

Die informationstheoretische Analyse musikalischer Strukturen

VON FRITZ WINCKEL, BERLIN

Das Wesen der Musik ist im Laufe der Geschichte in seinen Hauptzügen des pythagoreischen und des musischen Prinzips für die einzelnen Epochen klar umrissen worden. Indessen zeigt sich für unsere heutige Musik, wie schwierig es ist, bei der Vielfalt neu zutage getretener Erscheinungen eine eindeutige Begriffsbestimmung dessen zu finden, was Musik ist (vgl. hierzu Blume, Hüschen, Wiora, Eggebrecht, 1—4).

Für die heute im Vordergrund stehenden Phänomene kompositorischer Entwicklung dürfte der Begriff „Sprache“ einen bevorzugten Platz einnehmen, woraus man dann die Aussagekraft mehr in quantitativer und den Bedeutungsinhalt in qualitativer Richtung in Anspruch nehmen kann. Die Wirkung der Musik kennzeichnet den subjektiven Standpunkt des Empfängers und umreißt in der Wirkungsweise ästhetische Kategorien.

Eine neue Perspektive für solche Betrachtungen eröffnet sich in der Informationstheorie, die 1948 von Claude E. Shannon in den USA erstmalig zusammenfassend formuliert wurde (5). Sie verdankt ihre Entstehung der Untersuchung nachrichtentechnischer Probleme, hat sich dann aber schnell auf zahlreiche Gebiete der Natur- und Geisteswissenschaften wie auch der Kunstwissenschaft verbreitet. Der Hauptgegenstand der Betrachtung sind Sprachsysteme im weitesten Sinne der Kommunikation, und die Analyse erstreckt sich auf die quantitative Behandlung von Zeichen als Ur-elemente der Sprache.

Es besteht somit ein enger Zusammenhang mit der *Semiotik*, die gleichlaufend in der Entstehungszeit der Informationstheorie eine beachtliche Weiterentwicklung erfahren hat. In der Zeichenlehre, wie sie Charles W. Morris (USA) seit 1938 ausgebaut hat, ist eine Einteilung in verschiedene Typen der Abstraktion zu finden (6): die Syntaktik als Erforschung von Zeichen und deren Beziehung untereinander, die Semantik, die die Beziehung zwischen den Zeichen und den Designata untersucht, und die Pragmatik als die Erforschung von Zeichen in bezug auf ihre Benutzer. Diese Einteilung erscheint sehr nützlich für neue Begriffsbestimmungen vom Wesen der Musik, weil sie weitgehend die gegenwärtig so unterschiedlichen Merkmale zu berücksichtigen in der Lage ist.

Die Informationstheorie ist in der kurzen Zeit ihres Bestehens vielfach mißverstanden worden, und man hat die Möglichkeiten ihrer Anwendung überschätzt. Es soll daher vorweg abgrenzend festgestellt werden, daß die folgende Betrachtung nur die syntaktische Stufe der Informationstheorie betrifft und nicht auf Bedeutungsinhalt und Wirkung der Musik als die semantische und pragmatische Stufe eingeht. Es geht also nicht darum, welche Art von Information empfangen wird, sondern wieviel Information in einer Botschaft enthalten ist.

Die umfangreiche Theorie, die sich auf die Wahrscheinlichkeits-Mathematik stützt, kann in diesem Rahmen nur soweit kurz skizziert werden, als daraus Folgerungen für musikalische Strukturen gezogen werden können.

Grundgedanken der Informationstheorie

Eine Nachricht setzt stets eine Erwartung beim Empfänger voraus, im allgemeinen eine Alternative über das Eintreten eines Ereignisses, das heißt es wird eine Auswahl getroffen. Dies aber ist eine Grundeigenschaft von Lebewesen, die in der Psychologie schon lange bekannt ist.

In dieser Anschauungsweise ist eine Botschaft eine mögliche unter vielen, wodurch der Analyse die statistische Methode erschlossen wird. Es liegt im Wesen der Nachricht, daß sie sich fortlaufend ändert, andernfalls wäre sie keine. Dies gilt verallgemeinert für alle Sinneseindrücke, die wir als „Nachrichten“ bewerten, wobei diese in der unregelmäßigen Folge ihres Eintreffens statistischer Natur sein müssen, daher gewissen statistischen Regeln gehorchen und aus solchen Beziehungen Rückschlüsse auf die Natur der Nachricht erlauben. Unter „Nachricht“ im Sinne der Botschaft verstehen wir hier Sprache und Musik.

Gehen wir noch einmal davon aus, Sprach- und Musikstrukturen als eine Ansammlung von Zeichen zu betrachten, so lassen sich diese, wie die mathematische Theorie zeigt, mit der Ansammlung einer Zahl von Molekülen in einem Gas vergleichen, um ähnliche statistische Verhaltensweisen zu studieren. Es seien beispielsweise zwei Gase O_2 und H_2 als getrennte Volumina gegeben, die alsdann durch ein Verbindungsrohr ineinander diffundieren. Der ursprünglich geordnete Zustand geht in einen Zustand der „idealen Unordnung“ über. Die Zwischenstadien in diesem Prozeß sind als bestimmte Ordnungsgrade anzusehen. Die Anordnung von Buchstaben oder Tönen in Texten bzw. Texturen stellen ebenfalls gewisse Ordnungsgrade dar. Wilhelm Fucks gibt die Vorstellung, daß ein Text zunächst verdampft gedacht wird und dadurch in seine Elemente aufgelöst wird. Alsdann wird die Struktur rückwärts durch einen Kondensationsvorgang allmählich wiederhergestellt — gleichsam kristallisiert (7, 8). In diesem heuristischen Vorgehen gelangt man zur Analyse von sehr komplizierten Zustandsverteilungen. Die Zustandsgröße, die einen bestimmten Ordnungsgrad angibt, wurde von Clausius 1865 als Entropie bezeichnet und ihre Bedeutung von Boltzmann näher erläutert. Dieser Begriff läßt sich unmittelbar auf den Ordnungsgrad von Strukturen anwenden, wie sie von Sprache und Musik gegeben sind. Dies zeigt die gleichartige mathematische Herleitung auf beiden Gebieten, wobei von der Häufigkeit p_i von Zeichen bzw. Molekülen ausgegangen und die Wahrscheinlichkeit ihrer Verteilungen angesetzt wird. Dann ist die Entropie bzw. das Informationsmaß

$$H = -\sum p_i \lg p_i .$$

Präziser ist dies ein Maß der statistischen Seltenheit der betrachteten Zeichen, da die Formel nur eine Teilaussage des Phänomens „Information“ gibt. Die Wortwahl „Information“ erweist sich für die weiteren Anwendungen als nicht sehr glücklich.

