

Entwicklung einer neuartigen Laserschallquelle

Fritz Boden, Jan Delfs, Heino Buchholz

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik

Abteilung Technische Akustik, 38108 Braunschweig, Deutschland, Email: fritz.boden@dlr.de

Einleitung

Für viele Anwendungen (z.B.: Versuche zu Abschattungsvorgängen, Vergleiche zwischen Rechnung und Experiment) erweisen sich die räumliche Ausdehnung und die Richtcharakteristik der meisten in der Akustik verwendeten Schallquellen als Problem. Einerseits sind sehr große Abstände zur Schallquelle erforderlich, andererseits beeinflusst die Geometrie der Quelle (z.B.: Lautsprechergehäuse) oftmals selbst die Messung, sei es durch Reflexionen oder durch Beeinflussen der Strömung im Falle aeroakustischer Untersuchungen. Versuche mit Knallkörpern zeigen die genannten Probleme nicht, weisen jedoch eine schlechte Reproduzierbarkeit und ein hohes Gefahrenpotential auf. Eine Schallquelle, welche sich annähernd wie ein Monopol verhält und bei der die aufgeführten Probleme nicht auftreten, wäre deshalb wünschenswert. Vorangegangene Untersuchungen an der TU-Braunschweig [1], sowie verschiedenste Anwendungen in der Werkstoffwissenschaft, der Medizin und der Fertigungstechnik [2] zeigen, dass es mittels eines fokussierten Laserstrahls prinzipiell möglich ist, eine Schallwelle zu erzeugen. Eine genauere Erforschung des auf diese Art erzeugten Schallfeldes und die Nutzbarmachung des Phänomens für akustische Experimente liegen daher im Interesse der Abteilung Technische Akustik am DLR Braunschweig. Der vorliegende Artikel gibt einen kurzen Einblick in die grundlegende Funktionsweise der Laserschallquelle und stellt Ergebnisse der bisher durchgeführten Untersuchungen dar.

Prinzip der Knallentstehung

Eine Punktschallquelle kann unter anderem mittels einer Wärmequelle $\delta\dot{v}'/\delta t$ im erzeugt werden. Das auf diese Art entstehende Schalldruckfeld $p'(x, t)$ wird durch die Gleichung

$$p'(x, t) = \frac{1}{4\pi r} \frac{1}{c_p T^0} \frac{\delta\dot{v}'}{\delta t} \Bigg|_{\tau} \quad (1)$$

beschrieben. Hierbei ist r der Abstand zur Quelle, τ die retardierte Zeit, c_p die spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck und T^0 die Absoluttemperatur im Umgebungsmedium. Aus Gleichung 1 wird deutlich, dass die durch eine Wärmequelle erzeugte Schallwelle keine Richtcharakteristik besitzt. Um eine Punktschallquelle zu realisieren, muss dem Fluid punktuell und in kürzester Zeit Wärme zugeführt werden. Die Methode der Wärmezufuhr hat den Vorteil, dass sie auf optischem Weg „berührungsfrei“ funktioniert. Zum schnellen lokalen Aufheizen eines Fluides eignet sich am besten ein fokussierter Laserstrahl. Die gesamte Energie

des gepulsten Lasers wirkt dabei auf ein sehr kleines Gebiet ein und führt dort zur Ionisierung des Fluids. Das so entstandene Plasma fällt unter Aussenden von Licht und Wärmeenergie sofort wieder in sich zusammen. Mit der plötzlichen Temperaturerhöhung geht ebenfalls eine kurzzeitige Druckerhöhung einher, welche sich als Druckwelle vom Ort der Plasmaentstehung wegbewegt und als Knall zu hören ist. Damit dieser Vorgang an einer ge-

