

Anwendung und Vermessung hochfrequenter Ultraschallquellen mit Abmessungen im μm -Bereich

Thomas WINDISCH^{a,b}, Bernd KOEHLER^a, Frank SCHUBERT^a, Eberhard SPOERL^b

^a Fraunhofer IZFP-D (Maria-Reiche-Str.2, 01109 Dresden)

^b Technische Universität Dresden (Fetscherstraße 74, 01307 Dresden)

thomas.windisch@izfp-d.fraunhofer.de

Kurzfassung. Die Verwendung der Lasertechnik zur Anregung hochfrequenter Schallquellen wurde bereits in verschiedenen Bereichen erfolgreich demonstriert. Umso erstaunlicher ist die Tatsache, dass der Einsatz zur Fluidschallanregung kaum diskutiert wurde und die akustischen Schallfelder weitgehend unbekannt sind. Besonders die Eigenschaft, der freien Platzierung der Quellen im dreidimensionalen Raum, eröffnet neue Anwendungsfelder.

Laser bieten die Möglichkeit, Energie räumlich und zeitlich extrem zu konzentrieren. Als Folge dessen lässt sich eine breitbandig abstrahlende Schallquelle realisieren, die in gleicher Weise räumlich stark konzentriert ist. Zusätzlich sind derartige „Schallwandler“ ausschließlich zum Zeitpunkt der Quellwirkung im Ausbreitungsmedium existent. Im Gegensatz zu üblichen Wandlern, die stets akustisch gut gekoppelt sein müssen oder eine Inhomogenität im Zielmedium darstellen, beeinflussen laser-akustische Quellen das Wellenfeld jedoch nicht.

Einen Schwerpunkt stellt die Vermessung des Schallfeldes laser-akustischer Quellen dar. In Abhängigkeit der Frequenz der emittierten Schallwelle zeigt sich eine charakteristische Verteilung der Schallamplituden. Mit steigender Frequenz konzentriert sich die ins Fernfeld abgestrahlte Schallenergie zunehmend senkrecht zur optischen Achse. Entgegen dem verbreiteten Punktquellenmodell deutet der Verlauf des gemessenen Bündelungsgrades auf ein Modell höherer Ordnung hin, dessen Parameter zusätzlich zeitabhängig sind.

Besonders in der medizinischen Diagnose sind Methoden gefordert, die eine möglichst geringe Belastung für die Patienten darstellen. Hier bietet sich diese Technik durch die berührungslose Arbeitsweise besonders an. Es zeigen sich Signalverläufe die denen der konventionellen, kontakbasierten Ultraschallprüfung ähnlich sind und zusätzlich in oberflächennahen Bereichen Signalinformationen liefern. Darüber hinaus eröffnet die außerordentlich hohe Breitbandigkeit bis in den oberen MHz-Bereich hinein bei gleichzeitiger lokaler Konzentration in der Größenordnung einiger μm weitere Anwendungsfelder in der akustischen Fluidcharakterisierung, sowie in der Kalibrierung und Messung der Empfangsübertragungsfunktion von Schallwandlern.

Weitere Informationen über die laufende Forschungsarbeit sowie Darstellungen zu den Ergebnissen können dem beigefügten PDF-Dokument entnommen werden.



Vermessung und Anwendung hochfrequenter Ultraschallquellen mit Abmessungen im μm -Bereich

T. Windisch^{a,b}, F. Schubert^a, B. Köhler^a und E. Spörl^b

a) Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren Dresden

b) Technische Universität Dresden, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus, Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde

© Fraunhofer IZFP

Laser-Akustischer Ultraschall

Die laser-akustische Anregung ermöglicht das freie Platzieren einer Ultraschallquelle in optisch zugänglichen Medien. Folglich verkürzen sich die akustischen Laufwege wodurch höhere Frequenzen nutzbar werden. Für den erfolgreichen Einsatz sind die akustische Quelleneigenschaften weitgehend unbekannt und Gegenstand der Untersuchungen. Daraus ergeben sich neue Anwendungsfelder wie beispielsweise in der medizinischen Augendiagnose.

Laser-Akustischer Quellmechanismus in Fluiden

- Ausbildung eines Blasenzyklus mit charakteristischer Pulsfolge
- mehrfache kurzzeitige Pulsemissionen
- Kollapszeit als Maß für Quellstärke gemäß logarithmischen Zusammenhang $t_c / \mu\text{s} = 58.8 \cdot \ln(E / \text{mJ}) + 44.3$

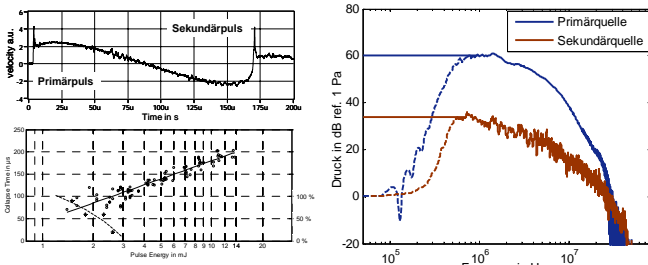


Abb. 1. Signalverlauf, Kollapszeiten und spektrale Zusammensetzung der emittierten Druckpulse laser-akustischer Quellen

