

Membranreinigung mit Ultraschall

Fabian Reuter¹, Robert Mettin, Werner Lauterborn

Drittes Physikalisches Institut, Universität Göttingen,
Friedrich-Hund-Platz 1, 37077 Göttingen, Deutschland,

¹Email: freuter@physik3.gwdg.de

Einleitung

Die Ultraschallreinigung an einem getauchten Polymermembranmodul zur Trinkwasseraufbereitung wird in einem Laboraufbau untersucht. Verantwortlich für die Ultraschallreinigung sind hauptsächlich die Wechselwirkungen kollabierender Kavitationsblasen und dadurch resultierender Mikroströmungen mit einer Grenzfläche. Das Schallfeld ist einerseits ursächlich für Blasenbildung und Blaskollaps und bildet andererseits Blasenbewegungen und Kollapse, zum Beispiel durch Kavitationsrauschen, ab. Daher wird hier das Schalldruckfeld mit einem Hydrophon vermessen und spektral ausgewertet. Insbesondere wird eine Erklärung geliefert, warum in Versuchen mit einem Membranmodul dieses Typs Reinigungswirkung bei 130 kHz, nicht jedoch bei 35 kHz Ultraschall erzielt werden konnte [1].

Aufbau

Die Untersuchungen werden an einem in kleiner Sondergröße (DIN-A4) gefertigten, getauchten Flachmembranmodul von Microdyn-Nadir durchgeführt. Aufgebaut ist es aus Polyethersulfon Membranen des Typs UP-150, ihre Permeativität wird zu 150 kD angegeben. Das Membranmodul ist in einem flexiblen Aufbau so in ein Wasserbecken aus Glas gehängt, dass die trennaktiven Oberflächen auf der Außenseite optisch zugänglich sind (Abb. 1). Eine Deckschichtbildung auf der Membran wird durch Absaugen des Permeats aus dem Membranstapelmodul unter konstanten Transmembrandrücken TMP zwischen 100 und 400 mbar erreicht. Im Abstand von einigen Zentimetern befindet sich ein Ultraschall-Tauchschwinger der Fa. Elma (Singen). Dieser wird mit 130 kHz oder 35 kHz Festfrequenz betrieben. Zwischen den Membrantaschen wird ein Hydrophon (Reson TC4038) und ein Temperatursensor (PT-100) über Schrittmotoren in einer Ebene verschoben. Das bandpassgefilterte Hydrophonsignal (Grenzfrequenzen: 0.1Hz und 1.25MHz) und die Temperatur werden durch einen PC über ein Oszilloskop aufgezeichnet.

Frequenzabhängigkeit im Schallausbreitungsverhalten

Damit die Membranen abgereinigt werden können, muss der Ultraschall möglichst gleichmäßig die Membranoberflächen erreichen. Daher kommt dem Ausbreitungsverhalten durch das Membranmodul Bedeutung zu, welches im Folgenden untersucht wird. Hierfür wird zunächst ein einfaches, zweidimensionales Modell des Membran-

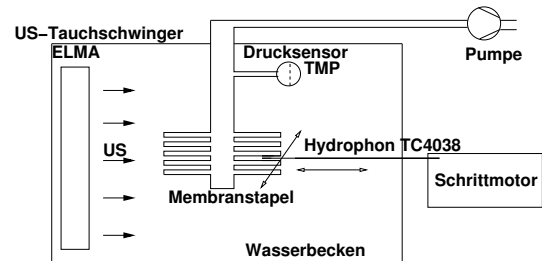


Abbildung 1: Skizze des Versuchsaufbaus (Aufsicht).

