

Thema: Physik und die Schumannschen Klangfarbengesetze

Klangfarbe: Bezeichnung für das Mischungsverhältnis der Amplituden der verschiedenen in einem Klang auftretenden Töne.¹

"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."²

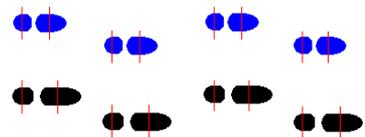
(Mit anderen Worten: Klangfarbe ist Klang minus Tonhöhe minus Lautheit)

Wir verstehen unter Klangfarbe zum einen die charakteristische Obertonstruktur eines Klangs, zum anderen die Anteile vorhandener (Spiel-)Geräusche und nicht-harmonischer Frequenzkomponenten. Dabei sind diese Komponenten veränderlich und selbst in dem quasi-stationären Teil des Klangs nicht ganz statisch. Die Komponenten mischen sich mit verschiedenen Amplituden und Phasenlagen zu einem komplexen Gemisch, daß als einheitlicher Klang empfunden wird.

Klangfarbenerkennung ist eine meist unbewußte Leistung unseres Gehirns. David Huron unterscheidet zw. „state cues“ und „identity cues“ als Motivation zur Erkennung der Klangfarbe. Unter „state cues“ versteht er die Assoziation von Erfahrungsparametern (Größe, Entfernung, Art der Anregung, aber auch Bedrohung etc.) mit dem Klang. „identity cues“ dienen der Einordnung in bestehende Klangbilder (z.B. Instrumenten oder Stimmerkennung). Beide sind intuitiv wichtig fürs Überleben.³

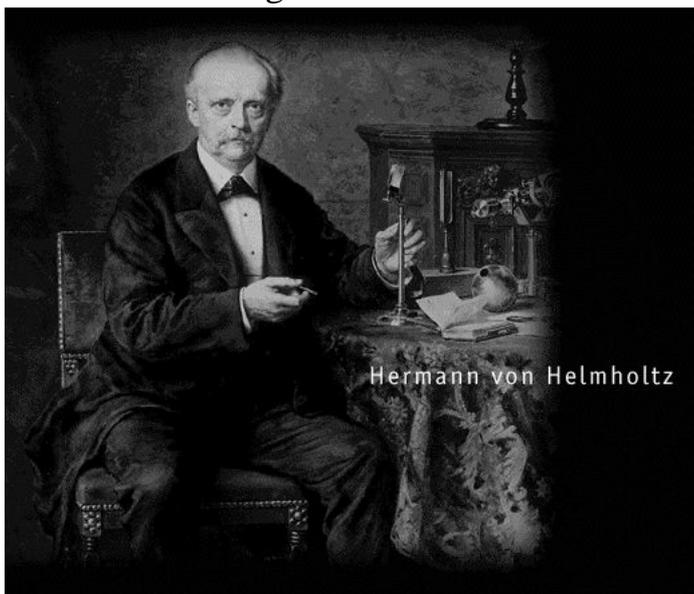
Als Beispiel führt er an, da in der Regel die Schritte einer Person anhand ihrer Klangfarbe dem Geschlecht des Laufenden zugeordnet werden können.

Footsteps and Sex Identification



Klanganalyse

Bereit vor 150 Jahren fing Hermann von Helmholtz an, Klangfarben zu untersuchen. Er unterschied zwischen dem einfachen Ton (Sinusschwingung) und einem Klang (Überlagerung mehrerer Sinusschwingungen). Dabei stellte er fest, daß nur die Amplitude, nicht aber die Phasenlage der Obertöne entscheidend ist.



