

GRAVESANER

BLÄTTER

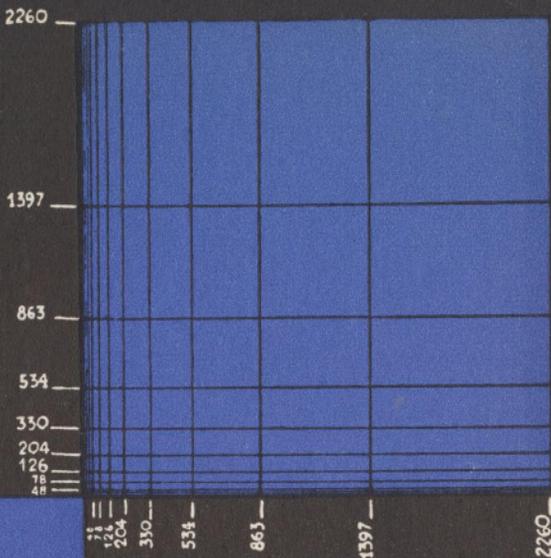
HERAUSGEBER HERMANN SCHERCHEN

ENGLISCH-DEUTSCH

ARS VIVA VERLAG  
(HERMANN SCHERCHEN)  
GMBH MAINZ

MUSIKALISCHE, ELEKTROAKUSTISCHE UND  
SCHALLWISSENSCHAFTLICHE GRENZPROBLEME  
JAHRGANG III

HEFT **10**



1830

699

432

267

165

105

63

105  
165  
267  
432  
699  
1151  
1830

*U. Erdmann*

**I. INTERNATIONALE WIENER  
JUGENDFESTWOCHE**

1.—8. Juni 1958

Die Stadt Wien ladet im Rahmen der Wiener Festwochen 1958 junge Menschen aus aller Welt zur I. Internationalen Wiener Jugendfestwoche ein.

Musikfreunde und Musiker, die das 25. Lebensjahr noch nicht vollendet haben, mögen ihre Anmeldung an die „Musikalische Jugend“ (Wien I., Bösendorferstraße 12) richten.

Die Kosten des Aufenthaltes trägt die Stadt Wien.

Junge Kunstfreunde von überall können im internationalen Jugendorchester mitwirken, das unter der Leitung von Hermann Scherchen folgende Werke studieren und zweimal öffentlich aufführen wird:

- 1) Beethoven: Pastorale / 2) Schönberg: Friede auf Erden /  
3) Webern: 5 Stücke für Streichorchester / 4) Stravinsky:  
Ave Maria, Kyrie, Credo / 5) Ravel: Ma mère l'oye.

**WELTKONGRESS  
DER INTERNATIONALEN  
MUSIKALISCHEN JUGEND  
BRÜSSEL, 12.—22. Juli 1958**

- Samstag, 12. VII.:  
Eröffnungsempfang  
Sonntag, 13. VII.:  
Orchester Österreichs  
Montag, 14. VII.:  
Orchester der USA.  
Dienstag, 15. VII.:  
Orchester der UdSSR.  
Mittwoch, 16. VII.:  
Orchester Deutschlands  
Donnerstag, 17. VII.:  
Orchester Groß-Britanniens  
Freitag, 18. VII.:  
Orchester Jugoslawiens  
Samstag, 19. VII.:  
Orchester Hollands  
Samstag, 19. VII.:  
Orchester der Schweiz  
Sonntag, 20. VII.:  
Gesamtkonzert der Internationalen Jugendorchester  
(u. a. 2 Uraufführungen: Henry Pousseur (Brüssel) und Janis Xenakis (Paris) / Leitung: Hermann Scherchen)

**I. VIENNA INTERNATIONAL  
YOUTH FESTIVAL WEEK**

June 1—8, 1958

The City of Vienna invites young people from all over the world to the First Vienna International Youth Festival Week as part of the Viennese Festival Weeks of 1958.

Musicians and music enthusiasts under the age of 25 may apply to the „Musikalische Jugend“, 12 Bösendorferstraße, Vienna 1, Austria.

The City of Vienna graciously offers to cover all residence expenses.

From everywhere friends of music can come to Vienna to study and play under the direction of Hermann Scherchen at two public concerts:

**WORLD CONGRESS  
OF THE INTERNATIONAL  
MUSICAL YOUTH  
BRUSSELS, July 12—22, 1958**

- Saturday, 12th:  
Opening Ceremony  
Sunday, 13th:  
Orchestra of Austria  
Monday, 14th:  
Orchestra of USA.  
Tuesday, 15th:  
Orchestra of USSR.  
Wednesday, 16th:  
Orchestra of Germany  
Thursday, 17th:  
Orchestra of Great Britain  
Friday, 18th:  
Orchestra of Yugoslavia  
Saturday, 19th:  
Orchestra of Holland  
Saturday, 19th:  
Orchestra of Switzerland  
Sunday, 20th:  
Combined Concert of the International Youth Orchestras  
(including two first performances: Henry Pousseur (Brussels) and Janis Xenakis (Paris) / Direction: Hermann Scherchen)

**G R A V E S A N E R B L Ä T T E R**

No. X

IV. Jahrgang

1958

**INHALT**

	Seite
Holger Lauridsen † . . . . .	2
Besuch in Gravesano . . . . .	Luigi Dallapiccola 3
Pierre Boulez' „structure 1a“ . . . . .	Marc Wilkinson 12
Die beim Bau der Benjamin Franklin Kongreß- halle berücksichtigten akust. Forderungen (I)	Hugh Stubbins 31
(II)	Robert B. Newmann 32
Die Hörsamkeit großer Orchesterstudios und Konzertsäle (II) . . . . .	T. Somerville und C. L. S. Gilford 41
Beitrag zur Nachbildung des menschlichen Gehörs im Rahmen raumakustischer Modellversuche .	F. Keller 72
Betriebserfahrungen mit einem neuen Regie- lautsprecher (II) . . . . .	Fritz Enkel 94
Verbesserungen der Wiedergabequalität . . . .	Friedrich-Karl Schröder 108
Aus einem Brief an Hermann Scherchen . . . .	Le Corbusier 126
Psycho- u. Elektroakustik der Schallbildsynthese (Legende zur Schallplatte)	Fritz Enkel 127

Redaktion: Gravesano (Tessin) Schweiz

Herausgeber: Hermann Scherchen

**Nachdruck verboten!**

**G R A V E S A N O R E V I E W**

No. X

Vol. IV

1958

**CONTENTS**

	Page
Holger Lauridsen † . . . . .	2
Gravesano Visit . . . . .	Luigi Dallapiccola 7
Some Thoughts on Twelve Tone Method . . . .	Marc Wilkinson 23
Comments on the Acoustics Consideration in the Design of the Congress Hall, Berlin (I) . . . .	Hugh Stubbins 37
(II) . . . . .	Robert B. Newmann 38
Acoustics of Large Orchestral Studios and Concert-Halls (II) . . . . .	T. Somerville and C. L. S. Gilford 58
Contribution to the Duplication of the Human Ear for Acoustic Model Testing . . . . .	F. Keller 86
Experiences with a New High-Quality Loudspeaker for Control Booths . . . . .	Fritz Enkel 102
Improvements of Reproduction Quality . . . .	Friedrich-Karl Schröder 119
From a Letter to Hermann Scherchen . . . . .	Le Corbusier 126
Psycho and Electro-Acoustics of Sound Synthesis (Legend to the accompanying record)	Fritz Enkel 128

Published by Experimental Studio Gravesano

Editor: Hermann Scherchen

**Extracts may not be published without permission**



HOLGER LAURIDSEN \*  
(1920 — 1957)

Als Leiter des Laboratoriums von STATSRADIOFONIEN (Kopenhagen) beschäftigte Holger LAURIDSEN sich ebenso mit den Problemen der Niederfrequenztechnik und der Bandaufnahme, wie mit den Grenzphänomenen von Musik und Elektroakustik. Seine Studien führten ihn zur Konstruktion magnetischer Nachhallmaschinen (Einführung zweier distinkter Reflexionen außerhalb des Kreises der repetitiven Rückkoppelung), zur Anwendung von Hallmikrophonen, (toter Sektor dem Orchester zugewendet), und zur Ausgestaltung der diffundierenden Klangplatte. Die Pseudostereophonie brachte Lauridsen auf die Konstruktion synthetischer Orgeln (Basis: eine Sägezahnswingung). Aus all dem kristallisierte sich Lauridsen's M-S-Verfahren, von dem anzunehmen ist, daß es einmal die gegebene Methode werden wird für Stereo-Rundfunksendungen ebenso als für Stereo-Schallplatten.

\* Siehe Gravesaner Blätter, Heft 5.

As head of the Statsradiofonien Laboratory in Copenhagen, Holger Lauridsen was concerned specially with audio, tape recording, and the borderline problems of music and electro-acoustics. His studies led him to the design of magnetic reverberation machines (introducing two distinct reflections outside the repetitive feedback circuit), to the use of echo microphones (their dead sector facing the orchestra) and to the construction of a diffuse sound plate.

Through pseudo-stereophony Lauridsen came to design synthetic organs on the basis of a sawtooth waveform. Finally out of all that crystallised Lauridsen's M-S method, which seems likely eventually to become the standard stereophonic method for both broadcasting and recording.

\* See Gravesano Review, Vol. 5.

## Besuch in Gravesano

von

LUIGI DALLAPICCOLA

Wenn — sagen wir einmal — vor fünf Jahren ein Musiker beabsichtigt hätte Gravesano aufzusuchen, so würde er damit angefangen haben, sich zu informieren, ob das per Flugzeug, Eisenbahn, Auto, Dampfer oder per Fähre möglich sei. Heut indes kennt die ganze Musikwelt Gravesano, seit — genau gesagt — Hermann Scherchen dort wohnt und dort seine drei elektro-akustischen Studios erbaut hat, in denen er musikalischen und elektronischen Problemen nachgeht.

Gleich nach meinem Eintreffen zeigt mir der Maestro ausführlich Haus und Studios; aus den Viehställen hat er vier Nachhallräume gemacht; zu den zahlreichen schon vorhandenen Apparaturen kommen immer neue hinzu; auf von ihm selbst entworfene Lautsprecheranordnungen trifft man überall; eine Unmenge elektrischer Leitungen bedecken die Fußböden; Isoliermaterial wartet darauf, zur letzten, definitiven Anfertigung zu dienen.

Nach dem Essen und einem kurzen Ausflug auf den eine herrliche Aussicht eröffnenden Hügel, beginnt Scherchen — unter Mithilfe seines passionierten, hervorragenden Technikers Walter Ehrler — den reichen musikalischen Nachmittag mit der zweiten Kantate Op. 31 von Anton Webern.

In dieser Bandaufnahme — von Scherchen in Stockholm gemacht — ist alles lebendig, was bei Webern auf der großen romantischen Tradition basiert. Ich mußte bei dem Anhören sofort an das einzige persönliche Zusammentreffen mit Webern — 9. März 1942 in Wien — denken und an sein damaliges „Explodieren“ (ich entsinne mich nicht mehr, bei wem wir uns trafen), als der Name KURT WEILL fiel. Indem er den Zeigefinger auf mich richtete, stellte Webern mir folgende genaue Frage: „Wo bei Weill finden sie noch etwas von unserer großen österreich-deutschen Tradition, von jener Tradition (und hier begann er an den Fingern abzuzählen) welche durch die Namen SCHUBERT, BRAHMS, WOLFF-MAHLER; SCHOENBERG, BERG, und — WEBERN ausgedrückt wird?“ Ich muß bekennen, daß mir damals das Wort „TRADITION“ das allerletzte schien, was ich von Webern hätte erwarten können, so unerwartet traf mich dieses Wort. Später habe ich dann langsam begreifen können, was er meinte. Heute erscheint mir von besonderer Bedeutung, daß Webern Kurt Weill *ausschließlich* darum anklagte, eine große Tradition aufgegeben zu haben.

Es ist Scherchen gelungen, die Klangwelt der 2. Kantate mit einer Menschlichkeit und innerlichen Bewegung darzustellen, die beispiellos sind. Trotz des „durchgehenden“ Metronoms ♩ = 168 bleibt die gestaltende Atmung bei den Solisten, wie bei dem Orchester völlig frei; aufs sorgfältigste ist die Intimität des Vokalklanges und die Plastik der Konsonanten gestaltet. Das

Resultat ist, daß das letzte überaus schwierige Stück der Kantate so klar erklingt, wie es in der Partitur vor uns steht. Scherchen gelingt es, den „zusammenfassenden“ Charakter jeder der drei Strophen überzeugend zu realisieren, ohne dem Hörer auch nur einen Augenblick zu gestatten, den flüchtigen Eindruck einer D-dur-Tonalität zu empfangen.

Angesichts dieser bewunderungswürdigen Realisierung von Wort und Musik beginnt man an der Kompetenz gewisser formaler Analysen zu zweifeln, welche nicht nur den poetischen Text, sondern auch den Namen Hildgard Jone's verdunkeln (sprechen wir von Schumann, so kommt unabwieslich in einem gewissen Moment der Name Heine in den Sinn, ebenso wie der Verlaine's bei Debussy). Es ist außerordentlich wichtig — für die Kenntnis der Persönlichkeit eines Komponisten — festzustellen, welche poetischen Texte ihm gedient haben. Wort und Musik — dieses immerwährende Problem — ist in jeder Zeit auf andere Art gelöst worden. So dienen die sich wandelnden Ideogramme<sup>1</sup>

- 1) Palästrina's („Wind“)
- 2) Emilio di Cavalieri's („Fliehen“)
- 3) Monteverdi's („Blitz“)

in der Romantik dazu, um eine Vokabel oder Situation auszudrücken:

- 4) Wagner („Koloratur“)

Dementsprechend können die drei Wirbel der großen Trommel in Webern's I. Kantate Op. 29 nicht unterschiedlich genug interpretiert werden (No. 1 der Kantate, Takte 7, 9 und 12) welche gewissermaßen berufen sind, den Seelenzustand wach zu machen, der (Takt 14) mit den Worten des Chores „Zündender Lichtblitz“ explosionsartig zum Ausdruck gelangt. Der Beckenschlag (à 2) über der Pauke (Takt 13) scheint mir in astronomischer Ferne von Verdi's großartigen 2 Beckenschlägen zu Anfang des Sturmes in „Othello“ . . .

So wie es Scherchen gelungen ist in Webern's II. Kantate eine außergewöhnliche Plastik der Realisierung zu erzielen, indem die akzentuierende, gestaltende Kraft der Silbengestaltung voll zur Anwendung kommt, so gewann ich später den Eindruck, daß er mittelst der ihm in Gravesano zur Verfügung stehenden elektroakustischen Möglichkeiten auch der rein *instrumentalen* Musik völlig neue Möglichkeiten eröffnet. Als typisches Beispiel soll hier das Finale des D-dur-Quartetts Op. 26 von Haydn genannt werden, das mittels einer auf jeder Spur einzeln löschbaren stereophonischen Vierkanal-Maschine (Albrecht-Berlin) aufgenommen wurde.

In dieser „echt“-stereophonischen Realisierung existiert nichts mehr von dem, was lange Zeit hindurch das „Ideal“ der Quartettspieler war: die Erzielung eines Einheitstimbres aller 4 Instrumente. Ja, Scherchen geht bis zum Gegenteil: die Luft scheint zu vibrieren *zwischen* Violoncello und Viola, Viola und 2. Violine, 2. Violine und erster, und es wird zum ersten Mal möglich, das horizontale „WERDEN“ der Musik zu empfinden. Die Klang-

<sup>1</sup> s. Beispiele S. 6.

quellen scheinen bis zu einem solchen Punkte „entfernt“, daß ein Akkord aus vier Tönen im Gehör aufklingt als Resultat aus vier gleichartigen, doch verschiedenen Stimmen, und zwar so gewissermaßen, als wären diese durch verschiedene Vokale unterstützt. Die „Sequenzen“ gewinnen plötzlich neues Leben, indem alles Mechanische abzufallen scheint von ihren Identitätswiederholungen gleicher Figurationen; Scherchen's Wiedergabe von Bizet's „Arlésienne“ endlich ist durch eine völlig neue „Horizontalität“ charakterisiert, welche an Stelle der üblichen vertikalen Reproduktion tritt, an die uns zwei Jahrhunderte musikalischer Praxis gewöhnt hatten . . .

Choraufnahmen vermittelten durch Gestaltung verschiedener Raumeindrücke zugleich die Ambience, in der die Werke entstanden sind (Landschaft, Szene, Ort): so zum Beispiel Bach's „Jesus meine Freude“ die Atmosphäre einer gotisch-kühlen Kathedrale, Debussy's No. 1 der „Trois Chansons“ das südliche Leuchten des Mittelmeergebiets, Stravinsky's „Credo“ die ruhevolle Statik eines Ikons.

Mit „pseudo“-stereophonen Mitteln wurde — über 2 Lautsprecher — in Szenen aus Kleist's „Zerbrochener Krug“ der Handlungsvorgang so räumlich lebendig, daß man mitten in der dramatischen Aktion zu weilen schien. Ebenso war es bei der „pseudo“-stereophonischen Umgestaltung einer monauralen Schallplatte („der neunte Termidor“), als wohnte man — mitten im Pariser Konvent, März 1793 — den dramatischen Debatten bei, die zur Verhaftung Robespierre's führten.

Eine in Gravesano ausgeführte *akustische Montage*: „Glocken von Jerusalem“ zeigte, wie aus üblichen mittelmäßigen Original-Reportagen ein eindringliches Dokument voller Poesie werden kann. Das „Elektronische Manifest“ endlich, ein Fragment von zwei Minuten Dauer, machte die beständige Umwandlung einer Grundidee mittels geheimnisvoller Spiele deformierender Spiegelungen gewissermaßen „*kubisch*“ wahrnehmbar.

Scherchen führte auch Stücke leichter Musik (Jazz) vor, von denen eines sich (Altstimme!) mit fast halluzinierender Kraft einprägte.

Zuletzt gab es ein *historisches* Dokument hoher Bedeutung: die Bandaufnahme von der Uraufführung des „Tanzes um das goldene Kalb“ aus „Moses und Aron“ von Schönberg, 1951 in Darmstadt. Dort hatten nur begrenzte Orchester- und Chormittel zur Verfügung gestanden. Das Originalband wurde nun 1957 von Scherchen in Gravesano einer nachträglichen Bearbeitung unterzogen, als deren Resultat jetzt eine Wiedergabe von durchbluteter Klanggewalt vorliegt, deren Volumen und Eindringlichkeit voll dem riesenhaften Orchester- und Chorapparat entspricht, den Schönberg für das Werk gewünscht hatte.

Würden diese Ausführungen Bestandteile eines Briefes sein, so müßte ich diesen mit einem nochmaligen Dank aus vollem Herzen beenden. Aber wenn sie — wie beabsichtigt — einem anderen Zwecke dienen sollen, so wird mich dies um so weniger hindern, hier nochmals meine ganze Dankbarkeit auszusprechen.

## Gravesano Visit

by

LUIGI DALLAPICCOLA

Imagine a musician had intended, say five years ago, to take a look at Gravesano: his first step would have been to find out whether plane, train, car, steamer or ferry were possible means of transport. To-day, however, Gravesano is known in the whole musical world since — to be exact — Hermann Scherchen has been living there and has established there his three electro-acoustical studios in which he enquires into musical and electronic problems.

The maestro wasted no time in showing me around the house and the studios right on my arrival: the stables have been turned into four echo chambers; equipment, already abundant, is constantly being added to; loud-speaker sets to his own design are seen everywhere; the floors are covered with electrical connections; insulating material is waiting to become part of the finished job.

Dinner was followed by short walk behind the house to a hill from which a magnificent view was to be had. And then the Second Cantata Op. 31 by Anton Webern opened the richly rewarding afternoon of music, Scherchen being aided by his devoted and outstanding technician, Walter Ehrler.

Webern's whole foundation in the great romantic tradition came to life in this tape recording, made by Scherchen in Stockholm. Listening to it, I was at once reminded of my only meeting with Webern — on the 9th March, 1942, in Vienna, I no longer remember at whose house it was — and how he exploded at the mention of Kurt Weill's name. Pointing his finger at me, Webern asked me this precise question: "Where in Weill can you still find anything of our great Austrian-German tradition, of that tradition (and here he began to count on his fingers) which is expressed in the names of Schubert, Brahms, Wolff and Mahler; Schoenberg, Berg, and — Webern?" I must admit that the word "tradition" seemed to me at the time the very last thing to think of in connection with Webern, so unexpected was the impact that word made on me. Since then I have gradually come to understand his meaning; and to-day it seems to me of particular importance that Webern's accusation of Weill was directed *exclusively* at his rejection of a great tradition.

Scherchen has managed to show the 2nd Cantata's world of sound to have a human quality and an inner movement which are without parallel. In spite of the constant metronome of ♩ = 168, the formative breathing of the soloists, like that of the orchestra, remains completely free; great care has been lavished on the intimacy of the vowel sounds and on the

① Placide l'ac - qu'e placid'e-ra il ven-----to,

Sopr.

Contr.

Ten.

8

② Tempo

4

Il tempo, il tempo fug-ge, —

③ Nettuno

il ful-----mi-ne

④ Beckmesser

Kein Ab-satz, wir, kein Co-lo-ra-tur, von Me-lo-dei auch nicht eine Spur

*sf* *p* *mecc.* *f* *p*

sculpting of the consonants. As a result, the final, most difficult part of the Cantata comes to sound just as clearly as our eyes can see it in the score. Scherchen has been capable of bringing out with conviction the unity of the three stanzas, without allowing the listener even for a moment to gain the fleeting impression of a D-major tonality.

In face of this noteworthy manifestation of words and music, one is inclined to cast doubt on certain formal analyses which obscure not only the poetic text but the name of Hildegard Jone (at the mention of Schumann, the name Heine inevitably comes to mind, just as that of Verlaine with Debussy). For a knowledge of a composer's personality it is so very important to be aware of what poetical texts have served him. Words and music: this ever-present problem has found a different solution in every age. Thus, these ambient concepts of

1. Palestrina's ("Wind")
2. of Emilio di Cavalieri's ("Flee")
3. of Monteverdi's ("Lightning")

serve in the romantic age to express a vowel or a situation:

4. Wagner ("Koloratur").

(Examples on Page 6)

Taking this into account, we find that enough difference cannot be made between the interpretations of the three rolls on the bass-drum in Webern's 1st Cantata Op. 29 (No. 1 in the Cantata, bars 7, 9 and 12). The purpose of these drum-rolls is to incite the mood which explodes into expression in bar 14 with the words of the chorus "Enflaming lightning-flash". The clash of cymbals (à 2) over the timpani in bar 13 seem to me as it were at an astronomical distance from Verdi's two magnificent cymbal clashes which begin the storm in "Othello".

In the same way as Scherchen has successfully used the accentuating force of syllabic form to bring Webern's 2nd Cantata out as if in relief, so can he use the latent possibilities of the electronic equipment available to him in Gravesano to open up entirely new vistas for purely instrumental music. Let me mention the Finale of Haydn's D-major Quartet Op. 26 as a typical example: this recording was made on a four-track machine (Albrecht, Berlin), of which each track can be separately controlled. Nothing any longer exists, in this genuine stereophonic rendering, of the quartet players' age-long ideal — the unifying of the four instrumental timbres. Instead, Scherchen goes to the other extreme: the air seems to quiver between cello and viola, viola and second violin, second and first violin. It has become possible for the first time to take part in the horizontal "happening" of the music. The sources of sound seem to have been removed at such a distance that a four-note chord sounds in the ear rather as the resultant of four similar, yet distinct voices, moreover to such an extent as if they were suppor-

ted by different vowels. Haydn's sequences are suddenly given new life, in that everything mechanical seems to fall away from their repetitions of similar figures.

Scherchen's reproduction of Bizet's "Arlésienne" Suite next was distinguished by quite a new horizontality, taking the place of the usual vertical reading to which we had become habituated by two centuries of musical practice . . .

By the formation of various spatial impressions, choral recordings were allowed to communicate the environment of their creation: a landscape, a scene, or a place. Thus for example Bach's "Jesu, Priceless Treasure" was clothed with the atmosphere of a cool gothic cathedral; the first of Debussy's "Trois Chansons" had the southern iridescence of the Mediterranean; Stravinsky's "Credo" the calm of an ikon.

With pseudo-stereophonic means, using two loudspeakers, scenes from Kleist's play "The Broken Jug" acquired such three-dimensional life that the listener seemed to be standing in the midst of the action, and it was the same with the pseudo-stereophonic re-creation of a monaural disc, "The 9th Thermidor", as if one was attending right in the Paris Convent the dramatic debates of March 1793 which led to Robespierre's arrest.

"The Bells of Jerusalem", a montage produced in Gravesano, showed how an uninteresting chance documentary can become an impressive monument full of poetry. The "Electronic Testament", a two-minute fragment, made the constant variation of a fundamental idea by means of a mysterious play of distorting inversions cubistically apparent. Scherchen also presented pieces of light music and jazz, one of which — a contralto voice — impressed itself on me with almost hallucinating force.

The final offering was a historic document of great importance: the tape of the first performance in Darmstadt in 1951 of "The Dance around the Golden Calf" from Schoenberg's opera "Moses and Aaron". Only limited orchestral and choral means had been available in Darmstadt, but the original tape was subjected last year to a revision such as to result now in a reproduction of full-blooded tonal power whose size in every respect was in accordance with the immense orchestral and choral resources which Schoenberg had wished for.

If this were a letter, I would be obliged to close with thanks. But if it is written for another purpose — as intended — then it will hinder me all the less from expressing once again my gratitude.



## Ein Interview mit Magnetophonband **BASF**



### Warum sollen Bänder für Heimtongeräte hohe Koerzitivkraft haben?

Bänder mit hoher Koerzitivkraft gestatten es, auch bei stark verringerten Bandgeschwindigkeiten noch einen sehr weiten Frequenzbereich aufzuzeichnen. Magnetophonband BASF Typ LGS weist diese Eigenschaft in besonders hohem Maße auf und ist deshalb gerade für die kleinen Bandgeschwindigkeiten bis herab zu 4,75 cm/sec besonders geeignet.

### Welche mechanischen Eigenschaften sind beim Tonband wichtig?

Um diese Frage zu beantworten, braucht man nur das Magnetophonband BASF Typ LGS zu betrachten: es ist reißfest, unempfindlich gegen Feuchtigkeit, nicht entflammbar, abriebfest und sehr schmiegsam. Diese hervorragenden Eigenschaften verdankt es der zu seiner Herstellung verwendeten ©LUVITHERM-Folie.

### Wodurch wird der Gebrauch des Tonbandes erleichtert?

Wieder zeigt das Magnetophonband BASF Typ LGS, wie ein gutes Tonband beschaffen sein soll. Es wird fertig konfektioniert mit grünem und rotem Vorspannband sowie mit Schaltband und Bandklammer geliefert; daher ist es sofort einsatzbereit. Es kann leicht und zuverlässig archiviert werden. Das Schaltband an beiden Enden ermöglicht auch die Verwendung auf Geräten mit automatischer Ausschaltung bzw. Spurumschaltung.

### Wie wird gewährleistet, daß man absolut einwandfreies Bandmaterial erhält?

Magnetophonband BASF Typ LGS wird plombiert geliefert und ist damit gegen jede Vorbenutzung gesichert. Die Bänder sind mehrfach geprüft; die Herstellerfirma steht für ihre Güte ein.

Magnetophonband BASF Typ LGS wird als Standardband und außerdem als Langspielband für längere Spieldauer geliefert. Eine Kleinstspule mit 65 m Langspielband heißt ©PIKKOLO. Das Band ermöglicht in all diesen Formen störungsfreie, naturgetreue Wiedergabe und hat bei sorgsamer Behandlung eine unbegrenzte Lebensdauer.

*Badische Anilin- & Soda-Fabrik A.G.*  
L U D W I G S H A F E N A R H E I N

## An interview with Magnetic Recording Tape **BASF**



### Why should Recording Tapes have High Coercive Force?

Tapes with high coercive force can record within a very wide frequency range, even at low tape speeds. BASF Magnetic Recording Tape LGS has exceptionally high coercive force and is, therefore, particularly suitable for sound recording and reproduction at low tape speeds — down to 1.9 inches per second.

### What Mechanical Properties must a good Recording Tape have?

It must have high resistance to tearing and buckling. It must be unaffected by humidity, non inflammable, very flexible, and resistant to abrasion. In short, it must have everything that BASF Magnetic Recording Tape LGS has — thanks to the ©LUVITHERM base film used in its manufacture.

### What Facilities for Use should be provided with a Recording Tape?

BASF Magnetic Recording Tape LGS is equipped with all the facilities necessary for easy operation. It is supplied ready for use, with a green and a red leader tape, a metallised foil for automatic stop and reverse, and a tape clip. It can be easily indexed.

### What Guarantee is there for Good Quality of the Tape?

BASF Magnetic Recording Tape LGS is provided with a seal to guarantee that it has not been used. Each tape undergoes several checks and controls before it leaves the factory, and its quality is guaranteed by the manufacturers.

BASF Magnetic Recording Tape LGS is available in two grades: Standard Tape and Longplay Tape. A miniature spool containing 210 feet of Longplay Tape is supplied under the name of ©PIKKOLO. Whatever the form in which it is supplied, BASF Magnetic Recording Tape LGS ensures true reproduction of Hi-Fi quality and has a practically unlimited useful life.

*Badische Anilin- & Soda-Fabrik A.G.*  
L U D W I G S H A F E N A R H E I N

## Pierre Boulez' „structure 1a“

Bemerkungen zur Zwölfton-Technik

von

MARC WILKINSON

Professor Scherchen veranlaßte mich, über einige Ideen zu berichten, die mich längere Zeit beschäftigen, und damit eine Analyse von *Pierre Boulez'* „Structures“ (für zwei Klaviere) zu verbinden. Trotzdem in gewissem Sinne gemeinsame Punkte bestehen zwischen meinen Untersuchungen und den Methoden Boulez', sind sie nicht zahlreich genug um als Grundlage eines ausführlichen Artikels zu dienen. Ich werde mich deshalb darauf beschränken, einige allgemeine Gedanken auszuführen und diese mittels Bemerkungen zu Boulez' mit äußerster Einfachheit komponierter „Structure 1a“ zu illustrieren. Indem ich mich auf 1a) beschränke, reiße ich diesen Abschnitt von Boulez' Werk natürlich aus dem Zusammenhang. Dennoch glaube ich, bei diesem Artikel dazu berechtigt zu sein. Ich gebe keinesfalls eine ausführliche musikalische Analyse; eventuelle kritische Bemerkungen beschränken sich immer nur auf Teil 1a) der „Structures“. Außerdem muß ich bemerken, daß diese hier alle nur unter dem Gesichtspunkt jener allgemeineren Betrachtungen erfolgen, die ein späterer Artikel ausführlich zur Kenntnis bringen soll.

\* \* \*

Unsere „NEUE MUSIK“ ist reif geworden: sie ist nicht mehr durch die gleichen Forderungen belebt, die sie vor dreißig Jahren durchstürmten, sondern mit anderen ästhetischen Impulsen führt der heutige Komponist eine neue Art des Experimentes durch. Wir sind Erben neuer Welten und ein Großteil unserer Arbeit besteht darin, zu ordnen, zu kultivieren und Früchte zu ernten.

Der die totale Chromatik verwendende Komponist sucht, Musik zu komponieren, in der alle Elemente das gleiche Grundprinzip haben. Darin ist nichts Extravagantes zu entdecken, denn das hat eigentlich jeder gute Komponist immer getan. Doch zeigt die Geschichte der Musik Abschnitte, in denen eine stürmische Entwicklung alle praktische Erfahrung über den Haufen warf und in denen Komponisten deshalb oft auf vorhergegangene traditionelle Elemente der Technik zurückgriffen oder umgekehrt zeitweilig neue Regeln von detaillierter Strenge und willkürlicher Subjektivität aufstellten, um ihre neuen Ideen zu vervollkommen und auszubauen. So scheinen mir ADAM DE LA HALLE's dreistimmige „Rondeaux“ unter die erste Kategorie zu fallen, MACHAUT's polyphone isorhythmische „Balladen“ dagegen unter die zweite. Sicherlich verfügten beide Kompo-

nisten nicht in absoluter Weise über die Elemente ihrer Musik, da deren Ineinanderbindung und Verschmelzung zur Polyphonie noch in den ersten Anfängen stand, so daß man jeden Spott beiseite, getrost sagen darf: sie konnten es eben nicht besser (wichtig ist nur, daß ihre Musik darunter nicht litt!).

Es unterliegt keinem Zweifel, daß die vor dem Kriege geschaffene Reihen-Musik zum großen Teil noch unter dem Einfluß der tonalen Kompositionsmethoden stand. Es wäre unsinnig, daraus eine Kritik zu machen, da solche Übergänge praktisch unvermeidbar sind. Jene Kompositionen stehen oder fallen mit ihrem inneren Wert. Doch ist es heute nicht länger möglich, mit Elementen assoziativer Funktionsart zu komponieren, die den zu Grunde liegenden Kompositionsprinzipien nicht direkt entspringen. Wir verlangen danach, daß unser Stil und unsere Praxis „rein“ und nicht zweideutig sind. Die tonalen sowie die rhythmischen Modelle und die Formen, welche z. B. Schönbergs Musik kennzeichnen, sind für die Reihemusik heute nicht mehr verwertbare Ornamente.

Um solche Assoziationsweisen zu vermeiden, stellen die Komponisten oft Regeln und Methoden auf, die ihre Werke im kleinsten wie im größten beeinflussen. Diese sind — sogar trotz Willkür — *wesentlich*, um das noch immer unzulängliche Gerippe des „Zwölfton-Systems“ lebendig zu machen (dieses stellt übrigens gar kein wirkliches System dar in dem Sinn etwa wie das „Tonalitätsprinzip“ ein weites Kompendium beständiger symmetrischer Beziehungen und Ableitungen bedeuten konnte voll von statistisch variablen, geordneten Funktionen). Ohne ein solches Vorgehen hätte die Reihentechnik bis heute (unabhängig und allein) noch keine genügenden Beziehungen und Funktionsregeln entwickeln können, um definitiv musikalisch lebensfähig zu machen, was ganz allgemein bis jetzt nur ein weites Versuchsfeld von Anwendungen war.

Ehe wir diesen Gedankengang weiter ausführen, sollen einige der Kompositionsmethoden aufgezeigt werden, welche Boulez in „Structure 1a“ verwendet.

\* \* \*

*Structure 1a*) zerfällt in zwei Teile: im ersten bringt das I. Klavier die Grundreihe je einmal auf allen ihr möglichen Transpositionsstufen (12 Mal insgesamt), während ihre Umkehrung im II. Klavier (ebenfalls zwölfmal) auf all ihren Transpositionsstufen erscheint. Die erste Note bei beiden ist die gleiche („es“) und die Anordnung der Transpositionen entspricht für jede der beiden Folgen der Anordnung der Noten in der ersten Reihe der anderen. D. h.: in Hinsicht auf die erste Note ist die Anordnung der Noten in die Anordnung der Transpositionen für die 12 Originalreihen die gleiche wie die Anordnung der Noten in der auf „es“ beginnenden umgekehrten Reihe (und vice versa).

Beispiel I zeigt alle Originalreihen in ihrer korrekten Transposition (von links nach rechts gelesen) und alle Umkehrungsreihen in deren korrekter Transposition (von oben nach unten gelesen). Die beiden Reihenformen (von jetzt an Form 1 und 2 genannt), vereinigen sich so miteinander zu einem Reihen-Quadrat, das eine konstante Tonbeziehung zwischen den entsprechenden Transpositionen der beiden Formen aufweist. So z. B. finden wir als erste Note beider Formen 1 und 2 „es“, als zweite „d“ respektive „e“, als dritte „a“ und „a“, als vierte „b“ und „as“ etc. Die zehnte Transposition der Formen 1 und 2 bringt als erste Note „b“ resp. „as“, als zweite „h“ und „g“, als dritte „e“ und „d“ etc.

Regel ist: „es“ und „es“, „d“ und „e“, „a“ und „a“, „b“ und „as“, „h“ und „g“, resp. „c“ und „fis“, „cis“ und „f“ drücken die Tonbeziehungen aus, d. h. daß Boulez die Reihen der Formen 1 und 2 so konstruiert, daß ihre Transpositionsanordnungen übereinstimmen (mit ein bis zwei Ausnahmen). Er hat auf diese Weise einen ausgedehnten harmonischen Raum aufgebaut, in welchem die oben aufgezeichnete Tonbeziehung beständig das harmonische Gerippe des Stückes weiter gestaltet.

*Andererseits ist zu sagen, daß jede beliebige Reihe, die mit „es“ beginnt, nicht nur die selben Qualitäten symmetrischer Beziehungen zwischen den Tönen, sondern auch die selben Beziehungen zwischen den Noten selbst („es“—„es“, „d“—„e“, etc. . . .) behalten wird, wenn sie den gleichen Transpositions- und Umkehrungsregeln unterworfen wird. Dementsprechend wird jede Reihe, die nicht auf „es“ sondern einer anderen Note beginnt, in Hinsicht auf das Intervall zwischen „es“ und dem neuen Ausgangspunkte den selben Beziehungen unterworfen sein wie bei totaler Transposition.*

Außerdem rückt bei dieser Voraussetzung in jeder beliebigen Reihe die erste Note um einen Platz weiter gegen das Ende der Reihe hin (wie das Beispiel mit der ersten Note „es“ das eben gezeigt hat). Daraus folgt, daß die letzte Note der letzten Transpositionen von Form 1 und 2 immer die gleiche sein muß wie die erste Note der ersten Transposition jeder. Da die Gründe hierfür alle auf der einfachen Umkehrungssymmetrie und zugleich auf der Nicht-Umkehrbarkeit des Tritonus beruhen, braucht hier nicht weiter darauf eingegangen zu werden.

Bis jetzt hat also keine andere besondere Eigenschaft der Reihe den Aufbau der Symmetrien beeinflusst innerhalb des größeren harmonischen Raumes, als die Tatsache, daß die erste Note ein „es“ ist. Und selbst das bewirkt nur die Transpositionsweise, in der eine sonst völlig gewöhnliche Folge von Notenbeziehungen auftritt. Obgleich ich meist durchaus in Übereinstimmung zu Boulez stehe, wenn er große harmonische Räume und Symmetrien in diesen sucht, finde ich doch, daß die von ihm gebrauchte Methode die Beziehungen zu seinem Reihenmaterial selbst vernachlässigt. Die ge-

gebene Anordnung der Töne seiner Reihe beeinflusst nur die Ordnung, in welcher Tonbeziehungen und Symmetrien auftreten wollen, nicht aber die Beziehungen und Symmetrien selbst, so daß wir uns hier einer nur ornamentalen Funktion gegenüber sehen.

