

GRAVESANER

BLÄTTER

HERAUSGEBER HERMANN SCHERCHEN

ENGLISCH-DEUTSCH

ARS VIVA VERLAG
(HERMANN SCHERCHEN)
GMBH MAINZ

MUSIKALISCHE, ELEKTROAKUSTISCHE UND
SCHALLWISSENSCHAFTLICHE GRENZPROBLEME
VOL. 7

HEFT 26

2260

1397

863

534

330

204

126

78

48

18

24

204

310

534

863

1397

2260

1830

699

432

267

165

102

63

165

267

432

699

1131

1830

165

267

432

699

1131

1830

GRAVESANER BLÄTTER

Heft 26 — 1965

INHALT

	Seite
Anton M. Springer (1909—1964)	2
Freie Aussprache (Diskussion)	3
I. Naturgetreue Musikwiedergabe (High Fidelity)	E. Aisberg, I. Xenakis
II. Mathematik, Elektronengehirn u. Musikalische Komposition	
Die Londoner Royal Festival Hall wird „aufgewärmt“	6
Stereophone Wirkungen monauraler Schallübertragungen	17
Die größte Revolution in der Physik	44
Freie stochastische Musik durch den Elektronenrechner	54
Informationstheoretische Probleme der musikalischen Kommunikation	93
Die physikalischen Korrelate der Klangfarbe	103
Musik als Magie	110
Schallplattenbeilage: Computermusik	116
Babel at vitam aeternam?	118

Schallplattenbeilage: 1) Xenakis - 2) Mathews/Oesch

Redaktion: Gravesano (Tessin) Schweiz Herausgeber: Hermann Scherchen

Übersetzungen: Robert Kolben

Nachdruck verboten!

GRAVESANO REVIEW

No. 26 — 1965

CONTENTS

	Page
Anton M. Springer (1909—1964)	2
Open Discussion	4
I. High Fidelity	E. Aisberg, I. Xenakis
II. Mathematics, Electronic Brains and Musical Composition	
“Warming up” the Royal Festival Hall	12
Stereophonic Effects by Monaural Means	33
The Greatest Revolution in Physics	49
Free Stochastic Music from the Computer	79
Musical Communication as a problem of information theory	98
The Physical Correlates of Timbre	106
Musik as Magic	113
The Computer Music Record Supplement	117
Babel ad Vitam aeternam?	121

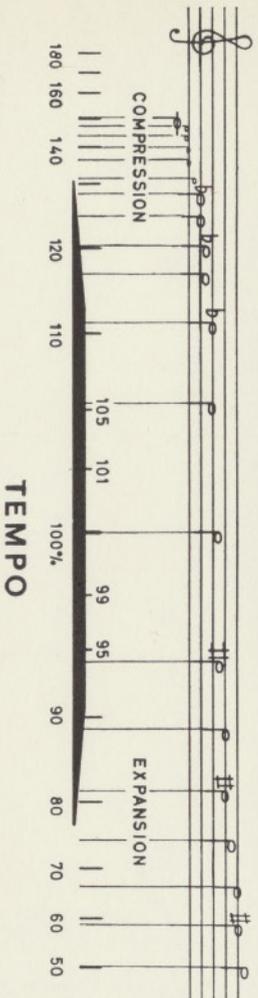
Record supplement: 1) Xenakis - 2) Mathews/Oesch

Published by Experimental Studio Gravesano Editor: Hermann Scherchen

Translations: Robert Kolben

Extracts may not be published without permission

TONLAGEN-REGLER ohne Geschwindigkeitsänderung



oder

TEMPO REGELUNG

ohne

Tonlagenänderung

für Magnetton-Schallaufnahmen
mit 38 cm/sec

Eltra

GMBH & CO., GESELLSCHAFT FÜR STRAHLUNGSTECHNIK, HEIDELBERG

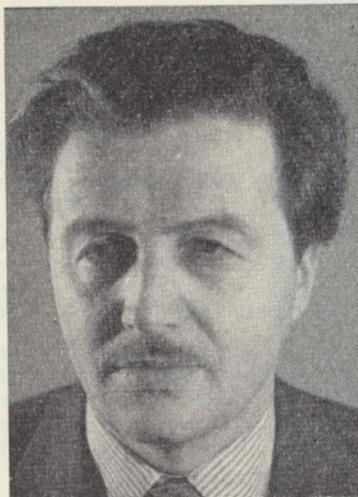
**Pitch regulation
OR
time regulation**

without change of the speed

without change of the pitch
for magnetic tape recordings
recorded with 15 ips

Eltra

GMBH & CO., GESELLSCHAFT FÜR STRAHLUNGSTECHNIK, HEIDELBERG W.GERMANY



Anton M. Springer
1909 - 1964

Der plötzliche Tod Anton Springers am 17. August in Heidelberg traf seine Freunde wie ihn, der nur für seine Kunst des Forschens gelebt hatte, unerwartet. Das Wort „Kunst“ ist keine Übertreibung: manch ein Komponist von heute würde sich glücklich schätzen, aus solch einem anscheinend unversiegbaren Quell von inspirativen Einfällen schöpfen zu können. Sie reichten von einer verbesserten Tür- und Fensterangel bis zur Satellitensteuerung; weltbekannt wurde er durch seinen Tempo- und Tonlagenregler, der, als wir ihn vor bald zehn Jahren zuerst hörten, uns wie ein kleines Wunder erschien. An den vielen Verbesserungen des ursprünglichen Modells durften die Leser der *Gravesaner Blätter* laufend teilnehmen. In Anton Springer, der in Reichenberg geboren war, in Prag studiert hatte und zuletzt der hochangesehene Entwicklungsleiter der Heidelberger Eltro GmbH war, verliert die Nachrichtentechnik und Elektroakustik einen genialen Förderer und Gravesano einen teuren und lieben Freund.

Anton Springer's sudden death at Heidelberg on 17 August came as an unexpected blow to his friends and to himself, who had lived only for his art of invention. The term "art" is no exaggeration: many a living composer would consider himself lucky to draw from such an apparently inexhaustible fountain of inspired ideas, which ranged from an improved hinge for doors and windows to satellite control. But what made him world famous was his speed and pitch regulator, which appeared nothing short of miraculous to us when we first heard it almost ten years ago. Readers of the *Gravesano Review* were fortunately able to keep following the many improvements by which the original model benefited at the hands of its creator. In Anton Springer, who had been born at Reichenberg, Bohemia, had studied in Prague, and who was finally the highly esteemed research head of Eltro GmbH, Heidelberg, communication engineering and electro-acoustics have been deprived of a pioneer of genius, and Gravesano has lost a dear and treasured friend.

FREIE AUSSPRACHE

Redaktion: E. Aisberg, I. Xenakis

Wir eröffnen die Diskussion mit der

I NATURGETREUEN MUSIKWIEDERGABE

1. Wie definieren Sie die naturgetreue Wiedergabe (high fidelity)?
2. Ist sie erreichbar?
3. Ist sie wünschenswert?

Was halten Sie ganz allgemein davon?

II MATHEMATIK, ELEKTRONENGEHIRN und MUSIKALISCHE KOMPOSITION

1. Räumen Sie mathematischen Theorien und Berechnungen einen legitimen Platz in der musikalischen Komposition ein? Wie und warum?
2. Ist der Gebrauch von „Elektronengehirnen“ also notwendig, nützlich, zu dulden, oder abzulehnen? Warum?

Schreiben Sie (in jeder beliebigen Sprache) an

„Freie Aussprache“
Gravesaner Blätter
GRAVESANO (Tessin)

Wir veröffentlichen eine Synthese aller Antworten.

OPEN DISCUSSION

edited by Messrs. Aisberg and Xenakis

The ball is set rolling with

I HIGH FIDELITY

1. How would you define High Fidelity, as applied to the reproduction of music?
2. Can it be attained?
3. Is it desirable?

What do you think of it in general?

II MATHEMATICS, ELECTRONIC BRAINS and MUSICAL COMPOSITION

1. Do you believe that mathematical theory and calculation have a legitimate place in musical composition? Why? In what way?
2. Consequently, is the recourse to electronic "brains" necessary, useful, to be tolerated, or to be condemned? Why?

Write (in any language) to

"Open Discussion"
Gravesano Review
GRAVESANO (Tessin)
Switzerland

We shall publish a synthesis of all replies received.

TRIBUNE LIBRE

sous la rédaction des MM. Aisberg et Xenakis

Nous ouvrons la discussion:

I LA HAUTE FIDELITE dans la reproduction de la musique

1. Comment définissez-vous la Haute Fidélité?
2. Est-elle réalisable?
3. Est-elle souhaitable?

Qu'en pensez-vous?

II MATHEMATIQUES, CERVEAUX ELECTRONIQUES et COMPOSITION MUSICALE

1. Trouvez-vous légitimes ou pas, l'emploi des Théories et des Calculs Mathématiques en composition musicale? Pourquoi? Comment?
2. Par conséquent, le recours aux "cerveaux" électroniques est-il nécessaire, utile, ou pas? Pourquoi? Comment?

Ecrivez (dans la langue de votre choix) à

"Tribune Libre"
Gravesaner Blätter
GRAVESANO (Tessin)
Suisse

Nous publierons une sythèse des réponses reçues.

Die Londoner Royal Festival Hall wird „aufgewärmt“

von

P. H. PARKIN und K. MORGAN

(Bauforschungsstation des Department of Scientific and Industrial Research, London)

Die Nachhallzeit ist das wichtigste Einzelkriterium zur Beurteilung der Akustik eines Konzertsaaes. Ein Saal mit einer — bis zu einer bestimmten Grenze — langen Nachhallzeit wird von Musikern im allgemeinen als „warm“, „wohlklingend“, „klangvoll“ beurteilt werden.

Die Nachhallzeit ist proportional zum Raumvolumen und umgekehrt proportional zum Schallschluckvermögen aller Innenflächen. Das Schluckvermögen vieler gebräuchlicher Baustoffe und Anstriche ist aber nur ungenau bekannt, besonders in bezug auf die tieferen Frequenzen: daher ist es schwierig, die Nachhallzeit eines neuen Saals vorauszubestimmen. Das Schluckvermögen bestimmter Oberflächen und Konstruktionen — z. B. von Einschubdecken — kann durch Laborversuche einfach nicht ermittelt werden. Diese allgemeine Ungewißheit hat sich bisher gewöhnlich in einer Unterschätzung des geschluckten Schalls ausgewirkt, und eine Anzahl großer moderner Konzertsäle haben kürzere Nachhallzeiten als beabsichtigt.

Die Londoner Royal Festival Hall wurde 1948 unter dem Blickpunkt eines Maximums an Vollklang auf Kosten der Klarheit konstruiert. Als der Saal dann gebaut war, besaß er ein Maximum an Klarheit aber — nach einer besonders von Musikern geteilten Ansicht — wenig Vollklang. Der Konstruktionswert der Nachhallzeit war 1,7 s bei mittleren Frequenzen (ca. 500 Hz) und 1,7 . . . 2,5 s bei tiefen Frequenzen (ca. 125 Hz), aber der tatsächliche Wert liegt bei 1,4 . . . 1,5 s. Wahrscheinlich hat diese kurze Nachhallzeit mehr als alles andere dazu beigetragen, daß der Saal als „trocken“ bekannt ist.

Moderne Säle sind durchschnittlich größer als ihre Vorgänger, so daß der geschluckte Schall aus zwei Umständen gestiegen ist: das Publikum ist größer, außerdem haben die modernen Sessel eine größere Oberfläche und sind weicher gepolstert. Es ist nicht ganz leicht, das Raumvolumen im selben Maß zu vergrößern, selbst wenn genügend Geld vorhanden ist. Dem Volumen werden oft bautechnische und architektonische Schranken gesetzt (z. B. wäre eine sehr hohe Decke ungünstig), außerdem könnten sich allzu-große Wegunterschiede als Echo auswirken, welches wieder nur durch weiches Material beseitigt werden könnte. Fällt die Nachhallzeit eines neuen Saals zu kurz aus, so ist es praktisch unmöglich, sie nachträglich nennenswert zu verlängern, denn das Volumen ist nicht mehr zu verändern und

nur im seltensten Fall kann auf eine genügend große Innenfläche härteres Material angebracht werden.

Die Schwierigkeit der Nachhallzeit-Vorausbestimmung und die Kosten nachträglicher Änderungen haben zusammen mit dem Wunsch, unter bestimmten Umständen die Nachhallzeit beliebig verändern zu können, zur Einbeziehung elektronischer Methoden geführt, wie sie in der Elektroakustik seit langem gang und gäbe sind, wobei der Mikrofon-schall elektro-mechanisch oder -akustisch verhallt wird. Im Konzertsaal treten hier aber bestimmte Schwierigkeiten auf, z. B. ist die Mikrofon- und Lautsprecher-aufstellung besonders kritisch, da das Orchestergleichgewicht nicht gestört werden darf und weil die Schallfolge aus den verschiedenen Lautsprechern für jeden Platz im Saal die richtige sein muß; außerdem muß die akustische Rückkopplung von den Lautsprechern auf die Mikrofone gering sein, um den Klang nicht durch Resonanzen zu färben.

Unterstützte Resonanz. Auf der Bauforschungsstation des Department of Scientific and Industrial Research ist ein elektronisches System zur Verlängerung der Nachhallzeit entwickelt worden, welches diese technischen Nachteile nicht hat. Es wurde „unterstützte Resonanz“ (*assisted resonance*) genannt. Um es zu verstehen, muß man die Schallwellenanordnung in einem Raum näher betrachten. Die aus einem Instrument ausgestrahlten Wellen werden von allen Raumflächen reflektiert; zwischen den verschiedenen Reflektionen (einschließlich des Direktschalls) entsteht eine Wechselwirkung und schließlich — bei bestimmten Frequenzen — eine Anordnung von stehenden Wellen mit Knoten, wo sich der direkte und reflektierte Schall ausgleicht, und Bäuchen, wo sie sich maximal verstärken. Die Anordnung wird bei jeder so resonierenden Frequenz eine andere sein. Wird nun bei einer solchen Frequenz ein Mikrofon in einem Schwingungsbauch und ein damit in Phase verbundener Lautsprecher in einem etwas entfernten Bauch aufgestellt, und wird der Verstärker so eingestellt, daß er genau die von den Wänden geschluckte Schallenergie ersetzt, so wird die Resonanz bei dieser Frequenz erhalten bleiben: die Nachhallzeit ist unendlich. Durch Zurückregelung des Verstärkers kann die Nachhallzeit bei dieser Frequenz zwischen Unendlich und dem natürlichen Wert beliebig geregelt werden. Sofern der Lautsprecherschall den Hörer nicht vor dem Direktschall erreicht, kann die Tatsache, daß die zusätzliche Schallenergie nicht von der ganzen Wandfläche, sondern nur von einem einzigen Punkt stammt, nicht wahrgenommen werden. Fig. 1 zeigt ein typisches Anwendungsbeispiel der unterstützten Resonanz in der Royal Festival Hall: die Kurve zeigt die Nachhallzeit eines Sinustones von 100 Hz aus einem auf der Bühne aufgestellten Lautsprecher im Verhältnis zur Verstärkung des Resonanz- oder Hilfslautsprechers.

In der Praxis müßte ein solcher Mikrofon-Lautsprecher-Kanal für jede Resonanzfrequenz des Raumes zwischen etwa 30 und 1000 Hz am passen-

den Ort aufgestellt werden (über 1000 Hz scheint der Nachhall keine große subjektive Wirkung auszuüben). Solche Resonanzen verschiedener Größenordnung treten in einem Konzertsaal mit kurzer Nachhallzeit unter etwa 1,5 s alle 3 bis 4 Hz auf (Fig. 2), also wurde ein Kanalabstand von 3 Hz gewählt, obwohl zu erwarten ist, daß weitere Untersuchungen zeigen werden, daß ein größerer Abstand ausreicht.

Theoretisch ist es zwar möglich, Mikrofon und phasengleichen Lautsprecher jedes Kanals in Schwingungsbüchchen aufzustellen, einfacher ist es aber, sie an praktisch passenden Orten anzubringen und die Verstärker mit einer Phasenregelung auszurüsten. In diesem Fall ist es aber unwahrscheinlich, daß das ganze Frequenzband gleichmäßig mit Kanälen versorgt wird; vielmehr werden sich Kanäle von selbst in Gruppen zusammenfinden und bestimmte gemeinsame Frequenzen, bei denen alle die betreffenden Mikrofone und Lautsprecher im richtigen Orts- und Phasenverhältnis zueinander stehen, bevorzugen. Um dies zu verhindern, muß für jeden Kanal ein Frequenzfilter vorgesehen werden. Dieser könnte zwar aus einer elektrischen Schaltung bestehen, jedoch haben sich akustische Helmholtzresonatoren, in denen sich das Mikrofon befindet und die die betreffende Frequenz um 30 . . . 35 dB unter weitgehendem Ausschluß aller Nachbarfrequenzen verstärken, besser bewährt. Diese Frequenzverstärkung wirkt nicht nur als Filter, sondern hebt das empfangene Signal weit über den Rauschpegel des Verstärkers an, was in einem guten Konzertsaal mit geringem Geräuschpegel wichtig ist.

Die Nachhallzeit der Royal Festival Hall hätte nur durch Anhebung des Daches nennenswert verlängert werden können. Das System der unterstützten Resonanz schien daher angebracht, vorausgesetzt, daß der Hörer es nicht von einer Verlängerung des wirklichen Nachhalls unterscheiden könnte. Es wurde also zunächst ein begrenztes System zu Experimentierzwecken eingebaut: 89 Kanäle in Abständen von etwa 3 Hz verstärken den Nachhall zwischen etwa 70 und 340 Hz; die Mikrofone in ihren Helmholtz-Resonatoren und die Lautsprecher sind alle in schon bestehenden Löchern in der Decke versteckt. Ohne öffentliche Bekanntgabe wurde das System am 25. März 1964 mit einer sehr geringen Verlängerung der Nachhallzeit in Betrieb genommen. Bis zum 30. April wurde die Nachhallzeit allmählich verlängert und dann unverändert gelassen. Erst am 7. Mai wurde öffentlich darauf hingewiesen (*New Scientist*, 22, 42). Am 30. Mai wurde der Saal vorübergehend geschlossen.

Auf die Nachhallzeitmessungen im leeren und vollbesetzten Saal mit und ohne das System soll in allen Einzelheiten an anderer Stelle eingegangen werden. Hier genügt das eine Beispiel Fig. 3: es zeigt den Unterschied in der Nachhallzeit mit dem aus- und dem bei seiner endgültigen Einstellung eingeschalteten System; die Messung fand bei 80 % besetztem Saal in Podiumsnähe statt (im Parkett sind die Nachhallzeiten wegen einer Eigen-

tümlichkeit dieses Saals um 0,1 . . . 0,2 s kürzer). Bei 125 Hz z. B. wurde die Nachhallzeit von 1,4 auf 2,0 s verlängert; hätte man hingegen die gesamte hölzerne Wandverkleidung durch härteres Material ersetzt, so wäre die Nachhallzeit nur um etwa 0,1 s gestiegen. Der Nachhallzeitverlängerung der unteren Frequenzen waren keine technische Grenzen gesetzt, doch war das Experimentalsystem nur für die unteren Frequenzen gebaut worden und es hätte sich auf die Akustik wahrscheinlich ungünstig ausgewirkt, hätte die Nachhallzeit dieser Frequenzen diejenige der mittleren Frequenzen um mehr als 50 % überstiegen. Durch systematische Experimente der subjektiven Wirkung hätte dies vielleicht ermittelt werden können, doch standen solchen Tests unüberwindliche Hindernisse entgegen: nicht nur hätte man ein Orchester und einen vollbesetzten Saal gebraucht, sondern das Bewußtsein des wissenschaftlichen Experiments hätte sowohl Publikum als auch Orchester in einen unnatürlichen Zustand versetzt. Stattdessen wurde die allgemeine mündliche wie auch briefliche Reaktion mit Hilfe von common sense ausgewertet. Erfreulicherweise war diese Reaktion — besonders von einigen Musikern — positiv genug, um „Interpretationen“ überflüssig zu machen. Kein einziges Mal wurde eine Schallverfälschung festgestellt, während einige Dirigenten (Barbirolli, Boult, Giulini, Kubelik) dem Geschäftsführer des Saals mitteilten, wieviel leichter es ihnen gefallen sei, eine gleichmäßige Klangverschmelzung und einen wärmeren Klang zu erzielen. Einige Orchestermitglieder haben sich in ähnlicher Weise ausgedrückt, und Yehudi Menuhin schrieb: „Ich möchte Ihnen mitteilen, wie sehr gebessert ich die Akustik der Festival Hall finde. Die erstaunlich warme Klangqualität der Streicher wie auch der Bläser haben mich aufs Angenehmste überrascht . . .“

Im Saal selbst ist der bemerkbare Unterschied geringer als auf dem Podium, vermutlich weil die Nachhallzeit bei 125 Hz nur 1,8 s im Saal gegenüber 2,0 s auf dem Podium beträgt; außerdem reagiert der Spieler wahrscheinlich empfindlicher auf die Akustik als der Hörer. Trotzdem bemerkte ein Kritiker einen neuen Klangreichtum des Saals schon einige Tage vor der ersten Bekanntmachung des Systems, und nach dieser schrieb der Kritiker der *New York Times*, er war sich „einer neuen Gleichmäßigkeit, Fülle und Instrumentenverschmelzung, welche die Festival Hall ganz bestimmt zu einer höheren Klasse anheben, bewußt . . .“

Das System ist offensichtlich vielversprechend, und es ist beabsichtigt, es zu den höheren Frequenzen hin auszudehnen. Der Rat der Grafschaft London hat kürzlich beschlossen, das System als Dauerbestand des Saals zu behalten.

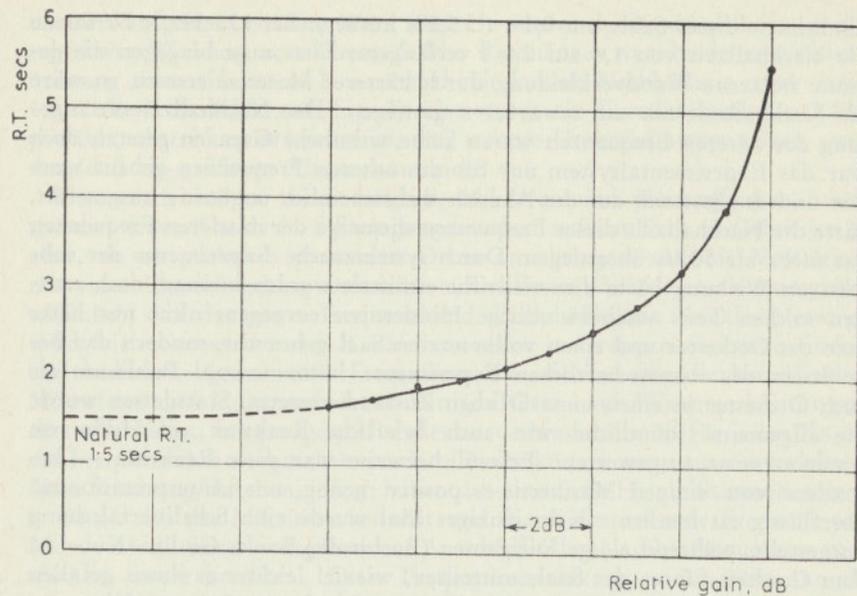


Fig. 1 Nachhallzeit eines Kanals (100 Hz) im Verhältnis zur Lautsprecher-
verstärkung.

Effect of gain of amplifier on the reverberation time for one channel
(100 c/s).

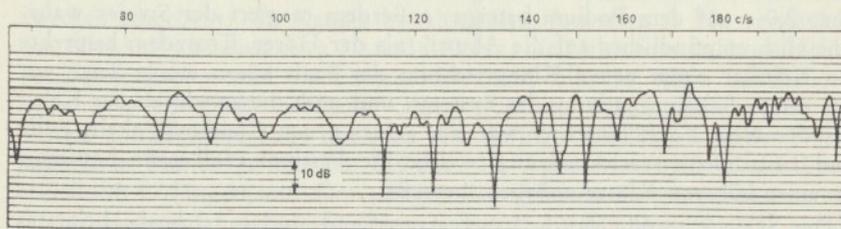


Fig. 2 Schalldruck in der Royal Festival Hall in Abhängigkeit von der Frequenz.
Variation of sound pressure with frequency in the Royal Festival Hall.

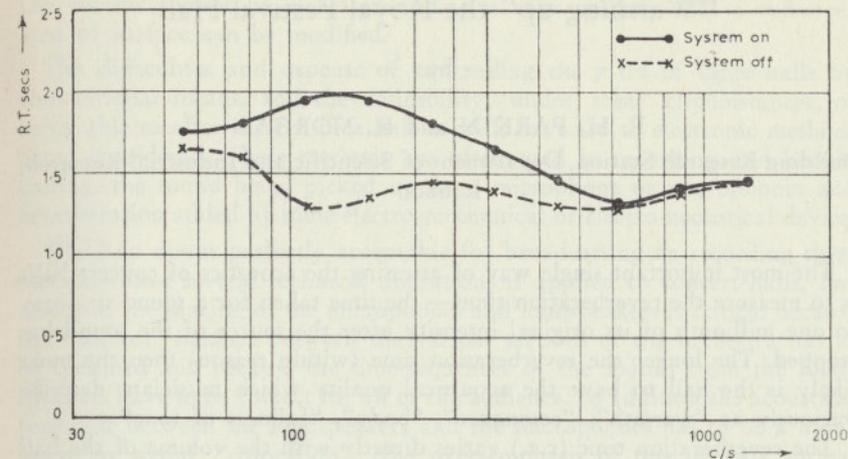
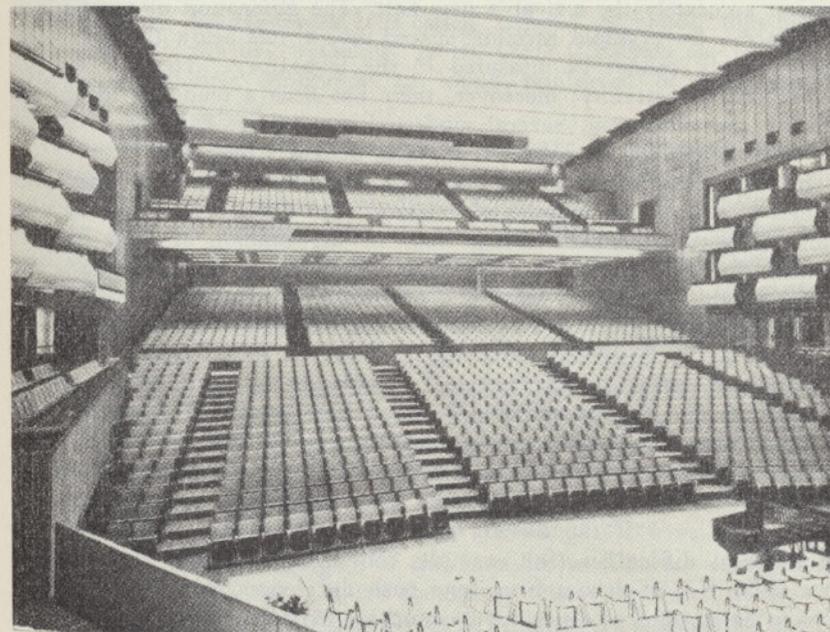


Fig. 3 Nachhallzeiten in Nähe des Podiums bei 80 % besetztem Saal. Volle
Kurve: System eingeschaltet; gestrichelte Kurve: System ausgeschaltet.
Reverberation times in 80 per cent full Hall near platform; system on and off.



Innenansicht der Royal Festival Hall. Der Saal wurde 1948 entworfen.
View of the interior of the Royal Festival Hall. It was designed in 1948.

“Warming up” the Royal Festival Hall

by

P. H. PARKIN and K. MORGAN

Building Research Station, Department of Scientific and Industrial Research,
London

The most important single way of assessing the acoustics of concert halls is to measure the reverberation time — the time taken for a sound to decay to one millionth of its original intensity after the source of the sound has stopped. The longer the reverberation time (within reason) then the more likely is the hall to have the acoustical quality which musicians describe variously as “warmth”, “resonance”, “body”, “fullness of tone”.

The reverberation time (r. t.) varies directly with the volume of the hall and inversely with the sound absorption. The absorption properties of many of the surface finishes used in concert halls are not known with much accuracy, particularly at the lower frequencies, so that it is difficult to forecast accurately the r. t. of a new hall. The absorption of some types of surface — for example, a ceiling spaced several feet below the structural roof — simply cannot be measured in the laboratory. There is always considerable uncertainty; moreover, there has been a tendency to underestimate the absorption. Several modern large concert halls have turned out to have shorter resonances than their designers intended.

The Royal Festival Hall, London, was designed in 1948 for maximum fullness of tone at the expense of “clarity”. But when it was built it was found to have maximum clarity and, in the opinion of some people, particularly performers, it was deficient in fullness of tone. The designed r. t. for the full hall was 1.7 seconds at medium frequencies (the conventional mid-frequency is 500 c/s) and between 1.7 and 2.5 seconds at low frequencies (125 c/s). As it turned out the actual r. t. was 1.4 to 1.5 seconds and the hall’s present reputation for “dryness” is probably due to this short r. t.

Modern halls being generally larger than their predecessors, the amount of sound absorption has become greater for two reasons: the audience to be accommodated is itself larger, and modern seats are more upholstered and more widely spaced. It is not easy to increase the volume proportionately even if the owners can afford to do so. There may be architectural difficulties (for example, too high a ceiling), and there is always the risk of echoes from long path differences, which would then have to be stopped by using more absorbent material. Thus, if a modern concert-hall, when built, turns out to have too short an r. t. then it is virtually impossible to lengthen it by any appreciable amount, because

the volume cannot be increased and it is very unlikely that a sufficient area of surface can be modified.

The difficulties and expense of controlling the r. t. s of large halls by conventional means, and the desirability, under some circumstances, of being able to alter the r. t. of a hall at will, have led to electronic methods being considered. These methods are often used in recording and broadcasting, the sound being picked up by a microphone or microphones and reverberation added by some electro-mechanical or electro-acoustical device.

While no doubt perfectly acceptable for broadcasting or recording these methods have several technical limitations if applied to concert-halls. For example, the placing of the microphones and loudspeakers is critical because the “correct” balance between the various sections of the orchestra has to be obtained and because the time-sequences of the sounds from the loudspeakers have to be correct for all of the audience. In addition the acoustical feedback between the loudspeakers and the microphones has to be a minimum to avoid “coloration” (the over-emphasis of one or two normal modes).

Assisted resonance. — The Building Research Station has developed an electronic system of lengthening the r. t. of a room which does not have these technical disadvantages. It is called “assisted resonance” thus hoping to please both worlds: “resonant” in the *OED* is defined as “(of sound) echoing, resounding, continuing to sound, reinforced or prolonged by vibration or reflection . . .”

To understand how the system works, we have to look more closely at the patterns of sound waves in a concert hall. The sound waves leaving an instrument are reflected from all the surfaces of the hall and thereafter interact with one another to set up “standing waves”, in which the direct and reflecting waves reinforce one another at some points (anti-nodes) and tend to cancel one another out at other points (nodes). The patterns will be different for each frequency and, indeed, only certain frequencies — the so-called “normal modes” — actually resonate in this way.

Suppose we now place a loudspeaker at one anti-node (pressure maximum) for a selected frequency, and a microphone at another anti-node, some distance away. Let us now connect the two by an amplifier, and arrange to be able to adjust the timing (phase) of the signal going through the amplifier so that the sound from the loudspeaker, arriving back at the microphone, is in step with the natural vibrations there.

If we then adjusted the gain of the amplifier so that, for example, the extra energy supplied by it equals the energy lost at the hall surfaces, then the reverberations (at this frequency) will be sustained indefinitely; the r. t. is infinite. If the gain of the amplifier is set at a little less than this, then the sound will die away more gradually than it would naturally, in fact

as slowly or as quickly as we choose, so that the r.t. is completely under control.

Such is the simple basis of the assisted resonance system. It works subjectively because, provided that the sound from the loudspeaker does not arrive at the listener before the sound from the original source, it is impossible to detect that the extra energy is all coming from one point and not — as with natural reverberation — from all the surfaces.

Figure 1 shows a typical result obtained in the Royal Festival Hall. The r.t. of a pure 100 c/s tone (the source being a loudspeaker on the platform) is plotted against the relative gain of the amplifier-loudspeaker "channel". As can be seen, the r.t. is easily controllable over a wide range.

In a concert hall it is desirable to control the r.t. from about 30 c/s up to about 1000 c/s; the r.t. at higher frequencies seems to have little subjective effect. Obviously many channels are required to cover this frequency range, and at this stage of development of the system the number of channels can only be guessed; eventually the maximum permissible spacing between the channels will have to be decided subjectively.

In a concert hall with a rather short r. t. — say, below 1.5 seconds — the spacing of the normal modes is about one every 3 or 4 c/s, although not every one of these is of equal amplitude (see Figure 2). Assisted resonance channels spaced every, say, 6 to 10 c/s might therefore be thought sufficient, but there is another consideration.

While there is one set of normal modes between any one source and any one listener under natural conditions, with the assisted resonance system there are effectively two — that between the source and the microphones of the system and that between the loudspeakers of the system and the listener. Indeed, here may be a weakness of the whole system. To guard against possible ill-effects, we have adopted a spacing of 3 c/s for the time being.

For purposes of explanation, we said earlier that one channel is set up by choosing microphone and loudspeaker positions at pressure anti-nodes of the particular frequency. In theory, the positions could be chosen so that the phase relationship is correct, but it is much easier in practice to incorporate a phase-adjusting network in the amplifier. If left to themselves, however, several channels will find some common frequency at which all their microphones and loudspeakers are in the correct positions and phase relationships.

This common frequency is thus very much "over-assisted". To stop this happening, it is necessary to use some form of frequency filter with each channel, and while this could be done electrically, it is better to put each microphone inside a tuned acoustic resonator (a Helmholtz resonator, which resembles a flask). The pressure gain inside the resonator at the resonant frequency can be some 30 to 35 decibels, with nearby frequencies virtually

excluded. Not only does the resonator provide a simple, sharp filter but also lifts the electrical signal from the microphone well above the electronic noise of the amplifier — an important point in a good concert-hall where the noise level at times is very low indeed.

In the case of the Royal Festival Hall, no structural alteration short of removing the existing ceiling — literally raising the roof — would make any substantial difference to the r.t. It was thought, therefore, that the hall would benefit from an assisted resonance system if it were found to be subjectively acceptable, that is to say indistinguishable from a "real" increase of r.t.

Accordingly, a limited experimental system covering the frequency range from about 70 c/s to about 340 c/s was installed, using a total of 89 channels spaced at about 3 c/s intervals. All the microphones (in their Helmholtz resonators) and the loudspeakers were fitted to existing holes in the ceiling, and nothing was visible from the auditorium.

Without any public announcement, the system was first brought into operation on 25 March 1964 with a very small increase in the r.t. The r.t. was gradually lengthened until 30 April, and was then left at this setting until the hall closed (temporarily) on 30 May; a public announcement about the system was made on 7 May (see *New Scientist*, Vol. 22, p. 42).

The measurements of r.t. made in the full and empty hall with and without the system will be discussed in detail in a specialised journal; the only results given here (Figure 3) are the r. t. s measured near the platform when the hall was 80 per cent full, with the system off and with the system on at its final setting. The r. t. s in the auditorium proper were between 0.1 and 0.2 seconds shorter, because of a peculiarity of the hall itself.

It will be seen that the r.t. at, for example, 125 c/s was increased from 1.4 seconds to 2.0 seconds. For comparison, an increase of not more than 0.1 seconds would have been obtained if all the wood panelling on the side walls of the hall had been replaced by some solid material. Technically, the r.t. at the lower frequencies could easily have been increased much more, but the experimental system was limited to the lower frequencies and the r.t. at low frequencies should not — it is generally thought — be more than 150 per cent of the value at 500 c/s.

We decided it was not possible to make any scientific subjective experiments — the difficulties were too great. An orchestra would be needed and the hall should be full; moreover, knowing that a test was being made would make the conditions unnatural for both the performers and the audience. Instead, the spoken and written reactions can be summarised on a common-sense basis.

Fortunately, these reactions — at least from some of the performers — have been so positive that not much "interpretation" is necessary. No one has complained of any form of distortion, while several conductors (Bar-

birolli, Boult, Giulini, Kubelik) have commented to the general manager of the hall that they had found it much easier to obtain a homogeneous blending and a more resonant and warmer tone.

Similar comments have been made by a number of orchestral players, and Yehudi Menuhin has written to the general manager: "I must write you to say how enormously improved I find the acoustics at the Festival Hall. I was amazed at the remarkably warm quality of the stringed instruments, as well as of the winds . . ."

The results in the auditorium are not so marked, presumably because the r.t. is only 1.8 seconds (at 125 c/s) compared with the 2.0 seconds on the platform, and perhaps partly because a performer may be more sensitive to the acoustical conditions than a listener is. Nevertheless, one music critic did comment, a few days before the public announcement, on a new richness of sound in the Hall, and the music critic of the *New York Times*, after the announcement, said that he was "conscious of a smoothness, richness and instrumental fusion that definitely puts the Festival Hall into a superior class . . ."

The system clearly shows considerable promise, and we hope to continue research to extend the range of the system to higher frequencies. The London County Council has recently decided to retain the apparatus as a permanent feature of the hall.

Stereophonische Wirkungen monauraler Schallübertragungen

von

ERMANN BRINER-AIMO
(Cheftonmeister von RSI, Lugano)

II. Raumeffekte

A) Hallradius

Die bis dahin zusammengestellten Überlegungen gelten für das freie Schallfeld. Am Mikrophon im Raum überlagert sich dem von der Schallquelle eintreffenden, mit der Distanz abnehmenden Direktschall der diffuse, raumcharakteristische, aber nahezu ortsunabhängige Nachhall.

Definition: Hallradius oder Hallabstand R ist derjenige Abstand von der Schallquelle, bei dem Direktschall und Hall dieselbe Schallstärke aufweisen. Dies bedeutet:

Mikrophonabstand $r < R$: vorwiegend Direktschall,

Mikrophonabstand $r > R$: vorwiegend diffuses Schallfeld.

Bedeutung: V das Raumvolumen in m^3 , T die Nachhallzeit in s , so ist R in m :

a) bei Mikrophon mit Kugelcharakteristik:

$$R_{\text{Kugel}} = \sqrt[3]{\frac{1}{310} \frac{V}{T}}$$

b) bei Richtmikrophon (bei Nieren- oder Achtercharakteristik wird der Hall nicht von allen Richtungen mit der gleichen Lautstärke aufgenommen):

$$R_{\text{Niere, Acht}} = \sqrt[3]{3} \cdot R_{\text{Kugel}}$$

Die graphischen Darstellungen (Fig. 7 für Kugelmikrophone, Fig. 8 für gerichtete Mikrophone) von R als Funktion von V , mit T als Parameter, dienen zur raschen Ermittlung dieses bei Aufnahmen kritischen Wertes von R . Seine Rolle ist nicht zu unterschätzen, denn beim Ausfallen des Richtungs hörens wird der Hallanteil schon störend empfunden, bevor er im Saal das erwünschte Maß überschreitet. Außerdem wird innerhalb R die Gestalt der Einschwingvorgänge vorwiegend von der Schallquelle selbst bestimmt, während bei Aufstellung des Mikrophons außerhalb R die Anhallzeit des Raumes in die Ausgleichvorgänge mit eingeht.