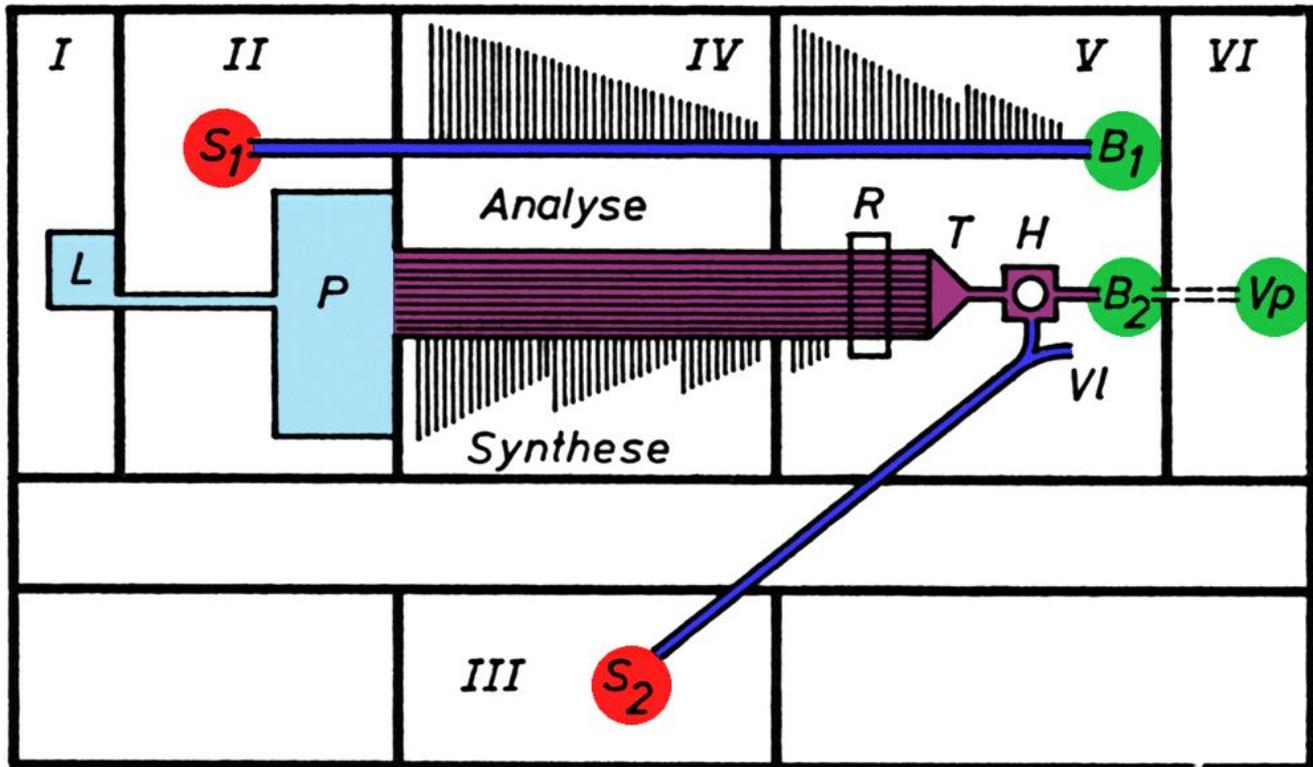
Bei seinen Untersuchungen stellte er zwei unterschiedliche Theorien auf: die **Relativtheorie** für Instrumentaltöne, nach der die Klangfarbe vom Intensitätsverhältnis der Partialtöne einer bestimmten Ordnungszahl abhängt und nicht von deren absoluter Tonhöhe, und die **Absoluttheorie** für die Klangfarbe der Vokale, bei der die Intensitätsverhältnisse an eine absolute Tonhöhe gebunden sind.

Diese widersprüchliche Unterscheidung forderte Andere heraus eigene Untersuchungen anzustellen. Carl Stumpf erkannte schon früh, daß die Klangfarbe

nicht nur von der Teiltonstruktur abhängig ist, sondern auch von Ein- und Ausschwingvorgängen und Nebengeräuschen. So unterteilte er später Klangfarbe im engeren (= Helmholtzschen) Sinne für die Beschreibung der Teiltonstruktur, und Klangfarbe im weiteren

Sinne für die Beschreibung der Nebengeräusche und zeitlichen Vorgänge. Diese Betrachtung von Klangfarbe hat sich bis heute als weitestgehend grundlegend erwiesen.⁴

Mit einem ungeheuren zeitlichen und baulichen Aufwand, denn die nötigen Filter bzw. Resonanzrohre mußten auf rein mechanische Weise erstellt werden, analysierte und synthetisierte er Instrumentalklänge. Sein Labor war in eigens dafür gebauten Räumen untergebracht, es konnten reale Klänge zugeschaltet werden (Raum II) und die Versuchspersonen konnten auch über akustische Ankopplung im Blindtest hören (Raum VI).