Das Verhalten einer sehr großen Ansammlung von Elementen läßt sich mit Hilfe der mathematischen Funktionentheorie nicht mehr erklären, weshalb vor einem Jahrhundert die Methodik der Wahrscheinlichkeitsrechnung eingeführt wurde, die zu exakten Ergebnissen über die Gesamtstruktur führt. Diese Methodik erwies sich bald als ein Umbruch in der Mathematik, indem neben der Differentialgleichung ein ganz anderer Lösungsweg über die statistische Methodik aufgezeigt wurde.

Darauf fußen in unserem Jahrhundert im Übergang von der deterministischen klassischen Physik zur Quantenphysik die Erfolge der Kernphysik und in jüngerer Zeit der Nachrichtentechnik.

Die mathematische Betrachtung der Musik hat in dem ganzen Geschichtsverlauf stets eine große Rolle gespielt, wengleich man über einfache numerische Beziehungen kaum jemals beträchtlich hinausgekommen ist. Erst in den vergangenen Jahrzehnten hat man bemerkt, daß im Transformationsprozeß des peripheren Hörens (Psychoakustik) Verzerrungen stattfinden, die die gefundenen Zahlenproportionen zum großen Teil ad absurdum führen und Harmoniebegriffe ins Wanken brachten (9). Unter diesem Gesichtspunkt bedeutet die Einführung der Wahrscheinlichkeitsrechnung für die Musik ein epochales Ereignis. Ähnlich gilt dies auch für die Sprache und weitere Gebiete der Geisteswissenschaften.

Was für die Musikästhetik gilt, kann allgemein auf die Kunstästhetik erweitert werden. Die struktur- und informationstheoretische Analyse auf diesem Sektor (Morris [6], Moles [10, 11], Bense [12]) ergibt in der Herleitung von der Hegelschen Ästhetik, daß *„alles Ästhetische letztlich nur statistisch faßbar ist und zu jedem Kunstwerk nur eine virtuelle Realität gehört“* (12). Weiter ist daraus zu schließen, daß dem Kunstwerk im Prinzip nur eine relative Gegenständlichkeit zukommt und an die Stelle einer physikalischen Wahrscheinlichkeit eine ästhetische Unwahrscheinlichkeit tritt (Seltenheit des Kunstwerks). Man gelangt schließlich zu der von Bense ausgesprochenen Konsequenz, daß alles Nichtstatistische außerhalb des Ästhetischen liegt.

Ist das Auftreten von Zeichen in einem Text von gleicher Wahrscheinlichkeit, so ist die Unsicherheit im Erraten eines Zeichens, das auf eine Gruppe von Zeichen folgen soll, am größten; somit ist der Informationsbetrag eines solchen Textes ein Maximum. Eine Statistik erübrigt sich in diesem Fall.

Im Gegensatz hierzu ist in den Umgangssprachen das Auftreten von Buchstaben von ungleicher Häufigkeit (der Buchstabe e kommt in einem Text wesentlich häufiger vor als der Buchstabe x), so daß das Erraten eines folgenden Buchstabens leichter geworden ist. Die Unsicherheit des Perzipienten ist geringer geworden. Der Text hat in diesem Fall statistisch eine ungleich wahrscheinliche Verteilung der Zeichen. Ein typisches Beispiel dafür ist, wie Morse (1835) die Telegraphiesignale entsprechend der Buchstabenhäufigkeit in Sprachtexten zusammensetzte.

Untersuchung von Musikstrukturen

Ein musikalischer Tonsatz ist ein noch viel besseres Beispiel. Ein Zwölftontheema stellt eine gleichwahrscheinliche Verteilung dar, ein tonaler Satz ist von ungleicher Häufigkeit, denn er weist größere Häufungen in den Notenwerten der Tonalität auf, das Maximum meist in der Prim bzw. im Dreiklang.

„Information“ ist von Hartley als die sukzessive Auswahl von Zeichen, z. B. Wörtern aus einem gegebenen Vorrat definiert worden, wobei Fragen der „Bedeutung“ als subjektive Faktoren verworfen werden. Es geht auch nicht um den Wahrscheinlichkeitsgehalt einer Nachricht (13). Umgekehrt kann man sagen, daß Signale — vermöge ihrer Fähigkeit zur Auswahl — einen Informationsgehalt besitzen.

Abb. 1 a (nach Fucks)

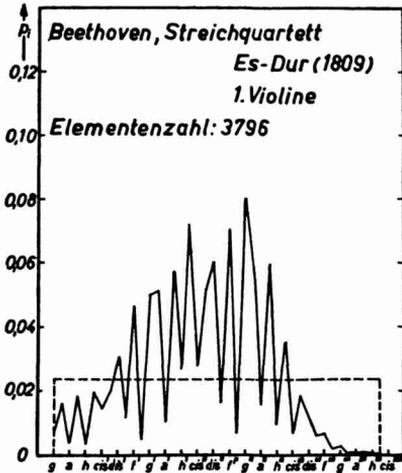


Abb. 1 b (nach Fucks)

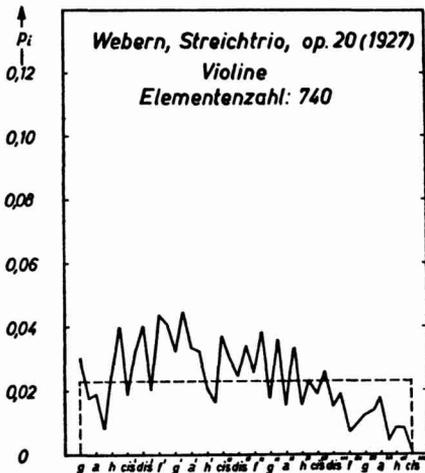
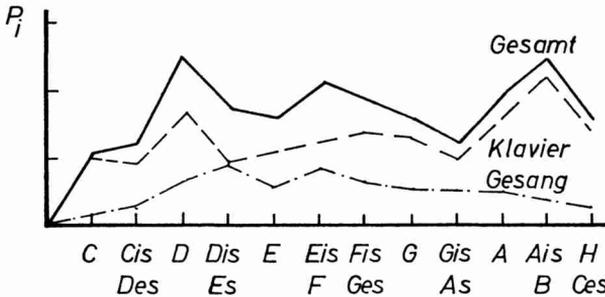


Abb. 1 c



Schönberg, Das Buch der hängenden Gärten. (nach Winkel)

Häufigkeitsverteilung von Tonhöhen verschiedener Werke. — — — Verteilung mit gleicher Wahrscheinlichkeit.

