

GRAVESANER

BLÄTTER

HERAUSGEBER HERMANN SCHERCHEN

ENGLISCH-DEUTSCH

ARS VIVA VERLAG  
(HERMANN SCHERCHEN)  
GMBH MAINZ

MUSIKALISCHE, ELEKTROAKUSTISCHE UND  
SCHALLWISSENSCHAFTLICHE GRENZPROBLEME  
1959

JAHRGANG IV HEFT **14**

2260

1397

863

534

330

204

126

78

48

78

102

126

150

174

204

2260

330

534

863

1397

2260

1830

699

432

267

165

102

63

63

102

165

267

432

699

1131

1830

1830

1131

699

432

267

165

102

63

63

102

165

267

432

699

1131

1830

1830

1131

699

432

267

165

102

63

Le. Erdmann





# NEWS

## DIE DEUTSCHE GRAMMOPHON GESELLSCHAFT VERTRITT WESTMINSTER IN EUROPA

James Grayson, der Präsident der Westminster-Schallplatten-Gesellschaft teilt mit, daß die Deutsche Grammophon Gesellschaft die Vertretung Westminster's für Westdeutschland, Holland, Schweiz, Spanien und Portugal übernommen hat. Der Westminster-Katalog wird von der Deutschen Grammophon Gesellschaft in diesen Ländern unter der Marke: HELIODOR-WESTMINSTER veröffentlicht.

Die HELIODOR-WESTMINSTER Schallplatten werden schon in den nächsten Wochen in den genannten Ländern zum Verkauf gelangen.

# GRAVESANER BLÄTTER

Nr. XIV

IV. Jahrgang

1959

## INHALT

Seite

„Fünf Jahre Gravesano“ . . . . .		2
Der aktive Lautsprecher . . . . .	F. Loescher	4
Frequenzkonstante Kraftstromquellen für Tonstudios . . . . .	Herbert Zeithammer	10
Hifi-UKW-Empfänger — eine reizvolle Zukunftsaufgabe . . . . .	O. Kappelmayer	19
Schoenberg's Schlüsselstellung zur musikalischen Weltsprache . . . . .	Karl Wendel	27
Wechselwirkung zwischen Musik und Akustik . . . . .	Pierre Schaeffer	51
Residualton und Formantton (mit einer illustrierenden Schallplatte)	W. Meyer-Eppler, H. Sendhoff und R. Rupprath	70
Ein neues Musikinstrument . . . . .	Melville Clark jr.	92
Die Innenstimmung von Musikinstrumenten		
IV Das Alt-Saxophon . . . . .	Robert W. Young	124
Formelzeichen der Akustik . . . . .		145

Redaktion: Gravesano (Tessin) Schweiz

Herausgeber: Hermann Scherchen

**Nachdruck verboten!**

# GRAVESANO REVIEW

No. XIV

Vol. IV

1959

## CONTENTS

Page

Five Years Gravesano . . . . .		2
The Active Loudspeaker . . . . .	F. Loescher	7
Frequency — constant power sources for recording — studios . . . . .	Herbert Zeithammer	15
HIFI-FM-Receivers and interesting technical problem for the future . . . . .	O. Kappelmayer	23
Schoenberg's Key Position in the Universal Language of Music . . . . .	Karl Wendel	39
The Interplay between Music and Acoustics . . . . .	Pierre Schaeffer	61
Residual Tone and Formant Tone (with Recorded Examles) . . . . .	W. Meyer-Eppler, H. Sendhoff and R. Rupprath	84
A New Musical Instrument . . . . .	Melville Clark jr.	110
In-tonation of Musical Instruments		
IV The Alto Saxophone . . . . .	Robert W. Young	131
Acoustical Symbols . . . . .		154

Published by Experimental Studio Gravesano

Editor: Hermann Scherchen

**Extracts may not be published without permission**



„Fünf Jahre Gravesano“ — Five Years Gravesano

(1954—1959)

(1954—1959)

Als vor nunmehr fünf Jahren das Elektroakustische Experimentalstudio Gravesano eröffnet wurde, geschah das, indem die in das Hauptstudio hineingeführten Besucher dort von Sousa's "Washington Post" empfangen wurden und zwar in der Raumklang-Wiedergabe, die Chefingenieur Vermeulen von Philips in Eindhoven entwickelt hatte: zwei mächtige Lautsprecherkombinationen übermittelten die mit künstlichem Kopf über zwei Mikrophone hergestellte Zweispuraufnahme. Weitere ca. 20 Lautsprecher sättigten von den Seitenwänden und der Decke her das Studio mit wunderbarem Klang.

Gravesano stellte so mit der Eröffnungsfeier die Teilnehmer gleich vor das brennendste Problem der elektroakustischen Praxis: das der „Stereophonie“:

1956 entwickelte Holger Lauridsen dann in Gravesano zum ersten Mal außerhalb Dänemarks seine wichtigen Gedanken zur MS-Stereophonie gelegentlich des Kolloquiums: „Künstlicher Nachhall und erster Rückwurf“.

1957 reifte aus eigenen Versuchen, mit monauraler Klangwiedergabe stereophone Effekte zu verbinden, jene kleine Apparatur heran, die als „Spectrophon“ allem Aufgenommenen (Platte, Band, Sendung, Mikrophon etc.) unmittelbar Raumklang verleiht.

1959 endlich wurde in Gravesano als idealer Strahler nullter Ordnung eine 150 kg schwere, verschiedenster Rotierungen fähige Lautsprecherkugel entwickelt. Dank ihrer nach allen Richtungen phasen- und intensitätsgleichen Klangabstrahlung ist damit ein Raumklang erreicht, der der Wahrnehmungsweise im Konzertsaal voll entspricht. Wie bei dieser strahlen — im Raum lokalisiert — Schallquellen Klang überall hin ab, ohne ihn — im Gegensatz zur mehrspuhigen Stereophonie — in immer gleich einseitigen Richtungsfixierungen auf den Hörer hin zu leiten. Hiermit ist evident, daß das Grundaxiom der „klassischen“ Stereophonie Mehrspuraufnahmen eines Gesamtklangkörpers getrennt dem Hörer zuzuführen, grundsätzlich anderes bewirkt, als was die Klangwahrnehmung im Raume selbst ist, so daß ihre Voraussetzungen neu erörtert werden sollten.

Wie 1954 führt Chefingenieur Vermeulen 1959 in Gravesano zum ersten Mal seinen Entwicklungsabschluß vor: die von ihm „Ambiophonie“ benannte, definitive Ausgestaltung seiner Eindhovener Raumklang-Entwicklungen.

Five Years ago the Acoustical Experimental Studio in Gravesano started its work with a reception of interested guests from all over the world. When the guests entered the Studio they were greeted by Sousa's "Washing-

ton Post", reproduced by a big stereophonic installation developed by chief-engineer VERMEULEN of Philips in Eindhoven. Two big loudspeaker-combinations transmitted the two-track recording picked up received by two separate microphones mounted on an artificial head. Twenty additional loudspeakers placed round the walls and on the ceiling filled the Studio with wonderful sound.

In this way, five years ago, the Acoustical Experimental Studio in Gravesano confronted already during its opening evening its guests with the most pressing problem of Electroacoustics: The Stereophony.

In 1956 Holger Lauridsen presented at Gravesano in the colloquium "Artificial Reverberation And First Reflection" his important views about his new stereophonic system "MS-Stereophony", the first time he reported about it outside of Denmark.

During 1957 the "SPECTROPHON" originated in Gravesano. Based on experiments directed to find a method for giving monophonic sound reproductions the character of stereophonic ones, the small apparatus was developed which is able to change all sorts of monophonic transmissions (records, tape, radio- and direct transmissions) immediately into such with true spacious sound characteristics.

In 1959 another very important experiment was completed in Gravesano: The Active Loudspeaker. It consists of an exact sphere of wood rotatable in several directions and bearing on its inside surface a large number of loudspeakers. Because of the uniform sound-field generated by it which is homogenous everywhere in the auditorium and uniform in intensity and phase, this reproducer gives results which very nearly equal life-performances. Most impressive is the spaciousness of the sound, which differs strongly but favorably from the effect produced by stereophonic multi-channel reproductions. The Active Loudspeaker distributes the sound equally all over the auditorium, just as is the case in life-performances, meanwhile in multi-channel stereo-transmissions two point-sources project strongly directional soundbeams on the listener. The Active Loudspeaker demonstrates drastically that the still accepted axiom of the "classical" Stereophony, to transmit separately different channels of a multi-channel reproduction is wrong and brings principally other results compared with the spacious impression given by life sound-performances in an auditorium.

A general discussion of the basic principles of spacious sound and a following reorientation seems therefore indicated.

In this connection it will be very instructive for the guests of the Gravesano Anniversary 1959 to learn about the final results of chief-engineer VERMEULEN's work on his stereophonic system. It is called "AMBIOPHONIE" and will be presented for the first time outside of Eindhoven at the Gravesano Anniversary.



# Der aktive Lautsprecher

von

F. LOESCHER

Das Problem der Erzeugung eines möglichst homogenen Schallfeldes bei elektro-akustischen Übertragungen ist so alt wie die Elektro-Akustik selbst.

Der im Arbeitsprinzip konventioneller Lautsprecher begründete Nachteil einer frequenzabhängig stark gerichteten Schallabstrahlung hat zur Entwicklung der verschiedensten Lautsprecheranordnungen geführt, durch die versucht wurde, die in der Mittelachse der Lautsprecher stark konzentrierte Höhenabstrahlung günstig über einen großen Raumwinkel zu verteilen. Obleich zum Teil recht originell, so konnten diese Lösungen dennoch leider nicht viel mehr als Kompromisse sein. Alle Versuche, eine gleichmäßige Schallverteilung durch die Verwendung von Zerstreuungskörpern, Umlenkanordnungen etc. zu erreichen, waren von vorneherein zum Scheitern verurteilt, da mit ihnen bestenfalls eine Verbreiterung des Abstrahlwinkels für die hohen Frequenzen in einer Ebene erzielt werden kann. Logischerweise wählte man dabei eine in der Horizontale liegende Ebene. Die Vertikal-Abstrahlung blieb dagegen praktisch beinahe unverändert, d. h. der vorher in den hohen Frequenzen gerichtete Schallstrahl wurde jetzt ausgefächert, blieb aber im wesentlichen nach wie vor auf engem Raum konzentriert.

Die scharfe Bündelung der hohen Frequenzen dürfte die Hauptursache des bei elektro-akustischen Übertragungen häufig empfundenen Unbehagens sein, das von milder Irritation bis zum kaum erträglichen Nervenreiz reichen kann. Verantwortlich hierfür sind neben den Intensitätsunterschieden vor allem die Verzerrungen, die in reichem Maße in den üblichen Lautsprechern durch unterteiltes Schwingen der Membran entstehen. Weiterhin verhindert die scharfe Bündelung die Entstehung einer echten Raumwirkung, wie man sie vom Konzertsaal her gewöhnt ist.

Als ideales Mittel zur Erzeugung eines vollkommen gleichmäßigen und im ganzen Wiedergaberaum homogenen Schallfeldes kommt beim heutigen Stande der Technik am ehesten die pulsierende Kugel in Frage, die als Strahler nullter Ordnung anzusehen ist. Ihre Verwirklichung stößt in der Praxis leider auf erhebliche Schwierigkeiten. Soll mit einer solchen Anordnung der gesamte hörbare Frequenzbereich erfaßt werden, so setzt die Erfüllung der Forderung nach einer befriedigenden Übertragung auch der unteren Oktaven voraus, daß die strahlende Fläche ein gewisses Mindestmaß nicht unterschreitet. Weiterhin müssen das bzw. die Antriebssysteme so beschaffen sein, daß verhältnismäßig große Amplituden erzielt und verzerrungsfrei verarbeitet werden können. Wegen des erheblichen Aufwandes, den die Erfüllung dieser Forderungen bedingt, sind pulsierende Kugeln,

die innerhalb des ganzen hörbaren Frequenzbereiches ein homogenes Schallfeld erzeugen, bisher in der Praxis nicht zum Einsatz gelangt. Die weitestgehende Annäherung an einen solchen Strahler dürfte der von Harz und Kösters angegebene und von Dr. F. Enkel entwickelte und in den deutschen Rundfunkanstalten allgemein verwendete Einheits-Regielautsprecher sein, in dem ein getrennter und in konventioneller Weise arbeitender Tieftonteil mit einer Hochtonkugel kombiniert ist, die auf der Innenseite ihres Mantels eine Vielzahl von Hochtonsystemen trägt. Die Richtcharakteristik dieser Anordnung ist weitgehend kugelförmig, weist jedoch immer noch kleinere Einbrüche auf. Daß diese unvermeidlich sind wird klar, wenn man bedenkt, daß eine lückenlose Ausfüllung der gesamten Oberfläche einer Kugel durch Einzellautsprechersysteme praktisch unmöglich ist, d. h. notwendigerweise auf der Kugeloberfläche immer gewisse Zonen vorhanden sein werden, die nicht mitschwingen. Dies, im Zusammenhang mit der stark gerichteten Höhenabstrahlung der die schwingenden Flächen bildenden Hochtonsysteme, führt zu einem gehörmäßigen Eindruck, der noch nicht in jeder Beziehung befriedigend ist.

Ausgehend von der Überlegung, daß die „Strahlungslücken“ auf einem solchen, aus Einzellautsprechern zusammengesetzten, angenäherten Kugelstrahler durch eine Bewegung der Kugel ausgeglichen oder doch zumindest weitgehend gemildert werden müssen, ließ Prof. Dr. H. Scherchen für das Experimentalstudio Gravesano eine Anordnung konstruieren, die dieses Ziel verwirklicht. Diese ermöglicht es, die Lautsprecherkugel wahlweise in zwei voneinander unabhängigen, aufeinander senkrecht stehenden Ebenen rotieren zu lassen, sowie auch eine gleichzeitige Rotation in diesen beiden Bewegungsrichtungen herbeizuführen.

Nachstehend sollen Konstruktion und praktischer Aufbau dieser Versuchseinrichtung kurz besprochen werden.

Ein Dreibeinfuß mit einer Spannweite von 1.50 m hält ein Standrohr mit einem Durchmesser von ca. 5 cm. Im Inneren des Standrohres verläuft ein kugelgelagertes Antriebsrohr, das an seinem unteren Ende einen Antriebsteller und an seinem oberen Ende eine Gabel mit einer Öffnung von ca. 75 cm zur Aufnahme der Lautsprecherkugel trägt. Am oberen Ende des Standrohres ist eine feststehende Riemenscheibe befestigt, und von dieser wird ein Kunststoffriemen über Umlenkrollen zu einer zweiten Riemenscheibe geführt, die auf der durch den Äquator der Lautsprecherkugel gehenden Antriebsachse sitzt. Die gesamte rotierende Anordnung wird durch einen Einphasen-Wechselstrommotor angetrieben, der am Standrohr mit einem Gelenk befestigt ist, d. h. um eine horizontale Achse eine Schwenkbewegung ausführen kann und mit einer auf seine Achse aufgesetzten Gummifrikionscheibe auf dem Antriebsteller der umlaufenden Anordnung ruht.

Die Stromzuführung für die in der Kugel eingebauten Lautsprecher er-



folgt über zwei Schleifringssysteme. Das eine von ihnen ist am oberen Ende des Standrohres auf das Antriebsrohr aufgesetzt, während die zugehörigen Kohlebürsten auf dem Standrohr sitzen, das zweite am einen Ende der Kugelachse angebracht, während die hierzu gehörenden Kohlebürsten von der Gabel, die die Achse hält, getragen werden.

Die Lautsprecherkugel enthält 32 Lautsprechersysteme von je 215 mm Durchmesser, die auf der Innenwand der Kugel symmetrisch verteilt sind. Der aus dreilagigem Sperrholz angefertigte Träger hat die Gestalt einer exakten Kugel von 70 cm Durchmesser. Diese wurde über einem halbkugelförmigen Holzmodell aus ca. 300 einzeln und genau auf Passung zugeschnittenen Fournierstreifen von 2 mm Dicke zusammengesetzt, wobei für die temporäre Fixierung der einzelnen Fournierstreifen während der Verleimung insgesamt ca. 5000 Heftklammern verwendet werden mußten. Trotz der 32 großflächigen Ausschnitte für die Lautsprecher ist die Stabilität der Holzkugel außerordentlich groß und ohne weiteres den großen Fliehkräften gewachsen, die beim Rotieren der Einrichtung auftreten. Um auch in Bezug auf die Geschwindigkeit der Rotation Versuchsmöglichkeiten zu schaffen wurde die Drehzahl veränderbar gemacht und kann durch Auswechslung der Gummifriktionscheibe auf der Motorwelle leicht umgestellt werden.

Die mit der beschriebenen Einrichtung durchgeführten Versuche haben die Erwartungen voll bestätigt. Bereits im Stillstand wird ein außerordentlich gleichmäßiges Schallfeld erzielt.

Bei Rotation der Kugel um die senkrecht stehende Achse tritt eine zonenweise in der Horizontalen geschichtete Verwischung der bei ruhender Kugel noch bestehenden schwachen Unregelmäßigkeiten des Schallfeldes ein. Der klangliche Eindruck ist charakterisiert durch eine Abrundung des Klangbildes besonders in den mittleren und hohen Lagen. Die unnatürliche Härte der Wiedergabe wird stark gemildert.

Bei Rotation um die waagrecht stehende Achse ergibt sich ein Ausgleich der Unregelmäßigkeiten des Schallfeldes in vertikaler Richtung. Der klangliche Eindruck ist gekennzeichnet durch eine größere Räumlichkeit der Wiedergabe, wobei eine Verminderung der Höhenbetonung und eine gewisse Zunahme der Intensität in den Bässen wahrnehmbar wird.

Rotiert die Kugel in beiden Richtungen, so ergibt sich eine schräg verlaufende Bewegungsrichtung der einzelnen Lautsprechersysteme und der bestmögliche Ausgleich wird erzielt. Das Schallfeld wird praktisch homogen, die Wiedergabe erhält eine außerordentliche Fülle und Ausgeglichenheit, wobei die sonst festzustellende Schärfe der Höhe gänzlich verschwindet, jedoch gehörmäßig wiederum ein gewisser Verlust in den hohen und höchsten Frequenzen festgestellt wird. Spätere Untersuchungen müssen noch zeigen, ob dieser Verlust tatsächlich vorhanden ist, oder nur daher rührt, daß die in

der stark gerichteten Abstrahlungscharakteristik üblicher Lautsprecher unnatürlich hervortretenden Verzerrungsanteile ausgeglichen und dadurch der Eindruck einer Verminderung der Höhenwiedergabe verursacht wird.

Der wichtigste Vorteil, der mit der in zwei Richtungen rotierenden Kugel zu erreichen ist, besteht in der frappierenden Räumlichkeit, welche die Wiedergabe bei dieser Bewegung erhält. Wenn es gelingt, die beschriebene und recht aufwendige Einrichtung durch eine einfachere, industriell leicht herzustellende Anordnung zu ersetzen, so dürfte hier ein Weg begonnen sein, der zu bedeutenden Umwälzungen in der Elektro-Akustik führen kann.

## The Active Loudspeaker

by

F. LOESCHER

The problem of electroacoustics to generate a homogenous sound-field is as old as electroacoustics itself.

The strong disadvantage of conventional loudspeakers to produce a frequency-dependent highly directional sound beam has been the reason for a lot of different loudspeaker-constructions which tried to distribute the highs, concentrated in the axis of the speaker, over a wide angle.

Although partly very ingenious, these constructions could not be much more than compromises because the use of sound-distributors, wide-angle horns, etc. could only change the sound distribution in one plane. Logically nearly always a horizontal plane was chosen for this distribution, leaving the vertical sound-field nearly untouched. So the small directional beam of the high frequencies was only spread out like a fan but did not change its directional character at all.

The sharp beaming of the high is one of the main reasons for the uneasiness often felt during electroacoustical transmissions, and may reach from mild irritation to nearly unbearable punishment of the nerves, especially when experienced during longer intervals. Beneath the differences in intensity the distortion caused by the breakup of the membranes of conventional loudspeakers is strongly responsible for this bad effects the beaming of the high frequencies has. Furthermore the sharp beaming prevents the development of a true spacious sound field, as is the case in life performances in the concert hall.

The ideal means for the production of an uniform and throughout the whole auditorium homogenous sound field at the present state of electro-



acoustics is the pulsating sphere, which may be considered as a sound-projector of zero degree. Its realization is difficult however. To transmit with it the whole audible frequency-range the dimensions of the pulsating surface must be above a certain minimum. Furthermore the drivers have to be able to allow for comparatively large amplitudes without generating too much distortion. Because of the considerable expenditure and the large dimensions unavoidable in arrangements which fulfill the above named demands pulsating spheres for the whole audible frequency-range didn't come into practical use. The nearest approach to such a sound-source probably is the monitor-speaker described by HARZ and KOESTERs and developed by F. ENKEL, which is broadly used in German radio-studios.

In this loudspeaker a conventional baffle for the deep frequencies is combined with a Loudspeakersphere for the high frequencies which bears on its inner surface a number of special tweeters. The sound-diagram of this speaker is nearly without any directivity, but still shows some weaknesses. That these are unavoidable becomes clear if one considers that it is impossible to cover the whole surface of a sphere by loudspeaker-units the front of which is a plane. So, small zones of the sphere will be dead and the combined result of this and of the strongly directional soundfield of the tweeters results in a reproduction which is not yet ideal in every respect.

It was Professor Scherchens idea to equalize these deformities of the sound-field of the near-pulsating sphere by rotation and he had an arrangement constructed for use in the Acoustical Experimental Studio at Gravesano which gives every possibility for experimentation in this direction.

The pulsating sphere may be rotated separately in one of two possible planes perpendicular to one another or it may be rotated at the same time in both directions.

In the following construction and technical details of this experimentation unit shall be discussed.

On a tripod with a width of 1.50 m on the ground a stand with a diameter of about 5 cm is fixed. Inside the stand a rotatable tube reaching from the ground end to the top-end is set in ballbearings. On its ground-end this rotatable tube bears a driving-wheel of big diameter, on its top-end a wide fork with an opening of about 75 cm which holds the loudspeaker-sphere. The upper end of the stand bears a pulley, fixed on it. A plastic drive-belt, held by guide-rollers, leads from this lower pulley to an upper one which is mounted on the axle of the sphere going through its equator. The drive of the unit is done by a single-phase motor movably mounted in a vertical plane on the lower side of the stand and bearing with a rubber-friction on its hub on the periphery of the big driving wheel.

The voice-current for the speakers is supplied to them by two collecting arrangements. One of them is fixed on the upper end of the rotating tube, meanwhile the contact-shoes belonging to it are fixed on the stand.

The other one is borne by the one end of the axle of the sphere the contact-shoes belonging to it held by the fork.

The loudspeaker-sphere contains 32 loudspeaker-systems with a diameter of 215 mm each, which are regularly distributed over the inner surface of the sphere. The sphere itself was made from three layers of veneer, each 2 mm thick, and has a diameter of 70 cm. The two halves of it were formed over a spherical wooden model on which were layerwise fixed about 300 single stripes of veneer, each cut into the exact passform needed at its special place on the model. To hold the stripes in place during the glueing-process about 5000 staples were used. In spite of the 32 big cutouts for the loudspeakers the stability of the sphere is excellent. To give all possibilities for experimentation the speed of rotation may be changed in a simple manner by only changing the of the rubber-friction wheel in the drive.

The experiments carried out with the equipment just described have met all expectations. Even in the rest position a very uniform sound field is produced.

A rotation of the sphere in its vertical axis equalizes the formerly still existent deformities of the sound field to a large extent but only in a horizontal plane. The acoustical impression is characterized by a new smoothness of the sound, especially in the middle and high registers: the unnatural harshness is completely gone.

When the sphere is rotated in a horizontal axis the deformities of the sound-diagram in the vertical plane are equalized. The acoustical impression is characterized by the gain of a greater spaciousness of the reproduction but a certain reduction of the highs is noticeable, meanwhile the low frequencies seem a bit increased.

A double rotation in the horizontal and the vertical plane results in inclined rotational planes of the single speakers and gives the best result. The sound-field becomes practically homogenous the reproduction gets an astonishing fullness and smoothness and the harshness of normal reproductions is completely gone. A certain loss in the high and highest registers is noticeable however. Later tests and measurements will show if a loss in high frequencies is really existent or if the phenomenon is perhaps a result of an equalization of the unnaturally underlined distortion, present in normal loudspeakers.



## Frequenzkonstante Kraftstromquellen für Tonstudios

von

HERBERT ZEITHAMMER\*

In den ersten Jahren nach dem Krieg lag die Stromversorgung in vielen europäischen Ländern ziemlich im Argen und es dauerte eine geraume Zeit bis die Stabilität der Vorkriegszeit wieder erreicht wurde. Spannungsrückgänge von 20-25% und Frequenzabfälle auf 48 Hz und darunter waren besonders während der Belastungsspitzen keineswegs eine Seltenheit. Zu den Hauptleidtragenden unter den Stromabnehmern zählten naturgemäß auch die Tonstudios. Die Spannungsschwankungen waren dabei noch das geringere Übel. Durch Spannungsgleichhalter oder in extremen Fällen durch Regeltransformatoren konnten sie ohne zu großen Schwierigkeiten wieder ausgeglichen werden. Unangenehmer waren die Frequenzschwankungen, da die Bandgeschwindigkeit der Tonbandgeräte und die Drehzahl der Plattenspieler proportional der Netzfrequenz sind. Eine Aufnahme, die beispielsweise bei 47 Hz gemacht wurde, klang beim späteren Abspielen auf 50 Hz nicht nur um 6% schneller sondern, was schlimmer war, auch um etwa einen halben Ton höher. Der einzige praktisch gangbare Ausweg aus dieser Situation war die Speisung der Tonbandgeräte bzw. Plattenspieler durch eine eigene Wechsellspannungsquelle mit einer vom Netz unabhängigen Frequenz. Die Frage war dann noch wo dieses Gerät eingesetzt werden sollte. Prinzipiell waren zwei Wege möglich. Entweder wurde die Aufnahme mit der jeweiligen Netzfrequenz durchgeführt, diese registriert und beim späteren Abspielen reproduziert, sodaß beide Vorgänge bei gleicher Frequenz und Bandgeschwindigkeit abliefen. Die andere Möglichkeit war, sämtliche Tonbandgeräte zu jeder Zeit mit einer künstlich erzeugten konstanten Antriebsfrequenz zu versorgen. Für die erste Methode wurde in den USA ein Verfahren entwickelt, bei dem während der Aufnahme die Netzfrequenz am Tonband aufgezeichnet wird (durch Quermagnetisierung des Bandes, da zu dieser Zeit das Mehrspurverfahren noch nicht genügend entwickelt war). Diese Aufzeichnung wird beim Abspielen wieder abgenommen und zur Steuerung der Frequenz benützt, die das Tonbandgerät während des Abspielens speist. Auf diese Weise konnten jedoch nur langsame Netzfrequenzschwankungen ausgeglichen werden. Sprunghafte Frequenzänderungen jedoch, wie sie etwa an Bandschnittstellen auftreten, können naturgemäß aus elektronischen Gründen, vor allem aber wegen der Masse aller bewegten Teile nach diesem Verfahren nicht einwandfrei ausgeglichen werden. Auch andere Gründe ließen die zweite Methode zweckmäßig erscheinen, bei welcher, wie erwähnt, jedes Gerät mit künstlicher Antriebsfrequenz versorgt wird.

\* Chefing. d. Fa. Westminster Recording Co., Inc.

Als derartige Spannungsquelle mit vom Netz unabhängiger Frequenz eignet sich für stabil eingebaute Studioanlagen am besten ein Motorgenerator mit künstlich konstant gehaltener Drehzahl. Für tragbare Studiogeräte jedoch, die häufig ihren Standort wechseln, ist eine elektronische Lösung vorzuziehen, d. h. ein Oszillator von 50 Hz mit einem nachfolgenden Verstärker, der die erforderliche Leistung liefert. Derartige Oszillatoren wurden ebenfalls in den USA für 60 Hz hergestellt, wobei die Frequenz durch eine Stimmgabel konstant gehalten wird. Es wäre nun nicht schwierig gewesen, eine entsprechende Modification für 50 Hz vorzunehmen und damit die Probleme der Netzfrequenzschwankungen endgültig zu lösen. In diesem Stadium wurden jedoch Wünsche der Aufnahmetechnik laut, die zwar für den normalen Betrieb eine stabile 50 Hz-Frequenz forderten, für besondere Fälle jedoch eine Frequenz, die in geringen Grenzen von 50 Hz variiert werden könnte.

Ein Beispiel für eine derartige Notwendigkeit: Es ist bekannt, daß die Stimmung einer Orgel stark von der Temperatur abhängt. Zwei Orgelaufnahmen, bei erheblich verschiedenen Temperaturen durchgeführt, passen daher nicht zusammen. Da jedoch der Temperaturgang der Stimmung für sämtliche Pfeifen ziemlich identisch ist, die Orgel also auch bei Temperaturschwankungen im wesentlichen in sich gestimmt bleibt, genügt es, die Bandgeschwindigkeit der jeweiligen Stimmung anzupassen, d. h. bei höherer Stimmung wird die Aufnahme mit etwas höherer Geschwindigkeit aufgenommen, die Frequenz also etwas über 50 Hz gewählt und umgekehrt. Bei der Wiedergabe auf genau 50 Hz werden dann sämtliche Aufnahmen die gleiche Stimmung zeigen. Natürlich entstehen bei derartigen Stimmungskorrekturen auch prozentual gleich große Tempoänderungen. Diese sind jedoch so gering, daß sie nicht als störend empfunden werden. Ihr Betrag liegt erheblich unter den Temposchwankungen für verschiedene Aufnahmen ein und desselben Stückes, gespielt von ein und demselben Künstler, selbst wenn dieser als sehr tempofest gilt.

Mit einer veränderlichen Frequenz lassen sich aber auch Ungenauigkeiten der Apparatur ausgleichen, so z. B. kann der mittlere Wert der Bandgeschwindigkeit, der von Gerät zu Gerät bisweilen differiert, auf seinen genauen Sollwert gebracht werden und ebenso können Unterschiede der Bandgeschwindigkeit zwischen Anfang und Ende des Bandes kompensiert werden.

Die Forderungen an einen derartigen Oszillator lauten demnach: Einstellbare Frequenz, die jedoch bei gegebener Einstellung eine hohe Konstanz aufweisen muß. Ein derartiges Gerät war auf dem Markt nicht vorhanden. Daher wurde von der Fa. Westminster Recording in Zusammenarbeit mit der Fa. Lurf, Wien, ein solcher Oszillator entwickelt und gebaut.

Die technischen Anforderungen an diesen Oszillator ergaben sich aus der Praxis. Es zeigte sich, daß Frequenzsprünge innerhalb eines Musikstückes auch im ungünstigsten Fall erst bei Werten über 0,2 Hz gehört werden. Der Oszillator sollte demnach bei einer fixen Einstellung nicht mehr als  $\pm 0,1$  Hz



in der Frequenz wandern. Für den Variationsbereich wurde die Spanne von 49—51 Hz als ausreichend befunden. (Spätere Erfahrungen zeigten, daß in besonderen Fällen dieser Bereich noch zu erweitern ist, wovon im folgenden noch die Rede sein wird).

Bei der Wahl der Oszillatorschaltung waren folgende Gesichtspunkte maßgeblich: Die relativ hohe Konstanz sprach nicht für einen Schwebungssummer. Die unmittelbare Nachbarschaft zur Netzfrequenz hingegen ließ einen RC-Generator unzweckmäßig erscheinen, da diese Type in der Gegend der Netzfrequenz stark zu Amplitutenschwankungen neigt. Es wurde daher ein LC-Generator gewählt, bei dem der Schwingkreis aus Styroflex-Kondensatoren und einer Spule mit ausgesuchten Kernblechsorten bestand. Dieser Schwingkreis lag am Eingang des zweistufigen Verstärkers von dessen Ausgang die Rückkopplung erfolgte. Die Oszillatorspannung wurde zwischen den beiden Verstärkerstufen abgenommen. Auf diese Weise konnte die geforderte Frequenzkonstanz ohne besondere Schwierigkeit erreicht werden. Die Variation der Frequenz erfolgte durch stufenweises Zuschalten von Kondensatoren zum Schwingkreis. Zum Zweck einer Feinregelung wurde eine Massekernspule in Reihe mit der Hauptinduktivität geschaltet, wobei der Massekern mehr oder weniger eintauchte. Der Antrieb für diesen Kern erfolgte über einen Seilzug und wurde von einem Drehknopf bedient. Eine Außenansicht des Oszillators zeigt Abb. 1.