Im zweiten Teile der *Structure 1a*) wird die rückläufige Form der Reihe zwölfmal auf all ihren Transpositionsstufen vom I. Klavier gespielt, während Klavier II dementsprechend alle Umkehrungen des Krebses (späterhin Formen 3 und 4 genannt) ausführt. Hier zeigt sich jedoch eine Eigenschaft der Reihe von Boulez, welche einen weniger allgemeinen Typ der Transpositionsanordnung und der harmonischen Reihenstruktur anzuwenden erlaubt. Die erste Transposition der Form 3 steht auf der gleichen Stufe wie die letzte Transposition von Form 2 (ihre Anfangstöne sind die gleichen). Ebenso steht die erste Transposition der Form 4 auf der gleichen Stufe als die letzte von Form 1. Die Transpositionsfolgen jeder Form entsprechen also der Notenanordnung innerhalb ihrer eigenen ersten Reihen-transposition. Um das ganz klar zu machen, sind in den Beispielen IIa und IIb diese Reihen in ihrer richtigen Transpositionsanordnung zu zwei Quadraten zusammengefaßt, aus denen sofort ersichtlich wird, daß die Anfangsnote der ersten Transposition von Form 3 „h“ ist, und die der letzten „g“, während für die Form 4 umgekehrt gilt, daß „es“ die letzte Note beider Transpositionen ist. Außerdem existiert hier noch immer die selbe Beziehung von Note zu Note zwischen den gleicherweise plazierten Reihen jeder Form („es“—„es“ / „d“—„e“ / „g“—„h“ / etc.), trotzdem die Diagonale der ersten Töne („es“ in Beispiel I) verschwunden ist.

*Alle Beziehungen und Symmetrien des zweiten Teiles von „structure 1a“ sind Folgen aus dem Bezugsverhältnis der großen Terz zwischen den ersten und letzten Noten der Reihe. Ein Blick auf die drei Quadrate (Beispiele I, IIa, IIb) erweist, wieso diese doppelte symmetrische Teilung der Oktave durch die große Terz automatisch diese Folgen bei Gebrauch der von Boulez angewandten Technik hervorrust. Auch hier hat das Anordnen der Noten mit Ausnahme für die ersten und letzten Reihentöne eine ausschließlich ornamentale Bedeutung für den großen harmonischen Gesamt-raum, den Boulez auf diese Weise aufbaut und in welchem alle Beziehungen einschließlich der von erster und letzter Note und erster und letzter Reihentransposition für alle vier Formen gleich sind.*

\* \* \*

Rhythmus oder besser Zeitdauer ist — von der Tonreihe abgeleitet — selbst reihenmäßig gestaltet. Jede „Rhythmische Reihe“ besteht aus 12 Werten: 1 = , 2 = , 3 = , 4 = , 5 = , 6 = , 7 = , 8 = , 9 = , 10 = , 11 = , 12 = .

Der Ableitungsvorgang ist einfach. Man nehme 2 Quadrate, jedes wiederum aus 12 mal 12 Abteilungen gebildet. In eines dieser Quadrate setze man die Nummern 1—12 ein, nun aber von rechts nach links, und ebenso vom gleichen Ausgangspunkt aus 1—12 von unten nach oben. Vergleicht man die Noten der Quadrate IIa oder IIb (der Reihenformen 3 und 4) mit den Nummern 1—12 des neuen Quadrates (z. B. die von Quadrat IIIa mit denen von Quadrat IIIb), so ist „es“ = 1, „a“ = 3, „b“ = 4, etc. Nötig ist nur, die entsprechenden Nummern in die dazu gehörenden Abteile von Quadrat IIIb einzusetzen, entsprechend der Plazierung der entsprechenden Noten in den Abteilen von Quadrat IIa. Zur Ausfüllung des zweiten rhythmischen Quadrates richtet man sich nach dem anderen Notenquadrat (IIb in diesem Falle), hält dabei aber immer die gleiche Beziehung von Zahl zu Note aufrecht, welche die *Ausfüllung* des ersten Quadrates der Zeitdauern bestimmt hat.

Die Horizontalreihen von Quadrat IIIa legen jetzt die Zeitwerte für die Tonreihen in Form 1 fest und die Zeitdauerreihen von Quadrat IIIb bestimmen die der Tonreihen von Form 2. D. h.: die horizontalen Tonreihen 1 und 5 in Quadrat I gehören mit den Zeitdauerreihen 1 und 5 in Quadrat IIa zusammen, wohingegen die vertikalen Reihen 1 und 5 von Quadrat I mit den Reihen 1 und 5 von Quadrat IIIb zusammenfallen. Tatsächlich besteht durch die besondere Konstruktion der Quadrate IIa und IIb und durch die Ableitung der Quadrate IIIa und IIIb aus ihnen kein Unterschied dahingehend, ob man von links nach rechts oder von oben nach unten in den 4 Quadraten abliest.

\* \* \*

Die Beziehung der Tonreihen von Form 3 und 4 zu den ihnen entsprechenden rhythmischen Reihen ist komplexerer Natur. Man findet sie, indem man die Reihen der Quadrate IIIa und IIIb auf die des (ursprünglichen) Quadrates I legt. Z. B. beginnt die erste Reihe des Quadrates IIIa mit „h“ und wird (von links nach rechts gerechnet) zur fünften Vertikalreihe von Quadrat I (von oben nach unten gelesen). Die entsprechende rhythmische Reihe wird (ebenfalls von oben nach unten gelesen), zur dazu symmetrisch rücklaufenden Anordnung, oder zur fünften Vertikalreihe von rechts nach links (Reihe „h“ des Beispiels IIIb).

Da alle Zeitdauer-Quadrate von den Quadraten der Formen 3 und 4 abgeleitet wurden, sind auch deren Symmetrien und Beziehungen in den neuen Quadraten enthalten. Die in „Structure 1a“ nicht entwickelten unzähligen Beziehungen neuer Art, die daraus erwachsen können, zählen wir hier nicht auf, um so mehr, als das Studium der Quadrate IIIa und IIIb sie schnell evident macht. Da jede rhythmische Reihe die Hinzufügung aller Zeitdauerwerte von 1—12 bedeutet, so haben alle die gleiche Gesamt-

dauer:  $19\frac{1}{2}$  Viertel. Die Unterteile des Werkes sind durch die sie anzeigenden rhythmischen Reihen gegliedert. Daraus folgt, daß jeder Abschnitt die Totaldauer von  $19\frac{1}{2}$  Vierteln, oder eines Mehrfachen davon hat. Die effektive Dauer jedes Teiles ist durch die beigefügten Metronomangaben bestimmt. Man begreift so, daß jeder Teil eine vollständige Phrase darstellt, daß innerhalb dieser Phrasen eine variable Anzahl von Tonreihen durch eine entsprechende Anzahl von Zeitdauerreihen komplementiert werden und daß diese Reihen in konstanter symmetrischer Beziehung zueinander stehen, daß sie aber offensichtlich durch die Anzahl der tatsächlich in den Phrasen enthaltenen Reihen variiert werden. Wir haben also in Wirklichkeit eine sehr einfache „Passacaglia“ vor uns, in der gewisse beständige Beziehungen zwischen Tönen und Zeitdauern von Phrase zu Phrase Veränderungen unterliegen durch die Anzahl und Aufeinanderfolge der Reihenschichten und durch die Anordnung, in der die Beziehungen in den symmetrischen Serien von Komplementär-Formen offensichtlich werden.

Die formale Aufteilung der „structure 1a“ sowie die Überprüfung der anderen musikalischen Elemente (wie Stärkegrade, Akzentuierung etc.) vermittelt das Diagramm auf Seite 22.

Die am Schlusse der Teile stehenden  $\curvearrowright$  haben längere Dauer als die  $\square$ . Das effektive Zeitdauerverhältnis der ersten zur zweiten Hälfte des Stückes besteht aus  $4\frac{1}{7} : 3\frac{6}{7}$  Einheiten, wobei die Metronomangaben, nicht aber reale Fermatendauern in Betracht gezogen sind. Das Diagramm erweist die Gestalt des Werkes als die einer Komposition von ebenso symmetrischem als geordnetem Gefüge, dessen Elemente alle auf den breit angelegten strukturellen Grundplan bezogen sind.

\* \* \*

Indem ich auf einige Punkte zurückkomme, will ich meine eigentlichen Gedanken weiter ausführen. Zuvor müssen jedoch verschiedene Ausdrücke und Techniken definiert werden, welche in meinem nächsten Artikel eine ausführliche Erklärung und Darstellung finden.

Nach meiner Auffassung gibt es drei grundsätzliche Möglichkeiten, um einen ausgedehnten vollchromatischen Raum harmonischer Reihenkomposition zu errichten. Die *erste* beruht auf einer solchen Permutation der chromatischen Tonleiter, daß Intervall- und Tonbeziehungen auf einem gewissermaßen neutralen Gebiet entstehen, für das die Anordnung der Töne zunächst unwichtig ist, deren Permutationsmöglichkeiten aber eine harmonische Breite gestatten, die zur Basis aller daraus erwachsenden melodischen, dynamischen etc., ja selbst vertikal gleichzeitigen Verhältnisse wird. Die zweite Möglichkeit besteht darin, die Gesamtheit der zwölf chromatischen Töne zu einem (oder mehreren) autonom harmonischen Feldern zu organisieren, innerhalb denen die tatsächliche Anordnung der 12 Töne in-

des bedeutungslos ist. Diese Technik beruht gewöhnlich auf Symmetrieverwertung. Boulez' Reihe ist ein Musterbeispiel dieser Organisationsweise, welche ich durch den Ausdruck „set“ kennzeichnen möchte.

Ein entwickelterer Typ solchen „set“-Gebrauches ist der des Hexachords: „c“, „cis“, „d“, „fis“, „g“, „gis“ / „dis“, „e“, „f“, „a“, „ais“, „h“. Solange die in jedem Hexachord vereinten Töne unverändert bleiben, kann man Hexachord I auf Hexachord II nicht nur durch die normale Transpositionsweise, sondern auch durch die vierte und zehnte Transponierung, und zwar ohne daß die Töne verdoppelt werden, übertragen. Außerdem kann jedes Hexachord (auf die gleiche Weise) mittels der siebenten Transposition sich selbst überlagern. Die tatsächliche Anordnung der Töne innerhalb der Hexachorde ist ohne Bedeutung für das harmonische Gesamtergebnis, so daß jede Reihe, welche die oben angegebenen Bedingungen innehat, solchermaßen transponiert werden kann und daß diese Versetzung auch für jede Kombination aus den Formen 1, 2, 3 und 4 Gültigkeit hat.

Die dritte Möglichkeit sieht die Organisation einer Tonreihe vor, deren melodische oder harmonische Intervall- und Tonassoziierungen Beziehungen zwischen den Transpositionen herbeiführen.

Die Zwölfton-Organisation kann natürlich Kennzeichen haben aus nicht nur einer dieser drei Möglichkeiten; ich glaube indes, daß in allen Fällen einer solchen Dualität die einfachste Technik entscheidend funktionelle Bedeutung haben wird. All diese Methoden erlauben viele Ableitungen horizontal und vertikal chromatischer Strukturen innerhalb beständig symmetrischer Beschränkungen und gestatten dabei neben großer Variierungen die Anwendung variabler Funktionen.

Was bei Boulez zu beanstanden wäre, ist, daß er zu viele beziehungslose Eingrenzungen anwendet, wo weniger das gleiche Resultat ergeben würden. So gebraucht er einerseits Techniken, welche die Besonderheit eines „set“ verwerten, um einen beständigen harmonisch rhythmischen Fluß aufrecht zu halten, der — indes recht eng — von ihm zum Aufbau einer „Passacaglia“ verwendet wird; andererseits dienen ihm Techniken, welche die Eigenschaften von Reihen mit symmetrischer Assoziierung verwerten (deren seine eigene Reihe ermangelt!) dazu, die vier melodischen Reihenformen immer von neuem zu wiederholen. Diese Verbindung von harmonisch-rhythmisch geformter Passacaglia und melodischem Ostinatogebrauch scheint der gegebenen Sachlage nicht zu entsprechen. Selbstverständlich wird diese Art kompositorischer Methodik in den weiteren Teilen der „structures“ nicht verwendet. Trotzdem ergibt sich aus „structure 1a“ der Eindruck einer störenden technischen Anomalie.

Ich wiederhole: meine „Kritik“ bezieht sich ausschließlich auf „structure 1a“. Das danach sich entwickelnde Werk Boulez' zeigt jene auszeichnenden kompositorischen Qualitäten, welche — hier nicht zur Diskussion stehend — von dieser grundsätzlichen Studie nicht berührt werden.

Beispiel I Example 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Mi <sup>b</sup>	Re	La	La <sup>b</sup>	Sol	Fa <sup>#</sup>	Mi	Do <sup>#</sup>	Do	Si <sup>b</sup>	Fa	Si
2	Mi	Mi <sup>b</sup>	Si <sup>b</sup>	La	Sol <sup>#</sup>	Sol	Fa	Re	Do <sup>#</sup>	Si	Fa <sup>#</sup>	Do
3	La	La <sup>b</sup>	Mi <sup>b</sup>	Re	Do <sup>#</sup>	Do	Si <sup>b</sup>	Sol	Fa <sup>#</sup>	Mi	Si	Fa
4	Si <sup>b</sup>	La	Mi	Re <sup>#</sup>	Re	Do <sup>#</sup>	Si	La <sup>b</sup>	Sol	Fa	Do	Fa <sup>#</sup>
5	Si	Si <sup>b</sup>	Fa	Mi	Re <sup>#</sup>	Re	Do	La	La <sup>b</sup>	Sol <sup>b</sup>	Re <sup>b</sup>	Sol
6	Do	Si	Fa <sup>#</sup>	Fa	Mi	Re <sup>#</sup>	Do <sup>#</sup>	Si <sup>b</sup>	La	Sol	Re	Sol <sup>#</sup>
7	Re	Do <sup>#</sup>	Sol <sup>#</sup>	Sol	Fa <sup>#</sup>	Fa	Re <sup>#</sup>	Do	Si	La	Mi	La <sup>#</sup>
8	Fa	Mi	Si	Si <sup>b</sup>	La	La <sup>b</sup>	Sol <sup>b</sup>	Mi <sup>b</sup>	Re	Do	Sol	Do <sup>#</sup>
9	Fa <sup>#</sup>	Fa	Do	Si	Si <sup>b</sup>	La	Sol	Mi	Mi <sup>b</sup>	Re <sup>b</sup>	La <sup>b</sup>	Re
10	La <sup>b</sup>	Sol	Re	Do <sup>#</sup>	Do	Si	La	Fa <sup>#</sup>	Fa	Mi <sup>b</sup>	Si <sup>b</sup>	Mi
11	Do <sup>#</sup>	Do	Sol	Fa <sup>#</sup>	Fa	Mi	Re	Si	Si <sup>b</sup>	La <sup>b</sup>	Mi <sup>b</sup>	La
12	Sol	Fa <sup>#</sup>	Do <sup>#</sup>	Do	Si	Si <sup>b</sup>	La <sup>b</sup>	Fa	Mi	Re	La	Mi <sup>b</sup>

Beispiel IIa Example 2a

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
	5	8	6	4	3	9	2	1	7	11	10	12	
A 5	Si	Fa	Do	Si <sup>b</sup>	La	Fa <sup>#</sup>	Mi	Mi <sup>b</sup>	Re	Do <sup>#</sup>	Sol <sup>#</sup>	Sol	12
B 8	Fa	Si	Fa <sup>#</sup>	Mi	Mi <sup>b</sup>	Do	Si <sup>b</sup>	La	La <sup>b</sup>	Sol	Re	Do <sup>#</sup>	11
C 6	Do	Fa <sup>#</sup>	Do <sup>#</sup>	Si <sup>#</sup>	Si <sup>b</sup>	Sol	Fa	Mi	Re <sup>#</sup>	Re	La	Sol <sup>#</sup>	10
D 4	Si <sup>b</sup>	Mi	Si	La	La <sup>b</sup>	Fa	Mi <sup>b</sup>	Re	Do <sup>#</sup>	Do	Sol	Fa <sup>#</sup>	9
E 3	La	Mi <sup>b</sup>	Si <sup>b</sup>	La <sup>b</sup>	Sol	Mi	Re	Re <sup>b</sup>	Do	Si	Fa <sup>#</sup>	Fa	8
F 9	Fa <sup>#</sup>	Do	Sol	Fa	Mi	Do <sup>#</sup>	Si	Si <sup>b</sup>	La	La <sup>b</sup>	Mi <sup>b</sup>	Re	7
G 2	Mi	Si <sup>b</sup>	Fa	Mi <sup>b</sup>								Do	6
H 1	Mi <sup>b</sup>	La	Mi	Re	etc.							Si	5
I 7	Re	La <sup>b</sup>	Re <sup>#</sup>	Do <sup>#</sup>								Si <sup>b</sup>	4
J 11	Do <sup>#</sup>	Sol	Re	Do	Si	Sol <sup>#</sup>	Fa <sup>#</sup>	Fa	Mi	Mi <sup>b</sup>	Si <sup>b</sup>	La	3
K 10	Sol <sup>#</sup>	Re	La	Sol	etc.							Mi	2
L 12	Sol	Do <sup>#</sup>	Sol <sup>#</sup>	Fa <sup>#</sup>	Fa	Re	Do	Si	Si <sup>b</sup>	La	Mi	Mi <sup>b</sup>	1
	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	

Beispiel IIb Example 2b

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
	12	11	9	10	3	6	7	1	2	8	4	5	
A 12	Sol	Re <sup>b</sup>	Sol <sup>b</sup>	La <sup>b</sup>	La	Do	Re	Re <sup>#</sup>	Mi	Fa	Si <sup>b</sup>	Si	5
B 11	Re <sup>b</sup>	Sol	Do	Re	Mi <sup>b</sup>	Sol <sup>b</sup>	La <sup>b</sup>	La	Si <sup>b</sup>	Si	Mi	Fa	8
C 9	Sol <sup>b</sup>	Do	Fa	Sol	La <sup>b</sup>	Si	Do <sup>#</sup>	Re	Re <sup>#</sup>	Mi	La	Si <sup>b</sup>	4
D 10	La <sup>b</sup>	Re	Sol	La	Si <sup>b</sup>	Do <sup>#</sup>	Re <sup>#</sup>	Mi	Fa	Fa <sup>#</sup>	Si	Do	6
E 3	La	Mi <sup>b</sup>	La <sup>b</sup>	Si <sup>b</sup>	Si	Re	Mi	Fa	Fa <sup>#</sup>	Sol	Do	Do <sup>#</sup>	11
F 6	Do	Sol <sup>b</sup>	Si	Do <sup>#</sup>	Re	Fa	Sol	Sol <sup>#</sup>	La	Si <sup>b</sup>	Mi <sup>b</sup>	Mi	2
G 7	Re	La <sup>b</sup>	Do <sup>#</sup>	Re <sup>#</sup>								Fa <sup>#</sup>	9
H 1	Re <sup>#</sup>	La	Re	Mi	etc.							Sol	12
I 2	Mi	Si <sup>b</sup>	Re <sup>#</sup>	Fa								La <sup>b</sup>	10
J 8	Fa	Si	Mi	Fa <sup>#</sup>	Sol	Si <sup>b</sup>	Do	Do <sup>#</sup>	Re	Mi <sup>b</sup>	La <sup>b</sup>	La	3
K 4	Si <sup>b</sup>	Mi	La	Si	etc.		Fa	Fa <sup>#</sup>	Sol	Sol <sup>#</sup>	Do <sup>#</sup>	Re	7
L 5	Si	Fa	Si <sup>b</sup>	Do	Do <sup>#</sup>	Mi	Fa <sup>#</sup>	Sol	La <sup>b</sup>	La	Re	Mi <sup>b</sup>	1

5 8 4 6 11 2 9 12 10 3 7 1

Beispiel IIIa Example 3a

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
a	12	11	9	10	3	6	7	1	2	8	4	5
b	11	12	6	7	1	9	10	3	4	5	2	8
c	9	6	8	12	10	5	11	7	1	2	3	4
d	10	7	12	3	4	11	1	2	8	9	5	6
e	3	1	10	4	5	7	2	8	9	12	6	11
f	6	9	5	11	7	8	12	10	3	4	1	2
g	7	10	11	1	2	12	3	4	5	6	8	9
h	1	3	7	2	8	10	4	5	6	11	9	12
i	2	4	1	8	9	3	5	6	11	7	12	10
j	8	5	2	9	12	4	6	11	7	1	10	3
k	4	2	3	5	6	1	8	9	12	10	11	7
l	5	8	4	6	11	2	9	12	10	3	7	1

Beispiel IIIb Example 3b

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
a	5	8	6	4	3	9	2	1	7	11	10	12
b	8	5	9	2	1	6	4	3	10	12	7	11
c	6	9	11	5	4	12	8	2	1	7	3	10
d	4	2	5	3	10	8	1	7	11	6	12	9
e	3	1	4	10	12	2	7	11	6	5	9	8
f	9	6	12	8	2	11	5	4	3	10	1	7
g	2	4	8	1	7	5	3	10	12	9	11	6
h	1	3	2	7	11	4	10	12	9	8	6	5
i	7	10	1	11	6	3	12	9	8	2	5	4
j	11	12	7	6	5	10	9	8	2	1	4	3
k	10	7	3	12	9	1	11	6	5	4	8	2
l	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

**FIRST SECTION**

	PIANO I	PIANO II
I: TRÈS MODÉRÉ, ♩ = 120	1 row <i>ffff</i>	1 row <i>quasi p</i>
II: MODÉRÉ, PRESQUE VIF ♩ = 144	2 rows <i>mf</i>	2 rows <i>ppp</i>
III: LENT, ♩ = 120	2 rows <i>fff</i>	2 rows <i>quasi f</i>
IV: MODÉRÉ, PRESQUE VIF ♩ = 144	3 rows <i>quasi p</i> <i>quasi p</i> <i>fff</i>	3 rows <i>quasi f</i> <i>fff</i> <i>fff</i>
V: TRÈS MODÉRÉ, ♩ = 120	1 row <i>ff</i>	1 row <i>quasi f</i>
VI: LENT, ♩ = 120	2 rows <i>pp</i> <i>mp</i>	3 rows <i>ppp</i> <i>quasi p</i> <i>ppp</i>
VII: MODÉRÉ, PRESQUE VIF ♩ = 144	1 row <i>ffff</i>	—
<b>SECOND SECTION</b>		
VIII: TRÈS MODÉRÉ, ♩ = 120	3 rows <i>pppp</i> <i>ppp</i> <i>pp</i>	2 rows <i>pp</i> <i>mf</i>
IX: MODÉRÉ, PRESQUE VIF ♩ = 144	1 row <i>mp</i>	2 rows <i>pppp</i> <i>f</i>
X: LENT, ♩ = 120	2 rows <i>f</i> <i>mf</i>	2 rows <i>ppp</i> <i>mp</i>
XI: TRÈS MODÉRÉ, ♩ = 120	2 rows <i>mf</i> <i>f</i>	2 rows <i>mp</i> <i>ppp</i>
	1 row <i>mp</i>	1 row <i>f</i>
	3 rows <i>ppp</i> <i>ppp</i> <i>pppp</i>	3 rows <i>pppp</i> <i>mf</i> <i>pp</i>

Some Thoughts on Twelve Tone Method

(Boulez: "Structure 1a")

by

MARC WILKINSON

Professor Scherchen has asked me to write about certain ideas which have interested me for some time past, and to include an analysis, which I have, of Pierre Boulez' *Structures* for two pianos. Though in some ways there are points in common between my researches and those of Boulez in the *Structures*, I feel that these are not numerous enough to justify uniting them in one detailed article. I shall therefore limit myself for the present to discussing certain general ideas, and illustrate them with some notes on the *Structure 1a*, since this particular work is composed with extreme simplicity. Of course, by discussing this part of the work only, I am taking it out of context, but I think this is justified for the present purpose. I wish to make it clear that this is not a complete musical analysis, that any criticism I may voice about the work applies to this work only, and that I make these criticisms solely with the view of emphasising general points which I hope to elaborate at a later date.

\*

Our new music is growing up. The exigencies which animate it are no longer those that ruled thirty years ago, the esthetic impulse has changed, and the study of composition — the composers' study — now deals with a different kind of experiment. We have inherited new worlds, and part of our work is to chart these, to explore and cultivate them, and to grow new fruit.

Composers dealing with the total chromatic are searching to write music in which all the elements of composition<sup>1</sup> relate to a same basic principle. There is nothing surprising or outrageous in this, for it has probably been the aim of all good composers; yet there have been times when sudden sweeping developments in musical technique have outstripped practical experience. Composers often have then had recourse to using some earlier traditional elements of technique<sup>1</sup>, quite out of context, or have sometimes imposed rules of detailed rigidity and of arbitrarily subjective nature, to supplement and complete their new practices of composition. It occurs to me, for example, that Adam de la Hale's three part *Rondeaux* fall somewhat into the first category, and that Machaut's polyphonic isorhythmic *Ballades* fall into the second. Neither composer, certainly, was in absolute and

<sup>1</sup> By the elements of music I mean harmony (or the vertical relation of notes to form overall areas of simultaneity), melody, rhythm, accentuation, phrasing, timbre, dynamics etc. . . .

perfect control of all the elements of this music, for the interrelation and the fusion of these elements in polyphonic music were still in the first processes of evolution and of development. One can say without a trace of mockery that they did not know better; and their music does not suffer in the circumstances.

Undeniably, most of the serial music composed before the war depended to a large extent on association with practices of tonal writing. It is a sheer waste of time to criticise adversely this aspect of the music, since it is a normal development, and was practically unavoidable. The music of that time must stand or fall on its values as a whole. But we are no longer satisfied to compose with elements of associative functions, functions not derived from the basic compositional principles, and it is only normal that as composers we should wish to eliminate the dichotomy, and purify both the style and practice of composition. The tonal rhythmic patterns and formal structures, the "suspension feeling" which we find in the music, say, of Schoenberg, are unsuitable ornaments for the serial music of today.

In order to be free of these associations, composers are developing rules and methods which will affect their music in all its aspects, both large and small. These rules are essential, even if arbitrary, to supplement the inadequate framework of the "twelve tone system", which is not really a system at all (in the sense that the "tonal system" is a large compendium of constant symmetrical relations and derivations, and of variable statistical and ordered functions). Without these developments, serial techniques up to the present have not established, alone and independently, sufficient relations and functional rules to make musically viable what is, to say the least, a very wide choice of applications.

Before proceeding further in this discussion, I shall outline some of the processes of composition which Boulez uses in his *Structure 1a*.

\*

*Structure 1a* is divided into two main sections. In the first, the original row is presented once at each of its possible transposition levels in piano 1 (twelve in all), and the inversion row is presented an equal number of times by piano 2, and on all transposition levels. The first note of the first transposition level of either is the same (E flat), and the order of transposition levels of each sequence then follows the ordering of notes in the first row of the other sequence. In other words, the order of transposition levels (as judged by the first note) of the twelve original rows is the same as the order of the notes within the inverted row starting on E flat, and vice-versa.

Example 1 presents all the original rows in their correct order of transposition, reading from left to right, and presents all the inverted rows, in their correct order of transposition, reading from top to bottom. As can be

seen, the two forms of the row (which I shall henceforth call form 1 and form 2) combine to form a common square of rows. Moreover there is a constant note relationship between the corresponding transpositions of the two forms: for example, the first note of both form one and form two is, in each case, E flat. The second of each form is D and E in turn. The third is A and A, the fourth B flat and A flat, the fifth B and G, and so forth. If one takes the tenth transposition of forms 1 and 2, one sees that the first note of each in turn is B flat and A flat, the second B and G, the third C and D, etc. . . .

The rule is true for all the transposition levels, and for all the corresponding notes within them. The complete list of note relations is the following: E flat - E flat, D - E, A - A, B flat - A flat, B - G, C - F sharp, C sharp - F. In other words, since Boulez presents the rows of forms 1 and 2 in such a way that the order of transpositions coincide, with one or two exceptions, he has in fact set up a large harmonic sphere in which the note relations specified above are constantly acting upon the harmonic framework of the piece.

On the other hand, it must be pointed out that *any row whatsoever* which starts on an E flat will have not only the same qualities of symmetrical relations between notes, but will have exactly the *same* relations between notes (E flat - E flat, D - E, etc. . . .), if it is subjected to the same rules of transposition and of inversion. Likewise, a row starting on any note but E flat will have the same relations, but transposed in toto, in relation to the interval between E flat and the new point of departure. Moreover, any row whatsoever under these circumstances will also displace the first note by a factor of one towards the end of the row with each new transposition (as is seen in this example with the first note, E flat). It follows that the last note of the last transpositions of form 1 and of form 2 must always be the same as the first note of the first transposition of either. I shall not bother to explain the reasons for these general rules, since they are all based on simple symmetries of inversion, and on the non - invertability of the tritone.

So far, then, no particular quality of the row has in any way influenced the building of symmetries in the larger harmonic-serial area, except that the first note is an E flat. And even this merely stipulates the transposition on which an otherwise completely general set of note relations will appear. Though I most certainly am in complete agreement with Boulez where he is in search of large harmonic areas, and symmetries within them, I find that this particular method lacks in relations by derivation to the row material he is using. The actual order of notes in his row affect only the order in which note relations and symmetries will appear, and not the relations and the symmetries themselves; this, after all, is no more than an ornamental function.

In the second part of *Structure 1a*, the retrograde form of the row is presented twelve times, at all transposition levels, by piano 1, and piano 2 similarly presents all the forms of the retrograde inversion row (hereafter called forms 3 and 4). But now we find a particularity of Boulez' row which does allow a less general type of transposition ordering, and of harmonic-serial structure. The first transposition level of form three is at the same level as the last transposition in form 2 (that is, their first notes are the same). Similarly, the first transposition level of form 4 is the same as the last one in form 1. The order of transposition levels of each form then follows the ordering of notes in its own first row transposition. In order to clarify the situation, by presenting all these rows in their right order of transposition, it is necessary to make two new squares (see examples 2a and 2b). One immediately notices that the first transposition level of form 3 is on B, and the last is on G. The opposite is true of form 4, and the last note of the last transpositions of each is E flat. Moreover, though the diagonal of first notes (E flat in example 1) no longer exists, for that is not a quality consequent to this arrangement, the same relation of note-to-note between similarly placed rows of each form is still present (as E flat - E flat, D - E, G - B, and so forth).

All these symmetries and relations in the second part are due to the relation of major third between the first and last notes of the row. A short glance at the three squares (examples 1, 2a, and 2b) will make clear in what way this double symmetrical division of the octave by the major third automatically implies these consequences when the present technique is in use. But again in this case, the ordering of all but the first and last notes of the row have only an ornamental function on the overall harmonic area. In this way, Boulez has made a large area, in which all relationships are symmetrically constant, including the relationship of first and last note, and the first and last row transposition within each and every form.

Before developing shortly some of the implications which are inherent in the above, I shall sketch out the general plan of this piece, simply as a matter of interest.

\*

Rhythm (or rather duration) is derived from the tone row, it is serial, and each „rhythmic series“ comprises twelve values: 1 = , 2 = , 3 = , etc. . . . until one reaches 12 = <sup>2</sup>. The derivation process is very simple. Make two squares of twelve times twelve compartments (similar to the squares we have already used). In one of the two squares, write the numbers 1 to 12, starting in the bottom right hand corner, and working towards the left, then repeat the process starting at the same place in the

<sup>2</sup> The duration of a note is equal to the sum of the note value plus the value of the rests which follow it in the same counterpoint.

same square, but working upwards (see example 3b). Now take either square 2a or 2b (of row forms 3 and 4), and compare the notes of one with the numbers 1 to 12 in the new square. For example, comparing square 2a with square 3b, E flat equals 1, A equals three, B flat equals four, and so forth. One needs only fill in the numbers in the appropriate compartments of square 3b, as guided by the placement of the equivalent notes in the compartments of square 2a. To fill in the second rhythmic square, one guides oneself by the other square of notes (2b in this case), but one still maintains the same number-to-note relationship which prevailed in filling the first square of durations.

The horizontal rows of square 3a will now define the duration of each of the series of notes in form 1 in order, and the durational rows of square 3b control the series of notes in form 2. In other words, horizontal note series 1 and 5 in square 1 are coupled to durational rows 1 and 5 in square 2a, whereas vertical rows 1 and 5 of square 1 are coupled with rows 1 and 5 of square 3b. In point of fact, due to the particular construction of squares 2a and 2b, from which were derived squares 3a and 3b, there is no difference between reading from left to right or from top to bottom in any of these four squares.

The relation between the rows of forms 3 and 4 to their corresponding rhythmic rows is a little more complex. In order to find this relation, one must take the rows of squares 3a and 3b, and situate them on the original square 1. For example, the first row in square 3a is based on B, and appears as the fifth vertical row, counting from left to right (reading from bottom to top) in square 1. The corresponding rhythmic row will appear, reading also from bottom to top, in the symmetrically retrograde position. In other words, it will be in the fifth vertical row counting from right to left, or row *b* of example 3b.

Naturally, since the durational squares are derived from the squares of forms 3 and 4, all the symmetries and relations are reproduced in the new squares. It is useless to list the innumerable relations of a new order which also arise, since they are not developed in *Structure 1a*, and since a study of squares 3a and 3b will quickly make them clear. As each rhythmic row is an addition of all the duration values from one to twelve, they are all of equal total duration; this is of nineteen and one half quavers. The sub-sections of the piece are controlled by the entries of rhythmic rows, which are simultaneous; it follows that each sub-section is also of a total duration of nineteen and one half quavers, or a multiple thereof. The real time duration of each sub-section is then controlled by the metronome marking assigned it. One realises now that each sub-section is in fact a complete phrase; that within these phrases there is a variable number of note rows complemented by an equivalent number of duration rows; that these rows have constant symmetrical relations between them, but that these, obviously,

are varied by the actual number of rows superposed within a phrase. We are faced, therefore, with a kind of very simple passacaglia, in which certain constant relations between notes, and between durations, are varied from phrase to phrase by the order and number of row superpositions, and by the order in which the relations appear within symmetrical rows of complementing forms.

The formal divisions of *Structure 1a*, and the control of the other musical elements such as dynamics, accentuation, etc. can be seen in the diagram on Page 22.

The  $\curvearrowright$  which close sub-sections of the piece are of rather long duration, the  $\square$  are shorter. The relation of real time duration of the first half of the piece to the second is of  $4\frac{1}{7}$  units to  $3\frac{6}{7}$  units, taking metronome markings into account, but without assessing the real duration of the fermate. The desire to compose in a symmetrical and orderly frame, relating all elements to the large structural plan, becomes quite evident in the above diagram.

\*

I shall now recapitulate one or two points, and explain more fully my thoughts behind them. But first, it is necessary for me to define some terms and techniques which I shall explain and illustrate more completely in my next article.

To my mind there are three basic means of creating a large total-chromatic harmonic-serial field. The first depends on some kind of permutation of the so called chromatic scale. In this case, relations of intervals and notes arise from a completely neutral field, one in which the ordering of notes is by definition unimportant at the start, and these relations by permutation form a harmonic field from which all other developments of a melodic, dynamic, or even vertically simultaneous nature will arise.

The second method depends on organising the total twelve chromatic notes into one or more autonomous harmonic fields, within which the actual order of the notes is unimportant. Such a technique is usually based on symmetries of one kind or another, and Boulez' row is in fact a primary example of this kind of organisation, which, for purposes of identification, I shall call a "set"<sup>3</sup>. A more developed type of set is, for example, the hexachordal set C, C sharp, D, F sharp, G, G sharp; D sharp, E, F, A, A sharp, B. As long as the notes at present contained within each hexachord remain unchanged, hexachord one can be superposed upon hexachord two not only at the original transposition level, but also at the fourth and the tenth transposition levels, without any doubling of notes. Moreover, hexachord one can be superposed upon itself in the same way at trans-

<sup>3</sup> This is the term used by Milton Babbitt, who has done most of the original research and musical experimenting in this field.

position level seven. The actual order of notes within the hexachords is completely unimportant to the general harmonic result, and so any row which respects the limits I have set out above, can be transposed in this way, and the superpositions are valid also for any combination between forms 1, 2, 3, and 4.

The third method depends on organising a note row in which the melodic or harmonic association of intervals and notes imply relations between transpositions of the row<sup>4</sup>. This technique, much favoured by Webern, also usually implies certain symmetrical constructions, but of a quite different nature from those required by a set. Naturally, a twelve note organisation can have qualities deriving from more than one of these techniques, but I believe that in most cases, when such a duality occurs, it is the simplest of the techniques which has the greatest functional importance. All of these methods, however, allow a very great latitude for the derivation of horizontal and of vertical chromatic structures, within constant and symmetric limits, and thereby permit much variation, and the use of variable functions.

My argument with Boulez, therefore, rests on the fact that I think he is using too many unrelated rules of limitation, where fewer would in fact serve as well. On the one hand he uses techniques related to the qualities of a set to create a constant harmonic and rhythmic flow, which is very limited, and which he forms into a type of passacaglia. On the other hand, he uses techniques related to the qualities of rows with symmetrical associations (which his row lacks in any case), and consequently repeats the four melodic forms of the row over and over again. The combination of harmonic-rhythmic passacaglia and of melodic ostinato strikes me as overworking the situation. It must be pointed out, of course, that the same type of compositional method is not used in the later movements of *Structures*, but even so, they continue to develop this anomaly between differing techniques.

This criticism obviously is aimed only at the specific technical aspects involved in *Structure 1a*. The resulting composition still depends on Boulez' excellence as a composer, which I do not question, and which in any case is outside the scope of this study.

<sup>4</sup> In this case, of course, the order of notes (or intervals) within the row is the deciding factor from which are derived the general harmonic functions etc., and must remain constant.

**B. SCHOTT'S SOHNE · MAINZ**

Igor Stravinsky  
 Karl Schmitt  
 Harald Genzmer  
 Felix Mendelssohn  
 Ernst Krenek  
 Emil von Sauer  
 Paul Hindemith  
 Richard Wagners  
 Paul Verne  
 Bernd Alois Zimmermann  
 Georges Auric  
 Claude Debussy  
 Cesar Franck  
 Valentin  
 Michael Praetorius  
 Johann Sebastian Bach  
 Arnold Schönberg  
 Ludwig van Beethoven  
 Camille Saint-Saëns  
 Felix Mendelssohn  
 E. T. A. Hoffmann  
 Johannes Brahms  
 Carl Orff  
 Josef Haydn  
 Hermann Scherchen  
 Liszt  
 Giselher Klebe  
 Manuel de Falla  
 Johannes Brahms  
 Luigi Nono  
 Hans Werner Henze  
 Hermann Kretzschmar  
 Kurt Badur  
 Eduard Elms  
 B. Martinus  
 Johannes Brahms  
 M. Sauer  
 Blondel  
 D. an der  
 Gottfried  
 P. Raume  
 J. J. J. J.  
 U. J. J. J.  
 Paul Hindemith  
 Karl Amadeus Hartmann

**VERLAG DER NEUEN MUSIK**

Die beim Bau der Benjamin Franklin Kongreßhalle  
berücksichtigten akustischen Forderungen

I  
von  
HUGH STUBBINS

Zu den ersten Erörterungen über die Bauform der Kongreßhalle zogen wir Bau- und Akustiktechniker hinzu. Insbesondere interessierten uns die akustischen Bedingungen für die Sprachdeutlichkeit und -verständlichkeit. Als wir uns zu einer konvexen Gestaltung der Innendecke entschlossen, waren wir sicher, daß diese Lösung jeder konkaven (etwa Dohm ähnlichen) vorzuziehen sei. Das bestätigte die Praxis, indem wir durch diese gewählte Form eine natürliche Klangdiffusion erhielten, wobei Brennpunktbildungen vermieden wurden.

