Untersuchung der Richtungsabhängigkeit der Klangfarbe des Fagotts im Anwendungskontext der Musikübertragung

Winfried Hyronimus, Timo Grothe
Erich-Thienhaus-Institut, Hochschule für Musik Detmold

Abstract

Das Fagott weist wie die meisten Holzblasinstrumente eine tonhöhenabhängige Richtcharakteristik auf. Ein Tonmeister steht oft vor der Herausforderung, mit nur einem einzigen, nah am Instrument positionierten Mikrofon ein ausgewogenes Klangbild zu erreichen.

Um die Richtungsabhängigkeit der Klangfarbe systematisch zu untersuchen wurde ein horizontal positioniertes 24-kanaliges Ringmikrofonarray eingesetzt. Damit wurden Musikaufnahmen in einem reflexionsarmen Raum und im Konzertsaal der HfM Detmold realisiert und mit Methoden der Signalverarbeitung und in Hörversuchen analysiert. Weiterhin wurden die in der Praxis für ein Solo-Fagott präferierten Stützmikrofonpositionen durch eine Umfrage im Berufsverband vdt (Verband Deutscher Tonmeister) ermittelt und eine mehrkanalige Musikaufnahme mit Studiomikrofonen gleichen Typs im Detmolder Konzerthaus durchgeführt.

Es zeigte sich, dass die Unterschiede zwischen den Mikrofonpositionen sehr viel deutlicher wahrgenommen wurden als die Unterschiede zwischen Fagotten verschiedener Hersteller. Der Abgleich mit Vokalklängen erwies sich als interessantes Hilfsmittel für Untersuchungen der Fagott-Klangfarbe.

Einführung

Für die geeignete Mikrofonierung des Fagotts finden auch in der Fachliteratur nur wenige Hinweise. Vorliegende Empfehlungen sind keineswegs widerspruchsfrei und teilweise bereits Jahrzehnte alt.

Jecklin beschreibt die Hauptabstrahlrichtung des Fagotts in Richtung des Rohres nach oben, rät jedoch von einer Mikrofonierung in dieser Richtung ab und stattdessen zu einer Aufstellung schräg vor dem Instrument (nicht jedoch in Verlängerung des Rohres) in 2,5–3 m Höhe [1, S. 125-126]. Meyer vermerkt einen Abstrahlkegel oberhalb von 5000 Hz, dessen Anteile sich eher ungünstig im Klang auswirken. Dieser befindet sich in Verlängerung der Hauptachse des Instruments mit einem Bündelungswinkel von ca. 20° zu dieser, der sich für die Aufstellung eines Mikrofons nicht eignet. In jedem Fall sollte ein solches bei einer Abnahme so weit vor dem Spieler positioniert werden, dass der 500 Hz-Kegel noch erfasst wird, also flacher als unter 45° [2, S. 233], gemeint ist dabei der Winkel in der Medianebene. Ederhof gibt in seinem „Mikrofonbuch“, welches zwar in der tonmeisterlichen Praxis eher selten zitiert wird, jedoch als eines der wenigen verfügbaren die Holzblasinstrumente im Einzelnen abhandelt, die Empfehlung, ein Mikrofon schräg von oben auf den Rand des Schalltrichters zu richten, der Abstand vom Instrument soll dabei 0,5 bis 1 m betragen [3, S. 306].

Die Tauglichkeit eines Stützmikrofons und seiner genauen Positionierung ist von vielen weiteren Faktoren abhängig, hierzu zählen etwa das konkrete Einsatzszenario (Solo-, Ensemble- oder Orchesterinstrument), die Konzeption der Aufnahme, Wahl des Mikrofons, Raumgröße, Literatur, Spieltechniken etc. Erschwert wird das Finden der besten Position durch die Bauweise des Instruments: Der Korpus ist verhältnismäßig lang, ebenso variabel ist die Kombination der verschiedenen Schallöcher und Klappen.

