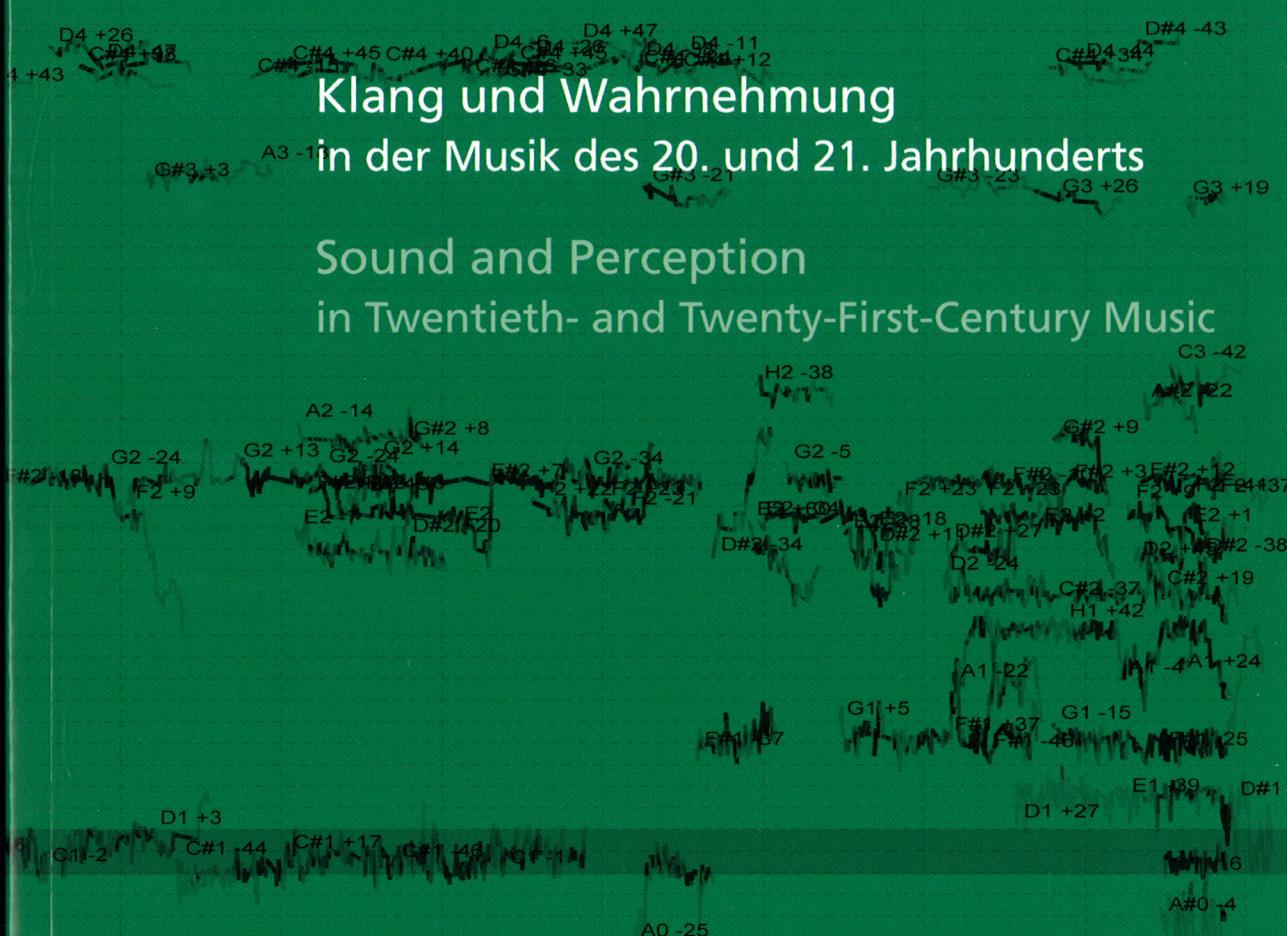


Organized Sound

Klang und Wahrnehmung
in der Musik des 20. und 21. Jahrhunderts

Sound and Perception
in Twentieth- and Twenty-First-Century Music



herausgegeben von | edited by Christian Utz

Modellvorstellungen über Klangfarbe

Von der »Manichfaltigkeit der Praedicate« zum Timbre Space

Christoph Reuter

Was ist Klangfarbe? Wie ist sie messbar? Woher kommt der Begriff? »Why is musical timbre so hard to understand?«¹ und welche Modellvorstellungen begleit(en) die Diskussion zum Phänomen Klangfarbe?

Während der Schall, seine Ausbreitung und Zusammensetzung schon seit vielen Jahrhunderten die Menschheit beschäftigte², entstand eine schriftlich niedergelegte Idee zum Wesen der musikalischen Klangfarbe erst in der Mitte des 18. Jahrhunderts.³ So wurden 1765 in der *Encyclopédie* unter *Timbre* zunächst neben der Oberflächenbeschaffenheit eines Reliefs die Schnarrenseiten einer Trommel verstanden, aber »man gebraucht in einem ziemlich verwandten Sinn das *timbre* einer Glocke für ihre Resonanz, das *timbre* der Stimme, das *timbre* eines musikalischen Instruments aus Erz oder Metall«.⁴ Zwei Jahre später (1767) heißt es in Jean-Jacques Rousseaus *Dictionnaire de Musique*:

Es gibt kein Instrument, das nicht sein charakteristisches *Timbre* hat, das nicht von (jedem) anderen verschieden ist [...]. Trotzdem hat meines Wissens niemand den Ton in dieser Hinsicht untersucht [...]; denn die Qualität des *Timbres* kann nicht von der Zahl der Schwingungen abhängen, die den Grad von der Tiefe zur Höhe ausmacht, noch von der Größe oder Stärke der gleichen Schwingungen, die den Grad des Starken zum Schwachen ausmacht. Man muss deshalb im klingenden Körper eine dritte von diesen beiden verschiedene Ursache finden, um diese dritte Qualität des Tons und ihre Unterschiede zu erklären, was möglicherweise nicht allzu einfach ist.⁵

1 Krumansl, *Why is musical timbre so hard to understand?*

2 Genauer nachzulesen im Standardwerk zur Entstehung des Klangfarbenbegriffs: Muzzolini, *Genealogie der Klangfarbe*.

3 Da diese zuerst in Denis Diderots und Jean Baptiste le Rond d'Alemberts *Encyclopédie* (1751–1780) geäußert werden, kann man davon ausgehen, dass es diese Überlegungen schon einige Zeit davor gegeben hat.

4 Jaucourt, *Timbre*, übersetzt in Muzzolini, *Genealogie der Klangfarbe*, 249.

5 Rousseau, *Son* [1767], 445, übersetzt in Muzzolini, *Genealogie der Klangfarbe*, 253. Eine eng verwandte Formulierung findet sich bereits zwei Jahre zuvor in Rousseaus Artikel *Son* für Band 15 der *Encyclopédie* (vgl. Rousseau, *Son* [1765], 346).