Einige statistische Diagramme sollen dies veranschaulichen. Die Bezeichnung p_i auf der Ordinate gibt die relative Häufigkeit der gezählten Elemente mit dem Merkmal i , bezogen auf die Gesamtzahl Z der Elemente. Abb. 1 zeigt die Häufigkeitsverteilung von Tonhöhen mit der Normierung $\sum p_i = 1$ für Werke von Beethoven, Webern und Schönberg. Die gestrichelte Linie gibt die Verteilung der Tonhöhen mit gleicher Wahrscheinlichkeit an. Man erkennt hieraus, wie Webern und Schönberg einer Gleichverteilung wesentlich näherkommen als Beethoven. An den Beispielen der tonalen Kunst findet man eine größere Spitzenhaltigkeit für tonalitätsbezogene Töne. Aus der durchschnittlichen Spitzenbewertung kann man den „Tonalitätsgrad“ bestimmen. Ferner leitet Fucks aus der Häufigkeitsverteilung „Stilcharakteristiken erster Ordnung“ ab, wie z. B. mittleren Symbolvorrat, die höheren Momente um den Symbolvorrat und die Streuung als Abweichung von einer Normalverteilung, die als Glockenform gegeben ist. Es handelt sich hier um Begriffe der Wahrscheinlichkeitstheorie, vgl. z. B. (14).

Abb. 2 a

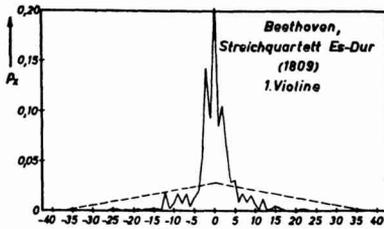
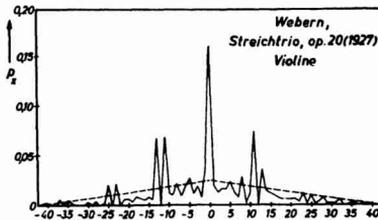


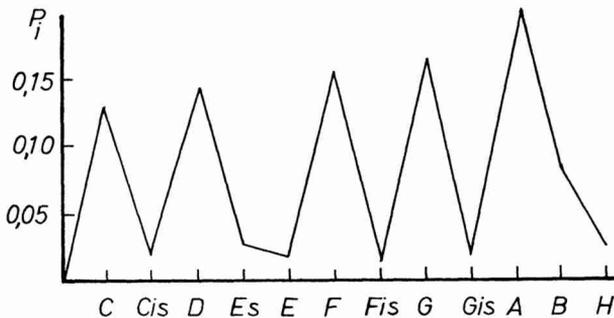
Abb. 2 b



Häufigkeitsverteilung von Intervallen
konsekutiver Töne (nach Fucks).

Analog der Tonhöhe kann man auch andere Parameter der musikalischen Textur behandeln. Fucks hat dies für Tonlängen und Intervalle durchgeführt, wobei man dann weiterhin auf einander folgende Intervalle übergehen kann, die in einer Matrizendarstellung Stilaussagen geben. Abb. 2 zeigt die Frequenzverteilung von Intervallen konsekutiver Töne. Auf der Abszisse ist die Zahl der Halbtöne angegeben, die die Intervalle zu einem Bezugston bilden. Wiederum bemerkt man gegenüber Bach und Beethoven die gleichmäßigere Verteilung bei Webern, was auf einen höheren Informationsinhalt bzw. eine kompliziertere Struktur schließen läßt. Freilich darf man nicht soweit gehen, aus solchen Ergebnissen funktionsharmonische Schlüsse zu ziehen, weil damit bereits der semantische Inhalt berührt würde. Wenn ferner Intervallbewertungen nach gegebenen Umständen Auffassungssache sind und Einstellungen hierzu im Laufe von Zeitepochen sich geändert haben, dann wird auch die pragmatische Stufe einbegriffen. Eine Intervall-Statistik wird vornehmlich die Tonhöhen-Statistik stützen, um Stilwandel zu kennzeichnen, wie dies deutlich aus dem hier nur vereinzelt gezeigten Kurvenmaterial hervorgeht.

Abb. 3



Tonhöhenverteilung
für ein Beispiel leichter Musik (Viktor Holländer „Schön war's doch“; Z = 180 Noten (nach Winkel)).

Eine weitere Begriffsverwirrung ist dadurch entstanden, daß leichte Musik zu ähnlichen statistischen Ergebnissen führen kann wie große Kunstwerke (Abb. 3). Auch hier muß wieder auf die Abstraktion vom semantischen Inhalt hingewiesen werden, wogegen Merkmale wie Tonalitätsgrad oder Ordnungsgrad für beide Gattungen gelten können.

