

Untersuchung der räumlichen Verteilung von Schallfeldparametern in Ultraschall-Reinigungsbädern unter dem Einfluss von Kavitation

Klaus-Vitold Jenderka, Christian Koch

Fachbereich „Schall“, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, Deutschland, Email: ultrasonics@ptb.de

Einleitung

Ultraschall im Frequenzbereich 20 - 200 kHz wird vielfältig in Forschung, Medizin und Technik eingesetzt. Insbesondere lassen sich Teile schnell und schonend reinigen oder die Ausbeuten von chemischen Reaktionen steigern. Trotz der weiten Verbreitung von ultraschallunterstützter Reinigung und Sonochemie fehlen bisher jedoch allgemeine Reaktions- und Apparateprinzipien. Betriebsparameter und Optimierungskriterien sind auf den jeweiligen Fall zugeschnitten, oft ist die Reproduzierbarkeit nicht gewährleistet und man ist weitgehend auf empirisches Herangehen angewiesen [1].

Die Ursachen für diesen unbefriedigenden Umstand liegen in der extremen Vielfalt der verschiedenen technischen Aufgabenstellungen, der starken Abhängigkeit der Prozesse von sehr vielen Parametern und der komplizierten Natur der Kavitationsvorgänge in der Reaktionsflüssigkeit. Eine besondere Schwierigkeit ist dabei die Beschreibung des Schallfeldes in der Reaktionsflüssigkeit und seine Wechselwirkung mit den Kavitationsblasenwolken [2]. Da das Schallfeld jedoch auch die Ursache und die treibende Kraft der Vorgänge ist, stellt seine Messung und Charakterisierung einen Schlüssel zum tieferen Verständnis und zu möglichen, auch ökonomisch nutzbaren Schlussfolgerungen dar.

In diesem Beitrag werden erste Ergebnisse eines Projektes beschrieben, das prüfen soll, in wie weit Schallfeldparameter objektive Kriterien zur Einschätzung z. B. der Reinigungswirkung liefern können. Dazu wurde ein Messplatz aufgebaut, der das Schallfeld mit Hilfe verschiedener Sensortechniken (optisch und piezoelektrisch) erfassen kann. Mit Hilfe einer Auswertesoftware werden verschiedene Schallfeldparameter wie Schalldruckamplitude bei der Grundfrequenz, höhere Harmonische, Sub- und Ultraharmonische, Kavitationsrauschen und Energiedichte bestimmt. Erste Vergleiche mit einer quantitativen Analyse der Kavitationswirkungen zeigt, dass kein Parameter allein für eine Einschätzung ausreichend ist.

Messaufbau

Für die Bestimmung des Schalldrucks in Reinigungsgefäßen oder Sonochemiereaktoren wurde ein Messplatz aufgebaut, der verschiedene Sensortechniken einsetzen kann. Mit Hilfe faseroptischer Sensoren gelingt, wegen der geringen äußeren Abmessungen, eine nahezu störungsfreie Messung. Dazu wird ein glatt geschnittenes Faserende, das mit einer Metallschicht bedampft ist, in das Schallfeld gebracht und die Änderung des optischen Weges mit Hilfe eines Interferometers detektiert [3]. Die heterodyne Detektion ermöglicht die direkte Bestimmung der Schallschnelle bzw. des Drucks in der Flüssigkeit. Mit Hilfe von robusten piezo-

elektrischen Hydrophonen kann direkt der Schalldruck ermittelt werden. Es zeigte sich dabei, dass Hydrophone mit zylindrischem aktivem Element, wie sie normalerweise für Wasserschallmessungen eingesetzt werden, die besten Ergebnisse liefern und vor allem widerstandsfähig genug gegen Kavitationswirkungen sind. Es wurden Hydrophone mit einem Durchmesser von 2,5 mm (LC 5), 4 mm (Reson TC 4038) und 9 mm (B&K 8103) verwendet. Ein Drei-Achsen-Scanner bewegte die Sensoren in x , y , und z -Richtung im Bad. Alle Signale wurden mit einem Digitaloszilloskop (TDS 3032B) aufgezeichnet und mit Matlab ausgewertet.

