

Untersuchungen der Strömungsakustik eines Fagottes unter realen Spielbedingungen

Andreas Richter¹, Roger Grundmann¹

¹ Technische Universität Dresden, Institut für Luft- und Raumfahrttechnik, 01062 Dresden, Deutschland

Email: andreas.richter4@tu-dresden.de

Einleitung

Das Lösen der kompressiblen Navier-Stokes-Gleichungen erlaubt die gekoppelte Untersuchung der Grundströmung und des überlagerten Schallfeldes in Holzblasinstrumenten wie dem Fagott. Im Vergleich zu im Frequenzraum arbeitenden Methoden ermöglicht dieser Ansatz die zeitliche Verfolgung akustischer Wellen. Dies hilft beispielsweise Instrumentenbauern, komplexe physikalische Phänomene im Instrument zu verstehen und somit gezielte Optimierungen durchzuführen.

Wir präsentieren eine alternative Randbehandlung als einen Ansatz, die Strömungsakustik in einem Fagott zu simulieren. Diese Randbedingungen resultieren bei diesem Ansatz aus Druckmessungen während des Spielens des Instrumentes [1]. Dies betrifft den Eintritt (Doppelrohrblatt) und den Austritt (offenes Instrumentenende). Numerische Studien an einer idealisierten Geometrie zeigten eine gute Übereinstimmung zwischen der analytischen Lösung und den numerischen Ergebnissen und bewiesen somit die Anwendbarkeit dieser Methode für aeroakustische Probleme. Das eingesetzte numerische Verfahren basiert auf einer Finite-Volumen-Methode zweiter Ordnung in Kombination mit einem impliziten Zeitintegrationsalgorithmus zweiter Ordnung. Zusätzlich zeigen wir Ergebnisse aus der Simulation des Fagottes.

Randbehandlung

Rohrblattinstrumente setzen sich aus einem nichtlinearen Erregungsmechanismus, dem Rohr- bzw. Doppelrohrblatt sowie einem annähernd linearen Resonator, dem Instrumentenkörper zusammen. Die Modellierung des Doppelrohrblattes erweist sich dabei als schwierig. Die exakte Erfassung der dreidimensionalen, vom lokalen statischen Druck abhängigen Bewegungsformen des Blattes bedarf einer Lösung der Rohrblattstruktur, gekoppelt mit den strömungsmechanischen Gleichungen. Neben einem hohen Modellierungs- und Rechenaufwand bedingen hierbei unzureichend bekannte Material- und Geometriekenntnisse des Blattes Fehler. Alternativ ließe sich das Blatt mit einem analytischen Ersatzmodell abbilden. Verfügbare Modelle berechnen den Massestrom durch das Rohrblatt in Abhängigkeit des lokalen Druckes. Dieser nulldimensionale Ansatz liefert aber beispielsweise keine Informationen über die lokale Dichteverteilung im Rohrblatt. Somit wäre eine Kopplung lediglich mit einem linearisierten System erfolgreich.

Als alternativen Ansatz bestimmten wir den statischen Druck im Doppelrohrblatt (siehe Abbildung 1) und an dem offenen Ende des Instrumentes, während ein Musiker

dieses Instrument spielte. Gespielt wurde dabei lediglich der tiefste Ton (B1, $f=58$ Hz), d.h. sämtliche Fingerlöcher und Klappen waren dabei geschlossen.

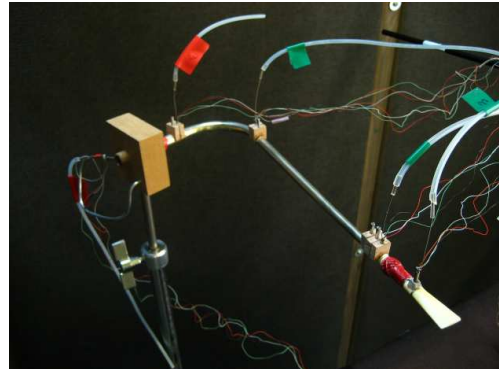


Abbildung 1: Messaufbau für die Druckmessungen im Doppelrohrblatt (hier ohne Fagott dargestellt)

Die Abbildung 2 illustriert die gemessenen Druck- Zeit-Verläufe. Optische Messungen des Öffnungsquerschnittes des Doppelrohrblattes zeigten, dass das Blatt einen Großteil der Zeit beim Spielen geöffnet ist. Lediglich eine kurze Zeit während einer Periode schließt das Blatt und bedingt einen negativen Druckimpuls, der durch das Instrument läuft. Die in der Abbildung 2 dargestellten Verläufe bestätigen dieses Verhalten.

