

### Ergebnis:

Tatsächlich wird unter der beschriebenen Bedingung ein fallendes Glissando wahrgenommen, das paradoxerweise in höhere Klangregionen führt. Man hört in jedem Augenblick, daß die Tonhöhe fällt, stellt aber nach kurzer Zeit fest, daß man bei einem höheren Ton angefangen ist als der Anfangston. (Folgerungen bezüglich der Zweikomponententheorie der Tonhöhe siehe: Hesse 1975.)

Da mit diesen Experimenten nur die Falsifizierung einer oftmals ungeprüft tradierten Theorie beabsichtigt war und keine umfassende Untersuchung, innerhalb welcher Grenzen die aufgestellte Alternativhypothese gilt, müssen weitere Forschungen vorgenommen werden, die erst den Geltungsbereich des neuen Erklärungsmodells festlegen.

### Literaturangaben:

G. S. Ohm, Über die Definition des Tones, nebst daran geknüpfter Theorie der Sirene und ähnlicher tonbildender Vorrichtungen, in: Poggendorfs Annalen der Physik und Chemie 59, 1843, S. 513-565.

H.-P. Hesse, Die Wahrnehmung von Tonhöhe und Klangfarbe als Problem der Hörtheorie (= Veröffentlichungen des Staatlichen Instituts für Musikforschung Preußischer Kulturbesitz [hrsg. von H.-P. Reinecke] VI, Köln 1972).

Ders., Zur Tonhöhenwahrnehmung. Experimentelle Überprüfung des Ohmschen Gesetzes der Akustik, in: Hamburger Jahrbuch für Musikwissenschaft I (1974), Hamburg 1975.

### Wolfgang Voigt

#### DIE ANWENDUNGEN DER SCHUMANNSCHEN KLANGFARBENGESetze FÜR DIE ELEKTROAKUSTISCHE ÜBERTRAGUNG VON SPRACHE UND MUSIK

Es ist bemerkenswert, daß ganz wesentliche Ergebnisse der experimentellen Klangfarbenforschung, die auch heute noch gültig sind, zu einer Zeit gewonnen wurden, als die Entwicklung der Elektroakustik noch in ihren Anfängen stand. Die Forschungen von Helmholtz, Stumpf und anderen erfuhren eine Fortsetzung und zugleich einen Höhepunkt in der 1929 veröffentlichten Habilitationsschrift von Erich Schumann mit dem Thema 'Physik der Klangfarben'<sup>1</sup>. Schumann konnte innerhalb des Amplituden-Frequenzspektrums von Flöte, Klarinette, Oboe, Englischhorn und Fagott Gesetzmäßigkeiten nachweisen, die erst in neuerer Zeit als die vier Klangfarbengesetze bekannt geworden sind.

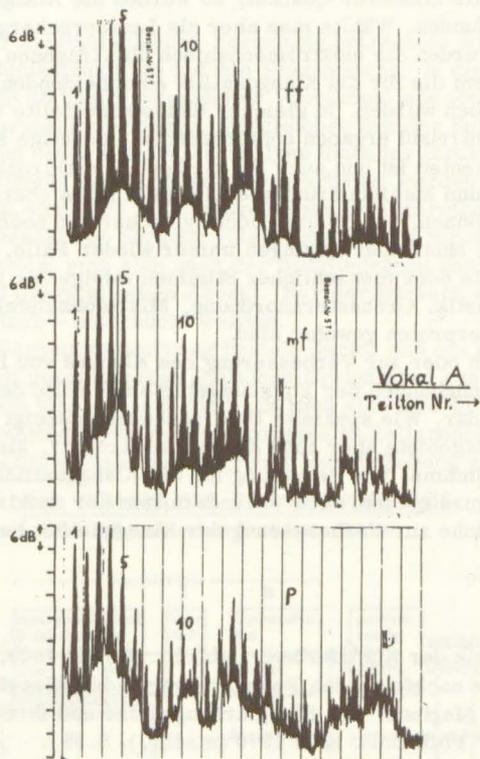
Das erste Gesetz (Formantstreckengesetz) lautet: Die Klangfarbe der Musikinstrumententöne wird - unabhängig von der Höhe des Grundtones - von an feste Tonhöhen gebundenen Frequenzbereichen, den Formantregionen bestimmt. Diese Zonen sind durch stärkere Partialtöne ausgezeichnet<sup>2</sup>.

