

Strukturelle Merkmale von Blasinstrumentenspektren - Die Schumannschen Klangfarbengesetze aus heutiger Sicht

Thassilo Gadermaier¹, Christoph Reuter²

¹ Austrian Research Institute for Artificial Intelligence (OFAI), 1010 Wien, Österreich, Email: thassilo.gadermaier@ofai.at

² Musikwissenschaftliches Institut der Universität Wien, 1090 Wien, Österreich, Email: christoph.reuter@univie.ac.at

Einleitung

Nachdem Carl Stumpf 1926 in seiner Abhandlung über die Sprachlaute feste Formantbereiche nicht nur in den Spektren von Vokalen nachweisen konnte sondern auch im Anhang seiner Studie auf „feste Nebenformanten“ bei Musikinstrumenten hinwies [1], untersuchte Karl Erich Schumann die Spektren von Flöte, Oboe, Englisch Horn, Klarinette und Fagott in allen erreichbaren Tonhöhen und in drei Dynamikstufen zwischen *p* und *ff* [2]. Er fand hierbei vier strukturelle Merkmale, die in der heutigen Literatur als „Schumannsche Klangfarbengesetze“ bekannt sind [2][3][4]:

Formantstreckengesetz

Musikinstrumentenklänge besitzen in ihren Spektren feste, grundtonunabhängige Frequenzbereiche (Formanten oder Formantbereiche), in denen die Amplituden der Teiltöne besonders hervorgehoben werden.

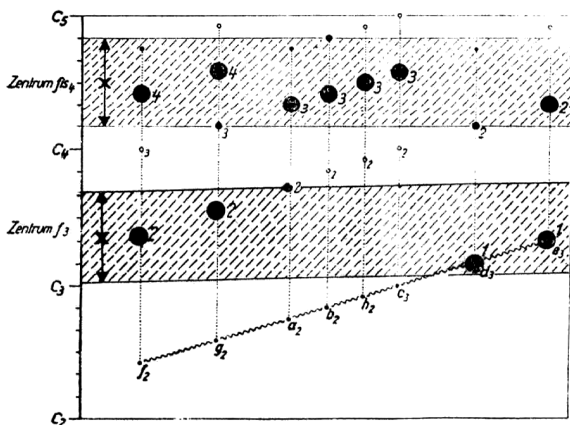


Abbildung 1: Formantstrecken im Spektrum einer Oboe [2]. Man sieht deutlich bei einer ab *f* aufsteigenden Tonleiter, wie die Teiltöne in den Formantbereichen (Zentren) plötzlich stärker werden und wie von unten ein neuer Teilton nachrückt und stärker wird, sobald der obere Teilton die Formantstrecke verlassen hat.

Formantverschiebungsgesetz

Bei stärkerer Tongebung verlagert sich das Maximum auf Teiltöne höherer Ordnung, während innerhalb des Formanten die höher gelegenen Teiltöne in ihren Amplituden stärker werden.

Sprunggesetz

Bei sehr starker Tongebung überspringt bei Klängen mit zwei Formanten das in *p*-Klängen unten liegende spektrale Maximum die Teiltöne zwischen den Formanten, um die zweite obere Formantstrecke auszuzeichnen.

Formantintervallgesetz

Der stärkste Teilton einer Formantstrecke bildet ein bestimmtes, für den Instrumentenklang charakteristisches Zahlenverhältnis zum stärksten Teilton des darüber liegenden Formanten.

Einsatzbereiche der Schumannschen Klangfarbengesetze

Besonders für die Bestimmung von Blasinstrumentenklingen haben sich die von Schumann gefundenen Prinzipien in der Klangfarbenforschung bewährt: So konnte u.a. gezeigt werden, dass hauptsächlich durch unterschiedliche Formantbereiche geprägte Klangfarben im Unisono-Zusammenspiel gut voneinander unterschieden werden können („partial masking“), während hauptsächlich durch übereinstimmende Formantbereiche geprägte Klangfarben im Unisono-Zusammenspiel miteinander verschmelzen („blending“) und auditiv nicht mehr voneinander getrennt werden können [5][6]. Diese Beobachtung befindet sich in Übereinstimmung mit den Instrumentierungsvorschriften in abendländischen Instrumentationslehren der letzten 300 Jahre [7] und lässt sich auch bei sukzessiv alternierenden Klangfarben im Bereich der Auditory Scene Analysis wiederfinden: Spielen Instrumente mit übereinstimmenden Formantbereichen alternierend hintereinander, so nimmt man sie als einen einzigen Stream, als eine einzige Melodie wahr, während sukzessiv alternierende Instrumente mit verschiedenen Formantbereichen als zwei unterschiedliche Streams, als zwei getrennte Melodien wahrgenommen werden [8].