Diese Einrichtung benutzte auch Erich Schumann von 1923 bis 1929, um seine Untersuchungen der Klangfarbe anzustellen, um letztendlich mit seinen Klangfarbengesetzen Helmholtz Relativtheorie zu widerlegen.

Obertonstruktur

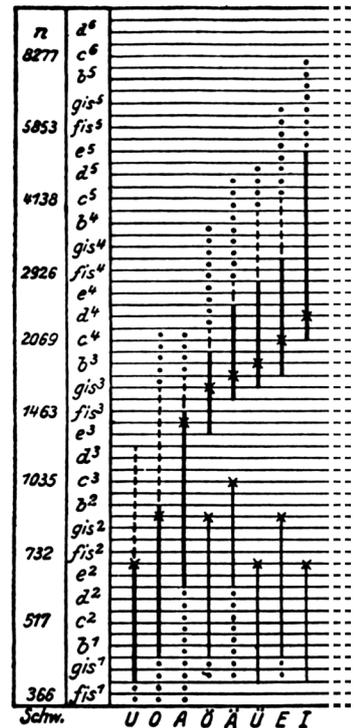
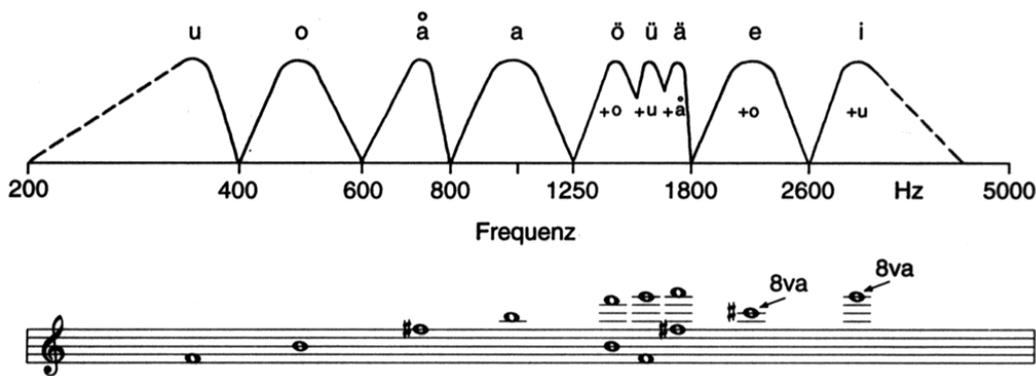
Jeder Ton besteht aus einer oder mehreren Sinusschwingungen, die in harmonischen oder nicht-harmonischen Verhältnissen zusammenklingen. Dabei kann die Sinusschwingung gewissermaßen als Grundbaustein eines Tons gelten. Ihm wurde früher auch eine Klangfarbe („Tonfarbe“) zugeordnet, basierend auf der Höhe, dem Volumen („Lautstärke,“) und den Vokalen z.B. c1 = „U“ etc.⁵ Verändert man die Schwingung von der reinen Sinusschwingung weg, so entstehen bekanntlich Obertöne (oder „Partialtöne“), die harmonisch sind, d.h. in ganzzahligen Verhältnissen zu der Grundschwingung stehen. Deren Anzahl und Pegel- bzw. Phasenverhältniss wird durch die Kurvenform bestimmt. Mittels der Fourieranalyse kann eine Schwingung in seine Einzelbestandteile zerlegt werden, genauso wie umgekehrt eine komplexe Schwingung aus einzelnen Sinustönen zusammengesetzt werden kann.