Das zweite Gesetz (Verschiebungsgesetz) besagt: Bei Steigerung der Intensität eines Klanges verlagert sich das Maximum auf Teiltöne höherer Ordnungszahlen. Die oberen Komponenten des Partialtongerüsts werden dann im allgemeinen stärker, die unteren schwächer. Neben dieser allgemeinen Intensitätsverlagerungstendenz zeichnet sich innerhalb der Formantstrecken im besonderen noch ein Stärkerwerden der höher gelegenen Klangkomponenten ab.

Das dritte Gesetz (Sprunggesetz) gilt für Instrumente, deren Klänge mindestens zwei Hauptformanten aufweisen und hat folgenden Inhalt: Bei Klängen mit zwei Formantregionen überspringt bei sehr starker Tongebung das in Piano-Klängen im unteren Formantbereich liegende Maximum die zwischen den Formantregionen gelegenen Teiltöne, um einen Teilton der oberen Formantregion auszuzeichnen.

Ebenfalls für Klänge mit mehreren Formanten gilt das vierte Gesetz (Formantintervallgesetz): Neben der absoluten Höhe der Formantregion bzw. der Formantregionen und neben der (sich aus den Intensitäten der Teiltöne ergebenden) Klangstärke ist für die Färbung des Klanges noch das Intervall entscheidend, das, unabhängig von der Höhe des Grundtones, der stärkste Teilton der einen Formantregion mit dem stärksten Teilton der anderen Formantregion bildet. Die für die einzelnen Orchesterinstrumente charakteristischen festen Frequenzverhältnisse sind z. B. für die Oboe 1:2, für das Englischhorn 2:5 und für das Fagott 3:8.

Außer bei Holzblasinstrumenten können diese Gesetze auch bei anderen Musikinstrumenten und in einer neueren Veröffentlichung von Schumann ebenfalls für Vokale nachgewiesen werden<sup>3</sup>. An eigenen Klanganalysen des Vokals A, der in drei dynamischen Graden auf der Tonhöhe  $fis^0$  gesungen wurde, kann das Verschiebungsgesetz demonstriert werden. Die spektrale Energie im ersten Formanten verlagert sich bei gesteigerter Intensität zum fünften Teilton hin, höhere Klangkomponenten werden stärker (siehe die Abbildung).



Auf die Frage nach der Bedeutung der Schumannschen Klangfarbengesetze für die elektroakustische Übertragung von Sprache und Musik gelangt man zu interessanten neuartigen Perspektiven: Wird ein Klang vom *pp* zum *ff* hin gesteigert, so ändert sich die spektrale Hüllkurve nach dem Verschiebungs- und dem Sprunggesetz. Die hierdurch bewirkten Klangfarbenvariationen der Vokal- und Instrumentenklänge, für welche der Bereich der unter 4 kHz liegenden Formanten ausschlaggebend ist, ermöglichen das Erkennen der dynamischen Stufen. Die Empfindungen *piano* oder *forte* beispielsweise werden also nicht den Lautstärken, sondern den Klangspektren zugeordnet, und es kann deshalb durch Veränderung der Originallautstärke ein laut reproduziertes *piano* nicht zu einem *forte* und ein leise reproduziertes *forte* auch nicht zu einem *piano* werden<sup>4</sup>. Soll also bei elektroakustischen Übertragungen die Balance zwischen den Instrumenten korrigiert und bei einzelnen Klängen die Empfindung der dynamischen Grade

verändert werden, so müßte man außer der bisherigen breitbandigen Lautstärkeregelung auch eine selektiv wirkende Lautstärkeregelung vornehmen. Durch die selektive Regelung würden bestimmte spektrale Bereiche von Vokal- und Instrumentenklängen gemäß dem Schumannschen Verschiebungs- und Sprunggesetz angehoben bzw. strukturell verändert werden. Auf diese Weise wäre es sogar denkbar, in bereits fertig abgemischten und überspielten Tonaufnahmen noch nachträgliche Verbesserungen der klanglichen Balance vorzunehmen.

