

# Berechnung der Schallabstrahlung von Flammen mit Diskretisierungsmethoden

Haike Brick<sup>1</sup>, Rafael Piscocya<sup>2</sup>, Martin Ochmann<sup>2</sup>, Peter Költzsch<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technische Universität Dresden, 01062 Dresden, Deutschland,

Email: brick@tfh-berlin.de, peter.koeltzsch@ias.et.tu-dresden.de

<sup>2</sup> TFH Berlin, 13353 Berlin, Deutschland, Email: [piscocya, ochmann]@tfh-berlin.de

## Einleitung

Innerhalb der DFG-Forschergruppe „Verbrennungslärm“ wurde unter anderem die Anwendung der Kirchhoff-Methode auf die Simulation des Verbrennungsgeräusches von offenen, nicht-vorgemischten, turbulenten Jet-Flammen untersucht. Bei der Kirchhoff-Methode handelt es sich um ein hybrides Verfahren, in dem die nicht-linearen Gleichungen zur Beschreibung der Strömungs- und Reaktionsprozesse in der Quellzone mit einer Methode aus dem Bereich Computational Fluid Dynamics gelöst werden und die gewonnenen Daten über Geschwindigkeits- und Druckverteilung über eine Kontrollfläche an Methoden der linearen Akustik gekoppelt werden. Die Kirchhoff-Methode wird hierbei durch eine Kopplung von Large-Eddy-Simulation (LES) mit der Boundary-Element-Method (BEM) bzw. der Equivalent Source Method (ESM) realisiert. Die Ergebnisse für zwei Flammenkonfiguration H3 und HD sowie detaillierte Methodenbeschreibungen wurden schon in früheren Publikationen veröffentlicht [1, 2, 3, 4]. Die Ergebnisse unterscheiden sich stark für beide Konfigurationen. Während die abgestrahlte Schalleistung der Konfiguration HD recht genau simuliert werden konnte, ergeben sich bei der Konfiguration H3 erhebliche Abweichungen zwischen Messung und Rechnung. Im vorliegenden Beitrag sollen Ansätze zur Verbesserung der Simulationsergebnisse diskutiert werden.

## Lösungsstrategien

Von den untersuchten Ansätzen sollen im Folgenden zwei vorgestellt werden, die Anwendung der Hauptkomponentenanalyse auf die Geschwindigkeitszeitsignale und eine Modifikation der zugrundeliegenden LES mit einhergehender Änderung der Lage der Kopplungsfläche.

## Hauptkomponentenanalyse

Eine Vergleich der simulierten und gemessenen Schallintensität an den Messpunkten zeigt, dass die Störungen vor allem im Bereich der durchströmten Deckelflächen auftreten [4]. Aufgrund der Annahmen, dass die Auslöser dieser Störungen turbulente Geschwindigkeitsfelder sind, die nicht mit den akustisch relevanten Schwankungsgrößen auf der Kontrolloberfläche korrelieren, sollte es möglich sein, diese unkorrelierten Signalanteile mittels Hauptkomponentenanalyse von den akustischen Anteilen zu trennen. Die Hauptkomponentenanalyse (princi-

pal component analysis) ist ein Verfahren der multivariaten Statistik, mit Hilfe derer  $p$  abhängige Merkmale durch lineare Transformation in  $p$  unabhängige, orthogonale Komponenten überführt werden können [5]. Ziel ist es, aus den  $p$  unabhängigen Komponenten die  $q$  „wesentlichen“ auswählen zu können. Für das dargestellte Vorhaben ist es jedoch vor allem interessant, dass die gewonnenen Signalkomponenten unkorreliert sind.