In diesem Sinne (»Tymbre« als unterscheidendes Merkmal zwischen zwei gleich hohen und starken musikalischen Klängen) erschien der Begriff auch in anderen Artikeln von Rousseaus *Dictionnaire*⁶, während sein deutschsprachiges Pendant »Klangfarbe« erstmalig 1822 von Gottfried Weber verwendet wurde.⁷

1. Klangfarbe im engeren und weiteren Sinne

Hermann von Helmholtz geht ein knappes Jahrhundert nach Diderots und d'Alemberts *Encyclopédie* in seinem für die moderne Klangfarbenforschung grundlegenden Werk ebenfalls davon aus, dass sich musikalische Klänge hauptsächlich aufgrund von drei Eigenschaften beschreiben lassen:

- Lautstärke (abhängig von der Amplitude einer Schwingung);
- Tonhöhe (abhängig von der Periodenlänge einer Schwingung);
- Klangfarbe (abhängig von der Form einer Schwingung, d.h. von den Teiltönen).

Seine Ansichten von »Klangfarbe« entsprechen ziemlich genau jener aus dem oben beschriebenen Artikel *son*:

Unter Klangfarbe verstehen wir diejenige Eigenthümlichkeit, wodurch sich der Klang einer Violine von dem einer Flöte, oder Clarinette, oder menschlichen Stimme unterscheidet, wenn alle dieselbe Note in derselben Tonhöhe hervorbringen. [...]

Wenn wir nun fragen, welcher äusseren physikalischen Verschiedenheit der Schallwellen die verschiedenen Klangfarben entsprechen, so haben wir gesehen, dass die Weite der Schwingung der Stärke, die Dauer der Schwingung der Tonhöhe entspricht. Von beiden kann die Klangfarbe nicht abhängig sein. Dann bleibt keine andere Möglichkeit übrig, als dass die Klangfarbe abhänge von der Art und Weise, wie die Bewegung innerhalb jeder einzelnen Schwingungsperiode vor sich geht.⁸

Helmholtz stellte daneben eine erste Klangfarben-Klassifizierung auf⁹, die auch Carl Stumpf im 2. Band seiner Tonpsychologie verwendete (§28) und mit einigen zusätzlichen Anmerkungen versah (vgl. Tabelle).¹⁰

Klassifizierung von Klangfarben	Instrumente	Eigenschaften	Anmerkungen von Stumpf
1. einfache Töne	Stimmgabeln, Resonanzröhren, weite gedackte Orgelpfeifen	weich, angenehm, »unkräftig«, dumpf (tief)	gilt nicht für Tonhöhen in der höchsten Oktave (des Klaviers)
2. Klänge mit gleichmäßig starkem 1.–6. Teilton	Klavier, Orgelpfeifen, menschliche Stimme (<i>piano</i>), Horn, Flöten	klangvoll, musikalisch, reicher, prächtiger	tonhöhenabhängig; Klangindruck ansteigend mit tiefer werdender Grundtonhöhe
3a. Klänge mit ungeradzahligen Teiltönen	gedackte Orgelpfeifen, Klaviersaiten (Mitte), Klarinette	hohl	Kombinationstöne werden auf den Positionen der nicht vorhandenen geradzahligen Teiltöne hörbar
3b. Klänge mit vielen Obertönen		näselnd	
3c. Klänge mit starkem Grundton		voll	
4. Klänge mit Obertönen oberhalb des 6. Obertons	Zungenpfeifen, Oboe, Fagott, menschliche Stimme, Blechblasinstrumente	scharf, rauh	tonhöhenabhängig; in der Schärfe ansteigend mit tiefer werdender Grundtonhöhe

Tabelle: Helmholtz' Klangfarben-Klassifizierung mit Stumpfs Ergänzungen

Stumpf unterschied auch zwischen dem Klangcharakter, der »Manichfaltigkeit der Praedicate«¹¹ für die Klangfarbe, die sich eher aus der Assoziation heraus ergeben (wie z.B. hölzern, metallisch, prächtig, elegisch etc.) und der *eigentlichen Klangfarbe* (als »das Unterscheidende der Instrumente«¹²), die er wiederum unterteilt in »Klangfarbe im engeren [d.h. Helmholtz'] Sinne«¹³ (= Teiltonaufbau) und in »Klangfarbe im weiteren Sinne«¹⁴ (d.h. Einschwing- und Ausklingvorgänge, Begleitgeräusche, Umfang, Modulationen, Tonübergänge, Melodiefloskeln etc.).

6 Rousseau, *Tymbre*, aber auch auf den Seiten 236, 273, 309, 337, 432, 447, 543, 457, 461, 532, 534, 542, 543 und 545 des *Dictionnaire de Musique*.

7 Weber, *Allgemeine Musiklehre*, 53: »Nur bei den sogenannten Zungenpfeifen [...] scheint eher die Zunge [...] der eigentliche tonbestimmende Körper zu sein, der Pfeifenkörper hingegen mehr nur die Qualität des Klanges, [...] Timbre, die Tonfarbe (eigentlich Klangfarbe) zu modifizieren.« Derselbe Abschnitt, jedoch ohne die Ergänzung »(eigentlich Klangfarbe)«, findet sich auch in der Allgemeinen Musikalischen Zeitung (AMZ) 50 vom 13.12.1815 sowie 1817 in Band 1 von Weber, *Versuch einer geordneten Theorie der Tonsez kunst*, 3.

8 Helmholtz, *Die Lehre von den Tonempfindungen*, 20, 31f.; vgl. auch 113.

9 Ebda., 180f.

10 Stumpf, *Tonpsychologie*, 520–524. Die Tatsache, dass Helmholtz in seiner *Lehre von den Tonempfindungen* hauptsächlich die Fouriertransformation als Leitbild vor Augen hatte (und deswegen Geräuschanteile,

zeitliche Vorgänge etc. nahezu völlig außer Acht ließ) sowie der Umstand, dass Stumpfs *Tonpsychologie* (in der gerade diese fehlenden Aspekte und die Klangfarbenwahrnehmung behandelt wurde) nie ins Englische übersetzt wurde, hat bis heute für die englischsprachige Forschung gravierende Folgen (s.u.).

11 Stumpf, *Tonpsychologie*, 514–516.

12 Ebda., 516.

13 Ebda., 516, 520–524.

14 Ebda., 516, 548.

2. Vokalität und Intervallfarbe

Nachdem Robert Willis, Franciscus Cornelius Donders und Helmholtz für die Vokalklangfarben die »Vocaltöne« (entsprechend den Vokaltraktresonanzen) als klangfarbenbestimmend für die Vokalbildung erkannt hatten¹⁵ und Ludimar Hermann diese in seinen phonographischen Untersuchungen erstmalig als »Formanten« bezeichnet hatte¹⁶, stellte Wolfgang Köhler als Schüler Stumpfs in seinen akustischen Untersuchungen die folgende »Psychologische Theorie der Klangfarben« auf¹⁷:

1. Gleiche Klangfarben entstehen aus gleichen *Intensitätsverhältnissen* zwischen den beteiligten Teiltönen.

2. Beim Verschieben dieser Intensitätsverhältnisse entlang der Frequenzachse bleibt die Klangfarbenempfindung gleich (*Theorie der relativen Formanten*). Die Klangfarbe von Musikinstrumenten entsteht also durch das Intervall zwischen den stärksten Teiltönen (*Intervallfarbe*).

3. Instrumentalklangfarben sind von *Vokalklangfarben* (Vokalität) zu unterscheiden, die durch einen festen, grundtonunabhängigen Spektralbereich gekennzeichnet sind.