Schallfeldvermessung der laser-akustischen Quelle

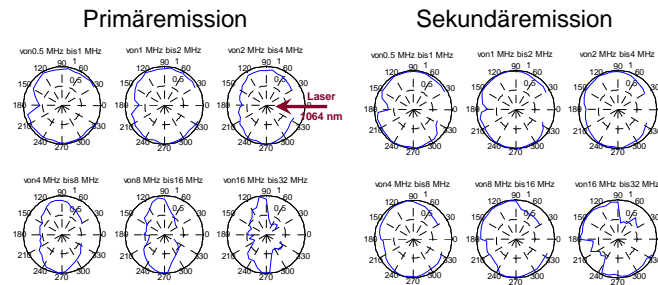


Abb. 2. Richtdiagramme der Schallabstrahlung laser-akustischer Quellen entlang der Ebene der optischen Achse (Einstrahlung von rechts)

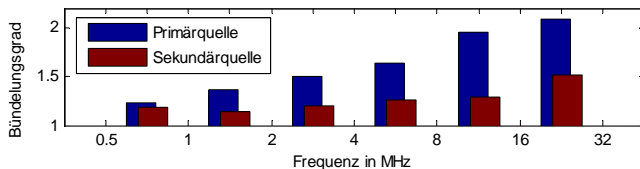


Abb. 3. Bündelungsgrad der Emissionen unterteilt in Oktav-Frequenzgruppen

Vergleich von Primär- und Sekundärquelle

- Schalldruck der Primäremission ist höher als der Folgeemissionen
- Schallabstrahlung konzentriert sich senkrecht zur optischen Achse, zunehmend bei hohen Frequenzen
- Zeitpunkt der Sekundäremission nicht stabil, Kollapszeit korreliert mit Laserenergie, Pulsamplitude und Eigenschaften des Fluids
- stärkste Schallbündelung bei Primäremission

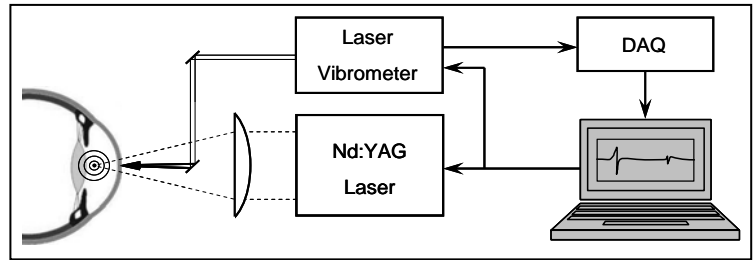


Abb. 4. Skizze des Messplatzes zur Anwendung in der Medizintechnik

Messplatz der kontaktlosen Laser-Akustik am Auge

- laser-akustische Anregung verschiedenen Tiefen des Auges
- gepulster Nd:YAG Laser mit $\lambda = 1064 \text{ nm}$, Pulslänge 4 ns
- variable Laserenergie (1,2 ... 14 mJ pro Einzelschuss)
- Fokussdurchmesser $10 \mu\text{m}$ ($1/e^2$) ~ Quelledurchmesser
- Detektion der Schallwellen durch Messung der Schalldruck-induzierten Auslenkung der Cornea mittels Laser-Vibrometrie

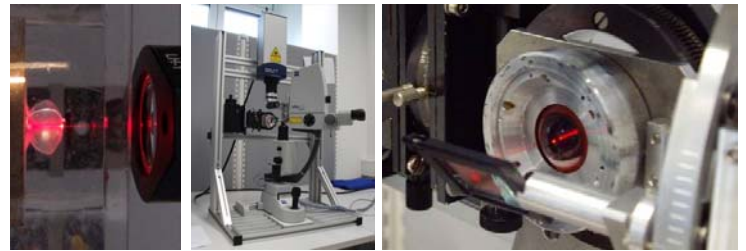


Abb. 5. Versuchsstand und Detailaufnahmen der laser-akustischen Augendiagnose

Ergebnisse

- kontaktlose Anregung und Messung von Ultraschall im Auge
- Platzierung der Quelle im Objekt
- Verkürzung der akustischen Laufwege
- Nachweis hoher Frequenzanteile
- Signalanzeigen entsprechend der Laufzeiten zu Impedanzsprüngen an Gewebegrenzen; Cornea (1), Linsen-vorder- und Rückseite (2),(3) sowie Augenhintergrund (4)
- Signalverlauf vergleichbar mit der kontaktbasierten Sonographie
- Kein Übersprechen oder Totzeit bei kurzen Signallaufzeiten

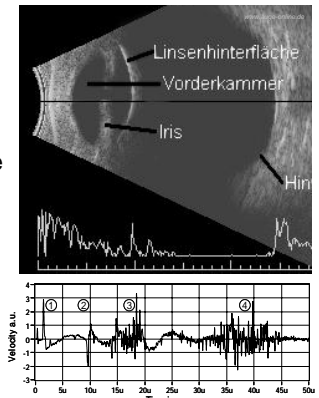


Abb. 6. Sonogramm (oben) und Signalverlauf bei laser-akustischer Messung am Auge (unten)

Zusammenfassung

Laserinduzierte akustische Emissionen zeigen ein komplexes Quellverhalten. Neben einer hohen Breitbandigkeit sind diese durch eine Kollapszeit sowie typische Schallfelder charakterisiert. Entgegen dem verbreiteten Punktquellenmodell deutet der Verlauf des Bündelungsgrades auf ein Modell höherer Ordnung hin. Dabei schwanken die Quellenparameter in Abhängigkeit des Zielmediums um einen stationären Mittelwert. Angewendet auf die medizinische Augendiagnose zeigen sich Signalverläufe vergleichbar mit denen der kontaktbasierten Sonographie (Abb. 6). Weiterhin lassen sich laserakustische Quelle zur Charakterisierung von Fluiden, sowie zur Kalibrierung und Messung der Empfangsübertragungsfunktion von Schallwandlern nutzen.