Die durch BERANEK und NEWMANN besonders geforderte Ausschaltung allen Außenschalls beeinflusste die Dachkonstruktion weitgehend. Masse oder Gewicht ist das beste Mittel, um Schalldurchlässigkeit zu verhindern. Wir wünschten deshalb das Dach über dem Auditorium schwerer zu gestalten, als die rein architektonischen Gesichtspunkte es nötig gemacht hätten. Unsere Akustikingenieure forderten ferner sorgfältigste Vorrichtungen (z. B. an der Decke), um die durch die Lichtenanlagen hervorgerufenen Lücken abzudichten. Trotzdem diese der Installationsschwierigkeiten und -kosten wegen nicht eingebaut werden konnten, ergaben sich keine Probleme dadurch.

Die hölzernen Jalousiestäbe der transparenten Seitenwände des Auditoriums, die in Größe und Gestalt variierten, wurden eher rhythmisch als zufällig eingebaut, wie Herr Newmann das gefordert hatte. Da die einzelnen Stäbe an den Kanten nicht parallel sind, hat diese rhythmische Aufteilung keine nachteiligen Klangkonzentrierungen hervorgerufen.

Die akustische Gestaltung hinter den schalltransparenten Seitenwänden des Auditoriums wurde mittels reflektierender, ungefähr einen Quadratmeter großer Flächen durchgeführt. Diese Felder sowohl als das an sie grenzende Dämpfungsmaterial wurden ebenfalls zufallsmäßig angebracht, um Brennpunkte des Schalls zu vermeiden. Durch ihre relative Kleinheit und ihre Ecken verstärken sie die Zerstreuung der Schallstrahlen. Dadurch wurden Diagramme der Reflexionswinkel (ihrer Komplexität wegen) so gut wie unmöglich. Die konvexe Form der Innendecke endlich trug dazu bei, die Schallstrahlen auswärts gegen die Seitenwände zu werfen, wodurch die Gefahr von Schallkonzentrierungen eingeschränkt wurde.

Die eiförmige Gestalt der Halle wurde durch die klangtransparenten Wände mit den dahinter befindlichen reflektierenden und absorbierenden

Kontrollflächen ermöglicht. Die vertikalen Abdachungen der Holzstäbe jedoch haben mit Akustik nichts zu tun und wurden aus visuellen Gründen eingeführt.

Die hinter diesen Wänden angebrachten Flächen sind aus „Eternit“, das schwerer ist, als die zuerst vorgesehenen Stuckflächen es gewesen wären. Diese Änderung wurde von der Berliner Baupolizei vorgeschrieben.

Ich erwähne diese das Material betreffenden geringen Abänderungen, um festzustellen, daß — bei etwas Glück — gewünschte akustische Qualitäten leicht erzielbar sind. Inzwischen vorgenommene Nachprüfungen der Halle haben dies bestätigt.

Alles in allem waren nur geringe Kompromisse hinsichtlich der architektonischen Planung nötig, um die gewünschten akustischen Eigenschaften zu erzielen. Wir, die wir am Bau beteiligt waren, sind deshalb alle glücklich, daß die Kongreßhalle so gute akustische Resultate ergeben hat.

## II

von

ROBERT B. NEWMANN\*)

Das 1000 Sitzplätze fassende Auditorium der Kongreßhalle war ursprünglich ausschließlich für Sprache vorgesehen. Obgleich gewünscht war, daß ein guter Sprecher überall und ohne Lautsprecheranlage mühelos hörbar sei, wurde dennoch eine solche zugleich mit einem kompletten System für Simultan-Übersetzungen in mehreren Sprachen eingebaut. Darüberhinaus sahen wir schon voraus, daß der Raum auch für musikalische Darbietungen — und zwar von Kammermusikkonzerten bis zu Operaufführungen — gebraucht werden würde (allerdings ohne elektro-akustische Klangverstärkung). Denn wir hatten die Erfahrung, daß Hallen dieser Größe befähigt sein müssen, gute Hörbedingungen für fast alle Arten von Darbietungen zu liefern, welche 1000 Menschen erwarten.

Die wichtigste Bedingung für gute Hörsamkeit ist die völlige Ausschaltung äußeren Lärms. Es mußten also vor allem alle störenden Klangquellen völlig abgedichtet werden, wie: über die Halle wegfliegende Flugzeuge und Straßenlärm, ferner alle aus anderen Teilen des Gesamtgebäudes kommenden Geräusche (wie z. B. die durch das Ventilatorsystem übermittelten). Wir verlangten deshalb von dem Architekten eine ziemlich schwere Dachplatte und ebenso eine aufgehängte Stuckdecke zur völligen Isolierung aller äußeren Geräusche. Da die Wände genügend schwer vorgesehen waren,

\*) Bolt Beranek and Newman Inc. Consultants in Acoustics, Cambridge, Massachusetts.

handelte es sich bei dem Dach und der hängenden Decke um besondere akustische Rücksichtnahmen. Für die Wandelgänge wurde besonders absorbierendes Material eingesetzt, und ebenso für alle die Halle umgebenden Räumlichkeiten, um Klangübertragungen von daher auf ein Minimum einzuschränken. Besondere Türen vermindern bei den Ausgängen die Gehgeräusche. Der Fußboden der Halle selbst ist mit dickem Teppich ausgelegt, um das Kommen und Gehen während der Sitzung unhörbar zu machen. Auch das Ventilationssystem wurde so festgelegt, daß dadurch die Stille im Raum nicht berührt würde.

Dann erörterten wir den Grundriß der Halle. Der Architekt wünschte, daß die Innendecke entsprechend dem Dache eine Sattelform erhalten sollte. Wir stimmten damit überein, weil wir wußten, daß dadurch eine günstige Klangdiffusion über dem Auditorium erfolgen mußte. Wir empfahlen dafür harten, den Klang reflektierenden Stuck. Um den Klang vom Podium her gut ins Auditorium zu leiten, wurde darüber eine reflektierende Überdachung vorgeschlagen, die ebenso die Sprache vom Bühnenraum her verstärkt, als den Klang der Musikinstrumente davor (ohne daß je elektroakustische Nachhilfen erfolgen mußten). Die reflektierende Überdachung ist ebenfalls aus Stuck und ermöglicht es den Ausführenden, sich gegenseitig gut auf der Szene zu hören und so einen Totaleindruck des Klanges zu erhalten. Das zur Sprachverstärkung bestimmte Lautsprechersystem befindet sich oberhalb dieser reflektierenden Überdachung.

Später wurde gewünscht, das Rauminnere kreisförmig zu gestalten, trotzdem man sich bewußt war, daß damit eine Brennpunktkonzentration durch die reflektierenden Wände möglich wurde. Das Problem wurde gelöst, indem die sichtbaren Flächen der Seitenwände klangtransparent gestaltet wurden und indem man die tatsächlich reflektierenden Flächen dahinter von Klangbrennpunktbildungen frei machte. Die sichtbaren Wandflächen bestehen aus einem Schirm von Holzstäben, die „zufällig“ in Form, Anordnung und Größe sein sollten. Dies wurde erreicht, indem man hinter den klangtransparenten Holzstabschirmen ziemlich breite Panele aufhing, von 2 bis 12 Quadratfuß Größe, die — ebenfalls aus schwerem Stuck — wahllos in alle Richtungen angeordnet sind (aufwärts, nach unten, vorwärts und rückwärts). Da der Raum zwischen den sichtbaren Wandschirmen und der tatsächlichen Außenwand dahinter beträchtlich ist (5 — 10 Fuß), konnten diese Panele in großen Winkeln geneigt werden, was ermöglichte, fast alle Probleme der Geometrie des Kreises auszuschalten.

Zwischen die klangreflektierenden Panele und hinter die Holzstabschirme wurde um die ganze innere Rückwand Glaswolle gezogen, die Echbildungen ausschaltet und Nachhallkontrollen ermöglicht. Zusammen mit den gepolsterten Sesseln, dem Teppich und der Zuhörerschaft bildet die Glaswolle das ganze benötigte Material für die Nachhallkontrolle und die Klangabsorption.

Professor Lothar Cremer von der Berliner Technischen Universität hat durch Messungen festgestellt, daß der Nachhall in der Kongreßhalle ca. 1,5 s. beträgt (bei 500 Hz), daß er bei 100 Hz auf 2 s. ansteigt, bei 5000 Hz aber auf 1,1 s. fällt. Diese in der leeren Halle vorgenommenen Messungen stimmen durchaus mit unseren ursprünglichen Berechnungen überein. Indeß würden wir einen etwas höheren Nachhallwert angesetzt haben, wäre die Halle für musikalische Veranstaltungen bestimmt gewesen. So jedoch bleibt der gemessene Wert durchaus innerhalb des für moderne Hallen üblichen. Günstige Reaktionen von Hörern, Dirigenten und Kritikern anlässlich musikalischer Veranstaltungen in der Kongreßhalle bestätigten von neuem, daß der Nachhallwert allein kein erschöpfendes Kriterium abgibt für die akustische Qualität eines Raumes. Denn obwohl die Kongreßhalle ursprünglich für Sprache bestimmt war, kann dort auch Musik in befriedigender Weise gehört werden, da die Ausführenden von gut gewählten Reflektoren umgeben sind und überall im Raum die nötige Klangdiffusion eintritt. Auch die Decke verteilt den Klang vorteilhaft, und die Überdachung der Scene trägt weiterhin zu einer guten Hörsamkeit bei. Der größte Vorteil aber ist, daß die Kongreßhalle kein großes Bühnenhaus besitzt, wie es gewöhnlich als klangabsorbierende Öffnung über der Scene in den Opernhäusern alles verfälscht, und daß die Stimmen der Sänger aufs Günstigste das Auditorium erreichen. Dadurch erleichtert sich das Gleichgewicht zwischen den auf der Scene singenden Künstlern und dem vor dieser spielenden Orchester.

Trotzdem es eine Vielzahl ausschließlich für Musik bestimmter Säle gibt, nimmt jetzt die Zahl von Mehrzweck-Räumen immer mehr zu. Dennoch scheint uns kein besonderer Kompromiß nötig, um für die letzteren ausgezeichnete Resultate zu erzielen. Das neue KRESGE AUDITORIUM im Technologischen Institut von Massachusetts ist — ebenso wie die Franklin-Kongreßhalle in Berlin — ein vorzügliches Beispiel dafür, was erreicht werden kann, wenn alle Erfordernisse einer guten Hörsamkeit bei der Planung in Rechnung gestellt und während des Bauprozesses miteinbezogen werden. Doch wird es niemals möglich sein, einem fertigen, akustisch ungenügenden Raum *nachträglich* eine gute Akustik zu geben.



Abb. 1: Blick vom Saal auf das Podium

Fig. 1: View of the hall, facing the stage

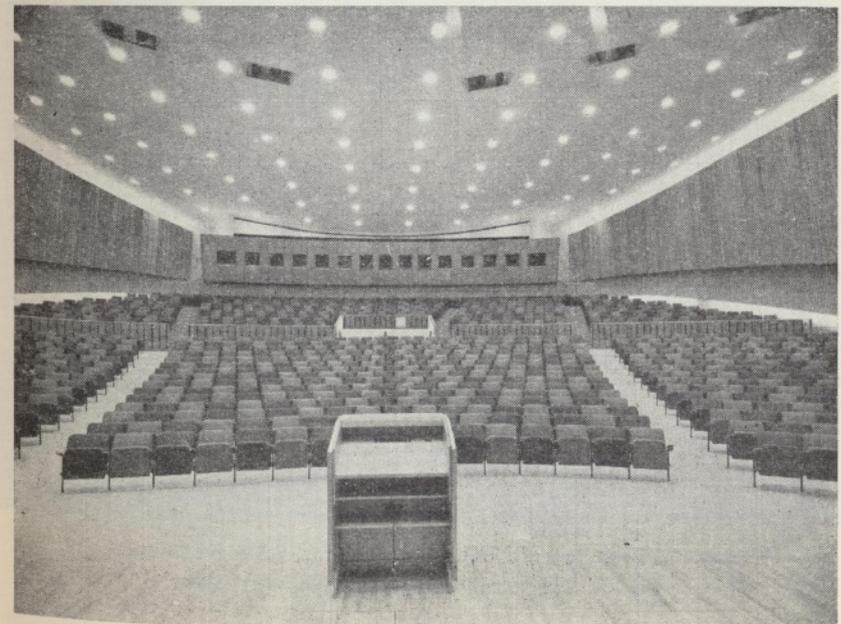


Abb. 2: Blick vom Podium auf den Saal

Fig. 2: Stage view of the hall

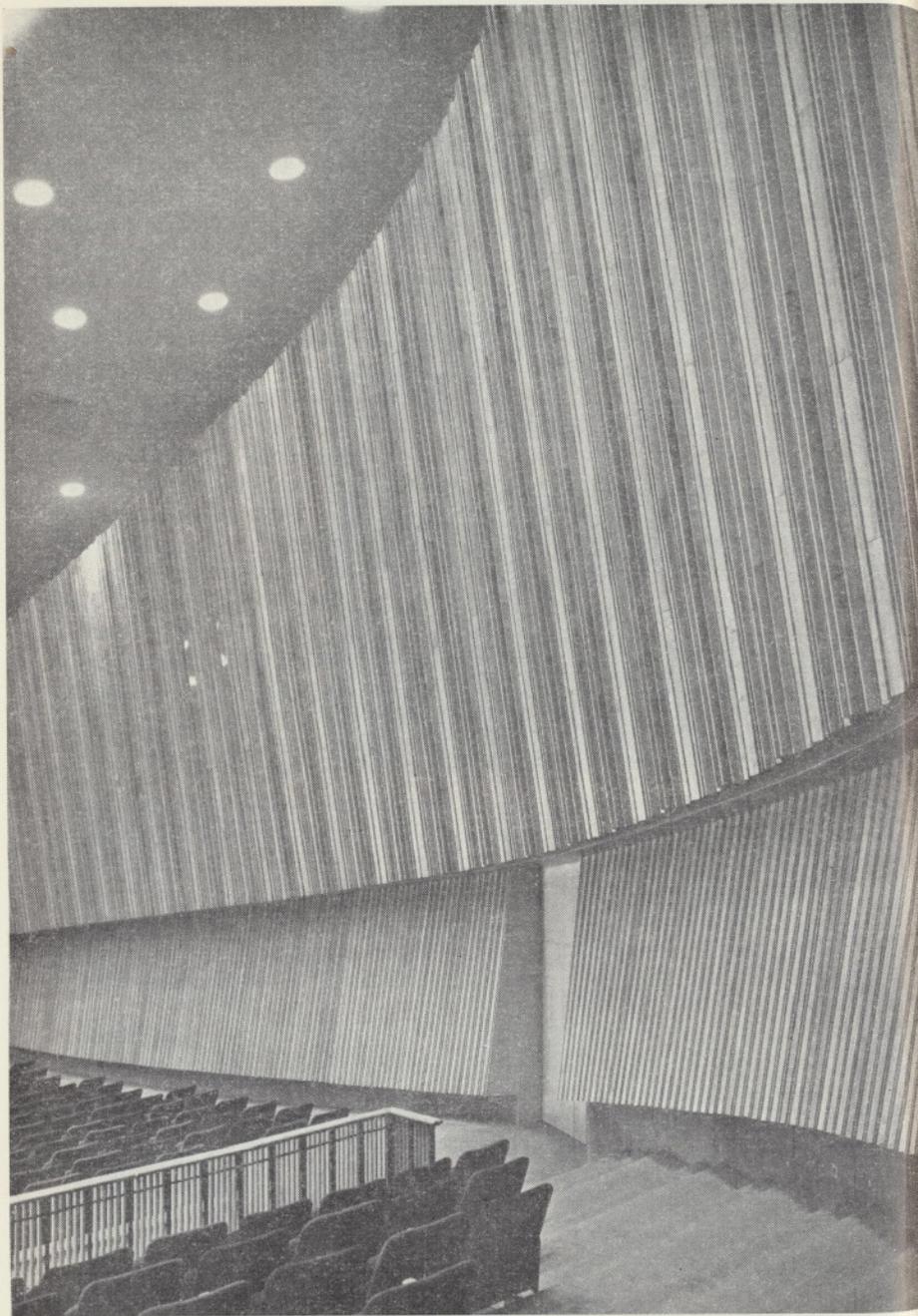


Abb. 3 Blick auf die Klangtransparente, rechte Seitenwand  
 Fig. 3 The sound transparent right side wall

## Comments on the Acoustics Consideration in the Design of the Congress Hall, Berlin

I

by

HUGH STUBBINS

In the early stages of our search for a building form, we consulted structural and acoustical engineers. We were, of course, particularly concerned with acoustic requirements for speech and hearing speakers. When the final design for the roof structure gave a convex form for the interior ceiling, we were quite certain that this form was to be preferred over a concave shape such as a dome. This proved to be so as this form naturally disperses sound rather than focusing.

The requirements set forth by both Beranek and Newman for the elimination of outside noise influenced, to a great degree, the structural design of the roof. As I understand it, mass or weight is the best deterrent to the transmission of sound. Therefore, the roof over the auditorium had to be heavier than actually necessary for structural reasons. Our acoustical engineers required elaborate devices over lights, etc. in the ceiling, to seal the voids caused by these. Due to the difficulty of installation and cost, they were omitted and, so far, we have not felt the lack of these seals.

The wood slats which form the transparent side walls of the auditorium vary in size and shape, but they are rhythmically placed rather than being placed at random as indicated by Mr. Newman. Since the shape of the individual slats have no parallel edges, this rhythmic spacing does not seem to cause focusing or pinging.

The acoustic treatment behind the "sound transparent" walls of the Auditorium is made of reflective panels approximately one meter square. These panels and the adjacent absorbent material are placed with a random orientation primarily to prevent focusing. Since the size of these reflective panels are relatively small and their edges contribute to discontinuity, they produce a scattering of sound "rays". This makes diagramming of reflective angles so complex as to be impossible. As for the convex form of the ceiling, this tends to reflect sound "rays" outward towards the walls and again eliminates focusing.

The egg-like plan shape of the Hall is possible acoustically because of the sound transparent walls permitting control with reflecting and absorbing panels behind. The vertical slopes of the wood slats have nothing to do with acoustics and are only for visual correction.

The reflecting panels that are installed behind the transparent walls are made of "Eternit" which is heavier than the plaster board originally called for. This change was due to a request of the building police in Berlin.

I mention these few changes in materials to indicate that, with luck, a certain flexibility is possible in obtaining the desired acoustic properties. This has been indicated by the tests taken in the Hall.

Very few compromises had to be made in the architectural conception to satisfy desirable acoustic properties. We are all happy that there have been such excellent results.

## II

by

ROBERT B. NEWMAN\*)

The large 1,000 seat auditorium is designed primarily as a hall for speech. Although it was desired that a good speaker could be heard throughout the audience area without the aid of a public address system, a public address system has been provided together with a complete, simultaneous translation system for listening in several languages. In addition to the speech requirements, however, we anticipated the use of the room for various types of musical performance ranging from chamber music to opera, and, of course, considered that no amplifying system would be used for these occasions. It has been our experience that any hall of this size must be able to provide good hearing conditions for almost any kind of presentation which a thousand or so people would be likely to attend! Most of the requirements for good hearing are the same for all types of listening, but a room for speech is usually designed with a shorter reverberation time than one primarily for music. On this point, one must compromise.

Since the most important requirement for good hearing is complete absence of background noise, we first considered the sources of noise which might prove troublesome: aircraft flying overhead, city traffic noise, and those noises coming from other occupied spaces within the building and generated in the ventilating system. We urged the architect to adopt a rather heavy roof slab and also to install a suspended plaster ceiling to give adequate isolation from outside noises. The walls themselves would be reasonably heavy in any case, and only the roof and hung ceiling required special acoustics consideration. Sound absorbing treatment was specified for the ceilings of lobbies and other circulation areas around the

\*) BOLT BERANEK AND NEWMAN INC, Consultants in Acoustics, Cambridge, Massachusetts.

auditorium to minimize transmission of sounds from these spaces and doors are provided at the vomitory entrances to control lobby noise. The floors in the Auditorium are carpeted to reduce the noise from people coming and going during meetings. The ventilating system was also designed so that fan noise would not be a problem, and, in fact, every reasonable precaution was taken to assure a quiet hall.

The next consideration was the basic shape of the Auditorium. The architect proposed that the ceiling inside the Auditorium be shaped like the suspended roof above it, a saddle shape. After a little study, we agreed with him that this would give good sound distribution throughout the Auditorium, and recommended that he make it in hard, sound-reflecting plaster. In order to improve the distribution of sounds from the platform area, we recommended a sound reflecting canopy for the direct reinforcement of speech from the stage area, and for the reinforcement of sounds from musical instruments which, of course, would never be amplified. The reflecting canopy is made of plaster, and is designed not only to give reinforcement of sound to the audience, but also to enable the musicians on the stage to hear each other and get a sense of the sound of the total performance. The loudspeaker system for speech amplification is placed above this sound reflecting canopy.

As the design developed, it became evident that a circular plan for the interior would be by far the best, and although we all recognized the problems of focusing of sound from concave walls, we agreed that the problem could be solved. This was done by making the visible finish of the walls transparent to sound, and having the actual reflecting surfaces so oriented as to avoid the focusing difficulty. The visible wall surfaces are made up of a screen of wood slats, random in size, shape, and orientation. The randomizing of the spacing of the wood slats in the screen is done to avoid any regular reflection which might give a focused "ping" to parts of the audience from certain areas on the stage. Behind this acoustically transparent screen, we introduced rather large-scale panels ranging in size from about two feet square to about twelve feet square, of heavy plasterboard, oriented in all directions — up, down, forward, and backward. Since the space between the visual screen and the actual outside walls is quite large (5 feet to 10 feet), the panels could be tilted at considerable angles, and most of the problems of the circular geometry could be avoided.

Between the sound reflecting panels behind the visual screen and across the entire rear wall of the Auditorium, a 2 inch blanket of glass wool has been placed, both for echo and for reverberation control. This wall sound absorbing treatment, together with the upholstered chairs and carpet and audience, provide all of the sound absorbing material in the room for reverberation control.

Professor Lothar Cremer of the Technical University of Berlin has made reverberation measurements in the Auditorium, and finds that at 500 cycles per second, the reverberation time is about 1.5 seconds, rising to about 2.0 seconds at 100 cycles per second, and falling to about 1.1 second at 5,000 cycles per second. These measurements were made in the empty hall, and agree with the original design calculations. If the hall had been designed exclusively for musical performances, we might have selected a slightly higher design value, but this is well within the range of many modern halls. The favorable reactions of audiences, conductors and critics to musical performances which have been held in the Auditorium point out again the fact that reverberation time alone must not be used as a criterion for excellence of a hall. Even though this hall was designed primarily for speech sounds, good music can also be enjoyed here, since the performers are surrounded with well-designed reflectors, and there is adequate sound diffusion throughout the room. The ceiling distributes sounds well, and the canopy over the stage adds further to this reinforcement. Of course, there is no stagehouse with the great sound absorbing void overhead so commonly found in opera houses, and the voices of singers are projected much more efficiently to the audience. This helps also in the problem of balance between accompanying orchestra and singers on the stage.

Although there are being built in many parts of the world auditoriums designed exclusively for music, we find an increasing number of halls which must be multi-use. There seems to be no need, however, for a serious compromise in arriving at excellent results for all of these uses. The new Kresge Auditorium at the Massachusetts Institute of Technology, like the Benjamin Franklin Congress Hall, is an excellent example of what can be done if all the requirements for good hearing are recognized and provided for *during* the design process. Good acoustics can never be pasted into finished structures.

## Die Hörsamkeit großer Orchesterstudios und Konzertsäle

von

T. SOMERVILLE und C. L. S. GILFORD

II.

### (4.8) Allgemeine Eigenschaften

In allen modernen Sälen mit Ausnahme der Colston Hall ist die Nachhallzeit kürzer, als normalerweise für ihr Volumen zu erwarten wäre. Dies führt zu einem etwas harten Klang, der immer mit Trockenheit verbunden ist und noch dadurch betont wird, daß die Ausklingzeit auf Grund ungenügender Diffusion ungleichmäßig verläuft — eine unvermeidliche Konsequenz der Schallprojektion in eine Richtung. Alle neigen mehr oder weniger zur Baßverdeckung, die durch das Fehlen verstärkender Oberflächen in der Nähe der Streicher verursacht wird, während sich das ohnehin laute Blech und Schlagzeug in der Nähe von Reflektoren befindet und dadurch bei lauten Orchesterstellen die schwächeren Instrumente zudeckt. Die Baßverdeckung kann auch in Sälen auftreten, in denen die Nachhallzeit bei den Tiefen ansteigt. Da dieser Fehler den englischen Akustikern hinreichend bekannt ist, weisen die meisten modernen Säle genügend Tiefenschlucker auf, die ein Abfallen der Nachhallzeit im unteren Frequenzbereich bewirken. Durch die Schallprojektion in den Hintergrund des Saales entstehen in vielen dieser Räume Echos, so daß die Rückwände zur Vermeidung des als „slap back“ bekannten Effekts mit Schallschluckmaterial verkleidet wurden. Nur in der Konzerthalle in Göteborg konnten Echos von der Rückwand ohne zusätzliche Schalldämmung vermieden werden.

### (5) TYPISCHE ENTWURFSKRITERIEN

Auf Grund der Untersuchung zahlreicher großer Studios und Konzertsäle im In- und Ausland und während der Entwurf der Royal Festival Hall, der Free Trade Hall und der Colston Hall noch in Bearbeitung war, wurden als Grundlage für den Bau von Orchesterstudios bei der BBC Kriterien aufgestellt.

Die Erfahrung der BBC geht dahin, daß ein Konzertsaal, der sich zur Sendung und Aufnahme mit einem Mikrofon eignet, auch immer für direktes Hören gut ist, während der umgekehrte Fall nicht notwendigerweise zuzutreffen braucht. Dies kommt daher, daß durch das zweiohrige Hören des normalen Konzertbesuchers viele Fehler, die eine Rundfunkübertragung ausschließen würden, ignoriert werden, so daß viele Konzertsäle, die im unmittelbaren Zuhören befriedigen, für Rundfunkzwecke nicht geeignet sind. Andererseits war es in einigen Fällen möglich, durch geeignete Mikro-

fonaufstellung gute Rundfunkübertragungen in Sälen durchzuführen, die hinsichtlich ihrer Hörsamkeit einen schlechten Ruf haben.

Da die Studios die Akustik großer Konzertsäle aufweisen sollen, dürften die bei der BBC für den Entwurf von Musikstudios benutzten Kriterien von allgemeinem Interesse sein.

### (5.1) Formgebung

Bis 1939 wurden alle Musikstudios der BBC in der traditionellen Rechteckform gebaut. Die Unterbrechung des Studio-Bauprogramms von 1939 bis Kriegsende verhinderte die Errichtung großer Orchesterstudios. Als es wieder möglich war, an Um- und Neubauten zu denken, hatte die Erfahrung in britischen und kontinentalen Konzertsälen zu der Auffassung geführt, daß Fächerformen, die den Schall vom Orchester weg reflektieren, unbefriedigende Bedingungen ergeben. Da Reflektoren und konkave Decken den gleichen Effekt haben, wurden sie in allen modernen Entwürfen der BBC vermieden.

Nach Kriegsende wurden von der BBC, da noch immer Beschränkungen in der Bautätigkeit bestanden, verschiedene kleinere Säle für die Verwendung als Konzertstudios erworben. Einige dieser Räume waren kirchlichen Ursprungs und haben steile Dächer, so daß das Verhältnis der Höhe zu Länge und Breite größer als bei normalen Konzertstudios ist. In den meisten Fällen weisen diese Säle eine gute Hörsamkeit auf und geben akustisch den Eindruck einer Großräumigkeit, die nicht ihren Dimensionen entspricht. Das Konzertstudio in Glasgow ist ebenfalls ungewöhnlich hoch und auch hier ist der Eindruck der Geräumigkeit sehr ausgeprägt. Allgemein kann man sagen, daß die Notwendigkeit eines bestimmten Größenverhältnisses zwischen den Dimensionen großer Studios oder Konzertsäle noch nicht erwiesen ist. Es ist ausreichend, wenn man beachtet, daß der Grundriß nicht zu quadratisch sein darf und daß die Höhe mehr als etwa die Hälfte der kleineren Grundrißabmessung beträgt.

### (5.2) Schalldämmung

In großen Räumen wie Konzertstudios und Sälen ist nur eine Dämpfung der unteren und mittleren Frequenzen erforderlich, da die hohen Frequenzen durch die Luft und das Publikum ohnehin manchmal mehr als erwünscht absorbiert werden. In den meisten neueren BBC-Studios wurde die Dämpfung der unteren und mittleren Frequenzen durch Membranabsorber (wie an anderer Stelle beschrieben (11)) erzielt. Sie sind auf der *Abb. 10* des großen BBC-Studios von Maida Vale zu sehen. Die rechteckige Form dieser Absorber ist für die Erreichung einer guten Diffusion vorteilhaft. Übereinstimmend mit der in traditionellen Sälen üblichen Praxis erfolgt hinter dem Orchester eine Absorption durch die dort befindlichen Chorsitze (*Abb. 10*). *Abb. 11* zeigt eine Aufnahme des Konzertstudios in Glasgow. Da in dem

dortigen Studio keine Plätze für den Chor vorgesehen sind, war es notwendig, auf die vertikalen Flächen unmittelbar hinter dem Orchester schalldämpfendes Material zur Erreichung eines ähnlichen Effektes anzubringen. Ursprünglich hatte das Studio keine Schallabsorption hinter dem Orchester, und die Anbringung war daher eine wertvolle Bestätigung dafür, daß eine Schalldämmung hinter den Blech- und Schlaginstrumenten äußerst erwünscht ist. Um es den Musikern zu erleichtern, sich selbst spielen zu hören, wurden die parallelen Oberflächen zu beiden Seiten schallhart gelassen.

### (5.3) Diffusion

Die Notwendigkeit einer guten Diffusion in Konzertstudios wurde bereits diskutiert. Es gibt Beweise dafür, daß die wichtigste Fläche für die Anbringung von Diffusoren in einem Studio die Decke ist. Dies bedeutet aber nicht, daß die Wände nicht ebenfalls behandelt werden sollten. Diese Anschauung gründet sich darauf, daß bei den alten Konzerthallen im Leipziger Stil die Decke mit ausgeprägteren Ornamenten verziert war als die Seitenwände, was auch für das Glasgower Studio offenbar mit gutem Erfolg zutrifft. Wenn auch eine beträchtliche Diffusion notwendig ist, hat es sich doch als vorteilhaft herausgestellt, zu beiden Seiten des Orchesters kleinere reflektierende Flächen anzubringen, wie das auch oft in alten Konzertsälen der Fall war, weil dadurch die Musiker die Möglichkeit haben, sich gegenseitig zu hören.

Die in Maida Vale zur Diffusion angewandten Methoden sind interessant. Es wäre erwünscht gewesen, den Großteil der zerstreuten Oberflächen an der Decke anzubringen, aber dieses alte, 1935 erbaute Studio war so konstruiert, daß die Decke das Gewicht der schweren Absorber nicht tragen konnte. Sie mußten deshalb auf den Wänden angebracht werden. Die Decke erhielt lediglich einige leichtere Diffusoren zur Aufteilung großer ebener Flächen.

## (6) EINIGE TYPISCHE ORCHESTERSTUDIOS

In diesem Abschnitt wird eine kurze Beschreibung einiger großer Musikstudios der BBC gegeben, die nach dem Kriege erbaut oder akustisch bearbeitet wurden.

### (6.1) Studio I, Maida Vale

Einige Einzelheiten der Ausführung des Studios von Maida Vale wurden im Abschnitt (5) beschrieben. Dieses Studio, das man innerhalb bestehender Außenmauern errichtete, wurde in der Höhe auf 7,60 m vermindert. Das Volumen ist 6.200 m<sup>3</sup>, die mittlere Nachhallzeit bei anwesendem Orchester 1,8 s. Die Haupt-Dachkonstruktion neigt dazu, ziemlich stark zwischen 100 und 150 Hz zu absorbieren, was eine leichte subjektive Be-

einträchtigung der Baßinstrumente hervorruft. Diffusität und Deutlichkeit sind gut. Die Tonqualität wird gewöhnlich als ausgezeichnet beurteilt.

#### (6.2) Studio I, Glasgow

Wie das Studio in Maida Vale ist auch das Glasgower Studio I rechteckig, hat aber bei dem kleineren Volumen von  $5.100 \text{ m}^3$  eine größere Höhe von 12 m. Die Nachhallzeit steigt langsam von einem breiten Minimum von 1,4 s. bei 125 Hz bis auf 1,7 s. an. Die Verteilung des Schallschluckmaterials wurde in Abschnitt (5) beschrieben. Außer an der Decke gibt es wenig zerstreue Flächen. Orchester von 65 bis 70 Musikern können ohne Beeinflussung der Hörsamkeit untergebracht werden. Die Tonqualität ist eher noch heller als in Maida Vale, und zwar dank einer besseren Einhaltung des Verlaufs der Nachhallzeit bei den hohen Frequenzen. Die Deutlichkeit ist ungewöhnlich gut, und das Studio gibt gehörmäßig den Eindruck einer beträchtlichen Größe, was vielleicht mit seiner besonderen Höhe im Verhältnis zur Länge von 24 m und zu einer Breite von 17,40 m zusammenhängt. Der Bau ist hauptsächlich aus Stein und schwerem Mauerwerk ausgeführt. Die Schalldämmung der tiefen Frequenzen erfolgt durch ein ziemlich hohes Holzpanel, das rund um die Wände des Studios läuft, den Holzfußboden und eine Gipsputzdecke.

#### (6.3) Studio I, Swansea

Das Studio I in Swansea wurde ausführlich von Ward (12) beschrieben. Es ist rechteckig mit einer Höhe, die nur etwas weniger als die Breite ist. Das Volumen ist  $1.000 \text{ m}^3$ , die mittlere Nachhallzeit 1,3 s. Das Studio wurde, da es weitgehend zerstört worden war, nach dem Krieg 1952 vollkommen umgebaut. Der für die Ausführung der Konstruktion und die akustische Bearbeitung verfügbare Spielraum war ziemlich groß. Diffusion und Baßabsorbierung werden durch die Verwendung einer großen Zahl zeilenförmig auf den Wänden angeordneter Helmholtzresonatoren in der Form hohler, rechteckiger Gipsabgüsse erreicht. Die Decke wird durch tiefe Rahmen entlastet, die mit porösem Schallschluckmaterial gefüllt und mit perforierten Gipsplatten abgedeckt sind.

Diffusität und Deutlichkeit sind gut und der Ton hat eine charakteristische Wärme.

#### (6.4) Charles Street Studio, Cardiff

Das Charles Street Studio in Cardiff wurde aus einem Kirchenraum erstellt, von dem die von großen Fenstern durchbrochenen Ziegelwände übernommen wurden. Es hat ein steiles gezimmertes Dach. Der Hohlraum oberhalb der Hauptdachträger wurde durch eine falsche Decke geschlossen. Die noch verbleibende schräge Leibung wurde mit Glaswolle ausgefüllt und mit

gelochten Hartfaserplatten abgedeckt. Im großen und ganzen sind die Wand- und Deckenflächen ziemlich glatt mit geringfügigen, zerstreuen Konstruktionsmerkmalen. Die Nachhallzeit, die im Durchschnitt 1,3 s. beträgt, ist für das Volumen von  $1.200 \text{ m}^3$  ziemlich lang und steigt noch bis auf 1,7 s. bei 2000 Hz an. Die Streicher werden zwar wahrgenommen, doch ist im übrigen die Deutlichkeit nicht besonders gut und vor allem kommt der Baß nicht klar genug hervor. Ursprünglich war es notwendig, Trommeln und Blech beim Spielen etwas zurückzuhalten, aber durch das Aufstellen absorbierender Schirme unmittelbar hinter diesen Instrumenten wurde dieser Umstand weitgehend beseitigt. Offenbar beruhen die Hauptfehler auf der ziemlich niedrigen Decke, der ungenügenden Diffusion und einer zu geringen Dämpfung im Rücken des Orchesters.

#### (6.5) Farrington Hall London

Die in der Nähe von Ludgate Circus in London liegende Farrington Hall wurde 1951 fast ohne Änderung als Studio in Betrieb genommen. Sie besteht aus Steinmauern und einem steilen Holzdach, das sich bis zu 12,50 m über dem Fußboden erhebt. Die Diffusität wird durch einen Balkon, das Balkenwerk der Decke und reiche Verzierung verbessert. Die Nachhallzeit, die mit Symphonieorchester um 1,5 s. liegt, ist für das Volumen von  $3.200 \text{ m}^3$  etwa richtig. Im Saal kann das gesamte Symphonieorchester der BBC untergebracht werden, ohne daß ein Eindruck der Enge entsteht. Das Gefühl der Geräumigkeit entspricht etwa dem im Studio von Maida Vale, das ungefähr das doppelte Volumen hat. Deutlichkeit und Tonqualität sind beide gut und das Klangbild dieses Studios verstärkt den Eindruck, daß die Höhe eines Musikstudios etwas weniger als seine Breite sein sollte.

### (7) SCHALLVERTEILUNG IN KONZERTSALEN

In vielen Konzertsälen ist die Schallverteilung im Zuhörerraum nicht gleichmäßig, so daß es an manchen Plätzen schwierig ist, alle Einzelheiten einer Partitur zu erkennen. Dieser Mangel wird gewöhnlich mit stehenden Wellen in Verbindung gebracht und drückt sich in einer unregelmäßigen Frequenzkurve aus. Ferner sind in vielen Konzertsälen mit tiefen Balkonen die Hörbedingungen unter diesen Balkonen ziemlich dürftig, da die Sitze ungünstig vom Schall abgeschirmt werden.

Es ist schon seit vielen Jahren bekannt, daß die beste Methode zur Erzielung einer gleichmäßigen Schallverteilung in Rundfunkstudios die Anwendung zerstreuer Oberflächen ist, die als Diffusoren wirken. Diese Oberflächen erhalten unregelmäßige, beim Rundfunk meist zylindrische Formen. Beobachtungen haben gezeigt, daß in guten Konzertsälen auch die Schallverteilung bemerkenswert gut ist und fast immer in Verbindung mit sorgfältig ausgearbeiteten Verzierungen, besonders an der Decke, auftritt.

Veranlaßt durch die Beobachtung der guten Diffusität und volleren Tonqualität in Studios und Sälen mit Kassettendecken, führten Somerville und Ward (13) eine Untersuchung durch, die ergab, daß rechteckige Formen zur Erzielung einer guten Diffusität wirksamer als zylindrische oder dreieckige sind. Dieses Ergebnis wurde inzwischen durch andere Bearbeiter (14, 15) bekräftigt, bedarf aber noch der Auswertung. Für hohe Frequenzen, bei denen die Abmessungen des Diffusors im Vergleich zur Wellenlänge groß sind und die Reflektion spiegelnd erfolgt, sind Kugel- und Zylinderformen wirksamer als rechteckige. Vorwiegend sind jedoch der mittlere und der untere Frequenzbereich für die Diffusion besonders kritisch, da die Abmessungen des Diffusors im Vergleich zur Wellenlänge klein werden. Unter diesen Umständen ist eine spiegelnde Reflektion unmöglich und daher die Auflockerung der Begrenzungsflächen wichtig. Die maximale Auflockerung wird bei gegebenen Abmessungen des Diffusors durch die rechteckige Form erreicht.