Köhler beschreibt hier das vokalfärbende Element nicht mehr als einzelnen Ton, sondern als festen, grundtonunabhängigen Frequenzbereich. Er legt damit sowohl einen Grundstein für Stumpfs weitere Arbeiten¹⁸, für Carl Erich Schumanns »Physik der Klangfarben«¹⁹ (vgl. 5.) sowie für Gerhard Albersheims *Psychologie der Toneigenschaften* (1939): Nach dem Vorbild der Farbmischung im optischen Bereich vergleicht Albersheim die Vokalfarbe oder *Vokalität* (d.h. die absoluten Formanten) mit dem Farbton, die *Intervallfarbe* (d.h. die relativen Formanten) mit der Farbhelligkeit und das Verhältnis zwischen Vokalfarbe und Helligkeit mit der Sättigung.²⁰ So gelingt es ihm, für jede Vokalfarbe in einem sogenannten akustischen Farbdreieck (Abb. 1) die Sättigung und Helligkeit über zwei Achsen anzugeben (vom Standpunkt der Elektroakustik würde man hier vom Durchlassbereich eines Bandpassfilters sprechen, wobei die Helligkeit die Position der Mittenfrequenz im Spektrum angibt und die Sättigung die Bandbreite (je »bunter« desto schmäler die Bandbreite)).

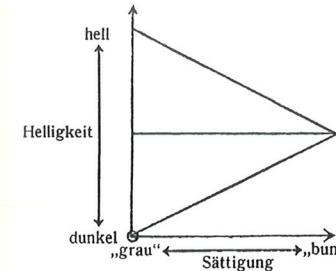


Abbildung 1: Akustisches Farbdreieck, bezogen auf jeweils eine Vokalität (»bunt«).²¹

Während sich die Vokalfarben längs der im Deutschen bekannten Vokalreihe (U – O – A – ÄÖÜ – E – I) anordnen lassen, lässt sich nach Albersheim deren Sättigung auf einen gemeinsamen Graupunkt beziehen, was für ihn Grund genug ist, die Vokalfarbenreihe halbkreisförmig um diesen Graupunkt anzuordnen (Abb. 2, links). Durch die Kombination der akustischen Farbdreiecke aller Vokalfarben gelangt er nach dem Vorbild der Zweikomponenten-Theorie²² zu einem akustischen Farbzylinder (bzw. zu einem »akustischen Farbenkörper« in Zylinderform) mit einer Helligkeits-Achse in der Mitte und einer schraubenförmigen Vokalfarben-Achse entlang des Umfangs (Abb. 2, rechts):

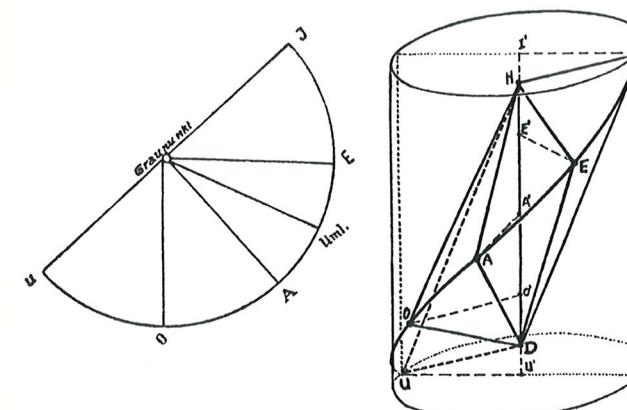


Abbildung 2: Akustischer Farben-Halbkreis²³ (links) und seine Einbettung in den akustischen Farbenkörper²⁴ (rechts).

15 Willis, *Ueber Vocaltöne und Zungenpfeifen*, 397–437; Donders, *Ueber die Natur der Vocale*, 157–162; Helmholtz, *Die Lehre von den Tonempfindungen*, 171ff.

16 Hermann, *Phonographische Untersuchungen VI*, 267.

17 Köhler, *Akustische Untersuchungen I*, 38–49.

18 Stumpf, *Die Sprachlaute*, 374–412.

19 Schumann, *Physik der Klangfarben* (vergl. das gleichnamige Kapitel in Köhler, *Akustische Untersuchungen I*, 28).

20 Albersheim, *Zur Psychologie der Toneigenschaften*, 7.

21 Ebda., 252.

22 Revesz, *Zur Grundlegung der Tonpsychologie*, 19–21.

23 Albersheim, *Zur Psychologie der Toneigenschaften*, 350.

24 Ebda., 353.

Auch wenn Albersheim in seiner Dissertation versuchte, die verschiedenen Modelle von Klangfarbe (Helligkeit und Vokalität) mit diesem anschaulichen Modell unter einen Hut zu bringen, konnte sich diese Sichtweise nicht durchsetzen, da die optische Farbwahrnehmung und -zusammensetzung letztlich nach völlig anderen Regeln geschieht als die Zusammensetzung und Wahrnehmung von Klangfarben.

3. Schärfe und Kompaktheit

Nach dem Zweiten Weltkrieg verlagerte sich die Klangfarbenforschung mehr und mehr in den englischsprachigen Bereich. Dort wurde 1960 durch das American National Standards Institute (ANSI) eine Standardisierung der Definition von Klangfarbe vorgenommen: »Timbre is that attribute of auditory sensation in terms of which a listener can judge that two sounds similarly presented and having the same loudness and pitch are dissimilar.²⁵ Auch diese Klangfarbendefinition folgt der Tradition der vorangegangenen Definitionen, dass Klangfarbe das ist, was übrig bleibt, wenn man von zwei Klangereignissen die gleiche Tonhöhe und Lautstärke abstrahiert: Klangfarbe = Schallereignis minus Tonhöhe minus Lautheit, wobei die Dauer vernachlässigt wird. Die Schwierigkeit dieser Definition liegt vor allem in drei Punkten:

1. Es ist eine Negativ-Definition: Es wird nur gesagt, was Klangfarbe nicht ist.²⁶
2. Klangfarbe wird nur als »etwas im Vergleich zu etwas anderem« gesehen: es ist kein eigenständiges Merkmal.
3. Es wird für die Definition von Klangfarbe eine Tonhöhe vorausgesetzt, die in der Realität nicht unbedingt immer vorhanden sein muss.

Die Konsequenzen dieser Definition für die Klangfarbenforschung waren schwerwiegend, da sie dazu führten, dass Instrumente im Klangfarbenvergleich nicht in ihren instrumententypischen Tonlagen untersucht wurden, sondern in Tonhöhen, die darauf ausgerichtet waren, möglichst für alle beteiligten Instrumente gleich hoch zu sein²⁷ (was besonders absurd wirkt, wenn z.B. die Klangfarbe einer Querflöte im Vergleich zu der eines Kontrabasses untersucht wird²⁸).

Es ist offensichtlich, dass die Klangfarbe nicht allein auf die Teiltonverteilung bzw. die Wellenform zurückführbar ist. Schon Carl Stumpf bemerkte, dass der Klangfar-

25 ANSI, *American Standard Acoustical Terminology*, § 12.9, 45. Die zu dieser Definition gehörende Fußnote ist auch nicht sehr weiterführend: »Timbre depends primarily upon the spectrum of the stimulus, but it also depends upon the waveform, the sound pressure, the frequency location of the spectrum, and the temporal characteristics of the stimulus.«

26 Vgl. auch Bregman, *Auditory Scene Analysis*, 92: »This is of course no definition at all.«

27 Vgl. Reuter, *Der Einschwingvorgang nichtperkussiver Musikinstrumente* und Reuter, *Wie und warum in der Geschichte der Klangfarbenforschung meistenteils am Klang vorbeigeforscht wurde*.