Beispiel 5a. Vorgehend wurde (Beispiel 2) bei Klavieraufnahmen ein Minimalabstand von $r = 3$ m gefordert. Unter Verwendung eines Kugel-

mikrophons bedeutet dies bei $T = 1,5$ s ein minimales Raumvolumen von $V = 4200$ m³, wenn die Aufnahme hinreichend direkt wirken soll.

Beispiel 5 b. Selbst bei dem durch Fig. 5 (erste Ordnung) gegebenem größeren Mikrofonabstand von 4 m genügt (ebenfalls bei $T = 1,5$ s) ein Raumvolumen von etwa 2500 m³ für genügenden Direktschall.

Beispiel 6 a. 1 m Abstand für Sprachaufnahmen ergibt bei Kugelmikrofon und $T = 1$ s ein notwendiges Minimalvolumen $V = 310$ m³.

Beispiel 6 b. Im 300 m³-Sprechstudio mit $T = 1$ s können die Sprecher bis zu einem Abstand von 1,7 m aufgestellt werden, bevor der Hall bei Verwendung von Richtmikrofonen überwiegt. Bei solchen Abständen spielt die Höhe des Mikrophons auch bei Sprechern verschiedener Größe keine Rolle mehr: es befinden sich sicher alle innerhalb des 45°-Winkels, von dem im Abschnitt A 1 die Rede war!

Beispiel 7 a. Orchesteraufnahmen. Damit der Entfernungseindruck einzelner Instrumentengruppen nicht dem zufälligen Tonumfang überlassen wird, ist es wünschenswert, vorwiegend im Fernfeld zu arbeiten. Um die Tiefenperspektive und die notwendige Klarheit nicht durch den Hall zu verwischen, wird man innerhalb vom Hallradius (oder wenigstens in seinem Bereich) bleiben. Schon für den im Hinblick auf die Orchestertiefe geringen Mikrofonabstand von 4,5 m und für $T = 1,7$ s (optimaler Mittelwert) folgt beim Kugelmikrofon (Fig. 7) ein minimales Raumvolumen um 10 000 m³. Dies erklärt die Tendenz, in Funkhäusern immer größere Orchesterstudios zu bauen.

Beispiel 7 b. Nierenmikrofon. Im Orchesterstudio von 10 000 m³ wird der Hallradius bei $T = 1,7$ s jetzt $R = 7,5$ m, was eine wesentlich größere Freiheit in der Orchesteraufstellung erlaubt.

Beispiel 8. Die öfters anzutreffende Größenordnung von $V = 5000$ m³ ergibt bei gerichtetem Empfang einen noch sehr knapp annehmbaren Hallradius von etwa 5,5 m.

Die Beispiele zeigen, daß auch von dem hier behandelten Standpunkt aus die Tiefenperspektive erzeugenden Mikrophone mit Nierencharakteristik vorzuziehen sind.

Wichtige Folgerung für Flächenstrahler: Der normalerweise anzutreffende Anstieg des Nachhalls bei tiefen Frequenzen verringert (gegenüber hohen Frequenzen) entsprechend den Hallradius und damit den günstigen Mikrofonabstand. Das Mikrofon müßte also ungeschickterweise noch weiter ins Nahfeld tiefer Frequenzen gerückt werden. Die Bündelung in der Hauptstrahlungsrichtung bedeutet aber eine räumliche Konzentration des Beitrages zum Direktschall, sodaß in dieser Richtung der Abstand doch größer bleiben darf als bei kugelsymmetrischer Abstrahlung. Dies ist also ein zusätzlicher Grund, bei Instrumenten großen Tonumfangs wie etwa dem Flügel das Mikrofon in der Hauptstrahlungsrichtung tiefer Frequenzen aufzustellen

(wenigstens soweit dies ohne Beeinträchtigung des klanglichen Gleichgewichtes möglich ist).

NB. Beim Flügel sind selbst in hohen Lagen durch das Schlaggeräusch tiefe Frequenzen wesentlich beteiligt.

B) Künstlicher Nachhall und scheinbare Raumgröße

Erlauben es Raumdimensionen, Eigenschaften und Aufstellung des Klangkörpers, mit dem Mikrofon innerhalb vom Hallradius zu bleiben, werden sich kaum Hallprobleme bei den Aufnahmen ergeben. Durch richtige Wahl der Mikrofondistanz (+- oder --abweichung vom Hallradius) kann man das erwünschte Intensitätsverhältnis von Hall zu Direktschall erreichen. Kritischer werden die Aufnahmebedingungen bei zu kleinen Räumen, und wenn die Notwendigkeit besteht, künstlich die Nachhallzeit zu vergrößern.

Die Richtung, Distanz und Klangfarbe bestimmenden Einschwingvorgänge besitzen eine Dauer von der Größenordnung 50 . . . 100 ms. Überlagert sich der Nachhall diesen Einschwingvorgängen durch zu frühes Einsetzen, muß demnach das Klangbild verwischt erscheinen. Dies ist ein zusätzliches Argument für großzügige Raumdimensionen (50 ms Hallverzögerung entsprechen, je nach der Geometrie des Raumes, einem Volumen von 5000 . . . 10 000 m³).

Bei Hinzufügen von künstlichem Nachhall (Hallraum oder Hallplatte) wird bei gegebenen Raumbedingungen der scheinbare Hallradius kleiner: das Verhältnis von Direktschall zu Nachhall verringert sich. Außerdem überlagern sich die Ausgleichvorgänge von (kleinem) Raum oder Hallplatte zeitlich den zu erhaltenden Einschwingvorgängen der Schallquellen. — Diese Nachteile kann man durch zeitliche Verzögerung des Halls beheben.

Die verspätete Erzeugung des künstlichen Halls kann man auf zwei Arten erzielen:

a) Bei Entnahme am Hauptmikrofon durch eine magnetische Zwischenaufnahme (etwa Telefunken-Laufzeitgerät ELA T 101). Die Verzögerungszeit wird dabei durch die Bandgeschwindigkeit oder durch den Abstand zwischen Aufsprech- und Abhörkopf geregelt.

b) Durch ein gesondertes, in entsprechender Entfernung aufgestelltes Raummikrofon.

1. Hall am Hauptmikrofon abgenommen

Erfolgt die Aufnahme mit dem Mikrofonabstand r ($< R$), tritt der Primärschall auf das Mikrofon nach der r entsprechenden Laufzeit ein. Der Hall beginnt mit dem Eintreffen des ersten Rückwurfes. (Strenggenommen darf eine sofortige isolierte Reflexion nicht mit dem Halleinsatz gleichgesetzt werden, da sie nicht getrennt empfunden wird, sondern den Schall durch den Haas-Effekt verstärkt. Bei den hier durchgeführten Betrachtungen

soll aber von dieser Unterscheidung abgesehen werden, da es sich bei Mikro-
phonaufnahmen um möglichstes Erhalten der Deutlichkeit trotz Einbezug
genügender Raumwirkung handelt.) Ist d der Abstand von der nächsten
Raumbegrenzungsfläche, beträgt die raumbedingte Verzögerung des Hall-
einsatzes (Laufzeitdifferenz zwischen Direktschall und erstem Rückwurf)

$$t = \frac{1}{c} (\sqrt{r^2 + 4d^2} - r)$$

Vernachlässigt man beim Gebrauch einer Hallplatte die Laufzeit der kur-
zen Strecke zwischen Erregungs- und Abtastsystem, setzt der künstliche Hall
nahezu beim Eintreffen der Primärfront auf das Hauptmikrofon ein. Es
ist demnach, um nicht paradoxerweise bei längerem (künstlichem) Nachhall
einen kleineren Raum darzustellen (von etwa erwünschten Spezialeffekten
abgesehen), für eine obigem Ausdruck entsprechende Verzögerung zu sor-
gen. Ohne diese Maßnahme kann man wohl die Halligkeit vergrößern, nicht
aber einen größeren Raum darstellen, da der Eindruck der Raumgröße nicht
durch die Hallzeit, sondern durch die Laufzeitdifferenz des ersten Rück-
wurfes erzeugt wird (Vermeulen).

Beispiel 9. $V = 5000 \text{ m}^3$; $T = 1,5 \text{ s}$; $R = 3,28 \text{ m}$. Bei Aufstellung in
der Raumachse ist angenähert

$$d = \frac{1}{2} \sqrt[3]{V} = \frac{1}{2} \cdot 17,1 \text{ m}$$

und bei Aufnahme im Abstand R (Hallradius) ist $t = 41,5 \text{ ms}$.

Zur raschen Ermittlung der Hallverzögerung dient Figur 10. Als Abszisse
ist unten der Abstand zur nächsten Rückwurffläche angegeben, oben als
Orientierung das ungefähr entsprechende Raumvolumen bei Aufnahme in
Raummitte. Ordinate auf der linken Seite: Hallverzögerung.

Soll eine höhere Verzögerungszeit erwünscht sein, ist durch kleineren
Mikrofonabstand (aus Figur 10 zu entnehmen) für eine entsprechende rela-
tive Verspätung des Raumhalls zu sorgen. Dabei ist nicht zu vergessen, daß
nach E. Petzold die Verwischungsschwelle, das heißt die maximale nicht
störende Laufzeitdifferenz, folgendermaßen festgelegt wurde (diese Werte
sind auch in Fig. 10 eingetragen):

	max. zulässige Laufzeitdifferenz	entsprechende Laufwegdifferenz
Sprache	$t = 50 \text{ ms}$	$s = 17 \text{ m}$
Kirchenmusik	$t = 40 \text{ ms}$	$s = 13,5 \text{ m}$
Weltliche Musik	$t = 35 \text{ ms}$	$s = 12 \text{ m}$

Beispiel 10. Im Raume von Beispiel 9 erhält man eine Verzögerung von
48 ms beim Mikrofonabstand $r = 75 \text{ cm}$, wobei zu bedenken ist, daß die
untere Grenze des Mikrofonabstandes nicht nur durch die größte zulässige
Zeitdifferenz gegeben ist, sondern daß weiterhin, je nach der Natur der

Aufnahme, die Schranke der erwünschten Feldeigenschaften nach den ersten
Abschnitten dieser Mitteilung („Mikrophondistanz“) gilt.

Je absorbierender der Raum ist (schalltoter Raum im Grenzfall), desto
unbedeutender wird der Intensitätsbeitrag des Raumhalls im Vergleich
zum künstlichen Hall und um so freier kann man über die Verzögerung
und somit über die vorzutäuschende Raumgröße verfügen.

Beispiel 11. In einem Aufnahmestudio starken Schluckgrades soll
ein großer, halliger Raum vorgetäuscht werden. Es sei angestrebt:
 $V' = 15000 \text{ m}^3$, $T' = 5 \text{ s}$. Wird der Pegel des künstlichen Halls dem-
jenigen des Direktschalls gleichgemacht, erfolgt (nach Definition) scheinbar
die Aufnahme im Hallabstand des Raumes V' . Es gilt dafür (Fig. 7)
 $R = 3,1 \text{ m}$. Die Hallverzögerung, die dem Raum V' entsprechen würde
und für die vorzusorgen ist, beträgt näherungsweise (Fig. 10) $t = 64 \text{ ms}$.
Da bei derart großer Verzögerung der Halleinsatz getrennt vom Primär-
schall empfunden wird, kann die entstehende Lücke überbrückt werden
durch eine etwa um 30 . . . 35 ms verspätete, isolierte Wiederholung des
Direktschalls (durch zusätzlichen Abhörkopf am Magnetton-Verzögerungs-
gerät). Diese Maßnahme entspricht den realen Verhältnissen zeitlicher Tren-
nung zwischen Eintreffen des ersten Rückwurfes und eigentlichem Hall-
einsatz.

Befindet sich die Schallquelle sehr nahe an der Rückwand, kann der ent-
sprechende schallverstärkende Rückwurf für diese Abschätzung als gleich-
zeitig mit dem Primärschall angenommen werden, um so mehr, als er sich
zeitlich vom eigentlichen Hallbeginn distanziert, so daß auch dann für den
Halleinsatz die nächste Seiten- oder Deckenfläche maßgebend bleibt. —
Bei größerer Entfernung von der Rückwand gilt vorstehende Überlegung
wieder, wenn diese Entfernung mindestens d (= Abstand von der nächsten
Seiten- oder Deckenfläche) beträgt. Dasselbe gilt auch für die Boden-
reflexion, was an einem Zahlenbeispiel gezeigt werden soll:

Beispiel 12. Schallquelle und Mikrofon auf Höhe $h = 1,5 \text{ m}$. Aufnahme-
abstand $r = 1 \text{ m}$. Daraus folgt: $t = 6,5 \text{ ms}$. Dieser einmalige Rückwurf
eilt dem Halleinsatz deutlich vor. — Noch „gleichzeitiger“ erfolgt diese
Tonwiederholung bei größerem Mikrofonabstand. Schon bei $r = 2 \text{ m}$ ist
 $t = 4,7 \text{ ms}$. Darin liegt wiederum ein Grund, den Mikrofonabstand nicht
geringer als unbedingt erforderlich zu wählen (Solisten, Sprache!) und mög-
lichst Boden- und Tischreflexionen auszuschalten, soll volle Klarheit be-
wahrt bleiben.

Bei Mikrofonen mit Richtcharakteristik gelten sinngemäß dieselben
Überlegungen, wobei d der Abstand der nächsten in der Aufnahme-
richtung liegenden Begrenzungsfläche wird.

2. Getrenntes Hallmikrofon

Auf das Hauptmikrofon mit Abstand $r < R$ trifft der Hall mit der
Laufwegdifferenz $s = ct$ ein (c = Schallgeschwindigkeit, t = weiter oben

angegebene Laufzeitverzögerung). Um dieselbe Verspätung beim Einsatz des künstlichen Halls zu erhalten, ist dementsprechend dieser Abstand s zwischen Hauptmikrofon und Hallmikrofon einzuhalten (Fig. 11: das Hallmikrofon speist direkt die Hallplatte). Es gilt wiederum Fig. 10 mit der rechts aufgetragenen, auf Schallweg umgerechneten Ordinate. Mit dieser Umdeutung gelten dieselben Überlegungen wie im vorangehenden Abschnitt. Die Aufstellung soll zweckmäßigerweise so geschehen, daß das Hallmikrofon in einem Abstand $> R$ von der Schallquelle zu stehen kommt.

Bei dieser Methode besteht weit größere Freiheit in der Gestaltung des Nachhallcharakters, da das Hallmikrofon jeder Art sein kann (Kugelmikrofon, Richtmikrofon nach vorne oder gegen eine bestimmte Reflexionsfläche usw. gerichtet).

Die ausgeführten Überlegungen über Hallverzögerung gelten bei Verwendung von Kugelmikrofonen. Bei Richtmikrofonen bestimmt die Richtcharakteristik, welche Reflexionsfläche für den Halleinsatz maßgebend ist. Eine allgemeine Überlegung läßt sich nicht mehr anstellen, da die Bedingungen zu stark von der Raumgestaltung und der Mikrophonaufstellung abhängen, aber die weiter oben durchgeführten Abschätzungen zeigen genügend, wie die entsprechenden Überlegungen von Fall zu Fall abzuändern sind.

Bei den leider oft zu kleinen Aufnahmeräumen ist es nicht angebracht, mit Kugelmikrofonen zu arbeiten, nicht nur weil sonst der Hallradius und damit der Mikrofonabstand zu gering ausfallen würde, sondern auch um zeitlich die Rolle der Seitenwände (oder der Decke) als Rückwurf-flächen herabzusetzen.

Beispiel 13 (s. Fig. 12). In einem Raum von $7 \times 11 \times 18$ m, $V = 1400$ m³ und $T = 1,5$ s ist $R = 3$ m. Die Schallquelle befindet sich $d = 5$ m vor der reflektierenden Rückwand, das Mikrofon in der Raumachse, $r = 2$ m davon entfernt. Verwendet man genügend schmal gebündelte Richtmikrophone oder bewegliche absorbierende Wandschirme, können in bezug auf die zuerst auftreffende Reflexion Decke, Boden, Seitenwände vernachlässigt werden. Es ist dann:

Laufweg für Direktschall: r

Laufweg für Hallbeginn: $2d + r$

Das Hallmikrofon ist demnach im Abstand $s = 2d = 10$ m vom Hauptmikrofon aufzustellen, oder sollte bei nur einem Mikrofon die Verspätung durch die Zwischenaufnahme $t = 2d/c = 30$ ms betragen. — Soll die Aufstellung getrennter Mikrophone noch möglich sein, folgt der größtmögliche Abstand der Schallquelle von der Rückwand bei einer Raumlänge L aus $d + r + s = 3d + r = L$. Also

$$d = \frac{L - r}{3}$$

In unserem Beispiel gibt dies $d = (18 - 2)/3 = 5,3$ m. — Kann dieser Abstand nicht eingehalten werden, ist es möglich, die fehlende Laufzeitdifferenz noch durch die Methode der Zwischenaufnahme hinzuzufügen. Man kann auch eine schallharte Fläche wie z. B. das Fenster zum Regieraum dazu benützen, durch Reflexion den Schallweg zum (gerichteten) Hallmikrofon zu vergrößern. — Die oben berechnete Verzögerung von 30 ms würde bei $r = 2$ m einem seitlichen Wandabstand von 4,9 m entsprechen und wird nun (schmale Richtcharakteristik!) auch dann erhalten bleiben, wenn die Schallquelle näher zur Seitenwand steht.

Diese Überlegung kann von Bedeutung sein, wenn man einen komplexen Schallkörper (Orchester, Chor) in einem zu kleinen Raum aufnehmen muß, und sie zeigt, wie auch vom soeben behandelten Standpunkt aus bei schwierigen Bedingungen den Richtmikrofonen der Vorzug zu geben ist.

C) Intensitätsverhältnis von Hall zu Direktschall

1. Ohne künstlichen Hall

Beim Mithören im Raum selber wirkt die optische Lokalisierung der Schallquelle dem Verwischen der Deutlichkeit durch den Hall entgegen; Aufnahmen, im Abstand des Hallradius durchgeführt, erscheinen hingegen zu hallig. Man wird deswegen unter diesem Abstand bleiben müssen. Beim Hören im Raum trifft der Direktschall nahezu gleichzeitig auf beide Ohren. Sicher genügende Lokalisierung tritt dann (im Extremfall) auf, wenn der Hallrückwurf nur auf ein Ohr wirkt, das heißt (Hören im Hallabstand R vorausgesetzt), daß er dann gegenüber dem Direktschall einen um 6 dB niedrigeren Pegel aufweist. Um dieselben Verhältnisse am Mikrofon zu verwirklichen, ist auf halbe Hallintensität zu gehen, oder genauer auf den Abstand $\frac{1}{\sqrt{2}} R = 0,7 \cdot R$. Dies soll, der annähernden Überlegung und der verschiedenen stilistischen Forderungen wegen nur als Faustregel gelten.

2. Mit künstlichem Nachhall

a) Künstlicher Hall ohne Zeitverzögerung

Wird der künstliche Nachhall auf den gleichen Pegel wie der natürliche eingestellt, gilt folgende Überlegung: Der Aufnahmeabstand

$$r = \sqrt{k \frac{V}{T}}$$

(der das Verhältnis von Hall zu Direktschall darstellt) bleibt demjenigen im hypothetischen Raum V' mit dem künstlich erzeugten Hall T' gleich; also ist das scheinbare Raumvolumen

$$V' = V \frac{T'}{T}$$

Es nimmt in gleichem Maße wie der Nachhall zu, wobei sich aber die Deutlichkeit vermindert. Es ist auch nicht zu vergessen, daß die optimale Nachhallzeit des Raumes nicht proportional zum Volumen steht, sondern weniger rasch als dieses ansteigt.

Wird auf Erhalten der Deutlichkeit Gewicht gelegt, ist zu berücksichtigen, daß die hauptsächliche Energie innerhalb 50 ms einzutreffen hat — genauer, daß nach 50 ms eintreffende Beiträge 10 dB geschwächt sein müssen. Da man im Verhältnis der praktisch durch die Hallmaschine beigefügten Hallzeiten das Intervall von 50 ms vernachlässigen kann, gilt somit die Faustregel, den Pegel des künstlichen Halls gegenüber dem Direktschall etwa 10 dB niedriger zu halten.

b) Künstlicher Hall mit Zeitverzögerung

Wie vorstehend ausgeführt, dient die Verzögerung zur Wahrung der Deutlichkeit und des Raumvolumeneindrucks. — Nach der Zeitverzögerung t setzt der um x dB niedrigere Nachhall ein. Verlangt wird ein um 10 dB niedrigerer Pegel nach 50 ms. Es wäre sinnlos, hier die in bezug auf T geringen zeitlichen Differenzen zwischen Halleinsatz und 50 ms Zeitabstand zu berücksichtigen, sodaß weiterhin die Faustregel gilt, der Hallpegel ist etwa $x = 10$ dB unter dem Direktschall.

D) Ambiophonie

Der unter Berücksichtigung der verschiedenen angedeuteten Gesichtspunkte dosierte Hall ist geeignet, die durch Schallfeldüberlegungen gewonnene Plastizität zu vergrößern (oder zumindest nicht zu verwischen) und einen guten Raumeindruck zu vermitteln. Würde dieser Hall als zweite, getrennte Information der Sendung des Direktklanges beigegeben und über entsprechende Halllautsprecher wiedergegeben, wobei dem Hauptlautsprecher nur der möglichst trockene Direktschall zugeordnet wäre, könnte der Raumeindruck viel überzeugender übertragen werden als durch Stereophonie allein. Während bei der Stereophonie der Hörer gewissermaßen durch ein weites Fenster in den Raum hört (auch der Hall kommt immer aus den beiden Stereolautsprechern von vorne, wenn nicht zusätzlich für genügende Schalldiffusion gesorgt wird), würde er bei Verwendung der beiden Kanäle zur Übertragung von Direktschall und Hall in den Raum versetzt. Allerdings ginge dabei die stereophonische, deutlichkeitsfördernde Seitenortung verloren. Um auch diese zu erhalten, müßte zu den beiden Stereophoniekanälen ein dritter Hall- oder Effektkanal hinzukommen (vgl. D. Kleis: Experimente zur Verbesserung der Raumwirkung. Bericht über die 3. Tonmeistertagung in der Nordwestdeutschen Musikakademie Detmold). Es besteht die Möglichkeit, für die drei Informationen mit nur 2 Sendekanälen auszukommen (L. Keibs: Möglichkeiten der stereo-ambiophonen Schallübertragung auf 2 Kanälen. *Acustica* 12 (1962) S. 118).

Zugunsten der Monophonie mit getrennter Hallübertragung spricht der geringere Aufwand gegenüber der Stereophonie, da der Hallkanal weniger hohen Anforderungen als der Hauptkanal genügen müßte, was sowohl für Tonspeicher (Schallplatte), Übertragungskette als auch für Lautsprecher gegenüber der stereophonen Technik nicht unbedeutende Vereinfachungen zuließe.

III. Klangwiedergabe

Idealisiert man den Lautsprecher als starre, freischwingende Kolbenmembran mit Durchmesser $D = 2q$, läßt er sich als Kugelstrahler erster Ordnung betrachten: Achter-Richtwirkung durch akustischen Kurzschluß.

Schwingt hingegen die starre Membran in einer unendlich ausgedehnten Schallwand, erfolgt im wesentlichen die Abstrahlung innerhalb eines Kegels mit Öffnungswinkel

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,6 \frac{\lambda}{q}$$

(wobei nur der durch die Schallwand begrenzte vordere Halbraum von Interesse ist). Außerhalb dieses Kegels kommen schwächere Nebenmaxima zur Ausbildung. — Je niedriger die Frequenz und je kleiner der Membrandurchmesser ist, umso mehr weitet sich das Hauptmaximum aus und desto besser wird ein Kugelstrahler nullter Ordnung angenähert.

Ist hingegen die Wellenlänge nicht mehr groß gegenüber dem Membrandurchmesser, nähert sich trotz der Schallwand die Abstrahlung wiederum derjenigen eines Kugelstrahlers erster Ordnung: Die Schallwand verhindert zwar den akustischen Kurzschluß, aber die Richtungs Bündelung (Zusammendrängen der Abstrahlung zur Mittelnormalen) wird mit zunehmender Frequenz immer schärfer, so daß sich das Feld dem Charakter des Strahlers erster Ordnung nähert, wobei die Bedeutung der Schallwand immer geringer wird.

Diese Feststellungen führen zu folgenden Konsequenzen:

Abhör- und Lautsprecher

Ideal für das Abhören wäre ein Lautsprecher, der (bei gleichem Schalldruck am Mikrofon) allseitig eine frequenzunabhängige konstante Leistung abstrahlt, also in keinem Frequenzgebiet gebündelt strahlt. Dies bedeutet aber, daß die Dimension des Lautsprechers so groß sein müßte, daß die primäre Schallwelle eben bleibt, da sonst die Krümmung der Primärwellenfront den Eindruck einer nahestehenden sekundären Schallquelle (des Lautsprechers selber!) erweckt und die Übertragung der Tiefenstaffelung der Musikinstrumente illusorisch würde. Gerichtete Lautsprecher wirken näher als ungerichtete wegen der größeren Reichweite des Nahfeldes bei erster Ordnung gegenüber nullter Ordnung. Dies erklärt die Bedeutung einer genügend groß dimensionierten Schallwand.

Besser als ein Einzellautsprecher ist die Parallelschaltung mehrerer auf einer Ebene angeordneter *Tiefstonstrahler*. Dabei ergeben einen guten Kompromiß zwischen Wirkung und Aufwand 4 Lautsprecher.

Im *hoben* Frequenzgebiet erfolgt das Abhören praktisch im Fernfeld. Hier wird die Forderung nach fehlender Richtwirkung am besten durch die kugelförmige Anordnung einer Anzahl von Hochtonlautsprechern erfüllt.

Beiden Ansprüchen genügt der deutsche Einheits-Regielautsprecher oder etwa der Telefunken-Lautsprecher O 85. (In bezug auf den Kugellautsprecher sei auf eine Spezialschaltung von F. Enkel zur sekundären Steuerung der Strahlungsordnung in Abhängigkeit von der Ausdehnung der primären Schallquelle hingewiesen, die in den Gravesaner Blättern 4 (1958) Heft 11/12, Seite 10, beschrieben wird.)

Auch die großflächigen elektrostatischen Lautsprecher genügen der Forderung nach ebenen Wellenfronten wenigstens angenähert in der Hauptstrahlungsrichtung, da sie auf der ganzen Fläche konphas angeregt werden. Diese Lautsprecher besitzen außerdem den sonst schwer zu erreichenden Vorzug, die tiefen Frequenzen mit der für die hier durchgeführten Betrachtungen besonders wichtigen Treue des Zeitverlaufs wiederzugeben. Ihre Intensität geht allerdings nicht über Zimmerlautstärke hinaus.

Außer der klanglichen ist auch die räumliche Fülle, wie wiederholt bemerkt, durch die tieffrequenten Vorgänge gegeben. Dies führt einerseits zum Hinweis, im Kontrollraum nicht zu leise abzuhören (wegen des Empfindlichkeitsabfalles des Ohres im unteren Frequenzgebiet), was allerdings nicht mit dröhnender Lautstärke gleichzusetzen ist, andererseits zur Forderung, die tiefen Eigenfrequenzen von Lautsprecher und Raum genügend zu dämpfen, damit sie den Primärschall nicht verfälschen. Dazu eignet sich besonders die raumakustische Verwendung von Membranabsorbent. Elektronische Entzerrung ermöglicht es, einen geraden Frequenzgang wieder herzustellen.

Nur peinliches Einhalten der angedeuteten Richtlinien rechtfertigt den Gebrauch hochwertiger Lautsprecher, um die Deutlichkeit tiefer Einschwingvorgänge zu erhalten und somit die Plastizität zu erhöhen.

In der mittleren Hörerwohnung beträgt der Hallradius etwa 1 m, es herrscht also diffuses Schallfeld vor. Die Sorgfalt in der Lautsprecherwahl und -aufstellung (meistens sehr vernachlässigt!) rechtfertigt sich dennoch, da beim zweiohrigen Hören die Schallquellenlokalisierung durch den Haas-effekt erhalten bleibt.

IV. Schallfeldgrößen

Da es oft notwendig ist, physikalische und physiologische Größen der Akustik ineinander umzurechnen und den Zusammenhang der verschiedenen Schallfeldgrößen in Abhängigkeit der Frequenz zu überblicken, sei als Anhang noch eine entsprechende graphische Darstellung hinzugefügt (Fig. 13).

Objektive Größen (Abszisse). Die horizontalen Skalen auf der Unterseite der Tafel gestatten die Umrechnung zwischen folgenden physikalischen Größen: Schalldruck in μbar , in atm, in mm Hg; Schalleistung in watt/cm^2 . Weiter ist noch die Dezibel-Skala eingetragen. Definitionsgemäß ist das Dezibel ein logarithmisches Maß für Verhältnisse; durch die konventionelle Festlegung eines Bezugsniveaus ($P_0 = 2 \cdot 10^{-4} \mu\text{bar}$ Schalldruck, oder $N_0 = 10^{-16} \text{ watt/cm}^2$ Schalleistung) wird es zum absoluten Maß. Unter den Dezibel sind die entsprechenden Schalldruckverhältnisse P/P_0 und die Leistungsverhältnisse N/N_0 eingetragen. — Auf der Oberseite der Tafel läßt sich über der wiederholten Dezibel-Skala die Schallschnelle in cm/sec ablesen.

Subjektive Größen (Ordinate). Zur Umrechnung objektiver Daten, wie etwa Dezibel, in Phon muß die Frequenzabhängigkeit der Ohrempfindlichkeit bekannt sein. Auf der linken Seite der Tafel sind vertikal die beiden Phon-Skalen (die ältere, bis 1937, und die jetzt gültige) aufgetragen. Sie sind derart definiert, daß dem Schalldruck von 1 μbar bei 1000 Hz 70, bzw. 74 Phon entsprechen. — Für 1000 Hz stimmen definitionsgemäß Phon und Dezibel überein. Dementsprechend ist die Abbildungskurve für diese Frequenz eine Gerade. Für die Umrechnung bei anderen Frequenzen dient eine Schar Kurven, von denen einige eingetragen sind. Man erhält sie durch Einzeichnen der bekannten Kurven gleicher Lautstärke nach H. Fletcher und W. A. Munson. — Mit steigendem Frequenzparameter (bis 4000 Hz) verschieben sich die Abbildungskurven von rechts nach links, für höhere Frequenzwerte (über 4000 Hz) liegen sie wieder weiter rechts. Gestrichelt ist die Kurve für 10 000 Hz eingetragen. — Das eingefasste Gebiet (ausgezogen bis 4000 Hz, gestrichelt für höhere Frequenzen) ist das in der Musik gebräuchliche.

Wie die Dezibel-Skala gibt auch die Phon-Skala den 20-fachen Logarithmus eines Schalldruckverhältnisses wieder. Das Bezugsniveau ist aber jetzt frequenzabhängig und stellt den Schwellenwert für die entsprechende Frequenz dar. Rechts auf der Tafel befindet sich die entsprechende P/P_0 -Skala.

Physiologische Größen. Die Phon besitzen als logarithmische Einheit den Vorzug leichter Brauchbarkeit, aber sie entsprechen nur angenähert der Ohrempfindlichkeit. Die „Lautheit“-Skala in Millisonen ist physiologisch an Stelle der P/P_0 -Skala zu setzen. Sie befindet sich rechts (vertikal) auf der Tafel.

Der Vorteil des Sone-Maßes liegt darin, daß doppelte Sonezahl ungefähr doppeltem, dreifache Sonezahl etwa dreifachem Lautstärkeindruck entspricht. — Hingegen bewertet die Sone-Skala „große Lautheit mit sehr großen Zahlenwerten, es wird so der Eindruck erweckt, daß das Ohr auch eine sehr große Anzahl verschiedener Lautheitsgrade empfinden könne. Tatsächlich ist dies nicht der Fall; das Ohr kann nur eine verhältnismäßig geringe Anzahl verschiedener Lautstärkegrade unterscheiden. Die Phon-

skala mit rund 130 Skalenteilen zwischen der Hörschwelle und der Schmerzschwelle wird in dieser Hinsicht den tatsächlich vorliegenden Verhältnissen besser gerecht“ (Trendelenburg). Man könnte aus diesem Grund, und um einen leichteren Vergleich zwischen dem tatsächlichen Verhalten des Ohres und den Phon-Zahlen zu ermöglichen, zum 20-fachen Logarithmus der Millisonen übergehen. Dieser Versuch wurde ganz rechts (vertikal) eingetragen und mit „Empfindung“ angeschrieben.

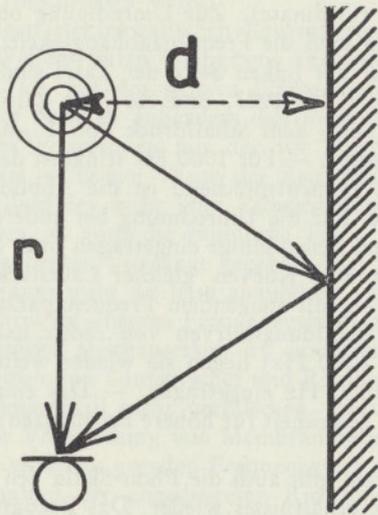


Fig. 9 Direktschall und Reflektion
Direct sound and reflection

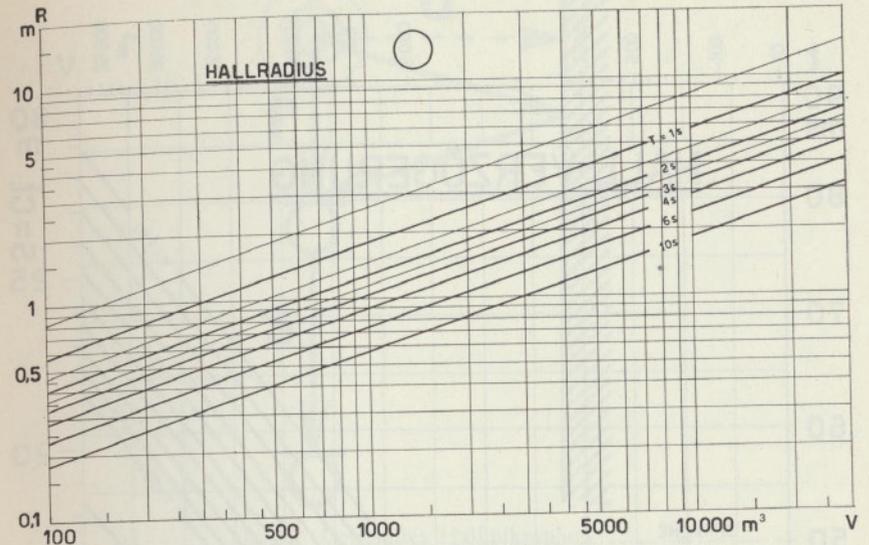


Fig. 7 Hallradius für Mikrofon mit Kugelcharakteristik
Reverberation radius for omnidirectional microphone

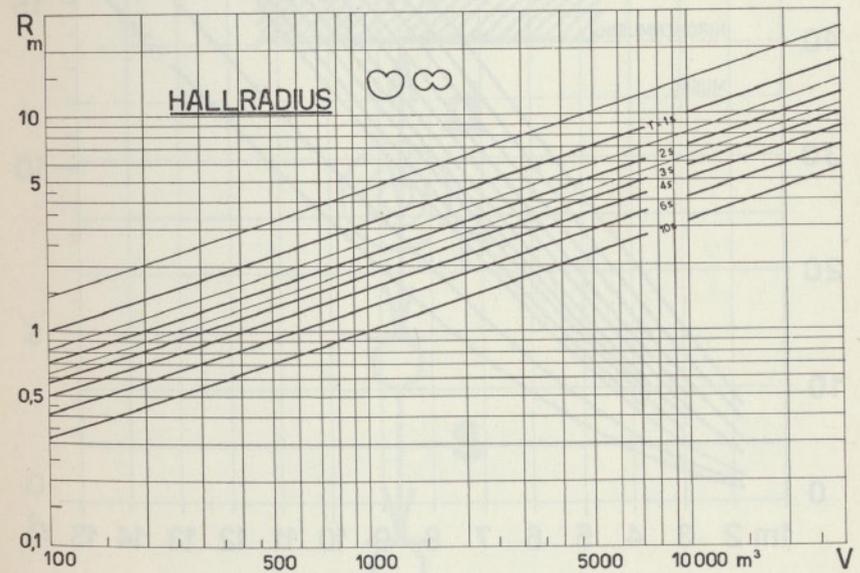


Fig. 8 Hallradius für Richtmikrofon
Reverberation radius for directional microphone

