

Filtermembranreinigung durch Ultraschallkavitation – Anwendung in der Trinkwasseraufbereitung

Sonja Lauterborn

64354 Reinheim, E-Mail: S.Lauterborn@gmx.de

Einleitung

Filtermembranen trennen Feststoffe, z.B. in Wasser gelöste, suspendierte Partikel aus der Lösung ab. Dadurch entsteht auf der einen Seite ein sauberes Permeatprodukt, auf der anderen Seite werden Stoffe zurückgehalten. Dieses Verfahren kann ebenfalls für andere als wässrige Lösungen eingesetzt werden, so auch für spezialisierte, industrielle Anwendungen. Ziel kann dabei die gereinigte Flüssigkeit sein oder auch im selteneren Fall die Rückgewinnung von sich in einer Lösung befindlichen Stoffen. Allen diesen Membranverfahren gemeinsam ist, dass sich die Partikel und sonstigen Stoffe auf den Membranoberflächen ablagern. Um den Prozess nicht unnötig zu limitieren bzw. den Membranfluss nicht vollständig zum Erliegen zu bringen, ist es notwendig die Filtrerrückstände abzutragen. In bewährten Verfahren erfolgt dies durch Rückspülungen von der Permeatseite der Membran her, also dem umgekehrten Membranfiltrationsprozess. Zusätzlich kann bei sog. out/in betriebenen Membranverfahren (bei denen sich die Deckschicht auf der von außen zugänglichen Membranseite befindet) mit Luftblasen überströmt werden, deren Scherwirkung ebenfalls zum Abtrag der Deckschicht führt. Dennoch reicht dies oft nicht aus, so dass die Membranen traditionell von Zeit zu Zeit mit Chemikalien behandelt werden müssen. Dies setzt die Außerbetriebnahme der Membran voraus und ist mit einer meist kostenintensiven Entsorgung der Rückstände verbunden. Um dies zu vermeiden wurde bereits in früherer Forschung versucht, die Membranen mit Hilfe von Ultraschall zu reinigen. Ein häufiges Problem war jedoch, dass die Membranintegrität nicht sichergestellt werden konnte, es also immer wieder zu Schäden kam. Weiterhin sagte man Ultraschallanwendungen nach, dass sie zu energieaufwändig seien. Bei der hier vorgestellten Anwendung wurde darauf ein besonderes Augenmerk gelegt. Das Verfahren ist effektiv und ohne die vorgenannten Nachteile.

Konzept des Reinigungsverfahrens

Für die erfolgreiche Anwendung ist es notwendig ein geeignetes Membranmodul auszuwählen, sowie eine passende Anordnung zu den Ultraschallwandlern. Der Einsatz des Ultraschalls muss bei geeigneten Werten der Parameter **Frequenz**, **Intensität** und **Beschallungsdauer** ausgeführt werden. Schließlich muss das Verfahren in den Prozessablauf integriert werden.

Für das eingesetzte Verfahren wurden frei in den Filtrationsbehälter eingetauchte, parallel angeordnete Flachmembranen verwendet, die im Unterdruck und out/in betrieben wurden. Die schallabstrahlende Fläche der frei in

den Filtrationstank eingehängten Ultraschalltauchwandler befindet sich senkrecht zu den Membranen. Die Schalleinstrahlung verläuft dabei parallel zu den Membranoberflächen. Bei der Frequenz ist darauf zu achten, dass diese hoch genug gewählt wird, damit eine halbe Schallwellenlänge zwischen die Membranen passt und damit die Möglichkeit besteht, dass sich zwischen den Membrantaschen ein Kavitationsblasenfeld ausbilden kann. Die Intensität muss hoch genug sein, damit die Kavitationsschwelle überschritten wird. Die Beschallungsdauer muss so kurz wie möglich sein, damit das Verfahren energetisch sparsam ist und damit wirtschaftlich interessant bleibt. In den Prozessablauf wird das kombinierte Ultraschall-Luft-Rückspülverfahren (kurz: USL-Verfahren) wie folgt integriert: Filtration, Pause, Rückspülung Phase 1 mit kavitationserzeugendem Ultraschall, Rückspülung Phase 2 mit Luftblasenüberströmung, Pause, Filtration. Die Anordnung als Aufsicht in den Filtrationstank zeigt Abbildung 1.