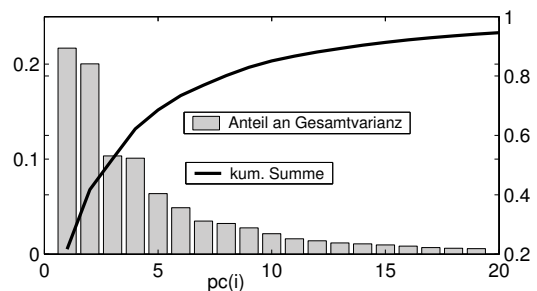


Abbildung 1: Anteil der Komponenten  $pc(i)$  an der Gesamtvarianz des Zeitsignals und kumulierte Summe der Anteile (Konfiguration H3)

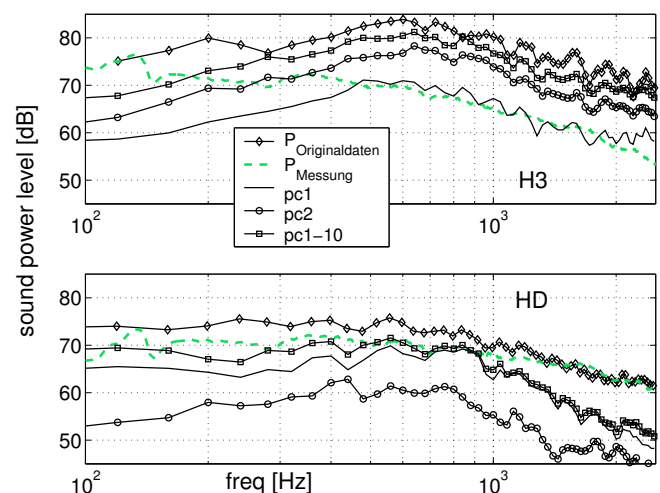


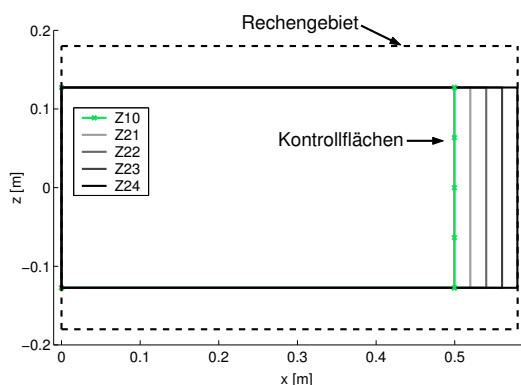
Abbildung 2: Abgestrahlte Schalleistung einzelner Komponenten, oben: für die H3-Flamme, unten: für die HD-Flamme

Aus den Zeitsignalen der Geschwindigkeiten auf der Kontrolloberfläche werden ebensoviele Komponenten gebildet, wie es Oberflächenelemente gibt. Abb. 1 zeigt die Anteile der ersten 20 Komponenten an der Varianz des Gesamtsignals. Mit den ersten 20 Komponenten sind schon über 90% der Gesamtvarianz erklärt, d.h. ihre

Summe bildet das Gesamtsignal im Wesentlichen ab. Abb. 2 zeigt die abgestrahlte Schalleistung der ersten (pc1), zweiten (pc2) und der Summe der ersten 10 Komponenten (pc1-10) für die H3- und HD-Flamme im Vergleich zum Gesamtsignal ( $P_{\text{Originaldaten}}$ ) und zur gemessenen Schalleistung ( $P_{\text{Messung}}$ ). Für die Konfiguration H3 trifft die Schalleistung der 1. Komponente oberhalb 500 Hz die Messkurve außerordentlich gut. Leider läßt sich dieses Ergebnis nicht anhand der Konfiguration HD verifizieren. Hier trifft die Kurve der ersten Komponenten kaum die Messkurve. Anhand dieser beiden Beispielkonfigurationen läßt sich die Anwendbarkeit der Hauptkomponentenanalyse zur Verbesserung der Simulationsergebnisse nicht zeigen. Hier sind weitergehende Untersuchungen notwendig.