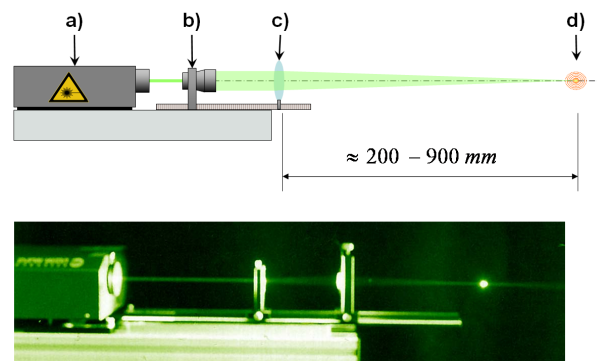


Abbildung 1: oben: schematische Darstellung des Aufbaus zum Erzeugen des Laserknalls (a-Laser, b-Aufweitungsoptik, c-bikonvexe Linse, d-Ort der Knallentstehung); unten: Foto eines Laserknalls

nau definierten Stelle stattfindet wird die in Abbildung 1 dargestellte Optik verwendet. Der von einem Nd:YAG-Laser ausgesandte Laserstrahl wird zunächst mit einem Linsensystem aufgeweitet und anschließend mit Hilfe einer bikonvexen Linse fokussiert. Die Aufweitung hat den Vorteil, dass der Laserstrahl unter einem größeren Winkel gebündelt wird und somit ein sauberer Brennpunkt entsteht. Eine zu geringe Aufweitung kann bei großen Brennweiten zu vorzeitiger und unkontrollierter Plasmaentstehung führen. Bei den Versuchen im Aeroakustischen Windkanal Braunschweig (AWB) hat sich die Kombination einer 10fach Aufweitungsoptik mit einer bikonvexen Linse (Brennweite 1000mm oder 500mm) und einer zusätzlichen plankonvexen Linse (Brennweite 2000mm) als geeignet herausgestellt. Durch die Möglichkeit der Nachfokussierung in der Aufweitungsoptik läßt sich die Position des Laserknalls in einem Abstand von 500mm bis 900mm zur letzten Linse genau einstellen.

Untersuchung des Schallfeldes

Versuchsaufbau

Entspricht die Laserschallquelle einer Punktschallquelle, wird an allen Positionen auf der Kugeloberfläche das

gleiche Signal gemessen. Zum Nachweis dieser Charakteristik wurden Mikrofone auf einem Kreisbogen konzentrisch mit einem Abstand von 200mm um den Laserknall angeordnet. Durch Rotieren des Kreisbogens ließ sich eine komplette Kugel abfahren. Wie Voruntersuchungen gezeigt haben, erzeugt der verwendete Aufbau einen sehr schmalen Impuls. Damit dieser messtechnisch erfasst werden konnte, erfolgte die Messung mit $\frac{1}{8}$ "-Mikrofonen und einer Abtastfrequenz von 250kHz. Da nur eine begrenzte Anzahl dieser Mikrofone vorhanden war, wurde die Kugeloberfläche in mehreren Einzelschritten vermessen. Um eine Vergleichbarkeit der Einzelschritte zu gewährleisten, befand sich ein Mikrofon direkt auf der Drehachse und somit immer auf der gleichen Position. Die an den anderen Mikrofonpositionen gemessenen Signalpegel wurden jeweils auf diese Referenzposition bezogen. Die Messung fand im reflexionsarmen Raum des AWB statt.

Ergebnisse

Die gemessenen Zeitsignale zeigen einen Impuls mit einer Dauer von ca. 15 bis 20 μ s. Aufgrund dieser geringen Signalbreite lassen sich Direktsignal und einzelne auftretende Reflexionen vom Messaufbau einwandfrei voneinander trennen. Die Amplitude des Signales variiert zum Teil recht stark, was möglicherweise Schwankungen der abgestrahlten Laserleistung und Fremdpartikeln im Fluid geschuldet ist. Beim Betrachten einer großen Anzahl von Laserpulsen zeigt sich jedoch ein deutlicher Vorzugswert in der Amplitude. Der an den Mikrofonpositionen ermittelte Schalldruckpegel liegt dabei im Durchschnitt bei 119dB wobei eine Standardabweichung von ± 1 dB auftreten kann. Werden die Zeitsignale, wie in Abbildung 2 dar-