Aus dem Schumannschen Formantstreckengesetz und dem Formantintervallgesetz ergeben sich weitere Anwendungen für die elektroakustische Übertragung von Sprache und Musik: Erste Ansätze dazu sind schon in den im Jahre 1930 von J. Kadow durchgeführten originellen Experimenten mit Streichinstrumenten festzustellen<sup>5</sup>. Kadow nahm Violintöne verschiedener Stärkegrade sowie Melodiefolgen elektroakustisch auf und ließ sie in einem anderen Raum durch eine Violine abstrahlen, die an der unteren Resonanzkörperfläche elektromechanisch angeregt wurde. Übertrug man den Klang einer Geige minderer Klangqualität auf eine "Lautsprechergeige" ebenfalls minderer Qualität, so wurden die Klänge der Lautsprechergeige als minderwertig empfunden. Wählte man aber als Lautsprechergeige ein klanglich hochwertiges Instrument, so wurden die elektromechanisch übertragenen Klänge der minderwertigen Geige verbessert, indem die für die Klangqualität entscheidenden Formantgebiete durch die gute Geige hervorgehoben wurden. In gleicher Weise angestellte Versuche mit der Viola, dem Cello und dem Kontrabaß ergaben entsprechende eindeutige Ergebnisse.

Mit Kadows Experimenten ist nun auch für die heutige elektroakustische Übertragung ein Weg gewiesen, wie Vokal- und Musikinstrumentenklänge in ihren charakteristischen Teiltongebieten betont werden können, um dadurch noch typischer und noch wohlklingender zu wirken. Bekanntlich gibt es bei Musikübertragungen immer wieder Fälle, in denen die Klangfarbe bestimmter Instrumente oder menschlicher Stimmen infolge der jeweiligen Aufnahmebedingungen (z. B. Raumakustik, Orchesteranordnung, Mikrofonaufstellung) nicht dem Idealklang entspricht, den die Interpreten gewohnt sind.

In solchen Situationen oder zur Verbesserung des Klanges von Instrumenten minderer Qualität stellen gezielte Anhebungen der Formantgebiete mit Hilfe der modernen Filtertechnik keine Probleme mehr dar. Wie spezielle Untersuchungen gezeigt haben, ist neben der Lage und Stärke der Formantgebiete aber auch deren Feinstruktur, also etwa die Halbwertsbreite an der Spitze des Maximums, von Bedeutung für die Klangqualität<sup>6</sup>. Man wird daher außer der Anhebung der Formantgebiete auch Veränderungen der spektralen Hüllkurvenform innerhalb der Formantbereiche zur Verbesserung der Klangqualität berücksichtigen müssen.

#### Anmerkungen

- 1 E. Schumann, Physik der Klangfarben, HabSchr. Berlin 1929, Korrekturfahnenabzug, Leipzig 1940. - Die nachfolgenden Formulierungen der Klangfarbengesetze sind entnommen aus: P. H. Mertens, Die Klangfarbengesetze und ihre Bedeutung für die Übertragung von Musik, Phil. Diss. Köln 1970 (mschr.), S. 35 ff.
- 2 Da der Begriff "Formant" in einigen Veröffentlichungen jüngerer Zeit auf jedes Energiemaximum im Klangspektrum angewendet wird, sei hier hervorgehoben, daß er in der ursprünglichen Definition nur die Energiemaxima bezeichnet, die sich durch subjektive Versuche als wesentlich klangfärbende Maxima erweisen; vgl. C. Stumpf, Die Sprachlaute, Berlin 1926, S. 62 f. und 374 ff.
- 3 U. Müller, Untersuchungen zu den Strukturen von Klängen der Clarin- und Ventiltrompete (= Kölner Beiträge zur Musikforschung 60), Regensburg 1971; E. Schumann, Zur Physik der Vokalklangfarben, in: Musicae Scientiae Collectanea, Festschrift K. G. Fellerer, Köln 1973, S. 527 ff.; U. Sirker, Strukturelle Gesetzmäßigkeiten in den Spektren von Blasinstrumentenklängen, in: Acustica 30, 1974, S. 49 ff.
- 4 H. P. Reinecke, Über den doppelten Sinn des Lautheitsbegriffes beim musikalischen Hören, Phil. Diss. Hamburg 1953; J. Fricke, Aussteuerung und Lautheitsempfindung dynamischer Grade, in: Fernseh- und Kino-Technik 26, 1974, Nr. 4, S. 121 ff.

