

Ultraschallreinigung und Kavitation in Flüssigkeiten

Leistungsumschall in Wasser, Kavitationsmessung, Sonochemie, FEM-Simulation in Fluiden

Leistungsumschall in Flüssigkeiten

Leistungsumschall in Flüssigkeiten kommt bei einer Vielzahl unterschiedlicher Prozesse zum Einsatz. Seit Jahrzehnten etabliert ist die Ultraschallreinigung. Weitere Anwendungsbereiche sind die Sonochemie, Medizintechnik und Biotechnologie.

Ein Großteil der Anwendungen basiert auf akustischer Kavitation. Überschreitet die vom Ultraschallwandler erzeugte Schalldruckamplitude die Kavitationsschwelle, so entstehen gas- und/oder dampfgefüllte Blasen, welche in der Überdruckphase des Schallfeldes heftig kollabieren. Dabei entstehen lokal extrem hohe Drücke und Temperaturen, welche beispielsweise chemische Reaktionen auslösen können. Kollabieren die Kavitationsblasen nahe einer Oberfläche, so kommt es zur Ausbildung von oberflächengerichteten Flüssigkeitsstrahlen (sog. Micro Jets), welche unter anderem zur Ablösung von Schmutzpartikeln bei der Ultraschallreinigung genutzt werden (Bild 1).

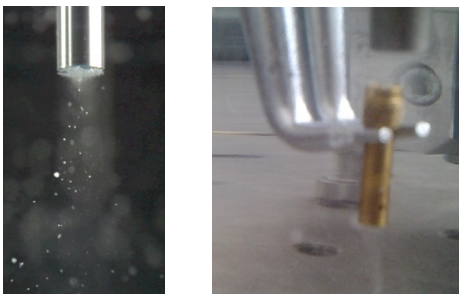


Bild 1: Links: Kavitationsnebel unter einem Ultraschallerzeuger, Rechts: Reinigung der Innenbohrung von Bauteilen eines Motorrad-Vergasers im Kavitationsstrahl.

Auslegung und Aufbau von Ultraschallwandlern

Als Ultraschallerzeuger werden in den meisten Fällen piezoelektrische Ultraschallwandler eingesetzt. Abhängig von der Anwendung ergeben sich unterschiedliche Bauformen. Bei der Ultraschallreinigung werden in der Regel Ultraschallwandler mit vergleichsweise geringen Schwingamplituden und großen Abstrahldurchmessern eingesetzt, um Kavitation direkt am Ultraschallwandler zu vermeiden. Bei größeren Reinigungssystemen werden mehrere Ultraschallwandler parallel betrieben. Die Abmessungen des Ultraschallbades werden dabei gelegentlich so gewählt, dass Resonanzeffekte in der Flüssigkeit ausgenutzt werden.

Zur Erzeugung deutlich höherer Schallintensitäten ($> 50 \text{ W/cm}^2$) kommen in der Sonochemie, der Medizintechnik und der Biotechnik auch Ultraschallwandler mit hohen Schwingamplituden ($> 150 \mu\text{m}_{\text{Peak-Peak}}$) und kleinen Abstrahldurchmessern zum Einsatz.

Zur Auslegung, Analyse und Optimierung der Ultraschallerzeuger verwenden wir die Finite-Elemente-Methode (Bild 2), mit der z.B. die lokale Verformung der Piezokeramik analysiert werden kann.

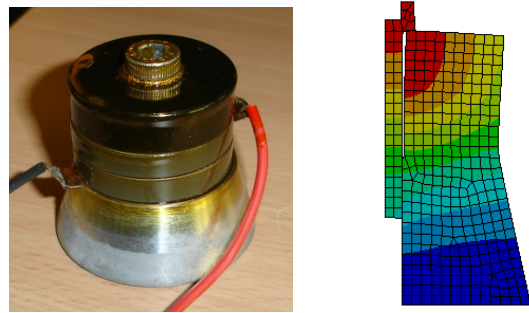


Bild 2: Reinigungsschwinger und Verformung im Finite-Element-Modell (Modalanalyse, Radialschnitt)

Weiterhin lassen sich die elektromechanischen Eigenschaften genau abbilden, wodurch bei korrekter Modellierung die intern dissipierte Wirkleistung im Wandler optimiert werden kann. Zum Modellabgleich dienen u.a. elektrisch gemessene Frequenzgänge (Bild 3).

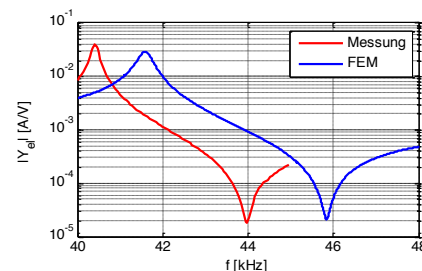


Bild 3: Kurzschlussingangsadmittanz des Reinigungsschwingers aus Bild 2 (Messung und FEM)

Simulation von Ultraschallfeldern

Durch Finite-Element-Simulationen (FEM), welche die unterschiedlichen Materialgesetze in Flüssigkeiten oder Gasen, in passiven Materialien und aktiven Piezomaterialien sowie die Fluid-Struktur-Kopplungen (FSI) berücksichtigen, analysieren und optimieren wir Gesamtsysteme modellbasiert. So kann beispielsweise die Schalldruckverteilung in Folge der elektrischen Anregung des Ultraschallwandlers in einem Wassergefäß analysiert werden (Bild 4).