Der zweite Baustein sind nichtperiodische Signale, oder Geräusche. Sie rühren von der Anregung der Instrumente bzw. Unvollkommenheiten bei der Klangerzeugung. Mit ihrer Hilfe können ähnliche Signale erst unterschieden werden. Erzeugt man einen Klang

aus seinen Partialtönen und nimmt dann noch Geräuschanteile dazu, hat man einen einfachen Synthesizer, der stationäre Töne in verschiedenen Klangfarben erzeugen kann.

Vokale und Formanten

Carl Stumpf untersuchte die Struktur der Vokale und Flüstervokale (*Bild re*), und stellte dabei als erster die uns geläufigen Formantstrecken fest, das sind Frequenzbereiche die hauptsächlich angeregt werden und charakteristisch für die Zuordnung zu dem Vokal sind. Er erkannte auch die Teilung in Haupt- und Unterformanten ab dem „Ö“ - diese Zweiteilung wird in der uns geläufigeren Darstellung von J.Meyer deutlicher:

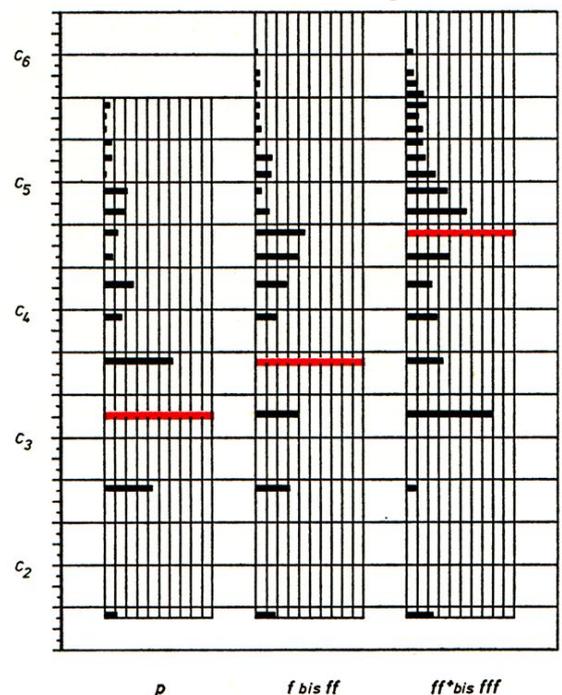


Auch wenn die Vokalklangfarben sich auf die menschliche Stimme beziehen, sind sie doch ein gutes Hilfsmittel bei der Beurteilung aller Klänge, da sie leicht erkannt werden, und mit Hilfe ihrer Frequenzwerte in technische Parameter umgesetzt werden können. Will man z.B. eine zu starke „e“-Färbung entzerren, so wäre ein parametrischer Filter mit einer Mittenfrequenz von 2200 Hz als Ausgangswert angebracht.

Die Schumannschen Klangfarbengesetze

Da die Instrumentalklangfarben den Vokalen oft sehr ähnlich sind, lag es nahe, daß (im Gegensatz zu Helmholtz Theorie) für beide die gleichen Gesetze gelten. Die Untersuchungen Erich Schumanns an vielen Blasinstrumenten brachten vier Gesetze⁶ zutage, die ihre Gültigkeit bis heute nicht verloren haben:

- 1.- Das Formantstreckengesetz - Die Klangfarbe der Musikinstrumente wird - unabhängig von der Höhe des Grundtones - von an feste Tonhöhen gebundenen Frequenzbereichen, den „Formantstrecken“ oder „Formantregionen“, bestimmt. Diese Zonen sind durch stärkere Partialtöne ausgezeichnet.
- 2.- Das Akustische Verschiebungsgesetz - Bei Steigerung der Intensität eines Klangs verlagert sich das Maximum auf Partialtöne höherer Ordnungszahlen. Die oberen Komponenten der Partialtöne werden dann im allgemeinen stärker, die unteren schwächer. (*siehe Bild*)
- 3.- Das Akustische Sprunggesetz - Bei Klängen mit zwei Formantstrecken überspringt bei sehr starker Tongebung das in p-Klängen im unteren Formant-



bereich liegende Maximum die zwischen den Formantstrecken gelegenen Partialtöne, um einen Partialton der oberen Formantstrecke auszuzeichnen.