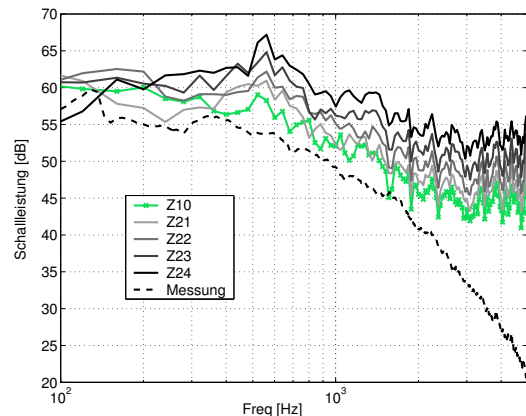
## Modifikation der LES

In einem anderen Schritt wurde die zugrundeliegende LES modifiziert. So wurde die Rechengebietslänge in einem Verhältnis zur stöchiometrischen Flammenlänge gewählt, welches dem der Flammenkonfiguration HD entspricht, die die deutlich besseren akustischen Simulationsergebnisse gezeigt hatte. Dadurch vergrößerte sich die Rechengebietslänge der neuen LES 2 von 0.5 m auf 0.58 m. Während bei der bisherigen LES 1 die Deckflächen der Kirchhoff-Fläche mit dem Rechengebiet der LES abschlossen, wurde mit der neuen Konfiguration auch die Möglichkeit geschaffen, Kopplungsflächen zu generieren, die gänzlich innerhalb des Rechengebietes der LES liegen. Abb. 3 zeigt ausgewählte Kopplungsflächen desselben Radius, aber unterschiedlicher Länge. Dabei entspricht die Kopplungsfläche „Z10“ der Kopplungsfläche der bisherigen LES 1. Abb. 4 zeigt die Schalleistung, die mit den verschiedenen Flächen ermittelt wurde. Mit zunehmender Länge  $L$  der Kopplungsflächen



**Abbildung 3:** Seitenansicht des zylindrischen Rechengebietes der LES (---) und verschiedener Kopplungsflächen zu den akustischen Methoden

werden die Abweichungen zur gemessenen Schalleistung immer größer. Mit der ursprünglichen Kopplungsfläche im neuen Rechengebiet werden die besten Ergebnisse erzielt.



**Abbildung 4:** Abgestrahlte Schalleistung der H3-Flamme, ermittelt mit den verschiedenen Kopplungsflächen aus Abb. 3

## Zusammenfassung

Es wurden zwei Lösungsansätze vorgestellt, um die Simulationsergebnisse zum Verbrennungsgeräusch offener, turbulenter Jet-Flammen zu verbessern. Mit der Anwendung der Hauptkomponentenanalyse auf die, von der LES ermittelten, Geschwindigkeitssignale konnte kein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden. Es können mit den vorhandenen Konfigurationsbeispielen keine zuverlässigen Aussagen über die Wirkung der einzelnen, ermittelten Komponenten gewonnen werden. Der Ansatz, die LES und die Lage der Kopplungsfläche zwischen LES und BEM/ESM zu modifizieren, zeigt dagegen sehr vielversprechende Resultate. Auch hier zeigt sich, wie schon in vorhergehenden Publikationen dargestellt[4], dass der kritische Bereich die durchströmte Deckelfläche der zylindrischen Kopplungsflächen ist. Die Lage dieser Deckelfläche hat signifikanten Einfluss auf die Güte der Simulationsergebnisse. Aussagen über eine optimale Lage können anhand der bisherigen Untersuchungen nicht getroffen werden, aber es ist offensichtlich, dass sie in einem ausreichenden Abstand zum Rechengebietsrand der LES liegen muss.

## Danksagung

Wir möchten Prof. J. Janika und Dipl.-Ing. F. Flemming von der TU Darmstadt für die Zusammenarbeit und die Bereitstellung der LES-Daten danken. Diese Arbeit wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen der Forschergruppe „Verbrennungslärm“ gefördert.

## Literatur

- [1] Brick, H., Piscocoy, R., Ochmann, M., and Költzsch, P. In *Fortschritte der Akustik - DAGA '2005* (München, 2005).
- [2] Piscocoy, R., Brick, H., Ochmann, M., and Költzsch, P. In *Proc. ICSV12* (Lisbon, 2005).
- [3] Flemming, F., Nauert, A., Sadiki, A., Janicka, J., Brick, H., Piscocoy, R., Ochmann, M., and Költzsch, P. In *Proc. ICSV12* (Lisbon, 2005).
- [4] Brick, H., Piscocoy, R., Ochmann, M., and Költzsch, P. In *Proc. Forum Acusticum*, 85–89 (Budapest, 2005).
- [5] Hartung, J. and Elpelt, B. *Multivariate Statistik*. Oldenbourg, München [u.a.], (1992).