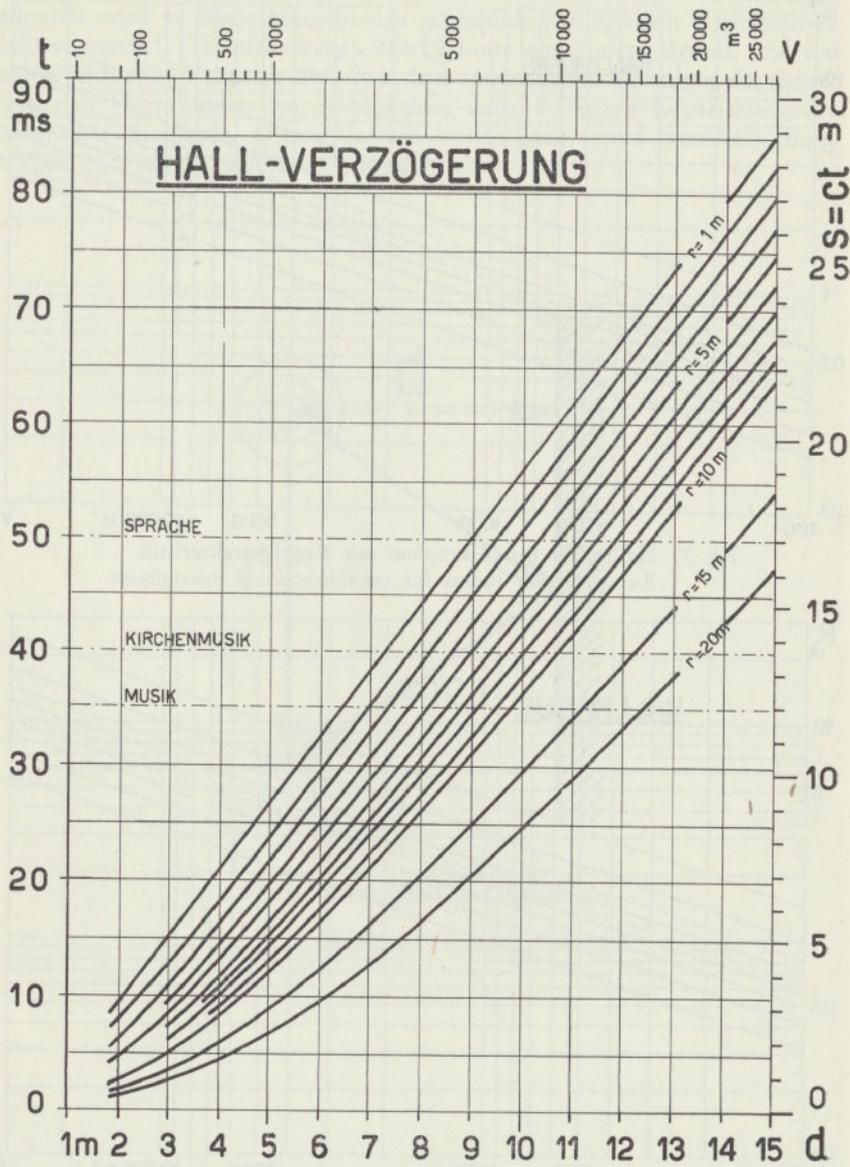


Fig. 10 Hall-Verzögerung
Reverberation lag

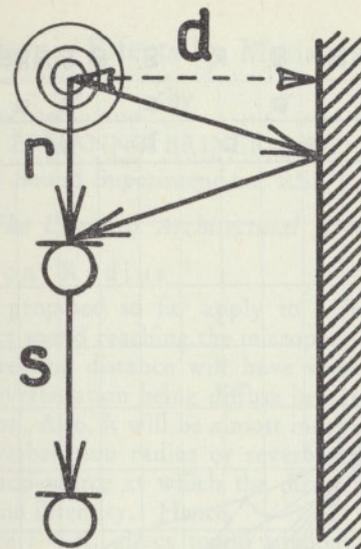


Fig. 11 Getrenntes Hallmikrophon
Separate reverberation microphone

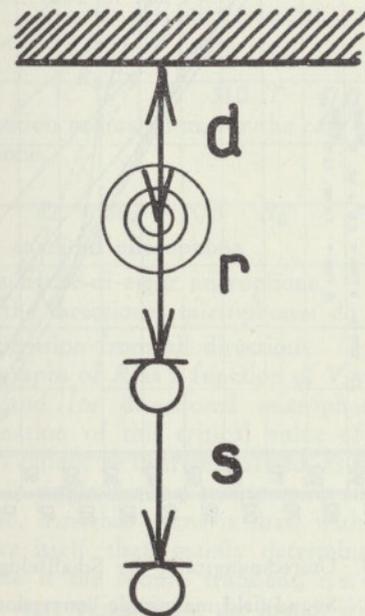


Fig. 12 Schallquelle vor einer Wand
Sound-source in front of a wall

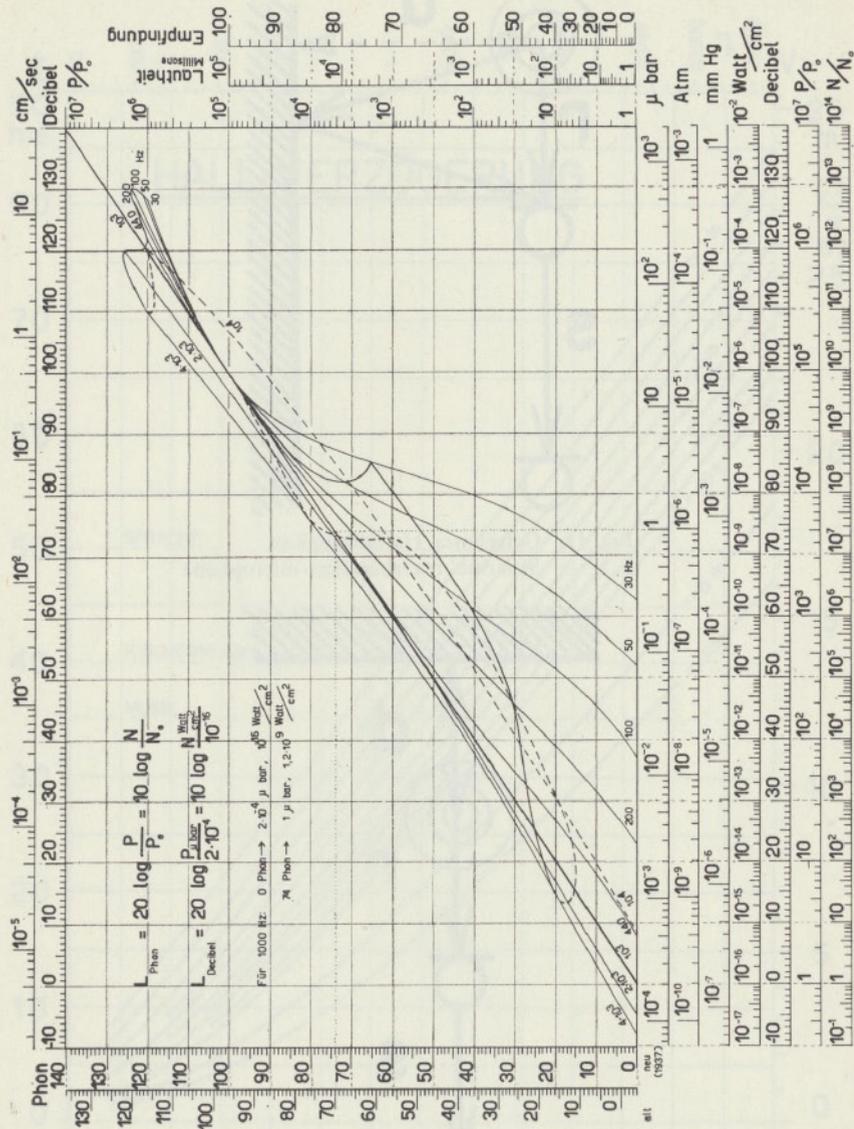


Fig. 13 Umrechnungstafel der Schallfeldgrößen
Sound-field magnitude conversion graph

Stereophonic Effects by Monaural Means

by

ERMANNO BRINER-AIMO

(Chief Sound Superintendent, RSI, Lugano)

II. The Effect of Architectural Acoustics

A. Reverberation Radius

All the arguments proposed so far apply to a free sound-field. In a closed room, the direct sound reaching the microphone from the source and diminishing with increasing distance will have some reverberation superimposed on it, this reverberation being diffuse in nature and characteristic of the room in question. Also, it will be almost independent of the position.

Definition: The reverberation radius or reverberation distance R is the distance from the sound-source at which the direct sound and its reverberation are of the same intensity. Hence,

Microphone distance $r < R$: direct sound predominates,

Microphone distance $r > R$: diffuse sound predominates.

If V = volume of the room in m^3 ,

T = reverberation time in sec,

we obtain

$$R_0 = \sqrt{\frac{1}{310 T} V}$$

where R_0 = reverberation radius, in m, for the case of an omnidirectional microphone,

and

$$R_c = R_8 = \sqrt{3} \cdot R_0$$

where R_c applies to a cardioid microphone

and R_8 applies to a figure-of-eight microphone.

R_c or $R_8 > R_0$ as the directional microphones do not receive the full intensity of the reverberation from all directions.

Figs. 7 and 8 show graphs of R as a function of V , with T as parameter, for omnidirectional, and for directional microphones, respectively, to enable ready determination of this critical value of R when recording. The importance of this cannot be overemphasized, as the reverberation will be a disturbing factor in single-channel transmission long before it becomes obtrusive in the studio. Another point is that, within the reverberation radius, it is the source itself that mainly determines the nature of the transient, while outside it the room's transient, i.e. the time the whole volume of air takes to start vibrating to the sound, will play an important role.

Example 5a. In Example 2, the minimum microphone distance for satisfactory piano recordings was determined at $r = 3$ m. Using an omnidirectional microphone in a studio with a reverberation time $T = 1.5$ s, the minimum studio volume for a satisfactory proportion of direct sound must be $V = 4200$ m³.

Example 5b. Using a directional microphone, the minimum microphone distance for satisfactory piano recordings was established at $r = 4$ m, leading, again with $T = 1.5$ s, to $V = 2500$ m³.

Example 6a. Recording of speech:
Assume $R_0 \geq r = 1$ m and $T = 1$ s,
then $V_{\min} = 310$ m³.

Example 6b. In a speech studio having a volume of 300 m³ and a reverberation time of 1 s, and using directional microphones, the maximum microphone distance may be 1.7 m until the reverberation predominates in the total sound recorded. This is quite convenient as tall and short speakers can therefore use the same microphone without exceeding the angle of 45° referred to in section A 1.

Example 7a. Orchestral recordings. If we do not wish to leave the impression of the distance of the various instrumental sections to the tonal range and therefore to chance, we shall have to work in the far field. But we shall not wish to exceed the reverberation radius, or the perspective of depth as well as the clarity will be blurred by the excess of reverberation. If we select a microphone distance of 4.5 m (which is very small considering the depth of the orchestral seating) and assume the optimum average of 1.7 s reverberation time, we obtain, using omnidirectional microphones, a minimum studio volume of 10 000 m³, thus explaining the tendency of broadcasting companies towards larger and larger orchestral studios.

Example 7b. Cardioid microphone. In the above orchestral studio of 10 000 m³ and 1.7 s reverberation time, we now have a reverberation radius of 7.5 m, giving considerably more freedom in the placing of the orchestra and microphone.

Example 8. Many orchestral studios have a volume of about 5000 m³, which leads to a value of $R_c = 5.5$ m, which may be described as a rather "tight fit".

These examples once again show the advantages to be obtained from the use of cardioid microphones.

Important deduction for large-surface radiators: As the bass reverberation is usually greater than the treble reverberation, the reverberation radius is less as far as the bass is concerned. This means that, unfortunately, the microphone must be brought still closer into the low-frequency near field. However, this is counteracted by the property of these sources to focus the sound in a certain direction, which favours the proportion of direct to reflected sound in that direction, so that the microphone can be moved

back again after all. What this amounts to, is still one more reason to have the microphone in the main beam of the sound of wide-range instruments such as the piano, at least to the extent permitted by balance and other conflicting considerations.

N.B. Even the upper register of the piano contains a considerable share of low frequencies due to the mechanical noise.

B. Artificial Reverberation and Apparent Room Size

If the dimensions of the studio and the properties and placing of the sound-source permit the microphone to be placed within the reverberation radius, the recording is not likely to be encumbered by problems of reverberation, as the the desired proportion of direct to reverberant sound can easily be obtained by moving the microphone slightly inwards or outwards from the reverberation radius. Greater difficulty will be experienced in studios that are too small or if it turns out to be necessary to add artificial reverberation.

The transients determining direction, distance and timbre are of the order of 50 to 100 ms. If the reverberation superimposes itself on these transients by starting too soon, the sound will be blurred. This is an additional argument in favour of generously proportioned studios, as a reverberation lag of 50 ms corresponds to a volume of 5000 to 10 000 m³, depending on the shape of the room.

If artificial reverberation, produced by a reverberation chamber or steel plate, is added, the reverberation radius will be apparently reduced as the proportion of direct to reverberant sound is reduced. Moreover, the transients produced by the reverberation chamber or plate will be superimposed on the transients produced by the sources themselves. These disadvantages can be overcome by delaying the reverberation, and there are two ways to do this:

- a. The reverberation chamber plate can be fed from the main microphone through a time delay device, for example an intermediate tape recording such as produced by the Telefunken time-lag unit ELA T 101. The time lag can be varied by altering the tape speed or adjusting the distance between the recording and playback heads.
- b. The reverberation chamber or plate can be fed from its own microphone placed sufficiently far away from the source to produce an acoustic time-lag.

1. Reverberation taken from Main Microphone

If a microphone is placed at a distance of r ($\leq R$), the primary sound will reach it after $\frac{r}{c}$ s. For the purpose of the following argument, the reverberation will be assumed as starting from the time of the first reflection, as we are concerned with obtaining the maximum amount of

clarity compatible with a reasonable spatial effect. (Strictly speaking, an immediate, isolated reflection cannot be put on a level with the start of reverberation as it is not perceived as a separate sound but only serves to reinforce the direct sound because of the Haas effect.) If d is the distance from the nearest studio surface (wall, floor or ceiling), the reverberation lag due to the room itself, equal to the time by which the first reflection lags behind the direct sound, will be

$$t = \frac{\sqrt{r^2 + 4d^2} - r}{c}$$

Using a reverberation plate, we can neglect the reverberation delay due to the short distance between its voice-coil and its vibration pickup, so that the artificial reverberation can be said to start at the same time as the direct sound. Unless this artificial reverberation is delayed, therefore, we will be faced with the paradox of having the longer (artificial) reverberation apparently coming from a smaller room than the shorter (natural) reverberation. This is because the listener bases his impression of the size of a room not on the reverberation time but on the reverberation lag, so that in order to represent a larger room we must increase the lag (Vermeulen).

Example 9. $V = 5000 \text{ m}^3$; $T = 1.5 \text{ s}$; hence $R = 3.28 \text{ m}$. If the room is assumed cubical with the source in the centre, we obtain approximately

$$d = \frac{\sqrt[3]{V}}{2} = 8.1 \text{ m}$$

If $r = R$, we obtain $t = 41.5 \text{ ms}$.

Fig. 10 can be used to read the necessary reverberation lag off the ordinate with the distance from the nearest reflecting surface given as the abscissa. The approximate volume, if recording in the middle of the room, is given at the top.

If a greater reverberation lag is desired, a smaller microphone distance can be read off fig. 10, resulting in a longer lag relative to it. It should be remembered that according to E. Petzold the blurring threshold (i. e. the maximum permissible lag) has the following values (also entered into fig. 10):

	maximum permissible lag	corresponding path difference
Speech	$t = 50 \text{ ms}$	$s = 17 \text{ m}$
Sacred music	$t = 40 \text{ ms}$	$s = 13.5 \text{ m}$
Secular music	$t = 35 \text{ ms}$	$s = 12 \text{ m}$

Example 10. In the studio of Example 9, a lag of 48 ms is obtained with a microphone distance of 75 cm. It must be borne in mind that the minimum microphone distance is not limited only by the greatest reverber-

ation lag permissible but also by the field properties desired, as already discussed.

The more absorbent the walls of a room (tending towards the limiting case of the non-reverberant room), the less intense will be the natural compared to the artificial reverberation, and the greater will be the freedom of the sound-engineer to deviate from the calculated lag, thus increasing the range of apparent room-sizes he can produce.

Example 11. In a very absorbent studio, a recording is to be made to simulate a large reverberant hall having an apparent volume $V' = 15\,000 \text{ m}^3$ and an apparent reverberation time $T' = 5 \text{ s}$. If the artificial reverberation level is made equal to that of the direct sound, the recording will appear to have been made at the reverberation radius in the room V' (according to definition). From fig. 7 we obtain $R = 3.1 \text{ m}$. The reverberation delay that would correspond to the room V' is obtained from fig. 10 as $t = 64 \text{ ms}$, and this must be provided for. As a lag of this order would make the entry of the reverberation audible as a separate echo, the gap between it and the direct sound can be bridged by a single repetition of the direct sound using an additional playback head on the time-lag device and setting this to 30 to 35 ms. This would actually correspond to the natural phenomenon of the first reflection preceding the actual entry of reverberation.

If the sound-source is close to the wall behind it, the reflection from it can be taken as coming together with the primary sound and reinforcing it. This applies the more since the reverberation entry will lag the more behind it, starting with the reflection from the next nearest room surface. At increasing distances from the back wall, the preceding arguments hold true again, provided this distance is at least equal to d , the distance from the next wall or ceiling. The same holds true for floor reflections, as may be illustrated by the next example:

Example 12. Sound-source and microphone at a height $h = 1.5 \text{ m}$, microphone distance $r = 1 \text{ m}$; hence $t = 6.5 \text{ ms}$. This unique reflection distinctly precedes reverberation entry. This note repetition is "more simultaneous still" if r is increased, and falls to $t = 4.7 \text{ ms}$ for $r = 2 \text{ m}$. This is one more reason to have the microphone no closer than absolutely necessary (soloists, speech!) and to eliminate floor and table reflections as much as possible in order to obtain the greatest clarity.

The same arguments are valid for directional microphones, with obvious changes: d will then be the nearest reflecting surface lying in the microphone's field of sensitivity.

2. Separate Reverberation Microphone

In order to reach a main microphone placed at a distance of $r < R$, the reflected sound must travel a distance of $s = ct$ where c is the speed

of sound and t the reverberation lag defined above. In order to obtain the same lag for the entry of the artificial reverberation, the reverberation microphone producing it must be at a distance of s further from the source than the main microphone, as shown in fig. 11. Fig. 10 can again be applied, using the ordinate on the right having a scale of sound-path distances in m, and taking account of the arguments of the preceding section. The reverberation microphone should best stand at a distance equal to or greater than R from the source.

This method considerably increases the range of possibilities compared to the previous one, as the character of the reverberation can be varied by using different positions and also types of reverberation microphones, independent of the main microphone: the use of omnidirectional or directional microphones facing the source or one of several possible reflecting surfaces can be used, to name just a few possibilities.

The arguments stated concerning the reverberation lag apply to omnidirectional microphones, while in the case of directional ones it is the directional response that determines which of several reflecting surfaces is of importance. In this case it is no longer possible to draw up general rules as the conditions depend too much of the studio and the microphone position; however, the estimates made above show sufficiently how the same reasoning can be made to fit each case.

In studios that are too small (as is only too frequently the case), omnidirectional microphones are out of place, not only because the reverberation radius and therefore the necessary microphone distance would be too small but also in order to reduce the part played in time by the side walls, the floor and the ceiling as reflectors.

Example 13 (fig. 12). In a room $7 \times 11 \times 18$ m, $V = 1400$ m³, $T = 1.5$ s, and $R = 3$ m. The sound source is $d = 5$ m in front of the reflecting rear wall and in the room's centre-line, and the microphone is $r = 2$ m in front of it and in the same centre-line. Using microphones whose directional response is sufficiently pronounced, or, failing this, movable absorbent screens, the side-walls, floor and ceiling can be neglected as regards the first reflection reaching the microphone. The sound therefore travels a distance of r directly into the microphone and of $2d + r$ for the first reflection, i. e. the start of reverberation. Therefore the reverberation microphone must be placed at a distance of $s = 2d = 10$ m behind the main microphone, or, using only one microphone, the reverberation should lag by $t = \frac{2d}{c} = 30$ ms. For the use of separate microphones to be still possible, the greatest possible distance between the source and the rear wall can be calculated from $d + r + s = 3d + r = L$ where L is the length of the room, i. e.

$$d = \frac{L - r}{3}$$

In the above example, this results in $d = \frac{18 - 2}{3} = 5.3$ m. If this is not possible, the reverberation lag can be complemented by the time-lag recording together with the separate microphone. Another way is the use of a hard reflecting surface such as the control-room window to increase the path to the (directional) reverberation microphone by a detour. The lag calculated above as 30 ms would be equivalent to a distance of 4.9 m from a side wall and will still be there even if the source is closer to a side wall, using a pronouncedly directional microphone.

This consideration can be of import when recording a complex sound source such as an orchestra or choir in a room that is too small, and it shows once again that directional microphones make for easier working and give better results than omnidirectional ones when the conditions are adverse.

C. Relationship of Direct to Reverberant Sound Intensity

1. Without Artificial Reverberation

A listener in the studio is helped by his sense of sight and his binaural hearing to suppress the reverberation and the resulting indistinctness, whereas single-channel recordings made at the distance of the reverberation radius sound too reverberant, so that we must stay within this radius. A listener in the room receives the direct sound almost simultaneously in both ears. Sufficient localisation is obtained (in the extreme case) if the reflected sound is received by only one ear, i. e. — providing the listener is at the reverberation radius R — the reflected sound will be 6 dB below the direct sound. In order to simulate this in the recording, the reverberation intensity desired should be half that of the direct sound, giving a microphone distance of $\frac{R}{\sqrt{2}} = 0.7 R$. This is only a rough estimate of course and should be regarded as a rule of thumb subject to considerations of style.

2. With Artificial Reverberation

a. Artificial Reverberation without Time-Lag

If the artificial reverberation is adjusted to the same level as the natural reverberation, it follows that the microphone distance

$$r = \sqrt{k \frac{V}{T}}$$

(representing the relationship of reverberant to direct intensity) is equal to that in the hypothetical room V' with the artificial reverberation time T' , so that the apparent volume

$$V' = V \frac{T'}{T}$$

It increases in proportion to the reverberation time, while the clarity decreases. It must also be borne in mind that the optimum reverberation time does not rise in proportion to the volume but at a rate less than this.

If the clarity is important, care must be taken to have the major part of the energy arriving within 50 ms, or, more accurately, that the amount of sound-energy arriving after 50 ms must be no less than 10 dB below the rest. As the time of 50 ms is negligible to a device like the reverberation machine, we arrive at another rule of thumb, that the artificial reverberation must be 10 dB below the direct sound.

b. Delayed Artificial Reverberation

As was already stated, the delay serves to keep the recording distinct and to increase the impression of volume. Having been delayed by t ms, the reverberation enters at a level of x dB below the direct sound. We require a reverberation 10 dB below, entering 50 ms after, the direct sound. There is no point at all in taking any notice of this time of 50 ms in comparison to the much greater reverberation time T so that we again arrive at a reverberation level at $x = 10$ dB below the direct sound.

D. Ambiophony

If the reverberation is proportioned in accordance with the various considerations set out above, it will help to improve — or at least not to blur — the perspective obtained through considerations of the sound-field, besides conveying a good hall impression. If this reverberation were added to the transmission as a second, separate set of information and reproduced by separate reverberation loudspeakers while transmitting little more than the dead direct sound over the main speakers, the hall impression would be conveyed much more convincingly than by stereophony alone. While stereophony allows the listener to hear the concert through a large window in the hall (even the reverberation comes always from the front, namely from the two side speakers of the stereo set, unless sufficient additional sound diffusion is provided for), the use of the same two channels to transmit, instead, direct and reflected sound, respectively, would place the listener right in the hall itself, at the cost of the stereophonic lateral localisation that is an aid to clarity of course. To make the best of these two worlds, what we need is a third channel, namely a reverberation or effect channel, in addition to the two stereophonic channels (cf. D. Kleis, *Experimente zur Verbesserung der Raumwirkung, Bericht über die 3. Tonmeistertagung in der Nordwestdeutschen Musikakademie Detmold*). There

is even a possibility of obtaining three sets of information using only two channels (L. Keibs, "Möglichkeiten der stereo-ambiophonen Schallübertragung auf 2 Kanälen" in *Acustica* 12, p. 118, 1962).

A point in favour of monophony with a separate reverberation channel would be the fact that the latter's quality would not have to meet the demands made on the main channel, thus permitting considerable simplification of storage devices (e. g. records), the transmission chain and loudspeakers.

To be continued

III. Sound Reproduction

If we idealise the loudspeaker as a freely oscillating, rigid piston diaphragm of a diameter $D = 2\rho$, we can regard it as a *first-order* radiator with a figure-of-eight output due to acoustic short-circuit.

If the rigid diaphragm vibrates in an infinite dividing wall, the main part of the radiation will be confined to a cone of an apex α where

$$\tan \alpha = 0.6 \frac{\lambda}{\rho}$$

as we are interested only in the vibrations on one side of the infinite wall. Outside this cone, weaker subsidiary maxima occur. The lower the frequency and the smaller the diameter of the diaphragm, the greater the angle covered by the main maximum and the better the approximation to a *zero-order* radiator.

If, however, the wavelength approaches the diameter, the radiation approaches *first order* in spite of the wall, which does prevent the short-circuit, but does not prevent focussing of the sound in the direction perpendicular to the diaphragm as the wavelength decreases, thus approaching first order again: the wall loses more and more in importance.

These considerations lead to the following conclusions:

Control Speakers

The ideal control speaker would be such as to have an omnidirectional output independent of the frequency, with no focussing at any frequency. This means, however, that the speaker would have to be large enough to give a plane primary wave-front, as otherwise the wave curvature would lead to the impression of a nearby secondary source (namely the speaker itself!), making an illusion of the transmission of a depth perspective of instruments. Directional speakers sound closer than omnidirectional ones as their near field goes a longer way. This explains the importance of a mounting-board that is sufficiently large.

Better than a single speaker are a number of *woofers* connected in parallel and mounted in a plane. Four such speakers are a good compromise between the effect obtained and the trouble gone to.

As concerns the *treble*, the listener is practically always in the far field, and the directional effect is best overcome by using a spherical arrangement of a number of tweeters.

Both these conditions are met by the German Standard control loud-speaker or for example the Telefunken loudspeaker O 85. In regard to the spherical speaker, reference should be made to a special circuit using the size of the sound-source, as conveyed by its acoustic information, to switch the speaker's order of radiation and described by F. Enkel in *Gravesano Review* 11/12, p. 17 (1958).

The large electrostatic speakers also satisfy the condition of plane wave-fronts at least approximately in the main radiating direction as they work in phase over their whole surface. These speakers have the additional and rare advantage of reproducing the bass with the short-time fidelity so important to the considerations elucidated in this essay. However, their maximum output is not much above normal room listening.

It has been repeatedly pointed out that it is the bass that gives not only full tone but perspective. Two things follow from this: firstly, the control speaker volume should not be too low as the ear is less sensitive to the bass anyway (this does not of course mean that the speaker must thunder away regardless of any considerations of comfort); secondly, the low resonances of both speaker and room must be sufficiently damped so as not to distort the primary sound — this is best achieved by the use of diaphragm absorbers in the room, equalising their effect on the response by electrical filters.

Only the strictest observance of these principles justifies the use of expensive speakers at all, otherwise all the clarity of their low transients is lost again and no perspective is gained.

In the average listener's room the reverberation radius is about 1 m, so that the diffuse field predominates. This does not mean that the choice and positioning of speakers can be neglected (although it usually is) as the listener hears with both his ears and the Haas effect takes care that the source localisation is preserved.

IV. Sound Field Magnitudes

It often becomes necessary to turn physical magnitudes of acoustics into physiological ones and vice-versa; also we must be able to see at a glance the way the various sound-field magnitudes depend on each other with changing frequency. A graphical representation of this, as an appendix, may therefore be useful. It is shown in fig. 13.

Objective Magnitudes (Abscissa). The horizontal scales at the bottom of the table enable mutual conversion among the following physical magnitudes: sound-pressure in μbar , in atm, in mm Hg; sound output in Watts/cm². There is also a decibel scale: although by definition the decibel is a logarithmic unit of comparison, standard levels of $P_0 = 2 \cdot 10^{-4} \mu\text{bar}$

sound-pressure and $N_0 = 10^{-16}$ Watts/cm² output have been fixed by international agreement, so that the decibel has become an absolute unit. Below the decibel scale will be found the equivalent sound-pressure and output relationships, $\frac{P}{P_0}$ and $\frac{N}{N_0}$ respectively. On the top of the scale, the decibel scale has been repeated together with a scale of the sound velocity in cm/s.

Subjective Magnitudes (Ordinate). If objective data such as decibels are to be converted into a subjective magnitude such as phons, the frequency response of the ear must be known. The left hand side of the table contains both the phon scales, i. e. the older (pre-1937) and the modern one. By definition, a sound-pressure of 1 μbar produces a loudness of 70 old or 74 new phons at 1000 c/s, so that at this frequency phons and decibels have the same definition so that the curve shown for this frequency is a straight line. At other frequencies the conversion between phons and decibels is done by means of a family of curves, some of which are shown; they are obtained from H. Fletcher and W. A. Munson's well known curves of equal loudness. With a rising frequency parameter (up to 4000 c/s) the curves tend towards the left, and above 4000 c/s they return to the right. The 10 000 c/s curve is shown dotted. The range covered (full lines up to 4000 c/s and dotted lines for higher frequencies) is that used in music.

The phon scale is similar to the decibel scale in showing 20 times the logarithm of the relationship between two sound-pressures, but the standard level is now frequency-dependent and is the threshold of the particular frequency. The equivalent scale of $\frac{P}{P_0}$ is shown at the right.

Physiological Magnitudes. The phon scale is logarithmic and is therefore easy to use but it is only an approximation to the actual sensitivity of the ear. It can be replaced, in physiological matters, by the more accurate and also more difficult scale of "loudness" in millisonnes shown also at the right.

The advantage of this scale is that twice or three times the number of sones corresponds roughly to an actual impression of double or three times the loudness, respectively. However, the sone scale has "large figures for a large value of loudness and might therefore lead to the belief that the ear can distinguish a corresponding number of different degrees of loudness. But actually this is not so, for the ear can distinguish only a relatively small number of degrees of loudness, and this is really better expressed by the phon scale with its roughly 130 degrees between the threshold of hearing and the threshold of pain" (Trendelenburg). This would justify the attempt to show 20 times the logarithm of the millisone scale, which would also enable a better comparison to be made between the ear's actual behaviour and the scale of phons, and this tentative scale is shown at the extreme right and called "Empfindung" (perception).

Die größte Revolution in der Physik

von

PIERRE DE LATIL (Paris)

„Die größte Erfindung im Rundfunk seit vierzig Jahren“, schrieb der für sein sparsam gespendetes Lob bekannte Chefredakteur von *Toute la Radio*, E. Aisberg, über die Transistoren im September 1948, als die Firma Bell sie soeben bekanntgemacht hatte. Die Ereignisse haben ihm rechtgegeben. Im vergangenen Sommer hallte jeder Strand und jeder Wald wider von dem lärmenden Echo dieser Revolution mehr als je zuvor. Wahrhaftig sind die Transistoren das große Ereignis des Rundfunks der Jahrhunderthälfte gewesen.

Trotzdem hätte der „Hausprophet“ noch mehr wagen können. Nicht nur der Rundfunk hat eine erstaunliche Wandlung erfahren: die Halbleiter haben die ganze Thermoelektrizität in neue Bahnen geleitet. Mehr noch — seit dem Halbleiter-Weltkongreß, gehalten von der Internationalen Union der reinen und angewandten Physik, die Société Française de Physique und der UNESCO im Juli 1964 in Paris, muß man sich bewußt werden, daß die ursprünglich ausschließlich elektronische Technik der Halbleiter eine ganz neue Physik ins Dasein gerufen hat: die Physik der *Übertragung von Impulsen durch die Materie*.

Man könnte meinen, dies sei zu allgemein ausgedrückt. Der durchschnittliche Elektroniker würde wahrscheinlich sagen, die Halbleiterphysik untersuche die Bewegung von elektrischen Ladungen in Kristallen, und zwar nur ganz bestimmten, bevorzugten Kristallen.

Hätte er hingegen den Pariser Kongreß verfolgt, hätte er mit den dort versammelten, hochspezialisierten Physikern (es waren ihrer nicht weniger als 1180) gesprochen, so hätte jeder Elektroniker begriffen, daß die Bedürfnisse seiner eigenen Technik — die Herstellung von immer zuverlässigeren Transistoren und Dioden — eine ungeheure Revolution in der Physik ausgelöst haben und daß es kaum mehr möglich ist, den Begriff des Halbleiters allgemein genug zu nennen.

In der guten alten Zeit lag die Sache viel einfacher: es gab bloß „gute“ und „schlechte“ Stromleiter. Dann hat man bemerkt, daß bestimmte Substanzen wie z. B. Bleiglanz (Schwefelsulfid) und die Kupferoxyde sich, von diesem einfachen Standpunkt aus gesehen, sehr sonderbar verhielten: sie ließen nämlich den Strom durch oder nicht, anscheinend je nach Lust und Laune. Schienen nicht die Eigenschaften eines Bleiglanzkristalls z. B. von seinem Fundort abzuhängen? Schon von ihrem ersten, anonymen Auftreten an zertrümmerten die Halbleiter die alte Grenze zwischen den „guten“ und

„schlechten“ Leitern: dieses war, im Zuge der Verallgemeinerung, der erste Streich.

Als man in den Jahren nach dem Krieg daran ging, die tiefe Wahrheit der Naturerscheinung der Halbleiter zu verstehen, feierte der Geist der Verallgemeinerung einen weiteren Sieg. Bis dahin hatte man sich nur einen einzigen Begriff von der Übertragung der Elektrizität gemacht: die Elektronen flossen vom negativen zum positiven Pol, der sie anzog. Die Entdeckung der Halbleiter machte aus dieser Art der Stromübertragung einen besonderen Fall, denn sie zeigten eine andere Möglichkeit, nach welcher die Elektronen nur deshalb flossen (immer in derselben Richtung natürlich), weil die *positiven* Ladungen des betreffenden Stoffes beweglich waren. Also nannte man die klassische Stromübertragung *N* (wegen des Vorhandenseins von negativen beweglichen Ladungen), während die neue Art der elektrischen Strömung mit *P* (wegen des Vorhandenseins von positiven beweglichen Ladungen) bezeichnet wurde. In den betreffenden Stoffen waren es die Unreinheiten, die im vorhandenen Elektronennetz wie „Löcher“, also wie positive Ladungen wirkten.

Also gab es zwei mögliche Ursachen einer Elektronenströmung: entweder wurden die „freien“ Elektronen durch den Pluspol, oder die positiv geladenen „Löcher“ durch den Minuspol angezogen. Sofort war es klar, daß eine Diode, bestehend aus einem *N*- und einem *P*-Teil in Berührung im selben Kristall, als Gleichrichter wirken müßte: mit dem Pluspol bei *N* und dem Minuspol bei *P* blockierten sich die beiden Strömungen gegenseitig und kein Strom floß; im entgegengesetzten Fall unterstützten die beiden Strömungen einander, so daß der Kristall leitend wurde.

Dies trifft aber nur in bestimmten Fällen zu, nämlich bei den Elementen der 4. Gruppe in Mendelejews periodischen System, d. h. bei den Elementen mit 4 Elektronen im äußeren Elektronenkrans. Diese Elemente befinden sich tatsächlich gerade zwischen den guten Leitern mit 1, 2 oder 3 leicht beweglichen äußeren Elektronen und den schlechten Leitern mit 5, 6, 7 oder 8 schwer beweglichen äußeren Elektronen, und sie sind von der sehr einfachen „regulären“ Kristallstruktur (Würfel oder Oktaeder), die eben das Ergebnis der 4 äußeren Elektronen ist. Es leuchtet gleich ein, daß Spuren von Stoffen mit 3 Elektronen (Bor, Aluminium, Gallium, Indium) als Fremdstoffe in dieser Materie als positiv geladene „Löcher“ (Elektronenmangel) wirken, während die Fremdstoffe Phosphor, Arsen, Antimon (5 Elektronen) einen Elektronenüberschuß darstellen, die zum Pluspol fließen können.

Damit wäre der mittlere Elektroniker mit seinem Latein am Ende, was die Halbleiter betrifft. Leider ist eine solche Kenntnis heute äußerst begrenzt, denn sie trifft nur in einem ganz besonderen Fall zu.

Sind Germanium und Silicium zunächst als die einzigen Halbleiter betrachtet worden, so deshalb, weil sie die einfachsten, also am leichtesten zu erklärenden, Probleme stellen. Aber nach und nach sind viele andere Stoffe

mit Halbleitereigenschaften entdeckt worden. Zuerst gab es die Verbindungen aus einem Element der 3. Gruppe mit einem der 5. Gruppe des Periodensystems wie z. B. Galliumarsenid (das berühmte GaAs) oder Aluminiumphosphid. Daß diese „intermetallischen“ Verbindungen wie Elemente mit 4 Elektronen wirken, ist logisch, denn 4 ist die Mitte zwischen 3 und 5.

Unser Vereinfachungsdrang wird auf ähnliche Weise befriedigt durch die Verbindungen zwischen der 2. und der 6. Gruppe, z. B. Cadmiumsulfid und Zinksulfid.

Aber das logische Denken sträubt sich angesichts der Verbindungen 5—2 wie z. B. Zinkantimonid, und noch mehr gegen das BiTe, Wismuttellurid, die für die Thermoelektrizität so interessante 5—6-Verbindung.

Will man Wärme in Strom verwandeln, so ist ein Stoff *N* aus einer Legierung von Cadmiumarsenid und Zinkarsenid mit einem Überfluß von Cadmium und Zink und einem Stoff *P* aus einer Legierung von Tellur und Selen mit Wismut als Unreinheit das beste Thermo-Element — wie soll man das erklären?

Doch war in Paris von noch komplizierteren Stoffen die Rede. Andererseits wurde ein ganzer Tag dem Bor gewidmet. Diesen vielversprechenden Halbleiter hat man noch nicht untersuchen können, weil es noch nicht gelungen ist, genügend große und reine Einzelkristalle zu gewinnen. Nun gehört Bor der 3. periodischen Gruppe an.

Natürlich wurden die komplizierten Substanzen lieber als die einfachen besprochen. Man darf aber nicht vergessen, daß man nie dazu gekommen wäre, hätte man nicht die einfachsten Stoffe, die besonderen Fälle vor den allgemeineren verstanden.

Welche Stufe haben wir bis jetzt erreicht im Zuge der Verallgemeinerung? Es ist eine Physik geschaffen worden, welche die Bewegung positiver oder negativer elektrischer Ladungen in einem Kristallgitter studiert.

Von hier eht es weiter zu den *amorphen Halbleitern*. Über diese, die zu besprechen dem nächsten Kongreß in den Vereinigten Staaten vorbehalten blieb, wurde nur so viel gesagt, daß es sich um organische Substanzen handelt und daß man von der Atom- zur Molekularstruktur vorgeschritten ist.

Der Kristall ist also keine Bedingung für den Halbleiter mehr. Ist also jetzt die Halbleiterphysik die Erforschung der elektrischen Ladungen in festen Körpern überhaupt? Keineswegs! Wir müssen noch mehr verallgemeinern, denn — dies war unsere allergrößte Überraschung beim UNESCO-Kongreß — man studiert z. Z., besonders in der Sowjetunion, die *flüssigen Halbleiter!* Es erscheint unglaublich. Doch ist es anscheinend eine Tatsache, daß das Atomgitter benachbarter Atome auch in Flüssigkeiten praktisch konstant bleibt. In einem Halbleiter fällt die Reaktion zwischen verschieden geladenen Atomen natürlich viel mehr ins Gewicht, wenn diese nahe beieinander, als wenn sie weit von einander entfernt sind.

So gelangt man zur größten Verallgemeinerung, die man sich wohl vorstellen könnte: von den Transistoren sind wir ausgegangen, und eine ganze Physik der Bewegung elektrischer Ladungen in der Materie haben wir aufgebaut.

Aber die Halbleiterphysik weitet sich noch immer zusehends aus. Der Pariser Kongreß hat selbst die elektrische Ladung als einen Sonderfall der die Materie durchwandernden Erregungen betrachtet.

Am Anfang interessierte nur die Übertragung von Elektronen; denn entdeckte man die positiv geladenen „Löcher“; dann untersuchte man kompliziertere Erregungen, die, vom Standpunkt der Quantenmechanik aus (auf dem man sich in dieser Physik immer befindet) betrachtet, wie Stoffteilchen wirken und welchen man Namen gegeben hat, die auf *on* enden (mit Ausnahme der „Löcher“ selbst), wie z. B. die mechanische Schwingung oder das „Phonon“ eines Gitters, oder das Elektron-Loch-Paar oder „Exciton“. Ferner gibt es das „Magnon“, Quantum der magnetischen Erregung, die einer „Spinumdrehung“ eines Atoms entspricht. So auch das „Helicon“, Quantum der Erregung eines Elektronengases im Magnetfeld. So auch „Plasmon“ und „Polaron“, noch kompliziertere Erregungen.

