

Energieoptimierte, ultraschallunterstützte Membranreinigung bei der Ultrafiltration von Oberflächenwasser

Sonja Lauterborn, Wilhelm Urban,

Institut WAR, TU Darmstadt, 64287 Darmstadt, Deutschland, Email: s.lauterborn@jwar.tu-darmstadt.de

Einleitung

Das Fouling-Problem, d.h. die irreversible Deckschichtbildung auf Membranoberflächen, die zu starken Leistungsverlusten bis zur Unbrauchbarkeit von Membranen führt, ist ein Problem bei Membranverfahren, dem nach wie vor in der Regel mit Chemikalien entgegengewirkt wird. In vielen Bereichen, gerade auch im Bereich der Trinkwasseraufbereitung, kann dies aber problematisch sein. Die Anwendung von Ultraschall bei Membranen zwecks chemikalienfreier Reinigung und Leistungsstabilisierung wurde auch in der Vergangenheit getestet. Das Problem lag hier aber immer wieder in der Zerstörung der Membranen [1]. Daher wurde bei den Versuchen der TU Darmstadt eine ständige online-Kontrolle mit Trübungsmeßgerät und Partikelzählgerät neben chemisch-mikrobiologischen Untersuchungen des Permeates, sowie Blasen- und Lufthaltetest am Ende der Versuche bei den Membranen durchgeführt. Es konnte gezeigt werden (bereits bei der Daga 2007 berichtet), dass es möglich ist, die Leistungsfähigkeit der Membranen mit ultraschallunterstützter Reinigung dauerhaft zu erhalten, ohne die Membran zu zerstören oder ihren Rückhalt nachteilig zu beeinflussen [2], [3].

Die Versuchsanlage und das USL-Verfahren

Die Versuchsanlage (Standort Rheinwasseraufbereitungsanlage Biebesheim), an der die ultraschallunterstützten Reinigungsverfahren getestet wurden, ist zweistraßig aufgebaut. Das dient dem direkten Vergleich der Leistungsfähigkeit zwischen den Membranen, die keine Ultraschallbehandlung erhalten mit denen, die ultraschallunterstützt gereinigt werden. Die verwendeten Membranen stammen aus dem Hause Mikrodyn-Nadir (Modul BC-10) und bestehen aus hydrophilisiertem Polyethersulfon mit einer Trenngrenze von 150 kD (entsprechend etwa 0,03 μm). Das Membranmodul besteht aus parallel angeordneten Membrantaschen (Flachmembranen) mit innenliegendem Stützgewebe, aber ohne Membranplatte. Das Membranmodul ist direkt im Rohwasser des Filtrationstanks eingehängt, der Schmutz sammelt sich also auf der äußeren zugänglichen Seite der Membran (Out/In-Betrieb). Im Filtrationsmodus wird das Permeat im Unterdruck abgezogen, während der Rückspülung, die der Ablösung der Deckschicht auf der Membran zwecks Permeabilitäts-erhaltung dient, wird eine geringe Menge mit wenig Überdruck von der Innenseite der Membrantaschen zur Außenseite gedrückt.

Das als USL-Verfahren bezeichnete Verfahren (Abb. 1) steht für „kombiniertes Ultraschall-Luft-Rückspülverfahren“. Bei diesem Verfahren wird der Ultraschall in der ersten Phase der Permeatrückspülung eingeschaltet, in der zweiten Phase der Permeatrückspülung ist er abgeschaltet und stattdessen erfolgt die Überströmung der Membranoberflächen mit

Luftblasen. Es ließ sich feststellen, dass nur in der hier beschriebenen Abfolge das Reinigungsziel erreicht werden kann. Weder die alleinige Überströmung mit Luftblasen (Vergleichsmembran) noch die alleinige Behandlung mit Ultraschall konnten ein annähernd vergleichbares Ergebnis erzielen. Bei der hier angewandten Frequenz von 130 kHz und einer Leistung von 2,1 W/cm² Wandlerfläche konnten keine Schäden in Form von Löchern festgestellt werden.

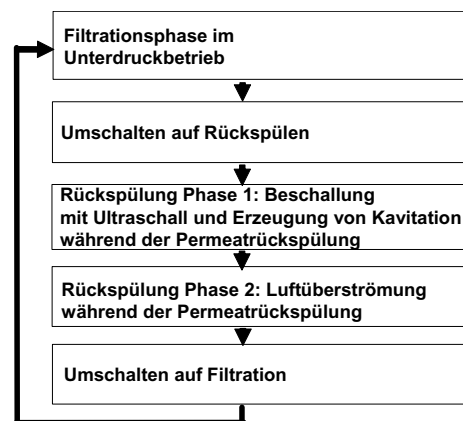


Abbildung 1: Schematischer Ablauf des USL-Verfahrens.