moduls entwickelt, in dem die Membranzwischenräume als Wellenleiter der Breite d im freien Raum aufgefasst werden können (Abb. 2). Die Membranimpedanz Z_M ist klein verglichen mit der des Wasser Z_W , daher ist es zur analytischen Betrachtung sinnvoll, die Membranen als schallweiche Begrenzung des Wellenleiters aufzufassen. Dies erfordert ein Verschwinden des Schalldrucks an den Membranflächen und hat zur Folge, dass eine Welle nur ab einem bestimmten Membranabstand bzw. oberhalb einer Grenzfrequenz f_c ausbreitungsfähig ist. Die vier Leiter in Abb. 2 sind dann entkoppelt. Für die Grenzwellenlänge gilt $\lambda_c = 2d$, und für die Grenzfrequenz entsprechend Gleichung (1) (s. z.B. [2]).

$$f_c = \frac{c}{2d} \quad (1)$$

Mit der Schallgeschwindigkeit $c = 1484 \frac{m}{s}$ von Wasser bei 20°C und dem gegebenen Membranabstand von $d = 8 \text{ mm}$ erhält man dann für die Grenzfrequenz

$$f_c = 92.8 \text{ kHz.} \quad (2)$$

Abbildung 3 zeigt entsprechende Ergebnisse einer FEM-Simulation bei 80 kHz und 130 kHz.

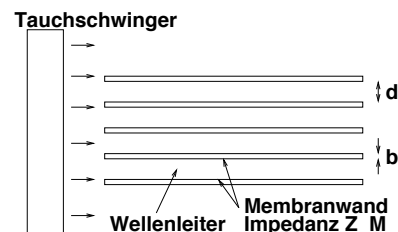


Abbildung 2: Wellenleitermodell des Membranmoduls.

Messungen

Entsprechend des im vorherigen Abschnitt Gesagten breitet sich US bei 130 kHz durch das Membranmo-

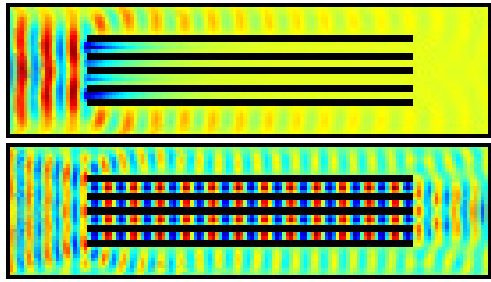


Abbildung 3: FEM-Rechnungen, 80kHz (o), 130 kHz (u).

dul aus, und es können sich membranparallele Ebenen aus Blasen im resultierenden Stehwellenfeld ausbilden. Sie sind durch die roten Pfeile im rechten Bild von Abb. 4 markiert. Im Gegensatz dazu sind im linken Bild bei 35 kHz keine Blasen in dem Modul erkennbar. Allerdings treffen Streamer offenbar direkt auf die äußere Membranwand auf. Dies birgt potenziell die Gefahr einer Beschädigung der Membran, ohne jedoch den gewünschten gleichmäßigen Reinigungseffekt zu erzielen.

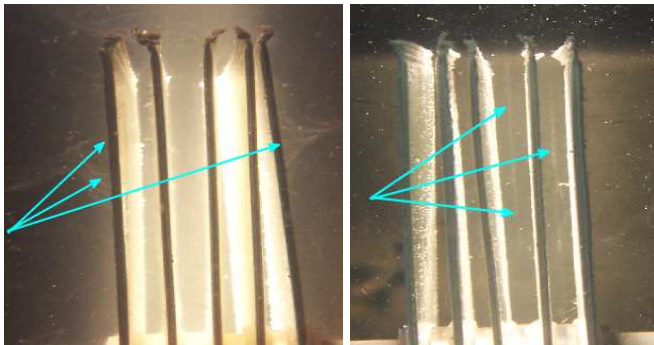


Abbildung 4: 35 kHz (l), 130 kHz (r), Blick durch das Membranmodul in Richtung auf den Tauschswinger (s. Text).

Die mit dem Hydrophon erhaltenen räumlichen Verteilungen der Schalleistungen bezüglich ihrer treibenden Frequenz lassen sich aus Abb. 5 ersehen. Das untere Bild zeigt das Feld bei 35 kHz, das obere bei 130 kHz. Man erkennt sofort, dass bei 35 kHz kaum Schalleistung in das Membranmodul, dessen Ränder durch die rote Linie markiert sind, eingekoppelt werden kann — im Einklang mit obiger Theorie. Die Stärke des 130 kHz Schallfeldes im Membranmodul schwankt allerdings von Messung zu Messung und kann dabei noch deutlich von verschiedenen Parametern wie Gasgehalt (wohl besonders an der Filteroberfläche) und Temperatur abhängen.

