

Experimentelle Validierung der Rekonstruktion von Schallquellen in einem Strömungskanal

Christian Pfeifer¹, Benjamin Pardowitz²
Christian Oliver Paschereit¹, Lars Enghardt²

¹ Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik, TU Berlin, 10623 Berlin, Deutschland

Email: christian.pfeifer@pi.tu-berlin.de

² Institut für Antriebstechnik, DLR, 10623 Berlin, Deutschland

Einleitung

Moderne Brennkammern für Flugzeugtriebwerke oder stationäre Gasturbinen werden zur Optimierung ihrer Effizienz und zur Minimierung der Schadstoffemissionen bei sehr hohen Temperaturen mit nicht stöchiometrischen Gemischen von Luft und Brennstoff mager betrieben. Diese Art der Verbrennung hat den Nachteil, dass sie zur Ausbildung von Instabilitäten neigt, die grundsätzlich ein sehr unangenehmes akustisches Fernfeld erzeugen und außerdem im Resonanzfall auch die Lebensdauer der Brennkammer signifikant herabsetzen können. Ziel eines von der DFG geförderten Projektes ist die Lokalisierung von Schallquellen in geschlossenen Brennkammern. Zur Vorhersage, Charakterisierung und Vermeidung dieser Resonanzen benötigt man detaillierte Kenntnis über die Positionen und die Amplituden der zu Grunde liegenden Schallquellen.

Theoretischer Hintergrund

Theoretischer Hintergrund bei der Rekonstruktion von Schallquellen auf kompakten Gebieten bildet die akustische Nahfeldholographie, bei der zusätzlich zu den ausbreitungsfähigen Schallfeldanteile (Moden) auch nicht-ausbreitungsfähige Moden berücksichtigt werden. Detaillierte Informationen dazu findet man in [4, 1, 2]. Die Idee der Rekonstruktion von Schallquellen besteht darin, das Gebiet, in dem die Schallquellen vermutet werden, durch ein Gitter von Monopolschallquellen zu diskretisieren. Die unbekanntes Quellstärken werden durch die Lösung eines inversen akustischen Problems bestimmt. Aufgrund der schlechten Konditionierung des resultierenden Gleichungssystems müssen bei der Lösung des inversen akustischen Problems Regularisierungsmethoden, z.B. das *Tikhonov*-Verfahren, angewandt werden [3, 5].

Experimenteller Aufbau

Die vorliegenden Experimente wurden an einem Kaltakustikprüfstand des DLR in Berlin durchgeführt. Der Strömungskanal besitzt einseitig einen reflexionsarmen Abschluss nach DIN EN ISO 5136 und am anderen Ende einen näherungsweise reflexionsarmen Abschluss ausgelegt mit schallabsorbierendem Material (Abb. 1). Der Kaltakustikprüfstand ist modular aufgebaut und besitzt mehrere Mikrofonarrays. In den Untersuchungen wurde ein Mikrofonarray mit insgesamt 78 Mikro-

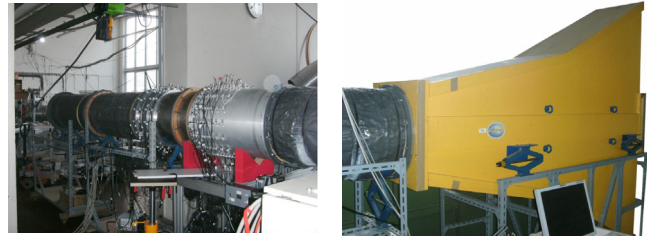


Abbildung 1: Kaltakustikprüfstand mit Abschluss aus schallabsorbierendem Material (links) und reflexionsarmem Abschluss nach DIN EN ISO 5136 (rechts)

fonen verwendet, welches in Abbildung 2 dargestellt ist. Ein mit Halterungen versehener Ring diente zugleich als Quellebene. Die Monopolquellen wurden durch dünne Röhrchen mit einem Innendurchmesser von 6 mm und verschiedenen Längen, die mit Druckkammertreiber verbunden sind (Abb. 3), modelliert. Eine Gesamtkonfigu-



Abbildung 2: Mikrofon- und Schallquellsegment des Kaltakustikprüfstands. Ring 2: Quellebene, Ring 3-6: Mikrofonarray mit insgesamt 78 Mikrofonen



Abbildung 3: Schallquellen werden durch dünne Röhrchen und Druckkammertreibern modelliert

ration mit 5 Quellen wird in Abbildung 4 dargestellt. Die Röhrchen, deren Endpunkte die Positionen der Monopolschallquellen darstellen, wurden durch Bohrungen in den Strömungskanal eingeführt.

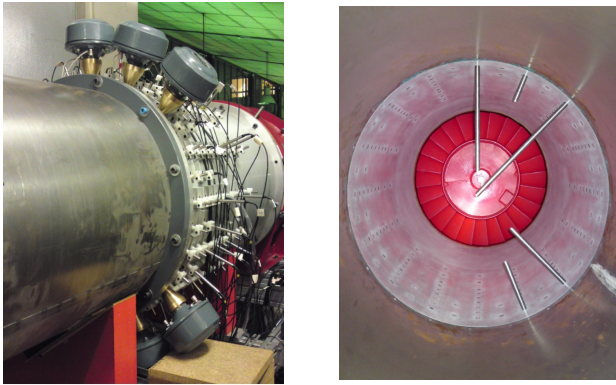


Abbildung 4: Schallquellen in den Strömungskanal eingeführt, links: Außenansicht, recht: Innenansicht