Ergebnisse der Versuchsreihen

Die zunächst durchgeführte **Versuchsreihe mit konstanter Verschmutzung** und USL-Verfahren bei Verwendung von 130 kHz zeigte bereits nach 6 Tagen eine um 92 % und nach 13 Tagen Laufzeit eine um 96% höhere Permeabilität. Die Trübungswerte (gemessen in FNU) zeigten gleichbleibend niedrige Werte, die Partikelzahlen wurden innerhalb der Versuchsreihe sogar geringer. Zu bemerken ist, dass sich bei diesen Membranen durch den vorigen Betrieb eine Deckschicht gebildet hatte, die auch im Verlauf der Ultraschallbehandlung nicht vollständig abgereinigt wurde. Die **Anwendung des USL-Verfahrens mit 35 kHz** anstelle der Frequenz von 130 kHz zeigte hingegen keinerlei Permeabilitätsverbesserung, die Zunahme der transmembranen Druckdifferenz entsprach hier der ohne Ultraschallbehandlung. Weiterhin zeigten sich hohe Rückspülpeaks mit einer Qualitätsverschlechterung des Permeates. Diese Vorgänge waren jedoch reversibel, bei Abschalten der 35 kHz und Wiedereinsatz von 130 kHz wurde die Permeatqualität wieder besser. Ein Modellversuch des DPI der Universität Göttingen konnte zeigen, dass sich bei 130 kHz Kavitationsblasenfelder im Innern zwischen den Membrantaschen ausbilden, die für den Reinigungserfolg verantwortlich sind. Bei 35 kHz hingegen bilden sich keine Kavitationsblasenfelder zwischen den Membrantaschen aus, lediglich auf den Außenseiten ist ein Angriff möglich. Bei der **Versuchsreihe mit variabler**

Beschallungsdauer wurde deutlich, dass mit der halben Beschallungsdauer während der Rückspülphase, das gleiche Reinigungsergebnis erzielt werden konnte, wie mit der doppelten Zeit. Hiermit sind 50% an Energie eingespart. Bei der **USL-Behandlung bereits deutlich verschmutzter Membranen** ließ sich feststellen, dass mit 100% der hier eingesetzten Leistung kein markanter Permeabilitätsanstieg zu verzeichnen war. Dennoch konnte die Membran dauerhaft auf demselben Niveau betrieben werden. Hier erfolgte kein rascher Ausfall der Linie infolge Erreichen des maximalen Unterdruckes. Eine erst zweieinhalb Monate in Betrieb befindliche Membran mit geringem Verschmutzungsgrad zeigte bei intensiver USL-Behandlung wieder einen Anstieg der Permeabilität. Hierbei erfolgte eine schrittweise Steigerung der Beaufschlagung (20 l/(m² h), 30 l/(m² h), 40 l/(m² h)) und eine langsame Steigerung der Filtrationsdauer beginnend mit 3 min über 5, 10 und 15 min auf 30 min. Hier war zunächst noch keine Steigerung der Permeabilität erkennbar, erst bei einer weiteren Verkürzung der Filtrationsdauer auf wiederum 15 min zeigte einen dauerhaften Anstieg der Permeabilität. Es zeigte sich aber auch hier, dass das Niveau einer neuwertigen Membran nicht erreicht wird. D.h. vorher nicht eingesetzter Ultraschall lässt sich nachfolgend nicht vollständig kompensieren. Bei **Versuchen mit Neuen Membranen** zeigte sich, dass gerade bei geringer Verschmutzung mit sehr feinen Partikeln der Unterschied der mit USL-Verfahren behandelten Membran gegenüber der anderen umso größer ist. So waren bei der neuen Membran bei einer Beaufschlagung von 50 l/(m² h) Permeabilitäten von über 900 l/(m² h bar) mit Ultraschall möglich (Abb. 2). Da zu hoher Leistungseinsatz des Ultraschalls bei einer bereits sauberen Membran zu höheren Rückspülpeaks führt und damit zu einer Qualitätsverschlechterung des Permeates, wurde bei diesem praktisch sauberen Wasser die Leistung des Ultraschalleinsatzes um 50% reduziert. Man sieht zunächst, dass hier nicht die gleiche Permeabilität erreicht wird, aber die erhöhten Rückspülpeaks verschwinden sofort. Weitere Versuche mit unterschiedlicher Leistung zeigten, dass auch mit 50% Leistung des eingesetzten Ultraschalls ein dauerhaft konstanter Betrieb bei geringem Verschmutzungsgrad des Rohwassers erzielt werden kann, 25% der Leistung aber in jedem Fall nicht ausreichen. Dies bewirkt eine weitere **Energieersparnis**. Zusätzlich zur Leistungsreduzierung kommt die bei den neuwertigen Membranen höhere Flächenbeaufschlagung dazu. Somit wird in diesem Fall für den Ultraschall ein Energieeinsatz von nur 0,07 kWh/m³ Permeat erforderlich, gegenüber einem Bedarf von 0,33 kWh/ m³ Permeat bei den vorigen Versuchsreihen (Versuchsreihe mit konstanter Verschmutzung). Die **Filtration mit unvorbehandeltem Rohwasser** (100 FNU) zeigte bei einer Flächenbeaufschlagung von 40 l/(m² h) auch mit USL-Verfahren sehr schnell ihre Grenzen. Ein erneuter Versuch mit einer Beaufschlagung von nur 20 l/(m² h) zeigte aber, dass auch bei einer hohen Rohwasserverschmutzung mit USL-Verfahren ein stabiler Betrieb möglich ist ohne jegliche weitere Hilfsmittel, wie etwa Chemikalien.