Die Halbleiterphysik umfaßt also schon die verschiedenen die Materie durchwandernden Erregungen. Eine so allgemeine Definition der neuen Physik wäre auf keinen Fall übertrieben.

Bleibt noch, den Begriff „Materie“ entsprechend zu erweitern, und man könnte sich fragen, inwiefern angesichts dieser Verallgemeinerung die Halbleiterphysik noch etwas mit Halbleitern zu tun hat. Der Kongreßvorsitzende Pierre Aigrain erklärte dazu: die Tatsache, daß bestimmte Stoffe Halbleiter sind, ist ein Glück, und diese Stoffe sind von den Forschern besonders gesucht, denn sie erleichtern die Erforschung der Materie selbst.

Was den Halbleiter von anderen Stoffen unterscheidet, ist das Vorhandensein fremder Atome, die seine Erregung übertragenden Eigenschaften beeinflussen. So hat man es in der Hand, diese Eigenschaften auf sehr verschiedene Weise zu regeln und somit das Experiment auf eine möglichst breite Basis zu stellen. Daß bestimmte Phänomene, insbesondere bestimmte Schwingungen sich im Atomgitter am Ort der Fremdatome oder in deren nächster Umgebung lokalisieren, kommt dem Experiment außerdem zugute und erleichtert die Erforschung dieser Erscheinungen ungemein.

Das Ziel der Halbleiterphysik ist also die allgemeinste Erforschung der Materie; der Anfang wird mit den viel leichter durchschaubaren Halbleitern gemacht.

Von dem ganz besonderen, wenn auch in der Praxis sehr weit verbreiteten, Fall der Elektronenübertragung in guten Stromleitern wie z. B. Kupfer ist man zu den zunächst anscheinend unberechenbaren Kristallhalbleitern vorgeschritten, die eine regelrechte Verallgemeinerungsexplosion in Gang

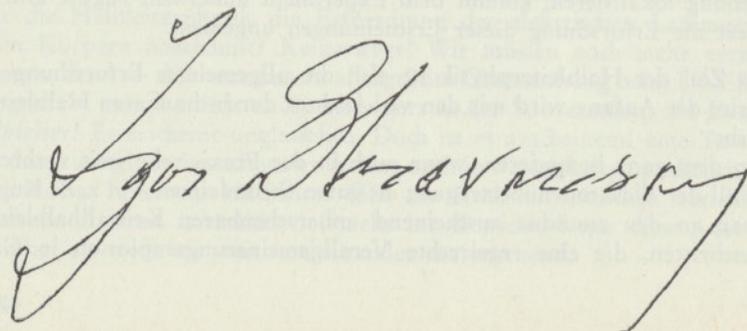
brachten zu einer Physik, die die Übertragung jeder Erregung in jedem Stoff und schließlich die Materie selbst verstehen will.

„Die größte Revolution des Rundfunks“, 1948 vorausgesehen, ist zur größten Revolution der Physik angewachsen. Vergessen wir aber nicht, daß sie sich noch zu einer biologischen Revolution erweitern könnte. Der Zellenwechsel beruht nämlich auf der Übertragung von Elektronen, die eine Zellwand durchqueren oder aber von ihr aufgehalten werden; für den Fall der Chlorophyllmechanismen ist es schon so gut wie erwiesen, daß die Biologie auf die Probleme der Halbleiter hinausläuft.

11. August 1964

Beinahe neunundzwanzig Jahre nach dem Tod Alban Bergs ist heute ein beträchtlicher Teil seines schöpferischen Nachlasses noch immer unveröffentlicht und unzugänglich, einschließlich des III. Aktes von *Lulu* (den der Komponist als Partizellskizze noch vollendete, aber nicht mehr ausführlich instrumentieren konnte), der Orchesterpartituren von den *Altenberg-Liedern* und *Der Wein*, ungefähr achtzig früher Lieder mit Klavierbegleitung und anderer Originalkompositionen, Bearbeitungen und Skizzen, wichtiger Briefe und verschiedener Aufsätze.

Der Unterzeichnete hat den Vorsitz eines Gründungsausschusses einer Alban-Berg-Gesellschaft übernommen, deren Aufgabe es sein wird, durch die Förderung des öffentlichen Interesses, die Unterstützung der einschlägigen Forschungsarbeit und die Beschaffung von materieller Hilfe das künstlerische Erbe Alban Bergs zu wahren und die Veröffentlichung seiner unveröffentlichten Werke zu erleichtern.



August 11, 1964

Almost twenty-nine years after the death of Alban Berg, a considerable portion of his creative legacy remains unpublished and inaccessible, including Act III of *Lulu* (completed in Particell but not fully orchestrated at the time of the composer's death), the orchestral scores of the *Altenberg Lieder* and *Der Wein*, approximately eighty early songs with piano accompaniment, other original compositions, arrangements and sketches, important letters, and various articles.

The undersigned has accepted the position of Chairman of a Committee for the foundation of an Alban Berg Society, whose purpose it will be, through the promotion of public interest, the encouragement of relevant research, and the enlistment of material support, to safeguard the artistic heritage of Alban Berg and to facilitate the publication of his unpublished works.

The Greatest Revolution in Physics

by

PIERRE DE LATIL (Paris)

“The greatest wireless invention in forty years” is what the editor of *Toute la Radio*, E. Aisberg, who is known to be anything but generous with his praise, wrote about the red-hot disclosure of transistors by the Bell company in September 1948. The facts have evidently proved him right. The beaches and the countryside literally echoed in the wake of that revolution, last summer more than ever before. Yes, as far as the wireless is concerned, the transistors were the great event of the half-century.

Nevertheless, the “house prophet” had not even been daring enough: not only the wireless has undergone a sensational change — the whole field of thermo-electricity has entered a new path opened up by semiconductors. And now, after the Semiconductor World Congress held in Paris by the International Union of Pure and Applied Physics, the French Physical Society, and UNESCO, we must face up to the fact that semiconductors, originally a purely electronic device, have given rise to an entirely new branch of physics: the study of the *transmission of impulses in matter*.

We might easily be accused of generalising too far. Most electronic scientists would probably go no further than to say that the physics of semiconductors involves investigation of the movement of electrical charges in crystals, in certain privileged crystals in fact.

But any electronic engineer who had followed the reports of the Paris Congress held in July 1964 and who had talked to these highly specialised physicists (of whom there were no less than 1180) would have realised that his own requirements — the production of more and more reliable transistors and diodes — have started an immense revolution in the whole of physics, and that it is hardly possible to generalise too much about semiconductors any more nowadays.

Once upon a time the position was simple enough for matter to be classified into “good” and “poor” conductors of electricity. Soon, certain substances, such as lead sulphide and the copper oxides, were observed to behave in a very strange manner, appearing as conductors or insulators quite erratically. The behaviour of lead sulphide crystals, for example, seemed to depend on the mine they came from. From their very first, anonymous appearance, semiconductors smashed the ancient frontier between the “good” and the “poor” conductors. This was the first step towards generalisation.

But when in the years immediately following the war scientists started grappling with the phenomena of semiconductivity finally leading to the birth of transistors, the spirit of generalisation was able to celebrate a new victory. Until then, the only form of transmission of current that had been thought of was of a stream of electrons flowing from the negative to the positive pole by which they were attracted. Now semiconductors relegated this kind of conductivity to a special case and showed the possibility of another case with a stream of electrons occurring (always in the same direction of course) because the *positive* charges of the substance were capable of motion. Thus classical conductivity was labelled *N* (for negative charges capable of motion), while *P* (for similar positive charges) was the name given to the new type of conductivity where the positive charges were produced by the presence of foreign atoms in the substance resulting in a local deficiency of electrons, or "holes" in the atomic crystal structure.

So now there were two different reasons for a current of electrons to pass: either the "free" electrons were attracted to the positive pole or the positively charged "holes" were attracted to the negative pole. At a stroke, the rectifying properties of a diode consisting of an *N* and a *P* zone in contact within a crystal, were understood: with the positive pole at the *N* zone and the negative pole at the *P* zone, the two conductivities blocked each other and no current passed; but as soon as the poles were changed, the two conductivities reinforced each other, with a resulting passage of current.

But all this applies only in the particular case of the elements of column 4 in Mendeleiev's periodic table, as these elements have an outside shell of 4 electrons. This places them in between the good conductors with 1, 2 and 3 outside electrons which are easily moved, and the poor conductors with 5, 6, 7 and 8 outside electrons which are firmly fixed. In addition, their crystal structure is "regular" (cubic or octagonal) as a result of the 4 valency electrons. Obviously, foreign atoms with 3 valency electrons (boron, aluminium, gallium, indium) will act as electron-deficient "holes" equivalent to positive charges in the surrounding mass of 4 valency electrons, while conversely impurities of phosphorus, arsenic and antimony, having 5 valency electrons, will create negative charges free to move through the crystal structure to the positive pole of a potential difference.

This about summarises the relevant knowledge currently at the command of the average electronician, or rather, the average electronician among those who think they understand the physics of semiconductors. Unfortunately, this knowledge is extremely fragile nowadays: it is understood that it applies only to a particular case, and a most narrowly particular case at that.

That germanium and silicon were regarded as the only semiconductors for a long time, is due to the fact that the problems they presented were of the simplest kind so that they were relatively easily explained. But gradually other substances showing some semiconductor properties were studied. First there were the "binary" compounds of an element from Group 3 of the periodic table and an element from Group 5, e.g. gallium arsenide (the famous GaAs), antimony aluminide, or aluminium phosphide. These "intermetallic" compounds behaved like elements from Group 4, as 4 is the average of 3 and 5.

Our innate desire for simplification is similarly satisfied by the binary compounds from Groups 2 and 6, such as cadmium sulphide and zinc sulphide. But our sense of logic boggles at the idea of compounds from Groups 5 and 2, such as zinc antimonide, and even more at the thought of BiTe, bismuth telluride, which, itself so interesting from the thermoelectric point of view, is a 5—6 compound.

And how are we to explain the fact if we wish to turn heat into electricity the best thermocouple is made up of an *N* material consisting of cadmium arsenide alloyed to zinc arsenide with an excess of cadmium and zinc, and a *P* material comprising an alloy of tellurium and selenium with bismuth as an impurity?

But even more complicated substances were discussed at Paris. On the other hand, a whole day was spent on boron, a most promising semiconductor still awaiting investigation as it has not yet been possible to obtain sufficiently pure and large single crystals; now boron is an element from Group 3.

The most surprising thing was that the physicists liked best talking about the problems posed by the more complicated substances, which would never had entered the scene without previous research into the more simple ones, the particular cases, from which it was eventually possible to generalise to the stage of being able to speak of the movement of positive or negative electrical charges in a crystal structure.

The next step is the *amorphous semiconductor*, but this subject was not on the agenda at Paris as it has been reserved for the next congress to be held in the U.S. However, the question was skirted sufficiently for us to learn that the substances concerned are organic ones, that the crystalline state is no longer a requirement for semiconductivity, and that the study of atomic structures is beginning to be left in the lurch by the study of molecular structures.

Has then, at this stage, the physics of semiconductors become that of electric charges in solids? By no means! We must generalise still further, for — and this was our greatest surprise at the UNESCO congress — what is being currently investigated, especially in Soviet Russia, are *liquid semiconductors!* It appears incredible. But it does indeed seem that the arrange-

ment of neighbouring atoms remains practically constant even in liquids, and of course in a semiconductor the reaction between differently charged atoms is of much greater importance when these atoms are close together than when they are far apart.

This brings us to the greatest imaginable generalisation: starting from transistor research, we have built up a whole branch of physics of the movement of electrical charges in matter.

Nonetheless, this physics of semiconductors is broadening still further. At the Paris congress we learned that the electrical charge is itself a particular case of an impulse transmitted through matter, which has led physicists to investigate other such transmitted impulses.

It started by the study of transmitted electrons; then the positively charged "holes" were discovered; the next thing to be discovered were still more complex forms of excitation which, from the quantum mechanics point of view (which is always taken in this branch of science), behaved like particles and which have been given names ending in *on*, except the "hole" itself. To refresh our memory, let us recall the mechanical crystal structure vibrations, analysed as *phonons*, and that the electron-hole couple is often regarded as an *exciton*.

And now, there is the *magnon*, a quantum of magnetic excitation corresponding to one atomic "spin" revolution. And the *helicon*, the quantum of excitation of electron gas in a magnetic field. And the *plasmon* and the *polaron*, other forms of more complicated excitation.

This then is the general state of semiconductor research: the study of the various excitations transmittable through matter. Such a very general definition is by no means an exaggeration.

Now if we take the term "matter" in its very widest sense we arrive at yet another stage of generalisation where we may be excused for asking what this new branch of physics still has to do with semiconductors. Congress chairman Pierre Aigrain put it this way: the fact that certain substances are semiconductors is a fortunate one and semiconductors themselves are much in demand by scientists as they facilitate the study of matter in general.

Now the fundamental characteristics of a semiconductor is the presence of foreign atoms modifying its behaviour in respect of impulse transmission. This places this behaviour under the scientist's control so as to provide a very wide experimental basis. Moreover, certain phenomena, especially some vibrations, become localised within the atomic structure at the foreign atoms, or at least in their immediate vicinity, which makes the investigation of these phenomena very much easier.

Thus the goal of semiconductor physics is the study of matter in general, starting by the particular case of matter, the semiconductor, which is much more easily handled.

Starting with the very special, even if very widely used, case of electron transmission in good conductors like copper, it was a surprising discovery that in some other substances the flow of current seemed subject to laws appearing erratic at first: this has eventually unleashed a veritable explosion as far as generalisation is concerned, now including the study of any kind of impulse in any kind of matter, and even the study of matter itself.

"The greatest wireless revolution" foreseen in 1948 has evolved into the greatest revolution in the whole of physics. And let us not forget that this may soon evolve even further into a revolution in biology, for cellular interchange is based on the transfer of electrons which pass through or are stopped by the cell walls: and as has almost been proved already in the case of chlorophyll mechanisms, biology very likely boils down to problems of semiconductivity.

Music, Acoustics, and Architecture

by

LEO L. BERANEK

Acoustical Consultant, Bolt Beranek and Newman, Inc., Cambridge, Mass., U.S.A.

592 pages, fully illustrated,
7 $\frac{3}{8}$ " \times 10 $\frac{3}{4}$ ", cloth bound, 126s.

What good are acoustics to music? Is there agreement on which halls are good and which are not? To arrive at answers to these questions, Dr. Beranek, trained both in science and in music, has listened to music in over sixty halls in twenty nations, collected architectural drawings, taken acoustical data, and used these findings to confirm or destroy old beliefs and build a new understanding of acoustics.

Please order through your
local bookseller

Published by

John Wiley & Sons Ltd. • Glen House • Stag Place • London S W 1

592 Seiten, reich bebildert,
18,5 \times 26,5 cm, Leinen, £ 6.6.0

Welchen Nutzen hat die Musik von der Akustik? Gibt es Übereinstimmung über die Qualität der bekannten Säle? Um diese Fragen zu beantworten, hat der ausgebildete Wissenschaftler und Musiker Dr. Leo L. Beranek in mehr als sechzig Sälen in zwanzig Ländern Konzerte gehört, Baupläne und Lichtbilder gesammelt, akustische Messungen durchgeführt und diese Ergebnisse benützt, um alte Glauben zu bestätigen oder zu widerlegen und ein neues Verständnis der Akustik aufzubauen.

Durch den Buchhandel
beziehbar

Verlag

Freie stochastische Musik durch den Elektronenrechner*

Der Widerspruch: Musik und Rechner
Vom IBM-Rechner Typ 7090 zur stochastischen Musik

von

IANNIS XENAKIS

Die allgemeine Reaktion auf das Bündnis zwischen Maschine und künstlerischem Schaffen ist dreierlei:

a. Es sei unmöglich, aus der Maschine ein *Kunstwerk* zu erhalten, da die tote Maschine, die von sich aus nichts erfinden kann, dem Wesen des Kunstwerks, welches in jedem Augenblick, in jeder Einzelheit und im Ganzen geschaffen werden muß, widerspricht.

b. Die Fahrt mit der Maschine könnte man zwar als Spiel oder Versuch unternehmen, doch werde das Ergebnis nichts Fertiges: interessant vielleicht, aber doch nur ein Experiment.

c. Die Fanatiker schließlich akzeptieren ohne Zögern jedes Wunder der Technik, sei es auch das kühnste Hirngespinnst der populären "Science-Fiction". Zum Mond? Warum denn nicht, es ist ja nur ein Katzensprung! Sogar das ewige Leben wartet schon um die Ecke . . . Warum nicht auch die schöpferische Maschine? Der Optimismus hat die Mythen von Ikarus und von gefallenen Feen aus den Herzen der Gläubigen nicht verschwinden lassen. Verwandelt leben sie im technischen Zeitalter weiter, das sie zum Teil sogar bestätigt.

In der Tat handelt es sich weder um einen Widerspruch, noch um eine Leben spendende Allmacht der Wissenschaft, denn diese schreitet fort mit Schritten, die zwar klein, aber auf lange Sicht unvorsehbar sind.

In jeder Kunst gab es das, was wir den Rationalismus im etymologischen Sinn — die Suche nach der Proportion — nennen können. Der *Künstler* hat sich *notgedrungen* immer darauf berufen. Haben sich die Konstruktionsrichtlinien durch die Jahrhunderte auch sehr verändert, so hat es sie doch in jeder Epoche gegeben. Diese Notwendigkeit muß verstanden werden. Und die Menschen, die das erste der drei erwähnten Urteile aussprechen, sind auch die ersten, die das Prädikat *künstlerisch* einem Erzeugnis absprechen, das sie nicht *verstehen*.

In diesem Sinne ist die Tonleiter eine Konvention, die das Feld der Möglichkeiten begrenzt und das Bauen innerhalb dieser Grenze mit ihrer besonderen Symmetrie erlaubt. Die Gesetze des christlichen Chorals, der

* z. T. aus Iannis Xenakis, *Musiques Formelles*, Kap. IV (Richard-Masse, Paris 1963).

Harmonie, des Kontrapunkts der verschiedenen Epochen haben es den Künstlern ermöglicht, Werke zu konstruieren, die anderen, die dieselben Einschränkungen anerkannten, verständlich waren kraft der Tradition, des Kollektivgeschmacks, der sympathischen Resonanz. Die Gesetze der Reihenkomposition (z. B. das Tabu jenes Vermächtnisses der Tonalität, der Oktave) sind z. T. neue, aber immerhin reale Schranken.

Gesetz — gleichbleibende Einschränkung — ist immer maschinell, selbst wenn die Maschine das Menschenhirn ist: Philippot hätte gesagt, eine kleine „imaginäre Maschine“. Denn Gesetz ist Auswahl oder ein Komplex von Entschlüssen. Ein Musikwerk läßt sich in eine Menge solcher „hirnmaschinellen“ Vorgänge auflösen. Das Thema einer Sinfonie ist eine Gußform — eine Hirnmaschine — und die musikalische Form eine weitere. Manche dieser Hirnmaschinen sind sehr streng und bestimmt, andere wieder sehr unbestimmt und nicht einschneidend genug. In den letzten Jahren ist man sich bewußt geworden, wie allgemein dieser Mechanismusbegriff wirklich ist, denn er erstreckt sich über das gesamte Gebiet des Wissens und der menschlichen Tätigkeit von der strengen Logik bis zur künstlerischen Offenbarung. Und wie eine der größten Schöpfungen menschlichen Geistes, das Rad, es dem Menschen ermöglicht, weiter, schneller und mit mehr Gepäck seinen Ort zu verändern, so hilft ihm auch der Elektronenrechner, allerdings nicht in bezug auf die physische Ortsveränderung, sondern auf diejenige der Ideen. Die Rechner, die die logischen Probleme der *Logic Theorist*-Gruppe (Newell, Shaw und Simon) trotz der Theorien von Church, Gödel und Tarski mittels heuristischer Methoden lösen, stehen nicht wirklich am Ausgangspunkt der Einführung der Mathematik in die Musik, denn das Gegenteil ist eingetreten. Und wenn man allgemein bereit ist, die Anwendung der Geometrie in den bildenden Künsten (Architektur, Plastik, Malerei) gutzuheißen, ist es nur ein kleiner Schritt zur Anerkennung der abstrakten (nicht visuellen) Mathematik und deren Hilfsmittel, der Maschine, in der Kunst der Musik, die abstrakter als die bildenden Künste ist. Zusammenfassend:

a. Das menschliche Denken besteht in der Absonderung geistiger Mechanismen, die letzten Endes nichts als Einschränkungen oder Auswahlen sind, und zwar in bezug auf den ganzen menschlichen Bereich, einschließlich der Kunst.

b. Manche dieser Mechanismen sind mathematisierbar.

c. Manche dieser Mechanismen lassen sich physikalisch z. B. als Rad, Motor, Rakete, Rechenmaschine, Analogon u. a. realisieren.

d. Manche geistige Mechanismen entsprechen gewissen natürlichen Mechanismen.

e. Manche mechanisierbare Aspekte künstlerischen Schaffens lassen sich durch gewisse schon bestehende oder noch zu schaffende physikalische Mechanismen (Maschinen) nachahmen.

f. Es stellt sich heraus, daß Elektronenrechner gewisse Dienste leisten können.

Dies ist nun der theoretische Ausgangspunkt der Anwendung von Elektronenrechnern zur musikalischen Komposition.

Folgendes läßt sich hinzufügen:

Der Komponist von heute ist zur Erfindung von Richtlinien (früher: Formen) und zur Erforschung deren Grenzen vorgeschritten. Einen zusätzlichen Auftrieb erfährt er durch die neuen Mittel der Klangsynthese, die bald alle Möglichkeiten des alten und neuen — auch elektronischen — Instrumentariums in sich vereinigen werden. Der Analogumformer, den N. Guttman, J. R. Pierce und M. V. Mathews in der Fernmeldeforschungsarbeit der Bell Telephone Laboratories in New York verwenden, ist nur eine dieser Möglichkeiten. Alle diese Vorstöße verlangen eindrucksvolles mathematisches, logisches, physikalisches, physisches und psychologisches Rüstzeug, aber vor allem verlangen sie Elektronenrechner, die die geistigen Vorgänge der Neulanderschließung nicht nur beschleunigen, sondern gleichzeitig und zu jeder Stufe des musikalischen Konstruktionsvorgangs die experimentelle Bestätigung liefern.

Die Musik ist ihrem Wesen nach abstrakt. Dadurch wurde sie zur ersten Kunst, die zwischen wissenschaftlichem Denken und künstlerischem Schaffen vermitteln konnte. Die Industrialisierung der Musik ist schicksalhaft und nicht mehr umzukehren, gibt es doch in der seriellen und der leichten Musik schon Anklänge davon in den Versuchen der Pariser Gruppe P. Barbaud, P. Blanchard, Jeanine Charbonnier, und in den musikwissenschaftlichen Forschungen von L. A. Hiller und L. M. Isaacson an der University of Illinois.

In früheren Heften dieser Zeitschrift¹ habe ich einige neue Bereiche musikalischen Schaffens wie z. B. poissonsche und markovsche Vorgänge, musikalische Spiele, die These der geringsten Anzahl von Gesetzen, gezeigt. Sie beruhen alle auf der Mathematik, besonders der Wahrscheinlichkeitstheorie. Sie lassen sich daher größtenteils durch Rechner behandeln und erforschen. Das einfachste Schema dieser Art, dem auch besondere Bedeutung zukommt, ist die These der geringsten kompositorischen Einschränkungen, die in *Achorripsis* auskomponiert wurde.

Durch meinen Freund Monsieur Georges Boudouris vom Centre National des Recherches Scientifiques machte ich die Bekanntschaft von Monsieur Jacques Barraud, Ingenieur an der Ecole des Mines und Leiter der Abteilung Elektronensteuerung der Société des Pétroles Shell-Berre, der mich seinerseits dem Mathematikprofessor und Forschungsleiter der IBM-France,

¹ *Gravesaner Blätter* 1 2 (1955), 6 28 (1956), 9 43 (1957), 11/12 98 (1958), 18 61 (1960), 19/20 128 (1960), 21 102 (1961), 22 131 (1961), 23/24 156 (1962); vgl. *Musiques Formelles*.

Monsieur François Génouys, vorstellte. Die drei Herren sind alle Wissenschaftler, und trotzdem stimmten sie einem zunächst wohl zweifelhaften Experiment, der Vermählung der Musik mit der mächtigsten Maschine der Welt, zu. Bei den meisten menschlichen Beziehungen handelt es sich selten um Überredung durch reine Vernunft, sondern vor allem um materielles Interesse. Im vorliegenden Fall wurde die Vermählung weder durch Vernunft, noch durch Interesse vollzogen. Der Ausgangspunkt dieser Partnerschaft scheint vielmehr ein freier Entschluß reinster Art gewesen zu sein: das Experiment, das Spiel als Selbstzweck. Stochastisch gesprochen hätte mein Vorhaben durchfallen müssen. Doch haben sich die Türen geöffnet, und nach einer Arbeit von einhalb Jahren fand am 24. Mai 1962 am Sitz der IBM-France, 5 Place Vendôme zu Paris, das „ungewöhnlichste Ereignis des Hauses und der Konzertsaison“ statt: es war die Uraufführung eines auf dem Rechner 7090 kalkulierten Instrumentalwerks „ST/10—1, 080262“ durch das Ensemble Instrumental de Musique Contemporaine de Paris unter der Leitung von C. Simonovic (s. Fig. 1). Eine stochastische Kompositionsmethode, und zwar diejenige der geringsten Einschränkungen und Gesetze, wird durch den Durchgang durch die Maschine in diesem Werk offenbar.

Problemstellung

Zunächst mußte das Organigramm ausgearbeitet werden: alle Stufen und Vorgänge zum Schema von *Achorripsis*² mußten klar, übersichtlich und der Maschine entsprechend aufgeschrieben werden. Nun kann diese Maschine Wiederholungen erstaunlich schnell ausführen. Deshalb läuft die Vorarbeit darauf hinaus, das Vorhaben in eine Reihe von schleifenförmigen Wiederholungen zu zerteilen (Fig. 2).

Von diesem Gesichtspunkt aus wurde die Grundthese von *Achorripsis* wie folgt interpretiert:

I. *Das Werk besteht aus einer Folge von Sequenzen (von Sätzen) mit einer Dauer von je a_i Sekunden.* Die Dauern sind vollkommen unabhängig (asymmetrisch), schwanken aber um einen als Parameter bestimmten Mittelwert. Die Dauern und ihre stochastische Folge werden durch folgende Gleichung ausgedrückt:

$$P_{a_i} = ce^{-ca_i} da$$

² In „Auf der Suche nach einer stochastischen Musik“ in *Gravesaner Blätter* 11/12 98 (1958) wird dieses Werk ausführlich beschrieben; *Musiques formelles*, Kap. I, erläutert die allgemeine synthetische Methode dieser Struktur der geringsten Einschränkungen.

II. *Bestimmung der mittleren Dichte der in der Zeit a_i auftretenden Töne.* Während einer Folge werden Töne von verschiedenen Klangquellen ausgestrahlt. Ist die Gesamtanzahl dieser Töne (Punkte) während einer

Folge N_{a_i} , dann ist die mittlere Dichte dieser Wolke von Punkten $\frac{N_{a_i}}{a_i}$ Töne

(Punkte) je Sekunde. Im allgemeinen und auch im Fall einer gegebenen Instrumentalbesetzung hat diese Dichte einen Größtwert, der von der Anzahl der Spieler, der Art ihrer Instrumente und dem spieltechnischen Schwierigkeitsgrad abhängig ist. Im Falle eines großen Orchesters kann er bis zu 150 Töne/s betragen. Der Kleinstwert V_3 ist beliebig, und es wurde der Wert $V_3 = 0,11$ Töne/s gewählt. Durch frühere Erfahrungen wurde als Empfindungsskala der Tondichte eine logarithmische Skala mit Grundzahl zwischen 2 und 3 als zweckmäßig gefunden, und es wurde hier der Exponentialkoeffizient $e = 2,71827$ als logarithmische Grundzahl gewählt. Die Dichten können wir uns daher vorstellen als eine logarithmische Unterteilung (Grundzahl e) auf einer Geraden mit den Grenzwerten V_3 und $V_3 \cdot e^R$ und zwar so, daß $V_3 \cdot e^R$ dem oberen Grenzwert, z. B. 150 Töne/s, entspricht. Um unsere Voraussetzung der vollkommenen Unabhängigkeit zu gewährleisten, sollte zwar jeder im Abschnitt I errechneten Folge a_i eine Dichte zugeschrieben werden, die einem zufällig gewählten Punkt auf dieser endlichen Geraden entspricht (Gleichwahrscheinlichkeit); um aber immerhin eine gewisse Kontinuität zu erreichen, wird diese Unabhängigkeit der Folgen in bezug auf die Dichte gewissermaßen gemäßigt. Dies wird durch ein Speichergedächtnis erreicht:

Sind a_{i-1} eine Folge von einer Dauer a_{i-1} ,

$c_{a_{i-1}}$ deren Dichte,

a_i die nächstfolgende Folge von einer Dauer a_i ,

c_{a_i} deren Dichte,

dann ist

$$c_{a_i} = c_{a_{i-1}} \cdot e^{\pm x}$$

wobei x ein aus einem Abschnitt einer Geraden von Länge $s = (R - 0)$ zufällig gewählter Abschnitt der Geraden ist. Die Wahrscheinlichkeit von x wird bestimmt durch

$$P_x = \frac{2}{s} \left(1 - \frac{x}{s}\right) dx$$

und schließlich

$$N_{a_i} = c_{a_i} \cdot a_i$$

III. *Bestimmung der Orchesterbesetzung für die Folge a_i .* Die Instrumente werden in r Klangfarbenklassen eingeteilt, z. B. die Klasse Flöten

und Klarinetten, die Klasse Oboen und Fagotte, die Klasse Blechbläser, die Klasse gestrichene Streicher, die Klasse gezupfte Streicher, die Klasse geschlagene Streicher *col legno*, die Klasse Glissandi, die Klasse Schlagzeug Fell, Holz, Metall, usw. Die Besetzung ist stochastisch gedacht, ohne prädestinierte Wahl. So kann es während einer Folge von einer Dauer a_i vorkommen, daß die Besetzung zu 80 % aus der Klasse gezupfte Streicher, 10 % aus der Klasse Schlagzeug, 7 % aus der Klasse Klaviere und 3 % aus der Klasse Flöten und Klarinetten besteht. In Wirklichkeit ist es die Dichte, die die Orchesterbesetzung entscheidend beeinflusst. Daher wird die Besetzung mittels eines besonderen Schemas (Fig. 3 zeigt ein Beispiel aus ST/10-1,080262) auf die Dichte bezogen. Das Schema wird durch die folgende Gleichung ausgedrückt:

$$Q_r = (n - x) (e_{n,r} - e_{n+1,r}) + e_{n,r}$$

in welcher $r =$ Klassenzahl

$$x = \ln \frac{c_{a_i}}{V_3}$$

$$n = 0, 1, 2 \dots R, \text{ soda\ss } n \leq x \leq n + 1$$

$$e_{n,r} \text{ und } e_{n+1,r} = \text{Wahrscheinlichkeiten}$$

der Klasse r als Funktion von n .

Daß die Zusammenstellung dieses Schemas eine äußerst feine und komplizierte Präzisionsarbeit ist, bedarf keiner besonderen Erwähnung.

Nach diesen Vorarbeiten kann man die N_{a_i} Töne der Folge a_i nacheinander bestimmen.

IV. *Bestimmung des Zeitpunkts, zu welchem der Ton innerhalb der Folge a_i einsetzt.* Da die über die Folge a_i zu verteilenden Töne (Punkte) eine

mittlere Dichte von $k = \frac{N_{a_i}}{a_i}$ erreichen müssen, werden die Zeit-

abschnitte zwischen den Toneinsätzen durch

$$P_t = k e^{-kt} dt$$

bestimmt.

V. *Bestimmung, welches der unter III errechneten Instrumente den unter IV bestimmten Ton spielt.* Zunächst wird die Klasse r der im III. Abschnitt errechneten Orchesterbesetzung durch Zufall bestimmt (Beispiel einer Urne mit Kugeln in r Farben). Alsdann wird die Nummer n des Instruments der Klasse r durch Zufall bestimmt, und zwar nach der Wahrscheinlichkeit q_n , die sich aus einer beliebigen Tabelle ergibt (Urne mit Kugeln in n Farben). Auch hier ist die Proportionierung der Instrumente innerhalb einer Klasse sehr heikel und komplex.

VI. *Bestimmung einer Tonhöhe in bezug auf ein Instrument.* Von einem zweckmäßigen Nullpunkt aus (dem Ton A_2) geht eine chromatische Ton-

leiter von etwa 86 Halbtönen aufwärts. Der Umfang s eines jeden Instrumentes läßt sich also durch eine natürliche Zahl (Abstand) ausdrücken. Hingegen wird die Tonhöhe h_u durch eine Dezimalzahl ausgedrückt, deren ganzer Teil sich auf eine Stufe der chromatischen Skala innerhalb des Instrumentenumfangs bezieht.

Wie auch im Falle der Dichte im Abschnitt II nimmt man hier ein Speichergedächtnis, damit ein Ton von einem Instrument zu einem gewissen Grade den nächsten mitbestimmt:

$$h_u = h_{u-1} \pm z$$

wo z durch die Wahrscheinlichkeitsgleichung

$$P_z = \frac{2}{s} \left(1 - \frac{z}{s}\right) dz$$

gegeben wird; hier ist P_z die Wahrscheinlichkeit des Intervalls z , welches zufällig aus dem Umfang s gewählt wird.

VII. *Bestimmung der Gleitgeschwindigkeit im Falle der Glissando-Klassen.* Die Hypothesen der Homogenität führen zur Gleichung³

$$f(v) = \frac{2}{a\sqrt{\pi}} e^{-\frac{v^2}{a^2}}$$

und, setzt man $\frac{v}{a} = u$, zur entsprechenden Gleichung

$$T(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u e^{-u^2} du$$

für die es Tabellen gibt; in dieser Gleichung ist $f(v)$ die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Geschwindigkeit v (in Halbtönen/s) und a ein Parameter proportional zur Normalabweichung s ($a = s\sqrt{2}$).

Man bestimmt a als Funktion des Logarithmus der Dichte der Sequenz a_i durch:

eine umgekehrt proportionale Funktion

$$a = \sqrt{\pi} \left(30 - \frac{20}{R} L \frac{C_{a_i}}{V_3}\right)$$

oder durch eine direkt proportionale Funktion

$$a = \sqrt{\pi} \left(10 + \frac{20}{R} L \frac{C_{a_i}}{V_3}\right)$$

oder aber durch eine von der Dichte unabhängige Funktion

³ *Musiques Formelles*, Kap. I.

$$a = 17,7 + 35 k$$

(k ist eine zufällige Zahl zwischen 0 und 1).

Die Konstanten der vorhergehenden Gleichungen beruhen auf den Grenzwerten der Geschwindigkeit von Glissandi, die Streichinstrumente noch spielen können.

$$\text{Ist also } c_{a_i} = 145 \text{ Töne/s, so ist } a = 53,2 \text{ Halbtöne/s,} \\ 2s = 75,0 \text{ Halbtöne/s.}$$

$$\text{Ist aber } c_{a_i} = 0,13 \text{ Töne/s, so ist } a = 17,7 \text{ Halbtöne/s,} \\ 2s = 25,0 \text{ Halbtöne/s.}$$

VIII. *Bestimmung einer Dauer x für den gespielten Ton.* Zur Vereinfachung wird für jedes Instrument eine von Tonlage und Dynamik unabhängige mittlere Tondauer angenommen. Das Recht, sie bei der Niederschrift in die traditionelle Notenschrift umzuändern, muß daher vorbehalten bleiben. Die Dauer x wird durch folgende Einschränkungen beeinflusst:

Längster Atemzug, G

Tondichte der Folge, c_{a_i}

Wahrscheinlichkeit der Klasse r , p_r

Wahrscheinlichkeit des Instruments n , q_n

Die mittlere Dauer z eines Tons ist umgekehrt proportional zur Wahrscheinlichkeit des Instruments, also

$$z = \frac{1}{c_{a_i} p_r q_n}$$

und z erreicht seinen größten Wert für $(c_{a_i} p_r q_n)$ Minimum. Im vorliegenden Fall könnten wir $z_{\max} = G$ wählen. Stattdessen nehmen wir ein logarithmisches Gesetz, das das Anwachsen von z zum Erstarren bringt. Für beliebige $(c_{a_i} p_r q_n)$ ist dieses Gesetz

$$z' = z a^{-z}$$

wo a bestimmt wird durch $z_{\max} a^{-z_{\max}} = G$.

Unter Annahme der vollkommenen Unabhängigkeit werden die Dauern x normal verteilt sein:

$$f(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2s^2}}$$

wo m = arithmetischer Mittelwert der Dauern

s = Normalabweichung

$m - 2s = 0$ } das lineare System ist, das die
 $m + 2s = z$ } Konstanten m und s liefert.

Gesetzt $u = \frac{x - m}{s\sqrt{2}}$, so findet man wieder die Funktion $T(u)$, die man in den Tabellen abliest.

Schließlich erhält man die Tondauer x durch die Gleichung

$$x = u s\sqrt{2} + m$$

Daß bestimmte Instrumente nicht zusammenpassen, wird vernachlässigt, um das Programm und die Rechenarbeit der Maschine nicht unnütz zu belasten.

IX. *Bestimmung der dynamischen Form für den gespielten Ton.* Man nimmt vier Zonen mittlerer Lautstärke:

$$ppp, p, f, ff.$$

Man realisiert Kombinationen durch Permutation dieser vier Elemente zu je dreien mit Wiederholung. Man gewinnt $4^3 = 64$ Kombinationen, von denen 44 musikalisch unterscheidbar sind (Beispiel einer Urne mit Kugeln in 44 Farben), z. B. $ppp < f > p$ (s. Fig. 4).

X. *Alle Stufen werden für jeden Ton der Wolke N_a wiederholt.*

XI. *Auf gleiche Weise werden die anderen Folgen berechnet.*

Der nächste Arbeitsgang ist die Umsetzung der 11 beschriebenen Arbeitsstufen in eine „Sprache“, die die Maschine „versteht“: das gesamte Fortran-Programm eines maschinell errechneten Musikwerks wird als Fig. 5 erstmalig hier veröffentlicht. Diese Umsetzung des Organigramms in die Fortran-Sprache soll hier nicht ausführlich beschrieben, vielmehr an einem Beispiel erläutert werden, und zwar am einfachen Wahrscheinlichkeitsgesetz

$$f(x) dx = ce^{-cx} dx$$

Was muß geschehen, damit der Rechner die Größen x mit der Wahrscheinlichkeit $f(x) dx$ liefert? Nun kann die Maschine Zahlen y zwischen 0 und 1 mit Gleichwahrscheinlichkeit wählen, und diese Gleichwahrscheinlichkeit kann folgendermaßen „moduliert“ werden:

x_0 sei eine beliebige Größe.