Der Stand der Erhebungen zur Richtungsabhängigkeit des Klangs beim Fagott reicht zurück bis zu den Untersuchungen von Meyer aus dem Jahre 1972, welche Richtcharakteristiken in zwei Schnittebenen mit einer Dynamik von 3dB angaben [2]. Grothe und Kob untersuchten dieselben Schnittebenen mit kontinuierlicher künstlicher Anblasung des Instruments auf einem Drehteller; die Abstrahlung wurde dabei als in der Vertikalebene regelhaft (mit Bündelung zu hohen Frequenzen), in der Horizontalebene als unregelhaft beschrieben [4]. Die durch Bodon im *Repeated-Capture*-Verfahren eingesetzten Richtcharakteristikmesssysteme mit hoher Auflösung bestätigen dies, auch in dreidimensionaler Auswertung, berücksichtigen jedoch dabei nur die ersten fünf Obertöne [5]. Die durch Behler u. a. durchgeführten Messungen entstanden mittels eines Ikosaederartigen Aufbaus von 32 Messmikrofonen [6]. Dreidimensionale Abstrahlcharakteristiken, die mittels Transformation der Messdaten dieses Mikrofonarrays auf Kugelflächenfunktionen erzeugt wurden sind inzwischen frei verfügbar [7].

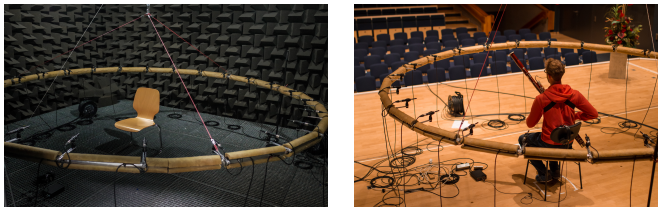

Abbildung 1: Versuchsaufbau im Reflexionsarmen Raum sowie im Konzerthaus Detmold

Für die vorliegenden Messungen dieser Arbeit wurde ein Ringmikrofonarray mit 24 Messmikrofonen Beyerdynamic MM1 im Abstand von 15° eingesetzt. Die Messungen erfolgten unter Freifeldbedingungen im reflexionsarmen Raum der Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Standort Lemgo, sowie unter Anwendungsbedingungen im Konzerthaus in Detmold (Abb. 1). Ziel der Versuche war die Ermittlung der Pegelschwankungen über den Winkel bei konstantem gespielten Ton, ebenso die Pegelschwankungen über verschiedene Töne bei konstantem Messwinkel.

Abb. 2 zeigt die Unterschiede der Richtcharakteristik in benachbarten Terzbändern auf. Ähnlichkeiten wie Unterschiede sind sofort augenfällig. Gleichzeitig stellt sich die Frage, wie

sich derartige Informationen in die Praxis übersetzen und dort zur Anwendung bringen lassen.

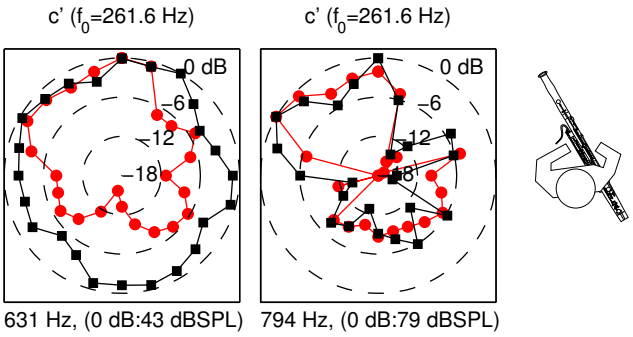

Abbildung 2: Pegel über Winkel in zwei benachbarten Terzbändern, dargestellt im Freifeld (Punkte, rot) sowie Diffusfeld (Vierecke, schwarz). Alle Angaben erfolgen mit Winkel 0° in Blickrichtung des Spielers (Darstellung rechts).