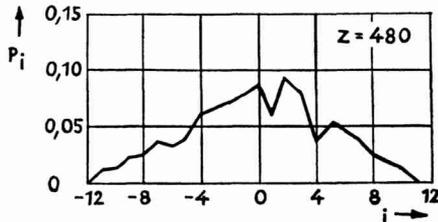
Eine lebhaftete Diskussion ist um die „stochastische Musik“ entstanden, wofür Tonsatzstudien von Fucks (7), Xenakis (15), Hiller (16) und anderen als Grundlagen dienen. Der stochastische Prozeß wird allein durch Wahrscheinlichkeitsgesetze geregelt. Was sich im überlieferten Kompositionsvorgang aus Absicht, Notwendigkeit und Zufall bildet, hat sich hier in Richtung des reinen Zufalls verschoben. Frühe Beispiele bieten Kirnbergers *Allzeit fertiger Polonaisen- und Menuettenkomponist* (1757) und ähnliche, C. Ph. E. Bach, Haydn und Mozart zugeschriebene Versuche, „mit Würfeln zu komponieren“ (24). Fucks hat die Ziffernfolgen eines Roulettespiels benutzt, um in einer „Random-Folge“ einen vierstimmigen Klaviersatz (Abb. 4) aufzuschreiben (7). Die Tonhöhenverteilung ist gleichwahrscheinlich. Eine Häufigkeitsverteilung der Intervalle aus je zwei konsekutiven Tönen zeigt Abb. 5.

Abb. 4



Beispiel stochastischer Musik (nach W. Fucks).

Abb. 5

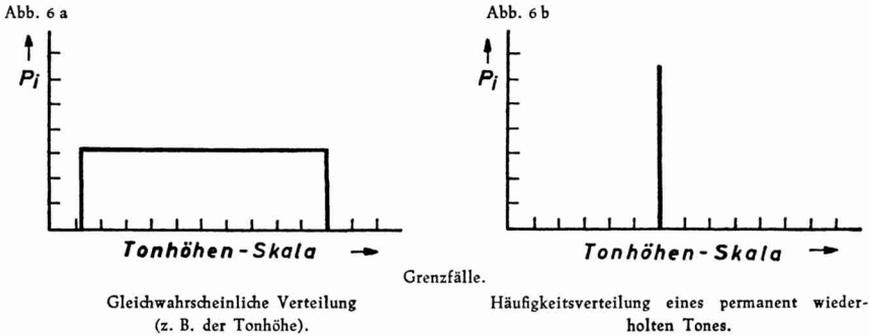


Häufigkeitsverteilung von Intervallen konsekutiver Töne von stochastischer Musik nach Abb. 4.

Es resultiert hieraus ein maximaler Informationswert. Demgegenüber weisen die übrigen Parameter Tonlängen, Lautstärke, Klangfarbe ein Minimum auf, da keine Varianten vorgesehen sind. In der Neuen Musik dagegen finden Modifikationen aller Parameter, oftmals in Random-Folge, statt, d. h. Wiederholungen von einzelnen Tönen oder Gruppen finden nur entsprechend dem Häufigkeitsvorkommen der einzelnen Elemente statt.

Aus der Sicht des gezeigten Kurvenmaterials erscheinen die zwölf Töne der Skala in der Gleichwahrscheinlichkeit ihres Auftretens als das generelle Angebot, aus dem der Komponist auswählt oder nicht auswählt nach vorgegebenen Gesichts-

punkten, wobei ein Ton oder mehrere Töne gar nicht oder nur selten im Laufe der Verarbeitung gewählt werden. Das Auswählen ist der Grundprozeß des Komponierens wie auch allgemein des Disponierens bei jeglicher Handlung. Wenn man sich nicht mit einem Tonhaufen begnügt, bedarf es zur Artikulation stets musikalischer Kategorien, wie Adorno es ausdrückt. Von Shannons Experiment in der Informationstheorie erfahren wir, daß die aleatorische Anordnung von Buchstaben zunehmend umgebildet wird zu Wörtern und schließlich zu sinnvoller Sprache, je mehr Gruppierungen nach der der Sprache zugrunde liegenden Häufigkeitsverteilung vorgenommen werden. So entsteht Artikulation, wie sie sich auch in der musikalischen Textur bilden muß. Für die gezeigten Kurven lassen sich Grenzfälle der gleichwahrscheinlichen Verteilung (Abb. 6a) und der eindeutigen singulären Häufung (ständige Wiederholung eines Zeichens gemäß Abb. 6b) herleiten. Es sind die Grenzen zwischen Originalität und Banalität (11).



Der Redundanzbegriff

Zum besseren Verständnis der Perzeption von Sprache und Musik haben wir als weitere Eigenschaft von Texten bzw. Texturen die Redundanz zu betrachten. Die Übersetzung aus dem englischen „redundancy“ (5) mit Weitschweifigkeit erscheint unzureichend, denn der über die Netto-Information hinausgehende Überfluß in der Sprache (Beiwörter, grammatikalische Wortbildungen u. a.) erhöht das Verständnis von Aussagen und gibt eine größere Sicherheit gegen Störungen.

Information als Neuheitswert und Redundanz ergänzen sich im statistischen Sinne gesetzmäßig — in mathematischer Formulierung zu einem Wert Eins. Je größer die Redundanz wird, z. B. durch Wiederholung von Zeichen oder Zeichengruppen, um so geringer wird der Informationsbetrag oder der Erwartungswert für den Perzipienten. Wird im Extremfall eine Note ununterbrochen stereotyp auf dem Klavier wiederholt, so ist die Redundanz Eins und der Informationswert Null geworden (Banalität). Der Fall des Automaten ist eingetreten. Andererseits ist eine permanente Folge von stets neuen Zeichen (Originalität) sinnlos (Informationswert Null), weil sie sich nicht einprägen, was bedeutet, daß die Funktion des Gedächtnisses als Speicher außer acht gelassen worden ist. Außerdem kann sich aus solcher Struktur keine Form bilden. Die Aufeinanderfolge von stets neuen Zwölftonreihen

oder die Aufstellung einer unendlichen bzw. divergenten Reihe wäre in ihrer Irrelevanz nicht faßbar, wie dies auch für ungegliederte stochastische Reihen gilt. Die perzipierbare Länge einer Reihe hängt von dem Kurzzeit-Speichervermögen des Gedächtnisses ab. Die Praxis lehrt, daß man im Durchschnitt kaum mehr als sechs Ziffern in einer Folge spontan wiederholen kann (Telefonnummern). Wenn Ziffern dagegen je zweistellig rhythmisch gesprochen werden, so bedeutet der Rhythmus als eine Gliederung der Formbildung eine förderliche Redundanz. Daraus ergibt sich weiter, daß Lernprozesse ohne Redundanz mangels des Speichervermögens nicht möglich sind. Diese erst vermittelt Wahrnehmbarkeit.

