

Bestimmung von stationären Schallfeldern in Ultraschall-Durchflussreaktoren

Rafael Piscoya¹, Martin Ochmann¹, Jonas Möhrcke², Rainer Jung²

¹ Beuth Hochschule für Technik Berlin, 13353 Berlin, E-Mail: piscoya@beuth-hochschule.de

² BANDELIN electronic GmbH & Co. KG, 12207 Berlin

Einleitung

Ultraschall-Durchflussreaktoren werden zur Unterstützung industrieller, biotechnologischer und chemischer Prozesse angewandt, z.B. beim Suspendieren, Emulgieren, Desagglomerieren, Entgasen usw. [1]. An den Reaktoren sind Ultraschallwandler außen montiert, damit die Wände zu Schwingungen angeregt werden. Durch die Bestückung mit mehreren Wandlern auf einer großen Fläche wird beabsichtigt, eine gleichförmige Schwingung zu erzeugen und eine Rundstrahlcharakteristik des Druckfeldes im Reaktorinneren zu erreichen. In der vorliegenden Arbeit wird das innere Druckfeld zweier unterschiedlicher Reaktoren simuliert. Als Medium wird Wasser betrachtet. Hier wird die Schwingung der Reaktorwände nicht berechnet, sondern durch kreisförmige Flächen um den Mittelpunkt eines Wandlers mit einer konstanten Beschleunigung approximiert. Die unterschiedlichen Wandler können gleich- oder gegenphasig betrieben werden. Ein Vergleich zwischen beiden Konfigurationen wird präsentiert. Die Simulationen berücksichtigen in einem ersten Versuch keine Strömung. Die Modelle der Reaktoren wurden von der Firma Bandelin electronic GmbH & Co. KG bereitgestellt.

Durchflussreaktoren

Zwei Arten von Reaktoren wurden untersucht: a) der Rohrreaktor, bezeichnet als „RB8“ und b) der Wirbelreaktor, bezeichnet als „WB4“ (siehe Abb. 1).

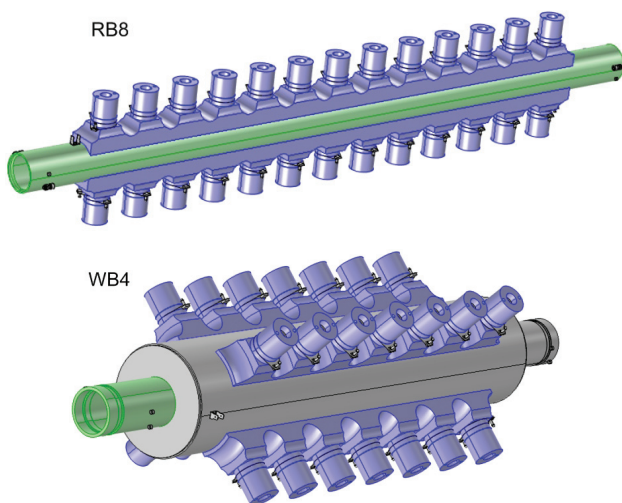


Abbildung 1: CAD-Modelle der Sonoreaktoren.

Im RB8 fließt die Flüssigkeit entlang eines geraden Rohres, dessen Wand von zwei gegenüberstehenden Reihen von Ultraschallwandler angeregt wird. Jede Reihe besteht aus 13 Wandlern. Im WB4 fließt die Flüssigkeit mit einer

Drehbewegung entlang des engen Spaltes zwischen dem äußeren Zylinder und einem inneren Zylinder mit gerundeten Endkappen. Die Wand der äußeren Zylinder wird mit vier Reihen Ultraschallwandler bestückt mit einer 90° Winkeltrennung. Jede Reihe hat 7 Ultraschallwandler. Beide Reaktoren können bei 25 kHz und 40 kHz betrieben werden.