Als einer der Hauptgründe für die Verwendung von Reflektoren in modernen Konzertsälen (8) gilt die Steigerung des Schallpegels auf den rückwärtigen Plätzen, besonders unter Balkonen, wo eine schwerwiegende Schirmwirkung vorliegt. Ohne Zweifel wird der direkte Schall durch Reflektoren am Ende des Saales und unter den Balkonen vergrößert, doch fehlt andererseits der Nachhall dadurch, daß der Schall bereits das Publikum erreicht, ehe die Schallenergie aufgebaut werden kann. Der große Anteil an direktem Schall scheint auch den Eindruck der Trockenheit zu verursachen, sogar dann, wenn die gemessene Nachhallzeit hinreichend groß ist.

Die Verfasser haben kürzlich den Schallpegel an verschiedenen Punkten einer Anzahl von Konzertsälen gemessen, um herauszufinden, ob Reflektoren die beabsichtigte Wirkung erzielen. In jedem Saal wurden die Messungen mit einem Mikrofon durchgeführt, das direkt hinter dem Dirigenten aufgestellt wurde und anderen Mikrofonen, die an verschiedenen Stellen im Hintergrund des Saales plaziert waren. Direktmessungen sind zwar während der Proben möglich, lassen sich aber ziemlich schwierig durchführen, wenn Publikum anwesend ist. Es wurde deshalb so vorgegangen, daß jeweils gleichzeitig Aufnahmen über das vordere und eines der übrigen Mikrofone hergestellt wurden. Die Mikrofone wurden vorher geeicht. Anschließend wurden die Aufnahmen mit einem Pegelschreiber analysiert, wodurch ein Registrierstreifen laut *Abb. 12* gewonnen wurde. Die Analysen erbrachten die in den *Abb. 13—17* gezeigten Ergebnisse. Man erkennt darauf, daß die Schallverteilung in der Royal Festival Hall am wenigsten befriedigt, zwischen den anderen Sälen aber kaum ein Unterschied besteht. Trotzdem die Royal Festival Hall das größte Volumen der untersuchten Säle besitzt, ist ihre Länge mit 44 m von der Mitte der Bühne bis zum äußersten Ende nicht größer als die der St. Andrew's Hall (44 m) und etwas kleiner als

bei der Liverpools Philharmonic Hall (45 m). Die anderen beiden Säle sind etwas kürzer. Die Wirkung des besetzten Saales geht aus den *Abb. 18 bis 22* hervor. Wie erwartet, ist der Unterschied für den Saal mit Publikum am auffälligsten in der St. Andrew's Hall, wo die Sitzgelegenheiten ziemlich alt und etwas spartanisch sind.\*)

Diese Untersuchungsergebnisse tragen nicht zur Erhärtung der Behauptungen bei, die zur Verwendung von Reflektoren angeführt werden. Aus der Erkenntnis heraus, daß die mangelnde Diffusion in Sälen mit Reflektoren einen harten Klang zur Folge hat und außerdem eine Verdeckung der schwächeren Instrumente durch kräftige stattfindet, ist es verständlich, daß die Verwendung von Reflektoren nicht empfohlen werden kann.

## (8) BEWERTUNG NACH DEM GEHÖR

Obwohl im Bau großer Säle und Rundfunkstudios eine beträchtliche Erfahrung vorliegt, ist die einzige Meßmethode, über die angemessene Übereinstimmung herrscht, die Bestimmung der Nachhallzeit. Bei Benutzung der Nachhallzeit als objektives Kriterium ergaben sich zwischen den einzelnen Bearbeitern beträchtliche Unterschiede. 1936 veröffentlichten Kirke und Howe (16) Einzelheiten eines Experiments, bei dem von der BBC zwei Studios mit gleichem Volumen und gleicher Nachhallzeit, aber unterschiedlicher akustischer Behandlung errichtet wurden. Die Tatsache, daß sich diese Studios in der subjektiven Beurteilung ihrer Hörsamkeit beträchtlich unterschieden, zeigt deutlich, daß die Nachhallzeit als einziges Kriterium nicht besonders geeignet ist. Infolgedessen müssen sich die Akustiker ziemlich stark auf die Meinung kritischer Zuhörer stützen, die in der Lage sind, akustische Eigenschaften ohne objektive Hilfe zu bewerten.

Geübte Beobachter können die Auswirkungen einer zu geringen Diffusität und ebenso eine Rauigkeit des Tones durch ungleichmäßiges Ausklingen des Schalls feststellen. Eine Menge Aufschluß über einen Raum kann man gewinnen, wenn man ein Ohr verschließt und sich im Saal umherbewegt. Bei guter Diffusität ist das Schallfeld ziemlich gleichmäßig und man muß in der Lage sein, alle Stimmen eines Orchesters herauszuhören. Ist die Diffusität nicht gut und sind ausgeprägte stehende Wellen vorhanden, so wird man erhebliche Unterschiede im Schallbild wahrnehmen. Durch das einohrige Hören werden die normalen Richteigenschaften beeinträchtigt und akustische Fehler betont. Dies ist natürlich auch der Fall in einem Rundfunkstudio oder einem Konzertsaal, wenn ein Mikrofon benutzt wird, und der Grund für die Schwierigkeit, eine Hörsamkeit zu erzielen, die auch für Rundfunkzwecke gut genug ist.

\*) Kürzlich wurde dieser Saal mit neuen Sitzen ausgestattet und im Innern renoviert, doch liegen über die Auswirkungen noch keine Unterlagen vor.

## (9) SUBJEKTIVE VERGLEICHE UND ÜBEREINSTIMMUNG MIT OBJEKTIVEN MESSUNGEN

### (9.1) Britische Untersuchungen:

1952 beschrieben Parkin, Scholes und Derbyshire (4) eine subjektive Untersuchung der akustischen Eigenschaften einer Anzahl britischer Konzertsäle durch Fragebogen, die an bekannte Persönlichkeiten des Musiklebens versandt wurden. Diese Untersuchung zeigte, daß die befragten Personen, denen alle Konzertsäle bekannt waren, die Liverpools Philharmonic Hall besser einstufen als die St. Andrew's Hall in Glasgow und die Usher Hall in Edinburg weniger gut als die ersten beiden. Zu dieser Zeit bestand die Royal Festival Hall noch nicht. Später wurde von der BBC eine weitere Untersuchung über mehrere Konzertsäle in der gleichen Weise durchgeführt (17). In diesem Fall rangierte die St. Andrew's Hall an erster, die Royal Festival Hall an zweiter und die Usher Hall an dritter Stelle. Die Liverpools Philharmonic Hall konnte in den Test nicht einbezogen werden. Die einzige Personengruppe, die bei dieser Untersuchung bemerkenswert übereinstimmende Antworten gab, waren erfahrene Fachleute — entweder Musikarrangeure oder Musikkritiker. Ingenieure, ausübende Musiker und das allgemeine Konzertpublikum stimmten weniger überein. Parkin, Allen, Purkis und Scholes kamen 1953 zu einer ähnlichen Beurteilung bei der Beschreibung der akustischen Eigenschaften der Royal Festival Hall (8). Eine Schlußfolgerung der BBC-Untersuchung ist von Interesse:

„Es ist enttäuschend, wenn auch nicht unerwartet, daß die Allgemeinheit nicht in der Lage ist, ein ausgeprägtes Urteil abzugeben. Die in der Untersuchung befragten erfahrenen Hörer (die gleichen, die Parkin in seiner Arbeit heranzog) stellen notwendigerweise nur einen kleinen Bruchteil der Zuhörerschaft in einem Konzert dar.“

### (9.2) Deutsche Untersuchungen

In jüngster Zeit hat sich W. Kuhl (18) darum bemüht, die beste Nachhallzeit für Rundfunkprogramme zu finden, indem er in zahlreichen Konzertsälen und Studios in Deutschland Aufnahmen herstellte. Er kam zu dem überraschenden Ergebnis, daß die beste Nachhallzeit für moderne Musik nur 1,5 s. betragen soll. Die Erfahrung der BBC aus den letzten 10 Jahren stimmt mit dieser Ansicht nicht überein und widerspricht auch allen früher veröffentlichten Schätzungen der optimalen Nachhallzeit für große Konzertsäle. Vorausgesetzt, daß die üblichen Kriterien für einen guten Entwurf berücksichtigt wurden, geht die normale Praxis dahin, moderne und romantische Musik in Studios mit einer Nachhallzeit zwischen 1,7 und 1,9 s. zu produzieren. Bisher haben sich daraus keine Schwierigkeiten hinsichtlich des Klangbildes oder der Mikrofonaufstellung ergeben.

Wenn man zum Vergleich von Konzertsälen Tonaufnahmen benutzt, müssen unbedingt bestimmte Vorsichtsmaßnahmen beachtet werden. Diese wurden in einer Veröffentlichung eines der Verfasser beschrieben (17). Für jede Darbietung sollte das gleiche Mikrofon benutzt werden und die Aufstellung nicht durch das übliche Personal erfolgen. Der Toningenieur wird sich bemühen, das beste Aufnahmeergebnis zu erzielen, wie es seine Aufgabe bei einer Übertragung ist — doch kann er dadurch eine Ausgewogenheit vortäuschen, die die akustischen Mängel des Saales verschleiert. Schließlich wird das Ergebnis durch sein eigenes subjektives Urteil gefärbt. Wenn die akustischen Verhältnisse zu Schwierigkeiten führen, bleibt nichts anderes übrig, als das oder die Mikrofone nahe an das Orchester heranzubringen, wodurch die wirksame Nachhallzeit vermindert wird. Bei den Untersuchungen der BBC wurde daher jede Vorsorge getroffen, um zu gewährleisten, daß die hergestellten Tonaufnahmen auch für den betreffenden Raum charakteristisch waren. Für die Mikrofonaufstellung waren immer die gleichen drei Beobachter verantwortlich und nicht die mit den Sälen vertrauten Techniker. Ihr Bestreben war die Schaffung eines charakteristischen Bezugspunktes zur Beurteilung der Ausgewogenheit des Konzertsalles, was nicht unbedingt eine Übereinstimmung mit der besten erreichbaren Rundfunkqualität bedeutet. Auch ist es erforderlich, die Überwachungsbedingungen festzulegen. Zu diesem Zweck wurde ein akustisch besonders behandelter Übertragungswagen benutzt. Das Kontroll-Abhören ist in jedem Fall mit gleicher Lautstärke vorzunehmen, die durch Messung festgelegt ist, da ein Pegelunterschied auch das Lautheitsverhältnis zwischen verschiedenen Stellen der musikalischen Skala verändern würde. Ähnlich sind für die Wiedergabe genormte Abhörbedingungen hinsichtlich Akustik, verwendete Geräte und Abhörpegel unerlässlich. Letzterer sollte der gleiche wie bei der Aufnahme sein.

Bei den subjektiven Tests ergab sich, daß durch Änderung der Abhör- lautstärke auch die Beurteilung der Personen völlig geändert werden konnte. Dies wurde als Experiment durchgeführt und die Ergebnisse in der oben genannten Arbeit veröffentlicht. Die endgültige Bewertung wurde jedoch nur mit Urteilen vorgenommen, die beim Abhören mit der gleichen Lautstärke wie bei der Aufnahme abgegeben wurden. Da die Stellung des Mikrofons auch vom Lautsprecher abhängig ist, der für die Überwachung benutzt wird (19), wurden immer nur das gleiche Mikrofon und der gleiche Lautsprecher verwendet.

W. Kuhl verwendet in seiner Arbeit für die subjektive Bewertung Aufnahmen, die mit einem Mikrofon aufgenommen waren, das ein erfahrener Rundfunkingenieur so aufgestellt hatte, daß das beste Ergebnis erzielt wurde. Die einzige Einschränkung war die Einhaltung eines minimalen Abstands von 5 m zwischen Mikrofon und nächstem Instrument. Seine Ergebnisse können daher nicht für Konzertsäle gelten, die als solche benutzt

werden. Es wird nicht angegeben, ob bei den Abhörtests die oben beschriebenen Vorsichtsmaßnahmen getroffen wurden.

Eine weitere Untersuchung liegt von Reichardt, Kohlsdorf und Mutscher (20) vor, und zwar benutzten die Verfasser eine ähnliche subjektive Bewertungsmethode wie Kuhl. Die Tests wurden mit Streichmusik, leichter Opern- und Filmmusik durchgeführt, die in der ziemlich trockenen Oper Unter den Linden in Berlin aufgenommen wurden. Die Nachhallzeit wurde durch die Benutzung eines Echoraums vergrößert, und die von den Beobachtern bevorzugte wirksame Nachhallzeit lag zwischen 1,2 und 1,6 sec. Wenn man die mäßige Qualität des Nachhalls in einem Echoraum von nur 53 m<sup>3</sup> bedenkt, ist es wirklich erstaunlich, daß die Beobachter die Hinzufügung von künstlichem Nachhall, selbst in mäßiger Form, anerkannten. Die Untersuchung gibt daher keine Auskunft über die optimale Nachhallzeit bei guten Konzertsaalbedingungen.

In *Abb. 2* wird die auf Erfahrung beruhende optimale Nachhallkurve der BBC gezeigt. Abweichungen der angezeigten Werte nach oben sind möglich, wenn die übrigen akustischen Eigenschaften gut sind. Sehr viel kürzere Zeiten werden dagegen im allgemeinen nicht mit guter Orchestermusik vereinbart.

### (9.3) Empirisches Kriterium der Hörsamkeit

Einer der Autoren veröffentlichte bereits Einzelheiten eines objektiven Kriteriums (21), das eine angemessene Übereinstimmung mit subjektiven Bewertungen ergibt. Seitdem wurde weitere Arbeit geleistet, um das Kriterium durch eine große Anzahl subjektiver Urteile zu ergänzen. Auf dem 2. Internationalen Akustischen Kongreß in Cambridge, Massachusetts, im Juni 1952 wurde über diese Untersuchung ein Vortrag gehalten, der im Märzheft 1957 der *Acustica* veröffentlicht wurde.

Der zahlenmäßige Wert des Kriteriums ist durch folgende Gleichung gegeben:

$$X' = (D + 0,332 R) / (1,64 + 1,542 T_m)$$

In dieser Gleichung sind:

D = Parameter für die Messung der Unregelmäßigkeit des Abklingvorgangs

R = Parameter für die Messung der Unregelmäßigkeit der frequenzabhängigen Nachhallkurve

T<sub>m</sub> = mittlere Nachhallzeit.

Die Einzelheiten der Ableitung dieser Parameter wurden in der ersten Veröffentlichung (21) beschrieben. Die Ergebnisse sind in *Abb. 23* eingetragen. In dieser Abbildung wird auch die subjektive Bewertung der verschiedenen Räume angezeigt und man erkennt, daß zwischen dem objektiven Kriterium und der subjektiven Bewertung eine gute Übereinstimmung besteht.

### (10) SCHLUSSFOLGERUNGEN

In der vorliegenden Arbeit wurde der Versuch unternommen, Ergebnisse subjektiver und objektiver Untersuchungen, sowie von Beobachtungen aus den letzten 10 Jahren, herauszukristallisieren. Da der Gegenstand der Untersuchung rein ästhetischer Natur ist, muß auch am Anfang und Ende der Arbeit die ästhetische Beurteilung durch den Menschen stehen. Über die Schwierigkeit der Erzielung übereinstimmender Urteile wurde bereits berichtet und frühere Untersuchungen wurden in ihrem Wert durch diese Schwierigkeiten beeinträchtigt. Die BBC ist in der günstigen Lage, sich an einen großen Kreis von Personen wenden zu können, deren Beruf solche Eigenschaften wie ein genaues Tongedächtnis (eine ziemlich selten anzutreffende Gabe) und ein beständiges ästhetisches Urteil erfordert. Man hat von ihrer Meinung beim Vergleich von Konzertsälen und Studios häufig Gebrauch gemacht und außerdem über einen langen Zeitraum die Urteile von Musikkritikern besonders über neue Konzertsäle verfolgt.

Der moderne Konzertsaaltyp, der durch einen fächerförmigen Grundriß, Reflektoren über der Bühne, Ausbuchtungen an den Seiten und eine gewölbte Decke gekennzeichnet ist, die starke erste Reflektionen zur Verstärkung des direkten Schalls ergeben sollen, hat vom ästhetischen Standpunkt aus ernsthafte Nachteile. Die Tonqualität ist in der Regel nicht befriedigend. Zwar erscheint der Saal beim ersten Eindruck deutlich wegen des hohen Pegels des direkten Schalls im Vergleich zum indirekten, dies ist aber eine Täuschung, da die inneren Partien eines Werkes bei lauten Stellen verdeckt werden.

In fast allen neueren Konzertsälen ist der harte Klang auch mit einer kurzen Nachhallzeit verbunden. Die Nachhallzeit der meisten neuen Säle ist geringer als wünschenswert und bei einigen Räumen auch kürzer als ursprünglich im Entwurf beabsichtigt. Dies sollte bei künftigen Bauten berücksichtigt werden.

Die Verwendung harter Oberflächen zur Wegleitung des Schalls vom Orchester führt zu einer Verdeckung durch den Baß — oft sogar dann, wenn die Nachhallzeit bei den Tiefen nicht überhöht ist. In den meisten modernen Sälen wirkt sich diese Eigenschaft als eine Verwischung bei lauten Stellen aus.

Ganz abgesehen von diesen Nachteilen des „schallverstärkenden“ Raumtyps wurde auch gezeigt, daß die Verwendung von Reflektoren und ähnlichen Anordnungen — verglichen mit bestehenden Sälen in herkömmlicher Form — keinen Anstieg des Schallpegels am Ende des Raumes hervorruft. Dieses Versagen in bezug auf ihre eigentliche Bestimmung erklärt sich aus der schnellen Absorbierung des direkten und einmal reflektierten Schalls durch das Auditorium und die darauf folgende Verminderung des Anteils der Nachhallenergie.

Aus der Entwicklung moderner Bauten seit dem Salle Pleyel geht hervor, daß die Erbauer von Konzertsälen gezwungen waren, Stück um Stück von ihren ursprünglichen Entwurfsprinzipien abzugehen. Die Verfasser sind davon überzeugt, daß zu weiteren Experimenten dieser Art keine Berechtigung existiert.

Bei dem Entwurf künftiger Konzertsäle müssen die Architekten auf Formen zurückkommen, die eine moderne Realisierung der Merkmale darstellen, die dazu beitragen, den besten traditionellen Sälen ihre erstklassige Tonqualität und gute Deutlichkeit zu geben.

Diese Merkmale sind die Einplanung angemessener Schallzerstreuung, das Fehlen absichtlicher Verstärkungen des direkten Schallfeldes, sowie eine ausreichende Raumhöhe und angemessene Nachhallzeit.

#### (11) ANERKENNUNG

Die Verfasser möchten dem Chefsingenieur der BBC für die Erlaubnis zur Veröffentlichung dieser Arbeit danken. Ferner verdienen die Kollegen von der Abt. Forschung der BBC Anerkennung für ihre Unterstützung, besonders Mr. F. L. Ward. Nicht zuletzt gebührt den Direktoren der in dieser Arbeit behandelten Konzertsäle unser Dank.

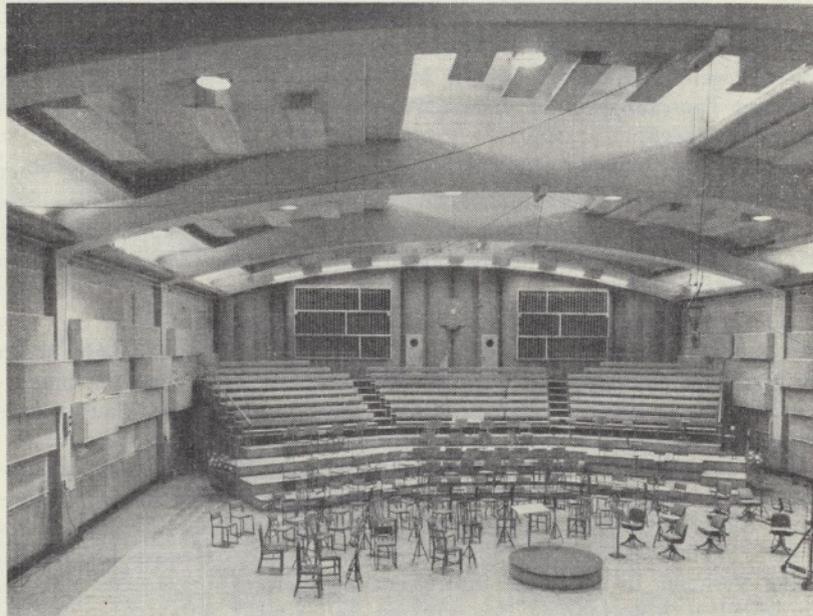


Abb. 10 Konzertstudio der BBC Maida Vale  
Fig. 10 B.B.C. Concert Studio, Maida Vale

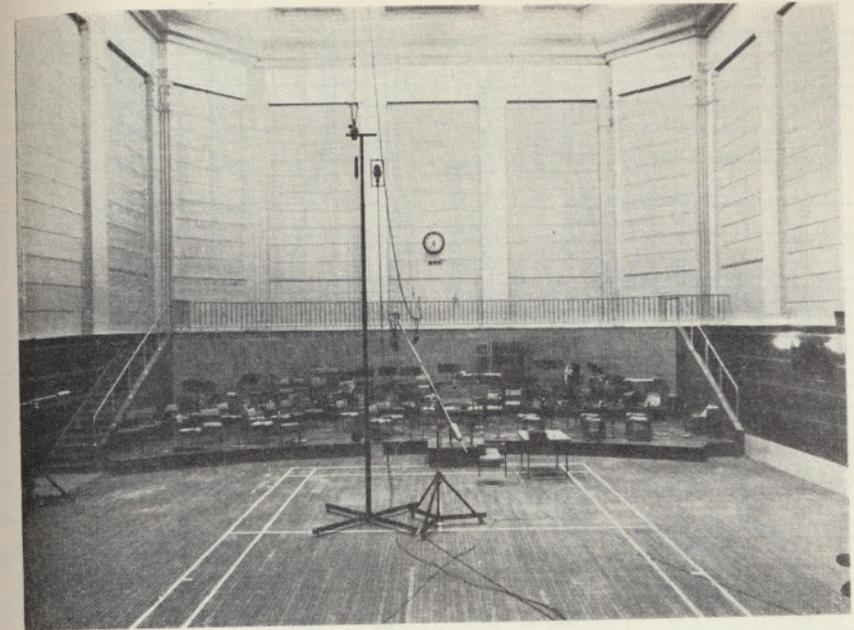


Abb. 11 Konzertstudio der BBC in Glasgow  
Fig. 11 B.B.C. Concert Studio, Glasgow

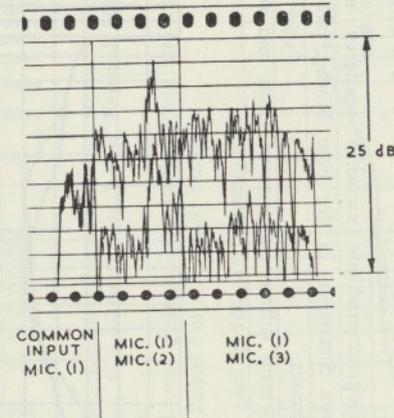


Abb. 12 Beispiel eines Pegelstreifens, aus dem die Unterschiede des Pegels bei drei verschiedenen Mikrofonstellungen hervorgehen.  
(Schreibgeschwindigkeit: 25 dB/sec. Länge des Zeitabschnittes: 55 sec.)  
Fig. 12 Typical level-recorder traces, showing the differences between the levels in three microphone positions.  
Writing speed: 25 dB/sec. Length of extract: 55 sec.

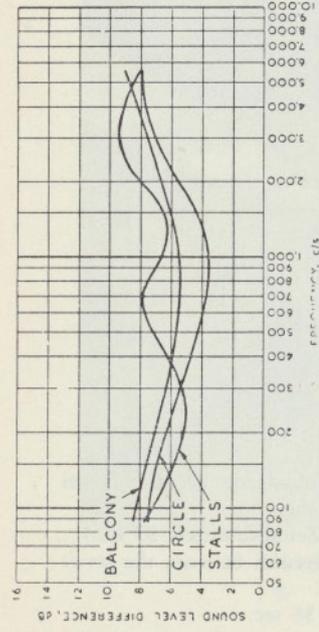


Abb. 13 Schallpegelunterschiede zwischen vorderen und hinteren Sitzreihen in der Free Trade Hall in Manchester.

Fig. 13 Sound-level differences between front and rear seats, Free Trade Hall, Manchester.

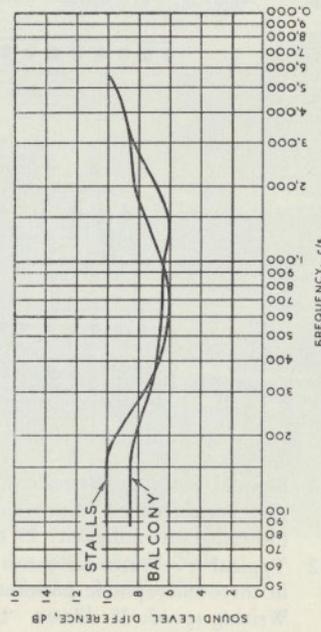


Abb. 15 Schallpegelunterschiede zwischen vorderen und hinteren Sitzreihen in St. Andrew's Hall, Glasgow.

Fig. 15 Sound-level differences between front and rear seats, St. Andrew's Hall, Glasgow.

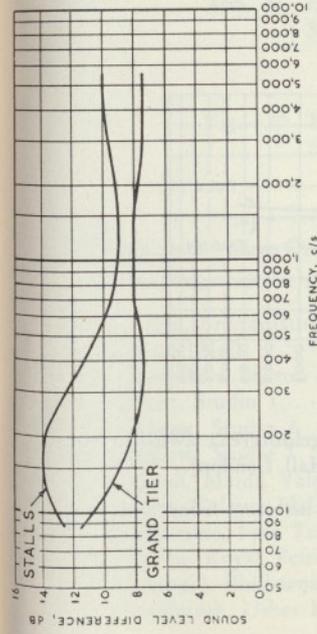


Abb. 17 Schallpegelunterschiede zwischen vorderen und hinteren Sitzreihen in der Royal Festival Hall, London.

Fig. 17 Sound-level differences between front and rear seats, Royal Festival Hall, London.

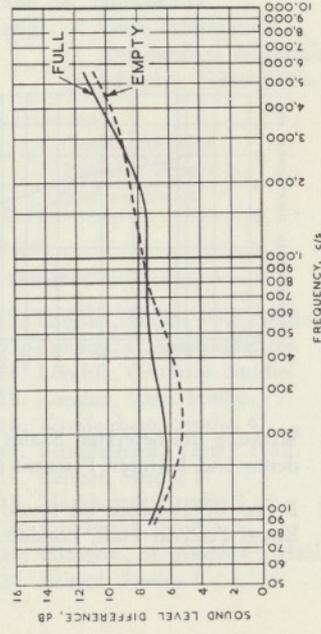


Abb. 19 Wirkung des Publikums auf die Schallpegeldifferenz zwischen vorderen und hinteren Plätzen. (Philharmonic Hall, Liverpool).

Fig. 19 Effect of audience on sound-level difference between front and back, Liverpool Philharmonic Hall.

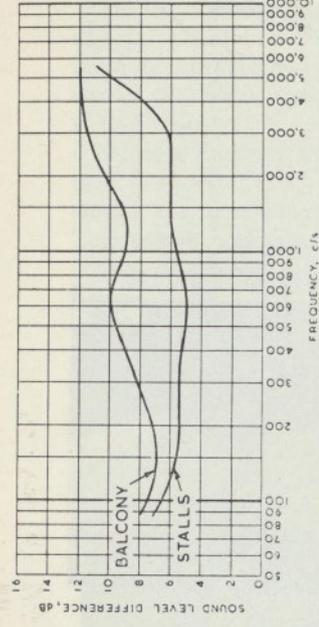


Abb. 14 Schallpegelunterschiede zwischen vorderen und hinteren Sitzreihen in der Liverpooler Philharmonic Hall.

Fig. 14 Sound-level differences between front and rear seats, Liverpool Philharmonic Hall.

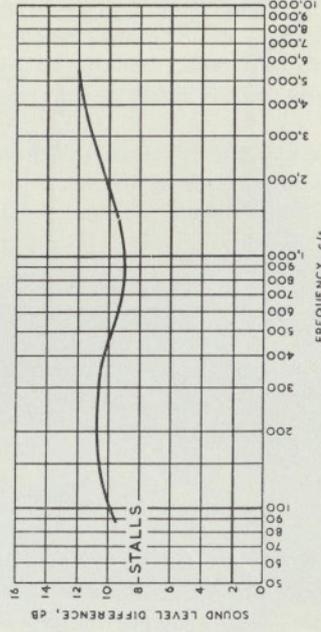


Abb. 16 Schallpegelunterschiede zwischen vorderen und hinteren Sitzreihen in der Usher Hall, Edinburgh.

Fig. 16 Sound-level differences between front and rear seats, Usher Hall, Edinburgh.

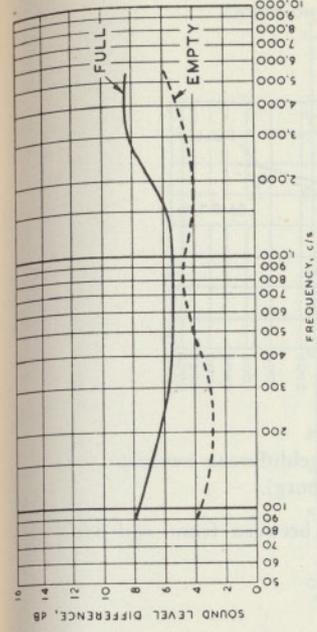


Abb. 18 Wirkung des Publikums auf die Schallpegeldifferenz zwischen vorderen und hinteren Plätzen. (Free Trade Hall, Manchester).

Fig. 18 Effect of audience on sound-level difference between front and back, Free Trade Hall, Manchester.

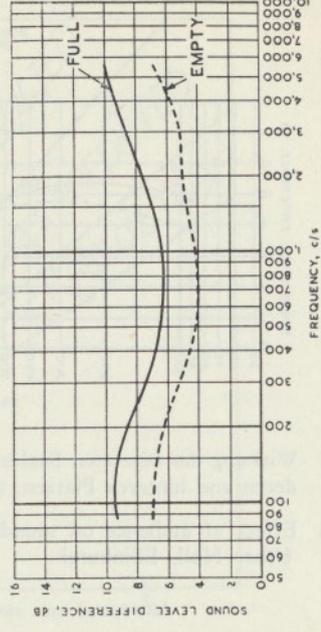


Abb. 20 Wirkung des Publikums auf die Schallpegeldifferenz zwischen vorderen und hinteren Plätzen. (St. Andrew's Hall, Glasgow).

Fig. 20 Effect of audience on sound-level difference between front and back, St. Andrew's Hall, Glasgow.

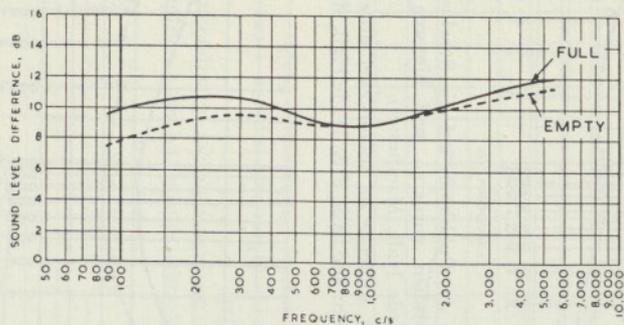


Abb. 21 Wirkung des besetzten Saales auf die Schallpegeldifferenz zwischen vorderen und hinteren Plätzen. (Usher Hall Edinburgh).

Fig. 21 Effect of audience on sound-level difference between front and back, Usher Hall, Edinburgh.

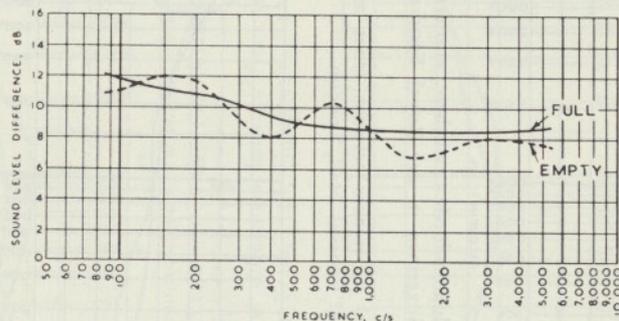


Abb. 22 Wirkung des besetzten Saales auf die Schallpegeldifferenz zwischen vorderen und hinteren Plätzen. (Royal Festival Hall London).

Fig. 22 Effect of audience on sound-level difference between front and back, Royal Festival Hall, London.

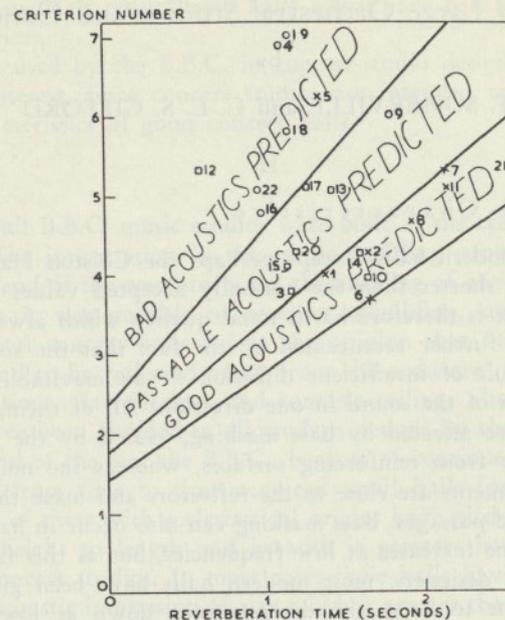


Abb. 23 Empirisches Kriterium der Hörbarkeit

Subjektive Bewertung: × Gute Hörbarkeit

□ Annehmbare Hörbarkeit

○ Schlechte Hörbarkeit.

Fig. 23 Empirical acoustic criterion.

Subjective grading: × Good acoustics.

□ Passable acoustics.

○ Bad acoustics.

Nachhallzeiten ohne Orchester und Publikum:

Reverberation times with no orchestra or audience:

- |  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| 1. London, Broadcasting House, Concert Hall. | 12. London, Maida Vale, Studio 5. |
| 2. Manchester, Milton Hall.                  | 13. London, Camden Theatre.       |
| 3. Belfast, Studio 1.                        | 14. London, Criterion Studio.     |
| 4. Glasgow, Studio 2.                        | 15. London, Paris Studio.         |
| 5. Glasgow, Studio 1.                        | 16. Birmingham, Studio 4.         |
| 6. London, Maida Vale, Studio 1.             | 17. Birmingham, Vestry Hall.      |
| 7. Bristol, Colston Hall.                    | 18. Belfast, Studio 8.            |
| 8. Manchester, Free Trade Hall.              | 19. Manchester, Studio 1.         |
| 9. London, Royal Festival Hall.              | 20. Edinburgh, Studio 1.          |
| 10. Liverpool, Philharmonic Hall.            | 21. Glasgow, St. Andrew's Hall.   |
| 11. Edingburgh, Usher Hall.                  | 22. Bristol, Studio 1.            |

# Acoustics of Large Orchestral Studios and Concert Halls

by

T. SOMERVILLE and C. L. S. GILFORD

## II

### (4.8) General Characteristics

In all these modern halls, except perhaps the Colston Hall, the reverberation time is shorter than the normally accepted values for their volumes. The result is therefore harsh tonal quality which always goes with deadness, but is further accentuated by the fact that the sound decay is uneven as a result of insufficient diffusion — an inevitable consequence of the projection of the sound in one direction. All of them, to a greater or less extent, are affected by bass masking, caused by the fact that the strings are away from reinforcing surfaces, whereas the noisy brass and percussion instruments are close to the reflectors and mask the weaker instruments in loud passages. Bass masking can also occur in halls where the reverberation time increases at low frequencies, but as this fault is recognized by British designers, most modern halls have been given bass absorption sufficient to keep the characteristic down at low frequencies. Because the projection of energy towards the rear is efficient in many of these halls, the rear surfaces have been covered with absorbent material to prevent the effect known as 'slap back'. Only in the concert hall in Gothenburg has the rear wall been inclined to prevent echoes without the need for extra absorption.

### (5) TYPICAL DESIGN CRITERIA

As a result of the investigation of many large studios and concert halls in this country and abroad, and while the authorities concerned were still considering the design of the Royal Festival, Free Trade, and Colston Halls, design criteria were formulated as a basis for the acoustic design of B.B.C. orchestral studios.

B.B.C. experience is that a concert hall which is good for broadcasting with a single microphone will always be good for direct listening, but the converse is not necessarily true. This is brought about by the fact that the binaural hearing of the normal member of a concert audience enables many of the faults which would be deleterious to broadcasting to be ignored, and it therefore follows that many concert halls which are accepted by an audience are unsatisfactory for broadcasting. In some cases, on the other hand, by suitable arrangement of microphones, it has been possible to

obtain good broadcast results from halls which have bad reputations with concert audiences.

The criteria used by the B.B.C. in concert-studio design may therefore be of some interest, since concert studios are intended to reproduce the acoustic characteristics of good concert halls.

#### (5.1) Shape

Until 1939 all B.B.C. music studios were built in the traditional rectangular form. The interruption in the studio building programme between 1939 and the end of the war prevented the building of any large orchestral studios. When it was possible to consider rebuilding, surveys of British and Continental concert halls led to the opinion that fan shapes, which cause the sound to be reflected away from the orchestra, produce unsatisfactory conditions. As reflectors and concave ceilings also have the same effect they have been avoided in all modern designs by the B.B.C.

Since the end of the war the B.B.C., because of continued restrictions on building, has from time to time acquired small halls for use as concert studios. Some of these with ecclesiastical origins have pitched roofs, so that the ratio of height to length and breadth is greater than that normally adopted in concert studios. In most cases these halls have good acoustics and give an acoustic impression of size which is greater than the dimensions would indicate. The concert studio in Glasgow is also unusually high, and here again the subjective impression of spaciousness is very noticeable. Generally speaking, there is no evidence that the dimensions of large studios or concert halls require to have any special relative proportions. It is sufficient that the plan should not be too square and that the height should be more than about one-half the smaller plan dimension.

#### (5.2) Absorption

In large enclosures such as concert studios and halls the only absorption necessary is at low and medium frequencies because air attenuation and the audience produce more high-frequency absorption than is usually desired. In most recent B.B.C. designs the low- and medium-frequency absorption has been obtained by the use of membrane absorbers, as described elsewhere.<sup>11</sup> These are shown in Fig. 10 in the large B.B.C. studio at Maida Vale. The rectangular form of these absorbers is also an advantage in obtaining good diffusion. In accordance with the normal practice in the traditional concert hall, absorption in the form of choir seats is placed behind the orchestra—as shown in the Figure. Fig. 11 is a photograph of the concert studio in Glasgow. As there is no seating for a choir in this studio it has been necessary to apply absorption to the vertical surfaces immediately behind the orchestra to produce a similar effect. Ori-

ginally this studio did not have absorption behind the orchestra, and its introduction has therefore provided a useful confirmation of the fact that absorption behind the brass and percussion instruments is highly desirable. To enable the members of the orchestra to hear themselves playing, parallel surfaces on either side have been left reflecting.

### (5.3) Diffusion

The need for excellent diffusion in concert studios has already been discussed. There is evidence to indicate that the most important surface in a concert studio on which to apply diffusers is the ceiling, but this does not mean that the wall surfaces should not also receive treatment. This opinion is based on the fact that in many of the old concert halls of the Leipzig type the ceiling was more elaborately ornamented than the walls, and in the concert studio in Glasgow this also applies, apparently with good results. Although considerable diffusion is necessary, it is an advantage to place small parallel reflecting surfaces on either side of the orchestra, as was often done in old concert halls, because this enables the performers to hear each other easily.