Mit dem Redundanzbegriff wird die Formenlehre der Musik von einer neuen Seite her untersucht. Die überlieferten Formen der Musikgeschichte können als ein Auswahlprozeß aus vielen möglichen Formen mit einer optimalen Adaptation an das menschliche Perzeptionsvermögen angesehen werden. Die Zahl von Wiederholungen und Teilwiederholungen von Motiven, Themen, Satzteilen, die Variation bis zu einer gewissen Grenze der Abwandlung, die Passacaglia, die Ausbildung des Ornaments als einer Umspielung der Motiv-Information und anderes mehr schaffen die Gleichgewichtigkeit zwischen Information und Redundanz und fördern den Lernprozeß.

Wir haben ein deutliches Gefühl dafür, bis zu welcher Höhe ein Musikwerk mit Redundanz angefüllt sein darf, d. h. wieviel Wiederholungen und Variationen möglich sind (z. B. nur dreimalige identische Wiederholung eines Motivs in der obligaten Stimme). Die Anreicherung des Informationsbetrages in der Entwicklung eines Satzes ohne Zuhilfenahme neuer Themen geschieht dann durch Auslassung, was in der Durchführung eines Satzes in sich redundant wieder verarbeitet wird.

Es gibt wohl kein schöneres Modellbeispiel für optimale Perzeptionsmöglichkeit im Lichte der Informationstheorie als die Analyse von klassischen Musikwerken. Freilich ist die Berechnung der Anteile von Informationsbetrag und Redundanz nicht ganz einfach, da diese manchmal sehr eng miteinander verknüpft sind.

Einen Hinweis bietet uns die Sprache, für die der Redundanzanteil berechnet werden konnte. Er beträgt z. B. für die englische Sprache 75 % (5) und weicht für andere Kultursprachen von diesem Wert nicht sehr viel ab. Man vergegenwärtige sich, daß die Sprache in einem jahrtausendelangen Entwicklungsprozeß zur bestmöglichen Aussageverständlichkeit konvergiert hat, was heute durch psychoakustische Untersuchungen an den Parametern der Sprachlaute kontrolliert werden kann. Man sollte meinen, daß die 75 % Redundanz in Analogie auch für die optimale Gestaltung des Kunstwerks gelten könnte, weil so die beste psychische Auslastung gegeben ist. Detaillierte Berechnungen könnten zur Aufstellung eines ästhetischen Richtwertes als Maß der Beurteilung führen.

Entstehungsprozeß des Kunstwerkes

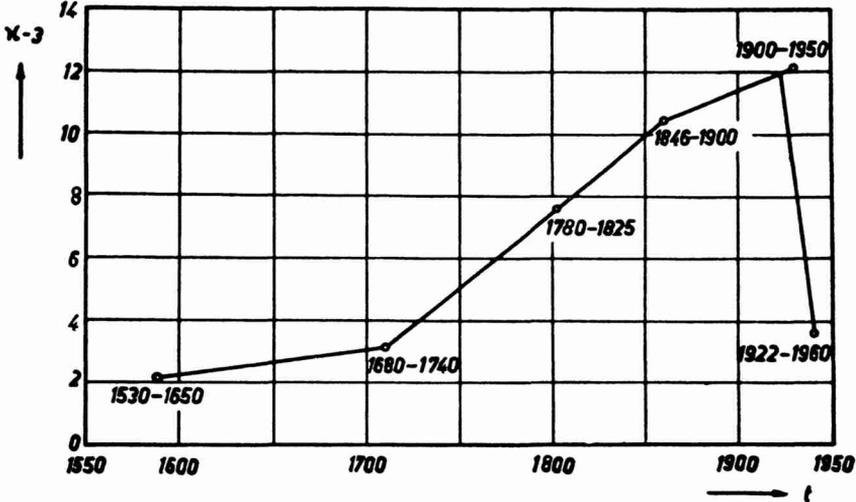
In einer solchen Analyse würden Zeichen und Strukturen in ihren Funktionen schärfer charakterisiert werden, und es würden sich die Charakteristika in einer ästhetischen Produktion in einer besseren Annäherung herauskristallisieren. Bense

führt noch allgemeiner aus, wie das Kunstwerk als Information über Verteilung und Auswahl ästhetischer Zeichen und Strukturen verstanden werden will, wie daraus eine Metasprache der Kunst wird. Was er über die Entstehung des Kunstwerks aussagt, gilt für das Musikwerk im besonderen Maße. Wenn zu Beginn eines ästhetischen Prozesses die Freiheit gegeben ist, Zeichen auszuwählen, dann besteht für alle diese im allgemeinen zunächst die gleiche Auswahlwahrscheinlichkeit (Motiv), entsprechend dem stochastischen Prozeß, bzw. hat die Ungewißheit in bezug auf den Ausgang des Prozesses den größten Wert. Im Laufe der Verarbeitung entstehen „Vorzugswahrscheinlichkeiten“ für die anfänglich gewählten Zeichen, während die Wahrscheinlichkeit sich für die Verwendung anderer Zeichen zunehmend verringert. Somit wird *„die Freiheit während der Entstehung des ästhetischen Systems, des Kunstwerks, verbraucht, die Komposition saugt sie auf“* (12). Zugleich nimmt die Ordnung des Systems zu, im Kunstwerk der Klassik bis zur maximalen Größe (Formel der Schlußkadenz). Die verbrauchten verfügbaren Wahlen während des ästhetischen Prozesses sind ein Maß für die Informationsgröße. Während der Informationsbetrag laufend abnimmt, muß die Redundanz — wie erwähnt — komplementär zunehmen.

Den Gegenpol zur Ordnung würde die Unordnung bedeuten, deutlicher gesagt, das Chaos, wie der Physiker Boltzmann bereits 1866 formulierte. Solche Gegenüberstellung ist auch in der Kunst nicht neu, vgl. z. B. die Darstellung von Paul Klee vom Chaos zum Kosmos als einer Entwicklung von der Unordnung zur Ordnung. Das Motiv am Anfang läßt nicht das folgende Ereignis — den folgenden Ton — voraussagen. Die Schlußkadenz als Formel ist voraussagbar und damit auch das Ende in der vollendeten Ordnung, die keiner weiteren Entwicklung mehr bedarf.

