

Ultraschallakustik

„Gerichtete Schallabstrahlung in Luft oder Wasser“

In vielen Anwendungen der Ultraschalltechnik wie der Ultraschallreinigung oder bei Sensoren für die Abstandsmessung (z. B. Füllstands-Messsysteme in Tanks, Parkhilfe im Kraftfahrzeug, Bild 1) stellt sich das grundsätzliche Problem, die mechanischen Vibrationen eines Ultraschallerzeugers möglichst effektiv als gerichtetes Schallfeld in ein fluides Medium (Flüssigkeit oder Gas) abzustrahlen.



Bild 1 Einparkhilfe im Kfz. Der Ultraschallwandler sendet eine Welle aus, schaltet anschließend auf Empfang und berechnet den Abstand zur Wand aus der Wellenlaufzeit (Quelle: CeramTec).

Die dabei an das abgestrahlte Schallfeld zu stellenden Anforderungen können je nach Anwendung sehr unterschiedlich sein: Während bei Reinigungsgeräten Ultraschall mit möglichst hoher Intensität und gleichmäßiger Verteilung im Wasserbad erzeugt wird, benötigt man für Abstandssensoren Schallfelder mit einer genau definierten Richtcharakteristik. Je nachdem, welche Art von Hindernis im Umfeld des Fahrzeugs erkannt werden soll, muss der Wandler entweder eine schmale oder aber eine breit ausgedehnte Schallfeldgeometrie erzeugen.

Kolben- und Plattenstrahler

Von der Art des benötigten Schallfeldes hängt es ab, wie ein Schallwandler aufzubauen ist. Im einfachsten Fall verwendet man sogenannte Kolbenstrahler, d. h. Wandler, deren Abstrahlflächen mit konstanter Amplitude auf ihrer gesamten Oberfläche schwingen. Je nachdem wie groß die Abstrahlfläche im Vergleich zur Wellenlänge in Luft ist, lassen sich damit unterschiedlich stark fokussierte Schallfelder erzeugen. Man beurteilt die Abstrahlwirkung anhand der so genannten „Richtcharakteristik“ des Strahlers (Bilder 2 und 3).

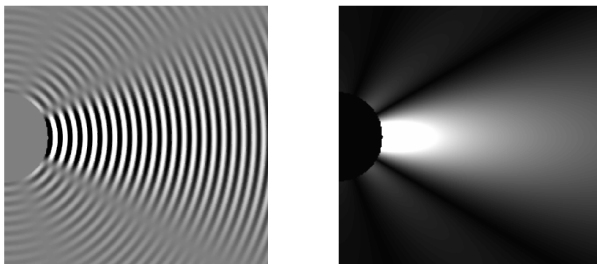


Bild 2 Simulation des Schallfeldes vor einem Kolbenstrahler. Links: Momentaufnahme der nach außen laufenden Druckwelle; rechts: Verteilung der Schalldruckamplituden. Der halbkreisförmige Nahfeldbereich unmittelbar vor dem Strahler ist jeweils ausgeblendet.

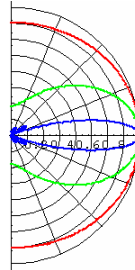


Bild 3 Richtcharakteristiken von Kolbenstrahlern. Durch die Größe der abstrahlenden Fläche lässt sich die Form der Schallkeule beeinflussen (Simulation auf Basis des Rayleigh-Integrals für drei unterschiedliche Strahler).

Soll die Reichweite eines Ultraschallwandlers vergrößert werden, so lässt sich dies durch Vergrößerung des Strahlerquerschnitts erreichen. Dies ist aber nur begrenzt sinnvoll, denn oberhalb eines kritischen Strahlerdurchmessers schwingt die abstrahlende Fläche nicht mehr als Kolben, sondern mit nicht-konstanter Amplitudenverteilung auf der Oberfläche. Das hat gravierenden Einfluss auf die Abstrahlcharakteristik des Wandlers. Beispielsweise bildet sich bei einer Platte mit konstanter Dicke typischerweise ein im inneren hohler Schalltrichter, dessen maximale Intensität erheblich kleiner ist als beim Kolbenstrahler (Bild 4).

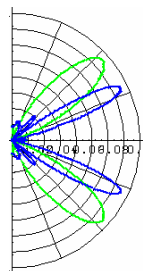


Bild 4 Typische Abstrahlcharakteristik zweier ebener, plattenförmiger Schallstrahler mit nicht-konstanter Amplitude auf der Abstrahlfläche (ebener Schnitt durch den Schalltrichter).