The methods of obtaining diffusion in Maida Vale are interesting. It would have been desirable to put most of the scattering surfaces on the ceiling, but this old studio, built in 1935, was of such a construction that the heavy mass of the absorbers could not be carried by the ceiling and therefore it had to be accommodated on the walls. A few light diffusers, however, were placed on the ceiling to break up some large flat areas.

## (6) SOME TYPICAL ORCHESTRAL STUDIOS

In this Section a brief description will be given of a few of the larger B.B.C. music studios which have been built or acoustically retreated since the war.

### (6.1) Maida Vale, Studio 1

Some of the design details of Maida Vale, Studio 1, have been described in Section 5. This studio, being built inside an existing shell, was restricted in height to 25 ft. Its volume is 220 000 ft<sup>3</sup> and its mean reverberation time with an orchestra is 1.8 sec. The main roof structure tends to absorb fairly strongly between 100 and 150 c/s, resulting in a slight subjective deficiency of bass. Diffusion is effective and definition is good. Tonal quality is usually regarded as excellent.

### (6.2) Glasgow, Studio 1

Like the Maida Vale studio, Glasgow, Studio 1, is rectangular but though the volume (180 000 ft<sup>3</sup>) is less, it has the greater height of 40 ft. The

reverberation time is 1.7 sec, sloping gradually up from a broad minimum of 1.4 sec at 125 c/s. The distribution of absorbing material has been described in Section 5; there is little scattering except on the ceiling. It will accommodate an orchestra of 65—70 players without any adverse effect on the acoustics. The tonal quality is rather brighter than that of Maida Vale, owing to a better maintenance of the reverberation time at high frequencies. The definition is extremely good, and the studio gives an aural impression of considerable size which may be connected with the unusual height in relation to the length of 80 ft and width of 57 ft. The main construction is of stone and heavy brickwork, but low-frequency absorption is provided by a high dado of wood panelling which runs round the studio, a wood-strip floor and a plaster ceiling.

### (6.3) Swansea, Studio 1

Swansea, Studio 1, has been fully described by Ward.<sup>12</sup> It is rectangular with a height only slightly less than the width. The volume is 36 000 ft<sup>3</sup> and the mean reverberation time is 1.3 sec. The studio was entirely rebuilt in 1952 after the war, having suffered extensive damage, and considerable latitude was possible in choosing the construction and acoustic treatment. Diffusion and bass absorption are obtained by the use of large numbers of line arrays of Helmholtz resonator absorbers in the form of rectangular hollow plaster castings applied to the wall surfaces. The ceiling is relieved with deep frames carrying porous absorbers covered with perforated plasterboard.

Diffusion and definition are good and the tone has a characteristic warmth.

### (6.4) Cardiff, Charles Street Studio

The Charles Street Studio, Cardiff, was formed from an existing church hall which had rendered brick walls pierced with large windows. It has a pitched timber roof and the space above the main roof trusses has been closed with a false ceiling. The remaining sloping soffits have been partly lined with glass wool covered with perforated hardboard. Generally, the wall and ceiling surfaces are fairly smooth with few scattering features. The reverberation time, averaging 1.3 sec, is rather long for the volume of 43 000 ft<sup>3</sup> and increases to 1.7 sec at 2000 c/s. String tone is acceptable but definition is not very good, the bass in particular being insufficiently clear. Originally it was found necessary in playing to keep the tympani and brass down, but placing absorbing screens immediately behind these instruments largely cured the condition. It appears that the main defects are due to a rather low ceiling, lack of diffusion and too little absorption behind the orchestra.

#### (6.5) The Farringdon Hall, London

The Farringdon Hall, situated near Ludgate Circus in London, was put into use as a studio in 1951, almost without alteration. It has stone walls and a pitched timber roof rising to a height of 41 ft above the floor. Diffusion is improved by a balcony, the roof timbers and much decoration. The reverberation time, which averages 1.5 sec with a symphony orchestra, is about correct for the volume of 113 000 ft<sup>3</sup>. It will accommodate the full B.B.C. Symphony Orchestra without giving the impression of being much too small, and the sense of spaciousness is comparable with that of the Maida Vale studio, which is approximately twice the volume. The definition and tone quality are both good, and the performance of this studio lends support to the impression that the height of a music studio should be little less than its width.

#### (7) SOUND DISTRIBUTION IN CONCERT HALLS

In many concert halls the distribution of sound in the auditorium is not uniform, and hence, in certain seats, the audience finds it difficult to hear all parts of the score. This defect is usually associated with standing waves, and therefore the sound is characterized by irregular frequency response. Furthermore, in many concert halls with deep balconies, listening conditions are often very poor underneath the balconies because the seats are badly screened.

It has been known for many years in connection with broadcasting studios that the best way to get a uniform sound distribution is to use scattering surfaces to produce diffusion. These surfaces take the form of irregularities, cylindrical forms being the most widely used in broadcasting. Observations have shown that, in all the good concert halls, uniform sound distribution is one of the very noticeable characteristics, and this always appears to be allied to the use of elaborate ornamentation, particularly on the ceiling.

It was the observation of good diffusion and richer tonal quality in studios and halls with rectangular *coffering* that led to an investigation by Somerville and Ward<sup>13</sup> which showed that a rectangular form is more efficient for diffusion than either cylindrical or triangular forms. This finding has since been substantiated by other workers<sup>14, 15</sup> but requires *qualification*. At high frequencies, at which the dimensions of the diffuser are large compared with the wavelength and reflection is *specular*, spherical and cylindrical surfaces are more effective than rectangular. It is, however, at medium and low frequencies that the greatest difficulty is experienced in obtaining sufficient diffusion because the dimensions of the diffusers are small compared with the wavelength. In these circumstances specular reflection is impossible and the important factor is the *perturbation* of the *boundary* surfaces. The maximum perturbation for given dimensions of the *diffuser* is produced by a rectangular form.

One of the principal reasons given<sup>8</sup> for the use of reflectors in modern concert halls is to increase the sound intensity in rear seats, particularly under balconies where screening is serious. There is no doubt that the direct sound is increased at the rear and under balconies by reflectors, but, because the sound strikes the audience before the sound energy can be built up, the reverberant sound is lacking. The high proportion of direct sound also appears to cause an impression of deadness even if the measured reverberation time is adequate.

The authors have recently measured the sound intensity at various points in a number of concert halls to try to find out whether reflectors are effective for the purpose for which they were designed. In each hall, measurements were made with a microphone placed close behind the conductor and with other microphones placed at positions to the rear of the auditorium. Direct measurements are possible at a rehearsal, but with an audience present this is very difficult, and therefore the procedure adopted was to make simultaneous recordings of the front microphone and one of the others. The microphones were previously *calibrated*. *Subsequently* the recordings were analysed with a *level recorder* to produce a *chart* of the type shown in Fig. 12. Analysis gave the results shown in Figs. 13, 14, 15, 16 and 17. It will be seen that, as regards sound distribution, the Royal Festival Hall is the least satisfactory, and that there is not much to choose between any of the others. Although the Royal Festival Hall has indeed the largest volume of the halls investigated, its length of 144 ft from centre stage to the extreme rear is no greater than that of St. Andrew's Hall (144 ft) and slightly less than that of the Liverpool Philharmonic Hall (148 ft). The other two halls are slightly shorter. The effect of the audience is shown in Figs. 18, 19, 20, 21 and 22. As would be expected, the differences due to the audience are most marked in the case of St. Andrew's Hall, where the seating is very old and somewhat austere.\* The results of these experiments fail to substantiate the claims made for reflectors. Bearing in mind that the lack of diffusion in halls with reflectors results in hard tonal quality and also produces the effect of masking by the powerful instruments, it is clear that the use of reflectors is not to be recommended.

#### (8) AURAL ASSESSMENT

Although much experience has been gained in the design of large auditoria and broadcasting studios, the only method of measurement on which there has been reasonable agreement is that of reverberation time. Using reverberation time as the objective criterion, there have been considerable variations reported by many workers, and in 1936 Kirke and Howe<sup>16</sup> published details of an experiment in which the B.B.C. constructed two studios identical in volume and reverberation time, but with different

interior treatments. The fact that these studios differed considerably in acoustic properties as judged subjectively demonstrates convincingly that reverberation time may be inadequate as a criterion. Consequently, workers in the field of acoustics have to rely very much on the opinions of critical listeners who are able to assess acoustic characteristics without objective assistance.

*Skilled* observers can detect the effects of poor diffusion and can hear the harsh tone produced by sound *decays* which are not smooth. Much can be learnt about an auditorium by closing one ear and moving around. If diffusion is good, there will be little variation in the sound field and it should be possible to hear all the parts in an orchestra. However, if the diffusion is not good and therefore pronounced standing waves exist, considerable variation will be observed. With monaural hearing the normal directional properties are *inhibited* and acoustic faults are emphasized. This, of course, is the condition in a broadcasting studio or concert hall when a microphone is being used, and is the reason for the difficulty in obtaining acoustics good enough for broadcasting.

## (9) SUBJECTIVE COMPARISONS AND CORRELATION WITH OBJECTIVE MEASUREMENTS

### (9.1) British Investigations

In 1952, Parkin, Scholes and Derbyshire<sup>4</sup> described a subjective investigation on the acoustic properties of a number of British concert halls by means of a questionnaire sent to well-known people in the world of music. This investigation showed that the subjects who knew all the concert halls considered that the Liverpool Philharmonic Hall was better than St. Andrew's Hall, Glasgow, and Usher Hall, Edinburgh, less good than *either*. At the time of this investigation the Royal Festival Hall had not been built. At a later date a B.B.C. investigation was carried out<sup>17</sup> using recordings of the same work in a number of concert halls. The preference in this case was for St. Andrew's Hall, with the Royal Festival Hall second and Usher Hall third; it was not possible to include the Liverpool Philharmonic Hall. In this investigation the only group of subjects giving significantly concordant answers were specialists *skilled in balancing or criticizing* musical programmes. Engineers, performing musicians and the general public were less concordant. In 1953, Parkin, Allen, Purkis and Scholes, in describing the acoustics of the Royal Festival Hall,<sup>8</sup> expressed a similar opinion. One of the conclusions of the B.B.C. investigation is of interest:

It is disappointing, although not unexpected, that the general public is quite unable to produce significant results, for the skilled listeners employed in this investigation, in common with the subjects used in Parkin's investigation, must necessarily form a small percentage of any concert audience.

### (9.2) German Investigations

Recently W. Kuhl<sup>18</sup> has endeavoured to find the preferred reverberation time for broadcast programmes by making recordings in many concert halls and studios in Germany. He has produced some surprising results in that the preferred reverberation time for modern music is found to be as 1.5 sec. B.B.C. experience during the last ten years is not in agreement with this view, which conflicts also with all previously published estimates of optimum reverberation times for large concert halls. Provided that the usual criteria for good design have been observed, it is normal practice to perform modern and romantic music in studios with reverberation times lying between 1.7 and 1.9 sec, and no difficulty is experienced either in performance or microphone placing.

In making recordings for the comparison of concert halls certain precautions must be observed. These have been described in a paper by one of the authors.<sup>17</sup> The same type of microphone should be used for each performance, and the microphone positioning should not be left to the normal broadcasting personnel. The professional operator will *endeavour* to obtain the best possible result, as he should for a broadcast, but in the process he may produce a balance which *conceals* acoustic faults of the hall. In fact, the result will be coloured by his own subjective judgment. If the acoustics present difficulty the inevitable procedure is to place the microphone, or microphones, close to the orchestra, thereby reducing the effective reverberation time. Therefore in the B.B.C. experiments every precaution was taken to *ensure* that the recorded result was characteristic of the hall. The same three observers co-operated in the microphone placing in each hall and they were not the operators accustomed to the halls. Their *terms of reference* were to produce a *balance characteristic* of the concert hall, which is not necessarily *coincident* with the best broadcast quality. It is necessary to standardize the *monitoring* conditions, which is done by using an acoustically treated *van*, and listening in every case at the same loudness, established by measurement, since a level change would alter the relationship between the loudness of different parts of the musical scale. Similarly, in reproduction, standard listening conditions are essential as regards acoustics, equipment and *listening level*, which should be that used in the original *monitoring*.

During the subjective tests it was found that the opinions of subjects could be altered completely by changing the loudness at which they listened. This was done experimentally and the results were published in the previous paper. The final *evaluation* was carried out only with opinions expressed when listening at the same loudness as had been used for the original monitoring. Since the position of the microphone depends on the loudspeaker used for monitoring,<sup>19</sup> the same microphone and loudspeaker were used throughout.

In Kuhl's investigation, the recordings used for the subjective *assessments* were taken from a microphone placed by an experienced broadcasting engineer to give the best reproduced results, the only restriction being a minimum distance of 5 metres from the nearest instrument. His findings cannot therefore be held to apply to concert halls used as such. It is not stated whether the necessary precautions in connection with the listening tests, as outlined above, were observed.

A further experiment has been conducted by Reichhardt, Kohldorf and Mutscher,<sup>20</sup> using a method of assessment of the subjective results similar to that of Kuhl. The music consisted of string music, light opera and film scores recorded in the rather dead Unter den Linden Opera House, Berlin. Reverberation was added by the use of an 'echo room' and the effective reverberation times *preferred* by the subjects varied from 1.2 to 1.6 sec. In view of the poor quality of the reverberant sound in an 'echo room' of only 53 m<sup>3</sup>, however, it is indeed surprising that the subjects would tolerate the addition of even moderate proportions of reverberation. The experiment, therefore, gave no information about optimum reverberation time under good concert-hall conditions.

In Fig. 2 is drawn the B.B.C.'s optimum reverberation curve, based on *past* experience; *deviations* upward from the indicated values are possible if other aspects of the acoustics are good, but times very much shorter are not generally associated with good orchestral quality.

### (9.3) An Empirical Acoustic Criterion

One of the authors has already published details of an objective criterion<sup>21</sup> which gives reasonable agreement with subjective assessments. Further work has since been carried out to extend the criterion by obtaining the opinions of a large number of subjects, and a paper was read at the Second International Congress on Acoustics at Cambridge, Massachusetts, in June, 1956. The paper was published in *Acustica* in March, 1957.

The criterion number is given by the equation

$$X' = (D + 0.332 R) / 1.64 + 1.542 T_m$$

where  $D$  = Parameter measuring the irregularity of decays.

$R$  = Parameter measuring the irregularity of the reverberation-time/frequency characteristic.

$T_m$  = Mean reverberation time.

The details of the derivation of these parameters are described in the first paper.<sup>21</sup> The results are *plotted* in Fig. 23. In this Figure the subjective assessment of the various *enclosures* is indicated, and it will be seen that agreement between the objective criterion and the subjective assessment is good.

## (10) CONCLUSIONS

In the paper an attempt has been made to crystallize the results of subjective and objective experiment and of observation over the last ten years or so. The subject under investigation is purely aesthetic and therefore must begin and end with human aesthetic judgments. The difficulty of obtaining concordant judgements has already been *remarked* upon, and most previous investigations have been limited in their validity by this difficulty. The B.B.C. is fortunate in having available a large number of people who are professionally employed in *capacities requiring* accurate auditory memories (a rather uncommon gift) and *consistent* aesthetic judgement. Much use has been made of their opinions in comparing concert halls and studios, and the judgements of music critics, particularly in connection with the new concert halls, have been followed over a long period.

The modern type of concert hall, characterized by a fanshaped plan with a reflector over the stage, splays at the side and a *concave* ceiling, all designed to *provide strong first* reflections to reinforce the direct sound, has serious disadvantages from the aesthetic point of view. The tonal quality is generally unsatisfactory, and although there is a first impression of 'clear' definition owing to the high level of direct relative to reverberant sound, this is largely illusory as inner parts of the score tend to disappear in loud passages.

In most but not all the newer concert halls reviewed, the harsh tone is also associated with a short reverberation time. The reverberation time of most new halls is less than is desirable and in some halls less than the designers intended. This should be taken into consideration in future designs.

The use of reflecting surfaces to project sound away from the orchestra introduces bass masking even if the low-frequency reverberation time of the hall is not excessive. The effect of this is noticed in most modern halls as a *deterioration* of definition in loud passages.

Quite apart from these disadvantages of the 'sound reinforcing' type of enclosure, it has been shown also that the use of reflectors and similar *devices* has not resulted in any increase in the sound level at the back of the hall as *compared* with existing halls of traditional shape. This failure to achieve their original object is explained by the rapid absorption of direct and once-reflected sound by the audience areas and consequent reduction of the reverberant-energy contribution.

It will be clear from the progress of modern design from the Salle Pleyel onwards that concert-hall designers have found it necessary to *discard*, one by one, the principles adopted in its design, and the authors are convinced that no justification exists for further experiments of this kind.

For future concert halls, architects must *revert* to forms of design which are modern realizations of the features which *combined* to give the fine tonal quality and clear definition of the best of the traditional halls.

These features are the provision of *adequate scattering*, absence of *deliberate reinforcements* of the direct sound, *ample height* and an *adequate reverberation time*.

#### (11) ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to thank the Chief Engineer of the British Broadcasting Corporation for permission to publish the paper. They also wish to acknowledge the assistance of their colleagues in the B.B.C. Research Department, and in particular that of Mr. F. L. Ward. Thanks are also due to the *managements* of all the concert halls mentioned in the paper.

#### (12) REFERENCES

- (1) SOMMERVILLE, T.: 'A Comparison of the Acoustics of the Philharmonic Hall, Liverpool, and St. Andrew's Grand Hall, Glasgow', *B.B.C. Quarterly*, 1949, 4, p. 41.
- (2) *The Times*, 20th December, 1954.
- (3) PARKIN, P. H.: 'Acoustics of the Royal Festival Hall', *Nature*, 1951, 168, p. 264.
- (4) PARKIN, P. H., SCHOLES, W. E., and DERBYSHIRE, A. G.: 'The Reverberation Times of Ten British Concert Halls', *Acustica*, 1952, 2, p. 97.
- (5) BAGENAL, H., and WOOD, A.: 'Planning for Good Acoustics' (Methuen, 1931), p. 268.
- (6) ANDRADE, E. N. DA C.: 'The Salle Pleyel', *Nature*, 1932, 130, p. 332.
- (7) ALLEN, W. A., and PARKIN, P. H.: 'Acoustics and Sound Exclusion', *Architectural Review* (London), 1951, 109, p. 377.
- (8) PARKIN, P. H., ALLEN, W. A., PURKIS, H. J., and SCHOLES, W. E.: 'The Acoustics of the Royal Festival Hall', *Acustica*, 1953, 3, p. 1.
- (9) SHAW-TAYLOR, D.: 'The Festival Hall', *New Statesman and Nation*, 27th October, 1951.
- (10) ALLEN, W. A.: 'Acoustics in the New Concert Halls', *Journal of the Royal Institute of British Architects*, 1951, 59, p. 39.
- (11) GILFORD, C. L. S.: 'Membrane Sound Absorbers and their Application to Broadcasting Studio's', *B.B.C. Quarterly*, 1952—53, 7, p. 246.
- (12) WARD, F. L.: 'Helmholtz Resonators as Acoustic Treatment in the New Swansea Studios', *ibid.*, p. 174.
- (13) SOMMERVILLE, T., and WARD, F. L.: 'Investigation of Sound Diffusion in Rooms by Means of a Model', *Acustica*, 1951, 1, p. 48.
- (14) BRÜEL, P. V.: 'Automatic Recording of Frequency Irregularity in Rooms', *ibid.*, 1954, 4, p. 21.
- (15) LAMORAL, R., and TREMBASKY, R.: 'Investigation of the Acoustics of Large Halls using Models', *L'Onde Electrique*, 1953, 33, p. 570.
- (16) KIRKE, H. L., and HOWE, A. B.: 'The Acoustical Design of Broadcasting Studios', *Journal I. E. E.*, 1936, 78, p. 404.
- (17) SOMMERVILLE, T.: 'Subjective Comparison of Concert Halls', *B.B.C. Quarterly*, 1953, 8, p. 125.
- (18) KUHL, W.: 'Nachhallzeit Großer Musikstudios', *Acustica*, 1954, 4, p. 618.
- (19) SOMMERVILLE, T.: 'Monitoring Sound Broadcast Programmes', *Wireless World*, May, 1956, p. 228.
- (20) REICHARDT, W., KOHLSDORF, E., and MUTSCHER, H.: 'Die Optimale Nachhallzeit für Studioräume', *Hochfrequenztechnik und Electroakustik*, 1955, 64, p. 18.
- (21) SOMMERVILLE, T.: 'An Empirical Acoustic Criterion', *Acustica*, 1953, 3, p. 365.

DIE FRANZÖSISCHE SCHALLPLATTENFIRMA

# VEGA

bringt in ihrer Serie

**Meisterwerke der Modernen Musik**

## „DER FEURIGE ENGEL“

Oper von

**SERGE PROKOFIEV**

zur ersten Veröffentlichung

Ausführende: JANE RHODES - Sopran / Renata  
IRMA KOLASSI - Mezzo / Oberin  
JANINE COLLARD - Mezzo / Wirtschafterin  
CL. MAS MICHEL } zwei junge Novizen  
JANINE PIERET }  
XAVIER DEPRAZ - Bass / Ronald  
JEAN GIRAUDÉAU - Tenor / Mephisto  
PAUL FINEL - Tenor / Agrippa  
ANDRÉ VESSIÈRES - Bass / Inquisitor  
GÉRARD FRIEDMANN - Tenor / Arzt  
BERNARD COTTRET - Bariton / Diener

Chor: RDF-PARIS (Chorleiter: René Alix) Orchester: Pariser Oper

**Dirigent: Charles Bruck**

Das Werk erscheint in Form eines High Fidelity Luxusalbums (33 x 44 cm) mit Drei Schallplatten: VAL 10 (C 30 A 141 - 143) und einem Textbuch in französischer Sprache (mit Porträts und Gravüren von MAURICE TAPIERO)

Diese Originalausgabe wurde auf 2500 Exemplare beschränkt, die von 101 bis 2500 nummeriert sind und deren erste 100 Nummern A 1 bis A 100 nicht im Handel erschienen sind. Die Originalausgabe kostet: 7800 französische Franken.

(Näheres zu erfragen: Redaktion der Gravesaner Blätter - Gravesano-Schweiz)

THE FRENCH RECORDING FIRM

# VEGA

presents in their series

**Masterworks of Modern Music**

the first public release of

## “THE FIERY ANGEL”

an opera by

**SERGE PROKOFIEV**

Cast: JANE RHODES - Soprano / Renata  
IRMA KOLASSI - Mezzo / Mother Superior  
JANINE COLLARD - Mezzo / Housekeeper  
CL. MAS MICHEL } two young novices  
JANINE PIERET }  
XAVIER DEPRAZ - Bass / Ronald  
JEAN GIRAUDÉAU - Tenor / Mephistofeles  
PAUL FINEL - Tenor / Agrippa  
ANDRÉ VESSIÈRES - Bass / Inquisitor  
GÉRARD FRIEDMANN - Tenor / Doctor  
BERNARD COTTRET - Baritone / Servant

Chorus of RDF-Paris (prepared by René Alix)

Paris Opera Orchestra

**Conductor: Charles Bruck**

This recording is issued in the form of a High Fidelity Luxury Album (13" x 18") containing Three Discs: VAL 10 (C 30 A 141 - 143) and a Libretto in French (with portraits and etchings by MAURICE TAPIERO)

The original edition is limited to 2500 numbered copies of which the first 100 numbers A 1 to A 100 are not for public release. Price of original edition

7800 French francs

(Further Details from: Publishing Office Gravesano Review Gravesano/Switzerl.)

# Beitrag zur Nachbildung des menschlichen Gehörs im Rahmen raumakustischer Modellversuche

von

F. KELLER\*)

## I. Raumakustik und Modellversuch.

*Einleitung.* Formal betrachtet hat die Raumakustik als physikalisches Problem schon lange eine Lösung gefunden, die die mathematische Differentialgleichung für die Ausbreitung von Schallwellen angibt:

$$c^2 \Delta \varphi = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2}$$

$c$  Schallgeschwindigkeit  
 $\varphi$  Geschwindigkeitspotential  
 $t$  Zeit

Diese Gleichung reicht für die vollständige Beschreibung des zur Frage stehenden Vorganges aus, wenn nicht die wichtigste Bedingung fehlte: die Kenntnis aller einflußnehmenden Größen für die Randbedingungen der Gleichung in einer Darstellung, die mathematisch exakt und vor allem lösbar ist. Aus diesem Grund ist die Raumakustik in dieser Beziehung ein Problem geblieben, das sich nur mit Näherungsverfahren theoretisch behandeln läßt. Hierzu zählen die Betrachtungen über geometrische, statistische und wellentheoretische Verhältnisse, die sich nur schrittweise zu einer Theorie der tatsächlichen Vorgänge verwerten lassen.

Der problematische Charakter der Raumakustik liegt aber auch auf einer ganz anderen Ebene. Letzten Endes bestimmt ja der Mensch selbst über die akustische Güte eines Raumes; und das Meßinstrument, mit dem ihn die Natur hierfür ausgestattet hat, nämlich sein Gehör, hat sich in jahrtausendelanger Entwicklung derart ausgebildet und verfeinert, daß seine Beurteilung bisher alle Methoden der Naturwissenschaft nicht haben erreichen können. So ist z. B. die technisch leicht meßbare Nachhallzeit eines Raumes wohl eine bestimmende Größe, aber nur eine unter vielen; wohl eine notwendige, nicht aber hinreichende Bedingung für die optimale Konstruktion eines Raumes. Räume extrem verschiedener Größe können durchaus dieselbe Nachhallzeit, nicht im entferntesten aber eine Ähnlichkeit der akustischen Qualitäten aufweisen. Daher sind in der letzten Zeit weitere Begriffe definiert worden, wie Deutlichkeit und Diffusität, die aber das Bild einer physiologisch-psychologischen Deutung noch lange nicht ersetzen können.

\*) Der Verfasser möchte an dieser Stelle Herrn Prof. Dr. SPANDÖCK für seine Förderung und Unterstützung der Arbeit besonders danken.

*Das SPANDÖCK-Modellverfahren.* Diese Punkte zeigen schon, daß zu einer ausreichenden Betrachtung raumakustischer Verhältnisse notwendig eine empirische Methode gehört, also ein Experiment, bei dem sich alle physikalischen Größen übersichtlich messen lassen. Seine Meßergebnisse werden aber dann besonders aufschlußreich sein, wenn diese nicht in Zahlen und Diagrammen, sondern durch das physiologische Meßinstrument des Menschen selbst, durch das Gehör, bewertet werden. Hierzu eignet sich ein Modellversuch mit frequenztransponiertem Schall: Die Schallverhältnisse einer Hauptausführung lassen sich nachbilden, wenn man in demselben Verhältnis, in dem man die linearen Dimensionen verkleinert, die Frequenz erhöht. So haben REICHARDT [1] und CREMER [2] dreidimensionale Modelle mit Knallen untersucht; aber hier fehlt noch die physiologisch-psychologische Deutung.

SPANDÖCK [3] hat dagegen erstmals 1934 vorgeschlagen, einen natürlichen Schallvorgang, wie trockene Sprache oder Musik, mit erhöhter Frequenz in einem Modell ablaufen zu lassen und an den interessierenden Punkten des Modells wieder aufzunehmen. Nach einer Frequenzerniedrigung um denselben Maßstab kann man dann den Schallvorgang so hören, wie er in der vielleicht noch garnicht gebauten Hauptausführung klingen würde. Auf diese Weise wird das menschliche Ohr direkt in die Beurteilung mit einbezogen. Voraussetzung ist natürlich, daß die Reflexionskoeffizienten der Wände und die Absorptionsverhältnisse der Luft im transponierten Schallgebiet gemäß den hierfür gültigen Modellregeln denjenigen der Hauptausführung äquivalent sind.

Weitere Versuche von BOUTROS-ATTIA [4] haben in Übereinstimmung mit Feststellungen anderer Autoren gezeigt, daß eine einkanalige Schallübertragung halliger klingt, als dies das menschliche Gehör bei einem Vergleich in einer schon vorhandenen Hauptausführung tatsächlich empfindet. Bei einer physiologisch-psychologischen Deutung eines Modellversuchs tritt also unter diesen Umständen ein systematischer Fehler auf. In Wirklichkeit nimmt das Gehör nämlich einen Schallvorgang stereophon auf; daher laufen an der Technischen Hochschule Karlsruhe zur Zeit weitere Arbeiten an einer zweikanaligen Übertragung, die die raumakustischen Eigenschaften besser wiedergibt. Am Anfang einer solchen Übertragung steht jetzt ein Schallaufnahmegerät, das die Eigenschaften des menschlichen Gehörs in einigen Punkten modellmäßig nachbilden muß. Einer Versuchsperson wird dann über zwei getrennt arbeitende Kopfhörer ein subjektives Urteil in einem Maß ermöglicht, als stünde sie selbst, allein auf das Gehör angewiesen, an Stelle des Gerätes in der fiktiven Hauptausführung.

Über Gesichtspunkte der Konstruktion dieses Gerätes soll im folgenden gesprochen werden. Hierbei werden neben den physiologischen Verhältnissen auch einige technische Probleme behandelt, da infolge der Frequenztransponierung der Übertragungsbereich bis in das Gebiet des Ultraschalls

bei 50 KHz hineinreicht und einer gesonderten konstruktiven Lösung bedarf.

## II. Das menschliche Ohr.

*Die Eigenschaften:* Wir fragen uns nun, welche Möglichkeiten uns das Gehör gibt, um uns unabhängig von andern Sinnesorganen über unsere Umgebung zu orientieren. Eine solche Möglichkeit besteht tatsächlich, wie wir aus eigener Erfahrung wissen; sie beruht darauf, daß unser Ohr recht genau die Richtung bestimmen kann, aus der irgendein Schallereignis auf uns zukommt. Drei physikalische Tatsachen sind hierfür bestimmend, die nicht voneinander abhängen und erst in unserm Gehirn zu einem geschlossenen Eindruck verarbeitet werden. Trifft nämlich der Schall unter einem Winkel, der von 90° abweicht, auf die Verbindungslinie der beiden Ohren auf, so wird das der Schallquelle abgelegene Ohr das Ereignis schwächer wahrnehmen, weil es gewissermaßen auf der Schattenseite des Kopfes liegt, wie ein Vergleich mit der Optik lehrt. Die Schattenwirkung des Kopfes ist aber nicht, wie in der Optik, gleichmäßig stark bei allen Frequenzen, sondern nur schwach bei tiefen, stärker bei hohen Frequenzen, da die Schallwellenlänge um Größenordnungen höher liegt als diejenige von Licht. Besteht daher das Schallereignis aus einer größeren Anzahl von Einzelfrequenzen oder einem kontinuierlichen Spektrum, wird das Ohr zum zweiten auch aus dem Frequenzgang des aufgenommenen Schalles bestimmte Schlüsse ziehen. Aufgrund dieser Tatsachen lassen sich Geräusche mit vielen hohen Frequenzanteilen auch besonders leicht orten. Zum dritten wird das der Schallquelle näher gelegene Ohr einen bestimmten zeitlichen Punkt des Ereignisses etwas früher empfangen als das andere. Der Vorgang wird also mit einer ganz geringen Zeitdifferenz zweimal auf das Gehirn einwirken, die wiederum unbewußt einen Anhaltspunkt über die Schallrichtung gibt. Zum Lokalisieren einer Schallquelle dienen also einmal die winkel- und frequenzabhängige, relative Richtungsempfindlichkeit, zum andern der vorgegebene Abstand der Ohren. Bei einer technischen Nachbildung muß man daher diese Tatsachen berücksichtigen. Die quantitative Größe der Richtungsempfindlichkeit zeigt das Richtungsdiagramm des rechten menschlichen Ohres (Abb. 1), das TRÖGER [5] für den horizontalen Bereich gemessen und für verschiedene Frequenzen aufgestellt hat. Aus symmetrischen Gründen läßt sich darauf das Diagramm für das linke Ohr direkt ableiten, dadurch, daß man an der vertikalen Achse eine Spiegelung vornimmt. Der vertikale Bereich ist in normalen Fällen weniger bedeutsam und eignet sich infolge der fehlenden Zeitdifferenz auch weniger zur Richtungsbestimmung.

Dies sind zwar nicht die einzigen, jedoch die für einen raumakustischen Modellversuch wesentlichen Eigenschaften des menschlichen Ohres. Daneben zeigt es, absolut betrachtet, eine unterschiedliche Empfindlichkeit für verschiedene Frequenzen, und damit zusammenhängend einen Phasenverlauf,

der sich stark mit der Frequenz ändert. Am Ende des Modellversuchs steht aber eine Versuchsperson, deren Ohr der übermittelten Information von selbst diese Größen aufdrückt, und wir haben nur dafür zu sorgen, daß sich die Information bis zu diesem Augenblick nicht durch ein vorgeschaltetes Übertragungsglied in ihrer Frequenzabhängigkeit geändert hat. Von dem nachbildenden Mikrophon sind somit konstanter Frequenz- und Phasenverlauf zu fordern. Dies erleichtert die Aufgabe wesentlich, da uns die Elektroakustik solche Wandler direkt anbietet. Die Richtungscharakteristik muß dagegen sowohl in ihrer Winkel- als auch der Frequenzabhängigkeit derjenigen des Ohres möglichst angeglichen werden, wenn ein subjektives Urteil einen Wert haben soll, und auch der Abstand der zwei Schallempfänger muß im Modellmaßstab gerechnet den natürlichen Verhältnissen entsprechen.

*Wege der Annäherung.* Bei einer technischen Nachbildung wird man aus wirtschaftlichen Gründen zunächst einen einfachen Weg zur Realisierung wählen und erst bei dessen Versagen einen komplizierteren beschreiten. So fragt sich, ob man die Eigenschaften eines Ohres etwa mit einer Kolbenmembran in einer unendlich oder im Verhältnis zur Wellenlänge doch sehr weit ausgedehnten ebenen Wand verwirklichen kann, in einer Weise, in der viele der gebräuchlichen Wandlerysteme aufgebaut sind. Mit etwas Rechnung läßt sich exakt zeigen, daß dies nicht möglich ist. Besitzt die Kolbenmembran etwa den Radius R (Abb. 3), so läßt sich nach der Beziehung

$$I' = \frac{p_a}{p_{\max}} = \frac{2 J_1(x)}{x}$$

mit  $x = \frac{2\pi R}{\lambda} \sin \alpha$

$I'$	Richtfaktor
$p_a$	Schalldruck an einer beliebigen Stelle
$p_{\max}$	maximaler Schalldruck
$J_1$	Besselfunktion erster Ordnung
$\lambda$	Schallwellenlänge
$\alpha$	Einfallswinkel des Schalles

die Richtcharakteristik der Kolbenmembran berechnen. Diese Beziehung wird uns umgekehrt dazu dienen, ausgehend von dem TRÖGER'schen Richtungsdiagramm, den Radius der Kolbenmembran als veränderliche Größe aufzufassen und als ‚Ersatzradius‘ des Ohres zu berechnen, derart, daß an dem gerade betrachteten Punkt des Diagrammes der durch die Kolbenmembran aufgenommene Schalldruck genau die gleiche Größe hat wie beim Ohr. Wir berechnen dann

$$R = \frac{\lambda}{2\pi \sin \alpha} x$$

und entnehmen  $x$  einer der bekannten mathematischen Tabellen. Das Ergebnis zeigt die Abb 4; der Radius ist außerordentlich stark von der Frequenz und dem Einfallswinkel abhängig, so daß man auf eine solche Nachbildung verzichten muß.

Als den nächsten, etwas komplizierteren Weg wählen wir zwei Kolbenmembranen, die in eine Kugel mit dem annähernden Durchmesser des menschlichen Kopfes eingesetzt sind, und zwar unter einem gewissen Winkel von  $22,5^\circ$ , der dem Maximum im TRÖGER'schen Diagramm entspricht (Abb. 5). In einem solchen Fall lassen sich auf Grund der Modellvorstellung wesentlich günstigere Verhältnisse erwarten, wenn auch in mancher Beziehung noch einige Abweichungen auftreten mögen, so vor allem im Gebiet des Schallschattens bei Einfallswinkeln nahe an  $180^\circ$ , wo die Schallbeugung eine besondere Rolle spielt. Bei einer theoretischen Berechnung, wie sie z. B. STENZEL [6] in ähnlichen Fällen durchgeführt hat, treten allerdings schon komplizierte mathematische Funktionen auf, so daß es einfacher fällt, diesen Gedanken tatsächlich zu verwirklichen und an einem auf diese Art gebauten Empfänger direkt zu messen. Zumal ist es eine alte Erfahrung, daß mit dem Grad der Kompliziertheit einer Berechnung auch die Wahrscheinlichkeit sinkt, daß sie mit den in der Praxis gemessenen Werten übereinstimmt. Die Natur bietet zuviele Freiheitsgrade, als daß sie sich jemals restlos in ein starres mathematisches Schema zwingen ließen.

### III. Ein modellmäßiges Zwei-Ohren-Mikrophon.

*Das Kondensatormikrophon nach SELL.* Nachdem mit der Abb. 5 die äußere geometrische Form der Nachbildung vorliegt, kann nun auf die Ausführung des eigentlichen elektroakustischen Empfängers eingegangen werden, der ja ein Frequenzband bis in den Ultraschallbereich hinein ohne irgendeine Verzerrung übertragen soll. Für solche Aufgaben empfehlen sich insbesondere die Kondensatormikrophone, die bis zu ihrer Resonanzfrequenz  $f_0$  (Abb. 6) einen konstanten Übertragungsfaktor  $B$  besitzen. Wie schon zu Beginn erwähnt, muß diese Resonanzfrequenz bei Verwendung raumakustischer Modelle vom Maßstab 1 : 10 mindestens bei etwa 50 kHz liegen, wenn eine einigermaßen tongetreue Aufnahme durchgeführt werden soll. Eine solche hohe Resonanzfrequenz läßt sich mit Kondensatormikrophonen üblicher Bauart nicht erreichen. Doch hat SELL [7] einen eleganten Ausweg gefunden: er unterstützte eine außen detaillierte Kunststoffmembran durch eine mittels eines Sandstrahlgebläses fein aufgerauhte Gegenelektrode an sehr vielen Stellen (Abb. 7), so daß die Membran in viele kleine Gebiete jeweils höherer Resonanzfrequenz unterteilt schwingen kann. Elektrisch gesehen besteht ein solches Gebilde aus einer Vielzahl von parallelgeschalteten, kleinsten Kondensatormikrophonen, wobei gerade durch diese Schaltung eine sonst unvermeidliche Leistungsschwäche umgan-

gen wurde. Es zeigte sich aber, daß die Sandstrahlaufrauung im Verhältnis zur Membrandicke von etwa  $6 \mu$  im allgemeinen viel zu fein ausfällt (Abb. 8), so daß die Membran tatsächlich auf den meisten Teilflächen fest aufliegt und nicht zum Schwingen kommen kann. An den verbleibenden Stellen dagegen hat das dünne, zwischen Membran und Gegenelektrode eingeschlossene Luftpolster keine Gelegenheit, der schwingenden Membran auszuweichen, und verhindert so eine ausreichende Anregung. Die Folge sind unnötig hohe Resonanzfrequenzen und damit zusammenhängend eine starke Unempfindlichkeit der Empfänger. Deshalb wurde ein neues, einfaches Verfahren zur Aufrauung entwickelt, das eine ideale Oberflächenform gemäß Abb. 9 annähert. Hier kann die Membran, gestützt durch die Elemente  $c$ , in sehr geringem Abstand von Bruchteilen eines  $\mu$  ungehindert über den Flächen  $a$  schwingen, weil die Luft in die Sacklöcher  $b$  ausweichen kann. Dieses Verfahren beruht auf einer chemischen oder elektrolytischen Ätzung der Gegenelektrode, wobei sich eine gewünschte Oberflächenform weitgehend durch geeignete Auswahl der Materialien erzielen läßt. So zeigt Abb. 10 die tatsächliche Form der Elektrodenfläche, die nach einer Reihe von Versuchen als die für die vorliegenden Forderungen günstigste gewählt wurde. Das Material der Gegenelektrode ist Aluminium. In der photographischen Aufsicht kann man natürlich die Stützflächen  $c$  (Abb. 9) von den aktiven Flächen  $a$  wegen zu geringer Höhendifferenz nicht unterscheiden. Die Stärke der Aufrauung hat hier die Größenordnung der Membrandicke erreicht und bildet damit eine optimale Lösung zwischen Lage der Resonanzfrequenz und Empfindlichkeit. Die Frequenzkurven des gebauten Mikrophons (Abb. 11) zeigen mit einer ausgeprägten Resonanzfrequenz und dem glatten, sehr gut übereinstimmenden Verlauf, mit welcher geringer statistischer Streuung sich die einzelnen Elementarpfortien der Elektrodenfläche gleichen, und bestätigen damit die Brauchbarkeit und Reproduzierbarkeit des beschriebenen Aufrauverfahrens. Der Übertragungsfaktor  $B$  ist dabei des besseren Vergleichs wegen auf den Radius der wirksamen Kreisfläche der Gegenelektrode bezogen, da bei Wandlern nach dem SELL'schen Prinzip die Empfindlichkeit etwa der Wurzel aus der wirksamen Gesamtoberfläche proportional ist.

