit Membranen ermöglicht wurde. Weitere wichtige Entwicklungen wurden im Bereich der Hybrid-

**INTERVIEWPARTNER
PROF. STEFAN PANGLISCH**

Prof. Dr.-Ing Stefan Panglisch ist seit Juni 2014 verantwortlich für den Lehrstuhl Mechanische Verfahrenstechnik mit dem Schwerpunkt Wassertechnik (MVT/WT) an der Universität Duisburg-Essen (UDE). Mit der Professur verbunden ist eine Position als wissenschaftlicher Direktor am Rheinisch-Westfälischen Institut für Wasserforschung (IWW).

Bis zur Übernahme des Lehrstuhls war Stefan Panglisch Leiter der Forschungs- und Entwicklungsabteilung der inge GmbH. Dort beschäftigte er sich intensiv mit der Neu- und Weiterentwicklung von Membranmaterialien, Modulgehäusen sowie der Betriebsweisen von Ultrafiltrationsmodulen. Zu seinem Verantwortungsbereich bei der inge GmbH gehörte ebenfalls die Optimierung der Produktionsprozesse und -anlagen. Zuvor war Stefan Panglisch über mehr als ein Jahrzehnt am IWW verantwortlich für den Bereich Wassertechnologie. Stefan Panglisch ist seit Anfang 2020 Geschäftsführer der DGMT Deutschen Gesellschaft für Membrantechnik und unter anderem Mitglied

- des Beirats der IWA Specialist Group „Particle separation“,
- im DVGW-Arbeitsausschuss „Wasseraufbereitungsverfahren“,
- der ProcessNet Fachgruppe „Membrantechnik“,
- des Technisch-Wissenschaftlichen Ausschusses der DME Deutsche Meerwasserentsalzung e.V.,
- des Sachverständigenkreises der Willy-Hager-Stiftung.

verfahren (Membranverfahren mit Flockung, Pulveraktivkohle, Ozonbehandlung) erreicht, bei denen man durch Verfahrenskombinationen einen deutlichen Mehrwert erzielt. Die Trinkwasseraufbereitungsanlage von Luzern ist ein Beispiel. Dort werden keramische Membranen mit der Ozonanwendung kombiniert. Das Ozon bewirkt neben dem Abbau organischer Spurenstoffe eine kontinuierliche Membranreinigung, sodass sich außerordentlich hohe Membranflüsse erreichen lassen.

Gibt es Anwendungen, die technologisch schon ausgereizt, d. h. nicht weiter optimierbar sind oder gar von „disruptiven“ Verfahren abgelöst werden (z. B. durch das Nereda-Verfahren, das aufgrund der einfachen Abtrennung der Biomasse den Membranbioreaktor (MBR) zur Abwasserreinigung überflüssig machen könnte)?

Wenn es Verfahren gibt, die effizienter und effektiver für eine bestimmte Aufgabe sind als Membrananlagen, sollten sie auch angewendet werden.

Ob beispielsweise das Nereda-Verfahren in Kläranlagen die

„Wenn aber der Rückhalt multiresistenter Keime in Kläranlagen in Deutschland zur Pflicht wird, schlägt die Stunde der Membranen, ...“

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR MEMBRANTECHNIK (DGMT) E.V.

Die DGMT wurde im Jahr 2000 als Zusammenschluss von Membran- und Modulherstellern, Anlagenbauern, Consultants, Betreibern von Membrananlagen, Forschungsinstituten und interessierten Fachleuten aus verschiedenen Arbeitsbereichen gegründet, um den Einsatz der Membrantechnik in Deutschland zu fördern. Die DGMT versteht sich als unternehmensneutraler Mittler zwischen Anwendern der Membranverfahren und Fachfirmen der Membrantechnik. Die Geschäftsführung der Gesellschaft hatte seit ihrer Gründung bis zum 31. 12. 2019 Prof. Winfried Schmidt inne. Prof. Stefan Panglisch hat am 1. 1. 2020 diese Aufgabe übernommen. Die DGMT hat ihren Geschäftssitz am Zentrum für Wasser- und Umweltforschung (ZWU) auf dem Campus Essen der Universität Duisburg-Essen. Weitere Informationen: www.dgmt.org.

MBR-Anlage überflüssig macht, hängt auch vom Aufbereitungsziel ab. Wenn es das Ziel ist, zusätzlich Mikroschadstoffe zu eliminieren oder mikrobiologisch einwandfreies Wasser zu erzeugen, dann haben Membranen einfach Vorteile.