Numerische Modelle

In dieser Studie wurde nur das Schallfeld innerhalb der Reaktoren und nicht die Schwingung der Rohrwände simuliert. Es wurde angenommen, dass jeder Wandler eine kreisförmige Fläche auf der Rohrwand angeregt. Die schwingenden Flächen erzeugen Schallwellen im Rohrinneren. Die numerische Simulation der Schallfelder wurde mit COMSOL durchgeführt. Das Beschallungsgebiet in beiden Reaktoren hat eine einfache Geometrie, daher wurden zwei vereinfachte Modelle in COMSOL generiert.

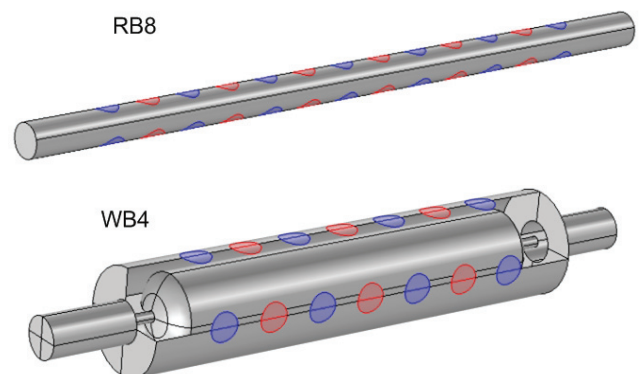


Abbildung 2: COMSOL Modelle für die akustischen Simulationen.

Darüber hinaus wurde in erster Annäherung angenommen, dass das Fluid in Ruhe ist. Die Wirkung der Fluidbewegung auf das Schallfeld wird in einem begleitenden Paper untersucht [2].

Parameter der Simulationen

Die Randbedingungen sind folgendermaßen definiert: Für die kreisförmige, anregende Fläche wird eine Normalbeschleunigung $a = -\omega^2 x$ festgelegt. Die Beschleunigung a ist proportional zur Auslenkung und zum Quadrat der Kreisfrequenz für eine harmonische Schwingung. Als maximale Auslenkung der äquivalenten Anregungsfläche wurde $x = 5 \mu\text{m}$ angenommen. An den beiden Enden des Rohres wird eine Impedanz-Randbedingung betrachtet, damit im ersten Schritt die Endreflexionen keinen Einfluss auf das Schallfeld ausüben. Der Rest der Rohrwand ist schallhart. Für jede Betriebsfrequenz wird ein Gitter generiert. Die Elemente

sind Tetraeder zweiter Ordnung mit einer maximalen Elementgröße von $\lambda/6$.

Die Ultraschallwandler sind nicht alle in Phase. Im Betriebsmodus sind die Wandler des RB8 auf einer festen z-Position in Phase (z =Zylinderachse). Benachbarte z-Positionen sind aber um 180° phasenverschoben. Die WB4 hat zwei Phasenkonfigurationen:

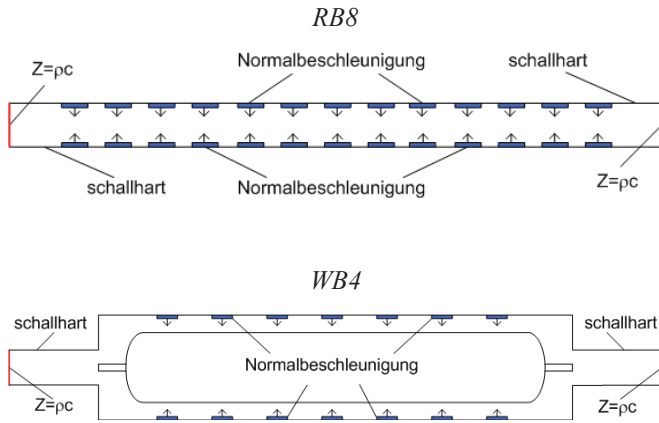


Abbildung 3: Randbedingungen für die Simulation.

