

Formantenbestimmung von Fagottklängen

Timo Grothe¹, Johannes Baumgart¹, Roger Grundmann¹

¹ Technische Universität Dresden, Institut für Luft- und Raumfahrttechnik, 01062 Dresden,
Email: Timo.Grothe@tu-dresden.de

Einleitung

Aus überlagerten Klangspektren des Fagottes wird die mittlere Energiedichte über der Frequenz bestimmt. Die festen Formantbereiche eines Instrumentes werden als Maxima sichtbar, wenn man die Klangspektren von Tönen des gesamten Tonumfangs zusammenfasst.

Durch die Projektion jedes einzelnen Klangspektrums in den Raum orthogonaler Hauptvektoren dieses Datensatzes werden Zusammenhänge zwischen Grundfrequenz und spektraler Zusammensetzung qualitativ bewertbar.

Anhand akustischer Messungen wurde die Formantlage verschiedener Fagotte bestimmt. Mit einer Anblasvorrichtung durchgeführte Vergleiche machen den Einfluss der Geometrie der Umlenkung am Stiefel auf das Klangspektrum deutlich.

Methode

Die Formantenbestimmung erfolgt in 3 Schritten. Nach diskreter Fouriertransformation eines periodischen Signalausschnittes eines Instrumentalklanges erfolgt die Bestimmung der Grundfrequenz im Frequenzbereich. Unter der Annahme, dass es sich um ein rein harmonisches Signal handelt, wird im nächsten Schritt die im Signal enthaltene spektrale Energie bereichsweise aufsummiert und den harmonischen Frequenzen zugewiesen. Die diskrete Fouriertransformierte wird dadurch bei Erhaltung der Gesamtenergie in ein Klangspektrum mit ausschließlich harmonischen Anteilen überführt.

Durch die Überlagerung solcher harmonischer Klangspektren unterschiedlicher Grundtonhöhe entsteht eine Funktion mit Argumenten, die entlang der Frequenzachse nicht äquidistant verteilt sind.

Anschließend erfolgt die gewichtete Mittelung der Energien der Teiltöne in einem Frequenzband konstanter Breite [1]. Durch kontinuierliche Verschiebung dieses Bandes wird gemäß Gl. (1) eine bezüglich der Frequenz stetige Funktion bestimmt.

$$\overline{p}_k(f_k) = \frac{1}{\sum_i w_M(\mu_i)} \sum_i w_M(\mu_i) \cdot p_i \quad (1)$$

mit: $\mu_i = \frac{f_i - f_k}{M}$

Die Größe $\overline{p}_k(f_k)$ stellt somit ein Maß für die mittlere Energiedichte über der Frequenz dar. Die Maxima repräsentieren die Formanten (Abbildung 1).

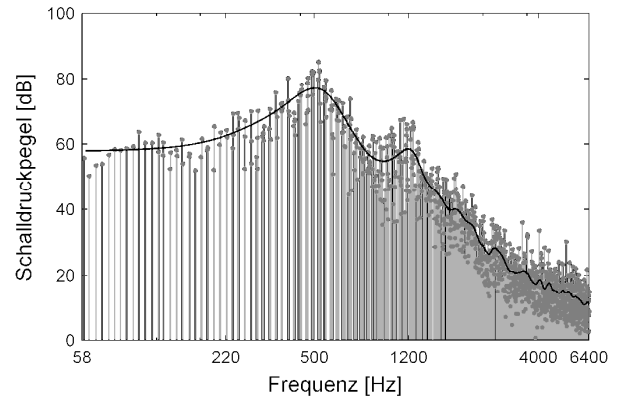


Abbildung 1: Überlagerung von Klangspektren des Fagottes (Töne B₁ bis f) und daraus bestimmter Formantenverlauf.

Die tonhöhenabhängige Abweichung vom Formantenverlauf, die die spektrale Feinstruktur eines einzelnen Klanges ausmacht, kann mit Verfahren der multivariaten Statistik dargestellt werden.