- 4.- Das Formanten-Intervallgesetz - Neben der absoluten Höhe der Formantstrecken und neben der Spielstärke ist für die Färbung des Klanges noch das Intervall entscheidend, das, unabhängig von der Höhe des Grundtons, der stärkste Partialton der einen Formantstrecke mit dem stärksten Partialton der anderen Formantstrecke bildet. (Diese Formant-Intervalle gelten z.B. als typisch für die Bauart des Instruments. Bei Untersuchungen an Dulzianen und verschiedenen Fagotten wurden Intervalle zwischen einer Oktave und einer Duodezime gemessen.)⁷

Die Unterscheidungen der vier Klangfarbengesetze ist heute etwas in Vergessenheit geraten, geblieben ist aber die Bedeutung der Formanten. Im Instrumentenbau, speziell im Blasinstrumentenbau, bei Orchestrierung sowie in der akustischen Übertragung - überall finden wir die Formanten wieder. Stellvertretend noch zwei Zitate aus der Vielzahl dazu verfasster Untersuchungen:

Erklingen zwei Instrumente Ton für Ton alternierend nacheinander, so nimmt man bei übereinstimmenden Formantbereichen eine durchgängige Melodie wahr, während sich bei zwei alternierenden Instrumenten mit verschiedenen Formantbereichen plötzlich zwei Melodien in der jeweiligen Klangfarbe der beteiligten⁸

Die Schumannschen Klangfarbengesetze bieten z.B. die Möglichkeit, die Ähnlichkeit zwischen formantreichen Klängen (z.B. der Blasinstrumente) auf einfache Weise zu erklären: Instrumente, deren Hauptformanten an der gleichen Stelle liegen, werden oft miteinander verwechselt, was auch Schumann selbst schon beim Horn und Fagott hat feststellen können

... hier wird deutlich, daß z.B. die Theoretiker des 18.-20. Jh. schon intuitiv die Instrumente für Verschmelzungsklänge empfohlen haben, deren Hauptformanten an übereinstimmenden Positionen liegen.⁹

Bsp. dazu

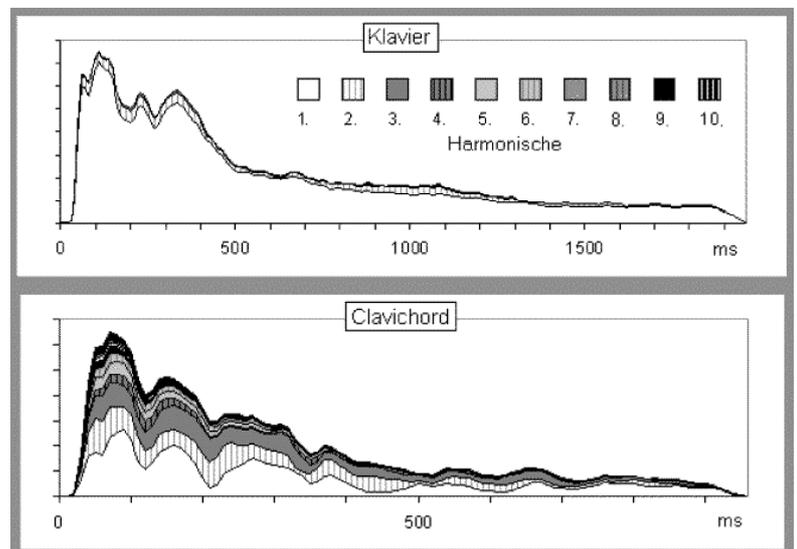
Da sich die ersten Formanten von Horn und Fagott ungefähr an der gleichen Position im Spektrum befinden (ca. 300-500 Hz), kann man davon ausgehen, daß die Klangfarben besonders dieser beiden Instrumente gut miteinander verschmelzen,

Die Lage der Hauptformanten bei der Oboe (ca. 1000-1200 Hz) und beim Horn hingegen ist sehr unterschiedlich. Dies läßt darauf schließen, daß diese Instrumente selbst beim Unisono-Zusammenspiel zu keiner homogenen Klangfarbe verschmelzen.