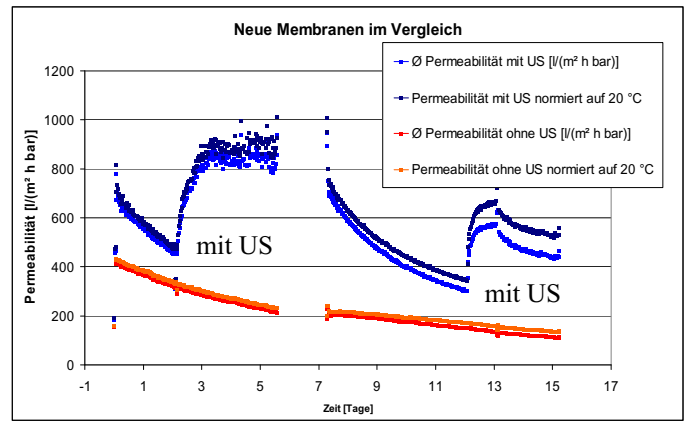


Abbildung 2: Bei den neuen Membranen sieht man deutlich, wann mit Ultraschall rückgespült wird und wann nicht (Anstieg der blauen Kurven). Gerade bei einer sehr feinen Belagsschicht zeigt das USL-Verfahren ein hohes Leistungsplus.

Schlussfolgerung und Ausblick

Es zeigte sich, dass die Frequenz zum Abstand der einzelnen Membrantaschen passen muß, um Reinigungsfunktion zu erhalten. Um die Permeabilität der Membran in einem stets guten Zustand zu erhalten, sollte bei vollständigem Verzicht auf Chemikalien von Anfang an Ultraschall dosiert eingesetzt werden. Der erforderliche Energieeinsatz hängt entscheidend von der Qualität des zu filtrierenden Wassers ab. Mit dem USL-Verfahren können Membranen dauerhaft chemikalienfrei mit einer guten Permeabilität betrieben werden. Es ergeben sich keine Schäden an der Membran, bei den hier vorgestellten Materialien. Um eine optimale Qualität des Permeates, wie auch eine weitestmögliche Energieeinsparung zu gewährleisten, ist es notwendig den Ultraschalleinsatz den jeweiligen Verhältnissen von Membranzustand und Rohwasserbeschaffenheit anzupassen.

Unser 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] Masselin et al.: Effect of sonication on polymeric membranes. In: Journal of Membrane Science 181 (2001). S 213-220.
- [2] S. Lauterborn et al.: Ultraschallreinigung von getauchten Membranen zur Aufbereitung von Trinkwasser aus Oberflächenwasser. In: Fortschritte der Akustik - DAGA 2007 Stuttgart, DEGA Berlin 2007. S.123.
- [3] Lauterborn, S., Urban, W.: Ultraschallbehandlung getauchter Membranen zur Trinkwasseraufbereitung aus Oberflächenwasser. In: 7. Aachener Tagung Wasser und Membranen, Aachen 2007, Beitrag W16.