

GRAVESANER

BLÄTTER

HERAUSGEBER HERMANN SCHERCHEN

ENGLISCH-DEUTSCH

ARS VIVA VERLAG
(HERMANN SCHERCHEN)
GMBH MAINZ

MUSIKALISCHE, ELEKTROAKUSTISCHE UND
SCHALLWISSENSCHAFTLICHE GRENZPROBLEME
1962 JAHRGANG VI

HEFT 23/24

Distributed by London Radio Services London NW 3
16, Kings College Road

Any music sounds better, fresher, amazingly
"different" with the Stereophoner!

And it can add the same increased pleasure, not only to your listening to radiograms and record players, but to any form of reproduced music: radio, tape recorders, television sets, sound films and of course to monaural high fidelity equipment! All this without complicated, expensive wiring, multi-channel equipment, stereo pickups or stereo records! Simply connect the compact Stereophoner to your record player, radio, tape recorder etc., connect to your existing speaker and to the additional speaker (which we can supply at low cost if you do not already have one) and straightaway you add an extra enthralling "Stereo" dimension to the music.



Alle Musik wird besser, frischer und überraschend
"neu" mit dem Stereophoner

Der Stereophoner fügt den Genuß echten Raumklangs nicht nur dem Anhören monauraler Radiosendungen und Schallplatten hinzu, sondern ganz allgemein jeder reproduzierten, monaural aufgenommenen Musik. Es genügt, ihn hinter Grammophon, Radioapparat oder Bandgerät zu schalten und ihm dann zwei Lautsprecher anzuschließen, um jeder monauralen Musikaufnahme eine hinreißende stereophone Wirkung zu verleihen.

GRAVESANER BLÄTTER

Nr. XXIII/XXIV

VI. Jahrgang

1962

INHALT

	Seite
Die drei Gravesaner Tagungen, 6.—13. August 1961	Robert Kolben 2
Die Oper im Film und im Fernsehen	Jack Bornoff 37
Mixtur-Trautonium und Studio-Technik	Oskar Sala 42
Betrachtungen über: Bewegung, Schwingung, Resonanz und Eigentön	W. Bürck 61
Vom Elektroencephalograph zur Musiktherapie	Imre Sponga 81
Zwei Anwendungsbeispiele des Informationswandlers	A. M. Springer 95
Das neue Verhältnis zwischen Musik und Mathematik	A. A. Moles 98
Musikalische Klänge von Digitalrechnern	M. V. Mathews, J. R. Pierce und N. Guttman 109
Über die Computer-Musik-Beispiele	N. Guttman 126
Mathematische Musikanalyse und Randomfolgen. Musik und Zufall	Wilhelm Fucks 132
Stochastische Musik	Iannis Xenakis 156
Wer ist Iannis Xenakis?	185
Das Klavier und seine Signale	Peter Michael Braun 187

Redaktion: Gravesano (Tessin) Schweiz

Herausgeber: Hermann Scherchen

Nachdruck verboten!

GRAVESANO REVIEW

No. XXIII/XXIV

Vol. VI

1962

CONTENTS

	Seite
The Three Gravesano Conventions, August 6—13, 1961	Robert Kolben 19
Opera in Film and Television	Jack Bornoff 40
Mixture-Trautonium and Studio Technique	Oskar Sala 53
Some Thoughts on Motion, Vibration and Resonance	W. Bürck 74
From the Electro-Encephalograph to Musical Therapy	Imre Sponga 90
Two Applications of the Information Changer	A. M. Springer 96
The New Relationship between Music and Mathematics	A. A. Moles 104
Musical Sounds from Digital Computers	M. V. Mathews, J. R. Pierce and N. Guttman 119
Notes on Computer Music Examples	N. Guttman 129
Musical Analysis by Mathematics. Random Sequences. Music and Accident	Wilhelm Fucks 146
Stochastic Music	Iannis Xenakis 169
Who is Iannis Xenakis?	186
The Piano and its Signals	Peter Michael Braun 190

Published by Experimental Studio Gravesano

Editor: Hermann Scherchen

Extracts may not be published without permission

Die drei Gravesaner Tagungen

6. — 13. August 1961

von

ROBERT KOLBEN

Der Zusammenhang des Programms (Gravesaner Blätter 22, auf den drei Umschlagseiten) war wohl für die meisten schwerverständlich. Trafen dennoch fast alle geladenen Teilnehmer ein, so ist das sicherlich der von Hermann Scherchen errungenen Bedeutung Gravesanos in der internationalen Kulturwelt zu verdanken, wie sie IMC-Sekretär Jack Bornoff (Paris) in seiner Eröffnungsansprache hervorhob. Waren die Teilnehmer einmal da, so wurden sie von den Vorträgen, Demonstrationen und Diskussionen dermaßen gefesselt, daß sie den den Tagungen zugrunde liegenden *Formgedanken* nicht mehr beachteten. Es soll deshalb dieser *Formgedanke* hier besonders hervorgehoben werden.

In seiner Eröffnungsansprache der ersten der drei Tagungen, PROBLEME DES FERNSEHENS, unterstrich Hermann Scherchen die Bedeutung dieses neuen, großen, lebendigen, intimen Mitteilungsmittels, das heute die Schallplatte, den Rundfunk und das Kino bedroht. Das Fernsehen vereint die Dimensionen RAUM, ZEIT und SINN durch die Übertragung von BILD, MUSIK und WORT. Neue *technische Mittel der Übertragung* wurden unter der Leitung von Dr. Walter Gerber (Generaldirektion PTT und ETH Bern) vorgetragen; Herr Clemens Brendel (Heidelberg) leitete die Diskussionen über die *Produktion des zu Übertragenden* anhand von Filmbeispielen.

Das von Dr. Sawazaki (Tokyo) entwickelte Toshiba-System der *Video-Tape-Aufzeichnung* wurde von Dipl.-Ing. A. M. Springer (Frankfurt) referiert, da Dr. Sawazaki leider nicht anwesend sein konnte. Der Unterschied zwischen diesem und dem heute schon weitverbreiteten Ampex-(RCA-) System ist hauptsächlich der, daß jedes Einzelbild in einer einzigen ununterbrochenen Spur gespeichert wird, die in einem Winkel von etwa 4° über ein 2 Zoll breites Band läuft und somit eine Länge von 672 mm erreicht, während das Ampex-System das Bild in 16 fast senkrecht zum Band liegende Spuren zerteilt. Um diese Aufzeichnung zu ermöglichen, wird das Band in einer Spirale um einen stillstehenden Zylinder geführt, in welchem der Magnetkopf mit der Bildfrequenz rotiert; die Bandreibung am Zylinder wird durch ein Druckluftpolster herabgesetzt. Die ununterbrochene Aufzeichnung soll die Bildwiedergabe verbessern, während das Band weniger strapaziert wird, da es nicht wie beim Ampex-Verfahren in der Längsrichtung gekrümmt werden muß. Allerdings dürfte das Cuttern Schwierigkeiten bereiten, doch soll man auch dieses Problem gelöst haben.

Anschließend beschrieb Herr Springer ein eigenes, zum Patent angemeldetes Verfahren, bei dem das Band nur in einer Linie einen rotierenden zylindrischen Kopf berührt, der einen spiralförmigen Spalt enthält. Die Bildaufzeichnung wäre hier ähnlich wie bei Ampexmaschinen, von denen es auch wiedergegeben werden kann, mit den Vorteilen, daß das Band weder gekrümmt, noch in einer Spirale geführt werden muß und daß der Kopf eine unverhältnismäßig längere Lebensdauer hat.

Dr. Gerber berichtete über die bisherige Entwicklung des *Farbfernsehens*. Von den informationstheoretischen Eigenschaften des Auges ausgehend, beschrieb er anhand vieler Farbdias das Sequenzverfahren, bei dem ein rotierender Farbfilter die drei Primärfarben Rot, Grün, Blau nacheinander zur Übertragung auswählt. Am Empfangsort werden diese Farben von einem ebensolchen vor dem Bildschirm durch Signal synchronlaufenden rotierenden Farbfilter wieder erzeugt, wobei das Auge sie addiert. Die Bildfrequenz, und damit die Bandbreite, muß die dreifache der monochromen Übertragung sein. Im Simultanverfahren des National Television System Committee hingegen werden die drei Farbsignale durch Spiegel, die eine Farbe reflektieren und andere durchlassen, von drei Kameras simultan erzeugt, wobei jede der Farben so ausgewählt ist, daß sie durch einen entsprechenden Farbraster in einer Spezialbildröhre mit drei Elektronenkanonen direkt erzeugt werden kann. Sendeseitig verwandeln Matrixeinheiten die drei Farbauszüge jedes Bildpunktes in ein Luminanzsignal und zwei Chrominanzsignale, während eine Kodierungseinheit die Chrominanzsignale dem Luminanzsignal auf einem Hilfsträger, der wenig zusätzliche Bandbreite braucht, überlagert. Ein normaler Schwarz-weiß-Empfänger empfängt diesen Hilfsträger überhaupt nicht und verarbeitet das empfangene Luminanzsignal als monochromes Bild. In einem Farbeempfänger wird wieder dekodiert und Matrixeinheiten stellen die drei Farbauszüge wieder her, während ein monochromes Signal als solches empfangen würde. Somit ist auch die Bedingung der Kompatibilität erfüllt. Dr. Gerber sprach auch über die Aussichten des Farbfernsehens, das in USA enorme Investitionen gekostet hat, aber erst langsam akzeptiert wird. In Europa hat man sich schon über einige Normen geeinigt, wird aber wohl erst eine Weiterentwicklung, vor allem der Bildröhre, abwarten. Dann aber wird sich das Farbfernsehen organisch in das bestehende einfügen.

In dem Vortrag *Vom akustischen Wandler zum Erdsatelliten* berichtete Herr Springer über eine spiralförmig gedruckte Schaltung: man hat eine höchst einfache Mikrofon- oder Telefonhörerkonstruktion, wenn zwei solche gedruckte Folien auf beiden Seiten eines Flachmagneten schwingen; durch einfaches Umpolen einer Folie erzielt man jede gewünschte Richtcharakteristik zwischen Kugel über Niere zur Acht. Mit drei solchen rechtwinklig zueinander liegenden Spiraldrukken, in denen ein Gleichstrom den Erdmagnetfluß schneidet, ließe sich ein Erdsatellit, der sich bei einer Entfer-

nung von 35 700 km über dem Äquator mit der Erdgeschwindigkeit drehen muß, so steuern, daß er nach dem Abschluß einen gewünschten Punkt erreicht und dann, von der Erde aus gesehen, stillsteht. Ausgerüstet mit Reflektorantennen könnte ein solcher Satellit Fernmeldungen übertragen, und drei solche Satelliten könnten z. B. ein Fernsehbild und andere Botschaften über die ganze Erde verbreiten.

Dr. H. Jensen (Deutsche Philips GmbH., Hamburg) sprach über *Fernsehbildprojektion*. Mit einer besonderen, leuchtstarken Bildröhre im Brennpunkt eines Hohlspiegels von etwa 40 cm Durchmesser kann ein Bild von etwa 4 m Länge auf eine Spezialwand projiziert werden. Durch Farbteilung im Sequenzverfahren oder simultan durch teildurchlässige Spiegel und drei Kameras und Projektoren ist Farbprojektion möglich. Solche Anlagen sind an einigen chirurgischen Kliniken für Lehrzwecke in Betrieb. Will man aber größere Bilder erzeugen, so reicht das Licht einer Bildröhre nicht mehr aus — Bild und Licht müssen von verschiedenen Quellen stammen. Dies ist beim „Eidophor“-Projektor der Fall: ein mit einer besonderen Ölschicht („Eidophorschicht“) bedeckter Hohlspiegel wird im Hochvakuum aus einer Elektronenkanone mit Elektronen bombardiert, die mittels einer elektrostatischen Modulationslinse das Fernsehsignal nebst Korrekturen formieren. Da die Ölschicht als Kondensator wirkt, deren Ladungen sich gegenseitig anziehen, entstehen an solchen Stellen, wo die Linse Elektronen bündelt, Vertiefungen; sie entsprechen den hellen Bildstellen. Das Licht wird von einer 1600-W-Xenonlampe so erzeugt, daß es von 5 oder 6 Spiegelstreifen („Schlierenoptik“) auf die Eidophorschicht reflektiert wird; die Spiegelstreifen sind so angeordnet, daß die Lampe sie als Kontinuum, die Ölschicht sie aber als durch Lücken getrennte Streifen sieht. Trifft das Licht nun auf eine glatte Stelle der Ölschicht, so wird es total in die Lampenoptik zurückreflektiert; eine Stelle, die durch konzentrierten Elektronenaufprall viele Vertiefungen erhalten hat, diffundiert das Licht so, daß es auch die Lücken zwischen den Spiegelstreifen trifft und durch eine Projektionsoptik auf eine Bildwand fällt. Obwohl man mit einer normalen Bildwand eine Länge von 7 m und mit einer Spezialwand sogar ein 10-m-Bild erzielen kann — was durchaus einem öffentlichen Kino entspricht —, betonte Dr. Jensen, daß es nicht die Absicht seiner Firma sei, den Eidophor-Projektor für kommerzielle, sondern nur für Lehrzwecke verwenden zu lassen.

Klingt dies zunächst beruhigend, so muß doch in Betracht gezogen werden, daß es nach Ablauf der Patente und ohne besondere künstliche Gesetze niemandem möglich sein wird, den kommerziellen Gebrauch der Fernsehgroßprojektion zu verhindern. Obwohl die öffentliche Projektion von Fernsehen im Kino zunächst nur die Wochenschau durch eine „Tagesschau“ ersetzen könnte, da die Bildqualität ohnehin nicht besser ist als die des heutigen Fernsehens mit seinen 625 Zeilen, ist eine verbesserte Auflösung nur

eine Frage des technischen Aufwandes, der auch die Fernsehprojektion von Kunstfilmen ermöglichen würde und eine Revolution in der Filmindustrie herbeiführen könnte, indem alle Kinos von einer zentralen Fernsehstelle aus, statt von Filmverleihgesellschaften versorgt werden. Die kulturelle und kommerzielle Zweckmäßigkeit einer solchen Entwicklung wurde nicht diskutiert, wohl aber der grundsätzliche Unterschied zwischen der *Produktion* von Spiel- und Fernsehfilmen, der sich aus der absoluten Bildgröße (trotz etwa gleichem Betrachtungswinkel von $7 \dots 8^\circ$) und den verschiedenen Adressen des Betrachters zu Hause und in der Öffentlichkeit ergibt. Das tägliche Fernsehprogramm im Kino vorzuführen, wäre also nicht nur deswegen verfehlt, weil jeder es auch zu Hause sehen kann, sondern aus künstlerischen Produktionsgründen, wie umgekehrt der Heimempfang von in der Öffentlichkeit zu projizierenden Spielfilmen die meisten Menschen aus ihnen wahrscheinlich unbewußt bleibenden Gründen unbefriedigt lassen würde.

Dieser Unterschied zwischen Spielfilm und Fernsehen wurde durch *Demonstrationen* herausgearbeitet. In einer Übertragung über Drahtfernsehen im Schweizerischen Fernsehstudio Lugano illustrierte Jack Bornoff seinen Vortrag *Die Oper in Film und Fernsehen* mit Teilen aus dem Eurovisionsfilm *Don Giovanni* des Bayerischen Rundfunks unter der musikalischen Leitung von Hermann Scherchen und anschließend andere Teile des Paul Czinner-Farbfilms derselben Oper in einer Salzburger Aufführung unter Furtwängler; für letzteren wurde ein öffentliches Lichtspieltheater in Lugano gemietet. Wie aber Herr Brendel, die anschließende Diskussion einleitend, bemerkte, waren diese beiden Filme in jeder anderen Hinsicht voneinander zu verschieden, um den wesentlichen Unterschied zwischen Film und Fernsehen erkennen zu lassen. Der Eurovisionfilm war ein Versuch, Millionen von Zuschauern die Oper ins Heim zu bringen, und bediente sich zu diesem Zweck aller verfügbaren technischen Mittel, wie z. B. des Dubelns, mit ihren ungeheueren Möglichkeiten. Dagegen war Czinner's Film anscheinend nichts als die Dokumentation einer wichtigen Begebenheit unter bewußter Ausschaltung aller technischen Mittel, die einer Bühnenaufführung fremd wären. Zwar gab es Nahaufnahmen (es gibt ja auch Operngläser), die aber in ihrer erbarmungslosen Enthüllung der Mühe des Singens auch bestürzten. Selbst ein zu beobachtendes Flimmern gleich Hitzewellen bei den Nahaufnahmen des Steinernen Gastes wurde von einem wohlwollenden Teilnehmer als „doch“ ein Effekt bezeichnet, war er auch nichts weiter als Korn im Film, das durch eine nachträgliche Nahaufnahme beim Kopieren herausvergrößert wurde. So wurde die als „Film gegen Fernsehen“ gedachte Diskussion leider bloß zu einer über „Technik gegen Nicht-Technik“ oder was man „darf“ und „nicht darf“, die nur die Gemüter unnötig erregte, ohne zu einem Ergebnis kommen zu können. Dieser Ausgang der Diskussion ist aber geradezu charakteristisch für den Fragenkomplex

der Oper in Film und Fernsehen und, wie Herr Bornoff sagte, fragt man sich — nach Betrachtung der verschiedenen nicht ganz befriedigenden Formen von Bühnenmusik im Film —, ob es nicht an der Zeit wäre, daß Film und Fernsehen eine neue musikalische Kunstform schaffen. Was den Film betrifft, kann man sich gut vorstellen, daß eine Art musikalisch untermaltes Epos den Weg zeigen könnte. Man denkt sofort an Eisensteins *Alexander Newskij*, ein Film, für den Prokofjew eine Partitur von Bedeutung schrieb, und aus welchem die erste Szene gezeigt wurde.

Zwei Aspekte der Fernsehproduktionstechnik wurden auch in Vorträgen behandelt. In Abwesenheit von Alfred Jetter (Bavaria, München) berichtete Dr. Gerber über das *Electronic-Cam-Verfahren*, das auf der Verwendung von 35-mm-Film-Kameras beruht, welche durch Parallelschaltung von Fernsehkameras der beschleunigten Aufnahmetechnik der Fernseh-Regieführung angepaßt werden. Höchste Bildqualität wird auf überraschend einfache Weise erzeugt, während die Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit alles auf diesem Gebiet übertrifft. Die Erfahrung des Jahres 1960 zeigte, daß für Filme von 90 Minuten Spiellänge eine Atelierzeit von nur 10 bis 12 Tagen benötigt wird. Robert Kolben (Frankfurt) sprach über *Hintergrundgestaltung durch Aufprojektion*, ein Verfahren, das im Ostberliner Betriebslaboratorium für Rundfunk und Fernsehen von E. Kosche entwickelt wurde, der natürlich zu diesem Zeitpunkt keine Ausreisebewilligung mehr erhielt und nicht selbst erscheinen konnte. Die Aufprojektion zeichnet sich gegenüber der Rückprojektion durch den über hundertmal besseren lichttechnischen Wirkungsgrad der benützten Reflexfolien im Vergleich zu dem der durchlässigen Bildwände aus. Dieser rein praktische Vorteil führt zu Erweiterung der Möglichkeiten von der Produktionsseite. Dadurch, daß Kamera und Hintergrundprojektor eine Einheit bilden, werden die auf den Hintergrund von den Darstellern geworfenen Schatten unsichtbar, während die Leuchtdichte des auf die Darsteller projizierten Hintergrundes über hundertmal kleiner ist als auf der Reflexfolie und von der Bildröhre nicht mehr aufgenommen wird. Interessante Trickmöglichkeiten ergeben sich außerdem dadurch, daß die Relativstellung von Kamera-Projektor und Reflexwand keinen Einfluß auf den aufgenommenen Hintergrund hat.

Eine Gruppe wortloser Filme aus Polen, Holland, Deutschland, Kanada, China und USA — darunter auch Teile aus Walt Disneys *Fantasia* — wurde gezeigt, um das Problem zu beleuchten: was tut, wo hilft, wo stört die Musik im Film? Besonders aufschlußreich war ein Prof. Scherchen spontan eingefallenes Experiment, Bild und Ton aus Abschnitten von *Fantasia* nochmals getrennt zu zeigen. Prof. Scherchen machte nachher selber darauf aufmerksam, daß Anwesende nur während der Tondarbietungen das Kino verlassen hatten. Das Auge fesselt anscheinend universeller als das Ohr, abgesehen davon, daß man eben nicht das Bild, aber Dukas' *Zauberlehrling* und Strawinsky's *Sacre* auf Platten in einer besseren Wiedergabe

(wenn auch nicht einer besseren Aufführung) so oft hören kann, wie man will — wird der Wert der Musik durch die Platte herabgesetzt? Trotzdem zeigte das Experiment zwei Tatsachen auf: (1) Die simultane Aufmerksamkeit für Auge und Ohr ist eine so schwierige Konzentrationsaufgabe, daß das kritische Denken sich nur beschränkt entfalten kann; Mängel an Bild oder Ton werden übersehen und nur das Gesamtprodukt grosso modo beurteilt (ist also Wagners *Gesamtkunstwerk* bloßer Sinnenrausch?). (2) Es wurde klar, daß auch für *Fantasia* nicht das Bild, sondern die Musik *grundlegend* ist, was ja mit allem, was wir über die Oper wissen, übereinstimmt — ja, es wurde die enorme Kluft, die das Schaffen Disneys von Dukas und Strawinsky trennt, nur allzu deutlich.

Ganz das Gegenteil dazu war ein Schweizer Film *Die Zukunft ist fällig*, von Günther Graewert und M.E. Houck, in dem keine normale Musik vorkommt, sondern zunächst nur Geräuscheffekte von Trompete und Schlagzeug — wesentlich und effektiv in die Geschichte eingebauter und passend gefundener Klang — sich steigend über Umwelt- und Fabrikgeräusch zu Sprachkontrapunkten, wodurch es gelingt, unter dem Vorwand der Geschichte eines Vertreters die Grundprobleme der heutigen Gesellschaft bloßzulegen. Der Drang, für „die Firma“ zu handeln, entlarvt sich als selbstsüchtiger Geltungszwang, die vermeintliche Lösung egoistischer Probleme durch das Verbrechen enthüllt sich in ihrer ganzen furchtbaren Sinnlosigkeit, die schreckliche Anonymität des Gottes von heute — der Wirtschaft — und daher ihre Ohnmacht angesichts menschlicher Probleme wird bewußt gemacht, und die Platitüden, mit denen sie das Bestehen selbst dieser Probleme verleugnen möchte (und mit denen sich der „Massenmensch“ vor sich selber verleugnen läßt), werden, ja, mit Sarkasmus weggeräumt. Als logisches Bindeglied der Handlung dient die Verantwortung, und ein neuer Klang begleitet jede Stufe des Erwachens: *Trompete* für die die Arbeit symbolisierenden Treppenhäuser und *Schlagzeug* für die ziellose, bedrückende Massenentspannung während der zu dem Verbrechen führenden falschen Gedankenschlüsse (Verantwortung der „Firma“ — sprich: sich selbst gegenüber); *Umweltgeräusche* für den unbewußten Trieb, die wirkliche Verantwortung für das Verbrechen abzuwälzen und die erst halb bewußte Feststellung, daß es Probleme geschaffen, statt gelöst hat; *Sprachkontrapunkte* für die Suche nach dem verantwortlichen Chef, und — da die Firma keinen verantwortlichen Chef hat — die *beruhigende Ansagerinstimme* der Freundin, die die brennende Frage „Wer ist verantwortlich“ dennoch nicht verdrängen kann. Mit der Erkenntnis endlich, „Ich bin's“, kommt die Erkenntnis jedes Zuschauers, daß er mitverantwortlich ist für alles, was in der Welt geschieht. Daß dieser, die heutigen Verhältnisse so scharf anklagender Film trotz — oder wegen — seiner Möglichkeiten, das Verantwortungsbewußtsein eines jeden zu entzünden und somit uns einer Lösung näherzubringen, vom Publikum zwar anerkannt, aber von der Presse (Wirtschaft) so angegriffen

wurde, daß er kaum an die Öffentlichkeit gelassen wird, liegt ganz im Wesen der Dinge. Umsomehr ist es zu begrüßen, daß Hermann Scherchen ihn — nicht nur wegen seiner technisch wegweisenden Möglichkeiten — präsentieren konnte.

Der Höhepunkt dieser Tagung war zweifellos der Fernsehfilm *Erwartung* von Schoenberg, Hermann Scherchens eigene Produktion. Die Orchesteraufnahme war schon vorhanden und im Sommer 1960 in Paris und 1959 in Gravesano hatte Helga Pilarczyk die *Erwartung* gesungen und gespielt, begleitet von der Bandaufnahme. Frau Pilarczyk machte eine neue synchronisierte Soloaufnahme besonders für die Wortverständlichkeit. Der Bildschnitt erforderte 27 Musiksnitte und dazu ein Bild immer mit einem bestimmten Ausgangspunkt. Die 11½ Minuten wurden in 5 Tagen im Gravesaner Garten gedreht und weisen eine Einheit und Genauigkeit, vor allem eine Übereinstimmung mit der Musik auf, die nur durch das Vorhandensein eines das Ganze umfassenden Geistes zustande kommen konnten und durch Arbeitsteilung noch nie erreicht worden sind.

Jeder Fortschritt ist befürchtet worden und hatte seine Gegner in den Menschen, die sich ihm nicht anpassen konnten. Das Fernsehen bedroht den Hörfunk, das Kino und die Schallplatte — aber der Hörfunk gewinnt wieder dadurch, daß er das Fernsehen betreibt, das Kino wird durch die Betriebserfahrungen des Fernsehens (Electronic Cam, Aufprojektion, magnetische Bildspeicherung und nicht zuletzt die Fernsehgroßprojektion) bereichert, und der Musik bietet das Fernsehen ein ungeheures Feld neuer Möglichkeiten. Daß Hermann Scherchen, als Musiker, besonders diesen letzten Punkt nicht nur erkannt hat, sondern in seinen Einzelheiten einer Auslese von Fachleuten bewußt machen konnte, ist das große Verdienst dieser ersten Gravesaner Tagung.

*

Dieses größte Gebiet der heutigen musikalischen Entwicklungsmöglichkeiten muß aber durch zwei weitere wesentliche Betrachtungen erweitert werden: über die Musik selbst, und über den Menschen unter ihrem Einfluß. In der Reihenfolge der Tagungen bildete die Betrachtung des musikhörenden Menschen das nächste Thema, und zwar in seiner letzten Konsequenz: was ist die Wirkung der Elemente der Musik — Vibration als Ton, Rhythmus, Intervall, Melodie, Harmonie, Klangfarbe — auf den Menschen? Wie Goethe die wertvollsten Beobachtungen für seine Pflanzenlehre an Abnormitäten und Mißbildungen machen konnte, da sie unter einseitiger Betonung einer besonderen Eigenschaft die Beobachtungen vereinfachten, so lernt man am meisten über die Wirkung der Musik im Falle des kranken Menschen. Daher das Thema der zweiten Tagung: HEILKUNDE UND MUSIK, in der die Beiträge eines Physikers über Vibration und eines Nervenarztes einander gegenübergestellt wurden.

Prof. W. Bürck (München) entwickelte das enorme Thema der *Vibration* historisch und an Beispielen aus der Umwelt von den unhörbaren bis zu den hörbaren Vibrationen und ihrer Wirkung auf die menschliche Physis. Schon die alten Griechen sahen im Bewegten das Lebendige und wußten die Musik zu Heilzwecken anzuwenden. Auch heute ist die Bewegung das Kennzeichen des Lebendigen, aber auf andere Art, denn die physikalischen, kausalen, zu berechnenden Vibrationen gehören mehr dem Toten an, als die aus selbständiger Tätigkeit entspringenden und daher mathematisch nicht erfassbaren lebendigen Bewegungen. Ständige Vibration gibt es als Molekularbewegungen im Mikrokosmos und — in gleicher Art — als Sternbewegung im Makrokosmos, und beide können die Grundlage der Zeitmessung bilden, wie sie uns beide im Leben beeinflussen: die Mikroschwingungen der Materie unseres Körpers und der Nervenvorgänge bleiben uns allerdings größtenteils verborgen, während der makrokosmische Rhythmus der Tages-, Monats- und Jahreszeiten uns bewußt beeinflusst. Besonders wichtig aber sind die nur etwa halb bewußten Rhythmen der Atmung und des Pulsschlags. Am Beispiel der Schaukel wurde die Resonanz erläutert, die einerseits zur Frequenzanalyse, andererseits zur menschlichen Stimme und zum physiologischen Ohr führte, das, wie die Musik selbst, an der Grenze der heutigen physikalischen und physiologischen Erkenntnis steht, wo die irrationale, weil nicht durch das Denken allein erfassbare, Ebene beginnt.

Damit gab Prof. Bürck das Wort an den Nervenarzt, Dr. H. R. Teirich (Freiburg/Br.) ab, der sofort über *Musiktherapie* mit Kunstmusik sprach. Etwa 1947 fingen amerikanische Ärzte an, Musik als „Atmosphäre“ zu verwenden. Patienten von Nervenkliniken hörten Konzerte, Diskussionen bekamen eine Geräuschkulisse, genau wie man auch dem gesunden Menschen zur Arbeit oder zum Einkauf eine Geräuschkulisse gibt, um seine Arbeits- oder Kauflust unbewußt zu steigern. Das ist aber noch keine Musiktherapie. Als solche kann man erst das bezeichnen, wo eine ganz bestimmte Musik oder ganz bestimmte Klänge bei einem Patienten zu einem ganz beabsichtigten Ziel führen sollen. Der einfachste Fall ist vielleicht der, wo ein schwer ansprechbarer Patient („Ich fürchte mich so vor der Menschen Wort, sie sprechen alles so deutlich aus . . .“ — Rilke) mit Musik so weit aufgelockert wird, bis er das Gespräch erlaubt — und zwar bekommt er zunächst die seiner Stimmung entsprechende Musik, um ihn dann allmählich daraus herauszuführen.

Angeregt durch ein musikalisches Erlebnis, das taube Menschen durch (auf andere Weise als mit dem Ohr empfangene) Vibrationen haben können, ließ sich Dr. Teirich einen Lautsprecher in eine Couch einbauen: der Patient, der darauf liegt, hört die Musik nicht nur mit den Ohren, sondern spürt sie im Sonnengeflecht und an den Fingerspitzen, wodurch die Wirkung der Musik gesteigert wird, z. T. auch durch die rein physiologischen

Erscheinungen der erhöhten Wärme und verbesserten Durchblutung. Auf dieser zunächst stummen Couch führt er mit seinen Patienten autogenes Training durch (eine Art Selbsthypnose zur Entspannung, etwa bei Nervosität, Angst, Schlafstörungen und anderen Spannungszuständen), dessen Wirkung anschließend durch eine geeignete Musik gesteigert wird. Eine solche Couch wurde im Experimentalstudio Hermann Scherchen speziell für diesen Vortrag nachgebaut, so daß Dr. Teirich mit einem freiwilligen Teilnehmer diese Art der Musiktherapie vorführen konnte.

Ein völlig anderes Gebiet im Rahmen „Heilkunde und Musik“ wurde durch den jungen Medizinstudenten Imre Sponga (Zürich) in seinem Vortrag *Vom Encephalograph zur Musiktherapie* erschlossen. Herr Sponga verglich zunächst die klassische Encephalographie mit einer Orchesteraufnahme mit vielen Mikrofonen (den Elektroden des EEG entsprechend), die an Meßinstrumente angeschlossen sind, wodurch nach einiger Übung festgestellt werden kann, welche Instrumente spielen und wo sie spielen, aber nicht, was sie spielen, während ein statisch frequenzanalysiertes EEG auch nicht anders aussieht als ein statisch frequenzanalysiertes Musikstück: es wurde in der Encephalographie noch nie das dynamische Gesamtgeschehen berücksichtigt, und zu diesem Zweck möchte Herr Sponga alle Elektrodenströme gemeinsam verstärken (wie bei einer monauralen Aufnahme) und sie einer Notenschreibmaschine zuführen, die eine Partitur des Menschen schreiben würde.

Für diese Schreibmaschine entwickelte Herr Sponga ein geeignetes Notensystem, das sich aber im Gegensatz zu manchen Vorschlägen der Modernisierung der Notation (z. B. Hába) an das gebräuchliche Fünfzeilensystem eng anlehnt — die Halbtröne werden bloß auf Zwischenzeilen geschrieben und zwar werden sie aus dem Gesamtgeschehen mittels enger Bandpaßfilter und einer elektromagnetischen oder -chemischen Schreibmechanik auf einen fahrenden Papierstreifen solange aufgeschrieben, wie jeder Ton eben dauert, wodurch jede komplizierte Tondauer- und Taktnotierung wegfällt. Diese menschliche „Organmusik“, die sich im Bereich zwischen etwa 1 . . . 30 Hz abspielt, kann, etwa 5 bis 6 Oktaven höher transponiert, auf Musikinstrumenten gespielt werden, so daß man den Menschen selbst hören kann.

Durch unmittelbare Transponierung (z. B. durch den Springer-Tonlagenregler oder -Informationswandler, den Herr Springer aus diesem Anlaß auch anschließend vorführte), könnte man dem Menschen sich selbst vorspielen, wobei die Schreibmaschine, die natürlich auch rein musikalische Anwendungen hätte, wegfällt. Herr Sponga glaubt, daß gewisse — vielleicht unbewußte — Gedanken und Gefühle sich in entsprechenden Tönen offenbaren würden, daß der Mensch allmählich lernen könnte, die Musik auf diese Gedanken und Gefühle zu beziehen, um zu einem gesteigerten Bewußtsein und einer besseren Selbsterkenntnis zu kommen. Insbesondere hofft Herr Sponga, Geisteskranke wie Schizophrenie etc. durch diese selbst-

erzeugte Musiktherapie „zurück zum Ich“ zu führen. Nach einiger Diskussion kamen die Anwesenden (unter denen sich keine Erkenntnistheoretiker befanden) zu dem Schluß, daß diese Gedanken des Herrn Sponga möglich und nach einigen Jahren der Forschung durchführbar wären und daß diese Forschung durchaus der Unterstützung wert sei.

Dr. Charles Hatay (Boston, Mass.) sprach über *Wetterfähigkeit* als einen Sinn, der in Urzeiten Lebensnotwendigkeit war, aber dessen störender Wirkung man jetzt entgegenarbeiten muß, und zwar durch negative Ionisation der Luft bei z. B. Föhnstimmung, zu welchem Zweck Dr. Hatay auf der Grundlage einer Taschenlampe ein Atmungsgerät patentiert und entwickelt hat. In wertvollen freien *Diskussionen* kamen andere Aspekte des Themas, wie sich der musikhörende Mensch verhält, zutage, besonders in bezug auf die Psychophysiologie des Gehörs. Man sprach über Experimente, die bei tiefen Frequenzen die Grenze zwischen dem Ton- und dem Vibrationsempfinden aufzeigen können; über die gehörmäßige Unterdrückung von Nebengeräusch und Nachhall; über den realen Einfluß von Infra- und Ultrafrequenzen auf ein Musikgeschehen; über die Eigenschaft der Intervalle, über 2000 Hz zu schrumpfen, und die Mel-Skala; über eine Kombination von Musik und Rauschen, die amerikanischen Zahnärzte als Anästhetikum verwenden (es wurde auch ein Versuch gemacht); und vieles mehr.

Natürlich haben alle diese Dinge mit dem Thema „Heilkunde und Musik“ zu tun, und der Musiker von heute muß sich auch alle diese Erkenntnisse aneignen, ist doch die Musik mehr als alle anderen Künste zugleich eine Wissenschaft. Umso bemerkenswerter ist es, daß in dem eigentlichen Vortrag über Musiktherapie (Dr. Teirich) die Musik selbst doch eine untergeordnete Rolle zu spielen scheint, dient sie doch bloß als Entspannungs-, Assoziationen bildendes und Gedanken verscheuchendes Mittel. Dies kommt auch aus den vielen gezeigten *gegenständlichen* Bildern hervor, die Dr. Teirichs Patienten und andere unter dem Einfluß der Musik gemalt haben, wie auch aus dem einführenden Experiment, in dem ein Assistent auf dem Tongenerator eine Luftschuttsirene „spielte“, um zu zeigen, daß die einstigen Luftschuttsirensitzenden nach 16 Jahren noch immer dieselbe Reaktion haben; dazu die Bemerkung: „Die Musik spricht uns unmittelbar an.“ Nun ist es aber doch so, daß die Musik gerade Musiker und andere geschulte Hörer nicht entspannt; diese hören vielmehr konzentriert zu und lassen keine Assoziationen willkürlich erscheinen, sondern erleben die Musik tatsächlich als die einzig mögliche nicht-begriffliche geistige Mitteilung. Daß sich die Musiktherapie, wie sie Dr. Teirich beschrieb, trotzdem so bewährt hat, weist eben darauf hin, daß die wenigsten Menschen die Musik so erleben, wie man sie vielleicht erleben sollte, was wiederum erklärt, daß man Menschen z. B. Bach vorspielen kann, ohne ihnen die dazu erforderliche Vorbildung zu geben — was sie dabei erleben, wenn sie Bach über sich ergehen lassen, ist freilich nicht des Musikers Erlebnis, wenn er der Musik

lauscht. Kann es sich wirklich um einen Mißbrauch der Musik handeln? Mindestens 90 % der Konzertbesucher lassen die Musik auch so über sich ergehen, was ihren Konzertbesuch nie zum Mißbrauch der Musik machen kann. Allerdings wird durch solche Erwägungen die Grenze zwischen Konzert und Musiktherapie mit Kunstmusik verwischt.

So findet man auch Ansichten über das große Gebiet der Musiktherapie, die andere sind. Dr. Karl König schreibt als Dr. Teirichs Mitarbeiter in dessen Buch „Musik in der Medizin“ (C. Fischer, Stuttgart 1958): „Es ist das (Konzerte, Chorsingen und Orchester in Kliniken) sowenig Musiktherapie, wie eine gute oder schlechte *Mahlzeit* ein therapeutisches Geschehen genannt werden kann. . . . Die *Arznei* der Musik ist davon grundsätzlich verschieden. Dazu aber müssen zunächst die Urelemente der Musik erfaßt werden.“ Diese drei Urelemente werden getrennt behandelt in der Wirkung der *Melodie*, der *Harmonie* und des *Rhythmus*, wodurch Dr. König beachtenswerte Erfolge in seinen Heimen für pathologische Kinder in Schottland erzielt hat. Z. B. studierte Dr. König die verschiedenen Intervallerlebnisse, und um ein Gespräch in dieser Richtung auszulösen, wurde Dr. Teirich eine entsprechende Frage gestellt, die wiederum Prof. Scherchen die Anregung gab, ein Band der Uraufführung von Luigi Nonos *Intolleranza* vorzuführen, da hier, laut Nono, die Hauptdarsteller bei bewußt fehlendem Rhythmus nur durch Intervalle charakterisiert sein sollen. Wenn das entsprechende Erlebnis bei den meisten Anwesenden beim ersten Hören, wenn überhaupt, auch nur sehr schwach auftrat, so darf das keinesfalls als ein Beweis gegen die Möglichkeit der reinen Intervallwirkung angesehen werden.

Damit ist auch die Brücke geschlagen zur Betrachtung der Musik heute selbst. Es ist ganz klar, daß in einer Zeit, in der es solche Erkenntnisse, die alle unmittelbar mit der Musik zu tun haben, gibt, eine andere Musik geschaffen wird, als es noch bis zur Jahrhundertwende möglich war. Die erste Folge der fortschreitenden Wissenschaft und der damit in Wechselwirkung stehenden Erhöhung des Bewußtseins ist notwendigerweise das Ausbleiben der bestenfalls teilbewußten Inspiration — teilbewußt, weil der Mensch sich zwar für sie vorbereiten muß, sie aber doch ohne sein bewußtes Zutun zu ihm kommt. Inspirationen, die es heute noch gibt, wirken verdächtig und — sofern sie nicht aus bewußt erarbeiteter Selbsterkenntnis und Menschenentwicklung stammen — entarten sie zu Zerrbildern des Menschen. Was tut der Mensch, der sich heute als schöpferischer Musiker berufen fühlt, den es auch heute geben muß, um den weit gesteigerten Bedarf zu decken? *Bewußt* kann der Mensch nur *denken*. Der Musiker greift also zur *Mathematik*, als zur einzigen, dem heutigen Denken zugänglichen Wahrheit, mit derselben Selbstverständlichkeit wie der Wissenschaftler und drückt damit ebenso wie dieser den Geist seiner Zeit aus. Damit ist aber gleichzeitig gesagt, daß der Mensch, den sein bis jetzt erreichtes Bewußtsein

daran hindert, sich zur Inspiration emporheben zu lassen, der aber anderseits noch nicht das Bewußtsein erreicht hat, sich zu ihr selbst emporzuheben, die Kunst zu seinem eigenen vorläufigen Niveau *herabzieht*.

Und doch gibt es heute Musiken, die dieser Tatsache zunächst zu widersprechen scheinen. Eine Tagung, die lebendig sein will, darf sich nicht damit begnügen, über MUSIK UND MATHEMATIK zu theoretisieren, sondern muß sie auch vorführen. So durfte die Tagung den Komponisten *Yannis Xenakis* (Paris) nicht nur in der Theorie, sondern auch in der Praxis erleben, und man hörte an drei Tagen seine gesamten sechs Werke auf Band. Über seine Kompositionsmethoden hat er schon vielfach in den *Gravesaner Blättern* geschrieben (s. Hefte 1, 6, 11/12 und 18 ff.), also soll über seine beiden Vorträge über *stochastische Musik* hier nur zusammenfassend darauf hingewiesen werden, daß er, im Gegensatz zur totalen Reihe, vielleicht aus Reaktion gegen sie, seiner Musik die kleinstmögliche Prädeterniiertheit, also die größte Freiheit geben will. Wie Schoenberg die Freiheit der Tonart durch die Bindung an die Zwölftonreihe erzielte, so macht Xenakis die Musik frei, indem er sie an die Wahrscheinlichkeitstheorie bindet: sie soll so zufällig wie nur möglich ablaufen. Da aber der konsequenteste Zufall nichts anderes als weißes Rauschen ergeben würde (darüber wird noch zu sprechen sein), muß hier doch der Mensch eingreifen, um auch diesem Zufall seine Grenzen zu weisen. Hier ist das Moment der menschlichen Willkür, das Überschreiten der Grenzen der Logik, das Schöpferische, nicht durch den Zufall Bestimmte, auch in dieser mathematischen Musik, das der Frage jede Berechtigung nimmt, wie die verschiedenen Ausgangswerte für die Formeln gefunden werden, wie der Komponist weiß, welche Formel aus einigen möglichen er in einem bestimmten Falle anzuwenden hat, und wo seine — übrigens immer visuell dargestellte — Gesamtform jedes der sechs Werke herkommt. Zeichentisch und Rechenschieber sind die kompliziertesten Geräte, die Xenakis verwendet. Das zwingt ihn, jeden Schritt des Komponierens selbst zu überwachen, ermöglicht aber Eingriffe, die durch höhere Gesichtspunkte als die der mathematischen Gesetze bestimmt sind. So spricht der Mensch wieder durch das Werk, und man konnte erleben, wie das Werk *trotz* der ihm zugrundeliegenden Mathematik den Hörer nicht nur anspricht, sondern packt. Während es zur Genüge mathematische Musik gibt, die den Hörer kalt läßt (auch davon gab es andere Beispiele), gelingt es Xenakis, durch den scheinbaren Widerspruch seiner künstlerischen Eingriffe das Weben des Kosmos hörbar zu machen. Man hört die „Harmonie der Welt“. Heute ist sie natürlich eine andere als die Harmonie der Welt, die Bach hören durfte und für uns niederschrieb, in der der Mensch noch das Maß aller Dinge war. Nun darf man von einem Werk nicht etwas erwarten, für das es nicht geschaffen ist, und dafür, daß diese Musik im Gegensatz zu den meisten erzielt, was sie erzielen soll — die Wahrscheinlichkeitsmathematik nicht nur hörbar zu machen,

sondern erleben zu lassen — dafür muß Herrn Xenakis volle Anerkennung gezollt werden. Was aber nicht darüber hinwegtäuschen darf, daß seine Musik der vorhin verdeutlichten Tatsache, daß die bewußte Welt die Kunst zu ihrem vorläufigen Niveau herabzieht, nicht widerspricht, sondern sie beweist.

Anders ist die Methode des Komponisten *Michel Philippot* (Paris), der die grundlegenden mathematischen Verhältnisse in elektrische Schaltungen umsetzt, die ihm die rechnerische Mühe des Komponierens abnehmen, dafür der Komposition ein weiteres menschliches Element entziehen. Daß dieses Element *doch* einen Unterschied macht, merkt man erst, wenn man mitten in einer Kalkulation, bewegt durch ein Gefühl, das man hat (und das einen umfassenden und technischen Überblick über das Gesamtwerk und dessen Wert voraussetzt), etwas ändert, gibt es doch auch z. B. bei den „Klassikern“ der Atonalität — Schoenberg, Berg und Webern — Stellen, die aus musikalischen Gründen von der Reihe abweichen. Wird diese Möglichkeit durch Kalkulationsautomatik vernichtet, so bleibt immerhin das Aufstellen des „Programms“ und die Einrichtung der Rechenschaltung der Originalität des Komponisten überlassen, im Gegensatz noch zur totalen Reihenkomposition oder der elektrisch erzeugten, „algorithmischen“ Form derselben. Doch drängt das Physikalische und Physische das Geistige immer mehr zurück — man vergleiche dazu das letzte Werk Johann Sebastian Bachs, das Choralvorspiel „Vor deinen Thron“, das Hermann Scherchen in seinem Buch „Vom Wesen der Musik“ als das vollkommene Kunstwerk bezeichnet. Bach diktierte es auf dem Sterbebett, als das Physische für ihn schon keine Bedeutung mehr hatte. Dieses vierstimmige Choralvorspiel hatte man bei der Eröffnungsfeier im Gravesaner Freilichttheater in einer Vierspuraufnahme von den vier Himmelsrichtungen gehört. Nun kam in der Diskussion der Wunsch zum Ausdruck, man möchte eine Maschine haben, die die Einfälle des Komponisten nicht nur verarbeitet, sondern sie auch selber erzeugt. Ein Maschinenwunder. Die daraus entstehende Musik wäre vollkommener als die eines Komponisten, wie ein toter Gegenstand — auf seiner Ebene — vollkommener sein kann als ein Lebewesen. Doch drängte sich dann die Frage auf, worin sich der Komponist dann noch offenbarte: die persönliche Arbeit — sie wird in der Durchführung hörbar — ist ja geradezu das Kennzeichen der klassischen Musik (man erinnere sich an ein Wort Elgars: „Komponieren ist 1 % Inspiration und 99 % Transpiration.“). Wenn man aber den Fortschritt in der Musik wie in der Technik in dem Auffinden neuer Methoden sieht, dann ist die Maschinenkomposition allerdings ein Fortschritt, den Joseph Schillinger schon 1932 durch seine Theorie der mathematischen Grundlage der Künste einleitete.

Das Wesen nicht nur der musikalischen Komposition, sondern auch der bildenden Künste liegt, nach Schillinger, in der Permutation, wie aus einem Aufsatz von Myron Schaeffer, *The Schillinger System of Musical Com-*

position, der verlesen wurde, hervorging. Durch die Realisierung *aller* möglichen Permutationen wollte Schillinger die Musik unendlich bereichern, und durch das Herausarbeiten der allgemeinsten Gesetze „verbesserte“ er sogar ein bekanntes Thema von Beethoven. Einige interessante Bandbeispiele, u. a. von Gershwin, der Schillinger viel zu verdanken hatte, ergänzten den Aufsatz.

Die eigentliche Computer-Komposition, die vornehmlich in Amerika entwickelt worden ist, geht noch einen Schritt weiter. Da der Computer die Musik nicht nur nach bestimmten, vom Komponisten vorgeschriebenen Gesetzen (dem „Programm“) errechnet, die man dann spielen läßt, sondern die Klänge selbst erzeugt und auf Band aufnimmt, geht man hier grundsätzlich schon von der gewünschten Wellenform aus, wie Newman Guttman (Bell Telephone Laboratories) in seinem Vortrag, *Musical Sounds from Digital Computers*, berichtete. Die Grenzen in dieser Hinsicht werden nicht vom Computer gesteckt, sondern dadurch, daß man noch nicht genügend Erfahrung hat zu wissen, wie eine bestimmte Wellenform „klingt“ — eine Frage der Klassifizierung und der Gehörpsychologie, über die man durch den Computer viel gelernt hat. Obwohl Herr Guttman einige interessante Beispiele vorführte (z. B. zwei verschiedene Klangfarben in *einer* Wellenform, oder ein Klang, der zwei mögliche Tonhöhen hat, je nachdem, wie man zuhört), betonte er, daß die Erwartung auf völlig neuartige Klangfarben im allgemeinen enttäuscht wurde. In der Praxis wählt der Komponist eine Kombination der im Computergedächtnis enthaltenen periodischen oder nichtperiodischen Wellenformen, verbindet damit eine Frequenz, eine Dauer und einen dynamischen Verlauf, und kombiniert solche Töne in beliebigem Zusammenklang und in zeitlicher Reihenfolge auf Lochkarten, die der Computer dann verarbeitet. Die neuen Möglichkeiten boten neue Erfahrungen, aber auch unerwartete Probleme, da Klangfarbe, Lautheit, Tonhöhe und Dauer keineswegs in einfachen arithmetischen Verhältnissen mit den physikalischen Begriffen der Wellenform, Amplitude, Frequenz und Zeit stehen.

Die *Komplexität*, die hier Tat wird, wurde in einem Vortrag von Dr. A. Moles (Paris) zum informationstheoretischen Begriff. Mit diesem Vortrag hatte Dr. Moles die mathematisch-musikalische Tagung eröffnet. Dr. Moles entwickelte die Notwendigkeit der Komplexität in der heutigen Kunst durch die wachsende Komplexität der Umwelt, also der übrigen Wahrnehmungen des Menschen, die durch immer kompliziertere technische Mittel in Wechselwirkung sowohl zum Ausdruck kommt, wie hervorgebracht wird. Diese historische Entwicklung der Komplexität illustrierte er durch eine Reihe von Bandbeispielen, die sich vom reinen Ton mit wachsender Komplexität über Tonkombinationen, einfache, klassische, moderne und Neue Musik bis zum weißen Rauschen entwickelten — wobei der buchstäblich unermessliche Sprung in der Komplexität zwischen dem vierten

(elektronischen) Beispiel und dem fünften, in dem man erstmals einen *Menschen* durch ein Englischhorn in einer chromatischen Tonleiter hört, die aber gegen Ende ein nicht ausgedachtes, sondern rein gefühlsmäßig musikalisches Ritardando hat, das so „komplex“ ist, daß es wie alles Lebendige nicht mehr unter die mathematischen Begriffe fällt, von niemand beachtet wurde. Die Tatsache aber, daß das weiße Rauschen zwar physikalisch komplex ist — was Dr. Moles durch ein Sonagramm für jedes Beispiel belegte —, aber durch einen akustischen Integrierungsprozeß (der z. B. im Springer-Zeitregler ausgenutzt wird und in seinem optischen Gegenbeispiel die Integrierung aufeinanderfolgender Film- und Fernsehbilder ermöglicht) psychologisch wieder einfach wirkt, löste eine lebhafte Diskussion aus, in der die Berechtigung selbst des neuen Begriffes in Frage gestellt wurde, obwohl Dr. Moles — allerdings nicht ohne die Hilfe von Prof. Wilhelm Fucks (Aachen) — diese Zweifel beseitigen konnte.

Es kam in der Diskussion auch zum Ausdruck, daß das eigentliche Mittel zur Meisterung der (oder dieser Art von) Komplexität der Computer ist, der z. B. von einer Reihe komplizierter Vorgänge (z. B. Brahms-symphonien) das definieren kann, was sie gemeinsam haben; dieses Charakteristische drückt der Computer in diesem Beispiel als „Brahmsfaktor“ aus. Im Vergleich mit einem beliebigen Musikwerk kann der Computer die Wahrscheinlichkeit, ob es von Brahms ist oder nicht, angeben. Auch soll der Computer einen Stil von z. B. Mozart oder Schubert konsequent zu Ende führen können, so daß man erfährt, was geworden wäre, wenn diese zwei Meister länger gelebt hätten. Dabei schien man allerdings zu verkennen, daß ihre Erdenleben ebenso in sich abgeschlossene Kunstwerke waren wie etwa die von Bach oder Beethoven; daß es die Nähe des Todes ist, die dem d-moll-Requiem und dem C-dur-Quintett genau wie dem Choralvorspiel „Vor deinen Thron“ und den letzten Quartetten die Größe verleiht, und daß es dann unter uns kein „weiter“ mehr gibt. Was ein Computer, der nicht sterben kann, da er schon tot ist, darüber aussagen kann, wäre ebenso uninteressant wie etwa eine von ihm ausgeführte Vollendung des 19. Kontrapunktes der Kunst der Fuge, die, so betrachtet, ebenso wenig unvollendet ist wie die „Unvollendete“ Symphonie. Die von Dr. Hatay erwähnten „produktiven“ Krankheiten (etwa ein Gehirntumor an der richtigen Stelle — im Zusammenhang mit Mozarts und Schuberts Krankheitsgeschichten) sind ja nicht Ursache, sondern Ausdruck solcher Erscheinungen.

Hier konnten sich die anwesenden „Techniker“ und „Künstler“ nicht mehr einigen, und da die Techniker ihr wohl begrenztes Gebiet gut beherrschten und in Begriffen ausdrücken konnten, forderte Prof. Scherchen die Künstler auf, ihren Begriff der Kunst zu definieren, um der Diskussion eine weitere Verständigungsbasis zu verschaffen. Dieser Aufforderung, die vornehmlich an Dr. Willi Reich gerichtet war, kam zunächst Prof. Fucks

nach, der erklärte, daß die Menschheit am Anfang der Geschichte von den Göttern geleitet wurde, dann kam ein 2000jähriger Versuch, den kausalen Zusammenhang und das Wesen oder Sein der Dinge zu erkennen, der schließlich zur Agnostik, zur Feststellung führte, daß man das nicht kann. Erst die Entscheidung, vom Wesentlichen abzusehen, die Frage also von dem „Was?“ und „Warum?“ auf das „Wie?“ abzulenkten, hat die Möglichkeit der modernen Wissenschaft und Technik geschaffen, womit sich, wissenschaftlich betrachtet, die Frage nach der Definition der Kunst in die der formalen Struktur des Kunstwerks auflöst. Da dies aber den Verfasser eines Buches „Vom Wesen der Musik“ nicht befriedigen konnte, änderte er seine Aufforderung in die, daß Vertreter der Wissenschaft wie der Kunst erläutern sollten, wie jeder nach seiner Methode zeigen kann, daß Schubert der Verfasser der C-dur-Symphonie, die 1847, 19 Jahre nach seinem Tod, und der h-moll-Symphonie, die erst 1865 entdeckt wurde, sei.

Das führte direkt zu dem Vortrag von Prof. Fucks, *Mathematische Musikanalyse über fünf Jahrhunderte*, die gerade die Untersuchung der Entwicklung der Formalstruktur der Musikwerke zum Ziel hat, wobei sie vom Wesen des Musikalischen bewußt absieht. Ihre Methode ist die Untersuchung der Elementenmengen, -merkmale und -wirkungen, wie z. B. die Häufigkeitsverteilung von Tonhöhen und -dauern, und als erstes Ergebnis wurde gezeigt, wie die Tonhöhestreuung von 1500 bis heute ständig gewachsen ist und sich auch in Stilgruppen zusammenfassen läßt. Man könnte demnach erwarten, daß die Streuung in der nächsten Zukunft auch weiterhin ansteigen wird. Die Untersuchung der Häufigkeitsverteilung der Simultan- oder Konsekutivintervalle ergab Interessantes erst, als Prof. Fucks — durch die Erfahrung eines eigenen stochastischen Kompositionsversuchs bereichert — von der tonumfangabhängigen Streuung absah und die „Kurtosis“ κ (die bei einer Gauß-Verteilung stets den Wert 3 hat) errechnete. Der Absolutwert $\kappa - 3$ steigt ab 1530 bis heute wieder nach Stilgruppen vom Wert 2,1 bis 12,1. Hätte man diese Untersuchung vor 50 Jahren gemacht und demnach eine weitere positive Entwicklung der Kurtosis vorausgesagt, so hätte man sich geirrt, denn die serielle Musik bricht plötzlich mit dem Gang der Kurtosis durch die vier Jahrhunderte. Dem Wert der gegenwärtigen nicht-seriellen Musik (12,1) steht der Wert der Neuen Musik (3,5) gegenüber. Auch ergab die Korrelation der Höhe oder Dauer eines Tons auf die Höhe oder Dauer der folgenden bei Bach, Beethoven und Webern interessante Ergebnisse: Webern korreliert so gut wie überhaupt nicht, aber Beethoven viel mehr als Bach. Zum Schluß stellte Prof. Fucks seine Arbeit mitten in die Weltentwicklung hinein, indem er wieder an den ursprünglichen Götterglauben erinnerte, der alles Geschehen als *Absicht* eines höheren Wesens interpretierte, der sich dann zum Versuch, die kausalen Zusammenhänge zu erkennen, entwickelte, so daß die Absicht zur *Notwendigkeit* wurde. Heute glaubt man nicht mehr, daß

man alle Ursachen auch mit einer noch so entwickelten und verfeinerten Wissenschaft jemals erkennen könnte: man ist vielmehr zu dem Schluß gekommen, daß da oft gar keine solchen Ursachen vorhanden sind, und daß das Geschehen in der Welt doch in ganz unvorstellbarem Ausmaß durch den Zufall mitbestimmt ist infolge des Umstandes, daß schon die atomaren Bausteine der Materie überall im Weltall und zu allen Zeiten in einer regellosen thermischen Bewegung begriffen sind. Der Zufall in der Kunst ist ein ebenso selbstverständlicher Ausdruck unserer Zeit wie die statistische Analyse. Das gibt der Methode die Siegeskraft über die Stimmen, die behaupten, das habe nichts mit „Kunst“ zu tun, denn nicht nur sieht sie, wie gesagt, vom Wesen der Dinge — also auch der Kunst — bewußt ab, sondern wird als Ausdruck unserer Zeit in den nächsten 25 bis 30 Jahren in alle menschliche Bereiche mit Erfolg eindringen.

Anscheinend ist heute alles zufällig, nur die bewußte Verwendung des Zufalls in der Kunst mag — in Prof. Fucks' Worten — „durchaus als begründet, gerechtfertigt, unumgänglich, notwendig, möglicherweise als zwangsläufig verstanden werden.“

Dr. Reich sah gerne ein, daß man unter der Voraussetzung einer genügend umfangreichen Materialanalyse Schubert als den Verfasser der beiden genannten Werke erkennen könnte. Es geht jedoch auch mittels stilistischer Betrachtungen, wobei man Zeitstil, Werkstil und Personalstil voneinander unterscheiden muß. Bei der h-moll-Symphonie ist zuerst die Tonart entscheidend: die Bedeutung, die diese Tonart für Schubert hatte, kann man aus seinen vielen Liedern erkennen. Diese Erkenntnisse des Stils werden durch Biographisches ergänzt: man weiß, daß Schuberts Mutter ein Jahr vorher gestorben war, der tyrannische Vater hatte freie Bahn, ihn aus dem Haus zu vertreiben, Schubert erfährt von seiner tödlichen Krankheit und erzählt auch von einem bedeutsamen Traumerlebnis. Auf ebensolcher Grundlage beruht die Erkenntnis, warum die Symphonie unvollendet blieb, und auch, daß sie in wahren Sinne gar nicht unvollendet ist. Die C-dur-Symphonie hingegen ist der Ausdruck einer neuen Freiheit, die Schubert nach Beethovens Tod erlebte, denn Beethovens Größe in unmittelbarer Nähe war für ihn ein schweres Problem gewesen. Diese Freiheit drückt sich auch in anderen Werken derselben Periode aus, wie in den letzten Liedern, den drei letzten Klaviersonaten und dem Streichquintett, ebenfalls in C-dur. Es ist dies die bewährte experimentalphysiologische Methode, die ein Protokoll über den Komponisten nach sozialen, persönlichen und ähnlichen Gesichtspunkten aufstellt.

Daß in den Worten Willi Reichs der Mensch in diesen Gesprächen endlich wieder erschienen war, wurde warm begrüßt von Hermann Scherchen, der zu allerletzt an die höhere Menschlichkeit erinnerte, die in den vier Stimmen von Bachs letztem Werk waltet.

The Three Gravesano Conventions

August 6 — 13, 1961

by

ROBERT KOLBEN

Not many of those who saw the programme (Gravesano Review 22, on the three pages of the cover) will have been aware that this was not just a random collection of up-to-date subjects. The fact that nearly all the invited guests nevertheless arrived is undoubtedly due to the international importance to which Hermann Scherchen has raised Gravesano and which IMC Executive Secretary Jack Bornoff emphasized in his opening address. Once in Gravesano, the participants were so absorbed by the lectures, demonstrations and discussions that they forgot all about the basic thought uniting the three conventions like movements of a great symphony. Some emphasis on this basic thought here may therefore be of special interest, even to those who were privileged to attend the conventions themselves.

Opening the first of the three conventions, PROBLEMS OF TELEVISION, Hermann Scherchen underlined the importance of this great, new, live, intimate medium of communication which is now threatening audio, radio and the film industry. Television unites the dimensions of SPACE, TIME and MEANING by the transmission of MUSIC, IMAGE and SPEECH. New *technical facilities* were presented under the chairmanship of Dr. Walter Gerber (General Post Office Administration and Federal Technical College, Berne) while Mr. Clemens Brendel (Heidelberg) led the discussions on *production* arising from the examples of films actually shown.

The Japanese Toshiba System of *video tape recording* was elucidated in the absence of its inventor, Dr. Sawazaki (Tokyo), by Mr. A. M. Springer (Frankfurt). This system differs from the already widely used Ampex (RCA) system in that each image is stored in a single uninterrupted track running at an angle of about 4° almost parallel to the 2 inch tape, so as to reach a length of 672 mm, while the Ampex machines divide each image into 16 tracks running almost at right angles across the tape. This necessitates guiding the tape helically about a stationary cylinder in which the head revolves at image frequency; friction is reduced by a compressed air cushion. Uninterrupted recording of each image is alleged to result in improved reproduction, while the tape is subjected to less strain and wear because the machine does not curve it longitudinally as the Ampex machines

do. Editing is likely to cause some difficulty, although this problem is said to have been overcome also.

Mr. Springer went on to describe a method of his own (patents pending) in which the tape touches a revolving cylindrical head only along a single line of contact. The head has a helical gap making one turn along the head's width, so that the track recorded will be similar to that of Ampex machines, by which it can also be reproduced. The advantages of this method are that the tape need be neither curved nor guided along a spiral and that the head will have a life many times longer than that of the two other systems.