Die auf diese Weise gewonnene Oszillatorspannung von etwa 1 Volt mußte nun von einem Verstärker auf die erforderliche Leistung gebracht werden. Der Leistungsbedarf eines Studiotonbandgerätes beträgt immerhin mehrere 100 Watt, während der Synchronmotor, der die Bandgeschwindigkeit bestimmt, je nach Type des Gerätes nur etwa 60—100 Watt benötigt. Es schien daher zweckmäßig, die geringen Änderungen an den Tonbandgeräten vorzunehmen, die eine getrennte Speisung des Synchronmotors erfordert, und dafür die Verstärkerleistung auf etwa 100 W zu beschränken. Diese Leistung wurde mit 2 EL-34 in einer Gegentaktendstufe erzielt, wobei noch eine Treiberstufe vorgeschaltet wurde. Da der Synchronmotor meist eine stark induktive Last darstellt, wurde am Ausgang des Verstärkers ein geeigneter Kondensator parallel geschaltet, so daß die Endstufe auf eine ziemlich rein Ohm'sche Last arbeitete. Ein Eingangsregler und ein Instrument am Ausgang gestattete die genaue Einstellung der gewünschten Spannung. Dies ist nötig, weil anderenfalls beim Wechsel der Bandgeschwindigkeit und der damit verbundenen Laständerung die Spannung zu stark abweichen würde. Das Netzgerät des Verstärkers speist im übrigen auch den Oszillator. Der Verstärker, ursprünglich nur für ca. 50 Hz ausgelegt, wurde später in Bezug auf Frequenzgang und Verzerrung soweit verbessert, daß er auch als Tonfrequenzverstärker verwendet werden kann. Seine endgültige Form zeigt Abb. 2.

Bei der Entwicklung des Oszillators und auch beim späteren Betrieb hat

es sich als zweckmäßig erwiesen, einen genauen Frequenzmesser zu verwenden. Die handelsüblichen Zungen- und Zeigerinstrumente reichten dabei nicht aus. Es wurde daher auch ein besonderes Gerät entwickelt, um mit hinreichender Genauigkeit sämtliche Messungen und Einstellungen durchführen zu können. Die Wirkungsweise dieses Instrumentes sei im folgenden kurz beschrieben:

Die zu messende Frequenz (49,2—50,8 Hz) wird stark verzerrt und ihre zehnte Harmonische (492—508 Hz) durch ein mehrstufiges Filter ausgesiebt. Diese Oberwelle wird der Spannung eines Stimmgabeloszillators von 440 Hz überlagert. Die entsprechende Differenzfrequenz von 52 bis 68 Hz wird mit einem Zungenfrequenzmesser gemessen, der diesen Bereich mit einem Zungenabstand von  $\frac{1}{2}$  Hz überstreicht. Die Zunge für 52 Hz entspricht in dieser Anordnung einer Meßfrequenz von 49,2 Hz, die letzte Zunge für 68 Hz einer Meßfrequenz von 50,8 Hz. Der Abstand von einer Zunge zur nächsten entspricht 0,05 Hz Meßfrequenz. Der Stimmgabeloszillator konnte ohne besondere Vorkehrung auf Konstanz von  $10^{-3}$  gebracht werden, der Fehler des eigentlichen Zungenfrequenzmessers wurde mit max. 0,25 Hz angegeben. Dadurch ergibt sich der Maximalfehler für das gesamte Gerät mit ca. 0,05 Hz Meßfrequenz.

Die Einengung des Bereiches von 49—52 Hz auf 49,2—50,8 Hz erfolgte aus ökonomischen Gründen. Für die fehlenden 0,2 Hz wäre nämlich ein sehr erheblicher Mehraufwand für das Filter nötig, der in keinem Verhältnis zur Notwendigkeit steht, diese extremen Frequenzen mit einer derartig hohen Genauigkeit zu messen.

Die 440 Hz, die dem Frequenzmeßgerät sozusagen als Abfallprodukt entnommen werden kann, sind als Normal-A bei Tonaufnahmen sehr erwünscht. Abb. 3 zeigt das eben besprochene Frequenzmeßgerät.

Wie schon erwähnt, war der ursprüngliche Bereich von 49—51 Hz für mehrere Zwecke nicht ganz ausreichend. Besonders bei a cappella-Aufnahmen ergibt sich die Notwendigkeit, die Frequenz etwa von 47—53 Hz zu variieren. Überdies sollte die Variation kontinuierlich erfolgen. Dazu wurde der Oszillator in der Weise modifiziert, daß die Spule des Schwingkreises eine veränderliche Vormagnetisierung erhält, wodurch die Induktivität und damit die Frequenz in gewünschter Weise verändert werden konnte.

Die verschiedenen zusätzlichen Anwendungsmöglichkeiten des Oszillators, Verstärkers und Frequenzmeßgerätes machte diese Geräte auch in darauffolgenden Jahren zu einem schwer entbehrlichen Bestandteil eines Studios, als die primäre Ursache zu ihrem Bau, nämlich die Netzfrequenzschwankungen bereits in allen Ländern wieder auf ein sehr geringes Maß herabgedrückt worden waren.

Dieser Ansicht war offensichtlich auch Herr Prof. Scherchen, der die erwähnten Geräte für sein Studio in Gravesano erwarb und damit deren Vielseitigkeit noch weiter erhöht hat.





Fig. 1

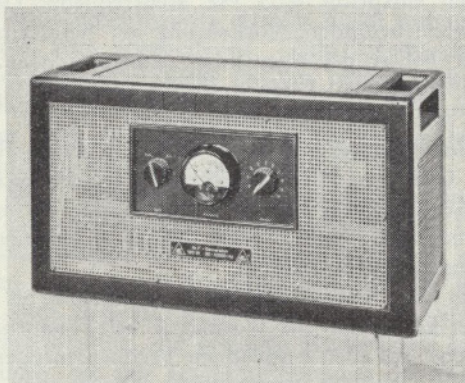


Fig. 2



Fig. 3

## Frequency-constant power sources for recording-studios

by

HERBERT ZEITHAMMER\*

During the first years after world war II. power-supply was very bad in many european countries and some time went by until the prewar stability was reached again. Line-fluctuations of 20 — 25 % and changes of frequency down to 48 cycles and less — especially during top-load intervals — were common. Beneath others the most concerned by this situation were the recording-studios. For them the fluctuations in line tension were less serious than the changes in frequency because those could be taken care of by stabilizers without too much trouble. By far more serious were the changes in frequency because of the resulting changes in speed of the tape-recorders and turntables. When for instance a recording had been made with a line-frequency of 47 cps and was played back later with a line-frequency of 50 cps, not only the speed was increased by about 6 % but, what was far worse, the pitch became about one half-tone higher. The only possible remedy for this situation was the use of a separate ac-generator delivering power with a frequency independent of the line-frequency. But there had still to be answered the question in what manner this frequency-adaptor had to be used. One possible way was to record with the unchanged, wrong line-frequency, at the same time recording continously this frequency, with all its changes, and later to reproduce the same frequency and its fluctuations during the playback so as to synchronize in this manner recording and playback. The other way was to generate a special constant frequency and to use it for powering the recording- and playback-machines.

The first method was widely used in the USA, recording the line-frequency on part of the mastertape (multi-channel recording was not yet commonly used during this period). The line-frequency recording was later taken off the tape during playback and used for synchronization of the frequency of the power-supply for the playback machine. This method however only permitted the compensation of slow fluctuations of the line-frequency. Fast frequency changes which may happen impulse-like, as for instance produced by tape-splicings, cannot be taken care of by reason of the time-constants which are present even in electronic equipment, much stronger still in mechanically operated apparatuses because of the masses incorporated in them. There were further reasons to choose the second method, which made the decision simple.

In fixed studio-installations a motor-generator with regulated speed

\* Chief-Engineer, WESTMINSTER RECORDING CO, New York.



is best suited for the generation of frequency-constant power. In mobile studio-equipment however, where a change from one place to the other is common, an electronic solution is preferable. This may be an oscillator generating a frequency of 50 cps followed by an amplifier to produce the necessary power. Oscillators suited for the purpose were manufactured in the USA for a frequency of 60 cps, using a tuning-fork for stabilization of the frequency. There would have been no difficulty to modify this generator for a frequency of 50 cps and to solve the problem the easy way. Special wishes of the recording engineers had to be considered however, demanding for normal recording-conditions a stable frequency of 50 cps, for special purposes however asking for a power-supply with a frequency which might be changed inside of small limits around this key-frequency. Here is an example for such a necessity: It is known that the pitch of an organ is strongly dependent of the temperature. Two organ-recordings made at considerably different temperatures won't harmonize. The temperature-dependent change in pitch being about equal for all pipes, the organ stays however comparatively well tuned in itself. It is therefore sufficient to coordinate the tape-speed with the momentary pitch, i. e. to record with a slightly higher speed when the pitch is higher, and vice versa, which can easily be done by changing the frequency slightly above or below 50 cps. Played back with a frequency of 50 cps all recordings will have the same pitch. An change in tempo is of course unavoidable, but under normal conditions this change is not noticeable and lies well below the changes in tempo of recordings of one and the same musical piece played by the same musician but recorded at a different time.

A slightly variable frequency has further advantages. It may be used to compensate for differences between recording-machines, for instance to bring the middle-value of the tape-speed, which may be slightly different from machine to machine, to its absolute value and to compensate for differences in tape-speed sometimes to be noticed between the beginning of a tape-reel and its end.

The most important point of the technical specifications for such an oscillator is the following: The frequency has to be variable in certain limits, but must be highly constant. On the market an oscillator fulfilling these demands was not to be found. The Westminster Recording Co. together with the Lurf Co., Vienna, developed and constructed therefore an equipment of their own.

Further technical specifications for the oscillator resulted from practical considerations. Experiments showed that abrupt changes in frequency have to be greater than 0,2 cps before they become noticeable when happening during musical reproductions. The frequency-drift of the oscillator therefore could not be allowed to be larger than  $\pm 0,1$  cps after setting. As range of frequency-variation the interval from 49 to 51 cps was considered

sufficient. (Later experiences proved that it is favourable to extend this range in special cases, the reason of which will be explained later).

The choice of the oscillator-circuit was influenced by the following considerations: The needed highly constant frequency put the beat-frequency oscillator out of consideration. The nearvicinity of the line-frequency brought a decision against the RC-Generator, because of the strong beats with the line-frequency which were to be expected. A LC-Generator circuit was therefore chosen using in its tank-circuit polystyrol-condensers and a coil with selected core-material. This tank-circuit was placed in the input of a 2-stage amplifier with the feed-back taken from the amplifier output. The oscillator-output used for amplification was coupled out between the two stages of the amplifier. The constancy of frequency reached with this comparatively simple means proved to be fully sufficient. To get the needed frequency-variation suitable condensers were switched in parallel with the tank-circuit. A simple precision-control of the frequency was reached by means of an additional coil with a Ferrite-core connected in series with the main tank-coil and tuned by moving the Ferrite-core in the coil, the drive being actuated by a cord and manipulated by a knob on the front-panel of the oscillator. A front-view of the oscillator is shown in Fig. 1.

The resulting oscillator-output of about 1 volt had to be amplified to the needed power-level. The power-consumption of a studio-tape-recorder amounts to several hundredes of one watt. The synchronous motor which determines the tape-speed, consumes only 60 to 100 watt of the total power. Therefore it was considered worth while to accept the minor changes which are necessary in the tape-recorders for feeding the synchronous motor separately from the other equipment in exchange to be able to limit the power of the needed amplifier to 100 watt. This power was generated by a push-pull amplifier using two EL 34's. The synchronous motor being mainly a strongly inductive load, a suitable condenser was shunted in parallel to the output of the amplifier, resulting in a near-pure ohmic load for it. An input-control and an output-meter were supplied to allow determination of an exact output-level. These controls are needed because the load on the generator differs when the tape-speed on the recording machine is changed. The oscillator is powered by the main power supply of the amplifier. The latter, first only designed for the amplification of 50 cps ac, was later greatly improved in respect to its bandwidth and its distortion and may be used now for other purposes too, for instance as an audio-frequency amplifier. Its final form is shown in Fig. 2.

During construction of the oscillator and later during practical use of the equipment it was found very important to have a precision-frequency-meter at hand. The normal frequencymeters using tuned tongues or pointer-



instruments were not sufficient. A special instrument had to be developed to be able to carry out the needed measurements and adjustments with sufficient accuracy. The working-principle of this new instrument will be discussed in the following.

The frequency to be measured (49,2 — 50,8 cps) is strongly distorted and its tenth harmonic (492 — 508 cps) is filtered out by a multisection filter. This harmonic is beat with the oscillation of a tuning-fork oscillator generating 440 cps. The difference-beat, i. e. 52 to 68 cps is measured with a tongue-frequencymeter covering this range with a distance of 0,5 cps of the tuned tongues. In this arrangement the first tongue with a resonance of 52 cps corresponds to a test frequency of 49,8 cps, the last tongue with a resonance-frequency of 68 cps correspondends to a test-frequency of 50,8 cps. The distance from one tongue to the next one corresponds in this way to a test-frequency of 0,05 cps. It was possible to give the tuning-fork oscillator a constancy of frequency of  $10^{-3}$  without using any further means, the tolerance of the tongue-frequencymeter proper given with 0,25 cps. The maximum error for the whole apparatus therefore amounts to only 0,05 cps.

The limiting of the range of 49 — 51 cps to the smaller range of only 49,2 to 50,8 cps was a matter of economics. The lost 0,2 cps would have made necessary the use of a much more complicated filter and the gained advantage would have been in no relation to the expense and the demand for an exact measurement of the frequencies at the ends of the range.

The 440 cps-tone which may be taken out of the tuned oscillator is a welcome by-product and can be used as normal "A" for the tuning of instruments during recording sessions.

Fig. 3 shows the discussed frequency-meter.

As mentioned before, the original range from 49 to 51 cps was not fully sufficient for several purposes. Especially "a capella" recordings make it necessary to vary the frequency from about 47 — 53 cps. Furthermore it should be possible to control this variation in a continuous manner. This was realized by a modification of the coil of the tank-circuit of the oscillator which was supplied with a special circuit controlling the generated frequency by a variable premagnetization.

The great versatility of the oscillator, the amplifier and the frequency-meter opened a wide field of use for the equipment, even after the primary reason for its construction, the frequency-fluctuations in the european power lines, were again reduced to a minimum. So, this frequency-constant power source has become an important part of many studio-installations and when Professor Scherchen bought them for the Acoustical Experimental Studio in Gravesano he most certainly was guided by the conviction to get great new experimental possibilities which has been proved to be true during the last years.

## Hifi-UKW-Empfänger — eine reizvolle Zukunftsaufgabe

von

O. KAPPELMAYER

Das zehnjährige Jubiläum der Einführung von UKW in Deutschland bot mir die Veranlassung, auf der Hannoverschen Messe mit mehreren Entwicklern der Industrie ein Problem zu besprechen, das mir schon seit dem Aufkommen der Hifi-Schallplatten am Herzen liegt (1955).

Bis zu diesem Zeitpunkt war UKW eindeutig der besten Schallplattenaufnahme überlegen. Aber von da ab begann die Qualität von Hifi-Platten langsam aber sicher der des UKW-Empfanges davonzulaufen, bis etwa im vorigen Jahr jedermann wissen konnte, daß die Qualität der Hifi-Platten der der UKW-Sendungen beträchtlich überlegen war. Dieser Nachweis war leicht zu erbringen: Da die Sender viele klassische Hifi-Aufnahmen von Schallplattenfirmen spielen, braucht man nur das gleiche Werk zu Hause auf der Hifi-Wiedergabe-Apparatur zu vergleichen, um den Unterschied zu merken. Von Life-Sendungen im Rundfunk garnicht zu reden, die heutzutage (in Deutschland) sowieso zu den größten Seltenheiten gehören.

Dieser Qualitätsabstand zwischen der modernen Hifi-Schallplatte und der UKW-Sendung veranlaßte viele Musikfreunde zum Nachdenken. Mit dem Erfolg, daß sie Käufer der großen klassischen Musik auf Schallplatten wurden und ihre Abspielanlagen zu Hause hauptsächlich auf die Erfordernisse dieser Technik einstellten.

stereo

Als zur Hannoverschen Messe 1958 stereo ins Spiel kam, das zunächst sowieso nur für Schallplatten gedacht ist, gewann diese einen weiteren Vorsprung gegenüber dem Rundfunk. Der Qualitätsabstand wurde noch mehr vergrößert. Und da vorläufig nach den Ergebnissen der Los-Angeles-Tagung keine Aussicht besteht, daß sich die Welt in absehbarer Zeit auf ein stereo-System für Rundfunksendungen einigen kann, wird die Schallplatte noch einen weiteren qualitativen Vorsprung bekommen.

Hifi-UKW-Vorsatzgeräte

Diese Entwicklung führte in einigen Ländern, wo UKW eine ähnliche Bedeutung hat wie in Deutschland, dazu, daß in den letzten drei Jahren zahlreiche Modelle von UKW-Vorsatzgeräten erschienen, die man an die Hifi-Anlage anschließen und damit UKW-Empfang machen kann, der wirklich Hifi ist und den Qualitätsabstand zur Schallplatte wieder ausgleicht. Denn die Beschneidung des Frequenzbandes und der Dynamik — um nur die bei-



den wichtigsten technischen Faktoren zu nennen — die die UKW-Qualität beeinträchtigen geschieht ja nicht am Sender, sondern in erster Linie im Empfänger. Sie beruht grundsätzlich auf der Tatsache, daß teilweise der gleiche ZF-Verstärker für AM und FM Verwendung findet. Das aber war eine wirtschaftliche Voraussetzung dafür, FM/AM-Empfänger auf den Markt bringen zu können, die etwa die gleichen Preise hatten wie die bisherigen reinen AM-Geräte.

Nun stellt aber ein qualitativ hochwertiger FM-ZF-Verstärker etwas ganz anderes dar als ein solcher für AM. Das zeigt schon ein Vergleich der Bandbreite, die bei AM mit 10 000 Hz bereits optimal wäre, während bei FM 250 kHz gefordert werden müssen. Dazu kommt eine weitaus größere Trennschärfe gegenüber Nachbarsendern für FM (Weitabschallton). Dieses Problem ist besonders in Deutschland wichtig geworden, nachdem hier, bezogen auf die Fläche, die meisten FM-Sender eingesetzt sind, was eine sehr kompakte Ausnutzung des zur Verfügung stehenden schmalen Frequenzbandes von 87 . . . 100 MHz bedingte. Außerdem sind die Sender verhältnismäßig stark und strahlen zum großen Teil mit Runddiagramm. Dazu kommt, daß man heute eine viel realistischere Vorstellung von den Überreichweiten im 100 MHz-Bereich hat, als dies vor zehn Jahren der Fall war. Es gibt sehr viele Empfangsplätze in Deutschland und dem zentralen Mitteleuropa, an denen man ohne großen Antennenaufwand zwei Dutzend und mehr UKW-Sender empfangen kann. Welche Anforderungen dabei an die Nachbarselktion gestellt werden, kann man sich gut vorstellen.

#### Empfindlichkeit 1...5 kt<sub>0</sub>

Dazu kam geradezu ein Wettlauf unter den großen Empfängerfabriken Deutschlands, um die Erzielung höchster Empfindlichkeit in diesem Bereich.

Denn diese ist ja die Voraussetzung dafür, daß man mit einem Stückchen Draht von etwa der halben Wellenlänge UKW-Fernempfang machen kann, wie dies heute jedem Hörer in Deutschland selbstverständlich erscheint. Durch die Konstruktion neuer Eingangsröhren, die Einführung hochwertiger Isolierstoffe in der Bauelementetechnik — und die Steigerung der Verstärkung im ZF-Teil gelang es, die Empfindlichkeit in kaum fünf Jahren bis auf wenige kt<sub>0</sub> zu steigern. In der gleichen Richtung wirkte die Einführung einer dreistufigen ZF mit sehr steilen Kreisen und — in allerletzter Zeit — die Benutzung einer niedrigeren ZF, nämlich statt 10,7 6,75 MHz. Denn je niedriger die ZF, desto höher die Stufenverstärkung bei gleicher Bandbreite. Leider hielt die Trennschärfe mit der Steigerung der Empfindlichkeit nicht Schritt, sodaß bald ein Auseinanderklaffen dieser beiden Grundeigenschaften eines Empfängers eintreten mußte. Das bemerkten zunächst freilich nur diejenigen Apparatebesitzer, an deren Empfangsort zahlreiche UKW-Sender stark einfallen.

Man hätte zwar durch besonders steile Kreise die Trennschärfe wieder ins Gleichgewicht mit der Empfindlichkeit bringen können . . . aber diese Maßnahme verringert auf jeden Fall die Bandbreite — und damit die Übertragungsqualität. So blieb man also während der letzten drei Jahre immer auf das Kompromiß zwischen den drei Forderungen höchster Empfindlichkeit, ausreichender Trennschärfe und möglichst geringem Konstruktionsaufwand angewiesen — und es ist klar, daß fast jede Firma die Lösung in einer anderen Richtung fand, bloß sie blieb eben bei allen ein Kompromiß.

#### Hifi gab den Anstoß

Solange Hifi bei uns nicht ins Spiel gekommen war, gab es wenig Klagen über die Qualitätsminderung des UKW-Empfanges. Das ist begreiflich, denn der AM-Empfang war ja um so viele Grade qualitativ schlechter als FM, weil seine Grenzen durch die verfügbare Bandbreite, die zahlreichen Störsender und die naturgegebenen AM-Störungen sowieso sehr enge sind.

Die Konstrukteure wußten den Grundvorteil von FM — nämlich die Freiheit von elektrischen Lokalstörungen und atmosphärischen Störungen — sehr wohl auszunützen. Sie bauten in die Empfänger Begrenzer ein, die einen Grad der Vollkommenheit erreichten, daß heute auch ein klanglich mittelmäßiger FM-Empfänger immer noch mindestens den überzeugenden Vorteil hat, daß er praktisch störungsfrei arbeitet. Und das erhebt ihn weit über jeden denkbar möglichen AM-Empfang hinaus.

Daß aber auch in den Kreisen der Konstrukteure die heutige Situation nach zehnjähriger UKW-Praxis hinsichtlich des Kompromisses Gesamtselektivität gegenüber Bandbreite nicht befriedigend ist, zeigte der Neuheitentermin am 1. Juli d. Js. in Deutschland. Zahlreiche Empfängermodelle brachten bei UKW eine dreikreisige Vorselektion — und in der ZF die 6,75 MHz Lösung, sodaß zusammen mit einigen anderen technischen Verbesserungen die Gesamttrennschärfe in diesem Bereich doch gesteigert werden konnte. Der Anstoß dazu kam zweifellos von Hifi, das nun einmal der Schallplatte einen greifbaren klanglichen Vorrang vor dem Rundfunk gebracht hat. Die Besitzer von Hifi-Anlagen merkten, daß beim Anschluß ihres AM/FM-Empfängers die Wiedergabe in mehr als einer Beziehung weniger befriedigte als das Abspielen von Schallplatten.

#### Die neue Aufgabe

Selbstverständlich weiß jeder Rundfunkempfänger-Konstrukteur, daß mit kleinen Verbesserungen die Aufgabe eines empfangstechnisch hochwertigen FM-Vorsatzes für Hifi-Anlagen nicht gelöst werden kann. Denn es gibt eine Anzahl technischer Grundforderungen, die sich mit denen eines AM-ZF-Verstärkers einfach nicht erfüllen lassen. Das geht soweit, daß schon die ZF-Verstärkerröhren ganz anders aufgebaut sein müßten. Für AM braucht



man Regelröhren mit sehr langsam ansteigender Kennlinie und geringer Steilheit, für FM umgekehrt. Die Stufenverstärkung sollte bei FM zugunsten der Bandbreite niedrig sein, während bei AM eine hohe Verstärkung pro Stufe und dafür weniger Stufen erwünscht sind.

Dazu kommen noch viele andere Unterschiede, sodaß man sagen kann:

*Ein gemeinsamer ZF-Verstärker für AM und FM läßt sich nur realisieren, wenn man viele Kompromisse schließt, von denen leider die meisten zuungunsten von FM ausfallen müssen.*

*Daher die Forderung:* Getrennte ZF-Verstärker für beide Modulationsarten und Auslegung des FM-ZF-Verstärkers nach den Forderungen dieser Modulationsart. Das bedeutet einen erheblich höheren Röhren- und Stufenaufwand und wesentlich steilere Flanken der einzelnen Kreise oder Bandfilter, um die genügende Weitabselektion zu erreichen. Vielleicht wird man dabei grundsätzlich zur 6,75 MHz ZF übergehen, die eine Anzahl von Vorteilen gegenüber der höheren hat.

Jedenfalls kann man im Zeitalter der Fernsehtechnik praktisch alle Forderungen, die an ein UKW-Vorsatzgerät für Hifi-Anlagen gestellt werden, ohne große Mühe und lange Entwicklung erfüllen. Aber was man nicht kann, ist das, ein solches Gerät ebenso wirtschaftlich auf den Markt zu bringen wie den heutigen AM/FM-Super, der in der Tat — und das beweisen die überraschenden Exporterfolge der deutschen Kombinationsempfänger — das günstigste mögliche Kompromiß zwischen technischer Gesamtleistung und Preis darstellt.

Leider ist so ein Spezialgerät im Moment nur für Besitzer von Hifi-Anlagen interessant. Aber es könnte ein breites Interesse gewinnen, wenn auf der Senderseite einmal die Frage aktuell werden wird: Zwei- oder gar Mehrkanal Stereosendung oder Hifi-mono-Sendungen mit empfangenseitiger Zerlegung des Klangspektrums zwecks naturgetreuer Raumtonwiedergabe. Für das Publikum sind die Wege zur Lösung dieser Aufgabe kaum interessant. Aber eine Steigerung der Klangqualität bis zur fast idealen Wirkungsgleichheit mit dem Original . . . das ist ohne Zweifel ein Ziel, das alle technischen Bemühungen lohnen würde.

## HIFI - FM - Receivers an interesting technical problem for the future

by

O. KAPPELMAYER

The tenth anniversary of the introduction of FM-radio in Germany induced me to discuss with several research-engineers of the industry a technical problem which I am interested in since the production of real HiFi-records in Germany (1955). Until this time FM-radio was clearly superior to the best records. From then on however, the quality of the HiFi-records started to become better and better and since last year everybody with a good hearing and some discrimination can find out by himself that the quality of HiFi-records is better now than that of FM-transmissions. This can easily be proved by comparing a record which is played by a FM-station and transmitted through a FM-channel with the same record played at home and in the same room through a good High Fidelity installation. The difference between FM and life-transmissions which unfortunately are a rarity today in Germany, is still larger, considered that those should be much better than the recorded material. This difference in quality existing between the modern HiFi-record and FM-radio has already started thinking a lot of friends of good music. The result of these thoughts has induced them to become buyers of recorded musical masterworks and of good HiFi-installations for record-reproduction at home.

### Stereo

When Stereo started at the Hannover-Fair in 1958, Stereo not being practicable yet for radio-transmissions, the record further increased its advantage over FM. The results of the Los Angeles Conference being such that an introduction of Stereo in radio-transmissions is improbable in the near future, the difference in quality between the record and FM-radio of today most certainly will become still larger.

### HiFi-FM-Tuners

In some countries where the importance of FM is about the same as in Germany this newly gained superiority of the record was the reason for the introduction of a lot of FM-tuners which may be connected to the HiFi-installation to give a FM-reproduction which is real High Fidelity and may be compared with the tone-quality which today is standard on HiFi-records. The reason for this is the fact that the harm which is done



to the FM-transmission doesn't take place at the transmitting end but at the receiver. The damage done mainly *originates in the IF-amplifier which in respect to the tubes and the general layout is the same for AM- as well as for FM-transmissions*. This however being one of the economical suppositions of the radio-industry for the mass-production of AM/FM-receivers which sell now at about the same price as the former receivers which only had AM-ranges, the difficulty is a serious one.

To everybody trained in the art it is very clear that a high-quality FM-IF-amplifier is quite another thing than an amplifier for the same purpose but working on AM. Already a comparison of the band-width of the two amplifiers will show this. A bandwidth of 10 000 cps would already be optimum for the AM-amplifier meanwhile the FM-amplifier would need about 250 kc. Furthermore a very high selectivity is needed for FM (especially in fringe-areas). The latter problem has become very urgent in Germany because of the great number of FM-stations which had to be installed in a comparatively small area and because of/the already completely filled up small frequency-range (87 . . . 100 Mc) granted for FM-radio-transmissions. The difficulties were increased by the necessity for the transmitters to work with a high power-level and — at least in some cases — to use a radiation-field with a circular diagram. All this together with the relatively new knowledge about scatter-transmissions, reaching to places beyond the horizon, explains the fact that there are many locations all over Europe where it is possible to receive a dozen and more stations without taking any trouble with big antenna installations. What this means in respect to the selectivity of the receivers has not to be elaborated.

Sensitivity 1 . . . 5 kt<sub>o</sub>.

The situation in Germany became worse by the rush the industry started for a receiver-model with highest possible gain on FM. Today every listener in Germany expects his FM-set to be able to pick up a lot of stations using only a strand of wire about half a wavelength long. By the construction of new tubes for the first stage of the receivers, the introduction of new insulating materials with extremely low losses and an increase in amplification of the IF-amplifier it was possible to give the modern FM-receivers a gain in the order of a few kt<sub>o</sub>. To the same goal lead the use of three-stage IF-amplifiers using low-loss filters and — in the very latest time — the use of an IF of 6,75 Mc instead of 10,7 Mc. All these measures increased the amplification-factor but left the band-width practically unchanged. Unfortunately the selectivity was not improved at the same rate as the amplification-factor. The result is a dis-

crepancy in these two basic properties of modern FM-receivers. This however was at first only noticed by those owners of new FM-receivers who are living in an area where several FM-stations come in strongly together with weak ones.

There would have been no great difficulty in compensating this increase in gain by a corresponding increase in selectivity, but unfortunately this measure diminishes the band-width and therefore the quality of the transmission too. So, during the last three years, the old compromise between the demand for highest possible gain, sufficient selectivity and lowest manufacturing costs stayed untouched and the technical solutions found by the different manufacturers, although using different ways, are still only compromises.

It started with HIFI.

As long as HIFI in Germany had not yet entered the field there were only few complaints about the unsatisfactory results of comparisons between HiFi-records and FM-transmissions. This is easily explained if one considers that the AM-reception is by many degrees worse in quality than FM because of the narrow band-width practicable, the numerous interferences with other AM-stations and the general deficiencies inherent in the AM-principle itself. The engineers knew very well how to make use of the main advantage of FM, namely its freedom of noise caused by local electric interferences which is so very disturbing in AM-transmissions. They included into the receivers limiters which were perfected in the course of time to such a degree that today even a middle-class FM-receiver compared with a good AM-receiver has at least the absolutely convincing advantage that there is next to no noise to be heard. And that is an advantage of immense value which leads every buyer without any hesitation to the FM-set.

A proof that in Germany and even in circles of the engineering-experts with ten years of experience in FM-engineering, the momentary situation is considered unsatisfactory, was given by this year's start of the new receiver-models on July 1 st. A lot of models showed three tuned circuits in the pre-selection and an IF of 6.75 Mc. The result of this measure and of other technical improvements in the circuits is an increase in selectivity on FM which is worth to be mentioned. There can be no doubt that all this is only due to the competition of the record and the high standard of sound reproduction at the receiving end. The owners of HiFi-installations very soon found out that the sound of their radios could not be compared in quality with the reproduction they got from their records and they acted accordingly.