Die Wahrscheinlichkeit

$$(0 \leq x \leq x_0) = \int_0^{x_0} f(x) dx = 1 - e^{-cx_0} = F(x_0)$$

in welcher $F(x_0) =$ Funktion der x -Verteilung. Aber

$F(x_0) =$ Wahrscheinlichkeit $(0 \leq y \leq y_0) = y_0$

daher $1 - e^{-cx_0} = y_0$ und $x_0 = \frac{\ln(1 - y_0)}{c}$ für alle $x_0 \geq 0$

Als weiteres Beispiel nehmen wir die Wahrscheinlichkeitsgleichung

$$P_j = f(j) dj = \frac{2}{a} \left(1 - \frac{j}{a}\right) dj$$

Ähnlich wie im vorigen Fall wird auch hier die Gleichwahrscheinlichkeit des Rechners moduliert, und man hat

$$j = a(1 - \sqrt{1 - y_0}) \text{ für alle } 0 \leq j \leq a$$

Ist das Programm in eine der Maschine zuträgliche Sprache umgeschrieben (was einige Monate in Anspruch nahm), können die Karten gelocht und eine Testreihe unternommen werden: man läßt die Maschine mit ihrem Programm für kurze Zeitabschnitte laufen, um logische Irrtümer und Schreibfehler aufzudecken und um die Anfangswerte der Eingangsparameter, die in der Form von Variablen eingeführt werden, festzulegen. Diese besonders wichtige Etappe der Arbeit ermöglicht die Durchforschung des gesamten Programms und dessen Möglichkeiten.

Nachdem die Maschine ihre Arbeit getan hat, werden die Ergebnisse in die traditionelle Notenschrift entschlüsselt, es sei denn, man verfügt über einen automatischen Notenschreiber. Fig. 6 zeigt die vorläufigen Ergebnisse aus einem Abschnitt der Analyse und Fig. 7 einen Partiturauszug aus ST/10-1,080262.

Schluß. Eine unendliche Vielfalt von Werken von der Art von ST/10-1,080262 für eine Vielfalt von Orchesterbesetzungen ist möglich. Ein zweites solches wurde im Auftrag der RTF (France III) bereits fertiggestellt: es ist ST/48-1,240162 für großes Orchester. Fig. 8 zeigt indessen die Eingangswerte zum Rechner von *Atrées*, ST/10-3,060962, für 10 Soloinstrumente. Ein weiteres Werk ist *Morsima-Amorsima* für 4 Instrumente.

Gibt dieses Programm auch eine befriedigende Lösung der Struktur der geringsten Einschränkungen, so müßte man die reine Komposition überschreiten und dem Digitalrechner einen Analogumformer anschließen, um Zahlen direkt in Töne, deren innere Struktur ebenfalls vorberechnet ist, umzuwandeln.

Einige der Vorteile, die das Elektronengehirn der musikalischen Komposition bietet, seien noch zusammengefaßt:

a. Die lange und mühsame Rechenarbeit schrumpft zu praktisch nichts zusammen. Die Rechengeschwindigkeit einer Maschine wie z. B. der IBM 7090 (die auch zur Interplanetarraketen-Überwachung eingesetzt worden ist) hat eine Größenordnung von einer halben Million einfacher Rechenstufen je Sekunde: das bedeutet einen enormen Zeitgewinn.

b. Von dieser langwierigen Arbeit befreit, kann sich der Komponist den allgemeinen Fragen, die die neue musikalische Form stellt, widmen und alle Ecken und Enden dieser neuen Form durch Veränderung der Eingangswerte erforschen. Zum Beispiel kann er jede einzelne Instrumentalbesetzung vom Soloinstrument zum großen Orchester erproben. Mit der Hilfe des Elektronengehirns wird der Komponist zu einer Art von Astronaut, der mit seinen Knöpfen Ordinaten einführt, um das Raumschiff im Klangraum auf Kurs zu halten und sicher durch die Sternbilder und Spiralnebel zu geleiten, wie

er es sich vor wenigen Jahren nicht hätte träumen lassen. Und dies alles bequem vom Lehnstuhl aus!

c. Das Programm ist die Liste der aufeinanderfolgenden Vorgänge, die die neue musikalische Form bilden, und ist selbst eine Objektivierung dieser Form. Daher kann es an jeden Ort, wo ein vergleichbares Elektronengehirn steht, geschickt werden, um von jedem Astronautenkomponisten verwertet zu werden.

d. Wird ein gewisser Unsicherheitsfaktor eingeführt, so kann jeder Astronautenkomponist sogar seine eigene Persönlichkeit dem Klangergebnis aufdrücken.

LUIGI NONO

Studienpartituren seiner Werke

VARIANTI

Musik für Violine solo, Streicher
und Holzbläser
Studienpartitur AV 51 DM 6.—

INCONTRI

für 24 Instrumente
Studienpartitur AV 52 DM 4.50

COMPOSIZIONE

PER ORCHESTRA NR. 2
Diario polacco '58
Studienpartitur AV 66 DM 30.—

CANTI DI VITA E D'AMORE

Studienpartitur AV 78 DM 6.50

LA VICTOIRE DE GUERNICA

Gesänge nach Paul Eluard
für vierstimmigen gemischten
Chor und Orchester
Studienpartitur AV 69 DM 3.—

LIEBESLIED

für gemischten Chor, Harfe,
Glockenspiel, Vibraphon,
Pauken und Schlagzeug
Studienpartitur AV 60 DM 3.—

IL CANTO SOSPEO

für Sopran-, Alt- und Tenor-Solo,
gemischten Chor und Orchester
Studienpartitur AV 50 DM 6.—

CORI DI DIDONE

aus „La terra promessa“
von Giuseppe Ungaretti
für gemischten Chor u. Schlagzeug
Studienpartitur AV 54 DM 4.50

LA TERRA E LA COMPAGNA

Canti di Cesare Pavese für Sopran-
und Tenor-Solo, gemischten Chor
und Instrumente
Studienpartitur AV 56 DM 4.50

INTOLLERANZA

Handlung in zwei Teilen nach einer
Idee von Angelo Mario Ripellino.
Deutsche Übertragung von
Alfred Andersch
Studienpartitur AV 75 DM 35.—

ARS VIVA-VERLAG · MAINZ

Verzeichnis der wichtigsten Abkürzungen im Fortran-Programm

- A: Dauer jeder Folge (Sekunden).
A10, A20, A17, A35, A30: Zahlen für die Glissando-Berechnung; in der Instrumentalmusik bleiben sie konstant.
ALEA: Dieser Parameter kann bei einer zweiten Verwendung derselben Eingangswerte das Endergebnis verändern.
ALFA(3): Diese drei Funktionen beziehen sich auf die drei Geschwindigkeitswerte von Glissandi (s. „Part 7“).
ALIM: Maximum der Folgendauer A (läßt sich verändern).
(AMAX(I), I=1, KTR): Tabelle einer Funktion, die zur Tondauerberechnung (Part 8) herangezogen wird.
BF: Laufende Nummer der dynamischen Form, deren Verzeichnis (Fig. 4) unabhängig von diesem Programm aufgestellt ist und sich verändern läßt.
DELTA: $1/(\text{Töne je Sekunde})$, also der reziproke Wert der mittleren Tondichte einer Folge von Dauer A (läßt sich verändern).
(E(I, J), I=1, KTR, J=1, KTE): Wahrscheinlichkeiten der als Eingangswerte eingeführten Klangfarbenklassen KTR, abhängig von der Klassennummer I = KR und der Leistung J = U, welche aus $V3 * \text{EXPF}(U) = \text{DA}$ gewonnen wird.
EPSI: Genauigkeits-Epsilon bei der Berechnung von PN und E(I, J); es ist ratsam, es beizubehalten.
(GN(I, J), I=1, KTR, J=1, KTS): Atemzugtabelle der Instrumente, abhängig von der Klasse I und dem Instrument J.
GTNA: Größte Anzahl von Tönen in der Folge von Dauer A.
GTNS: Größte Anzahl von Tönen in KW Schleifen (s. „Part 10, Test 81“).
(H(I, J), I=1, KTR, J=1, KTS): Tonhöhe abhängig von der Klasse I und dem Instrument J.
(HAMIN(I, J), HAMAX(I, J), HBMIN(I, J), HBMAX(I, J), I=1, KTR, J=1, KTS): Tabellen der Instrumentenumfänge, abhängig von der Klasse I und dem Instrument J. Testvorschrift 39 in Part 6 bestimmt, ob die HA- oder die HB-Tabelle befolgt wird. Die Zahl 7 wird willkürlich bestimmt.
JW: Laufende Nummer der zu berechnenden Folge.
KNL: Zeilen je Seite des gedruckten Ergebnisses = 50.
KR1: Zahl in der Klasse KR = 1 (Schlagzeug oder Instrumente ohne bestimmbare Tonhöhe) (s. Part 7, Vorschrift 37).
KTE: Potenz der Zahl e, so daß $\text{DA}_{\max} = V3 * e^{KTE-1}$ (läßt sich verändern).
KTR: Anzahl der Klangfarbenklassen, läßt sich verändern.
KW: Maximum von JW, läßt sich verändern.
KTEST1, TAV1 u. ä.: Mit Hilfe dieser Funktionen kann man ausrechnen, wie viel Zeit die Maschine zur Berechnung der verschiedenen Programmabschnitte brauchen wird.
KT1 = 0 bei Programm in Betrieb
≠ 0 bei Programmüberprüfung.
KT2: Anzahl der Schleifen, willkürlich auf 15 festgelegt.
(MODI(IX8), IX8 = 7,1): Hilfsfunktion zum Interpolieren von Werten in der TETA(256)-Tabelle (s. Part 7).
NA: Anzahl der für die Sequenz A errechneten Töne ($\text{NA} = \text{DA} * \text{A}$).

(NT(I), I=1, KTR): Anzahl der jeder der Klangfarbenklassen zugeteilten Instrumente.

(PN(I, J), I=1, KTR, J=1, KTS), (KTS = NT(I), I=1, KTR): Wahrscheinlichkeitstabelle jedes Instruments J der Klasse I.

(Q(I), I=1, KTR): Wahrscheinlichkeiten der KTR Klangfarbenklassen, betrachtet als lineare Funktionen der Tondichte je Zeiteinheit, DA.

(S(I), I=1, KTR): Summe der aufeinanderfolgenden Q(I) Wahrscheinlichkeiten; damit wird die Klasse KR durch Vergleich mit einer Zufallszahl X1 gewählt (s. Part 3, Schleife 154, und Part 5, Schleife 28).

SINA: Summe der errechneten Töne der JW Wolken NA, immer kleiner als GTNS (s. Test in Part 10).

$$SQPI = \sqrt{\pi}$$

TA: Zeitabszisse des Toneinsatzes.

TETA(256): Tabelle der 256 Werte des Integrals der Kurve der Normalverteilung.

$$\Theta(\lambda) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\lambda e^{-\lambda^2} d\lambda$$

Wird bei Berechnungen der Gleitgeschwindigkeit und der Tondauer verwendet.

VIGL(3): Gleitgeschwindigkeit, proportional zu, unabhängig von, oder umgekehrt proportional zu der Dichte DA der Folge; das aus den 3 Möglichkeiten jeweils gewählte Verhältnis bleibt für die ganze Folge bestehen (s. Part 7).

VITLIM: Größte Gleitgeschwindigkeit (Halbtöne/s), läßt sich verändern.

V3: Kleinste Tonwolkendichte DA.

(Z1(1), Z(2), I=1,8): Tabelle mit Ergänzungswerten zur TETA(256)-Tabelle.

Besetzung von *Atrées* (ST/10—3, 060962)

Klangfarbenklassen und Instrumente nach den aufgestellten Eingangswerten (s. Fig. 8)

Klasse	Klangfarbe	Instrument	Lfd. Nr.
1	Schlagzeug	Tempelblocks	1—5
		Tomtoms	6—9
		Maracas	10
		Becken	11
		Gong	12
2	Horn	Horn	1
		Flöte	1
3	Flöte	Flöte	1
		Klarinette	1
4	Klarinette	B-Klarinette	1
		B-Baßklarinetten	2
5	Glissando	Violine	1
		Cello	2
6	Tremolo oder Flutterzunge	Flöte	1
		B-Klarinette	2
		B-Baßklarinetten	3
		Horn	4
		Trompete	5
7	Gezupfte Streicher	Posaune <i>a</i>	6
		Posaune <i>b</i> (Baßstöne)	7
		Violine	8
		Cello	9
		Violine	1
		Cello	2
		Violine	1
		Cello	2
		Vibraphon	1
10	Trompete	Trompete	1
		Posaune <i>a</i>	1
11	Posaune	Posaune <i>a</i>	1
		Posaune <i>b</i> (Baßstöne)	2
12	Gestrichene Streicher	Violine	1
		Cello	2

* col legno.

Schallplattenbeilage zu diesem Heft

Iannis Xenakis, Streichquartett ST/4—1, 080262

ST/4—1, 080262 ist die Streichquartettfassung von ST/10—1, 080262, welches im vorstehenden Artikel vom Komponisten eingehend beschrieben ist. Im Titel bedeutet ST „stochastisch“ — dieser schon von Jacob Bernoulli eingeführter Begriff bedeutet aleatorisch, also den Wahrscheinlichkeitsgesetzen unterliegend; 4—1 zeigt an, daß es sich um das erste solche Werk für vier Instrumente handelt, während 080262 den 8. Februar 1962, an dem das Werk elektronisch errechnet wurde, bezeichnet. ST/4—1, 080262 verwendet jede technische Spielmöglichkeit der Streicher, insbesondere — neben der normalen Ausführung eines Tons durch den Bogen oder Zupfen — das systematische Glissando, das Schlagen der Saite mit dem Holz des Bogens, und das Schlagen auf den Resonanzkörper des Instruments; diese Techniken hatte der Komponist schon in seinen früheren Werken *Metastasis* (1954) und *Pithoprakta* (1955) eingeführt. Die Aufnahme ist vom Bernede-Streichquartett, bestehend aus Mitgliedern des Ensemble Instrumental de Musique Contemporaine de Paris (musikalische Leitung C. Simonovic).

IBM
FRANCE

La direction d'IBM France,
et Monsieur Ianis Xenakis, compositeur,
prigent _____
de bien vouloir assister à la présentation et à
l'audition d'une œuvre de musique stochastique
instrumentale, qui aura lieu le 24 mai, à 18 h. 15,
au siège d'IBM France, 5 place Vendôme.

R.S.V.F.

5, place Vendôme

Fig. 1

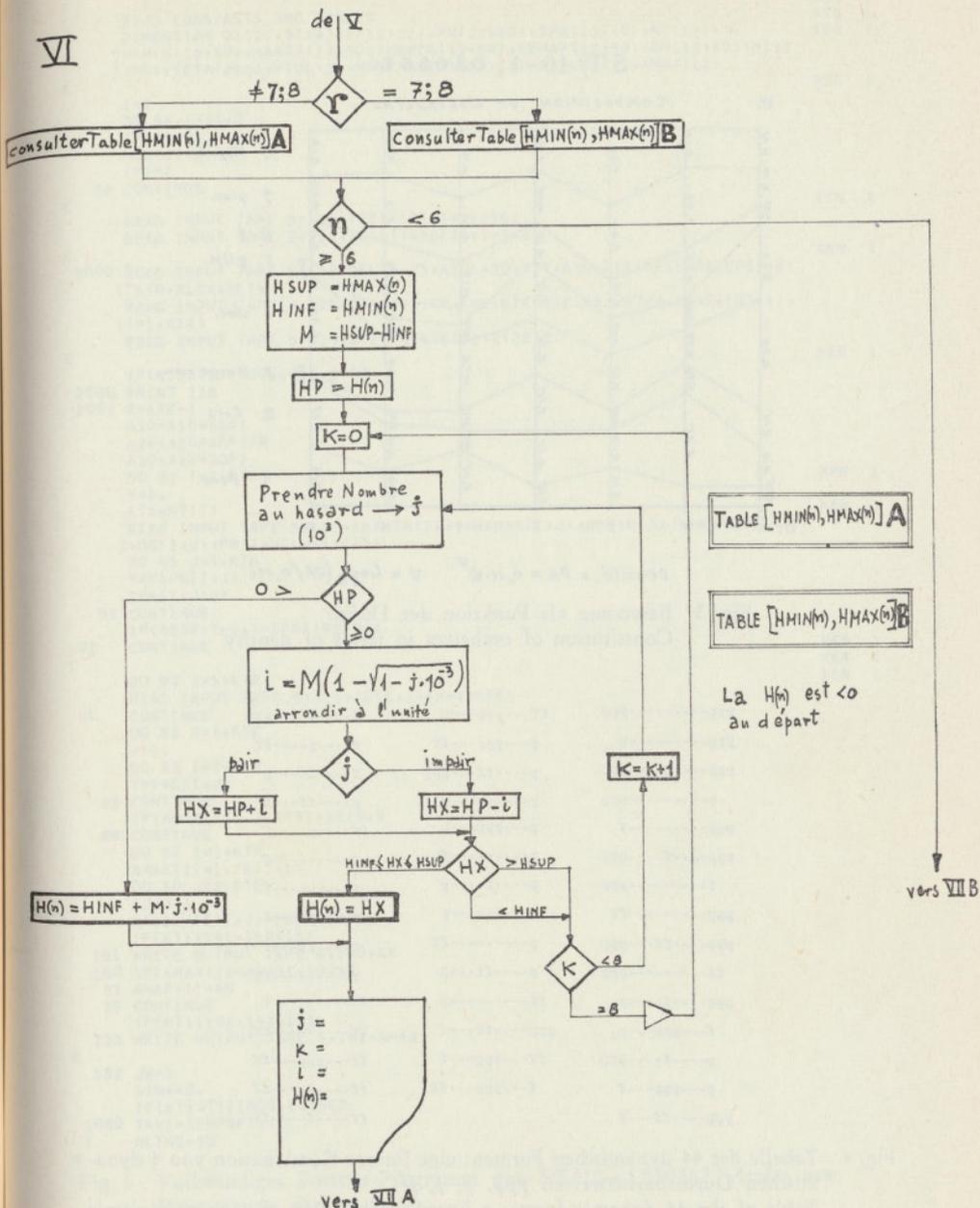
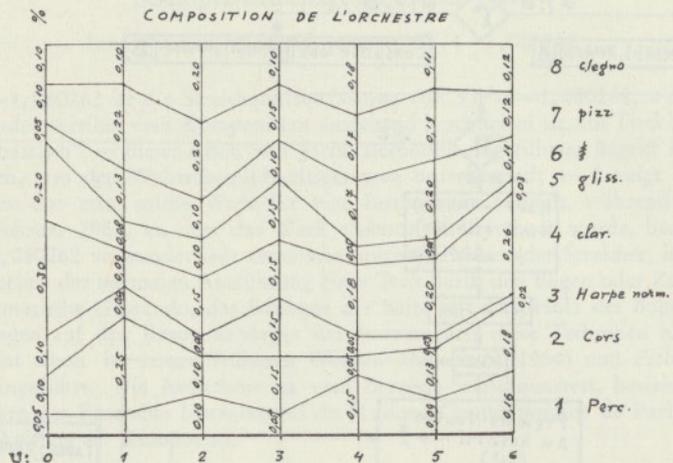


Fig. 2 Teil des ersten Organigramm
Part of the first organigram

ST/10-1, 080262

COMPOSITION DE L'ORCHESTRE



$$\text{Densité} = DA = 0,41 \cdot e^v \quad v = \text{Log}_e(DA/0,41)$$

Fig. 3 Besetzung als Funktion der Dichte
Constitution of orchestra in terms of density

PPP-----PPP	ff---ppp---p	f---ff---ppp
PPP-----p	p---ppp---ff	f---p---ff
ppp---p---ppp	p---ff---ppp	f---ff---p
p-----ppp	p-----p	p---ff---f
ppp-----f	p---ppp---p	ff---p---f
ppp---f---ppp	p-----f	f-----f
f-----ppp	p---f---p	f---ppp---f
ppp-----ff	f-----p	f---p---ff
ppp---ff---ppp	p-----ff	f---ff---f
ff-----ppp	p---ff---p	f-----ff
ppp---f---p	ff-----p	ff-----f
f---ppp---p	ppp---ff---f	ff-----ff
p---f---ppp	ff---ppp---f	ff---ppp---ff
p---ppp---f	f---ppp---ff	ff---p---ff
ppp---ff---p	ff---f---ff	ff---f---ff

Fig. 4 Tabelle der 44 dynamischen Formen: eine lineare Kombination von 4 dynamischen Durchschnittswerten ppp, p, f, ff.
Table of the 44 dynamic forms: a linear combination of 4 mean dynamic values ppp, p, f, ff.

```

C PROGRAMME XENAKIS STOCHASTIC MUSIC XEN 1
C XEN 1
C READ CONSTANTS AND TABLES XEN 1
C DIMENSION Q(12),S(12),E(12,12),PN(12,50),SPN(12,50),NT(12), XEN 1
1HMIN(12,50),HAMAX(12,50),HBMIN(12,50),HBMAX(12,50),GN(12,50),H(12
2,50),TETA(256),VIGL(3),MODI(7),Z1(8),Z2(8),ALFA(3),AMAX(12)
C XEN 1
I=1
DO 36 IX=1,7
IX8=8-IX
MODI(IX8)=1
I=I+1
36 CONTINUE
C XEN 1
READ INPUT TAPE 5,114,(TETA(I),I=1,256)
READ INPUT TAPE 5,113,(Z1(I),Z2(I),I=1,8)
C XEN 1
3000 READ INPUT TAPE 5,110,DELTA,V3,A10,A20,A17,A30,A35,BF,SQPI,EPS1,VI
1TLIM,ALEA,ALIM
READ INPUT TAPE 5,109,KT1,KT2,KW,KNL,KTR,KTE,KR1,GTNA,GTNS,(INT(I),
1I=1,KTR)
READ INPUT TAPE 5,115,KTEST3,KTEST1,KTEST2
C XEN 1
IF(KTEST3)2000,2001,2000
2000 PRINT 118
2001 R=KTE-1
A10=A10*SQPI
A20=A20*SQPI/R
A30=A30*SQPI
DO 92 I=1,KTR
Y=0.
KTS=NT(I)
READ INPUT TAPE 5,112,(HAMIN(I,J),HAMAX(I,J),HBMIN(I,J),HBMAX(I,J)
1,GN(I,J),PN(I,J),J=1,KTS)
DO 95 J=1,KTS
Y=Y+PN(I,J)
SPN(I,J)=Y
95 CONTINUE
IF(ABS(Y-1.)-EPS1)92,9,9
92 CONTINUE
C XEN 1
DO 90 I=1,KTR
READ INPUT TAPE 5,111,(E(I,J),J=1,KTE)
CONTINUE
DO 88 J=1,KTE
Y=0.
DO 83 I=1,KTR
Y=Y+E(I,J)
83 CONTINUE
IF(ABS(Y-1.)-EPS1)88,9,9
88 CONTINUE
DO 30 I=1,KTR
AMAX(I)=1./E(I,1)
DO 30 J=2,KTE
AJ=J-1
AX=1./((E(I,J))*EXP(AJ))
IF(KT1)151,150,151
151 WRITE OUTPUT TAPE 6,140,AX
150 IF(AMAX(I)-AX)31,30,30
31 AMAX(I)=AX
30 CONTINUE
IF(KT1)153,152,153
153 WRITE OUTPUT TAPE 6,141,AMAX
C XEN 1
152 JW=1
SINA=0.
IF(KTEST1)1000,1,1000
1000 TAV1=TEMPSF(1)
1 NLINE=50

```

Fig. 5 Vollständiges Fortran-Programm von ST/10—1,080262, Atrées usw.
(Fortsetzung nächste Seite)
Complete Fortran programme of ST/10—1,080262, Atrées etc.
(continued next page)

C PARTS 1 AND 2, DEFINE SEQUENCE A SECONDS AND CLOUD NA DURING A

```
KNA=0
K1=0
21 X1=RANDOMF(0.,1.)
A=-DELTA*LOGF(X1)
IF(ALIM-A)23,2,2
23 IF(K1-KT2)24,91,91
24 K1=K1+1
GO TO 21
91 A=ALIM/2.
X1=0.
2 K2=0
11 X2=RANDOMF(0.,1.)
IF(JW-1)9,3,5
9 CALL DUMP
3 UX=R*X2
GO TO 4
5 IF(RANDOMF(0.,1.)-0.5)6,7,7
6 UX=UPR+R*(1.-SQRTF(X2))
GO TO 8
7 UX=UPR-R*(1.-SQRTF(X2))
8 IF((0.-UX)*(R-UX))4,4,85
85 IF(K2-KT2)19,3,3
19 K2=K2+1
GO TO 11
4 U=UX
DA=V3*EXPF(U)
NA=XINTF(A*DA+0.5)+1
IF(FLOATF(NA)-GTNA)74,60,60
60 IF(KNA-KT2)62,54,54
62 KNA=KNA+1
GO TO 21
54 A=DELTA
GO TO 11
74 UPR=U
IF(KT1)13,14,13
13 WRITE OUTPUT TAPE 6,101,JW,KNA,K1,K2,X1,X2,A,DA,NA
NA=KT1
IF(KTEST3)1007,14,1007
1007 PRINT 116,JW,NA,A
```

C PART 3, DEFINE CONSTITUTION OF ORCHESTRA DURING SEQUENCE A

```
14 SINA=SINA+FLOATF(NA)
XLOGDA=U
ALOG=A20*XLOGDA
M=XINTF(XLOGDA)
IF(M+2-KTE)43,43,44
44 M=KTE-2
43 SR=0.
M1=M+1
M2=M+2
154 DO 15 I=1,KTR
ALFX=E(I,M1)
BETA=E(I,M2)
XM=M
QR=(XLOGDA-XM)*(BETA-ALFX)+ALFX
IF(KT1)157,156,157
157 WRITE OUTPUT TAPE 6,143,XM,ALFX,BETA
156 Q(I)=QR
SR=SR+QR
S(I)=SR
15 CONTINUE
IF(KT1)16,22,16
16 WRITE OUTPUT TAPE 6,102,(Q(I),I=1,KTR),(S(I),I=1,KTR)
```

Fig. 5 Fortsetzung / continued

C PART 4, DEFINE INSTANT TA OF EACH POINT IN SEQUENCE A

```
22 IF(KTEST2)1004,1003,1004
1004 TAV2=TEMPSF(1)
1003 N=1
T=0.
TA=0.
GO TO 25
26 N=N+1
X=RANDOMF(0.,1.)
T=-LOGF(X)/DA
TA=TA+T
25 IF(KT1)27,28,27
27 WRITE OUTPUT TAPE 6,103,N,X,T,TA
```

C PART 5, DEFINE CLASS AND INSTRUMENT NUMBER TO EACH POINT OF A

```
28 X1=RANDOMF(0.,1.)
DO 29 I=1,KTR
IF(S(I)-X1)29,35,35
29 CONTINUE
I=KTR
35 KTS=NT(I)
KR=I
X2=RANDOMF(0.,1.)
DO 72 J=1,KTS
INSTRM=J
SPIEN=SPN(KR,J)
IF(X2-SPIEN)73,73,72
72 CONTINUE
INSTRM=KTS
73 PIEN=PN(KR,INSTRM)
IF(KT1)38,6,38
38 WRITE OUTPUT TAPE 6,104,X1,S(KR),KR,X2,SPIEN,INSTRM
```

C PART 6, DEFINE PITCH HN FOR EACH POINT OF SEQUENCE A

```
67 IF(KR-1)9,37,39
37 IF(INSTRM-KR)18,41,41
18 HX=0.
GO TO 52
39 IF(KR-7)41,42,42
42 HSUP=HBMAX(KR,INSTRM)
HINF=HBMIN(KR,INSTRM)
GO TO 45
41 HSUP=HAMAX(KR,INSTRM)
HINF=HAMIN(KR,INSTRM)
45 HM=HSUP-HINF
HPR=H(KR,INSTRM)
K=0
IF(HPR)46,46,56
56 X=RANDOMF(0.,1.)
IF(N-1)9,46,48
46 HX=HINF+HM*X
GO TO 52
48 IF(RANDOMF(0.,1.)-0.5)49,50,50
49 HX=HPR+HM*(1.-SQRTF(X))
GO TO 51
50 HX=HPR-HM*(1.-SQRTF(X))
51 IF((HINF-HX)*(HSUP-HX))52,52,57
57 IF(K-KT2)55,46,46
55 K=K+1
GO TO 56
52 H(KR,INSTRM)=HX
53 IF(KT1)47,58,47
47 WRITE OUTPUT TAPE 6,100,K,X,HX
```

Fig. 5 Fortsetzung / continued

```

C PART 7, DEFINE SPEED VIGL TO EACH POINT OF A
58 IF (KR-5) 40,10,40
40 VIGL(1)=0.
   VIGL(2)=0.
   VIGL(3)=0.
   X1=0.
   X2=0.
   XLAMDA=0.
   GO TO 82
10 KX=1
59 X1=RANDOMF(0.,1.)
   IF(X1-0.9997) 121,122,123
121 I=128
   DO 124 IX=1,7
   IF(TETA(I)-X1) 125,126,127
125 I=I+MODI(IX)
   GO TO 124
127 I=I-MODI(IX)
124 CONTINUE
   IF(TETA(I)-X1) 128,126,129
126 XLAMDA=FLOATF(I-1)/100.
   GO TO (98,61),KX
122 XLAMDA=2.55
   GO TO (98,61),KX
129 I=I-1
128 TX1=TETA(I)
   XLAMDA=(FLOATF(I-1)+(X1-TX1)/(TETA(I+1)-TX1))/100.
   GO TO (98,61),KX
123 DO 130 I=2,7
   TX1=Z2(I)
   IF(X1-TX1) 131,132,130
130 CONTINUE
   I=8
   TX1=1.
131 TX2=Z1(I)
   XLAMDA=TX2-((TX1-X1)/(TX1-Z2(I-1)))*(TX2-Z1(I-1))
   GO TO (98,61),KX
132 XLAMDA=Z1(I)
   GO TO (98,61),KX
98 ALFA(1)=A10+ALOG
   X2=RANDOMF(0.,1.)
   ALFA(2)=A17+A35*X2
   ALFA(3)=A30-ALOG
   DO 63 I=1,3
   VIGL(I)=INTF(ALFA(I)*XLAMDA+0.5)
   IF(VIGL(I)-VITLIM) 65,64,64
64 VIGL(I)=VITLIM
65 IF(RANDOMF(0.,1.)-0.5) 66,63,63
66 VIGL(I)=-VIGL(I)
63 CONTINUE
82 IF(KT1) 69,68,69
69 WRITE OUTPUT TAPE 6,106,X1,X2,XLAMDA,(VIGL(I),I=1,3)
C
C PART 8, DEFINE DURATION FOR EACH POINT OF A
68 IF((KR-7)*(KR-8)) 70,70,71
71 ZMAX=AMAX(KR)/(V3*PIEN)
   G=GN(KR,INSTRM)
   RO=G/LOGF(ZMAX)
   QPND=1./(Q(KR)*PIEN*DA)
   GE=ABSF(RO*LOGF(QPND))
   XMU=GE/2.
   SIGMA=GE/4.
   KX=2
   GO TO 59
61 TAU=SIGMA*XLAMDA*1.4142
   X2=RANDOMF(0.,1.)
   IF(X2-0.5) 75,76,76
75 XDUR=XMU+TAU
   GO TO 77
76 XDUR=XMU-TAU
   IF(XDUR) 70,77,77
70 XDUR=0
77 IF(KT1) 78,79,78
78 WRITE OUTPUT TAPE 6,105,ZMAX,XMU,SIGMA,X1,XLAMDA,X2,XDUR
C

```

Fig. 5 Fortsetzung / continued

```

C PART 9, DEFINE INTENSITY FORM TO EACH POINT OF A
79 X=RANDOMF(0.,1.)
   IFORM=XINTF(X*BF+0.5)
   IF(KT1) 97,96,97
97 IF(NLINE-KNL) 86,84,99
99 NLINE=1
   GO TO 20
86 NLINE=NLINE+1
   GO TO 20
84 WRITE OUTPUT TAPE 6,118
   NLINE=0
   GO TO 20
96 IF(NLINE-KNL) 93,94,94
93 NLINE=NLINE+1
   GO TO 32
94 WRITE OUTPUT TAPE 6,107,JW,A,NA,(Q(1),I=1,KTR)
   WRITE OUTPUT TAPE 6,117
   NLINE=1
32 WRITE OUTPUT TAPE 6,108,N,TA,KR,INSTRM,HX,(VIGL(I),I=1,3),XDUR,IF0
   IRM
C
C PART 10, REPEAT SAME DEFINITIONS FOR ALL POINTS OF A
20 IF(N-NA) 26,80,80
C
C PART 11, REPEAT SEQUENCES A
80 IF(KTEST2) 1006,1005,1006
1006 TAP2=TEMPSF(1)-TAV2
   TAP2=TAP2/FLOATF(NA)
   WRITE OUTPUT TAPE 6,106,TAP2
1005 IF(JW-KW) 81,89,89
81 JW=JW+1
   IF(SINA-GTNS) 33,89,89
33 GO TO 1
89 IF(KTEST1) 1002,1001,1002
1002 TAP1=TEMPSF(1)-TAV1
   TAP1=TAP1/FLOATF(KW)
   WRITE OUTPUT TAPE 6,106,TAP1
1001 GO TO 3000
C
100 FORMAT(1H ,I6,2E20.8)
101 FORMAT(1H1,4I8,3X,4E18.8,3X,I8)
102 FORMAT(1H ,12F9.4)
103 FORMAT(/,I8,3E20.8)
104 FORMAT(1H ,2E20.8,I6,2E20.8,I6)
105 FORMAT(1H ,5E15.8,E11.4,E15.8)
106 FORMAT(1H ,6E19.8)
107 FORMAT(1H1,4X,3HJW=,I3,4X,2HA=,F8.2,4X,3HNA=,I6,4X,5HQ(1)=,12(F4.2
   1,1H/))
108 FORMAT(1H ,I7,F12.2,I9,I8,F11.1,F13.1,2F10.1,F14.2,I11)
C
109 FORMAT(5I3,2I2,2F6.0,12I2)
110 FORMAT(F3.0,F3.3,5F3.1,F2.0,F8.7,F8.8,F4.2,F8.8,F5.2)
111 FORMAT(12F2.2)
112 FORMAT(5I5F2.0,F3.3)
C
113 FORMAT(6I F3.2,F9.8)/F3.2,F9.8,E6.2,F9.8)
114 FORMAT(12F6.6)
115 FORMAT(5I3)
116 FORMAT(1H0,2I9,F10.2)
117 FORMAT(/,6X,1HN,9X,2HTA,8X,4HCLAS,4X,4HINST,8X,1HH,9X,5HVIGL1,5X,5H
   1VIGL2,5X,5HVIGL3,9X,5HDUREE,7X,5HDYNAM)
118 FORMAT(1H1)
140 FORMAT(1H ,E15.8)
141 FORMAT(1H ,9E12.8)
142 FORMAT(1H ,I3)
143 FORMAT(1H ,3F20.8)
   END

```

Fig. 5 Schluß / concluded



JM= 1 A= 7.71 NA= 67 Q(1)=0.09/0.15/0.16/0.16/0.15/0.02/0.08/0.13/0.06/

N	TA	CLAS	INST	H	VIGL1	VIGL2	VIGL3	DUREE	DYNAM
1	0.	8	10	33.0	0.	0.	0.	0.	22
2	0.07	6	41	25.9	0.	0.	0.	13.94	54
3	0.09	9	1	60.7	0.	0.	0.	3.98	15
4	0.14	3	4	20.6	0.	0.	0.	0.89	1
5	0.24	3	2	50.1	0.	0.	0.	1.20	36
6	0.28	7	28	48.7	0.	0.	0.	0.	54
7	0.33	7	25	47.2	0.	0.	0.	0.	9
8	0.40	8	40	33.0	0.	0.	0.	0.	11
9	0.54	5	34	26.4	-8.0	-10.0	-6.0	4.72	53
10	0.68	8	38	24.1	0.	0.	0.	0.	54
11	0.72	2	5	42.0	0.	0.	0.	1.39	22
12	0.83	4	3	43.4	0.	0.	0.	1.60	15
13	0.85	2	4	58.3	0.	0.	0.	1.59	56
14	0.98	4	3	34.0	0.	0.	0.	1.76	55
15	1.23	4	2	42.0	0.	0.	0.	0.74	44
16	1.26	2	6	43.4	0.	0.	0.	2.12	15
17	1.28	3	2	61.9	0.	0.	0.	1.70	2
18	1.30	2	3	55.7	0.	0.	0.	0.29	38
19	1.34	2	3	58.1	0.	0.	0.	2.97	13
20	1.35	8	5	64.4	0.	0.	0.	0.	31
21	1.37	3	2	41.4	0.	0.	0.	0.	22
22	1.52	4	2	49.8	0.	0.	0.	0.02	53
23	1.59	5	32	46.7	-13.0	14.0	-11.0	4.10	25
24	1.63	7	28	44.7	0.	0.	0.	0.	7
25	1.68	6	38	41.5	0.	0.	0.	13.68	41
26	1.73	4	4	40.9	0.	0.	0.	0.66	13
27	1.73	2	6	18.4	0.	0.	0.	0.64	32
28	1.83	8	33	28.6	0.	0.	0.	0.	46
29	1.86	3	1	61.1	0.	0.	0.	0.79	14
30	1.95	2	3	40.1	0.	0.	0.	2.34	48
31	2.07	3	2	41.2	0.	0.	0.	1.21	9
32	2.19	1	4	0.	0.	0.	0.	8.63	56
33	2.33	5	16	47.8	-38.0	-24.0	-31.0	4.20	19
34	2.56	9	1	63.9	0.	0.	0.	1.84	54
35	2.61	5	22	67.6	-37.0	-50.0	31.0	12.97	41
36	2.67	8	46	23.4	0.	0.	0.	0.	33
37	2.75	4	1	67.9	0.	0.	0.	1.52	51
38	2.78	9	2	70.3	0.	0.	0.	6.06	6
39	2.92	4	4	25.1	0.	0.	0.	0.48	52
40	2.93	4	2	73.1	0.	0.	0.	1.02	25
41	2.98	7	42	25.9	0.	0.	0.	0.	43
42	3.08	4	2	54.7	0.	0.	0.	0.95	38
43	3.15	5	45	24.3	32.0	-20.0	26.0	5.78	60
44	3.17	5	43	38.4	21.0	-20.0	17.0	9.33	33
45	3.22	4	2	67.2	0.	0.	0.	0.34	60
46	3.22	8	41	33.6	0.	0.	0.	0.	5
47	3.25	7	2	59.9	0.	0.	0.	0.	43
48	3.34	9	1	57.0	0.	0.	0.	2.50	47
49	3.62	1	7	0.	0.	0.	0.	17.06	10
50	3.67	8	13	54.3	0.	0.	0.	0.	41

Fig. 6 Provisorisches Ergebnis einer Stufe der Analyse
Tentative results of a stage of the analysis

ST / 10 - 1, 080262

/ Xenakis

Fig. 7 Partiturseite aus ST/10--1,080262
Page of the score of ST/10--1,080262

* DATA FOR 'ATRÉES' ST10-3,060962

```

000000011300022600033900045100056400067600078900090100101300112500123600 T01
134800145900156900168000179000190000200900211800222700233500244300255000 T02
265700276300286900297400307900318300328600338900349100359300369400379400 T03
389300399200409000418700428400438000447500456900466200475500484700493700 T04
502700511700520500529200537900546500554900563300571600579800587900595900 T05
603900611700619400627000634600642000649400656600663800670800677800684700 T06
691400698100704700711200717500723800730000736100742100748000753800759500 T07
765100770700776100781400786700791800796900801900806800811600816300820900 T08
825400829900834200838500842700846800850800854800858600862400866100869800 T09
87330087680088020088350088680089000089310089610089910090200904800907600 T10
910300913000915500918100920500922900925200927500929700931900934000936100 T11
938100940000941900943800945700947300949000950950952300953800955400956900 T12
958300959700961100962400963700964900966100967300968400969500970600971600 T13
972600973600974500975500976300977200978000978800979600980400981100981800 T14
982500983200983800984400985000985600986100986700987200987700988200988600 T15
989100989500989900990300990700991100991500991800992200992500992800993100 T16
993400993700993900994200994400994700994900995100995300995500995700995900 T17
996100996300996400996600996700996900997000997200997300997400997500997600 T18
997700997900997960998050998140998230998320998400998480998550998620998680 T19
998740998800998850998910998960999010999060999100999140999180999230999270 T20
999300999340999370999400999440999470999500999530999560999580999600999630 T21
999650999670999690999700 T22
2550999700002630999800002750999900003130999990003460999990037709999900 T23
04005010020017730035563177245390100000071000000000012000 T25
0000150500500120720001600025000120101020309020201010202

```

DEL T
KT1

```

R101
R102
R103
R201
R301
R401
R501
R601
R602
R701
R801
R901
R1B1
R111
R121
E1J
E2J
E3J
E4J
E5J
E6J
E7J
E8J
E9J
E10J
E11J
E12J

```

Fig. 8 Eingangswerte für *Atrées* ST/10—3,060962
Input data for *Atrées* ST/10—3,060962

Free Stochastic Music from the Computer**

The Paradox: Music and Computers
Using the IBM 7090 Computer to Compose Music

by

IANNIS XENAKIS

There is a great diversity of public reaction to the partnership between the machine and artistic creation. This reaction can be classed in three groups:

a. Some people maintain that a *work of art* cannot result, for by definition it must be "created", in the whole and its parts, all along the line, by a human being, whereas a machine, being dead, cannot invent.

b. Others again hold that one might certainly undertake the ride by machine just for fun, or to see what will turn out, but the result will not be "finished" or anything more than an experiment, interesting though it might be.

c. The fanatics, finally, accept without hesitation all the marvels of the craziest science-fiction. The moon? Why not — it's quite within our reach. Longevity, too, is just around the corner . . . Why not the creative machine as well? These are some of the faithful whose cranky optimism has replaced the myths of Icarus and of fallen fairies by the scientific civilisation of the 20th century — and this civilisation does not even prove them wrong altogether.