Es zeigt sich schließlich, daß Instrumente, deren Hauptformanten an gleicher Stelle liegen, nicht nur gut miteinander verschmelzen, sondern auch als ähnlich klingend empfunden werden. So herrscht auch in den Instrumentationslehren die Ansicht, daß Horn und Fagott eine große Ähnlichkeit im Klang besitzen.¹⁰

Zeitliche Spektralverteilung

Für den Laien ist es zunächst überraschend, daß neben der spektralen Zusammensetzung vor allem deren Zeitverlauf wichtig für die Klangempfindung ist. Klänge mit einem charakteristischen Zeitverlauf wie z. B. der Klavierton werden meistens nicht "am Klang" erkannt, wenn sie rückwärts abgespielt werden. Beim Zeitverlauf ist vor allem die Geschwindigkeit des Tonaufbaus wichtig für die Einordnung des Klangs im Klangraum. Aber auch cha-

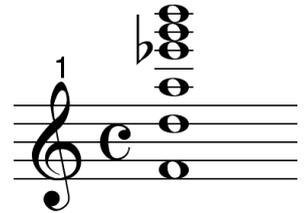


rakteristische Verschiebungen der Energie zwischen den Obertönen im Verlauf der Zeit, oder die für den Klavierklang typischen Amplitudenschwankungen nach dem ersten Maximum gehören zum Klang des Instruments und müssen bei synthetisch erzeugten Klängen berücksichtigt werden, um einen realistischen Klangeindruck zu erzeugen.¹¹

SHARC Klangfarbendatenbank

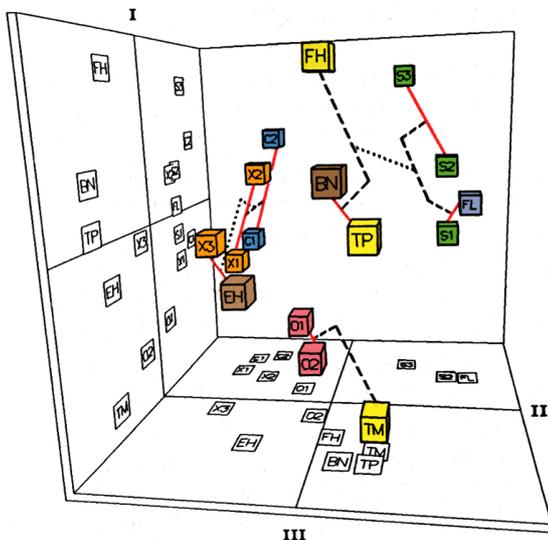
Diese Untersuchungen an Klängen können mit heutiger Technik natürlich viel einfacher angestellt werden als zu Zeiten der Pioniere, eine Neuansatz war der Versuch von Gregory Sandell eine Klangfarbendatenbank - SHARC ("Sandell Harmonic Archive.") - aufzubauen. Er benutzte dazu die vom der McGill Universität erstellten CDs mit Einzeltönen von Instrumenten.¹² Sein Archiv mit 39 untersuchten Samples wurde der Allgemeinheit zugänglich gemacht. Es ist auf UNIX-Rechnern erstellt und sammelt in transparenter Weise die Amplituden und Phasenlage aller Obertöne bis 10kHz in Textdateien. Zur Visualisierung habe ich ein einfaches Mac-Darstellungsprogramm geschrieben¹³ - vielleicht hat der ein oder andere ja Lust ein wenig zu stöbern.

