

# Instrumente statt Einzelklänge

## Mehr Tonraum im Formant-Timbre-Space?



Christoph Reuter<sup>1</sup>, Isabella Czedik-Eysenberg<sup>1</sup>, Saleh Siddiq<sup>1</sup>, Michael Oehler<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Musikwissenschaftliches Institut der Universität Wien,

<sup>2</sup> Institute for Sound and Vibration Engineering, University of Applied Sciences Düsseldorf

### Hintergrund

In der modernen Klangfarbenforschung wurden seit Hermann von Helmholtz (1863) die unterschiedlichsten Modelle und Paradigmen für die Wahrnehmung und Klassifikation von Musikinstrumentenklängen vorgestellt. Man findet hier die ersten Kategoriensysteme von Helmholtz (1863) und Stumpf (1890), Klangfarbe im engeren und weiteren Sinne (Stumpf 1890), Vokal- und Intervallfarbe (Koehler 1909), Formantbereiche und Klangfarbengesetze (Stumpf 1926; Schumann 1929); Klangfarbenkörper (Albersheim 1939), Schärfe und Kompaktheit (Bismarck 1971), Tristimulus-Methode (Pollard/Jansson 1982), Timbre Spaces (Wedin/Goude 1972; Grey 1975, Krumhansl 1989; McAdams 1999 etc.), MFCCs (Loughran et al. 2008), Timbre-Deskriptoren (Lartillot/Toiviainen 2007; Peeters et al. 2011) etc.

Zum Ende der 2000er Jahre wurde mehr und mehr deutlich, dass in fast allen dieser Modelle zwar von den klanglichen Unterschieden von Musikinstrumenten gesprochen wurde, jedoch wurden meist nur die klanglichen Unterschiede einzelner Töne bei gleicher Tonhöhe und Dynamik ermittelt und von diesen dann auf das ganze Instrument geschlossen (schon Stumpf 1926, S. 393, ebenso Siedenburg et al. 2016).

Um tatsächlich ganze Musikinstrumente klanglich miteinander vergleichen zu können, sollten diese bei Messungen und Ähnlichkeitsdarstellungen auch in ihrer Gesamtheit repräsentiert werden können. Im Bereich der Blasinstrumente haben sich hier die Formantbereiche mit ihren typischen Verhaltensweisen bei Tonhöhen- und Dynamikwechseln bis heute als verlässliche klangliche Unterscheidungsmerkmale erwiesen, anhand derer sich sowohl Instrumente klassifizieren lassen als auch in ihrer Ähnlichkeit einschätzen lassen (Fricke 1975; Voigt 1975; Reuter 1996; Gadermeier/Reuter 2014; Meyer 2016 etc.).

### Ziel

Seltenerweise blieben Formantbereiche als Timbre-Deskriptoren für Einzelklänge und Musikinstrumente im Bereich des Music Information Retrievals (MIR) bislang außen vor. So bietet es sich an, die sonst für Sprachklangbeschreibungen verwendeten Formantbereiche in einem Feld mit den Achsen F1 und F2 (1. und 2. Formant) auf die Darstellung der klanglichen Ähnlichkeiten bzw. Unterschiede von Musikinstrumenten zu übertragen.

- Nach der Formanttheorie sollten die Messpunkte im Formantfeld je nach Instrument gut voneinander unterscheidbare Bereiche belegen.
- Es ist darüber hinaus anzunehmen, dass die Instrumentenklänge je nach Lage im Formantfeld nach den entsprechenden Vokalen mit vergleichbaren Formanteigenschaften klingen.
- Wie in den Timbre Spaces ist ebenso anzunehmen, dass Klänge, deren Messpunkte im Formantfeld nahe beieinander liegen, ähnlich klingen, während mit wachsender Distanz die klanglichen Unterschiede immer deutlicher werden.
- Einzelne Register und auch einzelne Dynamikstufen eines Instruments sollten sich ebenfalls durch deutliche Gruppierungen der Messpunkte gut unterscheiden lassen.