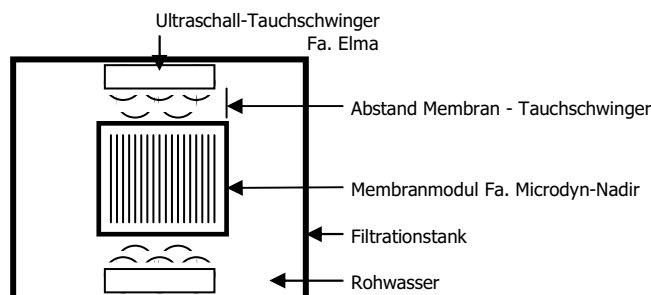


Abbildung 1: Ansicht der Versuchsanordnung

Das Verfahren wurde in einer zweistraßig aufgebauten Versuchsanlage, die mit realem Oberflächenwasser betrieben wurde, erprobt. Die beiden parallel laufenden Versuchstraßen unterschieden sich lediglich dadurch, dass einer der Filtrationstanks mit Ultraschalltauchschwingern ausgestattet ist. So ist bei identischen Rahmenbedingungen der Effekt, der nur durch den Ultraschall erzeugt wird, eindeutig erkennbar. Die mit Ultraschall betriebene Linie wurde mit einer online Trübungsmessung versehen, um die Membranintegrität zu überwachen.

Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass, sobald der Ultraschall im kombinierten Verfahren mit einer Beschallungsdauer von nur 30 bzw. 15 s eingesetzt wird, die Permeabilität um ein Vielfaches höher ist, als bei der Vergleichslinie. Die eingesetzten Flachmembranen haben in diesem Fall einen Abstand von 1,25 cm zueinander. Dazu wurde die Frequenz von 130 kHz eingesetzt und eine Leistung von 4000 Watt,

entsprechend $2,1 \text{ Watt/cm}^2$ auf der Wandlerfläche. Dadurch konnte sich ein Kavitationsblasenfeld zwischen den Membranen ausbilden. Versuche zeigten, dass dies bei 35 kHz nicht möglich ist, da hier die halbe Schallwellenlänge nicht zwischen die Membrantaschen passt. Wird der Ultraschall ausgeschaltet, sinkt die Permeabilität wieder ab und nähert sich der Vergleichslinie an. Schaltet man den Ultraschall wieder ein, erhöht sich die Permeabilität wieder sprunghaft, jedoch nicht vollständig bis zum Ausgangsniveau. Nicht eingesetzter Ultraschall kann also so nicht vollständig kompensiert werden. Das Verfahren funktioniert auch mit nicht vorgereinigtem Wasser einer Trübung von 80 FNU und mehr. Auch die sichtbaren sprunghaften Anstiege sind keine Membranschädigungen, was die Online-Trübungsmessung beweist [1]. Zwei positive Eigenschaften verbindet die Ultraschallreinigung miteinander: die Erhöhung der Permeabilität und die Verbesserung der Permeatqualität. Durch die Erhöhung der Permeabilität kann bei eingestellter Literleistung auch Pumpenergie eingespart werden. Je nach Verschmutzungsgrad des Wassers beträgt der für den Ultraschalleinsatz aufzuwendende Energiebeitrag $0,034 \text{ kWh/m}^3$ Permeat bis $0,168 \text{ kWh/m}^3$ Permeat. Zum Vergleich werden bei konventioneller Wasseraufbereitung allein für die Ozonung $0,5 \text{ kWh/m}^3$ Wasser aufgewendet. Die Wasserqualität, angegeben als Trübungswerte in FNU, entsprechen dabei denen konventioneller Wasseraufbereitung nach Fällung, Flockung, Sedimentation, Ozonung, Mehrschichtfiltration und Aktivkohlefiltration.