Eine Anordnung von Buchstaben in einem Text stellt einen bestimmten Ordnungsgrad zwischen Null und Eins dar. Die ständige Wiederholung eines Buchstabens wäre die absolute Ordnung und die Zufallsfolge aneinandergereihter Buchstaben die ideale Unordnung. Der Ordnungsgrad hängt von Gesetzen der Wortbildung und der Grammatik ab (syntaktischer Grad). In der Musik lassen sich für jedes Werk ebenfalls Ordnungsgrade ermitteln, wozu man sich z. B. der Verfahren von Fucks (7) und Herdan (17) bedient. Man wird dann feststellen, daß der Ordnungsgrad von Musikwerken — gleichbedeutend mit der Informationsgröße oder deren komplementärer Größe, der Redundanz — für die verschiedenen Komponisten und Zeitepochen verschieden ist. Wenn man sich vergegenwärtigt, daß im Ordnungsgrad der Stilcharakter enthalten ist, gelingt es, die Stilentwicklung durch Berechnung der Entropie von Werken in bezug auf bestimmte statistische Merkmale in den verschiedenen Epochen zu verfolgen, wie dies Fucks getan hat. Abb. 7 gibt davon eine Vorstellung für die Häufigkeit konsekutiver Intervalle, wobei als Ordinate die Kurtosis (bzw. die Ersatzgröße ϵ) aufgetragen ist, eine Größe der statistischen Mathematik, die angibt, wieviel spitzer eine Verteilung ist gegenüber einer Gaussverteilung. Interessant ist die Aufspaltung der ansteigenden Linie in den letzten Dezennien, was den Bruch durch die Neue Musik offenbart.

Abb. 7



Historische Entwicklung des Informationsgehaltes eines Parameters von Musikwerken, dargestellt durch die Häufigkeitsverteilung von Intervallen konsekutiver Töne.

Stellung der Neuen Musik

Besonders deutlich kann man in den Werken der klassischen Musik den Entwicklungsprozeß zur zunehmenden Ordnung feststellen. Indessen hat sich die Neue Musik dagegen aufgelehnt und ist vielfach gegenteilig verfahren, so z. B. läßt das nicht vorbereitete Abreißen des Schlusses von Musikstücken Erwartungen offen, d. h. der Schluß hat noch einmal einen hohen Informationsinhalt, der nicht verarbeitet bzw. durch Redundanz aufgenommen wird. Hans Heinrich Eggebrecht hat folgende interessante Feststellung gemacht: „Je ‚mathematischer‘ eine Komposition ist, desto entschiedener ist bereits jeder ihrer Teile eine ‚abgeschlossene Aktion‘ und desto weniger bedarf sie des Schließens. Eine Invention von Bach hört auf, wenn von Glied zu Glied, von Stufe zu Stufe ‚der Einfall durchgeführt‘ ist“ (4). Adorno negiert das menschliche Ordnungsbedürfnis, „... anstatt aufzuatmen, daß die ‚Erwartung‘ (Schönberg), selbst schon die ‚Elektra‘ geschrieben werden konnten, die doch ihrem eigenen Bewußtsein und Unbewußtsein unvergleichlich viel kommensurabler sind als oktroyierter Stil“ (18). Noch schärfer ausgedrückt: „Die Ordnung, die sich selber proklamiert, ist nichts als das Deckbild des Chaos“¹⁹.

Demgegenüber ist einzuwenden, daß das Kunstwerk durch Ordnung bildende Redundanz perceptibel gemacht wird, was in der Adaptation an das Speicher- vermögen des Gehirns unerlässlich ist. Ohne Redundanz versagt das Perzeptions- vermögen. Gerade in diesem Umstand kann in bezug auf das menschliche Auf- nahmevermögen ein kritischer Ordnungsgrad gefunden werden, der in einem unbewußten Regelprozeß beachtet wird. Eine eindeutige Stellungnahme bezieht Strawinsky: „Das Phänomen der Musik ist uns zu dem einzigen Zweck gegeben, eine Ordnung zwischen den Dingen herzustellen . . .“ Der Widerspruch Adornos

mag sich vielleicht aufklären im Bemerken des „oktroierten Stils“. Die Schematisierung eines strapazierten Stils fordert zu Gegenaktionen heraus, wobei in einer Übergangsperiode die Adaptation erst erreicht werden muß, wenn die neuen Kreationen mit dem Ohr wahrgenommen werden sollen. Im übrigen gibt er die Redundanz wie folgt zu: „*Ohne dies höchst formale Konstituens von Gleichheit gibt es keine artikulierte Musik*“ (19).

Überblickt man die Musikgeschichte, so kann man den Werken verschiedener Epochen bestimmte Ordnungsgrade zuordnen. In der gegenwärtigen Zeit sind die äußersten Grenzen zwischen den Ordnungsgraden Null und Eins bzw. zwischen idealer Unordnung und vollkommener Ordnung abgesteckt worden. Es handelt sich um stochastische Musik und Zwölftonreihe einerseits und total determinierte Musik, entsprechend dem seriellen Prinzip, andererseits (21). Die Auffindung dieser Extreme erscheint grundsätzlich wesentlich, weil von hier aus die Erkenntnis über den Standort der Formalstruktur historischer und auch künftiger Musik gewonnen worden ist. Der historisch orientierten Musikwissenschaft erhebt hier eine neue Aufgabe. Im übrigen kann man für die Bildkunst ähnliche Überlegungen anstellen wie für die Musik, da es sich hier um ästhetische Grundbegriffe handelt.

Der Kommunikationsbegriff

Es ist noch darauf hinzuweisen, daß in der angelsächsischen Literatur vorzugsweise von „Kommunikationstheorie“ anstelle von Informationstheorie gesprochen wird. Nun kann man das eine nicht ohne weiteres synonym für das andere setzen. Folgt man der erwähnten Einteilung von Morris, indem man das Zeichen als Gebilde mit drei Freiheitsgraden auffaßt, wovon einer — wie erwähnt — semantischer Art ist als Bedeutungsträger (Sinn), ein anderer syntaktischer Art als die Beziehung der Zeichen untereinander (Struktur), und der dritte pragmatischer Art als die Beziehung zum Menschen, so daß man hier von dem kommunikativen Freiheitsgrad sprechen kann, so wird der Begriff Information in der Darstellung der Zeichen ein Maß der Ordnung im statistischen Sinn, während der Begriff Kommunikation einer Alternativlogik zuzuschreiben ist. Durch die Begriffe „Information“ und „Kommunikation“ werden Alternative und Symmetrie und damit Logik und Ästhetik verknüpft (Bense).

