

Experimente zur Intonationsbestimmung beim Fagott

T. Grothe¹, J. Baumgart², R. Grundmann¹

Technische Universität Dresden, 01062 Dresden, Germany

¹ Institut für Luft- und Raumfahrttechnik

² Institut für Wissenschaftliches Rechnen

Email: timo.grothe@tu-dresden.de

Einleitung

Intonation bedeutet die Feinabstimmung musikalischer Klänge hinsichtlich Tonhöhe, Lautstärke und Klangfarbe. Diese Arbeit ist auf den Aspekt der Tonhöhe fokussiert. Beim Fagott ergibt sich der Bereich der spielbaren Tonhöhe aus dem Resonanzspektrum der Luftsäule, das durch Öffnen und Schließen von Tonlöchern vom Musiker eingestellt wird. Darüber hinaus erfordert jede Griffkombination eine individuelle Intonation durch Anpassung der Lippenkraft am Mundstück und des Blasdrucks. Die klingende Tonhöhe ist das Resultat einer Interaktion von Instrument und Musiker, der sie in weiten Grenzen kontrollieren kann.

Ziel dieser Arbeit ist es, die durch die Bauform vorgegebene Stimmung eines Fagottkorpus' zu bestimmen. Drei verschiedene Fagotte wurden mit Hilfe der Impedanzmesstechnik, sowie während des Anblasens durch einen Musiker und eine Anblasvorrichtung untersucht. Diese drei Techniken werden gegenübergestellt und hinsichtlich ihrer Eignung für eine objektive Beurteilung der Stimmung eines Fagottes diskutiert.

Intonation

Im musikalischen Kontext quantifiziert man die Stimmung eines Tones durch das Verhältnis seiner Grundfrequenz f_0 zu einer gegebenen Referenzfrequenz f_{Ref} als Intervall I

$$I \equiv 1200 \cdot \log_2 \frac{f_0}{f_{Ref}} \text{Cent.} \quad (1)$$

Ein Intervall von 100 Cent entspricht einem Halbtonschritt; die Verstimmung eines Tones ist bei einem Intervall von wenigen Cent bereits hörbar.

Bezugsgröße für die Verstimmung von Tönen ist hier die wohltemperierte Stimmung (a' : 443Hz). Untersuchungsgegenstand sind drei moderne Fagotte der Hersteller Heckel, Hüller und Adler.

Impedanzmessung

Die Eingangsimpedanz eines Blasinstrumentes wird am mundstückseitigen Ende des Instrumentenkorpus gemessen und beschreibt seine linearen akustischen Eigenschaften. Der Bereich der spielbaren Tonhöhe liegt nahe eines Peaks im Impedanzspektrum. Beim Fagott werden die Töne $B1 - f$ auf dem ersten Peak, der Grundresonanz gespielt. Die höheren Töne werden einfach ($f_{is} - d'$), zweifach ($dis' - a'$), dreifach ($b' - d''$) oder sogar vierfach überblasen; die tonhöhenangehenden Impedanzpeaks haben eine entsprechend höhere Ordnungsnummer.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die akustische Impedanz

mit einem Aufbau nach Backus [1] experimentell bestimmt.

Aus Abbildung 1 wird deutlich, dass die Frequenz der

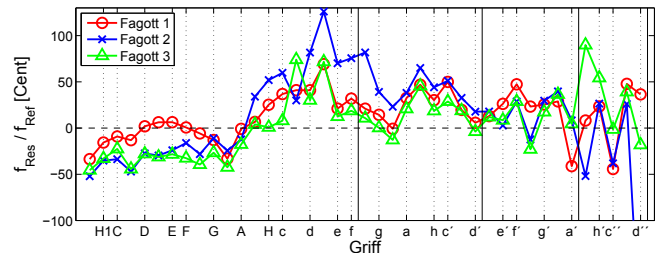


Abbildung 1: Frequenzabweichung der tonhöhenbestimmenden Resonanzfrequenz der Luftsäule f_{Res} zur klingenden Solltonhöhe f_{Ref} in Cent. Bezug ist die wohltemperierte Stimmung ($a' = 443$ Hz). Vergleich der Standard-Griffkombination für die Töne B1-d'' auf drei Fagott-Korpusen mit dem selben S-Bogen. Die vertikalen Linien zeigen die Registergrenzen an.

tonhöhenbestimmenden Resonanz der Luftsäule um -50 bis $+120$ Cent von der gespielten Tonhöhe abweicht. Im relativen Vergleich der drei Fagotte treten bei einzelnen Griffkombinationen Unterschiede von bis zu 50 Cent auf. Dies ist zum Teil darauf zurückzuführen, dass der elastische Abschluss des Resonators durch das Rohrblatt zu einer Absenkung der Resonanzen führt [2]. Weiterhin sind nicht nur die Grundresonanz sondern auch die Oberschwingungen an der Ausbildung eines stabilen, harmonischen Schwingungszustandes beteiligt [3]. Daher ist der tonhöhenbestimmende Impedanzpeak kein geeignetes Kriterium zur Vorhersage der klingenden Frequenz innerhalb der erforderlichen Genauigkeit.