The problem to be solved

It is common knowledge to every radio-engineer occupied with the construction of radios that it is impossible to solve the problem of a high-quality tuner for HiFi-installations by small improvements in the basic design. There are a number of technical suppositions which have to be fulfilled if the goal of a true high-quality receiver shall be reached and unfortunately it is impossible to do this by only using a given AM/FM-IF-amplifier and improving it to a certain degree. The difficulties already start with the tubes: For FM the IF-tubes have to have quite another characteristic as the tubes used in an AM-IF-amplifier. In the latter tubes with a slowly rising characteristic are needed meanwhile the FM-IF-amplifier needs just the reverse, namely tubes with a sharply rising characteristic. The stage-gain should be low in FM-IF-amplifiers in favour of a large band-width meanwhile in AM-IF-amplifiers a large gain per stage is preferable in order to limit the number of stages. There are involved a lot of other important considerations and therefore may be stated:

*An IF-amplifier for the use on AM as well as on FM is only possible if one is ready to accept a lot of compromises, most of them bad for FM.*

And here is the logical claim which follows from the above:

*Separate IF-amplifiers for both modulation-principles and construction of each of the amplifiers according to the needs of the purpose it is used for!*

That means of course some additional expenditure in the case of the FM-IF-amplifier such as more tubes and stages as well as a higher Q of the tuning-circuits and filters to secure the necessary selectivity. The general use of an IF of 6,75 Mc is probably advantageous.

In our century of television there should be no difficulties in solving the technical problem. What will be impossible however is the marketing of a receiver which can compete in economical respect with the AM/FM-Superhet of today which undoubtedly represents the best compromise possible between technical efficiency and price.

At the moment being, a tuner as described above will of course be only of interest to the owners of HiFi-installations but there could be much broader aspects when the time has come to ask the question: Stereo-Transmissions with two or even more channels of HiFi-Monophonic-Transmissions with sound analysis and following recombination on the receiving end for the purpose of reproduction of HiFi-sound with spacious characteristics?

For the public the way which may lead to the solution of this problem is of next to no interest. But the goal to improve the quality of sound-reproduction so far as to give life-like results will be something very much worth while and will justify every effort of the concerned.

## Schönbergs Schlüsselstellung zur musikalischen Weltsprache

von

KARL WENDEL

Alles kommt vom Himmel,  
nur der Mensch stammt von seinen Ahnen.  
(Chinesisches Sprichwort)

### Vorwort

Die nachstehenden Gedanken versuchen nicht, über das ohnehin fragwürdige Surrogat von Worterklärungen in die Musik Schönbergs einzudringen. Ihr eigentlicher innerer Beweggrund liegt vielmehr in dem Bestreben, das Phänomen dieses eigenwilligen Bahnbrechers der modernen Musikentwicklung als Ganzes zu umfassen, womit es sich gleichzeitig einem größeren geistigen Zusammenhang zuordnet. Dadurch wird es möglich sein, unsere bisherigen Vorstellungen von dieser spezifischen Tonsprache mit ihrem scheinbar so totalen Widerspruch zu aller geschichtlichen Tradition wenigstens nach zwei Richtungen zu ergänzen: nach ihrem strukturellen Zusammenhang mit dem allgemeinen menschlichen Kulturschaffen einerseits und nach ihrem Aufschluß für unsere heutigen Kernprobleme einer Zukunft verbürgenden Musikkultur andererseits.

Die Frage nach der Schlüsselstellung Schönbergs in der Weltmusik kann einer realen Lösung nur zugänglich gemacht werden, wenn es uns gelingt, die geistigen Haftfäden nachzuweisen, die über das individuelle Werk hinaus eine polare Kulturgestalt von allgemein-menschlicher Verbindlichkeit erkennen lassen. Eine rein musikalische Formanalyse könnte dies nicht leisten, sie führt nur zum Aufgebot der Mittel, die das Problem als solches lediglich beschreiben. Unser Beginnen ist daher von vorneherein auf den Brückenschlag zu den gestaltenden geistigen Kernkräften gerichtet, die selbstverständlich jedes nur denkbare musikalische Schaffen maßgeblich auch dort noch mitbestimmen, wo uns dies in der Handhabung der spezifisch musikalischen Symbole und materiellen Werkzeuge gar nicht mehr zum Bewußtsein kommt.

Kein tiefer Denker wird aus der bekannten hartnäckigen Verwahrung Schönbergs, in seiner Musik etwas anderes zu suchen als Musik, den Schluß ziehen wollen, daß nun ausgerechnet Schönbergs Musik keinen irgendwie gearteten menschlichen Geist und auch keinen strukturellen Zusammenhang mit irgendeiner geistigen Kulturgestaltung der ganzen Erde aufweisen dürfe. Wer das glaubt, der hat die für Schönberg durchaus berechtigte These des „l'art pour l'art“ sich noch gar nicht von innen her zu eigen gemacht, sondern läßt sie von außen dahingestellt sein und müßte eigentlich konsequenterweise sich entweder mit formal-analytischen Tauto-



logien bescheiden oder ganz schweigen, da nur die lebendige Klanggestalt gilt.

Tatsächlich ist Schönbergs ästhetische Esoterik eine uneinnehmbare „Igelstellung“ für jeden, der glaubt, in gewohnter Weise das musikalische Formgewand verbaliter zerpflücken zu können und damit den Kern der Sache in Händen zu haben. Wem dies gelänge, der könnte sich rühmen, einen organischen Intellekt zu einer künstlichen toten Konstruktion degradiert zu haben. Da wir keinen selbstgenügsamen Gelehrtenehrgeiz besitzen und besonders im Falle Schönberg uns nicht allzu viel von einer derartigen „Versuchung“ versprechen, wir aber trotz alledem ergründen wollen, „weß Geistes Kind“ dieses Werk ist, bleibt uns gar nichts anderes übrig, als rein induktiv zu dem Vorstellungsinhalt vorzudringen, der uns in der intuitiven Eigenbewegung den Schlüssel zur objektiven Taterkenntnis vermitteln soll.

## I

Das Werk Schönbergs ist — was es klangpsychologisch auch immer sein mag, und so rätselhaft es für das gewohnte Musikdenken auch im Vergleich zu Meistern wie Strawinsky, Bartók oder Hindemith seine eigenen Wege geht — vor allem anderen und sogar von allem Anfang an der entschlossene Versuch, das fast zweitausendjährige „Tongefäß“ der christlich-abendländischen Musik von innen heraus mit einem eigenen universal-menschlichen Vorstellungsinhalt zu erfüllen. Zwar hat schon die Entwicklung der letzten drei Jahrhunderte an der Vermenschlichung der sich immer mehr zur reinen Form abschließenden europäischen Klangwelt mächtig gearbeitet. Alle Großmeister haben entscheidende Schritte eingeleitet, um eine tönende Gedankenmasse rein spiritueller Jenseitsaspirationen dem eigenen menschlichen Diesseitwillen untertan zu machen. Man muß dabei aber unterscheiden zwischen einer „fortschreitenden“ Entwicklung, die im Sinne des ersten christlichen pneumatischen Gesanges ins immer Grenzenlosere zu verströmen bestrebt bleibt, um in der Folge als zentrifugale Kraft den endgültigen Formabschluß (besonders in Bach) nicht trotz sondern gerade durch das äußerste Widerstreben zu erzwingen, und einer in ganz anderem Sinne „fortschreitenden“ Entwicklung, die im grenzenlos Schweifenden keinem logischen Kurzschluß anheimfällt, weil sie von Anfang an nur die Rückkehr in sich selbst vollzieht. Das trifft auf Beethoven zu und in einem noch handgreiflicheren Sinne auf Arnold Schönberg.

Die Dinge liegen uns Heutigen einer objektiven Beurteilung viel verständlicher offen, als es zunächst aussehen mag. Vergessen wir doch nicht, daß wir unter allen sonstigen treibenden Kräften immer noch unter dem Einfluß des Neuen Testaments sowohl als auch indirekt unter dem des Alten Testaments stehen. Das Neue Testament geht vom Alten Testament aus und verbreitet auf der ganzen Erde den „Glauben an das Werkzeug Gottes“. Das Alte Testament hingegen bewahrt noch das „Wissen um die eigene göttliche Be-

rufung“. Das eine wird zum *Mittler der Idee*, das andere erlebt sich als Träger der *lebendigen Kraft*. Das eine demütigt sich bis zum „leeren Gefäß“, das sich Allen darbietet und doch von Keinem angenommen wird. Das andere zieht alle Willensmacht der selbstsüchtigen Anmaßung an und stößt schließlich aus sich selbst die Gestalten ab, die das „Gesetz“ trotz alledem erfüllen.

Das Neue Testament führt also zu den „vielen Gesichtern“ des christlichen Weltbewußtseins, das sich grenzenlos „aufspaltet“. Das Alte Testament dagegen bewahrt das Eine Gesicht des „Ewigen Juden“, der das Grenzenlose (Gott) in der eigenen Endlichkeit (Mensch) zum organisch-synthetischen Bewußtseinskristall der unteilbaren Natur verdichtet. Es ist somit wesensgleich, ob ich das aufgespaltene Ich der Christmenschen mit dem sich ausdehnenden „de Sitter-Universum“ identifiziere oder demgegenüber die „Einsteinsche Zylinderwelt“ in dem Urtypus des Ewigen Juden hypostasiiere. Auch wenn die aus der „Rotverschiebung der Spektrallinien“ erschlossene rasante Zentrifugalbewegung der Spiralnebel, auf die sich de Sitter stützt, mit der ganzen Wucht einer experimentellen Tatsache unser Bewußtsein perturbiert, so hebt dies keineswegs das Gegengewicht der bloß gedachten Einsteinschen Konzeption eines „unbegrenzten aber endlichen Universums“ auf. Der Logik, die fordert, daß wir überhaupt nicht da sind, weil sich die ganze Welt explosionsartig in den unerforschlichen Ratschluß eines ewigen Nichts zerstäube, stellt der erwachte Mensch den außerlogischen, intuitiven Schluß entgegen, daß wir gerade „jetzt“ im eigenen perennierenden Umschwung dem Universum „so“ objektive Bewegung erteilen.

Hierin liegt eben auch die lebendige Kraft der Schönbergschen Konzeption. Natürlich ist hierfür nicht entscheidend, was die bloß intellektuelle Schablone mit dem Zwölf-Tönenspiel unternimmt. Was aber wirklich damit gemeint ist, das sagt uns sehr einfach H. Besseler („Musik des Mittelalters und der Renaissance“) in einem einzigen Satz über die „bedeutende Funktion des (alt)-jüdischen Kantors“: „Statt logischen Fortschreitens auf Grund melodischer Symmetrie bieten sie (die althebräischen Melodien) ein in sich ruhendes Arabeskenspiel von rankenartig fortwuchernden Melismen und wallenden Koloraturen.“

Dieses geschichtlich belegte Faktum gibt uns den Ariadnefaden an die Hand, um der Reihenkonzeption Arnold Schönbergs dorthin zu folgen, wo der noch ungebrochene Gottesglaube beheimatet ist. Wir brauchen uns also für eine grundlegende Erkenntnis, die uns im eigenen intuitiven Schwerpunkt nur bestätigen kann, nicht erst am leeren Blatt von den Spielereien mit zwölf Tönen Rat darüber zu holen, was wir zu tun haben, um uns im eigenen Selbst der universalen Menschwerdung wiederzufinden.

Vielmehr hätten wir Grund, die erstaunlichen Schicksale der das hellenische Vermächtnis verachtenden pneumatisch-christlichen Musikentwicklung etwas kritischer uns zum Bewußtsein zu bringen, als es auch heute noch



gemeinhin zu geschehen pflegt, wo wir doch am Ende einer Entwicklung angelangt sind, die nur noch Selbstbesinnung zuläßt. Mit Selbstzerstörung kann man jedenfalls den toten Punkt der Nächstenliebe auch nicht auf-erwecken.

Suchen wir nach einem alten Zeugnis hierfür, gibt uns H. Bessler auch hierüber Auskunft, wenn er (dem Sinne nach) sagt: Der ägyptische Plotinos (204—270) faßte das hellenische Vermächtnis dahin zusammen — die Kunst ist entstanden durch den Abfall der Natur von der Gottheit. Die Seele strebt aus der sinnlichen Erscheinungswelt, die nur als flüchtiges Spielzeug und täuschender Widerschein des Wirklichen gilt, zurück zum Urschönen. Das Künstlerische ist im Werk der Abglanz und im Künstler selbst der Durchbruch des göttlichen Seins. Die Würde der Musik beruht nicht in ihrer sinnlich-magischen Kraft, die sowohl zum Guten wie zum Schlimmen zu bezaubern vermag, sondern darin, daß ihre Harmonie als Abbild und Nachklang der geistigen Welt den Eros beflügelt. — Der Plotinschüler Porphyrios (gest. um 304) habe diesen Gedanken dahin radikalisiert, daß er die Sinnenwelt ganz verwarf. Er habe damit zwischen geweihter und profaner Musik eine Kluft aufgerissen, die in solcher Tiefe für die alt-griechische Auffassung nie bestanden hatte. Umso mehr sei diese Auffassung dem Christentum entgegengekommen. —

Fügen wir diesem tiefsinnigen und historisch so nachhaltig wirkenden Gedanken noch einen weiteren Satz hinzu: „Auch die Musikgeschichte muß davon ausgehen, daß das Abendland gerade in der Selbstbehauptung gegenüber den Nachbarmächten seine eigene Form gefunden und in weithin sichtbaren Symbolen dargestellt hat,“ sehen wir nicht nur den ganzen dramatischen Weg des Abendlandes im Ringen mit dem Neuen Testament vor uns, wir haben auch die letzte Phase seiner Katharsis erreicht, die nun in zwei gleichen Antworten uns vor die Wahl der alternativen Zeugung stellt.

Zum einen sagt Bessler: „Man war bis zu einem luftleeren Raum vorgestoßen, wo die Musik ihre natürlichen Lebensbedingungen einbüßen mußte.“ Zum anderen stellen wir fest, daß auch die expansiven Aufspaltungsenergien des christlichen Abendlandes die Denkmöglichkeit in sich schließen, statt vor lauter „Selbstbehauptung gegenüber den Nachbarmächten“ die aufgerichteten Symbole wieder selbstmörderisch zu „atomisieren“, sie im Gegenteil „endlich“ auf die breiteste Grundlage einer das ganze Volk umfassenden Musikkultur auszudehnen. Totale Abstraktion und totale Konkretisierung schließen sich nicht aus: sie bedingen einander, sobald es darum geht, aus der eigenen volkhaften Musikgestalt die Elemente ihres Übergreifens zur musikalischen Weltsprache sinnvoll zu lösen.

Von hier aus kann Schönbergs Überzeugung, daß seine Musik auch vom Volke gesungen werden wird, wenn die Menschen ihr nachgewachsen sein werden, nicht mehr zurückgewiesen werden. Die konsequente Verdichtung einer organisch-gewachsenen Tradition in diejenige neue Gestalt, die von

jeder anderen Tradition von ihrer geistigen Wurzel her aufgenommen werden kann, ist kein „Bruch mit der Tradition“, sondern deren Überhöhung zur unerläßlichen Universalität. Damit wird diese neue Gestalt als kernstruktureller Genotypus einer echten organischen Lebenskraft erkannt. Es kann also hier von einem horror vakui keine Rede mehr sein. Dann ist aber auch das „in sich ruhende Arabeskenpiel von rankenartig fortwuchernden Melismen und wallenden Koloraturen“, wie es Schönberg ad oculos (also zum Schauen, und nicht zum Angaffen) demonstriert hat, keine Gefahr mehr. Vielmehr erwächst aus der höchsten Selbstzucht des universellen Menschen jene „Gefahr der eigenen Sicherheit“, die die katastrophalen Spannungen dem Gewohnheitsdenken aus der Hand nimmt, um sie als Organ-erfüllte Lebensenergien der viel gesuchten, nie erreichten und dennoch einzig realen Idee der menschlichen Kulturgemeinschaft einzuverleiben.

Lassen wir noch einmal H. Bessler zu Worte kommen: „Seit Ph. von Vitry („ars nova“) muß aber Musik auch stets ideell auf das menschliche Ganze bezogen sein: sie hat von nun an den Rang einer Ideenkunst, nicht eines bloßen Spiels von Ornamenten und Tonarabesken.“ — „Das Schicksal der Musik, ihre stärkste Möglichkeit und Gefahr, beruht seitdem darin, zwischen exklusiven Höhen geistiger Schau und den Elementargewalten der Tiefe immer erneut einen Ausgleich schaffen zu müssen.“ —

Hier kommen wir wieder auf den „Mann im Engpaß“ (Schönberg) zurück, der einerseits das „in sich ruhende Arabeskenpiel“ nicht nur trieb-sicher in das Symbol des Zeitlos-Wandellosen bannte, er hat auch als organischer — nicht sich selbst abstrahierender — Intellekt die synthetische Mitte wiedergefunden, die uns bis dahin das Verständnis für den biologischen Eigentum ex oriente lux vorenthalten hatte.

## II

Der ferne Osten hat mindestens seit Skrjabin und Debussy in unserem Bewußtsein starke und noch heute anhaltende Anziehungskräfte ausgeübt, die alle um die intuitive Wiedererweckung der universalen Menschwerdung kreisen. Das kann natürlich nicht auf dem Wege einer bloßen formalen Nachahmung verwirklicht werden. Entscheidend für den produktiven Erfolg dieser Bemühungen ist, daß die Intuition nicht das „gesuchte“ Ideal bildet, sondern daß sie der reale Ausgangspunkt ist, der sich an den Urbildern der asiatischen Weltweisheit selbständig zu orientieren vermag.

Die europäische „Mode“, anderen etwas vorzuzerzieren, läuft sich hier rasch selbst tot. A s i e n — der Leib der Menschheit, läßt sich von dem europäischen „Kopf“ nicht gängeln und narren. Man muß also schon etwas mehr mit auf die Welt gebracht haben, wenn man in die Realität Asiens eindringen will. Bis jetzt hat sich unser Kopf gern darin gefallen, dem Leib Rätsel aufzugeben. Diese „Problemstellungen“ sind hinfällig geworden, seitdem der Leib begonnen hat, uns Antworten zu erteilen, die sich



unser Kopf nicht mehr hinter den Spiegel seiner eigenen Vorspiegelungen (von falschen Tatsachen nämlich) stecken kann.

Selbstverständlich sind die großen Meister gerade in der Musik von derlei kleinen intellektuellen Anwandlungen freizusprechen. Ihre Bemühungen um das asiatische Denken entspringen einem gewaltig-ernsten Streben nach lebendiger Wahrheit und letzter Klarheit über das eigene Schicksal. Mögen auch die Grade ihrer Verwirklichung sehr verschiedenartig gestuft sein: sie führen nicht mehr in die Irre, wie es der europäische Intellekt heute welt-historisch an sich selbst erfährt, sondern sie führen nach so langem Irren „endlich“ wieder zurück in den lebendigen Herzschlag der einen unteilbaren Menschheit.

Die einzigartige Kraft der Schönbergschen Intuition muß nun darin erblickt werden, daß er sich nicht mit tastendem Umfühlen der Lichtkonturen (wie Skrjabin) oder mit dem visionären Erschauen einer uns noch ganz fremden Welt begnügte (wie Debussy), sondern er stellte sich die Aufgabe, den „Kopf“ unseres abendländischen Musikdenkens lückenlos wieder seinem asiatischen Leib zu vermählen. Diese Tat auf europäischem Boden ist nur vergleichbar dem „Taoteking“ des großen chinesischen Weltweisen Laotse.

Um alle schöpferischen Prozesse in Schönbergs musikalischem Universum nach ihrem immanenten geist-gesetzlichen Strukturzusammenhang verständlich zu machen, bräuchten wir nur den „Taoteking“ Laotse abzuschreiben. Da dieses Originaldokument der „Tat ohne Worte im Atonalen der Kraft“ für europäische Ohren noch viel unverständlicher ist als die Musik Schönbergs, so möchten wir zur näheren Charakterisierung der hier obwaltenden Denkschwierigkeiten mit einigen Hinweisen auf das Wesen der klassischen chinesischen Musik darauf hindeuten, daß auch hier die Dinge nicht mehr so ganz im Dunkeln verharren können. Besonders im geistigen Spiegel des Schönbergschen Werkes beginnt es hier auch für uns merklich zu dämmern. Machen wir die Probe aufs Exempel.

Einer Arbeit von F. A. Kutterer: „Die verborgenen Beziehungen zwischen Sprache und Musik“ (Musica 1951/I) entnehme ich folgende bemerkenswerte Daten. — Die Chinesen sind das einzige Volk der Welt, das am isolierten Einzelton und seiner Hervorbringung Interesse zeigte. Während alle anderen musikalischen Zivilisationen mit der Entdeckung von Melismen oder kleinen Melodieeinheiten begonnen haben, war für die klassische chinesische Musik die Erzeugung des Einzeltones in Dutzenden von Schattierungen, Stärkegraden, Klangfarben und Tonschwankungen eine hochgeschätzte künstlerische Ausdrucksform. So habe schon Kungfutse seinen Klangstein in *einer* Höhe, aber mit *unzähligen Variationen* geschlagen. (Nach solch einer „Schau“- und „Hausmusik“ rief der Meister einmal aus: „Ich habe nicht gewußt, daß die Musik eine solche Höhe erreichen könnte!“) Die chinesische Sprache ist eine „Tonsprache“ (sic!) und zwar eine „einsilbige“. Sie kommt mit nur 440 phonetischen Silben aus, jede aber ist vier

verschiedener „Intonationen“ fähig. So stellt sich die große klassische chinesische Tradition mit ihrer kärglichen Fünfton-Skala dar als eine Musik der Schattierungen, der Nüancen und ungeheuer subtilen Abstufungen. —

Mancher Leser dieser Zeilen wird geneigt sein, schon hier wesentliche Gestaltfaktoren des Schönbergschen Werkes vorwegzunehmen. Er wird aber auch erfreut sein ob des unerwarteten Wiedersehens mit der „punktuellen Musik“ Anton Weberns, dem Klangidol unserer heutigen, auf der Suche nach sich selbst befindlichen musikschöpferischen Jugend. Verfolgen wir aber inzwischen den Weg Schönbergs weiter, und überzeugen wir uns insbesondere von der tieferen Berechtigung, die es gerade ihm gestattete, das Ziel zu erreichen!

Da eine direkte Verschmelzung der asiatischen Musik mit der europäischen nicht ohne weiteres möglich, die historische Aufgabe unseres Jahrhunderts aber die Ausprägung einer musikalischen Weltsprache war und ist, können wir nicht umhin, dem tatsächlichen Bahnbrecher einer dem Wesen des Tones inhärenten universellen geistigen Spannweite, Arnold Schönberg, das Verdienst zuzuerkennen, daß er diesen entscheidenden Schritt zu einer Zeit vollzogen hat, als in Europa noch jegliches Verständnis für eine derartige Lösung gefehlt hatte. Wie Schönberg sich seiner einmaligen historischen Aufgabe unterzogen hat, erweist sich außerdem immer mehr als eine geistige Großtat ersten Ranges, ist es ihm doch gelungen, den Bruch mit der europäischen Tradition nicht einfach als gewaltsamen Einbruch eines total Fremden etwa rein intellektuell sich zu „erschleichen“, Schönberg hat vielmehr die epochale Wendung im vollkommensten und unablässigen Kontakt mit unserer großen Tradition Schritt um Schritt gemeistert, ohne deren geistige Substanz im mindesten zu entwerten. Er bereicherte sie und zwar in ihren rein musikalischen Ausdrucksmitteln mehr, als wie wir jemals gezwungen worden sind, es einem einzigen Meister zu bestätigen.

Es stimmt schon in einem erstaunlichen Ausmaß, was Schönberg selbst (treffsicher wie immer) dahin formulierte: „Die zweite Hälfte dieses Jahrhunderts wird durch Überschätzung schlecht machen, was die erste Hälfte durch Unterschätzen gut gelassen hat an mir.“ Wenn etwas Wahres daran ist, dann befinden wir uns bereits in der Gefahr, die Größe des Phänomens als gegeben hinzunehmen, ohne uns noch weiter kritisch damit auseinanderzusetzen.

So hat H. Eimert 1951 darauf hingewiesen, daß die Welt schon heute davon überzeugt ist, Schönberg sei ein großer Komponist, obgleich sein Werk in seiner musikalischen Substanz noch nahezu unbekannt ist. Es ist aber doch eine unbestreitbare Tatsache, daß alle wahre Größe auf Erden nicht sofort und allgemein als solche anerkannt wird. Das Kriterium der wirklichen Originalgestalt liegt geradezu darin, daß in ihr die Zukunft in nuce vorweggenommen wird. Die geniale Großtat kann im besten Falle direkt nur von ein, zwei Personen verstanden, eventuell noch im kleinsten



Kreise ahnend begriffen werden. Wo das Gegenteil zuzutreffen scheint, handelt es sich bestimmt nicht um den zukunftsträchtigen Kern des Genius, da dieser gemeinhin sogar dem Träger selbst als Zeitgenosse durchaus in halb unbewußten Bezirken verborgen bleibt. Sagt doch Albert Schweitzer mal von J. S. Bach, daß selten ein Meister seinem eigenen Genius so völlig fremd gegenübergestanden sei wie gerade er. So gehört es auch für das Genie zu den Ausnahmefällen, daß es ihm vergönnt ist, in einer Umwelt voll großer, weltbewegender Ereignisse über seine eigene Mission in die fernere Zukunft hinein völlig klarzusehen. Es ist ja auch (menschlich gesprochen) etwas viel verlangt, wollte man die außergewöhnlichen Erregungen blitzartiger Erleuchtungen, die in die Zukunft weisen, im gleichen Individuum, und sei es auch das denkbar genialste, zu dem erlebten *Dauerzustand* machen, den es nach Jahrhunderten im Bewußtsein von vielleicht Tausenden oder gar Millionen behaupten wird.

Wer als aufgeschlossener und denkender Mensch die Zeit miterlebt hat, da Schönbergs Werk heranreifte, der weiß, daß auch hier dieses Gesetz des vorwegnehmenden Genius nicht durchbrochen, sondern erfüllt worden ist. Wenn es uns aber heute immerhin möglich ist, Schönbergs Tat einigermassen als Ganzes zu umspannen, ihr kulturelles Eigengewicht genauer zu erfassen, und wenn wir dabei ebenso weit zurückgreifen müssen in der uns überschaubaren Entwicklung der abendländischen Musik, wie wir gleichzeitig gezwungen sind, die ideellen Ausstrahlungen auch räumlich viel weiter hinauszufolgen, als wie wir es bisher vielleicht gewohnt waren, dann kommt uns erst zum Bewußtsein, warum gerade Schönberg dazu prädestiniert war, diese folgenschwerste Umwälzung unseres gewohnten musikalischen Weltbildes zu vollenden.

### III

Es würde den Rahmen dieser kleinen gedanklichen „geodätischen“ Ortung von Schönbergs Tat sprengen, sollte dieser entscheidende Kernpunkt auch noch ausführlich hier seinen Platz einnehmen. Sagen wir es ganz kurz: Gerade alle herabsetzenden Einwände, die Schönberg als *Jude* erfahren hat, waren das objektiv Dümme, was vorgebracht werden konnte angesichts der Reinheit einer künstlerischen Gesinnung, die auch der Charakterloseste anerkennen mußte. Die reale Synthese zwischen Europa und Asien insbesondere aus europäischen Bedingungen und Nötigungen heraus herbeizuführen, das war eine Aufgabe, für die diesmal der in mehrtausendjähriger Leidenszeit ausgeglühte, vom Schicksal der ganzen Menschheit entscheidend geformte jüdische Geist und Wille gerade noch ausreichte. (Der „Europäer“ ist auch heute noch nicht da, und der nationale Kleingeist versteht womöglich erst recht nicht, worum es geht.)

Wir sind doch auf das „germanische“ Monstregenie Richard Wagner mit manchem Recht so stolz und können beurteilen, wie lange es gedauert hat, auch nur aus dem unmittelbaren übermächtigen Banne dieser extremen

Energieentladung herauszukommen, womit ja erst die selbständige Auseinandersetzung mit ihm sich verwirklichen konnte. Wir haben wohl seither gesehen, daß es selbstverständlich möglich war, sich von seiner sklavischen Nachahmung zu befreien. Das gelang am vollkommensten, wo man entschlossen ganz andere Wege beschritt, die von Wagner unberührt geblieben waren. Aber wir haben es nicht erlebt, daß einer gradlinig durch das Kraftzentrum Wagners hindurchgegangen wäre, um nicht nur sich selbst zu finden, sondern um auch das gesamte Vermächtnis der abendländischen Musik als *entschlüsselte Weltsprache des befreiten Tones einzulösen*.

Eine echte Übersteigerung der Wagnerschen genialen Ausdruckskraft erfordert viel mehr und anderes als bloße Genialität. Sie setzte weder einen germanisch-deutschen noch einen national-jüdischen Genius voraus, sondern den universellen Menschen, der die Kraft der Selbstüberwindung seiner eigenen Erhebung bis an die Grenzen der Menschheit dienstbar zu machen verstand. Die Idee der „Selbsterhebung“ bzw. „Selbstbefreiung“ wollte Richard Wagner in seinem letzten dramatischen Entwurf: „Wieland der Schmied“ auf die Theaterbühne stellen. Hätte er dies noch schaffen können, es hätte zwar symbolische Kraft gehabt, aber die Konsequenzen, die Schönberg aus dem selbst erlebten Notstand gezogen hat, wären auch nicht in einem dramatisierten „Wieland“ von Wagner realisiert worden. Um dies zu vollbringen, dazu hätte Wagner erst durch den totalen Zusammenbruch seiner Weltanschauungsaspirationen hindurchgehen müssen, und dieser konnte nach allen Voraussetzungen von Wagners Bewußtseinslage kein realer Übergang werden, sondern nur ein reales Ende sein. Hier hätte er dann all dessen ermangelt, was dem Juden Schönberg den „Zug durch die Wüste“ der zertrümmerten Form in die Wiege gelegt hatte kraft einer Rasse, die es nicht nötig hat, sich als solche weltanschaulich erst noch in Szene zu setzen auf den Brettern, die die Welt zwar bedeuten, aber noch lange nicht sind.

Wenn etwa Gestalten wie Schönberg, Gustav Mahler oder auch Einstein und Freud zu den Großen des historischen Judentums gehören, dann ehrt es dieses Judentum. Aber nicht daß sie Juden sind, ist das Ausschlaggebende: Weil sie — jeder in seiner Sphäre — der ganzen weltumfassenden Wissenschaft, der ganzen weltumfassenden Wahrheit, der Einen musikalischen Weltsprache und dem Einen universalen Menschentum entscheidende Siege erfochten haben, deshalb kann ihre Größe auch nur von der ganzen Menschheit voll gewürdigt und für sich in Anspruch genommen werden. Ihr gleichzeitiges Judentum ist damit aller Kritik enthoben.

Wenn die Frage nach ihrem Judentum überhaupt aufgeworfen werden kann, dann nur insofern, als dieses ihr Judentum ihnen bei der Bewältigung ihrer Weltaufgaben offensichtlich sehr zustatten gekommen ist. Sie waren auf Grund der besonderen jüdischen Welterfahrungen als ein in der Zerstreuung lebendes Volk in außerordentlichem Maße für eine weltweite



Lösung herangereift. Es wäre also ein Widerspruch in sich selbst, wollte man nach dem vollbrachten Durchbruch zum Universal-Menschlichen noch einmal eine „Judenfrage“ rekonstruieren.

Damit sind wir an den Punkt gekommen, den Mahatma Gandhi in seinem Arbeitszimmer unter einem Christusbild etwa dahingehend beschrieben hat: „Christus ist mein Bruder. Ich bin Christ, Jude, Hindu und Heide“. Wem das zu viel oder zu wenig, zu spezifiziert oder nicht spezifiziert genug dünkt, der möge sich selbst die Frage beantworten, was nun eigentlich der *Katholik* Arnold Schönberg nach seiner Rückkehr zur „Religion seiner Väter“ ist? (So geschehen am 24. Juli 1933 zu Paris.) Ist er nun Judenchrist nationaler Prägung, Messianist, Chiliast, Gnostiker, Ebionit oder Nazaräer? Oder Katharer — „Ketzer“? Mormone oder Buttadio/Juan Espera-en-Dios/Ahasver? Sucht er das „Ewige Evangelium“ mit seiner Verkündigung eines ewigen Zeitalters des Geistes, der vollkommenen Erkenntnis und Anbetung Gottes und der vollen geistigen Freiheit, das nach dem Ablaufe der beiden Zeitalter des Vaters und des Sohnes anbrechen sollte? (Fast das Gleiche lehrt eine heutige religiöse Sekte, die ebenso an die Gnostiker angeknüpft haben könnte, wie sie sich auf das Johannesevangelium beruft.)