### Methoden

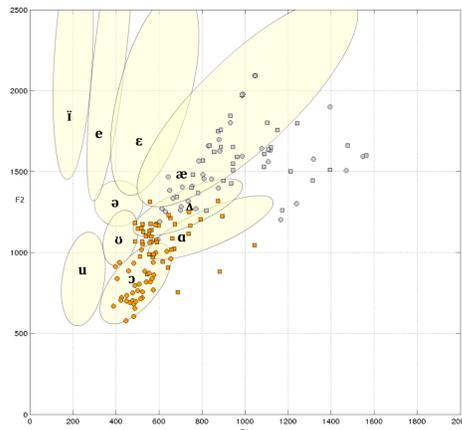
Mit Hilfe der Formantanalyse-Funktion aus Praat (Boersma, Weenink 2013) wurden die instrumententypischen Formantbereiche der gängigen abendländischen Blasinstrumente auf allen erreichbaren Tonhöhen und in den Dynamikstufen pp und ff ermittelt und innerhalb eines Felds mit den Achsen F1 und F2 (1. und 2. Formant) in Beziehung gesetzt (Flöte, Oboe, B-Klarinette, Fagott, F-Horn, B-Trompete, Tenorposaune und Tuba).

Hierbei wurden die Instrumentenklänge pro Instrument nach Tonhöhen, Dynamikstufen und Registern unterteilt, wodurch sowohl einzelne Töne, Register und Dynamikstufen als auch ganze Instrumente aus formanttheoretischer Sicht vergleichbar wurden.

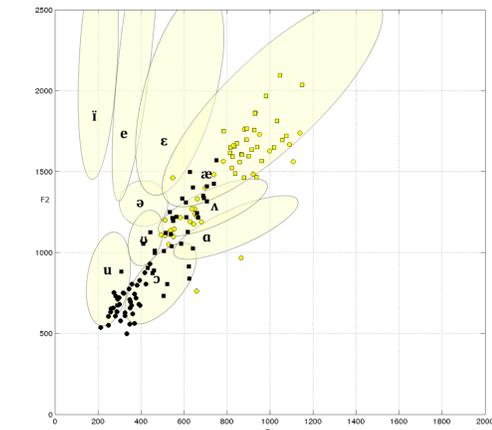
Innerhalb des Formantenfelds lassen sich die Positionen der einzelnen gemessenen Klänge auch auf die Bereiche der Vokalformanten abbilden.

### Ergebnisse

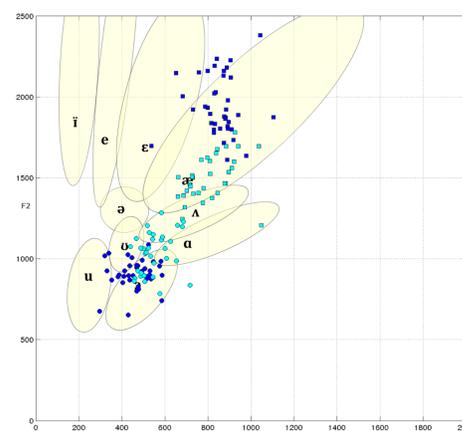
Die Instrumente lassen sich (außer bei Flöte und Klarinette) recht deutlich anhand der ersten beiden Formantbereiche unterscheiden:



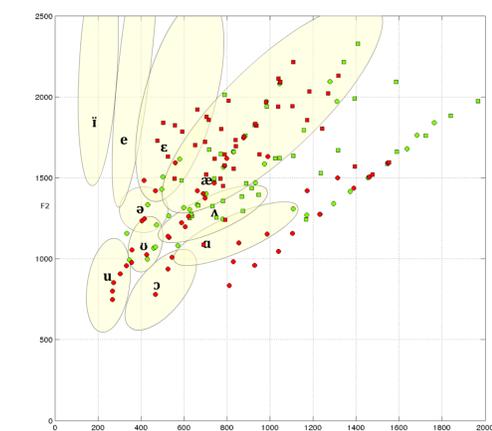
Formantpositionen von Oboe (grau) und Fagott (orange)



