

# Modellierung der Schallabstrahlung von Flammen mit akustischen Ersatzstrahlern

Rafael Piscoya, Haike Brick, Martin Ochmann, Peter Költzsch

**Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung einer Methode, nämlich der Ersatzstrahlermethode (ESM, bekannt bisher nur für die Schallabstrahlung von schwingenden Festkörpern) für die Beschreibung aerothermoakustischer Schallquellen. Das Verfahren wird konkret für die Schallerzeugung und Schallabstrahlung einer freien Flamme, gestaltet. Größen, die die Abstrahlung ins akustische Fernfeld charakterisieren, wie die Schalleistung, Richtwirkung und der Umsetzgrad, können mit der ESM leicht ermittelt werden. Die Anwendung dieser Methode soll einen alternativen Weg zum Behandeln akustischer Eigenschaften von Verbrennungsprozessen darstellen.**

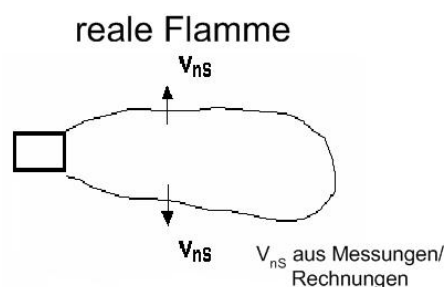
## Einführung

Der Verbrennungsvorgang ist eine Summe von komplexen chemischen und physikalischen Prozessen: instationäre Wärmefreisetzung, Turbulenz, Temperatur- und Dichteschwankungen, Wechselwirkung von Strömung und Schall, Reaktionskinetik zwischen den vielen beteiligten Spezies und vieles mehr. Jeder Prozess trägt in geringerem oder größerem Maße zur Erzeugung von Lärm bei.

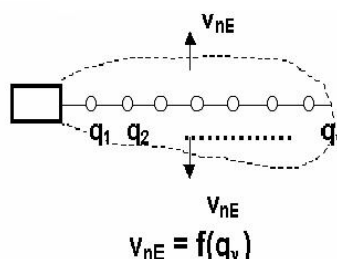
Akustiker versuchen oft Schallabstrahlung mit elementaren Strahlern zu beschreiben. Solche Elementarstrahler (Pole) erleichtern das Verstehen und die Klassifizierung der Richtcharakteristiken und Schalleistungen der komplexeren Strahler. Die Pole erzeugen Schall grundsätzlich durch drei Mechanismen: a) durch fluktuierende Massenflüsse, b) fluktuierende Kräfte und c) fluktuierende Spannungen. Auch bei der Verbrennung werden diese Mechanismen auf das Medium wirken, deshalb kann der abgestrahlte Schall durch Multipole dargestellt werden.

## Die Ersatzstrahler-Methode (ESM):

Diese Methode ersetzt das Strahlervolumen bzw. die Strahleroberfläche durch ein System von Multipolen (Monopol, Dipol, Quadrupol, etc), so dass auf der Strahleroberfläche eine vorgegebene akustische Quellgröße z. B. die instationäre Druck-, Schnelle- oder Auslenkungsverteilung, welche experimentell oder numerisch ermittelt wird, möglichst gut approximiert wird. Damit kann dann das reale Schallfeld außerhalb des Strahlervolumens als Schallfeld der Multipolersatzstrahler modelliert und damit näherungsweise berechnet werden.