Nach unserer, auf Universalität gerichteten „geodätischen Weltlinie“ ist aber nur die Beantwortung der Frage von primärem Interesse, die wir oben bereits angebahnt haben, und die uns endlich aus dem Wirrwarr historischer Formprobleme herausführen will. Der „andere gegebene Punkt auf unserem gegebenen Erdsphäroid“, dem Schönbergs gesamtes, „epi- und hypozykloidisch“ vorangetriebenes Schaffen verhaftet bleibt, ist eben *Asien selbst*. Das Dasein des katholischen (allgemeinen) und jüdischen (ausgewählten) Schönberg ist an sich schon ein „Epizykel“, in der sphärischen Geometrie bekanntlich jene gekrümmte Linie, die man erhält, wenn man sich denkt, daß ein Punkt mit gleichförmiger Geschwindigkeit den Umfang eines Kreises durchläuft, während gleichzeitig der Mittelpunkt dieses Kreises wieder um einen anderen Punkt einen Kreis beschreibt.

Wie man sieht, lohnt es sich, (entgegen der gewohnten wundergläubigen Denkfaulheit der Musiker) sich an allgemeineren menschlichen Bewußtseinsinhalten die weitere Orientierung zu holen, um sich nicht ständig selbst im Licht stehen zu müssen.

Um irgendetwas lösen zu wollen, muß man es nur seiner Starrheit entreißen, und die ganze in ihm aufgespeicherte Entwicklung rollt sich von selbst vor unseren Augen ab. Das war alles, was Arnold Schönberg von Anfang an als eingeschworener Autodidakt unternommen und durchgeführt hat. Es ist dabei ganz gleichgültig, ob es sich um seine erste Komposition handelt, die den Klavierpart völlig linear aufgelöst der lebendigen Stimme zugesellte, oder um eine Harmonielehre, die sich vom Schüler, dem „anderen gegebenen Punkt“, in ihrem „zykloidischen“ Bewegungstypus heraus-

schälen läßt, oder um seinen ganzen melodischen Schreibstil, der — nach Stuckenschmidt — einer Art „Osmose der Töne“ folgend die Allgegenwart der chromatischen Tonleiter manifestiert. Oder seine „Kraft der naiven Anschauung, alles vom kleinsten Alltäglichen bis zu höchsten künstlerisch menschlichen Fragen neu zu erfassen und zu beleben und diese persönliche Wertung überzeugend mitzuteilen“. Oder seine „immanente Form des Musikdenkens von Anbeginn: die Variation“.

Es gilt also, das „Problem Schönberg“ aus seiner Erstarrung zu lösen. Ob wir das am Weistum der Manichäer erproben, oder ob wir es — wie oben eingeführt — aus der chinesischen Tonsprache und besonders in die Augen fallenden Wesenszügen der altchinesischen Musik direkt ablesen, dafür existieren keine Vorschriften, sondern das sind nur bereits vorgebahnte Wege, die wieder zur Mitte aller menschlichen Probleme zurückführen. (Darüber hat sich bekanntlich Schönberg so ausgelassen: „Der Mittelweg ist der einzige Weg, der nicht nach Rom führt“. Was sich der Katholik Schönberg dabei gedacht hat, ist irrelevant. Aber daß wir diesem Gedanken auf seinem intuitiven Hintergrunde objektive Bewegung erteilen, das ist entscheidend.)

Wir sprachen von „Zykloiden“. Da wir damit weder Überraschungseffekte, noch Gewaltlösungen, noch sonstige „gekrümmte Linien“ im Sinne haben, sei es erlaubt, einen Satz zu zitieren, der das Bipolare unseres heutigen Bewußtseins am Beispiel der „modernen Polyphonie“ folgendermaßen beschreibt: „Melos ist die Grundkraft, welche die Haltung in der allerletzten Spanne unserer Musikentwicklung (um 1930) bestimmt, nicht nur äußerlich zur Formung als moderne Polyphonie führt, sondern auch das Innere der Gattungen von Grund aus verändert, als Teil eines Umstellungsprozesses, welcher an der *Umformung des Menschlichen selbst* arbeitet.“ (S. Günther.)

Das ist nur eine andere Version dessen, was wir in der Umwertung des Intellekts in Intuition als „zykloidische Bewegungstendenz“ für unsere „symbolische Systemdarstellung“ (P. A. Dirac) genutzt haben, um die schicksalhafte Wandlung des Schönbergschen Werkes in seiner Schlüsselstellung zur musikalischen Weltsprache evident zu machen. Daraus erhellt, daß es mit Schönbergs Werk eine eigene Bewandnis hat. Sein Verfahren ist unserem heutigen intellektualistischen Betrieb schnurstracks entgegengesetzt. Reihentechnik vermag nur zu erfüllen, wer schon den Schlüssel zur gesamten historischen Entwicklung unserer Musik besitzt und ihn auch sinnvoll anzuwenden versteht, nicht um nochmals die Historie damit erschließen zu wollen, sondern um einen ganz unhistorischen, allgegenwärtigen Kernprozeß durch sich selbst zu realisieren.

Somit ist der Schlüssel von Schönbergs Musikdenken aller Formmagie entledigt, er wirkt als wirklich neuer Schlüssel (nicht als bloßes Zusammenstückeln seiner Bestandteile), der nun nach eigenem freiem Ermessen zur



Eroberung neuer Klangwelten eingesetzt werden kann. Er ist an gar keinen bestimmten Stil gebunden. Mit ihm läßt sich sowohl das simpelste Gebilde in C-dur verwirklichen, das am sinnvollsten sehr frei bleiben kann von historischer Schablone, wie auch die Serienkomposition, die entweder im freien Schalten und Walten mit historischen Formen oder im freiesten extremen Schaffen komplexer Ausdrucksgewalten Verwendung finden mag.

Mit dem Schönbergschen abstrahierten Konkretum oder dem konkreten Abstraktum (wie man es auch drehen und wenden mag) ist dem Schaffenden ein Werkzeug an die Hand gegeben, das ihm sowohl erlaubt, ganz hinter dem Werk zurückzutreten, oder umgekehrt völlig mit ihm sich selbst zu verschmelzen. In jedem Falle ist der Mensch dabei weder eine anonyme Fiktion, noch eine evidente „Niete“, ist es doch *sein* Werkzeug, das ihn selbst im Augenblick der lebendigen Gegenwart objektiv und subjektiv zugleich zum Gehorsam der eigenen Befehle verpflichtet. Die „Reihenkomposition“ ist also primär kaum zur „Ergötzung“ des anderen prädisponiert, noch weniger zur Selbstbeweihräucherung, sondern sie führt unwiderstehlich in den tiefen Ernst des Mannes, der sich selbstverantwortlich die Probe aufs Exempel liefert. (Man sehe sich daraufhin die II. Sonate für Klavier von Philipp Jarnach mal genauer an!) Das „Exempel“ ist der ganzheitliche Sinn der Musik schlechthin, die „Probe“ ist die Selbstbefreiung der lebendigen Kraft, die im Urtrieb der universalen Menschwerdung alle Teile organisch-synthetisch zum Ganzen verbindet. Und eben dies ist der unverrückbare Sinn der Schönbergschen Tat.

Schönberg hat das „Ende“ der Musik konsekriert, jetzt geht es darum, ihren „Anfang“ neu zu konstituieren. Das „Ende“ war der individualistische „Schlußfall“. Er hat den Mystikern und Magiern des Tones den Wind aus den Segeln genommen. Der „Anfang“ ist kein individualistischer Kurzschluß mehr, sondern er ist die kollektive „Materiewelle“ der tonalen Realisation. Die „Zwölftönekomposition“ war für den „Einzigen und sein Eigentum“. Die erneute Tonalität ist für „unendlich Viele“, wie es schon die NOUS des Anaxagoras konzipiert hatte.

So peilt Schönberg die Richtung seiner „elektronischen Gedankenbahnen“ auf den Kern selbst ein, der von allen zeitgenössischen Meistern fast ausschließlich umkreist, aber nur sehr selten zu seiner menschlichen Kulturgestalt aufgesprengt und angewendet wird. Mit Gott und den Menschen gerungen wie Jakob, der dabei in seiner Hüftspannader getroffen wurde, so sehen wir Arnold Schönberg 1946 nach einer ärztlichen Herzspritze noch einmal vom Tode auferstehen, aber halb erblindet. Er selbst gibt uns den Schlüssel an die Hand, wie der universale Mensch den Elektronenkosmos seiner metaphysischen Gedanken in dem Diesseits des verklärten Leibes sich aufs Haupt setzt mit den Worten: „Wer Reines kann, wird es tonal oder atonal können.“

## Schoenberg's Key Position in the Universal Language of Music

by

KARL WENDEL

Everything comes from Heaven,  
only man comes from his ancestors.  
Chinese proverb.

### Preface

The following thoughts are not an attempt to intrude into the music of Schoenberg on top of the rather questionable substitute of existing verbal explanations. Their real motive is a desire to obtain an overall view of this wilful pioneer of modern musical development: it will then be seen that this phenomenon falls into its place in a larger order. Thus it will be shown that Schoenberg's utter contradiction of all historical tradition is apparent only, for our present ideas about this specific musical language will be complemented, by this thesis, in at least two ways: on the one hand, its structural connection to all human creative activity will be made evident, while on the other, some light will be shed on today's basic problems of a music which looks to the future.

The question of Schoenberg's key position in the universal language of music can be answered only if we are able to indicate the mental threads which go beyond the individual work to show us a polar cultural figure with universal, human ties. A mere musical analysis does not go far or deep enough, as it merely supplies the means to describe the problem as such. We must therefore focus our attention, from the very beginning, on the innermost creative mind, for it largely is the link towards all creative toil, although often it becomes hidden behind its own manipulation of specific musical symbols and other tools of trade.

Schoenberg persistently used to warn against seeking in his music any other thing than music — this will not bluff any profound thinker into the conclusion that only Schoenberg's music is exempt from any kind of human spirit or from any structural relation to any form of culture on earth. Anyone who thinks so has not yet scratched the surface of Schoenberg's very just thesis of *Part pour Part*, and should logically make do with the tautology of formal analyses, or else be silent, as only the living form of sound counts.

It is true that Schoenberg's esoteric aesthetics must appear as an impregnable ivory tower to all those who habitually would fain pluck Music's formal mould to pieces, imagining thus to get to the work's real core. Anyone succeeding here could be proud of having degraded an organic



intellect to an artificial, dead construction. Now we have not the smug schoolmaster's vanity; we do not even expect overmuch of any such "temptation", especially when dealing with Schoenberg; as we are nevertheless desirous of baring these works' spiritual lineage, we have simply no alternative than to push on purely inductively to that association of ideas which, through their own intuitiveness, may provide the key to an objective view.

## I

The work of Schoenberg is first and foremost, and even from its very beginnings, the determined attempt to "sound" the bottom of the almost two-thousand year old vessel of Occidental Christian music and to fill it, from within, with the universally human mental content proper to it. (This is true regardless of musical psychology or of this music's puzzling individualism in the face of habitual musical thought, even compared to masters as Stravinsky, Bartók or Hindemith.) To be sure, the last three centuries already did some mighty work towards making the European realm of sound more human and crystallising it more and more into pure form. All great masters took decisive steps towards subjugating, by man's own earthly will, the sounding body of thought which originally only had purely spiritual aspirations towards the Hereafter. Here it is essential to draw the distinction between two lines of development, each "progressive" in a different way: on the one hand we see, as in the first Christian pneumatic song, a development striving to disperse into ever greater boundlessness, only to force — as it were centrifugally — the final crystallisation of form (especially in Bach) not in spite, but just because, of extreme reluctance; the other development is, in its sweeping boundlessness, subject to no short-circuit of logic, for it is concerned from the very beginning only with a return into itself. This applies to Beethoven and, even more palpably, to Arnold Schoenberg.

We are in a far better position today to judge these facts objectively than might at first appear. Let us not forget that the New Testament, and even indirectly the Old Testament, is still among the factors influencing us today. The New Testament starts out from the Old Testament and spreads the "faith in the instrument of God" throughout the earth. The Old Testament, however, still preserves the "certainty of man's divine calling". The one becomes the *vehicle for the idea*, the other lives to be the *bearer of the living power*. The one humbles itself to become the "empty vessel" available to all, accepted by none. The other presumes all egotistical power, finally to expel those figures which nevertheless fulfil the "law".

The New Testament, then, leads to the "many faces" of Christianity, "splitting up" boundlessly. The Old Testament, however, preserves the Single Face of the "Eternal Jew", who through his own human finiteness condenses divine boundlessness into indivisible nature's organic crystal of

consciousness. Hence it makes no difference whether we identify the split self of the Christians with an expanding „de Sitter universe“ or personify the "cylindrical world of Einstein" in the type of the Eternal Jew. De Sitter bases his belief on the plane centrifugal motion of spiral nebulae, disclosed by the displacement of spectral lines towards the red; while this may perturb our consciousness with all the weight of experimental evidence, it by no means compensates Einstein's merely theoretical conception of a "limitless though finite universe". The fact that the world is constantly exploding in the inscrutable decree of an eternal Nothing gives rise to the logical conclusion that we do not exist at all — but awakening man counters this by the extra-logical, intuitive conclusion that we are right "now" giving the universe "such" objective motion by our own perennial revolutions.

It is just in this that the living power of Schoenberg's conception lies. Of course the game of twelve tones, used to direct the intellect, is not crucial here. What is really meant is very simply explained by H. Bessler in his "Musik des Mittelalters und der Renaissance" (Musik in the Middle Ages and the Renaissance) in a single sentence on the "significant function of the (old) Jewish cantor": "They (the old Hebrew melodies) do not progress logically on the basis of melodic symmetry, but rather repose in arabesques of rolling coloratura and melismas luxuriously growing like climbing plants."

This historical fact shows us the road by which we may follow Arnold Schoenberg's serial composition to its real source in an as yet unbroken faith in God. Not the blank page of dodecaphonic play then need be asked on how to find our way through universal human evolution, for such a more fundamental view can only be confirmed by our own intuition.

Instead, the amazing fate of pneumatic-Christian musical development, so contemptuous of its Hellenic heritage, might be examined a little more critically than is usual at this time when we have reached the end of a development allowing only preoccupation with one's self. At any rate, an impasse in charity cannot be overcome by self-destruction.

On this point again, H. Bessler provides us with an ancient piece of evidence. According to him, the Egyptian Plotinos (204—270 A. D.) summed up the Hellenic heritage in the dictum: art is the result of the fall of nature away from God. The soul aspires back to the all-beautiful, away from the visible world of the senses which is only regarded as a brief play and an illusory reflection of reality. Art is expressed in its works as the image, and in the artist as the breaking-through, of the divine being. The dignity of music rests not in its sensual magic, which has the power to bewitch in a good as well as a bad sense, but rather in the fact that Eros is given wings by its harmony, seen as an image and a reminiscence of the spiritual world. Plotin's pupil Porphyrios (died about 304 A. D.) carried



this idea to the point of rejecting the world of the senses altogether, thereby opening a chasm between sacred and secular music such as never had existed in the ancient Greek conception, but all the more in Christianity.

Let us add one more sentence to this profound thought so full of enduring historical meaning: "Even musical history must start from the realisation that western civilisation found its own expression just in asserting itself to its neighbours, displaying this expression in symbols visible from afar." This sentence discloses the whole dramatic conflict of the West with the New Testament; its catharsis has reached the final stage, a parting of the ways where we must choose between two similar sign-posts.

About the one, Bessler says: "Man had advanced to an empty space, a vacuum in which music lost its condition of life." To the other we say that even the great energies of fission taxing occidental Christianity do not exclude the possibility of "at last" extending these symbols of expression to form the broadest foundation for a musical culture embracing all peoples, instead of suicidally "atomising" the symbols out of pure "self-assertion to its neighbours". Total abstraction and total concretisation do not exclude each other: each requires the other as soon as an attempt is made to isolate within the music of all individual peoples the elements by which this folk music carries over into a universal language of music.

From this point of view one can no longer contradict Schoenberg's conviction that his music will be sung by the man in the street once he has grown up to it. It is no "breach with tradition" consistently to condense a tradition of organic growth into a new form such as can be assimilated by any other tradition through its own spiritual roots — it is a raising-up of that tradition to indispensable universality. This shows the new form as the nucleus of heredity of a genuine vital power. There can be no more talk then of a *horror vacui*. But also the "reposing arabesques of rolling coloratura and melismas luxuriously growing like climbing plants" — as demonstrated by Schoenberg *ad oculos* (i. e. to be seen, but not to be gaped at) — are no longer dangerous. Rather, universal man's highest self-discipline brings that "danger to his security" which takes the catastrophic tensions out of habitual thought to incorporate them, as a vital energy, in the idea of the human cultural community which is so sought after, has never been reached, but yet is the only idea worth striving for.

Let H. Bessler have his say once more: "Since P. von Vitry ('ars nova'), music must always be regarded, ideally, in the light of the whole of humanity: from now on, music is concerned with ideas — it is no longer a mere play of ornaments and arabesques in sound." — "Since then, music's fate, its greatest chance and its greatest danger lie in continually reconciling the exclusive heights of the spirit with the elementary forces of the deep."

So we come back to Schoenberg who with a sure instinct turned the "reposing play of arabesques" into the symbol of timelessness and change-

lessness; but, being an organic — not self-abstracting — intellect, he also found the synthetic mid-point, which until then had prevented our understanding of the biological significance of *ex oriente lux*.

## II

At least since Skriabin and Debussy, the Far East has exerted a great attraction on us, still in evidence today. This attraction really circles around the intuitive reawakening of universal man, although this cannot of course be reached by mere formal imitation. It is decisive for the success of these efforts that this intuition, far from being the ideal which is *aimed at*, is the actual starting point, after which ancient Asiatic wisdom can help to show the way.

The European "fashion" of acting as drill-sergeant to everybody else comes to a soon and sorry end here. *Asia*, mankind's body, will not be fooled or led on a string by the European "head". In other words, you must have a little more to show for, in order to penetrate into the reality of Asia. Up till now, our head has been pleased to give the body riddles to solve. This "posing of problems" has become untenable since the body started giving us answers which our head can no longer put behind the mirror of its own imaginings (of false pretences namely).

Especially in music, the great masters can of course be acquitted of these little intellectual fits. Their concern for Asiatic thinking springs from a most earnest striving after the living truth and ultimate clarity about their own fate. May the results of their various efforts have ever so different merit — they no longer lead astray; it is a fact of world history that the European intellect is discovering this for itself today: after so much straying, these efforts are "at last" leading back to the beating heart of one indivisible mankind.

Now Schoenberg was not satisfied to grope around outlines of light (like Skriabin) or to perceive, like a visionary, a world as yet quite strange to us (like Debussy); the unique force of his intuition must now be seen in that he set himself the problem of joining the "head" of our western musical thought again to its Asiatic body, without leaving any gap. This deed on European ground can be compared only to the great Chinese philosopher Laotse's "Taoteking".

If we wished to make all the creative processes in Schoenberg's musical universe generally understood in terms of their immanent spiritual and structural context, we would only have to write out the "Taoteking" of Laotse. As this fundamental document on the "Deed without words in atonal power" is even less understandable to European ears than the music of Schoenberg, it might be advisable to indicate these mental difficulties by some remarks on the nature of classical Chinese music — for the darkness will have to be raised from it also a little. The dawn is rising for us notice-



ably here, especially as mirrored by the work of Schoenberg. Let us test an example.

The remarkable data following come from F. A. Kutterer's essay, "Die verborgenen Beziehungen zwischen Sprache und Musik" (*The hidden relationships between speech and music*) (*Musica* 1951/I): The Chinese are the only people in the world to have shown any interest in the isolated tone and its production. Whereas all other musical civilisations began with the discovery of melismas or little melodic figures, a highly valued form of expression in Chinese classical music was the production of the single tone in dozens of shadings, degrees of loudness, colours and variations. Already Kungfutse is said to have played his musical stone with *countless variations* at *one* pitch. (After such a display of music making, the master once exclaimed, "I did not realise that music could reach such heights!") The Chinese language is a "language of sounds" (sic!), in fact one of "monosyllables". It makes do with a mere 440 phonetic syllables, each of which can however be given four different "intonations". And so the great Chinese classical tradition with its scanty pentatonic scale is revealed as a music of shadings, nuances and immensely subtle graduations.

Some readers will be inclined to anticipate already at this point some of the essential characteristics of Schoenberg's work. At the same time they will welcome this unexpected encounter with the "music of points" of Anton Webern, the idol of our young contemporary composers, bent on the search of themselves. However, let us follow Schoenberg's road further, and see the profound justification which enabled *him* to reach the goal!

Even though Asian and European music do not lend themselves to immediate blending, it was and still is the historic task of our century to coin a universal language of music. We cannot therefore avoid giving due credit to Arnold Schoenberg, the real pioneer of revealing the universal spiritual range inherent to sound, for having taken this decisive step at a time when any understanding for such a solution was still lacking in Europe. Schoenberg's very approach to this unique historic task is seen more and more to have been an intellectual achievement of the first order; it must after all be remembered that he managed to make the break with European tradition not just as if something altogether foreign tried to force its way in by intellectual stealth as it were — on the contrary, Schoenberg mastered the great crisis step by step, by the most complete and never-ending contact with our great tradition, without devaluating the latter's substance in the least. He enriched it — in its purely musical means of expression — to a greater extent than we have ever been bound to say about another master.

Schoenberg, appropriately as always, once said, "Whatever aspects of me the first half of this century left unscathed through underestimation, will be damaged in the second half through overestimation." Already this is true to a surprising extent, if by nothing else than the fact that we are

already, now, in danger of taking the magnitude of this phenomenon for granted without any longer coming to critical grips with it.

In this regard, H. Eimert pointed out in 1951 that the world is now already convinced of Schoenberg's greatness as a composer while still knowing hardly anything of the musical substance of his work. But is it not an incontestable fact that all greatness on earth is not immediately and generally recognised as such? The very criterion of true originality lies in that it anticipates the future as in a nutshell. Genius is directly understood by at best one or two people, and perhaps divined by a very small circle. The apparent exceptions to this are almost certainly not concerned with the real core of genius, pregnant with the future — for the bearer himself, as a contemporary, must surely be half unconscious of it. Has not Albert Schweitzer said of J. S. Bach that rarely had a master stood as such a complete stranger in the face of his own genius? Thus it is exceptional even for a genius to be granted, in the midst of an environment full of great and world-shaking events, a clear view of his own mission into the distant future. After all, it is (humanly speaking) asking rather much to expect the uncommon excitement of the flashes of lightning pointing to the future to be turned in a single individual — even the greatest thinkable genius — into the steady state which has been lived through and will keep its place in the consciousness of thousands or even millions after centuries have passed.

Those who lived with an open and thinking mind through the time when Schoenberg's work was maturing, know that not even here the law of the anticipating genius was broken, but that it was fulfilled. Today we are at any rate in a position to encompass Schoenberg's achievement as a whole, to make a better estimate of its cultural import; for this, we must turn back the pages of western musical history just as far in time as we are obliged to pursue, in distance, the radiation of ideas: much further than we may have been doing up till now. Not until we have done that can we know why Schoenberg alone was predestined to bring this revolution, of such consequence to our habitual musical thinking, to a close.

### III

It would burst the frame of this brief mental "geodesic" placing of Schoenberg's achievement to allow this essential point too to take its place here in detail. Let it be said quite briefly: All the degrading objections raised against Schoenberg as a *Jew* were objectively the most irrelevant of all possible objections, considering the purity of his artistic sentiment, which must be acknowledged even by those of least principle. The true synthesis between Europe and Asia — especially when originating from European conditions and out of European necessity — that was a task to which the Jewish spirit was just about equal: that Jewish spirit, tried



in the fire of thousands of years of suffering, stamped by the fate of all mankind. (Even today, there is still no such thing as a "European", and nationalistic small-mindedness knows, if anything, even less about the real issue.)

We, as Germans, are so proud (with some right) of the monster genius Richard Wagner, and we can tell how long it has taken us to disentangle ourselves even from the most immediate, overwhelming spell of this extreme discharge of energy — and not until then could we embark upon an independent and unbiassed discussion of him. Since then, we have come to realise that we were of course quite able to free ourselves from slavish imitation of him. This liberation was crowned with the greatest success on paths which had been purposely chosen for the fact that Wagner had not touched there. But it had not yet come to pass that someone had walked straight through the very centre of Wagner's gravitational field and, as a result, not only had found himself, but had redeemed the entire heritage of occidental music in the form of a *decoded universal language of the liberated tone*.

It requires far more than mere genius genuinely to surpass Wagner's genius of expression. Neither a Germanic nor a Jewish genius was required, but the universal human being who knew how to turn the force of the self-renunciation of his own exaltation utterly to the service of mankind. This idea of "self-exaltation", or "self-liberation", is something that Wagner had intended to stage in his last dramatic project "*Wieland der Schmied*" (*Wieland the Smith*). If he had lived to do this it would certainly have had symbolic force, but the conclusions which Schoenberg was able to draw from his own real emergency would not have been reached by Wagner even in a dramatised "*Wieland*" — for this, Wagner would have had to experience the collapse of his whole ideology and, taking Wagner's mind into account, even this would not have become a real transition point, but only a real end. For in such a position he would have lacked just those qualities which the Jew Schoenberg had possessed from the cradle, thanks to the "wanderings in the wilderness" of wrecked form, of a race which has no need to make a show of their own ideology on a stage which may well be taken as representing, but never as equivalent to, the world.

If figures like Schoenberg, Gustav Mahler, or also Einstein and Freud are among the great men of Jewish history, then they do the Jewish people honour. The decisive point however is not that they are Jews, but that each in his own sphere — world-embracing science, world-embracing truth, the one universal language of music, and the one universal mankind — gained decisive victories; that is why no less than the whole of humanity can lay claim to and fully appreciate their greatness. Thus the fact of their also being Jews is raised above all criticism.

If this question, of their also being Jews, can be raised at all, then only to the extent that this evidently stood them in very good stead in mastering their tasks for the world. By reason of the Jews' special experience as a people in exile, they had grown equal to a worldwide solution. To reconstruct once more the "Jewish problem" would, once the way to the universal human solution had been opened up, be a paradox.

We have now reached the point which was inscribed by Mahatma Gandhi under a picture of Christ in his study: "Christ is my brother. I am a Christian, Jew, Hindu and Pagan". If that seems too much or too little, too specific or not specific enough to anyone, he may answer this question for himself: What, then, is the *Roman Catholic* Arnold Schoenberg since his return to the "religion of his fathers"? (This took place on the 24th July 1933, in Paris.) Is he a Christian Jew with a national stamp, Messianist, Chiliasist, Gnostic, Ebionite or Nazarean? Or a heretic? Mormon or Buttadio/Juan Espera-en-Dios/Ahasver? Is he looking for the "Eternal Gospel" proclaiming an eternal age of the spirit, of the ultimate perception and adoration of God and of perfect spiritual liberty, which was to dawn on the expiration of the ages of both the Father and the Son? (Nearly the same as this is preached by a modern religious sect, which could have been related to the Gnostics just as easily as they appeal to the Gospel of St. John.)

But the question important to our "universal geodesic line", and which at last may lead us out of the labyrinth of historic form problems, has already been opened above. The other "*given point on our given terrestrial sphere*", to which is tied the whole of Schoenberg's output, driven on in "epi- and hypocycles", is none other than *Asia itself*. The very existence of the Catholic (general) and Jew (chosen) Schoenberg is in itself an epicycle — the curve which is obtained by a point describing the circumference of a circle while the centre of that circle describes the circumference of a second circle.

It is evidently worth the trouble to take one's bearings off more general human spheres of consciousness than is generally done by the usual type of mentally lazy musician believing in miracles. Thus we may avoid having to work in our own shadow.

All that needs to be done to solve any kind of problem is to snap it out of its own rigidity and, behold, the whole long development stored in it unrolls all by itself before our eyes. That is all that Arnold Schoenberg, a confirmed self-made man, ever did. It is therefore all one whether we refer to his first composition, in which the piano part, completely dissolving into a line, becomes a companion to the living voice, or to a harmony text-book, which can be peeled out of its "cycloidal" type of movement by the "other given point", the student; or to his whole style of melodic writing, which manifests by a kind of "tonal osmosis" (Stuckenschmidt)



the omnipresence of the chromatic scale; or to his "power of a naive view of things, to *understand* everything, from the most insignificant everyday matters to artistic and human questions of the highest import, in a new way, to *animate* it, and convincingly to *communicate* this personal evaluation"; or to his "immanent form of musical thought from the outset: the variation".

The important thing then is to loosen the "Schoenberg question" out of its rigidity. There are no regulations to tell us whether to attempt this using the wisdom of the Manicheans or to read it, as already suggested, straight off Chinese music and the particularly obvious characteristics of this ancient form of expression — these are blazed trails which lead back to the centre of all human problems. (Schoenberg put it this way: "The middle road is the only one which does not lead to Rome." It is irrelevant what the Catholic Schoenberg was thinking about when he said that. The decisive thing for us is to give that thought, in its intuitive background, objective motion.)

We spoke of "cycloids". But as we are thinking here neither of surprise tactics nor of forcing matters or any other "curved (or crooked) lines", may we be allowed to quote a sentence which describes the bipolarity of today's consciousness, taking "modern polyphony" as an example, as follows: "Melos is the basic force which defines the attitude in the most recent stage of our musical development (about 1930), leading not only to external form as modern polyphony but also to internal, fundamental change within the species, as part of a process of adaptation which is working towards the *transformation of man himself*." (S. Günther.)

That is only another way of saying what we said, using the "symbolic representation" (P. A. Dirac) of "cycloidal tendency of motion" for a reevaluation of the intellect as intuition, in order to make evident the fateful transformation of Schoenberg's work in its key position in the universal language of music. This makes it clear that the work of Schoenberg is a particular case. His method is diametrically opposed to our intellectualism of today. Only he can accomplish anything in serial technique who is already in possession of the key to the entire historical development of our music and knows how to make intelligent use of it, but not so as to rediscover history but to make a quite unhistorical, omnipresent nuclear process turn itself into reality.

With that, the key of Schoenberg's musical thinking is rid of all formal magic; it acts as a truly new key (not just stuck together out of its parts) which is now ready to be used at the discretion of all for the conquest of new worlds in sound. It is not tied to any particular style. It can be used to form the simplest C major figure, which can be left quite independent of the historic pattern, as well as the serial composition,

whether it be employed there in the free control of historic forms or in the freest of all extreme creation of complex and violent expression.

Schoenberg's abstract concretion or concrete abstraction (however we may wish to turn and twist it) places in the hands of the composer a tool by which he can either retire entirely behind the work or become completely identical with the work. In either case, man is neither an anonymous fiction nor an evident "no-hoper", after all, it is *his* tool which compels him, at once objectively and subjectively, to obey his own orders, in the very moment of its living presence. "Serial composition" then is hardly predisposed for others' delectation, less even for self-assertion — it leads relentlessly into the most deadly earnest of the man who, fully conscious of his responsibility, puts the example to the test. (The reader might now take a closer look at the 2nd Piano Sonata by Philipp Jarnach.) The "example" is simply the whole meaning of the music, the "test" is the self-liberation of the living power which connects organically-synthetically all the parts to the whole in the basic instinct clamouring for the universality of man. And that exactly is the firm and steadfast meaning of Schoenberg's achievement.

Schoenberg consecrated the "end" of music — now it is a question of constituting its "beginning" anew. The "end" was the "blowing" of the individualistic "fuse". It took the mystics and magicians of sound the wind out of the sails. The "beginning" is no longer an individualistic short-circuit, but the collective "quantum-wave" of tonal implementation. "Twelve-tone composition" was there for the "individual and his property". Renewed tonality is for the "infinite multitude", as Anaxagoras' NOUS had already conceived it.