Der **Reinigungsmechanismus** dieser Form der Ultraschallreinigung funktioniert über Kavitationsblasen, die sich zwischen den Membranen ausbilden (Abbildung 2). Da die Membran eine niedrigere Schallkennimpedanz aufweist als das zu reinigende Wasser befinden sich im Stehwellenfeld die Schallknoten auf den Membranoberflächen, die Schallbäuche in den Membranzwischenräumen. Durch die primäre Bjerkneskraft ordnen sich kleine Kavitationsblasen unterhalb ihrer Resonanzfrequenz im Bereich der Schallbäuche an. Durch die sekundäre Bjerkneskraft vereinigen sich die Blasen und wachsen, bis sie ihre Resonanzgröße erreicht haben. In diesem Augenblick wandern sie langsam, gedämpft durch das Medium Wasser, zu den Schallknoten auf den Membranoberflächen. Dort oszillieren sie im Schallfeld und „knabbern“ dabei gleichsam die Deckschicht auf den Membranen ab [2]. Die Reinigung erfolgt hier also über **weiche Kavitation**. Das erklärt auch das Unterbleiben jeglicher Schädigungen der Membranen. Auch im dreijährigen Dauerbetrieb wurden die Membranen nicht durch Ultraschalleinsatz geschädigt, was über Trübungsmessung, Partikelzählung, chemisch-mikrobiologische Analysen, sowie Blasentests bewiesen wurde.

Ausblick

Der Einsatz des kombinierten Ultraschall-Reinigungsverfahrens erweist sich in oben aufgeführter Konfiguration als erfolgreich in jeglicher Hinsicht. Durch die Überlegenheit des Verfahrens bei der Filtration von Oberflächenwasser ist es denkbar, dass sich neuartige,

industrielle Trennverfahren realisieren lassen und sich dadurch neue Anwendungsfelder ergeben. Ferner können bestehende Prozesse unter Vermeidung chemischer Rückstände deutlich optimiert werden.

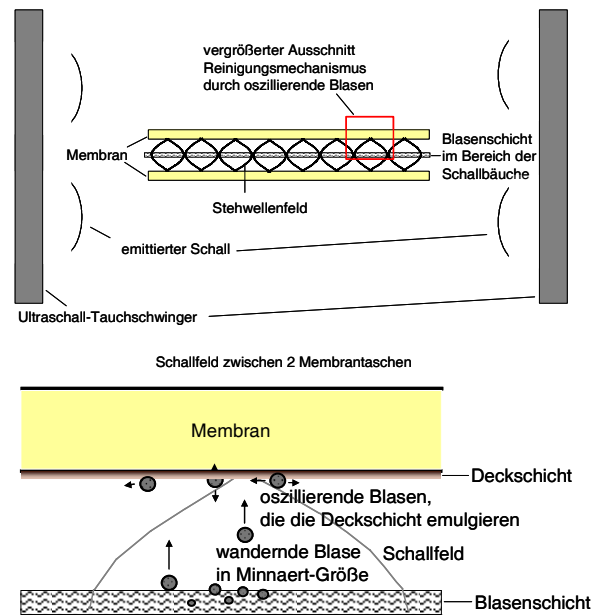


Abbildung 2: Reinigungsmechanismus

Interessant wäre zu untersuchen, inwieweit ein solches Verfahren bei keramischen Membranen einsetzbar wäre und ob diese in jedem Fall schallhart reagieren. Interessant und von großer, wirtschaftlicher Bedeutung wäre der Einsatz des Verfahrens in der Umkehrosmose. Durch die hohen erforderlichen transmembranen Druckdifferenzen ist dieses Verfahren jedoch nur im Überdruckbetrieb möglich. Somit wird es aufwändig sein eine entsprechende Konfiguration zu finden. Eine Chance ergibt sich jedoch dadurch, dass der Ultraschall in der filtrationsfreien Phase eingesetzt wird, bei der geringe transmembrane Druckdifferenzen eingestellt werden können. Das Verfahren kann auch mit Hilfe von Solar- und Windenergie sowie Akkumulatoren betrieben werden. Damit ist es auch abseits von Infrastruktur einsetzbar und kann daher beispielsweise für die Trinkwasserversorgung in entlegenen Gebieten eingesetzt werden.

Mein **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] Lauterborn, S. Urban, W.: Ultrasonic cleaning of submerged membranes for drinking water applications. Proceedings Acoustics 08 Paris, Société Française d'Acoustique (ed.) 90 (2008) 2603-2608.
- [2] Reuter, F., Mettin, R., Lauterborn, W.: Pressure fields and their effects in membrane cleaning applications. Proceedings Acoustics 08 Paris, Société Française d'Acoustique (ed.) 90 (2008) 579-584.