Sicherlich hat der Begriff „Kommunikation“ einen recht vieldeutigen Sinn, und so ist er wohl von Adorno als eine Variante gemeint, indem dieser in einem einzigen Satz die Information über die Kommunikation für die Ästhetik des Kunstwerks setzt: „*Die Struktur musikalischer Objektivität durchs Subjekt hindurch, nicht aufs Objekt hin, setzt ihre Gesellschaftlichkeit schroff der Kommunikation entgegen.*“ In der informellen Musik geht es um einen sich darstellenden Wahrheitsgehalt, nicht um Wirkungen. Jedoch ist eines ohne das andere nicht möglich. Was bleibt dann als Aufgabe künstlerischer Technik? „*Die Entwicklung der subjektiven Sensibilität zur Empfindlichkeit für die Regung dessen, was nicht selbst Subjekt ist*“ (Adorno).

Es mag vielleicht verwunderlich erscheinen, daß in diesen Betrachtungen einseitig von der statistischen Informationstheorie die Rede gewesen ist, die über Formal-

strukturen aufklärt, nicht aber von dem Anteil, der über den eigentlichen Inhalt oder die Bedeutung eines Textes Auskunft gibt, jenem Teil, der als semantische Information bezeichnet wird. Es entsteht die Frage, ob man darüber überhaupt quantitative Aussagen machen kann. Leibniz ist in der Theodizee auf den Unterschied von Essenz und Existenz eingegangen; Whitehead ist darauf für den Prozeß der Realisation im besonderen des Kunstwerks in eine umfassendere Diskussion eingetreten.

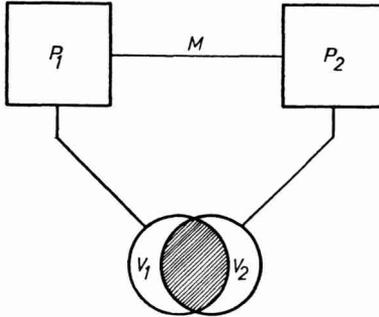
Robert Carnap hat der „selektiven Information“ eine semantische Informationstheorie entgegengesetzt, die anstelle einer statistischen Wahrscheinlichkeit von induktiver Wahrscheinlichkeit ausgeht (20). Neben die statistische Begriffsbildung tritt die logistische. Die Aussage wird in Elementarsätze zerlegt, die nicht weiter in andere Aussagen aufgespalten werden können. Man kommt so zu Feststellungen über Individuen (Dinge, Menschen, Ereignisse), die gewisse Attribute besitzen. Die Aussagen geschehen mit Hilfe logischer Verknüpfungen. Ein Text, in dem es n Individuen (Subjekte) und p Prädikate (Eigenschaften) gibt, besteht dann aus $n \cdot p$ Elementarsätzen. Diese Ableitung führt zur Aufstellung einer Maßzahl für die Aussage (*Cont[i]*).

Es sei besonders darauf hingewiesen, daß die semantische Information, die in Aussagen enthalten ist, nichts mit Kommunikation zu tun hat, da sie von der Pragmatik abstrahiert. Das ist der Grund, weshalb dieser Anteil in der ästhetischen Betrachtung des Kunstprozesses nicht in den Mittelpunkt gerückt worden ist.

Einfluß der Perzeptionsgröße

Immerhin ist aus der Sicht der Kommunikationstheorie soviel evident geworden, daß man den Expedienten nicht ohne den Perzipienten bewerten kann, noch mehr, daß die informationsträchtige Quelle ihre Eigenschaften erst durch die perzeptiven Eigenschaften des Empfängers erhält. Da ist nicht nur die Forderung der Verwendung eines gemeinsamen Zeichenvorrats beim Sender und Empfänger als Auswahl einer noch größeren individuell verschiedenen Menge (Abb. 8), weil ohne Zeichenvereinbarung Kommunikation nicht möglich ist, da ist außerdem die Zeichenformung im Eigenweltsystem des Perzipienten zu berücksichtigen, die Anforderungen an die Konstruktion der Quelle stellt. Es handelt sich dabei um den Transformationsprozeß der physikalischen, physiologischen, psycho-physiologischen und psychogenen Stufen, die zusammengefaßt in der Disziplin der Psychoakustik (21) untersucht und letztlich in der Wahrnehmungsgröße durch die statistische Informationstheorie quantitativ bewertet werden. Dabei spielen gewisse Zeitkonstanten der technischen Transformationen wie auch der Perception eine Rolle, die für die mögliche Struktur des Kunstwerks bestimmend werden. Diese Konstanten sind in manchen Beziehungen überraschend ähnlich für Auge und Ohr, in anderen jedoch drastisch verschieden, wodurch die einerseits gleichartige, andererseits unterschiedliche Empfindung bei der Wahrnehmung auditiver und visueller Kunstwerke entsteht.

Abb. 8



Kommunikationssystem zweier Partner P_1 und P_2 unter Berücksichtigung eines ihnen gemeinsamen Zeichenvorrats V_1 und V_2 .

Zusammenfassend gesagt impliziert die Konstruktion der Quelle die Eigenschaften des Empfängers im Sinne der Auswahl, was auf die Grenzlegung der Möglichkeiten hinauskommt. Ein eklatantes Beispiel der Nichtbeachtung solcher Voraussetzungen ist die Elektronische Musik in ihrer bisherigen Entwicklung voller Irrtümer gewesen, was zu Lasten der damit befaßten Komponisten geht, nicht aber der Technik, die stets alle Möglichkeiten anbietet (22) und die Auswahl dem Anwender überläßt.