Dr. Gerber reported on the development of *colour television* up to the present time. Taking the information theory of visual perception as his starting point, he first of all showed a number of colour slides to explain the sequence method in which a revolving coloured filter selects each of the three primary colours red, green and blue for transmission in turn. The receiver produces the same colours again by a similar filter revolving in front of the screen synchronously with the first. Colour perception by the eye is additive. The image frequency, and therefore the bandwidth, must be three times that of monochromatic transmission. In contrast to this, the National Television System Committee's simultaneous method uses special mirrors which reflect one colour and transmit the rest, to produce the three colour signals simultaneously by three cameras. The colours are chosen so as to be reproduceable in a picture tube with a specially treated screen by three electron guns. At the transmitter end, matrix units turn the three colour signals into a luminance and two chrominance signals, which latter are used to modulate an auxiliary carrier superimposed on the former, resulting in only a very small increase of bandwidth. An ordinary black-and-white receiver does not receive this auxiliary carrier at all and reproduces the luminance signal, which is all it receives, as quite a normal monochromatic image. A colour receiver decodes the auxiliary carrier to give the chrominance signals and matrix units produce the three colour signals, while a monochromatic signal, containing no chrominance components, is reproduced as a monochromatic picture. The condition of compatibility is therefore fulfilled. Dr. Gerber also spoke on the prospects of colour TV in Europe; American companies have already spent a fortune developing it, but the American public is only gradually coming to accept it, while the Europeans have at least come to terms about some of the standards, although they are likely to await further developments, especially of the picture tube. When it comes to the point, however, colour TV will grow organically into the present state of things without causing any upheavals.

In a lecture entitled *From Acoustic Transducers to Artificial Satellites*, Mr. Springer described his most recent invention, a spiral circuit printed

on a thin foil of plastic which can be loosely suspended close to a disk magnet to give an excellent telephone receiver or microphone with practically no resonance. Using two such diaphragms either side of the magnet, the directional sensitivity can be easily changed by changing the polarity of one of them or switching it off altogether. An artificial satellite could be equipped with three such spiral circuits several feet in diameter facing the three Cartesian axes; if this satellite is now launched so as to reach a distance of about 22 000 miles from the earth's surface (at this distance it will revolve about the earth at the same speed as the earth about its own axis, i. e. once in 24 hours), the earth's magnetic field will react with a suitable control current flowing in the spirals in such a way as to make it reach an exactly predetermined position over the equator and then make it stay there as fixed point in the sky. Reflecting aerials would turn such a satellite into a wonderful means of inter-continental radio transmission of a quality to surpass anything known today. Three satellites would suffice for a worldwide network, which could be also used for television transmission.

Dr. H. Jensen (German Philips Ltd., Hamburg) spoke on *television projection*. A picture tube manufactured especially for brightness and situated at the focus of a concave mirror about 16 in. in diameter can project an image which is viewable on a special screen up to a size of about 13 ft. in length. Colour projection is achieved by colour selection as in the sequence method or simultaneously through selecting mirrors and three cameras and projectors, and such units are in actual use at a number of university clinics for operation demonstration purposes. Still larger projected images can only be obtained by using separate image and light sources, as the light produced by even a special picture tube will no longer be sufficient. This problem has been solved in the "Eidophor" projector in the following way: a concave mirror covered by an extremely even film of special oil (the "Eidophor film") is bombarded in a high vacuum by electrons from an electron gun. The electrons pass an electrostatic modulation lens to make them form the TV image and corrections. As the oil film acts as a condenser whose opposite charges attract each other, concentrated electron bombardment of a particular point will result in a tiny depression in the surface of the film. This corresponds to the highlights of the image. The light source is a 1600 W xenon lamp, and the light is reflected onto the Eidophor film by 5 or 6 mirror slats mounted in such a way that they appear continuous when viewed from the lamp but that the gaps between them can be seen from the oil film. A ray of light falling on a smooth part of the film is therefore totally reflected back into the lamp, while a ray falling on a part of the film which has been roughened by concentrated electron bombardment becomes diffused so that part of it finds its way through the gaps between the mirror slats

and through a projecting lens onto a screen. A normal screen of more than 15 by 20 feet can be covered by this projector, while there are special screens giving an image of more than 20 by 30 feet, which would be quite satisfactory for a normal public cinema, although Dr. Jensen emphasized that his Company intended to market the Eidophor projector only for educational and not for commercial purposes.

Reassuring though this may be for the present, the fact remains that once the patents have expired it will hardly be possible to prevent commercial exploitation of large image projected TV unless special artificial laws are enacted. Although public screening of TV would only be practicable right now for the newsreel (with a daily instead of a weekly change of programme) as its picture quality is no better than that of present day TV with its 625 lines anyway, it is only a question of the degree and not of the kind of technical trouble and expense to improve the definition; this would enable projection of televised feature films which could revolutionize the film industry in that a central television transmitter would take the place of film distribution companies. While the cultural and commercial point of a development along those lines was not considered by those present, there was a great deal of discussion on the basic difference between cinema and TV films from the *producer's* point of view: this difference results on the one hand from the absolute screen sizes (even though the angle of vision of 7 to 8° is about the same in both cases) and on the other from the great difference between an audience viewing in public and at home. There would be no point in showing the daily television programme at the pictures, not only because every one can also see it at home but for artistic reasons of production, while conversely those who tuned in to films to be shown by public projected TV would very likely be left unsatisfied for reasons least known to themselves.

This difference between cinema and TV films was shown by *demonstrations*. In a closed circuit TV demonstration at the Lugano studio of Swiss Television, Jack Bornoff illustrated his lecture *Opera in Film and Television* by showing parts of the Eurovision film *Don Giovanni* conducted by Hermann Scherchen at the Munich studios of Bavarian Radio, followed by other parts of Paul Czinner's colour film of the same opera in a Furtwängler performance at Salzburg — a picture show in Lugano was hired for this purpose. But as Mr. Brendel, opening the ensuing discussion, remarked, these two films were so entirely different from each other in every other respect as well, that it was very hard to say just what part of this was due to the fundamental difference between TV and the cinema. The Eurovision film was an attempt at bringing opera into millions of homes, for which purpose it exploited every possible technical facility including doubling. Czinner's film appeared however to be nothing but a documentary of an important occasion, intentionally

avoiding all technical means foreign to a stage performance. Of course there were close-ups (after all, there are also opera glasses), but these only served to exaggerate the efforts of singing in a rather disconcerting way. When the close-ups of the Statue were seen as through a glimmer of heat, a favourably inclined participant saw in it an effect after all — even though it was as harmless as grain in the film which had been enlarged because the close-up had not been thought of until the copying process. This reduced the discussion, which had been intended as "Film vs. TV", to haggling about the "permissible amount of technique", which were doomed to remain fruitless from the beginning. But it can really be said that this result of the discussion is characteristic for the whole problem of opera in film and television, and as Mr. Bornoff said, anyone who has had a good look at all the various ways of filming stage music, none of which has been very satisfactory so far, inevitably comes to the question whether it is not high time for film and TV to create their own musical art form. As far as the film is concerned, it might well be imagined that a kind of epic, accompanied and highlighted by music, could show the way. One is at once reminded of Eisenstein's *Alexander Nevsky*, for which Prokofiev wrote the music; the first reel of this film was shown.

Two aspects of the technique of production were dealt with in lectures. In the absence of Alfred Jetter (Bavaria Films, Munich), Dr. Gerber described the *electronic cam method* of film shooting, based on the use of 35-mm cameras which are adapted to the much faster television production technique in that television cameras are operated in parallel with them. Extremely good picture quality results surprisingly simply, while this method leaves all others far behind as regards reliability and economy of operation. One year's experience in 1960 showed that a 90 minute film can be produced in only 10 to 12 days. Robert Kolben (Frankfurt) lectured on *backgrounds by frontal projection*, developed in the East Berlin Broadcasting and Television Laboratory by E. Kosche, who had of course not been granted an exit permit at this time and could not therefore appear himself. Frontal projection has the great advantage over rear projection in that the special reflex screens used for it have a light efficiency which is more than one hundred times better than that of the translucent screens used in the latter. This purely practical advantage brings with it improved production possibilities. The fact that camera and background projector are combined into a unit makes the shadows cast on the screen by the actors invisible, while the light intensity of the part of the background projected on the actors is over a hundred times smaller than that on the reflex screen and falls under the image tube's threshold of sensitivity. Very unusual trick effects are made possible by the fact that the background photographed remains the same for all relative positions of the camera-projector and reflex screen.

Now the discussion turned to examine the question of the position of music in film or TV: in what ways is it a help, and in what ways can it be a nuisance? A number of films containing only music and no words was shown, originating from such diverse countries as Poland, Holland, Germany, Canada, China and the U.S., including parts of Walt Disney's *Fantasia*, and an experiment Prof. Scherchen suddenly thought of, of showing the image and playing back the sound track of *Fantasia alternately* was most revealing in its actual effect and in the audience reaction during and after the experiment. Prof. Scherchen observed himself that people had left the theatre only during sound playback. Apparently the eye has more universal appeal than the ear, quite apart from the fact that the picture could only be seen on this one occasion, while Dukas' *Sorcerer's Apprentice* and Strawinsky's *Sacre* can be heard on records any time at all (and the reproduction, if not the performance, will be better) — do records reduce music's worth? Nevertheless, the experiment disclosed two facts: (1) simultaneous looking and listening requires so much concentration that the critical faculty is partly put out of action; faults in the image or sound are overlooked and only the overall result is judged in a very general sort of way (is Wagner's *Gesamtkunstwerk* nothing more than intoxication of the senses then?); (2) it was made clear that it is the music and not the image which is the most important part of *Fantasia*, which is no different in this regard to any opera; this statement can even be taken to its logical conclusion as meaning that the enormous chasm separating Disney from Dukas and Strawinsky was made only too clear.

In complete contrast to all this, we saw a Swiss film, *The Future is Due*, by Günther Ghalwert and M.E. Houch, which contains no normal music. The sound effects heard in the first part are only noises from trumpet and percussion, which are a most apt choice and are intimately and effectively woven into the story; factory and street noises are then added, and finally spoken counterpoint leads to the climax. All this accompanies the story of a salesman which serves the sole purpose of laying bare the basic problems of society today. The urge to do something for "the Company" turns out to be a selfish urge for self-assertion; the imagined solution of egotistical problems by resorting to crime is disclosed in all its horrid senselessness; the frightening anonymity of our modern deity, Mammon, and its resulting impotence in the face of human problems is brought into the level of consciousness; and the platitudes by which it would deny the very existence of these problems (and by which the man of the masses permits denial of his very self) are swept aside with bitter sarcasm. The logical thread running through the action is responsibility, and a new *sound* accompanies each new stage of awakening: *trumpet* for the staircases symbolizing the salesman's work and *percussion* for the depressingly aimless mass relaxation while false logic leads to the crime (responsibility towards the "Company"

— i. e. to one's self); *street and factory noises* for the subconscious urge to pass off the real responsibility for the crime and for the only half conscious awareness that it has created rather than solved problems; *spoken counterpoint* for the search for the boss responsible and finally — seeing that there is no such responsible boss in the Company — the *soothing announcer's voice* of the salesman's girl friend, which is nevertheless unable to make him forget the burning question, "Who is responsible?" When he at last comes to the conclusion, "I am," every member of the audience goes with him in realising that he must share the responsibility for everything going on in the whole world. This film severely but constructively criticizes present-day conditions by leading all people to the point where their sense of responsibility can be kindled, which is the first step towards a solution, and the few audiences that have seen it have not stinted their appreciation. The fact that Mammon, represented in this case by the press, was ferociously hostile, is only one more point in the film's favour. But it did result in its being withheld from public screening almost everywhere. We must be all the more grateful to Hermann Scherchen for having shown it, and not only because of the technical pioneering work distinguishing it.

The climax of this convention was undoubtedly Hermann Scherchen's own television production of the final part of Schoenberg's monodrama *Erwartung*. The orchestral recording was already in existence and in the summers of 1960 in Paris and of 1959 in Gravesano, Helga Pilarczyk's *live* singing and acting had been accompanied by the tape, played back over the Stereophoner. For television purposes, it was necessary to make a synchronized vocal recording paying special attention to the diction. The complete recording was cut into 27 parts and then each part was photographed in the garden at Gravesano, each part starting at a definite predetermined point. It took 5 days to shoot the 11½ minutes of performance time, and the film shows a unity and precision and, above all, perfect matching of image and music, such as has never been achieved by the division of labour — the single mind behind this work of art becomes evident.

Progress has always been feared and opposed by those unable to go with the times. Television is threatening broadcasting, the cinema and the gramophone — but broadcasting companies profit by operating television, the cinema can gain much by the experiences of television production (electronic cam, frontal projection of backgrounds, magnetic image storage and last but not least, television projection), and to music, television opens up a vast field of undreamed of possibilities. That Hermann Scherchen, as a musician, not only understood this himself but was able to bring it in all its details to the consciousness of a select company

of specialists — that was the especial merit of this first Gravesano convention.

*

This is the widest field of musical development today — but it must be complemented by another two essential aspects: music itself will have to be considered, as well as man under its influence. In the order in which the conventions were held, the next subject was the listener, and to bring this complex field of discussion to its simplest denominator, the influence of the musical elements of vibration as pitch, rhythm, interval, melody, harmony and timbre on man, and as a still further simplification, on the sick, was to be considered. This latter simplification will be better understood by those who know something of Goethe's botanical studies: his most valuable observations were made on abnormalities in plants, as the abnormality consists in exaggerating a certain property at the expense of the rest, so that observation is simplified. Besides, more information has been collected about the influence of music on the sick than on normal persons. Therefore, the second convention was MEDICINE AND MUSIC, and the thoughts of a physicist and a psychiatrist were used to contrast and complement each other.

Prof. W. Bürck (Munich) developed the enormous subject of *vibration* historically and using examples taken from the surrounding universe, from the inaudible atomic and astronomic frequencies to audible sounds and their effect on the human body. The ancient Greeks connected motion with life and knew about music's healing powers. Today, motion is still regarded as a sign of life, but in a different way: the physical vibrations, whose cause we can understand and which we can therefore calculate, do not suggest life as much as the movements of living beings which result spontaneously and cannot therefore be calculated. Constant and continuous vibration exists microcosmically in the atoms and molecules and — of the same kind — as the movements of stars and planets in the macrocosmos, and both can form the basis of our time measurement. We are also under the influence of both: the micro-vibrations of the matter of which our bodies are built and of our nervous processes are mostly below our level of consciousness (except for our sense of temperature), while the macrocosmic rhythm of days, months and years influences us in a way of which we are fully conscious. The rhythms of breathing and heartbeat, of which we are about half conscious, are especially important in our lives. Prof. Bürck used the swing as an example to explain the phenomenon of resonance, leading along one direction to frequency analysis and along another to the human voice and the physiological ear, which is, like music itself, on the border between modern physics and physiology, where the irrational plane — because it can no longer be grasped by thinking alone — begins.

With these words, Prof. Bürck left the floor to Dr. H. R. Teirich (Freiburg), who lectured at once on *musical therapy* with art music. Music was first deliberately used to provide "atmosphere" by American doctors in 1947. Mental patients were given concerts, discussions were provided background music, just as normal people have background music forced on them to make them produce more while working or spend more while shopping. But this is not musical therapy yet — musical therapy does not begin until a definite piece of music or a definite kind of sound is presented to a patient with a definite purpose. The simplest case is perhaps the one when a patient refuses words to establish contact ("I fear the words that people speak — They are so final and absolute ..." — Rilke): with music he is likely to relax sufficiently to permit conversation, provided the music first of all corresponds to his mood and leads him out of it gradually.

Deaf persons can have an experience of music through perceiving the vibration with some part of the body other than the ears, and this gave Dr. Teirich the idea to have a loudspeaker built into his couch: the patient lying on it can hear the music not only with his ears but can feel it in the solar plexus and at the tips of his fingers, all of which intensifies the effect of the music, partly because of the purely physiological phenomena of increased warmth and improved circulation. Before the music starts, the patient is given autogenous training (a kind of auto-hypnosis for relaxation, indicated by nervousness, anxiety, insomnia and other states of tension), and the effect is intensified by music from the couch while the patient is in this relaxed state. A couch was built to Dr. Teirich's specifications at the Hermann Scherchen Experimental Studio especially for this lecture, so that Dr. Teirich was able to demonstrate this kind of musical therapy on a volunteer.

The young medical student Imre Sponga (Zurich) branched off to a completely different part of the subject "Medicine and Music" with his lecture *From the Encephalograph to Musical Therapy*. First of all, Mr. Sponga compared classical encephalography to an orchestral recording using many microphones (corresponding to the EEG's electrodes) which feed measuring instruments, so that after some practice it can be ascertained which instruments are playing and where they are playing, but not what they are playing; static frequency analysis of encephalograms have also been carried out, but this would be no different to a static frequency analysis of a piece of music — no one using an EEG ever bothered to consider the total phenomenon in its dynamic evolution. In order to do this, Mr. Sponga suggested that all the electrodes feed a single amplifier (as in a monaural recording) operating a musical typewriter which would write the score of a human being.

Mr. Sponga also developed a system of notation suitable for such a typewriter, differing from most other attempts at reforming musical

notation (e. g. Hába) in that it is based on the conventional system of five lines so that any musician can read it: semitones are simply written on intermediate lines, and the typewriter filters them out of the whole sound by means of narrow band pass filters and uses a magnetic or chemical writing mechanism to record them on a travelling paper strip as long as each note lasts — this obviates any complicated notation of rhythm and duration. This human "organ music", which covers the range from about 1 to 30 c/s can be transposed up 5 to 6 octaves and played on musical instruments, so that the patient can hear his own brainstorm.

Direct transposition (e. g. with the Springer Acoustical Pitch Regulator or Information Changer, which Mr. Springer demonstrated afterwards) makes it possible for the patient to hear himself as he goes along, without using the typewriter (which can of course also be used for purely musical purposes). Mr. Sponga believes that certain, possibly unconscious, thoughts and feelings would become manifest in corresponding sounds; the patient could gradually learn to associate the music with these thoughts and feelings and thereby train his consciousness and self-knowledge. Mr. Sponga especially hopes to be able to lead mental patients "back to the I" with this musical therapy they make themselves. After some discussion, those present (among whom there were no philosophers with a knowledge of the theory of cognition) decided that Mr. Sponga's ideas were practicable and worth the necessary years of research.

Dr. Charles Hatay (Boston, Mass.) lectured on the *sensitivity to the weather* as of a sense which used to be a matter of life and death in primitive times but which can be distressing to people who still have it now. Research has shown that negative ionization of the air can neutralize the effects of depressing weather, and Dr. Hatay has developed an inhalator for this purpose out of an ordinary electric torch. Other aspects of the influence of music on the listener were dealt with in valuable free *discussions*, particularly about the psycho-physiology of hearing: about experiments to show up the border between the perception of tone and vibration at low frequencies; about the way normal hearing can suppress background noise and reverberation; about the very real influence which infra and ultra frequencies can have on music; about the intervals' property to become smaller over 2000 c/s, and the mel scale; about a combination of music and random noise used by American dentists as an anaesthetic (an experiment was carried out); and about a great many other subjects.

Not only are all these things relevant to "Medicine and Music", but musicians must become acquainted with and absorb all this knowledge: music, more than any other art, is also a science. It appears all the more remarkable that in Dr. Teirich's lecture, which actually dealt with musical therapy more directly than all the other lectures, music seems to play a

very minor part itself, serving merely as a means to relax, form mental associations and banish thought. This is further proved by the many *realistic* pictures painted by Dr. Teirich's patients and others under the influence of music, as well as by his introductory experiment in which an assistant "played" an air raid siren on the oscillator to show that 16 years have not diminished the reaction which former nightly occupants of air raid shelters have on hearing this sound; Dr. Teirich's comment: "Music has a direct appeal." But now musicians and other trained listeners are just the people who do not allow music to relax them — on the contrary, they listen with great concentration without allowing random associations just to appear: music is, to them, the only possible spiritual message which does *not* need recourse to physical concepts. The undeniable fact that musical therapy, as described by Dr. Teirich, has achieved such excellent results only goes to show that music means what it perhaps ought to to very few people, which again explains why it is possible for a composer like Bach to be listened to and liked even by those who have not had the musical education necessary to understand this music. What they experience when they let the music flow over them is of course something different to what the musician experiences as he hearkens to the notes. But is it therefore right to speak of a misuse of music? At least 90% of all concert goers let the music flow over them in the same way — which can never make their going to a concert a misuse of music. Such considerations nevertheless do rather blur the line between concerts and musical therapy with art music.

And so we also find entirely different views on musical therapy. In his contribution to Dr. Teirich's book "Musik in der Medizin" (G. Fischer, Stuttgart 1958) Dr. Karl König writes: "This (concerts, patient choirs and orchestras in mental clinics) is no more musical therapy than a good or a bad *meal* can be called a therapeutic event. . . . The *medicine* of music is something entirely different. But this first of all requires examining the basic elements of music." Dr. König deals with the various effects of the three basic elements, *melody*, *harmony* and *rhythm*, separately and in some detail, and treatment to his lines have had some remarkable results in his homes for children in need of special care, in Scotland. For example, Dr. König analyses the subjective reaction to the various intervals, and Dr. Teirich was asked a relevant question in the hope of starting a discussion in this direction. This prompted Prof. Scherchen to play a tape of the first performance of Luigi Nono's *Intolleranza*, a work which is almost utterly devoid of rhythm, the composer intending the three main parts to be characterized by intervals. Although it is doubtful whether very many will appreciate this correctly at first hearing, there is no doubt at all about the very real effect that intervals by themselves can have.

This leads directly on to music itself today. It is quite obvious that an age conscious of all these facts — all of which are directly related to music — will create a different kind of music than was still possible up to the turn of the century. The first thing that inevitably happens as a result of the progress of science influencing, and being in turn influenced by, the general increase of consciousness, is that inspiration, which can never be more than partly conscious, will fail to come of its own accord. Such inspiration as can still be had today is suspect and degenerates to distortions of man, unless it is the result of self-knowledge and human development achieved by conscious effort. What can a man do who, under these circumstances, still feels a calling as a creative musician? And we still need creative musicians to cover a demand which is breaking all records. Man uses his *full consciousness* only when he is *thinking*. The musician therefore turns to *mathematics* as to the only truth accessible to logical thought today, and this solution of the problem is as obvious to him as it is to the scientist; in this, scientist and musician both express the spirit of the age. But this is just another way of saying that man, whose state of consciousness which he has already reached prevents his being unconsciously raised to the level of inspiration, will *pull art down* to his present level, until he has raised his consciousness far enough to partake of inspiration as a conscious act.

In spite of this, there are examples of contemporary music which seem to contradict these facts at a first glance. A convention which has any pretensions at being alive will not just leave it at theoretical discussions but will also turn to practical examples of MUSIC AND MATHEMATICS, and so we were privileged to see the composer *Yannis Xenakis* (Paris) not only in theory but in action: tapes of all his six compositions were played back over a period of three days. As the *Gravesano Review* has already published numerous articles of his about his methods (cf. Vol. 1, 4, 6, 11/12 and 18 ff.), it will be sufficient here to give a very brief account of his two lectures on *stochastic music* by mentioning that he works along a line directly opposed to the total series (perhaps by way of reaction against it): his music is to have the least possible degree of predetermination, i. e. the greatest possible degree of freedom. Following the example of Schoenberg, who liberated music from tonality by binding it to the twelve-tone row, Xenakis liberates music from every obligation by binding it to the theory of probability: chance is to be given the greatest possible field of influence. But chance taken to its logical conclusion in sound results in nothing but random noise (there will be occasion to refer back to this). Therefore a human being — the composer — must intervene to reduce this greatest possible amount to the greatest practicable amount of chance in an artistic manner. This is where the limits of logic are left behind, where man's free will and creativity not in any way related to chance come into this

mathematical music as into any other, so that we no longer have any right to ask how the composer gets the initial values to enter into his equations, how he knows which out of a number of possible equations he will apply in a particular case, and where the overall form (which Xenakis always represents graphically) of each of his six works comes from. Drawing board and slide rule are the most complicated instruments Xenakis uses. This obliges him to do all the laborious calculating step by step, but again gives him the opportunity to intervene when a higher reason than that of the mathematical laws make this appear expedient. Thus the human being again becomes manifest in the work of art. It was breathtaking to see the powerful emotional appeal which this music had on the whole audience, *in spite of* its mathematical background. While there is no lack of mathematical music which leaves the listener completely cold (and there were other examples of this too), Xenakis manages to profit by the apparent paradox of his artistic intervention to make the laws of the universe audible. One hears the "harmony of the spheres". Today of course, this is not the same as the harmony of the spheres which Bach was privileged to hear and which he put down for us in his notes, this harmony of the spheres in which man was still the measure of all things... However, nothing can be criticized for not doing what it is not meant to do: Xenakis must be given due credit for the fact that this music, contrary to most, holds its promise — it manages not only to turn statistical calculation into sound, but to make it an intimate personal experience for every listener. All of which by no means contradicts, but rather proves, the fact deduced above, that the conscious world pulls art down to the level it has for the time being reached.

Composer *Michel Philippot* (Paris) uses a different method: he finds the electrical circuits equivalent to all the fundamental mathematical relationships and has his calculating work done by them instead of having to do it himself. Of course, one more human factor in the composition is lost thereby. This human factor does make a real difference, even in mathematical music — this will not be noticed until, in the middle of a calculation, a feeling which the composer has (and for which he must have a complete technical view of his entire work and of its value) makes him make a change; there are sufficient examples in the "classics" of dodecaphony — Schoenberg, Berg and Webern — of passages which do not keep to the row, for musical reasons. Although automatic calculation ruins this possibility, the composer still needs his originality to set up his "programme" and the corresponding calculating circuitry, although even this freedom is lost in the total series or its electronic, "algorithmic" form. The spiritual side is constantly losing ground to the physical side. It may be bizarre, but it is worth while comparing this tendency with the last piece of music that Johann Sebastian Bach wrote, the Choral Prelude

"Before Thy Throne", to which Hermann Scherchen refers in his book "Of Music's Essence" as the perfect work of art. Bach had dictated it on his death-bed, at a time when the physical plane had lost all meaning for him. At the ceremony opening these conventions at the Gravesano Open-Air Theatre, the four voices of this four-part Choral Prelude had been heard coming from the four points of the compass. Now in the discussion the wish was expressed for a machine which does not only process the ideas which the composer has, but which has these ideas itself — a miracle machine. The music it produced would be more perfect than that of a composer's, just as a dead object can, on its own plane, be more perfect than a living being. But this would raise the question as to how the composer would still be manifest in his work — *his* work...? The composer's personal hard work — it can be heard in every development section — is one of the features distinguishing classical music. One is reminded of Elgar's sentence: "Composing is 1% inspiration and 99% perspiration." Of course, those who like to judge progress in music by the same standards as progress in technology, where it is simply a question of finding new methods, will regard mechanical composition as progress, which was started as long ago as 1932 by Joseph Schillinger's theory of the mathematical basis of the arts.

Schillinger regarded not only the composition of music but also the plastic arts basically as a question of permutation and combination. This was revealed in a paper by Myron Schaeffer (Toronto), *The Schillinger System of Musical Composition*, which was read. By classifying all possible permutations and combinations, Schillinger wanted to enrich music to a degree undreamt of at the time. He also tried to deduce the most general laws of composition, using which he even "improved" a well known theme by Beethoven. A number of interesting recorded examples, including excerpts from *Porgy and Bess* by Gershwin and *Bach Goes to Town* by Alec Templeton, both of whom had been pupils of Schillinger, accompanied the paper.

Actual computer composition, which has been developed in the United States more than anywhere else, goes another step further. As the computer does not just calculate the music to the laws or the "programme" prescribed by the composer — which still necessitates human players or the human control of electronic sound once the music has been written — but produces the sounds itself and records them directly on tape, it is possible to go right back to the fundamental concept of sound — the wave form. Newton Guttman (Bell Telephone Laboratories) said in his lecture *Musical Sounds from Digital Computers* that the limits in this regard are set not so much by the computer but rather by the fact that no one operating the computer has already had sufficient experience to tell him what a particular wave form will sound like. This is a question of classification and of the

psychology of hearing, about which much has already been learned in computer practice. Although Mr. Guttman played some interesting tapes (such as two simultaneous timbres in a single wave form, or a sound which has two possible pitches, depending on the way one listens) he emphasized that most hopes to hear utterly new timbres were disappointed. In practice, the composer chooses a combination of the periodic or non-periodic wave forms stored in the computer memory, links this to a frequency, a duration and a dynamic curve, combines such sounds simultaneously as chords and consecutively as melodies on perforated cards which are processed by the computer to become sound recorded on tape. The new possibilities provided new experiences but also created new problems, as timbre, loudness, pitch and duration by no means bear simple arithmetical relationships to the physical concepts of wave form, amplitude, frequency and time.

The *complexity*, which becomes *action* in the computer, was developed by Dr. A. Moles (Paris) to a *concept* of information theory in his opening lecture of the mathematical convention. Modern art needs complexity because the world in which we live, of which it is an expression, is growing more complex every day. This is determined by a rapidly changing humanity, while the surrounding complexity, in its turn, changes humanity more rapidly still. Dr. Moles illustrated this historical development of complexity by a series of recorded examples starting from a pure tone and increasing to tone combinations, simple, classical, modern and ultramodern music to random noise. (No one seemed to notice the literally immeasurable leap in the complexity between the fourth — electronic — and the fifth example, in which we heard for the first time a *human being* playing a chromatic scale on the cor anglais, but ending with a ritardando which was not worked out but the result of pure musical feeling and was therefore so "complex" that it would elude calculation as all living things do.) Now Dr. Moles had started a lively discussion by the fact that random noise is physically complex, to be sure — he proved this by showing sonagrams of all his examples — but is subject to an acoustic integrating process of which the Springer Time Regulator takes advantage and whose parallel in optics makes the eye integrate the sequence of film frames or television images. This is the reason why random noise is, psychologically, not complex at all, and some doubt was cast on the need for Dr. Moles to introduce his new term at all. However, with the help of Prof. W. Fucks (Aachen) Dr. Moles was able to reassure his audience on that account.

Another point which came out of the discussion was the fact that the proper way to master this (or this kind of) complexity is the computer, which can define the factor which a number of complicated events have in common; Brahms Symphonies for instance would give rise to a "Brahms factor", which would then enable the computer to examine any other piece.

of music for the presence or absence of the Brahms factor to determine the probability of the piece being by Brahms. The computer was also alleged to be able to carry a style of, say, Mozart or Schubert to its logical conclusion, so that we can discover what would have happened if these two great masters had lived longer. What no one seemed to realize was that their lives were no less works of art complete in themselves than the lives of, say, Bach or Beethoven; that it is the nearness of death which gives the D minor Requiem and the C major Quintet their greatness no less than to the Choral Prelude "Before Thy Throne" and the last Quartets, and that there can be no logical conclusion past this point among mortals. What a computer — which cannot die, being dead already — might have to say on this point would be just as uninteresting, not to say futile, as it might be for it to finish the 19th Counterpoint of the *Art of Fugue*, which, regarded in this light, is not unfinished at all, any more than the "Unfinished" Symphony. Dr. Hatay did mention certain "productive" diseases (e. g. a tumor at the right part of the brain — in connection with Mozart's and Schubert's medical histories), but these are of course the effect and not the cause of such phenomena.

The point had now arrived where the "scientists" and the "artists" could reach no further agreement. As the scientists were in good command of their well defined field of knowledge and could express it in clear terms, Prof. Scherchen challenged the artists to give a definition of "art", in order to give the discussion new ground for argument. Although this challenge had been directed especially at Dr. Willi Reich, it was met by Prof. Fucks, who related how humanity had been led by gods at the beginning of history; then came an attempt to understand causality and the essence or being of things, but agnosticism was the result after 2000 years of this. It was only when inquiring man decided to leave the question of the essential alone — to ask "how?" instead of "what?" or "why?" — that modern science and technology became possible. Hence, the only definition science can give of "art" is to circumscribe the question and look for and define the formal structure of the work of art instead. This was of course of no use at all to Hermann Scherchen. He has written a book entitled "Of Music's Essence". Therefore he changed the original question to this: representatives of science and art were to explain their various methods for proving that Schubert was the author of the C major Symphony, which was discovered in 1847, 19 years after his death, and of the B minor Symphony, the manuscript of which did not see the light of day until 1865.

This led directly into Prof. Fucks' lecture, *Mathematical Analysis of Five Centuries of Music*, which does exactly what Prof. Fucks had said, namely, examine the formal structure of the work of art, without any consideration as to its essence. Its method is to examine the quantities,

qualities and effects of elements, such as the distribution of the frequency of occurrence of pitches and durations. The first result it arrived at was to show how the scatter of pitches has grown constantly since about 1500 and can even be grouped according to styles of composition. It is possible to infer that pitch will keep scattering more and more in the not too distant future. The frequency distribution of simultaneous or consecutive intervals gave no results at all until Prof. Fucks had profited from the experience of an own attempt at stochastic composition and had realized that scatter in this case depends on the musical compass of the work and that the concept to be examined should be the "curtosis" κ which is independent of compass and has a constant value of 3 for all Gauss distributions. The absolute value $\kappa - 3$ was again found to rise from 2.1 in 1530 to 12.1 today, with related musical styles being again closely grouped about their respective mean values. If this investigation had been carried out, say, 50 years ago and a further positive development of curtosis predicted, this prediction would have been quite wrong: serial music breaks with the uniform increase of curtosis over four centuries — contemporary non-serial music, with its $\kappa - 3 = 12.1$, exists side by side with serial music, with a value of 3.5. The degree of correlation between the pitch or duration of a note and the pitch or duration of the subsequent notes also gave interesting results: in Webern's music, there is practically no correlation at all, while Beethoven correlates far more than Bach. To close his lecture, Prof. Fucks showed the connection between his work and historical progress by giving another brief reminder of the primeval belief in deities which interpreted every event as the *intention* of a superior being; this developed into the attempt to understand the causality of events, by which *necessity* took the place of intention. Today, we no longer believe that even an infinite amount of research would uncover all the causes: we have come to the conclusion that many events occur through a cause which is not merely indiscernable but which actually is not there at all — it is hard to gain an adequate idea of the immeasurable degree to which chance is a part cause of all the world's events as a result of the fact that even the atomic building blocks of matter are in completely random thermal motion at all times throughout the universe. The use of chance in art is an entirely natural expression of the age, just as statistical analysis is. This is the reason why this method is victorious today over all the voices which exclaim that this has nothing to do with "art", for it not only intentionally takes no notice of the essence of things, including art, as was already said, but it will, as an expression of our age, successfully infiltrate into all fields of human endeavour within the next 25 to 30 years.

Apparently everything is accidental today, only the conscious employ of accident in art may, in Prof. Fucks' own words, "be understood as being absolutely reasonable, justified, inevitable, necessary, even imperative".

Dr. Reich readily understood and admitted that a sufficiently comprehensive analysis of material could indeed show Schubert as being the author of the two works in question. Nevertheless, the method Dr. Reich had to propose, by which clear distinctions are drawn between the style of a particular period, of a work, and of a composer, would work just as well. In the particular case of the B minor Symphony, the key is an important clue already — the importance which this key had for Schubert is clearly shown by his enormous song output. Such stylistic considerations are supplemented by biographical work: it is known that Schubert's mother had died in the previous year, so that there was nothing any longer preventing his tyrannical father from driving him out of the house; Schubert was given the first inklings that he was mortally ill, and he had had a dream which weighed on his memory. The same kind of reasoning shows us why the Symphony remained unfinished, and also that it is in reality not unfinished at all. The C major Symphony, on the other hand, is the expression of a new freedom which Schubert felt after the death of Beethoven, living in the shadow of whose greatness had been a great problem for him. The same freedom is expressed also by other works of the same, final period, such as the last songs, the last three piano sonatas and the String Quintet, also in C major. This is the time-tested method of experimental psychology, by which a protocol on the composer is taken from social, personal and other similar standpoints.

The spirit of humanity which these words of Willi Reich's had at last brought back into these discussions, was warmly welcomed by Hermann Scherchen, who closed the convention with a reminder of the superior humanity manifest in the four voices of Bach's last work.

Die Oper im Film und im Fernsehen

von

JACK BORNOFF

Es gibt grundsätzlich zwei Methoden der Darbietung der Oper auf der Leinwand oder dem Bildschirm. Die eine besteht darin, einen Dokumentarfilm zu drehen, der versucht möglichst treu die im Theater, im Opernhaus erlebte Aufführung widerzuspiegeln; die andere will eine für die Kamera adaptierte Version des Opernwerkes herstellen, in der die Technik des Films oder FS danach strebt, dem originalen Werk am nächsten zu kommen.

Man würde glauben, die Techniken des Films und FS besäßen die Fähigkeit, die szenischen Effekte mit großer Vollkommenheit zu realisieren, von der die Opernkomponisten immer geträumt haben und von der selbst die bestausgestatteten Bühnen nur eine Approximation wiedergeben können. Das ist aber nicht der Fall. Selbst wenn das Problem des Unterschiedes im Tempo des dramatischen Ablaufs zwischen Film und Oper außer acht bleibt, wird die der Oper eigene dramatische Illusion allzu oft durch die Übertragung in eine andere Konvention zerstört.

So paradox es auch klingen mag, nichts wirkt befremdender, als z. B. eine Opernszene, die auf der Bühne im Freien spielt, auf der Leinwand nun wirklich im Freien gespielt zu sehen. Es läßt sich aber nicht leugnen, daß die Technik des Films oder FS im Prinzip einige sehr positive Elemente in die Realisierung eines Opernwerkes bringen könnte, wie z. B. im Ausdruck des Übernatürlichen (die Schlussszene aus „Don Giovanni“, das Schiff „Der Fliegende Holländer“, Banquos Geist in Verdis „Macbeth“, „Der Ring des Nibelungen“).

Auf einem Gebiet erlaube ich mir einige Zweifel über die Vorteile der Filmtechnik, nämlich in dem Verfahren des sogenannten Dubelns. Angenommen, daß eine Großaufnahme der Kehle eines Sängers beim Singen nicht gerade ein ästhetischer Anblick sei; angenommen, daß die Erscheinung des Künstlers der idealen Konzeption einer Rolle nicht immer entspricht. Es bleibt doch wahr, daß man nicht leicht auf die Möglichkeit verzichten wird, den singenden Künstler *sehen* zu können, in dem Moment, wo er die Töne formt, die man hört. Ganz abgesehen von dem Problem der „Balance“ im Ton: was kann man über eine Opernübertragung sagen, in der die Stimmen der Sänger immer auf dem selben Niveau der Lautstärke bleiben, gleich welche Bewegungen sie machen — ob sie ganz weit oder ganz nah auf dem Bild erscheinen? Besonders gelungen finde ich vom Standpunkt der Ton-„Balance“ einige neuerlichen Schallplattenaufnahmen von Opern,

wo natürlich in Stereo, aber sogar in der monauralen Version eine höchst realistische, fast visuelle Klangstruktur durch bühnenartige Bewegungen der Sänger während der Aufnahme erzielt wurde.

Aber zurück zum Playback Verfahren. Im normalen „playback“ wird die Stimme des Sängers „pre-recorded“, damit der Sänger dann später vor der Kamera seine volle Aufmerksamkeit auf die dramatische Interpretation der Rolle lenken kann, und die ziemlich defigurierenden Gesten der gesanglichen Interpretation bei voller Stimme etwas mildern kann, indem er nur zu markieren braucht. Schon hier bezweifle ich, daß es selbst bei der vollkommensten Synchronisation möglich ist, den dramatisch-musikalischen Inhalt eines Opernwerkes visuell zu vermitteln, wenn die Leinwand oder der Bildschirm nicht genau dieselben Gebärden wiedergibt — einschließlich aller Anstrengungen —, die sich bei der Herstellung des Tonbandes zeigten.

Noch schwerer zu rechtfertigen finde ich den Prozeß des Dubelns, wobei ein Sänger, den man auf dem Bild nicht sieht, seine Stimme einem Schauspieler leiht, den man auf dem Tonband nicht hört. Wer die Lollobrigida oder die Loren in einem Opernfilm je gesehen hat, weiß, daß nicht die geringste Korrespondenz zu finden ist zwischen diesen hübschen Kreaturen und den Stimmen, denen sie in ihren Rollen entsprechen sollen. Ich muß aber zugeben, daß es passieren kann, daß ein musikalisch ausgebildeter Schauspieler unter der Aufsicht eines sehr guten Regisseurs einen völlig zu täuschen vermag. Nur habe ich dann ein unangenehmes Gefühl, daß je „wirklicher“ der Eindruck, desto schlimmer die Fälschung.

Nun noch einige Bemerkungen über ein Problem, das vielleicht mehr dem FS als dem Film gilt, sich dafür aber nicht nur auf die Oper, sondern auf die Musik überhaupt bezieht. Ich spreche von der Gefahr, die der Wettstreit zwischen Ohr und Auge bildet. Im verdunkelten Opernhaus wird man von der Musik ganz umhüllt; sie ist überall und nirgendwo; man ist sich ihrer Position im Saal nicht mehr bewußt: und dadurch kann man sich ihr völlig widmen. Indessen wandert das Auge ganz frei, und wählt sich den Moment aus, wo es entweder das Ensemble aufnehmen wird oder einen gewissen Punkt von der Bühne oder gar nichts. Aber nichts von dem, was das Auge tut, braucht auch nur im geringsten den rein akustischen Genuß zu stören.

Im FS ist die Situation ganz anders: das Auge besitzt keine Freiheit der Bewegung; es wird von der Kamera gelenkt, und indem die Kamera dem Auge eine Richtung, ein Ziel aufoktroiert, zerstört sie die Konzentration des Ohres. Unter den jetzigen Übertragungsbedingungen des FS kann das Ohr nur selten völlig befriedigt werden. Und wenn, dann hängt doch die Qualität des musikalischen Genusses nicht nur von den Künstlern ab, sondern auch von dem künstlerischen Niveau eines dritten Mannes — des FS-Regisseurs.

Ich hoffe, bewiesen zu haben, daß die Oper, die scheinbar die bestgeeignetste Materie für die Film- oder FS-Regie ist, in Wirklichkeit diejenige bildet, die den Regisseur mit den heikelsten Problemen konfrontiert. So daß man zu dem Schluß kommen muß, es gäbe bei dem jetzigen Stand der technischen Entwicklung viele Opern des bisherigen Repertoires, die man im Bild einfach gar nicht zeigen kann.

Nachdem wir, der Reihe nach, die verschiedenen Formen von Bühnenmusik im Bild betrachtet haben, lohnt es sich vielleicht die Frage zu stellen, ob es nicht an der Zeit wäre, daß der Film und das FS eine neue musikalische Kunstform kreieren? Eine Kunstform, die nicht Oper, nicht Ballett, nicht gesprochenes Theater, nicht Mimik wäre; die aber von allen diesen Kunstformen Gebrauch machen würde.

Was den Film betrifft, so kann man sich sehr gut vorstellen, daß eine Art Epos, das mit musikalischer Untermalung erzählt wird, den Weg zeigen könnte. Man denkt sofort an den sowjetischen Film „Alexander Nevsky“, für den Prokofiev eine Partitur von großer Bedeutung schrieb.

Opera in Film and Television

by

JACK BORNOFF

There are principally two ways to film or televise an opera: one will result in a documentary reproducing the actual theatre performance as faithfully as possible; the other will make the best use of all the technical advantages which the camera has over the stage, to come as closely as possible — in the producer's opinion — to the original work without the handicap of stage limitations.

However, promising as this second method seems to be, there are certain disadvantages in not considering the opera house atmosphere: to begin with, opera and film have different speeds of action which are peculiar to them. As concerns realistic effects, it may sound paradox, but nothing is more incongruous than an operatic scene meant to take place in the open which is filmed actually in the open. On the other hand, there are certain elements of realism which lend themselves particularly well to camera technique, such as the supernatural (the closing scene of "Don Giovanni", Banquo's ghost in Verdi's "Macbeth", the Flying Dutchman's ship, or the "Ring" are just a few examples).

There is a certain aspect of film technique about which I have some doubts. This is the method of "doubling" the sound of a singer to the image of an actor. Let us admit that a close-up of a singer's throat is not an exactly graceful sight, and that the voice which is ideal for a certain part often belongs to a body which leaves much to be desired: the fact remains that there are many who will be reluctant to let themselves be deprived of actually seeing the artist at the very moment of producing the notes.

This is quite apart from the problem of tonal balance: can anything really be said in favour of an operatic film or telecast in which the levels of all the voices remain the same, regardless of their movements on the screen? This problem has been solved extremely well in some recent operatic disks which achieve a most realistic, almost visual structure of the sound through the singers' moving as on stage, and not only in the stereophonic but even in the monaural versions.

The "playback" method is not quite as drastic as "doubling": it consists of pre-recording the sound track so as to leave the singer free to concentrate wholly on the action during synchronized filming; at the same time the disfiguring gestures of singing can be reduced in that the singer sings at half voice or only mimics. But I have my doubts that the full dramatic

and visual content of an opera can be effectively communicated if any kind of subterfuge is resorted to by which any of the actual gestures and efforts necessary for the sound are suppressed in the image, even with the most perfect of synchronizations.

All these qualms are naturally multiplied considerably in doubling, where the actor seen is a different person altogether from the singer heard. Anyone who has seen "Lollo" or Sophia Loren in an operatic film will confirm that there is not the slightest correspondence between these charming creatures and the voices to which they lend their figures in the parts they play. It is of course possible that, under the supervision of an excellent producer, a musically trained actor can completely deceive even the most observant spectator. I only have an uneasy feeling that the more "realistic" the impression, the more serious the fraud.

There is another problem which may have greater bearing on TV than on the film, but which concerns not only opera but music as a whole. This is the danger of competition between eye and ear. In the darkened theatre, the music completely envelops the audience: it is everywhere, and nowhere; its actual position in the hall is no longer conscious — and for that reason one's whole attention can be devoted to it. Meanwhile, the eye can freely wander; it can select the moment when it will take in the whole ensemble, a particular point on the stage, or nothing at all — but not anything of what the eye is doing need in the least detract from the ear's delight.

This is all changed in front of the television screen. The eye has no freedom of movement: it is compulsively guided by the camera — and destroys the ear's concentration. Present television transmission can satisfy the ear only rarely — and if it does, the musical enjoyment depends not only on the musicians but on a third man: the TV producer.

All this goes to show that opera, far from providing the most suitable material possible for film and TV as one would think, gives the producer the greatest headaches. It is impossible to avoid the conclusion that the present standard of production technique leaves many operas of today's repertoire which just cannot be shown at all on the screen.

It is therefore well worth asking whether it is not high time for film and TV to create their own musical art form. As far as the film is concerned, it might well be imagined that a kind of epic, accompanied and highlighted by music, might show the way. One is at once reminded of Eisenstein's "Alexander Nevsky", for which Prokofieff wrote a score of great value.

Mixtur-Trautonium und Studio-Technik

Anwendungen elektronischer Musik für den Film

von

OSKAR SALA

1. Das Mixtur-Trautonium im Studio

Abb. 1 zeigt den Spieltisch des Mixtur-Trautoniums (MTR) mit den beiden Saitenmanualen, Mixtur- und Klangfarbenregistern und den Zusatzgeräten des elektronischen Schlagwerks. Als Frequenzerzeuger dienen gittergesteuerte Gasentladungsröhren, die in einer Spezialschaltung synchronisiert werden (1) (2). Die Kippschwingungen werden durch Formanten und Siebschaltungen klanggefärbt. (Vergl. Abschnitt 4, Erläuterung zum Schallplattenbeispiel 1). Im elektronischen Schlagwerk werden Modulationsvorgänge produziert, die den Kippgeneratoren aufgeprägt werden können, z. B. Amplitudenvariationen, rhythmische Unterbrechungen mit einstellbaren, auch gleitend veränderbaren Unterbrecherfrequenzen, Frequenzvariationen mit einstellbaren Zeit- und Frequenzbereichen. Das elektronische Schlagwerk enthält auch einen Generator für weißes Rauschen, der anstelle oder zusammen mit den Kippgeneratoren eingeschaltet werden kann. (Vergl. Abschnitt 4, Erläuterung zum Schallplattenbeispiel 8). Während in der konzertanten Praxis mit dem MTR nur diejenigen elektronischen Klangsynthesen verwendet werden konnten, die sich durch einfache Register schnell und sicher einstellen lassen, spielt es im Studiobetrieb keine Rolle, wenn eine spezielle Klangsynthese einige Minuten Vorbereitungszeit erfordert. Ebenso ist es gleichgültig, ob eine Einstellung durch Register oder durch einen laborartigen Schaltungsaufbau hergestellt wird. So ist es innerhalb weniger Minuten möglich, Ringmodulatoren in die elektronische Kippschwingerzeugung einzuschalten, spezielle Formantschaltungen herzustellen, das elektronische Schlagwerk als Modulator in die verschiedenen Schaltwege der Klangbildung einzufügen, die Kippgeneratoren der subharmonischen Mixturen über getrennte Kanäle mit jeweils anderer Klangformung zu leiten und die subharmonischen Akkordkombinationen durch subharmonische Reihen zu erweitern, die von Kippgeneratoren in anderer Frequenzlage erzeugt werden. In diesem Falle ist es erforderlich, daß die Frequenzen der verschiedenen, voneinander unabhängigen Kippgeneratoren in der gleichen Mensur auf dem Saitenmanual eingestimmt werden, ein Prozeß, der einige Minuten dauert und daher im Konzertsaal nicht angewendet werden konnte. Im Studiobetrieb ist dieser Effekt überhaupt nicht mehr wegzudenken. Setzt man z. B. zwei unabhängige Kippgeneratoren im Abstand 8:9 nebeneinander, so entstehen zwei subharmonische Reihen, die um einen Ganzton auseinander liegen. Man erhält Sekund-Mixturen bis in die höchsten Frequenz-

lagen, wo die einzelne subharmonische Reihe durch die Intervallverhältnisse 1:2:3:4 nur Mixturen in Oktaven, Quinten und Quarten liefern kann. Neuartige Klangvarianten und viele neue spieltechnische Möglichkeiten haben sich durch die Kopplung des MTR mit einer Hallplatte (3) ergeben. Die Wirkung der Hallplatte liegt nicht allein in der einstellbaren Nachhallzeit, sondern in der aleatorischen Verwischung der strengen Periodizität der elektronischen Schwingungen. (Vergl. Abschnitt 4, Erläuterungen zum Schallplattenbeispiel 1).

Durch interessante Aufgaben der Praxis angeregt, wurden auch diejenigen elektronischen Klangsynthesen weiter entwickelt, die dem Hörer als nahezu vollkommene Imitationen vertrauter Instrumentalklangfarben vorkommen, obgleich sie sich aus den elektronischen Konstruktionsprinzipien von selbst ergeben haben und, technisch gesehen, unmittelbar neben solchen Schaltungen liegen, die spezifisch elektronische Klangwirkungen erzeugen. Der besondere Reiz dieser Arten von Klangsynthesen liegt darin, daß man sie ohne Mikrofonaufnahme herstellen kann. Sie erhalten dadurch neue kompositorische und aufnahmetechnische Variationsbereiche und können wie alle anderen spezifischen elektronischen Klangsynthesen in den Variationsbezirk der mikrofonlosen Studio-Methoden einbezogen werden.

2. Studio-Methoden

Abb. 2 zeigt den Schaltplan des Studios. Das MTR ist über den Mischverstärker V_1 an den Schallstrahler S_1 über Schaltweg 1 direkt angeschlossen. Über Schaltweg 2 ist es an die Hallplatte und ebenfalls an V_1 angeschlossen. Direkter und verhallter Klang können am MTR und an V_1 geregelt werden. An V_1 sind über die Schaltwege 3 und 4 die Magnetophone M_1 und M_2 angeschlossen. Sobald Aufnahme geschaltet wird, nehmen sie die elektrischen Schwingungen auf Band auf, die gleichzeitig S_1 erregen. Über die Schaltwege 5 und 6 sind die Wiedergabeverstärker der Magnetophone M_1 und M_2 an V_1 angeschlossen. Die Wiedergabe erfolgt ebenfalls über S_1 . In diesen Schaltwegen 1—6 gibt es kein Mikrofon. Sofern nicht die Wege 3 und 5 oder 4 und 6 gleichzeitig geöffnet sind, kann an keiner Stelle eine Rückkopplung entstehen. S_1 ist ständig auf den Wiedergabe-Normpegel eingestellt. Soll nun zur Klangfolge A eine Folge B synchron gespielt werden, so wird A von M_1 über 5 auf S_1 geschaltet (Normpegel) und B wird auf dem MTR über 1 und 2 dazu gespielt. In S_1 sind beide Folgen in der Form A + B im Normpegel zu hören. Sobald durch Proben die gewünschte Synchronität erreicht ist, wird M_2 über 4 auf Aufnahme geschaltet. Auf dem Tonband von M_2 ist dann A + B aufgenommen. Nun wird M_2 über 6 auf S_1 geschaltet und auf dem MTR kann eine Folge C probiert werden. In S_1 hört man im Normpegel A+B+C. Will man A nicht löschen, so wird das Band auf M_1 entsprechend vorgefahren. Man erhält schließlich 2 Tonbänder; dasjenige von M_1 hat der Reihe nach die Aufnahmen A;

$A+B+C$; $A+B+C+D+E$;; das auf M_2 die Aufnahmen $A+B$; $A+B+C+D$; Alle Zwischenstadien des Überspielprozesses sind erhalten. Es gibt keinen Bandwechsel und alles verläuft im Normpegel, so daß rasch gearbeitet werden kann. Man kann an jeder Stelle des Überspielprozesses andere Entwicklungen ansetzen. Wird statt C eine neue Fassung C_1 gewählt, so geht man aus von $A+B$ auf M_2 und erhält eine variierte Überspielung $A+B+C_1+D_1+$. Sind in eine längere Folge A nur elektronische Effekte an den Stellen A_1, A_2 anzubringen, so werden nur diese Stellen überspielt und in A eingeschnitten. In den Überspielprozeß können auch beliebige Tonbandtricks zwischengeschaltet werden. Es entstehen dann Überspielungen A ; $A_{t_1}+B$; $(A_{t_1}+B)_{t_2}+C$; Werden bei der Bandaufnahme die Wege 5 oder 6 geöffnet, so entstehen Rückkopplungseffekte. Je nach dem gewünschten Abstand der Flatterechos wird die Bandgeschwindigkeit gewählt. Es ergeben sich reizvolle Spielkünste, wenn man im Rhythmus der Echo-Impulse spielt. (Vergl. Abschnitt 3, Schallplattenbeispiel 5).

Diese Klangsynthesen aus Spiel- und Tonbandtechnik können erweitert werden, wenn man über den Wiedergabekopf des zweiten Magnetophons rückkoppelt. Das Aufnahmeband wird auf M_1 eingelegt, über den Kopftträger von M_2 geführt und auf M_1 aufgewickelt. Es entsteht eine Art Bandschleife, jedoch mit fortlaufendem Ab- und Aufwickelprozeß. Statt des Weges 5 wird Schaltweg 6 geöffnet. Je nach dem Abstand der beiden Magnetophone wird ein aufgespielter Impuls in kürzerem oder längerem zeitlichen Abstand nochmals abgetastet und dabei wieder auf M_1 aufgenommen. Es entsteht eine Folge $a_1 - - - - a_2 - - - - a_3 - - - -$. Die Wirkung entspricht etwa einer Rückkopplung mit einem sehr langsam laufenden Tonbandgerät, bei dem Aufnahme- und Wiedergabekopf in verschiebbarem Abstand angebracht wären. Statt einzelner Impulse können jetzt längere Klangfolgen in a enthalten sein. Im Schallplattenbeispiel 2 ist eine solche Schleifenaufnahme wiedergegeben, die in einem einzigen Arbeitsgang entstanden ist. Hier ist der Kunstgriff verwendet, einen elektronischen Klang (ungefähre Tonhöhe e^1) so lange zu halten, bis die Schleife über Wiedergabekopf M_2 mit der Aufnahme angekommen ist und den Klang nun selbsttätig im Aufnahmekreis (mit einstellbarer Dämpfung) festhält. Auf dem nächsten Bildwechsel des Filmkomplexes setzt (gespielt) der nächste Klang ein, wird wieder von der Schleife übernommen und so fort. (Vergl. Abschnitt 3, Schallplattenbeispiel 2).

Für mehrkanalige Aufnahmen ist ein zweiter Verstärker V_2 mit Schallstrahler S_2 vorgesehen. Nach der Aufnahme des ersten Systems über 1, 2, $V_1, S_1, 3, M_1$ wird es über 7, V_2, S_2 zugespielt (Wege 3 und 5 sind nicht geschaltet). Synchron zum System 1 und im Normpegel für S_1 und S_2 wird System 2 auf dem MTR gespielt und auf M_2 über 1, 2, $V_1, S_1, 4$ aufgenommen. Beide Systeme sind zueinander synchron, aber auf getrennten Ton-

bändern verfügbar. Für die Ton-Bildbearbeitung werden beide Tonbänder auf Magnetfilm (Perfoband) überspielt und die Perfobänder am Bild-Ton-Schneidetisch synchron zueinander und synchron zum Bildablauf angelegt. Bei der Mischung des Films kann jeder Kanal für sich noch geregelt werden. Ebenso kann man verfahren, wenn auf fertige Tonaufnahmen noch elektronische Effekte aufgesetzt werden sollen, ohne daß das Band überspielt wird.

Bei elektronischen Aufnahmen mit dem MTR kann der Bild-Ton-Schneidetisch als Bildvorführgerät verwendet werden. Das (geringe) Laufgeräusch ist für die Aufnahme belanglos, da kein Mikrofon existiert. Der Vorteil gegenüber einer Aufnahme nach Bild im Filmstudio liegt darin, daß das Bild nicht in Synchrontakes getrennt zu werden braucht, daß zur Bildvorführung keine Bedienungskräfte benötigt werden, daß zur Tonaufnahme die schon angelegten Perfobänder mitlaufen können und zu hören sind (z. B. Kommentar oder Geräusche oder eine bereits aufgenommene Klangkulisse). So ist das Schallplattenbeispiel 2 nicht nur in einem tonbandtechnischen Arbeitsgang hergestellt worden, sondern bei dieser Aufnahme war durch das mitlaufende Bild auch zugleich die Ton-Bild-Synchronität erfüllt. Wenn Bild und Sprache zusammen vorgeführt werden können, so lassen sich die erforderlichen Klangkulissen nicht nur bildsynchron, sondern auch pegelsynchron zum Sprachtext herstellen. Es kann dann das lästige Herunterdrehen und Heraufdrehen bei der Mischung weitgehend vermieden werden. Wichtige Effekte können an der richtigen (textfreien) Stelle voll ausgespielt werden. In ihren Nachklang setzt ungehindert von der Akustik der Text ein. Die Anlegearbeit am Schneidetisch kann dadurch wesentlich erleichtert und verkürzt werden.

Ein anderer Kreis studioteknischer Varianten wird durch die Magnetophone mit gleitender Bandgeschwindigkeit erschlossen. Die Antriebsmotore reagieren noch stabil und mit ausreichendem Gleichlauf auf einen Frequenzbereich von 25 bis etwa 75 Hz. Das ergibt bei den vier Normgeschwindigkeiten 76, 38, 19 und 9.5 cm/sec einen kontinuierlich überstreichbaren Geschwindigkeitsbereich von über 100 cm/sec Breite. Die studioteknisch interessanten Bereiche liegen innerhalb der Oktavtranspositionen, die die Normgeschwindigkeiten ausführen. So liegen z. B. Transpositionen von Sprachklängen durch Umschaltungen der Normgeschwindigkeiten schon außerhalb der Grenzen, in denen sie praktisch verwendet werden können. Die starken Formantverschiebungen und das denaturierte Sprechtempo erzeugen daraus reine Klangeffekte. Variiert man jedoch die Bandgeschwindigkeit um Intervalle, die eine Terz oder Quart nach oben oder unten nicht überschreiten, so lassen sich Varianten erzeugen, die in der Ausdruckskraft dem Original verwandt sind und doch etwas unerwartet Neues hervorbringen. Eine aufgeregte Volksmenge beruhigt sich schon merklich, wenn der Klang eine Terz tiefer transponiert wird. Ein anscheinend harmloses Gemurmel belebt

sich und wird spürbar erregt, wenn der Klang um eine Terz oder Quarte nach oben transponiert wird. An solchen Effekten sind Tonlage und Tempo in gleicher Weise beteiligt. Eine elektronische Aufnahme, die einige Mühe gemacht hat, kann nicht ohne weiteres in anderer Tonart oder in anderem Tempo neu produziert werden. Bei elektronischen Geräuschesynthesen ist im allgemeinen nicht vorher bekannt, wie man ein spezielles Ton-Bild-Problem löst. Man kann dann aus Tonbandvarianten verhältnismäßig rasch schließen, in welcher Richtung die Klangsynthesen entwickelt werden müssen und hat oft in einer der angestellten Transpositionen schon die Lösung. Auch für die instrumentale elektronische Spieltechnik sind die Transpositionen in kleinen Intervallen aufschlußreich. Es kommt ein neuer Partner ins Spiel.

3. Die Beispiele auf der Schallplatte

Seite 1 der Schallplatte enthält die Beispiele 1—4; Seite 2 enthält die Beispiele 5—8. Sämtliche Beispiele sind nur mit der rein elektronischen Klangerzeugung des MTR und der Studio-Tonbandtechnik hergestellt.

Beispiel 1 Ton- und Klangfarbenerzeugung am MTR zur oszillographischen Beobachtung.

- a) Kippfrequenz 260 Hz plus minus Hallplatte.
- b) Kippfrequenz 130 Hz mit gleitend variiertem Formanten.
- c) Kippfrequenz 130 Hz mit 2 Formanten, hoch und tief.

Beispiel 2 „Stahl, Thema mit Variationen“ (4). Film-Ausschnitt: Aus dem Hochofen kommende Eisenströme verzweigen sich und fließen in riesige Bottiche.

MTR, Tonbandschleife und Bildvorführgerät.

Beispiel 3 „Die Träume des Herrn Jules Verne (5). Film-Ausschnitte:

- a) Die Mondrakete startet. MTR Glissandi.
- b) Ungeheuer in den Tiefen des Meeres. MTR, Ringmodulator im Kippfrequenzkreis, Hallplatte.
- c) Absturz der Rakete ins Meer. MTR, Rauschgenerator.
- d) Triumphierender Einzug in Paris. MTR 5-fach überspielt.

Beispiel 4 „Unter der Oberfläche“ (6). Film-Ausschnitt:

- a) Saxophon und Gitarre. MTR transponiert, zweifach überspielt, Mischung von zwei Tonbändern.
- b) Panorama von Gesichtern. MTR, Formanten, Ringmodulatoren.

Beispiel 5 „Das Magische Band“ (7). Film-Ausschnitt:

Ein Mensch geht. Bildkomposition nach elektronischer Musik. MTR mit rückgekoppeltem Tonband, Tonbandtranspositionen, Tonbandmischungen.

