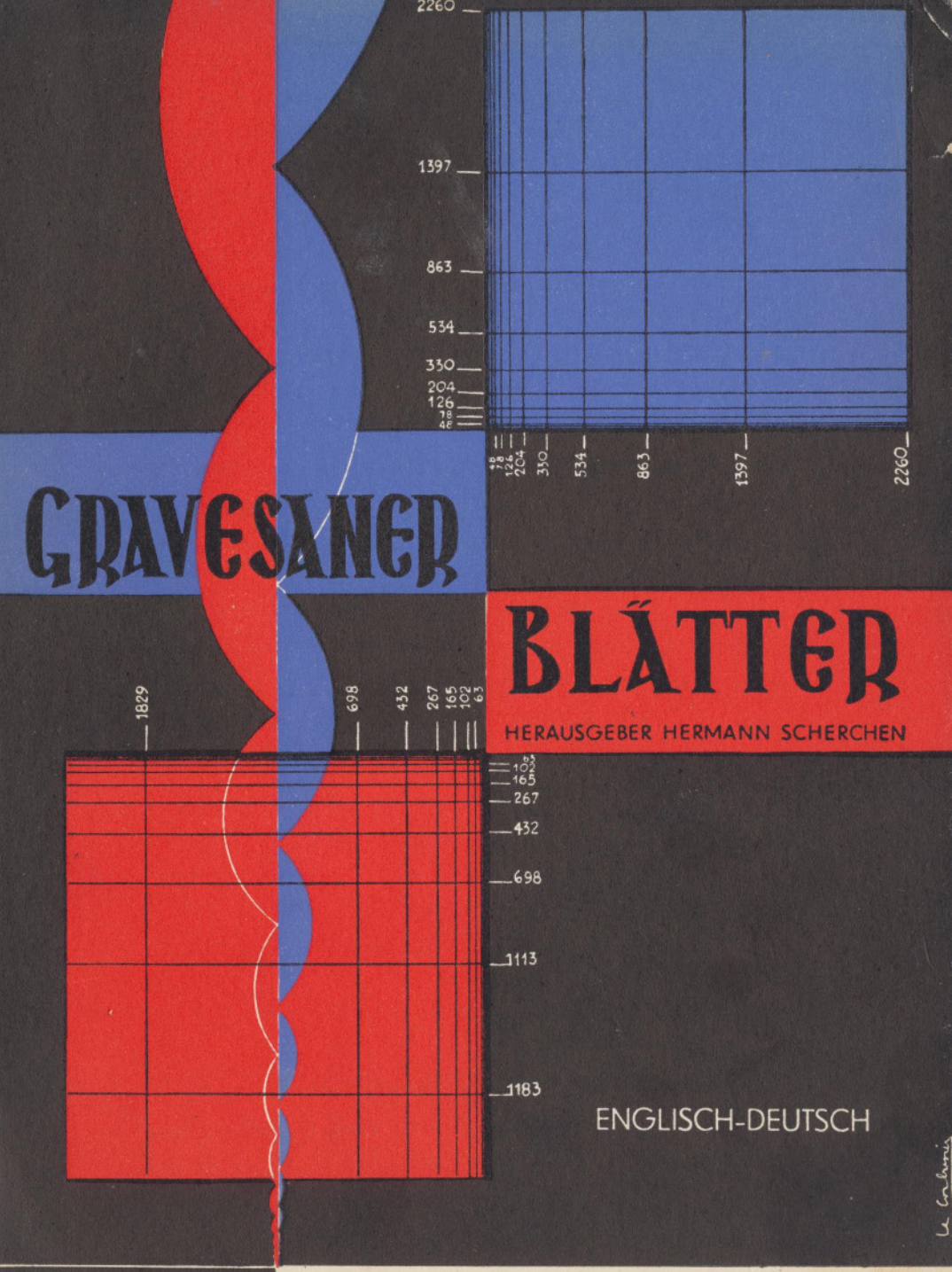


GRAVESANER BLÄTTER

HERAUSGEBER HERMANN SCHERCHEN

ENGLISCH-DEUTSCH

ARS VIVA VERLAG
(HERMANN SCHERCHEN)
GMBH · MAINZ

MUSIKALISCHE, ELEKTROAKUSTISCHE UND
SCHALLWISSENSCHAFTLICHE GRENZPROBLEME
1957 JAHRGANG III HEFT 9

Mit Heft IX treten die GRAVESANER BLÄTTER in ihr 3. Lebensjahr ein: von LUTHER EVANS (Generaldirektor der UNESCO) begrüßt, durch LE CORBUSIER um ein neues Titelblatt bereichert und im Inhalt sich allmählich ausweitend auf 3 Teile — der bisherige wissenschaftlich-technisch-künstlerische Teil erweitert sowohl um einen INTERNATIONAL über neue Apparaturen und Experimente berichtenden als um eine INTERNATIONAL durchgeführte prinzipielle Kritik von Schallplatte, Rundfunk, Tonfilm, Television.

Mit No. IX. beginnt die „WISSENSCHAFTLICHE SCHALLPLATTE GRAVESANO" (erste Veröffentlichung: der FREQUENZREGLER ANTON SPRINGER'S, Telefonbau AG., Frankfurt/Main).

Die Hefte erscheinen VOLLTEXTLICH englisch und deutsch.

ZUSCHRIFTEN und ABONNEMENTSBESTELLUNGEN AUSSCHLIESSLICH: Hermann Scherchen / Gravesano / Tessin / Schweiz.

Abonnementspreis: 25 Sw. Frs. für 4 Jahreshefte à 124 Seiten mit zugehörigen Schallplatten (Einzelhefte nicht käuflich)

The GRAVESANO REVIEW begins its 3rd year of existence with volume No. IX, with greetings from LUTHER EVANS (chief director of UNESCO), and a new title sheet, designed by Corbusier. The contents are gradually being increased to three sections: one part devoted to scientific, technical, and artistic matters; another part to an international report concerning the newest apparatus and experiments; and finally, a section containing critics on the principles of recording, radio, sound film, and television technique and performances, on the international scene.

With the issuance of Volume IX, the accompanying „GRAVESANO SCIENTIFIC RECORD", will offer as its first publication, a demonstration of the Frequency Regulator of Anton Springer, of Telefon- und Apparatebau AG., Frankfurt/Main.

These volumes now appear with the full text, in both English and German.

Subscriptions and information: only by direct contact with Hermann Scherchen / Gravesano / Tessin / Swizerland.

Subscription rate: $ 6.00 for 4 quarterly issues of 124 pages each, with accompanying demonstration records (single copies not for sale)

GRAVESANER BLÄTTER

III. Jahrgang
No. IX 1957

INHALT

Der „Modulor" . . . . . Le Corbusier
Begrüßungswort zum III. Jahrgang Luther Evans (Generaldirektor der Unesco)
Konzentration statt Expansion (Igor Strawinsky * 1882) . . . . . Hermann Scherchen
Über die Hörsamkeit großer Orchesterstudios und Konzertsäle (I) . . . . . T. Somerville und R. Gilford
Le Corbusier's „Elektronisches Gedicht" (Philips Pavillon der Brüsseler Weltausstellung - 1958) Janis Xenakis
Drei Entwürfe zur Berliner Philharmonie . . . Lothar Cremer
Psychoakustische Erscheinungen bei der Bildung von natürlichen und synthetischen Klängen . . Eugen Skudrzyk
Das Ohr als Zeitmesserorgan . . . . . Fritz Winckel
Betriebserfahrungen mit einem neuen Regielautsprecher (I) . . . . . Fritz Enkel
Die innere Stimmung der Instrumente (2) . . Robert W. Young
Die Oboe

Redaktion: Gravesano (Tessin) Schweiz Herausgeber: Hermann Scherchen

Nachdruck verboten!

GRAVESANO REVIEW

III. Jahrgang
No. IX 1957

CONTENTS

The „Modulor" . . . . . Le Corbusier
In honor - III yr. Gravesaner Blätter . . . . Luther Evans (General director of the Unesco)
Concentration instead of Expansion (Igor Strawinsky * 1882) . . . . . Hermann Scherchen
Acoustics of Large Orchestral Studios and Concert Halls (I) . . . . . T. Somerville and R. Gilford
Corbusier's „Electronic Poem" . . . . . Janis Xenakis
(For the Philips Pavilion at the Brussels World Exposition - 1958)
Three Projects for the Berlin Philharmonie . . Lothar Cremer
Psychoacoustical phenomena accompanying natural and synthetic sounds . . . . . Eugen Skudrzyk
The Ear - A time-measuring instrument . . . Fritz Winckel
Experience with a new high-quality-loudspeaker for control booths (I) . . . . . Fritz Enkel
The Tuning of Musical Instruments (2) . . . Robert W. Young
Tuning the Oboe

Published by: Experimentalstudio Gravesano Editor: Hermann Scherchen

All rights reserved

Der „Modulor“ (zum Titelblatt)

von

LE CORBUSIER

Der Modulor setzt sich aus zwei parallelen Zahlenreihen zusammen, die sich zueinander verhalten wie die Proportionen des „goldenen Schnittes“.

Es handelt sich um geometrische Zahlenreihen, die als Quotienten die irrationale positive Wurzel

$$x_1 = \frac{\sqrt{5}+1}{2} \quad \text{der Gleichung} \quad x^2 - x - 1 = 0$$

haben, was sich aus folgender Problemstellung ergibt: „Ein geradliniges Segment a ist in zwei ungleiche Teile b und c zu teilen, und zwar so, daß sich a zum größeren Teil b wie b zu c verhält.“

$\frac{a}{b} = \frac{b}{c}$ (Teilung einer Geraden in eine mittlere und äußere Proportionale)

Dieses Verhältnis, „goldene Zahl“ genannt, wird durch das Zeichen Ø ausgedrückt

$$Ø = \frac{\sqrt{5}+1}{2}$$

Die geometrische Reihe der Verhältniszahl Ø besitzt eine bemerkenswerte Eigenschaft: ein beliebiges Glied ist gleich der Summe der beiden vorhergehenden (Fibonacci-Reihen).

Nachstehend eine Tabelle über die Entwicklung von vier vertikalen Reihen von Fibonacci in paralleler Verbindung mit vier Reihen Ø :

Andere Formen von Ø lassen die Verwandtschaft mit einigen besonderen Zahlenwerten hervortreten:

Beispiel, bei dem die Koeffizienten von $Ø^i$ das Pascal'sche Dreieck ergeben, das selbst die Koeffizienten des Newton'schen Binoms $(a + b)^n$ liefert, auf dem wiederum die Definition des Zahlenwertes e beruht

$$e = 1 \text{ im } (1 + \frac{1}{n})^n \text{ für } n = \infty$$

(der Wahrscheinlichkeitsrechnung zugrunde liegend).

Dies gibt einen kurzen Begriff von der mathematischen Grundlage des Modulors.

Wir sprechen nicht vom ästhetischen Wert, dem Epiphänomen festgelegter architektonischer, mathematischer oder anderer Werte.

Das Vorhandensein einer Beziehung Ø in der Biologie ist seit langem erkannt worden. Beispiele: Verteilung der Blätter und Zweige eines Baumes; spiralenförmiges Wachstum gewisser Muscheln usw.

Auch beim menschlichen Körper finden wir diese Beziehung.

Ein Grundverhältnis am menschlichen Körper, das seiner Statur zu der Höhe seines Nabels, ist Ø. Andere Teile des Körpers stehen im selben Verhältnis Ø. Dies ist einmal an antiken Statuen, zum andern neuerdings an Messungen am Menschen festgestellt worden.

Le Corbusier ist durch seine architektonischen Untersuchungen zu einer bewußten Wiederverwendung des goldenen Schnittes geführt worden und stellte so das praktische Bindeglied her, das allen, aus jahrhundertealten Untersuchungen geschöpften Feststellungen des Menschen fehlte.

Man kann seine Schlußfolgerung schematisieren, um eine Zielsetzung zu erklären, die er sein ganzes Leben verfolgt hat, bevor sie ihren Ausdruck im Modulor fand.

1) Die Architektur ist die Wissenschaft und die Kunst, Körper und Oberflächen zu konstruieren, die die menschliche Tätigkeit enthalten und sie zugleich regeln.

2) Welches müssen die Spatial-Regeln sein, von denen die Architektur bestimmt wird? Die Stilarten aller Epochen und der verschiedenen Länder enthalten widersprüchliche Regeln. Das metrische System hat das Problem noch mehr verfälscht.

3) Der Ausgangspunkt und das Ziel der Architektur ist der Mensch; so steht im Mittelpunkt der Regeln der menschliche Körper, dessen Proportionen. Alles muß also auf die Dimensionen zurückgeführt werden, die durch seinen Körper in Ruhestellung und in Bewegung bestimmt sind. Weder Zahlenmystik noch Kult noch Ästhetik.

4) Die unveränderliche Größe, die jede bewußte Architektur sucht, ist der goldene Schnitt, der im menschlichen Körper enthalten ist.

5) Welche Zahlengrundlage muß angenommen werden?

Das universelle Mittelmaß der menschlichen Statur. Wenn man aber einen Menschen, der sechs englische Fuß mißt, als Modell nimmt, so ergeben sich ja erst recht Volumina, in die der Mensch der mittleren universellen Statur hineinpaßt. Man richtet sich also besser nach einem Maß von 183 cm als von 175 cm. Diese Wahl ist eher instinktiv und auf Beobachtungen aufgebaut, die sich über Jahre der praktischen Untersuchung hinziehen.

6) Die gewählten 183 cm ergeben 113 cm für den Nabel und eine im goldenen Verhältnis stehende Zahlenreihe. Ein aufrechtstehender Mensch mit erhobenem Arm mißt etwa 220 cm. Man kann 226 cm annehmen, das Doppelte von 113 cm. Diese 226 cm rufen so eine andere Reihe im goldenen Verhältnis hervor, das Doppel der ersten. Mit diesen beiden Reihen allein kann man einer ganzen Architektur die Dimensionen geben, von der W.C.-Schüssel bis zum Regierungsgebäude einer Nation.

So sieht das logische und intuitive Schema aus, das Le Corbusier dazu geführt hat, den goldenen Schnitt nun seit mehr als zehn Jahren in seine Schöpfungen einzubeziehen. Hätte der menschliche Körper andere Proportionen, so würde er sich nach diesen gerichtet haben, um die Skala der Dimensionierung in seinen Konstruktionen aufzustellen. Der menschliche Körper ist aber nach dem goldenen Schnitt gebildet! . . .

Im Endeffekt hat die tägliche Gegenüberstellung von so vielen abstrakten Spekulationen mit der architektonischen Realität Le Corbusier dazu gezwungen, diese ganz außerordentlich fruchtbare Synthese aufzustellen oder vielmehr, den goldenen Schnitt von seiner Aureole abstrakter und mystischer Feststellungen zu befreien, seinen menschlichen Kern freizulegen und durch eine entscheidende Wahl die beiden Reihen 183 und 226 (rot und blau) festzulegen, die die numerische Basis des Modulors darstellen.

Diese Tabelle wird täglich im Atelier in der Rue de Sèvres 35 angewandt.

Anmerkung:

Der interessierte Leser wird durch dieses Exposé nicht der Notwendigkeit enthoben, die beiden Bücher „Modulor I“ und „Modulor II“ von Le Corbusier zu lesen, worin die Ernte der Untersuchungen über die Richtigkeit dieser Theorie, auf die sich der Modulor gründet, sowohl aus alter als aus neuer Zeit, enthalten ist.

Was die Geschichte und die Zweigtheorien des goldenen Schnittes anbetrifft, so sind die Bücher von Matila C. Ghyka zu lesen, in denen eine reichhaltige Bibliographie zu finden ist.

The Modulor (to the Title-Page)

by

LE CORBUSIER

The modulor is formed by two parallel progressions of numbers, whose relationship corresponds to the proportion of the golden section.

The ratio of these geometrical progressions is derived from the irrational, positive root

$$x_1 = \frac{\sqrt{5}+1}{2} \quad \text{of the equation} \quad x^2 - x - 1 = 0$$

being a consequence of the following problem: „A rectilinear segment a shall be divided into two uneven parts b and c, so that the ratio a : b (b being the larger part) will become the same as the ratio b : c.“

$\frac{a}{b} = \frac{b}{c}$ (Division of a line into a mean proportion and an extreme one).

This ratio, the „golden number“, is characterized through the term Ø

$$Ø = \frac{\sqrt{5}+1}{2}$$

The geometrical progression of Ø shows a remarkable characteristic: Any term is equal to the sum of the two previous ones. (Fibonacci progressions).

The following table shows the development of four vertical progressions by Fibonacci in parallel connection with four progressions of Ø :

$$\emptyset^0 = 0 + 1 = 1 + \frac{0}{\emptyset}$$
$$\emptyset^1 = 0 + \emptyset = 1 + \frac{1}{\emptyset}$$
$$\emptyset^2 = 1 + \emptyset = 2 + \frac{1}{\emptyset}$$
$$\emptyset^3 = 1 + 2\emptyset = 3 + \frac{2}{\emptyset}$$
$$\emptyset^4 = 2 + 3\emptyset = 5 + \frac{3}{\emptyset}$$
$$\emptyset^5 = 3 + 5\emptyset = 8 + \frac{5}{\emptyset}$$
$$\emptyset^6 = 5 + 8\emptyset = 13 + \frac{8}{\emptyset}$$
$$\emptyset^7 = 8 + 13\emptyset = 21 + \frac{13}{\emptyset}$$
$$\emptyset^8 = 13 + 21\emptyset = 34 + \frac{21}{\emptyset}$$
$$\emptyset^9 = 21 + 34\emptyset = 55 + \frac{34}{\emptyset}$$
$$\emptyset^{10} = 34 + 55\emptyset = 89 + \frac{55}{\emptyset}$$

Other forms of $\emptyset$ underline the affinity with various numeral values:

$$\begin{aligned}
\emptyset^n &= 1\emptyset^n \\
&= 1\emptyset^{n-1} + 1\emptyset^{n-2} \\
&= 1\emptyset^{n-2} + 2\emptyset^{n-3} + 1\emptyset^{n-4} \\
&= 1\emptyset^{n-3} + 3\emptyset^{n-4} + 3\emptyset^{n-5} + 1\emptyset^{n-6} \\
&= 1\emptyset^{n-4} + 4\emptyset^{n-5} + 6\emptyset^{n-6} + 4\emptyset^{n-7} + 1\emptyset^{n-8} \\
&= 1\emptyset^{n-5} + 5\emptyset^{n-6} + 10\emptyset^{n-7} + 10\emptyset^{n-8} + 5\emptyset^{n-9} + 1\emptyset^{n-10} \\
&= 1\emptyset^{n-6} + 6\emptyset^{n-7} + 15\emptyset^{n-8} + 20\emptyset^{n-9} + 15\emptyset^{n-10} + 6\emptyset^{n-11} + 1\emptyset^{n-12} \\
&= 1\emptyset^{n-7} + 7\emptyset^{n-8} + 21\emptyset^{n-9} + 35\emptyset^{n-10} + 35\emptyset^{n-11} + 21\emptyset^{n-12} + 7\emptyset^{n-13} + 1\emptyset^{n-14}
\end{aligned}$$

Example, in which the coefficients of $\emptyset^i$ form Pascal's triangle which provides the coefficients for Newton's binom $(a+b)^n$, being a necessary part of the definition of the numeral value e,

$$e = 1 \text{ im } (1 + \frac{1}{n})^n \quad (n = \infty)$$

„which is the base for many functions of the probability theory."

These facts show briefly the mathematical base of the modulor.

We do not speak about the aesthetical value, an epiphenomenon of given architectural, mathematical, or other terms.

Already a long time ago it has become known, that the relationship $\emptyset$ exists in biology. There is, f. i., the arrangement of leaves and branches on a tree, or the spiral growth of certain shells, etc. And there is the human being, taking part in this relationship.

A basic ratio of the human body, that is the relation between height of the body and location of the navel is equal to $\emptyset$. There are other parts of the body which also have the ratio $\emptyset$. This is proved by antique statues as well as by measurements on the human body.

It was by Le Corbusier's architectural studies, that he was led to the reinsertion of the „golden section", thus providing the „missing link" to the results gathered by man during age-old investigations. In order to explain the aim prosecuted all through his life ere he found the expression of these ideas in the modulor, his conclusions can be standardized as follows:

1) Architecture is both science and art of constructing bodies and surfaces enclosing and controlling human activities.
2) Which spatial orders should determine architecture? There are many discrepancies among the styles of various eras and countries. The problem is even more blurred by the metric system.
3) The human being is at the same time source and objective of architecture. Therefore, the human body with its proportions should be the center of all orders. Everything should refer to the dimensions outlined by the human body either in motion or in relaxation. There is no room for mystery of numbers, for worship, or aesthetics.
4) The only stable factor, looked for in any conscientious architectural work, is the „golden section" to which the human body is measured.
5) Which dimensions should be used as a referring base? The average height of the human body should be taken. If, however, a person of 6 ft is used as a model, the resulting volumes are thus, that a human body of average stature does not fit in. Therefore, it is better, to refer to a height of 183 cm rather than to one of 175 cm. This instinctive choice is supported by observations gained during several years of practical investigations.
6) The chosen dimension of 183 cm results in a height of the navel of 113 cm, and a progression with the „golden ratio". A standing person with his arm lifted measures about 220 cm. We may suppose 226 cm, being twice 113 cm. By these 226 cm another progression of the „golden ratio" is caused, the double of the first one. From these two progressions alone the dimensions for an entire architectural style could be derived, ranging from the toilet basin to the government building of a whole nation.

This is the logical and intuitive scheme that induced Le Corbusier more than 10 years ago to incorporate the „golden section" into his creations. Certainly he would also have adjusted the dimensions of his constructions to different proportions of the human body — but after all, human beings are formed according to the „golden section"!

At last the continuous confrontation of so many abstract speculations with the architectural realities compelled Le Corbusier to set up this extremely productive synthesis and deprive the „golden section" of the halo of abstract and mystic explanations. He exposed its anthropologic core and determined by his decisive choice the two progressions basing on 183 and 226 cm (red and blue), being the numerical base of the modulor.

série rouge	série bleue	série rouge	série bleue
9 5 2 8 0 (en cm)	1 1 7 7 7 3 (eu cm)	2 9 6	3 6 6
5 8 8 8 6	7 2 7 8 8	1 8 3	2 2 6
3 6 3 9 4	4 4 9 8 5	1 1 3	1 4 0
2 2 4 9 2	2 7 8 0 2	7 0	8 6
1 3 9 0 2	1 7 1 8 2	4 3	5 3
8 5 9 2	1 0 6 1 9	2 7	3 3
5 3 1 0	6 5 6 3	1 7	2 0
3 2 8 1	4 0 5 6	1 0	1 3
2 0 2 8	2 5 0 7	6	8
1 2 5 3	1 5 5 0	4	5
7 7 3	9 5 8	2	3
4 7 9	5 9 2	1 5	2

This table is in daily use in the studio Rue de Sèvres 35.

Note: In spite of this summary the interested reader should not fail to read Le Corbusier's two books „Modulor I" and „Modulor II" containing the findings of old as well as recent studies concerning the truth of the theory on which the modulor is based. With regard to the history and various theories of the golden section we recommend the book by Matile C. Ghyka with its ample bibliography.

Lieber Professor Scherchen,

anläßlich des Erscheinens des 3. Jahrganges der „Gravesaner Blätter" sende ich Ihnen meine besten Wünsche für das Werk, welches Sie in dem akustischen Experimentalstudio Gravesano begonnen haben.

Die Tatsache, daß dieses sich nun schon über 4 Jahre erstreckt, in denen dadurch (u. a. im Zusammenhang mit der „Internationalen Musikalischen Jugend") vielen begabten jungen Musikern große Hilfe zuteil geworden ist, verdient großes Lob. Noch mehr aber die Tatsache (welche mit den Intentionen der Unesco voll übereinstimmt), daß Sie in diesen zurückliegenden Jahren Künstler und Wissenschaftler der verschiedensten Teile der Welt zusammen gebracht haben, um gemeinsam an den heutigen Problemen zu arbeiten. Die Resultate der Gravesaner Kongresse, welche in ihrer Anlage von wahrhaft internationalem Charakter waren, werden nun allen Anderen, welche an den gleichen Problemen interessiert sind, durch die „Gravesaner Blätter" zugänglich.

In ihrem Bemühen, die Reproduktion der Musik immer mehr zu vervollkommnen und durch die Vereinigung führender Persönlichkeiten der Wissenschaft und der Musik in freundschaftlicher Zusammenarbeit, haben die Gravesaner Kongresse und Kolloquien ebenso wie die „Gravesaner Blätter" dazu beigetragen, den Horizont allgemeiner Erkenntnis zu erweitern.

Es ist mir eine Freude in Ihnen einem führenden Musiker diese persönliche Anerkennung seiner Generosität und Plansicherheit auszusprechen.

Paris, Avenue Kléber,
den 1. Juli 1957

Ihr

Luther H. Evans,
Generaldirektor

UNESCO Erzieherische Wissenschaftliche
Und Kulturelle Organisation
der Vereinigten Nationen

Dear Professor Scherchen,

On the occasion of the publication of the 3rd issue of the „Gravesano Blaetter", I should like to send you my congratulations and good wishes for the work which you have been carrying on in the Acoustical Experimental Studio in Gravesano.

The fact that you have carried on this work over the past four years and have given great aid, through the International Federation of Musical Youth, to many talented young musicians, is in itself most praiseworthy. But particularly in line with the aims of Unesco, you have brought together over the past years artists and scientists from many parts of the world to work together on problems of mutual interest. The results of these meetings, which have been truly international in character, are now available to all others interested in these problems through the pages of the „Gravesano Blaetter".

In contributing toward the more perfect reproduction of music, and in bringing together leading figures of science and music, the Gravesano meetings and your publications are broadening the horizons of public knowledge.

I take pleasure in paying this personal tribute to the generosity and determination of a most distinguished musician.

Paris, Avenue Kléber,
den 1. Juli 1957

Sincerely yours,

Luther H. Evans.
Director-General.

UNESCO United Nations Educational,
Scientific and Cultural
Organization

Konzentration statt Expansion

*(Igor Strawinsky * 1882)*

von

HERMANN SCHERCHEN

1918 nimmt eine neue Tendenz unseres Zeitalters zuerst in der Musik Gestalt an: KONZENTRATION — statt Expansion!

7 Instrumentalsolisten (Clarinette, Fagott; Cornet à Piston, Posaune; Percussion; Violine, Contrabaß) als Repräsentanten der 4 Gruppen des Orchesters —

2 Schauspieler (Soldat, Teufel) als alleinige Träger der Handlung —

1 Sprecher, 1 Prospektbühne als Beschwörer von Seelen- und Raumlandschaften —

3 Tänze (Tango, Walzer, Ragtime) als Lebensprozesse vollziehende Kräfte;

das abendfüllende Bühnenwerk eingeengt auf die günstige Apperzeptionskürze von einer Stunde —

die sich gegenseitig beschränkenden Darstellungsarten von Pantomime, Schauspiel, Tanz ökonomisch vereinheitlicht —

die Riesenmassen des Aufführungsapparates auf realisierbare Minima reduziert —

das Zuschauererlebnis aus passiver Gefühlsreflexion in aktive Phantasiemitgestaltung verwandelt:

KONZENTRATION — statt Expansion! . . . wird zum ersten Mal zu Bewußtsein gebracht, als 1918 Strawinsky's „L'histoire du soldat" zur Uraufführung gelangt.

Die Geschichte vom Soldaten

I. Teil

1) Marsch des Soldaten	2/4	♩ = 112	MELODRAM (vor dem Vorhang)	*Rezitator*
		* * *		
2) Musik der 1. Scene (am Bach)	2/4	♩ = 100	PANTOMINE	*Soldat / Teufel* (als alter Mann)
3) Musik der 2. Scene (auf der Landstraße)	3/4	♩ = 48	LEBENDES BILD („Absolute Musik")	*Teufel* (als Viehhändler)
4) Musik der 3. Scene (beim „reichen" Soldaten)	2/4	♩ = 100	PANTOMINE	*Soldat / Teufel* (als Kupplerin)

II. Teil

5) Marsch des Soldaten	2/4	♩ = 112	MELODRAM (vor dem Vorhang)	*Rezitator*
		* * *		

6) Königsmarsch (im Königsschloß)	5/8	♩ = 112	PANTOMINE	*Teufel* (als Geigenvirtuos)
7) Kleines Konzert	3/4	♩ = 120	„ABSOLUTE MUSIK" (vor dem Vorhang)	*Rezitator*
8) Drei Tänze: Tango	2/4	♩ = 80		
9) Drei Tänze: Valse	3/4	♩ = 184—192	TANZ-PANTOMINE	*Prinzessin / Soldat*
10) Drei Tänze: Ragtime	2/4	♪ = 192		
11) Teufelstanz	3/4	♩ = 138	TANZ-PANTOMINE	*Soldat / Prinzessin / Teufel* (als Tier)
12) Kleiner Choral	4/4	♩ = 54	LEBENDES BILD	*Prinzessin / Soldat*
13) Couplet des Teufels	2/4	♩ = 120—126	PANTOMINE	*Prinzessin / Soldat / Teufel* (als Tier)
14) Großer Choral	2/4	♩ = 54	MELODRAM (vor dem Vorhang)	*Rezitator*
15) Triumphmarsch (auf der Landstraße)	2/4	♩ = 112	PANTOMINE	*Soldat / Teufel* (als Mephisto)

REQUISITEN:

Geige, Tornister, Säbel; Mütze, Stock, Tasche; Tisch, 2 Stühle, Spielkarten, 2 Weingläser, Flasche; Ruhebank; 6 Gesichtsmasken; 1 Vorhang, 5 Prospekte.

Diese Musik kennt nicht mehr Vorbereitung: alles in ihr ist AUSSAGE! Sie ist zu den Quellen zurückgekehrt: *Marsch - Tanz - Lied* liegen dreizehn der fünfzehn Nummern des Werkes zugrunde. Trotz dieser Einschränkung auf elementare Kleinstformen beherrscht sie alles, formt sie die Rahmen beider Teile, eröffnet das Werk und schließt es als Ganzes zusammen.

Nie zuvor sind ähnliche KONKRETISIERUNGEN durch Musik vollzogen worden.

Balladesk wirft sie den Schatten des wandernden Soldaten (1), improvisierend verwandelt sie Fantasiegesichte in Bildhaftigkeit (2), meditierend verdichtet sie müdes sich-selbst-umkreisen von zwei und vier Tönen zu Hoffnungslosigkeit (3), in verkürzender Wiederholung entwirrt sie unerkanntes Geschehen (4);

marschartig drängt sie zu Aktion und Entscheidung (5), prunkhaft auflärmend bewirkt sie primitive Selbstsicherheit (6);

virtuos konzertierend beherrscht sie jeden Ausdruck (7);

tänzerisch führt sie von punktuell zurückfallendem Tangorhythmus über sanft gleitende Kreisbewegungen (Valse) zu sich selbst übersteigernden Sprüngen (Ragtime) (8—10);

dramatisierend wird sie tyrannisierendes Verhängnis (11);
kontemplativ gewinnt sie abschließende Kraft (12), vulgär metronomisierend manifestiert sie beißende Ironie (13);
apotheosierend wandelt sie Scheingewißheit in neue Unsicherheit (14), rhythmisch akzentuierend wird sie zu selbstauflösender Gewalt (15).

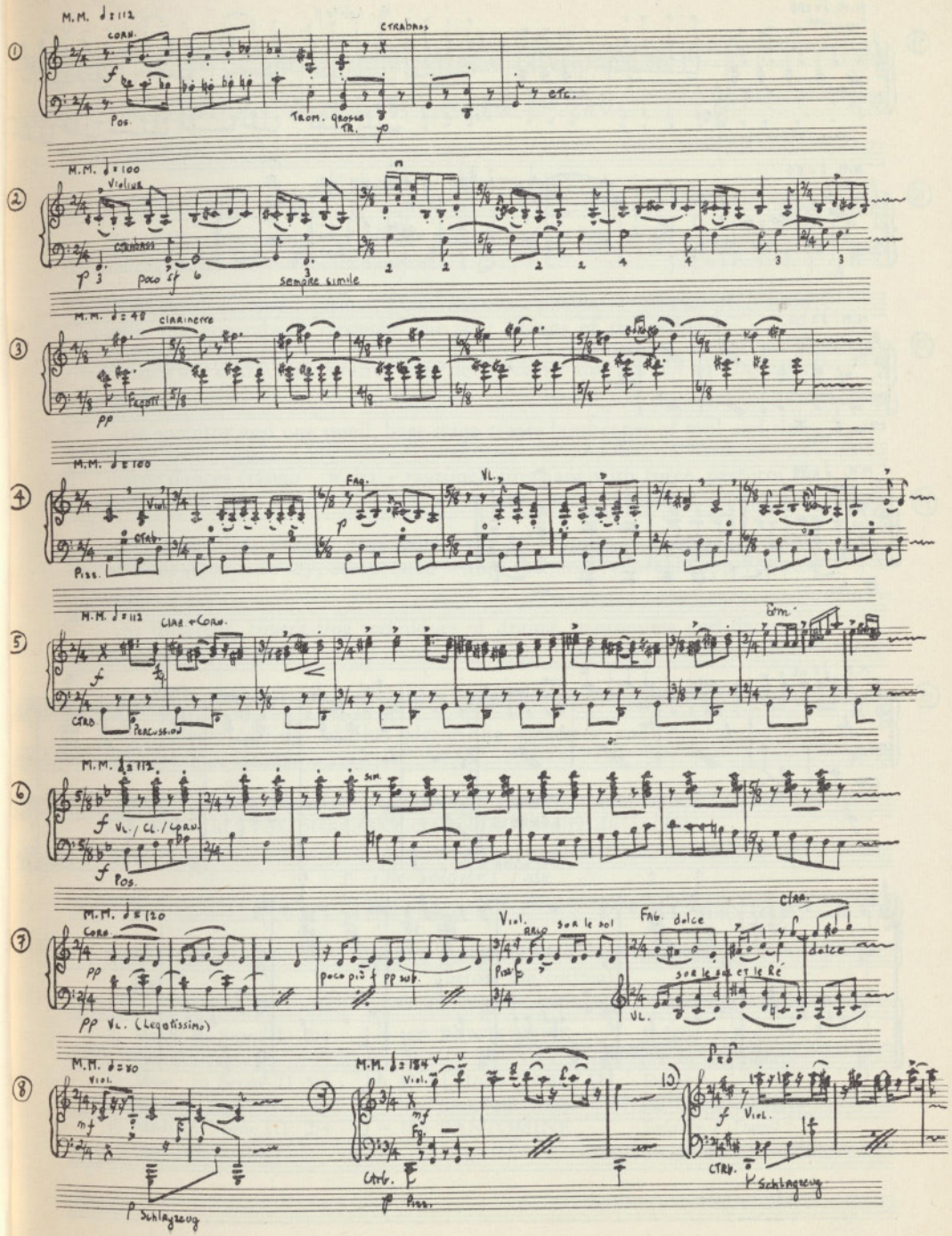
* * *

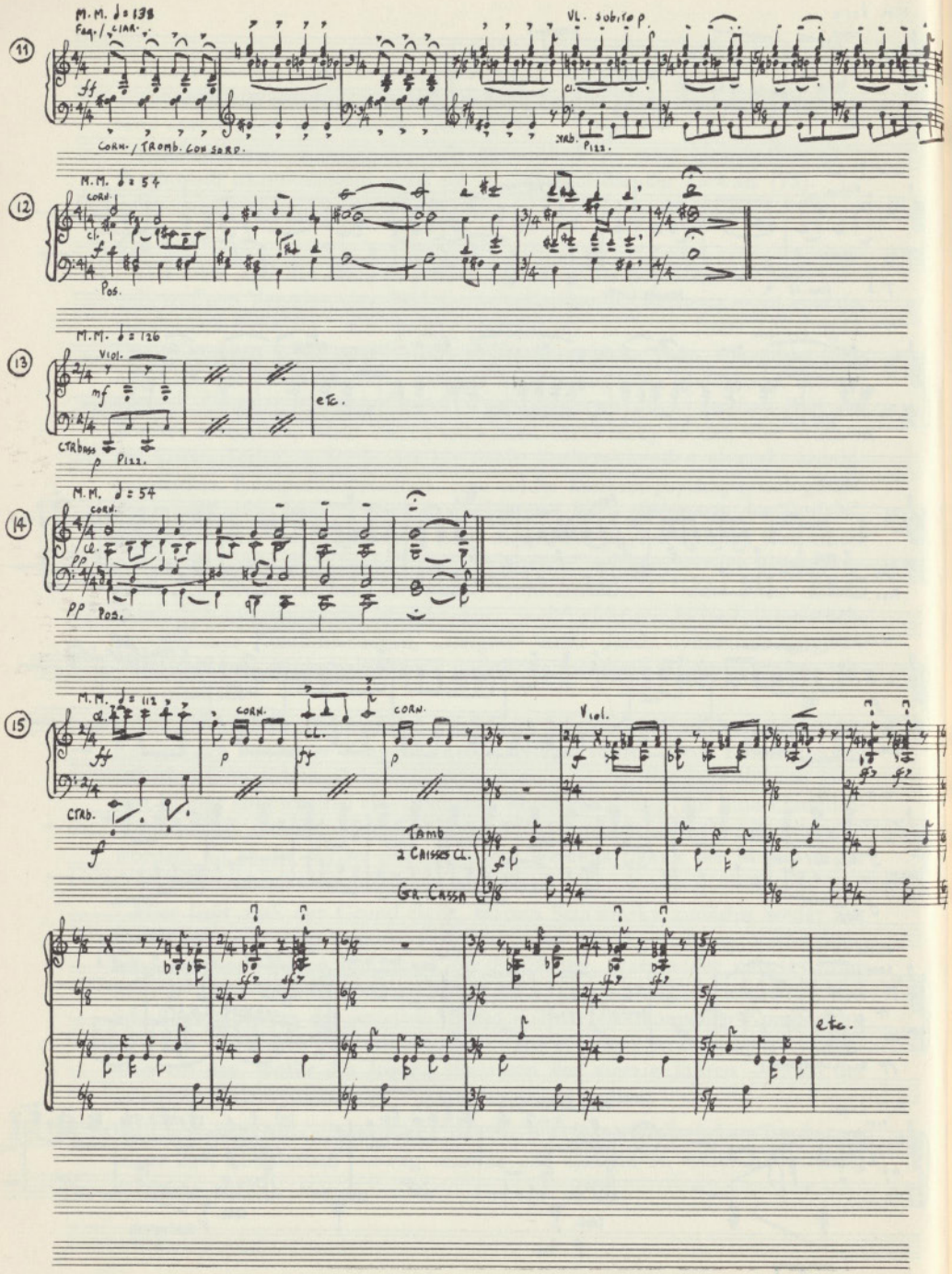
Der erste Teil des Werkes — das Erwachen des Soldaten aus naturhaft-unbewußtem Vegetieren zu Erkenntnis vollziehender Existenz — ist eine der musikalisch-technisch wie geistig-schöpferisch bedeutendsten Leistungen. Darin kommen keine geschlossenen „Charakterstücke" vor, wie solche (Königsmarsch, Kleines Konzert, Tango - Valse - Ragtime, Teufelstanz, Kleiner Choral, Couplet, Großer Choral, Triumphmarsch) den zweiten Teil des Werkes ausmachen. Statt dessen entwickelt Strawinsky in den vier Stücken des ersten Teiles an Stelle der bis dahin vorherrschenden abstrakt-kombinatorischen Kompositionstechnik eine solche konkret-psychophysiologischer Realität. Es gibt kein *„Thema* des Soldaten", kein *„Leitmotiv* des Teufels", keine *„Melodie* der Prinzessin"! Aber die psycho-physiologischen Realitäten, welche als „Soldat", „Teufel" und „Prinzessin" wirken, werden klangmaterielle Schaffenselemente. Strawinsky *„charakterisiert"* nicht mehr mittels thematisch-instrumentaler Maskeraden, *„malt"* nicht mit Hilfe folkloristisch-rhythmischer Kostümierungen, *„steigert"* nicht durch dynamisch-agogische Exaltierungen, sondern Personen und Ereignisse konkretisieren sich musikhaft-plastisch.

Die Gefahr der *Begrenzung*, die Pierre Schaeffer selbst der großartigen Entdeckung *konkreter* Klangobjekte auferlegte (durch deren Einschränkung auf bloß klanglich-materielle Elemente) und die, bei der in Köln von Herbert Eimert entwickelten elektronischen Musikgestaltung (auf bloß klanglich-ideelle) war indirekt eigentlich schon 1918 durch Strawinsky überwunden worden, als er die psycho-physiologische Wesenhaftigkeit der Musik in der „Geschichte vom Soldaten" evident machte.

Hier liegt auch der Grund dazu, warum Strawinsky zunächst weder zur Dodekaphonik noch später zur konkreten Musikgestaltung Verbindung fand; zugleich finden wir darin die Erklärung, warum der siebzigjährige Meister dann doch auf voller Reife Beziehung aufnehmen mußte zu den Schaffenstendenzen der seriellen ebenso wie der elektronischen Kompositionen. Die Werke des Fünfundsiebzigjährigen erweisen Strawinsky 1957 definitiv als den, wofür die Jugend ihn schon vor vierzig Jahren — nach der „Geschichte vom Soldaten" — hatte erkennen wollen:

als wahrhaft *aktuellen* Meister, der die wirklich schöpferischen Tendenzen seiner Zeit schöpferisch vorweg vereinte und klärend zu voller Auswirkung bringt.





Concentration instead of expansion

*(Igor Strawinsky * 1882)*

by

HERMANN SCHERCHEN

In 1918, a new tendency of our time found its first expression in music: concentration instead of expansion:

only seven soloists (clarinet, fagot; cornet a piston, trombone; percussion; violin and contrabass) represent the four groups of the orchestra;

only two characters, soldier and devil, carry the burden of the entire action;

one narrator and one small, bare stage create landscapes of soul and time;

three dances (tango - waltz - ragtime), pregnant with force, perform the processes of life;

the stage play, usually extending over an evening, is concentrated into one hour (that is to say, compressed within the most favorable apperception time);

the different, contrasting techniques of drama, pantomime and dance are economically united;

the bulk of theatrical apparatus is reduced to a realizable minimum;

the passive feelings of the mirror-like spectator are transformed into participating, fantasy activity . . .

Concentration instead of expansion . . . this was understood for the first time when, in 1918, Stravinsky created *L'Histoire du Soldat*.