Die neuere Entwicklung der Informationstheorie im Sinne ihrer kybernetischen Ausrichtung kommt wieder mehr auf die psychologischen Hintergründe der Perzeption durch Einbeziehung der Adaptation. Damit hängen zusammen die Lernprozesse, die nicht nur in gedanklichen Modellvorstellungen, sondern auch in experimentellen Modellen studiert werden. Sie ergeben noch tiefere Einblicke in die Funktion der Gedächtnisspeicherung und damit auch in die Eigenschaften des musikalischen Gedächtnisses als wesentliche Voraussetzung des musikalischen Hörens, ferner in den Transformationsprozeß von der Struktur zur Gestaltbildung.

Damit haben wir bereits den pragmatischen Anteil der Information berührt. Er ist bisher noch nicht in genügendem Maße aufgeklärt worden. Welche Wirkung durch die Botschaft auf den Perzipienten ausgeübt wird, gehört in den ektosemantischen Bereich (23), während Moles die Abtrennung des Nichtsemantischen unter dem Kollektiv des ästhetischen Anteils zusammengefaßt hat (11). Beschränken wir uns auf den Bereich des abstrakten Kunstwerks (z. B. Instrumentalmusik ohne Programm), so finden wir Wirkfaktoren in der inneren Strukturierung der Einzelklänge (innere Modulation) einerseits und in den verschiedenartigen Abweichungen der notierten Soll-Textur des Musikwerks, in Schwankungerscheinungen, die dem Hörer nicht bewußt zu werden brauchen (8). Ein bewußtes Mittel der Interpretation ist die Agogik, aber dazu kommen eine Reihe unwillkürlicher Abweichungen, die emotionsauslösend wirken, wie etwa Verstimmungen der Solltonhöhe im Melodieverlauf, noch stärker die Verstimmungen in den Teilkängen harmonischer Funktionen, zeitliche Abweichungen in den Einsätzen, in Takt und Rhythmus und besonders stark wirksam in falschen Tempi (Verschleppungen und Raffungen) sowie weitere Faktoren, die der Verfasser eingehend als psychoakustische Erscheinungen untersucht hat (8, 21). Eine Bewertung der einzelnen Anteile als quantitative Wirkfaktoren ist bis heute noch nicht vorgenommen worden, jedoch bieten sich Möglichkeiten auf statistischer Basis im Rahmen der Informationstheorie an.

Ein weiteres Kapitel einer Informationstheorie der Musik betrifft die Analyse einer Mikrostruktur von Lautphänomenen, die aus einer atomistischen Auflösung gewonnen wird und artikulatorische Faktoren erschließt. Man gewinnt dadurch den Komplexklang aus einer gewissen Zahl von „Elementarteilchen“, die physiologisch im Nervensystem verarbeitet und für Perzeption umcodiert werden müssen. Dieser umfangreiche Komplex einer mehr technischen Fragestellung kann hier nicht im einzelnen dargelegt werden, zumal auch hierüber eine umfangreiche Literatur existiert (Übersicht s. 23). Der Gewinn für die musikalische Aufführung ergibt sich daraus, daß die energetische Belastungsfähigkeit des Nervensystems des Perzipienten durch Lautstrukturen verschiedenster Herkunft klargestellt wird und somit musikalische Texturen — ebenso wie auch Sprachstrukturen — in ihrer hörmäßigen Qualität verglichen und beurteilt werden können. Auch in dieser Betrachtungsweise steckt ein hoher Anteil einer Kunstästhetik.

Literaturverzeichnis

- 1 F. Blume, *Was ist Musik?*, Musikalische Zeitfragen 5, Kassel 1959.
- 2 H. Hüschen, Art. *Musik* in MGG.
- 3 W. Wiora, *Natur der Musik? Unnatur heutiger Musik?*, Musikalische Zeitfragen 10, Kassel 1962.
- 4 H. H. Eggebrecht, *Musik als Tonsprache*, AfMw 18, 1961, 73—100.
- 5 C. Shannon und W. Weaver, *Mathematical Theory of Communication*, Urbana 1949.
- 6 C. W. Morris, *Foundation of the Theory of Signs*, International Encyclopaedia of Unified Science Series Bd. 1 Nr. 2, Chicago 1938.
- 7 W. Fucks, *Mathematische Analyse der Formalstruktur von Musik*, Forschungsberichte Nordrhein-Westfalen Nr. 357, 1958.
- 8 W. Fucks, *Mathematische Analyse und Random-Folgen*, Gravesaner Blätter 6, Heft 23, 1962.
- 9 F. Winckel, *Phänomene des musikalischen Hörens*, Berlin 1960.
- 10 A. A. Moles, *La structure physique du signal musical*, Revue Scientifique 91, 1953, 277 bis 303.
- 11 A. A. Moles, *Théorie de l'information et perception esthétique*, Paris 1958.
- 12 M. Bense, *Aesthetica* II—IV, Baden-Baden 1956, 1958, 1960.
- 13 R. L. Hartley, *Transmission of Information*, Bell System Technical Journal 7, 1928, 535.
- 14 K. Kenney u. M. Keeping, *Mathematics of Statistics*, New York 3 1954.
- 15 I. Xenakis, *Grundlagen einer stochastischen Musik*, Gravesaner Blätter, Heft 21—24, 1961—1962; ferner *Musiques formelles*, Paris 1963.
- 16 L. A. Hiller, *Experimental Music*, New York 1959.
- 17 G. Herdan, *Language as Choice and Chance*, Groningen 1956.
- 18 Th. W. Adorno, *Vers une musique informelle*, Darmstädter Beiträge zur Neuen Musik, Mainz 1962; auch in *Quasi una fantasia*, *Musikalische Schriften* II, Frankfurt a. M. 1963, 365—437.
- 19 Th. W. Adorno, *Philosophie der Neuen Musik*, Tübingen 1949.
- 20 R. Carnap, *Symbolische Logik*, Wien 1954.
- 21 F. Winckel, Art. *Psychoakustik* in MGG, siehe auch ebenda die Stichworte *Musik* mit dem Unterbegriff *Informationstheorie* und *Schall*.
- 22 F. Winckel, *Die Grenzen der musikalischen Perzeption*, AfMw 15, 1958, 307—324.
- 23 W. Meyer-Eppler, *Informationstheorie*, Berlin 1959.
- 24 O. E. Deutsch, *Mit Würfeln komponieren*, ZfMw XII, 1929/30, 595.