Durch geeignete Formgebung der Abstrahlfläche ist es allerdings möglich, die Schwingung der Platte so zu beeinflussen, dass sich auch bei Überschreitung des kritischen Durchmessers weiterhin die vom Kolbenstrahler gewohnte zentrale Schallkeule bildet. Auf diese Weise lassen sich stark gebündelte Ultraschallstrahlen mit erheblicher Intensität erzeugen.

Messung und Simulation von Schallfeldern

Bei der ATHENA Technologie Beratung GmbH entwickeln wir Ultraschallstrahler auf Grundlage vereinfachter physikalischer Modellvorstellungen, auf denen wir unsere Berechnungsmodelle gründen. Damit ist es uns möglich, zügig von den Anforderungen der Akustik zu einem ersten passenden Prototypen zu kommen. Außerdem bieten vereinfachte analytische Berechnungsmodelle den großen Vorteil, dass sie sich leicht auf veränderte Randbedingungen und Anforderungen übertragen lassen.

Um die bei der Modellerstellung getroffenen Annahmen zu überprüfen und die Funktionsfähigkeit von Prototypen nachzuweisen, werden die Schallfelder nicht nur auf Basis von Simulationen, sondern auch messtechnisch untersucht. Dazu verwenden wir u. a. ein spezielles laserbasiertes Verfahren (Refraktovibrometrie, Bild 5). Da es sich um ein berührungsloses Messverfahren handelt, wird die Druckverteilung nicht durch Messaufnehmer beeinflusst. Dies ist ein großer Vorteil beispielsweise gegenüber der Messung mittels piezoelektrischer Drucksonden.

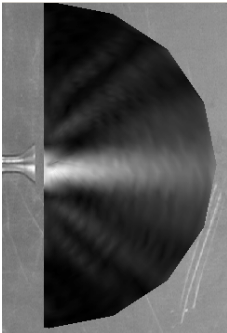


Bild 5 Refraktovibrometrische Messung der Druckamplitudenverteilung vor einem Kolbenstrahler bei Schallabstrahlung in den freien Raum (vgl. mit rechtem Bildteil in Bild 1)

Stehwellenfelder und Levitation

Anders als bei der Schallabstrahlung in den freien Raum werden die vom Ultraschallwandler abgestrahlten Wellen beim Auftreffen auf ein Hindernis reflektiert. Strahlt man eine Welle gegen eine starre Wand, so entstehen bei Einhaltung der Resonanzbedingung stehende Wellen. In derartigen Stehwellenfeldern kann man Festkörper oder Wassertröpfchen in der Schwebelage halten, d. h. levitieren (Bild 6).

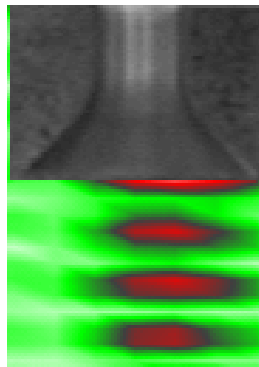


Bild 6 Links: Schweben von Tröpfchen in einem Stehwellenfeld; rechts: Druckamplitudenverteilung unterhalb des Schallwandlers (Refraktovibrometrie). Die Tröpfchen verharren in den Zonen maximalen Schallwechseldrucks (rote Bereiche).

Mit plattenförmigen Wandlern lassen sich sogar so starke Stehwellenfelder erzeugen, dass damit eine handelsübliche CD getragen werden kann (Bild 7). Dabei wirkt die CD selbst als Wandung für die Reflexion der von der Platte ausgesendeten Ultraschallwellen.

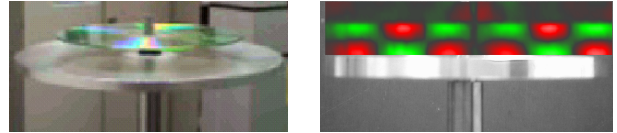


Bild 7 Links: Schweben einer CD auf einem ultraschall-erregten Luftpolster; rechts: Momentanaufnahme des Stehwellenfeldes (Refraktovibrometrie).

Bei der ATHENA Technologie Beratung GmbH entwickeln wir maßgeschneiderte Lösungen für Aufgaben im Bereich der Ultraschallakustik. Dies umfasst das Wandlerdesign, Messungen ihrer akustischen Schallfelder oder auch die Analyse und Optimierung bestehender Systeme unserer Kunden.

Kontakt

Autor: Dr.-Ing. Walter Littmann
(walter.littmann@myATHENA.de)

Leiter des Bereichs Technische Entwicklung
der ATHENA Technologie Beratung GmbH



ATHENA
Technologie Beratung GmbH
Technologiepark 13
33100 Paderborn

Tel.: +49-52 51-3 90 65 60
Fax: +49-52 51-3 90 65 63

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