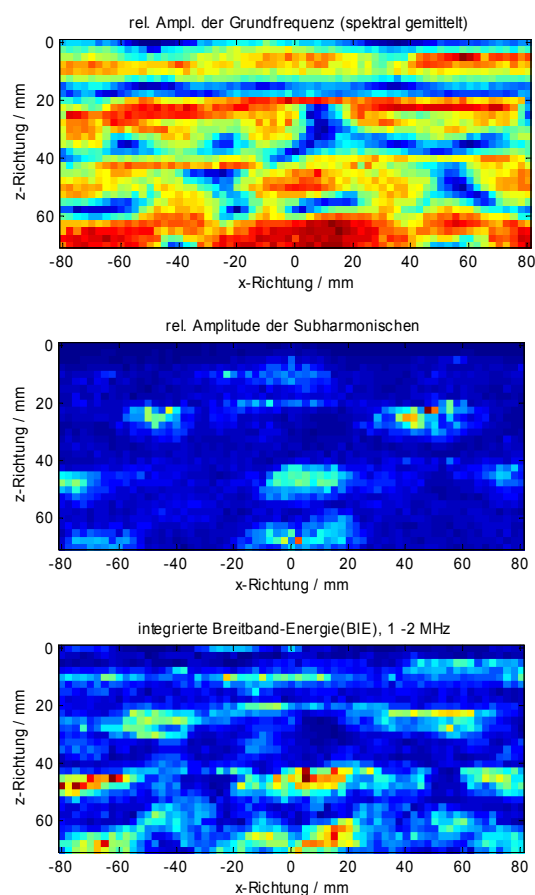


Abbildung 1: Verteilung charakteristischer Kenngrößen in der zentralen xz -Ebene (senkrecht zum Boden des Reinigungsbades). Von oben nach unten: Amplitude der Grundwelle, Amplitude der Subharmonischen, mittlere Rauschleistung (1 – 2 MHz).

Die ermittelten Schallfeldparameter müssen in Relation zu den Wirkungen der Kavitation gesetzt werden. Für eine quantitative Analyse z. B. der Reinigungswirkung werden in der Praxis viele verschiedene Methoden verwendet, wobei kein Verfahren standardisiert ist [4]. Allgemein anerkannt ist

die Methode, die Perforation einer Aluminiumfolie zu bestimmen. Dazu wird eine gespannte Folie in das Reinigungsbad gebracht und danach z. B. photometrisch die Perforation gemessen [5]. Dieses Verfahren hat den Nachteil, dass schwächere Kavitationsereignisse nicht berücksichtigt werden können. Deshalb wurde eine neue Auswertemethode entwickelt, die die Folie im Aufricht betrachtet (Computerscanner). Danach werden mit einem speziell entwickelten Verfahren Untergrundreflexe, die z. B. durch ungewolltes Knicken entstehen, beseitigt. Danach werden die durch „Löcher“ oder auch nur Dellen entstandene Reflexe analysiert und quantitativ beschrieben.

Ergebnisse

In Abbildung 1 ist ein Beispiel für eine Schallfeldmessung (Hydrophon, LC05) in einer Reinigungswanne (TI-H-5, ELMA GmbH) gezeigt, das verschiedene ermittelte Parameter miteinander vergleicht.

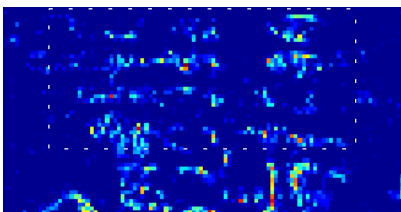
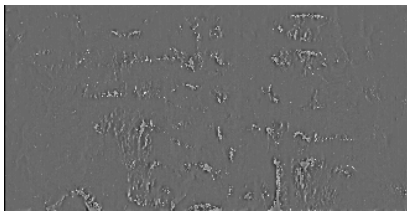
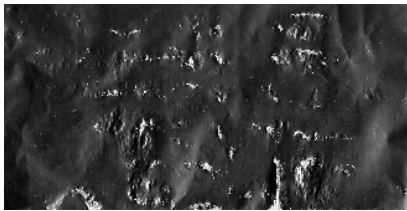