Durch Hauptkomponentenanalyse lässt sich für einen Datensatz von n k-dimensionalen Klangspektren ein System aus k Hauptkomponenten und k Hauptvektoren bestimmen. Jedes Klangspektrum kann gemäß Gl. (2) aus Linearkombinationen der Hauptvektoren rekonstruiert werden. Die Hauptvektoren sind nach fallender Varianz geordnet [2].

$$\underline{P} = [\vec{a}_1, \vec{a}_2, \dots, \vec{a}_k] \cdot \vec{\lambda} \underline{E} \cdot [\vec{s}_1, \vec{s}_2, \dots, \vec{s}_k]^T \quad (2)$$

$\vec{a}_i \cdot \lambda_i$: Hauptvektoren

\vec{s}_j : Hauptkomponenten

λ_i : Eigenwerte von $Cov\{P^T\}$

Ergebnisse

Das Verfahren zur Formantenbestimmung wurde für vier Fagotte unterschiedlicher Bauform eingesetzt. Ein professioneller Musiker spielte Kopien nach historischen Vorbildern (Bassdulzian (17 Jh.), Barockfagott (18 Jh.), Klassikfagott (19. Jh.), der Fima Guntram Wolf) sowie ein modernes Fagott über den gesamten Tonumfang. Für die Aufnahmen stand das Tonstudio der Hochschule für Musik „Carl Maria von Weber“, Dresden zur Verfügung.

In Abbildung 2 sind die für die Instrumente bestimmten mittleren Energiedichtefunktionen dargestellt. Dabei wurden die Amplituden, die in vier verschiedenen Mikrofonpositionen (Mundstück, Stiefel, Schalltrichter und Fernfeld) aufgezeichnet wurden, überlagert.

Der starke erste Formant bei 500 Hz im Bereich des Vokalformanten „o“ ist typisch für das moderne Fagott. Bei seinen historischen Vorläufern hingegen liegt der Hauptformant bei ca. 400 Hz. Der nasale Klangcharakter des Dulzians wird durch das angehobene Frequenzband zwischen 1,5 und 2,5 kHz hervorgerufen, das sich mit dem Vokalformanten der Umlaute deckt [3], [4].

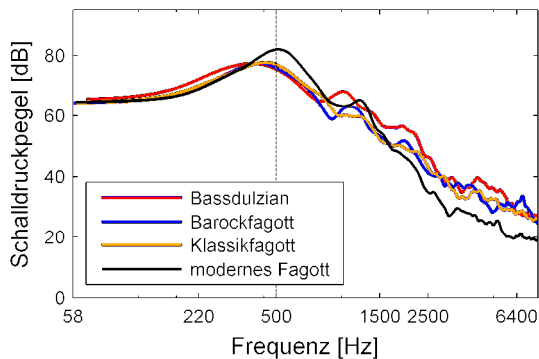


Abbildung 2: Formanten von historischen Vorläufern des Fagottes und dem modernen Fagott. Analysiert wurden Klänge des gesamten Tonumfangs des Instrumente, die von einem professionellen Fagottisten gespielt wurden.

In Abbildung 3 repräsentiert jedes Quadrat eine Messung und ist entsprechend der Grundtonhöhe eingefärbt.

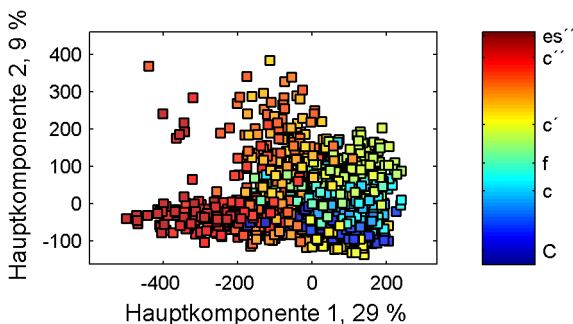


Abbildung 3: Darstellung der ersten beiden Hauptkomponenten eines Datensatzes von Fagottklängen (B₁ bis es''). 30 verschiedene Fagotte der Firma Wilhelm Heckel GmbH, gespielt von einem Musiker.