Zudem ermöglicht die Fluid-Struktur-Kopplung die Ermittlung der Belastung des Ultraschallwandlers durch die Flüssigkeit. Basierend auf diesen Erkenntnissen sind wir in der Lage Systeme gezielt zur Nutzung oder zur Vermeidung von Fluidresonanzen zu dimensionieren.

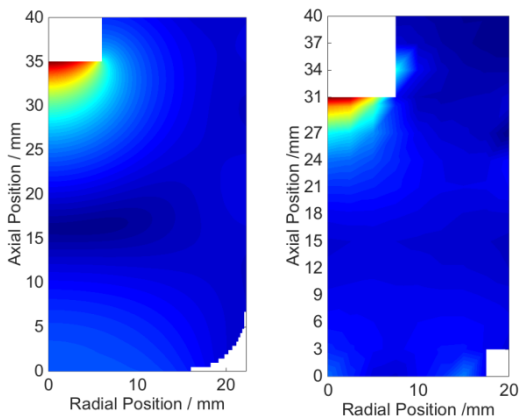


Bild 4: Vergleich zwischen mittels FEM berechneter (links) und gemessener (rechts) Schalldruckverteilung unter der Sonotrode eines Ultraschallwandlers (Halbschnitt)

Betrieb von Ultraschallwandlern unter Last

Eine effiziente, robuste Regelung der elektrischen Signale ist notwendige Voraussetzung für den stabilen Betrieb von Ultraschall-Kavitationserzeugern. Typisch für Leistungsumschall in Flüssigkeiten sind Schwankungen in der Belastung des Ultraschallwandlers, welche durch die Regelung kompensiert werden müssen (Bild 5).

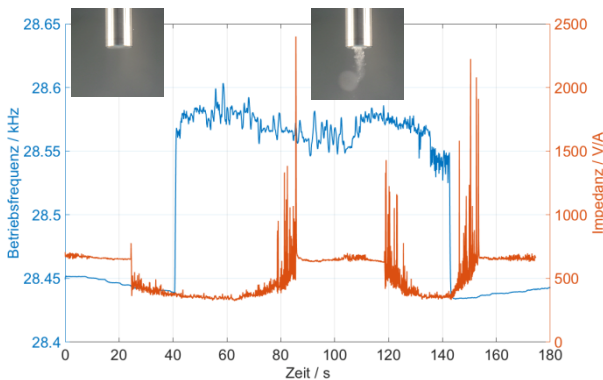


Bild 5: Zeitverlauf der Betriebsfrequenz und der Impedanz eines piezoelektrischen Ultraschallwandlers beim Einsetzen akustischer Kavitation.

Messung von Schallfeldern und Kavitation

Zur Analyse und Optimierung kavitationsbasierter Prozesse ist eine messtechnische Charakterisierung des Schallfeldes und der Kavitationsaktivität notwendig.

Die gezielte Abstimmung des Schallerzeugersystems, bestehend aus dem Ultraschallwerkzeug mit Piezoscheiben, seiner elektrischen Ansteuerung und dem angekoppelten Flüssigkeitsvolumen setzt die genaue

Kenntnis der Schallausbreitung voraus. Mit speziellen Verfahren lässt sie sich in Wasser oder Luft messen (Bild 4, Bild 6).

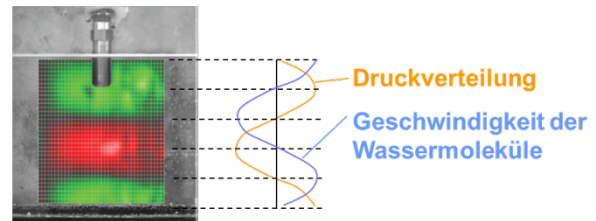


Bild 6: Stehwelle in einem zylindrisch geformten Wasserbad mit transparenter Wand

Bei der Messung von Kavitation kommen abhängig von der Anwendung unterschiedliche Messverfahren wie Folientest, Sonolumineszenz, Sonochemolumineszenz oder akustische Messungen zum Einsatz. Bild 7 zeigt die mittels Sonochemolumineszenz und Folientest ermittelten Kavitationszonen unter der Sonotrode des piezoelektrischen Ultraschallwandlers aus Bild 1 und Bild 4.

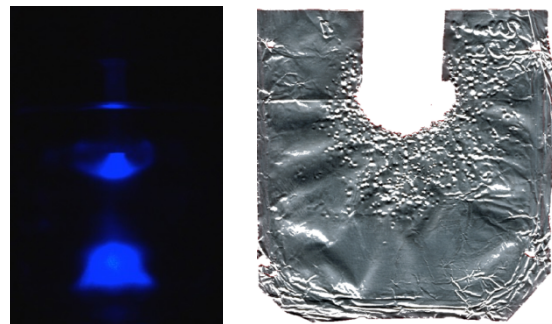


Bild 7: Analyse der Kavitationszonen unter der Sonotrode des Ultraschallwandlers aus Bild 4 mittels Sonochemolumineszenz (links) und Folientest (rechts).

Kontakt

Peter Bornmann, Technische Entwicklung der ATHENA Technologie Beratung GmbH



ATHENA
Technologie Beratung GmbH
Technologiepark 13
33100 Paderborn

Tel.: +49-52 51-3 90 65 61
Fax: +49-52 51-3 90 65 63

E-Mail: info@myATHENA.de
<http://www.myATHENA.de>