Beispiel 6 „Berliner Kaleidoskop“ (8). Film-Ausschnitte:

- a) Kurfürstendamm. MTR zweifach.
- b) Sportpalast. MTR dreifach.
- c) Oper. MTR vierfach.
- d) Brandenburger Tor. MTR fünffach.
- e) Marienkirche. MTR einfach.

Beispiel 7 „Ici Mars“, Tonbandstudie.

MTR-Vokale, MTR-Konsonanten, Tonbandschnitt, Tonbandtranspositionen, Tonbandmischungen.

Beispiel 8 Improvisation mit dem Rauschgenerator.

MTR-Rauschgenerator, Formanten, Schlagwerk.
(Keine Überspielungen, keine Tonbandtricks).

4. Erläuterungen zu den Beispielen 1, 5, 7, 8 der Schallplatte

Beispiel 1 ist zur oszillographischen Beobachtung nur auf die beiden Kippfrequenzen 130 und 260 gestellt. Sie lassen sich bei geeigneter Einstellung der Ablenkfrequenz der Reihe nach ohne Neujustierung als stehende Bilder betrachten. Es wird angenommen, daß die Übertragung vom Tonband auf die Schallplatte nur unwesentliche Bildänderungen verursacht. Das Charakteristikum der Kipperschwingung ist der un stetige Amplitudensprung am Beginn jeder Schwingungsperiode. Da diese Unstetigkeit durch Einflüsse nahezu jeder elektrischen Art gemildert wird, kann sie exakt nur im Kipperschwingkreis selbst beobachtet werden. Es ist schon ständige oszillographische Kontrolle erforderlich, um sie durch eine Röhrenentkopplungsschaltung und über längere Schaltwege mit Regelorganen einigermaßen unangetastet bis zu den Formantkreisen zu bringen. Vorgang 1a zeigt zunächst die Kippfrequenz, vom Oscillator direkt auf das Magnetophon gegeben, sodann wird allmählich die Hallplatte zugeschaltet und der direkte Impuls weggenommen. Entsprechend variieren verhallter und direkter Impuls wieder zurück. Man erkennt den starken aleatorischen Einfluß der Hallplatte auf die streng periodische Kippfrequenz. Vorgang 1b zeigt einen gleitend variablen Formanten, der als einfacher elektrischer Schwingungskreis in den Weg der Kippfrequenz geschaltet ist. Hierbei entsteht das von F. Trautwein entdeckte oszillographische Phänomen der „Ziehharmonika-Variation“ der Eigenfrequenz des Formanten. Diese Eigenfrequenz klingt innerhalb einer Schwingungsperiode gedämpft ab und wird wieder durch den nächsten Anstoß der (unstetigen) Kippfrequenz neu erregt. Die am Periodende noch vorhandenen Energiereste lassen sich mit speziellen mathematischen Behandlungsmethoden verfolgen und führen auch theoretisch zu dem eigentümlich schwankenden Amplitudenverlauf, den das Oszillogramm andeutungsweise erkennen läßt (9). Vergleicht man mit diesem eindeutigen oszillographischen

Befund den Höreindruck des Schallplattenbeispiels, so wird der Unterschied zwischen physikalisch-synthetischer Auffassung — die das Oszillogramm in völliger Kongruenz mit der tatsächlichen elektronischen Schaltung widerspiegelt — und resonatorisch-analytischer Auffassung sehr deutlich. Wir hören nichts von der gleitenden Formantfrequenz. Statt dessen entsteht eine Art Oberton-Gleiten. Wir hören ausschließlich zur Kippfrequenz harmonische Teiltöne. Da diese Teiltöne an keiner Stelle der elektronischen Schaltung lokalisierbar vorkommen, so ist es nicht verwunderlich, wenn sich viele Mißverständnisse eingestellt haben. Sofern man nicht an den Tatsachen vorbeigeht, daß die physikalisch-elektronische Konstruktion oszillographisch, die psycho-physische Reaktion aber näherungsweise fourieranalytisch verläuft, haben sich niemals Mißverständnisse ergeben können. Anders wird das jedoch, wenn man das analytische Ergebnis auf die physikalisch-elektronische Synthese übertragen will und Klangfarbenkombinationen nach Art der Formantstrukturen mit Summen analytischer Teiltöne herzustellen versucht. Sind z. B. 2 Formanten eingeschaltet, wie in Vorgang 1c, wo zu dem tiefliegenden Formanten nach Art des Vorganges 1b noch ein sehr hoher Formant hinzukommt, der bei gleichem Dekrement natürlich viel schneller aus dem Oszillogramm verschwindet, so genügt ein Blick auf das Oszillogramm, um zu erkennen, daß die analytische Fourier-Reihe hier sehr langsam konvergiert. Um einen solchen Vorgang darzustellen, sind somit sehr viele, streng zur Grundschwingung harmonische sin-Generatoren erforderlich, die zudem noch sehr genaue Amplitudenbedingungen erfüllen müssen, damit sich die Formantbereiche deutlich ausprägen. Nun hat aber Trautweins Schaltung ohne weiteres die Möglichkeit in sich, den Grundton zu wechseln, ohne daß der Klangfarbenempfindung etwas passiert. Schallplattenbeispiel 4b führt eine solche Formantsynthese mit variabler Kippfrequenz vor. Die Empfindung der hohen, schwirrenden Klangfarbe bleibt geradezu aufdringlich unbeeinflusst von der wechselnden Tonfolge. Hier steht die analytische Konstruktionshypothese vor einem unlösbaren Problem. Denn in ihr steckt keineswegs eine Variation der Grundfrequenz oder der Teiltöne, die die Klangfarbenempfindung unangetastet läßt. Es müssen nicht nur sämtliche Generatoren von Grundton zu Grundton genauestens neu eingestimmt werden, sondern es ändern sich auch alle Amplituden, wenn die Klangfarbenempfindung bei wechselndem Grundton erhalten bleiben soll.

Wird aber an einem so durchsichtigen elektronischen Schaltbeispiel, das seit langem zum gesicherten Stand der Technik gehört, schon erkennbar, daß es eine aus der Fourier-Theorie ableitbare Konstruktionsalternative für elektronische Klangfarben nicht gibt, so gilt das natürlich um so mehr, je weiter sich die Klangsynthesen von diesem einfachsten Normfall entfernen. Bemühungen, die sich das Ziel gesetzt haben, aus fourier-analytischen sin-Frequenzen elektronische Klangfarbensynthesen herzustellen, müs-

sen hiernach als ebenso prinzipiell aussichtslos bezeichnet werden wie die Konstruktion des Perpetuum mobile 1. Art. Das Verdienst, diesen negativen Beweis geliefert zu haben, fußend auf den Vorarbeiten von Herrmann und Stumpf, gebührt F. Trautwein. Seine prinzipielle Konstruktion Kippfrequenz + elektrischer Schwingungskreis = grundtonunabhängige elektronische Klangfarbensynthese hat in der weiteren Ausgestaltung zu Klangfarbenschalungen geführt, die praktisch jede gestellte Forderung erfüllen können. Wo zufällige konstruktive Grenzen existieren, kann die Tonbandtechnik mit ihren Transpositionsmöglichkeiten herangezogen werden. In der Voder- und Vocodertechnik hat sich gezeigt, daß man mit denselben Elementen (Kipp- und Rauschgeneratoren, Formant- und Siebketten-schalungen) zu künstlichen Sprachsynthesen gelangt, wenn man geeignete Modulationsschalungen entwickelt, die die Kippfrequenzen und die Formanten nach dem Vorbild der menschlichen Spracherzeugung beeinflussen. Schallplattenbeispiel 7 zeigt, daß man künstliche Sprachsynthesen auch mit dem MTR und der Tonbandtechnik herstellen kann, die hier die Rolle der Modulatoren ersetzt. Einige künstliche Vokale und Konsonanten wurden auf dem MTR hergestellt und mit Tonbandschnitten zu wortartigen Gebilden zusammengesetzt. Die Vokale wurden auf einem konstanten Stimmtone erzeugt. Es entstanden 6 künstliche Wörter: Kakao, süß, Kakadu, ici Mars, karöiasusteg. Mit diesem Material wurde das Beispiel 7 durch tonbandtechnische Prozesse gestaltet. Hierbei sollte die (selbstgestellte) Bedingung erfüllt werden, daß die ersten drei Kunstwörter nicht verständlich werden. Die konstanten Stimmtöne wurden durch gleitende Tonbandvariationen verändert, das spärliche Material wurde durch Transpositionen verschiedenster Arten vermehrt, überspielt, geschnitten, verhallt und auf insgesamt 4 Magnetophonen mehrfach gemischt. Die tonbandtechnische Bearbeitung der Kunstwörter zur Klangsynthese des Beispiels 7 dauerte 3 Stunden.

Im Gegensatz dazu ist das Beispiel 8 eine kurze, unmittelbar improvisierte und aufgenommene Studie mit dem Rauschgenerator, der auf das Spielmanual des MTR und damit auch über die Formantkreise und das elektronische Schlagwerk geschaltet ist. Hierbei war die Tonbandtechnik, bis auf die Tonaufnahme selbst, mit Tricks nicht beteiligt. Das Beispiel demonstriert den Unterschied in der Art der Bedienung zwischen einem Laboratoriumsgenerator für weißes Rauschen und der MTR-Manualschaltung in Verbindung mit dem elektronischen Schlagwerk. Mit einem in dieser Weise spielbaren Rauschgenerator kann man Aufnahmen nach Bild durchführen. Damit werden alle Vorteile der mikrofonlosen Ton-Bild-Aufnahme auch auf die Geräuschkulisse anwendbar. Man kann auch hierbei einen bereits zum Bild angelegten Kommentar oder andere schon fertig hergestellte Klangkulissen mit dem Bildablauf hörbar machen und die Geräuschschnitten danach einrichten. Die Anlegearbeit wird wieder entspre-

chend verkürzt. Bei Geräuschsynthesen liegt der Erfolg entscheidend darin, daß der Vorgang so bildsynchron wie möglich erfaßt wird.

5. Organisation und technische Einrichtung des Studios

Das Studio für MTR befindet sich im Hause Mars-Film, Berlin-Ruhleben, in eigenen Räumen. Die technische Einrichtung ist Eigentum des Studios (10). Aufträge für das Studio kamen aus allen Anwendungsgebieten der Tonband- und Filmtechnik. Die Filmaufträge wurden in steigendem Maße von der Komposition bis zu mischfertig angelegten PerFOBändern in eigener Studioregie durchgeführt.

Über die zur elektronischen Klangerzeugung mit dem MTR erforderlichen Patente hat das Studio alleinige Rechte (2).

Es sind 4 Tonbandgeräte vorhanden: zwei Manetophone M 5 (Telefunken, AEG) mit 76, 38, 19 und 38, 19, 9,5 Bandgeschwindigkeiten; ein AEG b2-Magnetophon für 76 und 38 sowie für gleitende Bandgeschwindigkeit mit Tieftongenerator; ein Magnetophon M 23 (AEG) für 19, 9,5 und gleitende Bandgeschwindigkeit.

Zur Überspielung der Tonbänder auf Magnetfilm dient eine Magnettonkamera (W. Albrecht) für 17,5 und 35 mm Magnetfilm (PerFOBand). Zum Anlegen der PerFOBänder an das Bild und zur Bildvorführung bei der elektronischen Aufnahme steht ein Bild- und Ton-Schneidetisch ST 700 (Steenbeck) zur Verfügung, auf dem 2 PerFOBänder gleichzeitig zum Bild angelegt werden können.

Zur Erzeugung des Nachhalls und zur aleatorischen Modulation der elektronischen Klangsythesen dient eine Hallplatte (3). Der normgerechte Frequenzgang der Studiogeräte wird durch Meßbänder und einen Meßgenerator überwacht. Die Kontrolle der Aussteuerungspegel erfolgt mit einem Oszillographen, bei dem der Kathodenstrahl nur senkrecht abgelenkt wird. Die produzierten und gecutteten Tonbänder werden im Bandarchiv registriert. Um auch nichtelektronische (Geräusch-) Effekte herstellen und nach Art der konkreten Musik bearbeiten zu können, ist ein Kondensator-Mikrofon (U 47 Telefunken) vorhanden. Das Studio ist durch Moltopren-Schaumstoffplatten soweit abgedämpft, daß ein Abhören der Aufnahmen etwa in der gleichen Raumakustik erfolgen kann wie in den Mischateliers. Da die Raumakustik für die mikrofonlose Aufnahme keine Rolle spielt, erübrigten sich besondere Maßnahmen. Es war auch nicht erforderlich, den Störpegel der (im wesentlichen landschaftlichen) Umgebung vom Studio fern zu halten. Auch die Hallplatte hat sich gegenüber dem Störpegel im Hause und in der Umgebung ohne besondere Maßnahmen als unempfindlich erwiesen.

Schrifttum und Anmerkungen

- (1) Sala, O.: Elektronische Klanggestaltung mit dem Mixtur-Trautonium. Gravenano, Musik, Raumgestaltung, Akustik. Ars viva Verlag (Hermann Scherchen). Mainz 1955.
Sala, O.: Subharmonische elektrische Klangsynthesen. Klangstruktur der Musik. Verlag für Radio-, Foto-, Kinotechnik. Berlin-Borsigwalde 1955.
- (2) Sala, O.: DBP 917 470 v. 14. 2. 52. Frz. Pat. 1 074 838 v. 9. 2. 53. US. Pat. 2 740 892 v. 22. 7. 52. DBP 1 017 448 v. 19. 1. 52.



Abb. 1 Mixtur-Trautonium mit Saitenmanualen, Registern und elektronischem Schlagwerk.

Fig. 1. Mixture Trautonium with string manuals, stops and electronic percussion unit

- (3) EMT Elektromeßtechnik Wilhelm Franz KG, Lehr.
Kuhl, W.: Über die akustischen und technischen Eigenschaften der Nachhallplatte. Rundfunktechn. Mitteilungen 2, 1958, Nr. 3, Seite 111—116.
- (4) Mannesmann-Filmproduktion. Gestaltung: Hugo Niebeling. Musik: O. Sala. 1960.
- (5) Produktion Türkfilm. Gestaltung: Walter C. Türk. Musik: O. Sala. 1960.
- (6) Produktion SFB Fernsehen. Gestaltung: Manfred Durniok. Musik: O. Sala. 1960.
- (7) Produktion Gesellschaft für Bildende Filme. Regie: F. Khittl. Elektronische Musik: O. Sala. 1959.
- (8) Produktion und Gestaltung: Manfred Durniok. Musik: O. Sala. 1960.
- (9) Sala, O.: Experimentelle und theoretische Grundlagen des Trautoniums. Frequenz 2 (1948), Seite 315—322. 3 (1949), Seite 13—19.
- (10) Das Studio ist die private Arbeitsstätte des Verf.

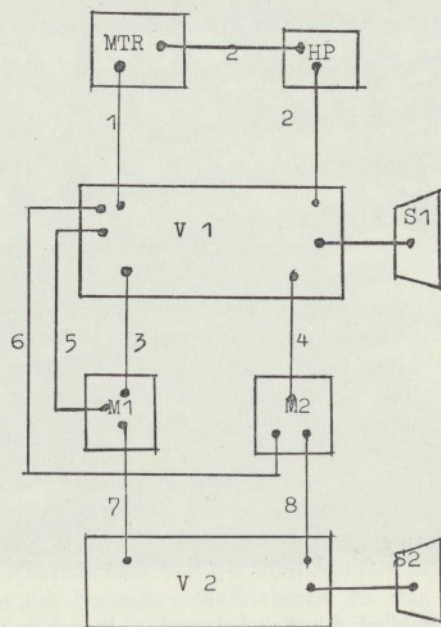


Abb. 2 Schaltplan des Studios für Mixtur-Trautonium.

Fig. 2. Block schematic of the Studio for Mixture Trautonium

Mixture-Trautonium and Studio Technique

Electronic Music for Films

by

OSKAR SALA

1. The Mixture-Trautonium in the Studio

Fig. 1 shows the mixture-trautonium (MTR) with the two string manuals, mixture and timbre stops and the electronic percussion accessory units. The frequencies are generated by grid controlled gas flash tubes synchronized in a special circuit^{1,2}. The relaxation oscillations are coloured by formants and filtering (cf. Part 4, Notes on Recorded Example 1). The electronic percussion unit produces modulations which can be fed to influence the relaxation oscillators, e.g. amplitude variations, rhythmical interruptions with continuously variable interruption frequencies, and frequency variations with adjustable time and frequency ranges. The electronic percussion unit also contains a random noise generator which can be used instead of or together with the relaxation oscillators (cf. Part 4, Notes on Recorded Example 8). Although in concert performances only those of the MTR's sound syntheses are practicable which can be obtained quickly and surely by simple registers, in the studio it is no great disadvantage for a special sound synthesis to require some minutes of preparation; it is also possible in the studio to surpass the built-in registers by altering the wiring or using additional instruments. It only takes a few minutes, for example, to insert ring modulators in the relaxation circuit, to set up special formant circuits, to feed the electronic percussion modulation into various points of the generating circuits, to connect the subharmonic mixture relaxation oscillators over separate channels with differing timbre, or to augment the subharmonic chord combinations by subharmonic series produced by relaxation oscillators of other frequencies. This latter case involves tuning the various independent relaxation oscillators to a common base on the string manual; this takes several minutes and cannot therefore be used in concert practice, although it has become a must in the studio. If two independent relaxation oscillators are tuned to the interval 8 : 9 for example, two subharmonic series a whole tone apart are produced, giving mixtures of seconds as far as the highest register, where each subharmonic series by itself delivers only intervals in the relationships of 1 : 2 : 3 : 4 — octaves, fifths and fourths. Novel sounds and new aspects in playing technique were given by the use of the MTR in combination with a reverberation plate³, not only for its adjustable reverberation time but for its random blurring of the electronic oscillations' rigid periodicity (cf. Part 4, Notes on Recorded Example 1).

Stimulated by interesting problems arising in practice, we further developed such sound syntheses as appear to the listener as well-nigh perfect imitations of familiar instrumental sounds, even though they are the spontaneous result of electronic work, being actually no different to undisguisedly electronic sounds. What makes these sounds particularly interesting is the fact of their being produced without microphones giving electronic composition and recording a new range of possibilities.

2. Studio Methods

Fig. 2 shows the studio's block schematic. Line 1 connects the MTR directly to the loudspeaker group S_1 through the mixer amplifier V_1 . Line 2 connects it to V_1 over the reverberation plate. Straight and reverberated sound can be controlled at the MTR and at V_1 . Lines 3 and 4 connect V_1 to the tape recorders M_1 and M_2 , which record the sound fed to S_1 . Lines 5 and 6 connect the playback amplifiers of M_1 and M_2 to V_1 , playing back over the same loudspeakers S_1 . These lines 1 to 6 include no microphone; no feedback can occur unless lines 4 and 6 or 3 and 5 are switched on together. S_1 is permanently adjusted to standard playback level.

If it is required to synchronize a sound sequence B to an existing sequence A , A is played back from M_1 over 5 to S_1 at standard level while B is played on MTR over 1 and 2 to S_1 . After sufficient rehearsal for level and synchronization, the whole is recorded on M_2 through 4. For the next step, M_2 is switched over line 6 to S_1 and rehearsals are begun on the MTR with a new sequence C , giving $A+B+C$ in S_1 . If A is not to be erased, the tape on M_1 is advanced sufficiently and $A+B+C$ recorded thereon, finally giving two tapes A , $A+B+C$, $A+B+C+D+E$, etc. on M_1 and $A+B$, $A+B+C+D$, etc. on M_2 . The intermediate stages can always be reexamined; there is no changing of tapes, and there are no deviations from standard level, making for fast work.

The procedure can be varied at any point. If C is to be replaced by a new version C_1 , we can start with $A+B$ on M_2 , finally giving the variation $A+B+C_1+D_1+\dots$. If a fairly long sequence A is to be only interspersed with new electronic effects at the points $A_1, A_2, \dots$, it is only necessary to play the new passages and splice them into A at the desired points. Any desired tricks of tape recorder practice can also be used during dubbing, giving A , At_1+B , $(At_1+B)t_2+C$, etc. If line 5 or 6 is "on" during recording, feedback effects are the result; tape speed is chosen depending on the flutter echo desired. The rhythm of the echo pulses are a wonderful stimulus to improvisation on the MTR (cf. Part 3, Recorded Example 5).

These sound syntheses of MTR and tape technique can be augmented by feedback over the playback head of M_2 . The tape is placed on M_1 , passed past the heads of M_2 and back to the take-up spool of M_1 , giving something like a take loop which is, however, not continuous. Line 6 is switched on instead of line 5. Depending on the distance between the two recorders, the recorded signal is played back again after a longer or shorter interval and recorded on M_1 , resulting in the sequence $a_1 - - - - a_2 - - - - a_3 - - - - \dots$, which might be similar to feedback with an extremely low-speed tape recorder with adjustable recording to playback head distance. a need not consist of single pulses but may be a sequence of reasonable length. Recorded Example 2 is such a loop recording which resulted from a single working stage. The trick was to sustain an electronic note (approximate pitch e^1) long enough for the loop to pass over playback head M_2 from where on the sound is automatically kept in the circuit, with adjustable damping. At the next change of scene on the film, the next sound is played until it is taken over by the loop, and so forth (cf. Part 3, Recorded Example 2).

A second amplifier V_2 with its speaker S_2 is provided for multichannel recordings. The first system is recorded by 1, 2, V_1 , S_1 , 3, M_1 (lines 3 and 5 are not switched on together) and played over 7, V_2 , S_2 . System 2 is then played on the MTR synchronous to system 1 and at standard level for S_1 and S_2 and recorded on M_2 over 1, 2, V_1 , S_1 , 4. Both systems are then available synchronous but on separate tapes. In sound film work, both tapes are dubbed on 35 mm tapes which are synchronized to each other and to the film on the editing desk. This allows separate level control of each channel during mixing of the film. The same procedure can be employed if electronic effects are to be added to finished recordings without dubbing.

The picture and sound editing desk can be used as a film viewer during electronic recordings with the MTR. The running noise, which is only slight, is not recorded as there are no microphones. There are many advantages in this mode of operation as against recording to the picture in the film studio: the picture does not need to be divided into synchro-takes; no staff is required for the showing; and any perfortapes already recorded, such as commentary, noise effects or background music, can be played back during recording. Recorded Example 2 was not only produced but synchronized in a single operation, as the film was running during recording. Playing back the speech sound-track together with the film makes it possible not only to synchronize the background music to be recorded with the image but to adapt it synchronous to the changing speech level, obviating to a large extent the bother of continuously turning it up or down during mixing. Important effects can be played at full level at the correct

(text free) place, allowing the text to resume without being masked by the acoustic surroundings of the effect. Editing is considerably simplified and reduced.

Variable speed tape recorders open up a further range of possibilities in studio technique. The driving motors can be generally operated sufficiently steadily in the frequency range of from 25 to about 75 c/s*, giving a continuously variable range of more than 40 i. p. s. using the four standard speeds of 30, 15, $7\frac{1}{2}$ and $3\frac{3}{4}$ i. p. s. The practically interesting ranges lie within the octave transposition, which can be carried out without changing from one standard speed to another — for example, transposing speech by changing from one normal tape recorder speed to another already takes it beyond the limits within which it can still be used, as the excess shift in the formants and the denatured speed of the speech reduce it to no more than sound effect. If however the tape speed is varied up or down within intervals of a third or a fourth, the variants produced still show a clear relationship to the expression of the original while nevertheless having something new and unexpected about them. An excited crowd sounds considerably calmed when transposed down a third, while an apparently harmless murmur, transposed up a third or fourth, becomes lively and agitated. Pitch and speed share equal responsibility for such effects.

An electronic recording which has been made at the cost of considerable trouble cannot easily be made again in another key or at another speed. In the case of electronic noise syntheses, the solution of the sound track problem for a specific film is not generally known in advance, but tape variants fairly quickly give a clue as to the direction in which the sound syntheses should be developed — a transposition, as described above, surprisingly often gives the required sound without any further trouble. These narrow interval transpositions are also most useful and even revealing in purely instrumental electronic playing. They bring a new playing partner into action.

3. Recorded Examples

Each side of the record contains 4 examples, all of which were produced electronically by the sole use of the MTR and studio tape recorders.

Example 1. Tone and timbre produced by the MTR for oscillographic observation:

- a. relaxation frequency 260 c/s $\pm$ reverberation plate,
- b. relaxation frequency 130 c/s with continuously varied formants,
- c. relaxation frequency 130 c/s with two formants: high and low.

* based on the Continental standard power supply frequency of 50 c/s (translator's note).

Example 2. "Steel: Theme with Variations"⁴, excerpt: rivers of iron pour from the blast furnace and flow, divided, into giant moulds. MTR, tape loop and film viewer.

Example 3. "The Dreams of Mr. Jules Verne"⁵, excerpts:

- a. The start of the moon rocket. MTR glissandi.
- b. Monster in the depths of the sea. MTR, ring modulator in the relaxation circuit, reverberation plate.
- c. The rocket crashes into the sea. MTR, random noise generator.
- d. Triumphant march into Paris. MTR with fivefold dubbing.

Example 4. "Beneath the Surface"⁶, excerpts:

- a. Saxophone and guitar. MTR transposed, dubbed twice, mixture of two tapes.
- b. Panorama of faces. MTR, formants, ring modulators.

Example 5. "Das Magische Band"⁷, excerpt: "Ein Mensch geht". Picture made to the electronic music. MTR with tape feeding back, tape transpositions and mixtures.

Example 6. "A Berlin Kaleidoscope"⁸, excerpts:

- a. Kurfürstendamm. MTR twice.
- b. Sport Palace. MTR three times.
- c. Opera House. MTR four times.
- d. Brandenburg Gate. MTR five times.
- e. St. Mary's Church. MTR once.

Example 7. "Ici Mars", tape study. MTR vowels, MTR consonants, tape splicing, transposition and mixing.

Example 8. Noise generator improvisation. MTR noise generator, formants, percussion — no dubbing, no tape tricks.

4. Notes on Recorded Examples 1, 5, 7, 8

For ease in oscillographic observation, Example 1 uses only the frequencies 130 and 260 c/s giving a stationary image with only a single adjustment of the oscillator time base. It is assumed that manufacture of the record from the tape will not have markedly altered the image.

The characteristic feature of relaxation oscillations is the sharp transient at the beginning of each period. As the sharpness of this transient is softened by just about any kind of stray electrical influence, it can be accurately observed only in the relaxation circuit itself. Constant oscillographic control is necessary to lead it over an isolating tube circuit and lengthy connections containing control elements to the formant circuits in a reasonably pure form.

Event 1*a* shows first of all the relaxation frequency by itself, taken right from the oscillator; the reverberation plate is then gradually added and the direct signal removed and vice versa. The random influence of the reverberation plate on the strict periodicity of the relaxation oscillation can be easily seen.

Event 1*b* shows a continuously variable formant which has been switched as a simple electric circuit into the path of the relaxation frequency, resulting in the oscillographic phenomenon, discovered by F. Trautwein, of "accordeon variation" of the formant's own frequency, which decays within each relaxation period and is excited again by each new relaxation peak. The small amount of vibrating energy still remaining at the end of each period can be defined by special mathematical methods, giving the theoretical explanation for the peculiar, fluctuating amplitude of which the oscillogram gives an indication⁹. A comparison between this unambiguous oscillographic result and the aural impression of the record clearly shows the difference between the physical, synthetic view of an event — shown by the oscillogram in complete agreement with the actual electronic circuit — and the resonating, analytical impression. The sliding formant frequency cannot be heard — instead, a kind of sliding overtone is produced: we hear nothing but overtones which are harmonics of the relaxation frequency. But as these harmonics do not occur at any point of the electronic circuit, it is no wonder that there have been many misunderstandings, which, however, are soon cleared up when it is considered that the physical, electronic design follows the same laws as the oscillograph, while the psycho-physiological reaction approximately follows Fourier's theorem.

All this is changed if we wish to transfer the analytical result to the physical-electronic synthesis to produce timbre combinations of the same kind as the formant structures but with sums of analytical harmonics.

Even 1*c* has two formants: a low one similar to that of 1*b* but, in addition, a very high one which disappears out of the oscillogram much faster with the same decrement; the oscillogram shows at a glance that the analytical Fourier series is converging gradually. In order to represent such an event, a large number of sine wave oscillators, which are not only strictly harmonic to the fundamental frequency but must fulfil stringent amplitude requirements, are required to give clear formants.

Now Trautwein's circuit can retain a constant timbre over a varying fundamental, and Example 4*b* demonstrates such a formant synthesis over a variable relaxation frequency. The impression of the high, whirring timbre is really obstinate in its constancy over the changing pitch. This provides an insoluble problem for the analytical design hypothesis, for it does not by any means contain a variation of the fundamental or of

the harmonics which leaves the impression of timbre untouched: not only should it be expected that all oscillators must be tuned anew for each fundamental — all the amplitudes must change if the impression of timbre is to remain constant over a changing fundamental.

Even this simple circuit, which has long been part and parcel of electronic design principles, clearly shows that electronic timbre cannot be obtained by a design based on Fourier series — and how much more is this proved by more complicated cases. The many attempts at producing electronic timbre syntheses from Fourier series of pure tones must hence be described as hopeless — just as hopeless as first order perpetual motion. The credit for having found this negative proof, based on the preliminary work of Herrmann and Stumpf, is due to F. Trautwein, whose basic designs, Relaxation frequency + Resonant circuit = Electronic timbre synthesis independent of the fundamental, has been further developed to timbre circuits fulfilling practically any requirements. Any limits to the design which happen to exist can be overcome by tape technique with its transpositions.

Voder and vocoder experience showed that the same elements as used here — relaxation and noise generators, formant circuits and filter chains — can give artificial voice syntheses. The relaxation oscillations and the formants must here be modulated by suitable circuits in such a way as to imitate the human voice. Example 7 shows that the MTR together with the tape recorder can take the part of these modulating circuits to produce voice syntheses: artificial vowels and consonants were made by the MTR and spliced to form word-like structures, the vowels being "spoken" on a single pitch. 6 artificial words were the result: Kakao (pronounce as written, = cocoa), süß (pronounce zus, the u, which is long, as in French; = sweet), Kakadu (pronounce kakadoo, = cockatoo), ici Mars, karéazooostake. This material and 3 hours' work on 4 tape recorders (during which the self-imposed requirement of making the first three words unintelligible was fulfilled) changing the constant voice pitch by sliding tape variation, transposition of various kinds, dubbing, cutting and splicing, reverberating and mixing, finally resulted in Example 7.

In contrast to Example 7, Example 8 is a short improvisation immediately recorded and with no subsequent tape editing whatever. To produce it, the noise generator was connected to the MTR's playing manual and thereby also to the formant circuits and the electronic percussion unit. The example demonstrates the difference between normal laboratory work with a random noise generator and the MTR manual circuit used in conjunction with the electronic percussion unit. With this "playable noise generator" it is quite easy to record a film sound track, making all the advantages mentioned above in regard to sound track recordings without

microphones also available to the recording of background noise, which can be adapted easily and accurately to already existing text or other sound effects played back during recording. This makes for much easier and much less editing, for exact synchronism with the picture is indispensable to the success of background noise.

5. The Studio's Organization and Equipment

The Studio for MTR has its own premises in Mars Film House, Berlin-Ruhleben. The equipment is owned by the studio¹⁰. Orders for work have been received to cover all fields of application of tape and film. More and more film orders have been carried out ranging from composition to the production of perfortapes ready for mixing.

The Studio is the sole owner of all patents protecting electronic sound production with the MTR³.

4 tape recorders are on hand: two Telefunken and AEG M 5 Magnetophones with 30, 15, $7\frac{1}{2}$ and $15, 7\frac{1}{2}, 3\frac{3}{4}$ ips.; an AEG b 2 with 30 and 15 and continuously variable speed by a low frequency high output oscillator; and an AEG M 23 for $7\frac{1}{2}$ and $3\frac{3}{4}$ and variable speeds. The $\frac{1}{4}$ inch tapes made on these machines are dubbed on to 17.5 or 35 mm perforated tape by an Albrecht "Magnetic tape camera". Perforated tape editing and synchronization and film showings for electronic recording are carried out by means of a Steenbeck ST 700 film editing desk which takes the film and two perfortapes simultaneously. An EMT Franz-Kuhl reverberation plate³ produces reverberation and random modulation of the electronic sound syntheses. The response of this studio equipment is kept to standard by standard tapes and a standard oscillator; the level is checked by means of a standard oscillograph with vertical beam deflection only. The tapes edited and produced are registered in a tape library. In order to enable also the production of not purely electronic (i. e. noise) effects for subsequent treatment in the manner of musique concrète, a Telefunken U 47 condenser microphone is available. The walls of the studio have been treated with Moltoprene foam material to the extent of enabling playback in acoustics similar to those of most sound film mixing studios. Special measures are not required for recording without microphones; it was not even necessary to sound-proof the studio which, at any rate, is in an extremely quiet suburban setting. Even the reverberation set has proved unaffected by the noise entering the studio from other parts of the building or the outside.

Betrachtungen über: Bewegung, Schwingung, Resonanz und Eigenton

von

W. BÜRCK

Schon die alten Philosophen verbanden bei ihren Gedanken über die Unterschiede zwischen der toten und der lebendigen Natur die Begriffe „Leben“ und „Bewegung“ miteinander. Naturerscheinungen, die gelegentlich oder stets mit sichtbaren Bewegungen verbunden sind, so auch die sogenannten 4 Grundelemente Erde, Luft, Wasser und Feuer, wurden mit fiktiven lebenden Wesen, den Göttern und Halbgöttern, in Verbindung gebracht. Licht und Schall wurden nicht als Schwingungen toter Materie, sondern als Äußerung einer lebendigen antreibenden Kraft angesehen.

Wenn wir uns heute überlegen, wie weit gemäß unserem jetzigen Weltbild die Bewegung ein besonderes Attribut des Lebendigen ist, so müssen wir wohl zu dem Schluß kommen, daß es zunächst einmal grundsätzlich verschiedene Arten der Bewegung gibt und daß andererseits keine scharfe Grenze zwischen der lebenden (organischen) und toten (anorganischen) Welt existiert. Wenn man hier schon Unterschiede machen wollte, so könnte man am ehesten definieren, daß Bewegungen, die nicht dem Zwang äußerer Ursachen entspringen, sondern ohne kausalen Zusammenhang mit äußeren Einflüssen, z. B. durch bewußte Willensentscheidung entstehen, ein besonderes Kennzeichen des Lebendigen sind, was aber nicht ausschließt, daß dieses Lebendige daneben auch den zwangsläufigen Bewegungsgesetzen voll unterliegt, wie sie im Anorganischen gültig sind. Auch hier gibt es aber Zwischenstadien. Wenn etwa eine Blume sich im Lauf des Tages stets mit der Achse ihrer Blüte nach dem Sonnenstand dreht, so kann dies einerseits als unbewußte Kausalkopplung zwischen dem Reiz der Wärme- und Licht-einstrahlung der Sonne und der Ortslage der Pflanze, andererseits aber auch vielleicht als komplizierte Zwangskopplung zwischen dem Energielieferanten Sonne und dem Stoffwechselablauf in der Pflanze, also als synchronisierte Schwingung, gedeutet werden.

Daß die winzigen Bausteine aller körperlichen Materie, also auch des Lebendigen, gemäß der Brown'schen Molekularbewegung ständige Schwingungen ausführen, ist seit längerer Zeit bekannt. Auch daß in der Nähe des absoluten Nullpunktes bei 0° Kelvin (ca. -273° C) diese Bewegung und damit auch jedes Leben er stirbt, ist Allgemeinut des Wissens. Aber ist es nicht ein Widerspruch, wenn in der Kälte des Weltenraumes trotzdem die Bewegungen der Sterne ablaufen, wenn in der Nähe des absoluten Nullpunktes der Temperatur im Falle der Supraleitung entscheidende

Hemmungen plötzlich wegfallen und die Elektronenströmung zwischen den Atomen und Molekülen extrem erleichtert wird?

Aber nun genug von solchen widerspruchsvollen Betrachtungen. Wenden wir uns zunächst den Verhältnissen an den Grenzen unseres Wahrnehmungsvermögens, dem Makrokosmos und dem Mikrokosmos zu.

Die auffallende Ähnlichkeit von Vorgängen im riesig Großen wie im winzig Kleinen, etwa der Umlauf der Planeten um die Sonne und der Umlauf der Elektronen um den Atomkern, ist schon oft der Grund weitreichender Spekulationen gewesen. Beide einander so ähnlichen Bewegungen stellen Schwingungsvorgänge hoher Perfektion dar, im einen Falle mit sehr langer Periodendauer, im anderen Fall mit sehr hoher Frequenz. Beides hat in unserem Leben in vieler Beziehung große Bedeutung und großen Einfluß. Am Beispiel physikalischer Grundbegriffe in unserem Dasein möchte ich dies erläutern.

Die Physik bezieht sich notwendigerweise auf gewisse Grundgrößen und fundamentale Einheiten, zu denen vor allem die Begriffe der Länge und der Zeit gehören. Für beides brauchen wir Normalmaßstäbe, mit denen verglichen werden kann. Wir betrachten das Meter und die Sekunde als Grundlage jeder physikalischen Messung. Wie aber sind diese Maße definiert?

Man versuchte stets, für uns unveränderliche Größen des Naturgeschehens zu Normalien zu erheben, nachdem das Stadium der sehr ungenauen Vergleichsmaßstäbe unserer eigenen Körperlichkeit („Fuß“, „Elle“, „Augenblick“) überwunden war. Der 10-millionste Teil des Erdquadranten hat damals als Längenmaß den Namen Meter erhalten. Auf Grund genauerer Meßmethoden mußte man aber später feststellen, daß dieses „Urmeter“ erstens um $\frac{1}{3}$ Millimeter zu klein und außerdem höchstens auf 2 Zehn-millionstel ($2 \cdot 10^{-7}$) genau kontrollierbar ist. Man hat sich daher in neuester Zeit entschlossen (seit Oktober 1960), die Wellenlänge des Kryptonisotops mit der Massezahl 86 (im Orange des sichtbaren Spektrums gelegen) im Vakuum als Grundlage aller Längenmessungen zu nehmen, das gemäß den Fehlern der Meßinterferometer mit einer Genauigkeit von 10^{-9} bestimmbar ist. Damit gilt die neue Definition:

1 Meter = 1 650 763,73 Wellenlängen der Kryptoneigenschwingung.

In ähnlicher Weise wird unsere Zeiteinheit die Sekunde auf natürliche Schwingbewegungen zurückgeführt: 1 Sekunde ist zur Zeit als $1/86\,400$ des mittleren astronomischen Sonnentags, was $1/86\,164\,091$ eines Stern-tages entspricht (1 Sterntag ist die Umrehungszeit der Erde gegenüber dem unveränderlich gedachten Fixsternhimmel). Die Genauigkeit der Festlegung dieses Zeitnormalen beträgt nur ungefähr 10^{-7} , kann aber durch langjährige Beobachtung auf etwa 10^{-9} gesteigert werden. Leider ist nun die Drehgeschwindigkeit der Erde um $3 \cdot 10^{-9}$ inkonstant und wird außer-

dem mit der Zeit wegen der Flut-Reibungsverluste immer kleiner. Man hat daher die Zeitdauer des Sonnenjahres anno 1900 genommen und zu 31 556 925,974 Sekunden festgelegt. Die Genauigkeit dieser Festlegung befriedigt aber nicht. Auf der Suche nach konstanteren Normalien hat man die Quarzuhren entwickelt, die nach jahrelangem Betrieb auf etwa 10^{-10} relative Genauigkeit kommen, aber selbst einer absoluten Eichung durch Naturnormalien bedürfen. Fig. 1 zeigt eine moderne hochkonstante Ausführung einer solchen Quarzuhr.

Als Eichnormal für Zeitmesser kommen nun wiederum die natürlichen Eigenschwingungen von Atomen in Frage, und zwar wegen ihrer hohen Konstanz (besser als 10^{-10}) die Cäsium-Atomschwingungen im Vakuum, die 9 192 631 770 mal in einer Sekunde erfolgen, wegen der vorher angegebenen Ungenauigkeit der bisher definierten Sekunde aber eine Toleranz von ± 20 Schwingungen pro sec haben. Ähnlich geeignet sind Ammoniak-Molekülschwingungen im Vakuum mit einer Eigenschwingungszahl von $23\,870\,128\,879 \pm 50$ Hz.

So bilden natürliche Eigenschwingungen materieller Gebilde die Grundlage unserer quantitativen Physik.

Für unsere biologisch-physiologische Existenz sind Schwingungen im makroskopischen Bereich von augenfälliger Bedeutung: Die Rotation der Erde um sich selbst und um die Sonne bestimmt Tag und Nacht, Sommer und Winter. Diese Wechselvorgänge haben Lebensrhythmen hervorgerufen, die im Einzelwesen als eingebaute biologische Uhren funktionieren. Versuche haben gezeigt, daß bei künstlich geänderten Lebensbedingungen (z. B. Tag-Nachtdauer) nicht ohne weiteres eine Umstellung erfolgen kann. Es besteht also ein eingewurzelter Wach-Schlaf-Rhythmus, Perioden mit dem Mondumlauf usw. Unsere Zivilisation bringt oft zwangsweise Unordnung in dieses natürliche System (künstliche Beleuchtung!) und ist daher unbiologisch und auf die Dauer ungesund.

Aber auch im mikroskopischen Bereich spielen sich in unserem Körper Vorgänge automatisch ab, die oft die Natur von Schwingungsvorgängen haben. Die molekularen Auf- und Abbauprozesse, Ionisierungsvorgänge, die bei der Fortleitung von Empfindungen in den Nervenbahnen wirken, verlaufen mit schwingungsähnlichen Impulsfolgen elektrischer Energie wie bei einem elektronischen Multivibrator. Viele Erscheinungen der physiologischen Akustik z. B. bauen sich auf solchen Vorgängen auf.

Nach diesen Ausblicken in die Gebiete extremer Dimensionen wollen wir uns mit der näherliegenden Größenordnung unserer eigenen Körpermaße beschäftigen. Die vorher genannten Grundeinheiten des Meters und der Sekunde entsprechen weitgehend unseren physischen Bedingungen (mittlere Körperlänge 1,6 m, Herzschlagperiodendauer 0,8 sec). Während im makroskopischen Bereich Frequenzen von 10^{-4} bis 10^{-9} Hz, im mikro-

skopischen solche von 10^8 bis 10^{15} Hz häufig sind, bewegen sich die ungeläufigen mechanischen und akustischen Schwingungen um Frequenzen von unter 1 bis über 10^4 Hz. Sie entstehen erfahrungsgemäß aus Zusammenwirken von Masse (Trägheit, Beharrungsvermögen) und Federwirkung (Elastizität, Nachgiebigkeit); energetisch betrachtet stellen sie Energiependelungen zwischen kinetischer und potentieller Energie dar. Im allgemeinen treten bei allen Schwingungsvorgängen auch merkliche Hemmungen, Widerstände und Verluste auf, die eine stetige Energiezufuhr zur Aufrechterhaltung der Schwingungen erfordern. Diese Energiezufuhr erfolgt durch das Angreifen von äußeren oder inneren Kräften am mechanischen System, die, periodisch mit einer bestimmten Frequenz angreifend, wiederholte Bewegungen oder Schwingungen derselben Frequenz als erzwungene Schwingungen verursachen. Frequenzen, bei denen zur Anregung oder Aufrechterhaltung der Schwingungen relativ zu den Nachbarfrequenzen besonders wenig Energie oder besonders kleine Kräfte ausreichend sind, nennt man freie Schwingungen, Resonanzstellen oder Eigenfrequenzen des beweglichen Systems.

Insbesondere beim kurzzeitigen Auftreten von Kräften (bei Impulsen oder Stößen) werden Resonanzstellen dadurch offenbar, daß nach Aufhören der Anregung ein Nachschwingen bei den Eigenfrequenzen auftritt. Die Verhältnisse sollen im folgenden an Hand eines Beispiels näher betrachtet werden.

Wenn man eine Schaukel hin und her bewegt, dann bemerkt man bei ganz langsamer Bewegung, wie die Schwerkraft der Erde als eine Art Rückholfeder der Auslenkung aus der Ruhelage merklichen Widerstand entgegensetzt (Federhemmung). Bei immer schneller erfolgender Hin- und Herbewegung mit der Hand kommt man zu einer bestimmten Bewegungsfrequenz, in der sich die Schaukel „fast von selbst“ bewegt und kaum Kraft zur Aufrechterhaltung der Schwingung benötigt; dies ist die Resonanzfrequenz oder Eigenschwingung der Schaukel, die man auch als Eigenton bezeichnen könnte, wenn sie im Frequenzbereich der hörbaren Töne läge. Versucht man nun, die Schaukel noch schneller als es der Eigenschwingung entspricht hin und her zu bewegen, so spürt man wiederum einen erheblichen Widerstand in Form einer Massenhemmung (Trägheitswiderstand).

Der eben beschriebene Versuch einer Bewegungsanregung durch eine erzwingende Kraft mit allmählich gesteigerter Frequenz entspricht der Methode, durch Aufschaltung eines Stromes mit gleitender, z. B. langsam höher werdender Frequenz auf das Schwingensystem eines Lautsprechers dessen Resonanzstelle zu messen, die sich dann durch besonders große Schwingamplitude auszeichnet.

Man kann aber auch in einem kürzeren Versuchsverfahren durch einen kurzen, heftigen Stoß auf die Schaukel eine plötzliche mechanische Auslenkung erzwingen, in deren zeitlicher Folge nun die Schaukel automa-

tisch in ihrer Eigenfrequenz abklingende Schwingungen vollführt. Der plötzliche Stoß oder Impuls hat also die Eigenschwingungen „angeregt“. Diese geglückte Anregung kann als Beweis dafür gelten, daß in dem kurzen Impuls auch Energie bei der Frequenz der Eigenresonanz enthalten gewesen sein muß. Die bekannten Überlegungen von *Fourier* bestätigen diese Annahme und haben gemeinsam mit Untersuchungen von *Ohm* und *Helmholtz* das umfassend wichtige Wissensgebiet der Schwingungsanalyse und als Umkehrung der Schwingungssynthese begründet, ohne deren Anwendung heute weder die Musikwissenschaft noch die technische Entwicklung allgemein existieren könnten.

Die technische Anwendung der praktischen Bewegungsmethode mit gleitender Frequenz stellt das Grundprinzip für das Meßverfahren der Suchtonanalyse dar; eine konstruktiv hochwertige Ausführungsform in elektronischer Aufbauweise zeigt die Fig. 2. Jeder beliebig zeitlich gegebene Bewegungs- oder Schwingungsablauf kann nach Umformung in elektrische Wechsellspannung mit einem solchen Gerät auf die Energieverteilung innerhalb eines gewissen Frequenzbereiches genauestens untersucht werden. Das Ergebnis der Untersuchung, das Spektrogramm, zeigt charakteristische Erscheinungsformen.

Eine so einfache Bewegung wie die Schwingung der Schaukel im oben genannten Beispiel ergibt im Spektrogramm eine einzige senkrechte Linie, die die Lage der Eigenresonanz dieses sogenannten „einwelligen“ Schwingungsgebildes kennzeichnet. Ein an einem Lattenzaun entlanggleitender, dagegedrückter Stock (periodische Sägezahnfunktion) ergibt ein Linienspektrum mit mehreren, in harmonischen Abständen aufeinanderfolgenden senkrechten Einzellinien.

Ein einzelner kurzer Impuls aber zeigt im Spektralbild ungeheuer viel dicht an dicht nebeneinanderliegende Linien, die ineinander verschmelzen und so eine nur noch zeitlich etwas schwankende obere Begrenzungslinie für alle „Linienenden“ bilden, was als kontinuierliches Spektrum im Gegensatz zum vorhergenannten Linienspektrum bezeichnet wird. Die folgenden Abbildungen 3 bis 7 zeigen einige markante Beispiele für Spektren, wie sie von bestimmten Vorgängen über einen Suchtonanalysator erhalten werden.

Das Ergebnis einer Frequenzanalyse kann uns z. B. auch darüber Aufschluß geben, ob und wie durch die technischen Verfahren der heute gebräuchlichen Schallspeicherungseinrichtungen das natürliche Spektrum eines Schwingungsvorganges verfälscht oder verändert wird (siehe z. B. Bild 8). Große Bedeutung besitzt die Frequenzanalyse ferner bei Untersuchungen, die der Erforschung musikalischer Instrumentenklänge und der menschlichen Stimmbildung dienen. Diese beiden Gebiete liefern besonders sinnfällige Beispiele für den Mechanismus der Schwingungserzeugung und die Ausbildung von Eigentönen durch die Wirkung von Resonanzstellen.

Die menschliche Stimme entsteht durch die willkürlich hervorgerufene Steuerung des aus der Lunge ausgepreßten Luftgleichstromes. Dieser wird bei stimmhaften Lauten, vor allem bei den Vokalen, durch eine periodische Bremsung an den Stimmbändern zerhackt und moduliert sich dabei mit einer sägezahnähnlichen Wecheldruckkomponente, die ein Tonspektrum mit einem charakteristischen Grundton (Stimmton) und zahlreichen Obertönen aufweist. Die eigentliche Unterscheidung zwischen den verschiedenen Lauten ist aber nicht durch die Frequenzlage des Stimmtons, sondern durch die unterschiedliche Heraushebung bzw. Unterdrückung der Obertöne gegeben. Dank der Hohlräume in unserem Kopf mit ihren Verbindungswegen untereinander und nach außen ist es uns möglich, durch willkürliche Veränderung der Volumina und der Wegquerschnitte Resonanzgebilde zu schaffen, die über mehr oder weniger breite Frequenzgebiete hin die Obertöne des Luftstromes bevorzugt zur Abstrahlung ins Freie gelangen lassen. Solche Frequenzgebiete erhöhter Abstrahlung nennt man Formantgebiete, ihr Entstehen ist allein auf Resonanzwirkung zurückzuführen.

Genau die gleichen Vorgänge können auch bei Musikinstrumenten auftreten, bei denen charakteristische Formantgebiete des Klanges unabhängig vom gerade erzeugten musikalischen Stimmton den der Instrumentengattung eigenen Klang und ein Unterscheidungsmerkmal für die Güte des Instruments selbst bilden. So z. B. besitzt das Fagott ein festes, im Gegensatz zur menschlichen Stimme unbeeinflussbares Formantgebiet im Sinne einer Resonanzbevorzugung bei 500 bis 800 Hz, die Oboe bei 1200 bis 3000 Hz, die Klarinette bei 2200 bis 3500 Hz. Gleichzeitig können aber bei den Musikinstrumenten auch noch bewegliche Vorzugsgebiete der Klangabstrahlung bei bestimmten mit dem Stimmton mitlaufenden Obertönen auftreten, die von der Klangerzeugung selbst herrühren (bevorzugte Obertöne beim Fagott: 4., 5. und 6., bei der Klarinette 3., 5., 7. und 9.). Die festen Formantgebiete dagegen sind von der Form und Größe, vom Material und von dessen Behandlung beim Bau des Instruments abhängig.

Besonderes Gewicht erhalten charakteristische Resonanzstellen und dadurch bei äußerer Anregung entstehende Eigentöne bekanntlich bei Räumen, deren Halleigenschaften hierdurch hervorgerufen werden. Infolge der Ausdehnung von wandbegrenzten Räumen in 3 Koordinaten kann stets eine mehrfach unendlich hohe Anzahl von Resonanzstellen f_r entstehen, für den üblichen Rechteckraum in Form eines Parallelepipeds z. B. nach dem Bildungsgesetz

$$f_r = \frac{c}{2} \cdot \sqrt{\frac{n_1^2}{A^2} + \frac{n_2^2}{B^2} + \frac{n_3^2}{C^2}},$$

wobei c die Schallausbreitungsgeschwindigkeit, A , B und C die Raumkantenlängen und n_1 , n_2 und n_3 die ganzen positiven Zahlen von 0 bis ∞ darstellen. Von der mechanischen Dämpfung, die stark frequenzabhängig

sein kann, hängt es ab, ob einzelne oder wenige der durch Resonanz bei der Anregung entstehenden Eigentöne eines Raumes stärker hervortreten. Man kann daher auch nicht — wie es manchmal geschieht — einem Raum nur *einen* bestimmten Eigenton zuordnen. Nur in Fällen spezieller Bauform, etwa nach Art eines Helmholtz-Resonators, ist diese Bezeichnungsweise angängig, da hier durch Formgebung ein selektives Dämpfungsminimum bei einer bestimmten Frequenz erzielt werden kann.

Schließlich erhebt sich nun doch zum Abschluß der Betrachtungen die Frage, ob auch beim Menschen gemäß seinem physischen Aufbau von Resonanzschwingungen und deren speziellen Wirkungen gesprochen werden kann. Untersuchungen haben ergeben, daß eine mechanische Anregung des menschlichen Körpers durch Stöße oder periodische Erschütterungen, etwa beim Autofahren, vorhandene Eigenresonanzen der Wirbelsäule um etwa 4 und 11 Hz anregen und so auf längere Dauer zu Schäden führen kann. So hat sich z. B. ein technisches Gremium, nämlich der Verein Deutscher Ingenieure, mit der Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den stehenden und sitzenden Menschen befaßt und in Form der VDI-Richtlinien 2057 vom Juli 1958 eine Abhandlung über Beurteilungsmaßstäbe für diese Einwirkung herausgegeben. Hierin ist ausgeführt, daß die Belastung des Menschen im medizinisch-physiologischen Sinne durch Schwingungen abhängig von der Größe und Frequenz der Schwingung und von der Richtung der Schwingungseinwirkung ist (z. B. vertikal bzw. horizontal). Auf Grund des psycho-physischen Verhaltens des Menschen und der Struktur seines Körpers läßt sich ein einheitlicher Belastungsmaßstab für alle Frequenzen und alle Richtungen der Schwingungen nicht aufstellen.

Nach den Untersuchungen im Max-Planck-Institut für Arbeitsphysiologie und den Vorarbeiten anderer Autoren ist der menschliche Körper schwingungsmechanisch als ein gedämpftes Massen-Federn-System anzusehen. Bei vertikaler Schwingungseinwirkung hat er eine Hauptresonanzfrequenz von 4 bis 5 Hz, bei horizontaler Schwingungseinwirkung Resonanzerscheinungen im Frequenzbereich von 1 bis 2 Hz; insbesondere bei horizontaler Schwingungseinwirkung hängt diese Erscheinung auch von der Größe der Erregung und der Anspannung des Körpers ab.

Die psycho-physische Beanspruchung des Menschen beginnt mit einer bestimmten, frequenzabhängigen Größe der einwirkenden Schwingungsamplituden (Schwellenwert) und steigt mit zunehmenden Schwingungsamplituden; der Mensch wird immer stärker gestört und behindert. Diese Wirkungen können unter dem Begriff „Belastung des Menschen durch mechanische Schwingungen“ erfaßt und in ihrer Größe durch Belastungsstufen bewertet werden.

Andererseits sind mechanische Schwingungen nicht immer störend oder schädlich; sie können bei nicht zu hoher Energie auch anregend und heilend wirken (Vibrationsmassage).

Auf ganz anderem Gebiet liegen die Wirkungen, die von akustischen Schwingungen, etwa in Form von Musik, auf den Menschen ausgeübt werden.

Was die physiologische Reaktion im Ohr anbelangt, so nahm man früher gemäß der Helmholtz'schen Einortstheorie an, daß im Innenohr die nebeneinanderliegenden Fasern der Basilarmembran ähnlich den Saiten eines Klaviers von den verschiedenen Tönen über Vermittlung der Innenohrflüssigkeit angeregt würden und ihre mechanische selektive Erregung durch Resonanz über die Nerven an das Gehirn weitermelden sollten. Damit wäre das Innenohr einem Frequenzanalysator mit vielen Einzelfiltern sehr ähnlich aufgebaut gewesen. Leider hat sich bei näherem Zusehen herausgestellt, daß diese so einleuchtende und einfache Anschauungsweise nicht richtig ist. Heute wissen wir, daß im Innenohr nur eine sehr grobe und unbestimmte Frequenzselektion eintritt, die eher einer Oktavsiebanalyse zu vergleichen ist und keine Erklärung für die feine Unterscheidungsfähigkeit des Menschen für verschiedene Töne gibt. Die physiologische Reaktion des Innenohrs unterscheidet sich nicht feststellbar, sei es, daß ein einzelner reiner Ton oder aber ein gänzlich unharmonisches Geräusch nicht zu großer Bandbreite einwirkt. Erst im Gehirn selbst entstehen durch das Zusammenwirken einer großen Zahl von Nervenbahnen, die in mehreren örtlich und zeitlich nacheinanderfolgenden „Schaltebenen“ miteinander im Sinne gegenseitiger Hemm- und Förderfunktionen verbunden sind, auf eine uns noch nicht genau bekannte Weise eine exakte Tonempfindung sowie die Empfindungen für Lautstärke, Richtung des Schalleinfalles und andere Unterscheidungsmerkmale des physikalisch einwirkenden Schallvorganges. So ergeben die uns bisher bekannten physiologischen Vorgänge nur sehr wenig Aufschluß über die Wirkung verschieden qualifizierter Schallvorgänge auf den Menschen.

Interessante Ausblicke gewähren die Untersuchungen von Békésy, der feststellte, daß sich Töne und Tonbereiche in Form von Erregungsbezirken auf der Gehirnrinde ausbilden und dort meßtechnisch abgetastet werden können. Musikalische Klänge z. B. bilden „Erregungsmuster“, wobei jedoch einer bestimmten Einzelfrequenz nicht nur eine, sondern u. U. mehrere Stellen zugeordnet sein können. Es bestehen ferner nachweislich Querverbindungen zwischen dem Nervensystem der Gehörsempfindung und dem optischen Perzeptionssystem (nach Keidel) ebenso wie zu den Zentren der Muskelbewegung und zu den Steuerzentren vieler reflektorisch ablaufender Regelvorgänge im menschlichen Organismus. So besteht die Aussicht, vielleicht in der Zukunft den Einfluß akustischer Vorgänge in seiner Sekundärwirkung auf andere Körperfunktionen erforschen zu können.

Wie Sie wissen, wurden in den letzten Jahren unter anderem Untersuchungen über die Einwirkung von Musik auf die Arbeitsleistung und Freude bei der beruflichen Tätigkeit angestellt, zum Teil mit sehr posi-

tivem Ergebnis, oder es wurden Versuche unternommen, bei Krankheiten durch Musik den Heilungswillen und die Heilungskraft zu stärken. In solchen Fällen versagt bei unseren heutigen noch mangelhaften Kenntnissen die Auskunft des Physikers ebenso wie die des Physiologen, der Psychologe erhält das Wort. Hier verläßt man also das Gebiet physikalisch erfaßbarer Vorgänge und begibt sich in irrationale Ebenen, über die zu berichten ich anderen, Berufeneren, überlassen möchte.

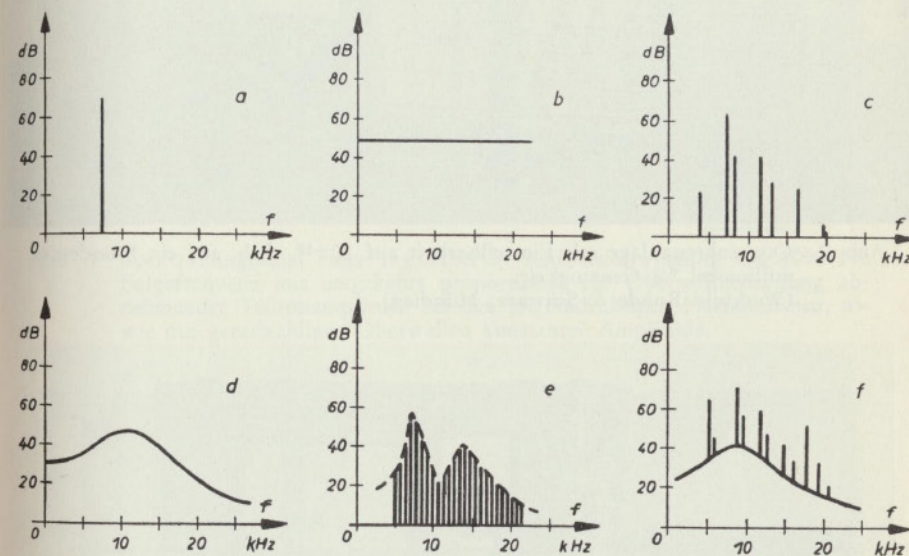


Abb. 3 Charakteristische Formen von Spektren:

- | | | |
|--|---|--|
| a) Linienspektrum eines reinen Tones. | b) Kontinuierliches Spektrum mit konstanter Teiltonamplitude. | c) Übliches Linienspektrum. |
| d) Übliches kontinuierliches Spektrum. | e) Dichtes Linienspektrum. | f) Linien- und kontinuierliches Spektrum kombiniert. |

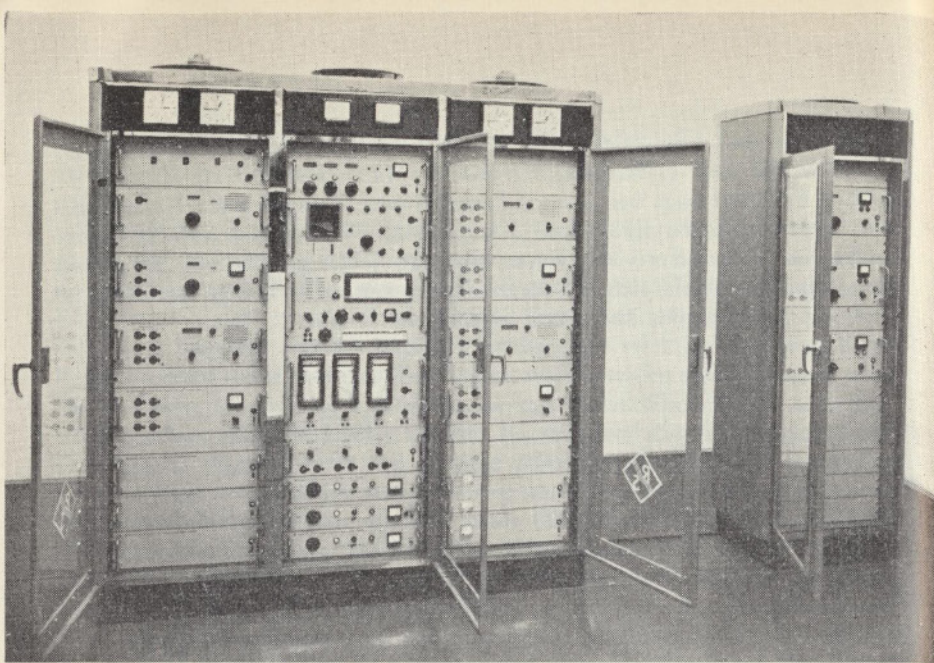


Abb. 1 Quarzuhrenanlage mit Einstellbarkeit auf 10^{-10} , d. h. auf ein Hundert-millionstel % Genauigkeit.
(Werkbild Rohde & Schwarz, München).