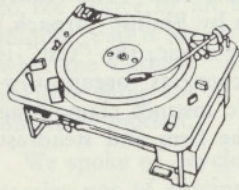
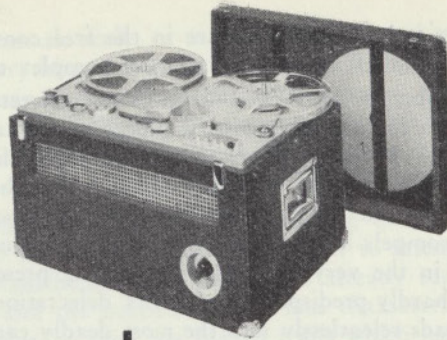
And so Schoenberg aims the beam of his "electronic trains of thought" on the very core which is circled by nearly all contemporary masters, although only very rarely cracked and expanded to its human cultural form. Having wrestled with God and Man like Jacob, who was smitten in the thigh, Arnold Schoenberg was given a medical heart injection in 1946 and rose again from the dead, half blinded. He himself gave us the key as to how universal man can place on his head the electronic cosmos of his metaphysical thoughts while his transfigured body is still on this earth, with the words: "Tonality or atonality: both can lead to purity."



# STUDER 30

Studio Magnetfon-Gerät,  
Bandgeschwindigkeit 19 u.  
36 cm/sek, Gewicht 30 kg.

Magnetic Tape Recorder,  
tape speeds 15 and 30 ips.  
Weight 70 lbs only.



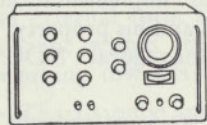
## EMT 927 and EMT 930

Studio-Plattenspieler  
Transcription  
Turntables.

## STELLAVOX

Miniatur-  
Magnetfon  
Gerät

Miniatur Mag-  
netic Tape Recorder.



## EMT 414 and EMT 418

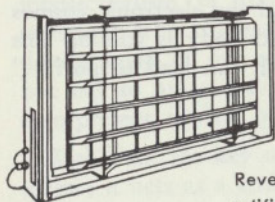
Tonhöhen-  
Schwankungs-  
Messer.

Wow and Flutter Meters.

## SPEZIALKABEL

Doppelt  
geschirmt und  
HF-dicht.

AF-cables,  
double screened.



## EMT 140

Nachhall-  
Erzeugungs-  
Gerät.

Reverberation Set for  
artificial echo effects.

## EMT 24 and EMT 28

Dynamische- und  
Kondensator-  
Mikrofone.

Dynamic and  
condenser micor-  
phones.



**ELEKTROMESSTECHNIK WILHELM FRANZ KG**  
LAHR/SCHWARZWALD · POSTFACH 327 · FERNSPR. 2053

# Wechselwirkung zwischen Musik und Akustik\*

von

PIERRE SCHAEFFER

Wo immer von Experimentalmusik die Rede ist, stellt sich die Frage: Wird die durch die jüngsten Beiträge der Elektroakustik unbestreitbar bereicherte Musik ihr über diese materiellen Vorteile hinaus auch die Denkweise strenger Wissenschaftlichkeit entleihen?

Diese Möglichkeit ist für viele Jüngere der heutigen Musikgeneration verlockend. Sie sehen sich zu immer größerer Strenge getrieben und in musikalisch immer abstraktere Kompositionsversuche verwickelt, welche von den Ausführenden oft beinahe Unmögliches verlangen. So versteht es sich fast von selbst, daß eine Anzahl junger Komponisten in der wissenschaftlichen Strenge der Akustik die Verwirklichung ihrer Erfordernisse zu finden glauben. Darin folgen sie ohne Zweifel der starken Anziehung, die die heutige Technik über die Gemüter ausübt, welcher sie sich um so weniger entziehen können, als sie schlecht auf sie vorbereitet sind. Vielleicht ist es deshalb an der Zeit, offen vor einem allzu naiven Glauben an einen Determinismus des Fortschrittes, der sich leicht von einem Gebiet zum anderen erstreckt, zu warnen.

Der entgegengesetzte, von der wissenschaftlichen Disziplin zum ästhetischen Kunsthandwerk hinführende Weg ist seiner verhältnismäßigen Seltenheit wegen umso interessanter. Aber auch hier sind Gefahren. Es ergeben sich so zwei neue Typen: der des in die Wissenschaft hineinpuschenden Musikers und der des in die Musik pfuschenden Wissenschaftlers. Und tatsächlich wird, wer Ein- und Zweideutigkeit, Verschmelzung und Zertrennung beider nicht in Einklang miteinander bringen kann, die Frage nur umkreisen.

## Eine Methode und eine Technik

Der Verfasser dieser Zeilen bekennt sich selbst zu dem Typ zweiter Art. Vielleicht sollte es ihm sogar leicht fallen, zu zeigen, wieso das Schicksal ihm diese Zweideutigkeit auferlegte. Normalerweise sind angeborenes Talent und besondere Fähigkeiten einander entsprechend; wie aber, wenn eines Menschen Begabung auf wissenschaftlichem Gebiet liegt, sein Instinkt ihn aber auf Musik und Dichtkunst hinweist? Wird ihn nicht höhere Gewalt zwingen wollen, diese verschiedenen Welten, die seine Neigungen und Betätigungen grausam entzweien, zu verbinden?

\* Dieser Artikel wird hier mit der freundlichen Genehmigung des „Cahier du Centre d'Etudes Radiophoniques de la Radio-Télévision Française“ veröffentlicht.



Ein solches Erlebnis liegt der „Musique Concrète“ zu Grunde. Diese Schwierigkeit meiner Lage habe ich nie verhehlt. Mehr als musikalische Technik oder wissenschaftliche Forschung allein bedeutet für mich die Vereinigung dieser „Widersprüche“; und ich bin geneigt, über Musik und Akustik hinaus in dieser Doppelspurigkeit ein Grundproblem der heutigen Welt zu sehen.

Was die Forschungen der Musique Concrète auszeichnet, ist, daß sie die Hauptrolle der musikalischen Intuition zuweisen, der sie alle Arbeit an den technischen Mitteln unterordnen. Gerade diese Stellungnahme hat der Gruppe (unter dem Schutz der R.D.F.) ihr besonderes Gesicht verliehen, so daß sie inmitten der heute fast allgemein gewordenen europäischen Verbreitung von Experimentalstudios, die alle wissenschaftlichen „Methoden“ zuneigen, fast allein einer empirischen Methode treu geblieben ist, welche die musikalische Eingebung über jedes — wissenschaftliche oder ästhetische — Dogma erhebt. Dennoch wird die Musique Concrète ganz allgemein eher als eine Art neuer musikalischer Ausdrucksweise betrachtet mit besonderen Anwendungsmöglichkeiten für Rundfunk, Film oder Ballett, denn als eine musikalische *Methode*. — „Methode“ bedeutet in der Musik sowohl die Bestimmung aller Vorgänge, die sich auf das musikalische Geschehen beziehen, als dessen zufriedenstellende Beschreibung. Was diese Vorgänge nun in der Musique Concrète anbelangt, so verbergen auch sie sich für die allgemeine Meinung hinter einem Schleier von „Schallmanipulierungen“, anstatt in diesen die musikalische Technik selbst zu erkennen, die sie sind. Noch vor all den apparativen Ausführungsmöglichkeiten muß diese Technik selbst die Mittel zur Analyse und Synthese eines neuen musikalischen Geschehens mit sich bringen, damit die Methode sich entfalten und das Geschehen verständlich werden kann. Die wertvollsten Entdeckungen können dann in einer fortschreitend geordneten Lehre zusammengefaßt einen Zusammenhang neuer *Begriffe* von der Musik ergeben. Diese neuen Begriffe, die meiner Meinung nach die wichtigste Leistung der Musique Concrète bedeuten, sind deren am wenigsten bekannter Teil. Wenn sie heute auch noch keine erschöpfenden, mittels *endgültiger* Experimente unterstützten Ergebnisse darbieten, so ist es gerade ihre beständige Experimentierung, die aus ihnen bahnbrechende Arbeitshypothesen des Zukunftsexperiments hervorgehen lassen wird.

#### Der musikalische Fortschritt

Der inhärente Charakter dieser Experimente verdient es, analysiert und definiert zu werden. Man kommt um die Beobachtung nicht herum, daß — besonders in den letzten Jahrzehnten — zwei verschiedene Arten der *Experimentierung* (die musikalische und die wissenschaftliche) vorwärtsgetrieben worden sind. Die musikalische Erfahrung hat zu einer außerordent-

lichen Entwicklung neuer musikalischer Begriffe in der definitiven Ausgestaltung der Zwölftonmusik geführt. Dabei ist aber auch immer mehr Abstraktion ausgelöst worden, und zwar ebenso durch ihren Ursprung aus der symbolhaften Notenschrift als von neuen akustischen Begriffen ausgelöst.

Gleichzeitig mit solchen hoch spekulativen Forschungen entstand als „neue“ Musik die elektronische. Ihre Errungenschaften brachten den modernen Musiker in die Lage, zwischen den akustischen Parametern der Frequenz, Klangfarbe und Dauer eines Tones und der musikalischen Architektur selbst direkte Beziehungen aufzustellen und „Musikmaschinen“ schienen die Fähigkeit zu gewinnen, berechnete musikalische Absichten wie in einem Aufriß, ohne jede Verzerrung von Seiten des Ausführenden, in hörbare Töne umzuwandeln.

In gewissen Fachkreisen wurde dieser musikalische Fortschritt als so selbstverständlich angesehen, daß er keine Diskussion veranlassen, keine Unruhe aufkommen lassen konnte. Er war anscheinend an eine Art wissenschaftlichen Determinismus gebunden, wo notgedrungen Zahlen Empfindungen ersetzen mußten. Musikalischer und materieller Fortschritt gerieten unter ein gemeinsames Joch, indem sie ein gemeinsames Ziel zu verfolgen schienen und sich ähnlicher Methoden bedienten: Ersetzung von Normen durch Annäherungen; Objektivierung der Gefühle; Aufstellung und Anwendung starrer Gesetze.

Die Physiker ihrerseits machten bedeutende Fortschritte in der Akustik, besonders seit das Zeitalter des Mikrofons und der elektro-akustischen Apparaturen der akustischen Wissenschaft neue Jugend verlieh, und sie durch Begriffe bereicherte, die den sich noch mit den Theorien der Resonatoren und der schwingenden Saiten befassenden Vorgängern unvorstellbar gewesen wären.

So wurden Nachhall, verschiedene Klangebene, Schallerzeugung durch Weißrauschen, Filtrierung, Intermodulation u. a. m. zu klassischen Begriffen. Dieser Sachverhalt war zwar kompliziert, brachte aber schon den Anschein einer praktisch vollkommenen Erforschung des Schallgebietes hervor und gab dem Menschen gewissermaßen den Schlüssel zu dessen musikalischer Anwendung in die Hand.

#### Das menschliche Gerät

Zur gleichen Zeit studierten Experimentalphysiologen und -psychologen neu die Beziehung zwischen Klangphänomen und Gehör und stellten vervollkommnete Informationen über Ohr, Frequenzgang, Hörschwelle, Tonkennzeit, etc. auf. Diese Arbeiten erhellten ein sehr wichtiges Gebiet, vermochten aber dennoch nicht zur letzten Unbekannten, der Umwandlung der Sinnesempfindung in Geisteswahrnehmung vorzudringen. Noch sel-



tener als Forscher, welche sich diese Fragen überhaupt zu stellen wagten, waren indes solche, die versuchten, in dieses stark problematische Gebiet praktisch einzudringen.

Andererseits wurde eine ähnliche Neugier wach bei denen, die sich an Hand des Beispiels der Stimmenerzeugung die Frage stellten, ob es sich hierbei um eine passiv akustische oder aktiv physiologische Erscheinung handle. Anders ausgedrückt: wirkt nach der Herstellung der zur Erzeugung eines bestimmten Tons geeigneten Muskelanpassung die Stimme mechanisch wie ein Blasinstrument, zu dessen *Unterhaltung* die bloße Kraft Kraft des Atems genügt, oder bedarf es dazu ständiger Kontrolle durch Nervenimpulse? ein anspruchsvolles Problem, wie immer man es betrachtet: denn die Lösung war abhängig von zwei sehr unterschiedlichen Auffassungen der Apparatur der menschlichen Stimme und der menschlichen Willenshandlung in Bezug auf die Klangerzeugung selbst: nämlich ob diese passiv oder aktiv vor sich ging, auf Herstellung von Anfangsbestimmungen beschränkt blieb oder aber von dauernder Wirkung war (die richtige Antwort auf diese Frage würde den Mechanismus des Gesanges erklären, besteht doch die Singkunst eigentlich in der geeigneten Synchronisierung der Nervenimpulse und der Muskelkontrolle des Hohlraumes.)

An dieser Stelle müssen die Arbeiten Prof. *Husson's* erwähnt werden! — möge mir, dem Laien, meine summarische Beschreibung verziehen sein! Wenn ich der medizinischen Bedeutung dieses gewagten Streifzuges in den menschlichen Stimmapparat — von der Willensäußerung bis zur Schallerzeugung — auch nicht fremd gegenüberstehe, so schätze ich vor allem, was Husson über die uns niemals mögliche entgegengesetzte Forschung, von der Sinnesempfindung bis zur Geisteswahrnehmung, sagt. Ich spreche weder von Gewißheit, noch von strenger Annäherung — die Tatsache aber, daß die Erzeugung eines menschlichen Tones nicht einfach von selbst aufhört, sondern daß sie nicht nur dank einer geeigneten Entwicklung des selbst entnervten menschlichen Klangkörpers, sondern eben *durch die Willenserhaltung in den Stimmbändern* selbst, entsteht, wodurch erst die menschliche Stimme ihren zwiefach lebendigen und von Menschengegenwart gesättigten Charakter erhält, — das ist es, was die reziproke Erscheinung, das Gehör, einmalig beleuchtet. Dieses Gleichnis verliert nicht an Wert weil es zwar nicht exakter Forschung, wohl aber der Einbildungskraft zugänglich ist; es deutet vielmehr das Rätsel eines aktiven Hörens an, welches ich mir gerne als die lebendige *Gegenwirkung* zur Wirkung jedes Tones und jedes Tonelementes auf unseren immer aktiven und beständig aufmerksamen Empfangsapparat vorstelle. Wir werden noch sehen, was Erfahrung zur Unterstützung dieser sehr allgemeinen Hypothese beiträgt, welche hier in der Rolle einer Vorbereitung späterer Betrachtungen steht. Diese Vorbereitung ist zwar keinesfalls unerläßlich, doch wird sie

dem Leser, der guten Willen hat und der Begeisterung fähig ist, sehr zu-  
statten kommen.

### Ein falscher Ton

Sogar in dieser anekdotischen Form wirkt die Erörterung des Stimmenmechanismus — dessen bin ich mir wohl bewußt — wie ein falscher Ton, störend, in der universellen Harmonie der fortschrittlichen Musik. Musiker und Akustiker reichten einander ja die Hand, und die Musik löste sich auf lange Sicht scheinbar ganz in Mathematik auf; gerade im selben Moment aber geht die Menschenforschung in die entgegengesetzte Richtung: anstatt den Kehlkopf als ein akustisch verlässliches Gerät vorzufinden, aus welchem jedes menschliche Gefühl auszuschalten wäre, entdeckten wir, daß die Nerven sich hineinmischen und daß die Nervenimpulse — *trotzdem sie theoretisch nicht unerläßlich sind* — während der Dauer des Tones als Schwankungen, Unregelmäßigkeiten und Zufälle, die sich bei dem strengen Parameterspiel so sonderbar ausnehmen, hörbar werden. Ich will mich ganz klar ausdrücken: die Konsequenzen, die der abstrakte Komponist daraus zu ziehen hat, entbindet den Sänger nicht von der Pflicht, gut zu singen — im Gegenteil, seine Aufgabe bleibt es, nach dem Ideal des sicheren und gleichmäßigen Gesanges zu streben, so fern und unerreichbar es ihm auch bleiben mag!

So wird also jeder Ton durch die Notenschrift einerseits und die Akustik andererseits doch nicht genau festgelegt, sondern vielmehr nur ungefähr umschrieben; hier gibt es keinen großen Wertunterschied mehr zwischen der allerhöchsten mathematischen Analyse und der naiven kindlichen, anscheinend unwissenschaftlichen Erzählung Jenes, der grade „hörte“ . . . Wenn Jedermann ohne Kenntnis der Hussonschen Theorie instinktiv singen kann (gleich ob richtig oder falsch), wird man wohl zugeben, daß er ebensogut instinktiv hören kann (richtig oder falsch), um aus einer Klangmasse den Ton herauszuheben und zu erkennen, auf den er Acht gab, und um ihn schließlich — obwohl weder durch Notenschrift noch mittels eines Raumkoordinatensystems — dennoch mit entwaffnender Leichtigkeit zu identifizieren. Ist das nicht eine Situation, welche die Bezeichnung „molièresque“ verdient, in der nämlich Jeder ein wunderbares musikalisches Gehör besitzt, dieses vom „musikalischen Fortschritt“ aber dauernd verleugnet wird? Um konsequent zu sein, sollte man im Namen dieses Fortschrittes den Musikmaschinen ein zuhörendes Ersatzgehirn hinzufügen.

### Maschinen haben kein Gehör

Die Aufstellung von Beziehungen zwischen akustischen Parametern und physiologischen Sinnesempfindungen — wenn man sie in gewissen Gebieten der Musik auch machen kann — erklärt eben nicht alles: dort, wo



die psychologische Integrierung sich abspielt, bleibt das Rätsel bestehen. Das Auswählen der verschiedenen Sinnesparameter und deren Wirkung aufeinander ist, von der Empfindung an, ein noch fast unbegangenes Neuland, an dessen Schwelle die akustische Analyse zum Stillstand kommt; denn — so sonderbar es auch ist, es immer wieder erwähnen zu müssen — die Musik hat erst auf der Ebene der Geisteswahrnehmung, tiefer also als auf der Empfindungsschicht, ihr Dasein. Das musikalische Empfindungsvermögen entpuppt sich so als eine Sammlung von Eigenschaften und feinen Qualitätsunterschieden, die der Mensch schon seit Jahrtausenden nur in vagen Begriffen auszudrücken vermag, die aber dem, was er fühlt, umso angemessener sind, als eine genauere Ausdrucksform dafür bisher illusorisch blieb. In anderen Worten: auf der einen Seite sind es die Sinnesempfindungen, die sich in Dezibel und Phon, Frequenzen und Klangspektren, Hörschwellen und Integrierzeit ohne weiteres ausdrücken lassen; auf der anderen stehen Geisteswahrnehmungen, subjektive Aufwertungen und reine Dauerhaftigkeit. Zwischen diesen beiden Welten befindet sich ein fest verschlossenes Tor, denn so einwandfrei sich auch die erste messen läßt, fehlt es der zweiten (für die wir eine so große Begabung haben) dafür nicht nur an genauen Bezeichnungen, sondern an Ausdrücken überhaupt<sup>1</sup>. Die Metapher, die Analogie — solch armselige Beistände — sind das einzige, was wir haben: der Ton ist „warm, rund, glänzend, rauh“; ein Anschlag „brutal“; ein Orchesterklang „klar oder verwaschen“ . . . d. h. wir machen auf zwei Zeilen eine Rundreise durch die Welt der Thermodynamik, Geometrie, Optik, Oberflächenbeschaffenheit, Kinästhetik, der darstellenden Beschreibung und der Pflanzenkunde! Und unser Hunger bleibt unbefriedigt! — der *musikalische* Ton widersteht jeglicher Beschreibung.

Wir beweisen das durch das Absurde. Man unterziehe den von zwei Virtuosen erzeugten Schall einer elektronischen und physiologischen Untersuchung und erhält genau gemessene Ergebnisse. Wären diese aber der zuverlässigen Juryarbeit eines musikalischen Wettbewerbs zu vergleichen? Sicher nicht. Diese Unvereinbarkeit zweier Erfahrungswelten — der physioakustischen und der psychoästhetischen — läßt sich indes noch klarer ausdrücken; denn ohne sich zweier Künstler bedienen zu müssen, kann man einfach zwei unterschiedliche Klarinetten, Geigen, oder Gesangsstimmen von jedem Gesichtspunkt aus messen. Den Fachmann, der aus solcher Zusammenstellung graphischer Analysen — mögen sie von noch so bewundernswerter akustischer Genauigkeit sein — musikalische Schlüsse ziehen kann, gibt es meines Wissens nicht: wenn es darauf ankommt, ohne jede

<sup>1</sup> Darin besteht zweifellos nicht nur das Rätsel, sondern auch der Wert der Musik. Das hat einige Verwandtschaft mit gewissen Begriffen der Metaphysik, die durch eventuelle logische Erklärungen oder durch ein adäquates Protokoll ihren ganzen Daseinszweck einbüßen. Sie müssen sich dagegen bewahren — das ist ihre Über-sinnlichkeit.

Zweideutigkeit den musikalischen Wert, die Vollkommenheit des Spiels, den Vollklang des Timbre zu beurteilen, dann muß er sein Gehör zu Rate ziehen. Diese Bemerkungen treffen besonders auf Sonogramme zu, denen man zwar eine akustische Bedeutung erteilen kann, deren musikalischen Wert herauszuschälen man aber noch nicht fähig ist. Hier ist nämlich eine evidente Verwechslung von Information und, wenn ich sagen darf, Konformation. Ich will damit nicht die Möglichkeit ihrer Anwendung verurteilen, doch müßten die Forscher sich dazu ganz anders einstellen, als sie es bisher getan haben. Im Gegenteil: erteilt man dem musikalischen Hören Normen, dann wird die Allgemeinheit mit überwältigender Mehrheit, wenn nicht überhaupt ganz einstimmig, ein zwar eindeutiges, aber dennoch vag und subjektiv ausgedrücktes Urteil aussprechen (welches allerdings nicht daran hindert, gerade diesen Mangel und diese Subjektivität als eine wissenschaftliche Gegebenheit zu betrachten, deren objektiver Wert in der statistisch faßbaren Sammlung einzelner, aber konvergierender Urteile zu finden ist) . . .

#### Abneigung und Wechselwirkung

Wenn ich die Folgerung betrachte, zu der mich die aufmerksame Prüfung der verschiedenen Versuche im Rahmen der Experimentalmusik führt, dann erstaunt mich, was ich bisher in solcher Einsamkeit vertrete und verteidige, nämlich: daß wir es in der Musik mit zwei verschiedenen Welten zu tun haben, deren Anpassungsversuche aneinander mir weitgehend illusorisch vorkommen. Auf der einen Seite steht der Bereich des wissenschaftlichen Experiments, das Gebiet von der physikalischen bis zur physiologischen Akustik umfassend; auf der anderen der Bereich des ästhetischen Erlebens, welcher sich von der Erzeugung von Klangobjekten bis zu deren Integrierung durch die musikalische Wahrnehmung erstreckt. Schon der enorme Unterschied zwischen diesen Welten mit ihren so entgegengesetzten Methoden (man könnte sagen: mit ihren gegenseitigen Abneigungen!) verurteilt jeden voreiligen Annäherungsversuch. Das festzustellen tut umso mehr not, als es dem natürlichen Hang und unbezähmbaren Verlangen, beide durch verschiedenste Wechselbeziehungen miteinander zu verbinden, widerspricht. Man sollte im Gegenteil parallelaufende Arbeiten mit größerer Sorgfalt und vor allem mehr Scharfsinn durchführen, um feststellen zu können, inwieweit stark unterschiedliche Parameter und Welten sich eventuell decken — eine solche Neuvollziehung zahlreicher, ihrer Unfruchtbarkeit wegen eingestellter Arbeiten wäre sehr nützlich, ja notwendig. Das ist das ganze Problem der *Wechselwirkung* zwischen Akustik und Musik.

#### Das musikalische Gehör

Untersuchen wir nun die Forschungsmittel dieser beiden Welten: was die musikalische Akustik anbelangt, so ist das Forschungsgebiet bekannt — es



ist die elektro-physio-akustische Übertragungskette vom erklingenden Körper bis zum Trommelfell (das ganze physiologische Ohr selbstverständlich inbegriffen); anders steht es jedoch um die Experimentalmusik, obwohl es sich hier dann um das selbe Sinnesorgan handelt, dessen Bedienung ebenso einfach ist, als es unerforschlich scheint. Hier erkennt man eine zu Grunde liegende Zweideutigkeit: das Ohr, in diesem Sinne, ist nicht mehr das Sinnesorgan, sondern das musikalische *Gehör*. Das durch das Ohr unterhaltene und unterstützte Gehör schließt den ganzen menschlichen Empfangsorganismus: Nerven, Muskeln, Körper und Seele mit ein. Seine kleine Welt umfaßt die ganze erstaunliche Kompliziertheit des Empfangsapparates und der reichen Analysier-, Übertragungs- und Assoziationssysteme, welche das sinnliche Signal in die verständliche geistige Wahrnehmung umformen. Man sieht, was für gefährliche und falsche Gedanken durch die Umgangssprache hervorgerufen werden, mit der es so leicht ist, zu sagen: das musikalische Gehör wandelt das verschlüsselte Signal in Information um. Hüten wir uns vor dieser Neigung zu wörtlicher Vereinfachung komplizierter Vorgänge. „Information“ und „Verschlüsselung“ haben außerhalb der Fernmelde-theorie weder genaue Bedeutung noch wirklichen Nutzen, und in der Musik führen solche Verallgemeinerungen entweder auf Binsenwahrheiten oder zu Täuschungen hin.

#### Ignotus in Musica

Wir haben dargestellt, wie ratlos der Akustiker angesichts des banalsten musikalischen Klanges werden kann und wie unzulänglich sein Wortschatz zur Beschreibung des musikalischen Erlebnisses überhaupt ist. Man muß jedoch hinzufügen, daß der Musiker, dessen Gehör wir soeben gepriesen haben, sich in der gleichen, wenn nicht in einer noch größeren Klemme befindet. Bevor sich also ein Musiker durch die Lektüre mit all diesen Widersprüchen bekannt macht und auseinandersetzt, muß er sich die folgenden Fragen zur Selbstbeantwortung stellen:

1. Schließt nicht schon seine eigene Methode einen inneren Widerspruch in sich, und zwar den, zwischen der extremen Genauigkeit mancher Aspekte der Notenschrift und der Ungenauigkeit anderer musikalischer Größen? Anders gesagt: ist es nicht verwirrend, festzustellen, daß eine in ein Notensystem sorgfältigst eingetragene Note verschiedenste Möglichkeiten der Realisierung haben kann, die der Komponist alle ebensowenig vorschreiben kann, als ein Ausführender für deren völlig getreue Wiedergabe bürgen kann?

2. Trifft man nicht auch im Hören der „soliden“ Musiker auf Lücken, und zwar auf sehr große? Wird das nicht schon dadurch bewiesen, daß ein instinktiv musikalischer Tonmeister, der indes keine Kenntnis etwa der Harmonielehre hat, bei einer musikalischen Aufführung eine große Anzahl

von Schallphänomenen wahrnimmt, die der Musiker selbst kaum hört und die er auch nicht benennen kann (von analysieren gar nicht zu sprechen), wenn sie ihm bewußt werden? Und zwar insbesondere, wenn es sich dabei um Schalleigenschaften handelt, die durch ihren Zusammenhang mit Akustik oder gar Elektroakustik zu musikalischen Effekten geworden sind?

3. Welche Grenzlinie zieht der Musiker, um das, was er einen musikalischen Ton nennt, vom nicht-musikalischen Geräusch zu unterscheiden? Ist das letztere seine Benennung jedes Schalls, der sich nicht mittels Notenschrift notieren läßt? Wie begrenzt nur die Notenschrift vermag, die Musik überhaupt genau festzulegen, haben wir schon sehen können. Ferner: im Orchester gibt es Geräuschinstrumente. Wie kann das Ausmaß von deren Anwendung bestimmt werden?

4. Wie gelingt es modernen Musikern sich mit der außer-abendländischen Musik auseinander zu setzen? z. B. mit der afrikanischen, die man nicht aufschreibt, sondern deren Partitur dem Gedächtnis und noch mehr der Muskelübung der Ausführenden eingeprägt ist? oder mit der asiatischen, deren Töne ebenso sehr der Stufeneinteilung von Tonleitern entsprechen, als sie überhaupt keiner Tonleiter zu unterliegen scheinen? Das alles ist auch Musik, aus welcher indes hervorgeht, daß ihr Dasein, ihr Zweck und ihre Entwicklung andere Grundlagen haben, als die unsere. Könnte ein abendländischer Musiker es wagen, diese fremde Musik mit Hinsicht auf ihre Notierung, Melodie und Harmonie zu analysieren, ohne sich in Unsinn zu verwickeln? Oder sollte er zuerst die Wörter und die Satzlehre einer anderen Sprache lernen, vielleicht Hieroglyphen entschlüsseln, wobei ihm die Buchstaben seiner eigenen Sprache den Weg verwirren? Oder ist er eher der Meinung, er müsse — um ein aufrichtiger Schüler zu sein — anders empfinden, anders tanzen, ja vielleicht anders denken lernen?

#### Die Fähigkeiten des Gehörs

Alle diese Fragen können mit einer einfachen aber positiven Feststellung beantwortet werden. Das Gehör ist unser am wenigsten ausgenutzter Sinn. Die ihm dargebotenen Klangobjekte und die von ihm empfangene Sprache liegen bequem innerhalb seiner Fähigkeiten. Anstatt daß wir uns auf die traditionellen Klänge, die klassischen Tonleitern und die Notenschrift beschränken, sollten wir zu dem Eingeständnis kommen, daß deren Beschränkungen willkürliche sind: denn sobald das Gehör ein musikalisches Ereignis wahrnehmen kann — ungeachtet dessen, ob es sich aufschreiben läßt oder nicht — ist die Notenschrift im Unrecht, wenn sie dem Gehör nicht dorthin folgt, wo dieses noch zu hören vermag. Nehmen wir uns nochmals jene fremde außer-europäische Musik zum Beispiel die immer wieder überrascht und über welcher die Spezialisten zweier Meinungen sind — der vollkommener Gleichgültigkeit oder der scheinheiliger Bewunderung —, die beide



das Problem nur ins Unbewußte verschieben. Der Fehler liegt an unserer Intelligenz, denn unser Gehör ist ja imstande, uns die fremde Nachricht mit einer Genauigkeit zu übermitteln, die jede eigene Interpretierung weit übertrifft. Solche Musik vom Standpunkt der abendländischen Musik aus zu erklären, oder sie durch ethnologische Kommentare begleiten zu lassen, löst keine Probleme. Beide Fälle zeichnen sich durch die Weigerung aus, das musikalische Ereignis allein in Betracht zu ziehen und verstehen zu wollen (was indes voraussetzen würde, daß der abendländische Musiker sich bis an die — von den ihm unbekanntem Sprech- und Denkweisen gesteckten — Grenzen seiner Fähigkeiten sinnlich und geistig bemühen müßte).

#### Umfang des Gebietes

Andererseits ist es wiederum das Gehör, welches den Umfang eines „erweiterten“ Musikgebietes bestimmen muß. Während man sofort feststellen kann, inwiefern unser Verständnis des Musik-Gebietes ängstlich-beschränkt bleibt, ist anderswo eine Hypertrophie mancher seiner Abschnitte zu erkennen, welche dem Gehör Wahrnehmungen zumutet, welche es entweder nicht mehr vollziehen kann, oder für die es eigentlich gar kein Interesse hat. Die heutige Mode, eine Menge von Beweisen abzulehnen, um sie durch willkürliche Albernheiten zu erhitzen, nimmt sich wie ein sonderbares Paradoxon aus. Während es tausende vollkommen wahrnehmbarer Klangfarben, Rhythmen und anderer Schattierungen gibt, die praktisch noch nie verwertet worden sind, hört man oft nur ermüdenden Experimenten der melodischen Anhäufung von Reihentönen zu, die sich zwar alle progressiv gebärden, meist aber nur von der — vernunftmäßig täglich widersprochenen — Forderung nach Sättigung des Gehörs durch ihm dargebotenen Anreiz ausgehen. Dennoch stimmen wir der Notwendigkeit einer Auseinandersetzung des Gehörs mit jedem neuen Anreiz und mit den erstaunlichen heutigen Fortschritten, die sein Interesse noch lange wach halten werden, gerne zu. Doch darf man demgegenüber festhalten, daß es keinen Einzelfortschritt in irgend einer bevorzugten Richtung der Schallkunst geben kann, ohne daß das ganze Gebiet mit all seinen verzweigten Abteilungen miteinbezogen wird. Nur wenn das Gehör uns führt und für uns urteilt und nur wenn das Gehör für uns zugleich Mittel und Zweck ist — nur dann können wir jenen allerfestesten Boden wiederfinden, in welchem jeder Fortschritt wurzeln muß.