Spieltest mit Musiker

Im folgenden wird das gespielte Instrument betrachtet und seine Stimmung anhand der klingenden Frequenz seiner Töne dargestellt. In diesem Fall beeinflusst der Musiker nicht nur den Resonator durch die Wahl von S-Bogen und Rohrblatt, sondern ist während des Spielens selbst Teil des Systems.

Einen Anhaltspunkt für den relativen Einfluss des Rohrblattes auf die Stimmung des modernen Fagottes liefert die Analyse vieler wiederholter Einzelton-Aufnahmen. Über 500 Fagotte wurden von einem Musiker in *mezzoforte* ohne bewusste Ansatzkorrektur angeblasen. Die Aufnahmen erfolgten über einen Zeitraum von mehreren Jahren mit verschiedenen, nicht näher definierten Rohrblättern auf dem selben S-Bogen. Abbildung 2 zeigt die Verteilung der Tonhöhe in Cent für jede Griffkombination.

Ebenso wurde die Stimmung der drei hier untersuchten Fagotte anhand von Einzelton-Aufnahmen abgeschätzt. In einer Laborumgebung mit fester Position von Instrument und

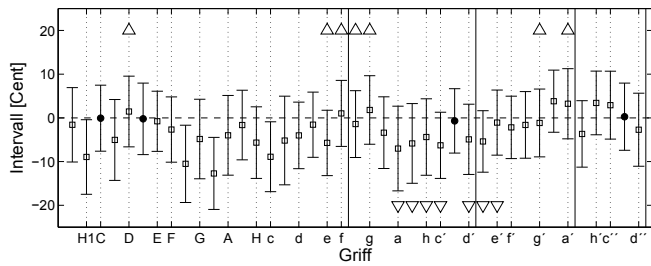


Abbildung 2: Charakteristische Stimmungskurve für Fagotte des Heckel-Systems. Mittelwerte und Standardabweichung der Stimmungsabweichung in Cent für jeden Ton. Daten von 505 Fagotten der Firma Heckel. Die Pfeile (Δ , ∇) zeigen die in [4] angegebene Verstimmungstendenz schwieriger Töne an. Töne, deren mittlere Verstimmung nicht hoch signifikant von 0 verschieden ist, sind mit \bullet markiert. Die vertikalen Linien zeigen die Registergrenzen an.

Mikrofon spielte ein professioneller Musiker chromatisch alle Töne. In sechs Messserien wurden jeweils drei verschiedene S-Bögen (Heckel CC1, Heckel CD1, Heckel CD0) sowie zwei verschiedene Rohrblätter eingesetzt. Diese hatte der Musiker als Beispiele für ein „leichtes“ bzw. „schweres“ Rohr ausgewählt. Insbesondere in den höheren Lagen weichen die

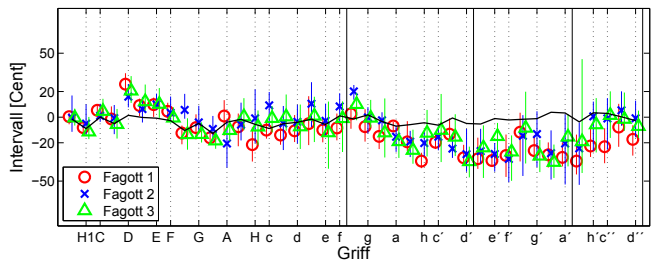


Abbildung 3: Stimmungsabweichung in Cent für drei Fagotte verschiedener Hersteller. Mittelwerte aus 6 Messserien pro Fagott (drei S-Bögen, zwei Rohrblätter). Die Fehlerbalken geben die Extremwerte an. Die durchgezogene schwarze Linie ist die Mittelwertkurve von 505 Fagotten eines Herstellers gemäß Abb. 2. Die vertikalen Linien zeigen die Registergrenzen an.