The Soldier's Tale

Part I

1) The Soldier's March	2/4	♩= 112	MELODRAM (before the curtain)	*Narrator*
		* * *		
2) Music to Scene I (on the creek)	2/4	♩= 100	PANTOMINE	*Soldier / Devil* (as an old man)
3) Music to Scene II (on the highway)	3/4	♩= 48	LIVING TABLEAU (absolute music)	*Devil* (as cattle dealer)
4) Music to Scene III (the rich soldier)	2/4	♩= 100	PANTOMINE	*Soldier / Devil* (as pimp)

Part II

5)	The Soldier's March	2/4	♩ = 112 MELODRAM (before the curtain)	*Narrator*
			* * *	
6)	The Royal March (in the Royal Palace)	5/8 etc.	♩ = 112 PANTOMINE	*Devil* (as violin virtuoso)
7)	The Little Concert	3/4	♩ = 120 „ABSOLUTE MUSIC" (before the curtain)	*Narrator*
8)	Three Dances: Tango	2/4	♩ = 80	
9)	Three Dances: Waltz	3/4	♩ = 184—192 DANCE PANTOMINE	*Princess*
10)	Three Dances: Ragtime	2/4	♪ = 192	
11)	The Devil's Dance	3/4	♩ = 138 DANCE PANTOMINE	*Soldier / Princess / Devil* (as beast)
12)	The Little Choral	4/4	♩ = 54 LIVING TABLEAU	*Soldier / Princess*
13)	The Devil's Song	2/4	♩ = 120—126 PANTOMINE	*Soldier / Princess / Devil* (as beast)
14)	Great Choral	2/4	♩ = 54 MELODRAM (before the curtain)	*Narrator*
15)	Trimphal March (on the highway)	2/4	♩ = 112 PANTOMINE	*Soldier / Devil* (as Mephistophele)

PROPERTIES:

Violin, knapsak, sabre; cap, stick, bag; table, two seats, playing cards, two wine glasses, one bottle, bench; six masks, one curtain; five backdrops.

This music shuns preparatory devices; it is total assertion. It has returned to the sources: *march - dance - song* . . . these are the basis of the fifteen pieces of the work. Despite restrictions of elementary form, the music governs the whole, builds up the frames of the two parts, opens the work and, in finishing, closes it as a whole.

Never before has music rendered such concretizations.

In the ballade manner, the music evokes the shadow of the wandering soldier (1), improving, it transforms visions of fantasy into plastic images (2), meditatively, it concentrates two and four circling, wearying sounds into hopelessness (3), shortened in repetition, it clarifies intricate occurrences (4), marching, it takes shape as action and decision (5), ostentatiously, it emerges into primitive self-confidence (6), concerted, it dominates each expression (7), dancing, it arises from tango rhythm falling wearily back into itself, goes on to the soft pirouette of the waltz and finishes as ragtime —

each bar over-extending itself (8—10), dramatizing, it assumes the shape of fate (11), as contemplation, it gains capacity to finish (12), vulgarly metronomising, it bites ironically (13), as apotheosis, it transforms illusionistic security into a new uncertainty (14), with rhythmic accents, it develops self-destroying power (15).

* * *

The first part of the work — the soldier's awakening from unconscious-vegetative existence to a perceiving self-knowledge — is a musically-technically and spiritual-creative achievement of great and unique importance. In this part, no character pieces exist as in the second part of the work (Royal March, A Little Concert, Tango - Valse - Ragtime, Dance of the Devil, Little Choral, Comic Song, Great Coral, Triumphal March).

Stravinsky developed in the four pieces of the first part a new compositional technique of concrete, psycho-physiological reality in the place of the abstract-cumulative compositional technique then practiced.

There is no „soldier *theme*", no leading „devil *motif*", no „*melody* of the princess", but the psycho-physiological realities behind the figure of the soldier, the devil and the princess become direct elements of sound creation. Stravinsky does not *characterize* by thematic instrumental masquerades, he no longer *paints* using folkloristic-rhythmical costuming, he no longer *enhances* by dynamic exaltation - but he molds persons and events plastically in music.

The danger of self-limitation, which Pierre Schaeffer himself first imposed on his important discovery of *concrete music* (by restricting it to concrete sound objects) and that other self-limitation, which Herbert Eimert, creator of the Cologne School of *Electronic Music* produces (restricting it to abstract sound ideations), these restrictions were already indirectly overcome in 1918 by Stravinsky when *Histoire du Soldat* made evident the psycho-physiological sense of music.

In this we also discover the explanation of why Stravinsky for the time being could not find an immediate contact with Dodecaphonie or later with Concrete and Electronic Music. It permits us also to understand why the 70-year old Stravinsky, in his complete maturity, nevertheless must establish a relationship with these different creative tendencies. The work of the 75-year old Stravinsky demonstrates definitely in 1957 that Stravinsky is that for which Youth recognized him forty years ago — after *l'Histoire du Soldat:* truly an *actual* musician in whom the decisive creative tendencies of his lifetime were united and who, by clarifying, has given them full effect.

Die Hörsamkeit großer Orchesterstudios und Konzertsäle*

von

T. SOMERVILLE und C. L. S. GILFORD

I

Zusammenfassung:

Seit mehreren Jahren werden ausgedehnte Untersuchungen durchgeführt, um Kriterien für den Entwurf großer Orchesterstudios, die mit guten Konzertsälen vergleichbar sein sollen, festzulegen.

Die Wirkung des Grundrisses auf die subjektiven akustischen Eigenschaften großer Räume wird an einer großen Zahl von Konzertsälen und Musikstudios untersucht und ein Vergleich zwischen Konzertsälen im herkömmlichen Stil und neueren Räumen aus den letzten Jahrzehnten gezogen. Erstere besaßen in der Regel einen rechteckigen Grundriß und sehr stark verzierte Wände und Decken, während die jüngeren Entwürfe einen fächerförmigen Grundriß, reflektierende Ausbuchtungen und verhältnismäßig glatte Oberflächen aufweisen.

Die Messung des Schallpegels an verschiedenen Stellen der Konzertsäle während eines Konzerts zeigt, daß bei einem gegebenen Schallpegel in der Nähe des Podiums die Lautstärke am Ende des Saales bei den fächerförmigen Grundrissen mit Reflektoren nicht größer als bei der herkömmlichen Rechteckform ist. Im ersten Fall wird der Gewinn an Lautstärke durch die ersten Rückwürfe, die sich durch die Form der Halle ergeben, durch eine Verminderung des Nachhallpegels wieder aufgehoben.

Die Verfasser kommen zu dem Schluß, daß die heute übliche Art, die ersten Reflektionen auf die Rückwand des Saales zu leiten, zwar die Sprachverständlichkeit verbessern kann, auf die Wiedergabegüte von Musik jedoch eine gegenteilige Wirkung ausübt.

(1) Einführung:

Ein nicht unbeträchtlicher Teil der BBC-Programme ist der Orchestermusik gewidmet. Aus diesem Grund unterhält die BBC eine Anzahl größerer Studios für die Unterbringung von Orchestern mit 60 bis 100 Musikern. Im Interesse einer naturgetreuen Wiedergabe ist es notwendig, daß die in diesen Studios aufgenommenen Programme die gleiche Charakteristik wie Konzerte in Konzertsälen aufweisen. Aus diesem Grund hat die BBC die Hörsamkeit vieler Konzertsäle untersucht, um für den eigenen Gebrauch akustische Normen aufzustellen. In der vorliegenden Arbeit sollen die Schlußfolgerungen beschrieben werden, die das Ergebnis der Untersuchung an vielen großen Studios und Konzertsälen sind.

* Mit freundlicher Erlaubnis der *Institution of Electrical Engineers", London* (zuerst veröffentlicht März 1957).

In den letzten Jahren wurden sowohl in England als auch im übrigen Europa verschiedene neue Musikstudios und Konzertsäle erbaut. Es war möglich, einen eingehenden Überblick von allen modernen Studios und Konzertsälen in Großbritannien zu gewinnen und auch auf dem Kontinent interessierende Plätze aufzusuchen, allerdings ohne Messungen mit Hilfe von Instrumenten auszuführen. Die verschiedenen interessierenden Punkte werden hier im Licht der heutigen Erkenntnisse behandelt werden. Die meisten modernen Entwürfe entstanden in der Auffassung, daß Fächerformen, Ausbuchtungen und Reflektoren zur Erzielung einer befriedigenden Hörsamkeit notwendig sind. Daher mag die Bemerkung eines der Verfasser von Interesse sein, die er 1949 anläßlich eines Vergleichs zwischen der Liverpooler Philharmonic Hall und der Glasgower St. Andrew's Hall äußerte. Damals kam er zu dem folgenden Schluß:

> „Diese Untersuchungen waren sehr interessant, da die Ansicht weit verbreitet ist, daß gute akustische Bedingungen durch eine Vorwärtsreflektion des Schalls in den Zuhörerraum erzielt werden können. Es gibt mehrere Säle, in denen so vorgegangen wurde, wenn auch die Philharmonic Hall das einzige Beispiel in England ist. Das Klangbild der St. Andrew's Grand Hall ist deshalb von besonderem Interesse, weil es dort keine reflektierenden Flächen in der Nähe des Orchesters gibt und der Saal doch alle Anforderungen an eine gute Hörsamkeit erfüllt. Es scheint daher, als ob die Projektion des Schalls nicht notwendig ist. Dagegen muß erst noch bewiesen werden, ob in fächerförmigen Räumen eine gute Hörsamkeit erreicht werden kann, wenn die richtigen Vorkehrungen für eine angemessene Schallzerstreuung getroffen werden."

Der Artikel stützte sich auf eingehende Messungen in zwei Sälen und einen Überblick von einigen anderen. Zu dieser Zeit bestand wegen der geplanten Royal Festival Hall, der Free Trade Hall und der Queens Hall ein großes Interesse an dem Entwurf von Konzertsälen. Die an diesen Projekten Beteiligten bevorzugten besonders die Fächerform. Die Royal Festival Hall wurde zwar mit rechteckigem Grundriß ausgeführt, hat aber durch die Verwendung von Ausbuchtungen die Wirkung einer Fächerform. Seitdem wurden allein in Großbritannien drei große Konzertsäle errichtet, sowie verschiedene Musikstudios der BBC mit einem Volumen zwischen 30 000 ft^3 und 220 000 ft^3 entweder umgebaut oder akustisch behandelt.

Die Arbeit stützt sich auf Untersuchungsergebnisse, die hauptsächlich in Großbritannien gewonnen wurden. Die objektiven Messungen beschränken sich auf den Grundriß, Bauart und Größe, sowie solche akustische Parameter, die allgemein anerkannt sind, wie Nachhallzeit und Schallpegelverteilung. Es werden auch Einzelheiten über ein akustisches Kriterium, das auf objektiven Messungen beruht, gegeben. Dieses objektiv gefundene Kriterium entspricht im wesentlichen der mehr allgemein subjektiven Bewer-

tung, die sich auf die Meinungen stützt, die von den Verfassern über eine Reihe von Jahren aus Veröffentlichungen, Zeitungskritiken und Unterhaltungen mit Musikern und Konzertbesuchern gesammelt wurden. Zweifellos werden diese Ansichten nicht allgemein geteilt werden, doch darf man annehmen, daß sie einen guten Querschnitt der Meinung unterrichteter Kreise vermitteln.

Die mehr ins einzelne gehenden Beschreibungen der akustischen Eigenschaften stellen das Urteil der Verfasser und ihrer Kollegen dar und die beobachteten Wirkungen können durch Tonaufnahmen belegt werden.

Ehe die neuesten Untersuchungen mitgeteilt werden, erscheint es wünschenswert, die zur Beschreibung der subjektiven Eigenschaften von Konzertsälen oder Studios benutzten Begriffe zu erläutern.

(2) Erläuterung akustischer Begriffe:

Ansprechvermögen: Eine Eigenschaft, die einen Raum leicht auf jede Frequenz ansprechen läßt. Sie scheint auch in Zusammenhang mit der Art des Ausklingens eines Tones zu stehen.

Ausgewogenheit: Das Verhältnis der Lautheit zwischen verschiedenen Instrumentengruppen eines Orchesters, wie es an einem beliebigen Punkt im Zuhörerraum oder über ein Mikrofon wahrgenommen wird.

Baß-Verdeckung: Die Verdeckung von Streich- und Holzblasinstrumenten durch tieffrequente Instrumente, wie z. B. Blech und Schlagzeug. Diese Erscheinung wird in Räumen beobachtet, welche die Tiefen bevorzugen.

Diffusion: Hierdurch wird die gleichmäßige Schallenergieverteilung eines Raumes beschrieben.

Durchsichtigkeit: Die Qualität, die es ermöglicht, daß alle Stimmen eines Orchesterwerkes klar zu hören sind.

Echos: Einzelrückwürfe von Oberflächen, die erst eintreffen, wenn der erzeugende Klang bereits verklungen ist.

Flatterechos: Ein sehr schnelles Vielfachecho gleicher Geschwindigkeit. Es wird meist durch parallele reflektierende Oberflächen hervorgerufen, zwischen welchen der Schall periodisch hin- und hergeworfen wird.

Halligkeit: Der Begriff wird entweder auf Räume mit großer Nachhallzeit angewandt, oder auf Punkte eines Raumes, an denen das Verhältnis von direktem zu reflektierendem Schall gering ist.

Klangfarbenänderung: Änderung der Klangfarbe in Abhängigkeit vom Frequenzgang der Nachhallzeit. (Nicht zu verwechseln mit dem rein subjektiven leichten Fallen der Tonhöhe, das man wahrnimmt, wenn die Lautstärke eines Dauertons verändert wird).

Klangfärbung: Die charakteristische Klangfarbe eines Raumes. Sie wird oft durch normale, ungedämpfte Formen oder Raumresonanzen verursacht, die bestimmte Frequenzen zu Eigenschwingungen veranlassen, wenn der erzeugende Klang bereits verklungen ist.

Schallzerstreuung: Die Wirkung unregelmäßiger Oberflächen. Durch die Verteilung des Schalls trägt sie zu einer Verbesserung der Diffusion bei.

Slap back: Echos, die von der Rückwand eines Raumes kommen.

Stehende Wellen: Interferenz, gekennzeichnet durch stationäre Knoten und Schwingungsbäuche.

Trockenheit: Das Gegenteil von „hallig". Eine Eigenschaft von Räumen mit kurzer Nachhallzeit oder bestimmten Punkten eines Raumes, an denen das Verhältnis von direktem zu indirektem Schall groß ist.

(3) Eigenschaften alter Säle:

Die meisten Konzertsäle aus der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts gleichen bis zu einem gewissen Grad dem Leipziger Gewandhaus. Daher wird von diesen Sälen oft als dem „Leipziger Stil" gesprochen. Sie haben an den Seiten und der Rückwand Balkone, und das Orchester befindet sich auf einem flachen Podium, hinter dem die Sitze für den Chor ansteigen. *Abb. 1* zeigt die St. Andrew's Hall in Glasgow, die ein typisches Beispiel für diesen Baustil ist. Da diese Räume außer für Musik auch noch für andere Zwecke verwendet werden sollten, ist der Fußboden in der Regel flach. Anfänglich wurde für die Innendekoration viel Holz verwendet. Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts kamen Gipsputz und Trockenstuck für die gewöhnlich sehr reiche Ausschmückung in Mode. Durch derartige Unregelmäßigkeiten der Oberflächen wird der Schall zerstreut und eine gute Diffusion erzielt, obwohl man zu jener Zeit diesen Umstand noch nicht als das wesentliche Merkmal für eine gute Hörsamkeit erkannt hatte. Durch die Sitze hinter dem Orchester ergibt sich eine beträchtliche Schalldämmung, wodurch die Bereiche von Blech- und Schlaginstrumenten stärker als der Vordergrund des Podiums, wo sich die Streicher befinden, gedämpft werden. Durch die Ausführung der Fußböden, Decken und Balkone wird eine große Veränderung der Raumresonanzen verursacht und eine gleichmäßige Dämpfung des Schalls hervorgerufen, so daß eine Färbung des Klangbildes durch Resonanzen vermieden wird. Gute Beispiele für Säle im Leipziger Stil waren in Großbritannien die Queen's Hall in London, die alte Free Trade's Hall in Manchester und die St. Andrew's Grand Hall in Glasgow. Leider steht von diesen Sälen nur noch die St. Andrew's Hall, während die anderen durch Feuer zerstört wurden. Dieser Saal wurde daher besonders eingehend untersucht, um den Grund für die ausgezeichneten akustischen Eigenschaften zu finden.

(3.1) St. Andrew's Hall Glasgow

Die meisten alten Säle hatten eine angemessen lange Nachhallzeit. *Abb. 2* zeigt als Funktion des Volumens die Nachhallzeiten von Konzertsälen und Konzertstudios, die in dieser Arbeit diskutiert werden. In der St. Andrew's Hall beträgt sie 1,9 Sek. bei gefülltem Saal. Der Unterschied auf verschie-

denen Plätzen des Zuhörerraumes ist klein, was auf eine hervorragende Diffusion hindeutet. Die Dachkonstruktion besteht völlig aus Holz und trägt eine tief gegliederte Stuckdecke, deren Umriß aus dem Schnitt der *Abb. 1* zu ersehen ist. Die Wände haben Paneele aus Gipsstuck in verschiedenen Mustern. Im Parkett und auf den Balkonen wurde in der Nähe des Fußbodens aus Schutzgründen Holzverkleidung verwendet. Der Fußboden ist in Eichenholzbrettern auf Querbalken ausgeführt. Darunter befindet sich ein Hohlraum für Aufbewahrungszwecke. Durch diese Konstruktion werden die Raumresonanzen im unteren Frequenzbereich günstig verteilt, so daß der Saal frei von merklichen Klangverfärbungen ist. Die Baßtöne kommen sehr klar und sind unbeeinträchtigt von Klangfarbenänderungen während des Ausklingens. Eine andere Eigenart des Saales ist es, daß trotz der langen Nachhallzeit auch bei lauten Orchesterstellen alle Einzelheiten gut zu hören sind. Diese Eigenschaft wird von dem Musikkritiker der „Times" sehr gut beschrieben:

> „Obwohl die St. Andrew's Hall bekanntermaßen in ihrer Akustik sehr voll klingt, findet keine Verwischung der Konturen statt und die Tatsache, daß die Darbietung gleichermaßen durchsichtig und warm erschien beweist, daß das Orchester sehr rein spielte."

Man kann daraus schließen, daß bei Berücksichtigung anderer wesentlicher Merkmale im Entwurf eine angemessen lange Nachhallzeit kein Nachteil ist. Diese Merkmale sind

a) gute Diffusion,
b) frequenzabhängige Nachhallzeit, die bei den Tiefen nicht ansteigt,
c) örtlich begrenzte Schalldämmung hinter dem Orchester, um die kräftigen Instrumente unter Kontrolle zu halten.

Die St. Andrew's Hall erfüllt alle diese Ansprüche und besitzt eine Klangfülle, die von keinem modernen Saal erreicht wird. Ein Nachteil der langen Nachhallzeit ist es, daß der Saal für Sprachverständlichkeit zwar gut, aber nicht ideal ist. Parkin (3) stellte fest, daß die Nachhallzeit durch Echos von der Rückwand erzielt wird und daß daher zu ihrer Beseitigung Schallschluckmaterial eingebracht werden müßte. Soweit den Verfassern bekannt ist, haben sich die normalen Benutzer des Saales nie über Echos beschwert und sie schließen sich diesem Urteil an. (Eine Bestätigung ergibt sich dadurch, daß in allen seit dem Krieg angestellten Vergleichen, z. B. denen von Parkin, Scholes und Derbyshire (4), die Halle entweder an erster oder zweiter Stelle der Rangliste englischer Säle steht). Übrigens wäre die zur Unterdrückung von Echos erforderliche, absorbierende Fläche auf jeden Fall zu klein, um die Nachhallzeit merklich zu verringern. Es wäre sogar noch möglich, Diffusoren zur Verteilung der Schallenergie in einem großen Winkel anzubringen, ohne die Nachhallzeit zu vermindern.

In dem Bestreben, Gründe für die ausgezeichnete Hörsamkeit der St. Andrew's Hall zu finden, wurde die in Frage kommende Literatur studiert und die Entdeckung gemacht, daß der akustische Berater für diese Halle der gleiche Architekt war, der auch 1849 die alte Philharmonic Hall in Liverpool vollendet hatte. Dieser Architekt, John Cunningham, besaß in Liverpool eine ausgedehnte Praxis, bis er sich 1872 zurückzog. Da die Liverpooler Philharmonic Hall wegen ihrer guten Akustik bekannt war, wurde Cunningham als Berater für die St. Andrew's Hall verpflichtet. Diese wurde 1877 eröffnet, doch war Cunningham bereits vor ihrer Vollendung gestorben. Es ist bedauerlich, daß er keine Einzelheiten über den akustischen Entwurf dieser Säle hinterließ, denn wenn auch oft gesagt wird, die Hörsamkeit alter Säle sei hauptsächlich eine Angelegenheit des Zufalls, so könnte es von Bedeutung sein, daß Cunningham nacheinander für zwei Säle verantwortlich war, die beide gut ausfielen.

Der Erfolg dieser zwei Säle wäre erklärlich, wenn der Architekt bekannte gute Entwürfe kopiert hätte, obwohl die Caird Hall in Dundee, die in der Ausführung der St. Andrew's Hall gleicht, kein Erfolg war — vielleicht wegen ihrer im Verhältnis zu den anderen Dimensionen zu großen Länge.

Es wurden zwar verschiedene gute Konzertsäle aus der 2. Hälfte des vorigen Jahrhunderts genannt, aber man darf daraus nicht schließen, daß alle Säle aus dieser Zeit gut waren. Das Gegenteil trifft zu. Es war das Zeitalter der rapiden industriellen Expansion und damit auch eine Zeit ausgedehnter Bautätigkeit in ganz Großbritannien, einschließlich des Baus zahlreicher Säle. Die meisten davon wurden nicht ausschließlich für Musikdarbietungen errichtet und waren auch tatsächlich für diesen Zweck nicht befriedigend.

(3.2) Usher Hall Edinburgh

Anfang dieses Jahrhunderts begannen sich die Entwürfe von Konzertsälen vom Leipziger Stil zu unterscheiden. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist die Usher Hall in Edinburgh, die 1914 eröffnet wurde. In ihr werden alle Orchesterkonzerte der internationalen Edinburgher Festspiele gegeben. Der Saal besitzt einen hufeisenförmigen Grundriß mit ansteigenden Sitzen im Parkett und zwei Balkonen *(Abb. 3)*. Hinter dem Orchester sind Sitze für den Chor, doch befinden sich die Seitenwände nahe am Orchester, da die Balkone das Orchester nicht seitlich einschließen, wie das beim Leipziger Stil der Fall ist. Die Halle hat ein kleineres Volumen als St. Andrew's Hall, da sie aber mehr Sitzplätze enthält, beträgt die Nachhallzeit 1,7 Sek., was weniger als wünschenswert ist. Die Folge davon ist ein etwas harter Klang, doch muß der Saal noch durchaus als gut bezeichnet werden. Es treten geringe Baßverfärbungen auf, vermutlich durch Raumresonanzen im Bühnenraum. Die großen schallharten Flächen zu Seiten des Orchesters verursachen manchmal eine Betonung der Instrumente, die dort placiert sind. Die Schallzerstreuung ist geringer und damit auch die Diffusion schlechter

als in guten Sälen des Leipziger Stils. Hierdurch lassen sich auch die Unterschiede in der Hörsamkeit an verschiedenen Plätzen des Zuhörerraumes erklären.

(4) Eigenschaften moderner Säle

Es war nicht möglich, ausfindig zu machen, wo die heutige Auffassung ihren Ursprung hat, wonach moderne Konzertsäle Lichtspieltheatern gleichen sollen und es notwendig ist, fächerförmigen Grundriß und Reflektoren hinter dem Orchester zur Projizierung der Schallenergie in den Zuhörerraum anzuwenden. Bei kleinen Räumen mag ein rechteckiger Grundriß Flatterechos hervorrufen, von den Verfassern wurde aber bisher noch nicht beobachtet, daß dieser Erscheinung bei großen Konzertsälen eine Bedeutung zukommt. Gewöhnlich wird zugunsten der Fächerform angeführt, daß dadurch der Schallpegel am Ende des Saales verbessert wird. Die Mode scheint mit dem Salle Pleyel in Paris begonnen zu haben, der das frühe Beispiel eines Saales ist, in dem die Klangprojektion versucht wurde.

(4.1) Salle Pleyel Paris

Die Merkmale des Salle Pleyel wurden von Bagenal und Wood (5) beschrieben. Das Grundprinzip besteht darin, daß der Schall so unmittelbar als möglich in den Zuhörerraum reflektiert wird, der aus einem ansteigenden Parkett und zwei Balkonen besteht. *Abb. 4* zeigt Aufriß und Grundriß des Saales. Nach Andrade (6) ist der Raum für Sprache außergewöhnlich zufriedenstellend, da die Nachhallzeit kurz ist und Echos fehlen. Für Musikdarbietungen hat er allerdings einen schlechten Ruf. Dies geht soweit, daß er nur ganz selten für Orchesterkonzerte benutzt wird. Die Ursachen dafür werden noch im Zusammenhang mit modernen englischen Sälen diskutiert werden, die von den Autoren eingehend untersucht werden konnten. Obwohl das Klangbild im Salle Pleyel alles andere als hervorragend ist, werden die Entwurfprinzipien in den meisten modernen Leitfäden autoritativ unterstützt. Darüber hinaus wurden sie mit unterschiedlichem Grad bei den meisten modernen Bauten angewendet.

(4.2) Philharmonic Hall Liverpool

Das erste Beispiel eines modernen Saales in Großbritannien ist die 1939 vollendete neue Liverpooler Philharmonic Hall, die an Stelle der alten abgebrannten Konzerthalle trat. Der Saal hat Fächerform, Wände und Decken sind als Reflektoren ausgearbeitet, um die vom Orchester kommende Schallenergie in den Zuhörerraum zu leiten. Aufriß und Grundriß können aus *Abb. 5* entnommen werden. In jedem Konzertsaal stellen die Zuhörer die größte absorbierende Fläche dar und es überrascht daher nicht, daß die Halle trotz ihres Volumens ziemlich trocken ist, nachdem der Großteil der Schallenergie das Publikum nach wenigen Reflektionen erreicht und daher

nicht zum Nachhall beitragen kann. Bei einem Volumen von 476 000 ft^3 beträgt die Nachhallzeit mit Publikum etwa 1,5 Sek. Eine eingehende Untersuchung des Saales wurde schon früher als Vergleich mit der St. Andrew's Hall in Glasgow (1) vorgenommen, so daß hier eine Zusammenfassung genügt. Die Tonqualität ist infolge der kurzen Nachhallzeit etwas hart und die Schallverteilung durch mäßige Diffusion nicht ganz gleichmäßig. Es hat sich herausgestellt, daß die kräftigen Instrumente leicht die anderen zudecken, doch kann diese Wirkung verhindert werden, wenn die hinter dem Orchester befindlichen Plätze für den Chor besetzt sind. Begrüßenswert ist es, daß sich keine Sitze unter Balkonen befinden, die immer wegen der Schirmwirkung eine Schwierigkeit darstellen. Das Klangbild des Saales ist zufriedenstellend, wenn auch nicht vergleichbar mit der alten Liverpooler Philharmonic Hall.

(4.3) Konzertstudio Kopenhagen

Als interessantes Beispiel eines modernen Studiobaus kann ein großes Konzertstudio gelten, das 1942 während der deutschen Besatzung in Kopenhagen von den Dänen erbaut wurde. Der Schnitt erinnert stark an den Salle Pleyel, allein ist der Grundriß noch mehr fächerförmig. Das Volumen beträgt 420 000 ft^3 bei der sehr kleinen Nachhallzeit von 1,5 Sek. In diesem Studio ist die Rückwand gewölbt, wodurch es notwendig wurde, zur Vermeidung von Echos eine dicke Lage Schallschluckmaterial einzubringen, obgleich dadurch die vorhanden Stumpfheit des Raumes noch verstärkt wird. Wegen der Trockenheit und mangelnden Diffusion ist der Ton hart und die Hörsamkeit auf verschiedenen Plätzen des Saales sehr unterschiedlich. Bei lauten Passagen ist es unmöglich, alle Instrumente des Orchesters zu unterscheiden, da die kräftigen Instrumente in der Nähe der Reflektoren überwiegen. Für Rundfunkzwecke muß zur befriedigenden Aufnahme aller Instrumentengruppen mit zahlreichen Mikrofonen gearbeitet werden.

(4.4) Konzerthalle Göteborg

In Göteburg wurde ein moderner Konzertsaal errichtet, der sehr viel Ähnlichkeit mit der Liverpooler Philharmonic Hall aufweist. Auch hier sieht der Entwurf die Reflektion des Schalles vom Orchester aus vor. Während aber in Liverpool die Innenwände in Gipsputz ausgeführt sind, wurde in Göteborg Holzverkleidung gewählt. Es gibt keinen Balkon, doch steigen die rückwärtigen Sitzreihen steil an. Die Behandlung der Rückwand ist interessant, da der Architekt zur Vermeidung von Echos durch Schallschluckmaterial die Wand neigte, um so die Rückwürfe auf die hinteren Plätze zu leiten. Unglücklicherweise hört man an bestimmten Stellen gerade von dieser Oberfläche ausgeprägte Echos. Auch in diesem Saal ist das Hören erschwert und für Rundfunkzwecke müssen mehrere Mikrofone benutzt werden.

(4.5) Royal Festival Hall London

Die erste nach dem Krieg in England errichtete Konzerthalle war die Royal Festival Hall und es gibt in der Literatur bereits genügend Beschreibungen davon (7, 8). Aufriß und Grundriß gehen aus *Abb. 7* hervor. Die Architekten gaben zwar dem rechteckigen Grundriß den Vorzug vor einem fächerförmigen, doch wurden trotz der Rechteckform Diffusoren, Reflektoren über dem Orchester und eine gegliederte Decke zur Projizierung des Schalls in den Zuhörerraum angewendet und so die Wirkungen einer Fächerkonstruktion erzielt. Das bedeutet, daß der Saal für sein Volumen verhältnismäßig trocken ist. Die Nachhallzeit beträgt bei Anwesenheit des Publikums 1,5 Sek., das Volumen ist 760 000 ft³. Da sich die Architekten der Vorteile der Diffusion in Konzertsälen bewußt waren, wurde die Decke, die hauptsächlich für eine Vorwärtsprojektion konstruiert ist, zur Erzielung einer besseren Schallverteilung geriffelt. Leider erstreckt sich die Wirkung dieser Maßnahme nur auf die Längsrichtung, während die Diffusion in der Querrichtung gering ist. Ein Merkmal des Entwurfs, das vielfach kommentiert wurde, ist die Anbringung von Logen an den Seitenwänden. Nach Ansicht der Architekten soll dadurch eine bessere Diffusion erzielt und gleichzeitig die Zahl der Sitzplätze erhöht werden. Aufgrund der Beobachtungen in Opernhäusern des Kontinents sind die Autoren der Auffassung, daß Logen sehr wenig zur Diffusion beitragen, sondern im Gegenteil durch derartige Höhlungen mit Publikum und Dekorationen die Schallabsorbierung nur noch vergrößert wird. Wären die Seitenwände tatsächlich so ausgebildet worden, daß eine bessere Diffusion erzielt würde und nicht die Absorption noch durch Logen erhöht, so wäre der Saal vermutlich etwas halliger als er jetzt ist.

Die Royal Festival Hall eignet sich wegen ihrer Trockenheit und dem Fehlen von Echos sehr gut für Sprachdarbietungen. Sie ist auch gut für Kammermusik und Orchester in „Mozart-Größe". Mit wachsendem Orchester wird aber ein gutes Zusammenspiel immer schwieriger, und für ein vollständiges Symphonieorchester sind die Bedingungen nach Ansicht der Verfasser nicht völlig zufriedenstellend. Die Presseäußerungen über den Saal während der ersten 18 Monate seines Bestehens waren sehr geteilt. Während die Mehrheit die „Klangfülle" oder „Resonanz" für befriedigend hielt, bezeichnete eine Minderheit von etwa 40 % die Halle als zu trocken.

Es gab auch eine noch ziemlich beachtliche Anzahl ungünstiger Urteile über die Klangverschmelzung und die Ausgewogenheit. Einer dieser Kommentare, mit dem die Autoren im großen und ganzen übereinstimmen, ist besonders interessant:

„Zwei Musikarten scheinen am meisten beeinträchtigt zu werden: Stücke mit schwer faßbarer Atmosphäre und die prächtigen spätromantischen Werke von Wagner, Strauss, Rachmaninoff . . . Zweifellos ist es ein und derselbe Fehler, der diese Musikkategorien an ihrer Wirkung hindert.

Wahrscheinlich ist die Nachhallzeit des Saales einfach zu kurz. Möglicherweise begünstigt das steil ansteigende Orchester und Auditorium die Neigung von Blech- und Schlaginstrumenten, die Streicher in dem dazwischenliegenden „Tal" zu ersticken. Was auch immer die Ursache sein mag, so bleibt es doch erstaunlich, wie ganz anders vollgesättigte Texturen in einem dafür passenden Saal klingen können, wie z. B. im Prinzregententheater in München oder im Concertgebouw in Amsterdam. Übrigens muß ich die Anschuldigung zurückweisen, daß diejenigen unter uns, die nicht ganz zufrieden sind . . . einen durch lange Gewöhnung an die Albert Hall verdorbenen Geschmack besäßen. Mir ist kein berühmter Saal mit einem so außergewöhnlich trockenen Klang bekannt, wie er in der Royal Festival Hall bei jedem Höhepunkt der Musik zu spüren ist. Man scheint sich allerdings dieses Fehlers immer mehr bewußt zu werden."

(4.6) Free Trade Hall Manchester

Die neue Free Trade Hall in Manchester ist der zweite große Saal, der in Großbritannien nach dem Krieg erbaut wurde. Obwohl er für das Hallé Orchester bestimmt war, wurde der Bau eines reinen Konzertsaals durch die Notwendigkeit, ihn auch für andere Zwecke zu benutzen, beeinträchtigt. Die ursprüngliche Halle im Leipziger Stil, die in ihrem Klangcharakter der alten Liverpooler Philharmonic Hall und der St. Andrew's Hall in Glasgow glich, wurde durch Bomben zerstört. Aus wirtschaftlichen Gründen war es nötig, in der neuen Halle mehr Sitzplätze unterzubringen, weshalb außer den seitlichen Balkonen noch ein Rang und ein weiterer Balkon hinzugefügt wurden, wie aus *Abb. 8* hervorgeht. Um einer Schallabschirmung durch die Balkone entgegenzuwirken, entschied man sich für die Anbringung von Diffusoren hinter und Reflektoren über dem Orchester, doch wurde die Decke flach und in Kassetten ausgeführt, da eine weitere Reflektion nicht für notwendig erachtet wurde. Die Schallprojektion ist daher nicht so ausgeprägt wie in anderen modernen Sälen, allerdings beträgt die Nachhallzeit nur 1,6 Sek. mit Publikum bei einem Volumen von 535 000 ft³. Als Folge davon ist die Tonqualität trotz der recht kurzen Nachhallzeit etwas weniger hart und die Hörsamkeit günstiger als in der Royal Festival Hall. Es gibt allerdings auch hier Schwierigkeiten durch die Überbetonung der kräftigen Instrumente durch die Reflektoren. Auch sind die Hörbedingungen innerhalb des Zuhörerraumes etwas unterschiedlich. Wegen der Schallabschirmwirkung ist die Hörsamkeit nur im hinteren Parkett, auf dem Rang und dem Balkon gut zu nennen.

(4.7) Colston Hall Bristol

Die Colston Hall Bristol wurde 1951 nach ihrer Zerstörung durch Feuer unter Verwendung der Außenmauern wieder aufgebaut. Der in *Abb. 9* gezeigte Grundriß ist — abgesehen von leichten Abweichungen am Ende des

Saales — rechteckig und die Decke in beiden Richtungen leicht gewölbt. Es wurde nicht versucht, die flachen Bereiche der Decke zu unterbrechen, sei es durch Lichtröhren wie in der Royal Festival Hall oder durch eine Aufteilung in Felder wie in der Free Trade Hall. Die Beleuchtung erfolgt durch Hängelampen. Die einzige Unterbrechung der Deckenfläche sind die Öffnungen für die Belüftung. In diesem Saal unterscheidet sich die Überdachung der Bühne von der in anderen Nachkriegssälen. Der Teil unmittelbar über der Bühnenmitte ist horizontal zu dem Zweck, den Schall auf das Orchester zurückzuwerfen und dadurch den Musikern den Vergleich zwischen ihrem eigenen Instrument und dem Orchester als Ganzes zu ermöglichen. Der übrige Teil der Überdachung reflektiert den Schall in den Zuhörerraum, doch ist die so gerichtete Schallenergie viel geringer als in anderen modernen Sälen. Die Höhe der Halle über dem Auditorium ist im Verhältnis zum Rauminhalt größer als bei den meisten Konzertsälen. Um einen bequemen Vergleich dieses Verhältnisses zu ermöglichen, kann man das Verhältnis der Gesamthöhe zum geometrischen Mittel von Länge und Breite errechnen.

Nachstehend einige Vergleichszahlen:

Philharmonic Hall Liverpool	0,34
Royal Festival Hall	0,39
St. Andrew's Hall	0,49
Colston Hall	0,53
Free Trade Hall	0,60

Die Orchesterbühne hat Erhöhungen um zu gewährleisten, daß der Hauptbereich des Zuhörerraums im direkten Schallfeld liegt. Der Oberteil der Seitenwände ist mit furnierten Holzfaserplatten in Sägezahnform verkleidet, um gleichzeitig eine gute Baßabsorption und Schallzerstreuung zu bewirken. Die Wände unter dem Balkon sind mit stark profilierten Platten aus solidem Holz belegt (10). Schallschlucker für hohe Frequenzen werden nur dort verwendet, wo man sie zur Vermeidung langlaufender Echos für erforderlich hielt.

Die Nachhallzeit dieses Saales liegt zwischen 500 und 1000 Hz im gefüllten Raum bei 1,7 Sek. und im leeren knapp über 2 Sek. Die erste Zahl ist höher als bei den anderen beiden Nachkriegssälen, obwohl das Volumen mit 450 000 ft³ wesentlich geringer ist. Die Tonqualität ist demgemäß voller als in den anderen Sälen, und zwar wurde dies ohne Echos erreicht. Die Durchsichtigkeit ist gut, aber vielleicht nicht außergewöhnlich. Im leeren Saal treten Trommeln und Blech leicht zu sehr hervor, doch fällt diese Erscheinung im gefüllten Raum kaum auf.

(Fortsetzung folgt)

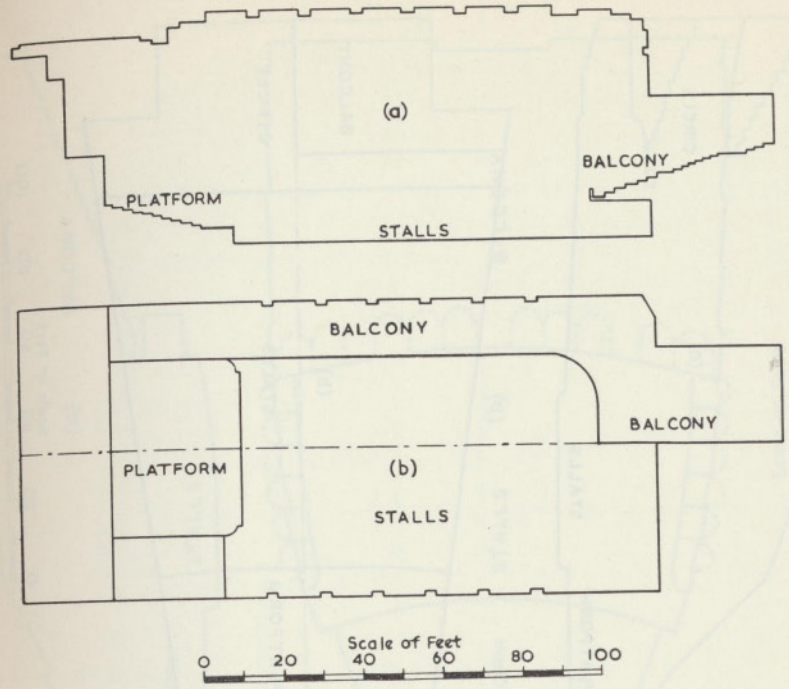


Fig. 1 St. Andrew's Hall Glasgow
a) Aufriß b) Grundriß a) Long section b) Plan

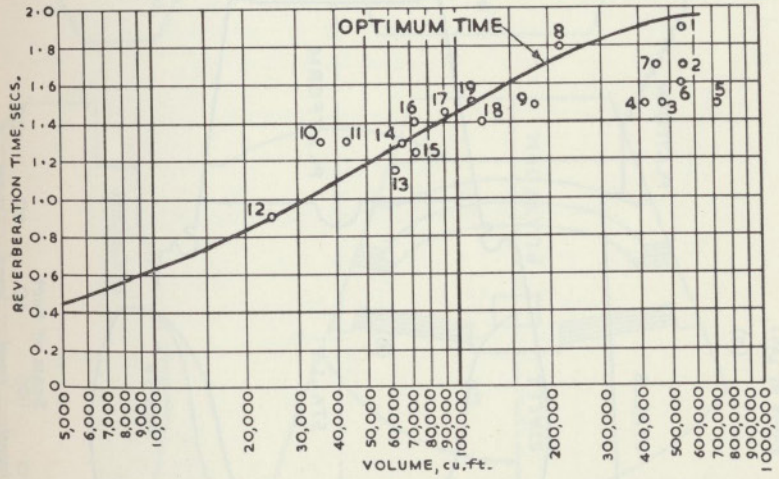


Abb. 2 Verhältnis von optimaler Nachhallzeit und Volumen (Nachhallzeiten bei Anwesenheiten von Orchester und — soweit anwendbar — Publikum)
Fig. 2 Relation between optimum reverberation time and volume
Reverberation times with orchestra, and audience where applicable.

