

## Ein steuerbares Mundstück für Fagotte

Timo Grothe, Johannes Baumgart, Roger Grundmann

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

Email: timo.grothe@tu-dresden.de

### Einleitung

Das Doppelrohrblatt-Mundstück des Fagottes besteht aus zwei Schilfrohrplättchen. Beim Spielen des Instrumentes wird der Ton dadurch erzeugt, dass die beiden Rohrblatthälften gegeneinander schlagen: Dieses vollständige Schließen verursacht ein Abreißen des Luftstromes und damit einen negativen Druckimpuls, der mit Schallgeschwindigkeit durch den Instrumentenkörper wandert. Der trainierte Musiker kann durch eine sehr große Vielzahl von Ansatzparametern (v.a. Blasdruck, Lippenspannung, Position des Rohres zwischen den Lippen) das Verhalten des Rohrblattes verändern und damit Klang und Stimmung des gespielten Tones beeinflussen. Um die Wechselwirkungen von Geometrie und Strömung in einem Fagott experimentell untersuchen zu können, ist es notwendig, das Instrument bei realen Spielbedingungen wiederholbar anzuregen.

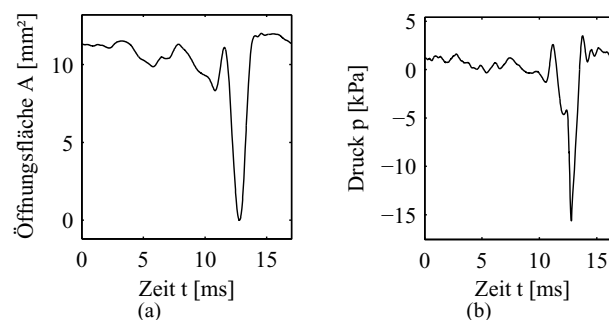
Ziel der Arbeit ist daher die Entwicklung einer Anblasvorrichtung für Fagotte, die das Rohrblatt in seiner Funktion als Ventil ersetzt. Dazu wird zunächst das Verhalten des Doppelrohrblattes während des Spielens untersucht. Wir stellen einen Versuchsaufbau mit einem schnellschaltenden Magnetventil vor, der es erlaubt, die Luftsäule im Fagott bei realen Druckamplituden mit überlagerter Grundströmung anzuregen. Die damit erzielten Ergebnisse zur Ermittlung der Stimmung des Fagottes werden präsentiert. Abschließend werden die Frequenzspektren der "künstlich" erzeugten Klänge mit denen von Musikern verglichen.

### Charakterisierung des Rohrblattes

Zunächst war es erforderlich, das Verhalten des Doppelrohrblatt während des Spielens zu bestimmen. In einigen Versuchen mit Musikern und einer Anblasvorrichtung mit künstlichen Lippen [2] wurden der Druckverlauf in einem präparierten Doppelrohrblatt gemessen. Aus Aufnahmen mit einer Hochgeschwindigkeitskamera konnte die Öffnungsfläche des Doppelrohrblattes als Funktion der Zeit bestimmt werden (s. Abb. 1).

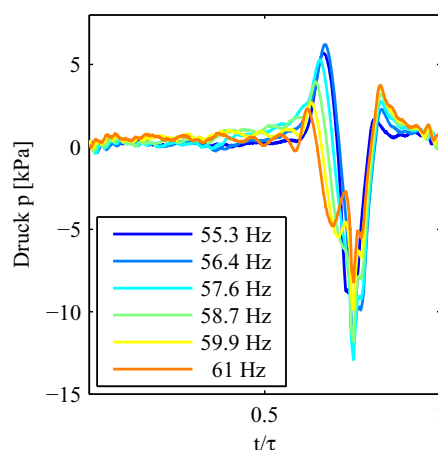
### Anblasvorrichtung

In einer früheren Arbeit [1] wies Fransson nach, dass die Impulsform der Schallquelle die Ursache für die charakteristischen Formanten im Klang der Doppelrohrblattinstrumente ist. In seinen Untersuchungen hatte er Doppelrohrblattinstrumente mit einem Ionophon angeregt. Dabei war es jedoch nicht möglich, die tatsächlich vorhandenen Druckamplituden ( $p = -20 \dots 8 \text{ kPa}$ ) zu erreichen. Für die vorliegende Arbeit wurde eine Versuchsvorrichtung konstruiert, die durch kurzes Schließen einer Druckluftzuleitung einen negativen Druckimpuls erzeugt. Mit einem schnellschaltenden 2-2-Wege Magnetventil mit einer Schaltzeit von  $t_{i,min} = 1 \text{ ms}$  können