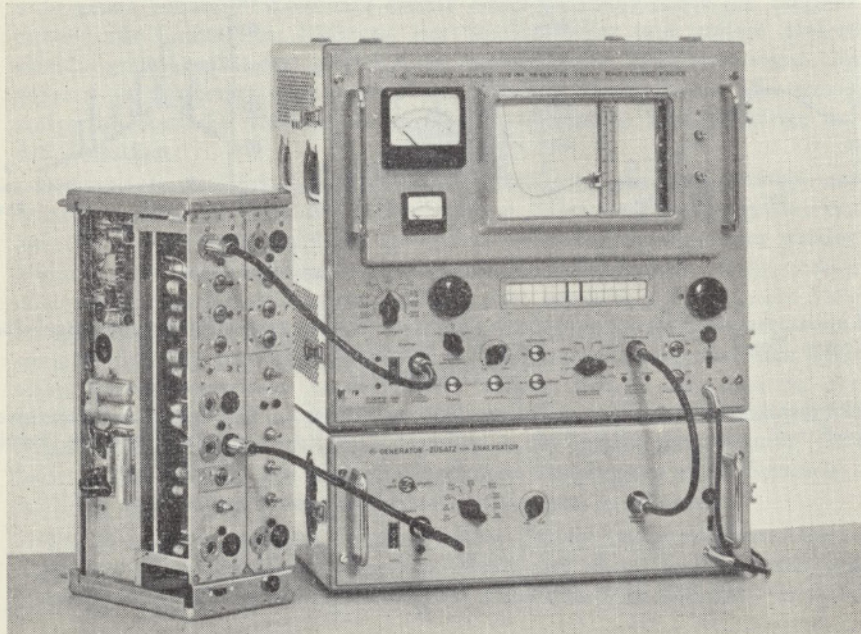


Abb. 2 Hochwertiger elektronischer Suchtonanalysator für die Feinauflösung komplizierter Schwingungsvorgänge in ihre Teilkomponenten.
(Werkbild Rohde & Schwarz, München).

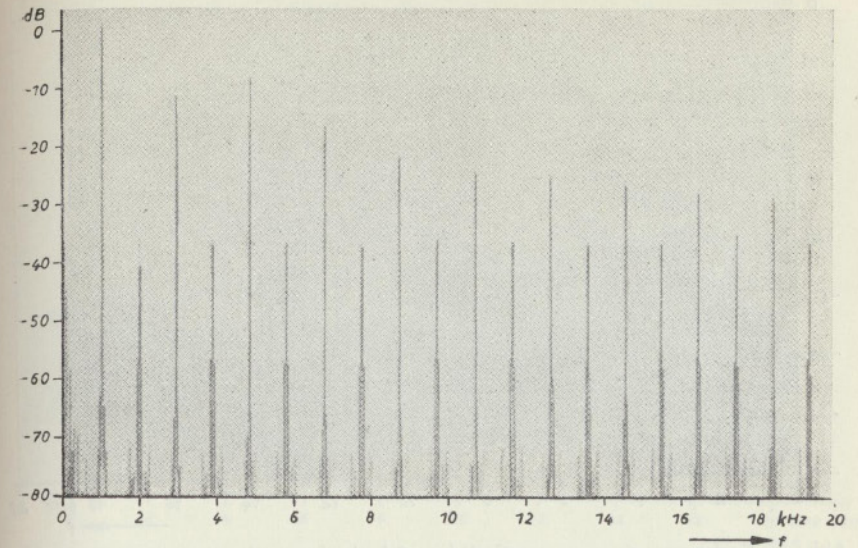


Abb. 4 Spektraldiagramm einer angenäherten Rechteckschwingung mit 1000 Hz Folgefrequenz mit umgekehrt proportional zur Oberwellenordnung abnehmender Teiltonamplitude bei den ungeradzahligen Harmonischen, sowie mit geradzahligen Oberwellen konstanter Amplitude.

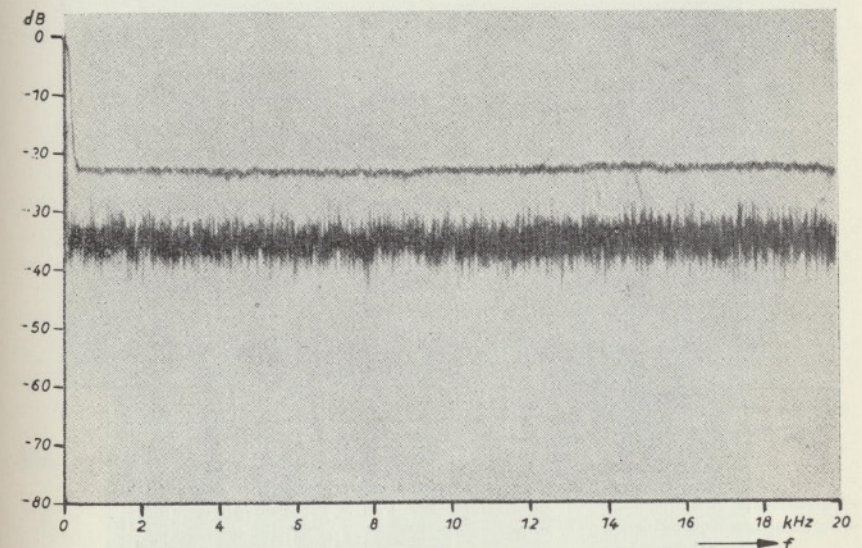


Abb. 5 Spektraldiagramm des „weißen Rauschens“ bei verschiedenen Analysier-Bandbreiten. 200 Hz oben und 10 Hz unten.

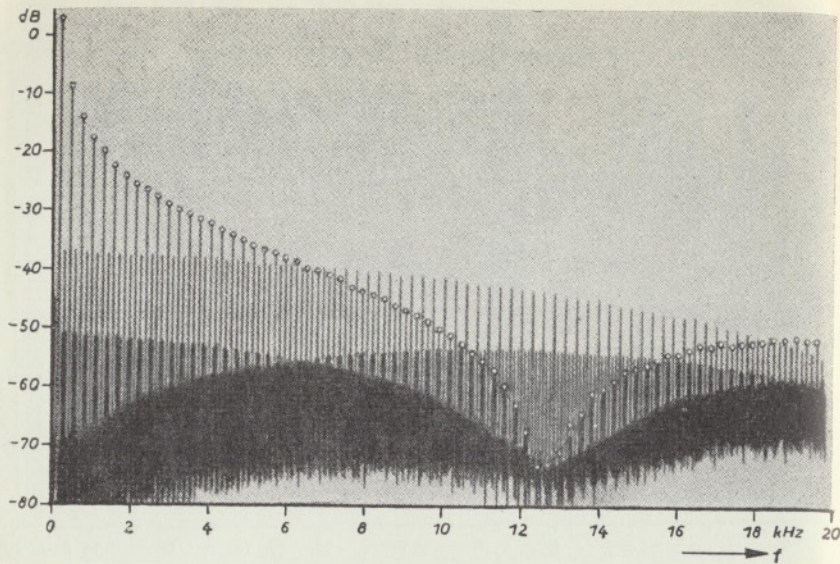


Abb. 6 Spektrum einer trapezförmigen Schwingung mit etwa 150 Hz Folgefrequenz mit einer Überkreuz-Abhängigkeit zwischen der Brumm-Modulation und den geraden und ungeraden Oberwellen der Schwingung.

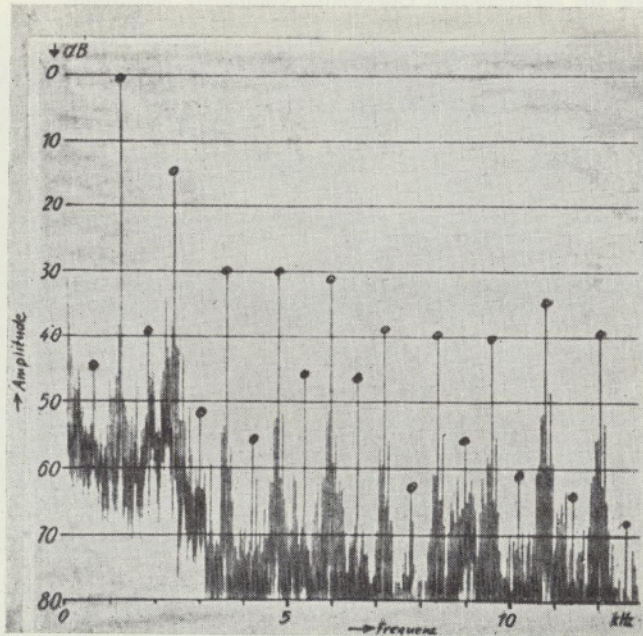


Abb. 7 Spektrum einer akustischen Lochsirene mit Linienanteilen auf kontinuierlichem Untergrund.

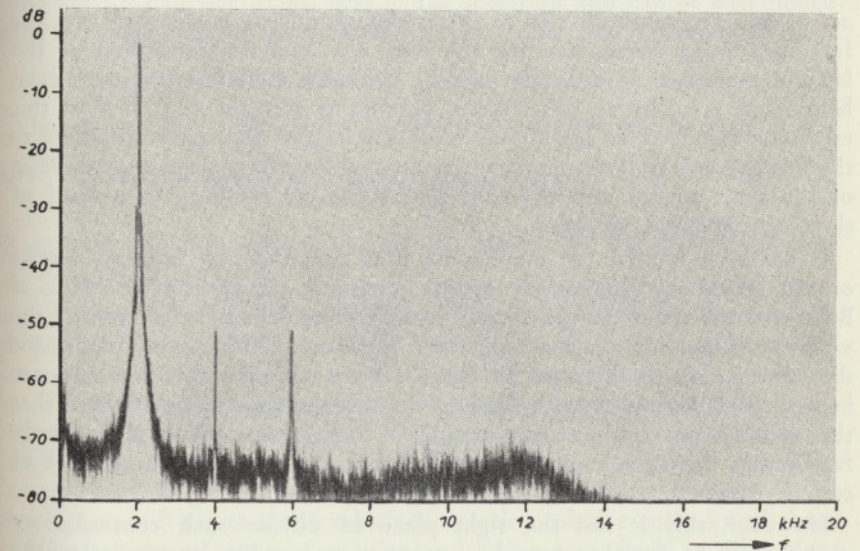
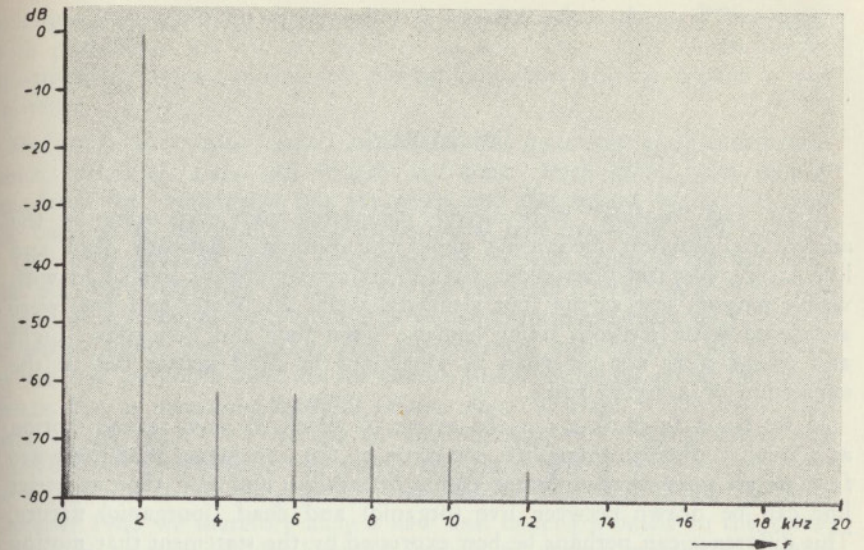


Abb. 8 Verfälschung einer Schwingung durch Schallspeicherung:

Tonspektren vor (oben) und nach der Aufnahme (unten) auf Zweischicht-Magnetband bei einem Grundton von 2000 Hz; 76 cm/sec Bandgeschwindigkeit.

Some Thoughts on Motion, Vibration and Resonance

by

W. BÜRCK

"Life" and "motion" were already connected with each other by the ancient philosophers meditating about the difference between dead and live nature. Natural phenomena were sometimes or always associated with visible motion, just as the four elements, earth, air, water and fire, were associated with fictitious living beings — the gods and demigods. Light and sound were not regarded as vibrations of dead matter but as the expression of a living force.

If we begin to think about the extent to which we now regard motion as a quality distinguishing life, we come to the conclusion that there are first of all some very different forms of motion, and also that no strict line can be drawn between live (organic) and dead (inorganic) nature. This difference can perhaps be best expressed by the statement that motion not resulting from external necessity but from such causes as a conscious act of will are a special sign of life, although this by no means alters the fact that living beings are, for the rest, just as much controlled by the laws of motion as is inorganic matter. But there are borderline cases even here, such as a flower which keeps turning to face the sun all day: this might be regarded as an unconscious coupling of the sun's radiation to the flower's will to live, or perhaps as a complicated but necessary coupling of the sun's energy and the flower's metabolism resulting in a kind of slow synchronized vibration.

It has been known for quite some time that the tiny building blocks of all, including live, matter are in constant vibration as a result of Brownian molecular movement. It is also general knowledge that in the vicinity of absolute zero temperature (about -273°C) this movement dies down and all life with it. But is it not paradox that the stars are in perpetual motion notwithstanding the coldness of outer space and that the vicinity of absolute zero removes some great obstacles, suddenly facilitating the stream of electrons between the atoms and molecules of certain conductors of electricity?

However, this is not the right place to discuss such contradictory problems. Let us rather turn our attention to conditions existing at the limits of our perception, the macrocosmos and the microcosmos.

The conspicuous similarity between what goes on on an immense and on a microscopic scale has given much room for extensive speculation. The planets revolving about the sun exemplify vibration of the greatest

precision, and so do the electrons revolving about the nucleus of the atom. Both phenomena are full of influence on our lives, a fact which can be illustrated by some fundamental physical concepts playing a part in our existence.

Physics is, of necessity, based on certain basic quantities and fundamental units, including, above all, length and time. Both these units require standards for comparison, and the metre and the second do in fact form the basis of all physical measurement. Now how are these units defined?

Our own physical bodies first gave rise to such units as the old foot, the ell, the "twinkling of an eye", but as these "units" are never the same for any two persons, standards were set up in the form of quantities of nature which are constant and the same for everybody. This resulted in the ten millionth part of the earth's quadrant being given the name metre. But as measuring methods became more accurate, it was discovered that, as the result of a mistake in measurement, this original metre was one-fifth of a millimetre too short, and that, in any case, it could not be fixed with an accuracy greater than one in 5 million ($2 \cdot 10^{-7}$). Since October 1960 we therefore have a new unit of length based on the wavelength in vacuum of the krypton isotope of atomic weight 86, whose light is visible in the orange part of the spectrum and can be determined with interferometers to an accuracy of 10^{-9} . The new definition is

1 metre = 1 650 763.73 wavelengths of krypton resonance.

Our unit of time, the second, has also been defined on the basis of natural vibration as $\frac{1}{86\,400}$ of a mean astronomic solar day, corresponding

to $\frac{1}{86\,164.091}$ of a sidereal day (which is the time for one rotation of the earth with respect to the fixed stars). This standard can be determined to an accuracy of only about 10^{-7} , which can be increased to about 10^{-9} by lengthy observation lasting several years. Unfortunately for measuring purposes, the earth's speed of revolution can vary by as much $3 \cdot 10^{-9}$ and is also constantly decreasing because of friction losses. For that reason, the solar year 1900 has been taken as standard, with a length of 31 556 925.974 seconds. But the accuracy of this is not satisfactory, and the search for more constant standards has resulted in the development of quartz clocks which can reach a relative accuracy of about 10^{-10} after several years of running and adjustment. Such an ultra-high-precision, modern quartz chronometer is shown in fig 1.

Although the *relative* accuracy of such a chronometer is high, it still requires reference to an *absolute* standard which can be measured with at least the same amount of precision, and this leads us again to the resonant

frequencies of atoms. Because of the high constancy of their vibrations, which is better than 10^{-10} , the caesium atom, with a frequency of 9 192 631 770 cycles per second in vacuum, is used for this purpose. Because of the above mentioned inaccuracy of the second itself, as defined to date, a tolerance of ± 20 cycles per second is permitted. Ammonia molecules are equally suitable for these measurements; their frequency is $23\,870\,128\,879 \pm 50$ c/s.

In this way, the natural resonance of matter forms the basis of all quantitative physics.

The macroscopic vibrations quite obviously affect our biological and physiological existence: the earth's revolutions about its own axis and about the sun result in day and night, summer and winter. These periodic changes have called forth rhythms of life working like biological clocks built into each individual being, which does not necessarily adapt itself to an artificial change of, say, the lengths of day and night, as has been shown experimentally. This shows how deeply rooted the rhythm of waking and sleeping, of certain periods depending on the moon's revolution, etc., is. Civilization often brings this natural system into disorder — artificial light already does this! — and is therefore unbiological and, in the long run, unhealthy.

But our bodies are also full of microscopic processes, many of which are like vibrations. The molecular building-up and breaking-down times and ionization processes by which sensation is conducted along the nerves occur by sequences of electrical pulses as in an electronic multivibrator. Many phenomena of physiological acoustics, to mention only one example, are the results of such phenomena.

After these excursions into the regions of extreme dimensions, let us have a look at some quantities more in proportion with our own bodies. The already mentioned standard units, metre and second, correspond very well to our physical conditions: the mean height of a man is 1.6 m and a heartbeat period 0.8 sec. While the macrocosmos is full of frequencies from 10^{-4} to 10^{-9} c/s and frequencies from 10^8 to 10^{15} c/s are common in the microcosmos, mechanical and acoustical frequencies from less than 1 to over 10^4 c/s are the ones to which we are accustomed. Within our experience, they are the result of a combination of mass (inertia, persistency) and spring action (elasticity, compliance); from the point of view of energy, they are oscillations between potential and kinetic energy. Most vibrations are accompanied by noticeable resistance and losses necessitating a constant supply of energy to sustain the vibrations. This energy comes to the mechanical system from without or is produced elsewhere internally, in such a way that forces act periodically at a certain frequency so as to force vibrations at the same frequency. Frequencies requiring only a small supply of energy in comparison to neighbouring frequencies are

called free vibrations, and the system vibrating at such a frequency is said to be in resonance.

Such resonances are revealed especially if the system is subjected to a shock or impulse or any kind of very short-time force. The system will then continue to vibrate at its own resonant frequency. This will be better explained by the following example.

If a swing is moved back and forth very slowly, the earth's pull will make itself felt each time as if it were a return spring acting against the force which brings the swing out of its state of rest; this is a case of spring resistance. As the movement back and forth is speeded up, a certain frequency is reached at which the swing seems to move almost by itself, requiring very little power to sustain the motion: this is the swing's resonant frequency. If the movement is speeded up still further, it will now be the mass of the swing which is felt as an inhibiting force: a case of inertia resistance.

This method, by which motion is forced at gradually rising frequency, is also used to find the resonance of a loudspeaker: the frequency of the alternating current feeding it is gradually increased, and at the point of resonance the speaker vibrates at greater amplitude than at all other frequencies.

In the case of the swing, it is easier to give the swing a brief but powerful push, after which the swing will continue to swing at its resonant frequency until the vibrations have died down. The impulse has "excited" resonant vibration. This can be taken as proof that the brief impulse contained energy which included the resonant frequency, and the well known mathematical analysis of *Fourier* proves this to be the case. Together with the experiments of *Ohm* and *Helmholtz*, this formed the basis of the important branch of science of vibration analysis and vibration synthesis without which there could be neither musical science nor technical advancement in general.

This experiment with a sliding frequency forms the basis of the measuring method called search tone analysis. A precision electronic search tone analyser is shown in fig. 2. With it, any given motion or vibration can be analysed as to the amount of energy distributed among the various frequencies, the result being recorded in a spectrogram, some characteristic examples of which will now be discussed.

Such a simple motion as that of a swing is shown in the spectrogram as a single vertical line which shows the resonant frequency. If we run along a paling fence with a stick we obtain a waveform looking like sawteeth whose spectrum consists of a number of equally spaced (harmonic) vertical lines.

A single short pulse has a spectrum consisting of an enormous number of closely spaced lines which can no longer be separated from each other,

all that can be seen being a somewhat wavy horizontal line which is the upper ends of all the vertical lines. Fig. 3—7 show a number of typical spectra obtained by analysing certain phenomena with the search tone analyser.

Frequency analysis can also show whether and in what way sound recording alters the natural sound spectrum (see fig. 8). Musical instrument research, the physiology of the voice and voice production are further fields of application of frequency analysis.

The voice is produced by the control, as an act of will, of the stream of air escaping the lungs, which is originally constant but is chopped up and modulated by being periodically held up by the vocal chords so that we get a sawtooth vibration consisting of a characteristic fundamental tone and a large number of harmonic overtones above it. To produce the various sounds of speech, this sound now passes the various interconnected hollow spaces in our heads whose volumes and connecting passages we can change at will, so that certain wider or narrower bands of overtones already present in the sound can be reinforced by resonance and others suppressed. Such bands of reinforced overtones are called formants, and they are independent of the fundamental frequency.

The same thing happens in musical instruments, whose formants are independent of the note which happens to be being played and are characteristic not only for the type of instrument but also for its quality. The bassoon, for example, has a fixed formant region reinforcing the frequencies between 500 and 800 c/s, the oboe between 1200 and 3000 c/s, the clarinet between 2200 and 3500 c/s. Musical instruments can also have variable formants, which are preferred overtones of the fundamental being played: the bassoon reinforces the 4th, 5th and 6th harmonic, the clarinet the odd harmonics, i. e. the 3rd, 5th, 7th, 9th, etc. The fixed formants are the result of shape and size, material and manufacture of the instrument, while the variable formants depend on the way the sound is produced.

Greatest importance is attached to the characteristic resonances of rooms, resulting in reverberation. Because rooms closed about by walls are three-dimensional, a thrice infinite number of resonant frequencies f_r can result, which will have the value

$$f_r = \frac{c}{2} \sqrt{\frac{n_1^2}{A^2} + \frac{n_2^2}{B^2} + \frac{n_3^2}{C^2}},$$

in the normal case of a rectangular room in the form of a parallelepiped, where c is the speed of sound, A , B and C the room's three dimensions and n_1 , n_2 and n_3 all integers from 0 to ∞ . Whether single frequencies of all these possible ones, or a few or a large number will predominate, depends on mechanical damping, which can be very frequency dependent. It is therefore incorrect (although not at all rare) to attribute a *single*

resonant frequency to a room; the only case when this is possible is the one when the room has been given a special shape, such as that of a Helmholtz resonator, to this effect, as this can result in selective minimum damping at a single frequency.

In closing, it is worth considering whether resonance and its effects can exist in the human body as a result of its construction. Experiments have shown that periodic shocks, such as can occur in a moving motor car, can excite resonance at about 4 and 11 c/s in the spinal column, which can eventually lead to injury. A technical body — the Association of German Engineers (VDI) — has closely gone into the problem of the effect of mechanical vibrations on the human body when standing or seated, and published the results as recommendations (VDI-Richtlinien 2057, July 1958). According to this, the medical and physiological load on the body depends on the amplitude and frequency of the vibrations and on the direction (which can be vertical or horizontal) in which they act. Because of the complications of physiology and psychology it is not possible to set up a uniform standard of loading applicable to all frequencies and all directions.

The Max Planck Institute of Occupational Physiology, assisted by the advance work of various authors, came to regard the human body as a damped mass and spring system with a main resonance at 4 to 5 c/s for vertical and at 1 to 2 c/s for horizontal vibrations; but these values also depend on the amplitude of the vibrations and on any other stresses also present in the body at the time.

The amplitude of vibration must exceed a certain threshold value (which is again frequency dependent) to become effective as psycho-physiological load. This load increases with increasing amplitude — the disturbance turns into distress. But mechanical vibration is not always disturbing or injurious, but can be even beneficial, although the energy transmitted must remain small. Vibrational massage is an example of this.

As for the physiological operation of the ear, it used to be believed, in accordance with Helmholtz's theory of unique location, that the individual fibres of the inner ear's Basilar membrane responded by resonance to the various frequencies transmitted to them by the lymph fluid, and that they transmitted this response, through the nerve fibres connected to them, to the brain. This theory made the inner ear look very like a frequency analyser with a very large number of individual filters. However, modern research revealed that this was simplifying matters rather badly, and that the frequency selection actually occurring in the ear is only very rough, bearing more similarity to analysis with octave filters and in no way explaining man's very fine sense of pitch. As far as we can discern, the ear's reaction to a pure tone is no different to its behaviour under the influence of a reasonably narrow band of noise. It is in the brain that

our sensations of pitch, loudness, sound direction, etc. occur, as the result of a very large number of nerve strands connected to each other in several "switching levels" which follow one another in time and space giving rise to various furthering and inhibiting actions. But we have by no means a very clear idea on how all this works exactly — we only know that the physiological phenomena do not give the explanation with which they were credited.

Békésy found that tones and tonal ranges form regions of excitation in the outer brain, where they can be picked up by measuring instruments. Musical sounds give rise to excitation patterns, although an individual frequency is not necessarily confined to a single point of the brain. Keidel has shown that there are cross connections between the aural and visual systems of perception as well as to the centres of muscular movement and to many centres controlling reflex and regulating reactions in the organism, so that there seems some hope of discovering the actual effect of acoustical phenomena on other bodily functions.

Recently, much experimenting has been going on with music to increase human production or improve morale at work, or for healing the sick, often with very positive results. This is the limit of the physicist's and the physiologist's knowledge, where the psychologist must begin, for we leave the sphere of calculable and measurable mathematical phenomena and come into irrational regions, to report about which I would prefer leaving to those better fitted to do so.

Vom Elektroencephalograph zur Musiktherapie

von

IMRE SPONGA

Jedes Musikstück und jeder Mensch ist ein Komplex. Beim Musikhören treten zwei solche in Verbindung und zwar so, daß die Elemente der Musik auf diejenigen Elemente des Menschen wirken, welche derem Inhalt entsprechen. Wenn wir uns ein äußerst schematisches Beispiel vorstellen, bei welchem ein Musikstück, das aus nur zehn Elementen besteht, auf einen Menschen wirkt, welcher aus gleich vielen Bestandteilen zusammengesetzt ist, dann können wir feststellen, daß es beinahe zahllose Kombinationen gibt, in welchen diese Elemente in Verbindung treten können.

Die optimale Wirkung wäre, wenn alle menschlichen Faktoren von allen musikalischen Faktoren angesprochen wären. Diese Wirkung zu erreichen, ist kaum möglich, solange die Wahl der Musik mehr oder weniger auf den Zufall angewiesen ist. Das war nur für wenige Schamanen und Medizinmänner der primitiven Völker möglich, welche sich in ihrem Trancezustand mit ihren Patienten „vereinigten“, deren Zustand auf sich nahmen, dessen Inhalt als Musik ausdrückten, womit ein dem hypnotischen Rapport ähnlicher Kontakt hergestellt wurde. Dieser ermöglichte es dem Medizinmann, den Patienten zu lenken, der dadurch auch zwangsläufig zur Realität zurückkehrte, wenn der Medizinmann sich von seinem Trancezustand löste.

Wenn wir von Musiktherapie sprechen wollen, dann müssen wir diesen Vorgang mit wissenschaftlichen Methoden wiederholen können. Das würde aber voraussetzen, die Elemente der Seele und die Elemente der Musik zu kennen und sie mit der gleichen Sprache bezeichnen zu können, um ihre Gesetzmäßigkeiten zu entdecken. Dann wären wir imstande, anzugeben, wie jene Musik aufgebaut werden müßte, welche einem bestimmten Menschen in einem bestimmten Moment vollkommen entspricht. Das führt zur Suche nach Meßinstrumenten, wobei die Meßergebnisse zahlenmäßig ausgedrückte Symbole darstellen müssen. So landete ich bei der Elektroencephalographie.

Als Berger damals die vom Hirn wegleitbaren elektrischen Wellen entdeckte, hoffte er mit deren Hilfe tiefer in die menschliche Seele einblicken zu können. Seine Hoffnung blieb jedoch bis heute unerfüllt. Und wenn wir uns fragen, warum, merken wir, daß es an jener einseitigen, mechanisch-materialistischen Weltansicht liegt, welche so oft mit dem naturwissenschaftlichen Denken verwechselt wird. Um lange theoretische Überlegungen zu ersparen, möchte ich an einem konstruierten Beispiel zeigen, wohin solche pseudowissenschaftlichen Überlegungen führen können.

Es wird von einem Orchester irgendein Musikstück gespielt. Wir möchten wissen, was für eines es ist. Ein Laie würde sich einfach hinsetzen und die Musik in sich hineingehen lassen. Ein ernsthafter Wissenschaftler dagegen wird alles unternehmen, um seine unzuverlässigen Sinnesorgane, seine Subjektivität, sowie alle von ihm (!) als Störung beurteilten Zufälligkeiten auszuschalten. Er wird eine große Anzahl Mikrophone im Orchester aufstellen (selbstverständlich alle nur mit einem bis zwei Meter Reichweite, damit sie einander nicht stören) und wird die von den Mikrophonen kommenden Töne als Schwingungen aufzeichnen. Er wird natürlich wissen, wo die einzelnen Mikrophone und entsprechenden Musikinstrumente stehen. Nach einer gewissen Übung wird er zwischen dem Standort der Mikrophone und den entsprechenden Kurvenmischungsformen eine Beziehung finden, obwohl nicht alle Musikstücke gleich und die Musiker auch nicht immer gleich aufgestellt sind. Die Methode bewährt sich — aber für etwas anderes, als wir wollten. Es wird nämlich anstatt des *Was?* das *Wie?* beantwortet, besser gesagt das *Woher?*. Anstelle der Musik wurde das Orchester untersucht.

In der heutigen EEG-Technik wird dieselbe Methode gebraucht. Es werden eine Anzahl Wellenmischungen weggeleitet mit Berücksichtigung ihrer räumlichen Abstammung und Annullierung ihrer Zeitbedingtheit. In dem aufgenommenen Encephalogramm ist der gesamte Schwingungskomplex ebensowenig da wie in unserem Beispiel. Die Analyse interessiert sich ebenso nur für das *Woher?*. Aber selbst dieses *Woher?* ist nur mit außerordentlichem Vorbehalt zu beantworten, da es sich nicht feststellen läßt, ob eine vorhandene Schwingung von einer der Elektrode (dem Mikrophon) nahegelegenen schwachen oder weitabgelegenen starken Quelle kommt.

Gewiß, der Anspruch, anstatt einer räumlichen eine Frequenzanalyse machen zu können, wurde immer wieder geäußert; deren Verwirklichung scheiterte bisher jedoch an technischen Schwierigkeiten, da mit Hilfe von Filtern desto mehr Schwingungen verloren gingen, je besser es gelang, von den Komplexen *einen* verhältnismäßig rein zu bekommen. Und bei Benützung eines sogenannten „Frequenzanalysators“ gelangen wir zu Ergebnissen, deren Parallele in unserem Beispiel ungefähr so lauten würde: Die Neunte Symphonie von Beethoven = so und so viele A Töne + so und so viele B Töne usw.

Nicht weniger Bedenken gibt rein äußerlich die heutige Aufnahmetechnik. Es wird erstrebt, den Patienten für die Dauer der Untersuchung aus dem normalen Leben herauszureißen, um zu erreichen, daß er während einer Stunde völlig derselbe bleibt. Da dies nicht möglich ist, wird man nur die Illusion einer „Zeitaufhängung“ mit den sich ständig ändernden Kurven vergleichen können. Aber auch wenn es möglich wäre, hätte es keinen Sinn, da ein dynamisches Geschehen sich nicht statisch verstehen läßt.

Die Ströme, welche wir vom menschlichen Gehirn weggleiten, lassen sich auf einige Sinuswellen zwischen 1 und 30 Hz reduzieren. Es ist der Bereich der Tonwellen. Deren Teil unter 16 Hz ist für das menschliche Ohr nicht mehr wahrnehmbar, jedoch sind für diesen Bereich keine anderen Gesetze bekannt, was uns berechtigt, mit Berücksichtigung einer eventuellen quantitativen Verschiebung uns mit Hilfe derselben Gesetzmäßigkeiten zu orientieren. Solche Töne spielen nicht nur im Leben gewisser Tiere eine große Rolle; sie sind auch in der Musik da, als sogenannte Kombinations-töne, die eigenartige „somatische Harmoniegefühle“ hervorrufen. Sie sind auf dem Vibrationsweg wahrnehmbar.

Wir erhalten gleichzeitig aber mehrere Wellen. Da sie während keiner Sekunde dieselben bleiben, ergibt sich das Problem, für das EEG ein Schreibsystem zu finden, das diese Wellen gleichzeitig analysiert.

Der Musiker weiß, daß der Mensch nicht kleinere oder größere *Frequenzen* empfindet, sondern tiefere oder höhere *Töne* hört. Dementsprechend sieht das Schreibsystem der Musik aus. Da wird ein höherer Ton höher geschrieben, ein tieferer tiefer. „Wissenschaftlicher“ ausgedrückt: da wird die Frequenz als Potenz dargestellt. Obschon die heutige Notenschrift in bezug auf die Oktaven gleichmäßig kontinuierlich ist, bereitet sie uns Schwierigkeiten in der feineren Einteilung, da sie damals für diatonische Tonreihen geschaffen wurde. Sie bereitet aber selbst für die Musik die gleiche Schwierigkeit, welche seit Wagner im gleichen Maße wuchs, wie uns der Boden der Tonalität unter den Füßen entglitt. Die noch vor 100 Jahren durchaus brauchbare Notenschrift ist in der modernen Musik eine Qualquelle geworden. Deswegen habe ich das System Fig. 1 entworfen.

Anstelle der Zwischenräume zwischen den gewohnten fünf Linien haben wir *Zwischenlinien*, und zwar genug für alle Halbtöne (Fig. 2). Damit haben wir uns eine gleichmäßig eingeteilte Potenzachse beschafft, in der auf jede zwölfte Stufe eine Oktave (Frequenzverdoppelung) und auf jede Feineinteilung ein Halbton fällt.

Wenn wir die Rhythmusbezeichnung der konventionellen Notenschrift unter die Lupe nehmen, so erfahren wir, daß sie zu der Länge der Töne schon gar keine Direktbeziehung hat, sondern daß sie nur mit einer Fülle von Hilfszeichen und Modifizierungen zu meistern ist. Dementsprechend ist die Zeitachse nur ganz grob kontinuierlich, die geschriebene Länge eines Taktes hängt praktisch immer davon ab, wieviel Platz die Noten + Modifizierungszeichen + Rhythmus und Pausenbezeichnungen in Anspruch nehmen. Innerhalb eines Taktes kommt diese Schwankung noch krasser zur Geltung (Fig. 3). In unserem System wird hingegen ein Ton so lang geschrieben, wie er tönt. Für die Pausen brauchen wir keine Sonderzeichen — wo keine Töne sind, ist Pause (Fig. 4).

Dank der vollkommen kontinuierlichen, sinnentsprechenden Darstellung der Frequenz und Dauer erhalten wir eine Schrift, welche *direkter* und

vollkommener ist als alle bisherigen, und können sie als eine *Fotografie der Töne* bezeichnen. Damit haben wir die Grundbedingungen zu einem entsprechenden maschinellen Schreibverfahren geschaffen. Gleichzeitig mit dem Behalten des Fünfliniensystem ist unser Verfahren für jeden Musiker ohne weiteres lesbar, sogar *viel leichter* lesbar als dessen Vorfahre.

Wie wird dieses Schreibsystem in der Encephalographie analytisch angewandt? Die räumliche Analyse ist abzulehnen. Dementsprechend könnten wir anstatt der verschiedenen Elektroden theoretisch sogar einen Teller verwenden, und wenn wir die Elektroden oder einen Teil davon aus praktischen Gründen doch behalten müssen, können wir ihre Wellenmischungen noch weiter zusammenmischen, bis wir einen einzigen Komplex erhalten (wir müssen nur aufpassen, daß die Potentials einander nicht ausgleichen. Das ist auch der praktische Grund, warum wir einen Teller nicht verwenden können). Diese einzige Wellenmischung können wir mit ebenfalls einem einzigen Verstärker verstärken.

Die Frequenzen trennen wir voneinander durch einen elektronischen „Resonanzkasten“. Er besteht aus einer Reihe elektrischer Filter, von denen jedes Glied auf eine andere Durchlaßfrequenz abgestimmt ist, die im Verhältnis $\sqrt[12]{2}$ aufeinanderfolgen. Dadurch ergibt sich eine Skala, welche der musikalischen entspricht, und sich mit der musikalischen Terminologie beschreiben läßt. Jeder Filter steht mit einem zugeordneten Wandler in Verbindung, welcher die Amplitude (Tonstärke) in Stromstärke umändert.

Der Schreibkopf besteht aus einer Anzahl Metallamellen, welche durch isolierende Schichten voneinander getrennt sind (Fig. 5). Sie drücken leicht auf das fahrende Notenpapier. Das Papier wird vor dem Schreibkopf mit einem elektrochemischen Reagenzmaterial (z. B. Phenolphthalein, Lakmus) benetzt, so daß die elektrochemische Reaktion auf dem sich bewegenden Papier einen farbigen Strich hinterläßt.

Der gefürchtetste Feind des EEG: die Muskelspannungswellen sind damit auch automatisch besiegt, da sie zu einem höheren Frequenzbereich gehören. So können sie hier in keiner Weise auftreten. Um aber zu einem möglichst ganzen Bild zu gelangen, ist es gerade zu empfehlen, die Muskelströme von einigen wichtigen, emotionell stark somatisierten Punkten wegzuleiten und separat von den Hirnströmen, aber gleichzeitig mit ihnen, aufzuzeichnen. So könnten wir vielleicht zu einer „Partitur des Menschen“ gelangen: oben die „nervösen“ sich stark und schnell ändernden „Melodien“ als Ausdruck unserer emotionell unmittelbar bedingten Muskelspannung, darunter die sich ruhiger, viel langsamer, oder nur teilweise bewegende Masse der Harmonik als Ausdruck einer Grundstimmung, die wir als Parallele zu unseren Hirnströmen nehmen können. Wenn wir dieses Bild noch dazu mit dem Atem und dem Herzschlag vertikal periodisch unterbrechen, so gelangen wir zu einem Bild, welches demjenigen der „richtigen“ Musik ähnlich aussieht (Fig. 6).

Wir müssen an dieser Stelle auch einmal klarstellen, daß wir nicht nur darum berechtigt sind, Musik und Hirn- (bzw. Muskel-) Wellen nach den gleichen Gesetzen zu behandeln, weil sie physikalisch dieselben sind, sondern weil sie von *verschiedenen Seiten* gesehen *denselben* Inhalt von *denselben* Menschen ausdrücken, denn seit es Menschen gibt, gibt es auch Musik, und die Musik war immer eine Lebensfunktion.

Mit Hilfe unseres Systems und unserer Apparatur können wir aber außer dem neuartigen Elektroencephalogramm und dem neuen Notenschreibverfahren noch eine Anzahl anderer Aufgaben lösen. Wenn wir zum Beispiel anstelle des Schreibgerätes eine elektrische Orgel nehmen, bei der jede Tief Frequenz einer fünf Oktaven höheren Tonfrequenz entspricht, den Muskelstrom mit einem Musikinstrument Ondes Martenot und den Herzstrom mit einer elektrischen Trommel koppeln, gelangen wir zu einer solchen *elektronischen Musik*, welche unmittelbar vom lebendigen Organ gesteuert wird. Diese Musik hätte sehr viele Anwendungen:

1. Damit könnten wir die „Musik des Menschen“ oder die „Musik des Hirns“ auch für wissenschaftliche Zwecke viel besser erfassen — im Tempo der Musik *nur* so erfassen.
2. Ein solches „Organmusikgerät“ könnte auch das Ziel aller Psychotherapien: *Die Begegnung mit sich selber, gewaltig näher bringen*. Ich glaube, es ist nämlich ein großer Irrtum, daß nur ein Teil der Menschen für Musik empfänglich ist. Es scheint mir eher so, daß viele einfach noch nie „ihre“, bzw. eine mit ihnen wirklich verwandte Musik gehört haben. Unser Gerät würde einem Menschen nicht etwas vorspielen, was ihm nur sehr ähnlich ist, sondern was *identisch* mit ihm ist. Es würde deshalb eine umso größere Wirkung erzeugen, je gespaltenener ein Mensch ist. Bei einem Schizophrenen müßte es dementsprechend am gewaltigsten wirken. Die Töne seiner Gefühle — deren Wahrnehmung — seine Reaktion darauf — deren Ertönung — deren Wahrnehmung — die neue Reaktion, usw. müßte eine „emotionelle Kettenreaktion“ verursachen, bis er unter den Fluten seiner Gefühle beinahe versänke. Die Kettenreaktion würde jedoch automatisch aufhören, sobald es zu gefährlich wäre; u. zw. da, wenn man in Ohnmacht fällt, nichts mehr wahrnimmt und der Circulus vitiosus durchbrochen ist. Vergleichen wir diese „Schocktherapie“, welche alles berührt, aber nichts zerstört, mit der heutigen.

Bei den anderen offiziellen und inoffiziellen Neurotikern, bei welchen nur ein Teil ihres Ichs im Unbewußten schlummert, würde es dementsprechend weniger elementar, d. h. „nur“ kathartisch wirken, und diese Wirkung könnte desto bewußter „rückgesteuert“ werden, je weniger ein Mensch von sich selber entfremdet ist. So würde es bei öfteren Wiederholungen wie eine meditative Schulung wirken, um durch eine *Selbsterkenntnis* zu einer *Selbstwerdung* zu führen. Es ist wie die Improvi-

sation in der Musik: ein Sich-gehen-lassen, um wieder zu sich selber zu gelangen.

3. Wir könnten solche therapeutische Wirkungen auch so erzielen, indem wir mit den niedrigeren Wellen direkt elektrostatische oder magnetische Felder oder andere Vibrations- oder elektrisierende Apparate steuern.
4. Wenn wir unser Schreibgerät anstatt mit den Niederfrequenzfilterreihen mit Tonfrequenzfiltern zusammenschalten, und dementsprechend anstatt Hirnströme die Ströme eines Mikrophons zuführen, erhalten wir ein Notenschreibgerät zum Schreiben von *Musik* aller Art. Selbstverständlich könnten wir damit auch die fremdeste, komplizierteste primitive Volksmusik aufzeichnen, was von besonderem Interesse ist, da sie sich mit konventionellen Schreibmethoden schwer bewältigen läßt. Der Apparat eignet sich auch hervorragend zur Transposition.

Das Notenschreibsystem hat sich ja nur aus konventionellen Gründen an das Fünfliniensystem angepaßt. Das absolute Klangbild ist eigentlich weder an dieses noch an andere Auswertungssysteme gebunden. Es folgt, daß wir auch andere Systeme benutzen könnten.

5. Mit Hilfe der „Organmusikschreibmaschine“ und der gewöhnlichen Musiknotenschreibmaschine hätten wir endlich eine Basis, eine naturwissenschaftliche Musikpsychologie aufzubauen.
 - a. Mit deren Hilfe könnten wir den Menschen wie ein Kunstwerk statisch beschreiben. Konstruiertes Beispiel: Er ist ein tonalischer Mensch. Sein Grundakkord ist d-moll. Er bewegt sich jedoch in einem breiten Bereich, moduliert oft zu entfernten Tonarten, gelegentlich auch ruckartig, kehrt aber doch regelmäßig nach d-moll zurück. Auffallend ist, daß Dominantakkorde nie zu finden sind. Sein Tempo ist andante, etc. etc.
 - b. Wir könnten verschiedene experimentalpsychologische Untersuchungen machen, um zu erfahren, was für musikalische Reflexantworten ein gegebener Reiz bei verschiedenen Bedingungen hervorrufen würde.
 - c. Wir könnten aber auch musikalische Elemente als solche Reize verwenden, dann könnten wir mit dem gleichen Prinzip „vergleichende Musikwissenschaft“ betreiben.
6. Mit Hilfe unserer unter 5a angeführten Experimente, die man „Testologie“ nennen kann, könnten wir aber von dem „sich selber finden“ zu „den andern finden“ gelangen, da es fast mathematisch auszurechnen ist, was für ein Akkord es ist, welcher einen andern auf eine harmonische Ganzheit „aufrunden“ kann. Noch leichter läßt sich ein „Doppelgänger“ finden, mit welchem der Mensch dementsprechend „mitschwingen“ könnte („Liebe auf den ersten Blick“). Solche Vermittlungen könnten auch durch elektronische Rechenmaschinen gemacht werden — wobei man bloß darauf bedacht sein müßte, frische Befunde zu verarbeiten, da sie stark zeitbedingt sind.

7. Mit der Möglichkeit, einen Menschen in seiner ganzen Emotionalität und ganz besonders in seiner momentanen Lage erfassen zu können, ist es uns ermöglicht, ihm ein Musikstück vorzuspielen, welches am Anfang mit ihm noch identisch ist. Dadurch kann es ihn mitreißen, auch jene Schritte mit der Musik mitzumachen, welche er allein nicht mehr zu machen imstande wäre. Eine solche Art von Führung würde ich als „aktive Musiktherapie“ bezeichnen, und da könnten auch die Komponisten anknüpfen, um ihre Aufgabe: „Psychotherapeut der Massen“ zu sein, erfüllen zu können. Dann könnten sie dazu beitragen, daß die Menschen sich selber besser kennenlernen, einer den andern mehr lieben und alle einander geduldiger ertragen können.

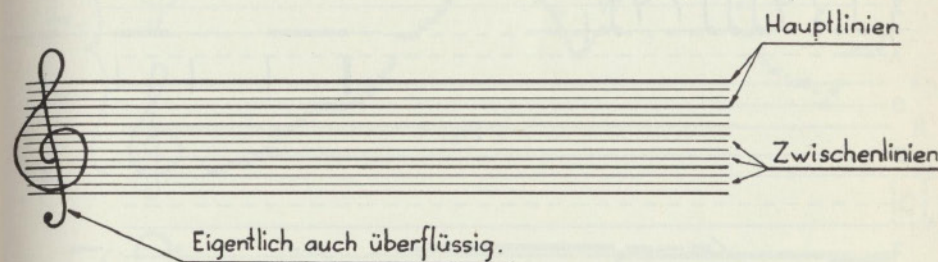


Fig. 1



Fig. 3

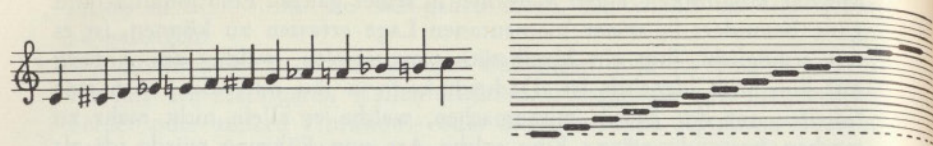


Fig. 2

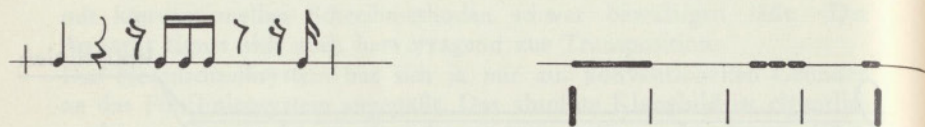


Fig. 4

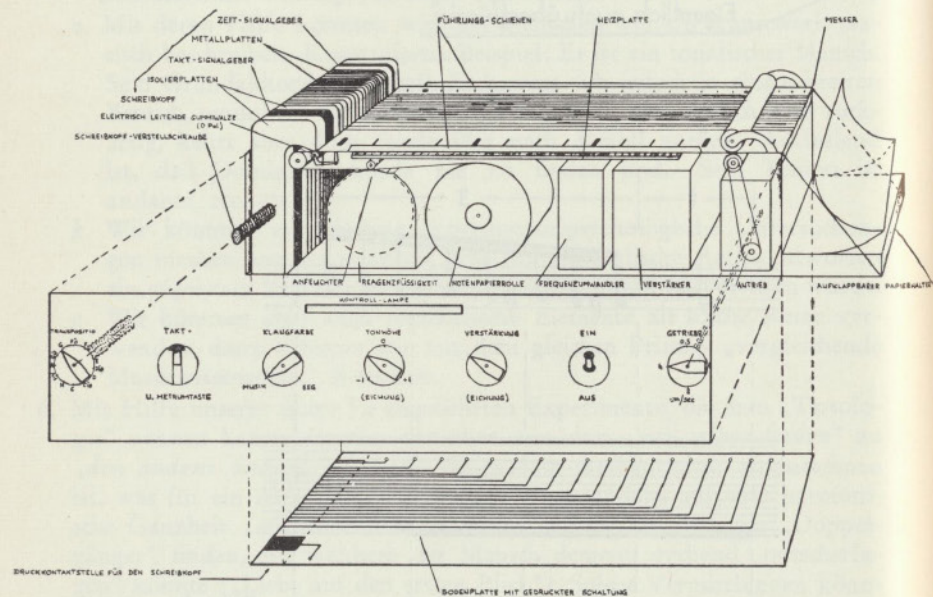


Fig. 5

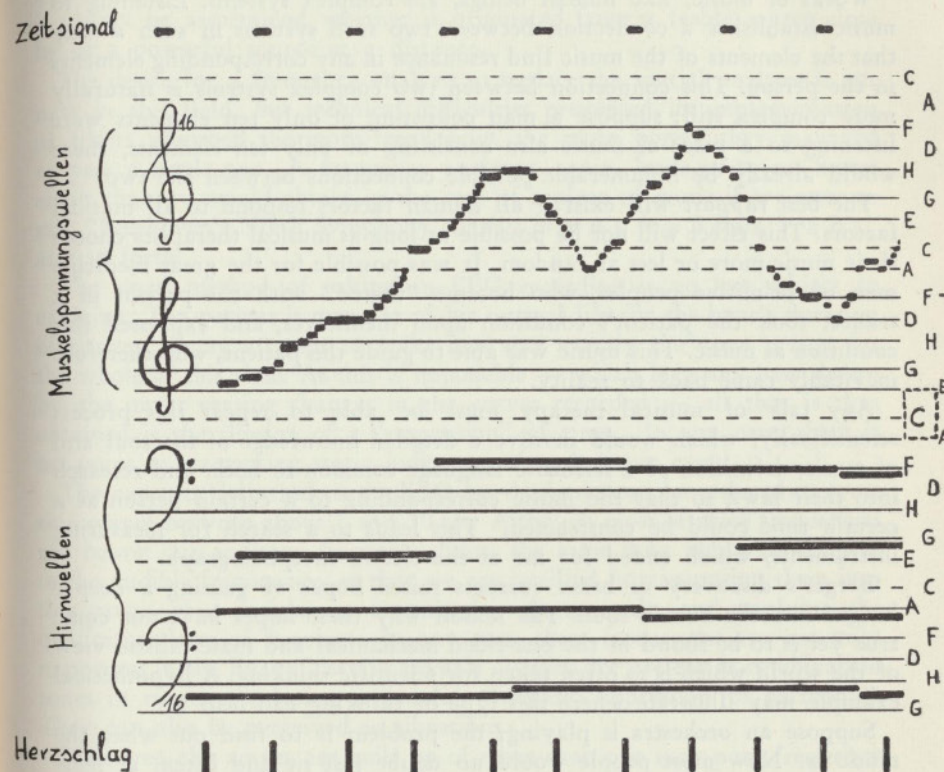


Fig. 6

From the Electro-Encephalograph to Musical Therapy

by
IMRE SPONGA

Works of music, like human beings, are complex systems. Listening to music establishes a connection between two such systems in such a way that the elements of the music find resonance in any corresponding elements in the person. This connection between two complex systems is naturally more complex still: suppose a man consisting of only ten elements were listening to a piece of music also consisting of only ten elements, there would already be innumerable possible connections between the two.

The best *rapport* will exist if all human factors respond to all musical factors. This effect will not be possible as long as musical therapists choose their music more or less at random. It was possible for the great medicine men of primitive peoples, who became "united" with the patient in a trance, took the patient's condition upon themselves, and expressed this condition as music. This music was able to guide the patient, who therefore inevitably came back to reality.

Any talk of musical therapy must be able to repeat this process scientifically, which would involve a detailed knowledge of the soul and of music, definition of a scientific language common to both, and research into their laws, so that the music corresponding to a certain person at a certain time could be constructed. This leads to a search for measuring instruments, which ended for me at the electro-encephalograph.

Berger's discovery of brain currents raised hopes of gaining a deeper insight into the human soul. The reason why these hopes have not come true yet is to be found in the one-sided mechanical and materialistic view of the world which is so often taken for scientific thinking. A hypothetical example may illustrate where this type of thinking can lead us.

Suppose an orchestra is playing; the problem is to find out what the music is. Now most people would no doubt just sit and listen, at least to begin with. But the kind of "scientist" we are trying to characterize would do all in his power to detour his unreliable senses, his subjectivity and all accidental factors he happens to consider as disturbing. Therefore, he will set up a large number of microphones in the orchestra and record all the waveforms on paper strips. After considerable practice, he may find a certain relationship between the position of any microphone and the waveform it delivers, even though the pieces and perhaps the orchestra's seating may vary. However, he has not answered, and cannot answer, the original question as regards the piece of music: instead of telling us what the orchestra is playing, he has only discovered which instruments are playing and where they are positioned — he has examined the orchestra, and not the music.

Present methods with the EEG are exactly the same: a number of electrodes deliver various waves, and it is known where these waves come from, but their occurrence in time is not recorded. The vibrational event as a whole is considered no more than it was considered in our previous example. What we discover is where a vibration came from, but even then it cannot be ascertained whether it originated from a feeble source close by or a powerful source at a distance.

The desire for a frequency analysis to replace the spatial analysis is not new in this field, but technical difficulties prevented its implementation as filters absorbed the more frequencies, the more purely they managed to pass a single one. A frequency analyser, again, leads us to no better result than we would obtain in the case of a piece of music if we were to say, "Beethoven's Ninth Symphony consists of x A's + y B flats + z B's," and so forth.

The usual method of taking an EEG recording is no less subject to criticism. The patient is torn out of his normal life for the hour's duration of the test, in an attempt to make him stay exactly the same person for the whole of this time. As this is impossible — which is in any case shown by the never ceasing changes in the curves recorded — all that is thus obtained is the illusion of a "suspension" of time. In any case, there is no point in attempting static judgment of a dynamic event.

The currents delivered to the EEG by the brain can be reduced to some sine waves between about 1 and 30 c/s. Although most of these frequencies are below our auditory frequency limit, the same laws apply to them as to the audible frequencies, so that we are justified in transposing them into this range, thus making a quantitative change only and applying the qualitative laws of hearing. In any case, these frequencies are not only important in the lives of certain animals — they are present as combination tones in music, producing a peculiar "somatic impression of harmony". They can also be perceived as vibrations.

However, the waves are built up of more than one such pure frequency and change continually. This obliges us to find a recording system for the EEG which would at the same time serve as an analyser.

Now every musician knows that the listener does not perceive large or small *frequencies* but hears high and low *notes*, and the way music is written illustrates this very well: higher notes are written higher up on the stave than lower ones. In scientific terms, musical notation is a graphical representation of frequency, the frequency axis being logarithmic. However, it is only approximately logarithmic, for the writing of equal semitones involves the use of an assortment of accidentals which has proved an increasing problem the further music left tonality behind.

Therefore, I have developed the system of notation shown in Fig. 1, in which the semitones are written on intermediate lines between the five

conventional ones (see Fig. 2). This has very simply turned the conventional system of notation with its only approximately logarithmic frequency axis into one whose frequency axis is exactly logarithmic.

As far as concerns the time axis of conventional notation, it has even less relationship to a linear time axis than the frequency had to a logarithmic frequency axis. Therefore, conventional notation needs a multitude of auxiliary symbols indicating the rhythm. In the system proposed here, the time axis is linear and each note is given a written length corresponding exactly to its duration (Fig. 3). This obviates the necessity of special signs indicating rests, these being sufficiently clearly shown by the absence of notes (Fig. 4).

This results in a notation which is more direct and more perfect than any notation to date, as it graphically represents the frequency and duration actually heard, so that we are justified in calling it a *photograph of the notes*. This not only satisfies the fundamental requirements for automatic note transcription, but allows any musician to read these notes without any trouble at all, with less trouble even than its predecessor.

How is this system of notation used in the analysis of encephalograms? As we are not interested in spatial analysis, we can dispense with some of the electrodes, conserving only those we need to prevent currents from cancelling each other when we amplify them in a single amplifier, after which the frequencies are separated in a semitone filter; each filter element is connected to a metal strip, all the strips being mounted adjacent to and insulated from each other in the writing head (Fig. 5). The writing paper is moistened by a reagent like phenolphthalein or litmus before passing the writing head, where the electrochemical reaction results in the paper being discoloured by the current flowing in any of the strips, this discolouration being proportional to the note's intensity.

This at the same time overcomes the problem of muscular tension currents interfering with the conventional encephalogram, as these are in a higher frequency range not recorded by this note writer. However, some of the more important muscular tension currents can be recorded simultaneously, provided the note writer is designed to include this frequency range. This would give a more complete picture, which could be complemented still further by the rhythms of pulse and breathing. We would then have a "human score" such as the one illustrated in Fig. 6: time pips of one per second are recorded on the top, below which are the rapidly moving "melodies" of muscular tension which depends on our momentary emotions, while the two bass lines show the much calmer, quasi-stationary "harmony" of the person's fundamental mood as expressed by the brain currents; the bottom line is the pulse.

It is important to note that musical and brain waves can be given the same treatment not only because they are the same physically but because

they are two ways of expressing the same spiritual facts: since man has lived on this earth he has had brain currents, and he has also had music. Both are vital functions.

If the note writer for the brain currents is replaced by an electronic organ which transposes all frequencies five octaves up, if the muscular currents are connected to an instrument like Ondes Martenot and the heartbeat to an electric drum, they would together give *electronic music directly controlled by the living organism*. This music would have many applications:

1. "The music of man" or "the music of the brain" would lend itself much better to scientific examination this way than written down — in its own speed it could not, in fact, be examined any other way.
2. Such an "organic music instrument" would be of considerable aid to self-knowledge, the aim of all psychotherapy. I feel it is a mistake to regard some people as unmusical; it seems far more likely that many just have not had the opportunity of coming across the music really related to them. But this organic music instrument would not merely play something related to, but identical with, the person producing it. The greater this person's internal conflict, the more effect it would therefore have, with the most powerful effect for schizophrenic cases. the sounds produced by the schizophrenic person's feelings — his reaction to these sounds — the new sounds produced by this reaction — the new resulting reaction . . . would lead to such an emotional "chain reaction" as to make him finally succumb under the flood of his emotions. But this chain reaction would automatically cease at the point of danger, for when the patient loses consciousness he can no longer hear, and the vicious circle is broken. It is worth comparing this kind of "shock therapy", affecting the innermost parts of a man with no destruction whatever, to the kind of shock therapy usual in clinics today.

Less serious official and unofficial cases of neuroticism, only part of whose selves are unconscious, would lead to less dramatic results. The "merely" cathartic effect could perhaps be consciously controlled by the patient himself, and in fact the more so, the better he would come to know himself. Such practice could have the same effect as strict schooling in meditation, leading to a self-knowledge and self-becoming, just as improvisation at the piano is a case of letting oneself go in order to find back to oneself.

3. Therapeutic effects could be attained without transposition by allowing the low frequencies directly to control electrostatic or magnetic fields or other vibrational or electric devices.
4. If the note writer is fitted with filters in the audio range, we could feed it with current not from the brain but from a microphone: we

obtain a music typewriter, which would be suitable for records of not only conventional music but of the most outlandish folk music, hard to combat with our conventional system of notation. The unit would be eminently suitable for all problems of transposition.

It must be noted in this regard that the system of five lines has been kept here only for traditional reasons, but that any other system would be equally suitable.

5. The "organic music typewriter" and the audio note writer together would give musical therapy a scientific basis at last:
 - a. They would enable us to gain a static description of a human being like a work of art. As a hypothetical example, let us imagine a "tonal" person with a fundamental chord of D minor, from which he frequently modulates or occasionally jumps to distant keys, always returning to D minor. A conspicuous fact is that there are never any dominant chords present. His tempo is andante, etc. etc.
 - b. The machines would be of help in experimental psychology. We could thereby gain a knowledge of the musical reflex produced by a certain stimulus under certain conditions.
 - c. If we use musical elements as stimuli in the above described experiment, we would come to "comparative musicology".
6. With the help of the ideas explained in 5a, which might be called "human testology", the "finding of self" could be expanded into "finding the other", for it is an almost mathematical calculation to deduce which chord is missing from a certain personality to round it off to a harmonious whole. It would be even easier to find a "double" with whom the person concerned would be in resonance, as in cases of love at first sight. Such diagnoses could be carried out by electronic calculators, although the EEG results used, which would rapidly change with time, would have to be fresh.
7. As we can obtain an overall view of a person's instant emotion, we can deduce a piece of music to play to him which is at first identical with him so that a connection will be established, after which the music can lead him to where he would be unable to go by himself. This could be called "active musical therapy", in which the composers could really follow their calling of being the "psychoterapists of the masses". Then they could contribute towards making the people know themselves better and love one another more.

Zwei Anwendungsbeispiele des Informationswandlers

von

A. M. SPRINGER

Als Informationswandler bezeichnen wir ein Gerät, mit welchem lediglich die Tonlage, nicht aber das Tempo bei der Wiedergabe der *Schallaufnahmen* verändert werden kann. Dieses Gerät, auch „Tonlagenregler“ bezeichnet, ist durch verschiedene Veröffentlichungen bekannt geworden¹, jedoch als Gerät mit unmittelbarer Tonlagenänderung noch nicht beschrieben worden.

Der Sinn dieser Einrichtung liegt in der Erfüllung verschiedener Aufgaben.

1. soll die Beseitigung der akustischen Rückkopplung erreicht werden: Es ist bekannt, daß die zusammengeschalteten Mikrophone, Verstärker und Lautsprecher bei einer bestimmten Annäherung von Lautsprecher und Mikrophon zu heulen oder pfeifen beginnen. Wird aber die Tonlage zwischen Mikrophon und Lautsprecher verändert (um etwa 6% = $\frac{1}{2}$ Tonstufe), dann geht die Pfeifneigung um 6—8 dB zurück. Diese Einrichtung ist von Vorteil für freisprechende Telefonapparate, in Vortragsräumen mit Mikrophonverstärkung etc.
2. Ein ganz besonders wichtiges Anwendungsgebiet liegt auf dem Gebiet der Schwerhörigkeit. Es stellt eine Möglichkeit dar, Menschen mit geringem Restgehör, das etwa auf dem Bereich der tiefen Frequenzen liegt, höhere Frequenzen hörbar zu machen, für welche absolut keine Hörempfindlichkeit mehr besteht. Dieses Verfahren wird durch die Frequenztransponierung erreicht.