28 Z.B. in Nitsche, *Zur Wahrnehmung der Klangfarbe*, 46f.; weitere ähnliche Beispiele in Reuter, *Klangfarbe: Beziehungen zur Tonhöhe und Lautstärke*, 251f., Fußnote 14.

benbegriff gleich mehrere Beschreibungsebenen beinhaltet²⁹, und da Stumpfs Tonpsychologie (1890) bis heute nicht ins Englische übersetzt wurde, war es Joseph Carl Robnett Licklider, der 1951 auch für die englischsprachige Klangfarbenforschung das Rad neu erfand, indem er die Klangfarbe als eine »multidimensional dimension« beschrieb³⁰, was von Stumpf und seinen Schülern (Köhler, Albersheim, Schumann) längst erkannt worden war. So ging es in der Folgezeit vor allem darum, die einzelnen Dimensionen der Klangfarbe zu ermitteln. Im deutschsprachigen Bereich unternahm dies vor allem Georg von Bismarck, während im englischsprachigen Bereich besonders die Studien von John Grey die Klangfarbenforschung beeinflussten:

Bismarck ließ in seiner Studie 35 synthetische Klänge gleicher Tonhöhe von acht Testpersonen über ein Polaritätsprofil mit 30 Adjektivpaaren bewerten, um universell gültige Dimensionen von Klangfarbe zu ermitteln. Er erhielt als Ergebnis einer multidimensionalen Faktorenanalyse die beiden Hauptdimensionen Schärfe und Kompaktheit³¹ (Abb. 3):

Schärfe (stumpf – scharf): Je höher das Energiemaximum im Spektrum des Klangs angesiedelt ist, als desto schärfer oder heller wird er wahrgenommen. Die Schärfe entspricht der Stumpfschen bzw. Albersheimschen Helligkeit.

Kompaktheit (kompakt – diffus): Je weniger der Klang zu einem Rauschen hin tendiert, d.h. je harmonischer, einfacher sein Teiltonaufbau ist, als desto kompakter wird er empfunden.

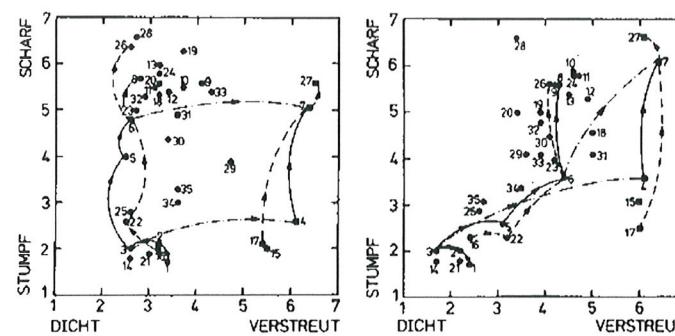


Abbildung 3: Werte für Schärfe und Kompaktheit (links: Musiker, rechts: Nicht-Musiker); gestrichelte Linien: Erhöhung des Schärfeeindrucks mit der Erhöhung der spektralen Mittelfrequenz; strichpunktisierte Linien: Erhöhung des Kompaktheitseindruckes bei Reduktion des Rauschanteils im Klang (Bismarck, *Extraktion und Messung von Merkmalen der Klangfarbenwahrnehmung*, 47).

29 Stumpf, *Tonpsychologie*, 530.

30 Licklider, *Basic correlates of the auditory stimulus*, 1019.

31 Bismarck, *Extraktion und Messung von Merkmalen der Klangfarbenwahrnehmung*, 82–92. Die Schärfe wurde nach den Ermittlungen Bismarcks später zur Beschreibung des sensorischen Wohlklangs eingesetzt (Richtwert: 1 acum bei einem Schmalbandrauschen um 1 kHz und 60 dB und einer Bandbreite von 160 Hz; Fastl/Zwicker, *Psychoacoustics*, 239).

4. Dimensionen des *Timbre Space*

John Grey ermittelte in seiner *Exploration of Musical Timbre*³² ebenfalls die Klanghelligkeit oder Schärfe (*sharpness*) als wesentliche Dimension der Klangfarbe: Indem er seine Versuchspersonen die Ähnlichkeit von 16 gleich hohen, resynthetisierten Instrumentalklangfarben beurteilen ließ, konnte er über eine mehrdimensionale Skalierung der Klangbeurteilungen im Vergleich mit den physikalischen Eigenschaften der Klänge drei Haupteigenschaften ermitteln, die er drei Achsen zuordnete, welche einen dreidimensionalen Raum aufspannen, der in die Lehrbücher als »Timbre Space« eingegangen ist (Abb. 4). Die drei Achsen sind im einzelnen:

- Achse I: Schärfe bzw. Helligkeit
- Achse II: Fluktuationen im Spektrum
- Achse III: Einschwingvorgang (Vorläufergeräusche/-töne)

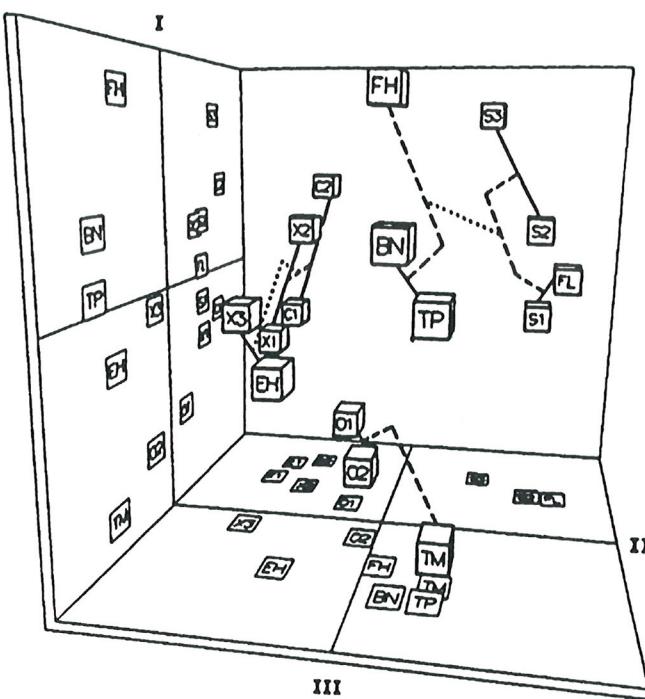


Abbildung 4: *Timbre Space* (O1, O2 = Oboen, C1, C2 = Klarinetten, X1, X2, X3 = Saxophone, EH = Englisch Horn, BN = Fagott, FH = Horn, TP = Trompete, TM = Posaune, FL = Flöte, S1, S2, S3 = Celli; Grey, *An Exploration of Musical Timbre*, 62).

³² Grey, *An Exploration of Musical Timbre*.