In actual fact, there is neither a paradox nor any almighty force in science, which progresses by steps which are limited but unpredictable in the long run.

In all the arts there has always existed what we might call rationalism, in the etymological sense, namely, the quest of proportion. The *artist* has always appealed to this, by *necessity*. No matter how much the rules of construction have differed from one century to another, there has never been any epoch without any rules at all, which are a necessity for mutual understanding. And the first category of persons are also the first to withhold the predicate *artistic* from any product they cannot *understand*.

Thus a musical scale is a convention restricting the scope of possibilities to particular kind of symmetry. The rules of Christian hymnography, of harmony or counterpoint of the various ages, enabled artists to construct

* This article is largely a translation of chapter IV of the author's book *Musiques Formelles* (Richard-Masse, Paris 1963).

and to make themselves understood by those who adopted the same restrictions, by tradition, by collective taste (i. e. mimicry), or by sympathetic resonance. The twelve-note rules, e. g. the banishment of the octave as a legacy of tonality, have imposed restrictions which are partly new but just as real.

Now every rule, every reiterated restriction, is part of a mental machine — a little “imaginary machine” as Philippot would have put it — a choice, a group of decisions. A work of music can be analysed into a large number of such mental machines. The theme of a symphony is a mould, a mental machine, and its form is another. Some of these mental machines are very restrictive and deterministic while others are very vague, leaving too much open to choice. In recent years it has been realised how very general this idea of a mechanism really is, and that all the domains of human knowledge and activity, from strict logic to artistic manifestation, is covered by it. The wheel, one of the greatest creations of human thought, is a mechanism enabling a man to travel a greater physical distance in a shorter time and with more luggage: electronic computers are the same, in respect of his mental journeys. The computers that solve the problems of logic set by the *Logic Theorist* group of Newell, Shaw and Simon, using heuristic methods in spite of the theorems of Church, Gödel and Tarski, are not really at the root of the introduction of mathematics into music, but the very opposite has happened. And if most people are prepared to recognise the advantage of using geometry in the plastic arts (e. g. architecture, painting), it is only a very small step further to the use of more abstract (non-visual) mathematics in music, which is more abstract than the plastic arts, and thus, to the employment of computers as an obvious aid to this. Summing up:

a. Creative human thought is a secretion of mental mechanisms which turn out to be nothing more than a collection of restrictions or choices; this statement applies to all fields of human activity, including art.

b. Some of these mechanisms can be represented by mathematics.

c. Some mental mechanisms can be given physical form, e. g. wheel, motor, rocket, computers, analogues, etc.

d. Some mental mechanisms have equivalents in certain mechanisms of nature.

e. Certain aspects of artistic creation can be mechanised, and these can be simulated by certain physical mechanisms (machines) already existing or awaiting creation.

f. It so happens that computers can be of some use.

This, then, is the starting-point of the application of electronic computers to musical composition.

The following can be added:

Two factors combine to complete the part the contemporary composer must play: one is his evolution at a higher level where he must invent

schemes (formerly forms) and explore their limits, and the other is the scientific synthesis of new techniques of sound production and emission, which are likely very soon to cover the whole old and more recent instrumentarium, including electronic instruments, using e. g. the analogue converters already employed by N. Guttman, J. R. Pierce and M. V. Mathews of the Bell Telephone Laboratories of New York for communication research. Now all this pioneering work involves an impressive knowledge of mathematics, logic, physics and psychology, but more than anything else it demands the use of electronic computers, not only to save time in the mental work of exploring virgin land but also because they provide immediate experimental verification at every stage of musical construction.

Music, being essentially abstract, is the first of all the arts to have attempted the reconciliation of scientific thought and artistic creation. The industrialisation of music is an irrevocable matter of destiny, and hints of this are already evident in the attempts by the Parisian team of P. Barbaud, P. Blanchard and Jeanine Charbonnier to industrialise serial and light music as well as in the musicological research work of L. A. Hiller and L. M. Isaacson at the University of Illinois.

In previous issues of this journal¹ I have referred to various new fields of musical creation, such as Poisson processes, Markov chains, musical games, the minimum-rule thesis, etc., all of which are founded on mathematics in general, and the theory of probability in particular: thus they very largely lend themselves to computer treatment and exploration. The most simple of all these schemes, and the most significant one, is the thesis of composition with minimum restrictions, as propounded in *Achorripsis*.

Through the good offices of my friend M. Georges Boudouris of the Centre National des Recherches Scientifiques I made the acquaintance of M. Jacques Barraud, lecturer in engineering at the Ecole des Mines and Electronic Control Section Head at Société des Pétroles Shell-Berre, who again undertook to introduce me to M. François Genuys, senior mathematics lecturer and research head at IBM-France. In spite of being scientists, these three gentlemen consented to an experiment which must have appeared rather mad a first sight, namely the marriage between music and the world's most potent machine. Persuasion by pure reason rarely plays an exclusive part in human relations, which are governed by questions of material interest more than by anything else. In this particular case, however, the bonds were joined even less by interest than by reason: at the root of our collaboration there seems to have been the purest form of free decision in favour of an experiment, or a game, for its own sake. Stochastically speaking, my project should have failed miserably. Well, the doors had been

¹ *Gravesano Review* 1 2 (1955), 6 28 (1956), 9 51 (1957), 11/12 112 (1958), 18 84 (1960), 19/20 140 (1960), 21 113 (1961), 22 144 (1961), 23/24 169 (1962); cf. *Musiques Formelles*.

opened, and at the end of about 18 months, on 24 May 1962, there took place at the head-office of IBM-France, 5 place Vendôme, Paris, as "the most unusual event of the Company and of the concert season", a live concert presenting an instrumental stochastic work called ST/10-1,080262 computed on the 7090 and conducted to a success by C. Simonović and his Ensemble Instrumental de Musique Contemporaine de Paris (see fig. 1). This work objectivises, by its passage through the machine, a stochastic method of composition, namely that of minimum restriction and rules.

Statement of the Problem

The first stage was to work out the organigram, which meant that all the operational steps of the composition of *Achorripsis*² had to be written out clearly and properly arranged in a structure appropriate to the machine, one of whose most important features is the capacity for extremely fast reiteration, so that the thesis had to be broken down into a progressive series of operations reiterated in loops (fig. 2).

From this point of view, the thesis of *Achorripsis* was interpreted as follows:

I. *The work comprises a succession of sequences (of movements) of a_i seconds each.* The individual durations are entirely independent (asymmetrical), but there is a definite mean duration introduced as a parameter. The durations and their stochastic succession are given by

$$P_{a_i} = ce^{-ca_i} da$$

II. *Determining the mean density of notes occurring in the time a_i .* Various sound sources emit a number of notes during any sequence. If the total number of such notes (or points) occurring in a sequence is N_{a_i} ,

then the mean density of this cloud of points is $\frac{N_{a_i}}{a_i}$ notes (points) per second. In general, and more particularly in the case of a given instrumental combination, this density is limited by the number and type of instruments and by playing technique; a large orchestra can play up to 150 notes/sec. The lower density limit $V3$ is arbitrary, and the value chosen was $V3 = 0.11$ notes/sec. Past experience has shown that the most suitable density progression is a logarithmic one with a base between 2 and 3, the value chosen being $e = 2.71827$, so that we can imagine the densities as being entered

² This work is described in detail in "In Search of a Stochastic Music" in *Gravesano Review* 11/12 112 (1958); the general synthetic method of this minimum-restriction structure is shown in *Musiques Formelles*, Ch. I.

on a straight line as points with logarithmic spacing (base e) between the limits $V3$ and $V3 \cdot eR$, this upper limit being equivalent to e.g. 150 notes/sec. To conform to the proposition of complete independence, each of the sequences a_i calculated in section I preceding could be given a density represented by any random point in the straight line mentioned. However, the desire for a certain amount of continuity makes it appear expedient to temper this independence somewhat: this is achieved by including a certain "memory" from one sequence to the next, as follows:

Let a_{i-1} be a sequence of duration a_{i-1} ,

$c_{a_{i-1}}$ its density,

a_i the following sequence of duration a_i

c_{a_i} its density;

Then the density c_{a_i} is given by the equation

$$c_{a_i} = c_{a_{i-1}} \cdot e^{\pm x}$$

where x is a segment taken at random from a straight-line segment of a length $s = (R - 0)$. The probability of x is given by

$$P_x = \frac{2}{s} \left(1 - \frac{x}{s}\right) dx$$

and finally

$$N_{a_i} = c_{a_i} \cdot a_i$$

III. *Determining the instruments playing during the sequence a_i .* The instruments are grouped into r timbre classes, e.g. the flute-and-clarinet class, the oboe-and-bassoon class, the brass class, the bowed-string class, the plucked-string class, the struck-string (*col legno*) class, the glissando class, the hide, wood and metal percussion class etc. The instruments to be used in any sequence are determined stochastically, without any pre-determined choice. In any particular sequence lasting a_i we might have for example 80% plucked strings, 10% percussion, 7% keyboard instruments and 3% flute classes. Actually it is the density which determines the constitution of the orchestra, and therefore these two factors are related to each other by a special diagram, an example of which from ST/10-1, 080262 is shown by fig. 3, which is a graphical representation of the equation

$$Q_r = (n - x) (e_{n,r} - e_{n+1,r}) + e_{n,r}$$

where r = class number

$$x = \ln \frac{c_{a_i}}{V3}$$

$n = 0, 1, 2 \dots R$ such that $n \leq x \leq n + 1$ and $e_{n,r}$ and $e_{n+1,r}$ are the probabilities of the class r in terms of n .

There is hardly need to point out that the calculation and draughtsmanship involved in this diagram entails much delicate and complicated precision work.

After these preliminary steps we can pass on to determine each of the N_{a_i} notes of the sequence a_i .

IV. *Determining the point of time when the note N of the sequence a_i occurs.* As the mean density of points (notes) to be distributed through

a_i must reach a value of $k = \frac{N_{a_i}}{a_i}$

the time between the entry of one note and the next is given by

$$P_t = ke^{-kt} dt$$

V. *Choosing an instrument n , out of those already calculated under III, to play the preceding note.* The class r among the instruments in use calculated under III is chosen at random (as in the case of a ballot-box containing balls in r colours), and then the number n of the instrument of this class is chosen at random following the probability q_n given by an arbitrary table (ballot box with balls in n colours). The correct proportioning of instruments within a class is again a most delicate and complicated matter.

VI. *Determining a pitch in terms of the instrument.* A chromatic scale of about 86 semitones is represented as ascending from an origin equal to zero and corresponding to the note A_2 . Thus the compass s of each instrument can be expressed by a natural number (distance). But the pitch b_u of a note played by that instrument is expressed by a decimal number whose integral portion refers to a degree of the chromatic scale within the instrument's compass.

As in the case of the density (section II), the pitch of one note depends to a certain extent on the pitch of the same instrument's previous note because of a memory by which

$$b_u = b_{u-1} + z$$

z being given by the probability relationship

$$P_z = \frac{2}{s} \left(1 - \frac{z}{s}\right) dz$$

where P_z is the probability of the interval z chosen at random out of the compass s .

VII. *Determining the sliding speed in the case of the glissando classes.* The hypotheses of homogeneity lead to the equation³

$$f(v) = \frac{2}{a\sqrt{\pi}} e^{-\frac{v^2}{a^2}}$$

and, by putting $\frac{v}{a} = u$, to its equivalent

$$T(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u e^{-u^2} du$$

which is given in the tables, and where $f(v)$ is the probability of occurrence of the speed v (in semitones per second) and a is a parameter proportional to the standard deviation s ($a = s\sqrt{2}$).

a is determined in terms of the logarithm of the density of the sequence a_i by:

an inversely proportional function

$$a = \sqrt{\pi} \left(30 - \frac{20}{R} L \frac{c_{a_i}}{\sqrt{3}}\right)$$

a directly proportional function

$$a = \sqrt{\pi} \left(10 + \frac{20}{R} L \frac{c_{a_i}}{\sqrt{3}}\right)$$

or by a function independent of the density,

$$a = 17.7 + 35k$$

where k is a random number between 0 and 1.

The constants in these equations are derived from the limiting glissando speeds playable on stringed instruments.

Thus if $c_{a_i} = 145$ notes/sec, then $a = 53.2$ semitones/sec

and $2s = 75$ semitones/sec

and if $c_{a_i} = 0.13$ notes/sec, then $a = 17.7$ semitones/sec

and $2s = 25$ semitones/sec

VIII. *Determining a length x of the note played.* For simplicity, a mean note-length per instrument, independent of the register and the dynamic, is assumed. Consequently we reserve the right to alter it during transcription into traditional notation. The following list shows the restrictions to be taken account of in determining the note-length x :

Longest breath, G

Density of the sequence, c_{a_i}

³ *Musiques Formelles*, Ch. I.

Probability of class r , p_r

Probability of instrument n , q_n

and the mean length z of a note is inversely proportional to the probability of occurrence of the instrument, so that

$$z = \frac{1}{c_{a_i} p_r q_n}$$

and z will be a maximum for $(c_{a_i} p_r q_n)$ minimum so that it would be possible to take $z_{\max} = G$. Instead of this we take a logarithmic law to freeze the growth of z . For any value of $c_{a_i} p_r q_n$ this law is

$$z' = z a^{-z}$$

where a is determined by $z_{\max} a^{-z_{\max}} = G$

As there is complete independence, the distribution of note-lengths x is normal:

$$f(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2s^2}}$$

where m is the average duration

s is the standard deviation

and $\left. \begin{array}{l} m - 2s = 0 \\ m + 2s = z \end{array} \right\}$ is the linear system providing the constants m and s .

If we put $u = \frac{x-m}{s\sqrt{2}}$ we again find the function $T(u)$ which can be looked up in the tables.

Finally, the note-length x is given by the relationship

$$x = u s\sqrt{2} + m$$

The incompatibility of instruments is neglected so as not to encumber the programme and the computation unnecessarily.

IX. *Determining the note's dynamic form.* We take four zones of mean dynamics:

$$ppp, p, f, ff.$$

There are $4^3 = 64$ combinations and permutations of any three of these four elements, including repetitions, but only 44 of these are musically distinct, e.g. $ppp > f < p$. These are chosen like 44 colours out of a ballot-box (see fig. 4).

X. *All the steps are repeated for every note of the cloud N_{a_i}*

XI. *All the other sequences are calculated similarly.*

The next step is to transcribe this sequence of steps into Fortran language which the machine can "understand": the Fortran programme of a work

of computer music is being published here complete for the first time, as fig. 5. Rather than give a tedious account of the transcription of the whole organigram into Fortran, we shall show the principle of this process by a relatively simple example: suppose that in the elementary law of probability

$$f(x) dx = ce^{-cx} dx$$

we wish to obtain the values of x with the probability of $f(x) dx$. Now the computer is capable of choosing random numbers y between 0 and 1, with equal probability, so the problem reduces to "modulating" this equal probability:

Let x_0 be any magnitude;

then the probability

$$(0 \leq x \leq x_0) = \int_0^{x_0} f(x) dx = 1 - e^{-cx_0} = F(x_0)$$

where $F(x_0)$ is the distribution of x . But

$$F(x_0) = \text{probab. } (0 \leq y \leq y_0) = y_0$$

whence $1 - e^{-cx_0} = y_0$ and $x_0 = \frac{\ln(1 - y_0)}{e}$ for all $x_0 \geq 0$

As another example, let us consider the relationship

$$P_j = f(j) dj = \frac{2}{a} \left(1 - \frac{j}{a}\right) dj$$

In this case, the computer's equiprobability is modulated in quite a similar way to the former case, and we obtain

$$j = a(1 - \sqrt{1 - y_0}) \text{ for all } 0 \leq j \leq a$$

Once the programme has been transcribed into a form the computer is capable of assimilating (this transcription took several months), the cards can be punched and a series of test runs can be made to disclose errors of logic and orthography and to determine the starting values of the parameters introduced as variables. This is a most important stage of the work, making it possible to explore the whole range of the programme and of its possibilities.

The final phase of the work is to decode the computer results and transcribe them into traditional music notation, although this job could ideally be taken over by an automatic music writer. Fig. 6 shows the tentative results of a stage in the analysis, while Fig. 7 is the reproduction of a page of the finished score of ST/10-1,080262.

Conclusion. The method disclosed opens up a vast field of musical composition, for every thinkable formation of instruments. One such work, for large orchestra, has already been calculated on commission for the RTF

(France III): it is called ST/48-1,240162; fig. 8 shows the computer input data for another work, *Atrées* for 10 solo instruments (ST/10-3,060962), while yet another piece is *Morsima-Amorsima* for 4 instruments, etc.

Although this programme solves the problem of the minimum-restraint structure quite well, it would be desirable to exceed pure composition and feed the computer output into analogue converter which directly turns numbers into sounds of a pre-calculated internal structure.

Some of the advantages of the use of electronic brains in musical composition might be summarised as follows:

a. The long and laborious manual calculation practically vanishes. The operating speed of a computer like the IBM 7090 (which has also been employed for interplanetary rocket control) is of the order of half a million simple operations per second, which saves an enormous amount of time.

b. This time can be spent by the composer on general problems arising out of the new musical form, whose every nook and cranny remains to be explored by means of altering the starting values. For example, all possible instrumental combinations can be tested, starting from single instruments and passing through small chamber ensembles to chamber orchestras and finally the symphony orchestra. With the help of an electronic brain the composer turns into an astronaut pressing the buttons of his musical spaceship to introduce coordinates and keep the course of his vessel on its journey through constellations and galaxies of sound, controlling from his easy-chair what the imagination of yesteryear could have envisaged only in its remotest dreams.

c. The programme, i. e. the sequence of operations making up the new musical form, is an objectivation of that form and can be sent to any place on earth possessing comparable brains where they can be used by any other pilot-composer.

d. By leaving certain points of the programme open, a pilot-composer is even able to impress his own personality on the result he obtains.

Glossary of the Principal Abbreviations used in the Fortran Programme

- A Duration of each sequence in seconds
A 10, A 20, A 17, A 35, A 30 Numbers for glissando calculation, constant in instrumental music
ALEA Parameter used to alter the final result of a second run with the same input data
ALFA (3) Three expressions entering into the three speed values of the sliding notes (see Part 7)
ALIM Maximum limit of sequence duration A (subject to modification)
(AMAX (I), I = 1, KTR) Table of an expression entering into the calculation of the note length in Part 8
BF Dynamic form number; the list (fig. 4) is established independently of this programme and is subject to modification
DELTA 1/(sounds per second), i. e. the reciprocal of the mean density of sound events of a sequence of duration A (subject to modification)
(E (I, J), I = 1, KTR, J = 1, KTE) Probabilities of the KTR timbre classes introduced as input data, depending on the class number I = KR and on the power J = U obtained from $V3 * EXPF(U) = DA$
EPSI Epsilon for accuracy in calculating PN and E (I, J), which it is advisable to retain
(GN (I, J), I = 1, KTR, J = 1, KTS) Table of the given length of breath for each instrument, depending on class I and instrument J
GTNA Greatest number of notes in the sequence of duration A
GTNS Greatest number of notes in KW loops (see Part 10, test 81)
(H (I, J), I = 1, KTR, J = 1, KTS) Pitch of the note depending on timbre class I and instrument J
(HAMIN (I, J), HAMAX (I, J), HBMIN (I, J), HBMAX (I, J), I = 1, KTR, J = 1, KTS) Tables of instrument compass limits, depending on timbre class I and instrument J. Test instruction 39 in Part 6 determines whether the HA or the HB table is followed. The number 7 is defined arbitrarily.
JW Ordinal number of the sequence computed
KNL Number of lines per page of the printed result, equal to 50
KR 1 Number in the class KR = 1 used for percussion or instruments without definite pitch (see Part 6, instruction 37)
KTE Power of the exponential coefficient e such that $DA_{max} = V3 * e^{KTE-1}$ (subject to modification)
KTR Number of timbre classes, subject to modification
KW Maximum value of JW, subject to modification
KTEST1, TAV1, etc. Expressions useful in calculating how long the various parts of the programme will take to compute
KT1 = 0 when the programme is in operation
 $\neq 0$ when the programme is being checked
KT2 Number of loops, equal to 15, by arbitrary definition
(MODI (IX8), IX8 = 7,1) Auxiliary function to interpolate values in the TETA (256) table (see Part 7)
NA Number of sounds calculated for the sequence A ($NA = DA * A$)

(NT (I), I = 1, KTR) Number of instruments allocated to each of the KTR timbre classes

(PN (I, J), I = 1, KTR, J = 1, KTS), (KTS = NT (I), I = 1, KTR) Table of probability of each instrument J of the class I

(Q (I), I = 1, KTR) Probabilities of the KTR timbre classes, considered as linear functions of the density (sounds per unit time) DA

(S (I), I = 1, KTR) Sum of the successive Q (I) probabilities, used to choose the class KR by comparing it to a random number X1 (see Part 3 loop 154 and Part 5 loop 28)

SINA Sum of the computed notes in the JW clouds NA, always less than GTNS (see test in Part 10)

SQPI = $\sqrt{\pi}$

TA Sound attack time abscissa

TETA (256) Table of the 256 values of the integral of the normal distribution curve,

$$\Theta(\lambda) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\lambda e^{-\lambda^2} d\lambda$$

which is useful in calculating glissando speed and sound event duration

VIGL (3) Glissando speed, which can vary as, be independent of, or vary inversely as the density DA of the sequence, the actual mode of variation employed remaining the same for the whole sequence (see Part 7)

VITLIM Maximum limiting glissando speed (in semitones/sec), subject to modification

V3 Minimum note cloud density DA

(Z 1 (I), Z 2, I = 1,8) Table with values complementary to the TETA (256) table

Constitution of the Orchestra for *Atrées* (ST/10-3,060962)

Timbre classes and instruments as on present input data (see fig. 8)

Class	Timbre	Instrument	Instrument No.
1	Percussion	Temple-blocks	1-5
		Tom-toms	6-9
		Maracas	10
		Susp. cymbal	11
		Gong	12
2	Horn	French horn	1
3	Flute	Flute	1
4	Clarinet	Clarinet Bb	1
		Bass clar. Bb	2
5	Glissando	Violin	1
		Cello	2
		Trombone	3
		Flute	1
		Clarinet Bb	2
		Bass clar. Bb	3
		French horn	4
6	Tremolo or flutter- tongue	Trumpet	5
		Trombone <i>a</i>	6
		Trombone <i>b</i>	7
		(pedal notes)	
		Violin	8
		Cello	9
		Violin	1
		Cello	2
		Violin	1
		Cello	2
9	Vibraphone	Vibraphone	1
10	Trumpet	Trumpet	1
11	Trombone	Trombone <i>a</i>	1
		Trombone <i>b</i>	2
		(pedal notes)	
12	Bowed strings	Violin	1
		Cello	2

* col legno

ST/4-1.080262 is the string-quartet version of ST/10-1.080262, which is described in detail in the previous article by the composer. In the title, ST stands for "stochastic", a term introduced by Jacob Bernoulli and meaning random, i. e. composed according to the laws of probability; 4-1 denotes that it is the first such work written for four instruments, while 080262 signifies the date, 8 February 1962, when it was electronically computed. ST/4-1.080262 exploits the full range of string playing technique, notably those devices first introduced by the same composer's previous orchestral works *Metastasis* (1954) and *Pithoprakta* (1955) and comprising, apart from the playing of normal notes with the bow or pizzicato, systematic glissando, notes played by striking the string with the wood of the bow, and a percussion effect produced by striking the instrument's body. The work has been recorded by the Bernede String Quartet consisting of members of C. Simonovic's Ensemble Instrumental de Musique Contemporaine de Paris.

IBM
FRANCE

La direction d'IBM France,
et Monsieur Iannis Xenakis, compositeur,
prient
de bien vouloir assister à la présentation et à
l'audition d'une œuvre de musique stochastique
instrumentale, qui aura lieu le 24 mai, à 18 h. 15,
au siège d'IBM France, 5 place Vendôme.

R.S.V.P.

5, place Vendôme

Fig. 1

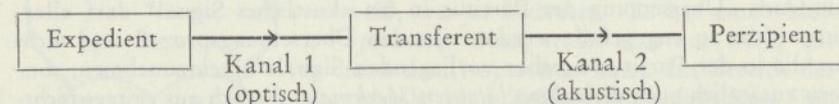
Informationstheoretische Probleme der musikalischen Kommunikation*

von

WERNER MEYER-EPPLER, Bonn

1. Wenn man sich mit Musikliebhabern unterhält, dann hört man oft die Frage: „Ist die moderne Musik (insbesondere die elektronische) eigentlich noch Musik, oder handelt es sich dabei um mathematisch-technische Konstruktionen?“ Um eine solche Frage wissenschaftlich beantworten zu können, hat man zunächst zu klären, was unter dem Wort „Musik“ verstanden werden soll. Wir wollen versuchen, eine informationstheoretische Begriffsbestimmung zu geben.

2. Unsere Untersuchungen basieren auf der kommunikativen Situation der traditionellen Musik, in der gewöhnlich 3 Kommunikationspartner auftreten: der *Komponist*, der *Interpret* und der *Hörer*. Um Ausdrücke zu vermeiden, die bereits mit affektiver Konnotation vorbelegt sein könnten, wählen wir die neutralen Termini *Expedient*, *Transferent* und *Perzipient*. Der beobachtbare Teil der *musikalischen Kommunikationskette* stellt sich dann in folgender Weise ein:



In ihr übt der Transferent eine doppelte Funktion aus: er ist Perzipient bezüglich der optischen Kommunikation mit dem Komponisten (über die Partitur) und Expedient bezüglich der akustischen Kommunikation mit dem Hörer. Wir nennen die in den Kanälen 1 und 2 übermittelten physikalischen Vorgänge „Signale“; die Partitur ist dann ein *ortsabhängiges* und der vom Transferenten produzierte Schall ein *zeitabhängiges* Signal.

Außer dieser *physikalischen* Kommunikationsbeziehung existiert eine weitere, die verschiedenen Sphären angehört:

1. der *semantischen* (sprachlichen) Sphäre und
2. den *ektosemantischen* (nicht-sprachlichen) Sphären.

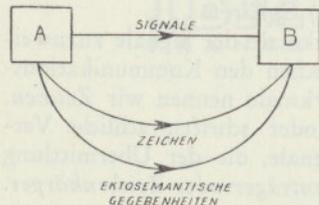
Der *semantischen Sphäre* sind diejenigen Merkmale der Signale zuzuweisen, die einer *Übereinkunft* (Konvention) zwischen den Kommunikationspartnern zugänglich sind. Derartige Signalmerkmale nennen wir *Zeichen*. Zeichen sind es beispielsweise, die eine laut- oder schriftsprachliche Verständigung ermöglichen. Die zugehörigen Signale, die der Übermittlung im physikalischen Bereich dienen, heißen *Zeichenträger* oder *Zeichenkörper*.

* Aus *Revue Belge de Musicologie* XIII (1959) 44—49.

Signalmerkmale, die nicht als Zeichenträger fungieren, werden den verschiedenen *ektosemantischen Sphären* zugeordnet. So gehören beispielsweise diejenigen Merkmale, die den Expedienten bzw. den Transferenten zu identifizieren gestatten (auf Grund gewisser unverwechselbarer Persönlichkeitskriterien), der *diagnostischen Sphäre* an, während die dem Gefühlsbereich (aller drei Kommunikationspartner oder einzelner von ihnen) angehörenden Merkmale in einer *emotionalen Sphäre* zusammengefaßt werden. Die Sphäreneinteilung ist gegen einen Wechsel der Kommunikationspartner nicht invariant; insbesondere kann der Übergang zu einer anderen typologischen Gruppe von Perzipienten zur Ausbildung einer *irrelevanten Sphäre* führen, d. h. einer Nichtbeteiligung des Perzipienten am Kommunikationsprozeß. Die diese Sphäre tragenden Signale sind dann als *Störungen* im informationstheoretischen Sinne aufzufassen. Es besteht also durchaus die Möglichkeit, daß ein- und dieselbe Signalproduktion eines Transferenten (z. B. eines Instrumentalisten oder eines Orchesters) für verschiedene Gruppen von Perzipienten eine ganz verschiedene Sphärenaufteilung erfährt.

Den ektosemantisches Sphären wird man grundsätzlich alle diejenigen Signalmerkmale zuordnen dürfen, in denen das akustische Signal (Transferent-Perzipient) sich von dem ins Akustische übersetzten optischen Signal (Expedient-Transferent) — d. h. von der Partitur — unterscheidet. Der Ausdruck „Übersetzung der Partitur in ein akustisches Signal“ darf allerdings nicht zu eng gefaßt werden. In den Übersetzungsprozeß sind nicht nur die in der Partitur sichtbar vorliegenden Signale hineinzunehmen, sondern zusätzlich noch diejenigen *latenten Merkmale*, die sich aus zeitgeschichtlichen Umständen folgern lassen, beispielsweise Fragen der Aufführungspraxis.

3. Wir wollen unser Problem nun dadurch vereinfachen, daß wir den Expedienten und den Transferenten in *einer* Person *A* vereinigen (beispielsweise dadurch, daß wir einen Komponisten eigene Werke spielen lassen). Bezeichnen wir außerdem den Perzipienten oder eine Gruppe von typologisch gleichwertigen Perzipienten mit *B*, dann erhalten wir folgendes Kommunikationsschema:



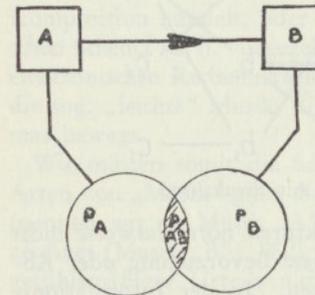
Die ektosemantisches Gegebenheiten lassen sich bisher nur mit Schwierigkeit informationstheoretisch erfassen (ausgenommen gewisse diagnostische Merkmale). Ein ganz wesentlicher Teil derjenigen Kommunikation, die wir Musik nennen, entzieht sich deshalb der exakten Behandlung; das gilt vorzugsweise für die emotionale Sphäre des Perzipienten. Bei ihr spielt das Gestimmtsein, der Umgebungseinfluß und die Assoziationsbereitschaft des

Einzelnen eine entscheidende, aber praktisch kaum vorhersehbare Rolle. Wir müssen uns deshalb beschränken, die *semantische Sphäre* des Problems zu behandeln.

4. Den persönlichen Besitz eines der beiden Kommunikationspartner an musikalischen Zeichen nennen wir (mit einem der Linguistik entlehnten Ausdruck) seinen (musikalischen) *Idiolekt*. Die in einem solchen Idiolekt anzutreffenden Zeichen können sehr komplexer Natur sein: sie reichen von den Einzeltönen bis zum vollständigen Musikstück. Es sei P_A der (als mathematische Menge aufgefaßte) aktive Idiolekt der Expedienten / Transferenten *A* und P_B der Idiolekt (genauer gesagt: der passive, aufnehmend verfügbare) Idiolekt des Perzipienten *B*. Dann stellt der Mengendurchschnitt $P_A \cap P_B$ den beiden Kommunikationspartnern *gemeinsamen Idiolekt* P_{AB} dar:

$$P_{AB} = P_A \cap P_B$$

Das nachstehende Diagramm möge diese Zusammenhänge veranschaulichen.



5. Ein Zeichen hat (nach BOCHENSKI) einen *eidetischen Sinn*, wenn man sein semantisches Gegenstück kennt, d. h. wenn man weiß, was es bedeutet. Es hat einen bloß *operativen Sinn*, wenn man nur weiß, wie man damit operieren kann. Im Bereich der „Musik“ sind Zeichen mit eidetischem Sinn selten; Beispiele wären etwa Stücke der Programmmusik oder Leitmotive, d. h. Fälle, in denen eine konstante Zuordnung von musikalischen Signalen zu außermusikalischen Gegebenheiten besteht. Der ausschließliche Gebrauch von Zeichen mit operativem Sinn, wie er in der Musik die Regel ist (Operationsanweisungen sind etwa die traditionelle Harmonielehre, der Kontrapunkt oder serielle Baupläne), wird als „uninterpretierter Kalkül“ bezeichnet. In der semantischen Sphäre ist also die meiste „Musik“ als uninterpretierter Kalkül anzusehen.

Sie übermittelt nur selten *sprachliche Inhalte*; ihre linguistische Funktion kann eher zur *Grammatik und Syntax* in Parallele gesetzt werden.

6. Wir fragen uns nun, wie bei einer derartigen Auffassung von „Musik“ als uninterpretiertem Kalkül die „musikalische Form“ definiert werden kann. Zu diesem Zweck betrachten wir ein „Musikstück“ als eine endliche Sequenz von Zeichen $a_1 b_1 c_1 d_1 \dots$ mit operativem Sinn. Es soll also beispielsweise bekannt sein, ob der Ersatz von b_1 durch b_2 in dieser Sequenz „zulässig“ ist, d. h. ob auch die Sequenz $a_1 b_2 c_1 d_1 \dots$ (innerhalb des gewählten Musikbereichs) auftreten könnte. Führt man die entsprechende

Überlegung mit allen „Positionen“ a, b, c, d usw. durch, und zeigt sich, daß jedes Element der ersten Positionsklasse

$$(a) = (a_1, a_2, a_3 \dots)$$

sich mit jedem Element der zweiten Positionsklasse

$$(b) = (b_1, b_2, b_3 \dots)$$

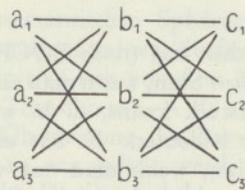
und dieses wiederum sich mit jedem Element der dritten Positionsklasse

$$(c) = (c_1, c_2, c_3 \dots)$$

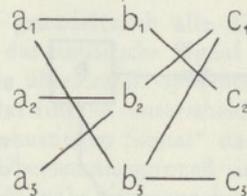
verbinden läßt usw., also sämtliche Kombinationen

$$(a) (b) (c) (d) \dots \dots \dots (F)$$

zulässig sind, dann werde (F) als eine (durch Elemente der verschiedenen Positionsklassen ausfüllbare) musikalische Form bezeichnet. Bestehen jedoch innerhalb der Elemente der verschiedenen Positionsklassen *Kombinationsbeschränkungen* (darf beispielsweise auf a_1 nur b_1 oder b_3 folgen, nicht aber b_2), so bewirken diese Bindungen eine *innere Struktur* der potentiellen Zeicherverbindungen. Diese Verhältnisse lassen sich etwa folgendermaßen graphisch veranschaulichen:



Netz ohne Strukturen



Netz mit Strukturen

In der Musik gründen sich die internen Strukturen normalerweise nicht auf strenge Regeln, sondern eher auf eine gewisse Bevorzugung oder Ablehnung bestimmter Schemata oder Fortsetzungen. In der Informationstheorie drückt man diesen Sachverhalt dadurch aus, daß man die Sequenz der Zeichen eine *Markoffkette* nennt, d. h. eine Aufeinanderfolge von Zeichen mit gegenseitiger statistischer Abhängigkeit.

7. Jeder Musikstil und darüber hinaus jeder bessere Komponist hat sein eigenes Inventar von Formen und internen Strukturen (d. h. von Wahrscheinlichkeiten der Zeichenkombination), und jeder Hörer hat *sein* Inventar von Formen und Strukturen, das ihm durch seine Hörerfahrung zugänglich ist. Damit „Musik“ in der semantischen Sphäre „verständlich“ ist, muß das Formen- und Strukturen-Inventar des Komponisten (als des Expedienten / Transferenten) gemeinsame Bestandteile mit dem Formen- und Strukturen-Inventar des Hörers (als der Perzipienten) aufweisen. Fehlt dieser gemeinsame Zeichenvorrat, dann kann die „Musik“ nur in den ektosemantischen Sphären des Perzipienten wirksam werden. Eine überindividuelle Verständigung über sie ist aber nicht mehr möglich, und eine Befragung des Perzipienten führt nur zu subjektiven (psychologisch interessanten, musi-

kalisch jedoch belanglosen) Aussagen. Es kann wohl nicht bezweifelt werden, daß eine derartige *Inventardiskrepanz* im heutigen Konzertbetrieb nicht allzu selten sein dürfte, insbesondere im Bereich der neueren Musik.