Eine Tonlagenänderung einer Schallquelle ist im Doppler-Effekt bekannt. Nähert sich eine Schallquelle dem Beobachter, dann nimmt die Tonhöhe zu, entfernt sich die Schallquelle, dann nimmt die Tonlage ab. Diese vollkommene und unmittelbare Tonlagenänderung läßt sich jedoch nur für wenige Sekunden brauchbar anwenden.

Sollen die Schallquelle und der Beobachter in einer festen Position zueinander stehen, dann muß die Tonlage mit Hilfe eines Zwischenspeichers, der entweder magnetisch oder elektronisch sein kann, geändert werden,

¹ „Gravesaner Blätter“ Heft 1, 1955, mit Schallplatte.

„Elektronische Rundschau“ Dez. 1955.

„Elektrotechnische Zeitschrift“ März 1956.

„Elektronische Rundschau“, Aug. 1958.

„Gravesaner Blätter“ Heft 11/12, 1958, mit Schallplatte.

„Die Umschau“ Heft 10, 1961.

d. h. es muß sich die Relativgeschwindigkeit zwischen der Aufzeichnung und der Abtastung auf dem Speicher ändern, mit anderen Worten, es muß für die Tonlagenänderung Informationsinhalt weggelassen werden, wobei die Abtastung langsamer erfolgt (Senkung) oder hinzugefügt (Anhebung) werden, indem der Tonträger schneller läuft. Diese Vorgänge müssen natürlich so präzise erfolgen, daß weder Lücken noch Überlappungen bei der Abtastung stattfinden. Das geschützte Verfahren verwendet entweder rotierende Magnettonköpfe (DP 1 083 873) und einen endlosen Tonträger oder Nachrichtenspeicherröhren nach Art der Bildspeicherröhren mit mehreren Elektronenstrahlen.

Versuche haben bewiesen, daß die Tonlage von Sprache oder Musik bis zu mehreren Tonstufen oder auch Oktaven gesenkt werden kann, ohne daß störende Effekte in Erscheinung treten. Ebenso kann die Tonlage auch um mehrere Tonstufen angehoben werden. Die Harmonie wird bei den Vorgängen nicht gestört. Es ist bekannt, daß ein Sprecher an seiner Stimme erkennbar ist, wenn die Tonlagenänderung nicht mehr als etwa 10 % beträgt. Deshalb ist das erstgenannte Verfahren zur Beseitigung der akustischen Rückkopplung bei einer Tonlagenänderung von nur 6 % ohne Einfluß auf die Erkennbarkeit.

Ein weiterer Vorteil des Informationswandlers für die Korrektur der Schwerhörigkeit ist die Beseitigung der akustischen Rückkopplung bei stark aufgedrehten Schwerhörigengeräten.

Two Applications of the Information Changer

by

A. M. SPRINGER

The information changer is an instrument which changes only the pitch and not the speed of a recording during playback. Although there have been numerous publications about this device under its name of "pitch regulator"¹, its application for immediate, direct changes of pitch is being described here for the first time, and has the following purposes:

- ¹ "Gravesano Review" 1 1955, with record.
- "Elektronische Rundschau" December 1955.
- "Elektrotechnische Zeitschrift" March 1956.
- "Elektronische Rundschau" August 1958.
- "Gravesano Review" 11/12 1958, with record.
- "Die Umschau" 10 1961.

1. It can be used as a measure against acoustic feedback arising from the vicinity of a loudspeaker to the microphone feeding it. The tendency of such an arrangement to whistle is reduced by about 6 to 8 dB if there is a change of about 6 %, i. e. one semitone, in pitch between microphone and speaker. This is a great help in the case of freehand telephones, in lecture halls with public address systems, etc.
2. The hard of hearing can gain particular use from the information changer. Persons who are deaf to high frequencies can have these frequencies transposed into a range where they can hear them.

The Doppler effect is a well known example of pitch transposition: the pitch is raised if the sound source moves towards, lowered if it moves away from the observer. This is a perfect and immediate change of pitch, but can never be of practical use for more than a few seconds.

The only way of changing the pitch if the sound source and observer are to have fixed relative positions is by storing the sound at least for a short period of time, either by magnetic or electronic means, so that the relative speed of recording and playback is under control. This is equivalent to adding to the information content of the message when the pitch is raised, or reducing it when the pitch is lowered. This is achieved by speeding up or slowing down, respectively, the rate of playback in such a way that there are no gaps or overlapping. The method covered by German Patent 1 083 873 uses either revolving magnetic heads and an endless loop of magnetic tape, or storage tubes similar to image storage tubes with multiple electron beams.

It has been shown experimentally that speech as well as music can be transposed several tones or even octaves down or several tones up without distortion. All frequencies are changed in the same ratio, so that the harmony of music is not affected. As for speech, it is a well known fact that a speaker will still be recognizable by his voice if the change in frequency does not exceed about 10 %. But as a change of 6 % is sufficient to reduce acoustic feedback by a very satisfactory degree, the speaker's voice will not be unduly affected by such a change.

The hard of hearing can profit by the information changer in yet another way, as it can reduce acoustic feedback for hearing aids.

Das neue Verhältnis zwischen Musik und Mathematik

von

A. A. MOLES

Trachte, das, was du weißt, zu vergessen, um zu wissen,
daß du es wußtest, und um dein Wissen zu wissen.

— Valéry

Die Musik kommt vom Spielen her, doch hat sie ihr Wesen sehr verändert und ihre bisherige Entwicklung gliedert sich in drei Perioden.

Die erste Periode ist die musikalische *Spontanität*; mit der Entwicklung der Musikinstrumente selbst hebt sie an und währt bis zum 15. Jahrhundert. Das Vorhandensein eines Instrumentes — sei es eine Orgel, eine Laute oder was immer — genügte, um schon mit einem Minimum an Kultur Musik hervorzubringen. Der Mensch „spielte“ mit dem Instrument in der buchstäblichen Bedeutung des Wortes: er war Komponist, Spieler und Hörer zugleich. Die Partitur blieb ungenau und unwichtig, das Musikwerk verwehte fast gleichzeitig mit seiner Erscheinung, was gleichbedeutend ist mit: Ein „Werk“ gab es nicht.

Die zweite Periode zeichnete sich durch die Geburt des Konzerts aus. In ihr wurde eine musikalische *Situation* evident. Die einzelnen Mitglieder der Gesellschaft stellten sich in solche musikalische Situationen wie z. B. das Anhören eines Konzertes, und diese Situation teilte die musikalische Gesellschaft wiederum in zwei Schichten: in diejenigen, die die Musik machten und die anderen, die ihr zuhörten, und die Musik war das Verbindungsglied zwischen beiden, d. i. zwischen dem Komponisten und dem Hörer, der sich das Bürgerrecht im Musikleben aber nur durch aktive Teilnahme — seine musikalische Bildung — erwarb. Natürlich ist damit nicht gesagt, daß der Hörer auf Komponisten-Niveau stand, jedoch drückte sich diese Bindung aus in Bemerkungen wie „Das ist Bach“, oder „Das ist die Dritte“ (Sinfonie von Beethoven). Diese Verbindung zwischen dem Hörer und der Musik, oder dem Hörer und dem Komponisten, war das Wesen des Musiklebens jener Zeit.

Die dritte Etappe steht im Zeichen der Massenverbreitungsmittel und der sich daraus ergebenden Möglichkeiten der musikalischen *Vervielfältigung*. Dem Werk haftet nichts Einmaliges, nichts Vorübergehendes mehr an, der Rundfunk und die Schallplatte haben ihm die Möglichkeit gegeben, gleichzeitig und überall in einer unendlichen Zahl von Exemplaren zu existieren, die in einer ersten Annäherung alle identisch mit und daher ununterscheidbar von dem Original sind. Die Komposition kann eine *Vielzahl* von Formen annehmen, die alle zulässig, aber doch eine Verkleidung

des Originals sind: von der freien Interpretation bis zur Bearbeitung, Variation, Fantasie, zum Potpourri und zum Plagiat. Die Musik lebt, aber anders als in den beiden ersten Perioden, indem sie alle möglichen Erscheinungsformen eines Originals miteinbezieht.

Heute stehen wir an der Schwelle einer vierten Periode: einer Zeit, nicht nur der mechanischen Wiedergabe, sondern der *mechanischen Schöpfung*, die unsere Ansichten über die Rolle der Kunst in der Gesellschaft und das Verhältnis des Künstlers zu seinem Werk völlig verändert. Musik ist nicht mehr bloßes „Spiel“, sondern darüber hinaus eine Funktion, eine Ausscheidung der Kultur, deren Tendenzen und Lebensformen sie ausdrückt. Komponist, Spieler und Hörer haben sich eine eigene Welt geschaffen, die nicht mehr eine ganz unmittelbare Verbindung mit dem Massenkonsumenten hat. Fragen wie: „Mögen“ oder „Nicht mögen“, „Verstehen“ oder „Nicht verstehen“ haben ihren Sinn verloren — das einzig Maßgebende ist die Eigenständigkeit des Werkes: ist es original oder banal, bringt es etwas Neues, und liegt diese Neuheit in der Schöpferidee oder in der Verwirklichung?

In den ersten drei Perioden entstand das Werk im Innern des Komponisten und das Komponieren bestand darin, es herauszuholen, und von da an stand — und steht — im Geiste der Komponist *in* seinem Werk (daher die Ausdrücke wie „Das ist Bach“). Im Zeichen der vierten Periode holt der Komponist nicht mehr durch einen geistigen Schöpfungsakt das Werk aus seinem Innern hervor, denn das technische Kompositionsmittel, das er benötigt, steht schon außerhalb seiner selbst. Als Folge davon ist der Komponist eines geschaffenen Werkes nicht mehr im Geiste ganz in seinem Werk drin; der Komponist ist an die Peripherie seines Werkes gerückt und teilt die Ehre dafür mit den technischen Mitteln. Vielleicht wird er mit der Zeit, ganz außerhalb seines Werkes, diesem völlig objektiv entgegentreten. Denn er schafft nicht mehr die Werke, sondern nur die Ideen, die die Technik mit einer *Vielzahl* möglicher „Verwirklichungen“ umgibt.

Diese „Vielzahl“ ist der Ausdruck der Technik in unserer Zivilisation und führt zur neuen Dimension der *Komplexität*. Diese Komplexität ist verwandt mit dem Spiel des Kombinierens einer Anzahl von Teilen zu einer Vielgestalt des Ganzen. Das heutige Denken kann sie nur statistisch erfassen, was unserer Kenntnis über das Wesen der Sinneswahrnehmung entspricht.

Den Begriff der Komplexität haben wir schon öfters an anderen Stellen entwickelt und definiert, begnügen wir uns hier mit einigen Gedanken über ihre Wichtigkeit zum Vergleich der verschiedenen, durch Elementenkombinationen entstehenden Gestalten untereinander. Man vergegenwärtige sich, daß der intuitive Inhalt der Komplexität genau erfaßt wird, wenn man ihn definiert als die Entropie oder den Informationsgehalt einer Nachricht,

die aus N Elementen besteht, die ihrerseits aus einem Vorrat von n Kategorien gewählt werden. Jeder dieser n Kategorien entspricht eine Wahrscheinlichkeit p_i , also ist die Komplexität

$$C = H = N \sum_i^n p_i \log_2 p_i$$

Diese Komplexität wird zum künstlerischen *Experiment*. Dieses drängt sich uns immer mehr auf, ist aber nur gültig in dem Maße, in dem es das Verständnis dieser Vielfalt der Möglichkeiten anstrebt. Wir stehen in einer Zeit der Methodologie der Kunst. Dies ist die erste Verbindung zwischen der Musik und der Mathematik.

Die Mathematik war schon von ihren Anfängen an nicht nur eine Sprache, sondern auch eine Wahrnehmung von Verhältnissen und Gestalten. Die Musik aber war auf der Suche nach ihren Normen; warum sollte man sich nicht einbilden, daß die Allgemeingültigkeit der Kunstnormen sie dazu berufen machte, sich axiomatisch mit den Normen der Mathematik zu decken?

Diese geometrisch-mathematische Auffassung der Musik führt zurück bis zu Pythagoras, der mit seinen Gedanken über das Verhältnis ganzer Zahlen zu den Konsonanzen die weitere Musikgeschichte stark beeinflusste. Unter Platon wurde die Zahl zur Grundlage aller Harmonie. Im Lauf der Jahrhunderte zogen diese Ansichten eine Reihe verschiedener Konstruktionen nach sich, wie z. B. den in der Malerei so wichtigen *Goldenen Schnitt* und die mehr der Musik verbundene *Reihe*. In Wirklichkeit haben Gültigkeit nur diejenigen Verhältnisse, die von der Phantasie kommen oder die die Intelligenz des Empfängers (Hörers) findet. Die Gliederung der Nachricht ist das Ergebnis der Gliederung seines Geistes, und jede Apriori-Konstruktion ist nur eine Stilformel, unabhängig von dem, was der Empfänger hineinprojiziert, was die Rolle der Mathematik in der Kunst erheblich einschränkt.

Daß die Schöpferidee irgendwie außerhalb des von ihr hervorgebrachten Werkes steht, bedeutet, daß die Kritik klar unterscheiden muß zwischen der *Schöpferidee* und der *Verwirklichung*, die ja auch von den gebrauchten technischen Mitteln abhängt und sich in einer ganzen Reihe von Werken, die alle aus der einen schöpferischen Entdeckung fließen, offenbaren kann. Das bedeutet wiederum, daß die „Urgestalt“ eine Vielzahl von Begleiterscheinungen nach sich zieht, woraus ein Verhältnis zwischen *Zentralem* und *Nebenerscheinung* entsteht — ein neu zu erwerbender Standpunkt für Kritiker. In der Musik muß man also zwischen der „Gestalt“ — dem verständlichen, also überflüssigen Teil einer Zusammenstellung von Zeichen unter Rücksichtnahme auf die Empfangsfähigkeit des Hörers — und dem „Bereich des Möglichen“ — der aus den verschiedenen technischen Möglichkeiten und Kombinationen entsteht — klar unterscheiden.

„Komponieren“ hat zwei Seiten. Vom Standpunkt des *Komponisten* ist es ein Versuch, die Welt durch Originalität zu bereichern; seine einzige Grenze ist die seiner Fähigkeit, das Spiel der von ihm *kombinierten* Elemente zu meistern: „Komponieren“ heißt, von ihm gesehen, „Zusammenstellen“. Der Hörer sucht andererseits zunächst die *Verständlichkeit*: er findet einige der Gestalten, die der Komponist in seiner Nachricht tatsächlich entwickelt hat, und ersetzt den Rest durch ein willkürliches Hineinprojizieren seiner eigenen, persönlichen Gestalten. Anders ausgedrückt: der Komponist wählt ein gewisses Gleichgewicht zwischen Ordnung und dem Unvorhergesehenen, indem er dem Werk eine Anzahl von verständlichen Gestalten, die er gewissen ausdrücklichen oder intuitiven Regeln entnimmt, einverleiht. Der *Hörer*, der nach der Definition weniger Regeln als der Komponist besitzt (obwohl er sich in dieser Beziehung durch seine musikalische Bildung dem Komponisten annähern kann), kann mit den Regeln, die er besitzt, eine gewisse Ordnung in dem Werk finden und ergänzt sie durch Erfindung; kann er die Ordnung in einem Werk weder finden noch erfinden, kann er nicht aufnehmen, sondern nur wahrnehmen: er langweilt sich.

Also müssen die „Phantasiemaschinen“ mindestens aus zwei Teilen bestehen: einem Teil (der Phantasie) für die Neuheit oder das Unvorhergesehene, der letzten Endes irgendeine Zufallsquelle sein wird — zufällig gezogene Zahlen, die Dezimalfolge von π , symbolische und willkürliche Ausdeutungen der Ergebnisse eines Würfelspiels oder der Zahlenentsprechungen der Buchstaben BACH. Die Frage stellt sich, inwieweit man der *Phantasie* den reinen Zufall entgegenbringen kann — eine Frage der Philosophie. Der zweite Teil (die Absicht) erzeugt durch Einschränkung (Filtrierung) oder Erweiterung (Projizierung bestehender Formen in die Unordnung) eine gewisse Ordnung in der Unordnung, und das Gerät wird je nach des Komponisten Ansichten über diese Ordnung beschaffen sein: bei der algorithmischen Musik z. B. richtet es sich nach der Reihentheorie, während es in den Arbeiten *Hillers* als Filter gegen die totale Unordnung wirkt. Das Neue, das die Maschinen dem Künstler entgegenbringen, ist die Möglichkeit, die Idee bis an die Grenzen ihrer Möglichkeiten auszuarbeiten. Diese Möglichkeiten kann man nur mit Rücksicht auf die Sensibilität verschiedener Hörer erforschen. Daher ist es gut, die Experimente zunächst auf die kleinsten Schallteilchen, die zusammen das „objet sonore“, den Ton oder das Signal, bilden, zu beschränken (Nahordnung). Nach diesem System arbeiten die Musik-Computers, z. B. von *Mathews*, *Pierce* und *Guttman*. Diese Signale können Verhältnisse untereinander — besonders zum vorhergehenden und folgenden — eingehen, so daß „Supersignale“ entstehen: das ist die Methode der *Mikrokomposition*, während in der *Makrokomposition* die Supersignale zu Gestalten mit Melodiephrasen, harmonischem Kontrapunkt u. dergl. zusammengeschlossen werden (Fern-

ordnung). So verwendet, ist die Maschine ein „Intelligenzverstärker“, oder genauer, ein „Komplexitätsverstärker“, der die Fähigkeiten des Menschen unterstützt, ergänzt und weiterführt. Die Gültigkeit des Produkts hängt vom Urheber des Programms, der Reihe oder der Regeln ab: er ist verantwortlich für das Ergebnis.

Die Maschine kann aber auch zu einem ganz anderen Zweck benutzt werden: statt den Schaffensprozeß zu ergänzen und daran teilzunehmen, kann sie ihn erforschen. Durch eine Versuch-und-Irrtum-Methode kann man die Maschine so einrichten, daß sie den menschlichen Schaffensvorgang so gut *nachahmt*, daß ihr Erzeugnis von dem menschlichen nicht mehr zu unterscheiden ist (Illiad-Suite). Die Maschine wird dann nicht verwendet, um Kunstwerke zu erzeugen, sondern um zu erfahren, wie Kunstwerke erzeugt werden, und das künstlerische Problem ist zu einem ästhetischen geworden.

Man wird dann immer finden, daß auch die vollständigsten und weitverzweigtesten Regeln (z. B. der Cantus firmus der Renaissance in der Arbeit von *Fuckes*) zum Entstehen einer gültigen Musik nicht genügen: neben den *ausdrücklichen Regeln* richten sich die Komponisten intuitiv nach *ungeschriebenen Regeln* (die vielleicht zu selbstverständlich schienen, um aufgeschrieben zu werden). Nun führt die sprichwörtliche Dummheit der Maschinen dazu, daß sie auch den selbstverständlichsten Regeln nur dann folgen, wenn sie auch aufgeschrieben sind, und so kann es vorkommen, daß man einer solchen Regel erst beim überraschenden Verstoß der Maschine gegen sie überhaupt gewahr wird: daran erkennt man den Unterschied zwischen der menschlichen und der Maschinenkomposition — eine Frage der Ästhetik. Eine eventuell sich ergebende gültige Nachahmung wäre die Lösung des Problems der Plagiatmaschine — doch würde diese Lösung das Problem nur durch ein anderes ersetzen, nämlich: welchen Wert hätte ein solches Plagiat? Es wäre zu einfach, um nicht zu sagen, gegen den Geist der Wissenschaft, festzustellen, daß es gar keinen hätte.

Nun wird jeder Versuch der hier verwendeten Versuch-und-Irrtum-Methode ein Kunstwerk erzeugt haben, in dem die Nachahmung des menschlichen Komponierens unvollständig war. Doch auch hier hat die Maschine das menschliche Komponieren nachgeahmt, wählt doch der Komponist auch eine von vielen, sich in jedem spezifischen Falle ergebenden Möglichkeiten. Man könnte fragen, ob er mit seiner Wahl gut tat. Hat Brahms alles das geschrieben, was er hätte schreiben können? Ohne ein anderer Mensch zu werden, das heißt, ohne die statistischen Merkmale seines Zeitstils, des jeweiligen Werkstils oder seines Personalstils (wie sie in den Arbeiten *Fuckes* schon bis zu einem gewissen Grade definiert werden) zu überschreiten, erforschte er alle die Möglichkeiten einer bestimmten Idee oder eines bestimmten Werkes?

An diese Frage geht man heran, indem man eine Anzahl kleiner Veränderungen an den einzelnen Stilparametern vornimmt und die Ergebnisse vergleicht. Es gibt zwei mögliche Antworten. Entweder erreicht keine der Variationen das Niveau des Originals, woraus sich die weitere Frage eines zweifachen Warum ergibt: (1) welche Normen erlauben eine derartige Antwort überhaupt, mit andern Worten, woher weiß man das, und (2) worin drückt sich der Vorzug der Urfassung aus, mit andern Worten, welche neuen Regeln offenbaren sich durch diese Methode? Oder das untersuchte Werk stellt sich in der Tat nur als eine von vielen gleichwertigen Möglichkeiten heraus, wodurch sich ein ungeheures Feld neuer möglicher Kunstwerke ergibt, das der systematischen Erforschung zur Ernte der schönsten Früchte harret.

Wie immer eine solche Untersuchung ausfallen mag, wird sie dazu beitragen, die Geheimnisse, um nicht zu sagen die Mystik der menschlichen Tätigkeit im allgemeinen und des künstlerischen Schaffens im besonderen zu enthüllen. Die Distanzierung des Künstlers von seinem Werk, dessen Hineingestelltwerden in gesellschaftliche Zusammenhänge, das Aufkommen eines Gegensatzes zwischen Schöpfung und Verwirklichung, und das Hervortreten der Kombination als künstlerisches Element, das die Permutation als Kunst ermöglicht: das sind schon einige der positiven Ergebnisse des neuen Verhältnisses zwischen Musik und Mathematik. Wir verdanken sie den Maschinen, die das neue Element — die Komplexität — regeln und handhaben.

The New Relationship between Music and Mathematics

by

A. A. MOLES

Try to forget what you know, in order to know
that you knew it, and to know your knowledge.

— Valéry

Music originates from playing, but it has rapidly changed; its evolution can be divided into three stages.

The first stage is *spontaneity* and embraces the period from the beginnings of musical instruments up to the 15th century. The presence of an instrument — no matter whether it was an organ, a lute or anything else — and a minimum of culture sufficed for music to be produced: the musician really “played” with the instrument and was at once composer, performer and audience. The score remained inaccurate and unimportant, and the musical work vanished as soon as it had sounded — which is as much as saying that there was no such thing as musical work at all.

The second stage saw the birth of the concert and the recital. A musical *situation* was defined. The members of society placed themselves in musical situations, such as listening to a concert; this “situation” again divided the society of music lovers into those who produced the music and those who listened. The link between producers and listeners was the music, and listeners could really play a part in these musical situations only by active participation: listeners were of course not at composers’ level, but their active participation influenced by their musical education, expressed themselves in phrases like “That’s Bach”, or “That’s the 3rd Symphony” (meaning by Beethoven). This link between listener and music, i.e. between listener and composer, was the essential part of that period’s musical life.

The third stage is characterized by the presence of mass media of communication, resulting in the musical *copy*. There is no longer anything unique or transitory about the musical work — instead, radio and the record enable it to exist in an infinite number of copies which are, to a first approximation, identical to, and therefore indistinguishable from, the original. The composition, however, can exist in a *large number* of different forms or interpretations, all of which are acceptable but are a disguise of the original, ranging from rather free interpretation to variation, fantasy, potpourri, plagiarism and arrangement. Music lives, but it lives in a different way to the first two stages, encompassing all the various manifestations of an original.

We now seem to be broaching a fourth stage — that of not only mechanical reproduction but *mechanical creation*, which is revolutionizing

the function of art in society as well as the function of the artist in his work. Music is no longer a mere matter of “playing”, but is a function, a secretion of our culture, expressing its tendencies and ways of life. Composer, performer and listener have created a world of their own which no longer has quite direct contact with mass consumers. It is no longer a question of “liking” or “not liking”, “understanding” or “not understanding” — what matters is whether the work can stand on its own, whether it is original or commonplace, whether it has something new to say and whether this newness is due to the idea or its treatment.

In the first three stages, the work started by being inside the composer; once it was composed, the composer was henceforth (in spirit) inside the work (hence such phrases as “That’s Bach”). But in this fourth stage, composing is not just a matter of bringing the work out from the inside, for a host of technical devices outside the composer play a part in this. Hence, the composer does not finish by being (in spirit) quite inside his work, but he has moved towards the periphery, sharing the credit with the technical devices he needed for the composition. Perhaps he will eventually be entirely detached from his work. He no longer produces works, anyway, but supplies the ideas which technology surrounds by a *large number* of possible “realizations”.

This “large number” is the expression of technology in our civilization and leads to the new dimension of *complexity*. This complexity is related to the game of combining numerous parts to result in numerous forms of the whole. To modern thinking, it can only be conceived in a statistical sense, corresponding to what we know of the nature of the perception of the senses.

We have already developed and defined the term “complexity” in numerous other publications, so that it will be sufficient here to show its importance to the comparison of the various forms resulting from a combination of elements. It has been shown elsewhere that complexity can be defined as the entropy or information content of a message made up of N elements chosen out of a repertory of n categories. As each of these n categories can occur with a probability p_i

$$C = H = N \sum_i^n p_i \log_2 p_i$$

This complexity leads to artistic *experiment*. This is becoming more and more important but is valid only if it is the search for a method of understanding this variety of possibilities. We are in an age of methodology in art. This is the first relationship between music and mathematics.

From its beginning, mathematics was not only a language but a means to perceive relationships and forms. Music, on the other hand, was looking

for its rules; why not pretend that the rules of art, being universal, axiomatically coincided with the rules of mathematics?

This geometrico-mathematic conception of music goes back to Pythagoras in his studies of integers and consonance, which have had great bearing on the whole history of music. To Plato, numbers were the basis of all harmony. In the course of centuries, this led to various constructions, such as the *medial section*, which is so important in painting, and the *series*, which has influenced music. In reality, the only valid relationships are those created by imagination or found by the consumer's (listener's) intelligence. It is the structure of his mind which determines the structuration of the message, and any *a priori* mathematical construction is only a formula defining a style independently of what the consumer will project into it. This considerably reduces the importance of mathematics in art.

The fact that the creative idea is in some way outside the work it produces, implies that criticism should clearly distinguish between the *creative idea* and the *practical result*, which depends also on the technique and may manifest itself in a whole series of works which all have their source in a single discovery. That implies again that, apart from the "Initial Gestalt", there are a large number of secondary factors at work, resulting in a relationship between *central* and *lateral* aspects: this is a new viewpoint for critics to acquire. Hence, in music, we must distinguish between "Gestalt", which is the intelligible — i. e. redundant — aspect of an assembly of signs considering the listener's receptive capacity, and the "possibilities" resulting from the various techniques and combinations.

The act of composition can be looked at from two angles. As far as concerns the *composer*, he is attempting to add something to the world in the form of originality, in which he is limited solely by his ability to master the game of *combining* the elements he uses; in this sense, "composing" means "putting together". The *listener*, on the other hand, first of all looks for *intelligibility*, finding some of the forms which the composer actually developed in his message, and supplementing the rest by arbitrarily projecting into the work his own, personal forms. Again: the *composer* chooses a certain equilibrium between order and the unforeseen by using some intelligible forms resulting from a code of rules which he possesses explicitly or intuitively. The *listener*, who by definition must possess fewer of these rules than the composer, although he can increase them by his musical education, will use such rules as he has to find a certain order in the work, supplying the order he cannot find by invention; if he can neither find nor invent order in a work, he will not perceive but only receive: he will be bored.

Therefore, "imagination machines" must comprise at least one part to produce the new or unforeseen and another to produce order. The first part (imagination) will always reduce to some sort of random source:

random numbers, the decimal places of π , symbolic and arbitrary interpretations of the results of a game of dice or of numerical equivalents of the letters in a name such as BACH. The question of the extent to which *imagination* can be confronted with pure chance is one leading into philosophy. The second part (intention) can produce order within this disorder by limitation (filtration) or augmentation (projection of existing forms of order into the disorder). The devices will differ according to their point of view about this order. In algorithmic music, for example, they will express the theory of serial technique, while *Hiller* uses the machine as a totality filter. But what all the machines can really contribute is the new ability of pursuing the idea to the very limit of its possibilities. Exploration of these possibilities can be carried out with respect to the sensitivity of various listeners, and it is useful first of all to limit experiments to the smallest particles of sound a collection of which make up the "objet sonore", the note, or the signal. This is the purpose of the work on "music computers" as represented by *Mathews*, *Pierce* and *Guttman*. These signals can be related to one another, in particular to the preceding and following signals, to make up groups of "supersignals": this is *microcomposition*; *macrocomposition* is a question of assembling the supersignals into structures containing melodic phrases, harmonic counterpoint, etc. In this case, the machine is an "intelligence amplifier" or, more exactly, a "complexity amplifier" supplementing and supporting human powers. The question as to whether the resulting music is good or not, depends on the author of the programme, series or rules, and it is he who is responsible for the result.

But the machine can be used to another end altogether: instead of supplementing the creative process, it can explore the creative process. The machine can by trial and error be arranged to function in a way to *simulate* the human creative process, until what it produces can no longer be distinguished from human production (*Illiac Suite*). The machine is not made to produce works of art but to discover how works of art are produced — an aesthetic, and not an artistic problem.

When this is done, it is invariably discovered that even the most complete and ramified code of rules (e. g. Renaissance *cantus firmus* in the treatise of *Fucks*) is not sufficient for the production of good music. Apart from the *explicit rules*, there are the *implied rules* intuitively observed by composers (perhaps because they appeared too obvious to write down). Machines are proverbially stupid and do not follow such rules unless they are in fact written down, and these rules are for the first time made apparent by the difference between mechanical and human composition. This is a question of aesthetics. Any resulting worthwhile simulation would be the solution of the problem of the plagiarist machine — but it would create a new problem in its place: what value can be ascribed to the

plagiarism? It would be too easy, not to say devoid of scientific spirit, to say that they would have no value at all.

Now the process of trial and error involved in making the machine simulate human creation will have resulted in a large number of other works in which this simulation has been incomplete. But the machine has simulated human composition even in this, for a composer also chooses among many possibilities presenting themselves to him. But it is worth asking whether the reasons for his choice were good ones. Did Brahms write all he could have written? While still remaining himself, that is, while conserving all the statistical characteristics of his age, of the type of work referred to and of his personal style (as defined very well by the researches of *Fucks*), did he explore all the possibilities due to a certain idea or work?

This question can be answered by making a number of small changes in the individual stylistic parameters and examining the practical results. Two possible answers will be obtained. Either none of the variations will come up to the standard of the original, which will raise the further twofold question of why: (1) by what standards have we a right to such a statement at all, in other words, how do we know, and (2) what has the original got that the variations have not, in other words, what new rules are disclosed by this method? The other possibility will be that the work in question was in fact only one of a number of equally good possibilities, which in turn opens up an enormous field of new possible works of art, which should be systematically explored in order to gather the most beautiful fruits.

But quite apart from the result of any such investigation, it will help to *demystify* human activity in general and artistic creativity in particular. The facts of the artist's gaining an objective distance from his work, of the work's being given a definite place and function in society, of a certain tension between the idea and realization of a work, of combination as an element of artistic creation giving rise to permutational art — these are already some of the positive results of the new relationship between music and mathematics, created by the machines which manipulate and control the new element of complexity.

Musikalische Klänge von Digitalrechnern

von

M. V. MATHEWS, J. R. PIERCE und N. GUTTMAN

Schall von Zahlen

Zahlen sind das Gebiet der Digitalrechner, aber die Musik entsteht aus einem gleichmäßigen Luftdruckwechsel. Wie werden diese zwei Gebiete miteinander verbunden?

Eine Schallwelle enthält Komponenten vieler Frequenzen. Läßt man manche Frequenzen aus, so wird die Klangtreue eingeschränkt. Jedoch leidet die Klangtreue nicht sehr, wenn man alle Frequenzen von 0 bis etwa 15 000 Hz beibehält, da unser Gehör auch nicht weiter reicht. Allgemein ausgedrückt darf man annehmen, daß eine Schallwelle durch Frequenzen innerhalb eines Frequenzumfangs oder einer Bandbreite B adäquat dargestellt werden kann.

Ein wichtiger Lehrsatz der Statistik — die *Auswahltheorie* — besagt, daß eine Schallwelle vollkommen dargestellt werden kann, wenn man ihre Amplitude $2B$ mal in der Sekunde mißt. Solche Amplitudenmessungen oder -benennungen gleichen Abstandes nennt man *Auswahlen*. Man kann sie durch eine Folge kurzer Impulse entsprechender Amplitude darstellen.

Jede beliebige Schallwelle von Bandbreite B kann man herstellen, wenn man die entsprechende Folge von $2B$ Impulsen oder Auswahlen pro Sekunde durch einen Tiefpaßfilter von Bandbreite B schickt. Für den allgemeinsten Klang von Bandbreite B genügen also $2B$ Zahlen pro Sekunde, die die Amplitudenauswahlen der Schallwelle darstellen.

Digitalrechner können nicht alle Zahlen herstellen, sondern nur solche, die sich durch eine bestimmte Anzahl von Ziffern darstellen lassen, z. B. 2103 oder 7916. Begrenzen wir die Anzahl der Stellen auf vier, so kann man damit nur noch *annähernd* jeden beliebigen Schall darstellen. Da aber vier Stellen jede Amplitude von 0 bis 9999 umfassen, ist die kleinstmögliche Änderung nur 0,01 %, was dem sehr guten Geräuschabstand von 80 dB entspricht.

Also kann man durch eine Zahlenfolge, die ein Computer herstellen kann, jeder möglichen Schallwelle so nahe kommen, daß der Unterschied nicht mehr wahrnehmbar ist. Auf folgende Weise erhält man eine vollkommen allgemeine Schallquelle: der Computer schreibt eine beliebige Zahlenfolge, die Amplitudenauswahlen darstellt, auf Magnetband. Ein *Analog-generator* generiert dann eine Folge von $2B$ kurzen elektrischen Impulsen gleichen Abstandes jede Sekunde, deren Amplituden von den genannten Zahlen bestimmt sind. Diese Impulse führt man durch einen Tiefpaßfilter von Bandbreite B , verstärkt das Produkt und treibt einen Lautsprecher

damit an. Das ist eine ganz allgemeine Schallquelle von Bandbreite B innerhalb des Unterscheidungsvermögens des Gehörs.

Musikalische Zahlen

Diese Schallquelle ist sogar viel zu allgemein. Die genaue Bestimmung der 5. Sinfonie von Beethoven auf solche Weise würde 30 000 Zahlen in jeder einzelnen Sekunde benötigen, mit denen man schließlich für das ganze Stück jede Seite des Großen Brockhaus vollschreiben müßte. Nur die aller-kürzesten Klänge könnte ein Mensch in Zahlen aufschreiben. Außerdem würden sehr viele mögliche Zahlenfolgen uninteressante oder ununterscheidbare Klänge erzeugen. Um diese Zahlensequenzen auf die *brauchbaren* zu beschränken, muß man dem Computer einen Plan zugrunde legen können.

Aufgrund eines solchen Planes wird der zu erzeugende Schall durch Parameter festgelegt: jeder Parameter ist eine Zusammenfassung von *brauchbaren*, zahlenmäßigen Amplitudenauswahlen und veranlaßt den Computer, die entsprechende Zahlenfolge selbst zu generieren und sie auf Magnetband aufzuschreiben. Ein guter Plan, auch *Programm* genannt, ermöglicht die Herstellung von Klängen der herkömmlichen Musik sowie von neuartigen Klängen. Erstere erfordern Zahlensequenzen zur Festlegung von Folgen von Klängen verschiedener Dauer, Lautstärke und Tonhöhe, also einer Tonfolge. Außerdem müßte der Computer in der Lage sein, einige solche Stimmen herzustellen und die entsprechenden Zahlen zu addieren, damit die Stimmen gleichzeitig ertönen.

Nicht nur für die herkömmliche Musik wäre diese Möglichkeit, eine Anzahl simultaner Folgen von Tönen verschiedener Dauer, Lautstärke und Höhe herzustellen, wertvoll.

In einem guten Programm müssen die verschiedenen Parameter außerdem — soweit möglich — einfache, verständliche Merkmale der Schallwelle darstellen und sich voneinander durch wichtige, erkennbare und verständliche, oder wenigstens klassifizierbare Wahrnehmungsunterschiede unterscheiden.

Dauer, Amplitude (als Gegenstück zur Lautstärke), Frequenz (als Gegenstück zur Tonhöhe) und Wellenform und Einschwingvorgang (als Gegenstück zur Klangfarbe) sind einige solcher Merkmale oder Parameter. Besondere Effekte, wie z. B. Tremolo, Glissando oder ähnliche Frequenzänderungen im Laufe des Tones, sowie Vibrato oder unregelmäßige Klänge und Geräusche und Klangveränderungen müssen vorgesehen sein.

Der Computer als Musikinstrument

Ein Computer mit einem guten Programm bietet nach unserer Meinung viele Vorteile als Musikinstrument. Er ist sehr genau: die erwünschten

Wirkungen können genauestens wiedergegeben werden; man kann sehr komplizierte Vorgänge, z. B. synchrones Tremolo zweier Töne, erzeugen.

Der Computer ist sehr vielseitig: wir glauben, daß ein solches Programm, wie es hier beschrieben worden ist, jeden oder fast jeden Klang ermöglicht. Zwar kann nicht jede *Wellenform* erzeugt werden, doch kann man jeder Wellenform so nahe kommen, daß der Unterschied nicht mehr hörbar ist. Nicht die Begrenzung der möglichen Wellenformen, sondern der Mangel an Erfahrung, welche Wellenform eine gewünschte Wahrnehmung hervorrufen wird, steckt die praktischen Grenzen für den Gebrauch des Computers als Musikinstrument. In bezug auf das Aufführungstempo gibt es überhaupt keine Grenzen.

Der Computer ist sehr leicht verwendbar: die elektronische Apparatur (der Computer, die Klangerzeugungsgeräte) ist fix und fertig — man muß nicht löten oder bandkleben und nicht einmal Knöpfe einstellen; man braucht keine Fingerfertigkeit. Man muß dem Computer nur eine Zahlenfolge geben können.

Die wahre Art, den Computer zu spielen

Mit dem erwähnten Programm spielt man einen Ton, indem man dem Computer die fünf bis sechs Zahlen gibt, die diesen Ton beschreiben, und aus denen sich dann der Computer die Tausenden von Auswahlen errechnet und in Klang umsetzt. Der Computer-Komponist muß genau wie jeder andere eine Partitur aufschreiben, die jedoch nicht aus Noten auf einem System, sondern aus fünf bis sechs Zahlen je Ton besteht. Das gewünschte Instrument ist auch in diesen Zahlen enthalten.

Die Instrumente formen die Grundlage des Programms. In der Konstruktion dieses Programms wurde davon abgesehen, sehr komplizierte Instrumente vorzusehen, mit denen man versuchen könnte, buchstäblich alles mögliche zu machen — und zweifellos scheitern würde. Man entschloß sich vielmehr zu Bausteinen, mittels derer man die grundlegenden Vorgänge bestimmt. Der Komponist wählt die gewünschten Bausteine und stellt derer so viele zusammen, wie er zu einer bestimmten Wirkung braucht. Die freie Verwendung vieler Bausteine hat alle möglichen komplizierten Klänge zur Folge, während man einfache Wirkungen mit nur wenigen Bausteinen — also kleinen Instrumenten — erzielen kann.

Partitur und Instrumentenbeschreibung entstehen auf Lochkarten. Diese sehr nützlichen Kärtchen können leicht und schnell sowohl von Computern wie Menschen gelesen werden und sind das Verständigungsmittel zwischen beiden. Fig. 1 stellt eine solche Lochkarte dar: sie hat 13 Teile, $P0$ bis $P12$, die Parameter bezeichnen. Es besteht also die Möglichkeit, jeden Ton durch 13 Parameter zu bestimmen, obwohl man sie selten alle brauchen wird.

Bausteine für ein Orchester

Zur Zeit hat der Computer etwa zehn verschiedene Bausteine, die man zu Instrumenten kombinieren kann. Drei solche Bausteine sind in Fig. 2 gezeigt und mögen zur folgenden Beschreibung genügen. OSC ist ein ganz allgemeiner Tongenerator, der periodische Wellen erzeugt. Die Wellenform ist nicht unbedingt sinusförmig und wird durch eine von vielen im Computergedächtnis enthaltenen Funktionen *G* bestimmt. *G* kann nach Wahl z. B. eine Rechteck-, Dreieck-, Sägezahn- oder auch Sinuswelle sowie die Nachahmung der Wellenform jedes normalen Musikinstrumentes sein. Die Frequenz von OSC wird durch den Eingang *FREQ* bestimmt. Dieser Parameter ist nicht unbedingt stetig und erlaubt z. B. Tremolo und Glissando. Der zweite Eingang *MOD* moduliert oder multipliziert die periodischen Wellen. Damit kann man einfach die Ausgangsamplitude regeln oder aber z. B. Ein- und Ausschwingvorgänge und Vibrato miteinbeziehen.

Der zweite Baustein *MIX* addiert einfach zwei Eingänge *IN 1* und *IN 2* wie ein gewöhnlicher Mischverstärker und ergibt den Ausgang *SUM*.

Der dritte Baustein *RAND* erzeugt Weißrauschen nach einem bekannten Algorithmus. Die Bandbreite ist 0 bis *B* Hz, mit *B* veränderbar. Das Ausgangsgeräusch *NOISE* kann genau wie auch OSC durch *MOD* moduliert werden.

Fig. 3 zeigt ein einfaches Instrument, das nur aus einem Baustein OSC 1 besteht. Die beiden Eingänge sind Amplitude aus Parameter *P 3* der Lochkarte und Frequenz aus Parameter *P 4*. Die Funktion *G 1* bestimmt die Wellenform. Außerdem braucht jedes Instrument drei weitere Parameter: *P 0* gibt an: Ton oder Pause (*NOTE* oder *REST*), je nachdem das Instrument zu spielen hat oder nicht, *P 1* gibt das in Frage kommende Instrument an (Instrument 1 in diesem Fall) und *P 2* bestimmt die Dauer des Tons oder der Pause. Diese drei Parameter haben die gleiche Bedeutung für alle Instrumente, während die übrigen (*P 3* bis *P 12*) davon abhängen, wie der Komponist sich die Instrumente zusammenstellt.

Dieses Instrument erzeugt nicht nur vollkommen periodische und daher uninteressante Klänge, sondern hat plötzliche Ein- und Ausschwingvorgänge, die sich leicht durch Knackgeräusche hörbar machen würden. Um das zu verhindern, muß man mit einem zweiten Baustein die Ein- und Ausschwingvorgänge kontrollieren, wie Fig. 4 veranschaulicht: der zweite Baustein OSC 2, dessen Eingang *MOD* den Ausgang von OSC 1 bildet, erhält auf seinen zweiten Eingang *FREQ 2* den Parameter *P 5*, eine sehr niedrige Frequenz von einer Schwingungsperiode je Ton. Seine Wellenform wird durch *G 2* bestimmt, eine Ein- und Ausschwingfunktion, mit der das Erzeugnis des ersten Bausteins OSC 1 moduliert wird. Ist z. B. die Tondauer 0,5 Sekunden, dann ist die Frequenz von *P 5* $\frac{1}{0,5}$ oder 2 Hz. Solche ungewöhnlichen Frequenzen führen bei den meisten Tongeneratoren natürlich

zu Schwierigkeiten, aber in diesen Computerprogrammen sind sie sehr gut möglich.

Fig. 5 zeigt noch eine Erweiterung dieses Instrumentes in der Form von geregelterm Tremolo. Hier ist der Frequenzeingang zu OSC 1 nicht mehr konstant, sondern die von *MIX 3* erzeugte Summe einer von *P 4* bestimmten Mittelfrequenz und einer von OSC 4 und OSC 5 erzeugten Schwebung, wobei die Wellenform der Schwebung durch OSC 4 und *G 4*, und die Tremologeschwindigkeit durch *P 7* bestimmt wird, während OSC 5 wieder eine Periode pro Ton ausführt und durch *G 5* die Hüllkurve der Schwebung festlegt: wie *G 5* im Bilde gezeigt wird, steigt die Schwebungsweite allmählich zu einem Höhepunkt an und fällt dann schnell wieder zurück; diese größte Frequenzabweichung wird durch *P 6* bestimmt.

Fig. 6 stellt ein anderes Instrument dar, mit dem man einfache Geräusche erzielt. *P 3* gibt die Amplitude, *P 4* die Bandbreite an, während OSC 2 eine Periode je Ton nach der Ein- und Ausschwing-Hüllkurve *G 2* ausführt.

Die *G*-Funktionen sind besonders wichtig, denn sie geben Ein- und Ausschwing-Hüllkurven und Wellenform an. Ein und dasselbe Instrument kann mit verschiedenen *G*-Funktionen völlig verschiedene Klangfarben erzeugen. Das zur Zeit bestehende Programm sieht bis zu 20 solcher, im Computergedächtnis gleichzeitig zu speichernden Funktionen vor. Die Herstellung fast jeder beliebigen Funktion ist sehr einfach.

Die Partitur

Fig. 7 zeigt zwei Takte aus einem Stück, gespielt von den schon beschriebenen Instrumenten 2, 3 und 4, während die Computer-Partitur, die sich aus den obigen Beschreibungen im Zusammenhang mit Fig. 7 ergibt, in Tabelle I gezeigt wird, in der jeder Zeile eine Lochkarte entspricht.

Der heutige Stand der Computermusik

Mit diesem Programm hat man schon eine große Vielfalt von Klängen und eine Anzahl von Kompositionen zu Vorführungszwecken hergestellt, welche beweisen, wie einfach es ist, eine Computer-Partitur zu schreiben und über was für einen großen Bereich von Klängen der Computer verfügt. Die Kompositionen gehen von einem Blockflöten-Trio aus dem 16. Jahrhundert bis zu einer Studie mit Breitbandgeräusch.

Es konnten eine Anzahl von nicht nur neuartigen, sondern auch ausdruckskräftigen Klängen erzeugt werden. Ein kurzer Ton, dessen Frequenz durch einige Oktaven von den Tiefen bis zu den Höhen saust, erzeugt einen Schock wie eine vorüberfliegende Gewehrkegel. Ein Einschwingvorgang, bei dem nicht nur die Amplitude, sondern auch die Frequenz verändert wird, gibt dem Ton eine sehr feine Nuance. Regelung des Einschwingvorgangs und der Bandbreite umfaßt den ganzen Geräuschbereich

von sanftem Ton bis zur knallenden Explosion. Klangfarbe und Betonung werden durch Frequenz und Amplitude und der verschiedenen Ein- und Ausklingarten eines Tremolo sehr stark beeinflusst. Eine Melodielinie, die aus der Frequenzdifferenz zwischen zwei synchron tremolierenden Stimmen bestand, ergab einen Geistergesang, der irgendwie nicht ganz da war.

Fragen der Psychoakustik

Es ergaben sich einige nicht ganz erwartete Probleme. Grundsätzlich betrachtet, mangelte es völlig an unserer Fähigkeit, den tatsächlichen Klang eines Instrumentes oder einer Wellenform vorauszusagen. Es ist nicht einmal ohne weiteres möglich, eine so einfache Sache wie die Lautstärke der verschiedenen Instrumente zueinander so zu bestimmen, daß sie einander nicht verdecken. Das ist ein sehr ernstes Manko, denn der Komponist, der es nicht von Anfang an richtig macht, kann sich nicht auf einen Dirigenten verlassen, der hinterher weiß, was er wirklich „wollte“. Trotz gleicher Wellenform ändert sich die Klangfarbe mit der Dauer, Frequenz und Lautstärke. Bei herkömmlichen Instrumenten ändert sich umgekehrt die Wellenform mit der Dauer, Frequenz und Lautstärke, eben damit die Klangfarbe gleichbleibt — tut sie es nicht, so haben wir uns daran gewöhnt. Solche Gewöhnung fehlt bei der Computer-Komposition noch völlig.

Diese Probleme können nur durch umfangreiche Erfahrung und der damit verbundenen Sammlung von neuem psychoakustischen Material gelöst werden. Die Psychoakustik der Musik müßte sich in dieser Beziehung speziell mit der subjektiven Wahrnehmung verschiedener Wellenformen beschäftigen, wodurch unsere bisherige begrenzte Kenntnis der Klänge und Wirkung der herkömmlichen Instrumente ergänzt wird — ein umfangreiches Forschungsprogramm.

Die Zukunft der Computermusik

Nur in der Hand ernster Komponisten kann die Computermusik Bedeutung erreichen. Sie erfordert ein Können des Komponisten, das nicht nur genau so groß wie für andere elektronische Musik sein muß, sondern eigentlich noch größer; denn er kann nicht experimentieren und abhören, bis er hat, was er wollte, sondern er muß alles schon im voraus hören können — sonst kommt er nicht weiter. Doch kann diese Fähigkeit durch Studium erlernt und durch Erfahrung bereichert werden. Erlern wird die Psychophysiologie des Gehörs: das Verhältnis von Intensität zur Lautstärke, von Grundfrequenz zur Tonhöhe, von Wellenform und Amplitudenverlauf zur Klangfarbe. Die Erfahrung hingegen kommt nur aus der Praxis selbst. Ist sie einmal da, so bedarf der Computer-Komponist des Technikers viel weniger als im Studio für elektronische Musik.

Bisher steckten die Möglichkeiten der Musikinstrumente der Musik ihre Grenzen. Der Mechanismus der Instrumente ist physikalisch beschränkt. Der Computer überwindet alle solchen Grenzen der Mechanik, indem er sich auf nichts als die reine Zahl bezieht. Jetzt werden die Grenzen nur noch vom Menschen, seiner Wahrnehmung und seiner Schöpferkraft bestimmt.

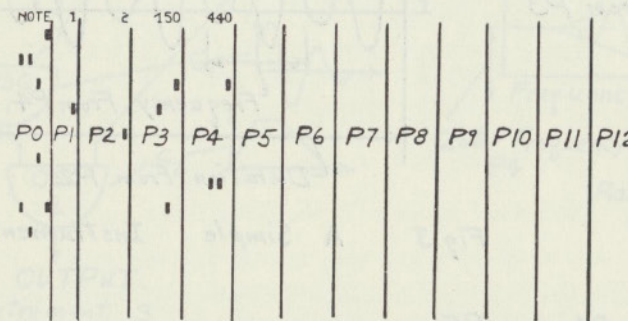


Fig 1 Computer Card

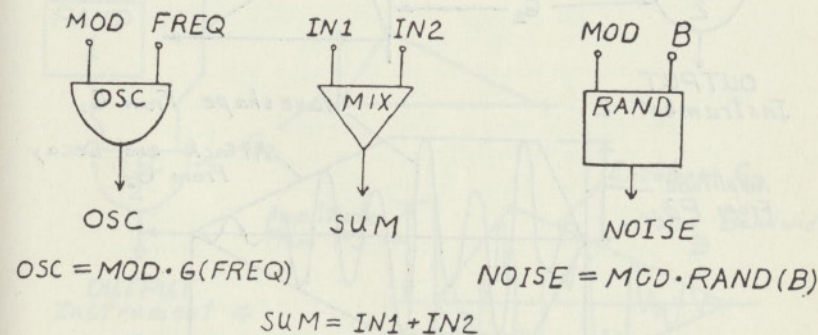


Fig 2 Instrument Parts

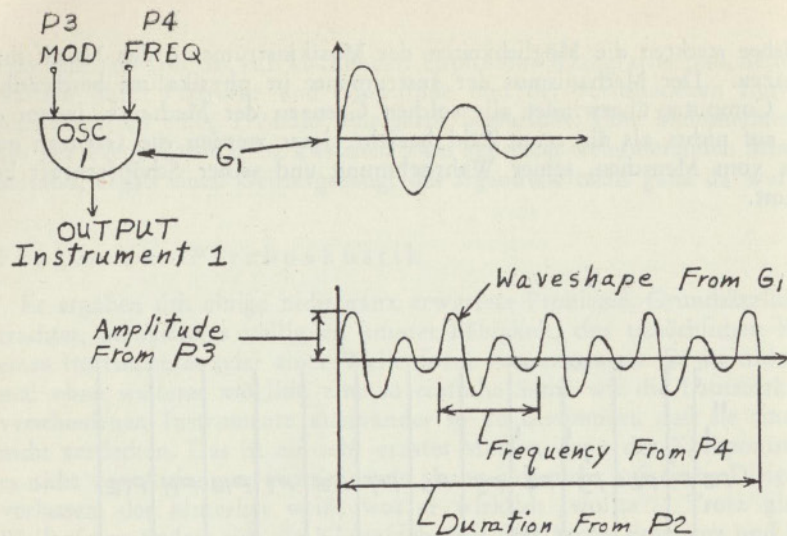


Fig 3 A Simple Instrument

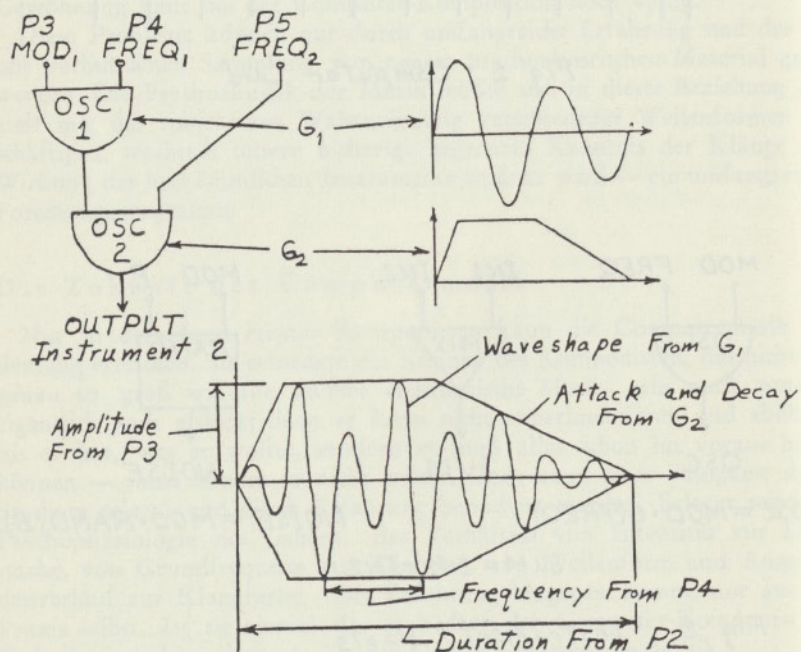


Fig 4 Instrument With Attack

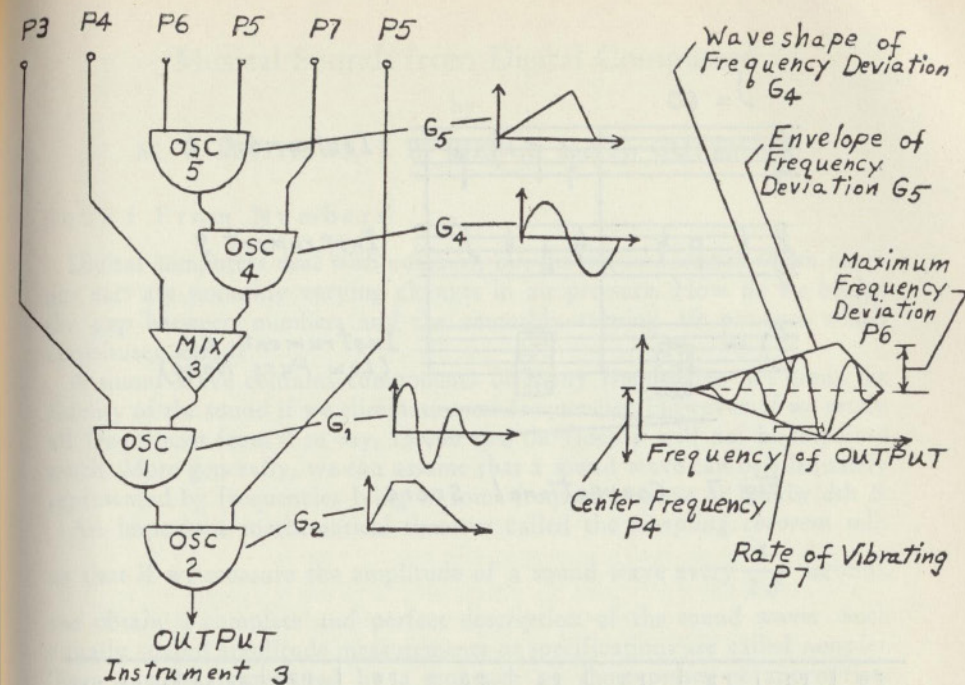


Fig 5 Instrument with Vibrato

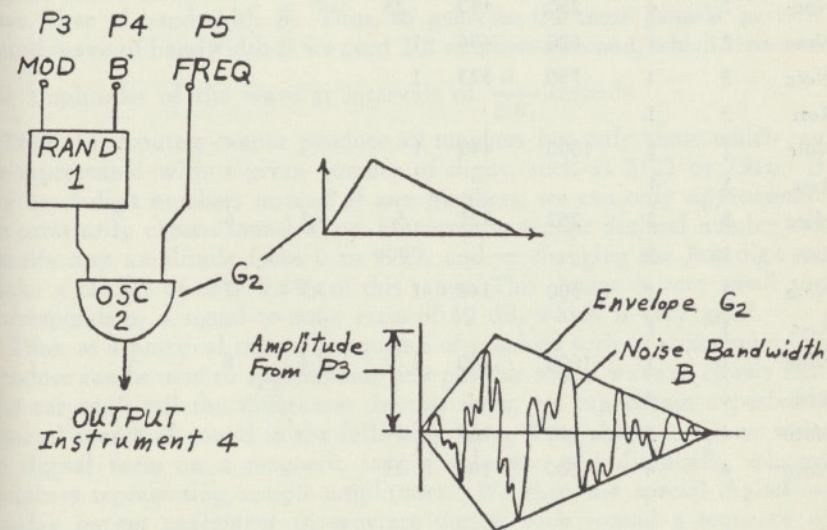


Fig 6 Noise Instrument

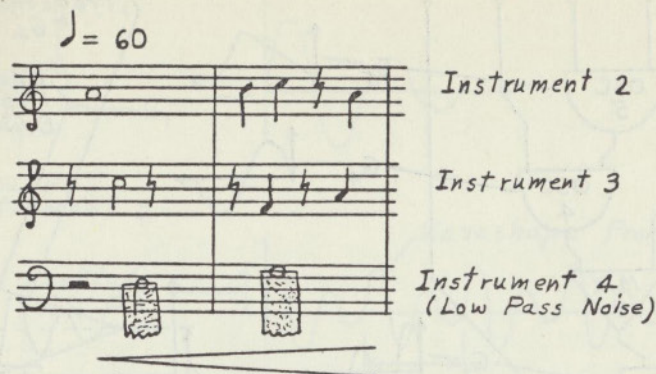


Fig 7 Conventional Score

P 0 Note or Rest	P 1 Instru- ment	P 2 Duration Seconds	P 3 Amplitude 0 1000	P 4 Freq cps	P 5 1/Dura- tion	P 6 Vibrato Amplitude	P 7 Vibrato freq	P 8 P 9 P 10 P 11 P 12 — Unused —
Note	2	4	250	440	.25			
Note	2	1	500	494	1			
Note	2	1	750	523	1			
Rest	2	1						
Note	2	1	1000	440	1			
Rest	3	1						
Note	3	2	250	523	.5	5.2	6	
Rest	3	2						
Note	3	1	500	349	1	3.5	7	
Rest	3	1						
Note	3	1	1000	440	1	4.4	8	
Rest	4	2						
Note	4	2	500	165	.5			
Note	4	4	1000	196	.25			

TABLE I — Computer Score

Musical Sounds from Digital Computers

by

M. V. MATHEWS, J. R. PIERCE and N. GUTTMAN

Sound From Numbers

Digital computers deal with numbers, but the musical sounds which reach our ears are smoothly varying changes in air pressure. How do we bridge the gap between numbers and the smoothly-varying air pressure which constitutes sound?

A sound wave contains components of many frequencies. We limit the fidelity of the sound if we eliminate some frequencies. However, if we retain all frequencies from 0 to say, 15,000 cps, the fidelity will not be impaired much. More generally, we can assume that a sound wave can be adequately represented by frequencies lying in some frequency range or bandwidth B .

An important mathematical theorem called the *sampling theorem* tells us that if we measure the amplitude of a sound wave every $\frac{1}{2B}$ seconds, we obtain a complete and perfect description of the sound wave. Such equally spaced amplitude measurements or specifications are called *samples*. They can be represented by a sequence of short pulses of appropriate amplitudes.

Any sound wave of bandwidth B can be generated by putting an appropriate sequence of $2B$ pulses or samples per second through a low-pass filter of bandwidth B . Thus, to generate the most general possible sound wave of bandwidth B we need $2B$ numbers a second, which represent the amplitudes of the wave at intervals of $\frac{1}{2B}$ seconds.

Digital computers cannot produce all numbers but only those which can be represented with a given number of digits, such as 2103 or 7916. If we use 4-digit numbers instead of *any* numbers, we can only *approximate* an arbitrarily chosen sound wave. However, a 4-digit decimal number can specify any amplitude from 0 to 9999, and in changing the last digit we make a change of only 0.1% of this range. This change is very small and corresponds to a signal-to-noise ratio of 80 dB, which is very good.

Thus, as a practical matter a sequence of numbers such as a computer can produce can be used to approximate any possible sound wave so closely that the ear can't tell the difference. In this sense, we can obtain a perfectly general source of sound in the following way. We make a computer write in digital form on a magnetic tape a sequence of individually selected numbers representing sample amplitudes. We then use special *digital-to-analog output equipment* to generate during each second a sequence of

2 B equally-spaced short electric pulses whose amplitudes are given by these numbers. We pass this sequence of sample pulses through a low-pass filter of bandwidth B . We amplify the electrical output of the filter and feed it to a loudspeaker. Within our ability to hear distinctions, this is a perfectly general source of sound waves of bandwidth B .

Musical Numbers

In fact, it is much too general a source. To specify exactly by this means the sound of Beethoven's fifth symphony we would have to specify 30,000 numbers for each second of music and the entire piece would require as many numbers as could be written on all the pages of the whole Encyclopaedia Britannica. No human being could possibly write all the samples in any but the shortest sound. Moreover, many sequences of numbers which could be written would produce uninteresting or indistinguishable sounds. In order for sequences of numbers to form a *useful* source of sound, one must somehow be able to order the computer to generate sequences of numbers according to a plan.