Formantanalyse

Für die Beschreibung der Klangfarbe von Instrumenten haben sich Formanten als nützlich erwiesen. Als *Formant* wird gemäß der Definition der ASA ein Frequenzbereich mit absolutem oder relativem Ernergiemaximum in einem Spektrum bezeichnet [8]. Diese sind für die Praxis der Musikübertragung wesentlich griffiger, als Terzband-Beschreibungen, da der Mensch intuitiv nicht in Terzbändern hört.

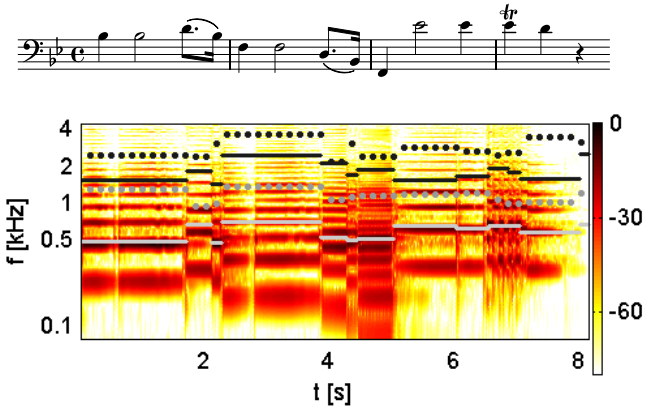

Abbildung 3: Variation von spektraler Dichte und Formantverlauf in Mozarts Fagottkonzert (KV191 Takt 35-38). Analysiert mit PRAAT [9].

Gemäß [8] soll die Schreibweise F_1 für den ersten Formant, F_2 für den zweiten, etc. Verwendung finden. Der Grundton (*fundamental frequency*) wird mit f_0 gekennzeichnet. Für die Bedeutung der Vokalqualität (*vowel quality*) in der Timbreforschung werden nach Mores insbesondere diese drei Komponenten als maßgebend bezeichnet. Die in Abb. 3 vorliegende Spektraldarstellung verdeutlicht die Lage der Formanten im Spielverlauf (F_1–F_4) des Themas von Mozarts Solokonzert für Fagott.

Eine formantselektive Pegelanalyse ergab, dass der Formant sowohl die Richtung der Abnahme, als auch den gespielten Ton betreffend keineswegs stabil bleibt. In Abb. 4 ist die Variabilität des Formanten im Frei- und Diffusfeld dargestellt; sie beträgt relativ zur gespielten Tonhöhe ca. 20 % (vier Halbtonschritte), in der Horizontalebene ca. 10 %.

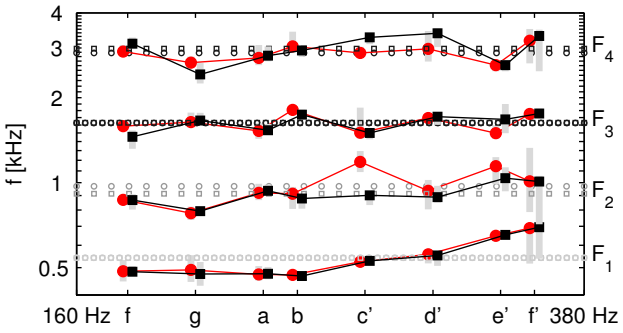

Abbildung 4: Variation der Formantfrequenzen (F_1–F_4) in Abhängigkeit von gespielter Tonhöhe und Winkel (Horizontalebene) im Freifeldraum (Punkte, rot) sowie im Konzerthaus (Vierecke, schwarz). Vertikale Balken: winkelbezogene Streuung (Interquartilsbreite)

Eine interessante Beobachtung dabei: Die Formantfrequenzen F_1 und F_3 waren in beiden Raumsituationen gleich, während F_2 und F_4 im Konzerthaus im Mittel etwas höher lagen.