1. Glasgow, St. Andrew's Hall
2. Edinburgh. Usher Hall
3. Liverpool, Philharmonic Hall
4. Copenhagen, Concert Hall
5. London, Royal Festival Hall
6. Manchester, Free Trade Hall
7. Bristol, Colston Hall
8. London, Maida Vale, Studio 1
9. Glasgow, Studio 1
10. Swansea, Studio 1
11. Cardiff, Charles St. Hall
12. Glasgow, Studio 2
13. London, Maida Vale, Studio 2
14. London, Maida Vale, Studio 3
15. Belfast, Studio 1
16. Birmingham, Carpenter Road Studio
17. Manchester, Milton Hall
18. London, Broadcasting House, Concert Hall
19. London, Farringdon Hall

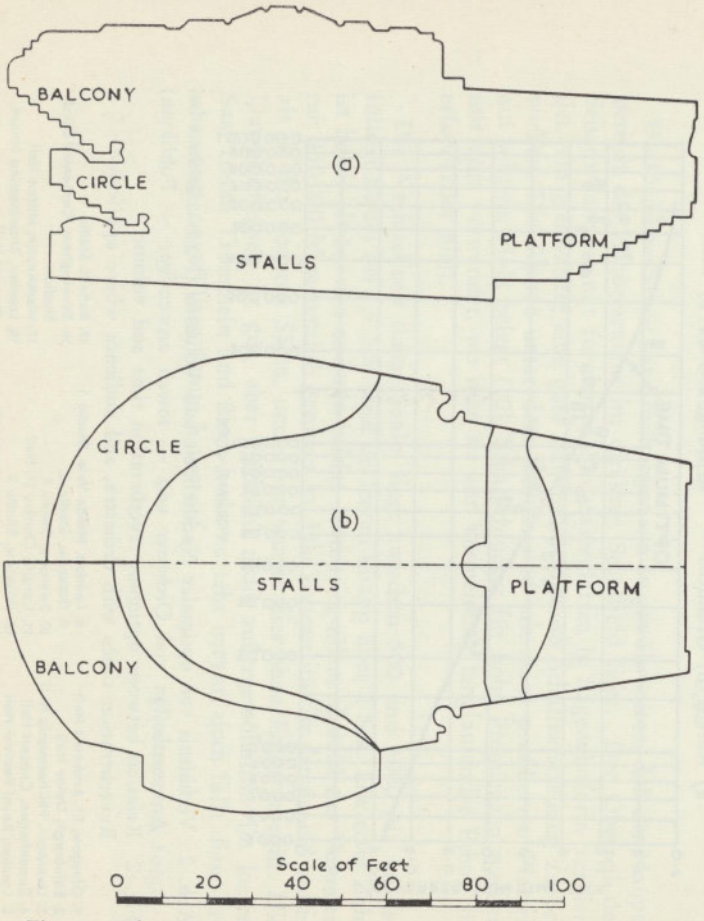


Fig. 3 Usher Hall Edinburgh
a) Aufriß a) Long section

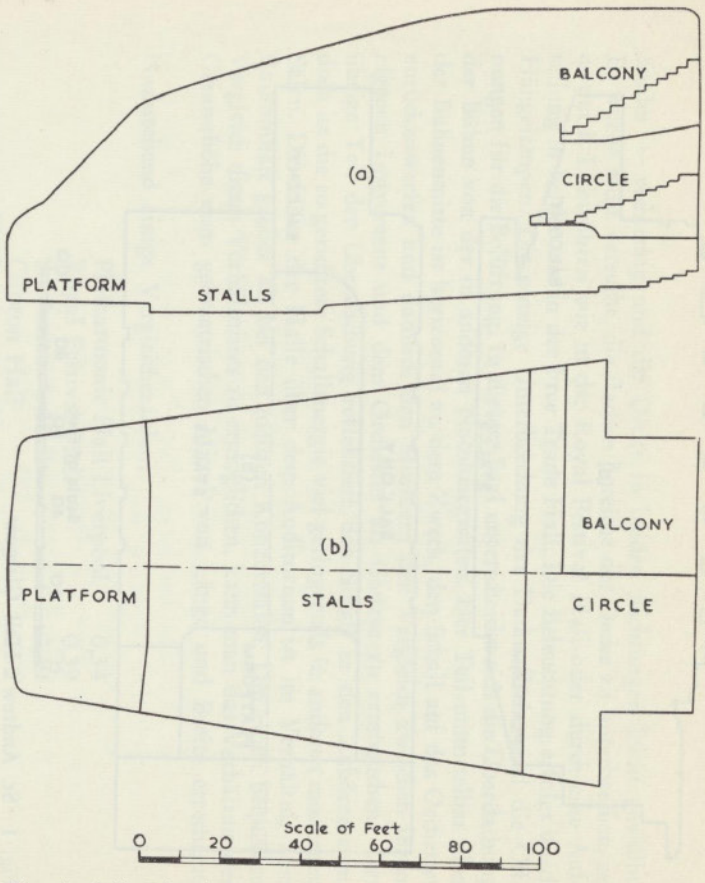


Fig. 4 Salle Pleyel, Paris
a) Aufriß a) Long section

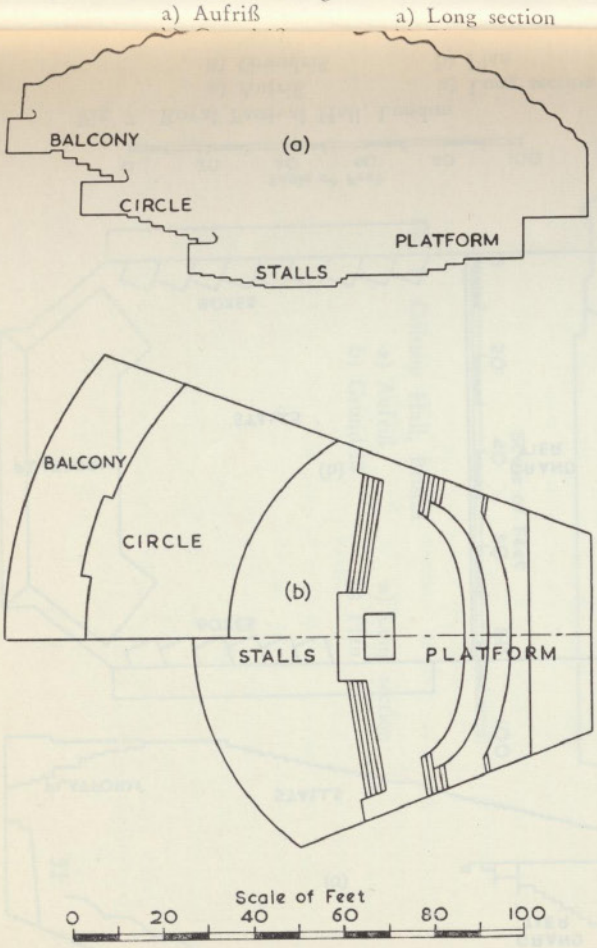


Fig. 6 Concert Studio, Broadcasting House, Copenhagen
a) Aufriß a) Long section
b) Grundriß b) Plan

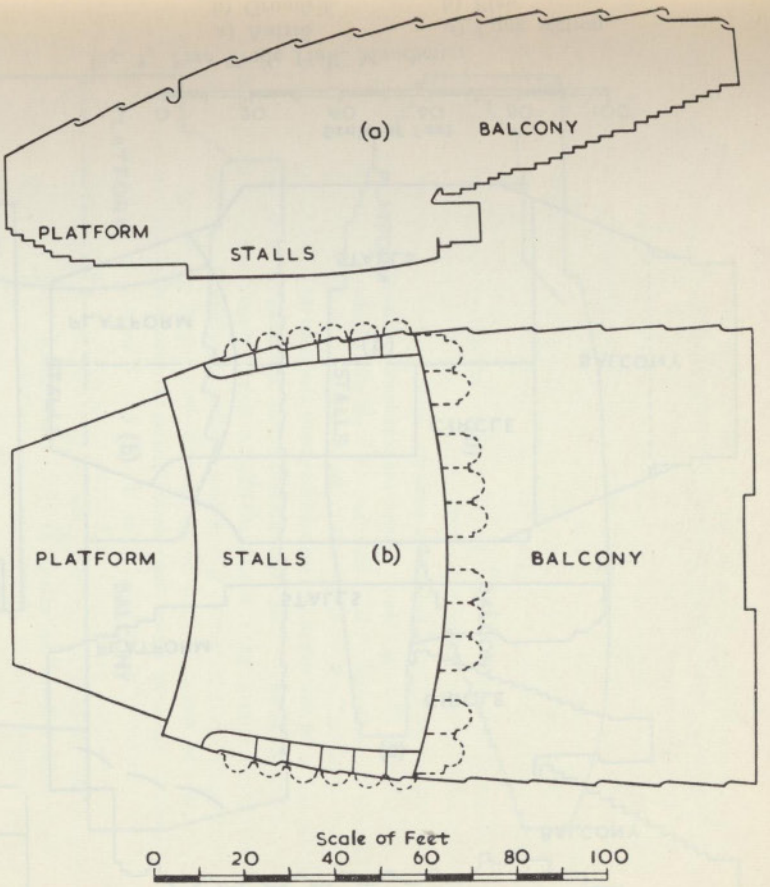


Fig. 5 Liverpool Philharmonic Hall
a) Aufriß a) Long section
b) Grundriß b) Plan

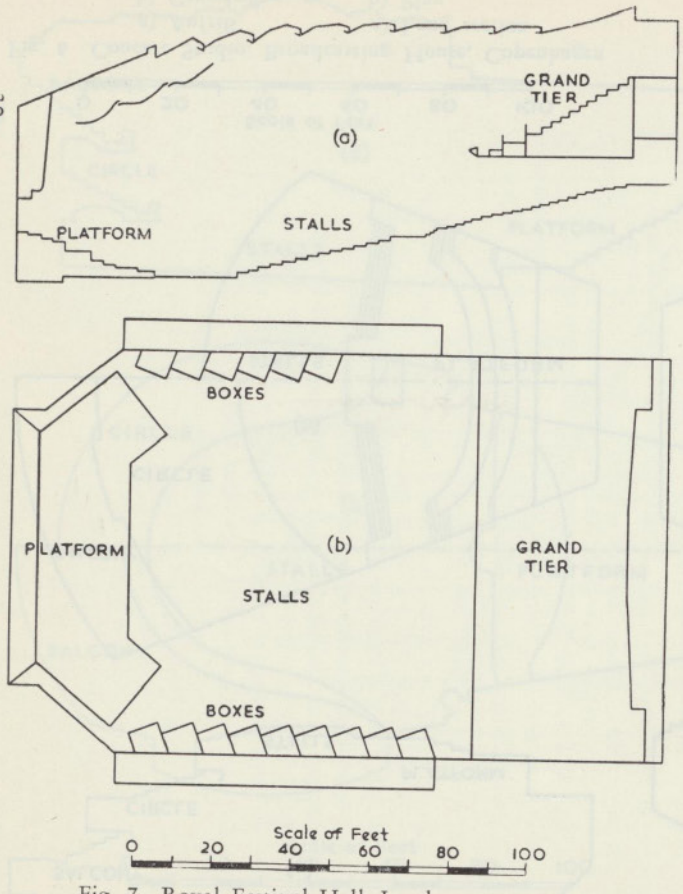


Fig. 7 Royal Festival Hall, London
a) Aufriß
b) Grundriß
a) Long section
b) Plan

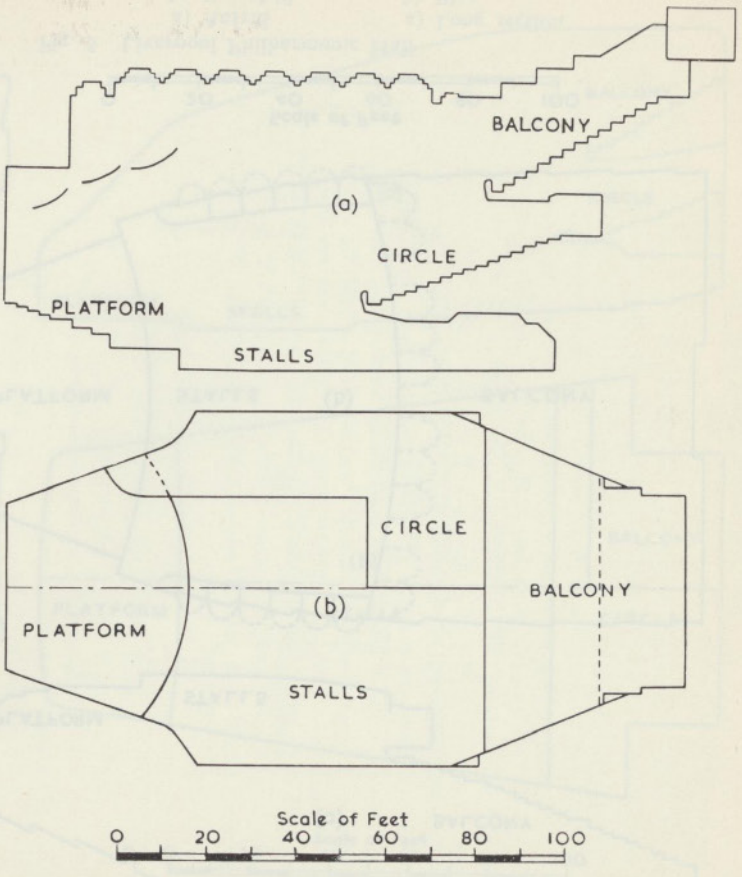


Fig. 8 Free Trade Hall, Manchester
a) Aufriß
b) Grundriß
a) Long section
b) Plan

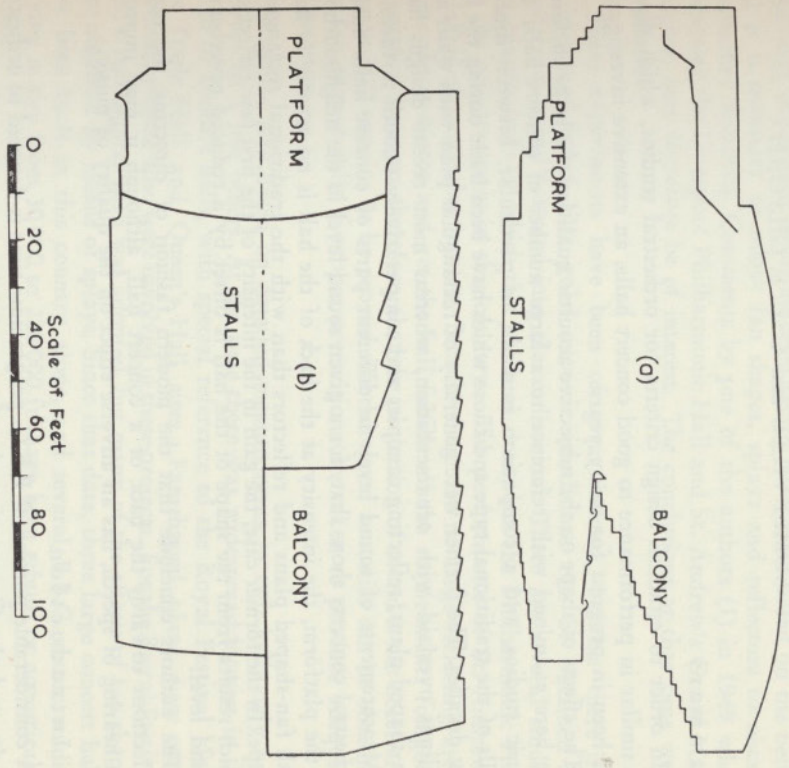


Fig. 9 Colston Hall, Bristol
a) Aufriß
b) Grundriß
a) Long section
b) Plan

Acoustics of large orchestral studios and concert halls*

by

T. SOMERVILLE and C. L. S. GILFORD

I

Summary

In order to establish design criteria for orchestral studios, which should be similar in performance to good concert halls, an extensive investigation has been in progress for many years.

The effects of shape on the subjective acoustic qualities of a large enclosure are here examined with reference to a large number of concert halls and music studios, and a comparison is made, in particular, between concert halls of the traditional type and those which have been built during the last few decades. The former were generally of rectangular plan with walls and ceilings overlaid with ornamentation, whereas most recent designs have fan-shaped plans, reflecting canopies and comparatively smooth surfaces.

Measurements of sound levels in different parts of concert halls during orchestral concerts show that, for a given sound level in the neighbourhood of the platform, the intensity at the back of the hall is no greater in halls with fan-shaped plans and reflectors than with the traditional rectangular shape. In the former case, the gain in the intensity of the first few reflections which results from the shape of the hall is offset by a reduced reverberant sound level.

The authors conclude that the modern fashion of directing the early reflections towards the back of a concert hall, although it may improve the hearing of speech, has an adverse effect on the quality of music.

(1) Introduction

A considerable portion of B.B.C. programme time is devoted to orchestral music, and the Corporation therefore maintains a number of studios to accommodate orchestras of between 60 and 100 performers. In the interests of realism it is necessary that programmes produced in these studios should have the characteristics associated with orchestras in concert halls, and for this reason the B.B.C. has studied the acoustics of many concert halls to establish acoustical standards for its own use. It is the purpose of the paper to describe the conclusions reached as a result of investigations made in many large studios and concert halls.

In recent years several new concert studios and concert halls have been built, both in this country and throughout Europe. It has now been possible

* With the kind permission of *„The Institution of Electrical Engineers", London* (first printing: March 1957).

to make detailed acoustic surveys of all the modern studios and concert halls in Great Britain and also to visit corresponding places of interest on the Continent, though without making instrumental measurements. The various points of interest will be discussed in the paper in the light of presentday experience. Most modern designs have been based on the belief that it is necessary to adopt fan shapes, splays and reflectors to obtain satisfactory acoustics. Comments by one of the authors (1) in 1949 when comparing the Liverpool Philharmonic Hall and St. Andrew's Grand Hall, Glasgow, may therefore be of interest. The conclusions at that time were as follows:

> These experiments have been of great interest, because there is a widespread belief that good acoustic conditions can be obtained by reflecting sound forward into the auditorium. There are several studios or concert halls in which this has been done, but the Philharmonic Hall is the only example in this country. The performance of St. Andrew's Hall is of particular interest, because there are no large reflecting areas near the orchestra and yet the hall fulfills all the requirements for good acoustics. It seems, therefore, that the projection of sound is not necessary, but it still remains to be proved whether good acoustics can be obtained in fan-shaped halls if proper precautions are taken to produce adequate dispersion.

The article was based on detailed measurements in two halls only and a survey of a few others. At the time there was widespread interest in the design of concert halls, with special reference to the Royal Festival Hall, Free Trade Hall and Queen's Hall sites. Fan-shaped plans were much favoured by those who were involved in these projects. For the Royal Festival Hall, a rectangular plan was adopted, but many of the effects of fan shapes were obtained by means of splays. Since that date, three large concert halls have been built in this country alone, and several B.B.C. music studios varying in size from 30 000 to 220 000 ft^3 have been rebuilt or acoustically treated.

The paper gives results of investigations made mainly in Great Britain. Objective measurements are confined to information about shape, construction and dimensions and to the acoustic parameters which are universally recognized, such as reverberation time and sound-level distribution. Details of an acoustic criterion, based on objective measurements, which gives good agreement with subjective assessments, are also given. The more general subjective assessments are based on opinions collected over a number of years by the authors from publications, newspaper criticisms and conversations with musicians and listeners. There will inevitably be disagreement with these views, which are unlikely to be accepted universally, but they are believed to be a fair representation of informed opinion.

The more detailed descriptions of acoustic characteristics are the judgments of the authors and their colleagues, and recordings demonstrating many of these effects are in existence.

Before proceeding to describe the recent investigations it may be desirable to define the terms commonly used to describe the subjective qualities of a concert hall or studio.

(2) Glossary of acoustic terms

Balance. — The loudness relationship between different groups of musical instruments in an orchestra, as heard from a point in the auditorium or by means of a microphone.

Bass masking. — The masking of instruments such as strings and woodwinds by the low-frequency instruments such as brass and percussion. It is observed in enclosures which give undue weight to the low-frequency instruments.

Coloration. — A characteristic timbre imparted by the acoustics of the enclosure. It is often caused by undamped normal modes, or resonances in the structure, which cause reradiation at specific frequencies after the exciting sound has ceased.

Deadness. — The opposite of ‚liveness'. A characteristic of enclosures in which the reverberation time is very short, or of points in an enclosure where the ratio of direct to reverberant sound is high.

Definition. — That quality which enables all the parts in an orchestral work to be heard clearly.

Diffusion (formerly dispersion). — Describes uniformity in distribution of sound energy in an enclosure.

Echoes. — Discrete reflections from surfaces so situated that the reflection arrives after the wanted sound has died away.

Flutter echoes. — A rapid multiple echo of even rate. It is usually caused by parallel reflecting surfaces between which sound is reflected in a periodic manner.

Liveness. — The term is applied *(a)* to enclosures in which the reverberation time is high, or *(b)* to a point in an enclosure where the ratio of direct to reverberant sound is low.

Pitch changes. — Rise or fall of pitch due to frequency changes in the reverberant sound as it dies away in an enclosure. (Not to be confused with the purely subjective slight fall in pitch which is always heard as the intensity of sound of fixed frequency is reduced.)

Scattering. — The effect of irregularities in the surfaces; by distributing sound, it tends to improve diffusion.

Singing tone. — A property which enables an enclosure to respond easily to any frequency and appears to be related to the manner in which the sound dies away.

Slap back. — Echoes from the rear surfaces of an enclosure.

Standing-wave system. — An interference pattern characterized by stationary nodes and anti-nodes.

(3) Characteristics of old halls

Most of the concert halls built during the latter half of the nineteenth century resembled to some extent the Gewandhaus at Leipzig. Hence these halls are often referred to as the ‚Leipzig' type. They have side and rear balconies, and the orchestra is situated on a flat platform behind which there is raked seating for the choir. Fig. 1 shows St. Andrew's Hall, Glasgow, which is a typical example. As these halls were designed for other purposes in addition to music, the floor is usually flat. In the early days much wood was used in the internal decoration, but towards the end of last century it became fashionable to employ lath and plaster with *‚stick and rag'* construction for the ornamentation, which was usually very complex. Such irregularities scatter the sound waves and produce good diffusion, although at that time this was not recognized to be an essential requirement for good acoustics. Because of the seating placed behind the orchestra, there is considerable absorption, thus making the region where the brass and percussion instruments are normally situated more dead than the front of the platform where the strings perform. The methods of construction of floors, ceilings and balconies resulted in great variation in the frequencies of the structural resonances, so that the sound absorption from this source was evenly distributed and colorations due to resonances were avoided. Good British examples of Leipzig-type halls were the Queen's Hall, London, the old Free Trade Hall, Manchester, the old Colston Hall, Bristol, the old Philharmonic Hall, Liverpool, and St. Andrew's Grand Hall, Glasgow. Unfortunately the only remaining example of these old halls is St. Andrew's Hall, all the others having been destroyed by fire. Therefore it has received detailed study in an endeavour to find the reason for their outstanding acoustic properties.

(3.1) St. Andrew's Hall, Glasgow

Most of the older halls had reasonably long reverberation times. Fig. 2 shows the reverberation times * of concert halls and concert studios discussed in the paper, plotted as a function of volume. In St. Andrew's Hall this is 1.9 sec with the audience and orchestra present. In addition, the variation between different parts of the auditorium is small, thus indicating excellent diffusion. The roof construction is entirely in timber supporting a deeply coffered ceiling of plaster, the outline of which may be seen in the long section in Fig. 1. The walls are lined with lath-and-plaster panelling in a

* The figures given are the mean values for the frequency range 125 c/s—4 kc/s

varied design, except near floor level in stalls and balconies, where wood panelling is used for protective purposes. The floor is oak strip on joists over a crypt used for storage. This construction results in distribution of the structural resonances throughout the lowfrequency region, with the result that the hall is notably free from colorations. Bass notes are very clear and unmarred by pitch changes during the decay of sound. Another characteristic of this hall is the fact that, although the reverberation time is long, it is possible to hear all the individual parts, even in loud passages.

This characteristic is well described by the music critic of *The Times* as follows:[2]

> St. Andrew's Hall is notoriously generous in its acoustics but it does not blur outlines and the fact that the texture was also clear as well as warm was a certificate of the orchestra's purity of intonation.

It may therefore be concluded that, if other essential features have been incorporated in the design, a reasonably long reverberation time is not a disadvantage. These features are:

(a) Good diffusion.

(b) A reverberation-time/frequency characteristic that does not rise at low frequencies.

(c) Local absorption behind the orchestral platform to keep the powerful instruments under control.

All these requirements have been fulfilled in St. Andrew's Hall, which has a richness of tone quite absent from all modern halls. One disadvantage of the long reverberation time is that the hall, although good, is not ideal for the hearing of speech. Parkin[3] has stated that the reverberation time is obtained at the expense of echoes from the rear and that to cure them absorption would be necessary. So far as the authors are aware the normal users of this hall have never complained of echoes, a judgment with which they agree. (This is confirmed by the fact that in all post-war subjective comparisons, e.g. that of Parkin, Scholes and Derbyshire,[4] this hall has been ranked either first or second of British halls.) In any case, the area of absorbing material which would be required to suppress echoes would be too small to reduce the reverberation time appreciably. It would indeed be possible to employ diffusing surfaces instead, which would distribute the energy over a wide angle without decreasing the reverberation time.

While trying to find reasons for the excellent acoustics of St. Andrew's Hall, a survey of the literature was carried out, and the discovery was made that the acoustic consultant for this hall was the architect who had designed the old Liverpool Philharmonic Hall completed in 1849. This architect, John Cunningham, had an extensive practice in Liverpool until he retired

in 1872. Because the Liverpool Philharmonic Hall was considered to have excellent acoustic properties, Cunningham was engaged to act in a consulting capacity for St. Andrew's Hall. This was opened in 1877, but Cunningham died before its completion. It is unfortunate that he left no description of the details of the acoustic design of these halls, for, although it is often said that the acoustics of the old concert halls were largely a matter of chance, it may be significant that Cunningham was responsible for two halls in succession both of which were good.

The success of these concert halls might be explained if the architect copied known good designs, although in this connection Caird Hall, Dundee, which is similar in design to St. Andrew's Hall, is not successful, probably because its length is too great for the other dimensions.

Several good concert halls built during the latter half of the nineteenth century have been mentioned, but this does not imply that all halls built during this period were good: the converse is, in fact, true. This was the period of rapid industrial expansion and consequently of extensive building activities including the construction of many halls throughout Great Britain. Most of them were not built specifically for music and were, in fact, not satisfactory for this purpose.

(3.2) Usher Hall, Edinburgh

In the early part of this century the design of concert halls began to differ from the Leipzig type, one well-known example being the Usher Hall, Edinburgh, opened in 1914. All the orchestral concerts at the Edinburgh International Festival are given here. This hall has a horseshoe plan with raked seating in the stalls and two balconies (see Fig. 3). Behind the orchestra are choir seats, but the side walls are close to the orchestra since the balconies do not go round beside the orchestra as in the Leipzig type. The hall is smaller in volume than St. Andrew's Hall, and as the seating accommodation is greater it has a reverberation time of 1.7 sec, which is less than is desirable. Hence the tonal quality is, by comparison, a little harsh although the hall is quite good. There are some bass colorations apparently due to structural resonances in the stage. The extensive hard surfaces near the sides of the orchestra sometimes cause accentuation of instruments which happen to be placed in the vicinity. There is less scattering than in good Leipzig-type halls and consequently less diffusion, and this would explain some observed variation in acoustics between different positions in the auditorium.

(4) Characteristics of modern halls

It has not been possible to find out the origin of the presentday belief that modern concert halls should resemble cinemas and that it is necessary to adopt a fan-shaped plan and to surround the orchestra by reflectors to

project the sound energy on to the audience. With small rooms rectangular plans may cause flutter echoes, but this phenomenon has not been observed by the authors to be of importance in any large concert halls. The reason usually given for a fan-shaped plan is that it improves the sound level at the back of the hall. The fashion appeared to start with the Salle Pleyel in Paris, which is an early example of a hall in which sound projection was attempted.

(4.1) The features of the Salle Pleyel have been described by Bagenal and Wood,[5] the basic principle being that sound should be reflected as directly as possible on to the audience, which in this hall is seated in raked stalls and two balconies. Fig. 4 shows the long section and plan of the hall. According to Andrade[6] the result, so far as speakers are concerned, is eminently satisfactory because the reverberation time is short and echoes are absent. However, the hall has a poor reputation for musical acoustics — to such an extent that it is seldom used for orchestral concerts. The reasons for this will be discussed in connection with modern halls in Great Britain which the authors have been able to investigate in detail. Although the behavior of the Salle Pleyel is not outstanding, the design principles are supported authoritively in most modern textbooks. Furthermore, those principles have been applied in varying degrees in most modern designs.

(4.2) Philharmonic Hall, Liverpool

The earliest example of a modern hall in Great Britain is the new Liverpool Philharmonic Hall, completed in 1939 to replace the old concert hall which had been burnt down. This hall is fan-shaped and the walls and ceiling are designed to act as reflectors so that the sound energy is directed from the orchestra on to the audience. A long section and plan are shown in Fig. 5. In any concert hall the audience is the main source of absorption, and it is therefore not surprising that, because much of the sound reaches the audience after very few reflections and consequently cannot contribute to reverberation, the hall is dead for its volume. The volume is 476 000 ft^3 and the reverberation time is about 1.5 sec with audience. A detailed study of this hall has been made in comparison with St. Andrew's Hall, Glasgow,[1] so that only a summary is necessary here. The tonal quality is a little harsh, owing to the short reverberation time, and the distribution of sound is somewhat patchy because of poor diffusion. It is found that the powerful instruments tend to mask the others but that this effect can be reduced if the choir seats behind the orchestra are occupied. A good feature is that there are no seats under balconies, which always present difficulty because of screening. The performance of the hall, while not comparable with the old Liverpool Philharmonic Hall, is satisfactory.

(4.3) Concert Studio, Copenhagen

An interesting example of modern design is a large concert studio built in Copenhagen in 1942 by the Danes, during the German occupation. The long section of this studio (see Fig. 6) is very reminiscent of the Salle Pleyel, but in plan it is more fan-shaped. The volume is 420 000 ft^3, and the reverberation time is 1.5 sec, which is short. In this studio the rear walls were made curved, and it was therefore necessary to apply a thick layer of absorbing material to prevent echoes, although this obviously increases the absorption which is already too high. Because of the deadness and the lack of diffusion, the tonal quality is harsh and the acoustic characteristics vary considerably from place to place. It is impossible to hear all the instruments in the orchestra in heavy passages, the more powerful instruments near the reflectors being those which predominate. For broadcasting a multi-microphone technique is therefore essential in order to enable all the parts to be heard.

(4.4) Concert Hall, Gothenburg

A modern concert hall having an acoustic performance very similar to that of the Liverpool Philharmonic Hall has been built in Gothenburg. It also is designed to reflect sound from the orchestra, but, whereas in Liverpool the interior surfaces are constructed in plaster, wood panelling is used in Gothenburg. There is no balcony but the rear seating is steeply raked. The treatment of the back wall is interesting because the architect avoided the use of absorption to prevent echoes by sloping the wall so that reflections from it would come down on the seats towards the rear. Unfortunately, in certain areas marked echoes can be heard from this surface. In this hall also, hearing is difficult and several microphones are necessary when broadcasting.

(4.5) Royal Festival Hall, London

The first concert hall to be built in Britain after the war was the Royal Festival Hall, adequate descriptions of which are to be found in the literature.[7, 8] The long section and plan are shown in Fig. 7. Its designers decided that a restangular plan should be employed in preference to a fan-shape, but although the structure is rectangular, splays, reflectors over the orchestra, and a shaped ceiling have been used to project the sound on to the audience, so that the hall is dead for the volume. The reverberation time with an audience is 1.5 sec, and the volume is 760 000 ft^3. Its designers were aware of the advantages of diffusion in concert halls, and therefore, although the general shape of the ceiling was designed to project sound forwards, it was corrugated to give diffusion. Unfortunately, this is only effective in longitudinal directions and there is little diffusion transversely. A feature of the design which caused much comment was the provision of boxes on the

side walls. According to the designers these were intended to provide diffusion, in addition to accommodating a larger audience. From the observed effect of boxes in opera houses on the Continent, the authors believe that little diffusion is obtained from this source but that there is a considerable increase in absorption produced by such cavities containing audience and draperies. If the side walls had been made diffusing, but without the increase in absorption provided by the boxes, it is probable that this hall would have been more reverberant than it now is.

The Royal Festival Hall is very good for the hearing of speech because of its deadness and the absence of prominent echoes. It is also good for chamber music and for the Mozart-size orchestra. As the size of the orchestra increases a true ensemble becomes more difficult to obtain, and for a full-size symphony orchestra, conditions, in the authors' opinion, are not entirely satisfactory. Press comments on the hall in the first eighteen months after its completion were divergent.[8] The majority considered the ‚fullness' or ‚resonance' to be satisfactory, but a minority amounting to about 40 % considered the hall too dead.

There was similarly a fairly considerable minority of unfavourable reports on blend and balance; one of these,[9] with which the authors are in general agreement, is of interest:

> Two kinds of music seem to suffer the most; the elusive atmospheric piece, and the sumptuous late Romantic scores of Wagner, Strauss and Rachmaninoff . . .
>
> It is doubtless one and the same fault which prevents these categories of music from having their proper effect. Probably the reverberation period of the hall is still just too short; possibly the steep slope of the orchestra and auditorium encourages the brass and percussion to drown the strings in the valley between. Whatever the cause it is quite astonishing how differently music of a fully saturated texture can sound in a suitable auditorium such as the Prinzregenttheatre in Munich or the Concertegebouw in Amsterdam.
>
> By the way, I must protest at the assumption that those of us who are not quite satisfied . . . are displaying a taste vitiated by long experience of the Albert Hall. . . . I can think of no famous auditorium with the peculiar dryness of tone which is to be felt at every big climax in the Festival Hall. There seems to be a growing concensus of opinion about this fault. . . .

(4.6) Free Trade Hall, Manchester

The new Free Trade Hall, Manchester, was the second large hall to be built in Britain after the war. Although intended to accommodate the Hallé Orchestra, the necessity to use it also for other purposes placed restrictions on the design as a concert hall. The original hall of the Leipzig type, which

was similar in performance to the old Liverpool Philharmonic Hall and St. Andrew's Hall, Glasgow, was destroyed by bombing. It was necessary, for economic reasons, to increase the seating in the new hall, and for this purpose, in addition to side balconies, a circle and a balcony were added, as shown in Fig. 8. To counteract screening by the balconies it was decided to fit splays behind the orchestra and reflectors overhead, but the ceiling was made flat and coffered because a reflecting ceiling was not considered to be necessary. The projection of sound is therefore not so efficient as in the other modern halls described, but even so the reverberation time is only 1.6 sec with audience in a volume of 535 000 ft^3. Consequently, although the reverberation time is shorter than is desirable, the tonal quality is less harsh and the acoustic characteristics are more satisfactory than those of the Royal Festvial Hall. There is, however, still difficulty caused by the reflectors over-emphasizing the powerful instruments, and hearing conditions vary somewhat throughout the auditorium. Because of screening, hearing is only fair at the back of stalls, circle and balcony.

(4.7) Colston Hall, Bristol

The Colston Hall was rebuilt in 1951, after destruction by fire, using the original outer shell. The auditorium plan, shown in Fig. 9, is rectangular apart from slight modifications of the back wall, and the ceiling is slightly concave in both directions. No attempt was made to break up the flat ceiling areas either with lighting rolls as in the Royal Festival Hall, or with coffering as in the Free Trade Hall. Lighting is by hanging fittings, and the only breaks in the ceiling surface are the ventilation outlets. In this hall the canopy differs from those in other post-war halls. The part of it immediately over the central stage is horizontal, with the object of reflecting sound back to the orchestra itself in order to enable the performers to hear the balance between their own instruments and the orchestra as a whole. The remainder of the canopy reflects sound into the audience, but the total sound energy thus directed is much less than in other post-war halls. The height of the auditorium ceiling is greater in relation to the volume than is the case with most concert halls. To give a convenient representation of this relationship, we may calculate the ratio of the overall height to the geometric mean of length and breadth. Comparative figures are as follows:

Liverpool Philharmonic Hall	0,34
Royal Festival Hall	0,39
St. Andrew's Hall	0,49
Colston Hall	0,53
Free Trade Hall	0,60

The orchestral platform has high risers to ensure good direct sound to the main seating area. The upper parts of the side walls are panelled with

veneered chipboard arranged in a sawtooth plan, providing bass absorption and scattering, and the walls below the balcony are panelled in solid wood with a deeply modelled profile.[10] High-frequency absorbers are sparingly used only where thought necessary to prevent long-path echoes.

The reverberation time of this hall is 1.7 sec between 500 and 1000 c/s with full audience, and just over 2 sec when empty. The former figure is higher than that for the other two post-war halls in spite of the fact that its volume (450 000 ft^3) is considerably less. The tonal quality is accordingly fuller than in either of those halls, and this has been achieved without the production of echoes. The definition is good but not, perhaps, exceptional; with the hall empty there is a tendency for the tympani and brass to be prominent, but this is less noticeable with a full audience.

(To be continued)

Le Corbusier's „Elektronisches Gedicht" und der Philips Pavillion

(Brüsseler Weltausstellung 1958)

von

JANIS XENAKIS

Dank der Initiative von Herrn Louis Kalff, dem Direktor der künstlerischen Abteilung bei Philips, hatte die Direktion der Firma sich Anfang 1956 an Le Corbusier gewandt und ihn gebeten, den Pavillon der Brüsseler Weltausstellung zu entwerfen und auszuführen:

„Ich möchte, daß Sie den Philips-Pavillon so hinstellen, daß es nicht nötig wird, auch nur den geringsten Fabrikationsgegenstand auszustellen; also eine mit kühnsten Mitteln gedachte Beweisführung dafür, wohin uns der technische Fortschritt auf dem Gebiet der Ton- und Lichteffekte in der Zukunft führen kann."

Le Corbusier: „Ich mache ihnen keinen Pavillon, sondern ein *Elektronisches Gedicht*. Eine Flasche, deren Inhalt aus folgenden, dichterischen Ingredienzien besteht:

1. Licht,
2. Farbe,
3. Bild,
4. Rhythmus,
5. Ton,
6. Architektur.

Alle diese Bestandteile stellen eine dem Publikum zugängliche, organische Synthese dar und zeigen die Hilfsmittel, deren sich die Philips-Werke für ihre Fabrikationen bedienen. Das *Elektronische Gedicht* wird zehn Minuten dauern."

Licht, Farbe und Bild sind von Le Corbusier persönlich zusammengestellt. Er selbst konzipiert auch das optische „Regiebuch", die visuelle Übertragung realer Gegebenheiten der Gegenwart, vom Mikrokosmos der Atome und den Maschinen in den Fabriken über das Kinderlächeln bis zum Chaos unter den Sternen.

Le Corbusier wählte für die Musik, die ja ein von der realen und psychischen Erscheinungswelt untrennbarer, ergänzender Faktor ist, einen der hervorragendsten Komponisten der Jetztzeit, den explosiven Vorläufer des Klangzerfalls, der rhythmischen Auflösung und der Entflechtung der Tonsprache, *Edgar Varèse*, diesen „Jüngling von 70 Jahren" (klangliche Vorführung von acht Minuten). Mir selbst wurde von Le Corbusier eine bescheidenere Aufgabe gestellt (zwei Minuten musikalischen Zwischenspiels).

Die „Hülle" des Pavillons war ursprünglich als „irgendein geschlossenes Gebilde mit konkaven, konvexen und ebenen Oberflächen aus Drahtgewebe mit kanonenrohrartigen Vorsprüngen aus Zement" gedacht, „das

Ganze an zahlreichen Punkten unter einem Gerüst aufgehängt, das gleichzeitig als Bedachung dient".

Der Pavillon faßt nach dem gegenwärtigen Plan 400 bis 500 Personen; außerdem sind in ihm die Apparate für die visuellen und auditiven Vorführungen sowie die Thyratrongeräte, die den automatischen Ablauf ermöglichen, untergebracht. Alles ist auf Magnetophonband aufgenommen. Das *Elektronische Gedicht* ist so in großen Zügen definiert.

Im Oktober 1956 beauftragte mich Le Corbusier, die architektonischen und technischen Konstruktionspläne des Pavillons zu studieren. Ich mußte alle vorgefaßten Ideen beiseite lassen und ganz von vorn anfangen, um eine architektonische Lösung zu finden, die dieser außergewöhnlichen Begegnung derart verdichteter, künstlerischer Gegebenheiten würdig war. (Die künstlerischen Komponenten waren von Le Corbusier und Herrn Kalff definiert).

Die daraus entstehende Analyse ergab folgende Gleichungen:

1. Für das Publikum bestimmter Saal = a) Innere Oberfläche etwa 400 bis 500 qm („Magen"),
   b) zwei Röhrengänge als Ein- und Ausgang für das stehende Publikum;
2. Eigenschaften des Auditoriums und Elektroakustik (hier sind alle Errungenschaften der Gegenwart auf dem Gebiet der elektroakustischen Musikgestaltung zusammengefaßt) = außerordentlich geringer Nachhall; Vermeidung paralleler Ebenen (zahlreiche Reflektionsmöglichkeiten); keine Tetraëder (Nachhall durch winkelhalbierende Ebenen der Keile); gekrümmte Oberflächen mit beständig variablen Krümmungsradien;
3. Licht-Projektion = zurückweichende Oberflächen, die senkrechtes, schräges und streifendes Licht auffangen; bewegliche, einfangende, zurückweichende und drehbare Räume;
4. Technische Konstruktion = einfache Regelflächen (wenn möglich, schon experimentell erprobt); eventuell freitragende Deckenschalen.

Die Arbeiten von B. Lafaille und der persönliche Kontakt mit ihm hatten uns mit den Konoïden und hyperbolischen Paraboloïden schon vertraut werden lassen. Damit war der Schlüssel gegeben — die Konstante —, mit der die Gleichungen gelöst werden konnten! Logisch gesehen müssen die vier Funktionsgleichungen bei einer durch konoïde und hyperbolische Paraboloïde gebildeten Hülle nicht nur aufgehen, sondern die Hülle selbst wird auch zu einem sprechenden architektonischen Bild.

Die gefundene Form ist von mathematischer Strenge und plastisch organisch:

1) Innerer Hohlraum (Zeichnung I),
2) Die durch die ersten beiden hyperbolischen Paraboloïde sich ergebenden Spitzen (Zeichnung II),
3) Die dritte Spitze schafft das Gleichgewicht zu den beiden ersten und richtet sie wieder auf (Zeichnung III),
4) Verfeinerung der architektonischen Linien (Zeichnung IV).

Die Deckenschale sollte entweder gerippt oder freitragend sein. Wie konnte eine solche Konstruktion durchgeführt werden?

Mehrere Wochen Arbeit waren nötig, und es mußten unzählige Verbindungen aufgenommen werden, um die Persönlichkeiten zu finden, welche genau für diese schwierige Aufgabe qualifiziert waren:

Einen Theoretiker (Herrn Vreedenburgh, Professor für Mechanik an der Universität Delft: „Seit 20 Jahren warte ich auf die Gelegenheit, ein so erschöpfendes Projekt wie das Ihre auszuführen") und

Einen Konstrukteur (Herrn Duyster, Verwaltung der STRABAD-Firma in Brüssel).

Sie hatten die Aufgabe: in zwei Wochen

a) die theoretischen Berechnungen der hyperbolisch-paraboloïden Deckenschalen aufzustellen,
b) Belastungsproben an einem verkleinerten Modell im Laboratorium vorzunehmen.

Das Resultat war, daß es ohne weiteres möglich ist, den Pavillon völlig in hyperbolischen Paraboloïden durchzuführen. Die Deckenschalen sind aus 5 cm dickem Beton. Die Konstruktion ist FREITRAGEND. So wird also mit dem Pavillon der Brüsseler Weltausstellung 1958 zugleich eine technische Neuschöpfung auf dem Gebiet der synthetischen Verwendung neuer Oberflächen (hyperbolische Paraboloïde) entstehen.