*Das Zwei-Ohren-Mikrophon.* Die Abb. 12 und 13 zeigen die eigentliche Konstruktion des Mikrophons, die von derjenigen früher eingesetzter Empfänger (Abb. 14) in einigen Punkten abweicht. In einem Kugelring 4 aus isolierendem Preßstoff mit einem Durchmesser von 38 mm sitzen die beiden Gegenelektroden 3. Dieser Durchmesser ist bezüglich eines Modellmaßstabes von 1 : 10 offensichtlich zu groß gewählt, erwies sich aber zur Ausbildung einer genügend scharfen Richtcharakteristik als notwendig. Trotz der Abflachungen des Kugelrings seitlich der Elektrodenoberflächen ist deren Abstand immer noch etwas größer, als es die Modellregel fordert. Daraus ergibt sich eine etwas erhöhte Laufzeitdifferenz, die eine zu schwache Winkel-

abhängigkeit der Richtcharakteristik kompensieren wird. Vor der Elektrodenoberfläche, deren Aufrauung Abb. 10 zeigt, ist eine außen metallisierte,  $6\ \mu$  starke Mylarfolie angebracht, die auf die Abflachungen des Kugelringes aufgeklebt ist. Dadurch lassen sich die im Ultraschallbereich besonders ausgeprägten Vorraumresonanzen vermeiden, wie sie etwa durch einen Spannung oder eine ähnliche, erhöhte Klemmbefestigung am Rand verursacht werden. Die leitende, geerdete Verbindung zu dem unten ansetzenden Metallrohr bildet eine Leitsilberschicht, die zugleich den ganzen Aufbau elektrisch abgeschirmt. Die Elektroden werden durch Federn 2 gegen die Membran gedrückt; sie erhält auf diese Weise eine zeitlich konstante mechanische Vorspannung, die sich infolge der Wölbung der Elektrodenoberfläche gleichmäßig auf die einzelnen Elementarpartien verteilt. Am innern Ende stützen sich die Federn auf einem Keil 5 aus Hartgewebe ab. Die elektrische Verbindung zu dem im unteren Teil eingebauten Vorverstärker (vgl. Abb. 13) geht von den Aluminiumelektroden über Silbernetzen, ein ange-lötetes feines Drähtchen und die Ableitung 6 nach unten. Nach dem Zusammenbau ist das Mikrophon auch weiterhin durch die abnehmbare Kugelkappe 1 aus Aluminium zugänglich.

Die elektroakustischen Daten des Mikrophons sind neben dem Frequenzgang in Abb. 11, der, wie gefordert, bis 50 kHz fast linear verläuft und in seinem konstanten Teil auch einen konstanten Phasengang besitzt, mit dem Richtungsdiagramm des rechten Empfängers gegeben (Abb. 2), aus dem durch Spiegelung an der vertikalen Achse auch dasjenige des linken hervorgeht; des leichteren Vergleichs wegen ist die Charakteristik direkt unter dem TRÖGER'schen Diagramm angeordnet. Bezieht man sich auf einen Modellmaßstab von 1 : 10, so erkennt man, wie zu erwarten, eine zwar nicht vollkommene, aber im Hinblick auf die vereinfachte Nachbildung doch schon befriedigende Übereinstimmung, die bei kleineren Modellen noch besser wird. Von den drei genannten physikalischen Tatsachen, die dem menschlichen Gehör eine Richtungsbestimmung ermöglichen, ist mit den Abweichungen der Winkelabhängigkeit nur eine nicht durchweg befriedigt. Diese Differenzen sind so zu verstehen: beim menschlichen Ohr muß der Schall, um auf das Trommelfell einwirken zu können, erst den Gehörgang durchlaufen, der in Verbindung mit der Ohrmuschel eine besondere, individuell verschiedene Selektivität ergibt. Bei der Nachbildung hingegen sitzt das empfangende Element direkt an der Oberfläche der Kugel, wo es der Schall unter einem sehr viel größeren Raumwinkel ungestört erreichen kann. In der Tat ist auch die Selektivität der Nachbildung trotz des vergrößerten Durchmessers weniger stark. Auch ein von Schallbeugung her-rührender Schalldruck bei Einfallswinkeln nahe an  $180^\circ$  wird schlecht abgeschirmt, wie die ausgeprägten Nebenmaxima analog einigen theoretischen Berechnungen von STENZEL beweisen. Bei den entsprechenden Kurven für das Ohr ist ein zweites Maximum nur für die höchste Frequenz von 5 kHz

angedeutet. Die Frequenzabhängigkeit der Empfindlichkeit bei einem bestimmten Wert des Einfallswinkels entspricht sich dagegen in beiden Fällen, wenn man von dem auffällig großen Sprung zwischen 200 Hz und 500 Hz im TRÖGER'schen Diagramm absieht. Die Laufzeitdifferenz schließlich ergibt sich automatisch aus dem festgelegten Abstand der Empfänger, dessen Vergrößerung gegenüber natürlichen Verhältnissen aus psychologischen Gründen die zu schwach ausgeprägte Richtcharakteristik etwas kompensiert, wie auch CORDONNIER [8] im Verlauf anderer Untersuchungen festgestellt hat.

Die Modellregeln sorgen im übrigen dafür, daß sämtliche Forderungen und Annäherungen letzten Endes naturgetreu auf die Verhältnisse der Hauptausführung umgesetzt werden. Das beschriebene Gerät kann daher mit guter Meßgenauigkeit das menschliche Ohr bei einem raumakustischen Modellversuch vertreten.

#### Literatur

- [1] Reichardt, W.: Die Messung raumakustischer Eigenschaften im Modell. Die Schalltechnik 22 [1957] 1—9.
- [2] Cremer, L.: Die Grenzen planmäßiger raumakustischer Gestaltung. Grav. Bl. 2—3 [1956] 10—33.
- [3] Spandöck, F.: Raumakustische Modellversuche. Ann. Phys. 20, 5 [1934] 345—360.
- [4] Boutros-Attia, R.: Raumakustische Versuche mit Ultraschall. Dissertation TH Karlsruhe 1956.
- [5] Tröger, J.: Die Schallaufnahme durch das äußere Ohr. Phys. Z. 31 [1930] 26—47.
- [6] Stenzel, H.: Leitfaden zur Berechnung von Schallvorgängen. Springer, Berlin 1939.
- [7] Sell, H.: Eine neue kapazitive Methode zur Umwandlung mechanischer Schwingungen in elektrische und umgekehrt. Z. techn. Phys. 18 [1937] 3—10.
- [8] Cordonnier, J.: Stereophonische Klangwiedergabe und filmtechnische Klangaufnahme. Grav. Bl. 7—8 [1957] 9—27.

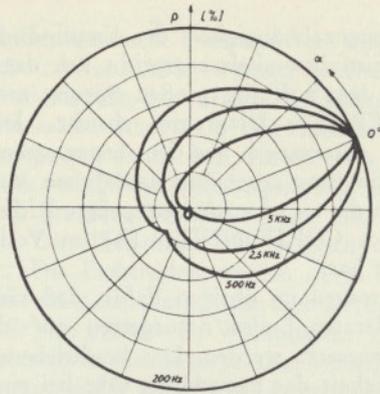


Abb. 1 Richtungsdiagramme des rechten menschlichen Ohres nach TRÖGER [5].  
Fig. 1 Directional sensitivity of the right ear, after Tröger. The front is at the top of the diagram.

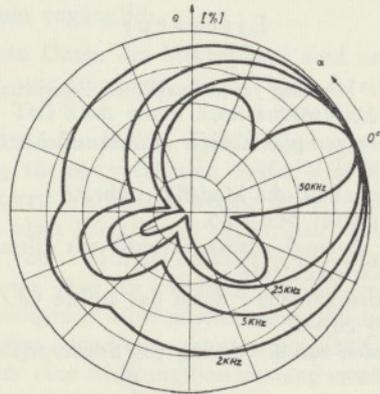


Abb. 2 Richtungsdiagramm des rechten Empfängers der Nachbildung.  
Fig. 2 Directional sensitivity of the imitation head's right ear.

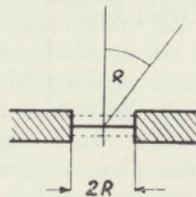


Abb. 3 Kolbenmembran in ebener Wand  
Fig. 3 Piston diaphragm in a plane wall.

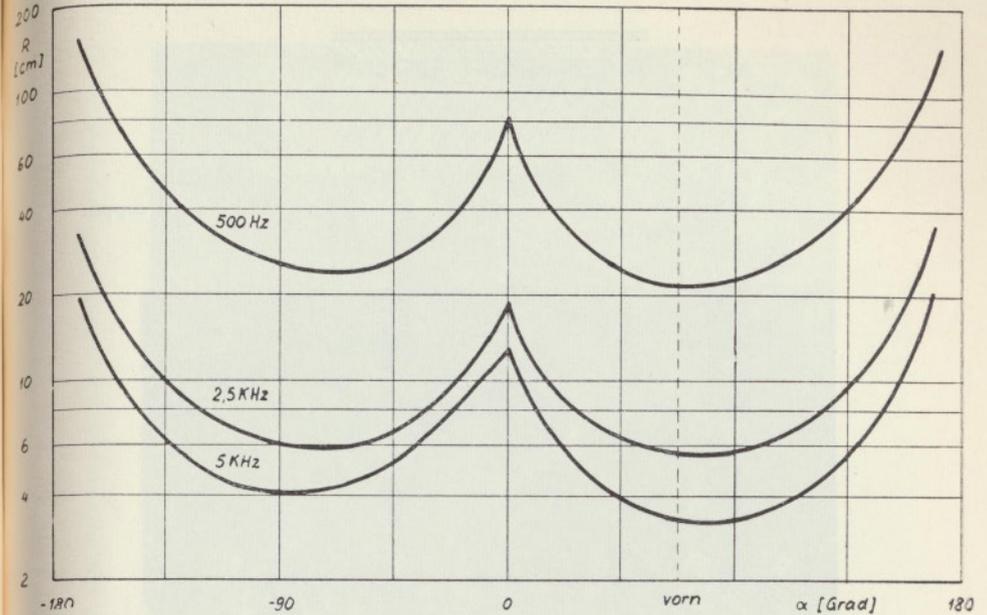


Abb. 4 Ersatzradius des Ohres, abhängig von Einfallswinkel und Frequenz.  
Fig. 4 Piston diaphragm in a plane wall as a substitute for the ear: the piston radius is shown as a function of the angle of incidence and the frequency.

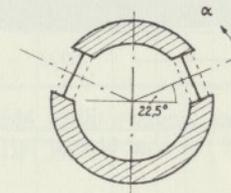


Abb. 5 Kolbenmembranen in Kugel.  
Fig. 5 Piston diaphragms in a ball.

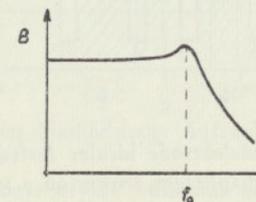


Abb. 6 Prinzipieller Frequenzverlauf eines Kondensatormikrophons.  
Fig. 6 General frequency response of condenser microphones.



Abb. 7 Membran auf sandgestrahlter Gegenelektrode [Schnitt].  
 Fig. 7 Section through a diaphragm resting on a sand-blasted supporting electrode.

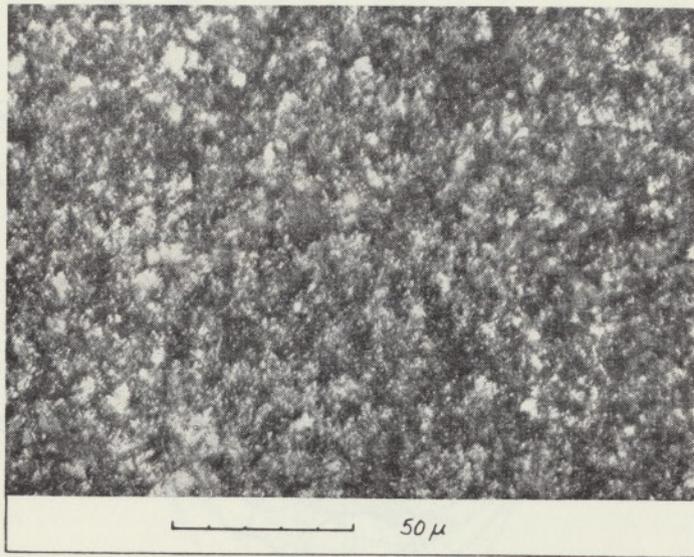


Abb. 8 Mikroaufnahme einer sandgestrahlten Messingelektrode [Aufsicht].  
 Fig. 8 Microphotograph of the sand-blasted surface of a brass electrode.

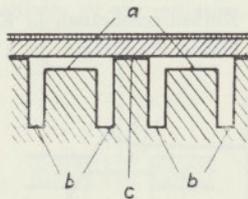


Abb. 9 Membran auf Gegenelektrode idealer Aufrauhung [Schnitt].  
 Fig. 9 Section through a diaphragm resting on a supporting electrode of ideal roughness form.

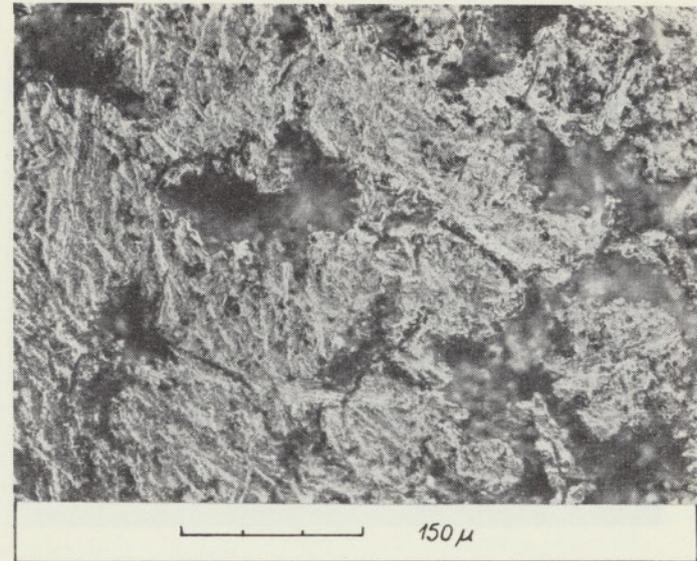


Abb. 10 Mikroaufnahme einer geätzten Aluminiumelektrode [Aufsicht].  
 Fig. 10 Microphotograph of the etched surface of an aluminium electrode.

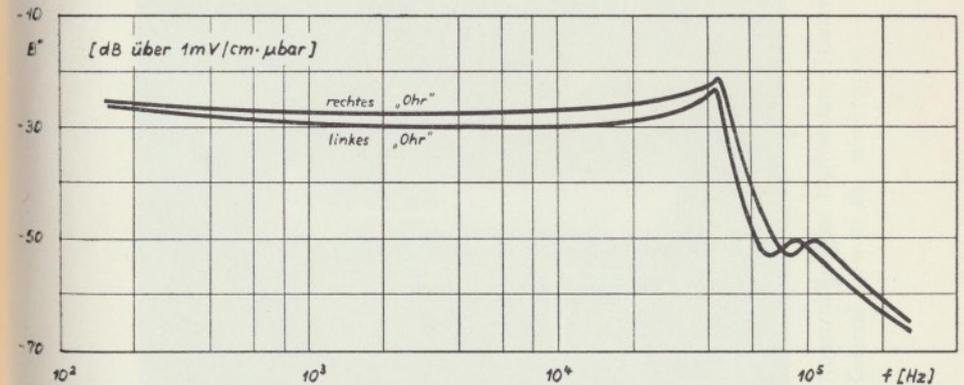


Abb. 11 Frequenzgang der Nachbildung. Aufrauhung der Elektrodenoberflächen gemäß Abb. 10.  
 Fig. 11 Frequency response of the imitation head, with electrodes roughened as in Fig. 10.

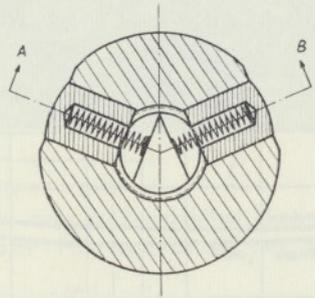
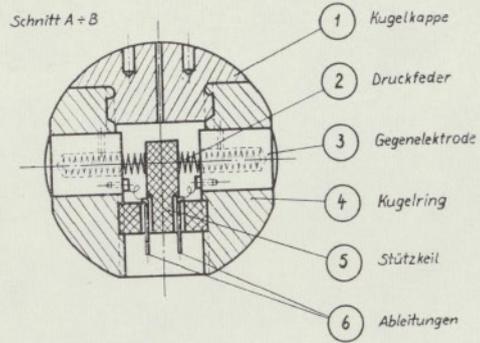


Abb. 12 Konstruktion der Nachbildung [Ansicht des Modellkopfes].  
 Fig. 12 Construction of the model head.

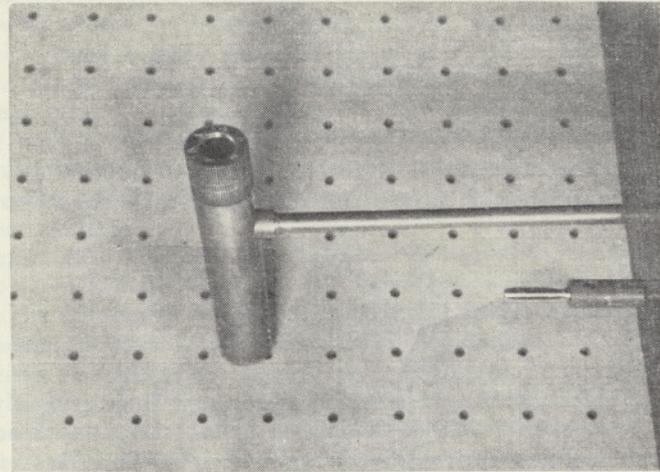


Abb. 14 Ultraschallmikrophon älterer Bauart  
 Fig. 14 Older type of ultrasonic microphone.

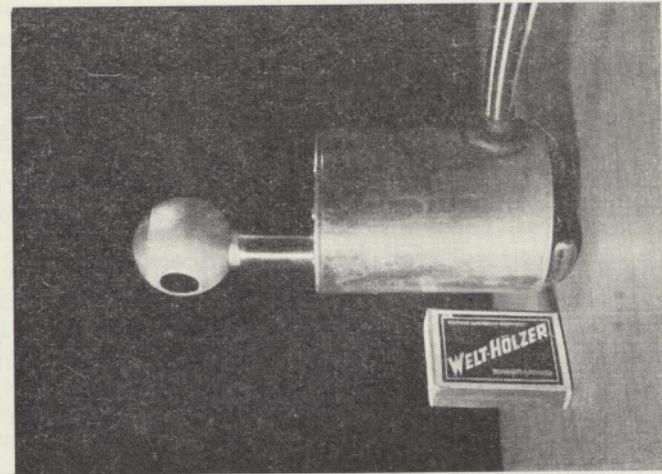


Abb. 13 Konstruktion der Nachbildung [Gesamtansicht].  
 Fig. 13 General view of the microphone.

# Contribution to the Duplication of the Human Ear for Acoustic Model Testing

by  
F. KELLER\*

## I. Room Acoustics and Model Testing

**Introduction.** The physical problem of room acoustics has long been solved: the differential equation for the radiation of sound waves

$$c^2 \Delta \varphi = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2}$$

where  $c$  = the speed of sound,  
 $\varphi$  = the speed potential,  
and  $t$  = time

completely specifies any acoustic event. But because it is either unsolvable or has been applied to a case too simplified to be exact, the theory of space acoustics has remained only very approximate. Geometric, statistic and wave mechanical viewpoints can only be rated as partial solutions in search of a comprehensive theory.

There is also a psychological side to the question, for the final decision about a room's acoustic quality rests with listening man; and his natural measuring instrument — his hearing — has developed through millenia to such a degree of sensitivity, that its judgment has so far not been approached by science. Thus, reverberation time for example, easily measured, is but one of many specifying quantities; it is necessary but insufficient for the evaluation of a room. It is easily possible for two rooms of different size to have the same reverberation time but to show not the slightest resemblance to each other in acoustic properties. Therefore further concepts, such as definition and diffusion, have been defined recently; but these are still a long way from replacing a physiological-psychological evaluation.

**The Spandöck Model Method.** These points already show that for a complete picture of room acoustics, an empirical method is essential, in other words, an experiment in which all physical quantities can be measured. And such measurements will be particularly revealing if they are evaluated, not in numbers and diagrams, but through man's own measuring instrument, his hearing. Model tests, with sound transposed in respect to frequency, lend themselves to this purpose: the acoustic relationships pertaining to a finished building can be duplicated in a model by altering the

\* The author wishes to acknowledge his indebtedness to Prof. Dr. F. Spandöck for his cooperation and support in this study.

frequency in inverse proportion to the linear dimensions. Reichardt<sup>1</sup> and Cremer<sup>2</sup> thus examined three dimensional models with banging sounds, but the physiological-psychological evaluation was still missing.

Spandöck<sup>3</sup> was the first to suggest in 1934 that natural sounds such as anechoic speech or music should be played at a higher frequency and recorded at places of interest in the model. This recording, played back at the original frequency, could be heard the way it might sound in a room yet to be built, so that the human ear would be included in the evaluation. The reflection coefficients of the walls and the absorption of the air in the model must of course be dimensionally equivalent to those of the finished building.

Further experiments of Boutros-Attia<sup>4</sup> have shown, in agreement with other authors, that a single channel reproduction seems to echo more than what the ears really feel, which could result in a systematic error in the physiological-psychological evaluation of a model test. In reality, the ear perceives stereophonically, and work is in progress at the Karlsruhe Technical College on a two-channel transmission, which should give a better imitation of room acoustics. This transmission is picked up by a recorder which must be a scale imitation of the human ear, and this recording is lastly played by two-channel headphones to a test person for evaluation.

Aspects of the design of such a recorder are the subject of the following. Apart from physiological questions, certain technical problems must be dealt with, as the transposition of frequency brings us into the ultrasonic range as far as 50 Kc/s.

## II. The Human Ear

**Properties.** In what way does the ear enable our orientation in our surroundings, independently of our other senses? This orientation on the part of the ear — which we know by experience to exist — comes from the ear's ability to tell the direction of a sound with good precision, and this ability again depends on three independent physical factors which are not summed up until their message is received by the brain.

1. A sound emanating from a point outside the body's plane of symmetry will be received more strongly by the closer ear, because the other ear lies in the acoustic shadow cast by the head.

2. This acoustic shadow must, however, be distinguished from optical shadows, because the wavelengths are of a different magnitude altogether, and it has been found that the shadow is deeper and more sharply defined for high frequencies than for lower ones; hence the ear will, in addition, draw certain directional conclusions from the frequency spectrum falling on it.

3. Also, the closer ear receives the sound a fraction before the other one and the resulting staggered double impression on the brain again helps to indicate the direction.

The ear's directional sensitivity mentioned under 1. above has been measured by Tröger<sup>5</sup> and is shown in Fig. 1, which also illustrates the more marked directional sensitivity for higher frequencies (2. above). The measurements were taken in the ear's horizontal plane — the vertical is normally less important and lends itself less to sound location because there is no time difference. The left ear response can be deduced from the right ear diagram of Fig. 1, by symmetry.

For true stereophony and particularly for model testing, a double microphone must be provided to reproduce each ear's directional qualities in respect to both angular and frequency characteristics, while the distance between these two microphones must be to exact model scale. In the rest of the circuit, every change of phase or unevenness of frequency response must be guarded against, but this is not a problem, as such apparatus is commercial.

**Ways of Approach.** It is natural to leave a complicated method until after failure of a simple one, and it is useful to examine the possibility of duplicating the ear's properties by a piston diaphragm in a plane wall of large dimensions compared to the wavelength, analogous to many ordinary transducers. However some calculation will show the impracticability of this method. The directional response of such a piston diaphragm can be calculated from the equation

$$I' = \frac{p_a}{p_{\max}} = \frac{2 J_1(x)}{x}$$

where  $x = \frac{2\pi R}{\lambda} \sin a$

- and
- $I'$  = directional coefficient,
  - $p_{\max}$  = sound pressure at any point,
  - $p_a$  = maximum sound pressure,
  - $J_1$  = first order Bessel function,
  - $R$  = radius of the piston diaphragm (see Fig. 3)
  - $\lambda$  = sound wave length,
  - $a$  = angle of sound incidence.

This equation is used inversely to calculate  $R$  from the directional diagram of Tröger, so that

$$R = \frac{\lambda}{2\pi \sin a} x$$

where  $x$  is supplied by one of the well known mathematical tables. The result, shown in Fig. 4, depends strongly on the frequency and angle of incidence, making this approach unsuitable.

The next, somewhat more complicated attempt, is shown in Fig. 5 and consisted of placing two piston diaphragms on a ball of roughly human head diameter, at a  $22\frac{1}{2}^\circ$  angle, corresponding to the maximum on the

Tröger diagram. Because of the general model procedure employed, considerably better results might be expected from this experiment, even if certain deviations still occur, particularly at a  $180^\circ$  angle of incidence, when the bending of sound rays play a certain part. Although similar cases have been calculated theoretically by Stenzel<sup>6</sup>, complicated mathematical functions have to be dealt with, so that it is really easier here to build just such a transducer and make direct measurements. This view is in addition supported by the fact that the likelihood of a calculation presenting a true picture decreases the more complicated it becomes, for real nature is too free to permit its becoming caged in a stiff mathematical framework.

### III. A Twin Eared Microphone to Scale

**The Sell Condenser Microphone.** With the general form of the imitation ear in view (Fig. 5), the constructional details can now be gone into. Condenser microphones seem to be the natural choice for distortion free handling of sound into the ultrasonic range, possessing a constant transmission factor  $B$  (Fig. 6) up to their resonant frequency  $f_0$ . For models to a scale of 1:10, this resonant frequency must be at least 50 Kc/s if a reasonably true picture is to be obtained, and this is not possible with conventional condenser microphones. Sell<sup>7</sup>, however, found a very neat solution: Fig. 7 shows a plastic diaphragm plated on one side and resting with its unplated side on a finely sand-blasted metal plate which forms the other electrode; due to the sand-blasting, the plastic diaphragm is supported on a multitude of points, being subdivided into many independently vibrating areas, each of a far higher resonant frequency. Electrically, this may be pictured as a large number of miniature condensers in parallel, which is just the connection to avoid an otherwise inevitable loss of sensitivity. However it was found that the diaphragm thickness of 6  $\mu$ m (0.00024") was far too great in comparison to the sand-blasting shown enlarged in Fig. 8, so that the majority of sub-areas were firmly supported and unable to swing, while the air cushion under the remaining sub-areas had no place to escape and prevented free vibration. Unnecessarily high resonant frequencies coupled with loss of sensitivity was the result.

A search was made for another simple way to roughen the surface of the supporting electrode, to approach the ideal form of Fig. 9 where the diaphragm, supported at  $c$ , is free to swing opposite  $a$  because the air can escape into the plug holes  $b$ . A number of trials with chemical or electrolytic etching agents, which are to a large degree capable of giving a desired surface by a suitable choice of materials, resulted in the form microphotographed in Fig. 10, although the reader may have difficulty in distinguishing between the supporting areas  $c$  (Fig. 9) and the active areas  $a$ , because of the very small difference in height. The degree of roughness has reached here the diaphragm thickness's order of magnitude, giving the

optimum between resonant frequency and sensitivity. The suitability of this method of etching, as well as its inherent ability to be reproduced, are confirmed by the frequency response curve of Fig. 11, where the smooth and flat response up to the very definite point of resonance give an indication of the very low statistical scatter of the surface's sub-areas.

For ease of comparison, the transmission constant  $B$  is expressed here in db over 1 mV/cm.μbar related to the radius of the supporting electrode's circular active area, as the sensitivity of transducers working on the Sell principle is roughly proportional to the square root of the total active area.

**The Twin-Eared Microphone.** The construction and appearance of the microphone are shown respectively in Figs. 12 and 13. A section of a sphere, or spherical ring 4, of insulating plastic, forms the main body of the microphone. Its diameter of 38 mm (1½") seems at first sight too large for a human head to a scale of 1:10, but as it was found that the directional response of the microphone was still not defined as sharply as the human ear, this increase of distance and resulting phase difference between the two "ears" is an attempt to compensate for this deficiency. Screwed into this spherical ring from underneath is a fibre wedge 5 supporting two small helical compression springs 2 which push against the aluminium supporting electrodes 3 mentioned in the preceding section. These electrodes are freely seated in the spherical ring at the previously mentioned angle of  $22\frac{1}{2}^\circ$  from the perpendicular to the plane of symmetry and each is kept in place by a 6 μm (0.00024") mylar foil cemented to the spherical ring around the openings for the supporting electrodes, where the spherical ring is flattened for this reason. The outside of the mylar foil is plated, the whole forming the vibrating electrode; the cementing obviates resonances which would be caused, especially in the ultrasonic range, by circumferential clamping, while the spring pressure combined with rounding of the supporting electrode's etched face assures an even pressure between the electrodes. A silver rivet on the inside end of each supporting electrode makes electrical connection by a tiny soldered wire 6 to the preamplifier which also forms the microphone stand and can be seen in Fig. 13. The whole sphere is coated with conducting silver, which forms the return earth connection to the metal tube screwed into the bottom of the spherical ring and simultaneously provides electrical shielding for the microphone. The removable aluminium cap 1 gives access to the inside of the instrument after assembly.

The electro-acoustic data for the microphone have already been given in the frequency (Fig. 11) and directional (Fig. 2) response curves. Of these, the former satisfies the specification for a flat response as far as 50 Kc/s, within which range the phase also remains constant, while the latter, referred to a model scale of 1:10, agrees quite satisfactorily, if not perfectly — which was hardly to be expected in view of the simplifications

of the imitation — with Tröger's diagram, and, in fact, this agreement is bettered by still smaller models.

Thus only one, of the ear's three ways of indicating direction, is not completely satisfied in the model, a fact which can be explained as follows: before reaching the human ear drum, sound must travel through the auditory passage, which acts together with the outer ear to give a special selectivity varying from individual to individual. In the model microphone, however, the receiving element is sitting right on the surface of the sphere, where it can be reached without hindrance by sound through a much greater angular range. Even at angles of incidence in the vicinity of  $180^\circ$ , there is little obstruction to sound pressure resulting from the bending of sound rays. This has already been calculated by Stenzel<sup>6</sup> and is proved again by the secondary maxima of Fig. 2, although in the equivalent curves of Fig. 1 for the real ear, such a secondary maximum is hinted at only for the highest measured frequency of 5 Kc/s.

However with regard to frequency response for various angles of incidence, the model is in good agreement with the ear, if we neglect Tröger's remarkable jump from 200 to 500 c/s. Lastly, the time difference is automatically fixed by the distance between the diaphragms, the enlargement of which compared to nature gives some psychological compensation for the insufficiently defined directional response, a fact which was already noted by Cordonnier<sup>8</sup> in the course of other experiments.

For the rest, the laws of dimensions in models can be interpreted so as to ensure that all requirements and approximations are carried over into the real building with common sense. Hence it can honestly be said that the above described instrument is fit to substitute for the human ear with good accuracy in an acoustic model test.

#### BIBLIOGRAPHY

(For the original German titles refer to the end of the original German of this article.)

- (1) W. Reichardt: *The Measurement of Acoustic Properties in Models*, Die Schalltechnik 22 (1957), pp. 1—9.
- (2) L. Cremer: *The Limits of Acoustic Planning*, Gravesano Review 2/3 (1956), pp. 10—33.
- (3) F. Spandöck: *Acoustic Model Testing*, Ann. Phys. 20, 5 (1934), pp. 345—360.
- (4) R. Boutros-Attia: *Ultrasonic Acoustic Experiments*, Dissertation, Technical College Karlsruhe, 1956.
- (5) J. Tröger: *The Outer Ear's Sound Reception*, Physikalische Zeitung 31 (1930), pp. 26—47.
- (6) H. Stenzel: *Guide to the Calculation of Sound Events*, Springer, Berlin, 1939.
- (7) H. Sell: *A New Capacitive Transducer of Mechanical and Electrical Vibrations*, Z. Techn. Phys. 18 (1937), pp. 3—10.
- (8) J. Cordonnier: *Stereophonic Sound Reproduction and Cinematographic Sound Recording*, Gravesano Review 7/8 (1957), pp. 9—27.

**1953 Theaterskandal in Mannheim**

**1956 Anerkennung in Boston**

**1957 Höhepunkt der Berliner Festwochen**

## **abstrakte oper**

**von boris blacher**

**Hermann Scherchen, Dirigent der Berliner Aufführung, leitete auch die nächsten Inszenierungen am 19. u. 20. April 1958 im Theater San Carlo, Neapel**

**KLAVIERAUSZUG DM 15.-**

**BOTE & BOCK**

**BERLIN · WIESBADEN**

**1953 Scandal at Mannheim**

**1956 Appreciation at Boston**

**1957 Sensation at the Berlin Festival**

## **abstrakte oper**

**by boris blacher**

**Hermann Scherchen, the conductor of the Berlin performance, also directed the subsequent productions of this opera on April 19th and 20th, 1958 in the Teatro San Carlo at Naples**

**VOCAL SCORE DM 15.-**

**BOTE & BOCK**

**BERLIN · WIESBADEN**

# Betriebserfahrungen mit einem neuen Regielautsprecher

von

DR. FRITZ ENKEL, Köln

## II.

### Die Akustik der Regieräume

Die subjektive Wirkung der Lautsprecherwiedergabe wird in hohem Maße durch die akustische Umgebung bestimmt. Die Voraussetzung zur Erzielung übereinstimmender Klangbilder ist daher die Herstellung vergleichbarer akustischer Verhältnisse in allen Betriebsräumen. Daher ist es zweckmäßig, allen Regieräumen eine einheitliche Nachhallzeit zu geben. Als günstig hat sich eine Nachhallzeit von 0,4 s, die auch die Abbildung punktförmiger Schallquellen erlaubt, erwiesen. Ein Abfall der Nachhallkurve ab 300 Hz, wie in *Abb. 6* dargestellt, erleichtert die gleichmäßige Verteilung der Schallenergie.

Die Wiedergabe tiefer Frequenzen ist infolge des Eigentonnetzes bei kleinen Räumen für den Einheitsregielautsprecher ausschließlich ein raumakustisches Problem. Bei der Forderung, den Lautsprecher als Bezugsschallquelle für Sendung und Produktion zu benutzen, ergibt sich die Notwendigkeit, die Abhörräume so zu gestalten, daß auch die tiefen Frequenzen bei allen Lautsprechern gleichartig aperiiziert werden.

Die Erzielung einer geraden Schalldruckkurve erweist sich jedoch durch die Eigentöne der Räume als außergewöhnlich schwierig. Eine rechnerische Ermittlung von Frequenz und Energieverteilung der Raumresonanzen ist für den eingeschwungenen Zustand auf wellenmechanischer Grundlage möglich (6), für den Betriebsmann jedoch zu aufwendig. Darüber hinaus ist der Aufwand selbst für einen Fachmathematiker groß, wenn es sich um die Berechnung des nicht eingeschwungenen Zustandes handelt. Daher erscheint ein empirisches Vorgehen in diesem Fall unvermeidlich.

Es kommt darauf an, vorhandene Regie-, Kontroll- und Tonträgeräume mit kleinstem Aufwand für eine hochwertige Lautsprecherwiedergabe herzurichten. Zur Ermittlung von geeigneten Maßnahmen hierfür wurde ein Versuchsraum von etwa 70 m<sup>3</sup> Volumen eingerichtet, bei dem die akustischen Verhältnisse weitgehend zu ändern waren.

Mit Rücksicht auf die Wiedergabe punktförmiger Schallquellen hatte sich eine Sabine'sche Nachhallzeit (512 Hz = 0,4 s) als günstig herausgestellt. Für eine ausreichende Verschmelzung der vom Hoch- und Tieftonteil abgestrahlten Schallereignisse ist die Anbringung einer reflektierenden Wand unmittelbar hinter dem Lautsprecher als zweckmäßig anzusehen.

In den so hergerichteten Raum wurde der Einheits-Regielautsprecher mit der von der Lieferfirma eingestellten Normal-Entzerrung gebracht und mit Terzrauschen der Einfluß der Eigentöne des Raumes auf den Verlauf der Schalldruckkurve in den drei Raumkoordinaten untersucht. Aus *Abb. 7* geht die Abhängigkeit des Schalldruckverlaufs von verschiedenen Stellen des Raumes bei einer Höhe von 1,80 m hervor. Es zeigt sich, daß die Schallfeldverteilung recht unterschiedlich ist. Für einen Abhörraum ist naturgemäß nur der Raumbereich von Interesse, indem sich die Ohren des Betriebspersonals befinden; das ist ein Volumenausschnitt, der sich in einem Abstand von 1 m bis 1,80 m vom Fußboden erstreckt.

