

# Ultraschallreinigung von getauchten Membranen zur Aufbereitung von Trinkwasser aus Oberflächenwasser

Sonja Lauterborn<sup>1</sup>, Wilhelm Urban,<sup>1</sup> Martin Wagner<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut WAR, TU Darmstadt, 64287 Darmstadt, Deutschland, Email: s.lauterborn@iwar.tu-darmstadt.de

## Einleitung

Der Einsatz von Mikro- und Ultrafiltrationsanlagen hat in jüngerer Zeit auch im Bereich der Trinkwassergewinnung einen exponentiellen Anstieg zu verzeichnen. Eine grundsätzliche Problematik bei Membranverfahren stellen nach wie vor Fouling und Scaling an Membranoberflächen dar, die die Leistungsfähigkeit dieser in kurzer Zeit stark vermindern können, wobei für die Reinigung oft erhebliche Mengen an Chemikalien notwendig werden. Im Sinne einer nachhaltigen, umweltgerechten Entwicklung, gilt es hier neue Möglichkeiten zu entwickeln. Dass dies von wirtschaftlicher und umwelttechnischer Bedeutung ist, zeigt das von Flemming 1995 [1] genannte Beispiel einer Umkehrosmoseanlage in den USA, bei der direkte und indirekte Biofoulingkosten 30% der gesamten Betriebskosten verursachten, ganz zu schweigen von Umweltbelastungen (Abfall, Chemikalien, etc.) Ultraschallreinigungstechnik ist bereits in vielen Bereichen etabliert und wurde auch in der Membrantechnik bereits eingesetzt, wobei Membranzerstörung oft ein Problem darstellte [1-3].

Da im Bereich der Trinkwassergewinnung eine konstant gute Wasserqualität Voraussetzung ist, ist die Intaktheit der Membranen Voraussetzung und daher eindeutig zu dokumentieren. Ferner darf die Trennleistung der Membranen nicht negativ beeinflusst werden.

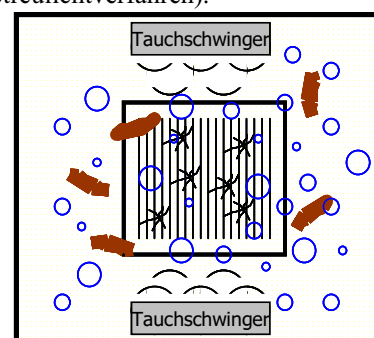
## Versuche und Versuchsaufbau




Zur Trinkwasseraufbereitung wird bei der hier vorgestellten Anwendung eine getauchte, polymere Ultrafiltrationsmembran aus dem Hause Microdyn-Nadir (Modul BC-10), Wiesbaden, verwendet. Diese Membran (Typ UP 150T) besteht in ihrer trennaktiven Schicht aus hydrophilisiertem Polyethersulfon, das Stützgewebe besteht aus PE-Fasern. Die Trenngrenze beträgt 150 kD (kiloDalton), was einer Molekülmasse von 150 g/mol entspricht oder etwa  $\varnothing$  0,03  $\mu\text{m}$  Molekülgröße. Das hält Bakterien (ca.  $0,5 \times 1,1 \mu\text{m}$ ) sicher zurück. Auch Viren (z.B. Influenzavirus,  $\varnothing$  ca.  $0,1 \mu\text{m}$ ) werden zurückgehalten. Diese Membran wird im Out/In-Betrieb mit Unterdruck betrieben. Das bedeutet, dass sich die Schmutzstoffe außen auf der Membranoberfläche ablagern und das Reinwasser (Permeat) auf der Innenseite der Membranen abgezogen wird. Beim Rückspülprozess wird die Förderrichtung der Pumpe umgekehrt und Permeat mit Druck vom Innern der Membrantasche nach außen gedrückt.

Um zu klären, bei welcher Frequenz noch eine Abreinigung erzielt werden kann, die Membran aber ohne ultraschallinduzierte mechanische Beschädigung bleibt, führte die Fa. Elma Hans Schmidbauer GmbH & Co KG in Singen Vorversuche mit entsprechendem Membranmaterial durch.