**Abbildung 1:** Öffnungsfläche des Rohrblattes (a) und Druck (b) über der Zeit für den gespielten Ton B1 ( $f_0 = 58,7 \text{ Hz}$ ).

periodische Drucksignale erzeugt werden. An das Ventil ist ein starrer Einblasadapter angeschlossen der das Volumen des Rohrblattes hat. Ein piezoelektrischer Druckwandler mit einer Grenzfrequenz  $f_G > 20 \text{ kHz}$  wurde im Abstand von 36 mm vom Ventilsitz befestigt. Dies entspricht der Entfernung des Drucksensors von der mundseitigen Öffnung des präparierten Doppelrohrblattes. Als Steuersignale für das Magnetventil wurden Rechteckimpulse verwendet und in Impulsdauer und Grundfrequenz moduliert. Der dritte Stellparameter war der Anblasdruck vor dem Magnetventil. Um die Resonanzfrequenz der Anordnung zu finden, wurde die Stellparameter in den Bereichen, die in Tabelle 1 angegeben sind, variiert. Abbildung 2 zeigt die Drucksignale im Einblasadapter bei Variation der Grundfrequenz des Steuersignales.



**Abbildung 2:** Druck im Einblasadapter in Abhängigkeit von der Grundfrequenz des Steuersignales. Griffkombination: Kontra B B1 ( $f_0, \text{soll} = 58,7 \text{ Hz}$ ).

Im nächsten Schritt wurden die aufgeprägten Drucksignale im Einblasadapter mit denen verglichen, die während des Fagottspiels durch Musiker im Rohrblatt gemessen wurden. Um die

Tabelle 1: Variation der Parameter

Parameter	Stellbereich
Impulsbreite $t_i$ [ms]	1,1 .. 1,8
Blasdruck $p$ [kPa]	1 .. 9
Grundfrequenz $f_0$ [f <sub>0</sub> ]	0,955 .. 1,047

Ähnlichkeit der Impulsform zu bewerten wurden beide Signale bezüglich der Periodendauer normiert und miteinander korreliert. Für die Parameterkombination, bei der die Signale am höchsten korreliert sind, wird Resonanz angenommen.

## Ergebnisse

### Intonation

Nach der oben beschriebenen Methode war es möglich, die Stimmung der Töne des tiefen Registers des Fagottes (B1 .. c ( $f_0 = 58 \text{ Hz} \dots 132 \text{ Hz}$ )) zu bestimmen. In Abbildung 3 sind die Drucksignale von Musiker und Anblasvorrichtung im Resonanzfall einander gegenübergestellt. Abbildung 4 zeigt eine auf diese Weise bestimmte Intonationskurve eines Fagottes.

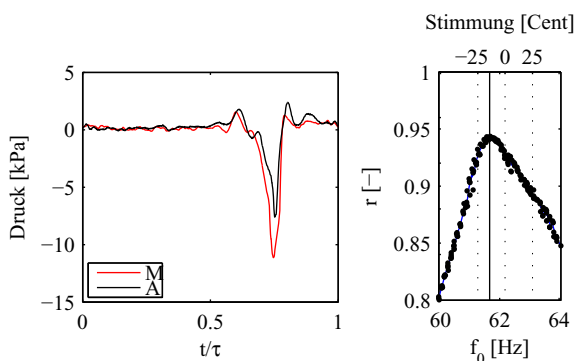


Abbildung 3: Linkes Bild: Drucksignale im Vergleich beim Anblasen durch einen Musiker (M) und Anblasvorrichtung (A). Gespielter Ton H1 ( $f_{0,soll} = 62,2 \text{ Hz}$ ). Die Zeitskala ist auf die Periodendauer normiert. Rechtes Bild: Für die Parameter  $t_i = 1,2 \text{ ms}$ ,  $p = 6 \text{ kPa}$  und  $f_0 = 61,7 \text{ Hz}$  wurde ein Maximum der Korrelation ( $r = 0,94$ ) erzielt. Die bestimmte Grundfrequenz entspricht einer Verstimmung von  $-13 \text{ Cent}$  (Bezug:  $a' = 443 \text{ Hz}$ ).