Im Architektenberuf kommt es selten vor, daß eine derart außergewöhnliche Arbeitsgemeinschaft von Technikern und Theoretikern sich so schnell zusammenfindet. Hier war die geistige Qual des Unverständnisses völlig ausgeschaltet. Dank der inneren Haltung dieser Männer, dank ihrer wissenschaftlichen und technischen Integrität wurde es möglich, mit Riesenschritten vorwärts zu gehen und ein Werk durchzuführen, das bis jetzt noch nicht unternommen wurde. Ich spreche nicht nur von den Herren Vreedenburgh und Duyster, sondern ganz allgemein und an erster Stelle von Herrn Kalff als scharfsichtigem, geduldigem und beharrlichem Sachkenner, von dem

von Herrn
Elektronische
Räumen ent-

von Le Cor-
niert: Pano-
gung Bilder
und Lichter
Unsichtbare;
n stehenden
gödien; pla-
Mittel und
rchgehenden
wanken und
ehr vermag,

es Pavillon-
mittels aku-
ren geführt.
Tonbahnen
ranstaltung.
cht sind ein
rchitektoni-

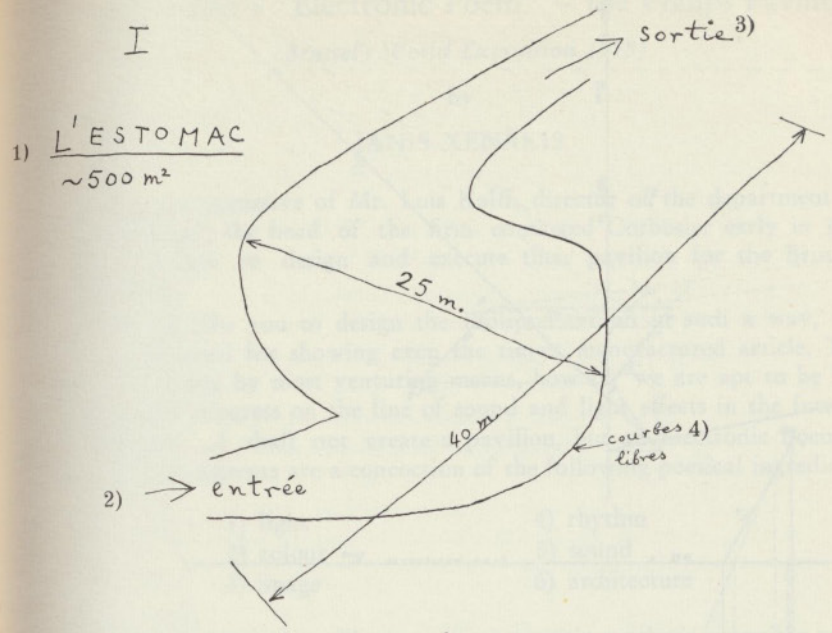
raboloïde

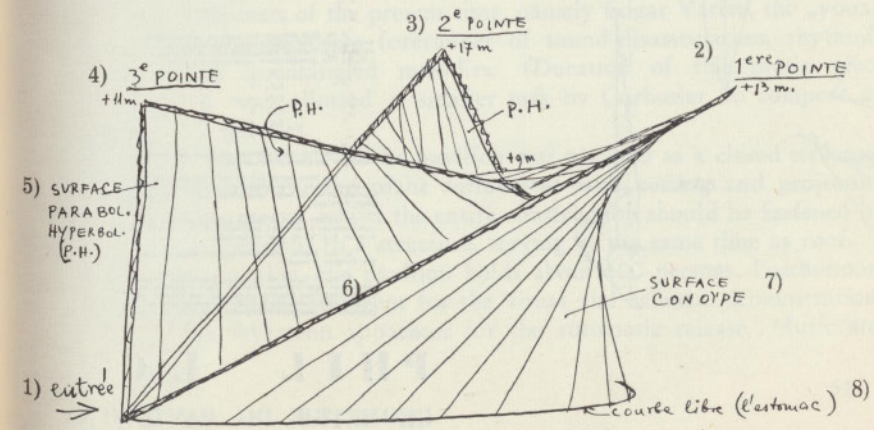
iche
g („Magen")
ze stützt die
d hält sie im

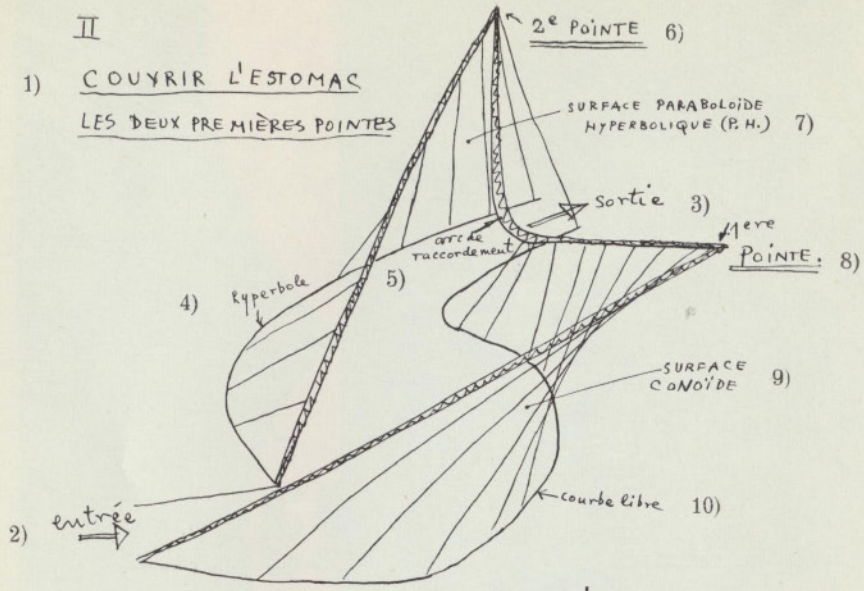
r architekto-

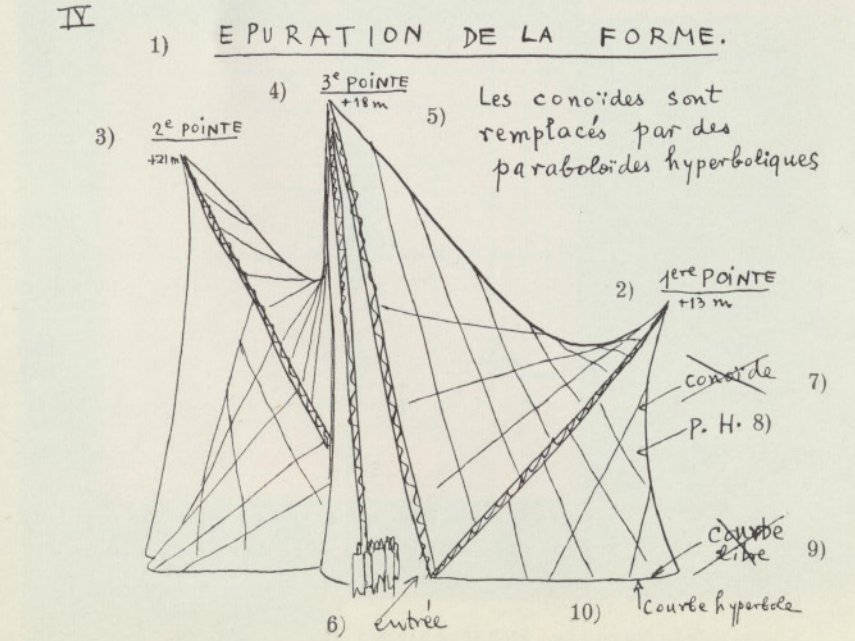
Linien sind
sche Parabo-

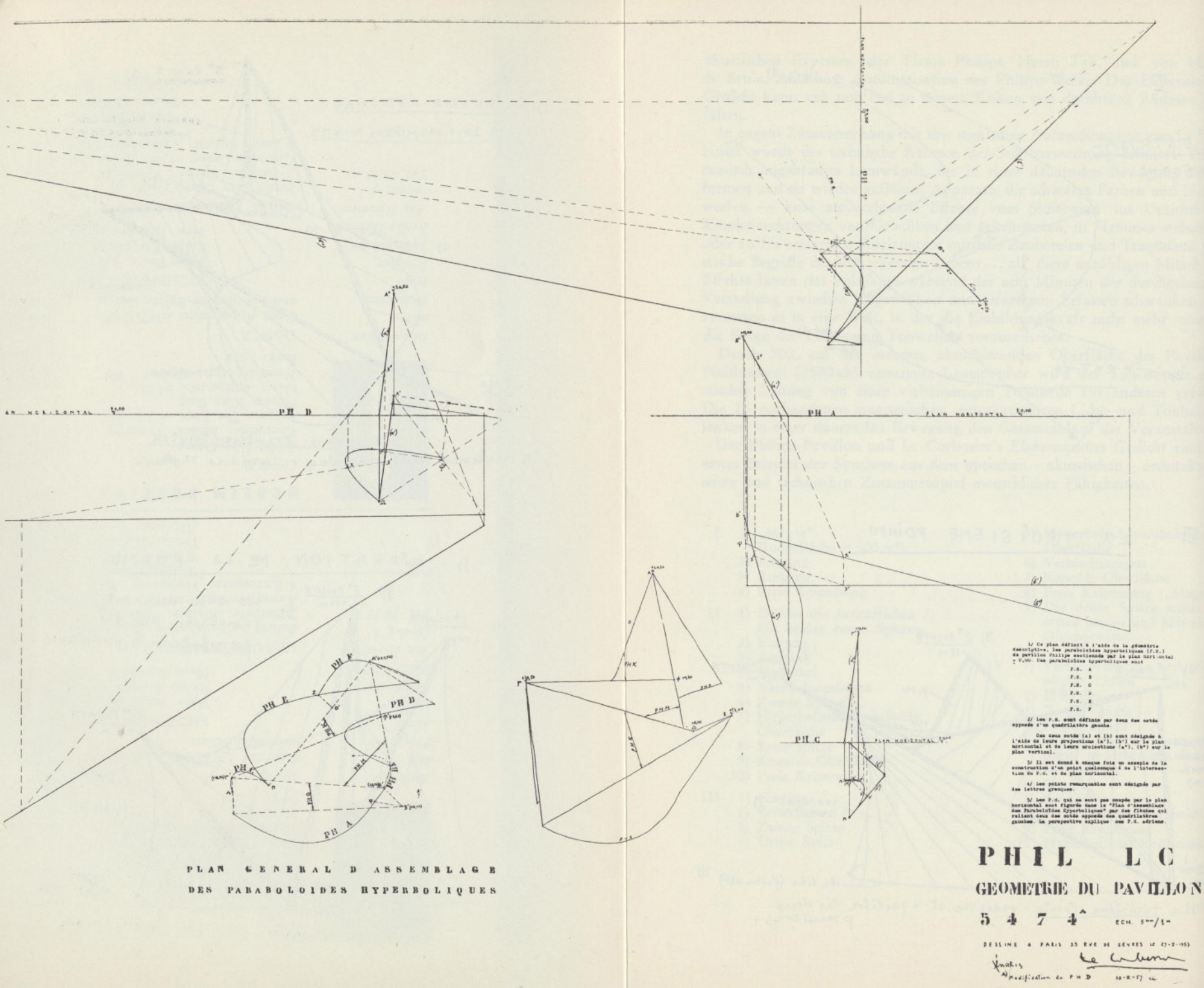
Paraboloïd
g
rümmung











PLAN GENERAL D ASSEMBLAGE
DES PARABOLOIDES HYPERBOLIQUES

1/ Ce plan définit à l'aide de la géométrie descriptive, les paraboloïdes hyperboliques (P.H.) du pavillon Philips sectionnés par le plan horizontal à 0,00. Ces paraboloïdes hyperboliques sont

P.H. A
P.H. B
P.H. C
P.H. D
P.H. E
P.H. F

2/ Les P.H. sont définis par deux des cotés opposés d'un quadrilatère gauche.

Ces deux cotés (a) et (b) sont désignés à l'aide de leurs projections (a'), (b') sur le plan horizontal et de leurs projections (a''), (b'') sur le plan vertical.

3/ Il est donné à chaque fois un exemple de la construction d'un point quelconque P de l'intersection du P.H. et du plan horizontal.

4/ Les points remarquables sont désignés par des lettres grecques.

5/ Les P.H. qui ne sont pas coupés par le plan horizontal sont figurés dans le "Plan d'assemblage des Paraboloïdes Hyperboliques" par des flèches qui relient deux des cotés opposés des quadrilatères gauches. La perspective explique ces P.H. aériens.

PHILIPS

GEOMETRIE DU PAVILLON

5 4 7 4^ ECH. 5m/1m

DESSINE A PARIS 35 RUE DE SEVRES LE 27-2-1953

Iannis Xenakis
Modification du P.H.D 10-8-57

Le Corbusier

akustischen Experten der Firma Philips, Herrn Tak, und von Herrn de Bruin, Abteilung Automatisation der Philips-Werke. Das *Elektronische Gedicht* kann sich nun frei in seinem Kokon von drehbaren Räumen entfalten.

In engem Zusammenhang mit den szenischen Aufzeichnungen von Le Corbusier wurde der technische Rahmen der Sichtbarmachung definiert: Panoramisch angebrachte Leinwände, die in einer dauernden Bewegung Bilder formen und sie wieder auflösen; Apparate, die schwarze Farben und Lichter werfen — kurz aufleuchtende Effekte vom Sichtbaren ins Unsichtbare; Kinobeleuchtungen von Gewölben und gekrümmten, in Flammen stehenden oder zu Eis erstarrten Horizonten; optische Zaubereien und Tragödien; plastische Begriffe des sich regenden Lebens ... all' diese unzähligen Mittel und Effekte lassen das Publikum während der acht Minuten der durchgehenden Vorstellung zwischen Ungewißheit und sofortigem Erfassen schwanken und versetzen es in eine Welt, in der die Einbildungskraft nicht mehr vermag, die Folge der Licht- und Tonwellen vorauszusehen.

Durch 300, auf der inneren, absorbierenden Oberfläche des Pavillon-Hohlraumes (7500 cb) verstreute Lautsprecher wird der Ton mittels akustischer Leitung von einer vielstimmigen Tonquelle zur anderen geführt. Die 15 vorhandenen magnetischen, automatisierten Licht- und Tonbahnen lenken in einer dauernden Bewegung den Gesamtablauf der Veranstaltung.

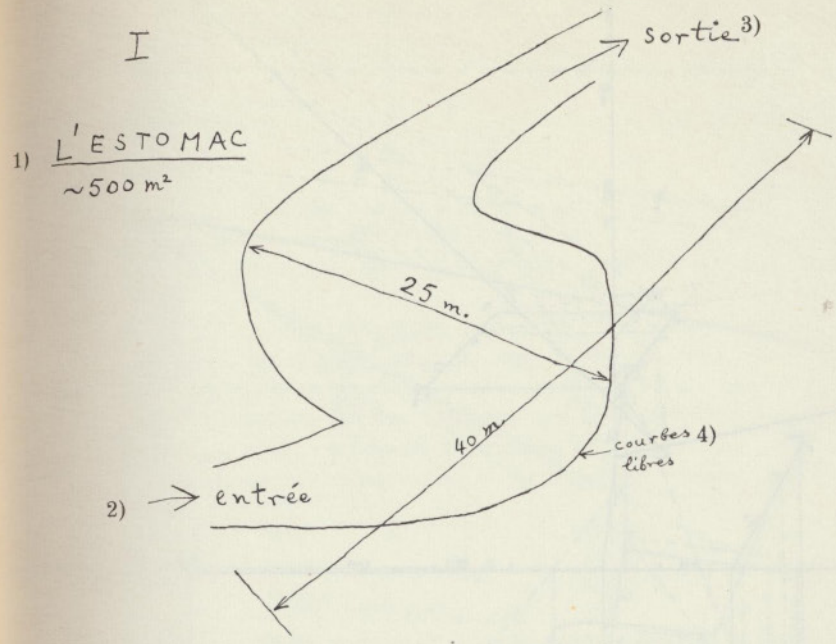
Der Philips-Pavillon und Le Corbusier's *Elektronisches Gedicht* sind ein erstes Beispiel der Synthese aus dem optischen - akustischen - architektonischen und technischen Zusammenspiel menschlicher Fähigkeiten.

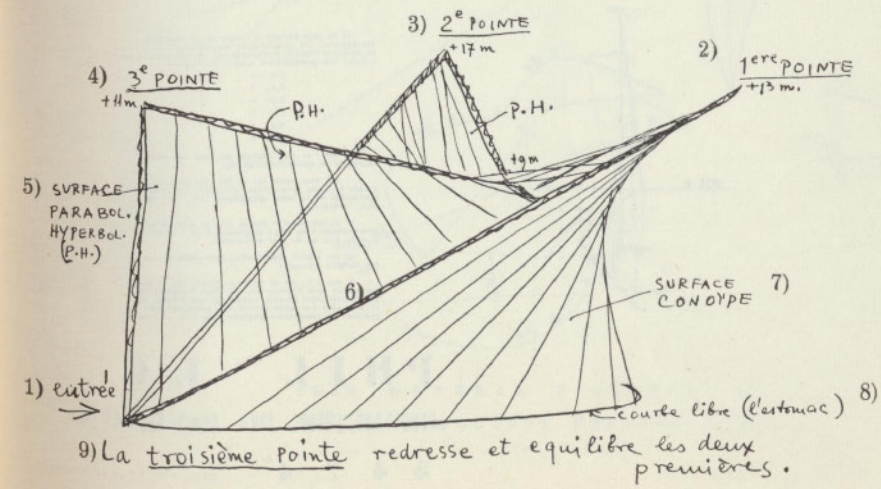
I 1) „Magen"
(Innenfläche = 500 m²)
2) Eingang
3) Ausgang
4) Freie Krümmung

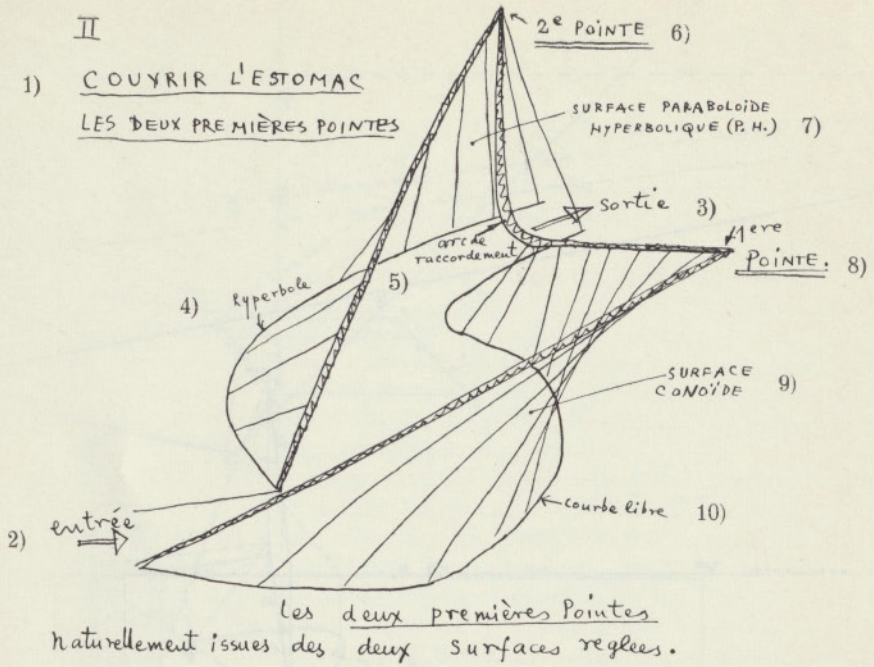
II 1) Decken der Innenflächen / Die beiden ersten Spitzen
2) Eingang
3) Ausgang
4) Hyperbel
5) Verbindungsbogen
6) Zweite Spitze
7) Hyperbolisch-paraboloïde Oberfläche
8) Erste Spitze
9) Konoïde Oberfläche
10) Freie Krümmung

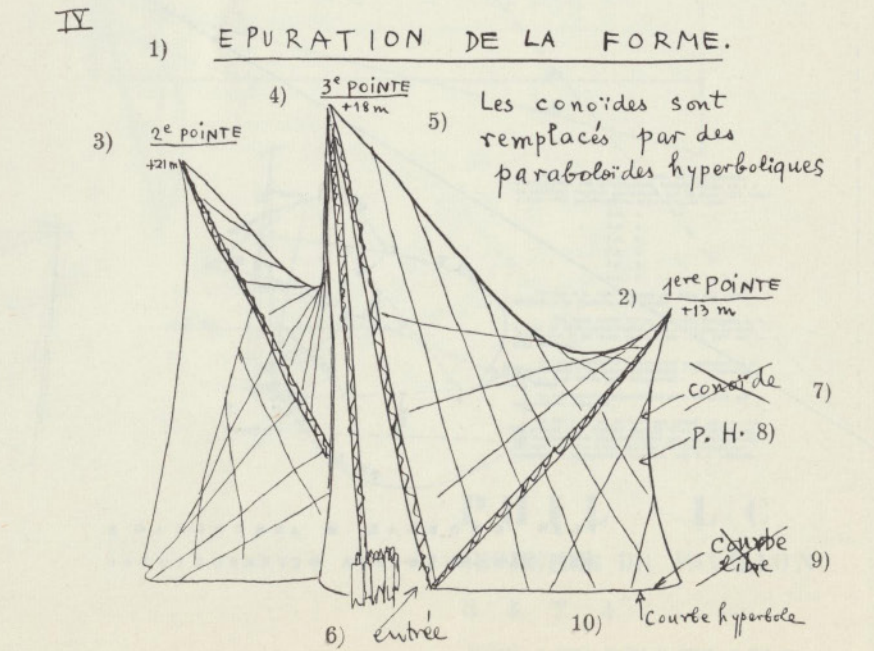
III 1) Eingang
2) Erste Spitze
3) Zweite Spitze
4) Dritte Spitze
5) Hyperbolisch-paraboloïde Oberfläche
6) Verbindungsgrat
7) Konoïde Oberfläche
8) Freie Krümmung („Magen")
9) Die dritte Spitze stützt die ersten beiden und hält sie im Gleichgewicht

IV 1) Verfeinerung der architektonischen Linien
2) Erste Spitze
3) Zweite Spitze
4) Dritte Spitze
5) Die konoïden Linien sind durch hyperbolische Paraboloïde ersetzt
6) Eingang
7) Konoïd
8) Hyperbolisches Paraboloïd
9) Freie Krümmung
10) Hyperbolische Krümmung









Le Corbusier's "Electronic Poem" – the Philips Pavilion

(Brussel's World Exposition 1958)

by

JANIS XENAKIS

Due to the initiative of Mr. Luis Kalff, director of the department for art at Philips', the head of the firm contacted Corbusier early in 1956 and asked him to design and execute their pavilion for the Brussel's World Fair.

„I should like you to design the Philips-Pavilion in such a way, that there is no need for showing even the tiniest manufactured article. That means to prove by most venturing means, how far we are apt to be lead by technical progress on the line of sound and light effects in the future."

Corbusier: „I shall not create a pavilion, but an Electronic Poem — a jar, whose contents are a concoction of the following poetical ingredients:

1) light
2) colour
3) image
4) rhythm
5) sound
6) architecture

All these components will represent an organic synthesis accessible to the public, demonstrating at the same time the accessories used by Philips in the course of production. The Electronic Poem will last 10 minutes."

Corbusier himself combined light, colour, and image. It was he who elaborated the optical „textbook", the visual transformation of real facts of the presence, ranging from the micro-cosmos of atoms, and the machines in factories, to the smiling face of a baby and the chaos among the stars.

For composing the complementary music, being unseparable from both the real and the psychical phenomena, Corbusier choose one of the most prominent composers of the present time, namely Edgar Varèse, the „young man of 70", the explosive forerunner of sound-disassociation, rhythmic distortion and disentangled melodies. (Duration of this music piece 8 minutes). I was allotted a smaller task by Corbusier, to compose an interlude of 2 minutes.

Originally the contour of the pavilion was planned as a closed structure with concave, convex, and plane surfaces of wire netting and projecting „gun tubes" of cement, whilst the entire construction should be fastened by innumerous suspensions to a structure, serving at the same time as roof.

In the present plan, the pavilion holds about 500 persons. Furthermore it accommodates the equipment for the visual and acoustic demonstrations as well as the thyratron apparatus for the automatic release. Music and

sound effects are recorded on magnetic tape. Thus the main features of the Electronic Poem are outlined.

In October 1956 Corbusier asked me to study the architectural and technical design of the pavilion. I had to discard any preconceived idea and start from anew to find an architectural solution corresponding to this extraordinary confrontation of concentrated, artistic facts. (The artistic components were defined by Mr. Corbusier and Mr. Kalff.)

The resulting analysis fits the following equations:

1) Hall for the audience =
   a) Interior surface between 400 and 500 m² („stomach")
   b) Two tube-like corridors as entry and exit for the standing visitors.
2) Characteristics of the auditorium and electro-acoustics*) =
   Extremely short reverberation time; avoiding of parallel surfaces (numerous possibilities for reflections); no tetrahedrons (reverberation through bisection of „dièdres"); arched surfaces with radiating curves, continuously changeable.
3) Projection of light =
   Receding surfaces, gathering vertical, diagonal, and oblique light; movable, catching, receding, and rotating rooms.
4) Technical construction =
   plain, well planned, if possible tested surfaces; perhaps self-supporting (free swinging) bowls for the ceiling.

Through personal contact with B. Lafaille and the knowledge of his studies, we were already accustomed to conoids and hyperbolic-paraboloids. They are the clue — the constant — by which the above-mentioned equations could be solved. It is but logical, that the functional equations not only are soluble by a contour formed through conoids and hyperbolic-paraboloids, but, the contour itself turns out to be a convincing architectural image.

The resulting form is both mathematically strict and plastically organic:

Fig. 1 Interior
Fig. 2 Peaks resulting from the first two hyperbolic-paraboloids
Fig. 3 The third peak balancing and „lifting" the first two
Fig. 4 Elaboration of architectural features.

The ceiling was intended to be either corrugated or self-supporting. What about the possibilities for the realization of such a construction?

*) (here all acquisitions of the present time concerning electro-acoustic influence on music are combined.)

Not only did the work entail several weeks but also many relations had to be established in order to find the two personalities, suited for the difficult task: One, the physicist (Mr. Vreedenburgh, Professor of Mechanics at the Delft University, who said: „For 20 years I have been waiting for the opportunity of executing a project as comprehensive as yours"), and the other, the construction engineer (Mr. Duyster, administration of the firm STRABAD, Brussel).

Within a fortnight, they accomplished

a) the theoretical calculation of the hyperbolic-paraboloid bowls for the ceiling
b) a static test by means of a scaled down model in the laboratory.

According to these investigations the construction of the entire pavilion in hyperbolic-paraboloids is possible without difficulties. The bowls of the free swinging ceiling are of 5 cm concrete. Thus the pavilion of the Brussel's World Fair 1958 will represent a technical novelty with regard to the synthetic application of new (hyperbolic-paraboloid) surfaces.

In architectural work it does not very often occur for such an extraordinary team of technicians and physicists to harmonize within a short time. But here the distressing process of overcoming a mutual ignorance was absolutely eliminated. It was the attitude of these men, their scientific as well as their technical integrity which resulted in a creation heretofore not performed.

Here I must mention not alone Mr. Vreedenburgh and Mr. Duyster but above all Mr. Kalff, a perspicacious, patient, and insistent expert and Mr. Tack, the acoustics specialist of Philips.

Now the Electronic Poem can be freely displayed in its cocoon of revolving rooms.

In close connection with the scenical memorandum of Corbusier, the technical outline of the visualization was defined:

Panoramic screens, continuously reproducing and resolving pictures; apparatus, alternately casting lights and black colours; flashing effects, ranging from the visible to the invisible areas; cinema illuminations of vaults and curved skylines aflame or frozen to ice; magics and tragedies by optic means; plastic ideas of starting life . . . all these countless means and effects keep the audience for 8 minutes of uninterrupted performance, wavering between uncertainty and instantaneous comprehension, transferring them into a world in which imagination is not able to anticipate the sequence of light and sound waves.

By 300 loudspeakers, distributed on the inner, absorbing surfaces of the pavilion (7500 m^3) the sound is acoustically conducted from one polyphonic sound source to the other. 15 magnetic, automatic light and sound tracks direct the total runoff of the program in a ceaseless movement.

The Philips Pavilion and Corbusiers Electronic Poem are an outstanding example for the synthesis of optical, acoustical, architectural, and technical interaction of human capacities.

I
1) „Stomach"
(Inner walls = 500 m^2)
2) Entrance
3) Exit
4) Free curves

II
1) Ceiling of inner walls / First two points
2) Entrance
3) Exit
4) Hyperbola
5) Joining arch
6) Second point
7) Hyperbolic paraboloid surface
8) First point
9) Conoid surface
10) Free curve

III
1) Entrance
2) First point
3) Second point
4) Third point
5) Hyperbolic paraboloid surface
6) Joining arch
7) Conoid surface
8) Free curve („Stomach")
9) The third point supports and holds the first two in equilibrium

IV
1) Refinement of the architectural lines
2) First point
3) Second point
4) Third point
5) The conoid lines are replaced by hyperbolic paraboloids
6) Entrance
7) Conoid
8) Hyperbolic paraboloid
9) Free Curve
10) Hyperbolic curve

Drei Entwürfe zur Berliner Philharmonie

von

L. CREMER, Berlin

Der im letzten Jahre durchgeführte beschränkte Wettbewerb zur Berliner Philharmonie dürfte wohl den ersten Fall darstellen, bei welchem den Wettbewerbsbedingungen auch akustische Richtlinien beigefügt waren. Mögen auch diese vom Verfasser eigentlich für den endgültigen Bau ausgearbeiteten Richtlinien manche Forderung enthalten haben, deren Einhaltung sich an Hand eines Entwurfs noch garnicht nachprüfen läßt, so hatte doch jedenfalls diese Betonung der Wichtigkeit der akustischen Forderung den Erfolg, daß jeder der 10 Architekten, die der Aufforderung zur Beteiligung Folge leisteten, sich mit einem akustischen Berater zusammensetzte. Dadurch wiederum waren alle Entwürfe so weit frei von akustischen Fehlern, daß eventuell verbesserungsbedürftige Punkte leicht geändert werden konnten, ohne architektonisch Wesentliches zu ändern. Auf der anderen Seite zeigten sie auch durch ihre architektonische Verschiedenheit, daß die Beachtung akustischer Richtlinien keineswegs zu einem einzigen Konzertsaaltyp führt, bei welchem nur noch Details die Hand des Architekten erkennen lassen. Diese Bewegungsfreiheit würde auch dann gelten, wenn es ganz bestimmte ideale akustische Bedingungen für einen Konzertsaal gäbe. Selbst dann würde die Raumakustik verschiedene gestalterische Möglichkeiten offen lassen. Aber, — wie der Verfasser bereits früher in den GRAVESANER BLÄTTERN (2/3) dargelegt hat —, solche eindeutigen akustischen Bedingungen sind wahrscheinlich garnicht vorhanden, wie man schon daraus erkennt, daß so unterschiedliche Räume wie der WIENER MUSIKVEREINSSAAL und der Konzertsaal in GÖTEBORG beide in ihrer Art als vorzüglich angesehen werden; ja das Vorhandensein eines nachweisbaren Optimums und eine daraus folgende Normierung der Konzertsäle wäre garnicht einmal erwünscht.

Als Beitrag zur Veranschaulichung dieser Vielseitigkeit seien im folgenden 3 Entwürfe zur Berliner Philharmonie kurz diskutiert, die alle drei vom Verfasser in akustischer Hinsicht bearbeitet und vom Preisgericht ausgezeichnet worden sind. Es sind dies

1. der in Abb. 1 in Schnitt und Grundriß gezeigte Entwurf der Architekten GEBER und RISSE, Berlin, der vom Preisgericht angekauft wurde,
2. der in Abb. 2 in gleicher Weise gezeigte Entwurf von Prof. OCHS, Berlin, der den dritten Preis erhielt, und schließlich
3. der mit dem ersten Preis ausgezeichnete Entwurf von Prof. SCHAROUN, Berlin, den Abb. 3 ebenfalls in Schnitt und Grundriß wiedergibt.

Obschon der akustische Berater mit Einverständnis des Preisgerichts und der von ihm beratenen Architekten auf diese Weise in sehr verschiedene Gestaltungsabsichten Einblick hatte, so zeigt doch bereits ein erster Überblick über die Pläne, daß dies nicht zu einer Ideenübertragung geführt hat. Vielmehr bestanden in allen drei Fällen seitens der Architekten bereits gewisse Gestaltungsabsichten, und der akustische Berater hat auf diese nur im Sinne der Vermeidung von voraussagbaren Schwierigkeiten Einfluß genommen. Daß solche Empfehlungen gelegentlich auch die Anregung für neue gestalterische Lösungen ergeben, gehört zu den reizvollsten Seiten der sonst ziemlich nüchternen Beratertätigkeit.

Übrigens bestand insofern eine gewisse Trennung, als der Verfasser zu jedem der Entwürfe einen anderen Assistenten zuzog, der dann nur diesen kannte. Es waren dies die Herren H. J. ZEMKE bei 1, D. SCHWARZE bei 2 und L. SCHREIBER bei 3.

Die Reihenfolge, in der die Entwürfe genannt sind, und in der sie nachfolgend auch besprochen werden sollen, hat übrigens nichts mit der steigenden Anerkennung der architektonischen Lösung durch das Preisgericht zu tun. Sie ist nach rein akustischen Gesichtspunkten gewählt und auch hier nicht im Sinne einer Wertung, sondern im Sinne eines Fortschreitens von Erprobtem und Bewährtem zu Neuland und Wagnis.

Wir werden ferner bei dieser Gegenüberstellung diejenigen akustischen Fragen übergehen, die allen Entwürfen gemeinsam sind, und die bei ihnen in gleicher Weise gelöst werden können. Das sind die Fragen des Schallschutzes, sowohl nach außen wie gegen die Vorräume, sowie die Fragen der Nachhallzeit bei mittleren und hohen Frequenzen. Da es erfreulicherweise bei keinem der Entwürfe nötig ist, nennenswert große Flächen schallschluckend zu machen, um störende Echos zu vermeiden, ist die Nachhallzeit oberhalb 500 Hz durch den Luftraum je Sitzplatz und eine geeignete Wahl der Bestuhlung gegeben, die einerseits keinen zu großen Unterschied zwischen leerem und besetztem Raum zulassen soll, andererseits aber im besetzten Raum so wenig wie möglich zusätzlich schlucken soll.

Nur hinsichtlich der nicht durch Publikum und Bestuhlung genügend gewährleisteten Schluckung bei tiefen Frequenzen gehen die Entwürfe auseinander, und die diesbezüglichen Maßnahmen sollen daher Erwähnung finden.

Die Hauptunterschiede, die hier diskutiert werden sollen, liegen jedoch in Raumform und Raumaufteilung.

*

Der Entwurf von GEBER und RISSE hat eine längliche Form, was am deutlichsten in dem Verhältnis der größten Länge - zur größten Breite - zur größten Höhe mit 10 : 6,3 : 2,9 zum Ausdruck kommt. Etwa 1/4 der Länge wird vom Orchester und Chor eingenommen, die in klarer Gegenüberstellung zu den Zuhörern angeordnet sind. Nicht einmal seitlich vom Orchester gibt es Logen oder Balkone.

Diese klare Aufteilung in Bereiche der Mitwirkenden und Bereiche derjenigen, denen etwas dargeboten werden soll, hat zunächst zweifellos Vorteile für alle szenischen Darstellungen, die immer mehr und mehr auch mit Konzertveranstaltungen kombiniert werden. Szenische Aufbauten brauchen nur nach einer Seite zu wirken, Scheinwerfer nur auf eine Richtung Rücksicht zu nehmen, und die Darsteller brauchen nur für eine Seite zu spielen.

Die Frage ist, inwieweit das auch für die Akustik gilt. Die Tatsache, daß ein an einer Stelle im Raum erzeugter Schall überall teils aus Gründen allseitiger Abstrahlung, teils wegen der Rückwürfe zu hören ist, wird oft dahin ausgelegt, daß es bei ihm auf Richtung nicht ankommt. Demgegenüber wissen die Tonmeister und Toningeneure genau, wie sehr kleine Änderungen der Mikrophonaufstellungen gewisse Änderungen in der Deutlichkeit eines Instrumentes bringen. Vom Akustiker aus gesehen, liegen die Dinge einfach so, daß eine Schallsendung um so gerichteter ist, je größer die Sendefläche und je kleiner die Wellenlänge ist. Dabei sind nicht nur die Grundtöne maßgebend, sondern bei manchen Instrumenten (Geigen, Trompeten) die Obertöne. Manche Dirigenten, unter ihnen beonders HERMANN SCHERCHEN und LEOPOLD STOKOWSKI, bemühen sich, diesen Gegebenheiten Rechnung zu tragen, indem sie die Instrumente, deren Richtwirkung meist zu wenig zur Geltung kommt, wie die Kontrabässe, hoch und zum Publikum hin gerichtet aufstellen, andere, deren Richtwirkung oft zu ausgesprochen ist, und die dadurch leicht zu stark hervortreten, wie z. B. die Trompeten, tief.

Eine weitere Möglichkeit für die Beeinflussung der Wirkung der einzelnen Instrumente bietet die Aufstellung oder Aufhängung von jeweils reflektierenden oder schluckenden Flächen hinter, neben oder über dem Orchester je nach Art der Darbietung, kurz die planmäßige Benutzung der „akustischen Kulisse", wie sie beim MÜNCHENER HERKULESSAAL mit den verstellbaren Plexiglas-Reflektoren begonnen und in STOCKHOLM fortgeführt wurde. Diese aber ist nur möglich, wenn, wie im vorliegenden Entwurf, der Bühnenteil klar dem Zuhörerteil gegenüber liegt.

In dem GEBER - RISSE'schen Entwurf ist diese Möglichkeit nur dadurch angedeutet, daß die große Schrägfläche über dem Vorderteil des Podiums leicht schwenkbar ist. In der gezeichneten Form führt sie vorzugsweise den Streicherklang ins mittlere Parkett. Die hintere Schrägfläche dient dem Chor. Im Einzelnen wäre die Gestaltung dieser Flächen noch durch akustische Modellversuche zu klären gewesen, aber es ist ein besonderer Vorzug dieses Entwurfes, daß hier noch eine große Freiheit bis zur Verwendung der „akustischen Kulisse" möglich ist.

Das Wiederabfallen der Decke über dem Rang vermeidet eine sonst zur Bühne zurücklaufende Doppelreflexion von Rückwand und Decke. Die

dabei sich ergebende Verstärkung auf dem Rang erscheint in Anbetracht der zu über 40 m sich ergebenden Entfernung dieser Plätze vom Podium vernünftig, während derartig „schallführende" Deckenkonstruktionen in kleineren Räumen leicht zu viel an Lautstärke und Schärfe bringen. Evtl. kann die — übrigens architektonisch gewünschte — Schrägfläche noch teilweise transparent ausgeführt werden. Jedenfalls aber zeigen diese Betrachtungen, daß Entfernungen über 40 m akustisch leicht zu überbrücken sind, ja, meist sind die entfernten Plätze die besten, weil bei ihnen das Orchester am besten zusammenfließt und weil sie die Unterstützung durch die nahe Rückwand haben.

Wenn daher das Preisgericht die Entfernung zwischen letztem Besucher und Bühnenvorderkante mit 42 m als „sehr groß" bemängeln zu müssen glaubte, so hat es dabei vielleicht optische Eindrücke und die Frage eines psychischen Kontaktes bedacht.

Daß parallele Wände vermieden und die entfernteren Sitze angemessen überhöht worden sind, gehört heutzutage schon zu den Faustregeln akustisch zweckmäßiger Gestaltung. Nur im Bühnenteil sind in zwei Stufen parallele Wände verwendet, um den wichtigen Kontakt der Musiker untereinander zu gewährleisten. (Hierauf hätte auch noch die endgültige Deckengestaltung Rücksicht zu nehmen gehabt.)

Besonders hervorgehoben zu werden verdient die seitliche Einfassung des hinteren Parketts durch die etwas höher liegenden stufenweise ansteigenden Logen. Diese Plätze erhalten so zusätzliche Reflexionen von diesen neben ihnen liegenden Steilabhängen, die im mittleren Saal der STUTTGARTER LIEDERHALLE den Namen „Weinberg-Stufen" erhielten.

Schließlich sei erwähnt, daß die teilweise mit schwingfähigen Platten zu bedeckenden Seitenwände sicher genug Gelegenheit zur Schluckung tiefer Frequenzen bieten.

*

Wir wenden uns nun dem Entwurf von Prof. OCHS zu, bei dem nicht nur das Verhältnis von größter Länge zu größter Breite und zu größter Höhe gegen 10 : 8 : 3,4 sich verschoben hat, sondern sogar das Ganze im Grundriß den Eindruck einer Rundform (Ellipse) macht.

Architektonisch haben solche Formen zwei einleuchtende Vorteile: Sie halten den Raum zusammen und sie erzielen eine besonders große Fläche (= Zuhörerzahl) bei geringer Ausdehnung. Beim vorliegenden Entwurf zeigt sich das auch darin, daß der größte Abstand eines Hörers zur Podiumvorderkante trotz weiter Sitzanordnung auf 37 m gesunken ist.

Das mathematische Optimum in dieser Hinsicht ist bekanntlich der Kreis. Jede andere Fläche gleichen Inhalts ragt irgendwo über ihn hinaus.

Andererseits sind Rundformen brennpunktsbildend und daher akustisch gefürchtet. Diese Eigenschaft läßt sich aber umsomehr mildern, je mehr man die Rundform „aufrauht", und sie läßt sich nahezu kompensieren, wenn

man den einzelnen „Sägezähnen", wie es im vorliegenden Entwurf geschehen ist, sogar nach innen vorgewölbte konvexe Rundungen gibt. Die Sägezahnform der Seitenwände bedeutet außerdem statisch eine erwünschte Versteifung. Andernfalls wäre es ja nicht notwendig gewesen, sie aus vollem Mauerwerk auszuführen.

Die einzige im Grundriß noch erkennbare Rundung bildet die nur 80 cm hohe Rangbrüstung. Die diesbezüglich vom Preisgericht geäußerten Befürchtungen, daß sich hier Brennpunktsbildungen für die Orte der Mikrofone ergeben könnten, erscheinen dem Verfasser übertrieben, da so schmale Flächen in einiger Entfernung nicht mehr geometrisch wirken.

Auch die Decke zeigt den Sägezahn-Rhythmus. Dabei sind die Flächen noch seitlich so gegeneinander versetzt, daß ein Schuppen-Muster entsteht. Die Vielzahl der so von den einzelnen, dem Orchester zugekehrten Stufen ausgehenden Rückwürfe machen dem Musiker den Raum spürbar.

Dasselbe gilt für die „Weinberg"-Stufen im Parkett, die auch den dort Sitzenden zu Gute kommen.

Ein aus dem Geist der Rundform sich ergebendes Hauptmerkmal des Saales aber besteht darin, daß er die Aufteilung im Zuhörerteil und Podiumteil durch das Rundherumlaufen der Sägezahnform aufzuheben sucht. Das hat seine akustischen Konsequenzen. Das Podium wird sehr breit, die Seitenflächen neben dem Podium sind größtenteils schräg, so daß der Schall dort mehr weggeführt als zusammengehalten wird. Den daraus entspringenden Gefahren könnte man sicher mit „akustischen Kulissen" begegnen. Gegen solche ist aber gerade die durchlaufende architektonische Gestaltung empfindlicher. Trotzdem wurde von dem Architekten eine Überdachung eines kleineren Ensembles durch einen reflektierenden Baldachin über dem Mittelteil des Orchesters vorgesehen, welcher auch seitlich durch eine tiefe Stufe gegenüber der Sängerempore abgetrennt ist. Diese Stufe unterstützt auch den Kontakt der Musiker untereinander. Andererseits können derartige feste Aufteilungen bei der Verschiedenartigkeit der Verwendung des Podiums als hinderlich empfunden werden.

Eine akustische Durchkonstruktion des vorliegenden Entwurfs hätte daher wohl noch zu einigen Änderungen im Podiumraum geführt, wobei aber wiederum die Idee des Entwurfes, die gemeinsame Umfassung von Zuhörern und Mitwirkenden durch einen Raum nicht hätte aufgehoben werden dürfen. Diese Idee, die z. B. auch im großen Saal des LEIPZIGER GEWANDHAUSES — nicht in der BERLINER PHILHARMONIE — verwirklicht war, hat zweifellos so viel für sich, daß man um ihretwillen geneigt sein könnte, auf größere Variabilität des Podiumraumes zu verzichten.