Replikation der Schumannschen Analysen

Während die von Schumann entdeckten Prinzipien sowohl in der Klangfarbenforschung als auch in der Klangsynthese [9][10][11][12] vielseitig und vielversprechend angewendet werden, wurden die umfangreichen Untersuchungen Schumanns selbst nie repliziert. Aus diesem Grund wurden in der vorliegenden Studie wie bei Schumann die Klangfarben der Instrumente Flöte (*c*-*c*’), Oboe (*b*-*g*’), Klarinette in B (*d*-*g*’), Fagott (*B1*-*d*’), in allen erreichbaren Tonhöhen und jeweils drei Dynamikstufen zwischen *pp* und *ff* analysiert, ebenso wie zusätzlich die Klänge von Horn in F (*E*₁-*c*’), Trompete in C (*a*-*c*’), Tenorposaune (*E*₁-*c*’). Insgesamt lagen für die Analyse mehr als 900 Einzelklänge vor, die der Vienna Symphonic Library entnommen wurden.

Das Klangmaterial bestand aus gehaltenen stationären Tönen ohne Vibrato. Die Analyse gliederte sich in die folgenden Schritte: i) Auswahl eines Abschnittes möglichst stationärer Tongebung aus jedem einzelnen Klang. ii) Berechnen

des Spektrums mittels diskreter Fouriertransformation (DFT) (1 Frequenzpunkt/Hz; Flattop-Fenster). iii) Beträge der einzelnen harmonischen Teiltöne extrahieren (*peak picking*). iv) Auswahl des betragsmäßig stärksten Teiltones eines Klanges (in Anlehnung an Schumanns Analysen). Dieser wird als das Zentrum des ersten Formanten des jeweiligen Klanges angenommen. Ein weiterer Schritt der Analyse ist die Berechnung der mittleren Signalleistung pro Frequenzgruppenbreite aus dem DFT Spektrum [13][14].

Ergebnisse

Die bisherigen Ergebnisse wurden in Form einer Software aufbereitet, mit der sich die Formantgebiete der einzelnen Instrumente bei verschiedenen Tonhöhen und Dynamikstufen demonstrieren lassen. Abb. 2 zeigt eine Übersicht über die erste Oktave (B1 - A) der analysierten Fagottklänge der Dynamikstufe *p*. Es zeigt sich das dem Formantstreckengesetz entsprechende Verhalten des jeweils stärksten Teiltones: Das Maximum steigt kontinuierlich mit der Grundtonhöhe sondern bleibt innerhalb der Formantstrecke. Unter den Teiltonketten liegt eine Abbildung der mittleren Signalleistung pro Frequenzgruppenbreite. Es zeigt sich, dass der stärkste Teilton meist im oder nahe des Zentrums eines Bereiches größerer Leistung liegt.

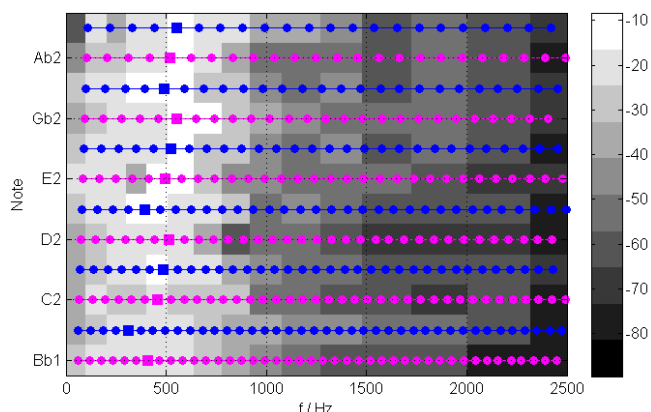


Abbildung 2: Überblick über die analysierten Fagottklänge in *p* (erste Oktave B1 - A). Für jeden Klang sind die einzelnen harmonischen Teiltöne aufgetragen. Der stärkste Teilton ist jeweils durch ein Quadrat markiert. Darunter liegend die Verteilung der mittleren Leistung pro Frequenzgruppenbreite. Die Graustufen sind in dB skaliert, heller entspricht größerem Pegel.

