

# **Sonolumineszenz von Einzel – und Mehrblasensystemen**

## **– Diagnostik und Optimierung –**

Joachim Holzfuss und Matthias Rüggeberg

Institut für Angewandte Physik

TU Darmstadt

Schloßgartenstr. 7

64289 Darmstadt

### **Einleitung**

Ultraschall hoher Intensität wird in Wasser fokussiert. Hierbei entstehen Blasenfelder, die aus stark nichtlinear schwingenden Kavitationsbläschen bestehen. In der Kollapsphase können diese Blasen aufgrund der enormen Kompression Lichtblitze aussenden. In ausgedehnten Feldern können so Regionen mit hochenergetisch kollabierenden Blasen identifiziert werden, wodurch auch Aussagen über die Effektivität von Sonoreaktoren gemacht werden können.

An einem Einzelblasensystem werden experimentell und numerisch Untersuchungen durchgeführt, die die Entstehung von Stoßwellen nachweisen und dadurch Rückschlüsse auf die Blasendynamik gestatten. Desweiteren wird ein Mehrfrequenzverfahren zur Optimierung des Einzelblasenkollapses beschrieben.

### **Einzelblasensonolumineszenz**

In einem wassergefüllten Gefäß, das aus zwei zylinderförmigen Piezokeramiken besteht, die durch eine Glasröhre miteinander verbunden sind, kann mit einer stehenden Ultraschallwelle eine einzelne Kavitationsblase stabil gehalten werden (akustische Levitation). Bei Schalldrücken von ca. 1.3 – 1.5 Bar sendet diese Blase Lichtblitze aus. Über 1 Million Photonen mit einem schwarzkörperartigen Spektrum, dessen Maximum bei 3 eV liegt, können bei einem einzigen Kollaps detektiert werden. Pulsdauern von z.T. unter 50 ps sind meßbar.

### Optische Untersuchungen

Wir untersuchen die akustischen Abstrahlungen der Blase /1/. Hierzu wird mittels eines Pulslasers eine Kurzzeit-Schlierenaufnahme der schwingenden Blase aufgenommen. Durch Ausnutzung von Stroboskopie können sogar Langzeitvideoaufnahmen des Blasenverhaltens bei Parameterveränderungen gemacht werden. Als ein Ergebnis zeigt sich, daß zum Kollapszeitpunkt eine Stoßwelle ausgesendet wird. Diese wird von den Gefäßwänden reflektiert und zum Teil mehrfach wieder in die Nähe des Ortes der

Entstehung zurückfokussiert (Abb. 1) und beeinflusst so die Dynamik der Blase. Die Stoßwellengeschwindigkeit kann mittels der Aufnahmen vermessen werden. Es wird so eine Maximalgeschwindigkeit von 2000 m/s gemessen, die innerhalb von 0.1 mm auf normale Schallgeschwindigkeit abfällt. Aus der Maximalgeschwindigkeit läßt sich eine untere Schranke für den Blaseninnendruck angeben, der bei 5.5 kBar liegt.

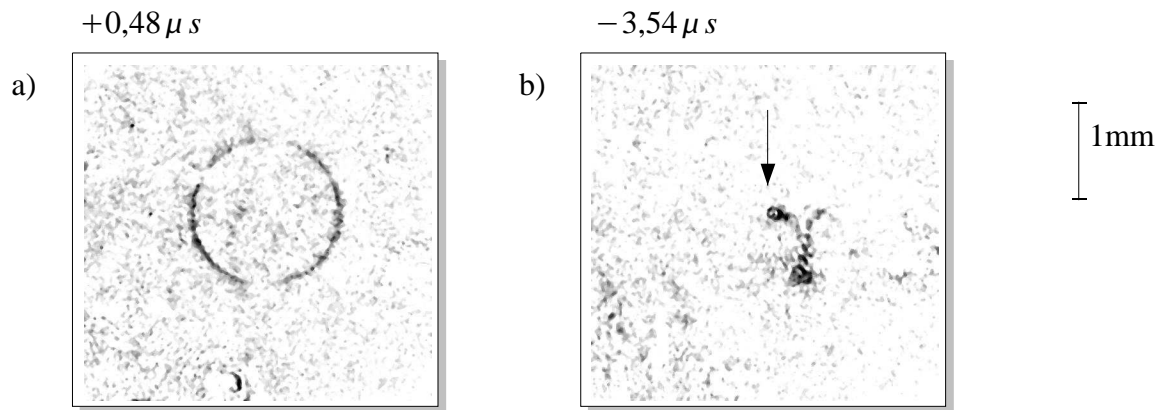


Abb. 1: Einzelblasensonolumineszenz:

Stoßwellenabstrahlung (a) und Refokussierung (b)

Numerische Untersuchungen ergeben, daß in den relevanten Parameterbereichen Stoßwellendrucke bis zu 73 kBar und Partikelgeschwindigkeiten von 333 m/s vorliegen.