Basierend auf dem *Timbre Space* folgten eine Reihe von Studien, in denen z.B. die spektrale Energieverteilung zwischen Instrumentenpaaren ausgetauscht wurde³³, ein musikalischer Kontext mit einbezogen wurde³⁴, die Erkenntnisse der *auditory scene analysis* mit einbezogen wurden etc.³⁵ Die Problematik des durch Grey mit Klängen auf einer Tonhöhe und einer gleich bleibenden Spieldynamik erzeugten *Timbre Space* wird offenkundig, wenn man die *Timbre Spaces* anderer Autoren damit vergleicht³⁶: Man merkt schnell, dass diese Räume untereinander nicht vergleichbar sind und daher trotz ihrer Plastizität keinen großen Aussagewert besitzen. Weiterhin schwierig wird es, wenn ein *Timbre Space* (mit einem willkürlichen Standardklang) auf einmal zur Vorbedingung einer neurologischen Untersuchung wird.³⁷ Zusammenfassend lassen sich die Vor- und Nachteile der heute noch diskutierten *Timbre Spaces* gegenüberstellen:

Vorteile:

- sehr anschaulich;
- stimmen mit den Ergebnissen von *stream segregation*-Experimenten überein.

Nachteile:

- sind nicht verallgemeinerbar;
- sind nicht untereinander vergleichbar;
- haben nur drei Dimensionen;
- beruhen überwiegend auf (re-)synthetisierten Klangfarben;
- beruhen auf jeweils nur einer Tonhöhe;
- Dynamik, Artikulation etc. wird so gut wie nicht berücksichtigt.

5. Formanten als klangbestimmende Merkmale

Carl Stumpf brachte nicht nur die Helligkeit und Mehrdimensionalität der Klangfarbe in die Klangfarbenforschung mit ein, sondern er war auch der erste, der im Anhang seines Buchs über die *Sprachlaute* (»Über Instrumentalklänge«) auf feste Formantbereiche in Instrumentalklangfarben hinwies³⁸ (davor sah man sie ausschließlich als eine Vokaleigenschaft an, vgl. oben 2.). In der Fortführung der Forschungen Carl Stumpfs beobachtete Carl Schumann vier immer wiederkehrende Phänomene oder Prinzipien, welche als »Klangfarbengesetze« die deutschsprachige Klangfarbenforschung maßgeblich beeinflussten, da drei von ihnen das klanglich-spektrale Verhalten von (Blas-)

³³ Grey/Gordon, *Perceptual Effects of Spectral Modifications on Musical Timbres*, 1493–1500.

³⁴ Grey, *Timbre Discrimination in Musical Patterns*, 467–472.

³⁵ Wessel, *Timbre Space as a Musical Control Structure*, 45–52.

³⁶ Z.B. Krumansl, *Why is Musical Timbre so Hard to Understand?*, 45–48; McAdams, *Perspectives on the Contribution of Timbre to Musical Structure*, 85–102.

³⁷ Caclin et al., *Separate Neural Processing of Timbre Dimensions in Auditory Sensory Memory*, 1959–1972.

³⁸ Stumpf, *Die Sprachlaute*, 382: »Nebenformanten«.

Musikinstrumentenklängen bei Tonhöhen- und Dynamikwechseln grundlegend erklären konnten³⁹:

1. *Formantstreckengesetz* (Formanten sind klangprägende, da feste, grundtonunabhängige Bereiche im Spektrum, in denen die Amplituden der Teiltöne besonders stark hervorgehoben sind, Abb. 5).

2. *Formantverschiebungsgesetz* (Bei starker Spieldynamik verlagert sich das Amplitudenmaximum auf Teiltöne höherer Ordnung. Innerhalb der Formanten werden die höher gelegenen Teiltöne in ihren Amplituden stärker).

3. *Formantsprunggesetz* (Extremfall des Formantverschiebungsgesetzes bei besonders starker Tongebung: das in *piano*-Klängen tiefer liegende spektrale Maximum überspringt im Extremfall die Lücke zwischen den Formanten, um die nächst höhere Formantstrecke auszuzeichnen).

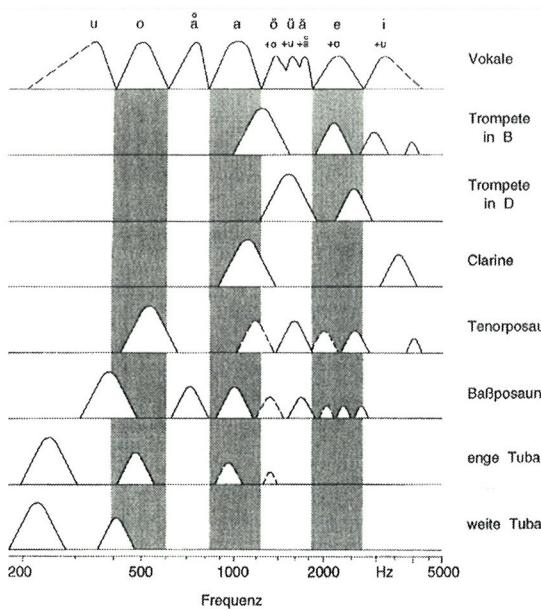


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Formantlagen bei Trompeten, Posaunen und Tuben (Meyer, *Akustik und musikalische Aufführungspraxis*, 51).

In der deutschsprachigen Forschung haben sich die Formantbereiche in der spektralen Klangfarbenbeschreibung für Sprach- und Instrumentalklänge etabliert⁴⁰, sie haben in

39 Schumann, *Physik der Klangfarben*, 15–18, 98, 100 und 131; Mertens, *Die Schumannschen Klangfarbengesetze*; Reuter, *Der Einschwingvorgang nichtperkussiver Musikinstrumente*, 76–78 (das ebenfalls von Schumann gefundene Formantintervallgesetz müsste aus heutiger Sicht noch einmal überdacht werden).

40 Z.B. ebda., 33f.; Meyer, *Musikalische Akustik*, 128 etc.

der Theorie der Impulsformung ihre physikalische Erklärung gefunden⁴¹ und bewähren sich in der *auditory scene analysis*⁴², in der Vorhersage von Verschmelzungseigenschaften verschiedenster Instrumentenkombinationen⁴³, in der Erklärung von typischem Instrumentalvibrato⁴⁴ etc. In der englischsprachigen Literatur hingegen hat sich neben der »brightness« oder »sharpness« der Begriff des »spectral centroids«⁴⁵ für die spektrale Klangfarbenbeschreibung durchgesetzt. Die Beschreibung eines Spektrums mit Hilfe des *spectral centroid* kann allerdings leicht irreführende Ergebnisse bringen: Indem mit ihm der gewichtete Mittelwert eines Spektrums beschrieben wird, um von diesem auf die Schärfe-Empfindung eines Klanges rückzuschließen, kommt es besonders bei Klängen mit mehreren Formanten häufig vor, dass der errechnete gewichtete Mittelwert des Spektrums genau dort liegt, wo sich im Spektrum selbst gerade eine Lücke zwischen zwei Formanten befindet. Aus diesem Grund kann sich die Anwendung des *spectral centroid* besonders bei Vokal- oder Blasinstrumentenklängen etwas problematisch gestalten bzw. eignet sich der *spectral centroid* zur Klangfarbenbeschreibung unter dieser Perspektive nur bedingt.

Zusammenfassend lassen sich auch bzgl. der in der deutschsprachigen Klangfarbenforschung vorherrschenden Formantprinzipien Vor- und Nachteile gegenüberstellen:

Vorteile

- stimmen mit den Empfehlungen in Instrumentationslehren überein⁴⁶;
- stimmen mit den Ergebnissen der *auditory scene analysis* überein;
- sind für Blasinstrumente verallgemeinerbar;
- gemessene Formantbereiche sind miteinander vergleichbar;
- sind tonhöhen- und dynamikabhängig;
- wurden mit Hilfe von natürlichen Instrumentenklängen ermittelt (und nicht mit Hilfe von synthetischen Klangfarben);
- sind durch die Impulsformungstheorie direkt auf die Kangerzeugung zurückführbar; die Impulsformungssynthese erlaubt wiederum auch Klangfarben, deren Verhalten bei Dynamik- und Tonhöhenwechsel sehr denen von natürlichen Musikinstrumenten ähnelt.