8. Aus dem oben Gesagten folgt, daß das gleiche, als „Musik“ bezeichnete Schallsignal vom Komponisten oft einem ganz anderen Zeicheninventar zugeordnet wird als vom Hörer. Eine überindividuelle, von einem außerhalb der Kommunikationskette stehenden *externen Beobachter* vorzunehmende Beschreibung invarianter Zeichneuordnungen zum Signal ist offenbar vielfach unmöglich. Das, was der Komponist als „Musik“ komponiert hat, wird vom Hörer vielleicht als „Lärm“ bezeichnet, und „Musik“ ist für ihn der Gesang der Vögel oder der Klang der Geldstücke in seiner Tasche. Es fehlt an objektiven Kriterien, die es dem externen Beobachter ermöglichen könnten, zu entscheiden, ob ein ihm zugänglicher Schallvorgang „Musik“ ist oder nicht, wohlgermerkt *ohne* einen der beiden Kommunikationspartner zu befragen (d. h. der externe Beobachter darf auch nicht selbst als Perzipient fungieren und sein eigenes (subjektives) Urteil der Suche nach objektiven Kriterien zu Grunde legen). Es ist nicht möglich, einer vorgelegten Partitur anzusehen, ob es sich um eine von einem Menschen ausgeführte Komposition handelt, oder ob die Noten nach einem vorgegebenen statistischen Schema (d. h. vorgegebenen Form- und Strukturkriterien) mittels einer elektronischen Rechenmaschine gewonnen wurden; dies gilt insbesondere für die sog. „leichte“ Musik, die sich streng innerhalb eines vorgegebenen Schemas bewegt.

Wir müssen somit die Schlußfolgerung ziehen, daß es mindestens zwei Arten von „Musik“ gibt: die Musik, die der *Komponist* als solche bezeichnet (nennen wir sie Musik „A“), und die Musik, die der *Hörer* als solche bezeichnet (Musik „B“). Will man der absoluten Willkür und dem Eindringen gefühlsmäßiger Urteile nicht Tür und Tor öffnen, so bleibt nichts übrig, als die vom Komponisten als von ihm komponiert bezeichnete Musik „A“ auch in der überindividuellen (metasprachlichen) Ausdruckweise der Wissenschaft als „Musik“ schlechthin zu bezeichnen und hedonischen (d. h. Gefallens-) Urteilen der Perzipienten keinen Raum zu geben.

9. Unsere zu Beginn gestellte Frage enthüllt sich somit als Scheinfrage, da sie von den irrelevanten Urteilen der Perzipienten ausgeht und nur die Musik „B“ statistisch zu erfassen gestatten würde. Hiermit ist natürlich keineswegs gesagt, daß eine Auswertung von Urteilen *kompetenter* Perzipienten (d. h. von solchen, die über ein genügend großes, mit dem Expedienten / Transferenten gemeinsames Zeicheninventar verfügen) es dem externen Beobachter nicht gestatten würde, in der untersuchten Musik „A“ Qualitätsmerkmale aufzufinden (die von nicht-kompetenten Perzipienten allerdings nicht anerkannt werden) und „gute“ Musik „A“ von „schlechter“ zu unterscheiden. Eine solche Unterscheidung behält aber stets ihren statistischen Charakter, bleibt also auch innerhalb der Gruppe der kompetenten Perzipienten (d. h. der Experten) nicht unangefochten.

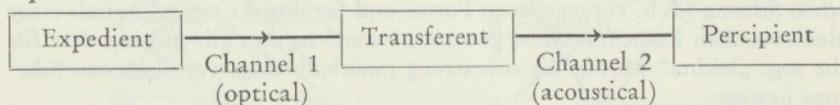
Musical communication as a problem of information theory

by

WERNER MEYER-EPPLER, Bonn

1. In conversation with music lovers one frequently hears the question, "Is modern music (especially electronic music) still music or is it rather a mathematical construction?" A scientific answer to this question must first clarify what is meant by the term *music*. Let us try to find a definition in terms of information theory.

2. Let our research be based on the communicative situations arising in traditional music, usually with three communication partners, namely the *composer*, the *interpreter* and the *listener*. In order to avoid any emotional prejudice that may be associated with these terms, let us replace them by the neutral concepts *expedient*, *transferent* and *percipient*. The observable portion of the *musical communication chain* can then be given the following representation:



The transferent's function is a double one, for he is the percipient of the optical communication with the composer and the expedient of the acoustical communication with the listener. To the physical processes transmitted in channels 1 and 2 we give the name *signals*: the score is then a *place-dependent* or *localised signal* and the sound produced by the transferent, i. e. the music itself, a *time-dependent* or *temporalised* one.

Apart from this *physical* relationship of communication, there is another one between communication partners, pertaining to various spheres, namely

1. the *semantic* sphere and
2. the *ectosemantic* spheres.

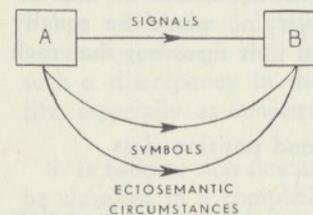
The *semantic sphere* (i. e. the one pertaining to language) comprises all signal attributes falling under some *agreement* or *convention* between the communication partners. Such signal attributes are called *symbols*. It is the symbols that enable semantic communication among people, i. e. human contact through spoken or written language, to take place. The signals used to transmit the symbols in the physical plane are called *symbol carriers*.

All other signal attributes, i. e. those not acting as symbol carriers, are classed among the various *ectosemantic spheres*. As examples of this, the attributes enabling identification of the expedient or transferent (by means of certain unmistakable personal traits) belong to the *diagnostic sphere*,

while the attributes pertaining to feeling (of one, two or all three communication partners) are summarised in an *emotional sphere*. The spheres are not invariable to a change of communication partners, and especially the change to a typologically different group of percipients can result in an *irrelevant sphere*, i. e. a non-participation of one or more percipients in the communication process. In information theory, the signals carrying this sphere are then regarded as *intereference*. Hence it is quite possible that one and the same signal production on the part of a transferent (i. e. the same programme played by an instrumentalist or an orchestra) is subject to widely varying communication sphere arrangements, depending on the percipients.

The ectosemantic spheres will in general include all signal attributes by which the acoustic signal (transferent-percipient) differs from the acoustic translation of the optical signal, i. e. from the score (expedient-transferent). The expression "acoustic translation of the optical signal" must not, however, be taken within too narrow bounds, for it must include, apart from the translation of the visible signals of the score, *latent characteristics* deducible from historical circumstances, such as questions relating to performance style.

3. Let us now simplify the problem by uniting the expedient and the transferent in a single person *A* (corresponding to actual practice if for example a composer is playing his own works). If *B* is the percipient or group of typologically similar percipients, we obtain the following communication scheme:



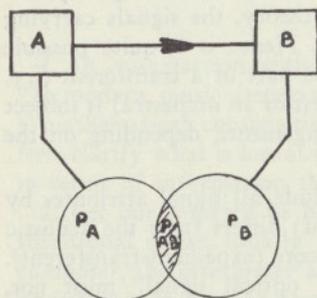
It is still very difficult to deal with the ectosemantic circumstances (except for certain diagnostic traits) in information theory, so that quite an essential portion of musical communication eludes exact treatment. This applies particularly to the percipient's emotional sphere, materially influenced, as it is, by the mood the individual happens to be in, environmental influence, and his readiness to associations, which all play a part that is as important as it is unpredictable. The best that information theory can do therefore is to confine itself to the *semantic* part of the problem.

4. The range of a person's knowledge of musical symbols is called his *idiolect*, a term borrowed from linguistics. The symbols to be found in a person's idiolect can be extremely complex and will range from a single tone to a complete piece of music. Let P_A be the mathematical quantity expressing the active idiolect of the expedient-transferent *A* and P_B that expressing the passively receptive idiolect of the percipient *B*. Then the

mass difference $P_A \cap P_B$ is the idiolect P_{AB} common to both partners:

$$P_{AB} = P_A \cap P_B$$

This may be illustrated by the following diagram:



5. In the terminology of BOCHENSKI, a symbol is *eidetic* if its semantic counterpart, i. e. its meaning, is known, whereas it is merely *operative* if it is only known how to operate with it. Eidetic symbols are rare in music and confined to programme music, leading motives, etc., i. e. cases with a constant relationship between musical signals and extramusical meanings. The exclusive use of operative symbols, as is the rule in

music (directions for operations are, for example, traditional harmony, counterpoint, or rules for serial construction), is referred to as *uninterpreted calculus*. Most music, regarded from the semantic sphere, is therefore uninterpreted calculus and seldom transmits a *linguistic context*, so that its linguistic function can be compared more to *grammar and syntax*.

6. In this light, how can *musical form* be defined? Let us regard a piece of music as a finite sequence of operative symbols $a_1 b_1 c_1 d_1 \dots$. To answer our question we shall have to find out whether it is permissible to replace one of the signs, say b_1 by another, b_2 , i. e. whether, within the musical range under discussion, the sequence $a_1 b_2 c_1 d_1 \dots$ would be equally possible. If this is carried out systematically and if it turns out that each element of the first position class

$$(a) = (a_1, a_2, a_3 \dots)$$

can enter relation with each element of the second position class

$$(b) = (b_1, b_2, b_3 \dots)$$

which again can enter relation with each element of the third position class

$$(c) = (c_1, c_2, c_3 \dots)$$

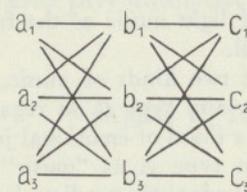
and that all combinations

$$(a) (b) (c) (d) \dots = (F)$$

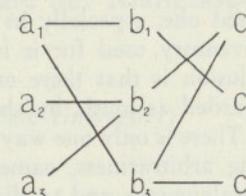
are permissible, then let (F) be called a *musical form* that can be filled with elements of the various position classes.

If, on the other hand, there are certain restrictions on the combinations possible among the elements of the various position classes (for example if a_1 can be followed only by b_1 or b_3 but not by b_2), these obligations effect an *internal structure* of the potential symbol relationships.

This can be illustrated by the following diagrams:



Grid without structures



Grid with structures

The internal structures of music are not usually based on strict rules but rather on a certain preference of certain schemata or sequences to others. This state of affairs is expressed in information theory by calling the sequence of symbols a *Markoff chain*, which is the term given to a sequence of mutually dependent symbols.

7. Each musical style, and within it each better-than-average composer, has its (or his) own inventory of forms and internal structures (equivalent to certain probabilities of symbol combinations). Likewise, every listener has his inventory of forms and structures derived from his listening experience. For music to be understandable semantically, the composer's (expedient-transferent's) inventory of forms and structures must coincide with that of the listener (percipient) to a certain degree, below which such music played to such a listener can have only an ectosemantic effect so that no two such listeners will be able to reach objective agreement on it but will make only subjective remarks that are irrelevant musically, interesting though they may be psychologically. (There is no doubt that such a discrepancy in the inventories is frequent in present-day concert life, especially as concerns modern music.)

8. It follows that one and the same sound signal described as music may be classified in a completely different inventory by the composer and the listener, and a general, objective description of invariable inventory classifications on the part of an observer external to the communication chain is frequently impossible. This is why what the composer has formed as music may be perceived as noise by the listener, for whom the sound of music is perhaps more like the song of the birds or the jingle of coins in his pocket. There is a notable lack of objective criteria that might enable an external observer to decide whether a certain sound process is music or not; such an *external observer* must obviously not question either the composer or the listener, and he must not be a listener himself and base his objective judgment on personal, i. e. subjective grounds, which makes the impossibility of this evident.

Another impossibility is to distinguish a human score from an electronically calculated one, especially in the field of light music as the form and structure inventory used for it is very small.

Our conclusion is that there exist at least two kinds of music, namely type *A*, regarded as music by the composer, and type *B*, so regarded by the listener. There is only one way to prevent a flood of emotional judgment and resulting arbitrariness, namely to adopt type *A* as "music" also in scientific metalanguage and to disregard the hedonistic verdicts leading to the percipients' description of "music" type *B*.

9. The question posed at the beginning turns out, at least in this light, as an apparent question only, as it is based on the irrelevant verdicts of the percipients and tends to class only type *B* as music. This by no means excludes the value of verdicts from *competent* percipients (i. e. those who possess a sufficiently large inventory common with that of the expedient-transferent), which might enable an external observer to classify some musical works *A* as being better than others. As such a classification would, however, be based on the statistical distribution of the various competent percipients' judgments in respect of the presence or absence of quality criteria, it would necessarily remain a matter of controversy even among the experts.

Die physikalischen Korrelate der Klangfarbe

von

JAMES C. TENNEY (Yale University)

Durch zwei verschiedene Wege kann man an das Problem der Klangfarbe herantreten: durch Analyse und durch Synthese. Die zwei Methoden schließen sich zwar nicht gegenseitig aus, stellen aber zwei grundsätzlich verschiedene Ausgangspunkte dar. Mein eigener Blickpunkt ist der der Synthese, unter Anwendung der bei den Bell Telephone Laboratories entwickelten Digitalrechner-technik. Dabei ist die Absicht weniger die Nachahmung bekannter Klangeigenschaften als die künstliche Herstellung einer großen Anzahl und einer möglichst reichen Vielfalt von Klangfarben. Diese ursprüngliche Absicht hat mich wiederholt zu Gedanken über die physikalischen Eigenschaften natürlicher und traditionell-musikalischer Klänge geführt.

Diese Klänge als Modell betrachtend, stellte ich folgende Frage: Wieviele Möglichkeiten der wahrnehmbaren Veränderung eines Klanges gibt es, m. a. W. wie viele verschiedene Klangfarben kann man bei gleichbleibender Tonhöhe, Intensität und Dauer eines Klanges wahrnehmen?

Die verschiedenen Antworten auf diese Frage, die es gegeben hat, beziehen sich auf die stationäre Schwingungsform oder das stationäre Klangspektrum. Dabei ist bekannt, daß die Schwingungsform als solche gar nicht wahrgenommen wird, sind doch drastische Formänderungen infolge von Phasenverschiebungen, wenn überhaupt, nur unter ganz bestimmten Bedingungen im Labor wahrnehmbar. Auch das stationäre Spektrum genügt nicht allein, um die Klangfarbe zu bestimmen: viele Klänge erreichen nie einen Dauerzustand, haben trotzdem eine erkennbare Klangfarbe. Auch ein als stationär zu bezeichnendes Signal fluktuiert oft in einer Weise, die sich nicht auf eine Spektralanalyse beziehen läßt. Gewisse *Ein- und Ausschwingvorgänge* sowie verschiedene quasisationäre *Modulationsprozesse* muß man außer dem *Spektrum* in Betracht ziehen: so erhält man drei „Grundparameter“ der Klangfarbe, davon jeder in eine Anzahl von „Unterparametern“ zerfällt. Diese sind es, die aufgrund der Erfahrungen mit rechnererzeugten Klängen hier kurz beschrieben werden sollen.

Das *Spektrum* bezieht sich besonders auf den stationären Zustand, bei der Sprache also auf die Vokale. In der Phonetik — besonders bei der Vokalsynthese — sind die folgenden Merkmale des stationären Spektrums wichtig: die *Mittelfrequenzen*, *Bandbreiten* und *relative Amplituden* einer Anzahl von zwei bis vier *Formantenspitzen*. Da man in der Sprache eine besonders große Vielfalt von Klangfarben unterscheiden kann und die ge-

nannten Unterparameter zu ihrer Beschreibung genügen, ist es sehr wahrscheinlich, daß man damit den stationären Zustand auch *jedes anderen Klanges* definieren kann. Trotzdem müssen mindestens zwei weitere Faktoren mit in Betracht gezogen werden: die Bandbreite des *ganzen* Spektrums — besonders die *obere* Frequenzgrenze (oder die Anzahl der Obertöne) — und die Art etwaiger Geräuschkomponenten, welche bis zu einem gewissen Grade in fast jedem Klang, einschließlich dem der Stimme und der Musikinstrumente, vorkommen und ihrerseits durch drei weitere Unterparameter bestimmt werden: die *Mittelfrequenzen*, *Bandbreiten* und *relative Amplituden* von vielleicht zwei bis drei Geräuschbändern.

Die *quasistationären Modulationsprozesse* sind am bekanntesten als die Frequenz- und Amplitudenschwankungen von *Tremolo* und *Vibrato*, welche ihrerseits durch *Frequenz* und *Amplitude* der Modulation zu bestimmen sind. Obwohl Tremolo und Vibrato gewöhnlich (z. B. von Seashore) als sinusförmige Modulationen beschrieben werden, trifft dies nur *ungefähr* zu, bestimmte elektromechanische Instrumente wie das Vibraphon und die elektrische Orgel ausgenommen. Bei der Synthese einer „reichen“ Klangfarbe erweist sich sogar eine *Random-Modulierung* manchmal, aber nicht immer, zusammen mit einer periodischen Modulierung von Frequenz und Amplitude als wesentlich, wobei wieder die *Frequenz* und *Amplitude* der Modulation bestimmend sind. Die *Frequenz* und *Amplitude* der *Random- und periodischen* Modulationen der *Frequenz* und der *Amplitude* des stationären Klanges ergeben zusammen acht weitere Unterparameter der Klangfarbe. Dabei ist zu bedenken, daß die periodische Modulation keineswegs sinusförmig zu sein braucht, doch liegen auf diesem Gebiet noch keine Erfahrungen vor, obwohl eine solche Veränderung der Schwingungsform bei der Klangfarbe von vielen bekannten Klängen und Geräuschen wahrscheinlich eine große Rolle spielt.

Die *Ein- und Ausschwingvorgänge* lassen sich zweckmäßigerweise nicht durch eine noch weitere Anzahl von Unterparametern, sondern durch die Hüllkurvenartige Veränderung eines oder mehrerer der 15 schon gefundenen Unterparameter fixieren. Jede solche Hüllkurve wäre durch ihre Form unter besonderer Berücksichtigung der anfänglichen Steilheit zu beschreiben. Die Art dieser Beschreibung ist dabei weniger wichtig, als daß die Parameterveränderungen tatsächlich beschrieben werden, denn sie spielen bei der Klangfarbe eine nicht zu unterschätzende Rolle.

Doch bezieht sich diese Hüllkurvenveränderung nicht unbedingt auf gesamte Unterparameter, sondern u. U. in verschiedener Weise auf die Einzelkomponenten wie z. B. Formanten- oder Geräuschbänder oder sogar einzelne Obertöne, die in diesen Unterparametern zusammengefaßt werden. Selbstverständlich gibt es eine weit größere Anzahl solcher möglicher Veränderungen, als man wahrnehmen kann. Die Grenzen der Wahrnehmung werden hier noch zu untersuchen sein. Doch hat die Erfahrung bisher ge-

zeigt, daß sehr viele nicht nur wahrnehmbar sind, sondern daß man sie bei der Synthese tatsächlich braucht, um den Eindruck einer „reichen“ Klangfarbe hervorzurufen.

*

Die 15 Unterparameter der Klangfarbe und die auf sie bezogenen Hüllkurvenveränderungen sind von den drei anfänglich beschriebenen Faktoren: dem stationären Spektrum, den quasistationären Modulationen und den Ein- und Ausschwingvorgängen abgeleitet. Eine komplizierte Definition der Klangfarbe müßte noch zu *einem* Begriff vereinfacht werden. Betrachten wir zunächst den offensichtlich unzulänglichen traditionellen Klangfarbenbegriff, wie ihn Ohm formuliert hat: „Jeder musikalische Klang ist ein periodischer Vorgang. Nur einfache harmonische Schwingungen nimmt das Ohr als einfache Töne wahr: *jede Art der Klangfarbe ist die Folge einer bestimmten Zusammenstellung einer größeren oder kleineren Anzahl einfacher Töne.*“ Diese Definition geht von der einfachen harmonischen Schwingung aus.

Auch jeder der drei Hauptparameter eines Klanges kann als eine Abweichung von der einfachen harmonischen Schwingung betrachtet werden, doch sind diese Abweichungen nicht einfach additiv (wie aus dem Ohmschen Gesetz hervorgeht), sondern die Modulation z. B. ist wesentlich ein *multiplikativer* Vorgang (Hüllkurvenerzeugung ist eine bestimmte Art der Modulation). In diesem Sinne möchte ich die folgende vorläufige Definition der physikalischen Grundlage der Klangfarbe vorschlagen, da sie die vielen Möglichkeiten der Klangfarbenerzeugung und -unterscheidung berücksichtigt:

Die Klangfarbe ist diejenige Eigenschaft der Schallwahrnehmung, die durch die Art und Größe der Abweichung des wahrgenommenen Schalls von der einfachen harmonischen Schwingung bestimmt ist.

Es gibt drei Arten dieser Abweichung, den drei Grundparametern entsprechend:

1. Die immer noch periodische Schwingung setzt sich aus einer Anzahl einfacher Schwingungen zusammen;
2. Das Signal wird verhältnismäßig langsam moduliert, wobei die Modulationen selbst mehr oder weniger periodisch sind und der Schwingungszustand noch immer als quasistationär bezeichnet werden kann;
3. Die verschiedenen Parameter dieses stationären Zustandes erfahren eine fortschreitende Veränderung von der Art einer Hüllkurve.

Eine solche Neudefinition der physikalischen Korrelate der Klangfarbe erscheint heute *notwendig*. Ob sie auch *genügt*, wird sich erst nach weiterer analytischer Arbeit erweisen. Einstweilen mag sie als eine brauchbare Arbeitshypothese bei Klangfarbenuntersuchungen dienen.

The Physical Correlates of Timbre

by

JAMES C. TENNEY (Yale University)

There are essentially two ways the problem of timbre may be studied — by analysis and by synthesis. Each will involve the other, to some extent, but they remain distinct points of departure. My approach has been by synthesis, using the digital computer technique developed at the Bell Telephone Laboratories. The intention was not to “simulate” particular, known sound qualities, but rather to synthesize a large class of timbres, attempting to achieve as great a variety and richness in this respect as possible. With this intention, I have been led repeatedly to a consideration of the physical properties of natural sounds, and sounds produced by conventional musical instruments.

With these as a kind of *model*, I have asked this question: In how many different ways may the quality or timbre of a sound be made to vary perceptibly, or in how many ways may the quality of one sound be distinguished from that of another — given that the perceived pitch, intensity and duration are held constant?

Various answers have been given to this question in the past — mostly referring to the waveform or the spectrum of the sound, assuming a steady-state condition. We know, however, that it is not the waveform, as such, that is perceived, since drastic differences of waveform produced by shifting the phases of harmonics are only perceptible in special laboratory conditions, if at all. But even the steady-state spectrum cannot serve, by itself, as our point of reference; many sounds do not even have a “steady state”, and yet we still ascribe characteristic timbres to them. And even during what we would perceive as a steady state, there are often fluctuations in the signal that cannot be described simply in terms of a spectral analysis. What must be accounted for are certain *transient phenomena*, and various kinds of quasi steady-state *modulation* processes. These, along with the spectrum, constitute what I shall call the three basic parameters of timbre. Each of these three parameters may, in turn, be analyzed into several *sub-parameters*.

Here, I will give a brief outline of these sub-parameters as I have found them operative in my work with computer-generated sounds. First, the *spectrum*: In speech research — in attempts to synthesize vowel sounds — the most essential features of the steady-state spectrum have been found to be the *center-frequencies*, *bandwidths* and *relative amplitudes* of from two to perhaps four *formant peaks*. Now the variety of timbres articulated and distinguished in speech communication is great enough that it seems

highly unlikely that very many more parameters would be needed to describe, uniquely, the discriminable aspects of the steady-state spectrum of *any* sound. However, at least two more factors must be considered. One is the bandwidth of the spectrum *as a whole* — especially the magnitude of the *upper* limit of the spectrum (or the number of harmonics) — and the other is the presence and nature of any noise components in the spectrum. These noise components — which are present in some degree in virtually every natural sound we hear, including the sounds of conventional musical instruments and the human voice — add three more sub-parameters to the list; the center-frequency, bandwidth and relative amplitudes of perhaps two or three noise bands.

As for what I have called “quasi steady-state modulation processes”, the most familiar are those fluctuations of frequency and amplitude which constitute the *tremolo* and *vibrato* in musical instruments. Here, both the *rate* and the *range* of modulation are of importance in determining the quality of the tone. And, although descriptions of the vibrato, by Seashore and others, have usually called it a sinusoidal modulation, it is never more than *approximately* sinusoidal, except perhaps in certain electro-mechanical instruments such as the vibraphone and the electric organ. In fact, I have found it absolutely essential, in synthesizing what I would call “rich” timbres, to use *random modulation* of frequency and amplitude, sometimes with and sometimes without a simultaneous periodic modulation. Here, too, both the *rate* and the *range* of the modulation process are determining factors in the resulting timbre. Thus, considering these relatively slow, quasi steady-state modulation processes we find it necessary to add eight more variables to our list of the sub-parameters of timbre. These are the rates and ranges of both periodic and random modulations of the frequency and amplitude of the tone.

Even this is not a really exhaustive list, however; the waveform of the periodic modulation could very well be other than sinusoidal. I have not yet studied the effects of such variations in the waveform, however, so I cannot say anything about it except that it is probably of importance in many familiar sounds (especially “noises”) in our environment.

The number of sub-parameters in this list is now 15, and this number refers to the steady-state portion of a sound alone! I have not even begun to describe the transient phenomena mentioned earlier. Instead of extending the list even further, however, I will suggest a more convenient way of describing these transient effects; namely, as progressive, “unstable” variations, in time, of one or more of the fifteen sub-parameters already named — *envelopes*, in effect, of any or all of the steady-state parameters. The specification of each envelope would require a description of its shape, with the rate of change at the beginning being especially significant. The precise mode of specification is of less importance than the fact that such

progressive changes be specified in some way, because they are of crucial importance in the determination of the perceived timbre.

Finally, various partial components of a sound, such as formant bands, noise bands — sometimes even single harmonics — may need to be varied, by means of these parametric envelope functions, quite independent in time. Naturally, all possible variations of all such components are not going to be equally distinguishable, and the limits of our perception here need further study, but my experience has been that a very great many such variations are perceptible, and in fact, *necessary* for the impression of timbral “richness”.

*

The fifteen sub-parameters of timbre and the varieties of “enveloping” I have been describing were derived from an original set of three factors: the steady-state spectrum and quasi steady-state modulation, process, and non-steady-state, transient phenomena. It would be gratifying if we could simplify this formulation still further, subsuming all these different and disparate “physical correlates of timbre” under one definition. The definition that has served us so long — for better or worse — is clearly inadequate. I am referring here to Ohm’s famous “law of acoustics”, which stated (and here I’m quoting from Dayton C. Miller, in *The Science of Musical Sounds*):

“All musical tones are periodic phenomena; the human ear perceives pendular vibrations alone as simple tones: *all varieties of tone quality are due to particular combinations of a larger or smaller number of simple tones*”. The inadequacies of this formulation will be evident in the light of my earlier statements.

Now each of the three basic parameters may be described — in terms of the signal itself — as a departure, in varying degrees and at various levels of perceptual integration — from a *simply periodic* or *sinusoidal* oscillation — from what the textbooks call “simple harmonic motion” (Ohm’s “pendular vibration”). And these departures are *not* simply the results of an additive process, as Ohm’s law implies. Modulation, for example, is essentially a *multiplicative* operation, as is “enveloping” (this also is a kind of modulation). Following this line of reasoning, I would like to propose the following tentative definition of the physical basis of timbre, designed to take into account the manifold ways in which “varieties of tone quality” may actually be produced and discriminated:

Timbre is that attribute of sound perception that is determined by the nature and extent of the departures from “simple harmonic motion” in the acoustical signal.

Such departures from simple harmonic (sinusoidal) motion are of three kinds, corresponding with the three basic parameters mentioned in the beginning:

- 1st: the waveform may be non-sinusoidal (the signal still remaining periodic), resulting in the elaboration of harmonic partials in the spectrum;
- 2nd: the signal may be subjected to relatively slow modulations, more or less periodic in themselves, but assumed to be in a quasi steady-state; and
- 3rd: the various parameters of the steady-state may change in a progressive way with time, manifesting an “envelope” of some form.

Such a redefinition of the physical correlates of timbre seems *necessary* today. Whether it is also *sufficient* is a question that can be answered only in the light of analytical work yet to be done. In the meantime, it may serve as a useful working hypothesis in the study of timbre.



New Westminster Recordings Neue Westminsterplatten

JOHANN SEBASTIAN BACH

1) Musikalisches Opfer 2) Kantaten No. 35 und 42
(Version Hermann Scherchen)

ROBERT SCHUMANN

Manfred
(Version Hermann Scherchen)

ARNOLD SCHOENBERG

Kammersinfonie No. I

ALBAN BERG

Konzert für Violine, Klavier und Bläser

KURT WEILL

Konzert für Violine und Bläser

PAUL HINDEMITH

Konzert für Violine und Bläser

Musik als Magie

Eine Schamanenbeschwörung bei den Senoi in Malaya

von

HANS OESCH (Universität Basel)

mit einer Schallplattenbeilage

Ein-Mann-Expedition 1963 in den Urwald Malayas. Ziel: Erforschung der Musik der nomadischen Negrito (Zwergwüchsige Asiens), der noch nicht vollends sesshaft gewordenen Senoi (Weddoide) und der Orang Melayu Asli (Protomalayen). Ort: Jeram Kenerap, kleine Siedlung von rund vierzig Senoi-Leuten vom Stamme der Temiar am oberen Nenggiri, dem mit gefährlichen Stromschnellen durchsetzten Gewässer, das — am Unterlauf „Kelantan“ geheiß — ins Chinesische Meer mündet. Zeit: hereinbrechende Nacht.

Aus einer Hütte (Langhaus mit Tanzfläche in der Mitte) ertönt das monotone Stampfen der Chentoq (sprich: Tschen'tók), der Bambusrohre, die von den zierlichen Frauen, seitlich von Tanzfläche und schwach glimmendem Feuer hockend, im ewiggleichen binären Rhythmus (Tiefton — schwächer — auf eins, Hochton — stärker — auf zwei) paarweise gegen den Boden geschlagen werden. Einfache Bambus-Rohre verschiedener Länge, die von den Animisten mit dem Geschlechtergegensatz in Verbindung gebracht werden: der Mann hat die tiefere, die Frau die höhere Stimme. Geschlecht ist schaffendes Prinzip ebenso sehr als Zauberkraft wie als Naturkraft. Noch ist Instrumentalmusik bei diesen Naturvölkern — wie unsere Steinzeitmenschen lebend — nicht zur Ausgestaltung von melodischen Strukturen vorgedrungen. Sie befriedigt zwei Elementarbedürfnisse: Rhythmus und Lärm. Gesang ist viel älter als Instrumentenspiel. Auf melodiefähige Instrumente stoßen wir erst im Neolithikum. Hier will Stampfen als Begleitung des Gesangs noch Unlustgefühle bei Geistern hervorrufen. Musik ist Magie. Nur in Trance ist Kommunikation mit überirdischen Kräften (dem Donnergott Karei und den unzähligen Geistern, die die Natur beseelen) möglich. Ein Tonsystem ist nicht entwickelt. Wer singt, braucht keines, wer den Rhythmus stampft, auch nicht.

Ein Schamanen-Zauber beginnt. Alles ist in der Hütte versammelt. Ein kranker Mann (Malaria) wird hereingetragen, neben das Feuer gelegt. Über und über mit Reispuder bestrichen. Nackt. Der Halaag (Schamane), Priester (Stellvertreter) und Mediziner zugleich, setzt sich auf den Boden, wirft seinen Kopf in raschen Bewegungen im Kreise herum, fünf Minuten lang. Dieweil tanzen einige Männer sich in Trance. Schamane Terhin intoniert einen ersten Gesang, der wie alle späteren vom Chor beantwortet wird (responsorisches Prinzip).

Es gibt in Jeram Kenerap acht musikalisch verschiedene Gesangszyklen, von denen jeder eine Nacht lang dauern kann. Zu jedem Zyklus existieren bis zu hundert Wortvarianten, auf bestimmte kultische Handlungen zugeschnitten. Es sind alles Traumgesänge, die dem Schamanen im Schlaf offenbart wurden. Durch diese Träume erging auch die Bestimmung, daß dieser und kein anderer Halaag sein könne. Alle Männer sind in Trance, der Priester kniet neben dem Kranken nieder, beugt sich über ihn und saugt schmatzend die Krankheitsgeister durch Daumen und Zeigefinger der rechten Hand aus dem Körper des Patienten. Steht auf, klatscht in die Hände und verscheucht die bösen Geister. Der Tanz geht weiter. Es ist *Selumbang* (Band 1 der Platte): Geschichte eines Drachen, der bei Hochwasser die Gegend verläßt und stromabwärts zieht. Grund, sich zu freuen, darum meist auch gesungen, wenn ein Tabu gelüftet wird. (Aber der Drache kommt wieder zurück.) Bei sehr ernster Erkankung hilft nur noch *Selumbang*. Melodie um Melodie folgt in genau festgelegter Reihenfolge. Der Geist von *Selumbang* erfaßt alle Tanzenden. In Verzückung fallen sie zu Boden. Da verlangt der Halaag zu essen. Seine Speise ist das glimmende Feuer. Er greift in die Glut, nimmt ein Stück davon zum Munde und knabbert daran, stets weitertanzend. Er trägt das Feuer auf seinen Lippen. Dann folgt *Pungai*, der Tanz des Drachen. Alle verlangen zu essen, stürzen sich auf das Feuer, essen davon und versprühen Gluten in der Hütte. Sie legen sich nackt ins Feuer, kämpfen um den Genuß, sich darein zu legen. Da verlangen sie zu trinken. Kochendes Wasser steht neben der Feuerstelle bereit. Mit ihren Graswedeln versprengen sie die Flüssigkeit, dann trinken sie aus dem Bambusrohr, darin das Wasser gekocht wurde. Der Patient ist nun von Kopf bis Fuß vom Schamanen behandelt. Letzte Reste von Reispuder sind verschwunden. Vier Stunden dauerte der Heilzauber. Der Tanz verebbt und die Männer kommen wieder zu sich. Keine Spuren von Verbrennung sind zu sehen. Sie empfinden auch keinen Schmerz. Meist wird der Rhythmus durch die *Branog*, eine Trommel (Schlangenhaut) verstärkt und unterteilt. Hier wird nicht männlich und weiblich unterschieden, kein Tonhöhenwechsel. Dies kommt erst in mütterrechtlichen Kulturen auf (bei Beginn unserer Zeitrechnung vielleicht): das weibliche Fell ist das größere, tiefere, weil der dumpfere Schall mit der Vorstellung von Mutterschoß und Erdschoß gleichgesetzt wird (höherer Ton der aktiveren). Die Senoi in Malaya sind entwicklungsgeschichtlich früher einzustufen. Manchmal erklingt (unsere Aufnahme) auch ein Bronze-Gong dazu. Übernahme aus der indonesischen Nachbarschaft der Eisen verarbeitenden Völker, hier ein Anachronismus. Auch nur ein-tonig, befördert die Trance.

So berühmt wie *Selumbang* ist bei den Stämmen der Senoi in Kelantan auch *Chin-chem* (Name des speziellen Rhythmus), ein anderer Tanz für eine Schamanenbeschwörung (Band 2). Zeigt eigentlich, wie eine Frau mit Namen Siti Minang ihren Gatten liebt, wird aber — auch das ein

Traumgesang — verwendet, um Tabus zu lüften. Aufgenommen nach einer Periode der Trauer, während welcher die Gruppe von Jeram Kenerap — unter der politischen Führung von Penghulu (Headman) lebend — einem Toten zu Ehren nicht singen durfte. Chin-chem wird auch gewählt, wenn ein neuer landang (Lichtung im Walde) herausgeschlagen werden muß oder wenn man die ersten Früchte eines neuen landang zu verspeisen beginnt.

Musik des Menschen in steinzeitlicher Existenz ist Magie, mit der die Kräfte der von Geistern besetzten Natur angerufen oder gebannt werden. Denn die Überwindung der Natur mit technischen Mitteln ist Naturvölkern nicht möglich. Musik ist das einzige Mittel dieser Menschen, sich zu berauschen (keine Alkoholika). In Trance eröffnet sich dem Schamanen aber auch der Weg zu den Göttern, an die sich der gewöhnliche Sterbliche nicht einmal im Gebet zu wenden vermag. Musik ist unbedingte Voraussetzung also für die Existenz des Naturmenschen. Sie hat funktionelle Bedeutung und keine ästhetische.

MUSURGIA



RECORDS

I Theorie der klassischen Griechischen Musik	I The Theory of Classical Greek Music
II Theorie und Praxis der Zwischenton- Temperierungen	II Meantone Temperament in Theory and Practice
III Theorie und Praxis der reinen Stimmung	III The Theory and Practice of Just Intonation
IV Theorie und Praxis der irregulären Temperierungen	IV The History of irregular Temperaments
V Chinesische Musiktheorie und Akustik	V Chinese Music Theory and Acoustics
VI Arabische Musiktheorie und Akustik	VI Arabic Music Theory and Acoustics
VII Indische Musiktheorie und Akustik	VII Indian Music Theory and Acoustics
VIII Klangphänomene der Vierteltonmusik	VIII The Sound Phenomena of Quartertone Music

Editors: J. MURRAYBARBOUR und / and Fritz A. KUTTNER: Herausgeber

Further Informations: Gravesano Review (Gravesano-Tessin)

Die Schallplatten können bezogen werden über die Gravesaner Blätter

Music as Magic

A Malayan Senoi Exorcising Ceremony

by

HANS OESCH (University of Basel)

with recorded examples

One-man expedition to the Malayan jungle, 1963. Objective: investigation of the music of the nomadic Negritos (Asiatic dwarf race), of the still partly nomadic Senoi (Weddoids) and of the Oran Melayu Asli (Proto-malays). Place: Jeram Kenerap, a small settlement of about 40 Senoi of the Temiar tribe, on the upper Nenggiri, a river with dangerous rapids and called "Kelantan" towards its estuary, which flows into the Sea of China. Time: dusk.

The monotonous thump of the *chentoq* can be heard coming out of a long hut: the graceful women of the tribe, sitting along a side of the dance floor of the hut lit by the faint glow of embers, are hitting the floor with pairs of bamboos in an eternal binary rhythm (low thump on *one*, high thump on *two*, which is stronger than the first beat). They are ordinary canes of different lengths, and the animists see in the sound produced an expression of the difference between men's and women's voices: sex is the creative principle in witchcraft no less than in nature. These primitive races leading approximately the life of our stone-age ancestors have not yet advanced to the development of melodic structures in their instrumental music, which satisfies only the two basic requirements of rhythm and noise. Singing is much older than the playing of instruments, and it was not until the neolithic age that instruments capable of melody made their appearance, while the thumping accompaniment to singing remained to annoy evil spirits. There is no tonal system as a tune can be sung, and a rhythm thumped out, without it.