Die Darstellung der Klangfarben von Musikinstrumenten hat sich im Formantenfeld anderen Methoden gegenüber, etwa der sog. *Timbre Spaces*, als überlegen erwiesen [11]. Untersuchungen haben bestätigt, dass die menschliche Stimme in der Wahrnehmung anderen Stimuli durch Anregen bestimmter Regionen des Gehirns bevorzugt wird [12]. Die Klangspektren von Fagotten weisen eine ausgeprägte Formantstruktur auf. Meyer [13] und Voigt [14] nutzen dies um bauartbedingte Klangänderungen anhand eines Vergleichs mit Formanten in Vokalklängen zu verdeutlichen. Auch die für die tonmeisterliche Praxis spezifische Fachliteratur benennt Vokalformanten als leicht greifbare Parameter zur Klangbeschreibung sowohl vor der Aufnahme bzw. für den *Sound Check*, also auch in der Postproduktion, etwa der Abmischung einer Aufnahme oder der Bearbeitung eines CD-Master, wo der Einsatz von Filtern zur Dämpfung oder Verstärkung bestimmter Frequenzbereiche erfolgt [15, S. 361]. Es lag daher nahe, die vorliegenden Messdaten einer vokalformantspezifischen Auswertung zu unterziehen.

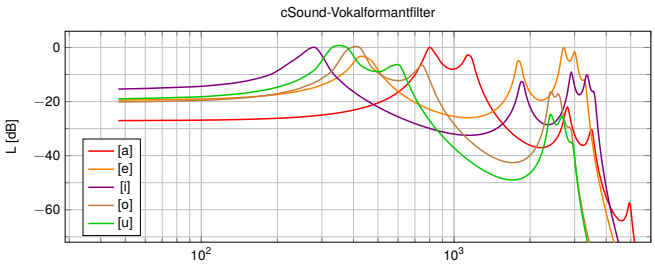

Abbildung 5: Frequenzgang der verwendeten Vokal-Formantfilter (cSound-Library)

Hierzu wurden Vokalformantfilter eingesetzt, die auf der Basis der ersten fünf Vokaltraktresonanzen erstellt wurden (Abb. 5). Der Pegel der vokalformant-gefilterten Fagottsignale wurde dann über dem Winkel in der Horizontalebene aufgetragen. Die so enstandenen Polardarstellungen können verwendet werden, um die Vokalähnlichkeit des Klangs abzubilden. So erkennt

man zum Beispiel, dass für den Fagottton gis (f_0 = 208 Hz) der Klang dem Vokal [a] in Richtung der „Stürze“ (−15°–−60°) am stärksten ähnelt (Abb. 6 links), während derselbe Ton senkrecht dazu (30°–150°) eher dem Vokal [o] ähnelt. Diese Tendenzen ließen sich anhand eines orientierenden Hörversuchs im Abgleich mit synthetischen Vokalklängen bestätigen [16].

Der formantselektive Abgleich verschiedener Instrumente für den selben gespielten Ton zeigte, dass diese jedenfalls vom messtechnischen Standpunkt (Abb. 6), bei identischer Bauart, jedoch unterschiedlicher Hersteller, kaum Unterschiede aufweisen.

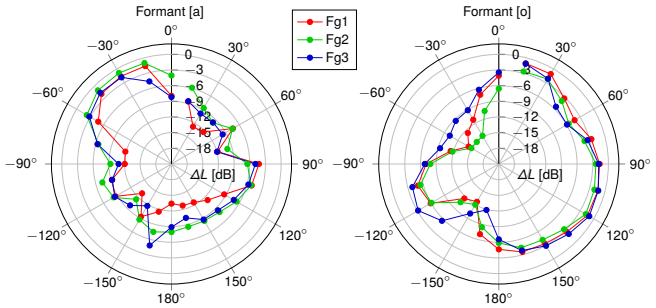

Abbildung 6: Pegel eines vokal-formantgefilterten Fagotttons (Ton gis (f_0 = 208 Hz)), in Abhängigkeit vom Aufnahmewinkel (Winkel 0° in Blickrichtung).

Eine tatsächliche qualitative Beurteilung der Instrumente lässt die angewandte Methodik jedoch nur schwerlich zu.