5 P. H. Mertens, a. a. O., S. 84 ff.

6 J. Meyer, Akustische Untersuchungen über den Klang alter und neuer Fagotte, in: Das Musikinstrument 17, 1968, S. 1259 ff.; W. Voigt, Untersuchungen zur Formantbildung in Klängen von Fagott und Dulzianen (= Kölner Beiträge zur Musikforschung 80), Regensburg 1974, S. 144, 176 und 193.

Fritz Winckel

## DIE REGELMECHANISMEN IN DER INFORMATIONSVERARBEITUNG MUSIKALISCHER STRUKTUREN

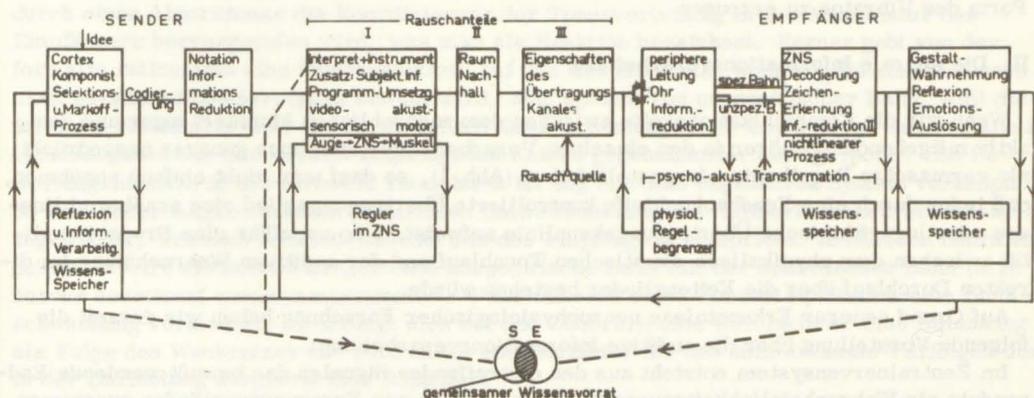
### I. Die Kybernetischen Prozesse der Vermittlung von Musik

Als vorrangiges Ziel der musikologischen Forschung betrachten wir die Untersuchung der Wirkung von klingenden Musikstrukturen auf den Perzipienten. In dieser Studie beschäftigen wir uns nicht mit den schon so häufig behandelten Problemen wie etwa Gestaltbildung, Gesetzmäßigkeiten der Texturzusammenhänge, Vergleichen mit der Sprachlinguistik u. a. m., sondern diese Untersuchung betrifft die Mikroanalyse tönender Strukturen, die vom menschlichen Perzeptionsmechanismus psychoakustisch verarbeitet werden müssen.

Dieser Mechanismus läßt sich nach einer langen Entwicklungsreihe von vorgeschlagenen Modellen für den Verstehensakt von Sprache entsprechend auch für musikalische Strukturen anwenden. Zweckmäßig richtet man sich nach der Aufgliederung gemäß Morris in den semantischen, syntaktischen und pragmatischen Aspekt. Nur der letztere soll hier für das tönende Musikwerk - also sonologisch - untersucht werden.

Das Grundsätzliche im Perzeptionsvorgang besteht darin, daß ein beliebiges akustisches Ereignis im Gedächtnis mit gespeicherten ähnlichen Ereignissen aus der früheren Erfahrung verglichen und unwillkürlich klassifiziert wird. Es muß also eine größere Anzahl von akustischen Ereignissen durch jahrzehntelange Lernprozesse in Zellgruppen des Gehirns bereits geordnet eingepreßt sein - um es hier nur in grober Vereinfachung zu sagen.

### DIE VERMITTLUNG DES MUSIKWERKES im kybernetischen Funktionsablauf



Danach kann in einem Übersichtsschema der Perzeptionsvorgang als ein vielfach vermaschter biokybernetischer Regelkreis dargestellt werden (Abb. 1). In allen drei Stufen der psychoakustischen Transformation erfolgt die Informationsverarbeitung im Zentralnervensystem als elektrische Signale in geschlossenen Kreisprozessen, die vielfach miteinander verkoppelt sind. Im peripheren Hörorgan erfolgt eine Reduktion des das Außenohr stets überflutenden