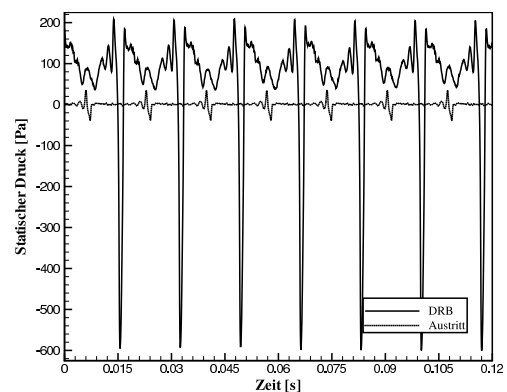


Abbildung 2: Gemessener statischer Druck im Doppelrohrblatt und am offenen Ende des Fagottes während des Spielens der tiefsten Ton B1 durch einen Musiker

Allerdings kann die harte Vorgabe der Drucksignale Störungen des simulierten Systems bedingen. Kleine Störungen, resultierend beispielsweise aus der Randbehandlung oder aus geringen Phasenfehlern zwischen Ein- und Austritt, reflektieren an den künstlichen Rändern und können somit das Rechengebiet nicht verlassen. Als Lösung hierfür erlaubt die charakteristische Randbehandlung das Verlassen dieser Störungen am Austritt

bei gleichzeitiger Erhaltung des Mittelwertes des Drucksignales an diesem Rand.

Numerische Ergebnisse

Die Grundströmung, d.h. die zeitgemittelte Strömung im S-Bogen des Instrumentes ist in der Abbildung 3 dargestellt. Deutlich zeigt sich ein typisch parabolisches Geschwindigkeitsprofil, das einer rein stationären Strömung im Instrument entspricht.

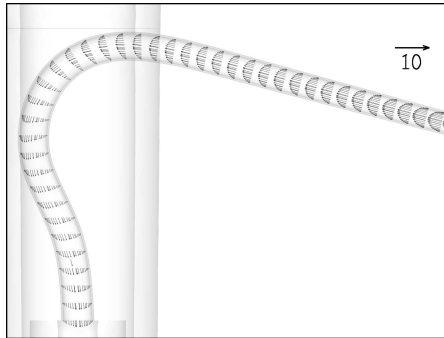


Abbildung 3: Mittelwert der Geschwindigkeit im S-Bogen beim Spielen des tiefsten Tons Bb

Die instationären Schwankungsanteile visualisiert die Abbildung 4 zu verschiedenen Zeitpunkten innerhalb einer Periode. Dabei wird deutlich, dass die Schwankungsanteile der Geschwindigkeit im Vergleich zur Grundströmung geringer ausfallen. Dies motiviert die separate Berechnung und Analyse der Grundströmung.

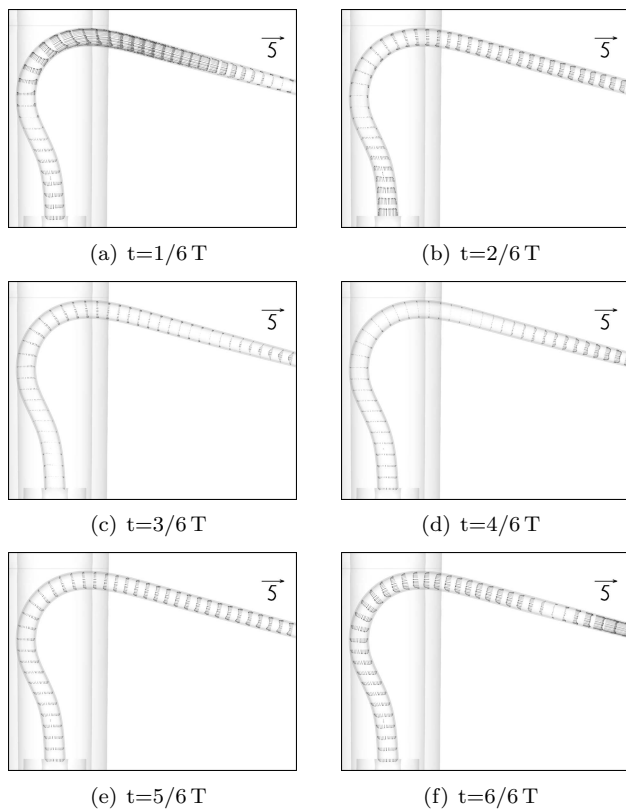


Abbildung 4: Instationärer Schwankungsanteil der Geschwindigkeit im S-Bogen beim Spielen des tiefsten Tons Bb

Danksagung

Diese Arbeit wurde unterstützt von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) in dem Projekt "CFD-Untersuchungen von strömungsdynamischen und akustischen Vorgängen im Fagott".

Literatur

- [1] Grothe, T. und Baumgart, J. und Grundmann, R.: Ein steuerbares Mundstück für Fagotte, DAGA 2008, Dresden
- [2] Richter, A. und Grundmann, R.: Numerical simulation of a bassoon under real playing conditions. Journal of applied science in the thermodynamics and fluid mechanics 1 (2008), 1-5