Noch in einer Beziehung, die in den Zeichnungen nicht zum Ausdruck kommt, ist der OCHS'sche Entwurf neuartig. Die Schluckung der tiefen Frequenzen soll ausschließlich durch Schlitzresonatoren herbeigeführt werden, welche die inneren Seitenwände, die zwischen sich und den äußeren

Wänden einen Hohlraum lassen, wechselnd in Abstand und Breite bedecken. Die Akustiker können jedenfalls nachweisen, daß solche Resonatoren den Frequenzgang der Nachhallzeit genau so zu regulieren gestatten, wie Holzvertäfelungen. Trotzdem bleibt ein solches Vorgehen ein Wagnis, weil viele Musiker nur dann bereit sind, die Hörsamkeit eines Raums für gut zu halten, wenn sie Holz darin sehen.

*

Und nun zu dem Entwurf von Prof. SCHAROUN, der vom Preisgericht mit dem ersten Preis ausgezeichnet worden und anschließend zur Auftragserteilung an Prof. SCHAROUN und den von ihm hinzugezogenen Berliner Kollegen, Prof. WEBER, führte, der also das Aussehen der künftigen BERLINER PHILHARMONIE bestimmen wird.

Hier ist nicht nur das Verhältnis von größter Länge zu größter Breite zu größter Höhe weiter im Sinne größerer Allseitigkeit verschoben zu 10 : 8,4 : 4, sondern vor allem ist das Orchester allseitig von Publikum umgeben und so weit zur Mitte gerückt, daß die Musik, wie Prof. SCHAROUN in seinem Begleitwort schrieb, „räumlich und optisch im Mittelpunkt steht".

Diese „Einbeziehung des ausführenden Klangkörpers in die Mitte des Saales" wurde von dem derzeitigen Chef-Dirigenten der Berliner Philharmonie, HERBERT v. KARAJAN, in einem Brief an das Preisgericht sehr begrüßt, weil sie zu einer „restlosen Konzentration der Zuhörer auf das Musikgeschehen" führen würde. Man könnte dieser Auffassung entgegen halten, daß doch das jeweils gegenüber sitzende Publikum auch ablenkend wirkt. Man wird jedenfalls durch Konzentration der Beleuchtung dafür sorgen müssen, daß diese Gefahr vermieden wird. Es ist hierbei wohl mehr an die überall gute Sicht auf das Podium (— die auch den anderen Entwürfen eigen ist —) und an die Verkürzung der größten Entfernung Zuhörer - Podium auf nur etwas über 30 m gedacht.

Es haben sich aber andere namhafte Dirigenten skeptisch, ja zum Teil ablehnend gegenüber dieser „zentralen Lage" des Orchesters geäußert. Dabei war den meisten die Tatsache, daß ihr Gesicht nun von vielen Zuhörern beobachtet werden kann, ziemlich gleichgültig. Nur einer empfand dies geradezu als eine gewisse Indiskretion.

Die Bedenken, denen sich auch Musik-Kritiker anschlossen, waren vielmehr akustischer Art.

Gewiß ist es nach dem, was zum Lobe der zuerst besprochenen, betont ausgerichteten Anordnung gesagt wurde, klar, daß auf den neben und insbesondere hinter dem Orchester gelegenen Plätzen Instrumente mit ausgesprochener Richtwirkung obertonarm zu hören sein werden. Ganz besonders gilt das für die Sprachverständlichkeit der Sänger, bei denen auch noch das Mimische verlorengeht.

Andererseits hat es aber in fast allen Konzertsälen des 19. Jahrhunderts auch Plätze seitlich des Orchesters gegeben, und diese Plätze waren immer sehr begehrt. Man kann daraus nur folgern, daß für viele Konzertbesucher nicht so sehr der rein akustische Eindruck, sondern auch der persönliche Kontakt mit den Musikern wesentlich ist. Dasselbe gilt für hinter dem Orchester liegende Plätze, die dem Chor dienen, aber in manchen Konzertsälen bei Orchesterkonzerten für das Publikum verkauft werden. Solche Plätze gab es auch in der BERLINER PHILHARMONIE. Besonders ausgedehnt waren und sind sie in der alten BERLINER SINGAKADEMIE und im KONZERTGEBOUW in AMSTERDAM.*)

In den letztgenannten Räumen kompensieren diese Plätze übrigens — wie auch im SCHAROUN'schen Entwurf — ihre ungünstige Lage durch eine viel steilere Staffelung. Dadurch sind sie garnicht so ungünstig, besonders wenn man hinzunimmt, daß der dort Sitzende andere akustische Verhältnisse erwartet.

Ein einleuchtendes Beispiel für den Einfluß der „Erwartung" bietet die Lage von Parkettplätzen in der Oper gegenüber dem versenkten Orchester, aus welchem kein direkter Schall zum Hörer dringt und woraus sich auch eine Klangfarbenänderung in Richtung auf einen „weicheren" Klang ergibt.

Eine solche andere „Erwartung" wird man insbesondere bei denjenigen Konzertbesuchern annehmen dürfen, die nun sogar bei einem Chorkonzert noch hinter dem Chor sitzen. Nur hierin geht die hier vorgeschlagene Anordnung über alle erprobten Innenraumgestaltungen hinaus. Höchstwahrscheinlich werden auch diese Plätze, deren Zahl übrigens bei der inzwischen erfolgten Überarbeitung etwas reduziert wurde, ihre besonderen Interessenten finden, und diese werden mit ihnen — trotz mancher Unausgeglichenheit im Klangbild — auch akustisch zufrieden sein.

Viel bedenklicher ist die Frage, ob die allseitige Umgebung des Podiums mit dem schallschluckenden Publikum und das Zurücksetzen der sonst nahe liegenden Seiten- und Rückenwände nicht den Kontakt der Musiker untereinander und die Schallsendung in die Hauptrichtung, in der sich auch hier 1400 von 2000 Zuhörern befinden, verschlechtert.

Hierzu sei zunächst daran erinnert, daß die harten Rückflächen hinter dem Orchester bei der üblichen Orchesteraufstellung vorzugsweise dem Blech und Schlagzeug zu Gute kommen, und sie so meist die Balance zu den Streichern gefährden, und daß in solchen Räumen oft eine beträchtliche Verbesserung des Klangbildes eintritt, wenn das Orchester vom Chor umrahmt wird.

*) Das vom Preisgericht als akustisch gutes Beispiel einer zentralen Aufstellung erwähnte Zelt von Aspen (Colorado) wies dagegen keine Zuhörerplätze hinter dem Orchester auf. Es kann auch wegen seines sehr leichten Zeltdaches nicht zum Vergleich herangezogen werden.

Aber von solchen nachteiligen Ausnahmen abgesehen, sind sicher reflektierende Flächen in Orchesternähe wichtig, und es war die Hauptaufgabe des Akustikers, sie zu schaffen.

Die größte und wichtigste dieser Art wird von dem über dem Orchester schwebenden Reflektor geboten. Gerade er dient vor allem dem Kontakt der Musiker untereinander. Darüber hinaus soll der nach vorn ansteigende Teil auch den Streicherklang ins Parkett tragen. (Dagegen kann von diesem „technischen Gegenstand" nicht erwartet werden, wie es irrtümlich in der Presse geschah, daß er eine allseitig gleiche Hörbarkeit aller Orchesterinstrumente garantiert. Das kann überhaupt durch keine Maßnahme erreicht werden, ist aber auch garnicht erforderlich.)

Ferner enthalten die seitlichen Platzgruppen Unterbrechungen durch rein reflektierende Flächen. (Bei der späteren Überarbeitung sind diese Flächen einerseits noch ausgeprägter, andererseits zwangloser ausgefallen.)

Dieses Prinzip der fortgesetzten Unterbrechung der Zuhörerplätze durch „Weinberg"-Stufen, Zugänge, Keile und schräg liegende Flächen setzt sich im ganzen Raum fort. Das Publikum sitzt wie auf kleinen Abhängen, die immer wieder vom „Felsen" unterbrochen sind, zwischen denen der Schall immer wieder hin und her geworfen wird, und die ihn so allseitig (diffus) verteilen.

Im Barocktheater herrschen, rein akustisch betrachtet, ähnliche schallzerstreuende Bedingungen, die aber dort mit schlechter Sicht an vielen Plätzen erkauft sind. Demgegenüber stellt der vorliegende Entwurf einen ausgesprochenen sozialen Raum dar, bei dem alle Zuhörer einerseits gleichberechtigt und andererseits doch nicht Nummern in einem Schema aus Reihen und Gliedern sind.

Eine solche lockere Sitzweise bringt freilich auch eine akustische Gefahr mit sich. Durch sie ist auch die schluckende Kleidung der Zuhörer dem Schall zugänglicher, und dies bedeutet bei gegebenem Luftraum je Platz eine gewisse Verkürzung der Nachhallzeit. (Im Gegensatz dazu kann es ein Raum wie die MAILÄNDER SCALA trotz seines Fassungsvermögens von über 3000 Personen auf die für ein Opernhaus verhältnismäßig hohe Nachhallzeit von 1,5 Sek. bringen, weil die meisten dieser Zuhörer in angekoppelte Logen und Ränge gestopft sind, in denen sich ohnehin jeder Schall totläuft. Von der Klangqualität des Raumes haben dort nur diejenigen etwas, die entweder im Parkett oder in den ersten Reihen der Logen und Ränge sitzen). Man wird diese Gefahr jedenfalls dadurch herabzusetzen bemüht sein, daß man die Sitze nur insoweit mit Polsterungen versieht, als sie auch wirklich vom Publikum ausgenutzt und überdeckt werden.

Schließlich wird die erwähnte Allseitigkeit auch durch die zeltartige, konvex durchhängende Form der Decke begünstigt. Die dem Raum zugekehrte, unterste Schale wird dabei mitschwingfähig und somit tiefenschluckend ausgeführt sein. Außerdem bieten die vielen Wand- und Stufenflächen, die mit Holzvertäfelung bedeckt sein sollen, hierzu Gelegenheit.

Die vom Verfasser zur Herbeiführung einer Zwischenreflexion empfohlene Stufe zwischen Orchester und Chor wurde auf Wunsch der Philharmoniker inzwischen fallen gelassen im Interesse besseren Kontaktes zwischen Orchester und Chor und größerer Beweglichkeit der Podiumausnutzung.

Der Verfasser möchte aber an seiner Empfehlung festhalten, alle Sänger, auch Solisten möglichst weit hinten aufzustellen und zwischen den Solisten und den Instrumentalisten einen Abstand von einigen Metern zu lassen und diesen mit einer leicht nach vorn abfallenden pultartigen Fläche auszufüllen, die die Abstrahlung der Solistenstimmen in Verbindung mit dem Reflektor unterstützt.

Jedenfalls hat der Architekt in dankenswerter Weise alle Maßnahmen gestalterisch aufgegriffen, die zur Durchführung seiner Idee vom akustischen Standpunkt empfehlenswert erschienen.

Das einzige, worauf der Akustiker bei der zentralen Aufstellung des Orchesters verzichten muß, ist die Ausstattung des Podiums mit akustischen Kulissen; denn diese können immer nur für eine Seite richtig wirken.

Ähnlichen Schwierigkeiten sieht sich auch eine szenische Ausnutzung des Podiums gegenüber, es sei denn, daß man bei ihr auf die allseitige Umgebung mit Publikum verzichtet. Das aber wäre eine bedauerliche Unkonsequenz, die freilich der Erbauer nicht verhindern kann.

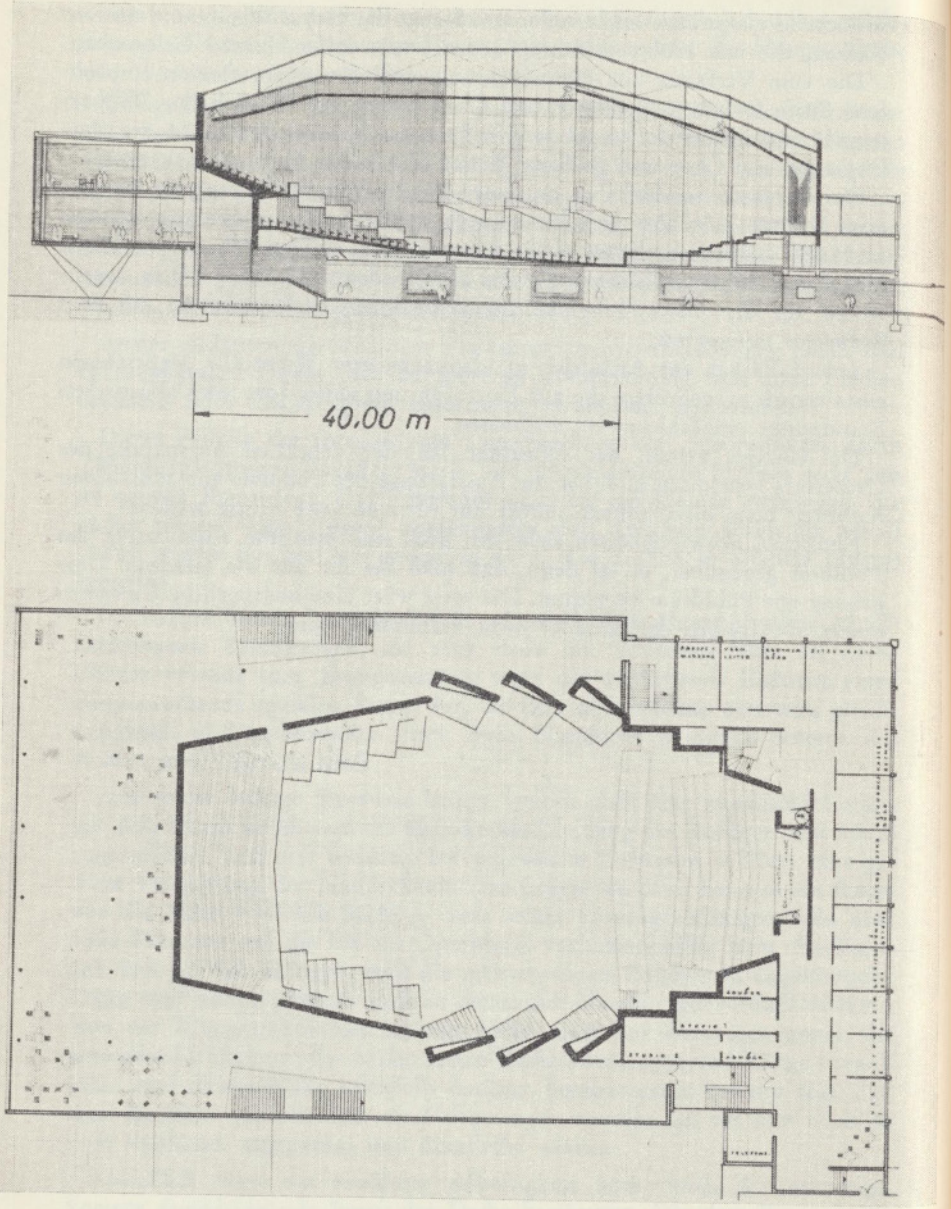


Abbildung 1: Entwurf der Architekten GEBER und RISSE, Berlin

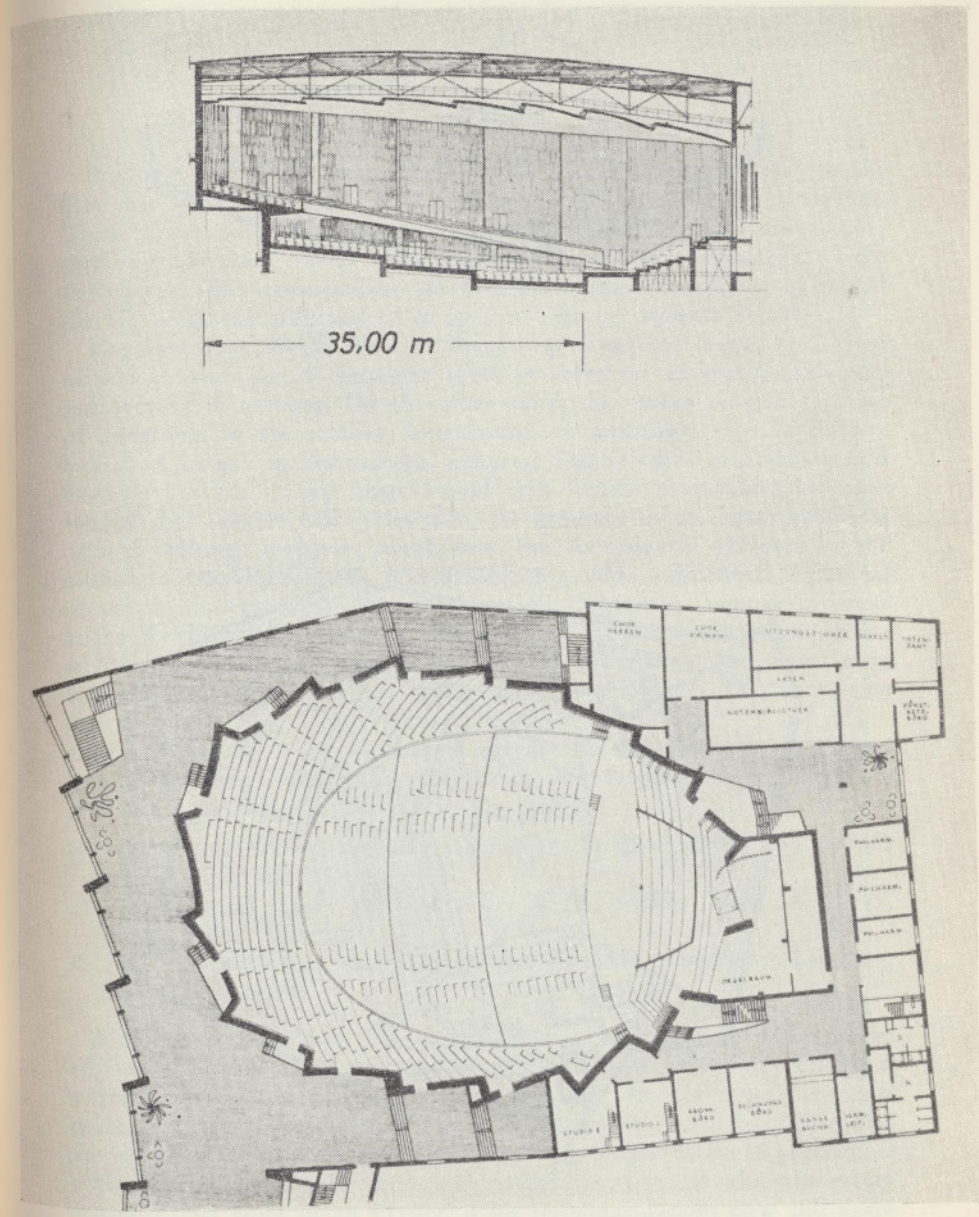


Abbildung 2: Entwurf von Professor OCHS und Mitarbeitern, Berlin

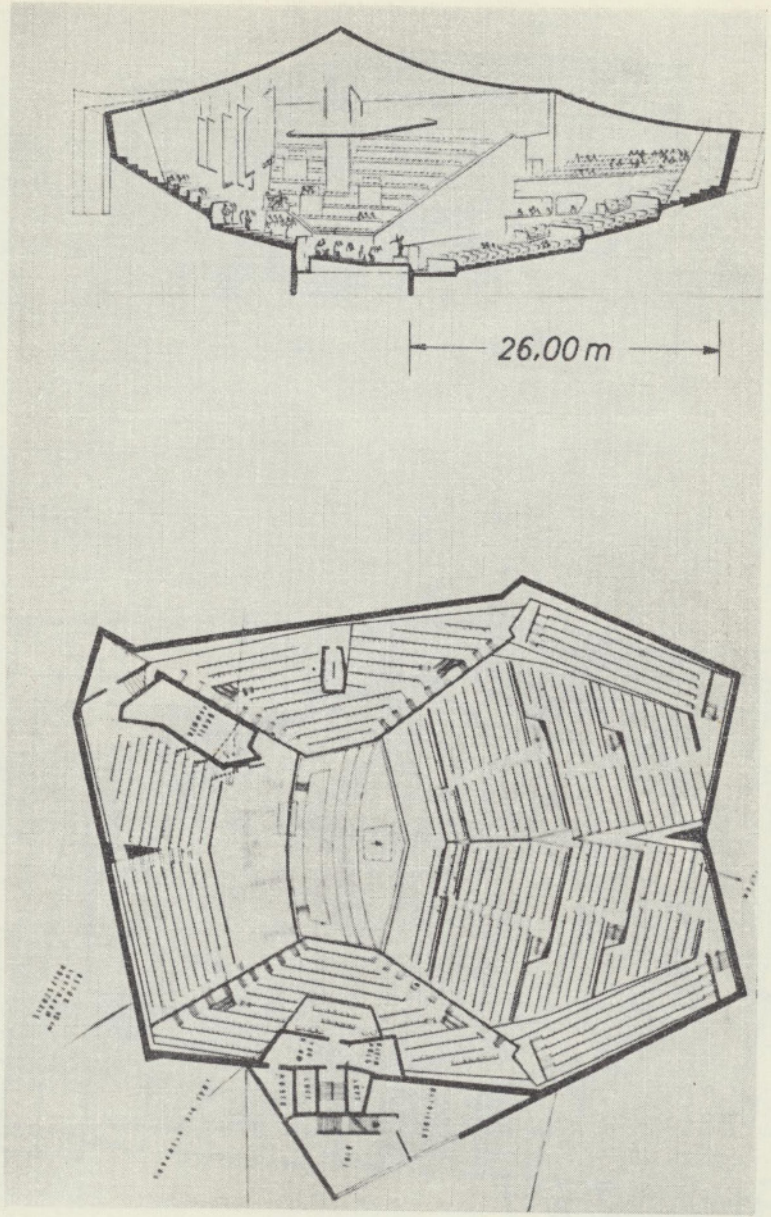


Abbildung 3: Entwurf von Professor SCHAROUN, Berlin

Three projects for the Berlin Philharmonie

by

L. CREMER

Probably last year's competition for the Berlin Philharmonie, was the first case in which the terms were supplemented by acoustic instructions. These directions, elaborated by the author, for the final construction, certainly contained claims whose fulfillment could not be checked by the draft alone. The stress laid on the acoustical properties, however, caused the 10 competing architects to co-operate with an acoustic expert.

The consequence was that all designs were on the whole free from acoustical faults, and if necessary could be corrected without considerable architectural alterations. On the other hand, the results showed, in spite of adherance to the acoustic instructions, no uniformal type of concert halls, but variety in architectural features. This freedom of action would even be possible in case there would exist certain acoustical conditions for an ideal concert hall. Even then, the acoustics of the room would be open to different designing possibilities. But, as formerly discussed by the author in GRAVESANER BLAETTER 2/3, such welldefined acoustical properties very probably do not exist at all. Otherwise rooms as different as the WIENER MUSIKVEREINSSAAL and the concert hall in GOETEBURG could not be regarded excellent in their kind, nay an existing optimum and consequently a standardization of concert halls cannot be desirable.

As a contribution for illustrating the manifold possibilities, this paper briefly discusses 3 designs for the Berlin Philharmonie, awarded by the jury and acoustically elaborated by the author.

1) *Fig. 1* shows section and plan view of the project GEBER and RISSE, Berlin (purchased by the jury).
2) *Fig. 2* shows section and plan view of the project Professor OCHS, Berlin (third prize).
3) *Fig. 3* shows section and plan view of the project Professor Scharoun, Berlin (first prize).

Although the acoustical adviser, in agreement with both the jury and the advised architects had knowledge of rather different designing intentions, a first survey of the plans shows, that this fact did not entail the transferring of ideas. In all three cases, certain intentions did already exist and the influence of the acoustical adviser was only meant to avoid predictable difficulties. It is one of the most stimulating events in the otherwise rather matter-of-fact work of an adviser, if his recommendations now and again lead to new designing solutions. A certain separation was effected in

using another assistant for each project, who did not know the other designs. The names of these assistants are H. J. ZEMKE for project 1), D. SCHWARZE for 2), and L. SCHREIBER for 3).

The order in which these designs are listed and dealt with has no connection with the acknowledgment of the architectural solution by the jury. It has been chosen according to acoustical points of view, not as a rating but based on the advancement from conventional to unconventional, to venturing solutions.

Furthermore, in this comparison, we shall leave out such acoustical problems that exist in all designs, because they can be solved similarily. Among these, are the problems of sound insulation, both against outward and anterooms, as well as the question of reverberation time at middle and higher frequencies. As an appreciating feature, none of the projects needs large sound-absorbing surfaces to avoid irritating echoes. Consequently reverberation time above 500 c/s is determined by the air space for every seat and an adequate choice of seating material which is desirable to maintain the full and empty conditions of the room, as near the same as possible, and on the other hand to have very little additional damping for the full hall.

The projects differ, however, with respect to the absorption at lower frequencies, which is not given by the seating and audience and therefore will be mentioned.

The main differences being discussed are those of the shape and disposition of the room.

The project by GEBER and RISSE shows an elongated shape, obvious through the ratio of maximal length to maximal width to maximal height being 10::6.3:2.9. About 1/4th of the length is occupied by the orchestra and choir being put in a clear contrast to the audience. There are neither boxes nor balconies even lateral to the orchestra.

This clear separation of stage and audience doubtlessly has its advantages, especially for plays and scenes frequently combined and mixed with musical performances. Wings and sets need not be effective to various sides, spot-lights have to consider but one direction, and actors need only play for one side.

But what about acoustics? The fact that a sound signal excited on one point can be heard all over the room partly because of spherical radiation, partly because of the reflections, often leads to the conclusion that direction in sound is negligible. Sound engineers, however, know how much change in the articulation of an instrument can be brought about by very small alterations of the microphone position. In the view of the acoustic expert, smaller the wavelength is, the more directed is the sound signal. Here not only the fundamentals are decisive but also the harmonics especially of certain instruments such as violins, trumpets, etc.

Some conductors, among them especially H. SCHERCHEN and L. STOKOWSKI, take trouble to balance these facts by an adequate setting of the orchestra. Thus they arrange instruments like contrabasses, whose directivity frequently is not distinct enough, high and in front of the audience, and others low, such as trumpets, which due to their directivity tend to be too articulated.

Another possibility for influencing the effect of individual instruments is offered by the use of reflecting or absorbing boards behind, beside, or above the orchestra according to the kind of performance — in short the methodical application of „acoustic scenes" as used for the first time in the MUNICH HERKULES-SAAL with its adjustable plexiglass reflectors and then in STOCKHOLM.

This means, however, is only possible if stage and audience are clearly opposite each other, as it is true in the design on hand.

In the project of GEBER-RISSE this chance is indicated by the large sloping surface above the front of the stage which can be tilted slightly. As drawn in the sketch it will transmit preferably the sound of the string instruments to the middle stalls, whilst the back of the sloping surface is intended to stress the choir. The detailed elaboration of these surfaces should have been found out by acoustical model tests, but otherwise a special advantage of this projects is the liberty in using „acoustic scenes".

The second slope of the ceiling above the circle avoids a doubled reflection by ceiling and back wall. The resulting amplification for the circle seats seems reasonable because of the more than 40 m distance from the stage; whereas sound-conducting constructions of this kind in smaller rooms tend to exaggerate volume and sharpness of sound. If desirable the sloping ceiling — chosen for architectural reasons — can be executed in a transparent form.

These reflections, however, show in any case, that distances of 46 m and more can easily be bridged. Very often the distant seats are the best ones because of the well balanced orchestra sound substituted by the reflections of the back wall.

The jury found fault with the distance of 42 m between the edge of the stage and the last row of seats, but probably this was with regard to the audience's visual impressions, and for psychological reasons.

The avoiding of parallel walls and reasonably increased height for distant seats meanwhile has become an established fact in acoustical design. Only in the range of the stage, parallel walls are used in two steps to ensure a good cooperation of the musicians. (This fact should have been considered in the final design of the ceiling too.)

A good idea is the arrangement of elevated boxes around the back stalls. This gives additional reflections to those seats by the adjoining slopes.

Finally it must be mentioned that there is sufficient damping for low frequencies by covering the sidewalls with elastic panels.

*

Now we come to the project of Prof. OCHS, which not only shows a shift in the ratio of maximal length to maximal width to maximal height of 10 : 8 : 3.4 but even gives in the plan view the impression of an ellipse.

From the architectural point of view those shapes offer two obvious advantages. Whilst the room has a concentrating effect, there is but ample space for the audience within reasonable dimensions. The project on hand shows that the maximal distance between a listener and the edge of the stage could be lowered to 37 m in spite of the loose arrangement of the seats.

Mathematically, the respective optimum is the circle. Any other area of the same square measure somewhere trespasses the circle.

On the other hand round shapes entail focal points which are dreaded in acoustics. This characteristic, however, can be moderated and so if more the circle is roughened. It may nearly be compensated if the corresponding „saw-teeth" are convex protruding roundings as it is the case in the project in question. Furthermore the dented shape adds to a desirable stiffness of the sidewalls. Otherwise they need not be constructed in solid brickwork.

There is also a saw-tooth-rhythm in the ceiling. Here the surfaces are interlaced in a way that brings about a flaky pattern. The manifold reflections brought back to the stage by the various steps facing the orchestra imparts to the musicians a welcome impression of the room. This is also true for the „vineyardsteps" in the range of the stalls, improving furthermore the listening conditions for the audience.

The main feature of the hall, however, resulting from the idea of the round shape is the intention to abolish a division into stage and audience by circumferential saw-teeth. This is of acoustic consequence. The stage tends to become rather broad with inclined sidewalls, thus rather distributing than collecting the sound. Arising difficulties probably could be overcome by „acoustic scenes", though they might very likely disturb the unity of architectural design. In spite of this fact the architect suggests the roofing of a smaller band by a reflecting canopy over the center of the orchestra, which is separated from the choir stage by a deep step. This step furthermore supports the contact of the musicians among each other. On the other hand such fixed divisions may be a bar to a versatile use of the stage.

A thorough acoustical elaboration of the discussed project very probably might have entailed some alterations in the range of the stage. Such alterations, however, must not neutralize the idea of the original design, aiming to create a unity of audience and artists by the room. This idea, which f. i. was realized in the great hall of the LEIPZIG GEWANDHAUS (but not in the BERLIN PHILHARMONIE) doubtless has its advantages,

for the sake of which one might be inclined to drop the versatility of the stage.

There is still another feature, not expressed in the drawings, in which the project of Prof. OCHS is a novelty. Damping of the lower frequencies shall be effected exclusively by slit-resonators, fitted alternating in distance and width to the sidewalls, which are set up in a way, leaving some space to the outer walls. It can be proved by acoustic experts, that by means of such resonators the frequency-dependent reverberation time can be regulated as exactly as by wood-panelling. In spite of this fact this method is venturous, because many musicians tend to criticize the audibility of a hall merely for the lack of wood.

*

Now we shall discuss the project of Professor SCHAROUN, being awarded the first prize by the jury and charged with the execution together with his Berlin colleague Prof. WEBER. Therefore it is this design that will determine the future appearance of the BERLIN PHILHARMONIE.

Here not only the ratio of maximal length to maximal width to maximal height has been shifted to a further universal shape, being 10 : 8.4 : 4, but the orchestra has been brought nearer to the middle of the room, thus completely surrounded by the audience, so that — as Prof. SCHAROUN suggests in his accompanying paper — the music becomes both acoustically and optically the central point of the hall.

This inclusion of the band in the center of the room was welcomed by the present Chief-conductor of the „Berliner Philharmoniker", HERBERT v. KARAJAN, in a letter to the jury because of the „complete concentration of the listeners on the music performance". On the other hand it could be argued, that the audience sitting on the opposite side may have a distracting effect. In any case it will be necessary, to eliminate this risk by a concentrating spot-light. Probably the stimulating idea was to achieve a good view from all seats (being also true for the other projects), and the limiting of the greatest distance between listener and stage to about 30 m.

There are, however, other famous conductors who are sceptical or even refuse a central position of the orchestra. Most of them were not disturbed by the thought of their face being watched by the onlookers; only one of them regarded this an indiscretion.

The objections, supported also by some music critics, mainly concerned acoustical problems.

After the recognition of a directed arrangement as discussed in the first project, it certainly will be clear that instruments with an expressed directivity will be heard with but few harmonics on seats sideways and in the back of the orchestra. This is especially true for singers. Besides a bad

intelligibility, the public will also miss part of the gestures and countenance of the artist.

There were, however, seats at the side of the orchestra nearly in all concert halls of the 19th century and they were also appreciated. The consequence is, that for many concert-goers, not only the acoustic impression is decisive, but also the personal contact with the musicians. This is also true for the seats behind the orchestra, meant for the choir but sold to the public in some concert halls. Such seats did exist in the former Berlin Philharmonie. There were and are a good number of them in the old „BERLINER SINGAKADEMIE" and in the KONZERTGEBOUW in AMSTERDAM.[1])

The last-mentioned halls compensate the unfavourable position of those seats — as does Prof. SCHAROUN — by rather a steep staggering. This makes them less unfavorable especially under the prospect, that a listener does expect different acoustic conditions in such seats.

A good example for the influence of „expectation" is the position of the stalls in an opera house opposite the invisible orchestra, from which no direct music reaches the listener, so that the sound is colored in a softening effect. Such a different „expectation" can be more supposed for those who in a choir performance are sitting in the back of the choir.

It is here that the suggested arrangement breaks with conventional room design. Very probably these places — the number of which has been reduced in a meanwhile executed elaboration — will find interested listeners and these persons certainly will be satisfied in spite of a somewhat unbalanced sound impression.

There are many more doubts whether the surrounding of the stage by the sound-absorbing audience and the great distance of the side- and backwalls of the stage might not have a bad effect on the contact of the orchestra among each other and impair the radiation in the main direction, where still the majority of listeners, namely 1400 among 2000 ones, are sitting.

Now it must be mentioned, that in the usual arrangement of an orchestra, the hard reflecting walls behind the orchestra favor primarily percussion and brass instruments, thus frequently endangering the balance of the string instruments. It is for this reason, that such rooms often improve their acoustic quality if the orchestra is surrounded by the choir. Besides these disadvantages, reflecting surfaces certainly are important for an orchestra, and it was the main task of the acoustic etpert to provide them.

[1]) The tent of ASPEN (COLORADO) nominated by the jury as an example for central arrangement with good acoustical properties, however, has no seats for listeners in the back of the orchestra. Furthermore with respect to its very light canvas roof it cannot be compared.

The largest and most important surface of this kind is offered by the reflector pending over the orchestra. It serves mainly for the contact of the musicians among each other. Furthermore, the part rising to the front edge is intended to carry the sound of the string instruments to the stalls. (It cannot be expected, however, from this „technical subject" as misinterpreted in the newspaper, to guarantee a universal and identical audibility of all instruments in all directions. This cannot be effected by any measure and in addition, is not required.)

The seating sideways of the stage is broken up by hard reflecting surfaces. (In the subsequent elaboration these surfaces were made more effective and organic.) The principle of continuous interruption of the seats by „vineyard-steps", entries, wedges, and tilted panels is maintained all over the hall. The audience is placed as if on small slopes, repeatedly broken by „rocks", which reflect and refract the sound continually thus attaining a good distribution.

Theaters in baroque style show — from an acoustical point of view- similar diffuse conditions, which, however, entail a bad view for many seats. On the contrary, the project on hand is an absolutely social room in which all onlookers have equal rights without just being figures in a scheme consisting of rows and files.

There is certainly some acoustic risk in such a loose arrangement of the seating. The absorption of the listeners' clothes is more open to the sound, which means — at a given air space for every seat — a certain reduction of the reverberation time. (As a contrast, the SCALA of MILANO has in spite of its relatively large audience of 3000 persons, a reverberation time of 1.5 s, because most of the listeners are pressed into coupled boxes and circle seats in which the sound is completely absorbed. The good sound characteristic of the hall is merely reserved for those sitting either in the stalls or the front rows of the boxes and circles.)

This danger will be reduced in taking trouble with the material of the seats, equipping only those with upholstery, which will really be covered by people.

Finally the above-mentioned universal shape is favored by the convex, tentlike structure of the ceiling. Here the lowest shell, open to the room, will be flexible, thus being absorbent for lower frequencies. In addition, the numerous surfaces of walls and steps, covered with wood-panels, will have the same effect.

A step between orchestra and choir suggested by the author to effect an in-between reflection has been dropped due to the wish of the orchestra for the sake of a better contact among choir and orchestra, and a greater versatility in the use of the stage.

The author, however, insists on his recommendation to locate all singers, even soloists, as far back as possible, and to keep a space of some meters

between the soloists and the musicians. This distance should be filled by a sloping, desklike surface, supporting the radiation of the voices in connection with the reflector.

It must be appreciated, that the architect followed in his design, all measures recommended for the acoustical realization of his idea.

Only the principle of „acoustic scenes" could be applied in a room with central location of the orchestra.

Similar difficulties are met in the scenical use of the stage, unless the onlookers are but admitted to the seats in front of the stage. This would be a lamentable inconsequence, which of course, cannot be prevented by the architect.

Psychoakustische Erscheinungen bei der Bildung von natürlichen und syntethischen Klängen

von

EUGEN SKUDRZYK

Alle menschlichen Sinnesorgane sind vollkommener und leisten mehr, als man zu glauben geneigt ist. Das Ohr z. B. ist befähigt, einerseits vom Unwesentlichen abzusehen, andererseits dennoch die feinsten Einzelheiten des Klangvorganges herauszuhören. Es scheint den Informationsgehalt eines Klangeindruckes bis zum letzten Rest zu erfassen. Seine relative Unempfindlichkeit gegen Phasenverzerrungen ermöglicht es ihm, ungestört von Nachhall, Reflexionen und anderen Verfälschungen, die Energie in Verbindung mit der Tonhöhe, also den Kern des Schallvorganges zu erfassen. Dieser Kern wird als Sprache oder Musik wiederempfunden (vgl. Versuche mit synthetischer Sprache), selbst wenn der zeitliche Verlauf des Schalldruckes, als Kurvenzug betrachtet, bis zur Unkenntlichkeit verstümmelt erscheint.

Trotz der Unempfindlichkeit gegen Phasenverzerrungen hört das Ohr die Phasen der Teiltöne, indem es dem Verlauf der Enveloppe des Schallvorganges[1]) zu folgen versteht. Es hört also nicht nur die Amplituden der Teiltöne, wie man früher annahm, sondern auch sämtliche Einzelheiten des Toneinsatzes und Tonausklanges und die ständigen Modulationen der Enveloppe*) beim manuellen Spiel.

Das Ohr erkennt die Richtung der Schallquelle und wertet sogar die Krümmung der Wellenfronten für einen Entfernungseindruck aus. Es empfindet die räumliche Ausdehnung eines Klangkörpers und kann eine schwache Schallquelle aus einem lauten musikalischen Untergrund heraushören. Es vermag dem Einzelton zu folgen, wie er zwischen den Musikinstrumenten hin- und herspringt, oder schwebend verharrt. Auch der Raum und seine Größe, die Beschaffenheit der reflektierenden Wände und andere Einzelheiten, die der Laie nicht ahnt, werden mitgehört.

Der Musiker weiß von vielen Eigenschaften des Ohres, die die exakte Wissenschaft noch nicht zur Kenntnis genommen hat und macht von ihnen ständig unbewußt Gebrauch, um das Klangbild zu verschönern. Der gute Musiker wird so zum Schöpfer des Tones seines Instrumentes und des Klanges der Melodie, indem er an Hand des Notenbildes die Idee des Komponisten interpretiert. Sein Anteil ist für das Kunstwerk wesentlich. Es ist

*) Das Enveloppenhören des Ohres hat sich als Schlüssel zum Verständnis der außergewöhnlichen Wirkung berühmter alter Geigen und akustisch hochwertiger Auditorien erwiesen.

aufschlußreich, einige der dem Musiker zur Verfügung stehenden Möglichkeiten, das Klangbild zu beeinflussen, zu analysieren:

Reine Sinustöne wirken erfahrungsgemäß tot und indifferent. Das Ohr kann nämlich reine Sinustöne erzeugende Schallquellen in geschlossenen Räumen nicht lokalisieren, da sie nichts für die Lage der Schallquelle charakteristisches als Anhaltspunkt liefern. Beim Ein- und Ausschalten dagegen, beim Anstreichen oder Anschlagen von Saiten und infolge der Unregelmäßigkeiten des manuellen Spiels treten zusätzliche, durch die Trägheit der Instrumente bedingte, flüchtige Schwingungen auf, die für jedes Instrument charakteristisch[2]) sind.

Verfolgen wir etwa den Vorgang beim Erklingen eines Geigentones: Beim Anstreichen werden vorübergehend sämtliche Eigenresonanzen der Saiten und des Resonanzkörpers aufgeregt. Diese Töne klingen aber infolge der Dämpfung, die für jede von ihnen verschieden ist, rasch ab, bis schließlich nur der reine, im Notenbild verzeichnete Ton zu hören ist. Je nach Lage und Art der Eigenresonanzen nimmt die Enveloppe des Toneinsatzes monoton zu oder oszilliert im Rhythmus der verschiedenen, im stationären Klang nicht auftretenden Resonanzen des Instrumentes. Jede Unregelmäßigkeit im Anstrich erregt abermals die Fülle der Eigenresonanzen des Instrumentes. Diese Vorgänge sind in der Regel nicht direkt wahrnehmbar, verleihen aber dem Klangbild Lebendigkeit und Brillanz; sie machen überdies eine Unterscheidung und folglich auch eine Lokalisierung der einzelnen Schallquellen möglich.

Die Einschwingvorgänge bilden also die Grundlage für den Richtungs- und Entfernungseindruck. Die den Richtungseindruck erzeugenden Faktoren sind wohl bekannt. Im Freien sind es die Phasen-, Zeit- und Intensitätsunterschiede, die zwischen den beiden Ohren auftreten; in geschlossenen Räumen, wo die Phasen- und Intensitätsunterschiede durch die stehenden Wellen im Raum völlig verdeckt werden, die kurzzeitigen (daher höherfrequenten), nichtstationären Vorgänge, die in den Ein- und Ausschwingvorgängen enthalten sind. Für den Entfernungseindruck ist eine geringe Schallschnellempfindlichkeit des menschlichen Ohres verantwortlich,[3]) sofern man von zusätzlichen, durch Nachhall und ähnliche Erscheinungen bedingten Effekten absieht. Da nämlich die Schallschnelle die tiefen Frequenzen umso mehr hervorhebt, je kleiner der Krümmungsradius der Wellenfront ist, führt sie zu einem entfernungsabhängigen Klangbild. Wieder sind es nicht die reinen tieffrequenten Sinustöne, sondern die tieffrequenten Ausgleichsvorgänge, die die Grundlage für den echten Entfernungseindruck liefern. Denn die von einem Sinuston erzwungene Bewegung des menschlichen Trommelfelles ist immer sinusförmig, unabhängig von der Entfernung der Schallquelle. Der tieffrequente Einschwingvorgang einer dem Ohr nahen Schallquelle dagegen verursacht eine Trommelfellbewegung, die dem Integral des zeitlichen Schalldruckverlaufes entspricht und daher völlig anders-

artig verläuft, als wenn sich die Schallquelle in der Ferne befindet. Das bedeutet aber keinesfalls, daß der Entfernungseindruck nur beim Spielen tiefer Töne erzeugt wird. Im Gegenteil: Es läßt sich nachweisen, daß die Anregung der tieffrequenten Ausgleichsvorgänge wegen der größeren Beschleunigungen vorzugsweise beim Spielen hoher Töne erfolgt.*)

Die Grenze zwischen sehr tiefen Tönen und Einschwingvorgängen ist verwaschen, da das Erinnerungsvermögen des Ohres beschränkt ist. Überlagerte tiefe Töne führen daher in der Regel zu ähnlichen Gehörseindrücken, wie tieffrequente Einschwingvorgänge und lassen einen wenn auch falschen, so doch recht wirksamen Entfernungseindruck entstehen. Die größte österreichische Orgel, „die Bruckner Orgel" im Stift St. Florian bei Linz bringt diese Tatsache sinnfällig zum Ausdruck: Sobald die tiefen Pfeifen, die allein kaum hörbar sind, mitgespielt werden, wirkt der Orgelklang kräftig und eindringlich, als ob man unmittelbar neben den Pfeifen stünde. Werden dagegen die tiefen Pfeifen nicht betätigt, dann wird der Orgelklang scheinbar aus weiter Ferne herangetragen. Man hat es also in der Hand, durch Verwendung tief tönender Instrumente, wie z. B. tief abgestimmter Orgelpfeifen, Baßgeigen usw. das Klangbild mit einer wirksamen Plastik und einem wirkungsvollen Raumeindruck zu durchsetzen, oder Einzelinstrumente durch tieffrequente Modulationen des Klanges, etwa durch ein gewisses Vibrato, akustisch räumlich aus dem Klangbild herauszuheben. Denn ein „Heraushören" kommt praktisch einem Lokalisieren der Schallquelle gleich.