In der ersten Konfiguration sind die vier Wandler auf einer festen z-Position in Phase, aber haben eine 180° Phasenverschiebung bezüglich der vier Wandler der nächstgelegenen z-Position. In der zweiten Konfiguration wechseln die Phasen der vier Wandler auf einer z-Position jeweils um 180° . Gleichzeitig hat ein Wandler eine 180° Phasenverschiebung bezüglich der Wandler darüber und darunter (wie ein Schachbrettmuster).

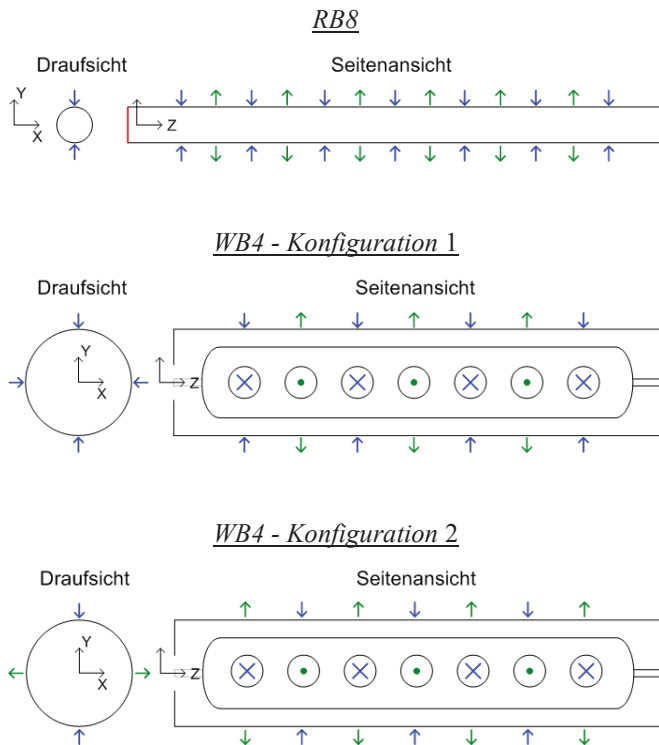


Abbildung 4: Phasenverteilung der Ultraschallwandler.

Ergebnisse

Der absolute Wert des Schalldruckes im Rohrinne des RB8 für die zwei Betriebsfrequenzen wird in Abb. 5 gezeigt. Die Ergebnisse in den Ebenen XZ und YZ werden dargestellt, da sie unterschiedlich sind. Die Simulationen zeigen, dass sich bei 25 kHz die Stellen des maximalen Schalldruckes dicht bei den Wandlern befinden, während bei 40 kHz die Region der hohen Schalldrücke auf der Zylinderachse liegt.

Die Schalldruckverteilung im Beschallungsgebiet des WB4 wird in Abb. 6 und Abb. 7 gezeigt. Die Ergebnisse beider Ebenen XZ und YZ sind gleich, also wird nur ein Bild für jede Frequenz dargestellt. Konfiguration 1 ergibt eine gleichmäßigere Druckverteilung bei 25 kHz, während eine gleichmäßigere Druckverteilung bei 40 kHz von Konfiguration 2 erzeugt wird.