Klänge einzelner Töne können auch ganz ohne Grundton dargestellt werden, oder aus nicht harmonischen Obertönen oder Geräuschen bestehen. Besonders der Glockenton ist in dieser Hinsicht interessant, man hört einen definierten Schlagton und einen Grundton (der nicht mit dem Schlagton übereinstimmen muß), die Obertonstruktur folgt aber anderen Verhältnissen¹⁴. Eine interessante Nachbildung kann man ja mal mit dem abgebildeten Akkord versuchen.



Multidimensionale Skalierung

Nachdem 1960 die ANSI Definition des Klang veröffentlicht wurde¹⁵, prägten Gottfried von Bismark und W. Aurus den Begriffe Schärfe, Rauhigkeit, Klanghaftigkeit zur besseren Beschreibung der Klangfarbe. John Grey digitalisierte 1976 16 Klänge von Orchesterinstrumenten in gleicher Lautstärke und Tonhöhe, um sie nach den Ähnlichkeitsurteilen von 20 Versuchspersonen entlang dreier Achsen eines imaginären Raums anzuordnen:



Dabei beschrieb die Achse I die Schärfe, die Achse II das synchrone Einschwingen der höheren Teiltöne und Fluktuationen im Spektrum und die Achse III Vorläufergeräusche und -töne.¹⁶

Will man den Wahrnehmungsraum für den Klang von Musikinstrumenten bestimmen, kommen Methoden einer solchen multidimensionalen Skalierung zum Einsatz. Dabei wird versucht, die untersuchten Klänge so in einem mehrdimensionalen Raum zu arrangieren, daß die paarweisen Abstände der Klänge im Raum den vom menschlichen Hörer empfundenen paarweisen Ähnlichkeiten der Klänge entsprechen. Die Zahl der Dimensionen wird so gewählt, daß dies mit einer möglichst geringen Zahl von Dimensionen möglichst gut gelingt.¹⁷

Literatur:

Paul-Heinrich Mertens „Die Schumannschen Klangfarbengesetze und ihre Bedeutung für die Übertragung von Sprache und Musik“, Erwin Bochinsky, 1975

Links:

Grundlagen:

<http://www.phonetik.uni-muenchen.de/AP/APKap1.html>

<http://kunstbank.waidhofen.at/mitglied/junker/publikationen/skripten/raumakustik.htm>

¹ <http://www.physik-lexikon.de/viewlexikon2.php?suchwort=Klangfarbe>

² ANSI S1.1-1960(R1976)-12.9

³ <http://www.music-cog.ohio-state.edu/Huron/Talks/SMTmidwest.2001/talk.01.html>

⁴ STUMPF, Carl (1890): Tonpsychologie, Bd. 2, Hirzel, Leipzig

⁵ W. Koehler, „Akustische Untersuchungen“ - Zs. für Psychologie, Leipzig 1910-15

⁶ P.H.Mertens, „Die Schumannschen Klangfarbengesetze“, E. Bochinsky, FfM 1975

⁷ Wolfgang Voigt: "Untersuchungen zur Formantbildung in Klängen von Fagott und Dulzianen", Gustav bosse Verlag, 1975

⁸ REUTER, Christoph (1997): Karl Erich Schumann's Principles of Timbre as a Helpful Tool in Stream Segregation Research. In: Music, Gestalt and Computing. Studies in Cognitive and Systematic Musicology (with CD). Springer, Berlin, S. 362-372

⁹ Christoph Reuter: <http://www.uni-koeln.de/phil-fak/muwi/fricke/293reuter.pdf>

¹⁰ dito

¹¹ <http://www.uni-leipzig.de/cognition/lehrbuch/klang/klang.html>

¹² McGill University Master Samples (MUMS) CD's

¹³ <http://www.m-sandner.de/software/>

¹⁴ JAN F. SCHOUTEN, Glockenschlagton und Residuum, Tonmeistertagung 1966

¹⁵ "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."

¹⁶ GREY, John M. (1977): Multidimensional perceptual scaling of musical timbres, In: JASA 61, S.1270-1277.

¹⁷ <http://www.uni-leipzig.de/cognition/lehrbuch/klang/klang.html>