Allgemein ist die Entwicklung des MBR-Verfahrens im kommunalen Sektor in Deutschland nicht wirklich weiter voran gegangen. Das lag wahrscheinlich daran, dass zum Zeitpunkt, als MBR-Anlagen aufkamen, der Anschlussgrad an gut funktionierende Kläranlagen schon hoch war und vielerorts die Einleit-Anforderungen keine Membrananwendung notwendig machten. Das sieht in China ganz anders aus, weshalb der Markt für MBR-Anlagen dort auch entsprechend groß ist. Wenn aber der Rückhalt multiresistenter Keime in Kläranlagen in Deutschland zur Pflicht wird, schlägt die Stunde der Membranen, ob trocken aufgestellt oder mit getauchten Systemen, wird man sehen.

Zu den Membrananlagen mit spektakulären Steigerungsraten hinsichtlich Anlagenzahl und -kapazität zählen UO-Systeme zur Meerwasserentsalzung. Nicht gelöst ist dagegen der Umgang mit den dabei entstehenden Konzentraten, die größtenteils unbehandelt ins Meer zurückgeleitet werden. Kann die Membrantechnik zur Lösung beitragen und wenn ja, wie?

Die bisherigen Erfahrungen zeigen aus meiner Sicht, dass die Umweltauswirkungen der Einleitung von Konzentraten und auch der Spülwässer aus Vorbehandlung und chemischer Reinigung durch sinnvolle Standortwahl und gutes Design der Anlage zufriedenstellend minimiert werden können. Zunächst ist die Vorbehandlung durch MF/UF ein wichtiger Schritt zu Verbesserung der Umweltverträglichkeit, da dies zur Reduzierung der Menge an benötigtem Flockungsmittel oder der Anzahl notwendiger chemischer Reinigungen sinnvoll ist. Eingeleitete Konzentrate führen zwar unzweifelhaft zu einer Erhöhung der Salzkonzentration an der Einleitstelle und wenn ein nur gering verdünnter Abfluss über den Meeresboden zugelassen wird, kann sich dies negativ auf die im Sediment oder den Felsböden lebenden Organismen

auswirken. Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass sich dies durch den Einsatz von Diffusor-Systemen minimieren lässt. Um diese herum ist eine Mischzone, deren Größe und Form von der Abflussrate, der Konstruktion des Diffusor-Systems, dem Salzgehalt des Konzentrats und den vorherrschenden Meeresströmungen abhängen. Messungen des Salzgehalts und der Temperatur zur Berechnung der Wasserdichte vor und während des Betriebs der Entsalzungsanlage sowie hydrodynamische Modellierungen unterstützen dabei das optimale Design der Systeme.

Eine weitere Behandlung der Konzentrate durch Membranen oder andere Technologien ist nur dann zielführend, wenn die Salze auskristallisiert werden, da sich ansonsten die Problematik der lokalen Aufkonzentrierung an der Einleitstelle durch die höhere Konzentration nur vergrößern würden. Bei den Mengen an Salzen, die eine große Entsalzungsanlage produzieren würde, kommt man aber leicht zu dem Rückschluss, dass dies nur eine Option für kleine Anlagen wäre. Eine mögliche Lösung stellt jedoch der umgekehrte Weg, nämlich die Verdünnung des Konzentrats vor Einleitung dar, was bspw. durch eine Vorwärtsosmose (FO für forward osmosis) erreicht werden könnte. Hierbei könnte das Konzentrat als Ziehlösung (Drawsolution) genutzt werden, um ein kommunales Abwasser aufzukonzentrieren. Der Einsatz der FO ist derzeit allerdings auf meist experimentelle Anwendungen beschränkt und kostenmäßig noch nicht mit anderen Optionen konkurrenzfähig. Die beobachtete immer höher werdende Konzentration der Einleitgewässer insgesamt wird derzeit ebenfalls im Zusammenhang mit Entsalzungsanlagen diskutiert. Modellrechnungen zeigen allerdings, dass der Einfluss der Klimaerwärmung und der damit verbundenen stärkeren Verdunstung dominiert.

Produkte zur Trinkwasseraufbereitung unterliegen entsprechenden Anforderungen an die hygienische Unbedenklichkeit. Derzeit ist man dabei, die vom Umweltbundesamt erarbeiteten Leitlinien in Bewertungsgrundlagen nach § 17 TrinkWV zu überführen. Ändert sich dadurch etwas für Membranprodukte, die zur Trinkwasseraufbereitung eingesetzt werden?

Die Bewertungsgrundlagen werden erst ab dem 21. März 2021 nach einer zweijährigen Übergangsfrist verbindlich gelten. In der Übergangszeit können KTW-Prüfzeugnisse und Zertifikate entsprechend der UBA-Empfehlung zur Konformitätsbestätigung der trinkwasserhygienischen Eignung von Produkten verwendet werden. Für die Zeit danach gilt im Grunde das Gleiche. Zwar wird die KTW-Leitlinie dann zurückgezogen, aber die Bewertungsgrundlagen richten sich stark nach dieser Leitlinie aus. Für den Einsatz poröser Membranen wird das alles vermutlich nicht viel ändern, da die derzeit eingesetzten Membranen meines Wissen nach alle ein KTW-Prüfzeugnis besitzen. Die Lieferanten können recht einfach ein neues Zertifikat erlangen, wenn die Prüfung innerhalb der letzten fünf Jahre erfolgte und sich die Rezeptur sowie der Produktionsprozess nicht geändert haben. Für dichte Membranen ist die Situation leider schwieriger, da die Lieferanten aufgrund des doch sehr kleinen Marktes für dichte Membranen in der TWA in Deutschland bislang, bis auf ein einziges Produkt, auf ein KTW-Prüfzeugnis verzichten haben.