Nachteile

- sind nicht mehrdimensional;

41 Fricke, *Formantbildende Impulsfolgen bei Blasinstrumenten*, 407–410; Voigt, *Untersuchungen zur Formantbildung in Klängen von Fagott und Dulzianen*; Auhagen, *Dreieckimpulsfolgen als Modell der Anregungsfunktion von Blasinstrumenten*, 709–712.

42 Reuter, *Stream Segregation and Formant Areas*, 213–217; Reuter, *Verschmelzung und partielle Verdeckung*, 176f.

43 Reuter, *Klangfarbe und Instrumentation*.

44 Oehler, *Die digitale Impulsformung als Werkzeug für die Analyse und Synthese von Blasinstrumenten*.

45 Z.B. Sandell, *Roles for Spectral Centroid and Other Factors*, 209–246; Peeters et al., *The Timbre Toolbox*, 2902–2916.

46 Reuter, *Klangfarbe und Instrumentation*.

- vernachlässigen den Zeitbereich (Einschwingvorgang etc.; in der Impulsformungstheorie zur Erklärung der Formantentstehung ist der Zeitbereich jedoch enthalten);
- vernachlässigen Fluktuationen und Modulationen (in der Impulsformungstheorie zur Erklärung der Formantentstehung sind diese jedoch enthalten);
- gelten nicht (oder nur bedingt) für Streich- und Schlaginstrumente.

6. Ausblick

Beim Vergleich der deutsch- und englischsprachigen Literatur zeigt sich deutlich, dass die Herangehensweisen an das Phänomen Klang sich zwar an einigen Stellen grundlegend unterscheiden, dass die Forschungsdesiderate, Ziele und Hauptergebnisse jedoch in vielerlei Hinsicht übereinstimmen: spektrale Maxima werden als klangfarbenbestimmend aufgefasst, die Mehrdimensionalität der Klangfarbe wird akzentuiert, eine stärkere Berücksichtigung von zeitlichen und modulatorischen Aspekten wird angestrebt etc. Wenn es darum geht, eine *Timbre Knowledgebase for Research and Practice* zu erstellen⁴⁷, verschiedene künstlerische Konzepte zur Klangfarbe auf einen Nenner zu bringen oder Klangfarbe als einen (yielddimensionalen) Parameter innerhalb der musikalischen Analyse zu verwenden⁴⁸, so kann ein übergreifendes, sowohl auf physikalischen als auch auf wahrnehmungspsychologischen Grundlagen beruhendes Konzept zur Klangfarbe zu einem besseren Verständnis der Vorgänge und Begrifflichkeiten beitragen.

Dank der rasanten Entwicklung im Bereich der digitalen Signalverarbeitung liegen die Hürden für ein modernes und allgemeines Verständnis von Klangfarbe heute nicht mehr in der technischen Realisierbarkeit von geeigneten Analyse- oder Resynthesemethoden, sondern eher darin, aus den vorhandenen Untersuchungen die richtigen Schlüsse zu ziehen und die verschiedenen Forschungsstränge zu einem schlüssigen Gesamtbild zu vereinen. Klanganalyse- und -resynthesefunktionen von Programmen und Scripten wie Praat⁴⁹, Matlab-Toolboxen wie die MIR und die Timbre Toolbox⁵⁰ und oder Jaco Visual Editor⁵¹ bieten die idealen Grundlagen dafür, die Plastizität und Mehrdimensionalität der *Timbre Spaces* mit den tonhöhen- und dynamikorientierten Erkenntnissen der Formant- und Impulsformungsforschung zu verbinden. Das ur-

⁴⁷ Vgl. Daniela Prem/Richard Parncutt, *Jazz Voice Sounds – Creating a Timbre Knowledgebase for Research and Practice*, Vortrag beim Symposium »Organized Sound« Klang und Wahrnehmung in der Musik des 20. und 21. Jahrhunderts, Universität für Musik und darstellende Kunst Graz, 17.12.2011.

⁴⁸ Vgl. Markus Neuwirth in: Podiumsdiskussion: *Klang und Wahrnehmung – vernachlässigte Kategorien in Musiktheorie und (Historischer) Musikwissenschaft?*, im vorliegenden Band, 195–218: 199–201.

⁴⁹ Boersma/Weenink, *Praat, a system for doing phonetics by computer*, 341–345.

⁵⁰ Lartillot, Olivier et al., *A Matlab Toolbox for Music Information Retrieval*, 261–268; Peeters et al., *The Timbre Toolbox*, 2902–2916.

⁵¹ Reuter/Griebel, *Jaco – High Quality Sinusoid Tracks and Envelopes*, 121–124.

sprünglich in der Sprachwissenschaft entwickelte⁵² und von der Musikanformatik auf das *Music Information Retrieval* (MIR) übertragene Prinzip der *Mel-Frequency Cepstral Coefficients* (MFCC)⁵³ bietet – wenn auf eine Serie von Einzelklängen angewendet⁵⁴ – die ideale Möglichkeit zur Schaffung von verallgemeinerbaren, tonhohen- und dynamikunabhängigen, yielddimensionalen und gleichzeitig anschaulichen Ergebnissen und Darstellungen im Klangfarbenbereich (Abb. 6), in die sowohl die aus der Formantforschung als auch die aus den *Timbre Spaces* gewonnenen Erkenntnisse sinnvoll und sich gegenseitig ergänzend eingebracht werden können.

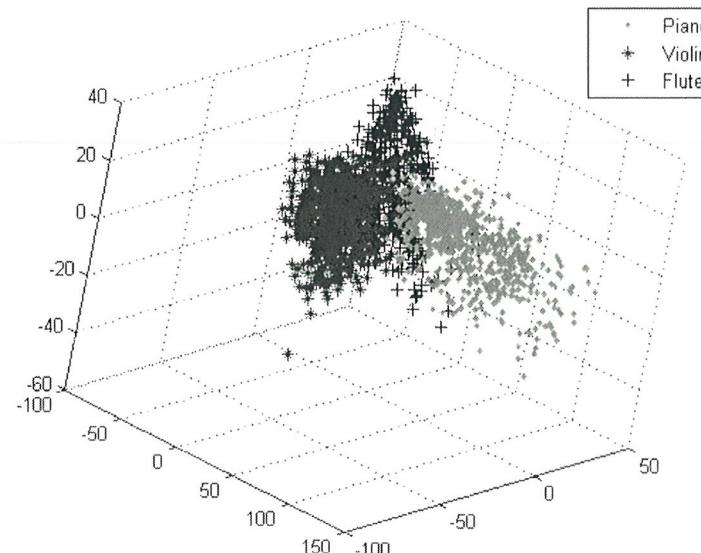


Abbildung 6: Graph für die ersten drei grundlegenden Komponenten einer MFCC (Klangähnlichkeitsanalyse via Mel-Frequency Cepstral Coefficients) für die Erkennung bzw. Zuordnung von drei verschiedenen Instrumenten (Loughran et al., *The Use of Mel-Frequency Cepstral Coefficients in Musical Instrument Identification*, 3).