## fiktive Ersatzstrahleranordnung



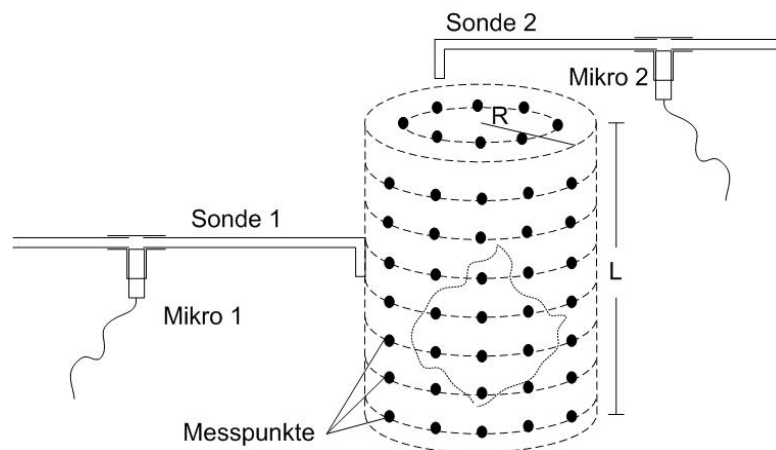
**Bild 1.** Das Schallfeld einer Flamme wird durch das Feld eines Systems von Multipolen approximiert.

Im Verlauf des Projekts werden einige Frage bezüglich der Anwendung der Methode bei aerothermoakustischen Schallquellen beantwortet. Bei der klassischen ESM wird am häufigsten die Normalkomponente der Oberflächenschnelle vorgegeben. Welche Größe wird aber nun auf der Oberfläche der freien Flamme abgeglichen? Mit welchen Verfahren wird sie ermittelt? Die Flamme hat im Gegensatz zum Festkörper keine feste Oberfläche. Wie wird die Flammenkontur festgelegt? Können physikalische und strukturelle Aspekte des Verbrennungsprozess zur optimalen Gestaltung der ESM genutzt werden?

Diese Fragen sollen im Laufe des Forschungsprojektes gelöst werden. Für die Methode ist nicht wichtig, ob die vorgegebene Größe auf der Körperoberfläche oder auf einer Hüllfläche, die das Objekt umschließt, bekannt ist. Eine wichtige Voraussetzung ist, dass alle Quellen innerhalb der Hüllfläche liegen. Das bedeutet auch, dass außerhalb der Hüllfläche die lineare homogene Wellengleichung gilt. Es wurden Zylinder als Hüllflächen ausgewählt und eine Abgleichsgröße auf der Fläche für zwei Arten von Flammen ermittelt.

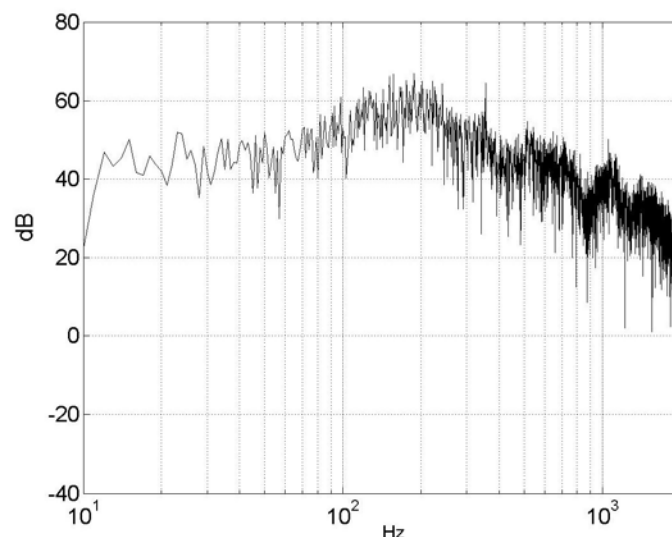
### Schalldruck einer Drallflamme

Der Schalldruck, erzeugt von einer turbulenten CH<sub>4</sub>-Luft Drallflamme, wurde im DLR Zentrum – Abteilung Turbulenzforschung (Berlin) gemessen. Zwei Zylinder mit Radien 50mm und 100 mm und Längen 110mm und 160mm wurden als Hüllflächen genommen. Der Schalldruck wurde in mehrere Punkten auf der Zylinderoberfläche im Zeitbereich ermittelt (Mikro 2). Außerdem wurde der Druck in einer festen Position relativ zur Flamme (Mikro 1) als Referenzsignal aufgenommen (Bild 2).



**Bild 2.** Messverfahren

Das Spektrum der Drallflamme in einem Punkt auf dem Zylinder wird im Bild 3 gezeigt. Im Bereich von 10 Hz bis 2000 Hz sieht man keine definierte Struktur, sondern ein breitbandiges Geräusch bei tiefen Frequenzen, dessen Energie ab etwa 250 Hz mit wachsender Frequenz abnimmt.