Experimentelle Ergebnisse

Es wurden verschiedene Untersuchungen im Hinblick auf die Rekonstruktionsgüte durchgeführt. Dabei wurden Schallfelder mit unterschiedlichen Positionen der Quellen und verschiedenen Anregungsfrequenzen vermessen. Exemplarisch sind hier Rekonstruktionsergebnisse für zwei Quellpositionen gezeigt. Im ersten Fall befindet sich die Schallquelle in Wandnähe (5 cm von der Kanalwand, siehe Abb. 5 links). Der Rekonstruktionsalgorithmus wurde mit *Tikhonov*-Regularisierung mit *L-Curve*- und *GCV*-Parameterbestimmung für jeweils 47 und 78 Mikrofonsignale durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass die Rekonstruktion mit *Tikhonov (GCV)*-Regularisierung und 78 Sensoren die höchste Genauigkeit aufweist. Das Ergebnis wird in Abbildung 5 rechts gezeigt. Die Position der Quelle ist mit einem roten Kreuz gekennzeichnet. Die blauen Quadrate stellen die Positionen der Modellquellen dar. Die rekonstruierten Quellamplituden werden mit schwarzen Kreisen gekennzeichnet. Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass neben der exakten Rekonstruktion der realen Quellposition keine künstliche Zusatzquellen auftreten. Bei Erhöhung der Wandentfernung der Quelle

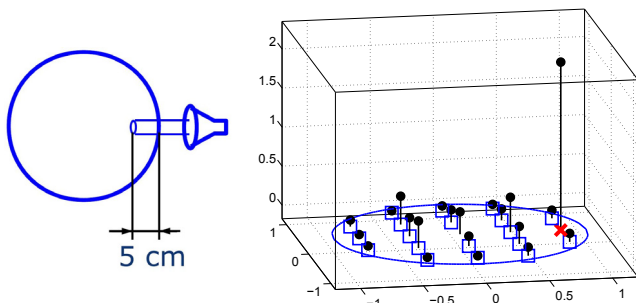


Abbildung 5: Rekonstruktion einer Quelle (5 cm Abstand zur Kanalwand) mit *Tikhonov (GCV)*-Regularisierung und 78 Mikrofonsignale, links: Schematische Darstellung der Konfiguration, rechts: \times Position der Schallquelle, \square Positionen der Modellquellen, \bullet Rekonstruierte Quellamplituden

wird die Rekonstruktion ungenauer. Abbildung 6 zeigt das Ergebnis der Rekonstruktion bei einer Quelle, die 15 cm von der Kanalwand entfernt ist. Die reale Quelle wird immer noch als dominante Schallquelle rekonstruiert, jedoch treten jetzt verstärkt künstliche Zusatzquel-

len auf. Bei den Untersuchungen wurde ebenfalls fest-

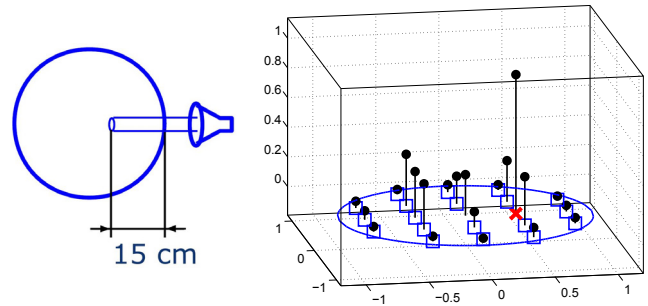


Abbildung 6: Rekonstruktion einer Quelle (15 cm Abstand zur Kanalwand) mit *Tikhonov (GCV)*-Regularisierung und 78 Mikrofonsignale, links: Schematische Darstellung der Konfiguration, rechts: \times Position der Schallquelle, \square Positionen der Modellquellen, \bullet Rekonstruierte Quellamplituden

gestellt, dass die Rekonstruktion mit *Tikhonov (GCV)*-Regularisierung genauer ist als bei der Verwendung von *Tikhonov (L-Curve)*-Regularisierung. Außerdem erhöht sich bei einer Erhöhung der Anzahl von Mikrofonsignale die Rekonstruktionsgüte.

Zusammenfassung

Die Rekonstruktion einer Schallquelle in Wandnähe wurde erfolgreich validiert. Weiterhin wurde gezeigt, dass die Rekonstruktion abhängig von der Wahl der Regularisierungsmethode und der Anzahl der verwendeten Sensorinformationen ist, vergleichbar mit den Ergebnissen in [4].

Es sind weitere Untersuchungen geplant, um mehrere Quellen innerhalb des Stömungskanals in verschiedenen Quellebenen zu rekonstruieren.

Literatur

- [1] Kim, Y. and Nelson, P.A.: Estimation of acoustic source strength within a cylindrical duct by inverse methods. *Journal of Sound and Vibration* 275 (2003), 391–413
- [2] Kim, Y. and Nelson, P.A.: Optimal regularisation for acoustic source reconstruction by inverse methods. *Journal of Sound and Vibration* 275 (2003), 463–487
- [3] Nelson, P.A. and Yoon, S.H.: Estimation of acoustic source strength by inverse methods: Part I, Conditioning of the inverse problem. *Journal of Sound and Vibration* 233 (4) (2000), 643–668
- [4] Pfeifer, C. et al.: *Localization of Sound Sources in Combustion Chambers*. in *Combustion Noise*. Springer-Verlag, Berlin, 2009, 269–291
- [5] Yoon, S.H. and Nelson, P.A.: Estimation of acoustic source strength by inverse methods: Part II, Experimental investigation of methods for choosing regularization parameters. *Journal of Sound and Vibration* 233 (4) (2000), 669–705