Formantpositionen von Trompete (gelb) und Tuba (schwarz)



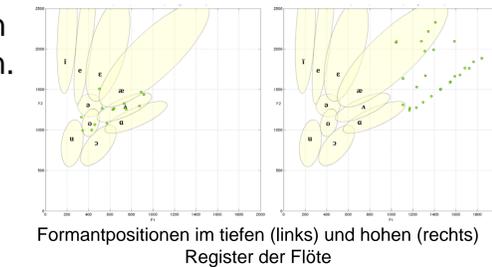
Formantpositionen von Horn (blau) und Posaune (türkis)



Formantpositionen von Flöte (grün) und Klarinette (rot)

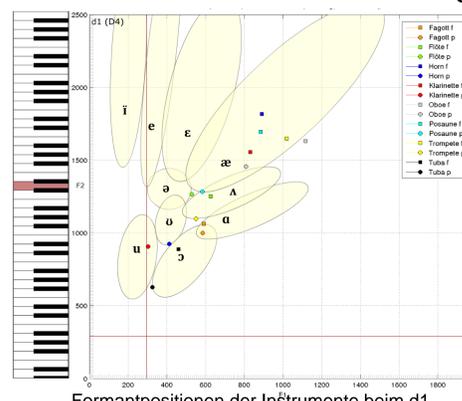
Es ist deutlich erkennbar, dass sich nicht nur die Instrumente in ihren Formantpositionen voneinander abheben, sondern auch in Abhängigkeit von ihren Dynamikstufen (besonders beim Horn).

Registerunterschiede lassen sich in den Ergebnissen weniger erkennen. Am deutlichsten treten sie bei der Flöte hervor, die jedoch zu den weniger formantgeprägten Instrumenten gehört.

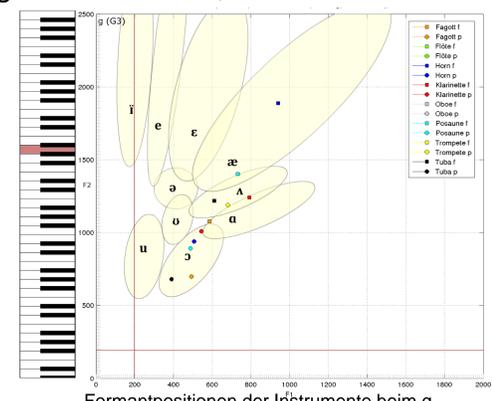


Formantpositionen im tiefen (links) und hohen (rechts) Register der Flöte

Auch bei Einzelklängen lässt sich die jeweilige klangliche Nähe pro Tonhöhe anhand der Formantlage gut einschätzen, z.B.:



Formantpositionen der Instrumente beim d1



Formantpositionen der Instrumente beim g

### Zusammenfassung und Ausblick

Insgesamt lassen sich mit Hilfe der ersten beiden Formantbereiche die meisten Blasinstrumente relativ eindeutig in einem Formantfeld bestimmen und auch mit entsprechenden Vokalklangfarben vergleichen (Ausnahme: Flöte und Klarinette). Registerunterschiede sind hierbei weniger erkennbar als Dynamikunterschiede. In einem nächsten Schritt soll in Hörversuchen untersucht werden, in wieweit sich die hier aufgrund der Formantlage errechnete klangliche Nähe auch in der menschlichen Wahrnehmung widerspiegelt. Darüber hinaus ist geplant, das Formantenfeld mit Hilfe einer weiteren Dimension ("Breite des ersten Formanten") zum dreidimensionalen Formanten-Timbre-Space zu erweitern.