Der Wert tieftönender Instrumente in großen Räumen, wo das eigentliche Entfernungshören wegen der großen Entfernungen bedeutungslos wird, ist bekannt. Auch geringfügige Abweichungen von der richtigen Tonhöhe führen zu tieffrequenten Modulationen der Enveloppe (zu vibratoartigen Schwebungen) und damit zu einer Erhöhung der Lebendigkeit und Räumlichkeit des Klangbildes. Die kleinen Unterschiede in der Stimmung machen den Orchesterklang reizvoll. Gute Sänger sollen, wie vielfach festgestellt wurde,[4]) kurzzeitig oft bis zu einem Viertelton von der richtigen Tonhöhe abweichen, im unbewußten Bestreben, sich gegen das Orchester durchzusetzen. Ein berühmtes indonesisches Saiteninstrument verdankt seinen reizvollen Klang einer bewußt „falschen" Stimmung.

In der Regel sind allerdings nur geringfügige Verstimmungen zulässig, da nur langsame Enveloppemodulationen akustisch angenehm wirken. Schwebungen, die häufiger als 15 bis 20 mal, aber weniger oft als etwa 60 bis 80 mal in der Sekunde erfolgen, erzeugen außerordentlich harte Klangwirkungen, während Schwebungen höherer Wiederkehrszahl wieder nicht mehr stören. Das Flatterecho beispielsweise gehört zu den unangenehmsten akustischen Erscheinungen; seine Periodizität liegt in der Regel zwischen 15 und 40. Erhöht man diese etwa durch zusätzliche Reflektoren oder andere

*) Aus dem gleichen Grund wirken z. B. Geigen, die die tiefen Töne schlecht wiedergeben, in der Regel auch bei hohen Tönen minderwertig.

Mittel (z. B. geometrisches Auflösen der Wände), so wird der Klangeindruck schlagartig weich und warm.[5])

Ein bestimmter Ton einer bestimmten Geige unterscheidet sich in mehr als 500 Einzelheiten (die Lage der vielen Eigenfrequenzen des Resonanzkörpers; die Dämpfungen; die Phasen; die Amplituden der Teiltöne; die Häufigkeit, mit der beim Anstrich die nichtstationären Schwingungen angeregt werden) vom selben Ton einer anderen Geige. Er wird von der Gemütsbewegung des Spielers, der Führung des Bogens, dem Zittern der Finger beeinflußt. Ähnliches gilt für die meisten Musikinstrumente, auch für das scheinbar starre Klavier, bei dem doch der Anschlag viele Klangvariationen zuläßt.

Analysieren wir demgegenüber einen synthetischen Ton, so besteht er lediglich aus den üblichen Teiltönen und einem künstlich aufgeprägten Toneinsatz und Tonausklang. Die Einschwingvorgänge sind von denen natürlicher Töne meist recht verschieden. Sie sind im Prinzip einfacher und treten, wenn nicht Vibrato gespielt wird, nur am Tonanfang und Tonende in Erscheinung. Dazwischen trägt der konstante „Generatorton" den Klang. Oft ist es nur die Lautsprechermembran, oft nur der umgebende Raum, der die fehlenden Einschwingvorgänge des elektrischen Musikinstrumentes ergänzt. Neuere Instrumente verwenden eingebaute Schwingkreise, die oft nur summarisch für alle Teiltöne gleichartige Einschwingvorgänge herstellen und machen zur Bereicherung des Klanges ausgiebig von Vibrati Gebrauch.

In Anbetracht der ungeheuren Reichhaltigkeit der Naturtöne und der akustischen Armut künstlicher Töne wäre man geneigt, synthetische Klänge von vornherein abzulehnen, hätte man nicht gelernt, mit seinem Urteil zurückzuhalten. Man macht die Erfahrung, daß das Ohr sehr bescheiden sein kann, und sich mit Surrogaten zufrieden gibt, sofern nur gewisse Mindestforderungen erfüllt sind.

Vor allem müßte angestrebt werden, den komplexen musikalischen Klang in seine natürlichen Elemente zu zerlegen, die so einfach als möglich sind, und dennoch alles Notwendige enthalten und so die wahren Bausteine des musikalischen Tones zu entdecken. Wir wissen heute weder, ob solche Elemente überhaupt existieren, noch, wie sie beschaffen sein müßten (welchen Anteil eines solchen Tonelements die Ausgleichsvorgänge ausmachen und wie sie in den einzelnen Fällen beschaffen sein sollten).

Schrifttum siehe engl. Artikel

Psychoacoustical phenomena accompanying natural and synthetic sounds

by

EUGEN SKUDRZYK

The human organs of sense are almost perfect and far more accomplished than we are inclined to believe. The ear for instance is capable of dispensing with unnecessary details, but nevertheless notices and appreciates the subtlest and most hidden details in the sound it receives. It seems to be capable of extracting the last bit of information from sound phenomenona. However, the ear is highly insensitive to phase distortions. This quality enables it to evaluate the sound energy as a function of the frequency, which represents the kernel of the sound phenomenon, and independent of wall reflection, reverberation, and similar falsifications. This kernel is sensed as music or speech even if the time variation of the sound pressure, as seen on a curve, is completely mutilated because of phase and amplitude distortion (see experiments on artificial speech).

In spite of its relative insensitivity to phase distortions the ear takes account of the phase of the partials by following the time variation of the envelope[1]) of the sound phenomenon. The ear, thus, not only hears the amplitude of the partials as has been believed for a long time, but also all the details of the building up of a tone and its decay and the continuous modulations of its envelope during manual play.*)

The ear also perceives the direction of the sound source, and even derives a distance sensation from the curvature of the wave fronts. It perceives the spatial dimensions of a sound body and is capable of distinguishing a weak sound source from a loud musical background. It follows the individual tones, as they jump back and forth between the musical instruments or pend in space. —

The volume of the enclosure, the properties reflecting walls, and many other details that the laymen, would never guess, are perceived by the human ear.

Although he may be unaware of it, the musician makes use of many properties of the ear that have not yet been recognized by the exact sciences. The good musician unconsciously uses those qualities to improve the acoustical quality of his instrument. He thus becomes the creator of the tones of his instrument and of the musical perfection of a melody by interpreting the ideas of the composer in his way. His part is thus essential. It is illuminating to analyze some of the means at the disposal of the musician to affect tonal quality.

*) This power of the human ear is the key to the understanding of the acoustical qualities of famous old violins, or good auditoriums.

Pure sinusoidal tones are known to sound dull and indifferent. In closed spaces the ear cannot localize the sources of these tones since they do not exhibit any property that could be considered characteristic of the source. If, however, the oscillations are switched on and off, the string instrument bowed or the piano struck, additional transient sounds are produced because of the inertia of the mechanical systems, which are characteristic of each instrument.[2])

Let us follow, for example, the generation of sound by a violin. When we start to bow it, all resonances of the strings and the body are temporarily excited in their natural frequencies. Because of the damping, which is different for each frequency, the transient sounds decay rapidly until finally we hear only the tone printed in the music book. Depending upon the frequency and the type of natural modes of the instrument, the envelope at the onset of the sound may increase monotonica, oscillatory in the rhythm of some of the resonances hidden in the stationary tone. Every irregularity in the handling of the bow will again excite the wealth of resonances of the instrument. These processes cannot, as a rule, be perceived consciously, but they furnish the brilliancy and liveliness of the sound picture and make it possible to distinguish between the various sound sources and to localize them.

The transients thus form the basis for the perception of individual sources, and for the sensation of direction and distance. The factors that create the direction sensation are well known. In the open, they are represented by the phase, time, and intensity difference between the two ears. In auditoriums, where the original phase and intensity differences are masked by the standing waves, these factors are represented by the short time duration transients such as the higher frequency components at the onset, at the tone,, and at the dying out of the musical sounds. If we neglect secondary effects, such as reverberation and loudness, the distance sensation is made possible by the slight sensitivity of the human ear to the particle velocity of the sound wave. If the frequency is low enough, the particle velocity is the larger (relative to the sound pressure) the smaller the radius of curvature of the sound wave. Thus, the sound characteristic of a tone depends upon the distance. Again, the transients, not the stationary components, form the basis of a true distance sensation.[3]) A sinusoidal tone can only cause a sinusoidal vibration of the human ear drum, regardless of whether the source is near or far away. However, the low frequency transient produced by a source near the ear will cause a deflection of the ear drum that is proportional to the integral of the sound pressure, and hence, is completely different in shape than that which would have been produced if the ear drum had been excited by the same source far away from the ear. This does not mean that the distance sensation is caused by playing low pitched tones only; on the contrary, it can be shown that the

low frequency transients are greatly excited by playing high pitched sounds because of the greater accelerations that came into play.*)

The boundary between very low-frequency tones and low-frequency transients is very uncertain because of the short retentive quality of the human ear. Superimposed low-frequency oscillations, as a rule, give rise to sensations similar to low-frequency transients and creat the distance sensation through a falsified, but nevertheless very effective, sound structure. The largest Austrian organ, the Bruckner organ in the monastry of St. Florian near Linz, demonstrates this fact very impressively. When the low frequency stops are played alone, they are hardly audible; the organ sounds forceful and penetrating, as if one were standing in its immediate vicinity. When the low-frequency pipes are surpressed, the organ sounds seem to be carried along as though they originated far away.

Thus, it is possible, by using low-pitched instruments such as contrabasses, or large organ pipes, or by playing low-frequency modulations, to intersperse the acoustic presentation with an effective sensation of space. Or, it is possible to call special attention to some of the individual instruments; to lift their voices above the sound body, for instance, by playing them with a certain vibrato. Being able to hear them is equivalent with the ability to localize them.

The value of low-pitched instruments in large auditoriums, where the distance sensation is ineffective because of the large distances, has been known by musicians for a long time. Similar effects are produced by slight deviations from the correct pitch which also lead to low-frequency modulations of the envelope (to vibrate like beats) and thus to an increase in the liveliness and plasticity of the sound body. The small variations in intonation are responsible for the attraction and charm of the sound of an orchestra. Good singers frequently deviate from the correct pitch by as much as a quarter-tone without realizing it, but apparently to gain superiority over the orchestra as has been ascertained by various observers.[4]) A famous Indonesian instrument is tuned deliberately wrong to give it its strange acoustic charm.

As a rule, only slight deviations from the correct pitch are permissable since only slow modulations of the envelope of the sound phenomenon cause agreeable musical sensations. Beats and modulations which have a repetition rate of more than 15 to 20 per second, but less than 60 to 80 may cause very harsh sound impressions. But beats of higher repetition rates are no longer disturbing. The shatter echo for instance is one of the most disagreeable acoustic phenomena; its periodicity, as a rule, lies between 15 and 40. If this rate is increased with the aid of reflectors or other means, or making the walls uneven, then the sound impression will immediately become soft and agreeable.[5])

*) For the same reasons, violins, which are deficient at the low frequencies, are also poor as a rule when high-pitched passages are played.

A certain tone played on one violin may differ from the same tone, played on another violin in more than 500 items (as the frequencies of the many natural modes of the resonance body, their damping the relative phases and amplitudes of the partials, the rate, at which the transients are excited by bowing the instrument, etc.). The sound is influenced by the mood of the artist, his manner of handling the bow, and the trembling of his fingers. Similar considerations apply to most of the musical instruments, even to the seemingly rigid piano, the sound of which is capable of many variations depending upon the touch of the artist.

If in contrast to the natural tone we analyze a synthetic tone, we find the usual spectrum of the partials and an artificially shaped onset and tone decay that usually is the same for all harmonics and takes place at the same time for all harmonics. Thus, the transients, are as a rule, very different from those of most of the natural tones. They are simpler, and unless a vibrato is played, appear only at the onset and decay of a tone; in between, the stationary generator tone carries the sound. Frequently the transients lacking in the instrument are supplemented by the transients in the speaker or the surrounding space. More advanced electronic instruments frequently use oscillatory circuits and vibratoes to enrich the sound.

Because of the great aboundance of natural sound in transients and the relative acoustic poverty of synthetic tones, we would be inclined to discount the synthetic sound from the start, had we not learned to withhold our judgment. Again we observe that the human ear is satisfied with substitutes only, when certain minimum requirements are fulfilled.

We probably would have to start trying to split up a complex tone into its true natural element; and thus try to discover the true building stones of music. Today we do not know whether such building stones even exist and if they do exist, what they should be like, how many of them should be represented by transients, and what the most suitable transients would have to be for each purpose.

Bibliography

[1a]) Schouten, J. F., The perception of subjective tones; The residue a new component in subjective sound analysis; The residue and the mechanisme of hearing. Proc. K. Ned. Akad. Wet.: 41 (1938), 1086—1093), 43 (1940), 356—365, 991—999.

1b) Mathes, R. C. & R. L. Miller: Phase effects in monaural perception. J. A. S. A. 19 (1947), 780—797.

[2]) Backhaus H., Ueber die Bedeutung der Ausgleichsvorgänge in der Akustik. Z. techn. Phys. 13 (1932), 31—46.

[3]) Békésy, G. von, Ueber die Entstehung der Entfernungsempfindung beim Hören. Akust. Zeits. 3 (1938), 21—31.

[4]) Winkel F., Klangwelt unter der Lupe, Max Hess Verlag, Berlin und Wunsiedel. 1952 (Seite 63—64, page 63—64).

[5]) Skudrzyk, E., Grundlagen der Akustik, Springer Verlag, Wien, 1954, (Seite 604, page 604).

Das Ohr als Zeitmeßorgan

(Übersicht über neuere Hörtheorien)

von

FRITZ WINCKEL

Das akustische Perzipieren von Musik in der hochentwickelten Form eines mehrstimmigen Satzes, dargeboten von einem 100-Mann-Symphonie-Orchester, stellt eine so phänomenale Leistung eines menschlichen Sinnesorganes dar, daß wir weit davon entfernt sind, dafür eine exakte physiologisch-physikalische und psychologische Erklärung abgeben zu können.

Das Modell der eindimensionalen Leitung, beispielsweise die Spitze einer Grammophonnadel, die den vielstimmigen Lautkomplex abtastet, mag noch deutlicher zeigen, welcher Art das Phänomen ist. Es ist ein eindeutig zeitlicher Ablauf, in dem eine Mehrschichtigkeit der Struktur durch die Fourier-Analyse offenbart wird. Aber auch dieser Sachverhalt genügt nicht der Fähigkeit des musikalisch-akustischen Perzipierens, da der stationäre Zustand, wie er durch die Fourier-Analyse als Klangspektrum erscheint, gar nicht wesentlich ist für den Vorgang der Perzeption, allein schon aus Gründen der Adaptation.

Die Helmholtzsche Theorie, die das Unterscheiden von Tonhöhen auf Grund der Resonanzerregung von Fasern der Basilarmembran erklärt hat — für viele Jahrzehnte eine befriedigende Darstellung — ist, abgesehen von ihrer physiologischen Unhaltbarkeit, auch aus dem informationstheoretischen Grund angreifbar, daß wir es gar nicht mit eingeschwungenen Zuständen, sondern einem fortwährenden Produzieren neuer Information in der Form von Ausgleichvorgängen (transients) zu tun haben. Diese sind gekennzeichnet durch die Nulldurchgänge der als Information betrachteten Modulationskurve, und das Ohr kann nichts anderes tun als die zeitlichen Abstände der Nulldurchgänge messen, was als Code für die sinnliche Verwertung dient. Grundlage hierfür sind die in Amerika angestellten Versuche mit *peak clipping* (5).

Synthetische Versuche mit Musik und Sprache sind bisher deshalb immer so schwierig gewesen, weil man mit Generatoren stationärer Frequenzen gearbeitet hat. Leichte Frequenzschwankungen der Formanten eines Vokals lassen diesen sofort als natürlich erscheinen. Hingewiesen sei auch auf den bekannten Versuch von C. Stumpf, die Einschwingvorgänge von Instrumentenklängen abzuschneiden, wonach der Charakter dieser Klänge verlorengeht und beliebige Instrumente im Klang verwechselt werden.

Trotzdem gelingt v. Bekesy eine Ehrenrettung der Helmholtzschen Theorie insofern, als er in einem Versuch mit einem Zungenfrequenzmesser als Resonatorensystem zeigt, wie 1) durch Anregung mit einer Frequenz eine

Gruppe von Zungen schwingt, deren mittlere die maximale Schwingung ausführt, 2) mit Beginn des Einschwingvorganges Wanderwellen sichtbar werden, die von den Zungen höherer Abstimmung zu denen tieferer wandern. Werden die Zungen mit einem Gummifaden miteinander fortlaufend verschlungen, so bestehen gegenseitige Kopplungen, wie es den Verhältnissen der Basilarmembran entspricht, und es sind dann Wanderwellen auch bei Einwirkung eines Dauertons zu beobachten — ganz in Übereinstimmung mit der Schnecke des Innenohrs. Damit ist die Synthese zweier verschiedener Teilprobleme in einem einzigen Modell gelungen.

Eigenartig ist, wie die Ausbauchung der Basilarmembran auf die Sinneszellen des Cortischen Organs übertragen wird. Nach Beobachtungen von v. Bekesy schwingen die Zellen vom Steigbügel bis zur Stelle maximaler Schwingungsamplitude in radiärer Richtung, an der Stelle des Maximums in vertikaler Richtung und darüber hinaus, nach dem Helicotrema zu, tritt eine longitudinale Schwingung auf, die auf einen engen Bereich von Zellen begrenzt bleibt. Wie die Auswertung der verschiedenen Schwingungsrichtungen erfolgt, um daraus das Tonhöhen-Empfinden mit einer sehr feinen Stufung der Tonhöhen-Unterscheidung herzuleiten, ist noch gänzlich unklar.

Eindeutig ist der Nachweis, daß die Umsetzung der akustischen Schwingungen — nach ihrer mechanisch-hydrodynamischen Transformation — mittels des Cortischen Organs in elektrische Impulse erfolgt, jedoch findet im Nervensystem eine weitere Transformation dieser Impulse statt, so daß nicht etwa in den höheren Zentren jeder Schwingung ein Impuls entspricht. Ob hier ein Autokorrelationsverfahren nach der Hypothese von Licklider (4) durchgeführt oder sonst ein Rechenverfahren für die Zeitmessung verwendet wird, entbehrt bisher jeder Möglichkeit der Nachprüfung. Erschwert wird das Problem dadurch, daß bei experimenteller Erfassung der Nervenimpulse diese eine merkliche zeitliche Streuung gegenüber dem synchronisierten Schalldruck aufweisen, wobei immerhin die Phasenlage nicht unterdrückt wird (10).

Hierzu ist noch eine weitere merkwürdige Beobachtung zu erwähnen, die von Feldtkeller und Zwicker stammt (4). Aus Messungen der Tonhöhenunterscheidung, des Verdeckungseffektes und der Lautstärkebildung haben sie festgestellt, daß die auf rund 150 benachbarte Sinneszellen fallende Schalleistung gemeinsam zur Wirkung gebracht wird, indem über diesen Bereich Kopplungen stattfinden. So wird z. B. die Hörschwelle aus einem Geräusch bestimmter Bandbreite — genannt die „Frequenzgruppe“ (4) — gebildet. 24 solcher Gruppen lassen sich auf dem Cortischen Organ zu je 1,3 mm Breite aneinanderreihen. Die Breite der Frequenzgruppen ist etwa 30mal größer als die Breite der Stufen der Tonhöhenempfindung bei hohen Frequenzen. Die Addition von Lautheiten zweier Töne ist danach unterschiedlich, je nachdem, ob diese innerhalb einer Freqenzgruppe liegen oder weiter auseinander.

Bei der Tonhöhenbewertung durch die Basilarmembran ist noch auf eine Besonderheit zu achten. Die Einteilung der etwa 850 unterscheidbaren Tonhöhenstufen erfolgt gemäß Abb. 1. Die Skala für die Haupterregung auf der Basilarmembran als Funktion der Frequenz ist bis 500 Hz nahezu linear und steigt darüber logarithmisch an. Entsprechend haben die Frequenzgruppen unterhalb 500 Hz die konstante absolute Breite von 80 Hz und oberhalb von 500 Hz die konstante relative Breite von 17 % der mittleren Frequenz der Gruppe.

Es ließe sich weiteres Tatsachenmaterial anführen, das den Auswerte-Mechanismus des Cortischen Organs noch unklarer erscheinen läßt, als er es nach den bisherigen Betrachtungen schon ist.

O. F. Ranke macht mit Recht darauf aufmerksam (7), daß die Abstimmschärfe des Ohres einen psychologischen Aspekt hat, dem der Bewußtseinsinhalt des Tonhöhenunterschiedes entspricht. Dies ist natürlich nicht identisch mit der physikalischen Abstimmschärfe der Schwingungsbäuche auf der Basilarmembran.

Die Haut als Modell des Innenohres

Da gegenwärtig keine weiteren Lösungsmöglichkeiten dieser Schwierigkeiten gesehen werden, hat v. Bekesy ein völlig neuartiges Experiment durchgeführt (3). Da sich das Ohr aus einer Einstülpung der Haut entwickelt hat, hat er als ein vergrößertes Modell die Haut des Armes als nervöses Abtastorgan benutzt. Ziel der Untersuchung war, Aufklärung über die Zeitdifferenz zu erhalten, die beim Ablauf der Wanderwellen eine Rolle spielen. Im Ausbau des Versuches wurde ein Modell mit einer Gummimembran als Basilarmembran gebaut, bei dem die Haut des Unterarmes als Cortisches Organ, d. h. also zur Abtastung der entstehenden Schwingungen dient. Wie Abb. 2 zeigt, wurde eine Messingröhre mit plastischem Material überzogen, das über einem Schlitz der Röhre mit verminderter Wandstärke als Membran diente, und zwar mit elastischen Eigenschaften, die denen der Basilarmembran entsprechen. Das Rohr wurde mit Wasser gefüllt und dieses durch einen Antriebsmechanismus in Schwingungen versetzt. In dem auf einer Stützkante aufgelegten Unterarm spürt man deutlich — in Vertretung der Sinneszellen des Corti Organs — wie bei einer Frequenzänderung das Schwingungsmaximum wandert. Es zeigt sich, daß die Frequenzauflösung des Modellohres viel besser ist als die des natürlichen Ohres, weil die Elastizitätsveränderung entlang der Basilarmembran im Modell geringer ist.

Mit diesen Modellversuchen sollte sich herausstellen, welche Hörphänomene durch das Modell nachgebildet werden können, ohne einen besonderen Auswertemechanismus des Nervensystems in Anspruch zu nehmen.

Verblüffend ist die scharfe Lokalisation des an sich flachen Amplituden-Maximums, sogar wenn nur ein Impuls mit zwei ganzen Schwingungen

angewendet wurde. Die Schärfung der flachen Reizverteilung geschieht nach Bekesy durch Hemmungserscheinungen (inhibition), die durch einen nervösen Prozeß erzeugt werden. Als Beispiel wird folgender Versuch angeführt: Drückt man einen Rahmen aus Draht gleichmäßig auf die Haut des Arms, so spürt man vollständig die Konturen des Eindrückkörpers. Führt man jedoch einen kurzen Schlag auf den Rahmen, so fühlt man nur im Zentrum des Rahmens den Schlag. Die Hemmungen werden noch ausgeprägter, wenn eine Zeitdifferenz bei der Einwirkung der Reize auftritt, wie es ja bei Wanderwellen in der Schnecke vorkommt.

Die Versuche wurden dann auf andere Hautstellen des Körpers ausgedehnt, wobei sich die Daumenkuppe als besonders geeignet erwies, insofern als deren Nervendichte viel größer ist als die des Unterarmes, damit höhere Schwellwerte besitzt und den Verhältnissen in der Schnecke näherkommt. Der Unterschied läßt sich dahingehend kennzeichnen, daß der Umfang von der Hörschwelle bis zur Schmerzschwelle beim Ohr 120 dB, bei der Daumenkuppe 40 dB beträgt.

Eine Reihe von Phänomenen, die man bisher unter dem Begriff „Psychoakustik" zusammenfaßte, lassen sich nunmehr einfach an dem Modell erklären. Regt man den erwähnten Rahmen zu Schwingungen an, so lokalisiert man den Eindrucksreiz, wie es die Versuchsperson gemäß Abb. 3 skizziert hat. Die schärfste Begrenzung gibt — auf Grund des Hemmeffektes — eine einzelne Schwingung, während mit zunehmender Schwingungszahl der Reiz sich verbreitert bis etwa 32 Schwingungen, wonach der Reiz in seiner Ausdehnung der physikalischen Erregung entspricht. Nach etwa 10 Sek. fällt die Empfindung im mittleren Teil und verläuft weiter, wie es Abb. 3 zeigt. Dieses Verhalten entspricht etwa der Empfindung beim Anhören eines Dauertons, der kurze Zeit nach dem Einschalten seine Tonhöhenbestimmtheit verliert. Der Sinusgenerator wird aus diesem Grund als Stimmton von den Orchestern nicht gern benutzt, und in der Musik dient das Vibrato zur Vermeidung dieses Effektes.

In Übereinstimmung hiermit ist die Feststellung interessant, daß im Zentralnervensystem das An- und Abschalten eines Tones eine deutliche Potentialverlängerung verursacht, während dies bei einem Dauerton nur schwierig meßbar ist. Mit allen diesen Beobachtungen ist die Einwirkung des Kurztons befriedigender erklärt als die des Dauertons. Damit ist die weitere Diskussion auf eine viel realere Basis gerückt, wo doch Sprache und Musik eine Folge von Ausgleichvorgängen sind (11).

Auch die Tonhöhenverschiebung mit wachsender Amplitude läßt sich am Modell zeigen, indem mit steigendem Eindruck das Zentrum der Empfindung im Arm sich verlagert. Diese, den Musikern seit Jahrhunderten bekannte Verstimmung ist 1935 von S. S. Stevens quantitativ bestimmt und neuerdings von Langenbeck genauer untersucht worden (9), besonders hinsichtlich der unterschiedlichen Beurteilung von Kurztönen und Dauertönen.

Eine weitere Gruppe von Versuchen gibt Einblick in den Hemm-Mechanismus, der der Urheber von psychoakustischen Phänomenen sein kann (3).

Pressen wir zwei Spitzen nacheinander in verschiedenen Abständen auf die Haut des Unterarms, so entstehen Empfindungen, wie sie in Abb. 4 dargestellt sind. Bis zu einer Entfernung von 2,5 cm summieren sich die beiden Reize, dann aber wird plötzlich die Größe der Empfindung kleiner als selbst für einen Spitzenreiz allein, und erst in einem Abstand von mehr als 3,5 cm produzieren die beiden Spitzeneindrücke normale getrennte Reize.

Dieser kritische Einflußbereich legt die Vermutung nahe, daß wir es hier mit der gleichen Erscheinung wie der oben behandelten Frequenzgruppe zu tun haben. Die kritische Breite wird kaum verändert durch unterschiedliche Reizamplituden, einen Einfluß hat jedoch die Adaptation. Wenn anstelle des statischen Drucks oder einer 50 Hz Wechselbelastung scharfe Impulse (clicks) über einen elektrodynamischen Antrieb gegeben werden, tritt in jedem der Fälle der Abb. 4 eine Summation der Reize auf. Danach scheint es, daß die neuralen Wege in der Haut verschieden sind für Einzelimpulse und für Wechselreize mehrerer Perioden. Bekesy nimmt an, daß Einzelimpulse direkt durchschalten in höhere Zentren des Nervensystems, während beim Dauerton Zeit gegeben ist, daß von Seitenverbindungen her Hemmeinflüsse sich geltend machen.

Noch deutlicher erkennt man die Hemmeinflüsse, wenn man die Richtwirkung beim Hören nachahmt. Die beiden Spitzen werden durch Einzelimpulse mit einer gewissen Zeitverzögerung angetrieben. Bei genügend großem zeitlichem Abstand werden die Impulse richtig an ihrer Eindrucksstelle wahrgenommen. Ist die Verzögerung Null, so wird nur ein Reiz in der Mitte empfunden. Mit wachsender Verzögerung wandert der Eindruck nach derjenigen Seite, die zuerst den Impuls liefert (vgl. Abb. 5). Die Größe der Kreise bedeutet die Streuung des Eindrucks. Auf der rechten Seite der Abbildung ist das gleiche Phänomen beim Richtungshören dargestellt. Für manche Beobachter war es nicht ganz leicht, den Richtungseindruck auf der Haut zu erzielen, eine Schwierigkeit, die etwa dem stereoskopischen Sehen entspricht, wenn es nicht gelingt, beide Bilder zur Deckung zu bringen.

Besonders eigenartig ist die Empfindung, wenn man einen Ton mit zwei Mikrophonen stereophonisch aufnimmt und auf der Haut empfängt. Zwei gleiche Membranmodelle werden an den beiden Armen angelegt. Die Richtwirkung kommt dann als kombinierter Effekt von Lautstärke- und Zeitdifferenzen zur Geltung. „It was interesting to see how, in the world of skin sensation, an outside space is gradually built up", sagt Bekesy. Wenn die Schallquelle sich bewegte, sprang zunächst die Empfindung unregelmäßig von einer Seite auf die andere Seite. Auch eine Mittenlokalisation konnte zunächst nicht erreicht werden. Aber allmählich erwirbt man die Fähigkeit, die Schallquelle kontinuierlich von einem Arm zum anderen — also durch die Luft — wandern zu fühlen. Schließlich gelang es sogar, aus Lautstärke-

änderungen ein Gefühl für die Entfernung zu bekommen und damit eine zweidimensionale Hautperzeption zu erreichen! Gewisse Korrekturen der Lokalisierung durch die Armempfindung gegenüber dem Ohr ergeben sich dadurch, daß die „Lautstärke" auf der Haut schneller ansteigt als auf der Basilarmembran und die Hautempfindlichkeit für Zeitdifferenzen, gemessen durch Ortsabstände, nur halb so groß ist wie die des Ohres.

Damit ist erwiesen, daß das Schema der über Kreuz geschalteten Nerven für die Richtungsbestimmung des beidohrigen Hörens entbehrlich ist, da der geschilderte Hautversuch sogar auch dann gelingt, wenn unsymmetrisch auf einer Seite ein Arm an zwei Punkten oder auch andere Hautstellen des Körpers gereizt werden.

Der erforderliche Hemm-Mechanismus ist also nicht an eine spezifische Interaktion zwischen der rechten und linken Seite der Hirnrinde gebunden, sondern eine generelle Erscheinung des Nervensystems. Die Phasenzuordnung zu den Hörrichtungen könnte eine Erfahrungsanpassung sein, eingedenk des Versuchs, nach dem man mittels einer als Umkehrprisma gebauten Brille die Umgebung zunächst umgekehrt sieht und dann allmählich die richtige Richtung sich wieder einstellt (3). Es gelingt sogar, einen Drehton zu erzeugen. Auf der Daumenkuppe wurden die beiden Spitzen mit 50 und 50,2 Hz erregt, was einen Empfindungsverlauf nach Abb. 6 auslöste.

Eine weitere Streitfrage, die sich zwischen Helmholtz und Stumpf erhob, konnte Bekesy mit seinem Modell klären, nämlich, ob während der Schwebung von Tönen nicht nur eine Amplitudenschwankung, sondern auch eine Frequenzänderung beobachtet werden kann. Die Feststellung mit dem Ohr ist deshalb so schwierig, weil die sehr geringe Frequenzänderung gerade an der Grenze der Wahrnehmbarkeit liegt. Das Modell mit dem Arm läßt infolge seines höheren Frequenzauflösungsvermögens die Frequenzänderung als eine Reizverschiebung auf der Haut wahrnehmen. Übrigens gelingt der Versuch nur bei einem bestimmten Amplitudenverhältnis der beiden Töne, hier 3 : 2, keinesfalls aber bei dem Verhältnis 1 : 1.

Für den Musiker ist weiter interessant, daß bei der Oktaveinstellung zweier Töne eine der Konsonanz adäquate Empfindung nicht zu erreichen ist.

Am Rande sei noch vermerkt, daß Bekesy sein Modell weiter dazu verwandt hat, die Entstehung von nichtlinearen Verzerrungen im Ohr zu ermitteln. Er bediente sich hierzu der Methode, die durch Verzerrung entstehenden Obertöne durch Schwebung mit Prüftönen zu messen. Eindeutige Ergebnisse konnten hierbei jedoch nicht erzielt werden.

Schlußfolgerungen

Was an den Modellversuchen von Bekesy besonders beeindruckt, ist das andersartige Verhalten der Kurzzeitimpulse gegenüber Dauertönen. Aus einer Arbeit von H. Bauch über die Bestimmung der Lautstärke kurzer

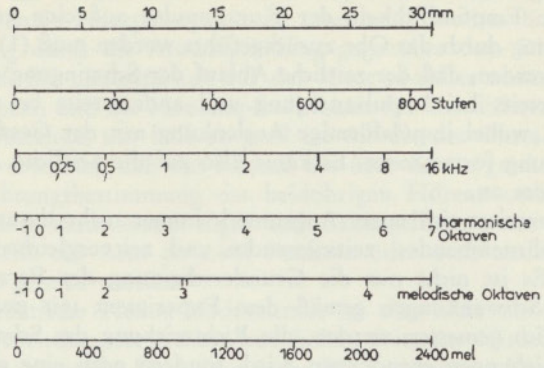
Druckimpulse geht hervor, daß die den bekannten Gesetzen widersprechende größere Empfindlichkeit der Kurzimpulse auf eine grundsätzlich andere Bewertung durch das Ohr zurückgeführt werden muß (1). So könnte angenommen werden, daß der zeitliche Ablauf der Schwingung der Basilarmembran einerseits bei Impulsanregung und andererseits bei Geräuschen verschieden ist, wobei impulsförmige Auslenkung mit der Geschwindigkeit der Nervenleitung fortschreitet. Es käme also auf die zeitliche Auswertung im Nervensystem an.

Damit konzentriert sich unser Augenmerk immer mehr darauf, das Ohr als ein zeitwahrnehmendes, zeitmessendes und zeitvergleichendes Organ aufzufassen. Es ist nicht nur die Grunderscheinung der Perzeption von Tönen, deren Schwankungen gemäß dem Experiment mit peak clipping vom Ohr zeitlich gemessen werden, die Richtwirkung des Schalls, die aus den Phasenbeziehungen entnommen wird, sondern noch eine ganze Reihe von anderen Phänomenen. So z. B. wird die Größe eines Raums aus den Rückwurffolgen des Schalls, besonders aus dem ersten Rückwurf, abgeschätzt, also etwa der Unterschied zwischen einem Badezimmer und einem großen Saal trotz gleicher Nachhallzeit erkannt. Das Ohr mißt den Abstand des ersten Rückwurfs vom Originalimpuls. Eine Anzahl von musikalischen Erscheinungen lassen sich auf Zeitkonstanten des Ohres zurückführen, wobei die Konstante von 50 ms, die für den Haas-Effekt und noch weitere Erscheinungen charakteristisch ist, wie auch die von Bekesy schon 1933 bestimmte Konstante von 140 ms — z. B. in Zusammenhang mit der optimalen Vibratofrequenz von 7 Hz (12) — für das Klangbild maßgebend ist.

Die weitere Erforschung der Funktion des Hörens wird sich vor allem auf den Mechanismus der Zeitkorrelation im Nervensystem konzentrieren müssen.

Literaturübersicht

(1) *Bauch, H.*, Acustica-Beihefte *6*, 494, 1956
(2) *v. Bekesy, G.*, J. Acoust. Soc. *27*, 830, 1955
(3) *v. Bekesy, G.*, J. Acoust. Soc. *29*, 489, 1957
(4) *Feldtkeller, R.* u. *Zwicker, E.*, Das Ohr als Nachrichtenempfänger, Stuttgart 1956
(5) *Laey, R. E.* u. *Saxe, R. K.*, Convention Record IRE 1954
(6) *Langenbeck, B.*, Z. Laryngologie, Rhin. Otol. *34*, 778, 1955
(7) *Licklider, J. C. R.*, Experienta *7*, 128, 1951
(8) *Ranke, O. F.*, Arch. HNO *167*, 1, 1955
(9) *Stevens, S. S.*, J. Acoust. Soc. *7*, 150, 1935
(10) *Tasaki, I.*, J. of Neurophys. *17*, 97, 1954
(11) *Winckel, F.*, Klangwelt unter der Lupe, Berlin 1952
(12) *Winckel, F.*, Gravesaner Blätter *2*, 40, 1956.



Natürliche Skalen der Basilar-Membran des Innenohres

Abb. 1 *Tonhöhenstufung der Basilarmembran*
Auf 32 mm Länge gliedern sich 840 Tonhöhenstufen mit einem Frequenzbereich bis 16 kHz, entsprechend der Tonhöhenbewertung bis 2400 mel. (nach Feldtkeller u. Zwicker)

Fig 1 Pitch grading on the basilar membrane.
On a strap of 32 mm 840 pitch stages covering a frequency range up to 16 kc/s are accommodated, corresponding to a pitch evaluation of 2400 mel.

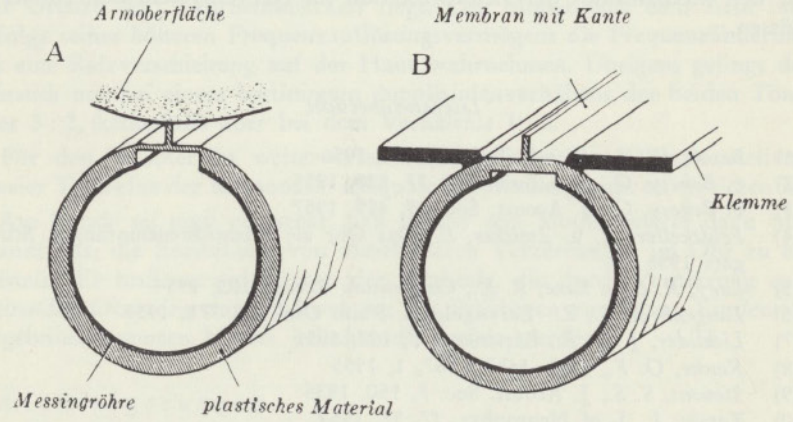


Abb. 2 *Modell des Innenrohrs nach Bekesy*
Fig. 2 Model of the internal ear (adapted from Bekesy)

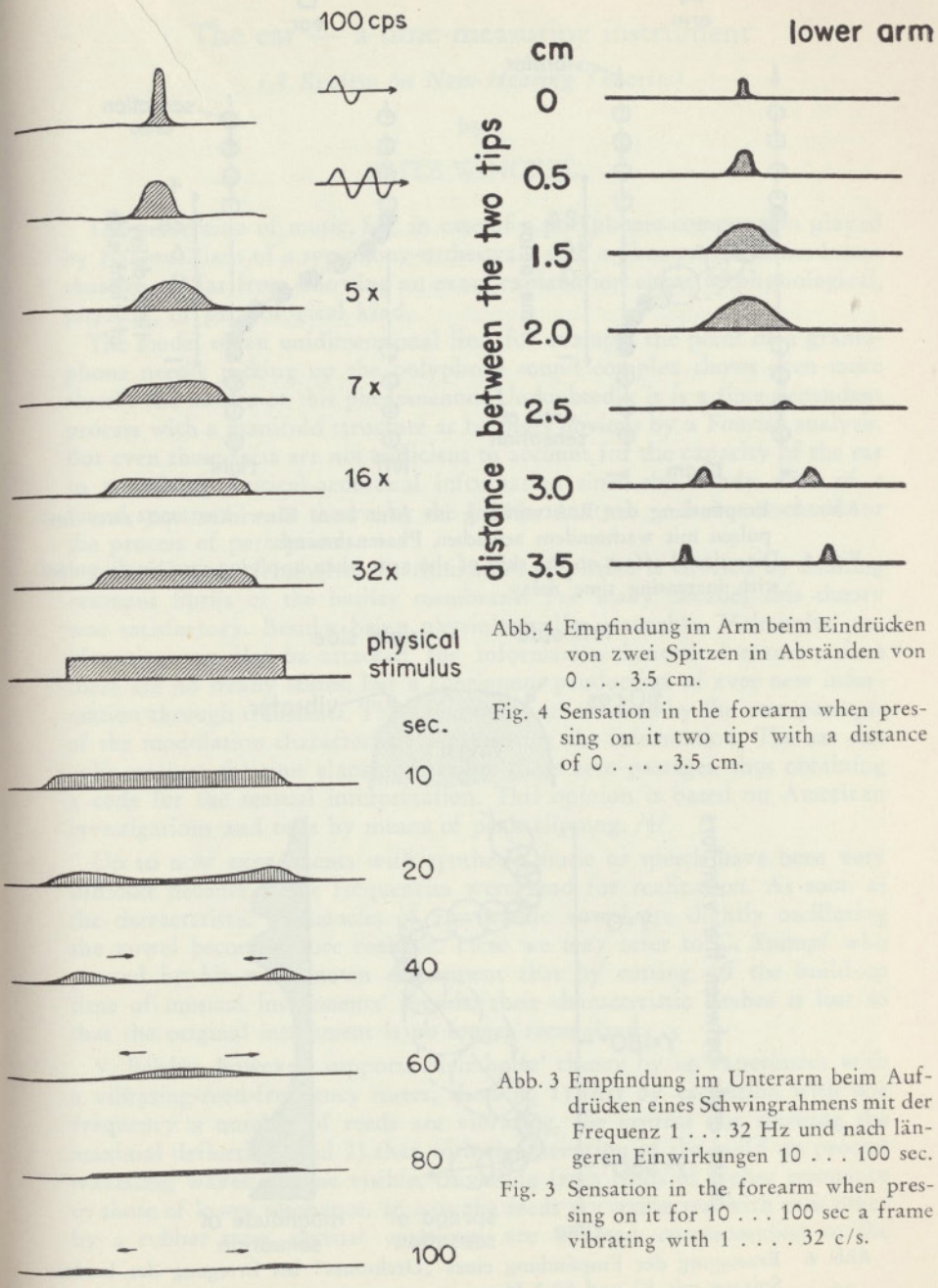


Abb. 4 Empfindung im Arm beim Eindrücken von zwei Spitzen in Abständen von 0 . . . 3.5 cm.

Fig. 4 Sensation in the forearm when pressing on it two tips with a distance of 0 . . . . 3.5 cm.