In accord with such a plan the person who is to use the computer specifies the sound to be generated by means of a number of numerical descriptions or *parameters*, and then the computer computes an appropriate set of numbers representing sample amplitudes and prints them on magnetic tape.

A good plan or *program* should enable us to generate sounds like those of traditional music, and it should enable us to generate new sorts of sounds as well. In order to generate the sounds of traditional music, we should be able to generate numbers specifying a time sequence of sounds of different duration, loudness and pitch, which we can call a sequence of notes. Further, we should be able to make the computer generate several such voices, each consisting of a sequence of notes, and add the corresponding sample numbers for the different voices so that the voices sound simultaneously.

This ability to generate a sound as the sum of several simultaneous sounds each consisting of a sequence of "notes" of different duration, loudness and pitch is a valuable feature whether or not we are using the computer to play traditional music.

Beyond this, in a good program the numerical specifications or parameters used should, as far as possible, refer to simple, understandable features of the sound wave, and to features which, when modified, produce important, distinctive and understandable or at least classifiable differences in the subjective quality of the sound.

Some such features or parameters are duration, amplitude (corresponding to loudness), frequency (corresponding to pitch) and waveform and attack

(corresponding to sound quality or timbre). Finally, special effects such as tremolo, trills, glissando or other frequency change during notes, as well as vibrato and irregular or noisy sounds and alterations of sounds should be provided for.

The Computer as a Musical Instrument

We believe that, granting a proper program, a computer has many advantages as a musical instrument.

A computer is very precise. Effects are *exactly* reproducible. Very complicated effects, such as simultaneous synchronous tremolo of two notes, can be attained.

A computer is very flexible. We believe that with a program such as that described in this paper any or almost any distinguishable sound can be generated. This does not mean that any *waveform* can be generated but that any waveform can be approximated beyond the ability of the ear to make distinctions. Present limitations lie in lack of understanding of what waveform will produce a given subjective effect rather than in lack of ability to create a specified waveform. There is no limitation whatever on speed of execution.

A computer is very easy to use. The electronic equipment (the computer and output equipment) have been constructed once and for all. There are no soldering irons, tape-splicings or even knob-twistings involved. No manual dexterity or velocity is required. Instead one writes down and gives to the computer a sequence of numbers.

Playing a Computer

The process of playing a note with the present program consists of giving the computer the five or six numbers which describe the note. From these parameters the program computes the several thousand samples which will be converted directly to sound to form the note. The computer composer must, in common with conventional composers, write a score for his music. However, the score will consist of the five or six numbers for each note rather than black dots on music staves. In addition, he has the task of specifying the instruments on which he wishes to play his music.

The instruments are the basic programs which take the parameters of a note and generate the appropriate samples. When the instruments program was written, rather than forming very complex instruments which would attempt to do every desired thing (and undoubtedly fail) a building block approach was taken. Subprograms or blocks to do certain fundamental operations were defined and the composer is given the task of putting together as many blocks as he needs to produce a desired effect. In this way not only is no limit put on the sound complexity which may be

attempted, but also simple effects can be economically produced from small instruments.

Both the score and the instrument descriptions are punched on computer cards. These very useful pieces of cardboard can be easily read by both computers and people and serve as a means of communication between the two. For example, the card illustrated on Fig. 1 contains one line of information consisting of 80 characters, each of which may be either a letter or number. The particular card illustrated has been divided into 13 sections, each of which can contain one parameter. In this way up to 13 parameters may be used to specify a note. Usually, however, fewer will be required. For convenience the parameters will be called *P0* through *P12*.

Building Blocks for an Orchestra

At the moment there are about ten different kinds of blocks which may be incorporated into instruments. The three shown on Fig. 2 will be sufficient for the examples described here. The first *OSC* serves as a sort of generalized oscillator and produces periodic waves. The waveshape of the output is *not* necessarily sinusoidal and is determined by an arbitrary function *G* which is put into the computer memory. Thus, square waves, triangular waves, or copies of the waveshape of any conventional instrument can be produced with equal ease. The frequency of the oscillator is determined by an input *FREQ*. This parameter need not be constant during a note and variations can produce tremolo and glissando. A second input *MOD* modulates or multiplies the periodic waves. This input may simply be used to control the amplitude of the output or it may be used for many other functions such as introducing attack and decay or vibrato.

The second block *MIX* simply adds together two inputs *IN1* and *IN2* to form the output *SUM*. Its action is exactly analogous to the ordinary mixer.

The third block, a random noise generator, produces noise by a well-known digital algorithm. The noise energy extends from 0 frequency up to *B* cps where *B* is an input which may be varied. The noise is also modulated by a *MOD* input.

A simple instrument, illustrated on Fig. 3, consists of only one block. The two inputs are parameter *P3* specifying amplitude and *P4* specifying frequency from the note card. The function *G1* determines the waveshape of the output. Three other parameters are required by all instruments. *P0* specifies by *NOTE* or *REST* whether the instrument is to be playing or resting, *P1* specifies which instrument is referred to (Instrument 1 in this case) and *P2* gives the duration of the note or rest. These three parameters have the same significance for all instruments. The meanings

of the rest of the parameters (*P3* through *P12*) depend on how the composer constructs the instrument.

This simple instrument, as well as producing perfectly periodic and hence dull soundings notes, would have instantaneous attacks and decays on its notes. These might well introduce perceptible clicks. An instrument using two blocks to achieve controlled attack and decay is shown on Fig. 4. Parameters *P3* and *P4* and function *G1* again control respectively amplitude, frequency, and waveshape. However, a new oscillator, *OSC2*, which multiplies the output of *OSC1*, has been added. This oscillator is used in a degenerate manner in that *P5* is set at a very low frequency so *OSC2* goes through exactly *one* cycle per note. Thus, it modulates the output of *OSC1* with one cycle of the attack and decay function *G2*.

For example, if the note duration were 0.5 seconds, *P5* would equal $\frac{1}{0.5}$ or 2 cps. The use of such unusual frequencies is of course not possible for most oscillators, but in these computer programs it causes no difficulty.

An even more complex instrument which includes all the features of the previous instruments plus controlled tremolo is diagrammed on Fig. 5. The frequency input to *OSC1* is no longer constant but is the sum (via *MIX3*) of a center frequency specified by *P4* and a frequency variation function produced by oscillators 4 and 5. *OSC4* and *G4* determine the waveshape of frequency variation. *P7* specifies the rate of vibrating (throb rate). *OSC5* is another degenerate oscillator going through one cycle per note, and determines the envelope of the frequency variation. Thus, with the illustrated function, *G5*, the deviation builds up toward the end of the note and cuts off rapidly. *P6* specifies the maximum frequency deviation.

A rather simple instrument for introducing noise is shown in Fig. 6. The amplitude of the noise is specified by *P3* and the bandwidth by *P4*. A degenerate oscillator *OSC2* puts an attack and decay on the noise according to function *G2*.

The functions *G1*, *G2*, etc., form an important part of most instruments since they control attack and waveshape. By using different functions the same instrument can produce widely different timbres. In the present program up to 20 of these functions can be kept in the computer memory at the same time. Simple routines for generating almost any function are available.

The Score

Probably the best way of illustrating the music is to write a score in both conventional and computer notation. A few notes for instruments 2, 3, and 4 are shown on Fig. 7. Most of the computer score, Table I, follows

directly from the descriptions of the instruments and the conventional score. Each line of the computer score would be punched on a separate card.

The Present State of Computer Music

The program just described has been used to produce a wide variety of sounds and a number of demonstration compositions. These show both the ease with which scores can be written and the range of sounds which can be generated. The compositions range from a 16th century recorder trio to a study in wideband noise.

A number of sounds which are both strong and novel were produced. The rapid sweep of frequency over several octaves in a single short note produces a shock similar to a passing bullet. Attack in frequency as well as amplitude adds a subtle impression to notes. With control of both attack and bandwidth, a whole range of noise sounds are obtainable from a soft, tonal note to a harsh crashing beat. The control of tremolo frequency and amplitude and the use of attack and decay on tremolo parameters has a strong influence on the timbre and emphasis of notes. A melodic line presented as the difference frequency between two voices with synchronous tremolos (an effect easy to program) was perceived as a sort of ghost melody which was present but yet not quite all there.

Psychoacoustical Questions

These experiments disclosed some problems which were not entirely expected. Principally, we found our ability to predict the sound from a given instrument or waveform to be grossly inadequate. For example, it is difficult to specify even such a simple thing as the relative loudness of the instruments in a group so that they do not mask each other. This failing is serious since the composer must completely control the music; no future conductor will balance the loudnesses of instruments in the computer orchestra. Also, the timbres of the instruments change with the duration, frequency, and loudness of their notes. Conventional instruments change also, but a great body of experience with them makes these changes familiar. No such experience is available to help the computer composer with his newly defined instruments.

The answer to these difficulties is, we believe, a new body of psychoacoustic data. This psychoacoustics, pertaining specifically to musical problems, should more directly relate the properties of the acoustic wave to the perceived sounds. It will supplant our present limited descriptions of musical sounds which are given in terms of the conventional instrument producing them. Although it will be no small job to obtain this information, even the initial results should be useful and rewarding.

The Future of Computer Music

Computer music will become significant only if it is used by serious composers. The skill required of the composer in this medium is not unlike that required in other types of electronic music. It is, in a sense, more exacting, principally because to work at all efficiently the composer must be able to accurately "prehear" or predict how the acoustic product will be perceived. At the moment he cannot experimentally improvise on the computer by turning knobs on filters or speed-control motors.

The ability to predict will be based largely on knowledge of the psychophysics of hearing — the relationship of intensity to loudness, of fundamental frequency to pitch, of waveform to timbre. We assume that the composer may acquire the skills without excessive amounts of training. Once the relationship of the physical signal to perception and of the computer instrument to the acoustic signal are understood, the composer will be more independent of the technician than he is in the electronic music studio.

Man's music has always been acoustically limited by the instruments on which he plays. These are mechanisms which have physical restrictions. We have made sound and music directly from numbers, surmounting conventional limitations of instruments. Thus, the musical universe is now circumscribed only by man's perceptions and creativity.

Über die Computer-Musik-Beispiele *

von

N. GUTTMAN

Fantasia von Orlando Gibbons

Ein Abschnitt dieses für drei Blockflöten komponierten Stückes wird gebracht als Beispiel von durch den Computer hergestellter traditioneller Musik. Es handelt sich um Sinustöne je mit einem das Fingergeräusch nachahmenden Einschwingvorgang, der eigentlich zu laut geworden ist.

Variationen der Klangfarbe und des Einschwingvorgangs, von J. R. Pierce

Diese Komposition besteht aus einer Melodie und verschiedenen Begleit-tönen, zusammen fünf Stimmen:

1. *Stimme*: die Melodie
2. *Stimme*: eine Auswahl der Melodietöne
3. *Stimme*: Frequenzdifferenz zwischen den ersten beiden Stimmen
4. und 5. *Stimme* ergeben zusammen eine Frequenzdifferenz, die ungefähr der Melodie entspricht.

Das Stück hat fünf Abschnitte:

- Abschnitt I* 1. Stimme
Abschnitt II 1. und 2. Stimme
Abschnitt III 1., 2. und 3. Stimme
Abschnitt IV 4. und 5. Stimme. Das Tremolo beider Stimmen ist synchron, so daß die Melodie, die nur als Frequenzdifferenz gehört wird, kein Tremolo hat.
Abschnitt V Alle fünf Stimmen.

Numerologie von M. V. Mathews

Der Zweck dieses Stückes ist, einige besondere Effekte, die mit dem Computer erzielt werden können, zu zeigen. Jeder der acht Abschnitte dauert etwa 10 Sekunden.

- Abschnitt I* Ein langes crescendo, welches nicht nur durch ansteigende Intensität, sondern auch durch ansteigende Tremolofrequenz und -amplitude erzielt wird.

* Diese Kompositionen werden, neben anderen, 1962 auf einer Decca-Schallplatte in USA veröffentlicht.

- Abschnitt II* In diesem Duett verändert sich die Klangfarbe der Oberstimme allmählich von einem klavierähnlichen Anschlag zu einem streicherähnlichen Klang mit allmählichem Einschwingvorgang.

- Abschnitt III* Die Baßmelodie des vorigen Abschnittes erscheint jetzt im Diskant. Zwischen den Tönen der ursprünglichen Melodie teilt sich die Frequenz kontinuierlich in drei Töne, die beim nächsten Ton wieder als ein Ton zusammenklingen.

- Abschnitt IV* Eine Melodie wird gespielt: (1) im Diskant, (2) im Baß mit geringen rhythmischen Veränderungen, und schließlich (3) im Diskant mit einschwingender Frequenz bei jedem Ton.

- Abschnitt V* Eine Baßstelle zuerst mit normalen Tönen und dann mit solchen, deren Frequenz durch weites, schnelles Tremolo verwischt wird.

- Abschnitt VI* Eine schmalzige, hohe Stelle, die Tremolo- und Einschwingnuancen demonstriert.

- Abschnitt VII* Zweistimmiger Kanon.

- Abschnitt VIII* Das Finale wird allmählich beschleunigt, bis das Ohr ihm nicht mehr folgen kann. Einige Töne haben keine konstante Frequenz, sondern gleiten über bis zu fünf Oktaven und erinnern vielleicht an eine vorbeifliegende Gewehr-kugel.

Tonhöhe-Variationen von Newman Guttman

In diesem Stück wird gezeigt, wie der Inhalt einer Komposition von einem psychoakustischen Phänomen hergeleitet werden kann. Ein Experiment des Verfassers zeigte, daß bestimmte, aus Impulsfolgen bestehende Wellenformen einen sonderbaren Eindruck der Tonhöhe, die von der Frequenz abweichen kann, vermitteln. Manche Frequenzen und Wellenformen werden als mehr als eine Tonhöhe gehört. Das Ziel dieser Komposition ist, diese Unsicherheit in der Tonhöhe besonders hervorzuheben.

Etüde 1 von D. Lewin

David Lewin ist ein mathematisch ausgebildeter Berufskomponist. Diese Zwölftonmusik benutzt u. a. eine Reihe von sechs Tondauern, die auch als Umkehrung, Krebs und rhythmische Vergrößerung vorkommt.

Nur zwei verschiedene Klänge werden verwendet: man könnte sie als „Klirren“ und „Tuten“ bezeichnen. Die Amplitude ist durchweg die gleiche, doch verändern sich Dauer und Tonhöhe und damit Lautheit und Klangfarbe. Das Stück ist ein Versuch, die musikalische Wirkung einer systematischen Kontrolle von Tonhöhebereichen zu ermitteln.

Das Zweite Gesetz von M. V. Mathews

Rauschen von verschiedener Bandbreite wird einem Ton mit ein- und ausschwingendem Tremolo gegenübergestellt:

Abschnitt I Der Wobbelton und verschieden breite Geräusche werden in kurzen, wiederholten rhythmischen Gruppen vorgeführt.

Abschnitt II Der Wobbelton jagt ein Breitbandgeräusch im Abstand von einer halben Note. Das Geräusch entkommt.

Abschnitt III In diesem schnellen Abschnitt ist kein Tremolo. An einigen Stellen nimmt die Geräuschbandbreite in ein und demselben Ton sehr schnell zu.

Abschnitt IV Dieser zweistimmige Wechsel zwischen einem Wobbelton und einem Geräusch kommt dreimal. Zuerst hat Stimme *A* das Geräusch und Stimme *B* den Wobbelton. Im zweiten Teil wird die Bandbreite von *A* allmählich schmaler und das Tremolo von *B* größer und schließlich random, bis *A* ein Ton und *B* das Geräusch ist, und dieses Verhältnis wird im dritten Teil beibehalten.

Notes on Computer Music Examples *

by

N. GUTTMAN

Fantasia by Orlando Gibbons

A portion of this work is played as a demonstration of conventional music from the computer. The original score was written for three recorders. The waveshape is sinusoidal. The attack function was copied from that of recorder and includes an initial burst simulating fingering noise. This noise is louder than was anticipated.

Variations in Timbre and Attack by J. R. Pierce

This composition consists of a melody and various accompanying notes making up five voices.

Voice 2 was formed from selected notes in the Melody (Voice 1). The frequencies used in Voice 3 were obtained as differences between the frequencies of Voices 1 and 2; thus, Voice 3 is the beat between Voices 1 and 2. The difference between the frequencies of Voices 4 and 5 is approximately the frequency of the melody.

The composition is divided into five sections.

Section I Voice 1

Section II Voices 1 and 2

Section III Voices 1, 2 and 3

Section IV Voices 4 and 5. Both voices have tremolos which are synchronized. The melody appears only as a beat or difference frequency which has no tremolo.

Section V All voices.

Numerology by M. V. Mathews

This piece was produced as a demonstration of some of the special effects which can be achieved with the computer. It has eight sections, each about 10 seconds long.

Section I A long crescendo in which subjective loudness is increased by raising tremolo frequency, tremolo amplitude, and pitch, as well as by raising intensity.

* These compositions will be included in a commercial recording to be issued in 1962 in the United States by Decca Records.

- Section II* A duet in which the treble voice is gradually modulated in timbre from a percussive, piano-like sound to a slow attack, string-like sound.
- Section III* The melody from the bass voice of the previous section is moved to the treble. In between each note of the original melody, the frequency fractionates and divides continuously into three notes which recombine at the next note of the melody.
- Section IV* A melody is played three times; first in the treble, then in the bass with slight alterations in rhythm, finally in the treble with a frequency attack on each note.
- Section V* A bass section is played first with conventional notes and then with notes in which the frequency has been blurred with large, rapid tremolo.
- Section VI* A schmaltsy, high section with demonstrates nuances of tremolo and attack.
- Section VII* A canon in which two voices are separated by one beat.
- Section VIII* A finale in which the tempo gradually increases to a point beyond comprehension. Some of the notes have no single frequency; they sweep over a range of as much as five octaves, and are perhaps reminiscent of a passing bullet.

Pitch Variations by Newman Guttman

This piece illustrates how the content of a composition may be derived from a particular psychoacoustical phenomenon. An experiment carried out by the author showed that certain waveforms consisting of trains of sharp pulses produce unusual pitch impressions which may differ from the frequency of the waveform. Some frequencies may produce the impression of more than one pitch. In the composition these waveforms are reproduced at frequencies designed to make the pitch uncertainties most prominent.

Study 1 by D. Lewin

David Lewin is a professional composer who has a background in mathematics. This twelve-tone music also exploits a durational series; augmentations, inversions, and retrogrades of a basic succession of six durations are used throughout.

The study contains essentially only two types of notes which may be called "clink" and "hoot". All tones are presented with the same amplitude but their durations and registers are varied, thereby affecting the loudness and timbre which is heard. The piece is an attempt to find out how effective musically a systematic control of the use of registers in composition might be.

The Second Law by M. V. Mathews

This composition makes extensive use of random noise in a computer composition. The noise is used with a variety of bandwidths to achieve a range of effects from a definite pitch to wide band noise. Contrasted against the noise is a tone with a tremolo having attack and decay. There are four sections.

- Section I* The tremolo tone and noise tones of various bandwidths are presented in various short, repeated rhythmic groups.
- Section II* The tremolo tone pursues a wide band noise a half-note apart. The noise finally escapes.
- Section III* The tremolo is dropped in this fast section. In several places the noise bandwidth is swept from narrow to wide in a single note.
- Section IV* The section consists of a two-part alternation (parts *A* and *B*) between a tremolo tone and a noise. The same time sequence is repeated 3 times. The first time Part *A* is noise and Part *B* the tremolo. The second time the bandwidth of *A* is gradually decreased and the tremolo on *B* increased and made random. At the end of this playing *A* is tonal and *B* is noise. This position is maintained for the third part.

Mathematische Musikanalyse und Randomfolgen Musik und Zufall

von
WILHELM FUCKS

Mathematische Musikanalyse und Randomfolgen

Unter Randomfolgen sind hier Folgen von akustischen Elementen verstanden, bei denen wenigstens eine relevante Eigenschaft der Elemente oder ihre Anordnung in der Folge durch den Zufall bestimmt ist. Die Beschäftigung des Verfassers mit Randomfolgen wurde veranlaßt durch gewisse Schwierigkeiten, die sich bei der mathematischen Analyse musikalischer Werke ergeben hatten.¹

Eine der Fragestellungen, von denen ausgegangen wurde, war die folgende: Es wurden mathematische Parameter gesucht, die die Entwicklung der europäischen oder europäisch beeinflussten Musik in den letzten — sagen wir — 500 Jahren kennzeichnen sollten.

Als ein Beispiel für eine solche Untersuchung sind in Abb. 1 die Häufigkeitsverteilungen der Tonhöhen von Beethoven, Streichquartett op. 74, 1. Violine und von Webern, Streichtrio, op. 20, Violine, gegeben. Für diese Verteilungen p_i mit der Normierung $\sum_i p_i = 1$ wurden ermittelt:

der Mittelwert: $\bar{i} = \sum_i i p_i$

das ν -te Moment (für $\nu = 2, 3, 4$):

$$\mu_\nu = \sum (i - \bar{i})^\nu p_i$$

die Streuung:

$$\sigma = \sqrt{\mu_2}$$

Entsprechend wurden die Häufigkeitsverteilungen der Tonhöhen für zahlreiche Werke bestimmt und jeweils die Streuung errechnet. Es ergeben sich dann die in Abb. 2 eingetragenen Werte. Wir haben damit eine Gesetzmäßigkeit gefunden, die (soweit bisher untersucht) die Entwicklung einer bestimmten Eigenschaft der Musik über viereinhalb Jahrhunderte quantitativ und objektiv kennzeichnet.

In analoger Weise wurde nach einem gesetzmäßigen Zusammenhang für Intervalle von aufeinander folgenden Tönen gesucht. Zwei Häufigkeitsverteilungen p_x für die Häufigkeit des Auftretens von Intervallen von je x Halbtonschritten ($x > 0$ für Aufwärtsschritte, $x < 0$ für Abwärtsschritte, also $x = 0$ für die Prim) zeigt Abb. 3 für die erste Violine von Beethovens

Streichquartett op. 74 und die Violinstimme von Weberns Streichtrio op. 20.

Bei der Suche nach wenigstens einem die Entwicklung der vergangenen Jahrhunderte bezüglich der Intervalle kennzeichnenden Parameter ergab sich zunächst kein überzeugendes Resultat. Um die Gründe dafür herauszufinden, schien es nützlich, eine extrem stileinheitliche Musik zu untersuchen, die in besonderer Weise elementar, oder, wenn man so will, primitiv ist. Es wurde dafür stochastische Musik gewählt, d. h. es wurden Ton- und Klangfolgen untersucht, bei denen relevante Eigenschaften zufällig (stochastisch, random) verteilt wurden.

Als erstes wurde vor etwa zehn Jahren ein vierstimmiger Klaviersatz aufgeschrieben, bei dem die Aufeinanderfolge der Töne aus dem gewählten Tonhöhenbereich mit Hilfe der Gewinnzahlen des Rouletts des Spielkasinos in Bad Neuenahr bestimmt wurde. Dabei war für alle Töne Gleichwahrscheinlichkeit angenommen. Das Stück (halb im Scherz „Stochastophonie“ genannt) wurde 1952 von Mitgliedern des Physikalischen Instituts in Aachen bei einer Institutsfeier gespielt, anschließend auf Band aufgenommen und im Laufe der Jahre vielfach Besuchern des Instituts vorgeführt.

Für eine derartige Randomverteilung p_i , deren Umfang n Halbtonschritte beträgt, gilt mit der Normierung $\sum_i p_i = 1$

$$p_i = \frac{1}{n}$$

$$\bar{i} = \sum_i i \cdot p_i = \frac{n+1}{2} = \frac{n}{2} \left(1 + \frac{1}{n}\right)$$

Mit $n \gg 1$ gilt $\bar{i} \approx \frac{n}{2}$

$$\sigma^2 = \frac{n^2 - 1}{12} = \frac{n^2}{12} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$

Mit $n \gg 1$ gilt $\sigma^2 \approx \frac{n^2}{12}$, also $\sigma \approx \frac{n}{\sqrt{12}}$

Die zugehörige Häufigkeitsverteilung p_x der Intervalle von x Halbtonschritten zwischen je zwei konsekutiven Tönen mit dem größtmöglichen Intervall gleich n lautet:

$$p_x = \frac{1}{n^2} (n - |x|)$$

Für diese Verteilung gilt mit der Normierung $\sum_x p_x = 1$:

Mittelwert: $\bar{x} = 0$

Momente: $\mu_2 = \frac{n^2 - 1}{6}$; $\mu_3 = 0$; $\mu_4 = \frac{1}{50} (2n^4 + 5n + 3)$

Streuung: $\sigma = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{6}} = \frac{n}{\sqrt{6}} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)^{1/2}$

Mit $n \gg 1$ gilt $\sigma \approx \frac{n}{\sqrt{6}} \left(1 - \frac{1}{2n^2}\right)$

Für die Streuung der Intervallverteilung ergibt sich bei einem Tonumfang von einer Oktave der Zahlenwert 4,9. Gehen wir nun beispielsweise zu einem Tonumfang von zwei Oktaven über, so ergibt sich für die Streuung angenähert der doppelte Wert. Bei diesem Übergang von einer zu zwei Oktaven hat sich aber an denjenigen Eigenschaften der Musik, die uns hier interessieren, nicht das Geringste geändert. Es ist sozusagen der „Komponist“ und sein musikalischer Stil völlig unverändert geblieben.

Unsere Untersuchung ergibt also, daß es sich empfiehlt, nach Stilcharakteristiken zu suchen, bei denen der Tonumfang herausfällt. Dies läuft angenähert darauf hinaus, daß wir Parameter suchen müssen, die von der Streuung nicht oder nur wenig abhängig sind.

Nun ist bekannt, daß es bei Gauß-Verteilungen eine Größe gibt, die stets den Wert 3 hat, gleichviel wie groß die Streuung ist². Es handelt sich um die Kurtosis κ (von *κρυψις*), den Quotienten aus dem vierten Moment und der Streuung in der vierten Potenz, also für eine Verteilung p_x mit Mittelwert $\bar{x}$

Kurtosis:
$$\kappa = \frac{\sum (x - \bar{x})^4 p_x}{(\sum (x - \bar{x})^2 p_x)^2}$$

Man führt auch die Größe ε (Überschuß) ein:

Überschuß:
$$\varepsilon = \kappa - 3$$

die also für die Gaußverteilungen den Wert Null hat.

Für die Folgen der Intervalle konsekutiver Töne bei Gleichwahrscheinlichkeit der Tonhöhen ergibt sich nach Gleichungen (6) und (9) bei einem maximal möglichen Intervall von n Halbtonschritten

Kurtosis:
$$\kappa = \frac{12}{5} \left(\frac{n^2 - \frac{3}{2}}{n - 1} \right)$$

Mit $n \gg 1$ gilt
$$\kappa \approx \frac{12}{5} \left(1 - \frac{1}{2n^2} \right)$$

d. h. es ergeben sich praktisch unabhängig von n die Werte:

Kurtosis: $\kappa = 2,4$

Überschuß: $\varepsilon = -0,6$

Eine Untersuchung zeigt, daß entsprechend auch für komponierte Musik die Kurtosis sich für die Häufigkeitsverteilungen der Intervalle konsekutiver Töne bezüglich des Tonumfangs ähnlich verhält, d. h. daß sie vom Tonumfang hinreichend unabhängig ist.

Verschafft man sich nun die Kurtosis-Werte von Werken vom Vorbarock bis zur heutigen Zeit, so ergeben sich für sechs Gruppen jeweils gemittelt die Punkte von Abb. 4. Die Gruppen wurden nach der Tabelle Abb. 5 gebildet.

Wir haben damit, wie es angestrebt wurde, eine weitere Gesetzmäßigkeit gefunden, durch welche die abendländische oder abendländisch beeinflusste Musik aus fast 500 Jahren in Bezug auf die Intervalle konsekutiver Töne quantitativ und objektiv gekennzeichnet wird.

Wir beobachten, gemittelt für die ersten fünf Gruppen, also vom Vorbarock bis fast in unsere Zeit, eine einsinnige Entwicklung der Größe ($\kappa - 3$) vom Wert 2,1 bis zum Wert 12,1. Man hätte danach, ähnlich wie bei der Streuung, eine weitere Entwicklung dieser Größe in der Musik mit unverändertem Trend erwarten können. Unser Diagramm (Abb. 4) zeigt aber, daß die zuletzt genannte Gruppe in Bezug auf die hier interessierende Größe einen Bruch mit dem Gang durch vier Jahrhunderte aufweist. Dem Wert der vorletzten Gruppe (12,1) steht der Wert der neuesten Musik (3,5) gegenüber.

Abb. 1 erlaubt uns einen Vergleich der Tonhöhenverteilung bei Beethoven und Webern mit jeweils der zugehörigen Verteilung bei Gleichwahrscheinlichkeit der Tonhöhen (gestrichelte waagerechte Linie).

Den entsprechenden Vergleich für Häufigkeitsverteilungen der Intervalle je zweier aufeinander folgender Töne derselben beiden Werke und den entsprechenden Häufigkeitsverteilungen bei Gleichwahrscheinlichkeit der Tonhöhen (gestrichelte Linien) zeigt Abb. 3.

Die Musik Weberns steht danach in einer vergleichsweise engeren Beziehung zu den Verteilungen mit Gleichwahrscheinlichkeit der Tonhöhen. Die Kurtosis der entsprechenden Verteilung des Werkes von Beethoven beträgt 11,8. Beim Violinpart von Weberns Streichquartett op. 28 ist sie gleich 2,7, d. h. sie hat hier fast den gleichen Wert wie die Verteilung bei Gleichwahrscheinlichkeit (2,4).

Damit, daß die Töne einer Folge gleichwahrscheinlich sind, ist natürlich nichts über ihre Anordnung in der Folge ausgesagt. Zum Beispiel würde eine Folge von zwei verschiedenen Tönen, die je viermal erscheinen, noch 70 verschiedene Anordnungen erlauben.

Die $(n-3)$ -Werte der frühen Musik liegen im gleichen Bereich wie die der Musik der letztgenannten Gruppe (Vorbarock 2,1, Barock 3,1, jüngste Gruppe 3,5). Die Häufigkeitsverteilungen und die Regelmäßigkeit bzw. Regellosigkeit in den Anordnungen der musikalischen Elemente in der Folge sind gesondert zu untersuchen.

Zufallsgehalt und Korrelogramme von Musikwerken

Im Zusammenhang mit unserem Thema ist es von besonderem Interesse, den Zufallsgehalt von Musikwerken quantitativ zu bestimmen. Dies läuft auf eine Untersuchung über die Anordnung der Elemente auf den Plätzen in einer Folge hinaus. Zu Aussagen darüber kommen wir mit Hilfe der Korrelationen der Folgen.

Die (n) Elemente einer Folge mögen aus einer Elementenmenge mit beliebiger Häufigkeitsverteilung stammen. Die Folge sei vorgegeben; es sei z. B. die Folge der Töne der ersten Violine in einer Komposition. Wir betrachten nun sukzessiv die Elemente der Folge jeweils zusammen mit den nächstbenachbarten oder zweitnächstbenachbarten usw. Elementen. Die beiden Elemente eines so gebildeten Paares nennen wir $(x; y)$. Sie sind also durch k Intervalle getrennt, $k = 0$ eingeschlossen: ($y = x$). Dann verstehen wir unter der Korrelation r_k :

$$r_k = \frac{\sum x y}{n-k} - \frac{\sum x}{n-k} \cdot \frac{\sum y}{n-k} \\ \sqrt{\left[\frac{\sum x^2}{n-k} - \left(\frac{\sum x}{n-k} \right)^2 \right] \left[\frac{\sum y^2}{n-k} - \left(\frac{\sum y}{n-k} \right)^2 \right]}$$

Ist die Folge random, so gilt

$$\lim_{n \rightarrow \infty} r_k = 0 \quad \text{für } k = 0, 1, 2, \dots, \infty$$

Der Satz ist nicht umkehrbar.

Die korrelativen Eigenschaften einer Folge von Elementen werden quantitativ dargestellt durch das Korrelogramm

$$r_k = f(n; k); \quad k = 0, 1, 2, \dots; \quad n > k$$

Die Bilder 6, 7 und 8 geben je ein Korrelogramm von den Violinstimmen des Bachschen Doppelkonzertes d-moll, des Streichquartetts op. 74 von Beethoven und des Streichtrios op. 20 von Webern und zwar für $n = 200$ bis zu $k = 20$.

Die Korrelogramme geben ein eindrucksvolles Bild von dem Ausmaß der Bindung, die über den untersuchten Bereich von 200 Tönen bei diesen drei

Kompositionen bis zu einem Tonabstand zwischen irgendeinem Element und seinem benachbarten Element, übernächst benachbarten Element usw. bis zu einem Abstand von 20 Elementen, besteht.

Ein Wert $k = 1$ für die Korrelation würde eine streng funktionale Bindung bedeuten, ein Wert $k = 0$ Mangel jeglicher Korrelation.

Man bemerkt, daß bei Beethoven mit wachsendem Abstand der Elemente voneinander die Korrelation nur langsam absinkt und stets positiv bleibt. Dies gilt noch bis zu $k = 40$. Bis zu $k = 20$ sinkt die Korrelation nicht unter 0,25 ab.

In dem Bachschen Werk wird die Korrelation bei $k = 14$ negativ. Sie sinkt bereits bei $k = 3$ unter den Wert von 0,2 ab und übersteigt diesen Wert praktisch nicht wieder.

Bei Webern sinkt die Korrelation bereits bei $k = 1$ auf einen sehr kleinen Wert und wird bereits bei $k = 2$ negativ. Sie oszilliert dann regellos zwischen positiven und negativen Werten.

Interessieren wir uns nicht für das Vorzeichen der Korrelation, sondern nur dafür, ob überhaupt und in welchem Ausmaß eine von Null verschiedene Korrelation beobachtet wird, d. h. also für den Absolutbetrag der Korrelation $|r_k|$, so tritt eine gewisse Verwandtschaft im Verlauf des Korrelogramms zwischen Bach und Webern und eine sehr deutliche Abweichung von dem entsprechenden Polygon-Zug bei Beethoven zutage.

Generell können wir die Differenz zwischen der Einheit und dem Absolutbetrag der Korrelation, also die Größe

$$z_k = 1 - |r_k|$$

als eine den Zufallsgehalt der Folge in Abhängigkeit von k kennzeichnende Größe einführen.

In Anlehnung an die Taylorsche Länge der Turbulenztheorie ist bereits früher ein charakteristischer Elementenabstand zur Erfassung der korrelativen Eigenschaften in Sprachwerken vorgeschlagen worden^{1c}.

$$A = \frac{1}{K} \sum_0^K r_k$$

Es erscheint hier vorteilhafter, zunächst vom Vorzeichen abzusehen und folgende charakteristische Zahlen einzuführen

$$A_1 = \frac{1}{\sum_0^K |r_k|}; \quad A_2 = \sum_0^K |r_k \cdot e^{-k}|; \quad A_3 = \sqrt{\sum_0^K r_k^2 \cdot e^{-2k}}$$

Bei der Summe $\sum |r_k|$ tritt der ganze untersuchte Bereich mit gleichem Gewicht ins Spiel. Hier ist im allgemeinen Abhängigkeit von n zu erwarten

ten. Eine gewisse Beschränkung auf die nähere Nachbarschaft eines jeden betrachteten Elements ist bei $\sum |r_k e^{-k}|$ eingeführt. Schließlich beschreibt uns die letztgenannte Zahl $\sqrt{\sum r_k^2 e^{-2k}}$ die Verhältnisse in der aller-nächsten Nachbarschaft eines jeden herausgegriffenen Elementes. Die beiden letztgenannten Zahlen werden also für wachsende k sehr schnell von k unabhängig.

Die Zahlenwerte A_1, A_2, A_3 wurden für die Korrelogramme der Bilder 6, 7 und 8 berechnet und sie finden sich in der Tabelle Bild 9. Auch hier zeigt sich wieder deutlich die verwandtschaftliche Beziehung zwischen den korrelativen Eigenschaften des Werkes von Bach und des Werkes von Webern zum Unterschied von dem Werk von Beethoven.

Random Ton-, Klang- und Intervallfolgen und Beispiele

Elemente, die interessieren, können Töne und Geräusche sein. Wir beschränken uns auf den Ton als Element. Der Ton ist bestimmt durch das Spektrum seiner Harmonischen als Funktion der Zeit. Mit dem Begriff Ton ist also nicht wie in der Akustik nur eine einzige Harmonische gemeint. Aus dem Spektrum lassen sich einfachere Kennzeichnungen durch geeignete Vorschriften, z. B. über die Mittelwertbildungen, eindeutig gewinnen. Wir beschränken uns wie üblich auf Stärke, Dauer und Höhe, in denen je eine Anzahl von Eigenschaften des Spektrums zusammengefaßt wird.

Unter einer Random Tonfolge soll eine zeitliche Folge von Tönen verstanden werden, bei der die Werte wenigstens eines der drei Merkmale zufällig verteilt gewählt sind.

Entsprechende Definitionen sollen gelten für Intervalle gleichzeitig oder konsekutiv erklingender Töne, für Intervallpaare, benachbart oder nicht benachbart, oder komplexere Gruppierungen von Elementen.

Neben einem oder mehreren oder u. U. vielen regellos gewählten Parametern muß es natürlich auch immer Parameter geben, deren Werte durch willkürliche Entscheidungen festgelegt sind. Sie können beispielsweise konstant angenommen werden oder es können dafür auch andere Festsetzungen getroffen werden. Diese können wieder von den Random-Parametern abhängig sein oder auch von ihnen unabhängig gewählt werden.

Die Regellosigkeit der Anordnung eines Teils der Parameter in der Folge, die für die Häufigkeit ihres Auftretens maßgebliche Wahrscheinlichkeitsverteilung ihrer Merkmale und die zusätzlichen willkürlichen Festsetzungen für die übrigen Parameter zusammengekommen sind für die Randomfolge kennzeichnend.

Bereits gelegentlich der ersten, zunächst, wie bemerkt, aus rein mathematischen Überlegungen durchgeführten Untersuchungen mit Randomfolgen wurde es als theoretisch interessant und auch in gewissem Sinne auch musikalisch reizvoll empfunden, sich in der Wirklichkeit den klanglichen Eindruck von ausgeführten Beispielen von Randomfolgen zu verschaffen. Es sollen entsprechend in diesem Abschnitt einige Ausschnitte aus einigen Sätzen für Klavier, einem Streichquartett und einem Trio für Violine, Cello und Klavier mitgeteilt werden.

Außer dem angegebenen Zweck der konkreten Vergegenwärtigung von theoretisch interessierenden Klangfolgen wird mit den hier mitgeteilten Beispielen kein darüber hinausgehender Anspruch verbunden.

Im vierstimmigen Klaviersatz, aus dem Beispiel 1 entnommen ist, spielen die Stimmen je innerhalb einer Oktave und die vier Oktaven schließen aneinander an im Tonhöhenbereich Fis bis f'''. Die Tonhöhen sind gleichwahrscheinlich, ihre Anordnung in der Folge ist zufällig. Dieser Ausschnitt ist aus dem Klaviersatz genommen, der als erstes Beispiel stochastischer Musik aus den eingangs erwähnten Gründen seinerzeit aufgeschrieben und gespielt wurde.

Beispiel 2 ist ein zweistimmiger Satz, bei dem Tonhöhen und Tondauern in jeder Stimme getrennt random gewählt sind. Der Tonbereich der 1. Stimme ist c'' bis h'', der 2. Stimme c' bis h'.

Im Klaviersatz von Beispiel 3 bewegen sich die von der rechten und linken Hand zu spielenden Klänge jeweils innerhalb einer Oktave und es sind die Dauern der Tonpaare Randomfolgen.

In dem Streichquartett, von dem Beispiel 4 einen Ausschnitt gibt, sind Tonhöhe und Tondauer für jedes Instrument zufällig gewählt. Der Tonhöhenbereich wurde für Violine, Viola und Cello auf jeweils drei Oktaven festgesetzt. Innerhalb des der 1. und 2. Violine gemeinsamen Tonbereichs von g bis fis''' wurden die Tonhöhen so ausgetauscht, daß die 1. Violine vornehmlich in den höheren, die 2. Violine in den tieferen Lagen spielt.

Nach dem Vorstehenden erklärt sich Beispiel 5 ohne weiteres. Für die Violine wurden drei, für Cello und jede Klavierstimme zwei Oktaven zugelassen.

Randomfolgen mit anderen Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Merkmale als Gleichwahrscheinlichkeit

Bei einer gegebenen Menge akustischer Elemente ist zu unterscheiden zwischen der theoretischen Wahrscheinlichkeit und der tatsächlichen Häufigkeit des Auftretens der Elemente sowie ihrer Anordnung auf den Plätzen des Satzes. Die Häufigkeitsverteilung, die in der Folge de facto angetroffen

wird, kommt der theoretischen Wahrscheinlichkeit umso näher, je größer unter sonst gleichen Umständen der Elementenvorrat, also die Zahl der Elemente der Folge wird.

Bei den bisherigen Beispielen handelte es sich um Verteilungen, bei denen die Folge der Elemente durch einen Zufallsprozeß bestimmt wurde und bei denen außerdem für charakteristische Merkmale der Elemente (Tönhöhen, Tondauern, Intervallgrößen) Gleichwahrscheinlichkeit angenommen worden war.

Bei den Folgen dieses Abschnitts ist an der Zufallsverteilung in der Anordnung auf den Plätzen festgehalten worden. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung, mit der die Merkmale der interessierenden Elemente erscheinen, ist jedoch nicht mehr die Gleichwahrscheinlichkeit. Es können dafür viele verschiedenartige Gesetze gewählt werden. Verwendet worden sind als Beispiele in diesem Abschnitt die Bernoulli- und die Poisson-Verteilung.

Bei der Bernoulli-Verteilung wird ein Elementenvorrat gleichartiger Elemente auf Zellen von je n Plätzen verteilt. Ist der Mittelwert der Verteilung $\bar{x}$ und bezeichnen wir mit p den Quotienten $\frac{\bar{x}}{n}$ so ist die Wahrscheinlichkeit, in einer Zelle x Elemente anzutreffen, gegeben durch

$$w(x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}$$

Geht man mit der Zahl n der Plätze je Zelle gegen unendlich, hält aber den Mittelwert $\bar{x}$ konstant, so ergibt sich durch diesen Grenzübergang die Poissonverteilung

$$p(x) = \frac{e^{-\bar{x}} \bar{x}^x}{x!}$$

In Beispiel 6 ist die Häufigkeit der Tönhöhen (bei konstant gehaltener Tondauer) in jeder der vier Stimmen nach einer Poissonverteilung (mit $\bar{x} = 6$) bestimmt worden. Die Reihenfolge ist, wie gesagt, zufällig. Im übrigen entspricht Beispiel 6 dem Beispiel 1. Wie man sieht, bedeutet die Wahl einer Poissonverteilung (und innerhalb dieser Verteilung der gewählte mit der Streuung zusammenfallende Mittelwert), daß die Häufigkeit des Auftretens von Tönen auf einen schmälere Bereich in jeder Stimme zusammengedrängt ist mit den entsprechenden Konsequenzen für die Klänge und die Intervallschritte konsekutiver Töne.

In Beispiel 7 ist ein Ausschnitt aus einem Streichquartett wiedergegeben, bei dem die Instrumente in vier aneinander anschließenden Oktaven, von C an aufwärts spielen. Dabei ist für die Tondauern eine Bernoulliverteilung mit $n = 8$ und $p = 1/2$ und für die Tönhöhen eine Wahrscheinlichkeitsverteilung nach Bernoulli mit $n = 12$ und $p = 2/3$ gewählt. Die Anordnung in der Folge ist für beide Merkmale zufällig.

Zufall und Musik. Zufall und Weltverständnis

Der Gedanke, den Zufall für die Komposition von Musik auszunützen, ist alt. Von Mozart stammt eine „Anleitung zum Componiren von Walzern so viele man will vermittelst zweier Würfel ohne etwas von der Musik oder Composition zu verstehen“ (Moles³, s. auch Gravesaner Blätter, Heft 4).

Auf die Geschichte der Verwendung zufallsbedingter Bestandteile in der Musik für das einzelne akustische Element (Geräusch) oder für die Anordnung der akustischen Elemente in der Komposition braucht hier nicht eingegangen zu werden. Ihre Bedeutung liegt zutage.⁴ Entsprechendes gilt für die Verwendung zufallsbedingter Elemente in der Malerei. Anfänge finden sich in der Architektur.

Zur Frage nach einer Deutung dieser Erscheinung sollen hier einige Bemerkungen unverbunden aneinander gereiht werden.

Absicht, Notwendigkeit und Zufall ($\tau\acute{\epsilon}\lambda\omicron\varsigma$, $\alpha\nu\acute{\alpha}\gamma\chi\eta$ und $\tau\acute{\upsilon}\chi\eta$) bestimmen das Geschehen. Mit Hilfe dieser Kategorien läßt sich das Geschehen ordnen, also verstehen.

Ursprünglich angeregt durch die Frage nach der Erwartung bei Glücksspielen wurden in der Wahrscheinlichkeitstheorie und der mathematischen Statistik Methoden entwickelt, den Zufall quantitativ zu beschreiben. Dieser Zweig der Mathematik ist in den letzten Jahren zu einer sehr umfangreichen und immer tiefere Durchdringungen ihrer Grundkonzeptionen entwickelnden Wissenschaft ausgestaltet worden.

In den Naturwissenschaften interessiert im Zusammenhang mit unserem Gegenstand die Entwicklung der statistischen Mechanik mit Aussagen über Ansammlungen einer großen Zahl von Elementen. Dabei wird auf die Kenntnis des Bewegungszustandes der einzelnen Elemente zu irgendeinem Zeitpunkt verzichtet. Dieser Verzicht auf Information kommt, mathematisch formuliert, der Einführung eines Zufallsfaktors in die Theorie gleich.

Es ist nicht leicht, einen adäquaten Eindruck davon zu geben, in welch unvorstellbarem Ausmaß das Geschehen in der Welt durch den Zufall mitbestimmt ist infolge des Umstandes, daß die atomaren Bausteine der Materie überall im Weltall und zu allen Zeiten in einer regellosen thermischen Bewegung begriffen sind. Außer den eigentlich thermischen Phänomenen findet dadurch ein Großteil weiterer Erscheinungen etwa auch elektrischer und magnetischer Natur seine Deutung. Man kann damit rechnen, daß von daher auch Licht auf die Entstehung von großen Molekülen aus der anorganischen Urmaterie fällt. Es handelt sich dabei auch u. a. um Moleküle von Stoffen, die als Bestandteile der lebenden Substanz von Bedeutung sind, d. h., man kann erwarten, daß von daher auch Licht auf die Entstehung des Lebens auf der Erde fallen wird.

Eines der grundlegendsten Ereignisse unserer geistesgeschichtlichen Epoche besteht in dem prinzipiellen Übergang von der deterministischen klassischen

Mechanik zur Quantenmechanik. Diese kann verstanden werden aus der Erkenntnis, daß exakte Werte für Lage und Impuls eines Massenpunktes prinzipiell nicht gleichzeitig gemessen werden können.

Die Kenntnis von allen diesen Sachverhalten dringt mehr und mehr in das Bewußtsein weiter Kreise ein.

Wenden wir uns dem gesellschaftlichen Bereich zu, so kann daran angeknüpft werden, daß Vererbung und Umwelteinfluß für das Verhalten des Menschen wesentlich sind. In beiden ist der Zufall wirksam. So wird auch im geschichtlichen Ablauf, durch die für die Geschicke der Völker maßgeblichen Persönlichkeiten gestaltet, dieser Faktor erscheinen, d. h. es kann in der Geschichte ein statistisches Element beobachtet werden, das sich Gesetzmäßigkeiten überlagert, über deren Wesen man spekulieren mag.

Von speziellerem Interesse für unser Problem ist es, daß sich an Beispielen in der Natur und im täglichen Leben Zusammenhänge aufzeigen lassen zwischen Eindrücken, die wir von zufällig verteilten Elementen gewinnen, und dem ästhetischen Erlebnis. Wir können denken an den Nachthimmel mit der regellosen Anordnung der Sterne, an eine Wiese mit regellos verteilten Blumen, bei den Geräuschen an die Konsonanten der gesprochenen Sprache, an das Rauschen, Brausen, Toben, Plätschern von Wasserfällen, Meeren, Gebirgsbächen, Geräusche des Windes, Fahrgeräusche bei hohen Geschwindigkeiten, Maschinengeräusche in Werkhallen usw.

Schließlich fragen wir allgemein nach der Bedeutung des Zufalls für die schöpferische Tätigkeit, u. a. im wissenschaftlichen und im künstlerischen Bereich.

Die schöpferische Tätigkeit ist bestimmt durch ein Zusammenwirken von Einfall und Urteil.

Der Einfall mag durch Absicht zustande kommen, also etwa durch systematische Betrachtung eines Naturausschnittes oder einer Ansammlung von Elementen, die für die künstlerische Gestaltung in Aussicht genommen sind. Er mag auch rein durch Zufall zustande kommen. Man kann sich leicht die bewußte Verwendung des Zufalls für die Erzeugung von Konfigurationen denken, die möglicherweise zu interessanten Einfällen führen können. Bei der Herstellung solcher Konfigurationen wird man sich bei quantisierbaren Aufgaben elektronischer Hilfsmittel bedienen.

Mit dem Einfall ist das schöpferische Geschehen erst partiell erfolgt. Es gehört zu ihm das Urteil. Dies Urteil mag zur Bestimmung und Elimination des Ungeeigneten und zu der in freier Gestaltung zu vollziehenden Vereinigung des als geeignet Befundenen führen. Auch hierbei wird man für viele quantitativ faßbare Probleme Auswahlregeln in die entsprechenden Programme für Elektronenrechner aufnehmen.

Wenn man sich die in diesem Abschnitt angedeuteten Sachverhalte vergegenwärtigt und wenn man überzeugt ist, daß das Welt- und Selbstverständnis des Menschen und seine Selbstdarstellung und Selbstverwirklichung in den Künsten und Techniken einer jeden Zeit eng aufeinander bezogen sind, daß sie aus denselben Gründen erwachsen, daß sie Emanationen desselben Geistes der Zeit sind, oder, anders gesehen, daß sie zusammengenommen identisch den Geist der Zeit ausmachen, so mag das Auftreten und die auch bewußte Verwendung des Zufalls in der Kunst unserer Zeit durchaus als begründet, gerechtfertigt, unumgänglich, notwendig, möglicherweise als zwangsläufig verstanden werden.

- ¹ Fucks, W.
- a. Information Theory: Third London Symposium 1955. Butterworths Scientific Publ. London (1956) P. 169.
 - b. Mathematische Analyse der Formalstruktur von Musik. Forschungsberichte des Wirtschafts- und Verkehrsministeriums Nordrhein-Westfalen. Nr. 357 (1958).
 - c. Gibt es mathematische Gesetze in Sprache und Musik? Die Umschau, 57. Jahrgang (1957) S. 33-37.
 - d. Mathematische Analyse von Werken der Sprache und Musik. Physikalische Blätter, 16. Jahrg. (1960) S. 452.
 - e. Mathematische Analyse von Sprachelementen, Sprachstil und Sprachen. Veröffentlichungen der Arbeitsgemeinschaft für Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (1953) (besonders S. 45).
- ² v. Mises, R.
- Kendall, M. G.
- ³ Moles, A.
- a. Informationstheorie der Musik. Nachrichtentechnische Zeitschrift NTF 3 (1956). S. 47.
 - b. Les musiques expérimentales. Fondation Internationale, Paris - Zürich - Bruxelles (1960).
- ⁴ Xenakis, J.
- Grundlagen einer stochastischen Musik. Gravesaner Blätter, Jahrg. 5 (1960) Heft 18.
- Elements of Stochastic Music, Gravesano Review Vol. 18 (1960).
- Vgl. ferner zahlreiche Hinweise in Aufsätzen der / Also refer to numerous essays in Gravesaner Blätter, herausgegeben von Hermann Scherchen, Die Reihe, herausgegeben von Herbert Eimert und Karlheinz Stockhausen, Darmstädter Beiträge zur Neuen Musik, herausgegeben von Wolfgang Steinecke.
- ⁵ Meinen Mitarbeitern, den Herren Josef Lauter und Horst Weiß, bin ich für ihre wertvolle Hilfe bei der Durchführung dieser Arbeit zu Dank verpflichtet.

	$\frac{1}{20} \sum_{k=1}^{20} r_k $	$\sum_{k=1}^{20} r_k e^{-k} $	$\sqrt{\sum_{k=1}^{20} r_k^2 e^{-2k}}$
Bach	0,14	0,21	0,23
Beethoven	0,403	0,43	0,31
Webern	0,077	0,04	0,03

Epoche	Komponist	Werk	$\overline{x-3}$
1530 — 1650	Modena Willart Hassler Schein Palestrina Rosenmüller	Fantasien Fantasien Intraden Suiten Ricercari Stud. Musik	2,1
1680 — 1740	Purcell Corelli Vivaldi Bach Händel	Suiten Conc. grossi 1 u. 8 Conc. grossi 2 u. 8 Brand. Konz. 3 Conc. grosso D	3,1
1780 — 1825	Haydn Mozart Beethoven Spohr	Oxf.-Symphonie Jup.-Symphonie Symph. 1, 3, 5, 6, 8 Viol. Konz.	7,5
1846 — 1900	Schumann Brahms Strauß Strauß Smetana Tschairowski	Symph. 2 u. 3 Symph. 1 u. 3 Till Eulenspiegel Zarathustra Moldau Symph. 5 u. 6	10,4
1900 — 1950	Prokofieff Vanghan Williams Ravel Hindemith Schostrakowitsch Bartók Egk	Symph. 5 Pastor. Symph. Bolero Mathis der Maler Symph. 5 u. 9 Suite 2 Orchestersonate	12,1
1922 — 1960	Schoenberg Webern Berg Nono Boulez Henze Stockhausen Křenek	Streich-Quartett op. 30 Variationen f. Orch. Violinkonzert Streich-Trio op. 20 Bagatellen Streich-Quartett op. 5 Streich-Quartett op. 28 Lyr. Suite Violin-Konzert Streich-Quartett op. 3 Varianti Incontri Le marteau sans maître 3. Symphonie Gruppen f. 3 Orchester Streich-Quartett op. 96	3,5

Musical Analysis by Mathematics

Random Sequences

Music and Accident

by

WILHELM FUCKS

Musical Analysis by Mathematics; Random Sequences

The term "random sequence" applies here to sequences of acoustical events at least one of the qualities of whose elements or their order in the sequence is accidental. The author was induced to study random sequences because of certain difficulties arising out of the mathematical analysis of works of music¹.

One of the original problems was the search for parameters to characterize the development of European music through the past, say, 500 years.

Fig. 1 shows an example of this kind of research: it shows the distribution of the frequency of occurrence of pitches in the first violin part of Beethoven's String Quartet Op. 74 and in the violin part of Webern's String Trio Op. 20. For these distributions p_i with the standard $\sum_i p_i = 1$ the following values were calculated:

the mean:

$$\bar{i} = \sum_i i p_i$$

the ν^{th} moment (for $\nu = 2, 3, 4$):

$$\mu_\nu = \sum (i - \bar{i})^\nu p_i$$

the scatter:

$$\sigma = \sqrt{\mu_2}$$

The frequency distribution of pitches was accordingly evaluated for a number of works and the scatter calculated, resulting in the values of Fig. 2, which shows a quantitative, objective and regular development of a certain property of music through four and a half centuries.

In a similar fashion, the intervals between consecutive notes were examined for regularity. Fig. 3 contains a curve each for the same two instrumental parts as examined in Fig. 1, showing the distribution p_x of the

frequency of occurrence of intervals of x semitones, where $x > 0$ indicates an ascending and $x < 0$ a descending interval and $x = 0$ a repeated note.

However, no worthwhile result was obtained which might have characterized musical development through the centuries. It was therefore decided to examine a type of music very uniform in style, a very elementary or, as some might say, primitive kind of music, and the natural choice fell on stochastic music. Stochastic music is a sequence of notes or sounds whose relevant properties are in random, or stochastic, distribution.

The first step was to write a four-voice piano piece whose sequence of notes in the chosen register was determined by the winning roulette numbers of the Casino in Bad Neuenahr. Equal probability was assumed for all notes. The piece (which was half jokingly dubbed "Stochastophony") was played by members of the Aachen Physical Institute at an Institute ceremony in 1952, subsequently recorded on tape, and often played to visitors in the succeeding years...

This kind of random distribution p_i through a compass of n semitones is governed by the following relationships if $\sum_i p_i = 1$ $p_i = \frac{1}{n}$

$$\bar{i} = \sum_i i \cdot p_i = \frac{n+1}{2} = \frac{n}{2} \left(1 + \frac{1}{n}\right)$$

With $n \gg 1$ we have $\bar{i} \approx \frac{n}{2}$, therefore

$$\sigma^2 = \frac{n^2 - 1}{12} = \frac{n^2}{12} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$

With $n \gg 1$ we have $\sigma^2 \approx \frac{n^2}{12}$, whence $\sigma \approx \frac{n}{\sqrt{12}}$

The relevant frequency distribution p_x of the intervals of x semitones between two consecutive notes, if the greatest interval possible is $x = n$, is

$$p_x = \frac{1}{n^2} (n - |x|)$$

With the standard $\sum_x p_x = 1$ we have:

Mean: $\bar{x} = 0$

Moments: $\mu_2 = \frac{n^2 - 1}{6}$; $\mu_3 = 0$; $\mu_4 = \frac{1}{50} (2n^4 + 5n^2 + 3)$

Scatter: $\sigma = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{6}} = \frac{n}{\sqrt{6}} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)^{1/2}$

With $n \gg 1$ we have $\sigma \approx \frac{n}{\sqrt{6}} \left(1 - \frac{1}{2n^2}\right)$

When the compass is one octave, the scatter of interval distribution is 4.9. When the compass is two octaves, this value is approximately doubled. But this increase of compass from one to two octaves has changed nothing whatever in this music's properties in which we are interested: the "composer" and his musical style have remained exactly the same.

This indicates that it would be desirable to find stylistic characteristics which are independent of the compass, which in turn means that we must look for parameters depending little or not at all on the scatter.

Now it is well known that there is a magnitude whose value is always 3, for all Gauss distributions independent of the scatter²: this is the *curtosis* κ (derived from *κρυτός*), the quotient of the fourth moment and the fourth power of the scatter. For a distribution p_x with the mean $\bar{x}$ we have for the *curtosis*

$$\kappa = \frac{\sum (x - \bar{x})^4 p_x}{(\sum (x - \bar{x})^2 p_x)^2}$$

A useful magnitude is the excess ε :

$$\varepsilon = \kappa - 3$$

For all Gauss distributions, $\varepsilon = 0$.

For sequences of consecutive intervals if all notes are equally probable, equations (6) and (9) give for a greatest possible interval of n :

Curtosis:
$$\kappa = \frac{12}{5} \left(\frac{n^2 - \frac{3}{2}}{n^2 - 1} \right)$$

For $n \gg 1$ we have
$$\kappa \approx \frac{12}{5} \left(1 - \frac{1}{2n^2} \right)$$

which is practically independent of n , so that we obtain

Curtosis:
$$\kappa = 2.4$$

Excess:
$$\varepsilon = -0.6$$

Research also showed that for properly composed music, *curtosis* for the frequency distribution of consecutive intervals depends on the compass to a negligible degree only. Accordingly, the *curtosis* values of works from pre-baroque times until now give the mean values of each of the six groups of Fig. 4, which was deduced from the table Fig. 5. These values satisfy the condition of finding a further quantitative and objective regularity in the development of occidental music through nearly five centuries. It will be observed that the absolute value $\kappa - 3$ rises from 2.1 in 1530 to 12.1 today, so that a further increase in *curtosis* might have been expected, as we do in fact expect in the case of scatter. But the last group shown in Fig. 4 breaks with the uniform increase of *curtosis* over four centuries —

contemporary non-serial music, with its $\kappa - 3 = 12.1$, exists side by side with serial music, with a value of 3.5.

Figs. 1 and 3 enable us to compare Beethoven's and Webern's pitch and interval distributions, respectively, with those existing in the case of all notes being equally probable (broken lines), showing Webern to be closer to equally probable distribution. Beethoven's *curtosis* is 11.8 in this case, Webern's 2.7, which is very close to the value of 2.4 for equal probability.

The fact of the notes in a sequence being equally probable does not yet have any bearing on their order of occurrence. Suppose we have two different notes each of which can occur four times, there are still 70 ways for these eight notes to be arranged.

The values of $\kappa - 3$ of early music are of the same order of magnitude as those of the most recent group (pre-baroque 2.1, baroque 3.1, the most recent group 3.5). The frequency distributions and the regularity or irregularity in the arrangement of musical elements in the sequence are to be examined separately.

The Amount of Chance in Works of Music; Correlograms

In connection with this subject, it is particularly interesting to determine quantitatively the amount of chance contained in a work of music. This requires examination of the arrangement of elements within a sequence, which can be evaluated by means of correlograms of the sequences.

Let the n elements of a sequence come from a quantity of elements with any frequency distribution, and let the sequence be given, say, as the sequence of notes of the first violin part of a composition. We shall consider successively the elements of the sequence together with its neighbour, its next neighbour but one, etc. Let the two elements of such a pair be called $(x; y)$ and let them be separated by k intervals, including $k = 0$ (i. e. $y \equiv x$). Then the correlation r_k is:

$$r_k = \frac{\frac{\sum xy}{n-k} - \frac{\sum x}{n-k} \cdot \frac{\sum y}{n-k}}{\sqrt{\left[\frac{\sum x^2}{n-k} - \left(\frac{\sum x}{n-k} \right)^2 \right] \left[\frac{\sum y^2}{n-k} - \left(\frac{\sum y}{n-k} \right)^2 \right]}}$$

In the case of a random sequence,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} r_k = 0 \quad \text{for } k = 0, 1, 2, \dots \infty$$

The correlative properties of a sequence of elements are quantitatively represented by the correlogram

$$r_k = f(n; k); k = 0, 1, 2 \dots; n > k$$

Figs. 6, 7 and 8 show correlograms for the violin parts of Bach's Concerto for two Violins in D minor, Beethoven's String Quartet Op. 74 and the String Trio Op. 20 by Webern, respectively, for $n = 200$ for values of k up to 20. The correlograms give an impressive picture of the amount of connection between a note and the next, next but one, etc., up to a distance of 20 notes, in the section of 200 notes examined in each of the works. If $k = 1$, the correlation is strictly functional, while $k = 0$ shows the lack of any connection between the two relevant notes.

It will be observed that the correlation in Beethoven decreases very gradually for increasing distance between the notes, but always remains positive. (This positive value is maintained as far as $k = 40$). The correlation is nowhere less than 0.25 up to $k = 20$.

In Bach's Double Concerto, the correlation becomes negative for $k = 14$, and is already less than 0.2 for $k = 3$ and practically does not exceed this value again.