### Literatur

Albersheim, G. (1939). Zur Psychologie der Töneigenschaften. Strassburg: Heitz. <-> Boersma, P. & Weenink D. (2013). Praat: doing phonetics by computer [Computer program]. Version 5.3.51, retrieved 2 June 2013 from <http://www.praat.org/> <-> Fricke, J.P. (1975). Formantbildende Impulslagen bei Blasinstrumenten. In Fortschritte der Akustik 4, DAGA 75 (pp. 407-411). Braunschweig. <-> Gadermeier, T. & Reuter, C. (2014). Strukturelle Merkmale von Blasinstrumentenspektren - Die Schumannschen Klangfarbengesetze aus heutiger Sicht. In Fortschritte der Akustik 44, DAGA 2014 (pp. 48-49). Oldenburg. <-> Grey, J.M. (1975). An Exploration of Musical Timbre using Computer-based Techniques for Analysis, Synthesis and perceptual Scaling. Ph.D. Dissertation, Stanford. <-> Köhler, W. (1909). Akustische Untersuchungen I. Leipzig: Barth. <-> Krumhansl, C. (1989). Why is Musical Timbre so hard to understand? In Nielsen, S. & Olson, O. (Eds.) Structure and Perception of Electroacoustic Sound and Music (pp. 43-53). Amsterdam: Elsevier. <-> Lartillot, O., Toiviainen, P. & Eerola, T. (2007). A Matlab Toolbox for Music Information Retrieval. In: Data Analysis, Machine Learning and Applications. London: Springer, 261-268. <-> Loughran, R., Walker, J., O'Neill, M. & O'Farrell, M. (2009). The Use of Mel-Frequency Cepstral Coefficients in Musical Instrument Identification. In Proceedings of the International Computer Music Conference, 24-29 August, 2009, Belfast, Northern Ireland. <-> McAdams, S. (1999). Perspectives on the Contribution of Timbre to Musical Structure. Computer Music Journal 23(3), 95-102. <-> Meyer, J. (2016). Akustik und musikalische Aufführungspraxis. Bergischen: PPMedia. <-> Peeters, G., Giordano, B.L., Suanni, P., Misdaris, N. & McAdams, S. (2011). The Timbre Toolbox extracting Audio Descriptors from Musical Timbre. Journal of the Acoustical Society of America 130(5), 2922-2936. <-> Pollard, H.F. & Jansson, E.V. (1982). A Tristimulus Method for the Specification of Musical Timbre. Acta Acustica united with Acustica 51.31, pp. 162-171. <-> Reuter, C. (1996). Die auditive Diskrimination von Orchesterinstrumenten. Frankfurt/Lang. <-> Schumann, K.E. (1929). Physik der Klangfarben. Berlin. <-> Siedenburg, K., Jones-Mollenup, K. & McAdams, S. (2016) Acoustic and categorical dissimilarity of musical timbre: Evidence from asymmetries between acoustic and chimeric sounds. Frontiers in Psychology 6:1177. doi: 10.3389/fpsyg.2015.01977. <-> Stumpf, C. (1890). Tonpsychologie. Vol. 2. Leipzig: Hirzel. <-> Stumpf, C. (1926). Die Sprachlaute. Berlin: Springer. <-> Voigt, W. (1975). Untersuchungen zur Formantbildung in Klängen von Fagott und Oboe. Regensburg: Bosse. <-> von Bismarck, G. (1971). Psychometrische Untersuchungen der Klangfarbe stationärer Schalle. In Akustik und Schwingungstechnik (pp. 371-376). Düsseldorf: VDI. <-> von Helmholtz, H. (1863). Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik. Braunschweig: Vieweg. <-> Wedin, L. & Goude, G. (1972). Dimension Analysis of the Perception of Instrumental Timbre. Scandinavian Journal of Psychology 13(1), 228-240.