Abb. 3 Empfindung im Unterarm beim Aufdrücken eines Schwingrahmens mit der Frequenz 1 . . . 32 Hz und nach längeren Einwirkungen 10 . . . 100 sec.

Fig. 3 Sensation in the forearm when pressing on it for 10 . . . 100 sec a frame vibrating with 1 . . . . 32 c/s.

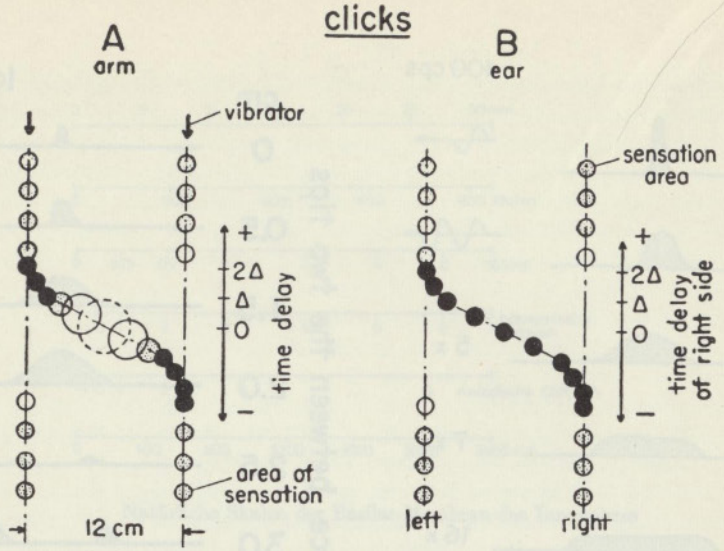


Abb. 5 Empfindung der Richtwirkung im Arm beim Einwirken von zwei Impulsen mit wachsendem zeitlichen Phasenabstand

Fig. 5 Directional effect on the skin of the arm when applying two single pulses with increasing time delay.

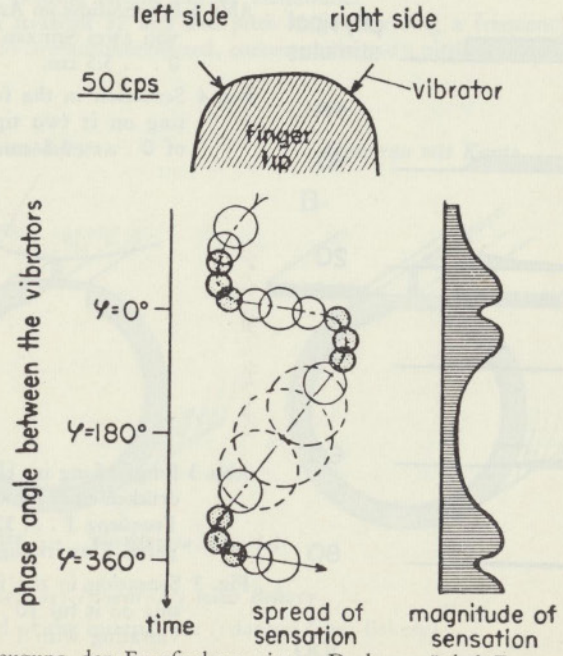


Abb. 6 Erzeugung der Empfindung eines „Drehtones" bei Erregung der beiden Spitzen mit 50 und 50,2 Hz

Fig. 6 Producing of a „drehton"-sensation by exciting the two tips with 50 and 50,2 c/s.

The ear — a time-measuring instrument

(A Review on New Hearing Theories)

by

FRITZ WINCKEL

The perception of music, f. i. in case of a polyphonic composition played by 100 musicians of a symphony-orchestra is such a phenomenal achievement that we are far from knowing an exact explanation either of physiological, physical, or psychological kind.

The model of an unidimensional line, for example the point of a gramophone needle picking up the polyphone sound complex shows even more clearly the nature of this phenomenon. Undoubtedly it is a time-dependent process with a manifold structure as becomes obvious by a Fourier analysis. But even these facts are not sufficient to account for the capacity of the ear in perceiving musical-acoustical information since the steady state of a sound spectrum — as shown by the Fourier analysis — is not essential for the process of perception.

According to Helmholtz, discrimination of pitches is effected by exciting resonant fibrils of the basilar membrane. For many decades this theory was satisfactory. Besides being physiologically untenable, Helmholtz' explanation can also be attacked for information-theoretical reasons, since there are no steady states, but a continuous production of ever new information through transients. These transients are marked by the zero-passages of the modulation characteristic representing the information. The ear can only measure the time elapsing between those zero-passages, thus obtaining a code for the sensual interpretation. This opinion is based on American investigations and tests by means of peak clipping. /4/

Up to now experiments with synthetic music or speech have been very difficult because stable frequencies were used for realization. As soon as the characteristic frequencies of a synthetic vowel are slightly oscillating the vowel becomes more realistic. Here we may refer to C. Stumpf who proved by his well-known experiment that by cutting off the build-up time of musical instruments' sounds, their characteristic timbre is lost so that the original instrument is no longer recognized.

V. Békésy, however, supports Helmholtz' theory by an experiment with a vibrating-reed-frequency meter, showing 1) that by excitation with one frequency a number of reeds are vibrating, the central one showing the maximal deflection, and 2) that with the inception of the build-up process travelling waves become visible, travelling from reeds of higher resonance to those of lower resonance. In case the reeds are connected with each other by a rubber strip, mutual couplings are effected corresponding to the

conditions of the basilar membrane and travelling waves can be observed at permanent tones too — in conformity with the cochlea. Thus Békésy succeeded in performing the synthesis of two partial problems in one model test.

It is strange, how the bulge of the basilar membrane is transferred to the cellular tissue of the organ of Corti. Due to observations of Békésy, the cellules between the stirrup and the point of maximum vibration have a radial oscillation whilst further on near the helicotrema the oscillation is longitudinal and limited to a small cellular range. We do not yet know, however, how these different oscillating directions are used for evaluating the pitch sensation with its very fine step-up distances for pitch discrimination.

It is known, that after their mechanical-hydrodynamic transformation the acoustic vibrations are converted into electrical pulses, but a further transformation takes place in the nervous system so that the number of vibrations is not bound to correspond to the number of impulses in the higher levels. Whether here an autocorrelation process is executed as suggested by Licklider /6/ or another calculating operation is used for time measurement remains up to now out of retest possibility. This problem is complicated because in the experimental pick-up of the nerve impulses there is an appreciable deviation in time compared with the synchronized sound pressure, whereas the phase position is maintained. /9/

Here a further queer observation by Feldtkeller and Zwicker /3/ must be mentioned. By measurements concerning pitch discrimination, masking and volume of sound, they found that coupling the sound energy, (being imparted to about 150 adjacent cellules) has a joint effect. The aural threshold, f. i., is formed by noise of a certain bandwidth called „frequency group" /3/. 24 groups of 1.3 mm width each are joined together on the organ of Corti. The width of these frequency groups is about 30 times larger than are the stages of pitch discrimination at higher frequencies. Therefore, the sum of the loudness levels of two signals differs according to their position within one or several frequency groups.

In pitch valuation by the basilar membrane another pecularity must be taken in account. The grading of about 850 distinguishable pitch stages can be seen from *Fig. 1* The scale for the frequency-dependent excitation on the basilar membrane is nearly linear up to 500 c/s, and then graded logarithmically. Accordingly the frequency groups below 500 c/s have a fixed absolute width of 80 c/s whilst above 500 c/s the fixed relative width is 17 % of the medium frequency of the group /3/.

Other facts concerning the rating process of the organ of Corti could be mentioned and would only add further complications to the previous considerations.

O. F. Ranke is right in pointing out the psychological aspect of the selectivity of the ear /7/, corresponds to the objects of pitch discrimination. This is of course not identical to the physical selectivity of vibration bulges on the basilar membrane.

Since at present no solutions of these difficulties are within reach, V. Békésy carried out a study of a completely new kind. /1.2/ Considering the ear to have been developed from a bulge in the skin, he used the skin of the arm as an enlarged model of the sense organ. The study was supposed to yield some knowledge about the time differences which are important for the course of the travelling waves. In an enlarged model, a rubber membrane was used as basilar membrane, and the skin of the forearm as the organ of Corti to pick up the vibrations. As can be seen from *Fig. 2*, a brass tube was covered with plastic material, serving with reduced thickness as membrane over a slit in the tube and having elastic properties similar to those of the basilar membrane.

The tube was filled with water which could be stimulated to vibrate by a driving force. The travelling of the vibration maximum with changing frequency can very clearly be noticed in the forearm, resting on a supporting edge and representing the nervous system in the organ of Corti. The analyzation of frequencies is even better in the model than in the real ear due to the smaller alterations in the elasticity of the model's basilar membrane.

By these experiments we can learn which hearing phenomena can be simulated by a model without using a special evaluation mechanism of the nervous system.

It is amazing how sharply the rather flat amplitude maximum can be defined even if only one pulse with two complete cycles is applied. Focusing the flat distribution of the sensation is — according to Békésy — effected by inhibition due to a nervous process. The following test gives an example: If a wire frame is evenly pressed on the skin of the arm, the contours of the pressing frame are equally perceived. If the pressure, however, is effected by a short blow on the frame, the blow is only felt in the center of the frame. Inhibition is still more significant when a time difference is involved as it is true for travelling waves in the cochlea.

The tests were then extended to other parts of the body. For this, the tip of the thumb turned out to be especially suitable, because the density of nerves is greater than on the forearm. Here a better sensibility, approaching the conditions in the cochlea, is effected. The difference is marked by the fact, that the interval between aural threshold and the pain threshold in the ear is 120 dB, and in the tip of the thumb 40 dB.

A number of phenomena, known by the term „psycho-acoustics", can now easily be demonstrated with the model ear. In stimulating the above-mentioned frame to vibrate, the sensation of the impression is located by

the observer as traced in *Fig. 3.* The sharpest focusing is effected by a single vibration — due to inhibition — whilst with increasing vibration up to about 32 cycles, the spread of the sensation grows and corresponds to the physical stimulation. After a time of about 10 seconds, the sensation declines in the middle part and takes its further course as shown in Fig. 3. This behaviour corresponds to the sensation caused by listening to a permanent tone which after a short time of inception loses its pitch definition. This is the reason why orchestras do not like to tune by means of a sine oscillator, and why the vibrato is used in musical performances.

In this connection, it is of interest to know that by switching on and off a tone, an appreciable potential difference is caused in the center of the nervous system, whereas it is difficult to measure such a difference in case of a permanent tone. All these observations contribute more to explain the effect of a short tone than that of a permanent tone. Since speech and music are a series of transients, further discussions are now based on a more real base /10/.

Pitch shifts due to growing amplitude can also be shown with the model ear, as the center of sensation on the arm moves with increasing pressure. This detuning, known among musicians for centuries, was in 1935 quantitatively determind by S. S. Stevens and recently investigated with more detail by Langenbeck /8/, especially with regard to the different valuation of short and permanent tones.

A further series of experiments contributes to the knowledge of the inhibition mechanism which can cause psycho-acoustical phenomena /2/.

When two tips are subsequently pressed to the skin of the forearm in various distances, sensations are caused as shown in *Fig. 4.* Up to a distance of 2.5 cm both sensations are perceived together, whereas after that distance the sensation is even weaker than for one tip alone. If the distance between the tips becomes more than 3.5 cm, both tip pressures produce normal, separated sensations.

The critical influential sphere suggests that we have here the same phenomenon as with the above mentioned frequency group. The critical spread is scarcely altered by different stimulating sensations, but adaptation has a certain influence. If instead of the static pressure or a 50 cycle vibration, sharp clicks from an electrodynamic driving are applied to the skin, a summation of sensations is effected in all cases of Fig. 4. According to this observation a difference probably exists in the neural pathways of the skin for single pulses and for long-lasting alternating stimulis. Békésy supposes that single clicks are immediately switched „through" to higher levels of the nervous system, whereas permanent tones can be inhibited by influencing side connections.

Inhibiting influences become even more distinct when simulating the directional effect in hearing. With a certain time delay the two tips are

excited by single pulses. If the time delay is sufficiently large, the pulses are righteously perceived on the point of the mechanical pressure. In case no time-delay exists, only one sensation is felt and that halfway between the two tips. With increasing delay the sensation moves to the side of the first impulse *(Fig. 5).* The size of the circle points to the scattering of the sensation. The right side of Fig. 5 shows the same phenomenon for directional hearing. Some observers had difficulties in obtaining the directional effect on the skin. This probably corresponds to the problem in stereoscopic vision, when someone cannot succeed in fusing the two pictures together.

A very peculiar sensation is effected by picking up a tone stereophonically with two microphones and applying it to the skin. Two identical model membranes are fitted to both arms. Then the directional effect is a combination of loudness — and time differences. „It was interesting to see how, in the world of skin sensation, an outside space is gradually built up", says Békésy.

When the sound source was moved, at first the sensation sprang irregularily from one side to the other and a middle location could not be obtained. But gradually the capacity to feel the wandering of the sound source from one arm to the other through the air can be gained. Finally the observers even succeeded in getting a knowledge of the distance by alterations of the sound level, thus achieving a two-dimensional skin perception. In the location by arm sensations certain corrections are necessary, compared with the ear, since the „sound level" increases quicker on the skin than on the basilar membrane, whereas for time differences measured by distances, the sensation of the skin is only half as large as that of the ear.

Thus it is proved that the scheme of crossed nerves for directional binaural hearing is not necessary, since the described skin experiment is even then successful, if unsymetrically one arm is stimulated on two points or other points of the skin on the body are used.

The necessary inhibition mechanism therefore is not bound to a specific interaction between the right and left side of the cerebral substance but a general phenomenon of the nervous system. Probably the phase correlation to the listening directions, is an adaptation based on experience, similar to the experiment in which by wearing a reversing prism, the surrounding is at first seen reversed, and then after a certain time an adjustment to the correct directions is achieved /2/. It is even possible to produce a „drehton". For this purpose the two tips were pressed to the tip of the thumb and excited with 50 c/s and 50.2 c/s. The sensation characteristic can be seen from *Fig. 6.*

Békésy was able to solve a further problem with his model ear, which had been discussed by Helmholtz and Stumpf and concerned the question, whether during the beating of two tones a change not only of the amplitude but also the pitch could be observed or not. The determination is rather

difficult, for the very small alteration in frequency can scarcely be perceived by the ear. The model ear with the arm, however, allows — due to its better frequency analyzing capacity — feeling the frequency change as a shift of the sensation on the skin. This experiment is only succesful, if the two tones have a certain amplitude ratio, f. i. 3 : 2, but is not possible with a ratio of 1 : 1.

It may be of interest for musicians that the application of two tones with octave distance causes no sensation similar to that of consonance in hearing.

Finally it may be mentioned, that Békésy used his model for further investigating the production of nonlinear distortions by the ear. For this purpose he used the method of best beats to measure the harmonics caused by distortion. The results, however, are not absolutely unequivocal and must be studied furtheron.

Betriebserfahrungen mit einem neuen Regielautsprecher

von

DR. FRITZ ENKEL

I.

Einleitung

Die Rundfunkanstalten der Bundesrepublik Deutschland haben mit der Einführung eines neuen, den heutigen Ansprüchen genügenden Regielautsprechers begonnen. Anlaß dazu war die Steigerung der Wiedergabegüte bei der frequenzmodulierten Rundfunkübertragung sowie die besonderen Bemühungen der Industrie um den Niederfrequenzteil der Empfänger.

Die in den Funkhäusern bei der Programmproduktion benutzten Abhöranlagen müssen mindestens die Qualität der im Besitz des Rundfunkhörers befindlichen besitzen. Folgende Ansprüche sollen dabei von den Regielautsprechern erfüllt werden:

Der Lautsprecher muß eine neutrale Schallquelle ohne eigenen akustischen Charakter darstellen, die in der Lage ist, alle für das Ohr wichtigen Schallfeldgrößen wiederzugeben. Das im Regieraum wahrgenommene Schallbild muß dabei weitgehend dem auf den Hörer wirkenden Schalleindruck entsprechen. Aus betrieblichen Gründen ist an allen wichtigen Stellen des Regieraumes ein gleichartiges Schallfeld anzustreben.

Als akustische Zustandsgrößen ausgedrückt, bedeuten diese Forderungen neben einer weitgehend horizontalen Schalldruckkurve Ausgleichvorgänge, die unhörbar bleiben und genügend kleine nichtlineare Verzerrungen. Dazu kommt die kugelförmige Abstrahlung und gleichmäßige Verteilung der Schallenergie. Diese Forderungen lassen sich am leichtesten mit dem von *Harz* und *Kösters* angegebenen Kugellautsprecher verwirklichen (1). Auf dieser Grundlage wurde beim Westdeutschen Rundfunk eine Abhöranlage entwickelt, die als Einheitsregielautsprecher bei verschiedenen Rundfunkanstalten bereits verwendet wird (2).

Das Ziel dieser Entwicklung war eine Abhöranlage, die nicht mehr als das schwächste Glied in der Übertragungskette anzusehen ist. Gelegentlich wird der hierfür erforderliche Aufwand als zu hoch bezeichnet. Es ist jedoch zu bedenken, daß der Lautsprecher den Indikator darstellt, der dem Hörer das Ergebnis der gesamten, im Aufnahmestudio geleisteten Arbeit vermittelt. An den gesamten Baukosten eines Tonstudios ist er mit weniger als 1 % beteiligt.

Über die mit diesem Einheitsregielautsprecher in mehr als einjähriger Praxis gewonnenen Betriebserfahrungen soll hier berichtet werden.

Elektroakustische Eigenschaften

a) Strahlungswiderstand:

Eine der wichtigsten Kerngrößen für Lautsprecher ist der Strahlungswiderstand, den groß zu halten das erste Ziel jeder Lautsprecherentwicklung sein muß. Von ihm hängen der Verlauf der Frequenzkurve, die Einschwingzeit und der Leistungsbedarf bei tiefen Frequenzen ab.

Es kommt darauf an, die schwingenden Flächen so groß und damit die Zahl der Lautsprechersysteme so zahlreich zu halten, daß auch bei der tiefsten Frequenz, die übertragen werden soll, noch ein genügender Wirkungsgrad erreicht wird. Zum andern muß die Strahlungsdämpfung einen Wert erreichen, der die Wirkung der Eigenresonanz der Lautsprechersysteme weitgehend beseitigt.

Durch diese Anforderungen an den Strahlungswiderstand wird die Oberfläche eines Lautsprechergehäuses weitgehend bestimmt. In *Abb. 1* ist gezeigt, wie für eine tiefste Frequenz von 40 Hz der Strahlungswiderstand bei einem Durchmesser des Lautsprechersystems von 30 cm mit der Zahl der Systeme wächst. Der Einheitsregielautsprecher besitzt vier Tieftonsysteme. Der Erfolg dieser Maßnahme wirkt sich in einem relativ kleinen Tonfrequenzleistungsbedarf, sowie sehr kleiner Einschwingzeit und dem Fehlen einer ausgesprochenen Grenzfrequenz aus. Außerdem führt die geringe, dem Tieftonteil zugeführte Leistung und ihre Aufteilung auf vier Verbraucher zu geringen nichtlinearen Verzerrungen.

b) Schalldruckverlauf:

Der grundsätzliche Frequenzgang der Schalldruckkurve des Regielautsprechers ist genormt und entspricht dem Schalldruckverlauf guter, handelsüblicher Rundfunkempfänger, deren Verlauf im allgemeinen bis etwa 6000 Hz horizontal gehalten wird und dann stetig abfällt.

Die Abgabe konstanter Schallenergie bei hohen Frequenzen verlangt einen bei einem Rundfunkempfänger nicht vertretbaren Aufwand. Der Regielautsprecher strahlt daher von 40 Hz Leistungsgerade mit einem Abfall von 6 dB zwischen 6000 und 12 000 Hz. Diese Schalldruckkurve wird zwischen 40 und 300 Hz mit einer Genauigkeit von ± 4 dB und bei allen anderen Frequenzen auf ± 2 dB genau eingehalten. In *Abb. 2* ist dieses Toleranzgebiet dargestellt. Infolge des hohen Strahlungswiderstandes des Tieftonteils fällt der Schalldruck unterhalb 40 Hz monoton ab.

Diese Normkurve wird bei einer Lautstärke von 80 Phon eingemessen. Über einen physiologischen Regler wird der frequenzabhängigen Ohrempfindlichkeit Rechnung getragen. Eine reproduzierbare Einstellung der Lautstärke ist nur mit einem definierten Schallereignis durchzuführen. Natürliche Schallvorgänge sind hierzu wegen ihrer unterschiedlichen dynamischen Struktur und der verschiedenen Frequenzspektren nicht geeignet.

Zur Festlegung des Schallpegels hat sich ein mit 0,5 Hz moduliertes weißes Rauschen als praktisch erwiesen. Auf diese Weise wird der gesamte Frequenzbereich erfaßt und die Hüllkurven der Klänge und Geräusche statistisch nachgebildet.

c) Einschwingzeit:

Die Wiedergabeschärfe akustischer Signale wird durch die Einschwingzeit der akustischen Wandler bestimmt (3). Bei hochwertigen Abhöranlagen muß sie unhörbar bleiben. Ist die Einschwingdauer größer als 10 ms, so wird die Lautsprecherwiedergabe von Schlagklängen und Sprachlauten beeinträchtigt.

Die den mechanischen Ausgleichvorgang des elektrodynamischen Lautsprechers bestimmenden Einflüsse wurden von *N. Mayer* (4) zusammengefaßt. Die Dauer des Ausgleichvorganges ist vom logarithmischen Dekrement der Resonanzkurve des Lautsprechersystems abhängig. Nach *Bjerknes* läßt sich dieser Wert aus der Halbwertsbreite der Resonanzkurve bestimmen.

Die Resonanzkurve ist durch eine Scheinwiderstandsmessung zu ermitteln. In *Abb. 3a* ist ihr Verlauf für den aus vier Systemen bestehenden Tieftonteil des Regielautsprechers dargestellt, während *Abb. 3b* die Resonanzkurve eines einzelnen Systems zeigt. Die aus dem Dekrement errechnete Einschwingzeit besitzt einmal den nicht wahrnehmbaren Wert von 7,3 ms, während sie bei den einzelnen Lautsprechern auf 35,4 ms ansteigt. Das niedrige Dämpfungsdekrement ist auf den hohen Strahlungswiderstand zurückzuführen.

Um objektiv den Einfluß der abgestrahlten Schallereignisse nachzuweisen, wurden iterierte Bandaufnahmen mit einem Visible-Speech-Gerät analysiert (5). Es wurde so vorgegangen, daß Schallereignisse mit kurzen Ausgleichvorgängen mehrfach über den Regielautsprecher iteriert und anschließend analysiert wurden. Als Beispiel wird die Analyse einer Tanzmusikaufnahme in *Abb. 4* gezeigt. Aus den Diagrammen ist die Wirkung der nullten und der dritten Iteration zu ersehen. (Die Abszisse ist die Zeitachse, die Ordinate die Frequenzachse.) Die nullte Iteration kann als Vorlage für eine auftretende Veränderung der Signalschärfe bei dieser Musikdarbietung dienen. Es sind die schlagartigen Einsätze der Musikinstrumente zu erkennen. Aber auch bei der dritten Iteration ist noch keine Wirkung der Einschwingzeit des Lautsprechers zu bemerken.

d) Nichtlineare Verzerrungen:

Bei der Beurteilung der Lautsprecherwiedergabe spielt die Hörbarkeit nichtlinearer Verzerrungen eine wichtige Rolle. Da ihre Wahrnehmbarkeit von zahlreichen Umständen abhängt, ist es jedoch schwierig, hierüber objektive Angaben zu machen. Besonders bei mittleren und höheren Frequenzen ist das Ohr für diese Verzerrungen empfindlich. Es ist erwünscht, daß

bei einer hochwertigen Lautsprecherdarbietung die nichtlinearen Verzerrungen nicht die bei Verstärkern übliche Größe überschreiten. Diese Forderung wird vom Einheitsregielautsprecher erfüllt. In *Tabelle 1* sind für 1000 Hz die Klirrfaktoren für verschiedene Lautstärken angegeben.

Tabelle 1

Lautstärke	Klirrfaktor
74 Phon	0,5 %
80 Phon	0,6 %
86 Phon	0,7 %
92 Phon	1,0 %

Lautsprecherentzerrer

Die genormte Schalldruckkurve wird mit Hilfe eines besonderen Entzerrers eingestellt. Dieser hat folgende Einflüsse auf den Schalldruckverlauf auszugleichen:

1. Frequenzabhängiger Wirkungsgrad der Lautsprechersysteme.
2. Hohlraumresonanzen der Lautsprechergehäuse.
3. Frequenzschwankungen im Überlagerungsgebiet von Hoch- und Tieftonteil.
4. Raumresonanzen.
5. Frequenzabhängiger Leistungsbedarf der Regieräume.

Der Verlauf der Entzerrerkurve ist durch die Lautsprechereigenschaften und die Akustik der Regieräume gegeben. Der Entzerrer besitzt für jeden dieser Parameter besondere Entzerrungsglieder, die es erlauben, den Kugellautsprecher der Raumakustik der Regieräume anzupassen.

Wie unterschiedlich die Entzerrerkurven für verschiedene Regieräume ausfallen, ist aus *Abb. 5* zu ersehen. Es ist einleuchtend, daß an diesen Entzerrer, der jedem Betriebsfall gerecht werden soll, beträchtliche Ansprüche zu stellen sind. Die Forderung nach sehr engen Toleranzen für die Schalldruckkurve ist nur durch einen entsprechenden Entzerreraufwand aufzuwiegen. In *Tabelle 2* sind die Klirrfaktorwerte in Abhängigkeit von der Frequenz für eine Lautstärke von 92 Phon eingetragen. Wegen der beträchtlichen Überhöhung der Entzerrerkurve bereitet die Einhaltung geringer nichtlinearer Verzerrungen an den Grenzen des Übertragungsbereiches Schwierigkeiten. Wie weit diese überwunden sind, ist aus Tabelle 2 zu ersehen.

(Fortsetzung folgt)

Tabelle 2

Frequenz Hz	K_2	K_3
1 000	0,05 %	0,07 %
40	0,36 %	0,40 %
120	0,09 %	0,065 %
5 000	0,11 %	0,07 %
10 000	0,08 %	0,04 %

Schrifttum

(1) *H. Harz:* Ein neuer Gesichtspunkt für die Entwicklung von Lautsprechern. Techn. Hausmitt. NWDR *3* (1951) S. 205.

(2) *F. Enkel:* Neue hochwertige Abhöranlage für Regieräume. Elektronische Rundschau *11* (1957) S. 51.

(3) *N. Mayer:* Über die Ausgleichvorgänge des elektrodynamischen Lautsprechers. RTI-Mitt. *1* (1954).

(4) *K. Küpfmüller:* Die Systemtheorie der elektrischen Nachrichtenübertragung. Stuttgart 1949, S. 38.

(5) *W. Meyer-Eppler:* Die Messung und Hörbarmachung sehr kleiner Phasen- und Dämpfungsverzerrungen. Techn. Hausmitt. NWDR *3* (1951) S. 77.

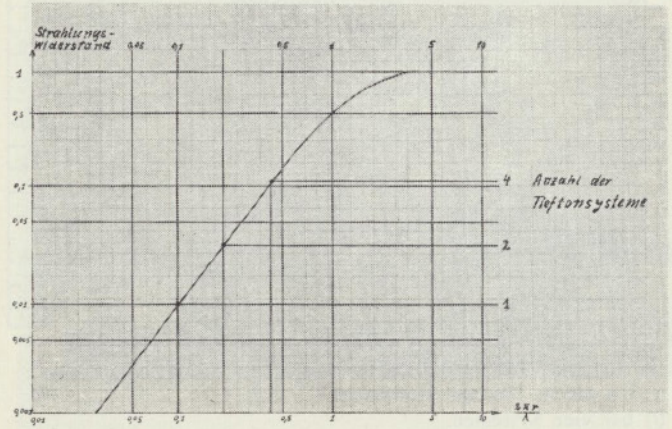


Abb. 1 Abhängigkeit des Strahlungswiderstandes von der Größe der schwingenden Fläche.

Fig. 1 Dependence of radiation resistance on the size of the radiating surface.

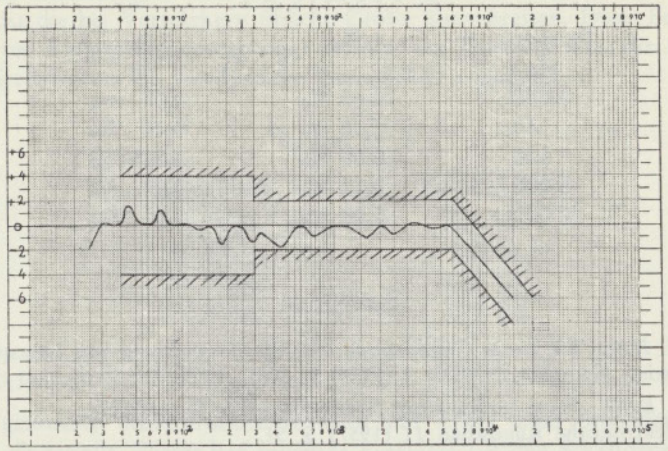


Abb. 2 Genormte Schalldruckkurve des Einheitsregielautsprechers.

Fig. 2 Standard response curve of the new loudspeaker for control booths.

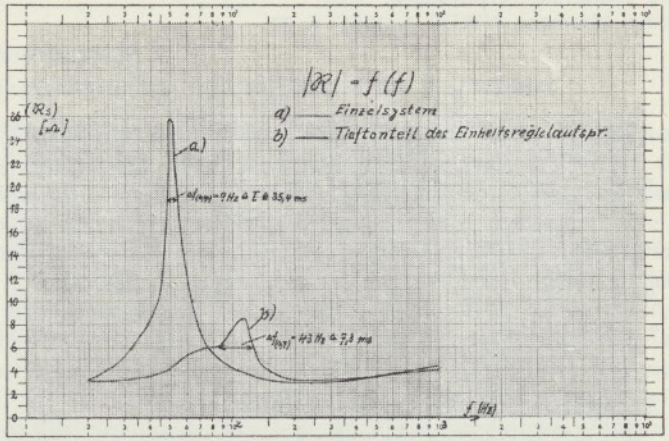
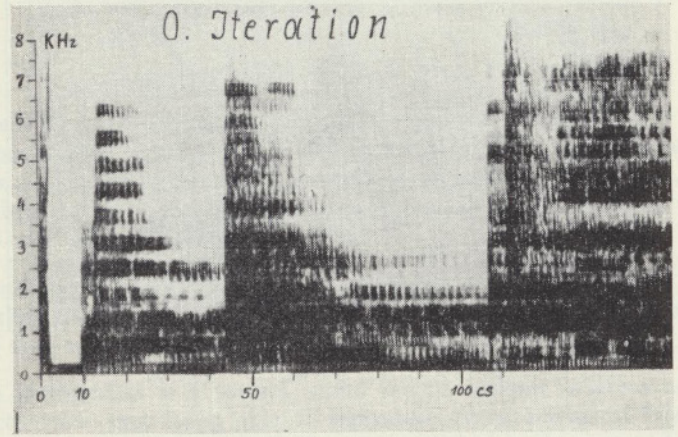


Abb. 3 Scheinwiderstandsverlauf
a) bei einem Lautsprechersystem
b) bei vier Systemen.

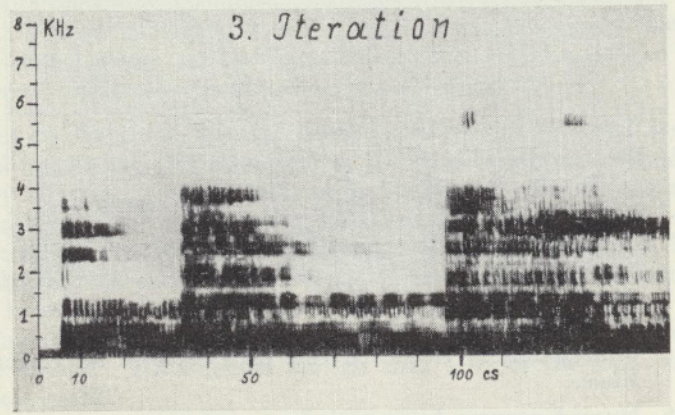
Fig. 3 Impedance characteristic
a) for one loudspeaker
b) for four loudspeakers

Abb. 4 Untersuchung des Einheitsregielautsprechers auf Einschwingvorgänge durch Iteration.

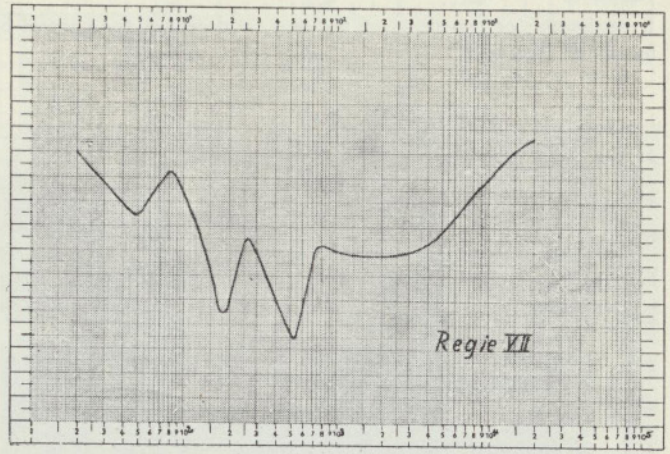
Fig. 4 Investigation of transients of the new loudspeaker for control booths by means of iteration



a) Iteration nullten Grades
a) original



b) Iteration dritten Grades
b) third iteration



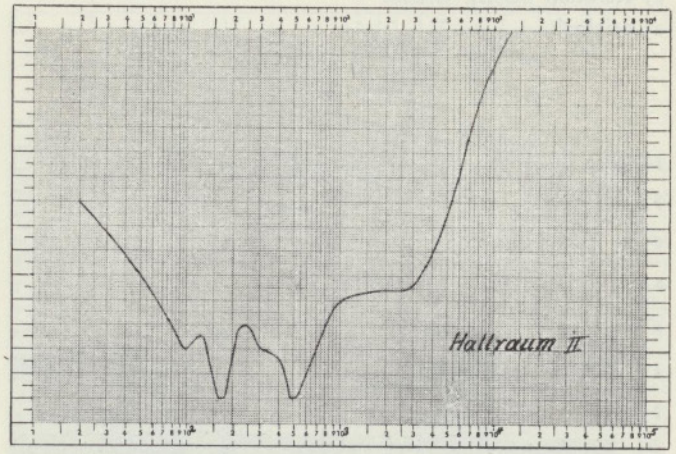


Abb. 5 Betriebsmäßiger Verlauf von zwei Entzererkurven für verschiedene Räume.

Fig. 5 Network response characteristic for various rooms.

Experience with a new high-quality-loudspeaker for control booths

by

DR. FRITZ ENKEL

I.

Recently, the German Broadcasting Companies introducted a new loudspeaker for control booths which meets modern requirements. This step was possible after the improvement of sound reproduction, due to VHF-broadcasting, and the endeavors industrial firms had taken with the audio-stage of their receivers.

Sound reproducing systems used in broadcasting work should have at least the same quality as those available for the listeners. A high quality sound system for control booths should fulfill the following:

The loudspeaker is a neutral sound source without inherent acoustical characteristics, thus being able to reproduce every acoustical feature important to the ear. The reproduction accomplished in the control booth has to correspond as far as possible to that of the listeners'. It is advisable to aim at an uniform sound field for all positions of importance within the control booth.

This means rather a straight horizontal sound-pressure characteristic, transients remaining inaudible, and sufficiently small distortion. In addition, spherical radiation of the sound and a homogeneous distribution of the sound energy are necessary. These claims can be realized through a spherical loudspeaker produced by *Harz* and *Kösters* /1/.

Based on the above mentioned facts, a high quality sound system for control booths has been developed at the Westdeutscher Rundfunk and is already in use in several broadcasting houses /2/. The developing work was aimed to create a reproducing system that no longer had to be regarded the weakest link within a transmission chain. Occasionally, it has been said, the required outlay for this loudspeaker is too high. But there is one point to consider; the loudspeaker represents the very indicator for the resulting work, accomplished in the studio and intended to be forwarded to the listener. The expenses are less than 1 % of the total cost for a complete studio.

This article gives a report on results gained empirically in more than one year's work with this new high quality loudspeaker.

Electroacoustical Characteristics

a) Radiation Resistance:

The radiation resistance is one of the most important characteristic datas of a loudspeaker. First aim of developing work is to hold the radiation resistance rather high, because frequency response, build-up-time, and power consumption at low frequencies are dependent on its value. In order to assure that even the lowest frequencies are reflected with sufficient efficiency, it is necessary to provide a very large radiating surface, i. e. to choose a satisfactory number of individual loudspeakers. Furthermore the radiation loss has to be of a value that eliminates the effect of the natural resonance of the loudspeaker as far as possible.

By these claims to the radiation resistance, the surface of the loudspeaker cabinet is substantially determined. *Fig. 1* shows the radiation resistance of a 12"-loudspeaker at 40 c/s growing with the number of systems. The new loudspeaker for control booths is equipped with four low frequency loudspeakers. As a result, relatively small power is required, the build-up-time is very short, and there is no special limiting frequency. Moreover, due to the small power applied to the low frequency part and its division among four speakers, distortion can be kept to a minimum.

b) Frequency Response:

The high-quality loudspeaker for control booths has a standard frequency response corresponding to those of normal, good-quality receivers. These receivers generally show a flat curve up to 6000 c/s which declines gradually at higher frequencies. Consequently the new loudspeaker is designed to radiate with equal power from 40 c/s to 6000 c/s, reducing by 6 dB between 6000 c/s and 12 000 c/s. This response curve has an allowable variation of ± 2 dB for the remaining frequencies, as can be seen from *Fig. 2*. It is because of the high radiation resistance of the low-frequency part that the sound pressure declines steadily below 40 c/s.

This standard response curve is measured at a loudness level of 80 phons. The sensitivity of the human ear is taken in account by means of a physiological volume control. A reproducible volume adjustment, however, is only possible if a definite sound signal is used. It must be born in mind, that natural sound signals are not suitable for this purpose because of their unhomogeneous dynamic structure and various frequency spectra. For the determination of the sound level, white noise, modulated with 0.5 c/s has been found practical. By this method the entire frequency range is covered, and the envelopes of sounds and noises are statistically simulated.

c) Transients:

The degree of fidelity in reproduction of sound depends on the build-up-time of the speaker system /3/. In high-quality reproduction systems, it must not become audible. In case the build-up-time takes more than 10 ms, the radiation of percussion and speech-sounds will be impaired.

N. *Mayer* /4/ gives a contemplation of all influences determining the transients of electro-dynamic speakers. The duration of transients is a function of the logarithmic decrement of the resonance characteristic of the speaker system. According to *Bjerknes*, its value can be derived from half the width of the resonance curve.

The resonance curve can be plotted by means of an impedance measurement. *Fig. 3a* shows the shape of this curve for the low-frequency part consisting of 4 speakers, whereas *Fig. 3b* represents the characteristic for an individual speaker. In the first case the build-up time, calculated from the decrement, has the negligible value of 7.3 ms, whilst for a single speaker it increases to 35.4 ms. The low damping decrement is due to the high radiation resistance.

In order to prove the influence of reproduced sound actions, iterated tape recordings were analyzed with the aid of a visible speech apparatus /5/. For this purpose some sound signals of short transients were iterated by the loudspeaker and afterwards analyzed. As an example *Fig. 4* shows the analysis of dance music. The diagrams show the effect of the original and third iteration. Referring to the original, any alteration in the precision of this music example will become visible, since the abrupt intonations of the musical instruments are obvious. But even the third iteration does not yet show the build-up time of the loudspeaker.

d) Nonlinear Distortions:

When judging the reproducing quality of loudspeakers, the audibility of nonlinear distortions is of great importance. It is, however, not easy to give objective facts, since the perceptibility of distortions depends on many circumstances. The human ear is especially critical for distortion at middle and higher frequencies. It is desirable in high-quality reproducing systems that nonlinear distortions not surpass those of the amplifier. This demand is met by the new loudspeaker. Table 1 gives a survey of the distortion factor at 1000 c/s for various sound volumes.

Table 1

Sound intensity	Distortion factor
74 phons	0,5 %
80 phons	0,6 %
86 phons	0,7 %
92 phons	1,0 %

Equalizing Network

The standard response characteristic is realized by means of a special network. This network has to equalize the following influences on the frequency response characteristic:

1) Frequency-dependent efficiency of the loudspeaker
2) Cavity resonance of the cabinet
3) Variation of frequency in the overlapping range of tweeter part and low-frequency part
4) Room resonances
5) Frequency-dependent power absorption of the control booths.

The shape of the network's response curve is given by the characteristics of the loudspeaker and the acoustical properties of the control booth. There are special correcting devices for each parameter by which the loudspeaker can be adapted to the room acoustics of the control booths.

Fig. 5 shows the great differences among network curves of various rooms. It will become clear that this network, intended to deal with all possible circumstances has to satisfy considerable requirements. The demand for very narrow allowances in the response curve of the loudspeaker can be met only by a corresponding display in the network. *Table* 2 gives the distortion factor as a function of frequency at a sound volume of 92 phons. Due to the remarkable hump of the network curve, it is difficult to keep nonlinear distortion small enough near the limiting frequencies. From Table 2 it may be seen how far this difficulty was overcome.

Table 2

Frequency	Distortion	
c/s	quadratic	cubic
1000	0.05 %	0.07 %
40	0.36 %	0.40 %
120	0.09 %	0.065 %
5 000	0.11 %	0.07 %
10 000	0.08 %	0.04 %

(To be continued)

Die innere Stimmung der Musikinstrumente

(2) Oboe

von

ROBERT W. YOUNG

Stimmungs-Diagramm der Oboe:

Der erste Aufsatz (1) dieser Serie behandelte die Stimmung der Flöte, und zwar wurde untersucht, um wieviel cts erhöht oder erniedrigt eine Note durchschnittlich im Solospiel über eine Testreihe geblasen wurde. Diesmal betrachten wir die Oboe, ein anderes wichtiges Mitglied aus der Familie der Holzblasinstrumente. Der Testvorgang war der gleiche, wie bereits bei der Flöte beschrieben.

Abb. 2.1 zeigt die Stimmung von zwei Oboen nach einer Untersuchung von Stauffer (2). Beide Spieler werden als Berufs-Oboisten bezeichnet (vermutlich aus der US-Navy-Band in Washington, D. C.). Die ausgefüllten Punkte stellen die Ergebnisse des Spielers mit „größerer Erfahrung im Orchesterspiel" dar.

In diesem Diagramm wird die getestete Note in der üblichen Weise durch ihre Stellung im Notensystem identifiziert. Durch die horizontale Lage der Punkte wird angegeben, um wieviel erhöht oder erniedrigt eine Note bei Dauerton erschien. Z. B. war das mittlere C (C_4) beim Spielen durch den erfahreneren Spieler 1 ct höher (1 ct ist $^1/_{100}$ eines Halbtons). Die gleiche Note wurde auf der anderen Oboe um 30 ct niedriger gespielt. Ein Pluszeichen (oder kein Vorzeichen) bedeutet erhöht, während ein Minuszeichen erniedrigt bedeutet.