Bei 35 kHz waren nach einer Beschallungsdauer von einigen Stunden und einer Flächenleistungsdichte von  $2,9 \text{ W}_{\text{eff}}/\text{cm}^2$  im direkten Durchlicht eines Projektors mit bloßem Auge und im Mikroskop Membranzerstörungen (Löcher) erkennbar, deren Anzahl mit zunehmender Beschallungsdauer weiter zunahm. Bei 130 kHz mit gleicher Flächenleistungsdichte hingegen waren auch nach einer Beschallungsdauer von 36 Stunden keine Membranzerstörungen sichtbar. Für beide Frequenzen liegt die Ultraschall-Leistungsdichte bei dieser Anwendung oberhalb der Schwelle für transiente Kavitation. Nach 360 min Ultraschalleinwirkung ist die Membran visuell betrachtet sauber.

Die Versuchsanlage zur Aufbereitung von Oberflächenwasser (Rheinwasser) befindet sich auf dem Gelände der Wasseraufbereitungsanlage des Wasserverbandes Hessisches Ried (WHR, Geschäftsführung Hessenwasser GmbH & Co KG, Groß-Gerau/Dornheim). Sie wurde zweistraßig aufgebaut, um die Behandlung mit Ultraschall direkt mit dem Betrieb ohne Ultraschall vergleichen zu können. Zur Integritätsüberwachung der Membran wird die online-Überwachung mit einem Trübungsmeßgerät (Ultraturb, Fa. Lange) und einem Partikelzählgerät (Arti, Fa. Hach-Lange, Betreuung durch Hessenwasser) durchgeführt. Verwendet wurde bei den hier vorgestellten Versuchsreihen vorgereinigtes Rheinwasser (Vorzonung, Fällung, Flockung, Sedimentation) der Biebesheimer Anlage. Das Wasser hatte vor der Membrananlage eine Trübung von etwa 0,25 - 0,3 FNU (Abk. für Formazin Nephelometric Units, Kalibriereinheit gem. ISO 7027 für Trübungsmessungen im Streulichtverfahren).



-  = Streamer-Figur
-  = Blase der Luftrückspülung
-  = abgelöstes Deckschichtbruchstück

**Abbildung 1:** Schematische Aufsicht in den Filtrationstank der Linie 1, Anordnung zur Behandlung mit Ultraschall, während des Rückspülverfahrens.

Der Ablauf des Filtrationszyklus gliedert sich wie folgt: 30 min Filtration, 2 min Entspannungsphase der Membran (Umschalten auf Spülen), 2 min Rückspülung, 2 min

Entspannungsphase der Membran, anschließend Beginn des neuen Filtrationszyklus. Die Beaufschlagung der Membran beträgt konstant 20 l/(m<sup>2</sup>\*h). Der Unterschied im Betrieb der beiden Linien besteht in der Rückspülung. Bei Linie 1 (mit Ultraschall) wird während der ersten min Rückspülphase das getauchte Membranmodul, welches einen Abstand zum Tauchschwinger der Fa. Elma von 10 cm hat, über diese mit Ultraschall (130 kHz, sweep-mode, 100% Leistung) behandelt. Die Leistung beträgt 2000 W pro Tauchschwinger bei 2,1 W/cm<sup>2</sup> Wandlerfläche, bei zwei Tauchschwingern insgesamt. Während der zweiten Minute Rückspülphase wird die Membran mit Luftüberströmung (Eintrag am Fuße des Moduls) rückgespült (Ultraschall-Luft-Verfahren, kurz: USL-Verfahren). Die zweite Linie ohne Ultraschall wird stattdessen nur mit Luftüberströmung während beider Minuten Rückspülphase gespült.

Bei den Ergebnissen der Versuchsreihen werden zum Einen die Werte des TMP (trans membrane pressure → transmembrane Druckdifferenz) miteinander verglichen. Beim Ø TMP wird der Durchschnitt der Unterdruckwerte während der 30 minütigen Filtrationsphase gebildet:

$$Pe = Q / (A \times TMP) \quad Pe = \text{Permeabilität [l/(m}^2\text{*h*bar)]}$$

$$Q = \text{Filtratfluß [l/h],}$$

$$A = \text{Membranfläche [m}^2\text{]}$$

$$TMP = \text{transmembrane Druckdifferenz [bar]}$$

Da die Viskosität des Wassers bei Membrantrennprozessen eine große Rolle spielt, ist es zur Vergleichbarkeit der Daten in der Membrantechnik üblich, die Werte auf eine Temperatur von 20°C zu normieren. Für einen Temperaturbereich von 5-25°C gilt:

$$Pe_{20} = 1,71 \times e^{(-0,026 \times T)} \times Pe$$

Pe = Permeabilität [l/(m<sup>2</sup>\*h\*bar)]