Webern has a very small correlation already for $k = 1$ and negative correlation for $k = 2$, the correlation subsequently oscillating irregularly between positive and negative values.

If we neglect the correlation's sign and see whether there is any correlation other than zero at all and what magnitude it is, i. e. if we examine the absolute value of correlation $|r_k|$, we find a certain similarity between Bach's and Webern's correlograms, from which Beethoven's polygonal figure is distinctly different.

In general, we can introduce the difference between unity and the absolute value of correlation, i. e. the magnitude

$$z_k = 1 - |r_k|$$

as indicating the amount of chance in the sequence, in relation to k .

A characteristic distance between elements to define the correlative properties of literary works has already been proposed in a previous publication^{1c} in reference to Taylor's length in turbulence theory

$$A = \frac{1}{K} \sum_0^K r_k$$

It appears advantageous to neglect the sign at first and introduce the following characteristic parameters:

$$A_1 = \frac{1}{K} \sum_0^K |r_k|; \quad A_2 = \sum |r_k \cdot e^{-k}|; \quad A_3 = \sqrt{\sum r_k^2 \cdot e^{-2k}}$$

The sum $\sum |r_k|$ is equally affected by the whole range examined, and will generally depend on n . $\sum |r_k e^{-k}|$ is restricted to the vicinity of each element considered, to a certain extent, while $\sqrt{\sum r_k^2 \cdot e^{-2k}}$ describes conditions in each element's closest neighbourhood. This means that the two latter parameters are very soon independent of k , as k increases.

The values of A_1, A_2, A_3 were calculated for the correlograms of Fig. 6, 7 and 8, and are shown in the table Fig. 9, again showing a distinct relationship between Bach and Webern, as against Beethoven.

Random Tone, Sound and Interval Sequences, with Examples

The elements which interest us can be tones or noises. Let us confine ourselves to the tone as an element, determined by the spectrum of its harmonics as a function of time. This includes not only pure tones but others as well. The spectrum can be easily simplified by suitable rules, such as governing the derivation of means. We shall confine ourselves as usual to intensity, duration and pitch, which already summarize a number of spectrum properties.

A random tone sequence is to be understood as designating a time sequence of tones, the values of at least one of whose three characteristics are distributed at random. Corresponding definitions relate to the intervals of simultaneous or consecutive tones, to pairs of neighbouring or not neighbouring intervals, or to more complicated groups of elements.

Apart from one or several or even many irregularly chosen parameters, there will naturally always be parameters whose values are fixed by arbitrary decision. They may for instance be assumed constant, or other definitions can be adopted, which may in turn depend on or be independent of the random parameters.

The irregularity in the arrangement of part of the parameters in the sequence, the probability distribution of their characteristics, which is decisive for the frequency of their occurrence, and the additional arbitrary definitions of the remaining parameters, are all together characteristic of the random sequence.

Our first experiments with random sequences were carried out for purely theoretical considerations. But as was already remarked, the actual playing of these sequences was found to be not only theoretically interesting but musically stimulating. For that reason, some passages from piano pieces, a string quartet and a piano trio are reproduced here, although no

pretences are made for these examples other than the purpose of the possibility of practical experience of theoretically interesting sound sequences.

In the four-voice piano piece of which Example 1 is an excerpt, each voice remains within an octave, the four consecutive octaves ranging from F $\sharp$ to f $\sharp$. All pitches are equally probable and their order random. This is the piano piece mentioned above, which was written and played as the first example of stochastic music for the purpose of making headway with this study.

Example 2 is a two-voice movement whose pitches and note values are random for both voices, which range from c¹ to b¹ and c² to b² respectively.

In Example 3, the chords of each hand stay within an octave; the durations of the tone pairs are random.

In the string quartet of which Example 4 is a sample, pitch and duration are random for each instrument. The compass is three octaves for each instrument, but the pitches of the range g to f $\sharp$ ³ common to both violins were exchanged in such a way as to allow the 1st violin to play mainly in the upper and the 2nd violin in the lower range.

Example 5 needs no further comment. The violin was given a compass of three octaves and the cello and each piano hand two octaves.

Random Sequences with Probability Distributions other than Equal Probability

In a given quantity of acoustic elements we must distinguish between the theoretical probability and the actual frequency of occurrence of the elements as well as of their order of arrangement. The actual frequency distribution will be the closer to the theoretical, the greater the store of elements, i. e. the number of elements in the sequence, other factors remaining equal.

The examples mentioned so far had distributions in which the element sequence was determined by chance, and in which the elements' characteristics of pitch, duration and interval were assumed to occur with equal probability.

In the sequences to be described now, the random distribution of the order of arrangement has been conserved, but the probability distribution of the elements' characteristics is no longer that of equal probability. Many different laws can be used, and the ones used here are distributions according to Bernoulli and Poisson.

Bernoulli distribution distributes a store of similar elements among cells of n spaces each. If $\bar{x}$ is the mean number of elements per cell and if we take $p = \frac{\bar{x}}{n}$, then the probability of finding x elements in a cell is

$$w(x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}$$

If the number of n spaces per cell approaches infinity while the mean $\bar{x}$ remains constant, this limiting case results in the Poisson distribution

$$p(x) = \frac{e^{-\bar{x}} \bar{x}^x}{x!}$$

In Example 6, the frequency of occurrence of pitches in each of the four voices has been determined by a Poisson distribution with $\bar{x} = 6$, the durations being constant. Their order is random, as was already said. In other respects, Example 6 is the same as Example 1. It is seen that the choice of a Poisson distribution (and, within this distribution, the chosen mean, which coincides with the scatter) means that the notes occur more frequently within a narrower range within each part, which naturally influences the chords and the consecutive intervals.

Example 7 is part of a string quartet in which the instruments play within the four octaves beginning at C. The durations are based on a Bernoulli distribution with $n = 8$ and $p = \frac{1}{2}$, and the pitches on a Bernoulli distribution with $n = 12$ and $p = \frac{2}{3}$. The order of arrangement is random for both characteristics.

Accident and Music; Accident and Philosophy

The idea of using accident for musical composition is old. Mozart wrote "Instructions for the Composition of any Number of Waltzes by Means of Two Dice with no Knowledge of Music or Composition" (Moles³, see also Gravesano Review Vol. 4). There is no need here to go into the history of the use of accidental components in music for the individual musical element (noise) or the order of arrangement of the acoustic elements in a composition. Its importance is obvious⁴. The same can be said for accidental elements in painting, and beginnings of it can be seen in architecture. The following unconnected remarks may stimulate thought about the meaning of such phenomena.

Intention, Necessity and Chance (*τέλος, ἀνάγκη* and *τύχη*) determine events. With the help of these categories, events can be ordered and therefore understood.

In the theory of probability and in statistics, methods were developed to describe accident qualitatively, these methods having originally been developed to answer the question of the probable expectation in games of chance. This branch of mathematics has, in the past few years, grown to a rather extensive branch of science continually delving more deeply into its fundamentals.

In physics, we are, in connection with this subject, interested in the development of statistical mechanics with its statements about large collections of elements, in which no knowledge is sought as regards the movement of the individual elements at any point of time. To refrain from seeking a certain information is, mathematically expressed, equivalent to the introduction of a random factor.

It is not easy to gain an adequate idea of the immeasurable degree to which chance is a part cause in all the world's events as a result of the fact that even the atomic building blocks of matter are in completely random thermal motion all the time throughout the universe. But not only thermic phenomena, but also much electricity and magnetism can be explained by chance. It is to be expected that some light will fall from this direction also on the appearance of large molecules in the original inorganic matter. These would include substances which are important components of living matter, in other words, it is likely that light will fall from this direction on the appearance of life on earth.

One of the most fundamental events in the cultural history of our age is the general transition from classical determinist mechanics to quantum mechanics. This can be understood from the realization that accurate values of the position and impulse of a point of matter cannot be measured simultaneously on principle.

The knowledge of these facts is coming to the consciousness of continually growing numbers of people.

If we turn to the social field, we can find the connection with our subject in the awareness that heredity and environment are basic for a person's behaviour. Both are subject to accident. In history also, this factor appears in the personality of leaders of nations: a statistical element can be observed in history in spite of certain laws about which we might speculate.

More directly connected with our problem is the fact that nature and daily life is full of examples of the connection between impressions we gain from randomly distributed elements and aesthetic experience. Just think of the nocturnal sky with its random arrangement of stars, a meadow of wildly growing flowers, of the noises of consonants in speech, of the splash, the rush, the roar, the rage of waterfalls, of the surf, of mountain streams, of the wind, of the noise of high-speed travelling, of industrial noises, etc.

Finally we come to the question of the meaning which chance has for creative, including scientific and artistic, activity. Creative activity depends on the reaction between idea and judgment.

The idea may be produced intentionally, as would be the case if the person in question systematically observed a section of nature or a collection of elements which may be of artistic use. But it can occur by pure chance: it is easy to imagine the conscious use of chance for the production of configurations which may lead to interesting ideas. The production of such configurations will, in the case of quantitative problems, be aided by the use of electronics.

But the idea is only part of creative activity. It must be completed by judgment, which may lead to definition and elimination of the unsuitable and the freely creative unification of what has been found to be suitable. Here again, rules of selection will be conceived for the appropriate electronic calculator programmes for many problems which can be expressed quantitatively.

If these facts are considered sufficiently, and if we are convinced that man's understanding of himself and the world and man's self expression and self realization in art and science are at all times closely related, that they grow from the same ground, that they are emanations of the same spirit of the age, or, from another view, that they make up the spirit of the age when taken together, then we come to the conclusion that the conscious employ of accident in art may be understood as being absolutely reasonable, justified, inevitable, necessary, even imperative.

Stochastische Musik

von

IANNIS XENAKIS

Zuerst möchte ich Herrn Professor Hermann Scherchen meine Anerkennung aussprechen für seine nicht nur moralische, sondern durch seine Tätigkeit als Dirigent und Herausgeber auch aktive Unterstützung aller Bestrebungen, die ich seit Jahren mache, um in das Komponieren von Musik eine globale mathematische und logische Denkart einzuführen, deren erstes Ergebnis die *Stochastische Musik* ist. Ich möchte sogar soweit gehen, daß ich sage, daß die Stochastische Musik irgendwo auf einer imaginären Linie, die Gravesano mit Paris, wo ich wohne, verbindet, geboren ist. Auf die Gefahr, seine Bescheidenheit zu verletzen, möchte ich noch hinzufügen, daß Professor Scherchen wie für so viele andere, auch für mich und die Stochastische Musik eine Art von Geburtshelfer, ein *μαϊευτήρ* im sokratischen Sinne war.

*

Es besteht eine historische Parallele zwischen der europäischen Musik und den sukzessiven Versuchen, die Welt durch die Vernunft zu erklären. Schon die kausale und deterministische Musik des Altertums war von den pythagoräischen und platonischen Schülern stark beeinflusst. Plato betonte das Kausalitätsprinzip: „... denn es ist unmöglich, daß, was immer ist, ohne Ursache entstehe.“ Die strenge Kausalität währte bis zum 19. Jahrhundert, dann aber machte sie eine brutale, aber fruchtbare Transformation im Zuge der statistischen Theorie in der Physik durch. Den Begriff des Zufalls (*τυχή*), der mit dem der Unordnung (*ἀταξία*) und dem der Desorganisation verbunden ist, betrachtete man seit dem Altertum als den Gegensatz, als die Verneinung der Vernunft (*λόγος*), der Ordnung (*τάξις*) und der Organisation (*συστάσις*). Erst seit neuem hat die Erkenntnis den Zufall durchdringen können und in ihm verschiedene Grade wahrgenommen — ihn stufenweise dem Verstand erschlossen — ohne allerdings eine endgültige und vollkommene Erklärung des Problems des „reinen Zufalls“ zu erreichen.

Mit einigen Jahrzehnten Verspätung brach auch die Musik die Beziehungen zur Tonart ab und betrat einen neuen Weg, der dem der Wissenschaft parallel lief, doch alsbald durch den quasi-absoluten Determinismus der seriellen Musik versperrt wurde.

Es nimmt also nicht wunder, wenn das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein des kausalen Prinzips, zunächst in der Philosophie und dann auch in der Wissenschaft, auch die Musik beeinflussen und sie auf Wege leiten konnte, die scheinbar so auseinandergehen, aber in Wirklichkeit doch alle zur Wahrscheinlichkeitstheorie und schließlich zur polyvalenten Logik —

eine Art Verallgemeinerung und Bereicherung des Kausalitätsprinzips — führen. Die Erklärung der Welt und daher auch der Schallerscheinungen, die uns schon umgeben oder die man noch schöpfen kann, erfordern die (und gewinnen von der) Erweiterung des kausalen Prinzips, dessen Grundlage das Gesetz der großen Zahlen ist. Dieses Gesetz deutet auf eine asymptotische Entwicklung zu einem Zustand des Gleichgewichts, zu einer Art Ziel (*στόχος*), von dem das Eigenschaftswort *stochastisch* wohl kommt.

Doch unterliegt alles im reinen Determinismus — oder im weniger reinen Indeterminismus — den grundsätzlichen Gesetzen der Logik, der es jetzt gelungen ist, sich in Mathematik, und zwar der Allgemeinen Algebra, auszudrücken. Diese Gesetze wirken auf einzelne Elemente oder Elementengruppen durch Vorgänge, deren einfachste die Vereinigung $\cup$ und die Überschneidung $\cap$ sind. Negierung, Gleichwertigkeit, Widersinn und Quantifizierung sind die elementaren Verhältnisse, von denen aus man die ganze heutige Wissenschaft aufbauen kann.

Man kann die Musik also definieren als eine Organisierung der Vorgänge und der Elementarverhältnisse zwischen den tönenden Elementen oder ihren Wirkungen. Die Logik oder ihre mathematische Form Algebra, die Königin der Wissenschaften, hilft uns nicht nur, neue Werke zu konstruieren, sondern auch alte besser zu verstehen. Außerdem gilt alles hier über die Musik Gesagte ebenso für alle anderen Künste.

Von diesem ganz allgemeinen grundlegenden Standpunkt aus wollen wir die Musik untersuchen und *machen*. Die primäre Zeit erscheint wie eine plastische Masse, wie Wachs oder Ton, in welchem die verschiedenen Verfahren und Verhältnisse ihre Spur hinterlassen, eingravieren, zunächst zum Zweck der Arbeit, schließlich zum Zweck der Mitteilung an Dritte. Hier wird die Asymmetrie der Zeit — die Unmöglichkeit, die Zeit umzukehren, B nach A $\neq$ A nach B — benützt, während die metrische (symmetrische), umkehrbare Zeit denselben Gesetzen der Logik unterliegt, also in den Erwägungen über die Organisation des Werkes mithilft. Das Sonderbare dabei ist, daß diese für die Konstruktion grundsätzlichen Begriffe im Menschen von seiner frühesten Kindheit auf vorkommen (vgl. Jean Piaget „Le développement de la Notion de Temps chez l'enfant“, Presses Universitaires de France).

Nach dieser kurzen Zusammenfassung der Arbeit, die folgen wird, betrachten wir nun die stochastische Musik selbst. Die erste Aufgabe ist, alle übernommenen Bräuche zu abstrahieren und die Denktätigkeit und ihre materiellen Ergebnisse einer grundsätzlichen Kritik zu unterziehen. Was offenbart sich uns in einem Musikwerk, von der der Konstruktionsebene aus gesehen? Es offenbart eine Ansammlung von Folgen, die kausal sein wollen. Als die Durtonleiter, um die Sache zu vereinfachen, die tonalen Beziehungen der Tonika-Dominanten-Subdominanten-Hierarchie unterordnete, strukturierte sie einerseits die linearen (Melodien), andererseits die

simultanen Vorgänge (Akkorde) auf äußerst deterministische Weise. Als später die Wiener Schule der Reihentechnik den Indeterminismus der Atonalität nicht mehr logisch meistern konnte, kehrte sie zu einer stark kausalen Organisation zurück. Daß diese immerhin abstrakter war, als die tonale Kausalität, war ihr großes Verdienst. Messiaen verallgemeinerte diese Entwicklung und unternahm den großen Schritt, die Abstraktion aller Veränderbaren der Instrumentalmusik zu systematisieren. Der Widersinn hier ist, daß er dies im Bereich der Modalität tat: er schuf eine polymodale Musik, die sofort von allen Reihentechnikern übernommen wurde. Aber Messiaens abstrakte Systematisierung hatte schon von Anfang an mehr Berechtigung als die multiserielle Musik, und sie war es auch, die den neo-seriellen Komponisten der Nachkriegszeit ihren ganzen Schwung gab. Im Gefolge Messiaens und der Wiener — wobei wir gelegentliche Anleihen bei Strawinsky und Debussy nicht vergessen — konnten sie jetzt mit geschlossenen Augen einhermarschieren und die Wahrheit lauter als alle anderen verkünden.

Andere Strömungen machten sich bemerkbar, vor allem die systematische Untersuchung von Klangelementen, neuen Instrumenten und des „Geräusches“. Varèse war der Bahnbrecher und die elektromagnetische Musik der Erbe (denn die elektronische Musik ist eine Filiale der Instrumentalmusik). Doch wurden in der elektromagnetischen Musik Fragen der Konstruktion und der Form nie bewußt gestellt, während die polyserielle Musik, als eine Verschmelzung von Messiaens Polymodalität und der Wiener Reihe, immerhin den Kern des musikalischen Grundproblems nicht aus dem Auge verlor.

Doch hatte sie schon 1954 keinen Atem mehr, denn die vollkommen deterministische Komplexität der kompositorischen Vorgänge und der Werke führte zu ideologischem und gehörmäßigem Unsinn. Über dieses Ereignis äußerte ich mich in Heft 1 der Gravesaner Blätter in dem Artikel „La crise de la musique sérielle“:

„Die lineare Polyphonie zerstört sich durch ihre heutige Komplexität selbst. Was man hört, ist in Wirklichkeit nichts als eine Anhäufung von Tönen in verschiedenen Höhenlagen. Die ungeheure Komplexität macht es dem Hörer unmöglich, die Entwicklung der Linien zu verfolgen und führt zur makroskopischen Wirkung einer willkürlichen und zufälligen Verteilung der Töne über den ganzen Bereich des Klangspektrums. Daraus ergibt sich ein Widerspruch zwischen der Linearpolyphonie und ihrem praktischen, nur aus Oberfläche und Masse bestehenden Ergebnis. Eine vollkommene Unabhängigkeit der Töne kann diesen Widerspruch, der ein notwendiger Wesenszug dieser Polyphonie ist, überwinden. Dann wird man sich um die linearen Kombinationen und ihre polyphonen Überlagerungen nicht mehr kümmern, das einzig Geltende ist der statistische Mittelwert der einzelnen Zustände und der Veränderungen der Komponenten

in einem gegebenen Augenblick. Die makroskopische Wirkung regelt man durch den Bewegungsmittelwert der gewählten Klänge. So wird der Begriff der Wahrscheinlichkeit, der in diesem Sonderfall die Kombinationsrechnung miteinbegreift, in die Musik eingeführt. Damit ist in wenigen Worten gesagt, wie die ‚lineare Kategorie‘ des musikalischen Denkens umgangen werden kann.“

Dieser Artikel war die Brücke, über die die Mathematik in die Musik einzog, denn wenn die Komplexität dazu führte, daß die von den Neo-seriellen so gerühmte strenge, deterministische Kausalität verloren ging, mußte sie ersetzt werden durch eine allgemeinere Kausalität, durch eine Wahrscheinlichkeitslogik, die die strenge Reihenkausalität als einen besonderen Fall enthielt. Das ist bei der „Stochastik“ der Fall. Die Stochastik untersucht und formuliert die sogenannten Gesetze der großen Zahlen sowie die seltenen Ereignisse, verschiedene aleatorische Vorgänge u. a. m. So führte 1954 das Unvermögen der Reihenmusik unter anderen Ursachen zu der indeterministischen Musik, die ich zwei Jahre später *Stochastische Musik* taufte. Die Gesetze der Wahrscheinlichkeitsrechnung traten mit Notwendigkeit in das Komponieren von Musik ein.

Aber es führten auch andere Wege zum selben stochastischen Ziel, so z. B. Naturscheinungen, wie der Aufprall von Hagel oder Regen auf harter Oberfläche, oder der sommerliche Gesang der Grillen. Diese globalen Klanggeschehen bestehen aus Tausenden von Einzelklängen, deren Vielzahl einen neuen Klang ergibt. Nun ist auch dieses Gesamtereignis in sich gegliedert und bildet eine zeitliche Plastik, die wiederum aleatorischen stochastischen Gesetzen folgt. Will man also eine große Anhäufung punktförmiger Töne, wie z. B. Streicher-Pizzicato, gestalten, so muß man diese mathematischen Gesetze kennen, die ja nur eine knappe Ausdrucksweise einer logischen Gedankenkette sind. Jeder hat schon eine politische Kundgebung von Zehn- oder Hunderttausenden von Menschen gehört. Das Menschenmeer bewegt sich im einzigen Rhythmus des Befehlswortes. Der nächste Befehl wird gegen die erste Reihe der Versammlung geschleudert und pflanzt wie eine Welle sich bis zur letzten fort. Der Lärm erfüllt die Stadt, die hemmende Kraft der Stimme und des Rhythmus erreicht einen Höhepunkt. Es ist ein Ereignis von Macht und Schönheit trotz seiner Grausamkeit. Dann kommt es zu einem Zusammenstoß zwischen den Demonstranten und dem Feind. Der vollendete Rhythmus des letzten Befehls geht unter in einem riesigen Aufwallen von chaotischem Geschrei, das sich wiederum von der ersten bis zur letzten Reihe fortpflanzt. Stellen Sie sich außerdem das Rattern von Dutzenden von Maschinengewehren und das Pfeifen der Kugeln vor, das diese vollkommene Unordnung akzentuiert. Schnell zerstreut sich die Menschenmasse: die Hölle, die sich unseren Augen und Ohren geoffenbart hatte, weicht einer verstimmten Stille, voll von Verzweiflung, Tod und Staub. Die statistischen Gesetze solcher Ereignisse sind — sieht man einmal

von ihrem politischen oder moralischen Inhalt ab — dieselben wie die der Grillen oder des Regens. Es sind die Gesetze des allmählichen oder explosiven Übergangs von vollkommener Ordnung in totale Unordnung. Es sind die Gesetze der Stochastik.

Damit berühren wir eines der großen Probleme, das die menschliche Intelligenz seit dem Altertum plagt, nämlich die kontinuierliche oder plötzliche Verwandlung. Die Trugschlüsse der Bewegung (Achilles und die Schildkröte) und der Definition (Kahlköpfigkeit: wieviele Haare muß man einem behaarten Schädel ausreißen, bis er kahl wird?) — besonders der letztere — werden statistisch, also stochastisch, gelöst. Nun kann man Kontinuität sowohl mit kontinuierlichen wie mit diskreten Elementen erzeugen. Eine Menge kurzer Streicher-Glissandi können ebenso gut einen kontinuierlichen Eindruck vermitteln wie eine Menge Pizzicato-Töne. Der Übergang vom diskreten zum kontinuierlichen Zustand läßt sich durch die Stochastik regeln. Alle diese erregenden Erfahrungen mache ich in Instrumentalwerken schon seit langem. Doch haben die Musiker Angst vor dem mathematischen Wesen dieser Musik, was die Aufführung erheblich erschwert.

Ein anderer Weg, der auch zum Indeterminismus führt, ist dieser: bei der Betrachtung z. B. der rhythmischen Variation kommt man zur Frage der Grenze der totalen Asymmetrie, also des vollständigen Bruchs der Kausalität zwischen den Tondauern. Ein frappierendes Beispiel dazu ist das Geräusch eines Geigerzählers in der Nähe einer radioaktiven Quelle. Die Stochastik gibt die Gesetze dafür.

Vor dem Schluß dieser kleinen Rundfahrt durch die reichen Ereignisse voll neuer Logik, die bis vor kurzem dem Gehör nicht zugänglich waren, möchte ich noch einen kleinen Abstecher machen. Sind die Glissandi lang und gut miteinander verflochten, ergeben sie kontinuierlich sich entwickelnde Klangräume. Eine der vielen Möglichkeiten sind die je ein Glissando repräsentierenden Geraden, die in der Körpergeometrie regelmäßige, aber nicht abwickelbare Oberflächen beschreiben. Dieses Experiment verwendete ich in *Metastasis* (1955, Donaueschingen). Als mich dann der Architekt Le Corbusier, dessen Mitarbeiter ich damals war, bat, ihm einen Vorschlag zum Bau des Philips-Pavillons der Brüsseler Weltausstellung zu machen, wurde mein Entwurf durch diese Erfahrung bereichert. Ich glaube, daß Ton- und Baukunst sich diesmal eng vermählt haben (vgl. *Revue technique Philips* 20 1).

Stochastische Gesetze und Verkörperungen

Stochastische Gesetze können alle die einzelnen und selbständigen Komponenten des Instrumentalklanges beherrschen. In bezug auf die Dauer, Intensität, Klangfarbe, Intervalle, Geschwindigkeiten und Klangwolken habe ich diese Gesetze schon in Heft 6 der *Gravesaner Blätter* aufgestellt. Wenden wir uns also der Anwendung dieser Gesetze zur Herstellung eines Musikwerkes zu.

Grundsätzliche Arbeitsgänge der musikalischen Komposition

- a. Erste Konzeption (Intuition, provisorische oder definitive Daten usw.)
- b. Definition der Klangelemente und ihrer symbolischen Darstellung soweit möglich (Instrumenten- und elektronische Klänge, Geräusche, Ansammlungen von vorgeschriebenen Klangelementen, diskrete oder kontinuierliche Zusammenstellungen usw.)
- c. Definition der Verwandlungen dieser Klangwesen im Laufe des Stückes
Makrokomposition: allgemeine Wahl des logischen Gerüsts, d. h. einfache algebraische Rechnungen und Aufstellung der Verhältnisse zwischen den Wesen oder den Wesengruppen und ihren unter b. angeführten Symbolen, Einteilung der vorhergehenden Stufen in der nicht umkehrbaren Zeit mittels Folge und Gleichzeitigkeit)
- d. Mikrokomposition: die ins einzelne gehende Wahl der funktionellen oder stochastischen Verhältnisse der Elemente unter b, d. h. (1) zeitunabhängige Algebra, (2) zeitabhängige Algebra
- e. Programmierung der Reihenfolge der Abschnitte c und d: Gesamtform des Werkes
- f. Rechnen, Prüfen der Resultate, Nachrechnen und endgültige Abänderungen der Gesamtform
- g. Endgültiges symbolisches Ergebnis des Programms: Partitur in traditioneller Notenschrift, zahlenmäßige Darstellungen, Graphiken usw.
- h. Verkörperung des Programms als Klang: direkte Orchesteraufführung, Verfahren in der Art der elektromagnetischen Musik, mechanische Herstellung von Klangwesen und deren Verwandlungen.

In Wirklichkeit ist die Reihenfolge dieser Stufen nicht starr — die einzelnen Stufen sind zumeist unbewußt und bleiben auch unvollständig, obwohl die Aufstellung dieser Liste dazu beiträgt, die Gedanken festzuhalten und einen Überblick zu schaffen. Elektronenrechner (Computer) können Stufen g, h und sogar f übernehmen, aber als einen ersten Versuch könnte man die Stufen f und g automatisieren. Das bedeutet, daß das endgültige symbolische Ergebnis nur durch ein Orchester oder durch Verfahren wie das der elektromagnetischen Musik verkörpert und durch die bestehenden elektroakustischen Übertragungsketten verbreitet werden kann, nicht aber durch eine gesteigerte Mechanisierung, die die Interpreten des Orchesters oder die Bandgeräte umginge und die mechanische Herstellung der Klangwesen und deren Verwandlungen übernehme, so wünschenswert das auch in einer nicht allzufernen Zukunft wäre.

Wir haben nun einige der stochastischen Gesetze aufgestellt (s. Heft 6) und die Methode angedeutet, durch die man sie bewegen kann, einige der Fragen, die die Musik stellt, zu beantworten. Nun aber erwidern sie das Feuer: jetzt stellen die stochastischen Werkzeuge eine grundsätzliche Frage:

„Was ist das zur Herstellung eines musikalischen Vorganges notwendige Minimum an logischer Einschränkung?“ Betrachten wir dafür wieder die obigen Arbeitsgänge:

b. Definition der Klangelemente . . .

Die Klangwesen des klassischen Orchesters können zur ersten Annäherung durch Vektoren von vier, normalerweise unabhängigen Veränderbaren E_r (c, h, g, u) dargestellt werden:

$c_a \dots$ = Klangfarbe oder Instrumentenfamilie
 $h_i \dots$ = Tonhöhe
 $g_j \dots$ = Klangintensität
 $u_k \dots$ = Tondauer

Der Vektor E_r bezeichnet einen Punkt M im Raum, der eine Basis $(\bar{c}, \bar{h}, \bar{g}, \bar{u})$ hat. Der Punkt M hat als Koordinaten die Zahlen c_a, h_i, g_j, u_k . Beispiel: der mit dem normalen Bogen gespielte Geigenton c^3 im Forte von der Dauer eines Achtels zu 240 MM wird durch die Folge c gestrichene Geige, $h_3 (= c^3)$, $g_4 (= forte)$, $u_5 (= 1/4 \text{ sek})$ dargestellt. Diese Punkte M kann man auf einer gerichteten Achse — nennen wir sie E_r -Achse — ordnen. Man kann auch eine zweite Achse t , im rechten Winkel zur E_r -Achse, am Ursprung hinzufügen. Auf dieser Achse wird die unumkehrbare zeitliche Reihenfolge der Punkte M eingetragen. Man hat unumkehrbar zeitliche Reihenfolge der Punkte M eingetragen. Man hat also einen zweidimensionalen Raum (E_r, t) bezeichnet. Somit können wir zu den Stufen c . Definition der Verwandlungen . . . und d . Mikrokomposition . . . übergehen, die die Antwort auf unsere Frage der kleinsten Einschränkung enthalten dürften.

Zu diesem Zweck kann man annehmen, daß die Punkte M ohne jede andere Notwendigkeit als der eines gedächtnislosen, aleatorischen Gesetzes erscheinen können. Damit wird gleichzeitig eine stochastische Verteilung der Ereignisse E_r im Raum (E_r, t) aufgestellt. Nimmt man eine sehr niedrige Oberflächenverteilung n an, so kommt man in das Gebiet, wo das Poissonsche Gesetz zutrifft:

$$P_k = \frac{n^k}{K!} e^{-n}$$

Andererseits kann man das Problem als eine Synthese von mehreren passend gewählten linearen stochastischen Vorgängen (Gesetz der radioaktiven Ausstrahlung) betrachten, eine Methode, die einer Mechanisierung wohl besser zukommt.

Ein genügend langes Fragment dieser Verteilung bildet das Musikwerk. Das dabei definierte Grundgesetz umschließt eine ganze Familie von Werken als Funktion der Oberflächendichte n . Somit haben wir eine Urgestalt von Werken, deren Grundbestreben es ist, die *größtmögliche Asymmetrie* (im etymologischen Sinne) und die *kleinstmöglichen Einschränkungen* zu erreichen. Von diesem Urtyp aus kann man die Leiter der Formen wieder herabsteigen und eine steigende Anzahl von Einschränkungen einführen. In der Analyse von mehreren linearen Vorgängen sind auch andere Vorgänge zulässig, wie z. B. die von Wiener-Lévy, die unendlich teilbaren Zahlen von P. Lévy, Markoviens usw. sowie Mischungen. Gerade dadurch wird diese zweite Verteilungsmethode besonders fruchtbar.

Die Untersuchung der Grenzen a und b dieser Urgestalt $a \leq n \leq b$ ist ebenso interessant, jedoch auf einer anderen Ebene, der der Vergleichung der Muster untereinander. Das setzt eine Abstufung der Inkremente von n voraus, damit die Unterschiede zwischen den Familien n_i erkennbar werden. Ähnliche Bemerkungen gelten für andere lineare Vorgänge.

Wählt man nun einen Poissonschen Vorgang, dann braucht man zwei Hypothesen, um die Frage der kleinsten Einschränkung zu beantworten: 1. in einem gegebenen Raum sind Instrumente und Menschen vorhanden, 2. zwischen diesen Menschen und Instrumenten bestehen Verbindungsmöglichkeiten, die die Ausstrahlung von Instrumentalklangen ermöglichen.

Weitere Hypothesen gibt es nicht. Nur durch diese beiden Einschränkungen und die Stochastik bedingt, und ohne jedes andere Gesetz zuzulassen, wurde ein ganzes Werk gebaut: *Achorripsis* für 21 Instrumente, 1956/57 komponiert und 1958 von Hermann Scherchen in Buenos Aires uraufgeführt (vgl. Gravesaner Blätter 11/12, „Auf der Suche nach einer stochastischen Musik“).

Kann man die ersten Schritte durch den Vorgang: Schauen $\rightarrow$ Gesetze $\rightarrow$ Werk zusammenfassen, so führt das Problem der kleinsten Einschränkung zur Umkehrung desselben: Gesetze $\rightarrow$ Schauen: die Stochastik ermöglicht philosophisches Schauen, wie das Beispiel von *Achorripsis* beweist.

Random-Improvisieren

Weiteren Verallgemeinerungen über das Wesen des Komponierens müssen Betrachtungen über das Prinzip der Improvisation vorausgehen — sie ist der Fimmel der Neoseriellen, der ihnen ein vermeintliches Recht gibt, über den Zufall, das aleatorische Element, zu sprechen, das sie damit in ihrer Musik loslassen. Zunächst schreiben sie Partituren, in denen gewisse Kombinationen vom Interpretieren frei zu wählen sind. Offensichtlich betrachten diese Komponisten verschiedene Wege durch ein Werk als gleich-

bedeutend. Doch kann man zwei Denkfehler aufzeigen, die ihnen das Recht, einerseits vom Zufall, andererseits von „Komposition“ (im weitesten Sinne natürlich) zu sprechen, entziehen:

- a. Der Interpret ist ein stark gerichtetes Wesen, der die Bezeichnung der unbedingten Wahl oder des Roulette-Interpretieren nicht zuläßt.
- b. Das Eingeständnis der Gleichwertigkeit mehrerer möglicher Wege ist so gut wie eine Abdankung des Komponisten. Im Namen des Systems verrät er die Wahl — der Interpret wird zum Rang des Komponisten vom Komponisten selbst erhoben: eine Vertauschung der Verfasser.

Die extremste Übertreibung dieser Einstellung ist das Zeichnen irgendwelcher graphischen Zeichen, die der Interpret dann „liest“, um das Ganze zu improvisieren. Hier werden die beiden genannten Denkfehler ins Unermessliche gesteigert. Man stelle sich doch einmal vor, dieses Bild wird auf dem Notenpult eines Flügels vor den Augen eines großen Pianisten, eines unvergleichlichen Chopinspielers aufgestellt: könnte es sein, daß das Ergebnis vielleicht ein wenig vom Stil Chopins gefärbt wäre, und zwar in der Art, in der man Klavierkonzerte mit freien Kadenzten zu zieren pflegte? Was vom Standpunkt des Komponisten ohne jegliches Interesse wäre.

Man kann im Gegenteil zwei Folgerungen ziehen: erstens, daß die Reihemusik so abgeschmakt geworden ist, daß sie sich wie Chopin improvisieren läßt, zweitens, daß der Komponist völlig abdankt, weil er nichts mehr zu sagen hat und seine Aufgabe den Malern oder Keilnuten überläßt!

Der Zufall wird errechnet

Um mit dieser These des Roulette-Musikers Schluß zu machen, möchte ich noch folgendes sagen: Der Zufall ist etwas äußerst Seltenes und schwer Erreichbares — mit der Hilfe von komplizierten Denkvorgängen, die man in mathematische Formeln zusammenfassen kann, kann man ihn mit ziemlicher Schwierigkeit bis zu einem gewissen Grade konstruieren, aber nie und nimmer ihn improvisieren oder irgendwie spontan nachahmen. Der Mathematiker Emile Borel, der einer der größten Spezialisten der Wahrscheinlichkeitsrechnung war, hat die Unmöglichkeit, den Zufall nachzuahmen, eindeutig bewiesen. Sofern man nicht den Entschluß faßt, die Töne mit Hilfe von — Würfeln zu spielen . . . Ist man aber einmal über diese Vorstufe des Zufalls hinausgewachsen, so garantiert die Aleatorik oder Stochastik in einem wohlumschriebenen Gebiet zunächst Sicherheit vor Fußangeln und stellt dann ein mächtiges Mittel bereit, die Musik zu durchdenken und zu bereichern.

Verallgemeinerte stochastische Komposition

Die erste Behauptung in dieser Beziehung ist: Nicht nur in der Instrumentalmusik, sondern auch in allen Arten der elektromagnetischen Musik ist die Stochastik wertvoll, wie ich schon mit einigen Werken bewiesen habe: *Diamorphoses* (1957/58) und *Concret PH* (Elektronisches Gedicht des Pavillon Philips der Brüsseler Weltausstellung, 1958). Die zweite Behauptung ist, daß sie auch zur Schöpfung neuer Klänge und neuer Formen führen kann. Um das zu verstehen, braucht man zunächst eine Hypothese über das Wesen des Schalls — jeden Schalls:

Der Schall besteht aus Quanten oder Partikeln. Jeder Schall besteht aus Systemen elementarer Partikel, die durch eine mittlere reine Frequenz, eine mittlere Intensität und eine sehr kurze Dauer bezeichnet werden und die augenblicklich erscheinen und wieder verschwinden.

Diese atomare Hypothese wird durch die von Gabor in die Informationstheorie eingeführte Theorie des elementaren akustischen Signals bestätigt. Sie führt zu einer Gaußschen glockenförmigen Hüllkurve im Zeit-Frequenz-Pegel-Raum. Außerdem hebt A. Moles seit vielen Jahren die Quantifizierung der Schallwahrnehmung hervor (s. „Théorie de l'Information et Perception Esthétique“, Flammarion, Paris). Diese zwei Ausgangspunkte haben mich dazu gebracht, die Quantenhypothese auch der musikalischen Komposition zu formulieren, und in den Gravesaner Blättern (Heft 18 ff.) habe ich diese in bezug auf den Moles'schen Zeit-Frequenz-Pegel-Raum ziemlich genau beschrieben. Mit dieser Hilfe habe ich schon einige Werke gemacht, aber der größte Teil harrt noch der Erschließung (*Analogique A* für Streicher, 1958; *Analogique B* für elektronische Klänge, 1959; *Syrmos* für Streicher, 1959).

Erweiterung der Stochastik — musikalische Kriegsführung

Autonome Musik. Der Komponist begründet eine Gestalt, der der Dirigent und die Spieler mehr oder weniger genau zu folgen haben. Von den allerletzten Einzelheiten, den Tönen, Akzenten, Intensitäten, Klangfarben, Spielarten bis zur Gesamtform ist praktisch alles in die Partitur hineingeschrieben. Sogar im Falle, daß der Verfasser dem Dirigenten, dem Spieler, der Maschine oder allen dreien einen größeren oder kleineren Spielraum zur Improvisation gelassen hat, verfolgt das Stück einen geraden Weg *ohne Wiederholungsschleifen*. Das Modell, die Partitur, die ihnen fertig gegeben ist, erzeugt außer der technisch guten Aufführung und des vom Verfasser gewollten oder angedeuteten „musikalischen Ausdrucks“ *keinen Konflikt*. Diesen Widerstand zwischen dem verwirklichten Klang

und dem symbolischen Schema, an das er sich zu halten hat, könnte man *inneren Konflikt* nennen: Dirigenten, Spieler und Maschinen sind in der Rolle von Vergleichs- und Berichtigungssystemen, die man mit untergeordneten Systemen, z. B. Profile erzeugenden Schleifern, vergleichen kann. Man kann allgemein sagen, daß die bisher geschriebenen Werke die technischen und sogar die ästhetischen Probleme und Widerstände in sich *ein-schließen*. Die Spannungen sind schon in der Partitur enthalten, auch wenn die Partitur stochastisch ist. Diese herkömmliche Art des inneren Konflikts kann als die Definition der AUTONOMEN MUSIK gelten.

Heteronome Musik. Es wäre jedoch interessant und wahrscheinlich sehr aufschlußreich, sich eine andere Musikart vorzustellen, die einen *äußeren Konflikt* zwischen z. B. zwei sich begegnenden Orchestern oder Spielern erzeugt. Das Spiel der einen Seite würde das Spiel der anderen beeinflussen und umgekehrt, und würde zu einer Musik führen, die sich durch eine sehr strenge, wenn auch oft stochastische Folge von klanglichen Gegensätzen auszeichnet, die, *sowohl* von dem Willen der beiden (oder mehrerer) Dirigenten *als auch* des Verfassers bestimmt, in einer höheren Dialektik der Harmonie ausgetragen würden. Jeder der beiden Dirigenten führt seine *Taktik gegen* den anderen wie in einem *Duell*, das man in einer Matrize mathematisch erfassen kann.

Ein äußerer Konflikt, eine *Heteronomie* ist gar nichts Neues in der Musik. Es gibt Volksmusiken in Europa und in anderen Erdteilen, bei denen unter bestimmten musikalischen Voraussetzungen zwei Spieler sich gegenseitig aus dem Sattel heben sollen. Einer ergreift die Initiative und versucht, den andern rhythmisch oder melodisch abzuwimmeln — dabei bleibt das Ganze im musikalischen Zusammenhang der Tradition, die diese besondere Art von Improvisation erlaubt. In Indien ist diese gegensätzliche Virtuosität besonders verbreitet, vor allem unter *Tabla-* und *Sitharspielern*. Eine auf der modernen Wissenschaft fußende *musikalische Heteronomie* legitimiert sich also sogar den größten Konformisten. Doch ist ja nicht die historische Rechtfertigung eines neuen Abenteuers die Hauptsache, sondern im Gegenteil die Bereicherung, der Sprung vorwärts gilt allein. Die Stochastik ermöglicht dies hier genau wie in der seriellen und der autonomen Musik (s. *Duel*, 1960, Partitur für zwei Dirigenten und zwei Orchester).

Schlüsse und Erweiterungen

Ich habe die großen Rahmen einer Kunsthaltung umrissen, die zum ersten Mal die Mathematik von drei grundsätzlichen Blickpunkten aus verwertet:

1. als philosophische Zusammenfassung des Wesens und dessen Entwicklung; Beispiel: das Poissonsche Gesetz;

2. als qualitative Unterstützung und logischen Mechanismus; Beispiel: Theorie der Mengen, Theorie der Kettenereignisse, Theorie der Spiele;
3. als Meßinstrument, das die Forschung, Realisierung und die Wahrnehmung verfeinert; Beispiel: Entropierechnung, Matrixrechnung, Vektorenrechnung (s. Heft 6, 11/12 18 ff.).

Musik machen heißt: menschliche Intelligenz als Schall ausdrücken — Intelligenz im weitesten Sinne, der nicht nur die Pfade der reinen Logik, sondern auch die der Logik der Affekte und der Intuition einschließt. Erscheinen die hier dargestellten Techniken oft streng in ihrer inneren Struktur, so lassen sie doch genügend Lücken, durch die die kompliziertesten und geheimnisvollsten Seiten der Intelligenz eindringen können. Diese Techniken bewegen sich ständig zwischen den zwei alten Polen des Determinismus, der Fatalität, und des freien Willens, der unbedingten Wahl, die die moderne Wissenschaft und Philosophie vereint haben. Zwischen diesen beiden Polen bewegt sich auch das Leben des Alltags, zum Teil vorausbestimmt, zum Teil beeinflussbar, mit allen Abstufungen der ineinandergeschlungenen Ursachen und deren Ausdeutungen.

Die Stochastik ist in Wirklichkeit ein Führer, der in allen Bereichen dem heutigen Denken entspricht. Sie stellt die Tonkunst sofort auf einen allgemeinen Boden und hilft ihr, wieder die Sterne, die Zahlen und den Reichtum des menschlichen Gehirns zu erreichen, wie es einst in den großen Perioden der alten Zivilisationen war.

Die Bewegungen der Klänge, die konsonante Bewegungen in uns hervorrufen, „... verhelfen zu einer groben Lust denjenigen, die der Vernunft entbehren, die die in den flüchtigen Bewegungen verwirklichte göttliche Harmonie nachahmt.“ (Platon)

Zwar sind die hier verteidigten Thesen nur ein erster Entwurf, doch fehlen ihnen, wie gesagt, schon nicht die praktischen Anwendungen, und sogar gewisse Erweiterungen lassen sie zu. Es wurden anfangs die anderen Sinne erwähnt, und so kann man sich auch die Anwendungen einer allgemeinen stochastischen Komposition auf das Sehen vorstellen. Statt Schallpartikel hätte man Lichtquanten, d. h. Photonen. Die Komponenten der atomaren Schallhypothese: Intensität, Frequenz, Dichte und unumkehrbare Zeit, werden nun auf die Photonen angewandt. Eine einzelne Photonenquelle, eine Photonenkanone, könnte theoretisch durch die Ausstrahlung von Photonen einer beliebigen Frequenz und beliebiger Energie- und Dichtepiegel Lichtwesen von der Art der beschriebenen Klangwesen erzeugen. Der Lichtstrom wäre analog der einer einzigen Schallquelle entstammenden Musik. Fügen wir die Raumordinaten hinzu, erhalten wir eine räumliche Licht-Musik, eine Art von Stereo-Licht. Man braucht nur genügend Photonenkanonen, um einen bestimmten Lichtraum zu erhellen. Technisch ist

das schon möglich, doch müßten die Maler aus ihrem Handwerkerschlaf aufwachen und ihre Pinsel und Hände einmal fortlassen, sonst müßten neuartige Künstler des Sehens diese neuen Ideen, diese neuen Techniken und diese neuen Bedürfnisse erobern.

Eine neue und reiche Kunst des Sehens kann erscheinen, deren Entwicklung von elektronischen Riesengehirnen bestimmt wäre. Diese Werkzeuge sind nicht nur für Raketenrechnung und Preisindexe, sondern auch für das Kunstleben der Zukunft wertvoll. In einer totalen audiovisuellen Offenbarung regeln sie dank der künstlerischen Wissenschaften die kompositorische Intelligenz von Maschinen im Dienste übergeordneter Maschinen, die ihrerseits dem Menschen unterstehen.

Stochastic Music

by

IANNIS XENAKIS

I should like first of all to acknowledge Professor Hermann Scherchen's moral and active support — in his capacity as a conductor and publisher — of all my years of effort to introduce universal mathematical and logical thinking into musical composition, the first result of which is *Stochastic Music*. I would even go so far as to say that Stochastic Music was born somewhere on an imaginary line connecting Gravesano to Paris where I live. At the risk of offending his modesty, let me say that Professor Hermann Scherchen was for Stochastic Music and for me, as for so many others, a kind of *accoucheur*, a *μαιευτήρ* in a Socratic sense.

*

A historic parallel can be drawn between European music and the successive attempts at explaining the world by reason. Causal and deterministic music of antiquity was already powerfully influenced by the Pythagorean school and that of Plato. Plato was very definite about causality: "... for it is impossible for anything that is to have been born without a cause." Strict causality was maintained into the 19th century, until it was brutally but beneficently transformed by statistical theories of physics. In fact, the idea of chance (*τυχη*), related to those of disorder (*ἀταξία*) and disorganization had since the days of antiquity been considered as opposed to, or the very negation of, reason (*λογος*), order (*τάξις*) and organization (*συστάσις*). It has been only since recent times that knowledge has been able to penetrate into chance and discern different degrees even there; chance has been rationalized progressively, although there has been no successful explanation as yet of the problem of "pure chance".

Running some decades behind science, music also broke with the function of tonality and followed a road parallel to that of physics, which was however soon barred by the nearly absolute determinism of serial music.

It is not surprising that the presence or absence of the principle of causality first of all in philosophy and then in science could influence musical composition and make it follow roads which apparently diverged but in reality all led to the Theory of Probability and eventually to polyvalent logics, which is a kind of generalization or enrichment of the principle of causality. The explanation of the world, and hence of the phenomena of sound surrounding us already or capable of being created,

necessitated (and profited by) the enlargement of the principle of causality based on the law of large numbers. This law implies an asymptotic evolution towards a stable state, towards a kind of end, of *στοχός*, which is probably the root of the adjective *stochastic*.

But everything included in pure determinism, or less pure indeterminism, is subject to the fundamental operational laws of logics, which has resulted in mathematical thinking under the name of General Algebra. These laws operate on isolated elements or groups of elements by operations, the most primitive of which are reunion $\cup$ and intersection $\cap$. Negation, equivalence, implication and quantification are the elementary relationships from which all present-day science can be built up.

Music can therefore be defined as an organization of operations and of elementary relationships among the elements or functions of elements of sound. Not only new works can be constructed in this way, but old works can be better understood, by the help of the queen of science and, I would say, also of art, Logic, or its mathematical form, Algebra. For everything said here about music applies equally well to all other arts.

From this very general, fundamental point of view, from which we are going to examine and *make* music, primary Time appears as a kind of modelling wax or clay into which the operations and relations will be inscribed or engraved, first of all for the purpose of the work in hand, and finally for the purpose of communication to others. This is where the asymmetrical, irreversible nature of Time is used (*B* following *A* & *A* following *B*), while metric (symmetrical), reversible Time is subject to the same laws of logic and can also be of use in considerations of organization. The remarkable thing is that these fundamental concepts necessary to Construction can be found again in man from his most tender childhood on (cf. Jean Piaget, "Le développement de la Notion de Temps chez l'enfant", Presses Universitaires de France).

After that brief summary of the background to this work, let us now turn to stochastic music itself. The first task is to make an abstraction of all conventions and exercise a fundamental critical capacity as regards all acts of thought and their materialization. What does a musical work present at construction level? It presents a collection of successions meant to be causal. When, to simplify matters, the major scale differentiated tonal functions in hierarchies, led by the tonic, dominant and subdominant which were surrounded by the other tones, it structured linearity (melody) and simultaneity (chords) in a very deterministic way. Then, when the Viennese dodecaphonic school had been unable logically to master Atonalist indeterminism, they reverted to a type of organization which was extremely causal in a strict sense, although more abstract than tonality, and this was their great merit. Messiaen generalized this venture, taking the great step to systematize abstraction of all the variables of instrumental

music. The paradox is that he used modal music to do this. He created a multimodal music which was immediately imitated by the serialists. Messiaen's abstract systematization was from the beginning more justified than multiserial music, and it is from it that the postwar neo-serial composers drew all their strength. In the wake of the Viennese school and Messiaen, not forgetting occasional borrowings from Strawinsky and Debussy, they could now walk with their eyes closed and proclaim the truth louder than all the others.

Other currents were also gaining in strength, the most important of which was the systematic exploration of the elements of sound, of new instruments, and of "noise". Varèse was the pioneer and electromagnetic music was the beneficiary (considering electronic music as a tributary of instrumental music). However, no one ever consciously worried about problems of construction and form in electromagnetic music, while multiserial music, as a fusion of Messiaen's multimodality and the Viennese series, stayed at the core of music's fundamental problem.

But it had lost its wind already in 1954, for the absolutely deterministic complexity of operations and hence of works led to ideological and audible nonsense. I observed on this development in Vol. 1 of the Gravesano Review in an article entitled "La crise de la musique sérielle":

"Linear polyphony is destroying itself by its present complexity. What is heard is in reality nothing but a mass of notes at various registers. The enormous complexity prevents the listener from following the development of the various lines and results in the macroscopic effect of an irrational and accidental dispersion of sounds throughout the whole tonal spectrum. This is a severe contradiction between the linear polyphonic system and the result actually heard, which is just surface, mass. This contradiction inherent to polyphony disappears if the sounds are given complete independence. When linear combinations and their polyphonic superpositions are put out of action, the only thing that will still count will be the statistical mean of isolated states and transformations of the components at a given instant. The macroscopic effect will then be controlled by the mean movement of objects, as chosen by the composer. This will result in probability being introduced. Here we have in a few words the way the 'linear category' of musical thinking can be overcome."

This article was the bridge by which mathematics was introduced into music, for if the neo-serialists' strict, determinist causality went down the drain of complexity, it needed to be replaced by a more general causality, by a logic of probability including strict serial causality as a special case. This is "Stochastics". Stochastics is the study and expression of the laws of large numbers and of rare events, various random processes, etc. Thus, the impasse of serial music, among other causes, resulted in the birth, in

1954, of an indeterminist music which I baptised *Stochastic Music* two years later. The laws of probability entered into musical composition by necessity.

But other roads also led to stochasticism, such as first of all natural events like the beating of hailstones or rain on a hard surface, or the song of crickets in a summer meadow. These global sounds are made up of thousands of isolated sounds, the large number of which creates a new sound when they are heard as a mass. Now this mass event is articulated and variable in time, again following random, stochastic laws. Anyone wishing to amass a multitude of point notes, such as string pizzicato, must know the mathematical laws, which are no more and no less than a shorthand way of expressing a chain of logical reasoning. Everybody knows the sound which a political assembly of tens or hundreds of thousands of people makes. The human river scans a shouted order in a unanimous rhythm. Another order is then shouted at the van of the crowd and is propelled to the rear, replacing the first as a wave going through the people. Clamour fills the whole town, the inhibiting force of the voice and of rhythm reaches a climax. It is an event of power and beauty in its ferocity. Then it comes to a shock between the demonstrators and the enemy: the perfect rhythm of the last order is broken in a huge and chaotic mass of shouting, which is again propelled to the rear. Imagine on top of this the rattle of dozens of machine guns and the whistle of bullets punctuating the utter disorder. Rapidly the crowd is dispersed — the aural and visual hell is followed by a mistuned calm full of despair, death and dust. The statistical laws of such events, once they have been bereft of their political or moral content, are the same as those of crickets or the rain: they are the laws of the transition of perfect order into total disorder, continuously or explosively. They are the laws of stochastics.

We are touching here on the great problems which have haunted the greatest minds since the days of antiquity, namely the problem of continuous or discontinuous (discreet) transformation. The fallacies of movement (Achilles and the tortoise) and of definition (baldness) — especially the latter — are solved by statistical definition, i. e. by stochastics. Continuity can be obtained by either continuous or discreet elements. A large number of short string glissandos can give an impression of continuity, just as a large number of pizzicato notes can. The transition from the discreet to the continuous state can be regulated by means of stochastics. I have been having all these exciting experiences in instrumental works for a long time. But the mathematical nature of this music has frightened musicians and has made their approach to it extremely difficult.

Let us look at yet another direction which also converges towards indeterminism. The study of rhythmic variation also sets the problem of

knowing the limit of complete asymmetry and hence the complete rupture of causality among time values. The sound of a Geiger counter near a radioactive source gives a striking example of this. Its laws, too, are provided by stochastics.

Please permit me a little digression in closing this short round trip through these rich events full of a new logic, inaccessible to aural experience until recently. If the glissandos are long and sufficiently interlaced, they will result in a continuously evolving area of sound. One possibility of controlling this is given if the glissandos, represented by straight lines, are used to describe non-developable surfaces. This experiment was carried out in my *Metastasis*, first performed at Donaueschingen in 1955. Some years later I was asked by the architect Le Corbusier, with whom I was working at the time, to make him a suggestion for the Philips Pavilion at the Brussels World's Fair which he was designing, and I was inspired in this by my experience gained in *Metastasis*. I believe that by this means music and architecture were able to go into an intimate relationship (cf. Philips Technical Review 20 1).

Stochastic Laws and Incarnations

Here are some of the stochastic laws I have used in my compositions in the last few years. We shall examine the individual components of instrumental sound, one by one.

Duration. Metric time is considered as a straight line along which the points corresponding to variations of the other components are to be entered. The distance between two points is defined as the duration. Which of all possible series of points is the one to be chosen? There is no sense in the question put that way.

Instead, a mean number of points per unit length is assumed. The question becomes: How many segments will be equal to a given length?

The following equation comes from continuous probability reasoning and gives the probability for all possible lengths if the mean number of points randomly placed on a straight line is known:

$$P_x = \delta e^{-\delta x} dx$$

where δ is the linear point density and x the length of any segment.

If we now choose our points and compare them to a theoretical distribution following the preceding law or any other distribution, we can deduce the amount of chance in our particular choice or the more or less rigorous adaption of our choice to a law of distribution which can even be quite functional. This comparison is made with the aid of tests, the most common of which is Pearson's criterion χ^2 . In our case, in which

all the sound components are measurable to a first approximation, it will be better to use the correlation coefficient. It is known that if the correlation coefficient of two populations is ± 1 , these populations are in functional linear relation to each other. If the coefficient is 0, they are independent of each other. All intermediate degrees are possible, signifying relationships of varying degrees of strictness.

Clouds of sounds. Let us assume a given duration and a collection of defined point sounds occurring in the intensity-pitch plane within that duration. The mean surface density of this cloud of sounds being known, what are the probabilities of finding a particular density in a particular region of the intensity-pitch plane? This question is answered by Poisson's law:

$$P_{\mu} = \frac{\mu_0^{\mu}}{\mu!} e^{-\mu_0}$$

μ_0 is the mean density, μ any density. As with the durations, comparison with other sound distributions can determine the law which we wish our cloud to follow.

Intensities, Timbres, Intervals, etc. The simplest law for these variables is

$$\Theta(\gamma) d\gamma = \frac{2}{a} \left(1 - \frac{\gamma}{a}\right) d\gamma$$

which gives the probability with which a segment s (intensity interval, melodic interval, etc.) within a segment of length a will have a length between γ and $\gamma + d\gamma$, where $0 \leq \gamma \leq a$.

Speeds. The point, or granular, sounds mentioned so far are only special cases of continuously varying sounds, including glissandos, of which we choose the simplest, in which the pitch change is uniform. This sliding sound can be perceived by the senses and by physics by the mathematical concept of speed. Hence we derive single dimension vector representation, the scalar value of the vector being given by the hypotenuse of the right angled triangle whose other two sides are the duration and the melodic interval through which the glissando passes. This enables certain mathematical operations at once. The traditional sounds of wind instruments are only special cases in which speed = 0. Upward glissando is given a positive, downward a negative sign.

We are now going to make some logical and very simple hypotheses which will lead us to an equation of the distribution of speeds. The reasoning following is really one of these "poems of logic" which human intelligence can secrete to trap the superficial incoherences of physical

phenomena but which can boomerang to serve as a starting point for the building of elements which are abstract first of all but which can turn into incarnations of sound or light. Let us take an example:

Hypothesis of homogeneity:

1. The density of sounds in motion is constant. This means that any two frequency spectrum regions of equal size contain the same number of sounds in motion (glissandos).
2. The absolute value of the speeds (ascending or descending glissandos) is uniformly distributed. This means that the root mean square speed of moving sounds is the same in all registers.
3. There is a state of isotropy. This means that there is in no register a preference in the direction of movement: ascending and descending sounds are in equal number.

Starting from these symmetry hypotheses, let us define the function $f(v)$ which is the probability of an absolute speed v occurring: $f(v)$ is the relative frequency of occurrence of the speed v .

Let n be the number of glissandos per unit pitch register (density of moving sounds) and r any compass taken within that register. Then the number of sounds moving at a speed of a positive value between v and $v + dv$ according to hypotheses (1) and (3) is

$$\frac{1}{2} nr f(v) dv$$

where $\frac{1}{2}$ is the probability for $+$ or $-$.

According to hypothesis (2), the number of sounds moving at the absolute speed v is a function depending only on v^2 . Let $g(v^2)$ be that function. We obtain the equation

$$\frac{1}{2} nr f(v) dv = nr g(v^2) dv$$

Also, if $|\pm x| = v$, the probability $g(v^2)$ will be equal to the probability H of x .

Hence,

$$g(v^2) = H(x)$$

or

$$\log g(v^2) = h(x)$$

For $h(x)$ to depend only on $x^2 = v^2$ it is necessary and sufficient for the differential equations

$$d \log g(v^2) = h'(x) dx$$

and

$$v dv = x dx$$

to be in constant relationship:

$$\frac{d \log g(v^2)}{v dv} = \frac{h'(x) dx}{x dx} = \text{constant} = -2j$$

whence

$$b'(x) = -2jx, \quad b(x) = -jx^2 + c, \quad \text{and} \quad H(x) = ke^{-jx^2}$$

But $H(x)$ is a function of elementary probabilities, hence its integral from $-\infty$ to $+\infty$ must equal 1; j is positive and $k = \sqrt{\frac{j}{\pi}}$; if $j = \frac{1}{a^2}$, we get

$$\frac{1}{2} f(v) = g(v^2) = H(x) = \frac{1}{a\sqrt{\pi}} e^{-\frac{v^2}{a^2}}$$

and

$$f(v) = \frac{2}{a\sqrt{\pi}} e^{-\frac{v^2}{a^2}}$$

for

$$v = |\pm x|$$

which is a Gauss distribution.

This chain of reasoning follows Maxwell, who founded the Kinetic Theory of Gases together with Boltzmann. The function $f(v)$ gives the probability of the speed v occurring, the constant a defines the "temperature" of this atmosphere of sound. The arithmetic mean d of v is equal to $\frac{a}{\sqrt{\pi}}$ and the type of deviation is $\frac{a}{\sqrt{2}}$ Gravesano Review

Vol. 6 contains an example from *Pithoprakta* first performed by Hermann Scherchen at Munich in 1957. The graphs represent a collection of speeds of a temperature proportional to $a = 35$. Time is shown along the abscissa. The unit of time is 5 cm = 26 MM. The unit is divided into three, four and five equal parts, permitting differential durations which are very short. The binary logarithm of frequency is shown along the ordinate. Each broken line is due to one of 45 stringed instruments. Each straight line represents a speed taken from the probability table calculated by the equation

$$f(v) = \frac{2}{a\sqrt{\pi}} e^{-\frac{v^2}{a^2}}$$

For this passage, extending from bar 52 to bar 60 and having a duration of 18.5 seconds, a total of 1148 speeds in Gaussian distribution, comprising 58 distinct values, were calculated and drawn. As the distribution is Gaussian, the macroscopic configuration is a finely shaded modulation of the sound. The same passage was transcribed into traditional notation. We thus have, in summary, a paste of sound of which

1. the durations do not vary,
2. the mass of pitch is freely modulated,

3. the sound density is constant at each instant,
4. the dynamics are *ff* without variation,
5. the timbre is constant,
6. the speeds determine a "temperature" which is subject to local fluctuation of Gaussian distribution.

As has already been observed, more or less strict relationships can be established among the components of the sounds. Some possible cases are indicated in the same Vol. 6 of the Gravesano Review. The most usual indicated in the same Vol. 6 of the Gravesano Review. The most usual x and y is

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

where $\bar{x}$ and $\bar{y}$ are the arithmetic means of the two variables.