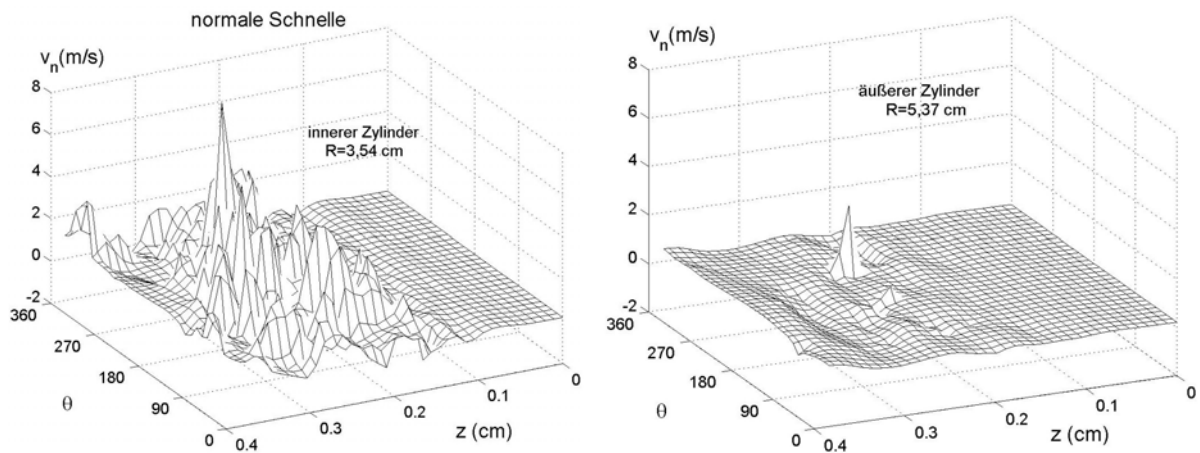


**Bild 3.** Spektrum der Drallflamme

## Schallschnelle einer Diffusionsflamme

Eine Diffusionsflamme wurde mit dem LES („Large Eddy Simulation“) Verfahren an der TU-Darmstadt simuliert. Bei diesem Verfahren konnte der Schalldruck nicht genau ermittelt werden, aber andere Größen wie Schnelle und Dichte wurden gut berechnet. In diesem Fall wurden die physikalischen Größen in einem feinen Gitter auf den Oberflächen von mehreren konzentrischen Zylindern, die die Flamme enthalten, im Zeitbereich bestimmt.

Im Bild 4. werden die Schwankungen der Normalkomponente der Schnelle auf den seitlichen Flächen von zwei konzentrischen Zylindern in einem festen Zeitpunkt dargestellt. (Die Zylinder wurden ausgerollt, so dass man die Schnelle auf einer  $z$ - $\theta$  Ebene repräsentieren konnte).



**Bild 4.** Schwankungen der normalen Komponente der Schnelle

Mit der gemessenen bzw. simulierten Größe können die Amplituden der Ersatzstrahler in beiden Fällen berechnet werden. Mehrere Parameter, insbesondere Art und Positionierung der akustischen Ersatzstrahler, müssen noch optimiert werden.

## Literatur

Peter Költzsch, „Strömungsakustik- eine aktuelle Übersicht“, TU-Dresden, Juli 2000

## Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Martin Ochmann  
Dr. Rafael Piscoya  
Dipl.-Ing. Haike Brick  
Technische Fachhochschule Berlin  
Fachbereich II (Mathematik-Physik-Chemie)  
Luxemburger Str. 10  
13353 Berlin  
Tel.: (030) 4504 2931  
Fax: (030) 4504 2974  
e-mail: [ochmann@tfh-berlin.de](mailto:ochmann@tfh-berlin.de)

## Kooperation

Professor Dr.-Ing. Peter Költzsch, Institut für  
Akustik und Sprachkommunikation, TU-Dresden  
DFG, Forschergruppe „Verbrennungslärm“  
Teilprojekt 4