Weiterhin lässt sich feststellen, dass die Harmonischen einer räumlichen Verteilung folgen können, die nicht ohne weiteres aus dem Feld der Anregenden folgt. So ist in Abb. 6 nur die Leistung der 2. Harmonischen von der oberen Messung aus Abb. 5 um 260 kHz sichtbar gemacht. Es sticht vor allem der hohe, durch Pfeil markierte Schalldruck an der Filtergrenze hervor. Hier ist eine typische Situation dargestellt, in der sich ein Blasencluster in der Nähe der Filternähte aufhält. Er erzeugt breitbandiges hochfrequentes Rauschen und deutet auf starke Kavitationsaktivität hin. Außerdem lässt sich feststellen, dass der Schalldruck bezüglich der 2. Harmonischen zwischen

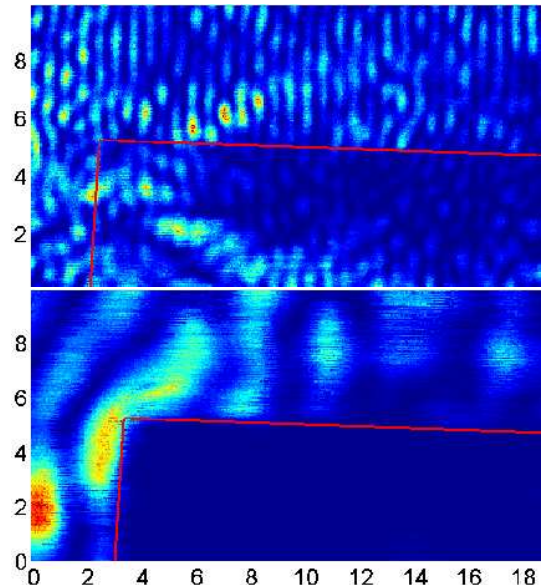


Abbildung 5: Farblich kodierte räumliche Verteilung der Gesamtschalleistung; Achsenmaß in cm. Beschallung 35 kHz (u) und 130 kHz (o), Filtermembran rechts unten, begrenzt durch rote Linie. Der Schwinger steht links, senkrecht zur Papierebene.

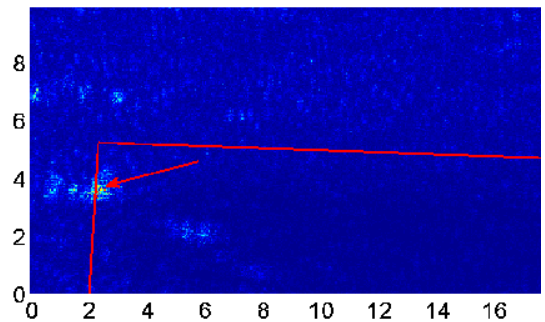


Abbildung 6: Leistung der 2. Harmonischen von Abb. 5 oben.

den Filtermembranen relativ schwach ist und ca. 35% niedriger liegt als außerhalb.

Diskussion

Die Schallfeldvermessung zeigt, wie wichtig eine Abstimmung der verwendeten Ultraschallfrequenz auf die Geometrie und auf akustische Reflexionseigenschaften des Reinigungsguts ist. Es bleiben noch Impedanzveränderungen durch Deckschichtbildung zu untersuchen. Außerdem deuten die Ergebnisse darauf hin, dass mit verschiedenen spektralen Maßen unterschiedliche Kavitationsaktivität abgebildet werden kann.

Literatur

- [1] S. Lauterborn, laut persönlicher Mitteilung
- [2] E. Meyer und R. Pottel, Physikalische Grundlagen der Hochfrequenztechnik, Vieweg Braunschweig 1969, S. 164