Die Musik kann nur fortschreiten, wenn sie ohne zu zögern jede Tradition überwindet! — indes nur insofern, als der musikalische Instinkt die Maschinen dorthin führt, wo er selbst hin will und wohin das Gehör ihm nachfolgen kann. Die Musik darf weder dem blinden Desportismus der Mechanik, noch dem Mechanismus einer blinden Despotik überlassen werden.

## The Interplay between Music and Acoustics\*)

by

PIERRE SCHAEFFER

Wherever experimental music is the subject of discussion, the same question is being asked: While it cannot be denied that music has been greatly enriched through the recent contributions of electroacoustics to it, will music borrow from this science not only its material advantages but also its ways of thinking?

Such a prospect is tempting and does, in fact, cast a definite spell over the younger musical generation. They are becoming more strict, they are being completely involved in essays of ever growing musical abstraction to force the performers into well-nigh inhuman feats, and it is only natural that some of them are beginning to believe in the scientific strictness of acoustics for the realisation of their requirements. With that of course they succumb to the great attraction which contemporary technology has over those minds which are all the more vulnerable for being less prepared for it. Perhaps it is proper for one with a scientific background to warn them against believing too naively in a deterministic progress which could easily reach out of one sphere into another.

The opposite path, leading from scientific discipline to aesthetic workmanship, is all the more interesting for being frequented less. But here again we find parallel dangers. So here we have two equally fine specimens on our hands: the musician dabbling in science and the scientist dabbling in music. In truth, only he who can reconcile ambiguity with clarity, separation with fusion, can get to the heart of the problem.

#### *One Method and One Technique*

The author of these lines emphatically classes himself among the seekers of the second kind. It may not be difficult for him to relate how fate made him start on this double track. Natural talents usually go hand in hand with ability; what then, if our ability is in science but our instinct in music or poetry? Shall we not be compeeled as if by a force beyond our control, to marry these two worlds — which we know perfectly well to be distinct seeing that they cruelly split our inclination and our means?

Such is the experience underlying *Musique Concrète*. I have never sought to hide my dilemma. This means much more than a problem of musical technique or scientific research to me — it means a reconciliation of opposites and, even beyond music and acoustics, I am led to generalise from

\* This article has been published with the kind permission of the Cahier du Centre d'Etudes Radiophoniques de la Radio-Télévision Française.



this instance and see in it the whole modern world's characteristic problem. However, let us stick to the subject.

The distinguishing mark about *Musique Concrète* researches is the stand taken here by musical intuition, to which technical research is always subordinated. It is this attitude which has managed, during the past few years, to turn the Group under the R. T. F.'s wing into a militant party. Left as a minority in the spread of research laboratories which have invaded Europe — nearly all of them with a distinct leaning towards scientific method — the Paris Group has remained faithful to an empirical method in which the dice are always loaded in favour of musical instinct as against dogmatic pretensions, whether of a scientific or an aesthetic nature. However, *Musique Concrète* has become generally known as a new type of musical expression with special application to broadcasting, film and ballet than as a musical method. Now a "method" in music consists in defining all the operations by which the music itself can be approached and satisfactorily described.

But these too, the various processes employed in *Musique Concrète*, are commonly thought of more as sound manipulation instead of musical technique, which is what they really are. Even before new performance possibilities are thought of, such a technique must bring with it means for the analysis and synthesis of the musical phenomenon to the very end that the method can become useful and the phenomenon intelligible. Thus the „plums“ can be given progressive classification as a body of doctrine or, at least, as a group of ideas in which the essence of invention resides for the moment.

These new ideas, which are, to my way of thinking, *Musique Concrète*'s greatest achievement, are in fact the least known. Not that they propose exhaustive conclusions, supported by conclusive experiments — quite on the contrary: just because they are supported by a fair amount of experiment they formulate, with some clarity, working hypotheses to clear the road for future experiments for years to come.

#### *Musical Progress*

The character inherent to this experimentation deserves analysis and definition. It is in fact notable that what lengths two distinct experimentations — musical and scientific — have been pursued in the last few decades. Musical experience seems to have led on to an extraordinary development of musical ideas, to extremely elaborate systems, such as atonality. But this results in ever increasing abstraction, which is already evident in the origin of such systems in the symbolic language of musical notation, perfected, possibly, by notions of acoustics.

It so happened that a new kind of music, called „electronic“, evolved in

parallel to these highly speculative researches; what it had to contribute to the art seemed to enable the modern musician to establish direct relationships between the acoustic parameters of frequency, timbre and duration of sounds and musical architecture. „Music machines“ seemed able to turn the calculated musical intention into audible sound, as in a drawing, without any distortion due to the performer.

And thus, *Musical Progress* was elaborated and fixed, *ne varietur*. In certain specialised circles this progress was considered as being so self-evident that no discussion seemed possible, no apprehension able to arise on the subject. It seemed to be tied to a sort of scientific determinism where feeling had to be substituted by numbers, as if by necessity. Hence musical progress, tied to material progress, pursued the same aims and was subject to similar methods: objectivation of the sensations, substitution of standards by approximation, discovery of strict laws and their application with rigour.

Physicists, on their part, made considerable advances in acoustics, especially since the microphone and other electroacoustic equipment, so that the science of acoustics was given new youth and was enriched by concepts which could not have been imagined by previous generations of acousticians confined to the theory of resonators and vibrating strings. This is how the concepts of reverberation, plane and relief, but also of sound generation by white noise, filtration, intermodulation, and many more, attained classical status. This body of knowledge, complex as it is, seemed, in addition, to represent a practically complete exploration of acoustics and to contain — once and for all — the key to its musical applications.

#### *The Human Instrument*

There was yet another development parallel to that in acoustics: experimental physiologists and psychologists were quite rightly delving into the relationship between sound and the ear. They also set up a very complete body of information on the ear's reactions, its response curves, thresholds, perception time, etc. While this work no doubt elucidated many important problems, it did not reach to the final transformation of sensation into perception: even rarer than the workers who dared to ask themselves this question were those who dared to tread this problematic ground.

On the other hand, curiosity of this nature awoke in those searchers who, taking voice production as an example, wondered whether this was a passive acoustic or active physiological phenomenon, in other words: whether, after establishment of the muscular conditions required for the production of a particular sound, the vocal organs behaved as a wind instrument in which the maintenance of this muscular condition was mechanically and *automatically guaranteed* simply by the energy of blowing, or whether this condition had to be *under permanent muscular control*. This is an absorbing problem from any angle, for its solution depended



on two very different views of the vocal organs and of voluntary human intervention in vocal production — passive or active, as the case might be — or again: is this control limited to the setting up of the initial conditions, or does it continue through the whole sound? (This would explain the problem of singing, for after all, the vocal art can be regarded as suitable synchronisation of nervous impulses and muscular resonant cavities.)

Here the work of Prof. *Husson* must be acknowledged — may the uninitiated be pardoned such a summary description. While not entirely ignorant of its medical significance, I can appreciate above all the value of this daring incursion into the whole human vocal apparatus (from the will to the emission) to the elucidation of the converse exploration (from the sensation to the perception) which we can never make. Here can be no talk of certainty, not even of a strict approach. The fact that the emission of a human sound does not simply cease by itself, that it is the result not only of the acoustic evolution of the physiological resonator controlled by nerves, but also of the voluntary maintenance of the vocal cords, so that the human voice is endowed with a doubly vital quality in which the presence of man saturates, so to speak, the whole duration of the sound: this fact sheds a unique light on the converse phenomenon, of hearing. In reality, this symmetry — this mystery of active hearing, which I like to consider as the living *reaction* to the action of each sound and each sound element on the receiving apparatus, itself active and constantly attentive — can be imagined only. We shall see below all the practical experience in support of this very general hypothesis which has been mentioned here by way of preparation for our final considerations — a not indispensable preparation, let it be stated quite clearly, but rather useful for those desirous of understanding and capable of enthusiasm.

#### *A False Note*

Even though reduced to the status of an anecdote, as here, I am well aware that this mention of the process of vocalisation introduces as it were a false note into the universal harmony of progressive music. At the very moment that the musician and acoustician took hands and that all music seemed in the long run to be reduceable to mathematics, experiments on the human being started off on the opposite track: instead of discovering in the larynx an acoustically reliable instrument subject to “dissociation” from any human activity, here we have the nerves playing their part in it to the extent that, *even though it is theoretically not indispensable*, the nervous impulses show through the length of the sound in the form of fluctuations, irregularities, accidents, so incongruous in the rigid play of parameters. Let me make myself quite clear: this lesson, useful though it may be to the abstract composer, in no way relieves the singer of good singing: on the contrary, it is for him to seek means to his own abstract ideal of even production, distant and unattainable though it may remain!

So instead of being so well defined in terms of notation on the one hand and of acoustics on the other, each note is but sketched roughly by these two and can be described just as well by the highest mathematical analysis as by the most naive, childish and apparently unscientific listener's account . . . For it must be well admitted that, just as anyone can sing by instinct (whether correctly or incorrectly) without any knowledge of Prof. *Husson's* theories, anyone can hear by instinct (whether correctly or incorrectly), appreciate and pick out of the mass of sound the particular note attracting his attention, with a disarming ability to identify it without any recourse either to notation or to a solid coordinate system of reference. This brings us into a situation which could well be described as Molièresque, in which everybody has a wonderful musical ear, which is nevertheless consistently denied by “musical progress”. Carried to its logical conclusion, this progress should demand the music machines to be supplemented by a decerebration machine.

#### *Machines do not have Ears*

Thus it is not enough to establish the relationships between acoustic parameters and physiological sensation, as can be done in certain aspects of music. The mystery is still complete as regards the psychological phenomena of integration. Selection and interaction of sensory parameters, from perception down, are still an unexplored country, with acoustical analysis stopping short at the border; for, though it should not be necessary to repeat the reminder, music does not exist at the sensory level but at the perceptive level only. The faculty of musical perception then is seen as a collection of qualities and degrees of quality, translated by man for millennia into terms no doubt vague but perfectly appropriate to his definite feeling, where a more precise translation would seem, and has seemed until now, illusory.

Stated another way: there is a firm barrier between one world of perfectly measurable sensations — decibels or phons, frequencies and frequency spectra, hearing thresholds and integration time, etc. — and another world of qualifications, subjective appreciation and pure durability. But this second world, for which we are so richly endowed, lacks most of the time not only precise terms of definition, but any terms at all<sup>1</sup>; metaphor, analogy — such sorry helps are the only ones in use: tone quality is warm, round, brilliant — notes are rough, an attack is brutal — orchestral tone

<sup>1</sup> This, no doubt, is the clue not only to music's mystery but to its value, just as with certain concepts of metaphysics: if they could be explained adequately by logic or words, they would have nothing more to give us. They must resist to it. That is their transcendence.



can be clear, or muddy: in two lines have we mobilised thermodynamics, geometry, light, touch, kinesthetics, pictorial description and colloidal chemistry. And our hunger remains unsatisfied — the *musical* sound resists every description.

Let us now prove it by absurdity: let the sound from two artists be analysed electronically and physiologically: a mass of perfectly measurable results will be obtained — of which we know perfectly well that they cannot give the casting vote between the two artists. Let us explain still more clearly this incompatibility between these two worlds of physio-acoustic and psycho-aesthetic experience: even without the need to oppose two artists against each other, let us compare two clarinets, two violins, two voices of great difference in quality; these can be measured from every angle to furnish graphical analyses of extraordinary precision. But there is no such specialist as can examine an analysis of this sort to arrive at musical conclusions. If he wishes to appreciate without ambiguity the quality of the production, the perfection of play, the sonority of the timbre, it is his ear to which he must apply. These remarks apply especially to sonograms, which can be read in terms of acoustics, but which cannot, at this time, be given a musical meaning. Here apparently is a confusion of information and — if I may say so — conformation. I am not rejecting a possible application of them, but researchers would have to take a completely different attitude to the one they have adopted up till now. On the other hand, suppose we set up for music a standard of values: we will find that the overwhelming majority if not the whole of the public will pronounce judgment albeit without ambiguity but in the vaguest and most subjective formulation possible. No matter: this insufficiency and its subjective quality are themselves scientific facts, the objective value of which is established by a statistical accumulation of particular but convergent judgments.

#### *Allergy and Interplay*

A close examination of the various attempts current in experimental music leads to a conclusion of which I am astounded to have been until now the sole protagonist, namely, that we are dealing in music with two worlds whose chances of mutual approach seem to me, in general, illusory. They are the world of scientific experiment, leading from physical to physiological acoustics, and the world of aesthetic experience, leading from the production of musical Objects to their musical perception and appreciation. The enormous difference between these two worlds of such singularly opposed method, of mutual allergy as it were, would preclude at once any hasty attempt at reconciliation. Such an affirmation is all the more necessary seeing that it goes counter to a natural drive, an irrepressible desire on our contemporaries' part to connect these two worlds by the most ramified

correlations. On the contrary: parallel researches should be aimed with more care, with more discernment above all, so that the degree of correspondance or disparity among violently different parameters or universes can be determined; here we have without a doubt a very useful activity, a very urgent resetting of numerous projects, abandoned due to their sterility: it is the whole problem of the *interplay* between acoustics and music

#### *The Musical Ear*

So as not to be laid open to the accusation of resting on the laurels of my generalisations, let me now carefully examine the possible means of advance in each of these two spheres. As far as musical acoustics is concerned, the field of research is already known: it is the electro-physio-acoustic transmission chain from the sounding body to the ear-drum, including of course the physiogological ear; as for experimental music, how will it be experimented except for this organ, the use of which is as easy as the understanding of its working is difficult? This is where the fundamental ambiguity raises its head, in the one single word: for the ear here is not the sensory ear — it is the musical ear, which musicians refer to when they describe someone as: "He has a good ear."

This musical ear, maintained and supported by the sensory ear, implies the whole of the human receiving organ: nerves and muscles, body and soul. This word conceals a world: it summarises the extraordinary complexity of the receiving apparatus and the whole network of analysis, translation and association to transform the sensory signal into perception through the senses and the intellect. It becomes evident what dangerous and false ideas are evoked by "technicese", which can without any trouble give the definition: the musical ear transforms the coded signal into information. Let us be on our guard against this habit towards verbal simplification of complex phenomena, modestly veiled into obscurity. Information, code have no exact meaning or real use outside the theory of telecommunication. In music, their generalisations lead but to truism and mirage.

#### *Ignotus in Musica*

We have seen how helpless the acoustician can become in the face of the commonest musical sound and the inadequacy of his vocabulary to give an account of any musical event. Here the reminder is necessary that the musician, to whose ear we have just paid such persistent homage, is at as great a loss, if not even more so. Therefore, before a musician begins to concern himself with this subject, he must ask himself the following questions:

1. Is there not, inherent to his method, a contradiction between the extreme accuracy of some aspects of notation and the vagueness of the



remaining musical quantities? In other words, is it not disarming to find that a note, entered on a staff with such precision, can give rise to so many varied actual sounds which the musician can neither define as to notation nor guarantee as to execution?

2. In the classical musician's listening, too, are there not gaps, and serious ones at that? As proof of this, should he not consider that a sound technician, who may be a musician by instinct while having no knowledge of harmony, may be aware in a musical performance of a large number of phenomena which a musician would hear but vaguely and could neither analyse nor even name if he did hear them? Now this very much concerns aspects of sound which through their relation to acoustics or electro-acoustics are musical effects.

3. What borderline will a musician place between what he calls musical tone and unmusical noise? Will he give the latter definition to any sound he cannot notate? We have already seen just how soon notation gives up the ghost even when it comes to describing the most musical sound possible. Besides, noise instruments are used in orchestras as well. What criterion is there to limit their use?

4. How can the modern musician integrate non-occidental music? African music which, instead of being written in a score, is kept in the memory and still more in the performer's muscular action? Asian music, whose notes correspond to scales of graduated pitch just as much as to no scales at all? All these are music whose argument, development, whose very *raison d'être* are based on other concepts than ours. Does the western musician consider himself properly armed as regards notation, melody and harmony for their analysis, without dropping off into nonsense? Or does he feel he would have to learn the vocabulary and grammar of another language, or perhaps to decipher hieroglyphics with the letters of his own alphabet confusing his mind? Lastly, does he think that, to be an honest student, he might have to learn to feel differently, perhaps to dance, or even to think?

#### *The Ears's Capabilities*

All these questions can be answered by a simple and positive statement. The ear — I mean the musical ear — is one of our least used senses. The objects we propose for its consideration and the language we allow it to hear lie very well within the bounds of its capabilities. Far from limiting ourselves to the traditional sounds and to the classical scales and notation, we should agree that these limitations are arbitrary, so that as soon as the ear perceives any musical event it no longer matters whether it can be notated or not: for it is the notation which is in the wrong for its inability to follow as far as the ear can hear. Let us consider again the example of this exotic music which keeps on surprising us and divides the specialists

into two camps, total indifference or sanctimonious admiration, both of which are just ways of escape out of the difficulty. Our real fault is our intelligence, for our ear, left to itself, has the capacity for transmitting to us the foreign message with a precision well above that of our interpretation. Hence it leads nowhere to attempt explanations of such music in terms of our own or to accompany it by ethnologic commentary. The one like the other discloses a refusal to take the musical event, as given into account, and to try and understand it the way it is; this of course presupposes all the sensory and intellectual enthusiasm which a strange language and way of thinking can allow him who does not know them.

#### *Extent of the Field*

Inversely, it is the ear — the musical ear itself — which must define the limits to the field, even if widened. While we can clearly see where our apprehension of the musical field has been limited and timid, there is elsewhere a hypertrophy of certain districts and an unnatural expectation of perceptions beyond the ear's capacity or outside its interest. A curious paradox this, of a fashion trying to replace a mass of refused evidence by gratuitous absurdity. At a time when a thousand perfectly perceptible timbres, rhythms, shadings have practically never been tried out, we are witness to the melodic accumulation of twelve notes and to experiments in this field which are trying to be progressive but which rest on the postulate, daily contradicted by common sense, that the ear will be saturated by the stimulus presented to it. Not that I do not admit the necessity of the ear's complete absorption by each new stimulus and by the astonishing advances assuring its prolonged exercise. Just the same, in this very progress there are the bulwarks of good sense, and there can be no progress exclusive to this favoured district of the field without the rest of the subject in all its manifold workings taking equal interest. Therefore, by taking the ear as a guide and judge as well as the means and the end, it seems that we shall regain the most solid ground possible: the ground of tradition, in which all progress must take root.

There can be no progress in music without a rational transgression of tradition, but only to the extent to which musical instinct leads the machines where it wants to go itself and where the ear will wish to follow.

Music must be left neither to the blind despotism of mechanics nor to the mechanics of blind despotism.



## Residualton und Formantton (mit einer illustrierenden Schallplatte)

von

W. MEYER-EPPLER, H. SENDHOFF und R. RUPPRATH

Institut für Phonetik und Kommunikationsforschung  
der Universität Bonn

Unter einer „Melodie“ versteht man gemeinhin eine (nach gewissen empirischen Regeln geordnete) Folge von „Tönen“, in exakter akustischer Ausdrucksweise also von *Tonsignalen* (d. h. sinusförmigen Signalen) oder von *Klangsignalen* (d. h. nicht-sinusförmigen, jedoch periodischen Signalen). Das variable Charakteristikum einer Melodie ist die „Tonhöhe“, d. h. das empfindungsmäßige Korrelat der Frequenz schlechthin des Tonsignals bzw. der tiefsten Frequenzkomponente (der *Grundfrequenz* oder ersten *Harmonischen* einer Fourier-Zerlegung) des Klangsignals. Alle anderen Signalparameter (Amplitude, spektrales Amplitudenverhältnis, Phasenbeziehungen innerhalb des Spektrums) spielen für das Zustandekommen einer Melodie im herkömmlichen Sinne keine besondere Rolle.

Nun ist jedoch zu fragen, was denn aus einer Klangmelodie (d. h. einer aus Klangsignalen gebildeten Melodie) wird, wenn man durch geeignete Eingriffe die ersten Harmonischen jedes Klangsignals oder gar alle Harmonischen von der ersten bis zur n-ten entfernt und auf diese Weise die bisher als Träger einer Melodie angesehenen Frequenzkomponenten beseitigt.

Das Experiment, das am leichtesten mit elektronischen Hilfsmitteln durchgeführt werden kann, führt zu dem überraschenden Befund, daß ein solcher Eingriff die Erkennbarkeit der Melodie kaum beeinträchtigt. (Plattenbeispiel (künftig mit **Pb** abgekürzt) **a** (•—) bringt als einfache, elektronisch erzeugte Melodie die „Tonfolge“ (= Folge von Klangsignalen) C-D-E-F-G-F-E-D-C mit Grundfrequenzen zwischen 65,4 Hz (C) und 98,0 Hz (G). Diese Tonfolge wurde durch einen als Bandfilter geschalteten verstellbaren Hoch-Tiefpaß [2] hindurchgeschickt. Das Spektrum eines der ursprünglichen Klangsignale vor der Filterung ist in Abb. 1 wiedergegeben.

Mittels des Hoch-Tiefpasses wurden alle Frequenzkomponenten oberhalb von 11 200 Hz unterdrückt, weil sie für die zu demonstrierenden Phänomene ohne Bedeutung sind und die Aufzeichnung auf Tonband und Platte unnötig erschwert hätten. Die untere Grenzfrequenz des Hochpaßteils wurde auf 180 Hz gelegt, d. h. es wurden alle Harmonischen unter 180 Hz (im wesentlichen die 1. bzw. die 1. und 2.) entfernt. Die Erkennbarkeit der Melodie leidet hierdurch, wie **Pb b** (—••) erkennen läßt, nicht im gering-

sten; lediglich die Klangfarbe scheint sich zu ändern. Dies gilt auch dann noch, wenn, wie in **Pb c** (—•—•), alle Harmonischen unter 500 Hz (d. h. die ersten 5 bis 7 Harmonischen) entfernt werden oder, wie in **Pb d** (—••), alle Harmonischen unter 1,4 kHz (d. h. die ersten 14 bis 21 Harmonischen). Es wird jetzt jedoch schon schwieriger, die *Oktavlage* der Melodie anzugeben. Mit wachsender unterer Grenzfrequenz des Hochpasses verliert sich der Melodiecharakter mehr und mehr; in **Pb e** (•) liegt die untere Grenzfrequenz bei 2,8 kHz (wodurch die ersten 28 bis 42 Harmonischen beseitigt werden), in **Pb f** (••—•) bei 4 kHz (Beseitigung der ersten 40 bis 61 Harmonischen), in **Pb g** (—•—•) bei 5,6 kHz (Beseitigung der ersten 56 bis 85 Harmonischen) und in **Pb h** (•••) schließlich bei 8 kHz (Beseitigung der ersten 80 bis 122 Harmonischen). Selbst im Falle **h** ist die Melodie noch schwach zu erkennen.

Um derartigen Experimenten Beweiskraft zu verschaffen, muß dafür gesorgt werden, daß die Grundfrequenz durch den Tiefpaß möglichst weitgehend unterdrückt wird. Jeder nachträgliche Prozeß, der ja niemals völlig frei von nichtlinearen Verzerrungen ist, läßt die Amplitude der Grundfrequenz (und der tiefen Harmonischen) anwachsen. Man beseitigt die das Experiment verfälschende Wirkung einer solchen Klirrvverzerrung, wenn man die Wiedergabelautstärke so weit reduziert, daß die tiefsten Harmonischen unter die Hörschwelle geraten<sup>1</sup>. Im Originalversuch betrug der Abstand zwischen der ersten (unterdrückten) Harmonischen und den durchgelassenen Harmonischen etwa der Ordnung 100 bis 200 45 dB und mehr; nach der Aufnahme auf Magnettonband lag der Abstand immer noch oberhalb von 40 dB.

Abb. 2 bringt zum Vergleich nebeneinander die Spektrogramme („Sonagramme“) des gleichen Klangbeispiels einmal unmittelbar hinter dem Generator (a), sodann nach der Bandwiedergabe (b) und schließlich nach der Plattenwiedergabe (c).

Das mit dem eliminierten Grundton verknüpfte und zur Melodiebildung verwendbare Wahrnehmungsphänomen werde als *Residualton* bezeichnet [15, 18]. Es steht in engster Verbindung zu den fälschlich „subjektive Differenztöne“ genannten Wahrnehmungsphänomenen.

### „Subjektive Differenztöne“ und Quotiententöne

Um „subjektive Differenztöne“ zu demonstrieren, benötigt man zwei elektrische Generatoren für Sinoidalsignale (beispielsweise RC-Generatoren oder Schwebungssummer) und einen guten klirrarmlen Doppelkopfhörer,

<sup>1</sup> Die Filterbeispiele setzten dem Umschnitt auf Tonband und Platte erbitterten Widerstand entgegen. Der Klirrfaktor konnte nur dadurch hinreichend klein gehalten werden, daß die Beispiele **a** bis **h** mit stark reduziertem Pegel umgeschnitten wurden. Um beim Abhören nicht zu falschen Schlüssen zu kommen, empfiehlt es sich, die Wiedergabelautstärke dieser Beispiele auf etwa 40 Phon (pp) zu begrenzen und die Bässe mittels der Klangblende so weit wie möglich zu unterdrücken.



dessen beide Muscheln jede für sich mit einem der Generatoren verbunden werden können. Um aus dieser „diplotischen“ (= getrenntohrigen) Anordnung eine „amphotische“ (= beidohrige) machen zu können, ist ein Schalter vorzusehen, der die Ausgänge der beiden Generatoren miteinander zu vereinigen gestattet; beide Kopfhörer-muscheln empfangen dann die *Summe* der von den Generatoren gelieferten Signale.

Es werde zunächst die diplotische Anordnung gewählt und der Versuchsperson (Vp.) über die linke Muschel ein Signal von 400 Hz und über die rechte Muschel ein solches von 500 Hz zugeführt. Die Vp. hört dann links und rechts zwei verschiedene hohe Töne, deren Abstand mehr oder weniger leicht als große Terz erkannt wird, ohne daß indes das gewohnte charakteristische Klangbild dieses Intervalls deutlich in Erscheinung träte.

Dies ändert sich jedoch grundlegend, wenn man zur amphotischen Anordnung übergeht, d. h. den Ohren der Vp. die *Summe* der Signale von 400 und 500 Hz darbietet. Mit dem Zusammenschalten der Generatoren nämlich tritt zu den beiden primären Tönen ein dritter, tiefer Ton von ganz eigentümlicher Klangqualität hinzu, und erst diese Dreierheit von Tönen erzeugt den typischen Terzklang.

Man hatte den bei der additiven Mischung von Ton- und Klangsignalen entstehenden neuen Empfindungsqualitäten den Namen „subjektive Differenztöne“ gegeben und nichtlineare Verzerrungen im Ohr für ihr Zustandekommen verantwortlich gemacht. Allerdings war immer schon ein wenig verwunderlich erschienen, daß insbesondere die „subjektiven Differenztöne“ mit einer Stärke empfunden wurden, die sich mit den berechneten Werten nur schlecht zu vertragen schien. Daß die nach der Nichtlinearitätstheorie ebenfalls zu fordernden „subjektiven Summationstöne“ nicht oder nur mit Mühe aufgefunden werden konnten, wurde in recht künstlicher Weise erklärt.

Es läßt sich leicht zeigen, daß die bei der Superposition von Ton- und Klangsignalen zu beobachtenden Phänomene nicht durch Klirrverzerrungen im Ohr hervorgerufen sein können. Verringert man nämlich den Schalldruck der beiden Primärsignale des oben angeführten Beispiels bis nahe an die Hörschwelle, so bleibt dennoch der Umschlag der Empfindungsqualitäten beim Übergang von der diplotischen zur amphotischen Darbietungsweise voll erhalten. Es gibt keine Art von nichtlinearer Verzerrung, die mit diesem Sachverhalt verträglich wäre. Ferner zeigt sich, daß der vermeintliche subjektive Differenzton weder mit einem gleichzeitig dargebotenen Ton- oder Klangsignal von benachbarter Frequenz Schwebungen bildet noch durch ein Ton- oder Klangsignal von gleicher Frequenz, aber entgegengesetztem Vorzeichen kompensiert werden kann [17]; auch läßt er sich, im Gegensatz zu einem „objektiven“ Ton der gleichen Höhe, durch Rauschen nicht verdecken [5].

Keineswegs soll bestritten werden, daß bei genügend hohem Schalldruck

im Ohr auch nichtlineare Verzerrungen auftreten; es wird nur behauptet, daß sie unter normalen Umständen nicht die Ursache für die beobachteten „Kombinationstöne“ sein können.

Bei rückblickender Betrachtung mutet es unverständlich an, wie hartnäckig sich die Deutung der Superpositionseffekte als Ergebnis von nichtlinearen Verzerrungen im Ohr gehalten hat, ohne daß es je für notwendig befunden worden wäre, auch die Beobachtungen von *Musikern* zu diskutieren. So war beispielsweise von H. RIEMANN über sehr sorgfältig ausgeführte Experimente zur Superposition von zwei Klangsignalen verschiedener Frequenz berichtet worden [16], ohne daß die physikalisch orientierte Akustik hiervon besondere Notiz genommen hätte. RIEMANN fand, daß weder die von der Nichtlinearitätstheorie geforderten *Summationstöne* auftraten, noch Kombinationstöne mit der *Differenzfrequenz*, sondern *Divisions-* oder besser *Quotiententöne*. In mathematischer Ausdrucksweise würde man die Frequenz eines solchen Quotiententones als den *größten gemeinsamen Teiler* der beiden Primärfrequenzen bezeichnen.

In besonders deutlicher Weise zeigt sich der Unterschied zwischen Differenz- und Quotiententönen, wenn man die Frequenz des einen Primärklangsignals festhält und die des anderen *kontinuierlich* verändert. Ein Differenzton müßte hierbei seine Tonhöhe ebenfalls *kontinuierlich* verändern, ein Quotiententone dagegen *sprunghaft*. Gerade dieses aber hat RIEMANN klar beschrieben: „Auffallend ist das Springen des tiefsten Combinationstones bei kleinen Veränderungen des Intervalls, beim Übergange aus einem Intervalle in ein anderes beinahe gleiches . . .“, und weiter: „Es ist gewiß nicht wenig auffallend, wie so geringe Verstimmungen so große Veränderungen hervorzubringen im Stande sind“. Schließlich bemerkte RIEMANN bereits das „ganz eigenartige Timbre“ der Quotiententöne, das sie als Empfindungsqualität eigener Prägung ausweist.

Das zähe Festhalten an der Nichtlinearitätstheorie hatte seinen Grund in der Hypothese, nur die mittels einer Fourier-Analyse abzuleitenden Komponenten eines Schallsignals seien als „objektiv“ anzusehen, während alle sonstigen, sich nicht im Fourier-Spektrum findenden Eigenschaften als „subjektive“ Phänomene zu gelten hätten. Eine solche Unterscheidung zwischen „subjektiv“ und „objektiv“ kann aber nur hinsichtlich des menschlichen Ohres Geltung beanspruchen, und jeder Zuwachs an Einsicht in dessen Wirkungsweise verschiebt zwangsläufig die Grenzen zwischen dem Bereich des Subjektiven und des Objektiven. Heute ist man nicht mehr bereit, die Fouriersche Spektralzerlegung von Schallsignalen als ausreichendes Mittel zu deren objektiver Beschreibung anzuerkennen. Man muß vielmehr danach trachten, diejenigen Analyseverfahren aufzufinden, die den Schallempfindungen gerecht werden. Beispielsweise gestattet schon ein so einfaches Gerät wie das Sektorscheiben-Stroboskop, die Frequenz von Quotiententönen an-



zuzeigen<sup>2</sup>. In der *Exhaustions-Schwingungsanalyse* liegt ein systematisches Verfahren vor, die Zerlegung eines Schallsignals nach periodischen, nicht notwendigerweise sinusförmigen Komponenten durchzuführen [13, 14].