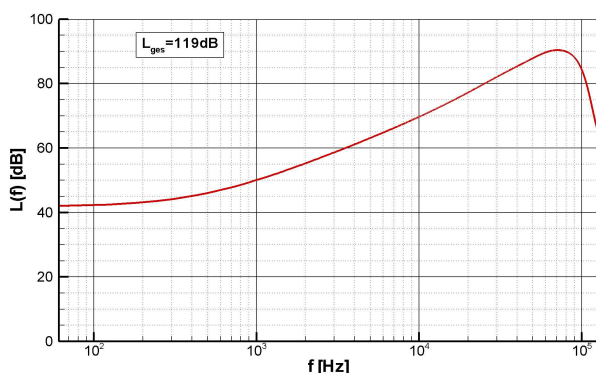


Abbildung 2: Frequenzspektrum des Laserknalls

gestellt, in den Frequenzbereich transformiert, zeigt sich zwar ein ausgeprägtes Maximum bei ca. 70kHz, jedoch ist die Schallenergie im Bereich von 10 bis 100kHz breitbandig verteilt. In Abbildung 3 sind die auf der Kugeloberfläche um den Laserknall gemessenen Schalldruckpegel zu sehen. Es ist zu erkennen, dass die Laserschallquelle in alle Richtungen annähernd gleichmäßig abstrahlt. Sie kann daher als Punktschallquelle mit Monopolcharakter angesehen werden. Die regelmäßig auftretenden geringen Pegelabweichungen stammen möglicherweise von einer Beeinflussung der Schallabstrahlung durch den Laser-

strahl selbst. Ein Hinweis darauf ist das Auftreten einer etwas geringeren Schallabstrahlung in Bereichen, welche der Strahl passiert. Dieses Phänomen führt zwar nur zu geringen Abweichungen von der idealen Kugelwelle, sollte aber noch untersucht werden.

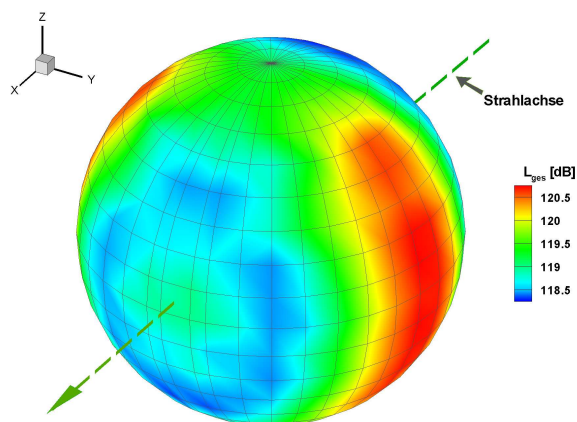


Abbildung 3: Schalldruckpegel auf einer Kugeloberfläche um den Laserknall ($r=200$ mm) Anmerkung: Jeder Gitterpunkt entspricht einer Messposition

Fazit

Die am AWB durchgeführten Versuche zur Laserschallquelle haben bewiesen, dass es möglich ist, mit Hilfe eines fokussierten gepulsten Laserstrahls eine Punktschallquelle mit Monopolcharakter zu erzeugen. Die von dem Impuls ausgesandte Kugelwelle enthält breitbandige Frequenzanteile im Bereich von 10 bis 100kHz und besitzt ein ausgeprägtes Maximum bei ca. 70kHz. Aufgrund dieser hohen Frequenzen ist die Quelle für Modellversuche mit einer Skalierung von 1:7 bis 1:10 geeignet. Der in einer Entfernung von 200mm registrierte Schalldruckpegel liegt bei 119dB (± 1 dB). Die Schallerzeugung erfolgt ohne störende Geometrien direkt im Fluid. Ausserdem kann die Quelle aufgrund des sehr kleinen Quellgebietes sehr nah an zu untersuchenden Modellen appliziert werden. Grundlegende Untersuchung zu Schallabschattungseffekten lassen sich somit leicht realisieren und wurden schon erfolgreich am AWB durchgeführt. Die bisherigen Untersuchungen erfolgten nur im ruhenden Medium. Im nächsten Schritt sind Experimente im strömenden Medium geplant. Diese werden zeigen, ob die Laserschallquelle für Abschattungsversuche an umströmten Modellen und zur Hohlspiegelkalibrierung ist.

Literatur

- [1] C.J.Kähler, M.Dreyer: Dynamic 3D stereoscopic PIV and Schlieren investigation of turbulent flow structures generated by laser induced plasma. 12th Int. Symp. on Appl. of Laser Techn. to Fluid Mechanics, Lisbon Portugal, 12.-15. Juni 2004
- [2] L. J. Radziemski, D. A. Cremers: Laser induced Plasmas and applications. Marcel Dekker Inc., New York, Juni 1989