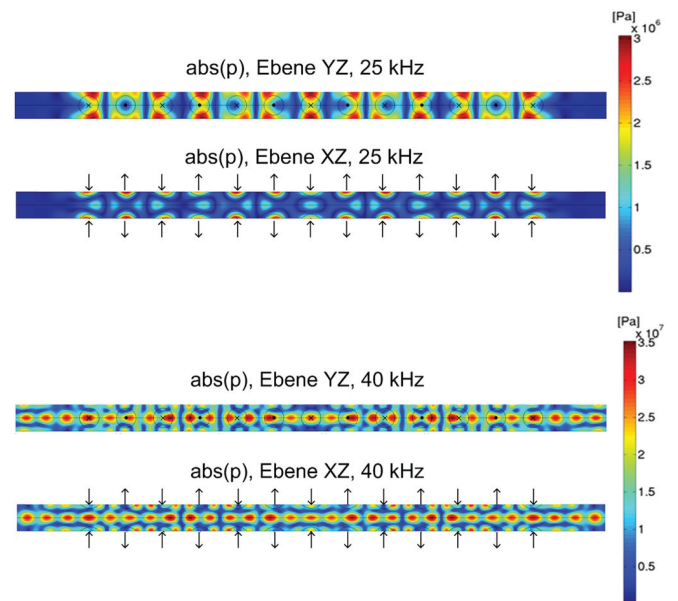


Abbildung 5: Schalldruckverteilung im RB8 für beide Betriebsfrequenzen.

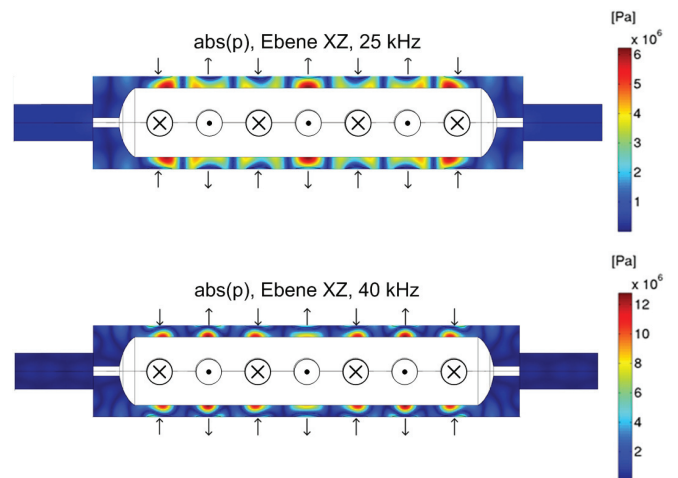


Abbildung 6: Schalldruckverteilung im WB4 für Konfiguration 1 und beide Betriebsfrequenzen.

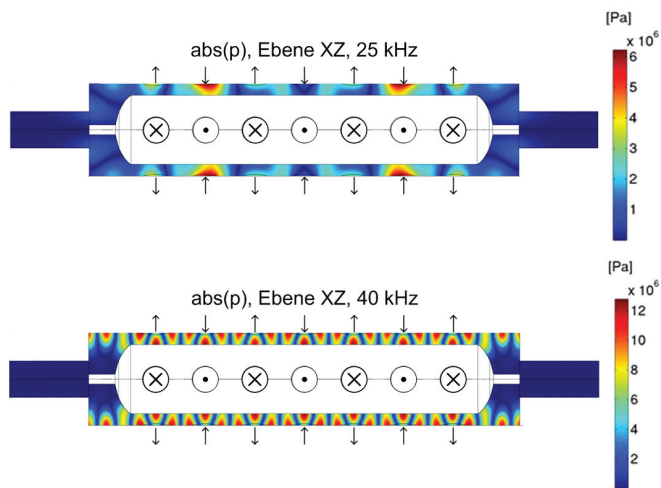


Abbildung 7: Schalldruckverteilung im WB4 für Konfiguration 2 und beide Betriebsfrequenzen.

Danksagung

Diese Arbeit wurde aus dem Europäischen Sozialfonds sowie aus Mitteln der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Technologie und Forschung finanziert.

Senatsverwaltung
für Wirtschaft, Technologie
und Forschung

berlin Berlin

ESF
...eine Chance durch Europa!

EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Sozialfonds
Investition in Ihre Zukunft

Literatur

- [1] BANDELIN Homepage,
URL: <http://www.bandelin.com>
- [2] Steuck C., Piscoya R., Ochmann M., Möhrcke J., Jung R.: Berechnung von niederfrequenten Ultraschallfeldern mit Fluidströmung in Rohrreaktoren. Fortschritte der Akustik - DAGA 2015