There we have, then, the technical aspect of the beginnings of the application of the probability theory and calculus to musical composition. With the foregoing, we can already:

a. control continuous transformations of large collections of discreet or continuous sounds. Densities, durations, registers, speeds, etc. can be made to submit to the laws of large numbers, with the necessary approximations. With the means and deviations we can shape these collections and make them evolve in different directions. The best known direction is the one from order to disorder and vice versa. The concept of entropy is introduced here. But other continuous transformations can also be thought of, such as a collection of plucked notes which are continuously transformed into bowed notes, or, in electromagnetic music, changing one kind of sound into another while insuring an organic connection between the two kinds. As an illustration of this, we can recall the Greek sophism about baldness: "How many hairs must be removed from a hairy head for it to become bald?" This problem can be solved by deviations in the theory of probability and is known as *statistical definition*;

b. control a possibly sudden transformation when the deviations from the mean suddenly reach exceptional values;

c. compare highly improbable facts to average facts;

d. control and produce very rarified sound atmospheres by means of laws such as Poisson's; this means that music for a solo instrument can also be composed by *stochastics*.

These laws, met with in recent times in such a host of domains, are the very jewels of contemporary thinking. They reign over the appearance of beings and their further becoming. But it must be well understood that they are not the end, but the wonderful tools, of the balustrades of logics

But now there is a return of fire. This time, it is for the stochastic tools to ask a fundamental question: "What is the minimum of logical constraint

the scale of forms, by introducing a progressively increasing number of restraining factors, i. e. of choices, restrictions, of *don'ts*. In the analysis of several linear events, we can also admit other events, e. g. those of Wiener-Lévy, the infinitely divisible numbers of P. Lévy, Markoviens, etc., or mixtures. It is this which makes this second method of distribution more fertile.

It is also interesting to explore the limits *a* and *b* of this archetype, where $a \leq n \leq b$, but the interest in this case lies on another plane, namely the mutual comparison of samples. In fact, this implies a gradation of increments of *n* for the differences among the families n_i to become recognizeable. Similar remarks apply to the other linear events.

If we choose a Poisson event, there will be two hypotheses necessary to answer the question of minimum constraint:

1. in a given space there are musical instruments and people,
2. between these instruments and these people there are means of contact enabling the emission of instrumental sounds.

There are no other hypotheses. With only these two conditions and stochastics, a whole work was constructed. No other restriction was admitted. It is *Achorriopsis*, for 21 instruments, composed in 1956/7 and first performed by Hermann Scherchen at Buenos Aires in 1958 (cf. Gravesano Review Vol. 11/12).

If the first steps could be summed up by the process, vision $\rightarrow$ rules $\rightarrow$ opus, the question of the minimum constraint resulted in a reverse process, rules $\rightarrow$ vision. Stochastics actually allows a philosophic vision, as proved by *Achorriopsis*.

Random Improvisation

Before generalizing any further about the essence of musical composition, mention must be made of the principle of improvisation which was such a howling success with the neo-serial composers, making them think that they have a right to talk about chance, about the random element they thus introduce into their music. They start off by writing down certain freely chosen combinations. Evidently they take the various possible playing orders as being equivalent. Now, two mistakes of logic deprive them of the right to speak of chance on the one hand and of "composition" on the other (composition in a wide sense, of course):

- a. the interpreter has very definite leanings and prejudices, so that it is incorrect to speak of unprejudiced choice, of a random or "roulette" interpreter;

- b. it is surrender for the composer to admit the equivalence of various possible ways through a composition. He betrays the problem of choice in the name of the scheme — the interpreter is promoted to the rank of composer by the composer himself: a case of substitution of authors.

The extreme case of this attitude is the one in which some sort of graphical symbols are put down on paper, and the interpreter improvises the whole thing while "reading" them. This grossly exaggerates the two mistakes of logic just mentioned. Suppose this "picture" is placed before a great pianist, an exquisit Chopin player. Could it be that the result will be just slightly affected by Chopin's style, perhaps in the way free *cadenzas* used to be improvised in concertos? Which would be of no interest whatever from the composer's point of view.

On the contrary, we must draw two conclusions: first, that serial music has become *commonplace* enough for it to be improvised like Chopin, which would confirm the general impression anyway; secondly, that the composer abdicates entirely from his position, having nothing more to say, so that he can be replaced by the painters or by T-slots!

Chance Must be Calculated

In order to have done with the subject of roulette musicians, let me add that chance is something rare and hard to find. It can be designed up to a certain point, but this is a very difficult matter involving very complicated reasoning summed up by mathematical formulae — it can be designed a little, but never improvised or mentally imitated. The mathematician Emile Borel, who was one of the great specialists of probability, incontestably demonstrated the impossibility of imitating chance — unless we play the notes by a game of dice, which may in fact really be something — for simpletons! But once we penetrate beyond this antechamber of chance, probability calculation, i. e. stochastics, can, in a well defined domain, guard us against pitfalls — and then it provides us with a powerful means of reasoning out and enriching our music.

Generalized Stochastic Composition

The first pronouncement in this regard is that stochastics can be used not only for instrumental but also for electromagnetic music, as I have shown in practice by *Diamorphoses* (1957/8), *Concret PH* (Electronic Poem, Philips Pavilion at the Brussels Fair, 1958). The second pronouncement is that stochastics can lead to the creation of new sounds and new forms. But before we can go into this further, we must make a hypothesis about the nature of sound, *any* sound:

Sound has a granular, quantum nature. Any sound is made up of galaxies of elementary grains (or particles) defined by a mean pure frequency, a mean intensity and a very brief duration, and which appear and disappear instantaneously.

This atomic hypothesis is corroborated by the theory of the elementary acoustic signal introduced into information theory by Gabor and results in an envelope of the bell shape of a Gauss distribution curve in the space defined by the time, frequency and level coordinates. Also, A. Moles has been emphasizing the quantum nature of auditory perception for years (A. Moles: "Théorie de l'Information et Perception Esthétique", Flammarion, Paris). These two facts have made me express the quantum theory of musical composition. Let us now consider the solid coordinates just mentioned, introduced by A. Moles (A. Moles and P. Schaeffer, "A la recherche d'une Musique Concrète", Editions du Seuil, Paris).

If at a given instant a section is taken parallel to the frequency-level plane, the sound is seen in this section as a collection of clouds of points representing the elementary grains, according to my hypothesis. Any sound can therefore be described by a conveniently large number of such sections which I call screens. A book of screens would tell the life of any sound and even any music. The distribution of these clouds of grains and of local surface densities describe the sound at any instant. Logical relationships introduce the theory of collections. Relationships of order and disorder introduce entropy as a unit, as the distribution is stochastic at the grains' scale. Frequency, intensity and density are related to one another by instantaneous probability matrices, themselves again defining, at the level of screen succession, a stochastic chain event which can follow all kinds of laws. The simplest event will be the one in which each state depends on the previous one, which is known as "Markov event". But other events can be used, from the most predetermined to the most random, which gives this general theory of composition an immense versatility. Some works are already in existence, but the essential part of it is still waiting to be explored (cf. *Analogique A*, for strings, 1958; *Analogique B*, for electronic sounds, 1959; *Syrmos*, for strings, 1959; see also "Elements of Stochastic Music", Gravesano Review Vol. 18 ff).

Complementary Stochastics: Musical Strategy

Autonomous Music. The composer establishes a scheme (pattern) which the conductor and players are bound to follow more or less strictly. From the ultimate details of notes, attacks, intensities, timbres, ways of playing, to the overall form, everything is noted in the score. Even if the author leaves a margin of improvisation to the conductor, player or machine or to all three at once, the composition follows a straight course *without return loops*. The model or score which they are given once and for all,

does not create any *conflict* other than that of technically "good" performance and the "musical expression" intended or suggested by the composer. This opposition between the scheme of symbols and its realization as sound might be called *internal conflict*, in which conductors, players and machines play the part of systems of correction and comparison analogous to subordinate systems, like grinders reproducing a profile. It can be said in general, that technical and even aesthetic problems have been *internal* for all the music written as yet. The tensions are already in the score, even in the case of the more or less defined stochastic methods which have been in use for some time. This traditional quality of *internal conflict* is what defines AUTONOMOUS MUSIC.

Heteronomous Music. However, it should be interesting and rewarding to imagine another kind of music introducing the concept of *external conflict*, for example between two opposed orchestras or players: the playing of the one would influence and condition the playing of the other and vice versa, resulting in a music identified by a very strict, although frequently stochastic, succession of sounds in opposition, which occur *both* at the will of the two (or more) conductors *and* at that of the composer, all in a superior dialectic harmony. Each of two conductors directs operations *against* the other, using certain *tactics*, as in a *duel*, which is subject to mathematical assessment in a matrix.

This external conflict, or *heteronomy*, is not at all without precedent in music. There are certain kinds of folk music in Europe and elsewhere, in which it was traditional for two players to try to "unseat" each other by musical tactics. One of them took the lead and then tried to shake the other off melodically or rhythmically, but still remaining within the musical tradition, which had to be of such a nature as to permit this special kind of improvisation. This contradictory virtuosity is widely spread especially in India, notably among tabla and sitar players. *Musical heteronomy* based on modern science is thus made legitimate even to died-in-the-wool traditionalists. But we are not concerned with the historical justification of a new technique here — on the contrary, the thing that matters is the new contribution, the jump ahead, and stochastics provides that here, as it did for serial and autonomous music (cf. "Duel", 1960, score for two conductors and two orchestras).

Conclusions and Extensions

I have sketched the general framework of an artistic attitude which employs mathematics for the first time from three basic angles:

1. as philosophical summary of the element and its evolution; example: Poisson's law;
2. as qualitative support and mechanism of logic; examples: Theory of Collections, Theory of Chain Events, Theory of Games;

3. as measuring instrument to refine investigation, realization and perception; examples: Entropy Calculus, Matrix Calculus, Vector Calculus.

Making music means expressing human intelligence in sound, intelligence in the widest sense, which includes not only pure logic but the logic of affections and intuition. Now although the techniques shown here often have a strict internal structure, they contain gaps enough for the most complex and mysterious factors of intelligence to enter. These techniques are always between the old poles of free will and predetermination, which modern science and philosophy have managed to reconcile. This region between these two poles is the scene of our everyday lives, which are subject partly to fate, partly to our spontaneous modification, encompassing the whole scale of interpretations and interpenetrations.

Stochastics is in reality a formal guide adapted to modern thinking in general. It places the art of sound on a more universal plane straight away and brings it again within reach of the stars, of numbers and of the great riches concealed by the human brain, as in gone-by days of the great civilizations of antiquity.

The movements of the sounds which call forth in us movements in concord with them "... give those who do not know how to reason a vulgar pleasure; and to those who do, a well reasoned joy in imitation of the divine harmony manifested in the fleeting movements." (Plato)

Although these theses are only a first sketch, they have not only already had some practical application, but permit certain extensions, for example to visual instead of aural phenomena. Then the acoustic grains will become quanta of light, i. e. photons, and intensity, frequency, density and irreversible time — the components of the atomic hypothesis of sound — can be adapted to light quanta: a single photon source, a photon gun, could, in theory, produce photons of any desired frequency, energy level and density, as in the above mentioned acoustic screens, so that we could create streams of light analogous to the music originating from a sound source. If we add to the components we already have the one of space, we obtain a spatial music of light, a kind of stereo-light. All we would have to do is to combine as many photon guns as we wish, to cover a certain space of light. This is technically possible, but painters would have to snap out of their tradesmen's lethargy and leave their brushes and hands alone for once, or else a new kind of visual artist will take possession of these new techniques and these new demands.

A new and rich work of visual art could arise, whose elapse would be controlled by giant electronic brains. These are very useful tools not only for the calculation of the launching of rockets or price indices but for the artistic life of the future, in a complete audio-visual manifestation whose compositional intelligence is controlled by machines working to the orders of other machines, themselves under the direction of man, thanks to the Science of Art.

Wer ist Iannis Xenakis?

(nach dem Anhören der dritten Brüsseler Aufführung des Wozzeck,
1. 12. 1961)

Paris, 6. 12. 61

Lieber Herr Scherchen!

Ich erlaube mir, Ihnen die wenigen folgenden Gedanken zu unterbreiten, denn Sie sind es, der mich vor diese, Ihnen zugehörnde Erscheinung gestellt hat:

„Man hat die Gewohnheit, zu behaupten, der Dirigent sei nur Interpret und daß vom Komponisten schon alles gegeben, auferlegt sei.

Ist nun der Komponist ein Schmelztiegel der Gedanken und Gefühle seiner Zeit, so steht nicht alles in seiner Partitur, so minutiös sie auch sei. Seine Partitur ist wie ein mit nicht bezeichneten Konstellationen bestirnter Himmel. Des Dirigenten Aufgabe ist es, diesen Himmel zu befragen: er wählt daraus die Konstellationen, mit denen er in innerer Resonanz ist. Er kann aber außerdem ferne Himmelskörper auf solche Weise zur Erscheinung bringen, daß das Aussehen der Figuren, die er soeben unter dem Taktstock geschaffen hat, manchmal eine verblüffende Wahrheit darstellen kann außer der in der gestrengen Partitur geschriebenen. Er moduliert die in der Partitur nur latenten Kräfte durch den Einsatz seiner eigenen.“

Über etwas, das ich fühle, habe ich versucht zu denken. Verzeihen Sie meine Unzulänglichkeit.

Danke,

Ihr

Xenakis.

Who is Iannis Xenakis?

(After hearing the third Brussels performance of Wozzeck,
1st December 1961)

Paris, 6 December 1961

Dear Mr. Scherchen,

I take the liberty of sending you the few reflections following, for it is you who have faced me with these ideas which are part of you:

“The conductor is habitually regarded as nothing but an interpreter, the composer having already provided, or imposed, everything.

"Now if the composer is a melting-pot of the thoughts and feelings of his age, not everything can be in his score, no matter how detailed it is. His score is like a sky bestarred with constellations which are not defined. The conductor, however, interrogates this sky and chooses the constellations with which he is in internal resonance. Moreover, he can show us distant heavenly bodies in such a way that the complexion of the tracery he has just created under his baton can sometimes contain a dazzling truth other than the one inscribed in the inflexible score. He modulates the forces which are only latent in the score, by adding his own."

I have tried to think about something I feel. Please pardon my inadequacy.

Thank you,
Your
Xenakis.

Das Klavier und seine Signale

von

PETER MICHAEL BRAUN

Seine bisherige Bedeutung verdankt das Klavier besonders dem Vorteil, daß zur Realisation eines komplexen musikalischen Vorgangs ein einziger Spieler genügt. Heute erheischt es wiederum unser Interesse durch das sozusagen auf engstem Raum gebotene Reservoir an spieltechnischen Möglichkeiten, deren Auswertung, in ihrer Bedeutung noch vielfach unterschätzt, bereits zu einigen kompositorischen Resultaten geführt hat. In abfälligem Ton wurde ehemals vom Klavier als „Schlaginstrument“ gesprochen. Heute, im Zeichen des emanzipierten Geräusches und der Wirksamkeit des Komponierens in spektralen Bereichen, kann man nicht umhin, diesen Aspekt auch positiv zu beurteilen, und sieht sich veranlaßt, die Möglichkeiten zu durchdenken, sie aus einer scheinbaren Willkür in Ordnung zu bringen. Die folgenden Ausführungen widmen sich dieser Aufgabe, wobei die sichtbare Aktion des Interpreten im Vordergrund stehen soll.

Es sei zunächst unterschieden zwischen Ereignissen, die aus dem einmaligen Anschlag, Schlag oder Stoß hervorgehen, und solchen, die nicht nach dem Einsatzpunkt sich selbst überlassen sind, sondern durch ausgedehnte Aktion eine gleichförmige Dauer aufweisen. Man beachte, wie im zweiten Falle das Instrument sich wieder der Attacke des Augenblicks entzieht. Der singuläre Schlag wird aufgehoben in einer fließenden Stetigkeit, die wiederum zur fließenden Veränderung weist.

Die Funktion der Taste kann hier nur im Rahmen einer allgemeinen Erörterung Erwähnung finden. Der Charakter des Anschlags ist, wie man weiß, abhängig vom Verhältnis zwischen Druck und Geschwindigkeit an der niedergehenden Taste. Ein „tragfähiger Klavierton“ läßt sich erzielen, wenn der Hammer nicht zu schnell und doch mit beträchtlicher Bewegungsenergie die Saite trifft. Der Arm, der aus einiger Höhe auf die Tasten herabfällt, erzeugt einen schneller verklingenden Ton, infolge der Flüchtigkeit des Anschlags, als eine entsprechend vorbereitete kaum merkliche Bewegung von Arm und Hand. Hier handelt es sich um Nuancen; der Toncharakter liegt, da die Saite stets am gleichen Ort vom gleichen Material getroffen wird, weitgehend fest.

Nun ist es ja möglich, beim „normal“ angeschlagenen Ton die schwingende Saite zu beeinflussen, dadurch auch das klangliche Ergebnis zu modifizieren. Es wäre hier zu unterscheiden die Art des verwandten Objekts und die Form seiner Wirkung. Entsprechend seiner Beschaffenheit wird die Saite an einem Punkt oder größeren Abschnitt berührt, und derart, daß

necessary for the manufacture of a musical event?" Before we can answer this, we must briefly sketch the basic phases of manufacture of a work of music.

Fundamental Phases of a Musical Work

- a. Initial conception (intuitions, temporary or permanent data, etc.)
- b. Definition of sound elements and their symbolic representation as far as possible (sounds of musical instruments, electronic sounds, noise, collections of ordered sound elements, discreet or continuous groups, etc.)
- c. Definition of the transformations which these elements are to undergo during the course of the composition (macrocomposition: general choice of the logical framework, i. e. elementary algebraic operations and establishment of relationships among the elements, collections and their symbols defined under *b*, and arrangement of the preceding operations in irreversible time by means of succession and simultaneity)
- d. Microcomposition: detailed choice of the functional or stochastic relationships among the elements of *b*, i. e. (1) time-independent algebra, (2) time-dependent algebra
- e. Sequence programming of *c* and *d*: overall scheme or pattern of the work
- f. Actual calculation, verification, returning over and finally modifying the sequence programme
- g. Final symbolic result of programming: musical score in traditional notation, numerical expression on paper, graphs, etc.
- h. Incarnation of the programme as sound: direct orchestral performance, manipulations such as electromagnetic music, mechanical manufacture of sound elements and their transformations.

Of course this order of working is not rigid. Most of the time, the phases are not consciously thought of and are incomplete. Nevertheless, this list does serve to fix one's ideas and give an overall view of the work in progress. In fact, electronic calculators or computers can take over phases *g* and *h*, and even *f*, although for a first approach it seems that only *f* and *g* are accessible to automatization. This is to say that the Final Symbolic Result can become incarnate only by an orchestra or by manipulations like those of electromagnetic music and heard over the existing electroacoustic transmission chains and not, as one might wish — in the very near future — by highly refined mechanization which would obviate the orchestral interpreters or tape recorders and take over the mechanical manufacture of the sound elements and their transformations.

Now we can answer the preceding question, which is meant to apply to instrumental music but can be asked about any sound emission at all. Let us refer to the phases mentioned above:

b. Definition of elements . . .

The elements of the sound of the classical orchestra can be represented as a first approximation by vectors of four generally independent variables, $E_r (c, b, g, u)$:

$c_a \dots$ = timbre or instrument family

$b_i \dots$ = pitch

$g_j \dots$ = intensity

$u_k \dots$ = duration

The vector E_r defines a point *M* in the space of ordinates and has a base $(\overline{c}, \overline{b}, \overline{g}, \overline{u})$. The coordinates of the point *M* are the numbers c_a, b_i, g_j, u_k . Example: The note c^3 played on the violin by normal bowing in forte and of a duration equal to a quaver at 240 MM can be shown by the ordinates c bowed violin, $b_1 (= c^3)$, $g_4 (= \text{forte})$, $u_5 (= 1/4 \text{ sec})$. Let these points *M* now be arranged on an orientated axis which we will call the E_r axis. Let us also add another orientated axis *t* at the origin, forming, for simplicity, a right angle with E_r . On this axis, called *irreversible time axis*, we enter the succession of the points *M* irreversible in time. We will thus come to define a two-dimensional space (E_r, t) . This allows us to pass on to phases *c*. Definition of the transformations . . . and *d*. Microcomposition . . ., which will then give the answer to the question about the minimum of constraint.

For that, let us assume that the points *M* defined above can appear without any other necessity than that of following a random law without memory. This hypothesis is equivalent to saying that we admit a stochastic distribution of events E_r in the space (E_r, t) . Admitting a surface distribution *n* which is small, we come to where Poisson's law can apply:

$$P_k = \frac{n^k}{K!} e^{-n}$$

On the other hand, we can consider the problem as a synthesis of several linear stochastic events (the law of radiation of radioactive bodies), which are conveniently chosen (the second method may lend itself better to mechanized transformation).

A sufficiently long fragment of this distribution will constitute the musical work. The basic law defined above entails a whole family of works as a function of the surface density *n*. Thus we have in our hands an archetype formula for a work striving towards the *greatest possible asymmetry* (in the etymological sense), a *minimum of constraint, causality and laws*. Perhaps we can return from this most general archetype to

die Eigenschwingung mehr oder weniger stark behindert wird. Zu unterscheiden ist auch der Grad, in dem das tangierende Objekt auf die Saitenschwingungen reagiert. Etwa der bekannte Effekt des den Saiten aufgelegten Papiers, das seinerseits als Membran angeregt wird. Ein härterer Gegenstand zeigt ebenfalls eine gewisse Resonanz, dämpft aber in erheblicherem Maße und unterdrückt insbesondere die Obertöne, die an der betreffenden Stelle ein Maximum aufweisen. Speziell für die Dämpfung sind weichere Medien vorzuziehen, die in der Lage sind, den Klang hinreichend zu absorbieren. Schließlich kann die Saite in ihren harmonischen Schwingungen völlig blockiert werden, und es bleibt nur die mit dem Anschlag verbundene Geräuschkomponente. Oder es entsteht, falls sich die Berührung auf den Knotenpunkt eines Teiltons beschränkt, das Klavierflageolet. Ob die Gegenstände in den Saiten montiert sind oder von Fall zu Fall an sie herangebracht werden, ist mehr eine Frage der technischen Zweckmäßigkeit. Wichtiger ist die Unterscheidung anhand des Resultats im Sinne der Obertonauswahl, Verzerrung oder Dämpfung.

Nun wäre es an der Zeit, auf die Hilfe der Tastenmechanik zu verzichten und die Saiten durch unmittelbaren Zugriff in Schwingung zu versetzen, es möge mit der Hand oder einem beliebigen Medium, etwa einem der beim Schlagzeug üblichen Schlegel geschehen. Die Zahl der sich hier bietenden Möglichkeiten ist kaum schon überschaubar; ob gezupft oder geschlagen, in der Mitte, an der normalen Schlagstelle oder am äußersten Ende der Saite, mit Holz, Gummi oder Metall: es scheint nur die Begrenzung zu geben, die von der intentionalen Einmaligkeit diktiert wird. Es ist auch möglich, Gegenstände auf die Saiten fallen zu lassen. Bei aufgehobener Dämpfung ergibt sich, selbst wenn die getroffenen Saiten schweigen, eine wirkungsvolle Resonanz. Ihre Vorzüge gelten nicht minder beim Anschlag der peripheren Holz- und Metallteile. Insbesondere lohnt es sich, auf den Resonanzboden durch Schlag oder Stoß unmittelbar einzuwirken, sein reichhaltiges Klangspektrum zu erzeugen. Die Bewegung des vorderen Deckels nach oben oder unten erspart den Gebrauch von Schlaginstrumenten, deren Funktion gelegentlich auch die bloße Hand übernehmen kann.

Nun wäre der Übergang möglich zu jener Aktion, die homomorphe Ereignisse einer beliebigen zeitlichen Ausdehnung schafft. Da sind zunächst die aus der Tradition geläufigen Manieren, wie sie im Triller, Tremolo oder der ostinaten Repetition zur Verfügung stehen. Bei genügend hoher Anschlagfrequenz werden sie vom Ohr als gestaltliche Einheit perzipiert. Dieser Rubrik gehören auch die Glissandi an, sie mögen auf der Tastatur oder an den Saiten, mit beliebigem Medium, ausgeführt werden. Was hier die Bezeichnung „glissando“ trägt, realisiert sich als chromatische oder gar diatonisch-pentatonische Skala. Durchgehende Linearität, wie etwa beim Streichinstrument, ist nur durch eine Drehung der Stimmzapfen darstellbar

Eine naive Frage würde lauten, ob die vielen Saiten, die das Klavier besitzt, auch gestrichen werden können. Sie können es allerdings; praktikabel ist es jedoch nur, das streichende Medium in Längsrichtung der Saiten zu führen. Zudem erfordert es besondere Geschicklichkeit, die Kontinuität des Vorgangs zu sichern. Es ergibt sich im hohen Bereich ein Pfeifen bestimmbarer Tonhöhe; in der Tiefe, bei den umspannten Saiten, resultiert eine Wechselwirkung zwischen Klang und Geräusch. — Auch auf den Zapfen und Haken, die zur Saitenbefestigung dienen, läßt sich (mit dem Metallstab) ein hartes Glissando ausführen. Durch Reiben oder Streichen an andern Stellen des Instruments sind einige weitere Wirkungen verfügbar.

Es sei betont, daß es sich bei diesen Varianten des Klavierspiels nicht um eine Denaturierung des bisher als „normal“ Begriffenen handeln kann, sondern um die Bereicherung der elementaren Möglichkeiten einer musikalischen Darstellung. Die neue Manipulation übersteigt nicht den fürs Instrumentalspiel gemeinhin üblichen physischen Aufwand, und was an psychischer Korrespondenz noch fehlt, läßt sich erwerben.

Es kann nicht vermieden werden, noch auf gewisse Modifikationen zu verweisen, die in absehbarer Zeit am Instrument selbst vorzunehmen wären. Zunächst müßten die Möglichkeiten der Pedaldämpfung, deren Wirksamkeit beim modernen Flügel unverhältnismäßig gering ist, sorgfältiger erwogen werden. Zumindest sollte man der Forderung „una corda“ tatsächlich entsprechen. Für den Fall, daß sich der Pianist gelegentlich von seinem vorderen Platz entfernt, müßte das rechte Pedal mit einem Feststell-Raster versehen werden. Als zweckmäßig erwies es sich auch, gewisse Saiten wie bei der Harfe farblich zu kennzeichnen und damit die Orientierung zu erleichtern. Was die Stimmung betrifft, so bleibt abzuwarten, ob die Oktavskala überdauern oder einer Skala Platz machen wird, die nicht derart zyklisch den Tonhöhenraum unterteilt. Zur Not werden je im Werk abweichende Stimmungen vorgeschrieben.

Weitere Forderungen sollen hier nicht gestellt werden. Nicht nur, weil die Hoffnung auf ihre Erfüllung zunächst utopisch erschiene, sondern in der überzeugten Annahme, daß das Instrument, das wir als Klavier bezeichnen, in der heutigen Konstruktion annähernd definitiv festliegt. Kein Anzeichen spricht dafür, daß demnächst ein neues Hammer-Saiteninstrument, den Vorstellungen der neuen Musik entsprechend, in Gebrauch gelangt, wie überhaupt das vorhandene Instrumentarium, als Resultat gründlicher Perfektionierung, sich weiterhin erhalten dürfte.

Was hier anhand des Klaviers gezeigt wurde, mag keinem seiner Erbauer vorgeschwebt haben. Wenn man will, kommt hier eine nüchterne Handwerklichkeit ins Spiel, die der sorgsam gezüchteten Brillianz ein wenig müde ist. Was es an Mechanik zu bewältigen gibt, schafft heute die Maschine, und mehr als das. Angesichts der arrivierten Technik erscheint

der Mensch als technisches Wunder fragwürdig. Zunächst verzweifelt, sieht er sich doppelt auf eine mächtigere Imagination verwiesen. Da ist der gezupfte Klavierton für sich so unbedeutend wie der, den die Taste produziert. Die Erweiterung im Material, wie sie hier sich anmeldet, kann sich nur etablieren aufgrund einer erweiterten Idee.

The Piano and its Signals

by

PETER MICHAEL BRAUN

The importance which the piano has assumed up till now is due to the fact that a single player can produce a complex musical signal. Today it demands our interest because of the great reservoir of playing possibilities which are compressed in it in the smallest space. Even though these possibilities are still considerably underestimated, they have already led to some notable results in composition. The piano was once passed off as a mere "percussion instrument" — but now that noise has been emancipated and composers are working with spectrums, one is forced to see also an advantage in this aspect: the vast possibilities offered require some clear thinking to discover the inner order beneath their random surface. This essay is devoted to this task, importance being attached to the fact of the interpreter's visible action.

Let us first of all distinguish between events due to a single stroke, beat or impulse and those which are not left to their own devices after excitation but show the action necessary to sustain them in a uniformity with respect to time. Observe that in the second case the instrument is relieved of the consequences of the instantaneous attack. The single impulse is cancelled by continuous action, which again includes the possibility of continuous change.

The key's function can be mentioned only in passing here. It is known that touch depends on the relationship between pressure on and speed of the descending key. A piano tone which "carries" is obtained if the hammer strikes the key not too fast and yet with considerable energy of motion. The tone produced by letting the arm fall on the keys from some height will not be sustained as long as if arm and hand carry out a more discreet though better prepared motion. This is a question of nuance: the tone colour is largely fixed due to the string being always struck at the same place by the same material.

Although produced by "normal" means, a note can be influenced during its resonance so as to modify the resulting sound. We must distinguish here between the kind of object used and its effect, whether it touches the string at a point only or throughout a segment of some length and whether the string's resonance is impeded to a greater or lesser degree. The scrap of paper straddling the string while itself being excited to act as a diaphragm is a good example of this. A harder object can also show a certain resonance but damps the string more, suppressing especially the harmonics which are at a maximum at the point of contact. For damping, softer materials are to be preferred, as they are better able to absorb the sound. Finally, the string's vibrations can be completely blocked, leaving only the noise of impact, or producing the piano harmonic if blockage is confined to the harmonic's node. The question of whether the objects are permanently mounted on the strings or brought in contact with them for each particular note, is one of expedience concerning each individual case. The choice of harmonics, distortion or damping is more important.

Now it is time to dispense with the action of the keys and excite vibrations in the string directly, using the hand or any convenient tool, such as a percussion stick. There is hardly an end to the possible variations: the string may be plucked or struck, at the normal hammer point, in the middle or at the very end, with wood, rubber or metal — the only limitation seems to be imposed by the intentional uniqueness of the result. Objects can be dropped on to the strings: an effective resonance is obtained if the dampers are raised, even though the actual strings hit are silent. No less importance must be attached to the resonance resulting from hitting the wood or metal parts surrounding the strings, especially the sounding-board itself, whose sound spectrum is among the richest imaginable. Opening and closing the front lid saves the use of percussion instruments, for which the bare hand can occasionally act as a stand-in as well.

Let us now turn to the activity of creating homomorphous events of any desired duration. First of all there are the conventional devices of trill, tremolo or ostinato repetition, which are received by the ear as uniform sound if the frequency of repetition is high enough. The glissando also falls under this heading: it can be produced using the keys or directly on the strings with any convenient medium. Although it is called "glissando", it is in reality nothing more than a chromatic — perhaps even only a diatonic/pentatonic scale. Continuous linearity, as available on a violin for example, can only be obtained by turning the tuning pegs.

It is a rather naive question to ask whether the piano's many strings cannot be bowed — and in fact they can, but bowing along the length of the string is the only practicable way of doing it. A special technique must be practised to ensure the necessary continuity. A bowed treble string whistles at a definite pitch, while bowing the wound strings of the bass

gives something between tone and noise. But a quick, hard glissando can also be done with a metal rod along the tuning pegs or the pins in the bridge. Other effects can be had by rubbing or stroking the instrument in other places.

Let it be emphasized that these variants of piano playing must not be regarded as denaturing what has up till now been looked on as "normal", but as enriching the elementary possibilities of any musical expression. The physical exertion necessary does not exceed that required for normal piano playing, while any psychical response still lacking can be acquired.

Certain modifications which the instrument itself should undergo in due course cannot avoid being mentioned. First of all, pedal damping, which is exceedingly slight on the modern grand piano, should be more carefully considered for the possibilities it offers. At least the direction "una corda" should really be met. In case the pianist should leave his place in front of the keys, the right pedal should be provided with a lock. It would also be useful to follow the harp's example and colour some keys for better orientation. As concerns tuning, it remains to be seen whether or not the octave scale will be replaced by one which does not divide the frequency range so very cyclically. As an expedient, compositions can specify special tuning.

If no additional demands are made here, the reason is not because all hope of fulfilment appears utopian at present, but because of the conviction that the instrument we call the piano has now reached a design which is pretty well fixed. There are no signs of a new hammer-and-string instrument, more in line with the requirements of contemporary music, coming into general use, any more than all the other traditional instruments, perfected through time, are likely to be superseded.

These possibilities which the piano unfolds would no doubt not have occurred to those who contributed to its development. Those who wish to do so, may regard them as sober artisanry tired of the pianistic brilliance so carefully cultivated. Anything mechanical to be subdued — and more — is today taken care of by the machine. In the face of a technology basking in its own success, man, as a technical miracle, appears suspect. In despair at first, he is doubly thrown upon a mightier imagination. And the plucked piano note is then no less trivial than the one produced by means of the key. The increased means, as indicated here, can establish themselves only through the increased idea.

GESAMTINHALTSVERZEICHNIS

DER JAHRGÄNGE I-VI

(1955-1961)

G R A V E S A N E R B L Ä T T E R

G R A V E S A N O R E V I E W

MUSIKALISCHE,

ELEKTROAKUSTISCHE UND

SCHALLWISSENSCHAFTLICHE

GRENZPROBLEME

GRAVESANER BLÄTTER

HEFT I - JULI 1955

	Seite
La crise de la musique sérielle	Yannis Xénakis 2
Das Experimentalstudio Gravesano	Dr. Scerri 5
	und Dr. Weisse 16
Ionophon — Ein Lautsprecher ohne Membrane	Dr. Lölhöff 22
Sichtbar gemachte Musik	Dr. Meyer-Eppler 27
Ein akustischer Zeitregler	Dr. Springer 32
London letter	Dr. Alexander 38
Letzte Entwicklungen in der amerikanischen Fernseh-Technik	Dr. Kraft 41
Correspondances parisiennes	Pierre Souvchinsky 44
Essai de vocabulaire graphique international de l'acoustique musicale et l'électroacoustique	Dr. Moles 46

HEFT II/III - JANUAR 1956

	Seite
Sprache und Musik	Hermann Scherchen 3
Debussy: „Jeux“ (Poème de danse)	Pierre Boulez 5
Zwei Dokumente aus der Krankheitsgeschichte Friedrich Nietzsches	Herbert Sandberg 6
Die Grenzen planmäßiger raumakustischer Gestaltung	Lothar Cremer 10
Die Reflektoren des Konserthuset Stockholm	Gunnar Sundblad 34
L'intrusion de l'Electroacoustique en musique	Pierre Schaeffer 38
Von der leichten zur „leichtesten“ Musik	Fritz Winkel 46
Les bases de la jouissance musi ale	André Moles 48
Reaktionen auf akustische Reize	Fritz Enkel 58
Folkloristic Elements	Frank Wade 67
Künstlerische Ambitionen und Techniken in der leichten Musik	Kurt Blaukopf 71
Leichte Musik und Elektrotechnik in Vergangenheit und Gegenwart	W. Meyer-Eppler 76
Zur Gründungssitzung der Gesellschaft „Freunde von Gravesano“	Jack Bornoff 80
Bericht über die erste Stipendiatsperiode	Friedrich Trautwein 83
M. Moussorgsky: „Rajok“ (Musikbeilage)	Pierre Souvchinsky 97

HEFT IV - MAI 1956

	Seite
Manipulation und Konzeption	
I. Mozarts „Anleitung zum Komponieren von Walzern vermittelt zweier Würfel“	Hermann Scherchen 3
II. Zur Entwicklung der Serientechnik	Luigi Nono 14
III. Brief an eine unbekannte Adresse	Hans Werner Henze 18
Über die Raumakustik im großen Konzert- und Sendesaal des Hessischen Rundfunks in Frankfurt	Karlhans Weisse 20
Klangumwandlungen durch Frequenzumsetzung	L. Heck u. F. Bürck 35
Die Erregung von Eigentönen gedämpfter Räume durch kurzzeitige Impulse	Josef Capek 57
Inventar des Experimentalstudios Gravesano	64

HEFT V - AUGUST 1956

	Seite
Einschränkung des Musikerlebnisses auf das Auditive	H. H. Stuckenschmidt 3
Etude Poétique (Musikbeilage)	Darius Milhaud 9
Konstruierte Musik	Darius Milhaud 14
Kolloquium:	
Künstlicher Nachhall und erster Rückwurf	Dr. Kuhl 15
Zusammenfassung der Ergebnisse	Prof. Cremer / Dr. Kuhl 17
Nachhallstudien des holländischen Staatsrundfunks	Dr. Geluk 21
Stereofonie und richtungsdiffuse Klangwiedergabe	Holger Lauridsen / Franz Schlegel 28
Das elektroakustische Institut Hermann Scherchen	A. Moles / F. Trautwein 51

Schallplattenbeilagen zu I—IV

I: „Ein akustischer Zeitregler“ - II/III: „Der Einfluß des Mikrophons auf die tönende Botschaft“ - IV: „Klangumwandlungen durch Frequenzumsetzung“

	Seite
Informationstheorie und ästhetische Empfindung	André Moles 3
Filterversuche in Gravesano	André Moles 10
Legende zur beiliegenden Schallplatte	André Moles 15
Die Grundlagen der Neuen Musik:	
a) Die neue Kompositionstechnik	Luigi Nono 19
b) Das neue Klangmaterial (Die Technik der elektronischen Klanggestaltung)	Fritz Enkel 20
Manipulationen und Konzeption (II)	
a) Wahrscheinlichkeitstheorie und Musik	Janis Xénakis 28
b) Brief an Hermann Scherchen	Janis Xénakis 35
Musik und „Normen“ (I)	Hermann Scherchen 38
a) Die Bedeutung des Vibratos in der Musik	Fritz Winkel 40
b) Historische Klangtreue	Kurt Blaukopf 48
c) Zur Entwicklung und den Ursachen der primitiven Skalen- bildung	Paul Collaer 52
Das Institut für Kommunikationsforschung an der Universität Bonn	G. Ungeheuer / H. Heike 57

HEFT VII/VIII - APRIL 1957

	Seite
Friedrich Trautwein (zum Gedächtnis)	Jack Bornoff 3
Das Tonmeisterproblem	Ermanno Briner 4
Stereophonische Klangwiedergabe	J. G. Cordonnier 9
Experimente mit mehreren Mikrofonen	Gravesano, Dez. 1956 28
Optimale Lautsprecher-Anordnungen	Walther Kónnecke 31
Legende zur beiliegenden Schallplatte	André Moles 35
Manipulation und Konzeption (III)	
Einheitswissenschaft und Musik	Hermann van San 26
Ultraschall und seine Bedeutung für Musik, Physiologie und Psychologie	Clifton Thornton 46
Probleme des Hörens	Friedrich Trautwein 62
Musik und Normen (II)	
Die innere Stimme der Flöte	Robert W. Young 80
Objektive Qualitätsbestimmungen von Geigen	Ulrich Arns 85
Gestaltung von Musikräumen	Willi Furrer 110
Nachtrag zu Heft Nr. VI (Beilage)	André Moles 131

Schallplattenbeilagen zu V—VIII

V.: „Nachhallstudien des holländischen Staatsrundfunks“ - VI: Experimente mit Albis-Terzfilter
a) Musik - VII/VIII: b) Sprache

INHALT

Der „Modulor“	Le Corbusier
Begrüßungswort zum III. Jahrgang	Luther Evans (Generaldirektor der Unesco)
Konzentration statt Expansion (Igor Strawinsky * 1882)	Hermann Scherchen
Über die Hörsamkeit großer Orchesterstudios und Konzertsäle (I)	T. Somerville und R. Gilford
Le Corbusier's „Elektronisches Gedicht“ (Philips Pavillon der Brüsseler Weltausstellung - 1958)	Janis Xenakis
Drei Entwürfe zur Berliner Philharmonie	Lothar Cremer
Psychoakustische Erscheinungen bei der Bildung von natürlichen und synthetischen Klängen	Eugen Skudrzyk
Das Ohr als Zeitmesserorgan	Fritz Winkel
Betriebserfahrungen mit einem neuen Regielautsprecher (I)	Fritz Enkel
Die innere Stimmung der Instrumente (2) Die Oboe	Robert W. Young

Redaktion: Gravesano (Tessin) Schweiz

Herausgeber: Hermann Scherchen

CONTENTS

The „Modulor“	Le Corbusier
In honor - III yr. Gravesaner Blätter	Luther Evans (General director of the Unesco)
Concentration instead of Expansion (Igor Strawinsky * 1882)	Hermann Scherchen
Acoustics of Large Orchestral Studios and Concert Halls (I)	T. Somerville and R. Gilford
Corbusier's „Electronic Poem“ (For the Philips Pavilion at the Brussels World Exposition - 1958)	Janis Xenakis
Three Projects for the Berlin Philharmonie	Lothar Cremer
Psychoacoustical phenomena accompanying natural and synthetic sounds	Eugen Skudrzyk
The Ear - A time-measuring instrument	Fritz Winkel
Experience with a new High-Quality-Loudspeaker for Control Booths (I)	Fritz Enkel
The Tuning of Musical Instruments (2) Tuning the Oboe	Robert W. Young

Published by Experimentalstudio Gravesano

Editor: Hermann Scherchen

INHALT

	Seite
Holger Lauridsen †	2
Besuch in Gravesano Luigi Dallapiccola	3
Pierre Boulez' „structure 1 a)“ Marc Wilkinson	12
Die beim Bau der Benjamin Franklin Kongreßhalle berücksichtigten akust. Forderungen (I) Hugh Stubbins	31
(II) Robert B. Newmann	32
Die Hörsamkeit großer Orchesterstudios und Konzertsäle (II) T. Somerville und C. L. S. Gilford	41
Beitrag zur Nachbildung des menschlichen Gehörs im Rahmen raumakustischer Modellversuche F. Keller	72
Betriebserfahrungen mit einem neuen Regielausprecher (II) Fritz Enkel	94
Verbesserungen der Wiedergabequalität Friedrich-Karl Schröder	108
Aus einem Brief an Hermann Scherchen Le Corbusier	126
Psycho- und Elektroakustik der Schallbildsynthese (Legende zur Schallplatte) Fritz Enkel	127

Redaktion: Gravesano (Tessin) Schweiz

Herausgeber: Hermann Scherchen

CONTENTS

	Page
Holger Lauridsen †	2
Gravesano Visit Luigi Dallapiccola	7
Some Thoughts on Twelve Tone Method Marc Wilkinson	23
Comments on the Acoustics Consideration in the Design of the Congress Hall, Berlin (I) Hugh Stubbins	37
(II) Robert B. Newmann	38
Acoustics of Large Orchestral Studios and Concert Halls (II) T. Somerville and C. L. S. Gilford	58
Contribution to the Duplication of the Human Ear for Acoustic Model Testing F. Keller	86
Experience with a new High-Quality-Loudspeaker for Control Booths (II) Fritz Enkel	102
Improvements of Reproduction Quality Friedrich-Karl Schröder	119
From a Letter to Hermann Scherchen Le Corbusier	126
Psycho and Electro-Acoustics of Sound Synthesis (Legend to the accompanying record) Fritz Enkel	128

Published by Experimentalstudio Gravesano

Editor: Hermann Scherchen

INHALT

	Seite
Tonlagenregler und Informationswandler A. M. Springer	3
Lautsprecheranlage mit schallquellengesteuerter Richtcharakteristik Fritz Enkel	10
Ein Laufzeitgerät für Dauerbetrieb H. Petzoldt	20
Die Entzerrung von Magnettonanlagen F. Hammon	29
Zum Verhältnis von Musik und Technik heute Theodor W. Adorno	36
Die akustischen Probleme beim Bau des F. R. Mann-Auditoriums in Tel-Aviv I Jakob Rehder	63
II Leo L. Beranek	69
Materialien zur Rekonstruktion akustischer Charakteristiken Herta Singer	87
Auf der Suche nach einer Stochastischen Musik Yannis Xenakis	98
Der Stereophoner A P. Bellac	123
Besuch in Gravesano B H. H. Fantel	126
Kritische Stellungnahme C A. M. Springer	129
Orgelneubau auf akustischer Grundlage W. Lottermoser	131
Die Oper im Fernsehen Clemens Münster	158
Die Innenstimmung von Musikinstrumenten. (III) Die Klarinette R. W. Young und J. C. Webster	174

Redaktion: Gravesano (Tessin) Schweiz

Herausgeber: Hermann Scherchen

CONTENTS

	Page
A Pitch Regulator and Information Changer A. M. Springer	7
Loudspeaker Combination with a Signal-Controlled Directional Characteristic Fritz Enkel	17
A Time Delay Unit for Continuous Operation H. Petzoldt	26
Equalisation of Tape Recording Installations F. Hammon	33
Technique, Technology, and Music To-day Theodor W. Adorno	51
The Acoustical of the F. R. Mann Auditorium in Tel-Aviv I Jakob Rehder	66
II Leo L. Beranek	82
Facts for the Reconstruction of Acoustical Characteristics Herta Singer	93
In Search of a Stochastic Music Yannis Xenakis	112
The Stereophoner A P. Bella	124
Visit to Gravesano B H. H. Fantel	127
A Critical Opinion C A. M. Springer	130
Organ-building on an acoustical basis W. Lottermoser	147
Televised Opera Clemens Münster	166
The Tuning of Musical Instruments. (III) The Clarinet R. W. Young and J. C. Webster	182

Published by Experimentalstudio Gravesano

Editor: Hermann Scherchen

INHALT

Seite

Die Rolle des Gehörorgans im Aufbau der Musik	Kurt Schügerl	2
Stockhausen und die Zeit	Hermann Scherchen	29
Scambi	Henry Pousseur	36
Zur Entwicklungsgeschichte des Stereophoners	Robert Kolben	55
Gravesaner Studien, Elektronische Klänge	André Moles	69
Laufzeitstereophonie — ein pseudostereophonisches Verfahren als Gegenstück zur Intensitätsstereophonie	Hans Raug	71
Akustischer Tempo- und Tonlagenregler	Anton Springer	80
Eine bedeutsame Schallaufnahme. Die Totenmesse von Berlioz	W. Pistone	83
Polyvision	Abel Gance	97
Die Vermittlung von musikalischen und vibrationellen Erlebnissen als therapeutische Möglichkeit	H. R. Teirich	106
Das Teiltonspektrum einer Glocke	M. Grützmacher	124

Redaktion: Gravesano (Tessin) Schweiz

Herausgeber: Hermann Scherchen

CONTENTS

Page

The Ear's Part in the Structure of Music	Kurt Schügerl	17
Stockhausen and Time	Hermann Scherchen	32
Scambi	Henry Pousseur	48
The Stereophoner	Robert Kolben	63
Electronic Sounds	André Moles	70
Time Delay Stereophony — the Counterpart of Intensity Stereophony	Hans Raug	77
Acoustic Speed and Pitch Regulator	Anton Springer	81
An Epoch-Making Recording. The Berlioz Requiem	W. Pistone	92
Polyvision	Abel Gance	102
On Therapeutics through Music and Vibrations	H. R. Teirich	116
A Bell's Spectrum of Partial Tones	M. Grützmacher	127

Published by Experimentalstudio Gravesano

Editor: Hermann Scherchen

INHALT

Seite

„Fünf Jahre Gravesano“		2
Der aktive Lautsprecher	F. Loescher	4
Frequenzkonstante Kraftstromquellen für Tonstudios	Herbert Zeithammer	10
Hifi-UKW-Empfänger — eine reizvolle Zukunftsaufgabe	O. Kappelmayer	19
Schönbergs Schlüsselstellung zur musikalischen Weltsprache	Karl Wendel	27
Wechselwirkung zwischen Musik und Akustik	Pierre Schaeffer	51
Residualton und Formantton (mit einer illustrierenden Schallplatte)	W. Meyer-Eppler, H. Sendhoff und R. Rupprath	70
Ein neues Musikinstrument	Melville Clark jr.	92
Die Innenstimmung von Musikinstrumenten. IV Das Alt-Saxophon	Robert W. Young	124
Formelzeichen der Akustik		145

Redaktion: Gravesano (Tessin) Schweiz

Herausgeber: Hermann Scherchen

CONTENTS

Page

Five Years Gravesano		2
The Active Loudspeaker	F. Loescher	7
Frequency — constant power sources for recording — studios	Herbert Zeithammer	15
HIFI-FM-Receivers and interesting technical problem for the future	O. Kappelmayer	23
Schoenberg's Key Position in the Universal Language of Music	Karl Wendel	39
The Interplay between Music and Acoustics	Pierre Schaeffer	61
Residual Tone and Formant Tone (with Recorded Examples)	W. Meyer-Eppler, H. Sendhoff and R. Rupprath	84
A New Musical Instrument	Melville Clark jr.	110
Intonation of Musical Instruments. IV The Alto Saxophone	Robert W. Young	131
Acoustical Symbols		154

Published by Experimentalstudio Gravesano

Editor: Hermann Scherchen

INHALT

Seite

Unesco	R. Maheu	2
Fritz Enkel †		4
Technisches von der Tagung „Fünf Jahre Gravesano“	F. A. Loescher	5
Aussichten des Elektronischen Instrumentariums	Abraham A. Moles	21
Eine Analyse des Intonierungsvorganges bei Orgeln	A. Rakowski und E. G. Richardson	46
Akustisch-praktische Daten zum Waldhorn	Boegner	59
Spezialaufnahmeaggregat für Tongemische	Hermann Heiß	118
Studioanlagen für Stereophonie	H. Petzoldt	126
Betrachtungen zur stereophonen und pseudostereophonen 2-Kanalwiedergabe in der Praxis	W. Bürck	134
Methoden elektroakustischer Schallaufnahmen	Hermann Scherchen	147
Tonband und Mikroport im Opernhaus	Otto Kappelmayer	158
Stück für Schlagzeug 1957	Josef Anton Riedl	165
Winterlicher Besuch in Gravesano	Willi Reich	175

Redaktion: Gravesano (Tessin) Schweiz

Herausgeber: Hermann Scherchen

CONTENTS

Page

Unesco	R. Maheu	2
Fritz Enkel †		4
Technical aspects at the Fifth Anniversary of Gravesano	F. A. Loescher	12
The Prospects of Electronic Instrumentation	Abraham A. Moles	36
A Spectral Analysis of the Voicing Process	A. Rakowski and E. G. Richardson	55
Practical Acoustic Data on the French Horn	Boegner	98
Record-and-Playback Head for Tone Mixtures	Hermann Heiß	123
Stereo-Equipment for Studios	H. Petzoldt	131
Some Thoughts on Two-Channel Stereophonic and Pseudo-Stereophonic Reproduction in Practice	W. Bürck	142
Methods of Three-Dimensional Sound Recording	Hermann Scherchen	152
Tape and Mikroport in the Opera House	Otto Kappelmayer	162
Piece for Drums 1957	Josef Anton Riedl	165
A Winter Visit to Gravesano	Willi Reich	180

Published by Experimentalstudio Gravesano

Editor: Hermann Scherchen

INHALT

Seite

Musik und Elektroakustik	R. Vermeulen	2
Anmerkung zu den „zeitbedingten Wechselwirkungen“	Pierre Schaeffer	12
Erhaltung und Lagerung von Schallaufnahmen	A. G. Pickett und Ing. E. Tress	110
Raumakustische Maßnahmen beim Umbau des Saales im Schützenhaus Herford zur Konzerthalle der Nordwestdeutschen Philharmonie	M. M. Lemcoe	78
Ein Vorschlag zur Verbesserung des einkanaligen Hörens	K. Wiese	112
Ein neuer Orchesterraum im Tanglewood Music Shed	F. R. Johnson, L. L. Beranek, R. B. Newman, R. H. Bolt und D. L. Klepper	118
Automatische Bewertung von Musikaufführungen	Andrew G. Pikler	137

Redaktion: Gravesano (Tessin) Schweiz

Herausgeber: Hermann Scherchen

CONTENTS

Page

Music and Electroacoustics	R. Vermeulen	7
Note on Time Relationships	Pierre Schaeffer	50
Preservation and Storage of Sound Recordings	A. G. Pickett and M. M. Lemcoe	93
The Acoustics of the Schützenhaus Hall, Herford, Westphalia	E. Tress B. E.	111
A Proposal for the Improvement of Single-channel Listening	K. Wiese	115
Orchestra Enclosure and Canopy for the Tanglewood Music Shed	F. R. Johnson, L. L. Beranek, R. B. Newman, R. H. Bolt and D. L. Klepper	131
Precision in Ensemble Music Measured by Modern Recording and Analytic Techniques	Andrew G. Pikler	140

Published by Experimentalstudio Gravesano

Editor: Hermann Scherchen

INHALT

	Seite
Gravesano (Brief an Hermann Scherchen) K. v. Fischer	2
Erhaltung und Lagerung von Schallaufnahmen A. G. Pickett und M. M. Lemcoe	3
Das Problem der sekundären elektroakustischen Wandler F. A. Loescher	41
Grundlagen einer stochastischen Musik I. Xenakis	61
Television und Operntheater H. Graf	106
Klänge altösterreichischer Meisterglocken	113

Redaktion: Gravesano (Tessin) Schweiz

Herausgeber: Hermann Scherchen

CONTENTS

	Page
Gravesano (Letter to Hermann Scherchen) K. v. Fischer	2
Preservation and Storage of Sound Recordings A. G. Pickett and M. M. Lemcoe	20
The Problem of the Secondary Electro-Acoustical Transducers . . F. A. Loescher	53
Elements of Stochastic Music I. Xenakis	84
Television and the Opera House H. Graf	109
Sounds of Old Austrian Master Bells	114

Published by Experimentalstudio Gravesano

Editor: Hermann Scherchen

INHALT

Seite

Werner Meyer-Eppler †	2
Eine einfache Methode zur Beobachtung einiger akustischer Vorgänge Hans Jenny	4
Psychoakustik und Musik Fritz Winkel	13
Klangmaterielle Kräfte und Kunst der Musik Hermann Scherchen	20
Erfahrungen mit der doppelseitigen (stereophonen) Hörbrille W. Pistone	24
Ungelöste Probleme der Akustik und Elektronik * * *	31
Erhaltung und Lagerung von Schallaufnahmen (III) A. G. Pickett und M. M. Lemcoe	35
Aktuelle Probleme des Experimentellen Geigenbaues Abraham A. Moles und E. Leipp	85
Impulsmethode zur Messung von Geigenresonanzen W. Lottermoser und Fr. J. Meyer	106
Grundlagen einer stochastischen Musik (II) Iannis Xenakis	128
Ähnlichkeitsklassen bei Schallsignalen G. Ungeheuer	151
Raumakustische Probleme der Musiksoziologie Kurt Blaukopf	163

* * * von: "WAVES AND THE EAR" by Willem A. van Bergeijk, John R. Pierce und Edward E. David, jr. (Science Study Series Anchor S. 9).

Redaktion: Gravesano (Tessin) Schweiz

Herausgeber: Hermann Scherchen

CONTENTS

Page

Werner Meyer-Eppler †	3
A Simple Method of Observing some Acoustic Phenomena Hans Jenny	9
Psycho-acoustics and Music Fritz Winkel	16
The Forces in Sound and the Art of Music Hermann Scherchen	22
Experiences with the Use of a Stereophonic Hearing Aid W. Pistone	27
Unsolved Problems of Acoustics and Electronics * * *	33
Preservation and Storage of Sound Recordings (III) A. G. Pickett and M. M. Lemcoe	61
Some Current Problems of Experimental Violin-Making Abraham A. Moles and E. Leipp	97
Violin Resonance Measurement by a Pulse Method W. Lottermoser and Fr. J. Meyer	120
Elements of Stochastic Music (II) Iannis Xenakis	140
Similarity Classes of Sound Signals G. Ungeheuer	158
Problems of Architectural Acoustics in Musical Sociology Kurt Blaukopf	173

* * * from: "WAVES AND THE EAR" by Willem A. van Bergeijk, John R. Pierce and Edward E. David, jr. (Science Study Series Anchor S. 9).

Published by Experimentalstudio Gravesano

Editor: Hermann Scherchen

INHALT

	Seite
Aufmerksamkeit! Hermann Scherchen	2
Einführung in die Grundlagen der Schallmeßtechnik W. Bürck	10
Rotierende Mehrfachköpfe Anton M. Springer	38
Spannungsdoppelbrechung durch akustische Schwingungen Hans Jenny	54
Erhaltung und Lagerung von Schallaufnahmen (IV) A. G. Pickett und M. M. Lemcoe	60
Grundlagen einer stochastischen Musik (III) Iannis Xenakis	102
Audio Engineering Society	123

Redaktion: Gravesano (Tessin) Schweiz

Herausgeber: Hermann Scherchen

CONTENTS

	Page
Look! Hermann Scherchen	2
An Introduction to the Fundamentals of Acoustic Measurement W. Bürck	27
Rotating Multiple Magnetic Heads Anton M. Springer	48
Double Refraction Caused by Strain of Acoustic Vibration Hans Jenny	56
Preservation and Storage of Sound Recordings (IV) A. G. Pickett and M. M. Lemcoe	79
Elements of Stochastic Music (III) Iannis Xenakis	113
Audio Engineering Society	125

Published by Experimentalstudio Gravesano

Editor: Hermann Scherchen

INHALT

	Seite
Perspektiven für eine raumbezogene Rundfunkübertragung L. Keibs	2
Einführung in die Grundlagen der Schallmeßtechnik (II) W. Bürck	61
Ein integriertes System hoher Wiedergabequalität F. A. Loescher	83
Meßapparaturen und Kunst Hermann Scherchen	94
Akustik und Musikinstrumente E. Leipp	111
Grundlagen einer stochastischen Musik (IV) Iannis Xenakis	131

Redaktion: Gravesano (Tessin) Schweiz

Herausgeber: Hermann Scherchen

CONTENTS

	Page
The Outlook of Three-Dimensional Broadcasting L. Keibs	41
An Introduction to the Fundamentals of Acoustic Measurement (II) W. Bürck	73
An Integral High Fidelity Unit F. A. Loescher	90
Measuring Devices and Art Hermann Scherchen	105
Acoustics and Musical Instruments E. Leipp	122
Elements of Stochastic Music (IV) Iannis Xenakis	144

Published by Experimentalstudio Gravesano

Editor: Hermann Scherchen

INHALT

	Seite
Die drei Gravesaner Tagungen, 6.—13. August 1961	Robert Kolben
Die Oper im Film und im Fernsehen	Jack Bornoff
Mixtur-Trautonium und Studio-Technik	Oskar Sala
Betrachtungen über: Bewegung, Schwingung, Resonanz und Eigentön	W. Bürck
Vom Elektroencephalograph zur Musiktherapie	Imre Sponga
Zwei Anwendungsbeispiele des Informationswandlers	A. M. Springer
Das neue Verhältnis zwischen Musik und Mathematik	A. A. Moles
Musikalische Klänge von Digitalrechnern	M. V. Mathews, J. R. Pierce und N. Guttman
Über die Computer-Musik-Beispiele	N. Guttman
Mathematische Musikanalyse und Randomfolgen. Musik und Zufall	Wilhelm Fucks
Stochastische Musik	Iannis Xenakis
Wer ist Iannis Xenakis?	
Das Klavier und seine Signale	Peter Michael Braun

Redaktion: Gravesano (Tessin) Schweiz

Herausgeber: Hermann Scherchen

CONTENTS

	Seite
The Three Gravesano Conventions, August 6—13, 1961	Robert Kolben
Opera in Film and Television	Jack Bornoff
Mixture-Trautonium and Studio Technique	Oskar Sala
Some Thoughts on Motion, Vibration and Resonance	W. Bürck
From the Electro-Encephalograph to Musical Therapie	Imre Sponga
Two Applications of the Information Changer	A. M. Springer
The New Relationship between Music and Mathematics	A. A. Moles
Musical Sounds from Digital Computers	M. V. Mathews, J. R. Pierce and N. Guttman
Notes on Computer Music Examples	N. Guttman
Musical Analysis by Mathematics. Random Sequences. Music and Accident	Wilhelm Fucks
Stochastic Music	Iannis Xenakis
Who is Iannis Xenakis?	
The Piano and its Signals	Peter Michael Braun

Published by Experimental Studio Gravesano

Editor: Hermann Scherchen

Distributed by London Radio Services London NW 3
16, Kings College Road

HOW THE STEREOPHONER DOES IT

The Stereophoner creates two different aspects of the information contained in the monaural signal and feeds these to two speakers, whereafter the sound waves are re-integrated in air to produce the stereophonic effect.



WIE FUNKTIONIERT DER STEREOPHONER?

Der Stereophoner sieht das monaurale Signal von zwei Seiten. Die beiden daraus entstehenden Schallbilder werden je einem Lautsprecher zugeführt und vereinigen sich wieder als Schallwellen in der Luft, um das Ganze — jetzt aber stereophonisch — wiederherzustellen.

American Foundation for the Blind

15 West 16th Street New York, N. Y.

INTERNATIONAL CONGRESS ON TECHNOLOGY & BLINDNESS

Hotel Barbizon Plaza New York, New York

June 18—22, 1962

General Chairman: Dr. Jerome Wiesner, Special Assistant to the President
for Science & Technology

Panel Chairmen:

Panel I **Man-Machine Systems**

J. K. Dupress, A.F.B. New York

Panel II **Living Systems**

Dr. Walter Rosenblith, M.I.T. Cambridge, Mass.

Panel III **Sound Recording & Reproduction**

Hermann Scherchen, Elektroakustisches Experimentalstudio
Gravesano, Switzerland

Panel IV **Adapted & Special Purpose Devices**

J. C. Colligan, O.B.E., R.N.I.B., London, England

Panel V **Plenary Session**

Charles Hedquist, De Blindas Forening, Stockholm, Sweden

Project Staff:

N. Charles Holopigian, Director

Leslie L. Clark, Assistant Director

Amerikanische Blindenstiftung

15 West 16th Street New York 11, N. Y.

INTERNATIONALER KONGRESS FÜR TECHNIK UND BLINDHEIT

Hotel Barbizon Plaza, New York

18. — 22. Juni 1962

Hauptvorsitzender: Dr. Jerome Wiesner, Fachberater des Präsidenten
für Wissenschaft und Technik

Ausschüsse:

I **Mensch — Maschine — Systeme**

Vorsitzender: J. K. Dupress, A.F.B. New York

II **Lebendige Systeme**

Vorsitzender: Dr. Walter Rosenblith, M.I.T., Cambridge/Mass.

III **Schallaufnahme und -wiedergabe**

Vorsitzender: Hermann Scherchen, Elektroakustisches Experimentalstudio
Gravesano/Schweiz

IV **Spezialapparaturen**

Vorsitzender: J. C. Colligan, O.B.E., R.N.I.B., London/England

V **Plenarsitzung**

Vorsitzender: Charles Hedquist, De Blindas Forening,
Stockholm/Schweden

Planung:

Leiter: N. Charles Holopigian

Unterleiter: Leslie L. Clark

Auskünfte erteilt das Elektroakustische Experimentalstudio Hermann Scherchen,
Gravesano / Tessin