Abbildung 2: Bestimmung der Erosionswirkung mit Hilfe einer Al-Folie; oben: Foto Al-Folie, Mitte: bearbeitetes Foto, Selektion der Erosionsstellen, unten: Dichteverteilung der Erosionswirkung (eingerahmter Bereich entspricht Ausdehnung der Druckmessungen in Abb. 1)

In der räumlichen Verteilung der Grundwelle zeigen sich typische Stehwellenstrukturen, die aber deutlich durch Reflexionen an den Tankwänden und die Kavitationswolke gestört werden. Diese Strukturen sind in der Subharmonischen nicht erkennbar. Hier dominieren deutliche Maxima,

die so prononciert in der Grundwelle nicht erkennbar sind. Sehr wichtig ist das Verhältnis zwischen Kavitationsrauschleistung und Subharmonischer. Auch hier erkennt man deutliche Unterschiede in der Struktur der Parameter.

Zum Vergleich wurden die Kavitationswirkungen am Ort der Schallfeldmessungen ermittelt. Abbildung 2 zeigt in einem Beispiel die mit einem Scanner erhaltene photographische Aufnahme, die bearbeitete Bilddatei und die ermittelte Erosionsdichte.

Diskussion

Beim Vergleich der Kavitationswirkungen mit den Schallfeldmessungen erkennt man wieder die Stehwellenstruktur, die sich in waagerechten Streifen widerspiegelt. Hier ist eine gute Übereinstimmung mit der Grundwellenamplitude vorhanden. Untersucht man jedoch genauer die lokalen Maxima der Erosionsdichte, findet man nicht immer korrespondierende Bereiche in der Grundwelle. Dafür bilden sich die Maxima der Subharmonischen und die des Kavitationsrauschens ab. Gleichzeitig wurde gefunden, dass der maximale Wert des Zeitsignals des Schallfeldes (nicht dargestellt) zwar deutlich von der Grundwellenverteilung abweicht, große Ähnlichkeit aber mit dem Kavitationsrauschen hat. Dies zeigt, dass in der dichten Kavitationswolke das treibende Feld eine untergeordnete Rolle spielt und das Schallfeld, bei hohen Pegeln von Blasenemissionen bestimmt wird. Dies könnte darauf hindeuten, dass bei niedrigerer Kavitationsaktivität die Grundwelle ein recht verlässlicher Indikator ist, der bei starker Aktivität aber versagt und durch das Rauschen oder die Subharmonische ersetzt werden muss.

Eine Analyse der mit dem Fasersensor erhaltenen Ergebnisse zeigt, dass im Gegensatz zu Experimenten an Lithotripterstoßwellen [3] kein der Schallschnelle proportionales Signal gewonnen wurde, sondern der Schalldruck repräsentiert wird. Die Ursache ist bisher nicht vollständig verstanden, eine wesentliche Rolle spielt jedoch, dass in den vermessenen Tanks stets Stehwellen vorliegen, in denen im Extremfall kein Energietransport erfolgt. Da durch den Wellenleiter ein Großteil der detektierten Wellen abgeleitet wird, würde dafür keine Energie zur Verfügung stehen. So werden nur Lichtwegänderungen detektiert, die durch Dichteänderungen in der Faser infolge der Schalldruckeinwirkung entstehen. Diese Fragen stehen in engem Zusammenhang z. B. zur Fragestellung, ob ein Reinigungsbad sinnvoll durch eine (lokale) Impedanz beschrieben werden kann, die Gegenstand weiterer Überlegungen sein sollte.

Literatur

- [1] P. R. Gogate, A. B. Pandit, *Ultras Sonochem.* **11** (2004), 105-117.
- [2] B. Zeqiri, P. N. Gélat, M. Hodnett, N. D. Lee, *IEEE UFFC* **50** (2003), 1342-1350.
- [3] Ch. Koch, *Appl. Opt.* **38** (1999), 2812-2819.
- [4] IEC:886 Report 886, IEC, 1987.
- [5] B. N. Poddubnyi, *Sov. Phys. Acoust.* **22** (1976), 325-327.