Aufnahmen im Konzertsaal

Die durch eine Umfrage unter Angehörigen des Berufsverbands vdt ermittelten Mikrofonpositionen sind nachstehend (Abb. 7) in der Häufigkeit der Nennung dargestellt. An diesen Positionen wurden 8 baugleiche Mikrofone platziert und im Konzerthaus Detmold Musikaufnahmen durchgeführt. Die gewonnenen Musiksignale sind zum Nachhören veröffentlicht [17], zusammen mit einer Dokumentation gemäß DEGA-Memorandum DEGA VA 1201 [18].

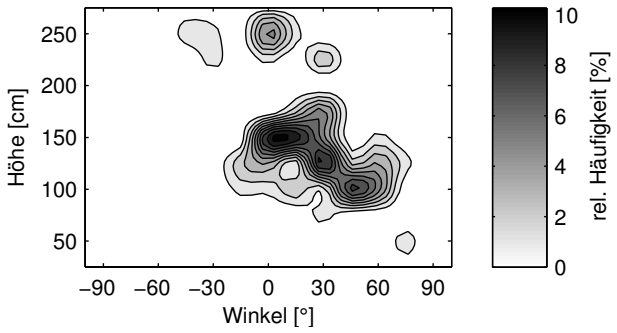

Abbildung 7: „Wo würden Sie ein Stützmikrofon für Fagott aufstellen?“ (Ergebnisse einer Umfrage im Verband Deutscher Tonmeister, n = 73); Winkelangabe aus Blickrichtung des Spielers im Uhrzeigersinn

Die unter Verwendung der 8 am häufigsten genannten Signale wurden im Hörversuch hinsichtlich ihrer Ausgewogenheit und Eignung als Musiksignal untersucht. Die Versuchspersonen bestätigten dabei die Präferenzen der Tonmeister des Verbandes.

Abbildung 8: Musikaufnahmen an acht typischen Mikrofonpositionen gemäß Abb. 7 bei Verwendung baugleicher Mikrofone [17].

Ergebnisse

Die Formanten des Fagotts treten keineswegs statisch auf; die ermittelte Variabilität ihrer Frequenz mit der Tonhöhe liegt bei ca. ±20 % (4 Halbtonschritte). Im Vergleich dazu variiert die Formantfrequenz bei konstanter Tonhöhe in der Horizontalebene um ca. ±10 %. Links vom Spieler, in Richtung der Stürze wird der Klang ‚offener‘ (größere Ähnlichkeit mit dem Vokalformant [a]). Der Winkel der Abnahme in der Horizontalebene führt zu größeren Änderungen der Klangfarbe als ein Austauschen des Instrumentes bei identischem Rohrblatt und S-Bogen, drei Fagotti verschiedener Hersteller. Die signalanalytische Ermittlung der Vokalformanten stellte sich als tragfähige Methode zur Einschätzung der Richtungsabhängigkeit des Instrumentenklanges und dessen Quantifizierung dar und könnte für die Iteration der geeigneten Mikrofonposition bzw. deren Prognose wertvolle Beiträge leisten. Eine durch Mitglieder des vdt mehrheitlich bevorzugte Stützmikrofonposition, frontal bis halbrechts vom Spieler aus gesehen, in mittlerer Höhe (ähnlich Formant [o]) wurde durch empirische Überprüfung bestätigt.

Anwendungspraktisch gesehen können die in der vdt-Umfrage (Abb. 7) meistgenannten Positionen als Ausgangspunkte dienen. Bei der Positionierung eines Stützmikrofons am Solo-Fagott sollte der Tonmeister in der Horizontalebene eher rechts als links beginnen; der Anteil der Höhen im Klang kann durch den Winkel zur Fagott-Längsachse (Schallbecher) beeinflusst werden. Bei der Wahl der Distanz zum Instrument muss berücksichtigt werden, wie viele Nebengeräusche durch Klappen, Zischeln am Tonloch, Atmen des Spielers, etc. gewünscht oder noch tolerabel sind.