### Der Residualton

Bietet man dem Ohr gleichzeitig eine größere Zahl  $m$  von Ton- oder Klangsignalen verschiedener Frequenz dar, so wächst die Zahl der Quotientöne, sofern alle Primärfrequenzen verschieden sind, mit  $\binom{m}{2}$  Ihre Zahl verringert sich jedoch, wenn die Frequenzen wie in den eingangs besprochenen Fällen (**Pb a** bis **h**) als ganzzahlige Vielfache einer Grundfrequenz  $f_G$  gewählt werden, sich also durch  $kf_G$  darstellen lassen ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ). Es handelt sich dann um ein Schallsignal, das mit der Frequenz  $f_G$  *periodisch* ist, und zwar auch dann, wenn keine Komponente mit der Grundfrequenz  $f_G$  in ihm enthalten ist. Diese Periodizität nun wird als gemeinsamer Quotienton aller vorhandenen Harmonischen gehört und bei der Melodiebildung in **Pb a** bis **h** als Residualton wirksam.

Nicht ganz einfach ist die Frage zu beantworten, in welcher *Oktavlage* man den Residualton hört, da seine Farbe sich erheblich von der eines Sinustones unterscheidet. LEWIS [4] beobachtete, daß seine Vpn. einen Oszillator, dessen Frequenz sie mit derjenigen eines vorgegebenen Residualtones in Übereinstimmung bringen sollten, häufiger auf den doppelten Wert der virtuellen Grundfrequenz  $f_G$  einstellten als auf die Grundfrequenz selbst. WHITE hingegen fand [21]), daß jeweils *die* Frequenz gehört wurde, die dem größten gemeinsamen Teiler der beiden Primärtöne entsprach.

Nach M. F. MEYER [8] ergeben zwei sinusförmige Primärsignale im Frequenzverhältnis 9 : 13 einen Residualton der relativen Höhe 5, während ein Primärfrequenzverhältnis von 11 : 15 auf einen Residualton der relativen Höhe 7 führt [9]. MEYER vermochte dieses Ergebnis mittels seiner peripheren „hydraulischen“ Theorie zu deuten, wobei er nur von der *Schwingungsform* auszugehen brauchte, ohne das *Fourier-Spektrum* des Signalgemischs zu berücksichtigen. HOOGLAND [3] dagegen behauptete, bei seinen sorgfältig durchgeführten Untersuchungen überhaupt keinen Residualton beobachtet zu haben, sondern lediglich subjektive Differenztöne.

In dieses Gestrüpp von einander widersprechenden Beobachtungen fiel einiges Licht durch Untersuchungen über die *Phasenabhängigkeit* von Klangempfindungen [20]. Dabei wurde deutlich, daß nicht so sehr die Phasenbeziehungen für die Klangunterschiede verantwortlich sind als vielmehr verschiedene Schwingungsformen (s. auch [1]), die ein Schallsignal von gege-

<sup>2</sup> S. z. B. O. L. RAILSBACK, J. acoust. Soc. Amer. 9 (1937) 37—42, R. W. YOUNG u. A. LOOMIS: J. acoust. Soc. Amer. 10 (1938) 112—118.

bener spektraler Zusammensetzung bei Änderung der Phasenwinkel annehmen kann. Während ein regelmäßiger Gang des Phasenwinkels mit der Ordnungszahl der Harmonischen zu „harten“ Klängen führt, entstehen bei unregelmäßigem Phasengang „weiche“ Klänge [7]. LICKLIDER [6] konnte zeigen, daß nur im erstgenannten Fall der Residualton deutlich zu hören war, während er bei unregelmäßigem Gang des Phasenwinkels nahezu völlig verschwinden kann. Je weniger klar die Signalform in eigentliche Signalelemente (z. B. Impulse) und Pausen gegliedert ist, desto stärker ist die Tendenz, den Residualton für höher zu halten, als der größten gemeinsamen Teilerfrequenz entsprechen würde. Untersuchungen von SMALL [19] machen es außerdem wahrscheinlich, daß Hörbarkeit und Tonhöhen-Lokalisierbarkeit des Residualtones starke individuelle Unterschiede aufweist, die sich deshalb auch bei den Schallplattenbeispielen auswirken werden.

Wie stark das Residualtonphänomen durch einen unregelmäßigen (und darüber hinaus zeitabhängigen) Phasengang zurückgedrängt wird, sollen **Pb i** (· ·) und **Pb j** (· — —) demonstrieren; **Pb i** entstand aus **Pb g** und **Pb j** aus **Pb h** durch nichtstationäre Verhallung. Der bei **Pb g** periodische Schwingungsverlauf (Abb. 3a) ist bei **Pb i** durch das Verhalten praktisch unperiodisch geworden (Abb. 3b).

### Periodische Blockfolgen

Residualtöne lassen sich noch von einer anderen Seite aus experimentell erforschen: durch periodische Modulation eines stationären Schallsignals. Es sei  $S(t)$  ein derartiges Schallsignal und  $s(f)$  sein komplexes Fourier-Spektrum<sup>3</sup> ( $t$  ist die Zeitkoordinate,  $f$  die Frequenzkoordinate). Die mit einer Frequenz  $f_m$  periodische Modulationsfunktion bezeichnen wir mit  $M(t; f_m)$  und ihr Fourier-Spektrum mit  $m(f; f_m)$ . Durch die Modulation verwandelt sich das ursprüngliche Schallsignal  $S(t)$  in  $S(t) \cdot M(t; f_m)$  und sein Fourier-Spektrum von  $s(f)$  in  $s(f) * m(f; f_m)$ : das Symbol  $*$  bezeichnet hierin die *Faltungsoperation*:

$$s(f) * m(f; f_m) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(g) m(f-g; f_m) dg \quad (1)$$

Graphische Verfahren zur Berechnung von (1) sind in [11] und [12] beschrieben. Wir beschränken uns hier auf den Fall einer *rechteckigen* Modulationsfunktion  $M_r(t; f_m)$  nach Abb. 4a. Ihr Spektrum  $m_r(f; f_m)$  besteht

<sup>3</sup> Um stationär-periodische und stationär-aleatorische Signale (d. h. Klangsignale und Rauchsignale) mit den gleichen mathematischen Methoden behandeln zu können, betrachten wir letztere ebenfalls als periodisch, jedoch mit einer Periodenlänge, die groß ist gegenüber der Diskriminationszeit des Ohres und beispielsweise bei 1 Sekunde liegen möge.



aus einer Harmonischen nullter Ordnung (d. h. einer Gleichwertkomponente), einer Harmonischen erster Ordnung mit der Frequenz  $f_m$  und den Harmonischen ungerader Ordnung mit den Frequenzen  $3f_m, 5f_m, 7f_m$  usw. entsprechend Abb. 4b. Das modulierte Signal  $S(t) \cdot M_1(t; f_m)$  besteht dann aus einer periodischen Folge von *Signalblöcken* (bursts), die je nach der Art von  $S(t)$  *Klangblöcke* (Abb. 5a) oder *Rauschblöcke* (Abb. 5b) sein können, während das Spektrum von  $S(t) \cdot M_r(t; f_m)$  aus dem Spektrum  $s(f)$  von  $S(t)$  besteht, ergänzt durch *Seitenkomponenten* in den Abständen  $\pm f_m, \pm 3f_m, \pm 5f_m, \pm 7f_m$  usw. ober- und unterhalb von jeder Spektralkomponente von  $s(f)$ <sup>4</sup>. Abb. 6 zeigt das Modulationsspektrum eines mit 75 Hz modulierten Sinoidalsignals von 1000 Hz, d. h. einer periodischen Folge von *Tonblöcken*. Obgleich die Folge selbst periodisch ist, hat das Signal als Ganzes diese Eigenschaft nicht, die einzelnen Blöcke folgen zwar regelmäßig aufeinander, aber ihre Feinstruktur ist verschieden, da sie mit verschiedenen Phasen einsetzen (Abb. 7). Wir wollen derartige rechteckmodulierte Signale als *pseudo-periodisch* bezeichnen. Eine Blockfolge ist ganz allgemein dann pseudo-periodisch, wenn die *Trägerfrequenz*  $f_T$  des zu modulierenden Sinoidalsignals nicht ohne Rest durch die Modulationsfrequenz  $f_m$  teilbar ist (d. h. wenn  $f_T \neq 0 \pmod{f_m}$ ): sie ist periodisch, wenn die Division restfrei bleibt (d. h. wenn  $f_T = 0 \pmod{f_m}$ ).

Ein reiner Residualton bildet sich nur im periodischen Fall aus; der pseudo-periodische Fall führt zu einem mehr oder weniger geräuschhaften (mit „rumble“ [10] versehenen) Residualton. Läßt man bei festgehaltener Modulationsfrequenz  $f_m$  die Trägerfrequenz des Sinoidalsignals sich langsam und stetig ändern, so werden in regelmäßigem Wechsel periodische und pseudo-periodische Zustände durchlaufen, und der Klangeindruck wechselt demgemäß zwischen reinem und geräuschhaftem Residualton. **Pb k** (— · —) demonstriert diesen Sachverhalt an einem mit 59 Hz rechteckmodulierten Sinoidaltone, der von 2000 auf 3000 Hz ansteigt. Abb. 8 bringt einen Ausschnitt aus dem Oszillogramm der Bandaufnahme<sup>5</sup>. In **Pb l** (· — ·) sind die beiden Extreme, reiner Residualton und geräuschhafter Residualton, noch einmal isoliert wiedergegeben.

<sup>4</sup> Um das vollständige Modulationsspektrum zu erhalten, sind die Spektralkomponenten von  $s(f)$  bei positiven und negativen Werten von  $f$  zu berücksichtigen.

<sup>5</sup> Diese Abbildung dokumentiert erneut die Schwierigkeiten, die bei einer Aufzeichnung derart subtiler Schallphänomene auf Tonband oder Schallplatte auftreten. Durch die Inhomogenitäten des Tonbandes (d. h. eine von Stelle zu Stelle verschiedene Empfindlichkeit) wird die vom Generator gelieferte rechteckige Modulation in eine nur noch annähernd rechteckige Modulation mit aleatorisch schwankender Amplitude (und Phase) des Trägers verwandelt. Bei stationären Sinoidalsignalen können die Schwankungen vom Ohr leicht wahrgenommen werden.

Daß der Residualton etwas qualitativ anderes ist als eine additiv hinzugefügte Komponente der Frequenz  $f_m$  (und ihrer Harmonischen), erhellt aus **Pb m** (— —). Hier wird dem rechteckmodulierten Signal allmählich die Modulationsfunktion hinzugefügt. Der Wechsel zwischen den beiden Modifikationen „rechteckmoduliertes Signal allein“ (×) und „rechteckmoduliertes Signal + Modulationsfunktion“ (y) läßt den besonderen Charakter des Residualtones deutlich hervortreten (Reihenfolge auf der Schallplatte: x-y-x-y-x). Der gleiche Versuch ist in **Pb n** (— ·) noch einmal für den pseudo-periodischen Fall durchgeführt.

Ersetzt man den sinusförmigen Träger durch einen Rauschträger (weißes oder farbiges Rauschen), so sind die aufeinanderfolgenden Rauschblöcke nicht miteinander korreliert, und das resultierende Signal ist unperiodisch, trotz der periodischen Hüllkurve. Es ist deshalb zu erwarten, daß kein Residualton auftritt. Da das Spektrum des modulierten Rauschens sich aber mit der Modulationsfrequenz ändert, muß deren Variation zu einer gewissen Änderung der Klangfarbe führen. **Pb o** (— — —) zeigt die Wirkung einer Rechteckmodulation mit Modulationsfrequenzen zwischen 2,5 und 500 Hz bei farbigem Rauschen (konstante spektrale Leistungsdichte zwischen 500 und 15 000 Hz). Bei niedrigen Modulationsfrequenzen ist die Unterbrechung als rhythmisches Phänomen gut zu hören. Mit wachsender Modulationsfrequenz verliert sich der rhythmische Eindruck, um einer schwachen Klangfarbenvariation Platz zu machen. Ein Residualton jedoch ist nicht zu hören. Man bemerkt sein Fehlen besonders deutlich, wenn man die Modulationsfunktion additiv hinzufügt (**Pb p** (· — ·)). Der Unterschied zwischen **Pb o** und **Pb p** ist in **Pb g** (— · —) noch einmal deutlich herausgestellt (Modulationsfrequenz 77 Hz).

## Der Formantton

Filtert man aus dem Linienspektrum eines Klangsignals (d. h. eines periodischen Schallsignals) mittels eines Bandpasses (z. B. eines Oktavsiebs) einen nicht zu engen Bereich heraus, so tritt ebenfalls ein Residualton auf (**Pb r** (· — ·)): Tonfolge C-D-E-F-G-F-E-D-C mit Filter-Durchlaßbereichen von 150...300..., 300...600, 600...1200 und 1200...2400 Hz). Neben diesem Residualton vermag das Ohr aber — wenngleich vage — noch die Tonhöhe zu erkennen, die dem Durchlaßbereich des Filters entspricht (also etwa  $c'$ ,  $c''$ ,  $c'''$  und  $c''''$  in **Pb r**). Man nennt diese Tonhöhe mit einem der phonetischen Terminologie angehörenden Ausdruck die *Formanttonhöhe* des Klages. Residual- und Formanttonhöhe lassen sich innerhalb weiter Grenzen unabhängig voneinander variieren. So kann man beispielsweise beide Tonhöhen in der *gleichen* Richtung ändern (**Pb s** (· · ·)) oder in *entgegengesetzter* Richtung (**Pb t** (—)) gleichsam kontrapunktisch. Im letztgenannten Fall ist es ungeschulten Hörern nicht oder nur schwer mög-



lich, zu entscheiden, ob die ihnen vorgespielte Tonfolge aufwärts oder abwärts läuft, wenn die Melodietonhöhe mit der Residualtonhöhe indentifiziert wird. Daß die Formanttonhöhe allein bereits zu einer eigenen Tonhöhenempfindung führt, erkennt man, wenn man die Residualtonhöhe (d. h. die virtuelle Grundfrequenz  $f_G$ ) konstant hält und nur den Filter-Durchlaßbereich ändert (**Pb u** (••—):  $f_G = 65$  Hz, Filterbereiche von 150... 300 Hz aufsteigend bis 2400... 4800 Hz und wieder absteigend). In **Pb v** (•••—) sind zur Verdeutlichung des Gesagten noch einmal zusammengestellt: eine Formanttonmelodie (2×), eine Residualtonmelodie (2×) und eine simultan-gegenläufige Formant- und Residualtonmelodie (2×), aufgebaut aus exponentiell abklingenden periodischen Signalen.

## Literatur

- [1] R. CHOCHOLIE u. J. P. LEGOUIX: About the sensation of beats between two tones whose frequencies are nearly in a simple relation. *J. acoust. Soc. Amer.* **29** (1957) 750.
- [2] H. DAVIS, S. R. SILVERMAN u. D. R. McAULIFFE: Some observations on pitch and frequency. *J. acoust. Soc. Amer.* **23** (1951) 40—42.
- [3] G. A. HOOGLAND: The missing fundamental. Utrecht 1953 (Schotanus en Jens).
- [4] D. LEWIS: Pitch and the missing fundamental. *J. acoust. Soc. Amer.* **13** (1941) 84.
- [5] J. C. R. LICKLIDER: Auditory frequency analysis. In C. CHERRY (Hrsg.): *Information Theory (Third London Symposium 1955)* S. 253—268. London 1956 (Butterworths).
- [6] — —: Influence of phase coherence upon the pitch of complex, periodic sounds. *J. acoust. Soc. Amer.* **27** (1955) 996.
- [7] R. C. MATHES u. R. L. MILLER: Phase effects in monaural perception. *J. acoust. Soc. Amer.* **19** (1947) 780—797.
- [8] M. F. MEYER: Observation of the Tartini pitch produced by "sin 9x + sin 13x". *J. acoust. Soc. Amer.* **26** (1954) 560—562.
- [9] — —: Observation of the Tartini pitch produced by "sin 11x + sin 15x and sin 11x + 2 sin 15x". *J. acoust. Soc. Amer.* **26** (1954) 759—761.
- [10] — —: Theory for pitches 19, 15, and 11 plus a rumbling resulting from "sin 19x + 2 sin 15x". *J. acoust. Soc. Amer.* **27** (1955) 749—750.
- [11] W. MEYER-EPPLER: Ein Abtastverfahren zur Darstellung von Ausgleichsvorgängen und nichtlinearen Verzerrungen. *Arch. elektr. Übertrag.* **2** (1948) 1—14.
- [12] — —: Die graphische Ermittlung von Kombinationsfrequenzen bei fernmelde-technischen Problemen. *Fernmeldetechn. Z.* **1** (1948) 109—112.
- [13] — —: Untersuchungen zur Auffindung verborgener nicht-sinusförmiger Periodizitäten in Schwingungsaufzeichnungen. *Geofisica pura e applicata* **20** (1951) 1—14.
- [14] — —: Die Exhaustions-Schwingungsanalyse und ihre Beziehung zur Theorie des Hörens. *Physikal. Blätter* **7** (1951) 355—361.
- [15] — —: Die dreifache Tonhöhenqualität. *Festschr. Schmidt-Görg*, S. 202—212. Bonn 1957 (Beethovenhaus).
- [16] H. RIEMANN: Die objective Existenz der Untertöne. Cassel 1875.
- [17] J. F. SCHOUTEN: The perception of subjective tones. *Proc. Kon. Nederl. Akad. Wetensch.* **41** (1938) 1086—1093.
- [18] — —: Die Tonhöhenempfindung. *Philips' techn. Rdsch.* **5** (1940) 294—302.
- [19] A. M. SMALL jr.: Some parameters influencing the pitch of amplitude modulated signals. *J. acoust. Soc. Amer.* **27** (1955) 751—760.
- [20] J. D. TRIMMER u. F. A. FIRESTONE: Investigation of subjective tones by means of the steady tone phase effect. *J. acoust. Soc. Amer.* **9** (1938) 24—29.
- [21] W. B. WHITE: Contribution offered towards a discussion of the paper "Pitch and the missing fundamental". *J. acoust. Soc. Amer.* **13** (1941) 87—88.



Residualton und Formantton

von

W. MEYER-EPPLER, H. SENDHOFF und R. RUPPRATH

Institut für Phonetik und Kommunikationsforschung der Universität Bonn

Zusammenstellung der Plattenbeispiele

Plattenseite 1:

- a (.—) Tonfolge C-D-E-F-G-F-E-D-C
- b (—... ) Tonfolge a über Filter 180 ... 11 200 Hz
- c (—... ) Tonfolge a über Filter 500 ... 11 200 Hz
- d (—... ) Tonfolge a über Filter 1400 ... 11 200 Hz
- e (.) Tonfolge a über Filter 2800 ... 11 200 Hz
- f (.—... ) Tonfolge a über Filter 4000 ... 11 200 Hz
- g (—... ) Tonfolge a über Filter 5600 ... 11 200 Hz
- h (... ) Tonfolge a über Filter 8000 ... 11 200 Hz
- i (.. ) Beispiel g über Hallraum
- j (.—... ) Beispiel h über Hallraum

Plattenseite 2:

- k (—... ) Von 2000 auf 3000 Hz ansteigender Sinuston, mit 59 Hz rechteckig unterbrochen
- l (.—... ) Extremfälle von Beispiel k: reiner Residualton (periodischer Fall) und geräuschhafter Ton (pseudoperiodischer Fall)
- m (—... ) Residualton und Residualton mit überlagerter gleichperiodischer Schwingung
- n (.—... ) Wie m, jedoch pseudoperiodischer Fall
- o (—... ) Farbige Rauschen (500 ... 15 000 Hz), mit steigender und wieder fallender Frequenz (20 ... 500 ... 20 Hz) rechteckig moduliert
- p (.—... ) Wie o, jedoch mit überlagerter gleichperiodischer Schwingung
- q (—... ) Unterschied zwischen o und p (Unterbrechungsfrequenz 77 Hz)
- r (.—... ) Tonfolge C-D-E-F-G-F-E-D-C über Oktavsiebe mit den Durchlaßbereichen 150 ... 300, 300 ... 600, 600 ... 1200 und 1200 ... 2400 Hz
- s (... ) Steigende Residualtonhöhe (C bis G) und steigende Formanttonhöhe (150 ... 300 bis 2400 ... 4800 Hz)
- t (—... ) Steigende Residualtonhöhe, fallende Formanttonhöhe (und umgekehrt)
- u (.—... ) Fester Residualton (C, 65 Hz); Filterbereiche aufsteigend von 150 ... 300 bis 2400 ... 4800 Hz und wieder absteigend
- v (... ) Formanttonmelodie (2x), Residualtonmelodie (2x) und gegenläufige Formant- und Residualtonmelodie (2x)

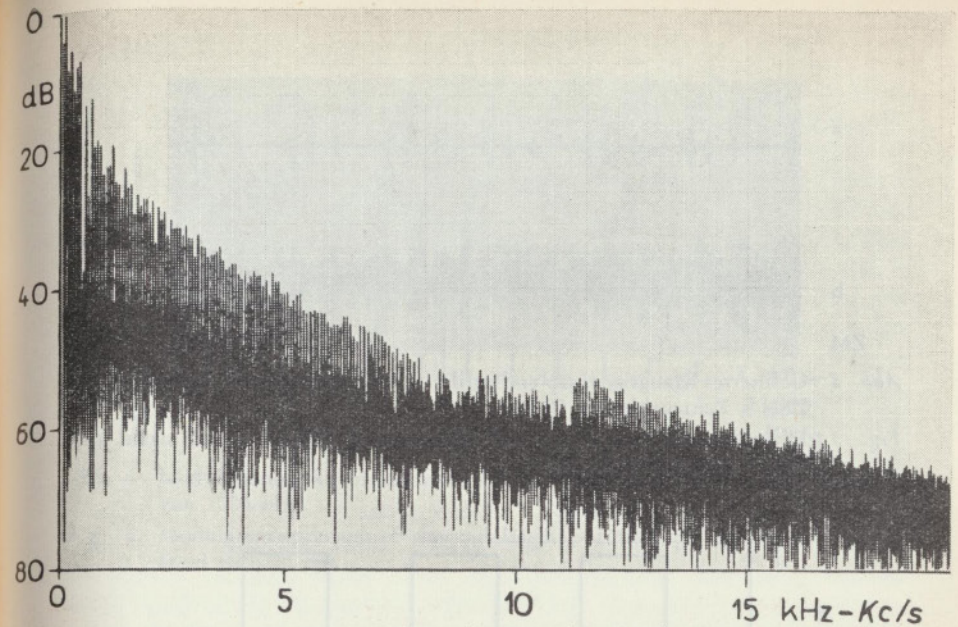


Abb. 1 Suchtonspektrum des nicht gefilterten Klangsignals.

Fig. 1 Search-tone spectrum of unfiltered sound signal.

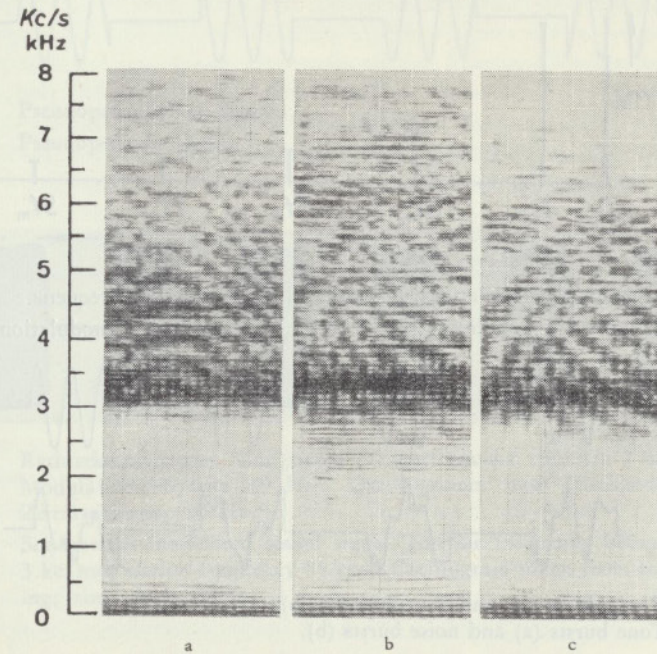


Abb. 2 Sonagramm von Plattenbeispiel f (.—...), Tonhöhe C; (a) Original, (b) von Tonband, (c) von Schallplatte. Analysierbandbreite 45 Hz.

Fig. 2 Sonagram of example "f" (.—...) on record, pitch C; (a) original, (b) taken from, (c) taken from record. Analysing bandwidth 45 cps.



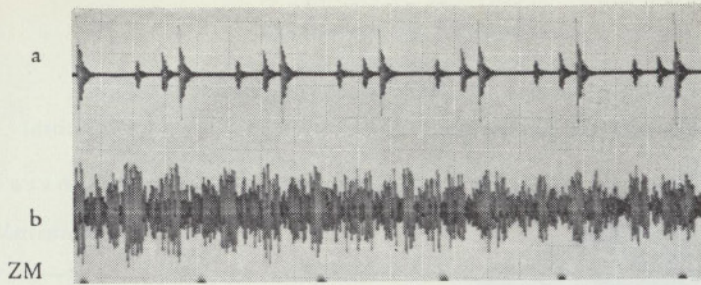


Abb. 3 Gefiltertes Klangsignal (a) und gefiltertes Klangsignal nach Verhallung (b). ZM = Zeitmarkierung 50 Hz.

Fig. 3 Filtered sound signal (a) and reverberated filtered sound signal (b). ZM = time-marks 50 cps.

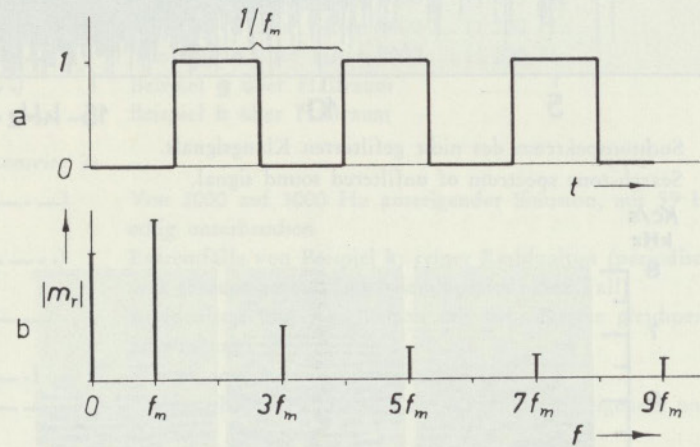


Abb. 4 Rechteckige Modulationsfunktion;  $f_m$  = Modulationsfrequenz.

Fig. 4 Squarewave-modulation function;  $f_m$  = frequency of modulation.

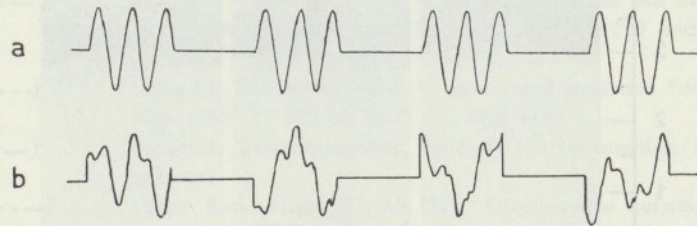


Abb. 5 Klangblöcke (a) und Rauschblöcke (b).

Fig. 5 Tone bursts (a) and noise bursts (b).

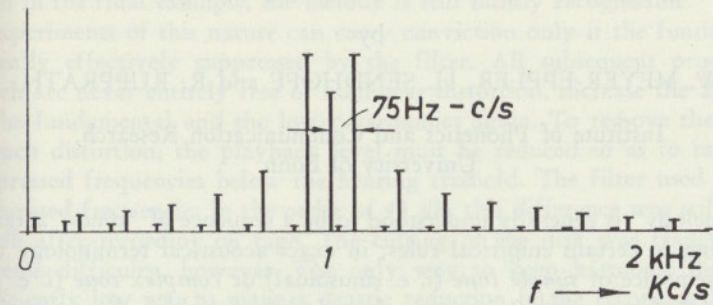


Abb. 6 Modulationsspektrum eines mit 75 Hz rechteckmodulierten Sinoidalsignals von 1000 Hz.

Fig. 6 Modulation-spectrum of sinusoidal signal of 1000 cps squarewave modulated with 75 cps.

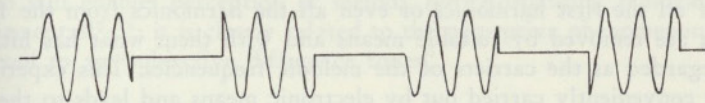


Abb. 7 Pseudoperiodisches Signal.

Fig. 7 Pseudoperiodic signal.

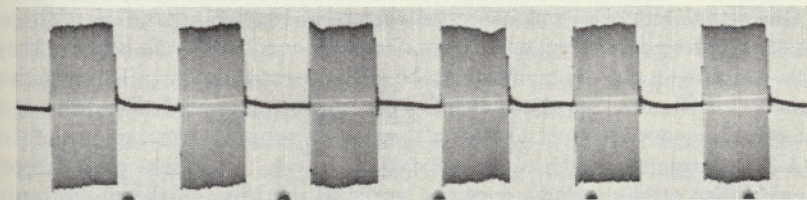


Abb. 8 Rechteckmoduliertes Klangsignal (Trägerfrequenz zwischen 2 und 3 kHz, Modulationsfrequenz 59 Hz). Oszillogramm nach Tonbandaufnahme; Zeitmarkierung 50 Hz.

Fig. 8 Squarewave-modulated sound signal (carrier frequency between 2 and 3 kc, modulation frequency 59 cps). Oscillogram taken from tape recording; time-marks 50 cps.



# Residual Tone and Formant Tone

(with Recorded Examples)

by

W. MEYER-EPPLER, H. SENDHOFF and R. RUPPRATH

Institute of Phonetics and Communication Research,  
University of Bonn

A "melody" is generally understood to be a sequence of "tones" arranged according to certain empirical rules; in exact acoustical terminology then, it is a sequence of *simple tone* (i. e. sinusoidal) or *complex tone* (i. e. non-sinusoidal, but periodic) *signals*. A melody's variable characteristic is "pitch", which is the subjective correlate of the frequency of a simple tone signal or of the lowest component (i. e. *fundamental* or first *harmonic* of a Fourier decomposition) of a complex tone signal. All other signal parameters (amplitude, spectral amplitude ratio, phase relations within the spectrum) are of relatively little importance to melody in the usual sense.

The question is raised, what happens to a melody formed of complex tones if all the first harmonics or even all the harmonics from the 1st to the *n*th are removed by suitable means and with them what has hitherto been regarded as the carriers of the melodic frequencies. This experiment is most conveniently carried out by electronic means and leads to the surprising result that it leaves the melody hardly less recognisable than before. Recorded Example **a** (—) consists of the melody C-D-E-F-G-F-E-D-C of complex tone signals with fundamentals from C = 65.4 c/s to G = 98.0 c/s, produced electronically. The spectrum of one such signal is shown in fig. 1.

This signal sequence was switched through a variable band pass filter<sup>2</sup> which suppressed all frequency components above 11 200 c/s because they play no part in the phenomena to be demonstrated while placing undue technical difficulties in the way of recording on tape and disk. The low cut-off frequency was set to 180 c/s, so as to suppress the 1st or the 1st and 2nd harmonic of the signals, Ex. **b** (—•••) ; it is seen that the recognisability of the melody does not suffer in the least — the timbre only seems to have changed. Even when all frequencies below 500 c/s, i. e. the first 5 to 7 harmonics (Ex. **c**, (—•—•)) have been removed, the melody is still easily recognisable, and this still counts for Ex. **d** (—••) with a low cut-off of 1400 c/s (i. e. the first 14 to 21 harmonics), although it is now more difficult to place the register of the melody. As the low cut-off is raised, the melodic character is gradually lost: Ex. **e** (••) has a low cut-off of 2800 c/s (suppressing the first 28 to 42 harmonics), Ex. **f** (••—•)

4000 c/s (first 40 to 61 harmonics), Ex. **g** (—•—•), 5600 c/s (first 56 to 85 harmonics) and Ex. **h** (••••), 8000 c/s (first 80 to 122 harmonics). Even in the final example, the melody is still faintly recognisable.