Stimmungskurven der drei hier untersuchten Fagotte (Abb. 3) von der Referenzkurve (Abb. 2) ab. Die „Aufmerksamkeit erfordernden Töne“ [4] - in Abbildung 2 mit Δ bzw. ∇ markiert - liegen größtenteils in den höheren Registern. Dies deutet darauf hin, dass die deutlich größeren Verstimmungen der Töne im unteren Register für den Musiker leicht zu korrigieren sind.

Spieltest mit Anblasvorrichtung

Zum kontrollierten Anblasen eines Fagottes wurde ein „künstlicher Bläser“ mit einstellbaren Ansatzparametern konzipiert. Ein Rohrblatt aus synthetischem Material ist auf einem Lineartisch montiert und kann zwischen zwei dünnwandigen wassergefüllten Silikonschläuchen genau positioniert (± 0.05 mm) werden. Der Anstoß erfolgt berührungslos durch einen Druckimpuls, der dem stationären Blasdruck überlagert wird.

Um das Spielverhalten einer Griffkombination auf verschiedenen Fagotten zu vergleichen, wird das Rohrblatt in einer festen Position arretiert. Für alle untersuchten Fagotte wurde derselbe S-Bogen verwendet und bis zum Anschlag eingesteckt. Sobald das Rohrblatt schwingt,

werden Blasdruck und Lippeninnendruck so eingestellt, dass die klingende Tonhöhe stimmt (± 2 Cent). Unter dieser Bedingung beschreiben die Wertepaare der beiden Ansatzparameter die „Ansatzkennlinie“ der richtigen Stimmung für diese Griffkombination. Wie in Abbildung 4 dargestellt, zeigen hier die Instrumente deutliche Unterschiede.

Um bei gleichem Blasdruck die Griffkombination D sauber

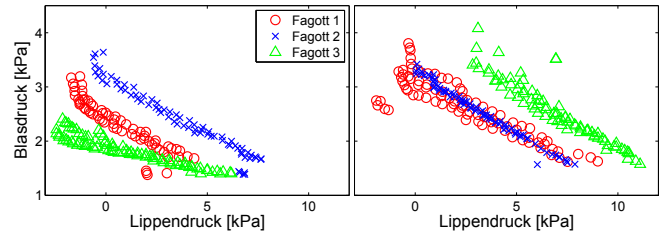


Abbildung 4: Wertepaare von Blasdruck und Lippendruck eines „künstlichen Bläses“ für 0 ± 2 Cent Verstimmung bei zwei Griffkombinationen D ($f_0 = 73,9$ Hz) (links) und f ($f_0 = 175,8$ Hz) (rechts). Vergleich von drei Fagottkorpussen mit demselben S-Bogen und fester Ansatzkonfiguration an einem synthetischen Doppelrohrblattmundstück.

zu intonieren, muss bei Fagott 2 der Lippendruck gegenüber Fagott 3 deutlich erhöht werden. Bei gleichem Lippendruck würde der Ton f auf Fagott 3 im Vergleich zu Fagott 1 und 2 zu tief klingen und muß durch einen erhöhten Lippendruck nach oben korrigiert werden.

Da der stationäre Blasdruck direkt mit dem Schalldruckpegel korreliert, kann aus der Ansatzkennlinie der spielbare Dynamikbereich für diesen Ton abgeschätzt werden (hier nicht dargestellt).

Diskussion

Allein aus dem Impedanzspektrum eines Fagottes, das aus Bauform und Griffkombination resultiert, ließ sich keine ausreichend genaue Information über die zugehörige klingende Frequenz ableiten. Auch die Ergebnisse von wiederholten Spieltests mit einem Musiker erlauben nur bedingt genaue Rückschlüsse auf die Stimmung des Korpus.

Für den objektiven Vergleich von Fagotten bezüglich der Spieleigenschaften einzelner Töne ist die Kontrolle der Ansatzparameter am Mundstück notwendig. Ein „künstlicher Bläser“ ermöglicht eine musikerbezogene Beurteilung der Intonation, da die Korrekturmaßnahmen des Musikers zum Erreichen der richtigen Stimmung dargestellt werden können.

Literatur

- [1] Backus, J.: Input impedance curves for the reed woodwind instruments. *J. Acoust. Soc. Am.* **56** (1974), 1266-1279
- [2] Benade, A.H.: *Fundamentals of Musical Acoustics*, Dover Publications, Inc., New York, 1990
- [3] Fletcher, N.H.: Mode Locking in nonlinearly excited inharmonic musical oscillators. *J. Acoust. Soc. Am.* **64** (1978), 1566-1569
- [4] Corey, G.E.: How to improve your tuning on the bassoon, *Journal of the International Double Reed Society* **8** (1980)