Zusammenfassung

Es zeigt sich insgesamt, dass sich die Klänge von druckkontrollierten Blasinstrumenten (Oboe, Fagott, Horn, Trompete, Posaune) bei Tonhöhen- und Dynamikwechseln weitestgehend nach den von Schumann beschriebenen Klangfarbengesetzen verhalten (Formantstrecken- und -verschiebungsgesetz). Sprung- und Intervallgesetz wurden auf dem genutzten Material bisher nicht ausreichend untersucht, dies steht noch aus. Bei Klängen von flusskontrollierten Blasinstrumenten (Flöte) sowie bei Klarinettenklängen (mit vorwiegend ungeradzahligem Harmonischen im tiefen Register) ließen sich die Schumannschen Klangfarbengesetze nur bedingt beobachten. Weiterhin wurde deutlich, dass sich die Formantbereiche auch in Darstellungen aus der Verteilung

der Leistung pro Frequenzgruppen und aus Cochleagrammen (Auditory Image Model [15]) erkennen lassen, wodurch sie sich für die Klangfarbenforschung auch als Deskriptoren für Klangfarbe anbieten. Detailliertere Darstellungen der bisherigen Ergebnisse und weitere Untersuchungen sind in Arbeit.

Literatur

- [1] Stumpf, C. *Die Sprachlaute. Experimentell-phonetische Untersuchungen nebst einem Anhang über Instrumentalklänge*. Berlin: Springer, 1926.
- [2] Schumann, K. E. *Physik der Klangfarben*. Bd. 2. Leipzig, 1929.
- [3] Mertens, P.-H. *Die Schumannschen Klangfarbengesetze und ihre Bedeutung für die Übertragung von Sprache und Musik*. Frankfurt am Main: Verlag Erwin Bochinsky, 1975.
- [4] Reuter, C. *Der Einschwingvorgang nichtperkussiver Musikinstrumente*. Frankfurt am Main: Peter Lang, 1995.
- [5] Fricke, J. P. „Zur Anwendung digitaler Klangfarbenfilter bei Aufnahme und Wiedergabe“. In: *Bericht über die 14. Tonmeistertagung*. München, 1986, S. 135–148.
- [6] Reuter, C. *Die auditive Diskrimination von Orchesterinstrumenten*. Frankfurt am Main: Peter Lang, 1996.
- [7] Reuter, C. *Klangfarbe und Instrumentation*. Frankfurt am Main: Peter Lang, 2002.
- [8] Reuter, C. „Verschmelzung und partielle Verdeckung“. In: *Fortschritte der Akustik*. 26. DAGA. Oldenburg, 2000, S. 176–177.
- [9] Fricke, J. P. „Formantbildende Impulsfolgen bei Blasinstrumenten“. In: *Fortschritte der Akustik*. 4. DAGA. Braunschweig, 1975, S. 407–410.
- [10] Voigt, W. *Untersuchungen zur Formantbildung in Klängen von Fagott und Dulzianen*. Regensburg: Gustav Bosse Verlag, 1975.
- [11] Auhagen, W. „Dreiecksimpulsfolgen als Modell der Anregungsfunktion von Blasinstrumenten“. In: *Fortschritte der Akustik*. 13. DAGA. Aachen, 1987, S. 709–712.
- [12] Oehler, M. *Die digitale Impulsformung als Werkzeug für die Analyse und Synthese von Blasinstrumentenklängen*. Frankfurt am Main: Peter Lang, 2008.
- [13] Zölzer, U. *Digital Audio Signal Processing*. 2. Aufl. West Sussex, UK: John Wiley & Sons, 2008.
- [14] Fastl, H. und Zwicker, E. *Psychoacoustics. Facts and Models*. 3. Aufl. Berlin: Springer, 2007.
- [15] Patterson, R. D. u. a. „Time-domain modelling of peripheral auditory processing: A modular architecture and a software platform“. In: *JASA* 98 (1995), S. 1890–1894.

Danksagung

Die Autoren möchten sich bei der Vienna Symphonic Library bedanken. Diese Arbeit wurde zum Teil unterstützt durch den Wissenschaftsfonds FWF (Projekt Z 159 Wittgenstein).