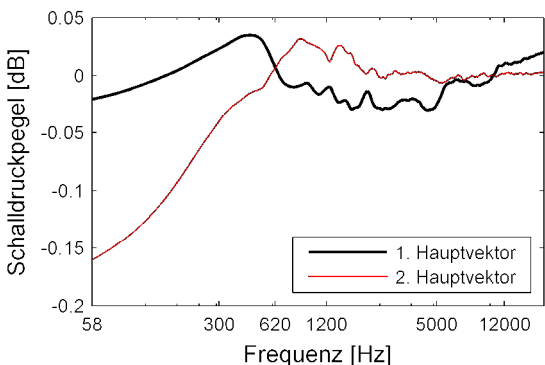


Abbildung 4: Darstellung der ersten beiden Hauptvektoren des analysierten Datensatzes.

Eine starke erste Hauptkomponente stellt eine Verstärkung des Schalldrucks im Bereich des Hauptformanten um 500 Hz dar, während eine starke zweite Hauptkomponente die Obertöne im Frequenzbereich zwischen 0,6 und 2 kHz betont und im Bereich des Hauptformanten abschwächt (Abbildung 4).

Mit Hilfe der Hauptkomponentenanalyse ist es möglich, Klangveränderungen infolge von Geometrieänderungen grafisch darzustellen. An einem Fagott wurde zwischen zwei Messreihen die Umlenkung am Stiefel ausgetauscht. Die analysierten Klänge wurden mit einer Anblasvorrichtung für Fagotte erzeugt, so dass die Parameter des Ansatzes und der Messumgebung konstant gehalten werden konnten. Abbildung 5 zeigt für zwei verschiedene Mikrofonpositionen die Veränderung der Hauptkomponenten der Klangspektren.

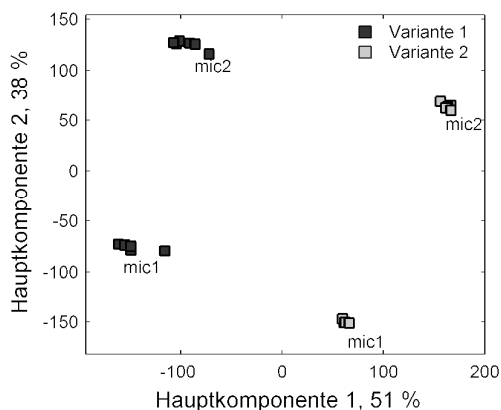


Abbildung 5: Relative Veränderung des Klangspektrums des Tons D (73,4 Hz) an zwei Orten im Schallfeld (mic1 und mic2). Der Ton wurde jeweils 6 mal mit einer Anblasvorrichtung gespielt.

Zusammenfassung

Zur Charakterisierung von Fagotten anhand rein harmonischer Klangspektren des gesamten Tonumfangs wurden zwei Verfahren vorgestellt. Durch die Bestimmung der mittleren Energiedichte über der Frequenz werden die Formanten sichtbar. Durch Hauptkomponentenanalyse eines Satzes von Klangspektren ist es möglich, tonhöhenabhängige Veränderungen zu quantifizieren. In einem Experiment konnte mit Hilfe einer Anblasvorrichtung die relative Änderung des Klangspektrums infolge einer Variation der Umlenkung am Stiefel gezeigt werden.

Referenzen

[1] Boersma, P., Kovacic, G.: Spectral Characteristics of three styles of Croatian folk singing, The Journal of the Acoustical Society of America 119 (2006), 1805-1816
 [2] Jackson E.: A user's guide to Principal Components, Wiley, New York, 1991
 [3] Meyer, J.: Akustik der Holzblasinstrumente in Einzeldarstellungen, Verlag Das Musikinstrument, Frankfurt, 1966
 [4] Grothe, T., Baumgart, J., Grundmann, R.: Klangfarbenuntersuchungen an historischen Fagotten, `rohrblatt 4, 2006