Danksagung

Für die Unterstützung bedanken wir uns bei den Fagottisten Johannes Endl und Joachim Graf; bei allen Teilnehmern der Umfrage des Verbands deutscher Tonmeister (vdt) sowie ebenso bei Profs. Michael Sandner, Malte Kob und Alexis Baskind.

Literatur

[1] Jecklin, J.: Musikaufnahmen. München: Franzis-Verlag, 1980.

[2] Meyer, J.: Akustik und musikalische Aufführungspraxis, 4. Aufl. Edition Bochinsky, 1999.

[3] Ederhof, A.: Das Mikrofonbuch, 2. Aufl. GC Carstensen Verlag, 2006.

[4] Grothe, T. und Kob, M.: "Investigation of Bassoon Directivity", in *Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference 2013, SMAC 2013, Stockholm, Sweden*, 2013.

[5] Bodon, J.: "Development, Evaluation, and Validation of a High- Resolution Directivity Measurement System for Played Musical Instruments", Magisterarb., Brigham Young University, 2016.

[6] Behler, G. u. a.: "Measurements of musical instruments with surrounding spherical arrays", in *Proceedings of the Acoustics 2012 Nantes Conference*, 2012.

[7] Weinzierl, S.: A Database of Anechoic Microphone Array Measurements of Musical Instruments, TU Berlin, 2017. Adresse: `https://depositonce.tu-berlin.de/handle/11303/6305.2`.

[8] Titze, I. R. u. a., "Toward a consensus on symbolic notation of harmonics, resonances, and formants in vocalization", *The Journal of the Acoustical Society of America*, Bd. 137, 2015.

[9] Boersma, P. und Weenink, D., "PRAAT, a system for doing phonetics by computer", *Glot international*, Bd. 5, S. 341–345, Jan. 2001.

[10] Mores, R.: "Vowel Quality in Violin Sounds—A Timbre Analysis of Italian Masterpieces", in *Studies in Musical Acoustics and Psychoacoustics*, A. Schneider, Hrsg. 2017, S. 223–245.

[11] Reuter, C. u. a.: "Formanten als hilfreiche Timbre-Deskriptoren für die Darstellung von Blasinstrumentenklängen", in *Fortschritte der Akustik, 43. Jahrestagung für Akustik (DAGA2017), Kiel*, 2017.

[12] Schubert, E. und Wolfe, J., "Voicelikeness of musical instruments: A literature review of acoustical, psychological and expressiveness perspectives", *Musicae Scientiae*, Bd. 20, Nr. 2, S. 248–262, 2016.

[13] Meyer, J.: Akustik der Holzblasinstrumente in Einzeldarstellungen. Verlag Das Musikinstrument, 1966, Bd. 17.

[14] Voigt, W.: Untersuchungen zur Formantbildung in Klängen von Fagott und Dulzianen, Ser. Kölner Beiträge zur Musikforschung. G. Bosse, 1975.

[15] Dickreiter, M. u. a.: Handbuch der Tonstudiotechnik. De Gruyter, 2009.

[16] Hyronimus, W.: Zur Richtungsabhängigkeit des Klangs von Holzblasinstrumenten – Gegenüberstellung von Abstrahlcharakteristik, klanganalytischer Auswertung und Mikrofonierungspraxis in der Musikübertragung am Beispiel des Fagotts, Hochschule für Musik Detmold, Bachelorarbeit, 2017.

[17] ——, Fagottaufnahmen im Detmolder Konzerthaus an 8 typischen Mikrofonpositionen, 2019. DOI: `10.5281/zenodo.2633042`. Adresse: `https://doi.org/10.5281/zenodo.2633042`.

[18] Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V.: DEGA VA 1201: Memorandum zur Durchführung und Dokumentation von Audio-Produktionen für wissenschaftliche Anwendungen in der Akustik, Fachausschüsse Virtuelle Akustik / Musikalische Akustik / Hörakustik, 2018. Adresse: `https://www.dega-akustik.de/fileadmin/dega-akustik.de/publikationen/DEGA_VA_1201.pdf`.