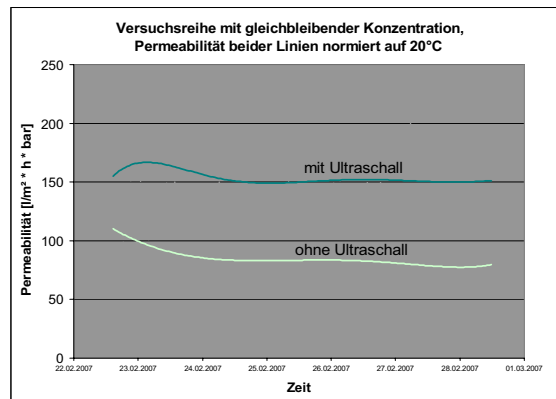
T = Wassertemperatur [°C].

Vereinfacht heißt das: Ändert sich die Wassertemperatur um 1°C, muss die Permeabilität um 3% korrigiert werden.

## Ergebnisse

Die hier vorgestellte **Versuchsreihe** lief ab 22.2.2007 bis heute, wird aber hier nur bis 28.2.2007 ausgewertet. Dabei werden beide Linien mit einer konstanten Verschmutzung von etwa 12 FNU ohne weitere Aufkonzentration von Verunreinigungen betrieben. Nach 24 h Laufzeit im Vergleich beider Linien ergab sich eine um 82% höhere Leistung bei der mit dem USL-Verfahren behandelten Linie, nach 6 Tagen Laufzeit bereits eine um 92% höhere Permeatleistung. Trotz unregelmäßiger Abreinigungsschübe war die Qualität des gewonnenen Permeates stets gleichbleibend einwandfrei. Dies ist dokumentiert durch die Trübungsmessung sowie über die Partikelzählung. Der hier sichtbare Unterschied zwischen den beiden Linien am Beginn ist dadurch bedingt, dass im Lauf zuvor, der der Aufkonzentration (von ca. 0,3 bis 12 FNU) in den Filtrationstanks diente, die Linie 1 auch hier schon mit Ultraschall betrieben wurde. Bei vorhergehender manueller

vollständiger Entfernung der Deckschichten am 15. November 2006 liefen beide Membranen im gleichen Unterdruck. Allerdings ließ sich feststellen, dass die manuelle Abreinigung der Deckschicht bei der mit Ultraschall behandelten Membran wesentlich leichter fiel.



**Abbildung 2:** Die Permeabilität der Linie 1 mit US zeigt nach 6 Tagen Laufzeit eine um 92% höhere Leistung gegenüber der nur mit Luftüberströmung rückgespülten Linie 2.

## Schlussfolgerung und Ausblick

Es zeigte sich, dass sich die Anlage mit dem kombinierten Ultraschall-Luft-Verfahren über Monate (hier nicht gezeigt) stabil und chemikalienfrei betreiben lässt und es seltener zu Anlagenausfällen kommt. Durch die um 92% erhöhte Steigerung der Permeabilität wird bei technischen Anwendungen fast nur die Hälfte der ansonsten benötigten Membranfläche erforderlich und damit verbunden nur ca. die Hälfte an umbautem Raum. Die Integrität der Membranen wurde bei dieser Anwendung bewiesen, auch die Permeatqualität war stets gleichbleibend gut. Als nächste Aufgabenschritte sind die Berechnung der Energiebilanz, sowie die Beaufschlagung der Membranen mit unvorbehandeltem Rohwasser aus dem Rhein vorgesehen.

Unser **besonderer Dank** für die gute Unterstützung geht an die Firmen Elma Hans Schmidbauer GmbH & Co KG in Singen, das Dritte Physikalische Institut der Universität Göttingen, die Fa. Samsomatic GmbH in Frankfurt, die Mitarbeiter des Wasserwerks Biebesheim der Hessenwasser GmbH & Co KG, Groß-Gerau/Dornheim, sowie die Fa. Microdyn-Nadir GmbH in Wiesbaden.

## Literatur

- [1] Flemming, H.-C.: Biofouling bei Membranprozessen. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1995
- [2] Muthukumar et al: The use of ultrasonic cleaning for ultrafiltration membranes in the dairy industry. Separation and Purification Technology 39, S. 99-107, (2004)
- [3] Kyllönen et al: Experimental aspects of ultrasonically enhanced cross-flow membrane filtration of industrial wastewater. Ultrasonics Sonochemistry 13, S. 295-302, 13 (2006)