Music is magic. Only the trance makes communication with supernatural powers (the thunder god Karei and the countless spirits animating nature) possible. The whole tribe is assembled in the hut. A man with malaria is carried in and laid down by the fire: he is naked and covered all over with rice powder. The *halaag* Terhin, who unites the functions of sorcerer, priest and medicine man, sits down on the floor and rapidly throws his head about in a circle for five minutes, while some of the men dance themselves into a trance. The *halaag* starts the incantation, answered by the chorus, as in a responsory. Jeram Kenerap possesses eight different incantation cycles, each of which can last all night and can be sung to up to a hundred variations of the text, depending on the ritual to be performed. All of them are dream songs, revealed to the *halaag* in his sleep, and it was these

dreams which manifested Terhin as the rightful halaaq. When all the men are in a trance he kneels down beside the patient and, bending over him, sucks the spirits of sickness out of his right thumb and forefinger, smacking his lips as he does so. Then he gets up and claps his hands to drive the spirits away, and the dance continues: it is *Selumbang* (starting the record), the story of a dragon who leaves the district and moves downstream at high-water time. It is a reason to rejoice, and so it is often sung when a taboo has been lifted. (But the dragon returns.) In cases of serious illness, *Selumbang* is the only remedy. The various tunes follow one another in a strict order of succession. The *Selumbang* spirit seizes all the dancers, who fall headlong in ecstasy. Just then, the halaaq calls for his meal of fire: with his bare hand he takes a glowing ember out of the fire, starts nibbling it and continues his dance with fire on his lips. This is followed by *Pungai*, the drangon's dance. All want to eat: they plunge into the fire and eat it, blowing sparks all over the hut; they lie naked in the fire, fighting for a place in rapture. Then they want to drink: water is already boiling by the fire, and they splash it around with their bunches of grass, finally drinking the rest out of the large bamboo it had been boiled in. By now, at the end of four hours, the medicine man has treated his patient from top to toe and there is not a trace of rice powder left. The dance subsides and the men recover their senses. They show no trace of burns and feel no pain. The rhythm is usually reinforced and subdivided by the *branoq*, a snake-skin drum. Here, there is no difference in pitch expressing sex, which made its first appearance in the matriarchies (about 2000 years ago), but then it was the larger skin with the lower note which represented the womb, also Mother Earth, and thus the female principle, with the higher note as the more active male principle. But the Malayan Senoi are still at an earlier stage of development. On the record there is also a bronze gong, which the Senoi took over from the neighbouring Indonesian races which have learnt the use of metal. Tuned to a single note again, it furthers the trance.

Chin-chem is the name of a special rhythm given to another exorcising dance no less well known than *Selumbang* to the Senoi tribes in Kelantan. Concluding the record, it relates the love of a woman, Siti Minang, for her husband, but it is employed for the purpose of lifting a taboo. It is again a dream song, and it was recorded when sung to mark the end of a period of mourning, during which the Jeram Kenerap group, led by their *penghulu* (headman) Chawan, was not allowed to sing, out of respect for a person who had died. *Chin-chem* is also chosen for the job of making a new *landang* (clearing) in the jungle and as a kind of thanksgiving before eating the first fruits of a new *landang*.

The music of peoples living at stone-age level is the magic they use to invoke or banish the power of spirits animating nature, for they have no technology to overcome nature on the physical plane. Lacking alcohol, they

have only music as an intoxicant. Through the trance, the medicine man obtains access to the gods, on which the ordinary tribespeople cannot even call in prayer. Thus music is as essential as food and drink to these primitive peoples: it is not aesthetic but functional.

LUDWIG VAN BEETHOVEN

Symphonien No 1-9

Uraufführungen

von

Humphrey Searle (England) - Iannis Xenakis (Griechenland) - Albert Moeschinger (Schweiz) - Leon Schiedlowsky (Chile) - Llaqui (Peru) - Tona Scherchen (China) - Darius Milhaud (Frankreich)

6 Konzerte

des

R S I

(Orchester des Rundfunks der Italienischen Schweiz)

8. Januar 1965	I. Symphonie	Searle — Scherzi	II. Symphonie
12. Februar 1965	Xenakis — Polla ta Dina		III. Symphonie
26. Februar 1965	IV. Symphonie	Moeschinger — Concertino	V. Symphonie
12. März 1965	Schiedlowsky / Llaqui — Elegie		VI. Symphonie
19. März 1965	VII. Symphonie	Tona Scherchen — Sinfonietta	VIII. Symphonie
5. April 1965	Milhaud — Caroles		IX. Symphonie

Dirigent:

HERMANN SCHERCHEN

Schallplattenbeilage Computermusik

von

M. V. MATHEWS

Die Schallplatte zeigt vier Beispiele von Computermusik aus den Bell Telephone Laboratories:

1. *Cyclic Study* ist ein Experiment, in welchem der Rechner eine einstimmige Melodie durch einen zyklischen Algorithmus entwickelt. Das ursprüngliche Thema besteht aus einer Folge von 44 Frequenzen und einer Folge von 40 Dauern. Dem 1. Ton entspricht die 1. Dauer, dem 2. Ton die 2. Dauer usw. bis zum 40. Ton und zur 40. Dauer. Dann beginnt der Rechner mit einem neuen Zyklus von Dauern, während der Zyklus von Tonhöhen zu Ende geführt wird, bevor ein neuer Zyklus beginnt: so entspricht dem 41. Ton wieder die 1. Dauer, dem 42. Ton die 2. Dauer, bis zum 44. Ton und der 4. Dauer, wonach der 1. Ton mit der 5. Dauer gespielt wird usw. Der zyklische Algorithmus hat 11 Zyklen von Dauern, entsprechend 10 Zyklen von Tonhöhen, bevor die Komposition wieder von vorne anfangen müßte. Außer dem zyklischen Algorithmus, den der Computer automatisch durchführt, sind gewisse andere Veränderungen im Tempo, der Dynamik und der Durchschnittsfrequenz mit böswilligem Vorsatz hinzugefügt worden.

2. *Pergolesi Development* wurde hergestellt, indem der Rechner den Vorgang der zyklischen Entwicklung bei drei Stimmen einer Komposition Pergolesis gleichzeitig durchführte. Der Großzyklus besteht aus $11\frac{1}{2}$ Zyklen von Dauern, bevor er zum Anfang zurückkehrt. Wie auch in der *Cyclic Study* sind Tempo- und Frequenzumfangveränderungen hinzugefügt worden.

3. *Substitutions Study* ist ein Experiment mit Bezug auf den Austausch von Frequenzen und Dauern zwischen vier Themen, von denen jedes 40 Töne enthält. Es werden die sechzehn möglichen Melodien gespielt, die entstehen können, wenn die Frequenzen jeder Melodie mit den Dauern jeder anderen Melodie erfolgen, und zwar in der Reihenfolge D1F1 (Dauer 1, Frequenz 1), D1F2, D1F3, D1F4, D2F1 usw. Der Dauer- und Frequenzaustausch erfolgte mittels eines automatischen Computer-Algorithmus, wobei ein interessanter metrischer Konflikt zwischen den ersten beiden ursprünglich im $\frac{4}{4}$ -Takt und den letzten zwei ursprünglich im $\frac{3}{4}$ -Takt stehenden Themen entstand. Die Dauern üben eine erstaunlich starke Wirkung auf den Gesamtklang aus.

4. *Masquerades* verwendet sowohl den zyklischen Algorithmus der ersten beiden Stücke als auch den Dauer- und Frequenzaustausch des vorangehenden. Der vorletzte Abschnitt ist ein besonders gutes Beispiel der erstgenannten Technik, durch welche die etwa 20 ursprünglichen Töne auf ungefähr 1200, aus denen der Abschnitt besteht, erweitert wurden.

The Computer Music Record Supplement

by

M. V. MATHEWS

The record shows four examples of computer music produced at the Bell Telephone Laboratories Inc.:

1. *Cyclic Study* is an experiment in which the computer develops a single voice by a cyclic algorithm. The original theme consists of a sequence of 44 frequencies and a sequence of 40 durations. The computer forms a note by associating the 1st frequency with the 1st duration, the 2nd frequency with the 2nd duration, etc., until it associates the 40th frequency with the 40th duration. The computer then recycles in durations and associates the 1st duration with the 41st frequency, the 2nd duration with the 42nd frequency, and so forth, until it reaches the 44th frequency after which it recycles in frequency and plays the first frequency with the 5th duration, and so forth. The cyclic algorithm can go through eleven cycles of durations after which the composition will return to its original phase and repeat itself. In addition to the cyclic algorithm which is applied completely automatically by the computer, certain other transformations of tempo, loudness, and average frequency were applied with malice and forethought.

2. *Pergolesi Development* was generated by applying the cyclic development process simultaneously to three voices from a composition by Pergolesi. The development is run through $11\frac{1}{2}$ durational cycles so that it finally returns to the original form. As in the *Cyclic Study*, transformations of tempo and frequency range were applied in addition to the computer's development.

3. *Substitutions Study* is an experiment concerning the interchange of frequencies and durations between four themes. Each of the themes contains 40 notes. The sixteen possible melodies which may be generated by associating the durations from one theme with the frequencies of another theme are played. The order of presentation is D1F1, D1F2, D1F3, D1F4, D2F1, etc. The interchange of frequencies and durations was done by an automatic computer algorithm. An interesting conflict in metre between the 1st two themes which are in $\frac{4}{4}$ time and the last two themes which are in $\frac{3}{4}$ time can be noted in the example. The durations have a surprisingly strong effect upon the sound.

4. *Masquerades* is a composition which makes use of both the frequency and duration interchange developed in the previous study and the cyclic algorithm. The next to last section is a particularly good example of the cyclic algorithm. Here, about twenty original notes were expanded into the approximately 1200 notes which make up the section by means of the cyclic algorithm.

Babel ad vitam æternam?

von

E. AISBERG

(Präsident der Internationalen rundfunktechnischen und elektronischen Presseunion)

Anno dazumal gelang dem gefeierten Jules-Verne-Helden Phileas Fog die Fahrt um die Welt in 80 Tagen. Es war eine außerordentliche Tat. Heute, im Jahre 1964, vollbringt das Flugzeug dasselbe in 24 Stunden, während die künstlichen Satelliten die Erde in 90 Minuten umfliegen.

Die Technik hat die Entfernung abgeschafft. Klang und Bild fliegen auf Ätherwellen über die Grenzen und binden die Völker aneinander. Unser ganzes Leben hat dadurch tiefgreifende Veränderungen erfahren. Mit einer einzigen Ausnahme: die Schranken der Sprache trennen die Völker der Erde nach wie vor.

Was in der Epoche eines Phileas Fog denkbar war, ist es heutzutage nicht mehr. Wir alle spüren in unsrer Tätigkeit die zahllosen Hindernisse, die die Verschiedenheit der Sprachen hervorruft. In meiner häufigen Teilnahme an internationalen Kongressen und als Vorstand internationaler Treffen kenne ich wohl den Zeitverlust, den das Fehlen einer gemeinsamen Sprache mit sich bringt, ich kenne auch die Zweideutigkeit der „Simultanübersetzung“ und die quasi-Unmöglichkeit einer brauchbaren Diskussion.

Das Fehlen einer wahren Weltsprache verstopft auch die Informationsbahnen. In unsrem Zeitalter des überstürzten wissenschaftlichen und technischen Fortschritts erreichen Neuheiten die Interessenten erst, nachdem sie die Mühle von zahlreichen sukzessiven Übersetzungen passiert haben!

Nach Angaben der UNESCO erscheinen z. Z. etwa 100 000 wissenschaftliche und technische Zeitschriften auf der Welt. Eine beängstigende Anzahl! Wozu so viele Publikationen? Vermutlich weil die verschiedenen Disziplinen sich immer mehr differenzieren und weil es für jede Zeitschriften von verschiedenem Niveau gibt — aber außerdem weil ein und dasselbe Problem in zahlreichen Sprachen behandelt werden muß!

Welcher Überfluß, welcher Arbeits- und Geldverlust! Und welcher Zeitverlust für uns alle, die neben dem dauernd anwachsenden Strom der beruflichen Kenntnisse außerdem noch die Sprachen lernen müssen, in denen wir uns unsren Kollegen mitteilen und von ihnen Nachricht erhalten wollen! Heute ist es so, daß englisch, französisch, deutsch und russisch zusammen den „geringsten zulässigen“ Sprachballast ausmachen, den jeder mit sich herumschleppen muß, und bald wird chinesisch und japanisch hinzuzufügen sein. Kann man sich einen Ingenieur oder einen Biologen vorstellen, der alle diese Sprachen ohne ein gewisses Opfer seiner Berufsstudien lernen kann?

Man kann und darf nicht mehr die Verwirrung des Turms zu Babel unterstützen. Es ist Zeit, aus ihm auszuziehen. Und die Lösung?

Wir brauchen eine *Welthilfssprache*. Es kann sich nur um eine *Hilfssprache* und nicht um den Ersatz der Volkssprachen, die ja wahres Vermächtnis und echte Tradition der Völker sind, durch eine Einheitssprache handeln. Sollen die Franzosen untereinander nur weiter französisch sprechen und die Chinesen untereinander ihre Gedanken nur weiter auf chinesisch austauschen! Aber wenn ein Franzose mit einem Chinesen sprechen (oder einer Chinesin den Hof machen . . .) will, bedienen sie sich zweckmäßigerweise einer gemeinsamen, allgemein anerkannten und gekonnten Hilfssprache.

Welche Sprache soll das sein? Eine der schon bestehenden Volkssprachen? Z. B. englisch? Oder chinesisch, da diese Sprache von der größten Anzahl von Menschen gesprochen wird? Es kann sich nun nicht darum handeln, eine der schon bestehenden Sprachen als Weltsprache aufzustellen, schon deshalb nicht, weil die dieser Sprache nahestehende Volksgruppe ungerechte intellektuelle und daher auch wirtschaftliche und politische Vorteile daraus ziehen würde, ganz abgesehen davon, daß die traditionellen Sprachen schwer zu lernen sind und lauter Eigentümlichkeiten, die zu Übersetzungsfehlern führen, besitzen. Die Hilfssprache muß vor allem *neutral* und darüberhinaus logisch, präzise, nuancenreich — und trotz alledem leicht zu lernen sein.

Eine Sprache, die diese scheinbar unvereinbaren Bedingungen in sich vereint, gibt es! Es ist *Esperanto*. Eine künstliche Sprache? Keineswegs! Denn alle ihre Elemente sind aus den europäischen Sprachen nach dem Prinzip der „größten Internationalität“ geschöpft. Esperanto ist, alles in allem, die konsequente Synthese der Volkssprachen. Und es ist eine *lebende* Sprache, die sich wie alle lebenden Sprachen weiterentwickelt und schon eine beachtenswerte sowohl übersetzte als auch Originalliteratur (sogar sehr schöne Gedichte) neben literarischen und wissenschaftlichen Zeitschriften besitzt.

Welcher Kontrast herrscht zwischen den gewöhnlichen internationalen Kongressen und den andren, an denen alljährlich die Esperantisten der verschiedenen Länder teilnehmen! An diesen tauschen Staatsbürger von Dutzenden von Ländern ihre Gedanken aus, ohne daß der Unterschied der Aussprache größer wäre als etwa zwischen einem Bayer und einem Preußen.

Worin besteht das wunderbare Geheimnis dieser von Dr. Ludovic Zamenhof 1887 erdachten Sprache, die immer schneller in alle Teile der Erde vordringt?

Zunächst besteht es in einer *sehr einfachen und logischen Formenlehre*, die sich in etwa zwanzig Regeln, die keine Ausnahme kennen, erschöpft. Hauptwörter enden in *-o*, Eigenschaftswörter in *-a*, Umstandswörter in *-e*, die Mehrzahl in *-j* (kurzes *i*); beim Zeitwort endet die Grund-

form in *-i*, die Gegenwart in *-as*, die Vergangenheit in *-is*, die Zukunft in *-os*, das aktive Partizip der drei Zeiten in *-anta*, *-inta*, *-onta* und das passive Partizip in *-ata*, *-ita*, *-ota*.

Nehmen wir das Wort *kanto* (Gesang) als Beispiel: wir erhalten *kanti* (singen), *kantas* (singe, singst, usw.), *kantis* (sang), *kantos* (werde singen), *kantanta* (singend), *kantinta* (gesungen habend), *kantonta* (singen werdend), *kantata* (gesungen), *kantita* (gesungen worden), *kantota* (gesungen werdend), neben *kanta* und *kante* (gesänglich).

Noch bewundernswerter aber als diese Formenlehre ist die *Wortbildung*, durch die mit einer begrenzten Anzahl von Stammwörtern und ein paar Vor- und Nachsilben eine große Anzahl von genau bestimmten Begriffen gebildet werden kann.

Z. B. bedeutet die Vorsilbe *mal-* „das Gegenteil“: *granda* (groß), *malgranda* (klein); *varma* (warm), *malvarma* (kalt); *beno* (Segen), *malbeno* (Fluch).

Die Nachsilben *-eg-* und *-et-* bedeuten eine Steigerung, bzw. Verminderung einer Eigenschaft, also: *varmega* (heiß), *varmeta* (lauwarm), *malvarmega* (eiskalt), *malvarmeta* (kühl). Nun kann der Leser *bonega*, *malbonega*, *kanteto* und viele andre Begriffe bereits selbst übersetzen.

Wir haben nicht die Absicht, hier genauestens zu zeigen, wie Esperanto funktioniert. Die obigen Beispiele genügen, um zu zeigen, daß diese Sprache einen reicheren, feiner abgestuften und genaueren Wortschatz als *jede Volkssprache* hat, und trotzdem ist es unverhältnismäßig leichter zu lernen. Um esperanto lesen zu können, brauchte Leon Tolstoi nur zwei Stunden Anlernzeit. Esperanto zu sprechen, erfordert naturgemäß einige Übung. In zwei Stunden wöchentlich können etwa zwölf Jahre alte Kinder genug Esperanto lernen, um sich nach einem Jahr leicht auszudrücken.

Da es also eine so gute Lösung des Sprachenproblems gibt, warum wurde Esperanto als Sprachunterricht noch immer nicht in allen Schulen der Welt eingeführt? Gerade das ist die Frage, die man den übernationalen Organisationen wie der UNO und UNESCO stellen muß in der Hoffnung, daß sie helfen, das zwanzigste Jahrhundert vom alten Fluch von Babel zu befreien.

Babel ad vitam æternam?

by

E. AISBERG

(President of the International Radio and
Electronic Press Union)

Once upon a time, Phileas Fog, Jules Verne's celebrated hero, achieved the extraordinary feat of travelling around the world in 80 days. In 1964 the aeroplane does the same in 24 hours. And the artificial satellites loop the loop of the globe in 90 minutes.

Technology has abolished distance. Thanks to electromagnetic waves, sound and pictures cross frontiers and establish close contact among nations. This has fundamentally changed the whole structure of our life. Except in one point: linguistic barriers keep on separating the many peoples of the earth.

What had been conceivable in Phileas Fog's day, is no longer thinkable nowadays. Everyone of us experiences in his activities the innumerable inconveniences resulting from the diversity of languages. Being frequently called to take part in international congresses and to preside at international meetings, I know only too well how much time is lost by the lack of a common language, and I know the ambiguities of "simultaneous translation" as well as the high impossibility of useful discussion.

This absence of a universal language is a bottleneck in the information channel. In an age of headlong scientific and engineering progress, news has to pass several consecutive translations before it reaches interested persons.

At present (according to UNESCO) about 100,000 scientific and engineering journals are published in the world. A frightening number! Why do we have so many? No doubt because there is more and more specialisation and because in each specialised field there are journals of various standards, but also because at every standard and in each field the same problems have to be treated in numerous languages!

What a redundancy, what a waste of work and money! And what a waste of time for all of us to have to study, apart from the ever growing volume of knowledge relating to our profession, the other languages we need to express ourselves and to communicate with our colleagues! In the present state of matters, the very minimum of linguistic baggage we all have to cart around with us is English, French, German and Russian, and very soon Chinese and Japanese will have to be added to this list. Can anyone imagine an engineer or a biologist learning all these languages

without the sacrifice of at least some study that would otherwise benefit his professional knowledge?

We cannot and we must not support the confusion of the Tower of Babel any longer today. The time has come to move on. The solution?

We must adopt a universal *auxiliary* language. The clue is given by the adjective *auxiliary*, as there can be no question of replacing the national languages, which are the heritage and tradition of any country, by a uniform one. Let the French keep talking French to each other and let the Chinese exchange their ideas in Chinese. But if a Frenchman wants to talk to a Chinaman (or make love to a Chinese girl . . .) let them use a common universally accepted auxiliary language.

Now what about this language? Should it be one of the national languages already existing? English, for instance? Or Chinese, which is the language spoken by more people than any other? There can be no question of erecting any particular national language as a universal one, in the first place because this would give the linguistic group of nations sharing that language an unfair intellectual and therefore economic and political advantage, and also because the national languages are hard to learn and full of idiosyncrasies that lead to all kinds of errors of translation. The auxiliary language must above all be *neutral*, as well as being logical, accurate, finely shaded . . . and easy to learn for all that.

All these apparently incompatible conditions are met by *Esperanto*. An artificial language? Not at all! For all its elements were obtained from the European languages following the principle of "maximum internationality". It is, taken all together, the logical synthesis of the national languages. And it is a *living* language which is in course of evolution and development like all living languages, and already possesses some copious literature — translated and original as well as some very beautiful poetry — and literary and scientific periodicals.

What a contrast there is between the usual international congresses and those bringing together the Esperantists of the various countries every year! In the latter, citizens of dozens of countries exchange ideas without any more difference of pronunciation than there might be between a Londoner and a New Yorker.

What is the miraculous secret of this language conceived in 1887 by Dr. Ludovic Zamenhof and which is spreading faster and faster through every part of the world?

To begin with, it has a *very simple and logical grammar* comprising about twenty rules with no exceptions. Nouns end in *-o*, adjectives in *-a*, adverbs in *-e*, plurals in *-j* (short *i*), and as for the verbs, the infinitive ends in *-i*, the present tense in *-as*, past tense in *-is*, future tense in *-os*, the active participle in *-anta*, *-inta*, *-onta* in the three tenses respectively, and the passive participle in *-ata*, *-ita*, *-ota*.

Let us take the word *kanto* (song). We derive *kanti* (to sing), *kantas* (I, you etc. sing), *kantis* (sang), *kantos* (will sing), *kantanta* (singing), *kantinta* (having sung), *kantonta* (who will sing), *kantata* (sung), *kantita* (having been sung), *kantota* (about to be sung), as well as *kanta* and *kante* (song-like).

But still more admirable than this grammar is the method of *word formation* which can accurately form a large number of words starting from a limited number of roots and a small number of suffixes and prefixes.

Thus the prefix *mal-* expresses "the opposite", e.g.: *granda* (large), *malgranda* (small); *varma* (warm), *malvarma* (cold); *beno* (blessing), *malbeno* (curse).

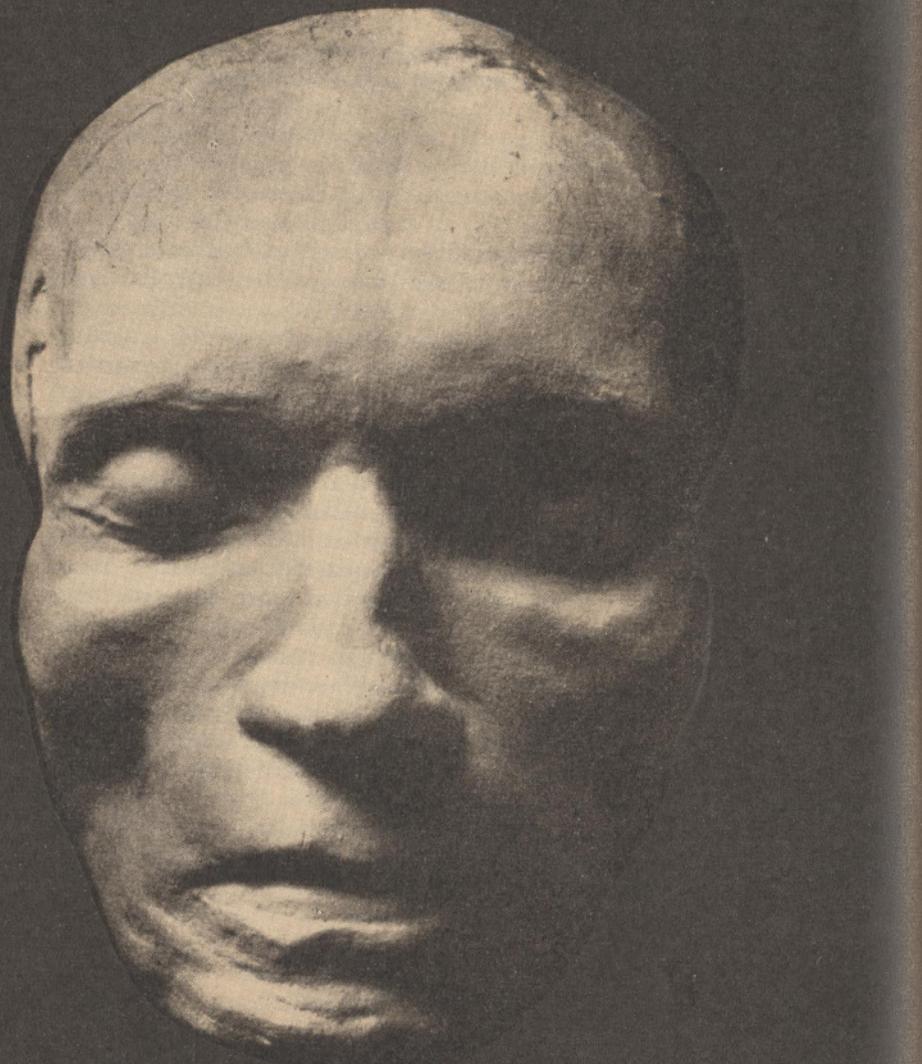
The suffix *-eg-* indicates increase and *-et-* decrease of a quality: *varmega* (hot), *varmeta* (lukewarm), *malvarmega* (freezing), *malvarmeta* (cool). Is there any need for us now to translate *bonega*, *malbonega*, *kanteto*, etc.?

It is not our intention to present the whole Esperanto mechanism here. The examples already given should at any rate suffice to make anyone realise that the vocabulary of this language is richer, more finely shaded and more accurate than that of no matter what other national language while at the same time it can be learnt incomparably more easily. To be able to read Esperanto, Leon Tolstoy required no more than two hours of study. The ability to speak it requires some practice naturally, but with only two hours of instruction a week children aged about twelve can learn sufficient Esperanto to be able to express themselves easily after about a year.

With such a good solution to the language problem already in existence, why has not Esperanto already long been introduced into the language syllabus of every school in the whole world? That is the very question to pose to the supernational organisations like UNO and UNESCO which should be able to do something about it to liberate the twentieth century from the ancient curse of Babel.

CONCERTI PUBBLICI

Stagione invernale 1965



ORCHESTRA DELLA RADIO
DELLA SVIZZERA ITALIANA

Direzione: HERMANN SCHERCHEN

con la collaborazione di solisti vocali
e del Coro della R.S.I.

Radio della Svizzera Italiana
Lugano-Besso

NTG

NACHRICHTENTECHNISCHE GESELLSCHAFT IM VDE

Lessing-Saal im Hotel „Deutscher Hof“
Frauentorgraben 29, Eingang Lessingstraße
Nürnberg, 22. und 23. April 1965

ZUVERLÄSSIGKEIT

von Geräten, Anlagen und Systemen / Planung und Verwirklichung

Donnerstag, 22. April 1965, 9.00 Uhr

E. Schmäing, Ludwigshafen: Die Zuverlässigkeit von Meß-, Regel- und Steuereinrichtungen.

F. Diebl, Leverkusen: Erfahrungen mit Meß-, Regel- und Steuereinrichtungen.

M. Mihm, Weinheim: Systemplanung und Betriebssicherheit.

B. Raible und H. Lang, Karlsruhe: Entwurfsmethoden elektronischer Bausteinsysteme.

Donnerstag, 22. April 1965, 14.30 Uhr

W. Stübchen, Frankfurt: Sicherheit elektronisch gesteuerter Anlagen.

F. Schön, München: Erhöhung der Zuverlässigkeit durch konstruktive Maßnahmen.

K. F. McQuade, Anaheim (California): Simulation und Analyse mit dem Elektronen-Rechner beim Entwurf zuverlässiger Schaltungen.

W. G. Klötzner, Stuttgart: Statistische Methode bei der Auslegung von Schaltkreisen.

J. Tretter, Nürnberg: Verminderung der Zuverlässigkeit durch extreme Unterbeanspruchung von Bauelementen.

R. Mosch, Stuttgart: Erhöhung der Zuverlässigkeit.

Freitag, 23. April 1965, 9.00 Uhr

A. Etzrodt, München: Akute Aufgaben der Zuverlässigkeitsarbeit: Ausbildung, Begriffsbestimmung, Datenerfassung.

P. Nennung, München: Zuverlässigkeitsangaben in der Normung.

H. Prussog, Sindelfingen: Kurzzeitprüfungen der Zuverlässigkeit.

U. Piske, Frankfurt: Technische Redundanzverfahren.

H. Störmer, München: Anlagen mit Reserveeinheiten.

Freitag, 23. April 1965, 14.00 Uhr

K. Schürger und G. Schweizer, Friedrichshafen: Die Verwirklichung von Flugregelsystemen hoher Zuverlässigkeit durch Redundanz.

E. Dombrowski, Ulm: Redundante Schaltungen in der Nachrichten-Übertragung.

H. Willbrett, Stuttgart: Effekt und Kosten der Redundanz in nachrichtentechnischen Systemen.

H. Hochmuth, München: Zuverlässigkeit in der Vermittlungstechnik durch Redundanz.

E. Schlögl, München: Prüfung der Zuverlässigkeit von Schaltkontakten elektrischer Steuerwerke.

R. C. Schmid, München: Zuverlässigkeit von Fernsprech-Vermittlungssystemen anhand von Störungsstatistiken.

Näheres durch:

Redaktion der Gravesaner Blätter - Herausgeber Hermann Scherchen Gravesano (Tessin) Schweiz

NTG

NACHRICHTENTECHNISCHE GESELLSCHAFT IM VDE

(Communication Society in the Association of German Electrical Engineers)

Lessing Room in the "Deutscher Hof" Hotel
Frauentor-Graben 29 (Entrance in Lessing-Strasse)
Nuremberg, 22—23 April 1965

RELIABILITY

of Equipment and Systems / Design and Construction

Thursday, 22 April 1965, 9.00 a. m.

E. Schmäing, Ludwigshafen: The reliability of measuring and control installations.

F. Diehl, Leverkusen: Experiences with measuring and control installations.

M. Mihm, Weinheim: System planning and reliability.

B. Raible and H. Lang, Karlsruhe: Design methods for electronic kit systems.

Thursday, 22 April 1965, 2.30 p. m.

W. Stübchen, Frankfurt: Reliability of plants under electronic control.

F. Schön, Munich: Designing for reliability.

K. F. McQuade, Anaheim, Calif.: Simulation and analysis with the electronic computer in the design of reliable circuits.

W. G. Klötzner, Stuttgart: Statistical method of circuit design.

J. Treter, Nuremberg: Extreme under-use of parts reduces reliability.

R. Mosch, Stuttgart: Improving reliability.

Friday, 23 April 1965, 9.00 a. m.

A. Etzrodt, Munich: Pressing problems for reliability research: Training, Definition and Data collection.

P. Nennung, Munich: Reliability specification in standards.

H. Prussog, Sindelfingen: Short-time reliability tests.

U. Piske, Frankfurt: Redundancy methods.

H. Störmer, Munich: Systems containing spare units.

Friday, 23 April 1965, 2.00 p. m.

K. Schürger and G. Schweizer, Friedrichshafen: High-reliability flight-control systems through redundancy.

E. Dombrowski, Ulm: Redundant circuits in communication.

H. Willrett, Stuttgart: Effect and cost of redundancy in communication systems.

H. Hochmuth, Munich: Reliability through redundancy in communication.

E. Schlögl, Munich: Reliability tests of switch contacts in electrical control units.

R. C. Schmid, Munich: Reliability of communication systems, based on fault statistics.

Further information from

GRAVESANO REVIEW published by Hermann Scherchen Gravesano, Tessin, Switzerland

LUTTICH/BELGIEN

BELGIUM/LIEGE

V.
INTERNATIONALER KONGRESS
für
AKUSTIK

5TH
INTERNATIONAL CONGRESS
on
ACOUSTICS

Kongresspalast

7. bis 14. September 1965

Palais des Congrès

Präsident:

PROFESSOR J. FRENKIEL

1
Analyse und Synthese des Wortes
2
Physiologische und Psychologische
Akustik
3
Molekular-Akustik
4
Ultraschall
5
Lärmkontrolle
6
Raumakustik
7
Elektro Akustik
8
Physikalische Akustik
9
Mechanische Schwingungen
und
Musikalische Akustik

1
Speech Analysis
2
Physiological and Psychological
Acoustics
3
Molecular Acoustics
4
Ultrasonics
5
Noise Control
6
Architectural Acoustics
7
Electroacoustics
8
Physical Acoustics
9
Mechanical Vibrations
and
Musical Acoustics

VORTRÄGE

(20 Minuten Dauer)
Resumés und Vortragstexte
sind einzusenden bis
1. April 1965 an das
SEKRETARIAT
LUETTICH
33, rue Saint-Gilles

LECTURES

(Duration 20 Minutes)
Papers and abstracts
must reach the
Secretariat
33, rue Saint-Gilles
Liège
by 1 April 1965

Näheres: Gravesano Blätter / Gravesano Tessin

Further Information:

Gravesano Review

Gravesano, Tessin

Switzerland/Schweiz



To encourage the work of the independent producer, and to promote the concept of the film as art, the Cinema Guild of the University of Michigan and the Dramatic Arts Center of Ann Arbor take pleasure in announcing the **THIRD ANN ARBOR FILM FESTIVAL**.

Awards in Ann Arbor this year will be as follows: **FIRST PRIZE, \$ 300.00; SECOND PRIZE, \$ 200.00; THIRD PRIZE, \$ 100.00.**

THIRD ANN ARBOR



FILM FESTIVAL

March 11·12·13· and 14, 1965

George Manupelli

V.
INTERNATIONALER KONGRESS
für
AKUSTIK

Allgemeine Konferenzen

- Prof. BREKHOVSKIY U.S.S.R.
Possible role of Acoustics in Exploring the Ocean
- Prof. FOURDOUIEV U.S.S.R.
Evaluation objective de l'acoustique des salles
- M. Félix KOLMER Tchécoslovaquie
Les conditions acoustiques pour la reproduction et la réception de la stéréophonie à trois canaux
- Prof. G. M. LILLEY Angleterre
Bang Acoustique (Titre à préciser)
- M. René LUCAS France
Pression de radiation en physique et plus particulièrement en acoustique
- Prof. Dr. I. MALECKI Pologne
Le champ conjugué électromagnétique et élastique et ses applications aux problèmes d'acoustique
- Dr. Harry F. OLSON U.S.A.
Advances in Sound Reproduction
- Prof. Alan POWELL U.S.A.
Advances in Aeroacoustics
- Prof. Dr. Ing. W. REICHARDT République Démocratique Allemande
Zur Theorie der Elektromechanischen und Elektroakustischen Wandler
- Prof. L. D. ROSENBERG U.R.S.S.
La formation et la visualisation des images ultrasonores
- Prof. Dr. Ing. F. SPANDÖCK République Fédérale Allemande
Die Vorausbestimmung der Akustik eines Raumes mit Hilfe von Modellversuchen
- Prof. Dr. R. STÄMPFLI République Fédérale Allemande
Recent Advances of Research in Neurophysiology
- Prof. K. W. H. STEVENS Angleterre
Microwave Ultrasonics
- Prof. Dr. T. TARNOCZY Hongrie
Parole? (Titre à préciser)
- Prof. Th. VOGEL France
Les vibrations des solides minces
- Prof. E. YEAGER U.S.A.
Ultrasonic Studies of Electrolytes

LUTTICH/BELGIEN Kongresshaus / Palais des Congrès LIEGE/BELGIUM

7. - 14. September 1965

5TH
INTERNATIONAL CONGRESS
on
ACOUSTICS

General Conferences



Reglement für die Verleihung der „Goldenen Rose von Montreux“ im internationalen Fernsehbewerb für Unterhaltungssendungen

Schweiz

Pavillon de Montreux
29. April bis 8. Mai 1965



Rules and regulations for the award of the "Golden Rose of Montreux" in the International Contest for Television Light Entertainment Programmes

Switzerland

Folgende Programmarten sind zugelassen:

Variétés
Große Musikalische Revuen
Bunte Sendungen mit Drehbuch
Schlager und Leichte Musik
Ballett
Klassischer Moderner Ausdruckstanz
Tanzfolklore, Pantomime, Zirkus, Jazz, Kabarett

Der **WETTBEWERB** steht offen: Rundfunkorganisationen oder nationalen Gemeinschaften solcher, die Mitglieder oder Korrespondierende des Weltnachrichtenvereins **UNION INTERNATIONALE DES TELECOMMUNICATIONS** sind.

Folgende **FORMATE DER BILDAUFZEICHNUNG** und des **TONS** werden angenommen:

35 COMOPT
(35 mm Bildfilm und optische Tonspur)
16 COMOPT
16 SEPMAG
(16 mm Bildfilm und magnetische Tonspur auf getrennt perforiertem 16 mm Film)
16 COMMAG
(16 mm Bildfilm und magnetische Tonspur auf gleichem Film)
MAGNETBAND 625
(Ton und Bild auf Standard Magnetband 625 Zeilen, schwarz-weiß)

Die **JURY** wird von einem Vorsitzenden präsidiert, den die Stadt MONTREUX zusammen mit der schweizerischen SRG ernennt.

PREISE: I. Die Goldene Rose
(mit Geldbetrag von 10 000 schw. Frs.)
II. Die Silberne Rose
III. Die Bronzene Rose

Für die Vorführung von Werken außerhalb der Konkurrenz sind bestimmte Zeiten reserviert.

Wettbewerbswerke und „Werke außer Konkurrenz“ müssen eingehen bis spätestens

1. April 1965

TV/Suisse, 66 Bv. Carl Vogt, 1205 Geneva/Switzerland (Genf/Schweiz)

Weitere Auskünfte:

Further Information:

GRAVESANER BLÄTTER / HERMANN SCHERCHEN / GRAVESANO - TESSIN
SCHWEIZ / SWITZERLAND

The following Categories of Programmes will be eligible to compete:

Variety and Comedy Shows
Musical Revues (or Spectaculars)
Programmes of songs and light music
Ballet
Dancing (classical modern popular and traditional), Folkmusic, Pantomime, Jazz, Circus and Cabaret acts

PARTICIPATION is restricted to broadcasting Organisations from countries that are members of the **INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU)**.

The following **METHODS OF RECORDING FILM AND SOUND** are acceptable:

35 COMOPT
(married 35 mm print with optical sound track)
16 COMOPT
16 SEPMAG
(unmarried 16 mm print with separate perforated film magnetic sound track;
16 COMMAG
(16 mm print with magnetic sound strip on the film)
MAGNETIC TAPE RECORDING
(of sound and monochrome picture, recorded only at 625 lines standard)

THE CHAIRMAN OF THE JURY will be nominated by the city of MONTREUX, together with the Swiss Radio and Television Corporation (SRG).

PRIZES: I. The Golden Rose
(includes a cash award of 10 000 Swiss Francs)
II. The Silver Rose
III. The Bronze Rose

A number of sessions will be reserved for "Hors Concours" presentations.

International Contest and "Hors Concours presentations" must arrive by

Schweiz

Switzerland

Pavillon de Montreux

29. April bis 8. Mai 1965

Unter dem Patronat der

Union Européenne de Radiodiffusion (UER)

und

in Zusammenarbeit mit der

Schweizerischen Radio- und Fernsehgesellschaft (SRG)

Under the patronage of the

European Broadcasting Union (EBU)

and with the cooperation of the

Swiss Radio and Television Corporation (SRC)

La Rose d'or de Montreux

5^e Concours
international
d'émissions
de variétés
à la
télévision

1965