⁵² Davis/Memelstein, *Comparison of Parametric Representations for Monosyllabic Word Recognition in Continuously Spoken Sentences*, 357–466.

⁵³ Angewendet z.B. in: Logan, *Mel Frequency Cepstral Coefficients for Music Modeling*; Eronen, *Automatic Musical Instrument Recognition*; Essid/Gael/Bertrand, *Efficient Musical Instrument Recognition on Solo Performance Music Using Basic Features*; Loughran et al., *The Use of Mel-Frequency Cepstral Coefficients in Musical Instrument Identification*; Sturm/Morvidone/Faudet, *Musical instrument identification using multiscale mel-frequency cepstral coefficients* etc.

⁵⁴ Am besten werden dabei alle erreichbaren Tonhöhen eines Instruments in jeweils drei oder fünf verschiedenen Dynamikstufen gespielt, in staccato/legato und mit/ohne Vibrato (idealerweise gleich von mehreren Spielern gespielt unter gleichen Bedingungen aufgenommen). Um allgemeingültige Aussagen über ein Musikinstrument zu erlangen, sollte man sich nie auf eine einzige Tonhöhe in einer einzigen Dynamikstufe konzentrieren (wie es in den meisten Studien zur Klangfarbe von Musikinstrumenten der Fall ist, s.o.), sondern möglichst eine Vielzahl der typischen Klangerzeugungs- und -nuancierungsmöglichkeiten des jeweiligen Instruments berücksichtigen.

Literatur

- Albersheim, Gerhard: *Zur Psychologie der Toneigenschaften*, Strassburg: Heitz 1939.
- American National Standards Institute: *American Standard Acoustical Terminology (Including Mechanical Shock and Vibration)*, New York: American Standards Association 1960.
- Auhagen, Wolfgang: *Dreiecksimpulsfolgen als Modell der Anregungsfunktion von Blasinstrumenten*, in: *Fortschritte der Akustik*, 13. DAGA '87, Aachen: DPG 1987, 709–712.
- Bismarck, Georg von: *Extraktion und Messung von Merkmalen der Klangfarbenwahrnehmung stationärer Schalle* (Sonderforschungsbereich 50 »Kybernetik«), München: aku-Fotodruck 1972.
- Boersma, Paul/Weenink, David: *Praat, a system for doing phonetics by computer*, in: *Glot International* 5/9–10 (2001), 341–345.
- Bregman, Albert S.: *Auditory Scene Analysis: The Perceptual Organization of Sound*, Cambridge, Mass.: MIT Press 1990.
- Cadlin, Anne/Brattico, Elvira/Tervaniemi, Mari/Näätänen, Risto/Morlet, Dominique/Giard, Marie-Helene/McAdams, Stephen: *Separate Neural Processing of Timbre Dimensions in Auditory Sensory Memory*, in: *Journal of Cognitive Neuroscience* 18/12 (2006), 1959–1972.
- Davis, Steven B./Mermelstein, Paul: *Comparison of Parametric Representations for Monosyllabic Word Recognition in Continuously Spoken Sentences*, in: *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Assp-28,4 (1980), 357–466.
- Donders, Franciscus Cornelius: *Ueber die Natur der Vocale*, in: *Archiv für die holländischen Beiträge zur Natur- und Heilkunde*, Bd. 1, hrsg. von Franciscus Cornelius Donders und W. Berlin, Utrecht: Kemink & Zoon 1858, 157–162.
- Eronen, Antti: *Automatic Musical Instrument Recognition*, MSc Thesis, Tampere University of Technology 2001.
- Essid, Slim/Richard, Gaël/David, Bertrand: *Efficient Musical Instrument Recognition on Solo Performance Music Using Basic Features*, in: *AES 25th International Conference*, London, UK, June 2004.
- Fastl, Hugo & Zwicker, Eberhard: *Psychoacoustics: Facts and Models* (Springer Series in Information Sciences), Berlin: Springer 2007.
- Fricke, Jobst Peter: *Formantbildende Impulsfolgen bei Blasinstrumenten*, in: *Fortschritte der Akustik*, 4. DAGA '75, Weinheim: Physik-Verlag 1975, 407–411.
- Grey, John M./Gordon, John W.: *Perceptual Effects of Spectral Modifications on Musical Timbres*, in: *Journal of the Acoustical Society of America* 63 (1978), 1493–1500.
- Grey, John M.: *An Exploration of Musical Timbre Using Computer Based Techniques for Analysis, Synthesis and Perceptual scaling*, Ph.D. dissertation, Stanford University 1975.
- *Timbre discrimination in musical patterns*, in: *Journal of Acoustical Society of America* 64 (1978), 467–472.
- Helmholtz, Hermann von: *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*, Braunschweig: Vieweg 1863.
- Hermann, Ludimar: *Phonophotographische Untersuchungen VI. Nachtrag zur Untersuchung der Vocalcurven*, in: *Archiv für die gesammte Physiologie des Menschen und der Thiere*, Bd. 58, hrsg. von Eduard Friedrich Wilhelm Pflüger, Bonn: Hagar 1894, 264–279.
- Jaucourt, Louis Chevalier de: *Tymbre*, in: *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, hrsg. von Denis Diderot und Jean Baptiste le Rond d'Alembert, Paris: Le Breton u.a., Bd. 16 (1765), 333.
- Köhler, Wolfgang: *Akustische Untersuchungen I*, Leipzig: Barth 1909.
- Krumansl, Carol: *Why is musical timbre so hard to understand?*, in: *Structure and perception of electroacoustic sound and music*, hrsg. von Soren Nielzen und Olle Olsson, Amsterdam: Elsevier 1989, 43–53.
- Lartillot, Olivier/Toiviainen, Petri/Eerola, Tuomas: *A Matlab Toolbox for Music Information Retrieval*, in: *Data Analysis, Machine Learning and Applications: Proceedings of the 31st Annual Conference of the Gesellschaft für Klassifikation E.V.*, London: Springer 2007, 261–268.
- Licklider, Joseph Carl Robnett: *Basic Correlates of the Auditory Stimulus*, in: *Handbook of experimental psychology*, hrsg. von Stanly Smith Stevens, New York: John Wiley and Sons 1951, 985–1039.
- Logan, Beth: *Mel Frequency Cepstral Coefficients for Music Modeling*, in: *International Symposium on Music Information Retrieval (ISMIR) 2000*, 5–11.
- Loughran, Róisín/Walker, Jacqueline/O'Neill, Michael/O'Farrell, Marion: *The Use of Mel-Frequency Cepstral Coefficients in Musical Instrument Identification*, in: *International Computer Music Conference (ICMC) 2008*, Belfast 2008, 1–4.
- McAdams, Stephen: *Perspectives on the Contribution of Timbre to Musical Structure*, in: *Computer Music Journal* 23/3 (1999), 85–102.
- Mertens, Paul-Heinrich: *Die Schumannschen Klangfarbengesetze und ihre Bedeutung für die Übertragung von Sprache und Musik*, Frankfurt: Bochinsky 1975.
- Meyer, Jürgen: *Akustik und musikalische Aufführungspraxis*, Bergkirchen: PPV Medien-Verlag 2004.
- *Musikalische Akustik*, in: *Handbuch der Audiotechnik*, hrsg. von Stefan Weinzierl, Berlin: Springer 2008, 123–180.
- Muzzolini, Daniel: *Genealogie der Klangfarbe*, Bern: Lang 2000.
- Nitsche, Peter: *Klangfarbe und Schwingungsform*, München: Katzbichler 1978.
- Oehler, Michael: *Die digitale Impulsformung als Werkzeug für die Analyse und Synthese von Blasinstrumenten*, Frankfurt: Lang 2008.
- Peeters, Geoffroy/Giordano, Bruno L./Susini, Patrick/Misdariis, Nicolas/McAdams, Stephen: *The Timbre Toolbox Extracting Audio Descriptors from Musical Timbre*, in: *Journal of Acoustical Society of America* 130,5 (2011), 2902–2916.
- Reuter, Christoph/Griebel, Herbert: *Jaco – High Quality Sinusoid Tracks and Envelopes*, in: *Proceedings of the Second Vienna Talk »Bridging the Gaps«, Sept. 19–21, 2010*, hrsg. von Werner Goebel, Wien: Universität für Musik und darstellende Kunst 2010, 121–124.
- Reuter, Christoph: *Der Einschwingorgang nichtperkussiver Musikanstrumente*, Frankfurt: Lang 1995.
- *Verschmelzung und partielle Verdeckung*, in: *Fortschritte der Akustik, DAGA 2000*, Oldenburg: r-druck Rösemeyer 2000, 176–177.
- *Klangfarbe und Instrumentation*, Frankfurt: Lang 2002.
- *Wie und warum in der Geschichte der Klangfarbenforschung meistenteils am Klang vorbeigeforscht wurde*, in: *Systematische Musikwissenschaft. Festschrift Jobst Peter Fricke zum 65. Geburtstag*, hrsg. von Wolfgang Niemöller, Frankfurt: Lang 2003, 293–301.
- *Stream Segregation and Formant Areas*, in: *Proceedings of the 5th ESCOM Conference, September 8–13, 2003*, Göttingen: Hogrefe 2003, 213–217.
- *Klangfarbe: Beziehungen zur Tonhöhe und Lautstärke*, in: *Musikpsychologie* (Handbuch der Systematischen Musikwissenschaft 3), hrsg. von Helga de la Motte-Haber und Günther Rötter, Laaber: Laaber 2005, 250–262.
- Revesz, Geza: *Zur Grundlegung der Tonpsychologie*, Leipzig: Feit 1913.
- Rousseau, Jean-Jacques: *Son* [1765], in: *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, hrsg. von Denis Diderot und Jean Baptiste le Rond d'Alembert, Paris: Le Breton u.a., Bd. 15 (1765), 345–347.
- *Son* [1767], in: *Dictionnaire de musique* [1767], Paris: Chez la veuve Duchesne 1768, 438–448.
- *Tymbre*, in: *Dictionnaire de musique* [1767], Paris: Chez la veuve Duchesne 1768, 528.
- Sandell, Gregory J.: *Roles for Spectral Centroid and Other Factors in Determining Blended Instrument Pairings in Orchestration*, in: *Music Perception* 13/2 (1995), 209–246.
- Schumann, Karl Erich: *Physik der Klangfarben*, Berlin: maschinenschriftlich 1929.
- Stumpf, Carl: *Tonpsychologie*, Bd. 2, Leipzig: Hirzel 1890.
- *Die Sprachlaute*, Berlin: Springer 1926.
- Sturm, Bob L./Morvidone, Marcela/Daudet, Laurent: *Musical Instrument Identification Using Multiscale Mel-Frequency Cepstral Coefficients*, in: *18th European Signal Processing Conference (EUSIPCO-2010) 2010*, 477–481.