#### Optimierung des Kollapses

Aus der Theorie nichtlinearer dynamischer Systeme ist bekannt, daß für einen reinen Sinus nicht die optimale Einkopplung der Anregungsenergie in ein nichtlineares System erreichbar ist. Der resultierenden Schwingung angepaßte Erregerformen bringen wesentlich mehr, wenn es z.B. darum geht, mit möglichst wenig Leistung eine Erhöhung der Stärke eines Blasenkollapses zu erreichen.

Experimentelle und numerische Untersuchungen /2/ am Einzelblasensystem haben ergeben, daß mit einer einfachen Erweiterung des Treibersignals um einen phasenvariabel einkoppelbaren Anteil der doppelten Anregungsfrequenz bereits hervorragende Ergebnisse erreichbar sind (Abb. 2). Im Experiment wird die Verstärkung des Blasen-kollapses durch eine Erhöhung des Photostroms der Sonolumineszenz gezeigt. Dieser ist bei einer optimierten 2-Frequenz Anregung bis zu 300% höher als bei einer Sinusanregung.

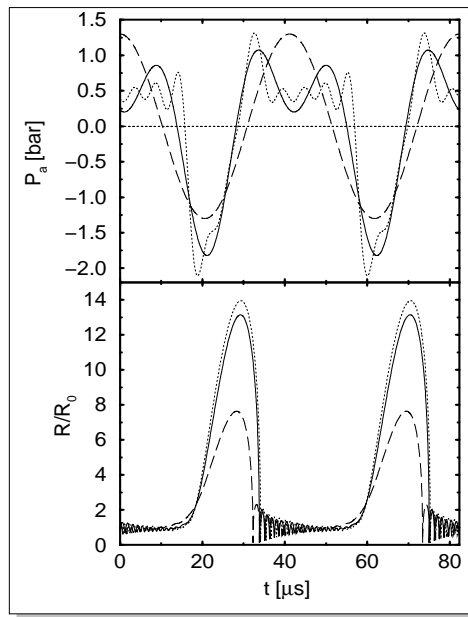


Abb. 2: Optimierung der Kavitation: Verschiedene optimierte Anregungssignale gleicher Leistung (oben) und die berechnete jeweilige Antwort einer Kavitationsblase (unten) sind gezeigt. Ein-Frequenz (gestrichelt), 2-Frequenz (durchgezogen) und 8-Frequenz (gepunktet) Anregung.

### Mehrblasensonolumineszenz

Sonolumineszenz lässt sich hervorragend zur Diagnostizierung der Energieverteilung in Kavitationsblasenfeldern einsetzen (Abb. 3). Die Ausdehnung eines Blasenfeldes alleine gibt keine Aussage darüber, ob die Blasen auch einen vehementen Kollaps ausführen, oder ob es sich lediglich um schwach schwingende, den Schall absorbierende Blasen handelt. Die Aufnahme des Sonolumineszenzleuchtens erfasst aber die Regionen, die aus hochenergetisch-kollabierenden Blasen bestehen. Wegen der geringen Intensität des Leuchtens können nur zeitgemittelte Aussagen gemacht werden.

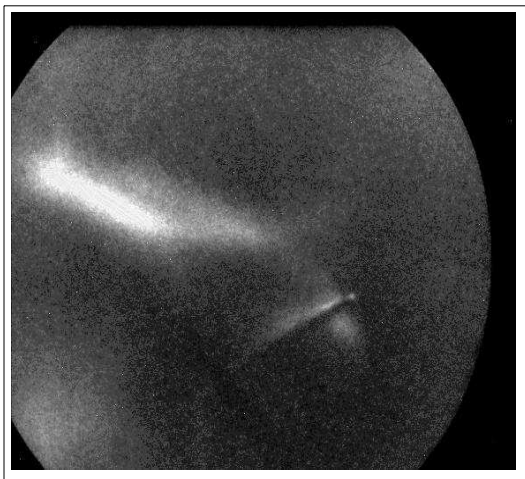


Abb. 3: Mehrblasensonolumineszenz: Aufnahme des Leuchtens eines Blasenfeldes mit einem Bildverstärker. Die Belichtungszeit beträgt 4 Minuten. In der unteren Mitte ist das Ende eines eingeführten Drahtes sichtbar, an dem die Blasen sich ansammeln und einen heftigen Kollaps ausführen.

### Literatur

- /1/ J. Holzfuss, M. Rüggeberg und A. Billo, Shock Wave Emissions of a Sonoluminescing Bubble, Phys. Rev. Lett. 81, 5434 (1998)
- /2/ J. Holzfuss, M. Rüggeberg und R. Mettin, Boosting Sonoluminescence, Phys. Rev. Lett. 81, 1961 (1998)