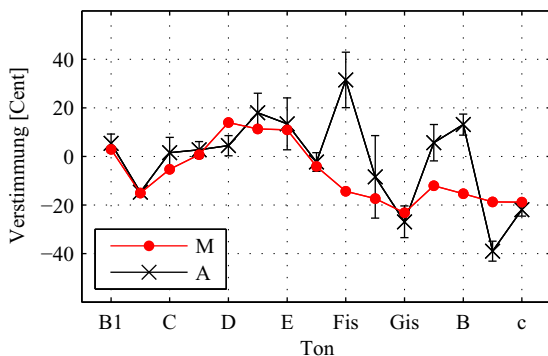


Abbildung 4: Intonationskurven eines Fagottes (Heckel CREST, S-Bogen CC1) beim künstlichen Anblasen. (Mittelwerte und Standardabweichung aus 6 Messungen). Zum Vergleich ist die Intonationskurve eines Musikers auf diesem Instrument abgebildet.

### Klang

Im Akustiklabor des Institutes für Luft- und Raumfahrt wurden ein Fagott ortsfest installiert und zunächst von einem Musiker, anschliessend von der Anblasvorrichtung angespielt. Die dabei erzeugten Klänge wurden mit einem Mikrofon (B&K Typ 4190) in einer Entfernung von 1,5 m halbrechts vom Spieler in Höhe des S-Bogens aufgenommen. In Abbildung 5 wird deutlich, dass die Frequenzspektren der so erzeugten Klänge trotz der guten Übereinstimmung der Drucksignale im Rohrblatt von den Funktionsgeräuschen des Magnetventiles stark beeinflusst sind. Lediglich den tiefsten Tönen des Fagottes (B1,  $f_0 = 58,7 \text{ Hz}$  und H1,  $f_0 = 62,2 \text{ Hz}$ ) stimmt harmonische Struktur bis etwa 7 Bark (780 Hz) überein. Bei höheren Tönen erzeugt die Anblasvorrichtung selbst dominante Obertöne im Bereich von 1 bis 3 kHz.

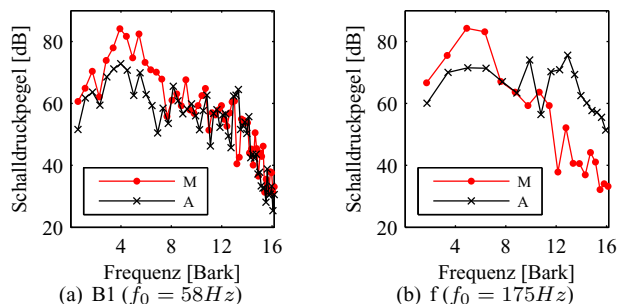


Abbildung 5: Vergleich der Klangspektren von Fagott-Tönen, die von Musiker (M) und Anblasvorrichtung (A) erzeugt wurden

## Diskussion

Mit der Anblasvorrichtung ist es gelungen, Drucksignale im Einblasadapter aufzuprägen, die gut mit dem realen Druckverlauf im Rohrblatt beim Spielen des Fagottes übereinstimmen. Damit können stabile und wiederholbare Bedingungen für strömungsmechanische Experimente gewährleistet werden. Durch individuelle Abstimmung der Frequenz der Steuersignale auf den Resonator liessen sich weiterhin Intonationskurven ermitteln, die im tiefen Register bis F ( $f_0 = 88 \text{ Hz}$ ) gut mit den Ergebnissen aus Spieltests mit Musikern überein. Bei höheren Tönen hat die Veränderung des Rohrblattvolumens aufgrund des mit der Tonhöhe steigenden Lippendruckes einen entscheidenden Einfluss auf die Stimmung. Die großen Abweichungen sind auf das konstante Volumen des starren Einblasadapters zurückzuführen.

Die Klangauswertung hat sich zunächst nicht als sinnvoll erwiesen, da die Funktionsgeräusche des Ventiles das Frequenzspektrum dominieren.

Bei einer Neukonstruktion der Anblasvorrichtung sollte der zeitliche Verlauf der Öffnungsfläche am Einblasadapter z.B. mit Hilfe eines Tauchspulenaktors eingestellt werden.

## Literatur

- [1] F. Fransson. The source spectrum of double-reed woodwind instruments. *STL-QPSR*, 8(1):25–27, 1967.
- [2] Siegfried Hille, Johannes Baumgart, and Roger Grundmann. Excitation device for bassoons. In *ISMA 2007 Barcelona*, 2007.