- Voigt, Wolfgang: *Untersuchungen zur Formantbildung in Klängen von Fagott und Dulzianen*, Regensburg: Bosse 1975.
- Weber, Gottfried: *Versuch einer geordneten Theorie der Tonsezkunst zum Selbstunterricht, mit Anmerkungen für Gelehrtere*, Bd. 1, Mainz: Schott 1817.
- *Allgemeine Musiklehre für Lehrer und Lernende*, Darmstadt: Leske 1822.
- Wessel, David: *Timbre Space as a Musical Control Structure*, in: Computer Music Journal 3/2 (1979), 42–52.
- Willis, Robert: *Ueber Vocaltöne und Zungenpfeifen*, in: Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie 24 (1832), 397–437.

Spur des Klangs

*Posthermeneutische Überlegungen zum Eigensinn der Musik
(nicht nur) in der Wiener Schule*

Nikolaus Urbanek

Odysseischer List oder wächsner Taubheit bedarf es, um das eigene Ich vor den Lockungen des wunderbaren Klangs des Sirenengesangs zu retten. Vielfältig waren und sind daher die Sicherungsmethoden, die Musikwissenschaftlerinnen und Musikwissenschaftler zu entwickeln wussten, um sich vor der klanglichen Verführung durch die Lieder der griechischen Halbgöttinnen zu schützen; die unmittelbar gegebene klangliche Oberfläche der Musik, ihre ästhetische Präsenz, das sinnliche Erlebnis waren längste Zeit Phänomene, denen man in der Musikgeschichtsschreibung¹ und späterhin auch in der akademisch etablierten Musikwissenschaft stets mit einem gewissen Misstrauen zu begegnen wusste.² Aber nicht nur hier: In Hinblick auf die Abwehr des Sinnlichen ergibt sich – um ein Beispiel herauszugreifen – im Wechselspiel von Überlegungen Eduard Hanslicks und Friedrich Nietzsches eine vor unserer Fragestellung durchaus lehrreiche theoretische Konstellation. In der Sammlung musikästhetischer Gedankensplitter, Aphorismen und Polemiken, die Hanslick unter dem Titel *Vom Musikalisch-Schönen* im Jahre 1854 an der Universität Wien als Habilitationschrift einreichte, findet sich eine Passage, die – wie so vieles aus seinen Schriften und Kritiken – die besondere Aufmerksamkeit des Basler Altphilologen erregt haben dürfte:

- 1 Wie Frank Hentschel gezeigt hat, stellt diese grundlegende Skepsis gegenüber dem Klanglich-Sinnlichen letztlich eine zentrale Facette einer »Aufwertung der Musik zum Bildungsgut« dar, die sich in der besonderen Fokussierung auf intellektuelle und ethische Qualitäten, die der Musik selbst zugeschrieben wurden, gerne einer philosophischen und erkenntnistheoretischen Begrifflichkeit bediente und im Zuge dessen demgegenüber die Rede über »geistige« Momente privilegierte. Davon zeugt beispielweise die omnipräsente Rede über Fragen der musikalischen Logik, Rationalität oder Wahrheit und dergleichen in der Musikgeschichtsschreibung nicht nur des 19. Jahrhunderts, vgl. diesbezüglich Hentschel, *Bürgerliche Ideologie und Musik*, 120–140.
- 2 Von einem »Desiderat historischer Musikforschung« sprach beispielsweise jüngst Gernot Gruber: »Freilich: die Musikforschung hat ein älteres res-facta-Denken umso lieber auch selbst noch auf die Musik des 20. Jahrhunderts angewandt, als die den Ausführenden überlassene, sensibel zu balancierende Welt des Klangfarbenzaubers in ihrer Prozessualität schwer auf das Prokrustesbett der Wissenschaft zu spannen ist.« (Gruber, *Klangfarbe – ein Desiderat historischer Musikforschung*, 317.)