Das Diagramm enthält auch noch andere Symbole, welche die Diskussion der Einzelheiten der Stimmung erleichtern. Die Noten sind alle mit Großbuchstaben gekennzeichnet, während die Oktave, in der die jeweilige Note liegt, durch einen Index angegeben wird. Das mittlere C z. B. ist C_4 (es gibt grob gesehen 4 hörbare Oktaven unterhalb dieser Note). Alle Noten der Oktav auf C_4 tragen den gleichen Index. In der nächsten Oktave haben alle Noten den Index 5 usw.

Es wird auffallen, daß die Linien des Notensystems keinen gleichmäßigen Abstand haben. Diese Verzerrung ist jedoch notwendig, um jeder Note der chromatischen Skala gleichmäßig viel Platz einzuräumen. Nach unserer üblichen Notation gibt es zwischen den Linien für E_4 und G_4 nur zwei Noten (F_4 und $F\#_4$), während sich in dem darüberliegenden Zwischenraum drei Noten, nämlich $G\#_4$, A_4 und $A\#_4$ befinden.

Wären alle Punkte der Abb. 2.1 auf der mittleren vertikalen Nullinie eingetragen, so befänden sich die beiden Oboen in völliger Übereinstimmung mit der mathematisch genauen, temperierten Stimmung, die auf A = 440 Hz

aufbaut. Es ist allerdings sehr unwahrscheinlich, daß alle Punkte auf diese Linie entfallen, da 1 ct eine sehr kleine Abweichung darstellt. Zur Orientierung möge man sich vor Augen halten, daß ein A_4 = 435 Hz als — 20 ct aufgetragen würde, wobei in der Umgebung von A_4 1 ct = 0,25 Hz entspricht. Da das A_4 der Oboe, die mit offenen Kreisen dargestellt wird, 18 ct erniedrigt geblasen wurde, entspricht dieser Ton einer Frequenz von 435,5 Hz.

Anpassungsfähigkeit der Spieler:

Es dürfte bekannt sein, daß ein Bläser nicht bei jeder Wiederholung den genau gleichen Ton hervorbringt. Bei 5 Versuchen können die Abweichungen eines guten Oboenspielers (beim Solospiel) im Extremfall mehr als 10 ct betragen, obwohl es auch möglich ist, daß $^2/_3$ der Messungen innerhalb 5 ct liegen. Ferner ist schon ein sehr gutes Gehör erforderlich, um eine Abweichung von 5 ct zwischen zwei Tönen, die nicht gleichzeitig gespielt werden, zu erkennen.

Es muß daran erinnert werden, daß die besprochenen Versuche bei Solospiel durchgeführt wurden. Wir wissen daher nicht, ob die Oboen innerhalb eines Ensembles in der gleichen Weise gespielt worden wären. Es ist bekannt, daß die meisten Töne allein durch die Stellung der Lippen beim Blasen um 10 ct und mehr erhöht oder erniedrigt werden können. Ist der Unterschied zu erheblich, so tritt schließlich eine Verschlechterung der Klangqualität ein. Trotzdem ist die Annahme begründet, daß eine Oboe, die im Solospiel immer erniedrigt liegt, auch mindestens einen Teil der Zeit bei einer Vorführung zu niedrig sein wird.

Die temperierte Stimmung wird im vorliegenden Fall nur als eine Vergleichsbasis benutzt. Eine Gruppe von Musikern kann natürlich nach Belieben einen richtig angestimmten Akkord spielen. Das Stimmungsdiagramm gibt ungefähren Aufschluß darüber, wie weit eine Anpassung nötig ist. Angenommen, die Oboe hat in einem Dur-Akkord auf C den 3. Ton zu blasen. Im einzelnen soll der Akkord C_5 - G_5 - E_6 sein, wobei C_5 mit Nullabweichung gestimmt ist. Soll die dritte Note des Akkords „richtig" sein, so muß sie — bezogen auf die temperierte Skala — um 14 ct erniedrigt gespielt werden. Das bedeutet, daß E_6 auf der Oboe des erfahreneren Spielers von + 32 ct auf — 14 ct erniedrigt werden müßte, im ganzen also eine Änderung von 46 ct erforderlich ist. Man kann anzweifeln, ob diese erhebliche Anpassung vom Bläser häufig vorgenommen wird.

Oboen-Bohrung:

Es liegt außerhalb des Rahmens der vorliegenden kurzen Artikelserie, über die Stimmung von Musikinstrumenten, im einzelnen die physikalischen Gründe zu behandeln, die zu einer bestimmten Stimmcharakteristik führen. Die Oboenbohrung wird jedoch deshalb kurz erwähnt, weil von ihr weitgehend die Grundstimmung der Oktavabstände abhängig ist. Abb. 2.2 zeigt die von Myron Russell (3) vorgeschlagene ideale Bohrung für das obere Stück der Oboe. Er kam zu dieser Bohrung durch eine Auswertung der Bohrung von Oboen, die von ihm als ausgezeichnet bewertet wurden auf Grund einer Untersuchung von über 50 Instrumenten verschiedenster Herkunft aus den letzten 50 Jahren. Seine Beurteilung stützte sich auf: Tonqualität (Klangfülle), hohe oder tiefe Lage, Klangschönheit, Rohrblatt- und Dämpferqualität, Spielfähigkeit, Tonumfang und Tongebung.

Was in Abb. 2.2 zuerst ins Auge fällt, ist der plötzliche Querschnittssprung zwischen dem Durchmesser des Mundstückteils, der beinahe 5 mm (0.197") beträgt, und dem (der „idealen Bohrung") des oberen Stücks der Oboe, die bei 3,76 mm (0.148") beginnt. Derartige Abstufungen sind in der Geschichte der Oboe nichts Ungewöhnliches (4) und man kann mit gutem Grund annehmen, daß die Instrumentenbauer schon seit vielen Jahren wissen, daß durch relativ örtlich begrenzte Änderungen der Bohrung eine selektive Stimmung erzielt werden kann. Kurz ausgedrückt, bedeutet eine Verengung der Bohrung am Ort eines Schwingungsbauches eine Erniedrigung des betreffenden Tones, während eine Erweiterung an der gleichen Stelle ihn erhöht. Da die Knoten und Bäuche für die verschiedenen Töne an verschiedenen Stellen erscheinen, kann eine kleine Änderung des Bohrungsdurchmessers benutzt werden, um die Stimmung benachbarter Töne zu variieren, und zwar besonders in der 2. Oktave des Spielbereichs, ohne andere Töne merklich zu beeinflussen.

Aus Abb. 2.2 geht ferner hervor, daß selbst dann noch eine leichte Verengung der Bohrung gegenüber dem Durchmesser des Mundstückteils besteht, wenn der kleinste Durchmesser des oberen Stücks der Oboe 4.2 oder 4.4 mm beträgt (was für französische und deutsche Oboen vor 1900 typisch gewesen sein soll) (4).

Myron Russell (3) erzählt, daß ein berühmter Oboist der Jetztzeit die Ungleichförmigkeit des Durchmessers für einen Fehler hielt und daher die Bohrung des Oberstücks seiner Oboe erweiterte, um sie so dem Innendurchmesser des Mundstückteils anzupassen; seine eigene lakonische Kennzeichnung des Ergebnisses dieser Maßnahme war: „Ich besaß einmal eine erstklassige Oboe!"

Zusammenfassung:

Die beiden Stimmungsbeispiele der Abb. 2.1 haben nur illustrativen Charakter. Erst wenn noch mehr Beweise vorliegen, wird man wissen, wie weit sie typisch sind. Für spätere Vergleiche wäre es wünschenswert, Angaben über die Raumtemperatur, Art, Erbauer und Alter der Oboen zu erhalten, sowie darüber, welche Griffe angewendet wurden. Am besten wäre es natürlich, alle Bedingungen des Testes zu kennen, einschließlich der schwierig zu

messenden Größen von Zungenblatt und Mundstückteil. Im vorliegenden Fall fehlen leider diese Angaben.

Zum Vergleich der Daten in Abb. 2.1 muß erwähnt werden, daß bis D_5 (der Grenze der von Russell in seiner Dissertation aufgenommenen Werte) bei durchschnittlich vier Tests alle Töne der von ihm als ausgezeichnet benannten Oboe zwischen — 1 und + 8 ct (bezogen auf die temperierte Stimmung) lagen. Bei einer anderen „ausgezeichneten" Oboe betrugen die maximalen Abweichungen — 5 und + 10 ct. Eine weitere Oboe, anscheinend nicht so gut beurteilt wie die vorher genannten aber noch immer als ausgezeichnet eingestuft, zeigte Abweichungen von — 1 bis + 25 ct. Der Stimmton A_4 war dabei 23 ct erhöht, d. h. er entsprach einer Frequenz von 445,9 Hz!

Daraus geht hervor, daß es Oboen gibt, die von Natur aus erhöht sind und solche, die erniedrigt sind und damit dürfte die traditionsgemäße Stimmung des Orchesters nach der Oboe noch fragwürdiger erscheinen.

Literaturverzeichnis:

(1) *Robert W. Young:* Die Stimme der Flöte.
Gravesaner Blätter 2 (1957) Heft 7/8 S. 87.

(2) *Donald W. Stauffer:* Intonation Deficiences of Wind Instruments in Ensemble.
Dissertation der „Catholic University of America Press" Washington, D. C. 1954.

(3) *Myron Edward Russell:* The Oboe, a Comparison Study of Specifications with Musical Effectiveness.
Unveröffentlichte Dissertation. Iowa State Teachers College, Cedar Falls, Iowa, 1953, S. 99.

(4) *Philip Bate:* The Oboe.
Philosophical Library New York, 1956, S. 81, 126, 75.

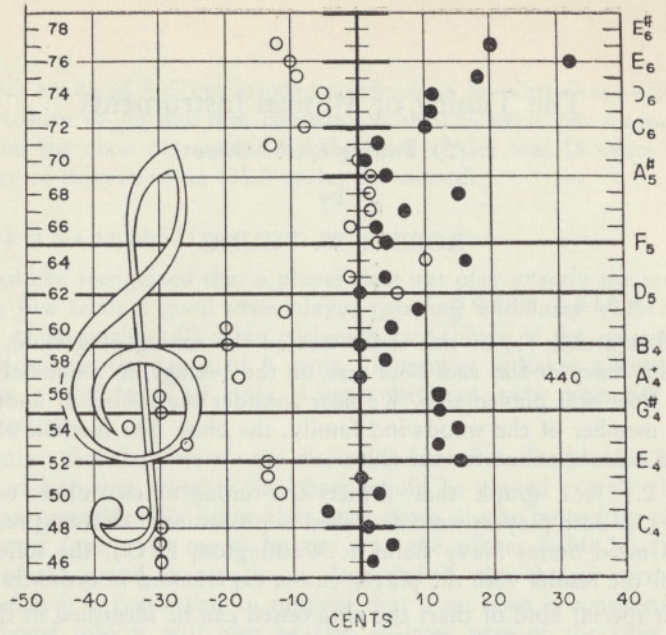


Abb. 2.1 Die Stimmung von zwei Oboen nach Stauffer, 1953.
Die Abweichungen in Cents beziehen sich auf die temperierte Skala auf dem A = 440 Hz.
Die ausgefüllten Kreise gelten für den Spieler „mit der größeren Erfahrung im Orchesterspiel".

Fig. 2.1 Tuning of two oboes measured by Stauffer about 1953, shown as deviations in cents from the equally tempered scale based on the A of 440 cycles per second.
The solid circles are for a player „more experienced in orchestra work."

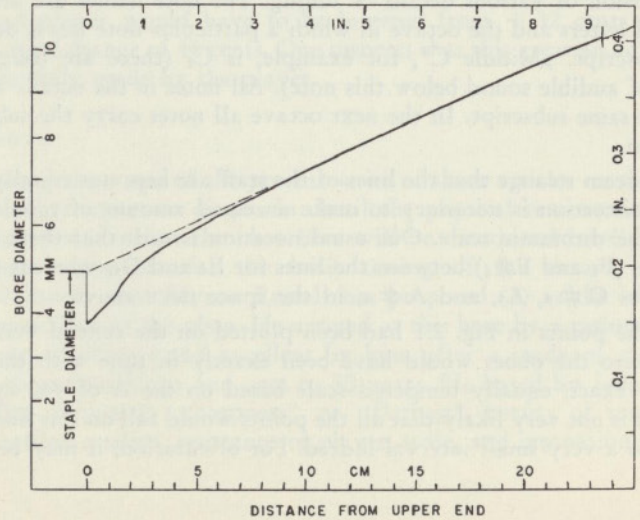


Abb. 2.2 Die ideale Bohrung des Oberstücks einer Oboe nach Russell.

Fig. 2.2 The ideal bore of the upper joint of an oboe, according to Russell.

The Tuning of Musical Instruments

(2) Tuning of the Oboe

by

ROBERT W. YOUNG

Oboe tuning graph

The first article (1) of this series treated the tuning of a flute: that is, how much sharp or flat each note was, on the average, in a number of tests when a flute was played solo. We now consider the tuning of another important member of the woodwind family, the oboe. The method of testing was like that described for the flute.

Figur 2.1 is a graph that depicts the tuning of two oboes tested by Stauffer (2). Both players were described as professional oboists (presumably in the United States Navy Band at Washington, D. C.); the solid points represent the results with the player „more experienced in orchestra work."

In this special kind of chart the note tested can be identified in the usual way in relation to the staff. The horizontal position of a plotted point indicates how much sharp or flat the note was found to be when played steadily. For example, when „Middle C" (marked C_4) was played by the more experienced player, the note was one cent sharp (a cent is a hundredth of a semitone). This same note played on the other oboe was 30 cents flat. A plus sign (or no sign at all) means sharp, while a negative sign on the graph means flat.

This chart also incorporates other symbols that will prove convenient in the discussion of various details of tuning. The note names are all written as capital letters and the octave in which a particular note lies is designated by a subscript. „Middle C", for example, is C_4 (there are roughly four octaves of audible sound below this note). All notes in the octave above C_4 carry the same subscript. In the next octave all notes carry the subscript 5, and so on.

It may seem strange that the lines of the staff are here not equally spaced, but this distortion is necessary to make an equal amount of room for each note of the chromatic scale. Our usual notation is such that there are only two notes (F_4 and $F\#_4$) between the lines for E_4 and G_4, whereas there are three notes $G\#_4$, A_4, and $A\#_4$, in the space next above.

If all the points in Fig. 2.1 had been plotted on the central vertical line marked zero the oboes would have been exactly in tune with the mathematically exact, equally tempered scale based on the A of 440 cycles per second. It is not very likely that all the points would fall on this line because the cent is a very small interval indeed. For orientation, it may be remembered that an A_4 of 435 cycles per second would be plotted as — 20 cents; in the vicinity of A_4 one cent corresponds to 0.25 cycle per second. Since the A_4 on the oboe represented by the open circles was 18 cents flat the frequency of this tone was 435.5 cycles per second.

Player adaptability

It should be recognized that a player does not play *exactly* the same each time. In five trials a good oboe player (playing solo) may vary over an extreme of more than 10 cents, although two-thirds of the measurements may fall within the range of 5 cents. Moreover, it takes a keen ear to recognize a difference of only 5 cents between two notes not played simultaneously.

Remember that the tests we are discussing here were made solo. We have no way of knowing whether the oboes would be played exactly the same way in an ensemble. We know that most notes can be moved up or down by 10 cents (and even more) by the way the player holds his lips; the quality of the sound eventually is degraded if the change is too great. Nevertheless it is reasonable to suppose that if an oboe is consistently flat when played solo it will also be flat at least part of the time during performance.

Equal temperament is used here simply as a basis of comparison. A group of players may, of course, choose to play a justly intoned chord. The tuning graph gives us some indication of how much adjustment would be necessary. Suppose the oboe is to play the third in a major chord on C: specifically, suppose the chord is C_5 - G_5 - E_6, and that the C_5 is tuned with zero deviation. If the third of the chord is to be „just" it must be 14 cents flat in relation to equal temperament. This means that E_6 on the oboe of the experienced player would have to be lowered from + 32 cents to — 14 cents — a total change of 46 cents. One suspects that this great an adjustment is not frequently made by the player.

Oboe bore

It is beyond the scope of the present series of short articles on the tuning of musical instruments to discuss in detail the physical reasons underlying tuning characteristics, but the oboe bore will be mentioned briefly because it is largely responsible for the basic tuning of the octave intervals. Figure 2.2 shows what Myron Russell has proposed (3) as the ideal bore for the upper joint of the oboe. He arrived at this bore by a rationalization of the bores of oboes rated excellent by him, after a study of more than 50 oboes of various kinds and ages to 50 years. He based his judgment on tone quality (bigness), „sharpness" or „flatness", beauty of tone, reedy quality, muffled quality, resistance to player, scale, and intonation.

Perhaps the feature that first catches one's eye in Fig. 2.2 is the abrupt change in cross section between the reed staple, having an inside diameter nearly 5 mm (0.197"), and the „ideal bore" starting at 3.76 mm (0.148"). Such steps are common enough in the history (4) of the oboe, and there is reason to believe that instrument makers have recognized for many years that selective tuning can be achieved by relatively local changes in the bore. In brief, constriction of the bore at a vibration antinode flattens the note concerned whereas an expansion at the same position sharpens the note. Since the nodes and antinodes occur at different positions for different notes a small change in bore can be used to modify the tuning of a few adjacent notes, particularly in the second octave of the instrument's playing range, without significantly affecting others.

It may further be noted in Fig. 2.2 that there would still be a slight constriction of the bore in relation to the staple even if the minimum diameter were 4.2 or 4.4 mm, the respective diameters said (4) to be typical of French and German oboes before 1900.

Myron Russell recounts the story (3) of a famous oboe player of today who thought this discontinuity in diameter to be a mistake and he forthwith reamed the bore of the upper joint to match the inside diameter of the staple. His succint description of the outcome was „One first-class oboe ruined".

Conclusion

The two tunings shown in Fig. 2.1 are only illustrative; only after more evidence is accumulated will it be known how typical they are. For later comparison one would like to know such things as the room temperature, style of oboe, the maker, the age, and which fingerings were selected for plotting where a choice is possible. Of course, one would like to know *all* the conditions of the test, including such difficult things to measure as the dimensions of the reed and staple. Unfortunately, all this information is lacking.

For comparison with data in Fig. 2.1, it may be mentioned that up to D_5 (the limit of the data recorded by Russell in his dissertation) in an average of four tests all of the notes for one of the oboes rated excellent by him lay between — 1 and + 8 cents of the standard equal temperament. For another „excellent" oboe the maximum deviations were — 5 and + 10 cents. Still another oboe, apparently not considered as good as the preceding two but still rated excellent, showed deviations from — 1 to + 25 cents; the tuning A_4 was 23 cents sharp — meaning a frequency of 445.9 cycles per second.

It thus appears that there are sharp oboes and there are flat oboes — and there is reason to question the traditional practice of tuning the orchestra to the oboe.

(1) *Robert W. Young*, Gravesaner Blätter VII/VIII, 1957, pages 87—91.

(2) *Donald W. Stauffer*, „Intonation Deficiences of Wind Instruments in Ensemble", a dissertation. The Catholic University of America Press, Washington, D. C. 1954; price $ 2.25.

(3) *Myron Edward Russell*, „The Oboe, a Comparison Study of Specifications with Musical Effectiveness", an unpublished dissertation. Iowa State Teachers College, Cedar Falls, Iowa, 1953; p. 99.

(4) *Philip Bate, The Oboe* (Philosophical Library, New York, 1956) p. 81, 126, 75.

Die GRAVESANER BLÄTTER sind keine spezielle Fachzeitschrift. Sie wollen der neuen synthetischen Erkenntnismethode dienen, indem sie Gesamtheitsprobleme aus jedem der drei Teilgebiete: Kunst (Musik), Technik (Elektroakustik), Wissenschaft (Schallplattenforschung) kompromißlos und in wissenschaftlicher Weise zur Darstellung bringen.

Hermann Scherchen

The GRAVESANO REVIEW is not a specialized magazine. It hopes to serve a new synthetic research field, where, without compromise, the overall problems of music, electrotechnique, and acoustics will be presented scientifically.

Hermann Scherchen

ELEKTROAKUSTISCHES EXPERIMENTALSTUDIO GRAVESANO

2. bis 16. März 1958

EINFÜHRUNG IN DIE KOMMUNIKATIONSFORSCHUNG

I

(2. — 9. März)

DOZENT: *Prof. W. Meyer-Eppler,* Universität BONN

Kommunikation und Information
(Grundlagen)

1. Teil: Strukturtheorie der Signale
- a) Strukturelle Information (Auswahltheoreme. Spektraldarstellung, Informationsmatrix, Anamorphose)
- b) Metrische Information (Informationsvolumen und Informationsfluß, binäre Darstellung)

2. Teil: Eigenschaften linearer Systeme (Kanalkapazität)

3. Teil: Symbolstatistik
- a) Selektive Information (Entropie und Redundanz)
- b) Markoffprozesse (Markoffketten erster und höherer Ordnung)
- c) Statistische Charakteristiken

4. Teil: Symbolübermittlung
- a) Übertragungsmatrizen (Kontingenz, Dissipation, Äquivokation, Transinformation)
- b) Perzeptionsprobleme (Valenzen, Valenzklassen, Verständlichkeit)

Mathematische Anforderungen: Die Übungen setzen einige Vertrautheit mit Logarithmen, Matrizen und den elementaren statistischen Methoden voraus.

II

(9. — 16. März)

DOZENT: *Chefingenieur Dr. F. Enkel,* Westdeutscher Rundfunk Köln

Informationstheorie und Musik
(Experimente)

1. Unterscheidungsvermögen des Gehörs für Klangstrukturen.
2. Experimentelle Bestimmung des Gehörtypus.
3. Aufspaltung des Informationsgehaltes musikalischer Signale in semantische und ektosemantische Information.
4. Bedeutung der Redundanz für die Perzeption von Schallvorgängen.
5. Versuche zur Kanalkapazität elektroakustischer Übertragungssysteme.
6. Autokorrelation und ektosemantische Information musikalischer Signale.
7. Spektralmodulation musikalischer Vorgänge.
8. Informationsvermindernde und Informationsvermehrende Umformung akustischer Signale.

Außer Mitgliedern der INTERNATIONALEN MUSIKALISCHEN JUGEND, die die Veranstaltung UNENTGELTLICH besuchen dürfen, sind BEOBACHTER zugelassen. — Bedingungen für eine eventuelle Teilnahme sind zu erfragen per Anschrift:

HERMANN SCHERCHEN, GRAVESANO / TESSIN (SCHWEIZ)

ELECTROACOUSTICAL EXPERIMENTALSTUDIO GRAVESANO

March 2 — 16, 1958

INTRODUCTION TO COMMUNICATION RESEARCH

I

(March 2 — 9)

LECTURER: *Prof. W. Meyer-Eppler,* University of BONN

Communication and Information
(Fundamentals)

Part 1: Theory of signal structure
- a) Structural Information (Sampling theorems, spectral representation, information matrix, anamorphosis)
- b) Metrical Information (Information volume and information flux, binary representation)

Part 2: Properties of linear systems (Channel capacity)

Part 3: Statistics of Symbols
- a) Selective information (Entropy and redundancy)
- b) Markov processes (Markov chains of first and higher orders)

Part 4: Transmission of symbols
- a) Transmission matrices (Contingency, dissipation, equivocation, transinformation)
- b) Perceptibility problems (Valencies, valency classes, articulation score)

Mathematical requirements: The exercises will require some familiarity with handling logarithms and matrices as well as elementary statistical methods.

II

(March 9 — 16)

LECTURER: *Chief Eng. Dr. F. Enkel,* West German Radio, COLOGNE

Information Theory and Music
(Experiments)

1. Capacity of the ear for analyzing sound structures.
2. Experimental determination of listening types.
3. Splitting up of music signals into semantic and ectosemantic information.
4. Significance of redundance for the perception of acoustic signals.
5. Experiments concerning the capacity of electro-acoustic transmission channels.
6. Autocorrelation and ectosemantic information of music signals.
7. Spectrum modulation of music signals.
8. Modification of acoustic signals
   a) reducing the information
   b) increasing the information.

In addition
to the members of the INTERNATIONALE MUSIKALISCHE JUGEND
who as guests of the Experimentalstudio GRAVESANO attend the courses GRATUITOUSLY, OBSERVERS may participate, inquiring about the conditions of their attendance by writing:

HERMANN SCHERCHEN, GRAVESANO, Tessin, Switzerland

Musik aus dem akustischen Labor

An Weihnachten erscheinen die ersten „Scherchen-Tonbänder"

Von diesem Studio erzählte nun Scherchen — erstmalig übrigens — auf Einladung Direktor Seilers im Städtischen Konservatorium der Öffentlichkeit interessante Einzelheiten. Es komme ihm, sagte er, bei dieser Arbeit darauf an, mit Hilfe der elektro-akustischen Möglichkeiten alles wirklich hörbar zu machen, was der Komponist beim schöpferischen Vorgang innerlich wahrnahm und dann in der Partitur notierte. Das sei, soweit es den Orchesterklang betrifft, auch in den besten Sälen bisher nicht möglich gewesen. Die „Individualität der Konzertsäle", ihre Hall-Verhältnisse und ihre Schall-Absorptionen, die überall verschieden sind und mit ihrem Einfluß auf die Obertonreihen auch die Klangqualitäten oft entscheidend verändern, diese „Imponderabilien der Musikpraxis" versucht Scherchen auszuschalten.

Die Tonbandbeispiele, die Scherchen dann aus seinem „nachhallfreien" Tonlabor vorführte, sind zweifellos das Nonplusultra dessen, was sich an „Hi-Fi" (der amerikanische Schallplattendreh mit der High-Fidelity = „hohe Klangtreue", sprich: Heifei . . .) überhaupt erreichen läßt. Scherchen will noch mehr erreichen: er will jedem Werk die seinem Stil angemessene „Raum-Atmosphäre" schaffen, für Bach eine klare, für Mendelssohn eine transparente, für Debussy eine atmosphärische, für Strawinsky eine hartprägnante. So empfand man zumindest die Beispiele, am besten schien es bei Strawinsky, am wenigsten bei Debussy gelungen. Denn die Atmosphäre bleibt synthetisch. Es waren die ersten „Scherchen-Bänder", die öffentlich vorgeführt wurden. Man wird sie demnächst im Handel beziehen können, und in ihrer unerhörten „Perfektion" werden sie reißenden Absatz finden.

Eines dieser Bänder wird schon an Weihnachten herauskommen. Es führt den Titel „Jerusalem", bringt Ausschnitte faszinierender Art: Glockengeläute, das „Vaterunser" in der Ursprache, Kirchengesänge — ein ungemein eindrucksvolles Stück kultischen Orients. Am Schluß führte Scherchen noch zwei Beispiele aus der gravesanisch gefilterten modernen „leichten Muse" vor. Auch bei ihnen spürte man, daß hier ein Akustiker am Werk war, der zugleich ein exzellenter Musiker ist. In ihrer raffinierten synthetischen Klanglichkeit würden sie dem Tanzparkett etwa des Titisee-Hotels entschieden Ehre machen: man bekam im würdigen Konservatoriums-Saal geradezu Visionen von Glasveranden, Gebirgsblick und mondänen Exemplaren schnittiger Wasserskihäschen. K. F.

Nürnberger Nachrichten, 8. XI. 57.

Scherchens Ton-Studio in Gravesano

Der Dirigent führte seine Tonbänder vor

Vor einem kleinen Kreis führte Prof. Hermann Scherchen im Konservatorium eine Reihe von Tonbändern vor, die er in seinem Studio hergestellt hat. Sie überzeugten durch die Plastik und durch die Transparenz der Wiedergabe. Sehr einddrucksvoll ist eine Tonmontage „Jerusalem", in der zwischen den Aufnahmen der tönenden Glocken das „Vaterunser" auf aramäisch, d. h. in der Sprache Christi, und der Gesang von Chören eingeblendet sind. Das Band wird an Weihnachten herauskommen. Die Montage wurde nach Tonreportagen gemacht. Im übrigen nimmt Prof. Scherchen nur Musik auf, die er selbst dirigiert und interpretiert. Er ist mit Recht der Meinung, daß die Konservenmusik das, „was geschrieben steht", mit aller Gewissenhaftigkeit dokumentarisch wiedergeben soll. Daß in ihm der musikalische Interpret und der experimentierende Techniker in einer Person vereinigt sind, macht seine Bestrebungen so wertvoll. Es gibt da keine Diskrepanz zwischen Musiker und Toningenieur. Seine Aufnahmen macht er in einem „schalltoten" Raum von 500 cbm, d. h. der Raum hat keinen Nachhall. Der Raum hat auch keine parallelen Wände, er hat fünf Wände. Seine Räume sind so eingerichtet, daß die Akustik dosiert werden kann. Kühler ist die akustische Atmosphäre bei Bach, wärmer bei katholischer Kirchenmusik. Bei einem der Geistlichen Gesänge von Strawinsky wird die Baßpartie in der Art der russischen Chöre stark betont. Das war schon ein sehr starker Eindruck. Prof. Scherchen sagte, daß er normale Bandaufnahmen von einem seiner Konzerte im Studio tonlich um 50 Prozent verbessern könne. In die Experimente ist auch die moderne Unterhaltungsmusik mit einbezogen. Er wird demnächst auch eine ganze Oper, den „Don Giovanni", in dieser stereophonischen Art aufnehmen. M. Sp.

Nürnberger Zeitung, 8. XI. 57

Music from an acoustic Laboratory

The first „Scherchen-tapes" will be on sale by Christmas

Following an invitation by Director Seiler, Hermann Scherchen presented interesting details about the Gravesano studio for the first time to a public audience in the Conservatory of Music in Nürnberg. What he wants to achieve through this work is, as he said, to make really audible by electro-acoustic means, all that which the composer hears in his inner ear during the creative process and then sets down in the score. As far as orchestral tone is concerned, this has not been possible so far even in the best concert halls. The „individuality of the concert halls", their resonance conditions and their sound-absorbing properties, varying everywhere and often decisively altering the tone-qualities through their influence on the over-tone series — all these „imponderables of music practice" Scherchen is trying to eliminate.

The tape-recorded examples from this resonance read acoustical laboratory which Scherchen then demonstrated, are doubtless the non plus ultra of high-fidelity that can be achieved. Scherchen wants to do even more: he wants to create for each work the „space-atmosphere" most appropriate to its style : clear for Bach, transparent for Mendelssohn, atmospheric for Debussy, hard and pithy for Strawinsky. These at least were the impressions one gained through listening to the examples given. The best results were achieved with Strawinsky, the less good results with Debussy; for the atmosphere remains synthetic. They were the first „Scherchen-tapes", demonstrated publicly. They will be on the market shortly, and will sell readily, due to their unheard of perfection.

One of these tapes will be on sale by Christmas. It carries the title „Jerusalem", and contains fascinating excerpts: peals of bells, the Lord's Prayer in its original version, church hymns — an extremely impressive picture of oriental religious traditions. At the end, Scherchen demonstrated two samples of modern light music bearing the typical stamp of the „Gravesano-filter". They, also, made one feel that here an acoustic-expert who is, at the same time, an excellent musician, was at work. Through their highly refined synthetic sound-appeal, the tapes would certainly add to the attraction of any dance-floor, even of the Titisee-hotel (lake in southern Germany). In the venerable auditorium of the Conservatory one could not help but see visions of glassed-in verandas, mountain-ranges and glamorous, shapely waterskiing belles. K. F.

„Nürnberger Nachrichten", Nov. 11, 1957

The Acoustic Studio of Hermann Scherchen at Gravesano

The conductor presents his tape-recordings

In the Conservatory, Professor Scherchen demonstrated, before a small circle, a number of tape-recordings, produced in his Gravesano studios. They convinced by their graphic power and by their transparency of reproduction. Very impressive is a „sound-montage", entitled „Jerusalem", into which the sound of bells, the Lord's Prayer in the Aramaic language, i. e. in the speech of Jesus, and the singing of hymns is blended. The tape will be on the market by Christmas. The montage was made from original documentary tapes. Professor Scherchen, by the way, records only music which he himself conducts and interprets. He justly believes that „tinned music" should reproduce, with all accuracy, that which is written down in the original. What makes his recordings so valuable is that in him the musical interpreter and the experimental technician are integrated in one person. There is no discrepancy between the musician and the sound engineer. He makes his recordings in a resonance-free room of 500 cbm, i. e. a room without echoes. The room has five walls, none of which is parallel to another. His studios are so equipped as to permit delicate adjustment of acoustic conditions for any desired effect. The acoustic atmosphere is cooler with Bach, warmer with Catholic church music. In the case of one of the hymns by Strawinsky, the bass part is stressed in the manner of Russian choirs. That made a particularly deep impression. Professor Scherchen said that the tone of regular tape-recordings from his concerts could be improved in his studios by fifty percent. The experiments are extended also to modern lith music. Scherchen plans to record shortly an entire opera, the „Don Giovanni", in this stereophonic way. M. Sp.

„Nürnberger Zeitung", Nov. 11, 1957

HEFT I - JULI 1955

		Seite
La crise de la musique sérielle	Yannis Xénakis	2
Das Experimentalstudio Gravesano	Dr. Scerri und Dr. Weisse	5 16
Ionophon — Ein Lautsprecher ohne Membrane	Dr. Lölhöffel	22
Sichtbar gemachte Musik	Dr. Meyer-Eppler	27
Ein akustischer Zeitregler	Dr. Springer	32
London letter	Dr. Alexander	38
Letzte Entwicklungen in der amerikanischen Fernseh-Technik	Dr. Kracht	41
Correspondances parisiennes	Pierre Souvtchinsky	44
Essai de vocabulaire graphique international de l'acoustique musicale et l'électroacoustique	Dr. Moles	46

HEFT II/III - JANUAR 1956

		Seite
Sprache und Musik	Hermann Scherchen	3
Debussy: „Jeux" (Poème de danse)	Pierre Boulez	5
Zwei Dokumente aus der Krankheitsgeschichte Friedrich Nietzsches	Herbert Sandberg	6
Die Grenzen planmäßiger raumakustischer Gestaltung	Lothar Cremer	10
Die Reflektoren des Konserthuset Stockholm	Gunnar Sundblad	34
L'intrusion de l'Electroacoustique en musique	Pierre Schaeffer	38
Von der leichten zur „leichtesten" Musik	Fritz Winckel	46
Les bases de la jouissance musicale	André Moles	48
Reaktionen auf akustische Reize	Fritz Enkel	58
Folkloristic Elements	Frank Wade	67
Künstlerische Ambitionen und Techniken in der leichten Musik	Kurt Blaukopf	71
Leichte Musik und Elektrotechnik in Vergangenheit und Gegenwart	W. Meyer-Eppler	76
Zur Gründungssitzung der Gesellschaft: „Freunde von Gravesano"	Jack Bornoff	80
Bericht über die erste Stipendiatsperiode	Friedrich Trautwein	83
M. Moussorgsky: „Rajok" (Musikbeilage)	Pierre Souvchinsky	97

Schallplattenbeilagen zu I—IV

I: „Ein akustischer Zeitregler" - II/III: „Der Einfluß des Mikrophons auf die tönende Botschaft" - IV: „Klangumwandlungen durch Frequenzumsetzung"

HEFT IV - MAI 1956

		Seite
Manipulation und Konzeption		
I. Mozarts „Anleitung zum Komponieren von Walzern vermittels zweier Würfel"	Hermann Scherchen	3
II. Zur Entwicklung der Serientechnik	Luigi Nono	14
III. Brief an eine unbekannte Adresse	Hans Werner Henze	18
Über die Raumakustik im großen Konzert- und Sendesaal des Hessischen Rundfunks in Frankfurt	Karlhans Weisse	20
Klangumwandlungen durch Frequenzumsetzung	L. Heck u. F. Bürck	35
Die Erregung von Eigentönen gedämpfter Räume durch kurzzeitige Impulse	Josef Capek	57
Inventar des Experimentalstudios Gravesano		64

HEFT V - AUGUST 1956

		Seite
Einschränkung des Musikerlebnisses auf das Auditive	H. H. Stuckenschmidt	3
Etude Poétique (Musikbeilage)	Darius Milhaud	9
Konstruierte Musik	Darius Milhaud	14
Kolloquium:		
Künstlicher Nachhall und erster Rückwurf	Dr. Kuhl	15
Zusammenfassung der Ergebnisse	Prof. Cremer / Dr Kuhl	17
Nachhallstudien des holländischen Staatsrundfunks	Dr. Geluk	21
Stereofonie und richtungsdiffuse Klangwiedergabe	Holger Lauridsen / Franz Schlegel	28
Das elektroakustische Institut Hermann Scherchen	A. Moles / F. Trautwein	51

HEFT VI - DEZEMBER 1956

		Seite
Informationstheorie und ästhetische Empfindung	André Moles	3
Filterversuche in Gravesano	André Moles	10
Legende zur beiliegenden Schallplatte	André Moles	15
Die Grundlagen der Neuen Musik:		
a) Die neue Kompositionstechnik	Luigi Nono	19
b) Das neue Klangmaterial (Die Technik der elektronischen Klanggestaltung)	Fritz Enkel	20
Manipulation und Konzeption (II)		
a) Wahrscheinlichkeitstheorie und Musik	Janis Xénakis	28
b) Brief an Hermann Scherchen	Janis Xénakis	35

		Seite
Musik und „Normen“ (I)	Hermann Scherchen	38
a) Die Bedeutung des Vibratos in der Musik	Fritz Winckel	40
b) Historische Klangtreue	Kurt Blaukopf	48
c) Zur Entwicklung und den Ursachen der primitiven Skalenbildung	Paul Collaer	52
Das Institut für Kommunikationsforschung an der Universität Bonn	G. Ungeheuer / H. Heike	57

HEFT VII/VIII - APRIL 1957

		Seite
Friedrich Trautwein (zum Gedächtnis)	Jack Bornoff	3
Das Tonmeisterproblem	Ermanno Briner	4
Stereophonische Klangwiedergabe	J. G Cordonnier	9
Experimente mit mehreren Mikrophonen	Gravesano, Dez. 1956	28
Optimale Lautsprecher-Anordnungen	Walther Könnecke	31
Legende zur beiliegenden Schallplatte	André Moles	35
Manipulation und Konzeption (III)		
Einheitswissenschaft und Musik	Hermann van San	36
Ultraschall und seine Bedeutung für Musik, Physiologie und Psychologie	Clifton Thornton	46
Probleme des Hörens	Friedrich Trautwein	62
Musik und Normen (II)		
Die innere Stimme der Flöte	Robert W. Young	80
Objektive Qualitätsbestiimungen von Geigen	Ulrich Arns	85
Gestaltung von Musikräumen	Willi Furrer	110
Nachtrag zu Heft Nr. VI (Beilage)	André Moles	131

Schallplattenbeilagen zu V—VIII

V: „Nachhallstudien des holländischen Staatsrundfunks“ - VI: Experimente mit dem Albis-Terzfilter a) Musik - VII/VIII: b) Sprache

Printed in Germany. — Druck: Graphische Kunstanstalt H. Schiele, Regensburg

1957 by Ars Viva Verlag (Hermann Scherchen) GmbH., Mainz.

ELEKTROAKUSTISCHES EXPERIMENTALSTUDIO HERMANN SCHERCHEN · GRAVESANO

29. Juni bis 10. August 1958
Erste Internationale Sommer - Akademie
Der moderne Kapellmeister

Kurs I. DRAMATURGIE VON TELEVISION UND OPER

Kurs II. MUSIKALISCHE, ELECTROAKUSTISCHE UND SCHALLWISSENSCHAFTLICHE PROBLEME

GESAMTLEITUNG HERMANN SCHERCHEN

Die Teilnehmer der Kurse wohnen auf der Brüsseler Weltausstellung den Proben für das Festkonzert der „Fédération Internationale des Jeunesses Musicales“ unter Hermann Scherchen bei (142 Mitwirkende aus 22 Nationen).

PROGRAMM

Henri Pousseur, Werk für Orchester und elektronische Klänge, Uraufführung / *Alban Berg*, Violinkonzert, Arthur Grumiaux / *Beethoven*, 7. Symphonie

* * *

Die Untersuchungen des I. Kurses betreffen:

TELEVISION

OPER

Kurs II. behandelt:

MUSIKALISCH UND DIRIGIERTECHNISCH:

Bach, H-moll Messe / *Beethoven*, Symphonien / *Debussy*, Nocturnes / *Ravel*, Bolero / *Satie*, La mort de Socrate / *Milhaud*, A la mort d'un tyran / *Strawinsky*, 3 religiöse Chöre, Psalmensymphonie, Requiem / *Schönberg*, 1. Kammersymphonie, Pierrot lunaire, Tanz um das goldene Kalb / *Webern*, 2. Kantate / *Varèse*, Ionisation / *Boulez*, Le visage nuptial / *Stockhausen*, Zeitmaße / *Nono*, Canto sospeso / *Xenakis*, Metastasis

ELEKTROAKUSTISCH:
Die optimale Hi-Fi Gestaltung bei der Konservierung solcher Werke durch Schallplatte, Band, Rundfunk, Tonfilm und Television

SCHALLWISSENSCHAFTLICH:
deren klangliche Abhängigkeit von Raumplacierung des Orchesters, Raumgestalt, Raumhall, Raumklangfarbe etc.

* * *

Teilnahmebedingungen für die Sommer-Akademie sind zu erfragen:

June 29 until August 10, 1958
First International Summer Course
The modern conductor

I. TELEVISION AND OPERA

II. TODAY'S MUSICAL, ELECTRO-TECHNICAL AND ACOUSTICAL PROBLEMS

GENERAL DIRECTION HERMANN SCHERCHEN

At the Brussel's World Exposition the participants of the courses will attend the rehearsals for the Festival Concert of the „Fédération Internationale des Jeunesses Musicales“ (142 young musicians from 22 nations) conducted by Hermann Scherchen.

PROGRAMM

Henri Pousseur, Werk für Orchester und elektronische Klänge, Uraufführung / *Alban Berg*, Violinkonzert, Arthur Grumiaux / *Beethoven*, 7. Symphonie

* * *

The studies for course I include:

TELEVISION

OPERA

Course II contains:

MUSICAL AND TECHNICAL ANALYSES OF:

Bach, H-moll Messe / *Beethoven*, Symphonien / *Debussy*, Nocturnes / *Ravel*, Bolero / *Satie*, La mort de Socrate / *Milhaud*, A la mort d'un tyran / *Strawinsky*, 3 religiöse Chöre, Psalmensymphonie, Requiem / *Schönberg*, 1. Kammersymphonie, Pierrot lunaire, Tanz um das goldene Kalb / *Webern*, 2. Kantate / *Varèse*, Ionisation / *Boulez*, Le visage nuptial / *Stockhausen*, Zeitmaße / *Nono*, Canto sospeso / *Xenakis*, Metastasis

ELECTROTECHNICAL:
Considerations for optimal Hi-Fi preservation of studied works through recordings, tapes, radio, film, and television

ACOUSTICAL RESEARCHES:
Concerning the effects of form, reverberation, timbre, etc. of concerthalls, orchestral placement and other problems

* * *

Information for the Summer Course through:

HERMANN SCHERCHEN, GRAVESANO / TESSIN (SCHWEIZ)

ELEKTROAKUSTISCHES EXPERIMENTALSTUDIO
HERMANN SCHERCHEN, GRAVESANO

9. und 10. März 1958

Tagung der Deutschen Kinotechnischen Gesellschaft e. V.

in

GRAVESANO

„Elektro-Akustische Musikgestaltung

in Film- und Fernsehen"