Zum Ausgleich dieser Unterschiede bietet sich der Umstand an, daß das Band der durch ein Schallereignis angeregten Eigentöne mit kleiner werdender Nachhallzeit dichter wird. Ein stetiger Abfall der Nachhallkurve ab 300 Hz bis auf 0,2 s wurde in Bezug auf die Einebnung der Schalldruckkurve gut spürbar. Eine weitere Begradigung der Schalldruckkurve bei Frequenzen unterhalb 300 Hz läßt sich durch einige zusätzliche Helmholtz-Resonatoren erreichen, die an den Wänden an Stellen mit Druckbäuchen angebracht werden. Da bei den üblichen Raumgrößen der Resonator für die Einebnung sehr tiefer Raumresonanzen recht große Ausmaße annimmt, wird der tiefste Eigenton durch den Lautsprecher-Entzerrer ausgeglichen. Ortsabhängige Unterschiede in der Schalldruckverteilung werden bei der Einstellung des Lautsprecher-Entzerrers nach der Methode der Fehlerquadrate eingeebnet. In *Abb. 8* sind die Schalldruckkurven der schlechtesten und günstigsten Stelle, sowie die Kurve der Meßwerte nach der Mittelung in einem Tonträgeraum gezeigt.

Die frequenzabhängige Wirkung der Ausgleichvorgänge in Abhörräumen wird durch einen Impulstest ermittelt. Hierfür sind nach einem Vorschlag von *K. H. Adams* auf ein Magnettonband Impulse verschiedener Dauer aufgesprochen, die sich nach Terzen aufgeteilt über das ganze Frequenzband erstrecken. Diese Impulse mit einer Dauer von 3 ms, 6 ms und 1 s werden jeweils im Bereich einer Terz nacheinander abgespielt. Es zeigt sich hierbei, daß der bei der Wiedergabe über den Lautsprecher im Raum erreichte Pegel im Bereich der tiefen Frequenzen bis 600 Hz von der Impulsdauer abhängig ist. Bei mittleren und hohen Frequenzen sind Unterschiede nicht festzustellen. Dieser Pegelunterschied, der von Regieraum zu Regieraum recht beträchtlich sein kann, stellt eine individuelle raumakustische Eigenschaft dar.

### Auflösungsvermögen

Die Wiedergabe musikalischer Darbietungen mit dem Kugellautsprecher vermittelt einen plastischen Klangeindruck (7). Die vom Lautsprecher dargestellten Klangkörper erhalten dabei eine räumliche Struktur. Die ein-

zelen Schallquellen erscheinen deutlich gegeneinander abgesetzt, so daß die Illusion einer dreidimensionalen Staffe­lung hervorgerufen wird. Es handelt sich bei dieser Wiedergabe natürlich nur um eine Pseudostruktur, die mit der wirklichen Verteilung der Schallquellen nicht identisch ist.

Als Folge des Haaseffektes ist im diffusen Schallfeld für die Lokalisierung einer Schallquelle die das Ohr treffende Primärwelle maßgeblich (8). Bei der Lautsprecherwiedergabe tritt eine scheinbare Verbreiterung der übertragenen Schallquelle auf, deren Größe sowohl von der Nachhallzeit des Aufnahmestudios als auch des Abhörraumes abhängt. Hierdurch wird eine räumliche Wirkung erzielt, die mit in die akustische Gestaltung der Schallaufnahmen einbezogen werden muß. Welchen Einfluß dieser Effekt für das räumliche Empfinden annehmen kann, ist aus *Abb. 9* zu entnehmen. Hier ist unter den Abhörbedingungen einer normalen Hörerwohnung bei einer Nachhallzeit von 0,6 s versucht worden, die scheinbare Verbreiterung einer punktförmigen Schallquelle zu ermitteln.

Die Wiedergabe gesprochener Texte erfolgte aus Aufnahmeräumen mit verschieden großer Nachhallzeit über den Regielautsprecher. Die Versuchspersonen hatten die Aufgabe, den scheinbaren Ort der aus dem Lautsprecher kommenden Stimme zu bestimmen. Mit insgesamt 10 Tests je Versuch wurde die Streuung ermittelt, mit der die Lokalisierung möglich war. Je größer die scheinbare Breite, desto unsicherer war die Ortung der Schallquellen. Wurde die gleiche Stimme unmittelbar im Abhörraum geortet, so ergab sich eine Unsicherheit von etwa 3°. Der gleiche Versuch mit Klaviermusik führte zu ähnlichen Ergebnissen. Der bei gerichteter Schallabstrahlung entstehende Eindruck, daß der Schall aus einem Loch in der Wand kommt, verschwindet vollständig.

Wie *W. Kuhl* und *J. M. Zosel* (9) festgestellt haben, entstehen diese Wirkungen jedoch nur unter der Voraussetzung, daß zwischen Ohr und Kugellautsprecher ein bestimmter Grenzabstand eingehalten wird, bei dessen Unterschreitung das räumliche Klangbild in ein punktförmiges umspringt. Der Zusammenhang dieses Grenzabstandes mit der Entfernung des Kugellautsprechers von der reflektierenden Wand ist in *Abb. 10* dargestellt.

Die Untersuchung zeigt, daß bei kugelförmiger Schallabstrahlung, wie sie auch bei modernen Rundfunkempfängern vorhanden ist, der Nachhall bei der Aufnahme ein entscheidendes Mittel zur Vermittlung räumlicher Empfindungen sein kann.

### Hörphysiologische Wirkungen

Schwierigkeiten bei der Einführung des neuen Regielautsprechers sind hörphysiologisch begründet. Die Erweiterung des Frequenzbandes, die präzise Darstellung der Ausgleichsvorgänge und eine, den natürlichen Verhältnissen angepaßte Richtcharakteristik liefern Schallbilder, die sich von den mit üblichen Lautsprechern erzeugten unterscheiden. Die erforderliche Umstel-

lung, die ja nicht nur passiv ist, sondern auch ein aktives Eingreifen der an der Produktion Beteiligten verlangt, braucht naturgemäß seine Zeit.

Raumakustische Mängel der Studios und eine un­zweckmäßige Aufnahme­technik werden unbarmherzig aufgedeckt. Während bisher die wahrgenommenen Schallbilder von den zufälligen Eigenschaften der Regieräume und der Lautsprecher­systeme abhingen, steht jetzt ein definiertes und auch in anderen Abhörräumen reproduzierbares Schallfeld zur Verfügung. Dabei zwingen die in steigendem Umfang in den Mikrofonkanälen benutzten linearen Verzerrer zu eindeutigen Abhörbedingungen. Die gerade Frequenzkurve gehört dabei der Vergangenheit an. Eine Beurteilung der Schallbilder ist hier überhaupt nur möglich, wenn die Wiedergabebedingungen in allen Betriebsräumen auch verschiedener Rundfunkhäuser gleich sind.

Bei der Gestaltung der Aufnahmen können dem kritischen Ohr keine akustischen Einzelheiten entgehen, die sich beim Hörer störend bemerkbar machen würden. Dem Betriebspersonal wird durch den neuen Lautsprecher sowohl hörphysiologisch als auch hörpsychologisch mehr als bisher abverlangt. Die Aufmerksamkeit muß sich dabei auf zahlreiche akustische Erscheinungen richten, die früher unter der Bewußt­seinst­schwelle blieben. Die hierbei zu erwartende Belastung des Gehörs läßt sich wenigstens physiologisch in einem Feld der Kurven gleicher Lautheit darstellen. Bei einem Schallpegel, der einer Lautstärke von 86 Phon entspricht, wie sie zum kritischen Abhören in Regieräumen häufig vorhanden ist, wurde der Schalldruckverlauf in die von *Hardy* (10) angegebenen Lästigkeitskurven eingetragen. (*Abb. 11*). Es erweist sich bei dieser Lautstärke, daß im ganzen Hörbereich eine spürbare Belastung des Gehörs beim Zuhören zu erwarten ist.

- (6) *F. V. Hunt, L. L. Beranek u. D. Y. Maa*: Analysis of Sound Decay in Rectangular Rooms. *J. A. S. A.* 11 (1939) S. 80.
- (7) *V. Aschoff*: Probleme der elektroakustischen Einkanalübertragung. *Arbeitsgem. f. Forsch. d. Landes Nordrh.-Westf.* 33 (1953) S. 23.
- (8) *H. Haas*: Über den Einfluß eines Einfachechos auf die Hörsamkeit der Sprache. *Acustica* 1/2 (1951/52) S. 79.
- (9) *W. Kuhl u. J. M. Zosel*: Untersuchungen zur Stereophonie. *Ak. Beihefte* 2 (1956) S. 474.
- (10) *H. C. Hardy*: Tentative Estimate of a Hearing Damage Risk Criterion for Steady State Noise. *J. A. S. A.* 24 (1952) S. 756.

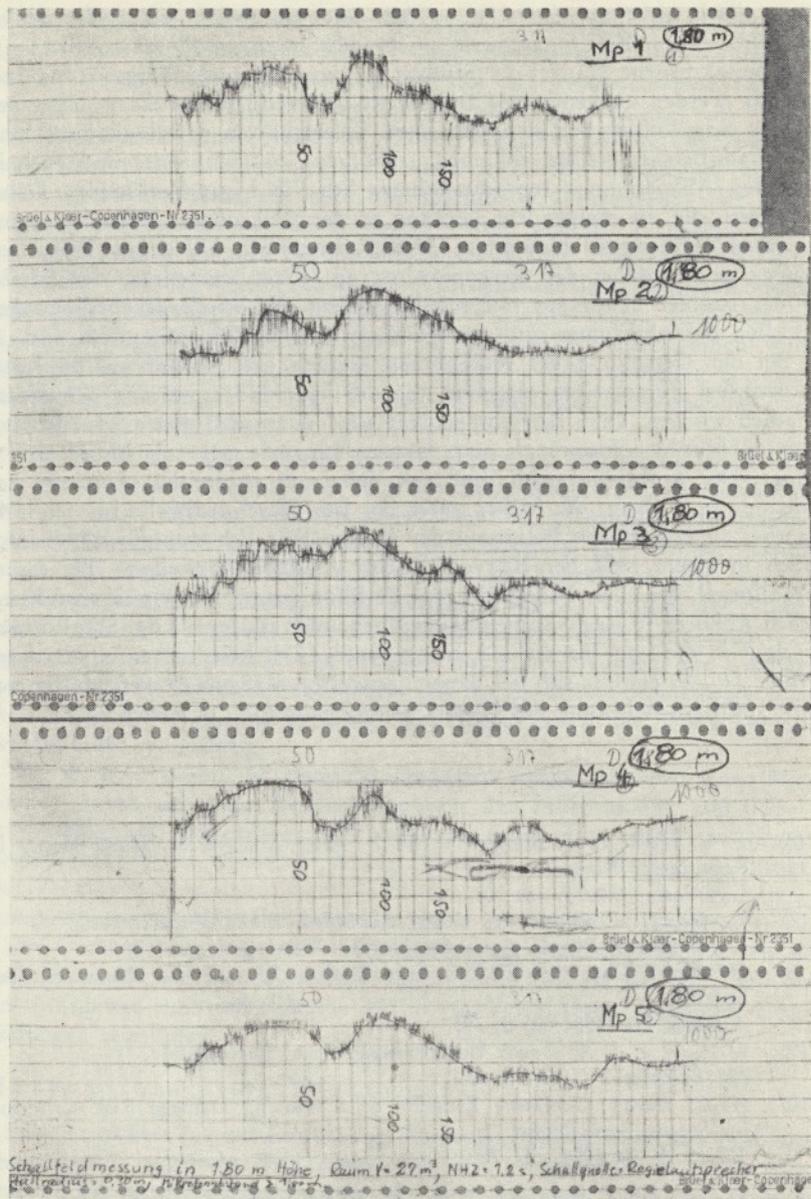


Abb. 7 Einfluß des Eigentonnetzes eines kleinen Raumes auf die Schalldruckkurve.  
 Fig. 7 Influence of resonance of a small room on the response curve.

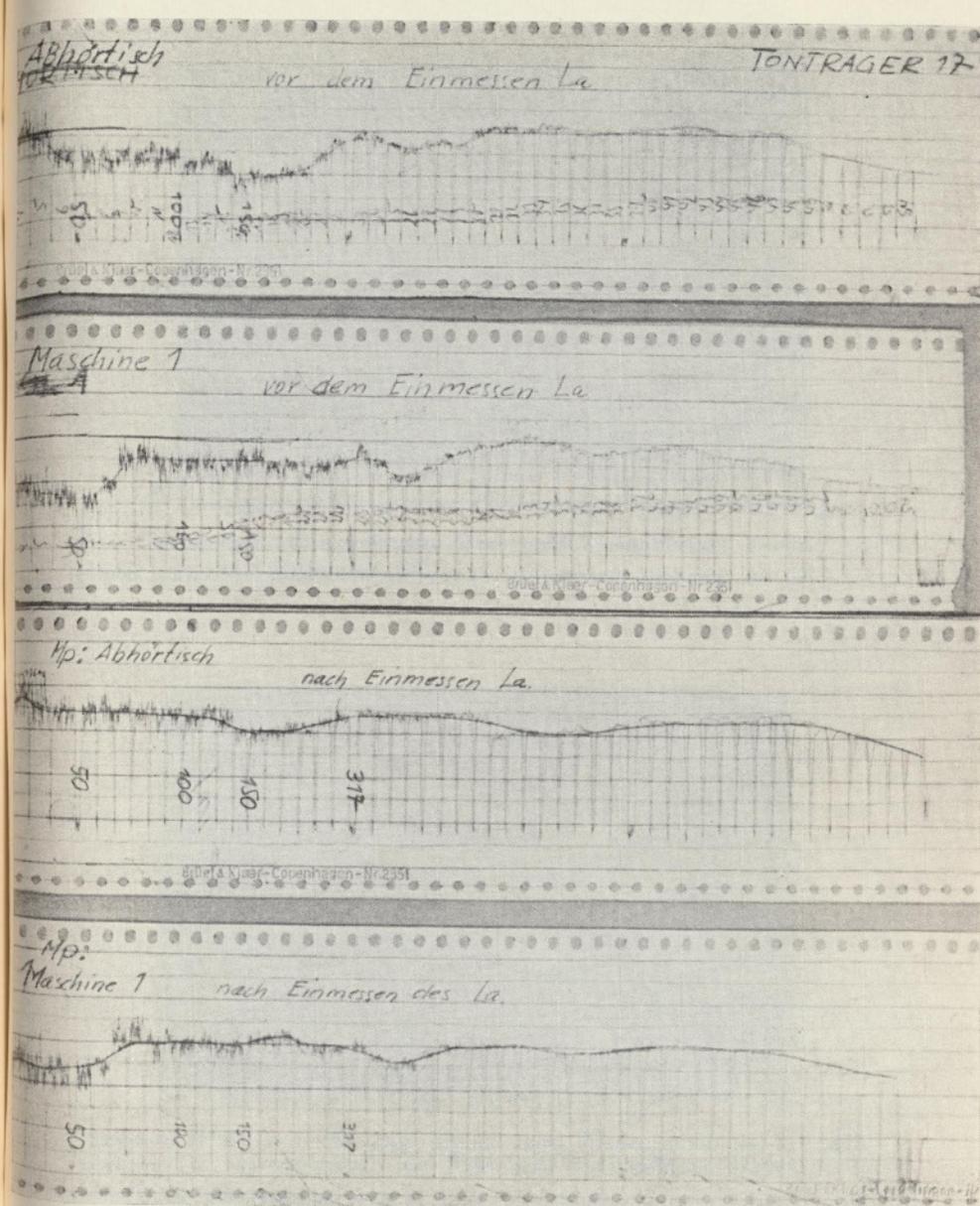


Abb. 8 Schalldruckkurve vor und nach der Einmessung des Lautsprechers.  
 Fig. 8 Response curve of the new loudspeaker before and after adaption to the room.

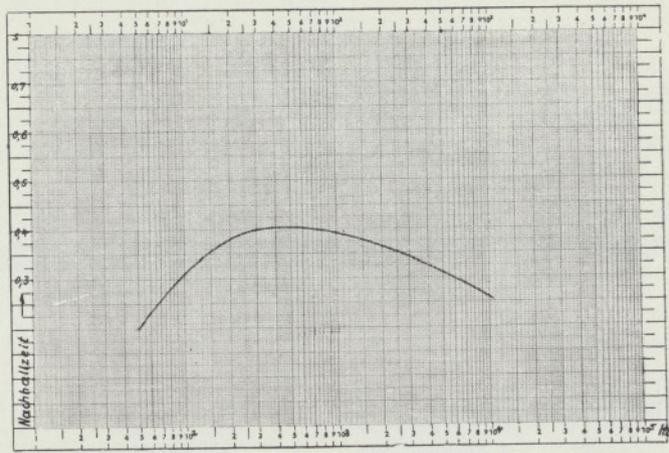


Abb. 6 Einheitlicher Verlauf der Nachhallkurve für Regieräume.  
 Fig. 6 Standard characteristic of reverberation time for control booths.

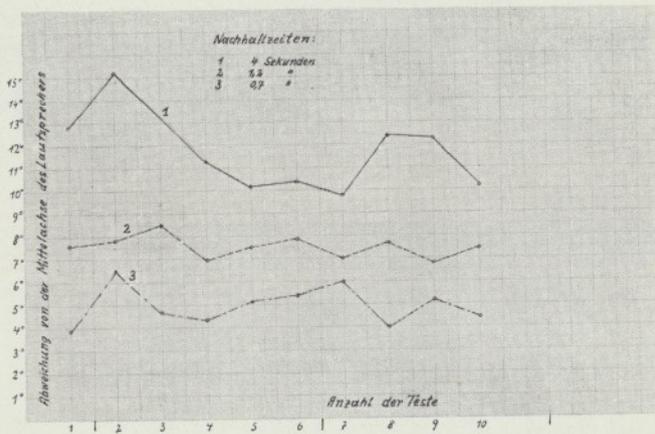


Abb. 9 Lokalisierungsschärfe beim Einheitsregielautsprecher für verschiedene Nachhallzeiten.  
 Fig. 9 Orientation of sound sources with the new loudspeaker at different reverberation times.

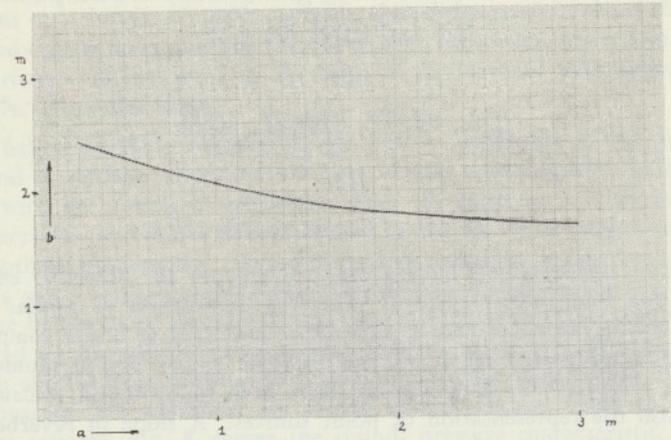


Abb. 10 Grenzabstände für den Hörer zur Erzielung räumlicher Wirkungen.  
 Fig. 10 Limiting distances between listener and loudspeaker for the achievement of three dimensional effects.

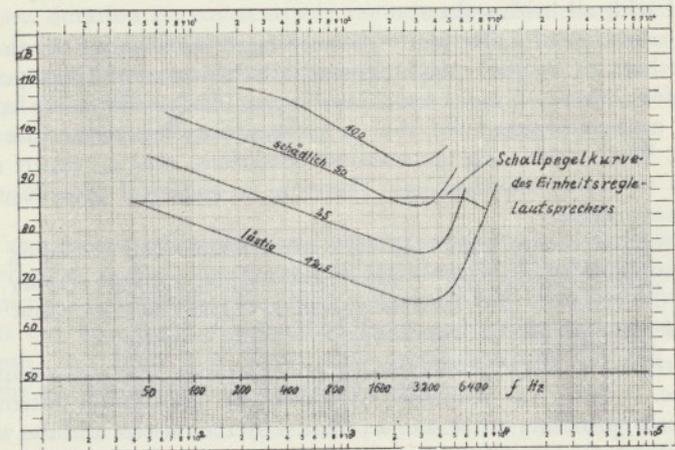


Abb. 11 Die Schalldruckkurve des Einheitsregielautsprechers im Felde gleicher Lautheit.  
 Fig. 11 Sound intensity characteristic of the new loudspeaker on an equal loudness graph.

# Experiences with a New High-Quality Loudspeaker for Control Booths

by

DR. FRITZ ENKEL, Köln

## II.

### Room Acoustics of the Control Booths

Acoustical surroundings have great influence on the objective effect of reproducing loudspeaker systems. For the realization of similar sound impressions in various rooms, it is therefore necessary to create comparable acoustical conditions. First of all, the different control booths should have the same reverberation time. 0,4 sec. have been found useful, because this allows also the representation of point sources. A slope in reverberation time above 300 c/s, as shown in *Fig. 6*, is favorable for a homogeneous distribution of the sound energy.

Due to the natural resonance of small rooms, the reproduction of very low frequencies by the new loudspeaker is exclusively a problem of room acoustics. Since the loudspeaker is intended as a reference sound source in transmission and production work, it is necessary to design the control booths in such a way that even the perception of the lowest frequencies is identical with all loudspeakers.

The realization of a flat sound pressure response, however, is extremely difficult because of the room resonance. Calculation of frequency and energy distribution of room resonances is possible for the steady state on a wave mechanical basis /6/, but is rather complicated for the studio engineer. When calculating the transient conditions, even an expert mathematician will meet complications. Therefore an empirical procedure seems to be unavoidable.

The problem was to alter existing control booths and recording rooms with a minimum of expenses, to make them suitable for high-quality reproduction. In order to find suitable measures, a test room of about 70 m<sup>3</sup> was used for experimental alterations of acoustic conditions.

With regard to the reproduction of point sources, a reverberation time of 0,4 sec. at 512 c/s as mentioned by *Sabine*, has been found suitable. For a satisfactory blending of the sound radiated by the tweeter and the woofer, a reflecting surface immediately behind the loudspeaker is useful.

In the thus prepared test room, the new loudspeaker was set up. The response characteristic of the speaker circuit was the standard curve adjusted by the manufacturer. Now the influence of the natural resonance of the room on the response characteristic was investigated by means of 1/3 rd

octave bands of noise. *Fig. 7* shows the response curve alterations at various positions at a height of 6 ft. Considerable differences in the distribution of sound can be observed. For control booths, however, only a limited part of the room is of interest. i. e. the range of the listeners' ears between 3 ft. and 6 ft. above the floor.

For balancing these differences, use can be made use of the fact that the band of resonant tones excited by a certain sound signal becomes more dense with decreasing reverberation time. A continuous decrease of the reverberation time above 300 c/s down to 0.2 sec. had remarkable effect in smoothing the response curve. For further flattening at frequencies below 300 c/s some additional Helmholtz resonators, fitted to the walls where pressure bulges exist, are useful. The lowest natural frequency, however, is balanced by the speaker circuit, since resonators for very low frequencies require considerable dimensions. Variations in the distribution of energy with position are equalized by means of the circuit, using the method of least squares. *Fig. 8* shows the sound pressure characteristic for the worst and most favorable position in a recording room as well as the curve after averaging.

The variation of transients with frequency in rooms is investigated by a pulse method. According to a suggestion of *K. H. Adams*, pulses of various durations extending over the entire range of frequency, and divided into 1/3rd octave bands, are recorded on tape. These pulses of 3 ms, 6 ms, and 1 sec. duration are consecutively reproduced within every 1/3 rd octave range. It has been found that below 600 c/s the level in the room depends on the pulse duration. At middle and higher frequencies no variations occurred. This difference in sound level is apt to vary widely among rooms and must be regarded as a property of individual room acoustics.

### Definition

The reproduction of musical performances with the non-directional loudspeaker gives a three dimensional impression /7/. The sound sources are transmitted by the loudspeaker with a spatial effect. The individual sound sources can be clearly distinguished from each other, giving an illusion of depth. This effect is of course only pseudostructural and not identical with the real distribution of the sound sources.

As a result of the Haas effect, the first sound wave meeting the listener's ear is decisive for locating a sound source in a diffuse sound field /8/. In loudspeaker reproduction, the transmitted sound source undergoes a certain apparent enlargement dependent on the reverberation times of both the studio and the control booth. Thus a three-dimensional effect is produced, which has to be considered in recording.

Fig. 9 shows the influence of this effect on the pseudo-stereophonic impression. Under conditions similar to those in a living room with a reverberation time of 0.6 sec., the apparent enlargement of a point source was studied. Examples of speech from rooms with different reverberation times were reproduced by the new loudspeaker. The observers had to determine the apparent position of the transmitted voice. From 10 tests per example, the scattering in orientation was evaluated. The larger the apparent width of the sound source, the more uncertain was the location. When locating the same voice in the control booth, uncertainty was about 3°. The same test executed with piano music had similar results. The impression often observed in directed sound radiation, that the origin of sound is a hole in the wall, is thoroughly eliminated.

According to W. Kuhl and J. M. Zosel [9] these effects, however, occur only if the distance between listener and non-directional loudspeaker is kept above a certain limit, below which the three-dimensional sound impression changes to a pointlike one. The connection between this limiting distance and the distance of the non-directional loudspeaker from the reflecting wall is shown in Fig. 10.

In this study it became obvious that in non-directional radiation, which is also the case for modern broadcast receivers, reverberation time can be used as a decisive means to transmit three-dimensional sensations.

### Physiological Effects

Some difficulties caused in introducing the new loudspeaker for control booths were due to the physiology of the human ear. The extended frequency range, the precise reproduction of transients, and a directional characteristic matching natural conditions, lead to sound impressions very different from those of conventional loudspeakers, and it naturally takes some time for the studio staff to adapt themselves, by conscious effort, to the new conditions.

Imperfections of the studios' acoustics, as well as inadequate recording techniques, become obvious. Up to now, the sound impressions were influenced by random properties of control booths and loudspeaker systems, whereas now a definite sound field is available, which can be duplicated in other control booths. In fact, the increasing use of linear filters in the microphone channel demands uniform listening conditions. The flat response curve has become obsolete. A criterion for judgement is only possible if reproduction conditions are identical even in control booths of various broadcasting houses. Not a single detail which could possibly disturb the listener must remain unnoticed by the critical ear, when arranging sound productions.

Both physiologically and psychologically, the new loudspeaker makes new demands on the producing staff. Attention must be paid to numerous acoustical features formerly remaining unnoticed. The physiological strain to be expected on the ear can be shown in a graph of isophonic lines. At a level corresponding to a sound intensity of 86 phons — a frequent occurrence for critical listening in control booths — the sound pressure characteristic was entered on the graph of discomfort curves of Hardy<sup>10</sup> (Fig. 11). It is shown that at this volume a marked physical strain is to be expected over the entire frequency range.



*Yannis Xenakis*

YANNIS XENAKIS

# A C H O R I P S I S

Hermann Scherchen dirigiert die  
Uraufführung dieses avantgardistischen  
Orchesterwerks: 20. Juli 1958 auf der  
Weltausstellung Brüssel

Taschenpartitur erscheint im Musikverlag \_\_\_\_\_

**BOTE & BOCK · BERLIN/WIESBADEN**



*Yannis Xenakis*

YANNIS XENAKIS

# A C H O R I P S I S

Hermann Scherchen will conduct the  
world premiere of this avantgardistic  
work on July 20th, 1958 at the World  
Fair in Brussels/Belgium

Miniature Score will be published by \_\_\_\_\_

**BOTE & BOCK · BERLIN/WIESBADEN**

## Verbesserungen der Wiedergabequalität

von

FRIEDRICH-KARL SCHRÖDER, Hannover

Von allen praktisch angewendeten Wandlerprinzipien ist das elektrodynamische das heute weitaus verbreitetste. Im Vergleich zum elektro-statischen Lautsprecher oder zum Ionenlautsprecher besitzt der dynamische Lautsprecher den Vorzug, daß er praktisch den gesamten Tonfrequenzbereich wiederzugeben vermag und dabei verhältnismäßig einfach herzustellen ist. Darüber hinaus zeichnet er sich durch eine gute Reproduzierbarkeit in der Serienfertigung, eine hohe Betriebssicherheit und lange Lebensdauer aus. Diese Eigenschaften überwiegen zur Zeit noch seine Nachteile, nämlich den relativ geringen Wirkungsgrad, der zu höheren Frequenzen hin rasch abnimmt, und die linearen und nichtlinearen Verzerrungen, die mit der Verwendung einer tief abgestimmten, in ihren Abmessungen begrenzten Membran mit all ihren Resonanzeigenschaften zusammenhängen. Der vorliegende Aufsatz befaßt sich speziell mit dem Tauchspul-Lautsprecher, mit Maßnahmen zur Verbesserung der Qualität des Einzellautsprechers, sowie der Kombination aus mehreren Einzellautsprechern.

In diesem Zusammenhang ist ein geschichtlicher Rückblick angebracht, der eine Abschätzung des Wertes späterer Verbesserungen erlaubt. Meines Wissens wurde eine dynamische Wandleranordnung, die bereits alle wesentlichen Merkmale des heutigen dynamischen Lautsprechers oder Mikrofons enthält, erstmalig von WERNER v. SIEMENS in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts gebaut. Es war dies ein Tauchspul-Mikrofon mit einer konusförmigen Papiermembran von etwa 10 cm Durchmesser, das im Siemens-Museum in München zu sehen ist. Der vor etwas mehr als 30 Jahren nahezu gleichzeitig von RICE-KELLOGG und RIEGGER angegebene Aufbau eines Tauchspul-Lautsprechers enthält als neues Merkmal die Elemente, die zur Erzielung einer tiefen Eigenresonanz dienen und eine stabile eindimensionale Bewegung der Schwingspule im Magnetluftspalt ermöglichen. Es sind dies die federnde Aufhängung des Membranrandes (Sicken) und des Membranhalses (Zentrierspinne). Aus einer anderen Patentanmeldung aus der gleichen Zeit stammt der Hinweis, daß ein starrer Kupferkurzschlußring im Magnetluftspalt im Schwingbereich der Tauchspule deren Selbstinduktion verringert und damit einen schwächeren Anstieg des elektrischen Scheinwiderstandes des Lautsprechers bedingt. Wird ein solcher Lautsprecher mit konstanter Spannung gespeist, so erzielt man bei höheren Frequenzen eine größere Schalleistung als bei einem Lautsprecher ohne Kurzschlußring. In späteren Jahren galten viele Untersuchungen dem Problem der schwingenden Membran. Die Erkenntnisse über die Biegewellenverteilung auf der Membran und die durch sie verursachten Verzerrungen

führten zu nichtabwickelbaren Membranformen, zu leichten aber steifen Membranmaterialien mit zweckentsprechenden inneren Verlusten. Federnde oder versteifende Maßnahmen werden an bestimmten Zonen der Membran getroffen oder nachträgliche Imprägnierungen vorgenommen. So gibt es heute eine Vielfalt von Membranausführungsformen mit spezifischen Vorzügen dieser oder jener Art, die insgesamt ein klares Bild über die Schwierigkeiten geben, die dem Konstrukteur beim Entwurf einer Membran erwachsen, wenn bestimmte Qualitätsanforderungen erfüllt werden sollen.

Jeder Lautsprecherkonstrukteur weiß, daß die Forderung nach einer ausgeglichenen Schalldruckfrequenzkurve, einem breiten Abstrahlwinkel, einem breiten Übertragungsbereich und einem Minimum an Verzerrungen einerseits, dabei aber eine hohe mechanische Belastbarkeit und ein konkurrenzfähiger Wirkungsgrad andererseits ein Problem darstellt, dessen optimale Lösung nur ein Kompromiß aus all diesen Forderungen sein kann und dabei bisher nur über den Weg des Probierens erreicht werden kann. Dabei erlauben zwar früher erworbene Erfahrungen eine Beschränkung des Zeitaufwandes für Musterausführungen, aber es ist durchaus nicht sicher, ob mit einem in der Praxis vertretbaren Musteraufwand für eine Membran bestimmter Abmessungen gleich gute Eigenschaften erzielt werden, wie sie für eine andere Membran mit etwas anderen Abmessungen bereits einmal erhalten wurden. Haben Variationen der Membranform und des Membranmaterials noch nicht ganz zum gewünschten Ziel geführt, so sind uns oft wertvolle Hilfsmittel in Materialien der modernen Kunststoffchemie gegeben, die zu einer nachträglichen Qualitätsverbesserung des Lautsprechers führen können.

Die folgenden Ausführungen sollen einen Überblick darüber vermitteln, welche Qualitätseigenschaften sich heute für das Massenprodukt „dynamischer Lautsprecher“ erreichen lassen. Als zusätzliche Maßnahmen werden die Auswirkungen der Anwendung von Kupferkurzschlußringen im Magnetluftspalt und von Imprägnierungen mit bestimmten Kunststoffen besprochen, die allerdings zu einer Erhöhung der Lautsprecher-Herstellungskosten führen, aber für die Serienfertigung brauchbar sind.

Als erstes sei die Wirkung eines Kupferkurzschlußringes [1] angeführt, der entweder im Loch der Polplatte oder auf dem zylindrischen Polkern des Lautsprecher-Magnetsystems oder auf beide verteilt angebracht wird. Es wäre ungünstig, ihn mit der Schwingspule zu verkoppeln, da hierdurch eine schädliche Erhöhung der schwingenden Masse bewirkt würde, die zu einem frequenzabhängigen Wirkungsgradverlust besonders bei hohen Frequenzen führt. Bei diesem Aufbau stellt die Schwingspule die Primärwicklung eines sekundärseitig kurzgeschlossenen Übertragers dar [2], [3]. Das Ergebnis dieser Maßnahme ist ein wesentlich geringeres Ansteigen des elektrischen Scheinwiderstandes der Schwingspule mit wachsender Frequenz

(Abb. 2 und Abb. 6) und damit eine bessere Ausnutzung eines Verstärkers mit kleinem Quellwiderstand. Die Auswirkung tritt naturgemäß erst bei höheren Frequenzen ein und führt bei günstiger Dimensionierung des Kurzschlußringes zur Erhöhung des Schalldrucks (Abb. 2, 6 und 11) und zur Verminderung der Ein- und Ausschwingverzerrungen (Abb. 3 und 4). Derartige Lautsprecher sind auch besonders vorteilhaft für Wiedergabeanordnungen, deren Übertragungsbereich mittels elektrischer Weichen auf mehrere Lautsprecher aufgeteilt ist (vgl. dazu Abb. 12). Der nahezu „konstante“ Lautsprecher-Scheinwiderstand erlaubt hier eine einfachere Dimensionierung der Weichenglieder mit Übertragungseigenschaften, die dem idealen Abschluß mit dem Wellenwiderstand nahekommen. Der quantitative Erfolg dieser Maßnahme besteht, wie auch die Diagramme zeigen, besonders darin, daß die abgestrahlte Schalleistung bei hohen Frequenzen bis auf den doppelten Wert der Schalleistung des gleichen Lautsprechers, aber ohne Kupferring, ansteigt. Gerade die Abb. 11 ist hierfür sehr demonstrativ. Hier ist einmal gegenübergestellt, welche Schalldruck-Frequenzkurven sich ergeben, wenn ein normaler Lautsprecher oder Kupferkurzschlußring mit konstanter Spannung bzw. mit konstantem Strom betrieben wird. Der gleiche Lautsprecher, jetzt mit einem Kupferkurzschlußring in Form eines Zylinders von 0,2 mm Wandstärke im Magnetluftspalt ausgerüstet, ergibt eine Schalldruck-Frequenzkurve, gemessen mit konstanter Spannung, die etwa in der Mitte zwischen den beiden vorher erwähnten Kurven verläuft. Dabei verdient der Hinweis Beachtung, daß in allen Fällen die mittlere magnetische Energie im Luftspalt der verwendeten Magnete die gleiche war.

Wenden wir uns nun den Möglichkeiten der Qualitätsverbesserung zu, die durch Imprägnierungen mit Kunststoffen erzielt werden können. Eine häufig zu beobachtende, unangenehme Eigenschaft der Lautsprechermembranen drückt sich durch scharfe Resonanzen und Antiresonanzen in der Schalldruckfrequenzkurve im Frequenzbereich um 1000 Hz herum aus. Es treten erhebliche Klirrfaktoren auf, die schon bei zugeführten elektrischen Leistungen von einem Fünftel der Lautsprecher-Nennbelastbarkeit Werte von 30 % und mehr annehmen können. Die oszillographische Darstellung in Abb. 3a gibt ein typisches Bild wieder. Man spricht bei dieser Erscheinung von Sickenresonanzen und deutet sie so, daß die von der Anregungsstelle der Membran in radialer Richtung zum Rande laufende Wellen sich mit den am Rande reflektierten Wellen zu stehenden Wellen auf der Membran zusammensetzen. Dabei entsteht ein weitgehender akustischer Kurzschluß zwischen äußeren und inneren Membranzonen. Aus verschiedenen Arbeiten [4], [5] ist zu entnehmen, daß bestimmte Kunststoffe mit gummiartigen Eigenschaften (z. B. Acrylsäurebutylester-Mischpolymere) zur Imprägnierung der Membranrandsicken geeignet sind und zur Unterdrückung der störenden Sickenresonanzen führen. Die Abb. 1, 3, 4 und 7 zeigen die Er-

folge, die mit Acronal 500 L der BASF Ludwigshafen als Imprägnierungsmittel erzielt wurden. Eine weitere Möglichkeit bietet sich durch Tauchen kompletter Membranen in einer Lösung aus Isocyanaten und hydroxylgruppenhaltigen Polyestern an, die einen kalthärtenden Kunststoff ergeben und in verschiedenen Härtegraden herstellbar sind. Ein Beispiel dafür zeigt Abb. 5. Auch hier ist der Sickenresonanzeffekt aufgehoben. Die vergrößerte Membranhärte führt zu einer Schalldruckerhöhung bei hohen Frequenzen, allerdings ist die Grundresonanz des Lautsprechers auch angestiegen. Dieser Nachteil ist aber vermeidbar. Ein weiterer Vorteil der Tauchung liegt darin, daß sich feuchtigkeitsfeste Membranen herstellen lassen, die vor allem für im Freien eingesetzte Lautsprecher unter dem Einfluß der Witterung geeignet sind.

Nach diesem Überblick über Möglichkeiten zur Qualitätsverbesserung des Einzellautsprechers erscheint eine Betrachtung über die akustischen Eigenschaften hochwertiger Rundfunkgeräte angebracht. Dabei wollen wir uns auf große Truhengeräte beschränken. In Abb. 10 ist der prinzipielle Aufbau einer solchen Truhe skizziert, bei der das elektrische Signal mittels einer Frequenzweiche auf mehrere Lautsprecher aufgeteilt wird. Als Schnittfrequenz wurde 500 Hz gewählt. Zur Abstrahlung der tiefen Töne dient ein 300 mm  $\varnothing$  Lautsprecher, der auf ein Gehäusevolumen von etwa 0,15 m<sup>3</sup> arbeitet und wobei dies Gehäuse als gedämpfte Baßreflexionen ausgebildet ist. Den Verlauf des elektrischen Scheinwiderstandes stellt die ausgezogene Kurve in Abb. 9 dar. Für Frequenzen oberhalb 500 Hz sind 4 ovale Lautsprecher verwendet, wie sie im oberen Teil der Abb. 11, Kurve 2, angegeben sind. Die Membranen dieser Lautsprecher haben keine Verbindung mit dem Gehäusevolumen des Tieftonlautsprechers. Diese Truhenanordnung wurde in einem Raum von etwa 60 m<sup>3</sup> Inhalt und einer mittleren Nachhallzeit von 0,5 s. geprüft. Die Messung erfolgte mit gewobbelten Sinustönen und einem Wobbelhub von etwa 10 % (maximal 200 Hz) der Meßfrequenz, wobei die Truhe vor der Mitte einer Wand stand und das Mikrophon (15 mm  $\varnothing$  der Kapsel) etwa 3 m Abstand vom Tieftonlautsprecher hatte. Für ein elektrisches Signal mit frequenzabhängiger Amplitude entsprechend dem unteren Teil der Abb. 8 ergab sich eine Schalldruck-Frequenzkurve entsprechend dem oberen Teil der Abb. 8. Bei tiefen und hohen Frequenzen ist etwa das Vierfache an Spannung zuzuführen als bei mittleren Frequenzen, um einen nahezu frequenzunabhängigen Schalldruckverlauf zu bekommen. Dieser Verlauf hat allerdings nur theoretischen Wert, denn erfahrungsgemäß ist schon bei ungerichteter Schallabstrahlung ein Abfall bei hohen Frequenzen erforderlich, um ein ausgewogenes Klangbild zu empfinden [6]. Bei einer mehr gerichteten Schallabstrahlung muß dieser Abfall noch etwas stärker erfolgen, um ein gleichermaßen angenehmes Klangbild zu erhalten. In der horizontalen Ebene gemessen ergibt dieser Truhenaufbau eine relativ gleichmäßige Winkelabhängigkeit des Schalldruckes, wie Abb. 10 zeigt.