Die Trinkwasseraufbereitungsanlage der ewl energie wasser luzern wurde im Oktober 2018 in Betrieb genommen.

In vielen Fällen werden Membranprodukte eingesetzt, die kein KTW-Prüfzeugnis besitzen, dafür aber nach dem US-amerikanischen Standard NSF/ ANSI 61 zertifiziert sind. Dieser basiert auf Leaching-Tests und ist in vielen Ländern anerkannt. Möglicherweise wird dieses Zertifikat zukünftig auch vom UBA anerkannt. Ich würde dies ausdrücklich begrüßen.

Viele Forschungsarbeiten zur Membrantechnik in Wasseranwendungen werden zu „Exoten“ wie Vorwärtsosmose (FO für forward osmosis), Membrandestillation und Membrankristallisation veröffentlicht. Wie schätzen Sie deren Nutzen und Marktreife ein?

Bei allen diesen Verfahren ist im Gegensatz zur Vielzahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen die Zahl der technischen Anwendungen eher gering. Gerade bei der FO gab es einen Riesenhype, aber der Teufel liegt bekanntlich im Detail. Nach wie vor ungelöst ist das Problem der internen Konzentrationspolarisation, die zur Leistungsminderung führt. Membranen mit extrem porösen Stützstrukturen können dies verhindern, sind aber mechanisch nicht stabil genug. Andere Membranen erlauben einen zu hohen Schlupf der Ziehlösung. Und letztendlich wird der Vorteil des geringeren Energieverbrauchs der FO gegenüber der UO meistens zunichte gemacht durch die Notwendigkeit, die Ziehlösung unter Einsatz von Energie aufzubereiten. Alle diese Probleme haben zu einer Stagnation der großtechnischen Verbreitung geführt. In bestimmten Nischenanwendungen kann man Ziehlösungen einsetzen, die ohne Aufbereitung weiterverwendet oder eingeleitet werden können. Eine typische Anwendung ist die Verdünnung konzentrierter Düngemittellösungen durch Wasserentzug aus einer anderen aufzukonzentrierenden Lösung.

Auch die andere Variante der Vorwärtsosmose, die PRO (pressure retarded osmosis) zur Energiegewinnung an Stellen, an denen Süß- und Salzwasser aufeinandertreffen, konnte sich nicht durchsetzen,

weil die zu erreichende Leistungsdichte der Membranen nicht hoch genug war, um solche Systeme wirtschaftlich zu betreiben.

Unter den Membranmaterialien haben Kunststoffe den größten Anteil – macht man sich angesichts der immer größer und zahlreicher werdenden Anlagen besonders zur Meerwasserentsalzung Gedanken über ein stoffliches Recycling?

Weltweit sind Recycling und die Nachhaltigkeit der Herstellung von Membranen und Modulen wichtige Themen. Es geht zum einen darum, Herstellverfahren zu finden, bei denen weniger oder umweltfreundlichere Lösungsmittel zum Einsatz kommen. Zum anderen gibt es tatsächlich auch Beispiele für die Wiederverwendung gebrauchter Membranen: aus einer „verbrauchten“ Umkehrosmosemembran lässt sich durch Ablösen der trennaktiven, dichten Schicht eine poröse Membran zur Mikro- oder Ultrafiltration herstellen. In Deutschland gibt es mittlerweile auch ein Unternehmen, dass sich kommerziell mit der Wiederverwendung und –entsorgung von Membranmodulen befasst.

Mit welchen persönlichen Zielen treten Sie Ihren neuen Posten als DGMT-Geschäftsführer an?

Für mich steht der Transfer zwischen Forschung und Industrie an erster Stelle und ich habe das Glück, mit meinen Tätigkeiten an der Uni und beim IWW und den Mitgliedschaften in verschiedenen Gremien einen relativ breiten Themenbereich abdecken zu können. Ansonsten möchte ich die erfolgreiche Arbeit, die Herr Prof. Schmidt in den letzten 20 Jahren geleistet hat, weiterführen und – wenn möglich – die nächsten 20 Jahre das Gesicht der DGMT sein.

Herr Prof. Panglisch, alles Gute für diese Aufgabe und herzlichen Dank für dieses Gespräch.

Das Interview führte Dr. Hildegard Lyko.