Hiermit ist gewährleistet, daß sich nahezu unabhängig vom Abhörort überall der Eindruck gleicher Klangfärbung ergibt.

Unter Anwendung der im Vorhergehenden beschriebenen Möglichkeiten zur Qualitätsverbesserung wurden nun die akustischen Eigenschaften einer ähnlichen Truhenanordnung unter Benutzung der gleichen Lautsprecher untersucht. Die Schnittfrequenz der elektrischen Weiche liegt hier bei 250 Hz, um einen größeren Bereich von Oberwellen der Baßinstrumente auf die Mittelhochtonlautsprecher zu geben und damit die Wiedergabe der Ausgleichsvorgänge der Baßtöne zu verbessern. Der 300 mm  $\varnothing$  Tieftonlautsprecher besaß eine Acronalbehandlung der Membransicken und sämtliche Lautsprecher einen Kupferkurzschlußring im Magnetluftspalt. Außerdem war durch geeignete Dämpfungsmaßnahmen dafür gesorgt worden, daß, in dem in diesem Fall geschlossenen Tieftongehäuse keinerlei störende Gehäuseeigenschwingungen auftreten konnten. Mit Ausnahme der Grundresonanz des Tieftonlautsprechers und einer schwachen Störung im Bereich der Schnittfrequenz ergibt sich ein glatter, nur relativ gering ansteigender Verlauf des elektrischen Scheinwiderstandes (Abb. 12). Bei der Beurteilung der Schalldruck-Frequenzkurve (Abb. 12) ist außer des geänderten Meßraumes zu beachten, daß jetzt mit Terzrauschen gemessen wurde, wobei der Effektivwert der Rauschspannung jeder Terz konstant gehalten wurde. Dann wird der Gewinn an Schalleistung bei höheren Frequenzen deutlich. Allerdings ist ein Teil dieses Gewinns auf einen erheblich verbesserten Übertrager zurückzuführen. Beim Abhören dieser Anordnung fällt das im ganzen Übertragungsbereich ausgewogene Klangbild auf. Der Gewinn an Klarheit und Durchsichtigkeit der wiedergegebenen Schallereignisse tritt angenehm in Erscheinung. Das gilt besonders für die hohen und höchsten Frequenzen, deren saubere Wiedergabe bekanntlich einige Schwierigkeiten macht, wenn hinsichtlich des Aufwandes, der für Lautsprecheranordnungen für Rundfunkgeräte getrieben werden darf, aus Preisgründen Grenzen gesetzt sind.

#### Literatur

- [1] Internat. General Electric Comp., deutsche Patente Nr. 540 445 vom 7. 3. 1926 und Nr. 542 881 vom 19. 1. 1929.
- [2] H. Gommlich, Nachrichtentechnik 2 (1952) 11, S. 337.
- [3] G. J. Bleeksma und J. J. Schurink, Philips Techn. Rundschau 18 (1956/57) 10, S. 300.
- [4] H. Kalusche, Frequenz 6 (1952) S. 166.
- [5] G. Buchmann, Acoustica 4 (1954) 1, S. 63.
- [6] F. Enkel, Gravesaner Blätter III (1957) 9, S. 99.

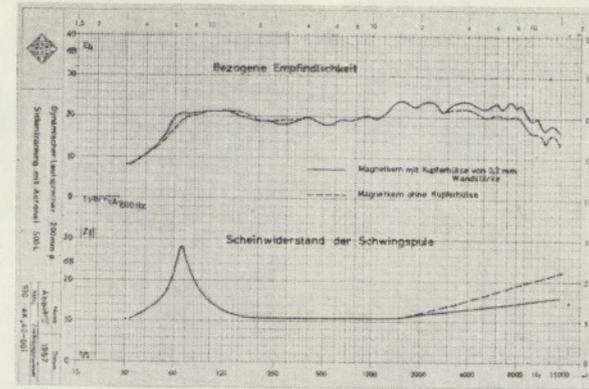


Abb. 1 Schalldruck und Scheinwiderstand in Abhängigkeit von der Frequenz. Dargestellt ist der Einfluß, den eine Imprägnierung der Membransicken ausübt.

Fig. 1 Frequency response and impedance characteristic. The influence of impregnation is shown.

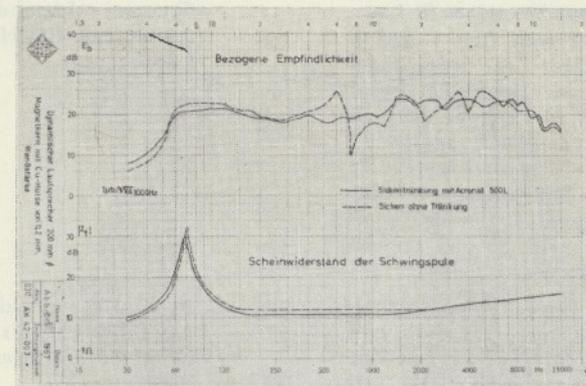


Abb. 2 Schalldruck und Scheinwiderstand in Abhängigkeit von der Frequenz. Dargestellt ist der Einfluß, den ein Kupferkurzschlußring im Magnetluftspalt ausübt.

Fig. 2 Frequency response and impedance characteristic. The influence of a short-circuiting copper disc in the air gap of the magnet is shown.

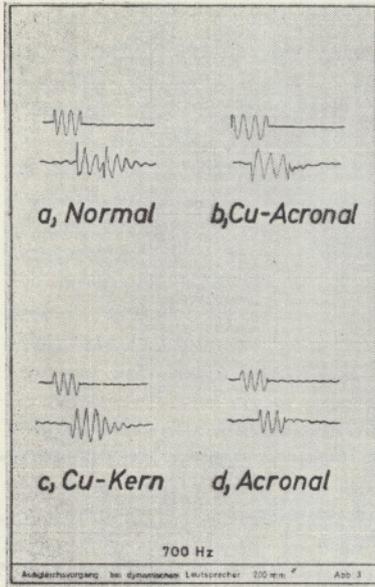


Abb. 3 Verhalten bei Betrieb mit geschalteten Sinustönen für Lautsprecher nach Abb. 1 und 2. Die obere Zeile jedes Bildes stellt das elektrische Signal an der Schwingspule dar, die untere Zeile das „akustische“ Signal. Geschaltet wurde ein 700 Hz Sinuston mittels Rechteckimpulsen von ca. 4 ms Dauer und 50 Hz Impulsfolgefrequenz.

Fig. 3 Behaviour of loudspeakers according to figs. 1 and 2 with pure tones. Every first line represents the electrical signal applied to the moving-coil, every second line shows the acoustic signal produced. A 4 ms pulse of 700 c/s was applied followed by a 50 c/s tone.

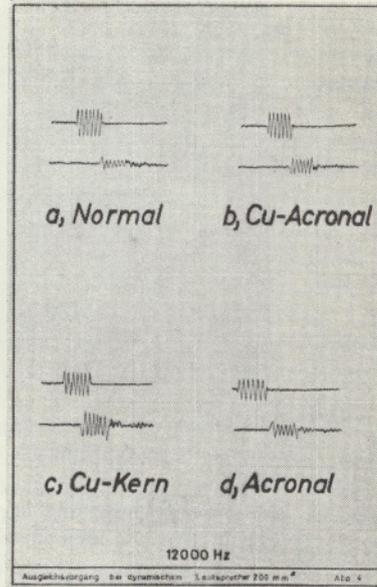


Abb. 4 Wie Abb. 3, aber für 12000 Hz Sinuston, Impulsdauer ca. 0,5 ms und 400 Hz Impulsfolgefrequenz.

Fig. 4 As Fig. 3, but with a 0.5 ms pulse of 12 Kc/s followed by a 400 c/s tone.

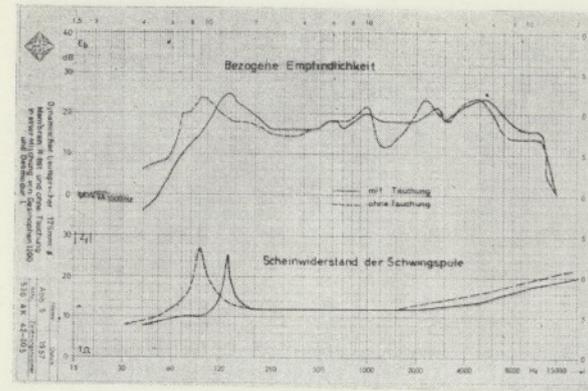


Abb. 5 Schalldruck und Scheinwiderstand in Abhängigkeit von der Frequenz. Dargestellt ist der Einfluß, den eine Tauchung der gesamten Membran mit Kunststoff ausübt.

Fig. 5 Frequency response and impedance characteristic. The influence of an immersion of the entire membrane in synthetics is shown.

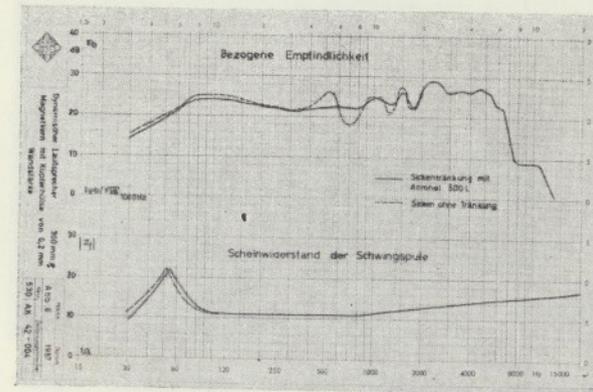


Abb. 6 Wie Abb. 2, aber dargestellt für einen Lautsprecher größeren Durchmessers.

Fig. 6 As fig. 2, but for a loudspeaker with greater diameter.

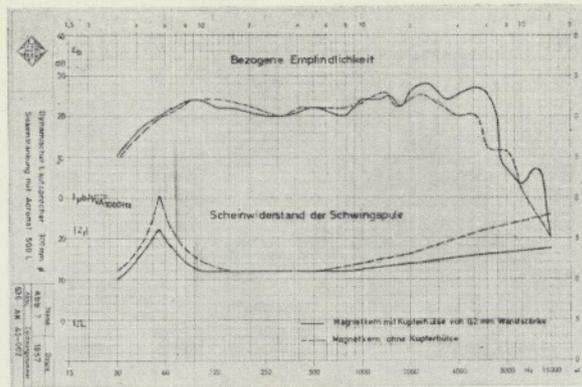


Abb. 7 Wie Abb. 1, aber dargestellt für einen Lautsprecher größeren Durchmessers.

Fig. 7 As fig. 1, but for a loudspeaker with greater diameter.

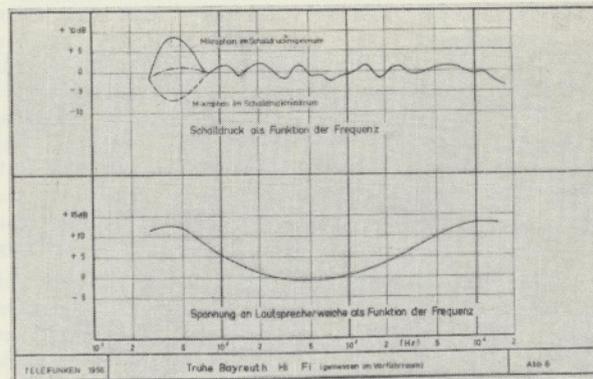


Abb. 8 Schalldruck in Abhängigkeit von der Frequenz für eine große Rundfunktruhe, gemessen in einem Raum mit Wohnzimmerseigenschaften.

Fig. 8 Frequency response of a large cabinet, plotted in an imitation living-room.

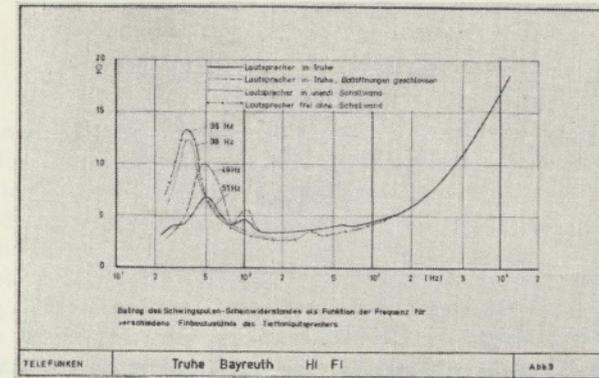


Abb. 9 Scheinwiderstand in Abhängigkeit von der Frequenz für den Tieftonlautsprecher einer großen Rundfunkgerätruhe bei verschiedenen Einbauszuständen. Die ausgezogene Kurve entspricht dem Einbauszustand gemäß Abb. 8 und 10.

Fig. 9 Impedance characteristic of the low frequency loudspeaker of a big cabinet for various mounting conditions. The continuous curve corresponds to the mounting represented in Figs. 8 and 10.

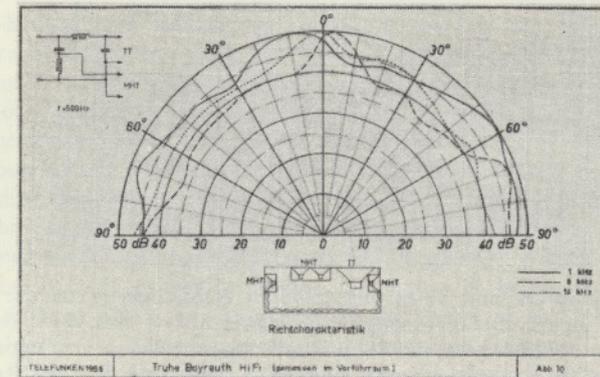


Abb. 10 Richtcharakteristik der Truhe gemäß Abb. 8 und schematische Darstellung der Lautsprecheranordnung.

Fig. 10 Directivity of the cabinet of fig. 8 and diagram of the loudspeaker arrangement.

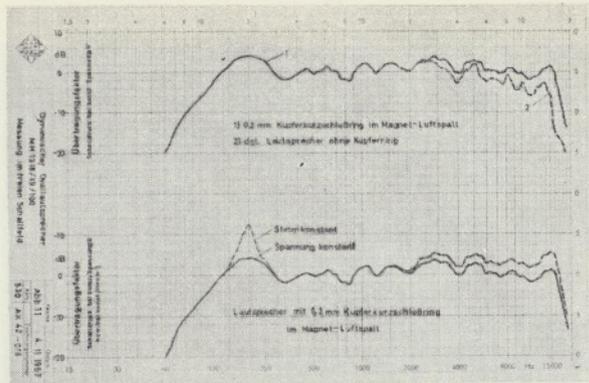


Abb. 11 Schalldruck in Abhängigkeit von der Frequenz für einen Oval-Lautsprecher, der zur Wiedergabe mittlerer und hoher Frequenzen ausgelegt ist. Gegenübergestellt sind die Schalldruck-Frequenzkurven, die sich bei Betrieb mit konstanter Spannung für den Lautsprecher ohne und mit Kupferkurzschlußring und bei Betrieb mit konstantem Strom ergeben.

Fig. 11 Frequency response of an oval loudspeaker for middle and higher frequencies, compared with and without short circuiting copper disc operated on constant voltage or constant current.

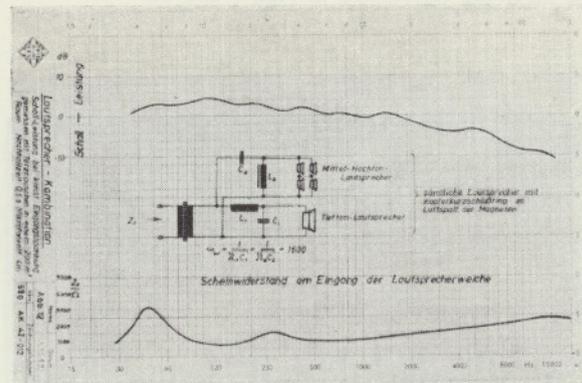


Abb. 12 Schalldruck und Scheinwiderstand in Abhängigkeit von der Frequenz für eine Truhenanordnung ähnlich der in Abb. 8, aber unter Verwendung von Lautsprechern, die durch Kupferkurzschlußringe und Imprägnierung der Membranen verbessert sind. Die Messungen sind mit Rauschen in Terzbandbreite in einem 200 m<sup>3</sup> Studio ausgeführt.

Fig. 12 Response and impedance characteristic of a cabinet similar to that of fig. 8, but with loudspeakers improved by the use of short circuiting copper discs and impregnation of the membranes. The curves are plotted with noise of 1/3 rd octave band-width in a studio of 200 m<sup>3</sup>.

## Improvements of Reproduction Quality

by

FRIEDRICH-KARL SCHRÖDER, Hannover

At present the electro-dynamic principle is most frequently used in practice for electro-acoustic transducers. In comparison to the electrostatic and the ion-loudspeaker the dynamic speaker offers the advantage of a very good frequency response characteristic covering practically the complete audio range. In addition, manufacturing is relatively simple. Further remarkable features are consistency in mass-production, reliability, and durability. These properties still outweigh the disadvantages, such as a relatively small efficiency declining rapidly to higher frequencies, and linear and monlinear distortions due to the low resonant membrane of limited dimensions. This paper deals especially with the moving-coil speaker, discussing measures for the improvement of the single speaker as well as the combination of several individual systems.

In this connection a historical review is advisable, providing facts for the appreciation of subsequent improvements. As far as I know, it was Werner v. Siemens, who during the 2nd half of the previous century constructed for the first time a dynamic transducer showing already all essential features of the modern dynamic speaker or microphone. This transducer was a moving-coil microphone with a conical paper-membrane of about 10 cm diameter, and is now in the Siemens-Museum in Munich. The dynamic loudspeaker described about 30 years ago nearly simultaneously by Rice-Kellogg and Riegger contains as a new feature those components which are used for the production of a low natural resonance and allow at the same time a steady, unidirectional movement of the coil within the air-gap of the magnet. They are the elastic suspension of the membrane edge (corrugation), and of the membrane-neck (spider). Another patent application of the same period provides the hint, that a rigid short-circuiting disk of copper within the air-gap reduces the self-induction of the coil within the vibrating range, thus entailing a flatter curve for the electric impedance of the loudspeaker. If such a speaker is fed with constant input, the acoustic power at higher frequencies is better than that of a speaker without short-circuiting disc. In the course of the following years the problem of the vibrating membrane was rather frequently investigated. The knowledge of distortions caused by the distribution of bending waves on the membrane led to non-developable membranes, light but stiff material for the membrane with reasonable internal loss. Measures were taken to increase flexibility or rigidity on certain zones of the membrane or a supplementary impregnation was effected. The variety of membrane forms,

with special advantages of this or that kind, show clearly which difficulties are met by the designer, in case certain standard claims shall be fulfilled.

It is well known to all designers of loudspeakers, that the aim for a well balanced frequency response characteristic, wide radiation angle, large transmission range, and small distortion together with high mechanical strength and competitive efficiency is a problem which can only be solved by a compromise among these aims and through experimental procedures. Former experience of course, is time-saving in the design of models; but the designer can never be sure whether he is able to realize the same good characteristics for a membrane with certain dimensions and reasonable display as were gained in former experiments with another membrane of slightly different dimensions. In case alterations of shape and material of the membrane do not quite fulfil the desirable aim, modern synthetics are sometimes valuable means for a subsequent improvement of the loudspeaker.

The following elucidations are intended to give a survey of those characteristic qualities of the dynamic loudspeaker, which can be realized at present in mass-production. As additional measures both the effect of short-circuiting copper-discs within the airgap and of the impregnation with certain synthetics are discussed. Although these measures will increase the cost of manufacture, they are suitable for series production.

First of all the effect of a short-circuiting copper-disc [1] may be mentioned, being mounted either within the gap of the pole-plate or on top of the cylindrical pole-core of the speaker magnet, and sometimes on both components partly. A coupling with the moving-coil would be unfavourable because of an undesired increase of the vibrating mass causing a frequency-dependent loss of efficiency especially at higher frequencies. In this arrangement the moving-coil represents the primary winding of a transformer short-circuited at the secondary winding [2, 3]. As a result, there is an essentially smaller increase of the moving-coil impedance with growing frequency (fig. 2 and 6) and thus better efficiency of amplifiers with small source impedance. Naturally the effect occurs at higher frequencies only. By adequate sizing of the short-circuiting disc both an increase of the sound pressure (fig. 2, 6 and 11) and a reduction of transient distortions (fig. 3 and 4) can be brought about. Such speakers are especially advantageous for sound reproducing cabinets with several loudspeakers, in which the transmission range is split up by means of a separating filter (fig. 12). The nearly constant speaker impedance allows in this case a more simple design of the separating filters and transmission properties, approaching the ideal termination with the surge-impedance. As can be seen from the diagrams, the quantitative gain of this measure is, that the radiated sound energy at high frequencies can reach twice the value of the same speaker without copper disc. This becomes especially clear from

fig. 11. In this chart the frequency response curves of a normal loudspeaker without short-circuiting copper-disc operated once with constant current and once with constant voltage are compared. The same speaker, provided with a cylindrical short-circuiting copper-disc of 0,2 mm thickness within the air-gap, produces a frequency-response characteristic running about in the middle of the above-mentioned curves. It is of importance to note that the average magnetic energy within the air-gap of the magnets was the same in all cases.

Now we come to the possibility of improving the quality by impregnation with synthetic products. One frequently observed unpleasant characteristic of loudspeaker membranes, is sharp resonances and anti-resonances of the frequency response curve in the vicinity of 1000 c/s. Relevant distortions occur, amounting to 30 % and more, even if the applied energy is not more than  $\frac{1}{5}$ th of the nominal load of the loudspeaker. The oscillogram in fig. 3a shows a typical example. This phenomenon is called „corrugation-resonance“ and is explained as follows: the waves spreading from the exciting point of the membrane to the edge in radial direction meet with the waves reflected from the edge and form standing waves on the membrane. By this phenomenon an appreciable acoustic short-circuit of outer and inner zones of the membrane is effected. Due to various publications [4], [5], certain synthetics with rubber-like properties (e. g. polymer mixtures of acrylic acid butylester) are suitable for the impregnation of membrane corrugations and result in a suppression of the disturbing corrugation resonances. Fig. 1, 3, 4 and 7 show the success obtained by impregnating with Acronal 500 L (BASF Ludwigshafen). A further possibility is the immersion of the entire membrane in a solution of isocyanate and polyesters containing hydroxyl groups. They yield a cold hardening synthetic and are produced in different degrees of hardness. An example is shown in fig. 5. Here too the effect of corrugation resonances is eliminated. The greater stiffness of the membrane results in a higher sound pressure at high frequencies though there is also an increase in the fundamental resonance of the speaker. This drawback can, however, be avoided. As another advantage of the immersion it becomes possible to produce moisture-resistant membranes for outdoor-loudspeakers exposed to atmospheric influence.

After this review on the possibilities for an improvement of the quality of single speakers, it may be necessary to contemplate the acoustic properties of modern good-quality receivers. We will, however, limit ourselves to a discussion of large cabinet models. Fig. 10 shows the principal arrangement of such a cabinet in which the electrical signal is distributed among several loudspeakers by means of a separating filter. The crossover frequency is 500 c/s. For the radiation of low frequencies a 12" loudspeaker is used, working in a bass-reflex box with a cabinet volume of about 0,15 m<sup>3</sup>. Fig. 9 shows the course of the impedance characteristic. For frequencies above

500 c/s four oval speakers are used as shown in the upper part of fig. 11, curve 2. The membranes of these speakers have no connection with the cabinet volume of the low-frequency-loudspeaker. This cabinet was tested in a room of about 60 m<sup>3</sup> with an average reverberation time of 0.5 s. The measuring was executed with wobbled sine waves and a wobbling modulation of about 10% (maximal 200 c/s) of the test frequency. During this procedure the cabinet was standing at the middle of a wall, whilst the microphone (15 mm cell diameter) was placed 3 m from the low-frequency loudspeaker. A signal with frequency-dependent amplitude according to the lower part of fig. 8 had a frequency response characteristic as shown in fig. 8, upper part. In order to achieve a nearly frequency-independent response curve, about four times the voltage is needed at low and high frequencies than at middle ones. This course is of theoretical value only, since it is known from experience that even in non-directional radiation a decrease at high frequencies is necessary to create the impression of a well balanced reproduction. In directional radiation this drop has to be somewhat more marked in order to achieve a comparable sound impression. As can be seen from fig. 10, the measurement of this cabinet in the horizontal plane shows a relatively uniform angle-dependence of the sound pressure. This assures that a listener has always the same sound impression, regardless of his position in the room.

With use of the above described possibilities for the improvement of the loudspeaker's quality, the acoustic properties of a similar cabinet with the same loudspeakers were investigated. The crossover frequency here is 250 c/s in order to transfer a greater proportion of harmonics of the bass-instruments to the middle-frequency loudspeakers, thus improving the transient response of low frequencies. The corrugations of the 12" woofer were treated with Acronal and all loudspeakers were provided with a short-circuiting copper disc in the air gap. Furthermore, precautionary damping measures were taken to prevent disturbing cabinet resonances in the closed bass-box. With exception of the fundamental resonance of the woofer and a small disturbance in the vicinity of the crossover frequency the result is a smooth, slightly increasing impedance characteristic. (Fig. 12) When judging the frequency-response curve (fig. 12) it must be considered that besides the use of another test room the measurement was executed by means of noise divided into 1/3rd octave bands. The root mean square value of the noise voltage was kept constant for each 1/3rd octave band. Only then the gain of sound energy at higher frequencies can be appreciated. Part of this gain, however, is due to a considerably improved transformer. The well balanced reproduction of this cabinet over the entire transmission range is evident, and a pleasant improvement in clarity and definition can be noticed. This is especially true for higher and highest frequencies, whose clear reproduction is rather difficult to achieve, if the outlay for loudspeakers in receivers is restricted for economical reasons.

## THE MUSICAL TIMES

Since 1844 this monthly chronicle of musical thought and events has served all who are concerned with music, from the musicologist to the appreciative listener. Apart from critical reviews of concerts, operas, books, and music, the journal contains articles that touch upon every aspect of music.

Published on the first day of each month, THE MUSICAL TIMES can be obtained on subscription.

DETAILS FROM

**NOVELLO & COMPANY LIMITED**  
**160 WARDOUR STREET - LONDON W1**

Diese in englischer Sprache erscheinende Zeitschrift dient seit 1844 allen denen, die sich mit Musik befassen, vom berufsmäßigen Musikwissenschaftler bis zum verständnisvollen Musikliebhaber. Außer kritischen Berichten über Konzert und Oper in allen Ländern, über Musikbücher und Musikalien, enthält jede Nummer wertvolle Artikel, die jedes Gebiet der Musik berücksichtigen.

Die Zeitschrift erscheint am ersten Tag jedes Monats und ist im Abonnement erhältlich.

ALLE AUSKUNFTE VON

WESTMINSTER

NEW YORK

---

Verlangen Sie bei Ihrem Schallplattenhändler

VON SCHERCHEN DIRIGIERT  
und eben erschienen

SCHEHERAZADE,  
BOLERO UND  
MEPHISTO-WALZER

Scherchen-Aufnahmen gibt es jetzt auch auf  
WESTMINSTER-SONOTAPE

Westminster-Sonotape: Die beste stereophonische  
Klangwiedergabe

---

WESTMINSTER

NEW YORK

WESTMINSTER

NEW YORK

---

Don't miss the outstanding Westminster releases

SCHERCHEN CONDUCTING

SCHEHERAZADE,  
BOLERO AND  
MEPHISTO WALTZ

Scherchen recordings are now also available on  
WESTMINSTER SONOTAPE

Westminster Sonotape: The greatest in  
stereophonic sound

---

WESTMINSTER

NEW YORK

## Aus einem Brief an Hermann Scherchen

von  
LE CORBUSIER

„... ich empfang diesen Morgen einen Brief von Karl Amadeus Hartmann (Leiter der Musica Viva-Konzerte, München), in dem er mich um Zeichnungen für eines seiner musikalischen Programme bat. Ich werde ihm positiv antworten, da ich diese Absicht, auf eine heutige Weise das Denken und die Aesthetik in ihren musikalischen, plastischen und selbst literarischen Kundgebungen miteinander zu verbinden, durchaus billige.

Erst jetzt fand ich den Begriff, der die Bemühung auszudrücken vermag, welche ich seit zwei Jahren für Philips unternommen habe\*; er heißt: Elektronische Spiele. Ich bin überzeugt, daß es sich damit um einen bedeutsamen Schritt in die Zukunft handelt. Schon heute ist mir gelungen, an drei Stellen in Asien und in Europa Vorrichtungen einzuführen, welche es ermöglichen werden, versammelten Menschenmengen elektronische Spiele vorzuführen, welche nach neuen Komponisten und nach neuen szenischen Lösungen verlangen. Sind Theater und Konzerte doch schon zu lange am Sterben und befinden sich wie die Malerei in einer kritischen Situation...“

\* Siehe Heft IX Jahrgang 3 der Gravesaner Blätter, den Artikel von Janis Xenakis: Le Corbusiers ‚Elektronisches Gedicht‘.

## From a Letter to Hermann Scherchen

from  
LE CORBUSIER

“... I received this morning a letter from Karl Amadeus Hartmann (director of the Musica Viva Concerts, Munich), asking me to design one of his programmes. I will give him a positive answer — I approve of this idea of aligning contemporary thought and feeling in their musical, plastic and even literary manifestations.

“Only in the last few days have I been able to find the right word for my last two years' work for Philips\*: 'Electronic play'. I am convinced that with it an immense vista is opening for the future. Already in three places in Europe and Asia have I introduced facilities to present before a crowd of people this electronic play, calling for new composers and new settings. For a long time the theatre has been degenerating, the concert degenerating, painting in a critical situation...“

\* See 'Le Corbusier's Electronic Poem' by Yanis Xenakis in the Gravesano Review, Vol. 9.

## Psycho- und Elektroakustik der Schallbildsynthese

von  
FRITZ ENKEL

### A. PSYCHOAKUSTIK

1. *Beispiel:* Hörschwelle  
Der Schallpegel von zwei Tönen verschiedener Frequenz wird gleichmäßig vermindert. Dabei sinkt der tiefere Ton zuerst unter die Hörschwelle ab, während der höhere weiterhin wahrnehmbar bleibt. (6 Mal)
2. *Beispiel:* Tonkennzeit  
Das Fragment einer Melodie wird mit steigender Geschwindigkeit wiedergegeben. Überschreitet die Geschwindigkeit, mit der die Töne aufeinanderfolgen, eine gewisse Grenze, so kann die Melodie nicht mehr verfolgt werden. (9 Mal)
3. *Beispiel:* Verdeckung  
Der Pegel von weißem Rauschen wird soweit erhöht, daß ein 1000 Hz-Ton durch Verdeckung unhörbar wird. (2 Mal)
4. *Beispiel:* Überschwelliges Hören  
Die Fähigkeit des Ohres, Schallereignisse oberhalb der Hörschwelle wahrzunehmen, wird mit einem konstanten Rauschpegel und sich definiert vermindern den Tönen im gesamten Hörbereich geprüft. (4 verschiedene Beispiele)
5. *Beispiel:* Logatome
  - a) 4 Logatome mit einer Grenzfrequenz von 15 kHz.
  - b) 7 Logatome, deren Konsonanten mit der halben Bandgeschwindigkeit der Vokale wiedergegeben werden.
  - c) 4 Logatome mit einer Grenzfrequenz von 1 kHz.
  - d) 6 Logatome, bei denen der Frequenzbereich zwischen 1 kHz und 6 kHz durch eine Bandsperre unterdrückt wird.
6. *Beispiel:* Typologie des Gehörs  
Musikaufnahmen mit einer Grenzfrequenz von 15, 12, 10, 8 und 6 kHz, wobei der „lineare“ Hörer den Unterschied viel früher als der „polare“ merkt.

### B. ELEKTROAKUSTIK

7. *Beispiel:* Frequenzbandspreizung und -schrumpfung
  - a) Verhaltete Impulse
  - b) Glocke
  - c) Sprache rückwärts
  - d) Zuschlagende Tür
  - e) Klopfen mit einem Bleistift.
8. *Beispiel:* Farbige Rauschen  
Weißes Rauschen wird über Filter wiedergegeben.
9. *Beispiel:* Ringmodulator  
Sinustöne und Rauschen werden über Ringmodulator geschaltet.

# Psycho and Electro-Acoustics of Sound Synthesis

by

FRITZ ENKEL

## A. PSYCHO-ACOUSTICS

- Example 1.* Threshold of hearing  
The level of two tones is evenly reduced: the lower tone is the first to fall below the threshold of hearing, while the higher tone remains audible. (6 times)
- Example 2.* Recognition time  
A melodic fragment is repeated at increasing speed: if the speed, at which the tones follow one another, exceeds a certain limit, the melody can no longer be followed. (9 times)
- Example 3.* Masking  
The level of white noise is raised until a 1000 c/s tone is masked out of hearing. (2 times)
- Example 4.* Hearing ability above the threshold  
The ear's ability to take conscious note of acoustic events above the hearing threshold is tested by constant noise level and evenly diminishing tones throughout the audio frequency range. (4 different examples)
- Example 5.* Logatoms  
a. 4 logatoms with a 15 Kc/s frequency limit  
b. 7 logatoms with their consonants played at half speed  
c. 4 logatoms with a 1 Kc/s frequency limit  
d. 6 logatoms with a gap between 1 and 6 Kc/s produced by a band stop filter.
- Example 6.* Typology of hearing  
Music with frequency limits at 15, 12, 10, 8 and 6 Kc/s respectively: the "linear" type of listener will notice the difference long before the "polar" type.

## B. ELECTRO-ACOUSTICS

- Example 7.* Stretching and shrinking of the frequency band  
a. Exponentially decaying pulses  
b. Bell  
c. Speech in reverse  
d. Banging door  
e. Tapping pencil
- Example 8.* Coloured noise  
White noise reproduced through filters.
- Example 9.* Ring modulator  
Pure tones and random noise reproduced through the ring modulator.

# NEUE GESAMT-AUSGABEN

JOHANN SEBASTIAN BACH	Bach-Institut Göttingen und Bach-Archiv Leipzig
CHRISTOPH WILLIBALD GLUCK	Institut für Musikforschung, Berlin und Stadt Hannover
GEORG FRIEDRICH HÄNDEL	Professor Dr. Max Schneider und Professor Dr. Rudolf Steglich
ORLANDO DI LASSO	Academie Royale de Belgique und Bayerische Akademie der Wissenschaften
LEONHARD LECHNER	Heinrich-Schütz-Gesellschaft
WOLFGANG AMADEUS MOZART	Internationale Stiftung Mozarteum Salzburg
GEORG RHAU	Concordia Publishing House, St. Louis
HEINRICH SCHÜTZ	Neue Schütz-Gesellschaft
GEORG PHILIPP TELEMANN	Gesellschaft für Musikforschung
JOHANN WALTER	Concordia Publishing House, St. Louis

Subskription zu günstigen Bedingungen

Prospekte kostenlos

BÄRENREITER-VERLAG KASSEL UND BASEL



## BERLINER FESTWOCHEEN 1958 - 21. IX. — 7. X.

### OPER

*Städtische Oper Berlin*  
Cherubini: *Medea* (Premiere)  
Britten: *Der Raub der Lukretia*  
Henze: *König Hirsch* (Neufass.)  
*Gastspiel der Hamburgischen Staatsoper*  
Berg: *Lulu*

### TANZ

*Gastspiel ANTONIO* und sein  
spanisches Ballett

### EICHENGALERIE MUSIKABENDE

Peter Pears, Julian Bream, Laute (England)  
Ralph Kirkpatrick (USA)  
Neue Japanische Musik, Ernst Krenek

### URAUFFÜHRUNGEN

*Ballett der Städtischen Oper Berlin*  
2 Ballette: Blacher: *Quadriga* — Nabokov: *Die letzte Blume*  
*Kammerensemble der Berliner Festwochen*  
4 Kurzopern: Humphrey Searle: „Das Tagebuch eines Verrückten“  
Wolfgang Fortner: „Corilla“  
Walter Thärichen: „Anaximanders Ende“  
Darius Milhaud: „Der Mann aus dem Meer“  
(Dirigent: Hermann Scherchen)

*Auskünfte  
und  
Prospekte  
durch  
Berliner  
Festwochen  
Berlin-Dahlem  
Am Hirschen-  
sprung 4  
Tel. 76 57 45*



## BERLIN FESTIVAL 1958 - 21. IX — 7. X

### OPERA

*Berlin City Opera*  
Cherubini: *Medea* (Première)  
Britten: *The Rapt of Lucretia*  
Henze: *King Stag*  
*Guest Appearance of the  
Hamburg State Opera*  
Berg: *Lulu*

### DANCE

*Guest Appearance: ANTONIO*  
and his Spanish Ballet

### EICHENGALERIE MUSICAL EVENINGS

Peter Pears, Julian Bream (Lute) (England)  
Ralph Kirkpatrick (Harpsichord) (USA)  
New Japanese Music, Ernst Krenek Evening

### FIRST PERFORMANCES

*Berlin City Opera Ballet*  
2 Ballets: Blacher: *Quadriga* — Nabokov: *The Last Flower*  
*Chamber Group of the Berlin Festival*  
4 Short Operas: Humphrey Searle: „The Diary of a Madman“  
Wolfgang Fortner: „Corilla“  
Walter Thärichen: „Anaximander's End“  
Darius Milhaud: „The Man from the Sea“  
(Conductor: Hermann Scherchen)

*Information  
and  
Prospectus  
from  
Berliner  
Festwochen  
Berlin-Dahlem  
Am Hirschen-  
sprung 4  
Tel. 76 57 45*

### KONZERTE

*Berliner Philharmon. Orchester*  
Dirigenten: Karl Böhm  
Herbert v. Karajan  
Hermann Scherchen  
*Radio-Symphonie-Orchester  
Berlin*  
Dirigenten: Ferenc Fricsay  
Lorin Maazel  
*Philharmonischer Chor Berlin*  
Dirigent: Hans Chemin-Petit

### CONCERTS

*Berlin Philharmonic Orchestra*  
Conductors: Karl Böhm  
Herbert v. Karajan  
Hermann Scherchen  
*Radio Symphony Orchestra  
Berlin*  
Conductors: Ferenc Fricsay  
Lorin Maazel  
*Philharmonic Choir Berlin*  
Conductor: Hans Chemin-Petit

PRINTED IN GERMANY