Experiments of this nature can carry conviction only if the fundamental is really effectively suppressed by the filter. All subsequent procedures, which are never entirely free of nonlinear distortion, increase the amplitude of the fundamental and the lower harmonics again. To remove the effects of such distortion, the playback level must be reduced so as to bring the suppressed frequencies below the hearing threshold. The filter used cut the suppressed frequencies in the order of 45 db; this difference was still above 40 db after recording on tape. The cutting of the disk was fraught with extreme difficulty, however. The only way to keep harmonic distortion sufficiently low was to make a drastic reduction in the recording level of Examples **a** to **h**. To prevent misconceptions when listening, the playback level should not be above about 40 phons (*pianissimo*), with the bass turned right down. The spectrograms (sonagrams) of one of these examples, **a**, as produced, **b**, as recorded on tape, and **c**, as recorded on disk, are shown together for purposes of comparison in fig. 2.

Let the term *residual tone* be applied to the perceptive phenomenon which still enables perception of melody notwithstanding removal of the fundamental<sup>15, 18</sup>: it is closely related to the perceptive phenomenon falsely referred to as "subjective difference tones".

## "Subjective Difference Tones" and 'Quotient Tones

To demonstrate "subjective difference tones", two sine wave oscillators, such as RC oscillators or beat frequency oscillators, are used in conjunction with a good pair of low distortion headphones, each side of which is separately connected to one of the oscillators; a switch enables the two oscillator outputs to be connected together, so that both sides of the headphones receive the *sum* of the two signals, and the original "diplotic" arrangement (with each ear receiving a separate signal) is transformed by the switch to an "amphotic" one (the ears being used together).

If a signal of, say, 400 c/s is now heard with the left ear and one of 500 c/s with the right ear, it will be found that while the interval between these tones heard left and right can, with greater or lesser difficulty, be recognised as a major third, the characteristic interval quality associated with the third is missing. It is very revealing at this point to throw the switch into the position for amphotic listening to give both ears the sum of the two signals of 400 and 500 c/s, for another, lower tone of peculiar quality now appears together with the two primary tones, to result in the familiar interval quality of the third.

This phenomenon has hitherto been referred to as "subjective difference



tones" and was put down to nonlinear distortions within the ear; even so, it has always seemed rather strange that these "subjective difference tones" were perceived with an intensity difficult to reconcile with calculated values, and the explanations offered for the fact that the "subjective summation tones" to be equally expected as a result of this nonlinearity were hard to come across if at all, were nothing if not artificial.

As against this, it is quite easy to show that the phenomena resulting from superposition of simple or complex tone signals cannot be caused by harmonic distortion in the ear; for, when the sound pressure of the two primary signals is reduced, in the experiment described above, almost as far as the hearing threshold, the abrupt change heard when switching from diplotic to amphotic listening is fully maintained. Now there is no known kind of nonlinear distortion compatible with this fact; in addition, it has been shown that this conjectural subjective difference tone does not beat with a simultaneous signal of neighbouring frequency, nor can it be cancelled out by a signal of the same frequency but opposing phase<sup>17</sup>; also, unlike an "objective" tone of the same pitch, it cannot be masked out by noise<sup>5</sup>. The fact that nonlinear distortions occur in the ear at sufficiently high sound pressures is not to be disputed here; it is only affirmed that they cannot, under normal circumstances, be the cause of these "combination tones".

The obstinacy with which the theory of distortions in the ear to account for the superposition effects has been supported is, in retrospect, really hard to understand, especially seeing that *musicians* also have made useful observations. Acoustics took no notice of the careful experiments on the superposition of two tones made, for example, by *H. Riemann*<sup>16</sup>, who discovered, not *summation tones* or tones vibrating with the frequency *difference*, but *division*, or *quotient tones*, which could be defined mathematically as the two primary frequencies' *highest common factor*. The difference between difference and quotient tones becomes most marked when one of the primary tones is kept constant, the other being changed *continuously*.

In such a case, a difference tone would be expected to change in pitch also *continuously*, but a quotient tone by jumps. It is just this that Riemann described most clearly: "It is remarkable how the lowest combination tone jumps with a small change of the interval, with the transition from one interval to another almost the same . . .", and further: "It is certainly not a little remarkable that mistuning of such small extent is able to have so great an effect." Also, Riemann already observed the quotient tones' "quite peculiar timbre", proving them to have an identity of their own.

There was a reason for this obstinate clinging to the theory of nonlinearity: it was the fact that only those components of a sound which

could be furnished by Fourier analysis were regarded as "objective", all other of the sound's properties, which were not to be found in the Fourier spectrum, were classed as "subjective" phenomena. However, such a distinction between "subjective" and "objective" has a meaning only in regard to the human ear, so that the borderline between the two is subject to change with the increase of our insight in its working. We are no longer prepared nowadays to regard the Fourier analysis as a criterion to objectiveness in listening — rather, it is now a question of finding the analytical methods which will do justice to the *perception* of sound. Even such a simple instrument as the stroboscope, for example, will indicate the frequency of quotient tones<sup>8</sup>, and in the *exhaustion analysis of oscillations* we have a systematic method for the analysis of a sound signal into periodic, but not necessarily sinusoidal components<sup>13, 14</sup>.

### The Residual Tone

When, instead of only 2, *m* simple or complex tones are heard simultaneously, the number of quotient tones grows to  $\frac{m}{2}$ , provided all the primary frequencies are different. If however the frequencies are chosen so as to be multiples of a fundamental frequency  $f_1$ , as in the Examples **a** to **h** already described, so that all the frequencies can be expressed as  $kf_1$ , *k* being an integer, then the number of quotient tones is less; for in this case we are dealing with a signal *periodic* at a frequency  $f_1$ , even though in itself containing no component of that frequency. The ear, however, perceives this periodicity as a quotient tone common to all the harmonics present: this, in the form of a „residual tone“, is responsible for the melodic effect in Examples **a** to **h**.

The fact that residual tones are so different from sine waves makes it very difficult for a listener to have an exact idea of their *register*. In experiments in which test listeners were asked to tune an oscillator to the pitch of a given residual tone, *Lewis*<sup>4</sup> found that the apparent residual tone was more often heard an octave higher than the actual fundamental frequency  $f_1$ . *White*<sup>21</sup> observed, on the other hand, that listeners always heard a frequency corresponding to the two primary tones' H. C. F. *Meyer*<sup>8, 9</sup> reported that two pure tones of frequencies in the ratio of 9:13 gave a residual tone of relative frequency 5, while a ratio of 11:15 led to a residual tone of frequency 7. Meyer was able to explain this result by his peripheral „hydraulic“ theory, basing himself merely on the *waveform* without having to resort to the *Fourier spectrum*. As against all this, *Hoogland*<sup>9</sup> maintains that is very careful experiments gave no indication at all of residual tones, subjective difference tones only being observed.

\* Cf. e. g. O. L. RAILSBACK, *J. Acoust. Soc. Amer.* 9 (1937) 37—42, R. W. YOUNG and A. LOOMIS, *J. Acoust. Soc. Amer.* 10 (1938) 112—118.



Some clarity was brought into this maze of conflicting information by recent research on the *phase dependence* of acoustic sensation<sup>20</sup>, making it clear that it was not so much the phase itself as the different waveforms produced by it which accounted for the differences in the sound heard (cf. also *Chocholie* and *Legouix*)<sup>1</sup>: when the harmonics are all in phase, the tone becomes „hard“, while irregular phasing of the harmonics leads to a „round“ tone<sup>7</sup>, and *Licklider*<sup>6</sup> showed that the residual tone could be clearly heard only in the former case, while irregular phasing can make it practically disappear. When the waveform does not clearly show its elements (e. g. pulses off from the pauses, the tendency to hear the residual tone higher than the H. C. F. frequency increases. In addition, it is probable that residual tone audibility and pitch are subject to wide individual variation (*Small*<sup>19</sup>), which will also be apparent in the recorded examples.

The extent to which the appearing of residual tones is prevented by irregular (as well as time-dependent) phasing is demonstrated by Examples **i**(••) and **j**(•—•), which are the results of non-stationary reverberation of Ex. **g** and **h** respectively; the periodicity of the oscillations of Ex. **g** (fig. 3a) has become practically lost in Ex. **i** by the reverberation (fig. 3b).

#### Periodic Sequences of Bursts

Residual tones can be examined experimentally from yet another angle, namely, by periodic modulation of a constant sound signal. Let  $S(t)$  be such a sound signal and  $s(f)$  its complex Fourier spectrum\*, where  $t$  is the time coordinate and  $f$  the frequency coordinate. The modulation function periodic at a frequency  $f_m$  is defined as  $M(t; f_m)$  and its Fourier spectrum as  $m(f; f_m)$ . Modulation turns the original signal  $S(t)$  into  $S(t) \cdot M(t; f_m)$  and its Fourier spectrum  $s(f)$  into  $s(f) \cdot m(f; f_m)$ , where the symbol \* defines the *convolution process*:

$$s(f) * m(f; f_m) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(g) m(f-g; f_m) dg$$

Graphical methods for the calculation of this equation have been described by *Meyer-Eppler*<sup>11,12</sup>. In this paper, discussion will be limited to the case of the *square* modulation function  $M_r(t; f_m)$  as shown in fig. 4a: its spectrum consists of a zero order harmonic (i. e. a. d. c. component), the first harmonic at the frequency  $f_m$  and the odd harmonics at the frequencies  $3f_m, 5f_m$

\* For a like mathematical treatment of constant periodic and constant random signals (i. e. tone signals and noise signals), the latter, too, are regarded as periodic, but with a period length which is great compared to the discrimination time of the ear, of the order of 1 sec. or so.

$7f_m \dots$  as shown in fig. 4b. Then the modulated signal  $S(t) \cdot M_r(t; f_m)$  consists of a periodic sequence of *signal bursts*, which can be either *tone bursts* (fig. 5a) or *noise bursts* (fig. 5b), depending on the type of  $S(t)$ , while the spectrum of  $S(t) \cdot M_r(t; f_m)$  consists of the spectrum  $s(f)$  of  $S(t)$  in addition to side components spaced at  $\pm f_m, \pm 3f_m, \pm 5f_m, \pm 7f_m \dots$  above and below each component of the spectrum  $s(f)$ .\*

Fig. 6 shows the modulation spectrum of a 1000 c/s sine wave modulated by 75 c/s, i. e. a periodic sequence of simple-tone bursts. Although the sequence itself is periodic, the signal as a whole is not: the individual bursts follow one another regularly, but they differ from each other in detail, as they begin at varying phase angles (fig. 7). This type of square wave modulated signal will be described as *pseudo-periodic*. In general, a sequence of bursts is pseudo-periodic if the carrier frequency  $f_C$  is not a simple multiple of the modulating frequency  $f_m$  i. e. when  $f_C \not\equiv 0 \pmod{f_m}$  and it is periodic when  $f_C$  is a multiple of  $f_m$ , i. e. when  $f_C \equiv 0 \pmod{f_m}$ .

A clean residual tone is formed only in the periodic case; the pseudo-periodic case results in a more or less noisy residual tone with a rumble<sup>10</sup>. If now the modulating frequency is kept constant and the sine wave carrier frequency is gradually varied, periodic and pseudoperiodic states will alternate regularly and with them the clean and noisy residual tone. This is illustrated by Ex. **k** (—•—) where a pure tone rising from 2 to 3 kc/s is modulated at 59 c/s by a square wave; fig. 8 reproduces part of the oscillogramm of the tape recording\*. Ex. **l** (•—••) gives the two extreme states of the clean and noisy residual tone by themselves.

The fact that the residual tone is qualitatively something different to just an added component of frequency  $f_m$  is clearly shown by Ex. **m** (—•—) in which the modulating function is gradually added to the square wave modulated signal. The alternation from „square wave modulated signal alone“ (**x**) and „square wave modulated signal + modulating function“ (**y**) shows up clearly the residual tone's peculiar character (sequence on the record: x-y-x-y-x). Ex. **n** (—•) is a repetition of this experiment for the pseudo-periodic case.

\* To obtain the complete modulation spectrum, spectral components of  $s(f)$  must be taken for positive as well as negative values of  $f$ .

\* This picture shows once again the problems which beset recording on tape or disk of such subtle acoustic phenomena. Because of inhomogeneity of the tape (i. e. a sensitivity varying from point to point), the square modulation actually delivered by the oscillator is only approximated once it is recorded, with carrier amplitude (and phase) fluctuating at random. With a constant sine wave signal on the tape, these fluctuations are easily audible.



If the sine wave carrier is replaced by a noise carrier (white or coloured noise), then the individual noise bursts are not correlated and the resulting signal is aperiodic in spite of the periodic envelope; one would therefore expect the residual tone to be absent. As, however, the spectrum of the modulated noise varies with the modulating frequency, this variation must lead to a certain variation in timbre. Ex. **o**(— — —) shows the effect of increasing the square wave modulating frequency from 2.5 to 500 c/s with a coloured noise carrier of constant spectral power density between 500 and 15000 c/s: at low modulating frequencies the interruption is well audible as a rhythmic effect, which gradually makes place for a slight variation of timbre as the modulating frequency is raised. At no point can a residual tone be heard — its absence is made specially conspicuous by the addition of the modulating function, as in Ex. **p**(• — — •); Ex. **q**(— — —) serves to show clearly the difference between Ex. **o** and **p** for a modulating frequency of 77 c/s.

### The Formant Tone

If a not too narrow band is filtered out of the line spectrum of a tone signal (i. e. periodic sound signal) by means of a band pass filter e. g. an octave filter), a residual tone will again be heard. Ex. **r**(• — •) gives again the succession C-D-E-F-G-F-E-D-C with pass bands of 150-300, 300-600, 600-1200 and 1200-2400 c/s. Together with this residual tone, the vague pitch corresponding to the pass band can be heard — in Ex. **r** these pitches would be about  $c^1$ ,  $c^2$ ,  $c^3$ , and  $c^4$ . This pitch is called by a term borrowed from phonetics: the *formant pitch* of the tone. Residual and formant pitch can be varied independently of each other within wide limits. Both pitches can be changed in the *same* direction — Ex. **t**(—) in counterpoint, as it were; untrained listeners can decide with difficulty, if at all, whether the tone succession in the latter case is rising or falling, when melodic pitch is identified with residual pitch. The fact that formant pitch alone suffices to produce a sensation of pitch becomes apparent if the residual pitch (i. e. the virtual fundamental frequency) is kept constant and only the filter's pass band varied, as in Ex. **u**(• • —) where the pass band is raised from 150-300 c/s to 2400-4800 c/s and back again, with a fundamental frequency of 65 c/s.

Ex. **v**(• • • —) summarises all the phenomena described above: it comprises a formant pitch melody, a residual pitch melody, and a simultaneous formant and residual pitch melody in contrary motion, each of the examples, which consist of exponentially decaying periodic signals, being heard twice.

### References

Please refer to the original German of this paper.

### Residual Tone and Formant Tone

by

W. MEYER-EPPLER, H. SENDHOFF und R. RUPPRATH

Institut für Phonetik und Kommunikationsforschung der Universität Bonn

### Legend to the Accompanying Record

#### Side 1:

- a** (• —) Succession of tones C-D-E-F-G-F-E-D-C
- b** (— • • •) Succession **a** filtered 150 — 11 200 c/s
- c** (— • — •) Succession **a** filtered 500 — 11 200 c/s
- d** (— • •) Succession **a** filtered 1400 — 11 200 c/s
- e** (•) Succession **a** filtered 2800 — 11 200 c/s
- f** (• • — •) Succession **a** filtered 4000 — 11 200 c/s
- g** (— — •) Succession **a** filtered 5600 — 11 200 c/s
- h** (• • • •) Succession **a** filtered 8000 — 11 200 c/s
- i** (• •) Example **g**, reverberated
- j** (• — — —) Example **h**, reverberated

#### Side 2:

- k** (• — —) Sinusoidal tone rising from 2 to 3 kc/s interrupted by a square wave at 59 c/s
- l** (• — • •) Extreme cases of Ex. **k**: clean residual tone (periodic case) and noisy residual tone (pseudo-periodic case)
- m** (— —) Residual tone alone and with a superimposed oscillation of the same period
- n** (— •) As **m**, for the pseudo-periodic case
- o** (— — —) Coloured noise (500 — 15 000 c/s) modulated by a square wave gradually rising from 2.5 to 500 c/s and returning to 2.5 c/s
- p** (• — — •) As **o**, but with a superimposed oscillation of the same period
- q** (— — • —) Difference between **o** and **p** (77 c/s interrupting frequency)
- r** (• — •) Tone succession C-D-E-F-G-F-E-D-C through octave filters with pass bands 150 — 300, 300 — 600, 600 — 1200 and 1200 — 2400 c/s
- s** (• • •) Rising residual pitch (C to G) and rising formant pitch (150 — 300 to 2400 — 4800 c/s)
- t** (—) Rising residual pitch and falling formant pitch, and vice versa
- u** (• • —) Constant residual tone (C = 65 c/s); pass bands rising from 150 — 300 to 2400 — 4800 and falling again
- v** (• • • —) Formant pitch melody, residual pitch melody, and simultaneous formant and residual pitch melody in contrary motion (each example twice)



## Ein neues Musikinstrument

von

MELVILLE CLARK jr.

Das hier vorgeschlagene neue Musikinstrument sollte folgende Teile enthalten:

1. einen *Tongenerator*, welcher die Ein- und Ausschwingvorgänge, die eingeschwungenen Zustände der traditionellen Musikinstrumente und deren Teiltöne richtig proportioniert wiedergeben kann;
2. *Tastaturen*, von solcher Empfindlichkeit in Hinsicht auf Anschlagsgeschwindigkeit und -tiefe, daß der Ausdruck jedes Tones beliebig gesteuert werden kann;
3. eine *Vorrichtung zur gesteuerten Erzeugung vollstimmiger Tutti* mittels schmaler, komplexer Spektra um jeden Teilton;
4. einen *Intensitätssteuerungsteil*;
5. eine *Apparatur*, die zu Abänderungen der scheinbaren Größe sowohl des Abhörtraumes, der Schallquelle, ihrer Ortung und der Schallverteilung im Raum dient;
6. einen *Vorwählerteil*, durch den Klangfarben, Vibrati, vollstimmige Tutti, Umgebungseigenschaften und andere Parameter vor der Aufführung so geschaltet werden können, daß sie während dieser schnell und leicht zur Verfügung stehen.

Unter den musikalischen Qualitäten werden also vertraute Klangeigenschaften, realistische Volles Werk- oder Choreffekte, ausdrucksvoller Anschlag, Umgebungssteuerung, Anpassungsfähigkeit und Einfachheit des Spiels bevorzugt. Es werden aber auch außermusikalische (z. B. wirtschaftliche) Forderungen der Praxis in Betracht gezogen. So wird u. a. durch Zahlen-ergebnisse die Ausführbarkeit demonstriert.

### Einleitung

Die Teiltonveränderungen während des Einschwingvorganges sind von besonderer Wichtigkeit für die Erkenntnis eines Klanges. Doch spielen die Teiltöne auch im eingeschwungenen Zustand eine bedeutende Rolle. Indessen nimmt man an, daß die Teiltonveränderungen während des Ausschwingvorganges (vor allem von nicht schlagartigen Klängen) kaum maßgebend sind.

*Eagelson* und *Eagelson*<sup>1</sup> haben demonstriert, wie schwer es ist, ein Instrument durch den eingeschwungenen Zustand allein (bei z. B. künstlicher Unterdrückung des Einschwingvorganges) zu erkennen. Ebenso ist die Erkennung eines Instrumentes durch den „Krebston“ ohne Veränderung der

eingeschwungenen Teiltöne auch nur selten möglich. Ferner ist von Bedeutung daß sich im eingeschwungenen Zustand die Teiltonintensitäten entweder von Ton zu Ton oder von Intensität zu Intensität stark verändern und daß z. B. die Spektra zweier gleicher Instrumente, die den selben Ton mit der selben Intensität spielen, oft sehr unterschiedlich sind (es kann sogar vorkommen, daß ein solches Spektrum eine Form hat, wie man sie von ganz anderen Instrumentengattungen erwarten würde). Endlich kann z. B. ein klavierähnlicher Klang durch die geeignete Dämpfung des Flötenregisters der Elektronenorgel erzeugt werden etc. . . .

Um vertraute Klänge nachzuahmen, müssen also die Ausgleichvorgänge (besonders der Einschwingvorgang) und die eingeschwungenen Eigenschaften wenigstens angenähert wiedergegeben werden. Die Klangeigenschaft, welche danach von Wichtigkeit ist, ist der breite, massive Gesamtklang (Chorton), der entsteht, wenn mehrere gleiche Instrumente den selben Ton spielen.

Man kennt mehrere Ursachen der von der Verstärkung unabhängigen Unterschiedlichkeit eines solchen Chortons vom Einzelton. Erstens: schwebungserzeugende Frequenzunterschiede von etwa 0,1% zwischen zwei gleichzeitigen oder zwei schnell aufeinanderfolgenden Tönen werden vom Gehör wahrgenommen.<sup>27-29</sup> Da die z. B. von allen ersten Geigen eines Orchesters erzeugten Unisono-Frequenzen diese Grenze bestimmt überschreiten, entstehen sogar mehrfache komplexe Schwebungen. So ist anzunehmen, daß das wichtigste Merkmal, durch welches sich das Unisono-Tutti vom Solo unterscheiden läßt, in der großen Anzahl um jeden Soloteilton verstreut liegender Teiltöne besteht. Ihre Verteilung kann als eine Gauß'sche betrachtet werden, da jeder Geiger wahrscheinlich mehr oder weniger unabhängig von den anderen spielt. Zweitens wird jeder Musiker der Gruppe sein eigenes Vibrato (Frequenzmodulation) und Tremolo (Amplitudenmodulation) erzeugen, sodaß diese nicht nur asynchron, sondern auch verschieden groß sind. Auch kann sich jede Teiltonfrequenz mit der Zeit verändern. Drittens *schweben* die Harmonischen zweier etwas unterschiedlicher Grundtöne im harmonischen Verhältnis zu der Grundtonschwebung selbst; in jedem Tutti aber werden vieler solcher verschiedenen Schwebungen vorhanden sein, sodaß die Klangfarbe um einen Durchschnitt herum gewissermaßen „funkelt“. Viertens können die Einsätze der einzelnen Unisono-Instrumente nie ganz gleichzeitig erfolgen, was dem Einschwingvorgang eine stufenweise Form verleiht. Selbst wenn es einen Ort gibt, wo alle durch den Raum verteilten Instrumente gleichzeitig erklingen, so werden sie an jeder andern Stelle des Raumes hintereinander auftönen.

Von großer Bedeutung sind ferner Nuancen und Fein-Schattierungen. Beide entstehen aus kleinsten Abweichungen entweder des Rhythmus oder der Intensität sukzessiver resp. simultaner Tönen untereinander; während indes die rhythmischen Abweichungen nur vom Spieler abhängen, muß für



die beabsichtigten Intensitätsabweichungen das Instrument selbst befähigt sein, die Feinheiten wiederzugeben.

Bei den Tasteninstrumenten hängen die Abstufungs-Möglichkeiten von Geschwindigkeit, Kraft und Tiefe des Anschlags ab; ferner könnten Kombinationen dieser drei Möglichkeiten in Betracht kommen. Jedoch kann die Tastenempfindlichkeit des hier vorgeschlagenen neuen Instrumentes (schon der Spieleinfachheit wegen) auf die Möglichkeit der Nuancenerzeugung selbst beschränkt bleiben, da größere dynamische Abstufungen durch das Tutti resp. einen Lautstärkenregler zu erreichen sind. Die Erzielung des Tremolos ist durch die anschlagempfindliche Tastatur automatisch gegeben, so daß sich eine zusätzliche Vibratorvorrichtung wahrscheinlich erübrigt, trotzdem diese nicht unmöglich wäre.

Im Anschluß an die eben besprochenen musikalischen Ausdrucksbedingungen sei noch die Vortäuschung gewünschter Raumakustiken erwähnt. Denn eine HiFi-Anlage klingt — bedingt durch die Akustik eines beschränkten Wiedergaberaumes — in einem kleinen Zimmer sehr verschieden von einem Orchester in einem großen Saal. Die Vortäuschung gewünschter Raumgrößen und bestimmter Quellenrichtungen des Klanges müßten die Anwendungsmöglichkeit und Ausdruckskraft des Instrumentes also weitgehend steigern.

Für die Wiedergabe komplizierter Musik sollten alle genannten Größen sofort und leicht dem musikalischen Ablauf angepaßt werden können, ohne dadurch die Möglichkeit der momentanen ästhetischen Kontrolle einzuschränken. Das ist möglich mittels eines Vorwählteils.

### Allgemeiner Aufbau

Der Spieler 1 überträgt seine Tätigkeit unmittelbar auf das Vorwählwerk 2, die Tastatur 3, den Tongenerator 4, das Tutti- und Vibratowerk 5, das Lautstärke- und Tremolowerk 6, und die Raumakustikanlage 7, welche in der dargestellten Zusammenschaltung wiederum die Lautsprecher 8 zum Erklängen bringen. Jeder dieser Teile kann auf mehrere Weisen zur Wirkung gebracht werden, von welcher wir nur diejenigen hier betrachten, welche außer den musikalischen auch die praktischen Bedingungen der Einfachheit und Wirtschaftlichkeit befriedigend zu erfüllen vermögen.

#### 1. Der Tongenerator

Die Tonerzeugung selbst ist der Mittelpunkt jedes Musikinstrumentes. Alle in folgendem besprochenen Tongeneratoren geben die Möglichkeit, eine Vielfalt von Frequenzen, Intensitäten, Klangfarben und Ausgleichvorgängen zu erzeugen. Das Prinzip aller dieser Generatoren ist die Wahl der erwünschten Zeitfolge von Klangmustern aus dem Generatorspeicher.

In Fig. 2 ist sowohl ein komplexer Ton mit seinen Ausgleichvorgängen (2A) als auch dessen Erzeugung (2B) schematisiert. In Fig. 2A ist die Zeitabhängigkeit von drei Fourierschen Tonkomponenten 1 dargestellt, wobei der Einschwingvorgang 2, der eingeschwungene Zustand 3, und der Ausschwingvorgang 4 hier in je 4 Zeitabschnitte eingeteilt worden sind (obgleich die wirkliche Anzahl der für die getreue Wiedergabe eines bekannten Instrumentes benötigten Zeitabschnitte von diesem sowie von der Spielart abhängt).

Fig. 2B stellt den Vorgang dar, durch welchen diese, auf eine optische Dichtespur eingetragenen Zeitabschnitte der Reihe nach gewählt werden. Diese Tonspur 5 bewegt sich aufwärts an der Tastenplatte 6 vorbei. Die ganze Tastenplatte ist gleichmäßig von oben beleuchtet, aber das Licht fällt auf die Tonspur nur durch den Schlitz 7 für den Einschwingvorgang oder den eingeschwungenen Zustand, sowie durch den Schlitz 8 für den Ausschwingvorgang. Durch Drücken der Taste fährt die Tastenplatte zusammen mit dem Verschuß 9 nach rechts, wobei das Licht durch den Schlitz 7 auf die Einschwingzeitabschnitte 1 . . . 4 der Tonspur fällt; für den eingeschwungenen Zustand bleibt der Schlitz über einem der Zeitabschnitte 5 . . . 8 stehen, zwischen welchen er durch veränderten Druck auf die Taste hin und her zu bewegen ist. Durch das Aufheben der Taste fährt die Tastenplatte samt Verschuß wieder nach links, aber sobald der Schlitz 7 den Zeitabschnitt 5 erreicht, wird er durch den momentan stehen gebliebenen Verschuß verdeckt; somit öffnet sich der Schlitz 8, und der Ausschwingvorgang (Zeitabschnitte 9 . . . 12) erfolgt, nach dessen Beendigung der Verschuß den Schlitz 8 wieder schließt und den Schlitz 7 öffnet.

Die genügende Schlitzlänge sorgt dafür, daß die Klangmuster der verschiedenen Zeitabschnitte wie in Fig. 2A ineinander verschmelzen. Kürzere Ausgleichvorgänge werden durch Tonspuren mit schmäleren Ausgleichabschnitten für die betreffenden Töne vorgesehen, bei gleichbleibender Tastenanschlagzeit. Die Ein- und Ausschwingzeiten sind übrigens unabhängig voneinander unter Kontrolle einer noch zu besprechenden Zeitregulierungsvorrichtung. In folgendem kommen verschiedene praktische Ausführungen dieses Prinzips zur Betrachtung.

Fig. 3 zeigt einen Tongenerator, dessen Dichtespuren 1 auf koaxialen Scheiben 2 aufgezeichnet sind. Jeder Taste entspricht eine Scheibe, und auf jeder Scheibe sind alle Klangfarben in konzentrischen Kreisen aufgetragen. Jeder Scheibe kommt auch eine Tastenplatte 3 zu, die die beschriebenen zwei Schlitze 4 pro aufgetragene Klangfarbe hat. Eine „Klangfarbenlampe“ 5 beleuchtet die ihr entsprechende Klangfarbe aller Scheiben gleichzeitig (das Spiegelverfahren geht aus der Abbildung deutlich hervor), wobei die Mischung der verschiedenen Klangfarben durch verschiedene gleichzeitige Lampenintensitäten erzielt wird. Das Gesamtausgangslicht der Ton-



spurscheiben wird wieder durch Spiegel und einen Kondensator 6 gesammelt und einer Photozelle 7 zugeführt.

Fig. 4 zeigt dasselbe Prinzip mit dem Unterschied, daß die Tonspuren nicht auf Scheiben, die das Licht durchlassen, sondern auf Zylindern 2, die das Licht spiegeln, aufgezeichnet sind. Im übrigen entsprechen die Positionszahlen dieses und der zwei folgenden Bilder denjenigen der Fig. 3.

In Fig. 5 befinden sich alle Tonspuren auf einer einzigen Platte 2, durch deren Auswechselbarkeit eine größere Anzahl von Möglichkeiten gegeben ist. Alle Klangfarben eines Tones sind in einer senkrechten Reihe 8 von waagrecht Tonspuren 10 aufgezeichnet parallel zu den Tastenplatten 3, und diese senkrechten Reihen sind in die verschiedenen Klangfarben 9, diese wieder in die Zeitabschnitte 10 eingeteilt. In diesem Fall bewegen sich die Tonspuren nicht, sondern sie werden vom Licht, welches von den Klangfarbenlampen 5 kommt und durch die Schlitze 11 zu einem Strahl geformt wird, dadurch abgetastet, daß der Strahl ein sich schnell rotierendes Brechungsprisma 12 durchdringt.

Eine ähnliche Abstastvorrichtung mit geschlitzten Zylindern 12 statt Brechungsprisma ist in Fig. 6 dargestellt. Sie arbeitet mit Leuchtröhren 5 als Klangfarbenlampen, und das Ausgangslicht der Tonspurplatte 2 wird durch einzelne Kondensoren 13 gesammelt.

Der Tongenerator der Fig. 7 erzeugt die Töne durch einzelne Transistorgeneratoren 1 für jeden Oberton, wobei zur Begrenzung der Anzahl der Generatoren die Obertöne im temperierten statt harmonischen Verhältnis zu den Grundtönen liegen. Jede Taste 2 wirkt auf eine Reihe Kontaktfinger oder Bürsten 3, die den Obertönen entsprechen, und die, je nach dem Druck auf der Taste, über eine Reihe Kontakte 4 schleifen. Die Kontakte 4 sind mit den Generatoren 1 über eine gedruckte Zusammenschaltung von Widerständen verbunden, die die gewünschten Zeitabläufe (2, 3, 4, Fig. 2A) herstellen, während die Finger 3 über die Kontakte 4 schleifen, wobei Doppelfinger 3a zu sauberen Übergängen dienen. Jeder Taste kommt eine solche, auf eine Karte 5 gedruckte Schaltung zu. Das Bild zeigt die Verbindung der Generatoren 1 zu diesen Karten, *f* ist hier der Grundton (fundamental), 2*f*, 3*f* . . . die Harmonischen; an einem Spannungsverteiler 6 werden die verschiedenen, den Zeitabschnitten und den Kontakten 4 entsprechenden Spannungen jedes Obertons einer Grundklangfarbe abgenommen (diese Verbindungen sind nicht besonders dargestellt) und den Kontakten 4 durch Trennwiderstände 7 zugeführt, wonach sie durch die Tastenbetätigung auf die Kontaktfinger 3 gelangen. Die Kontaktfinger 3 aller Grundtöne sowie aller gleichzahligen Obertöne aller Tasten sind miteinander verbunden (8, 8a, 8b; 8c = „zu weiteren Tasten“), und die so entstandene Grundklangfarbe wird nachträglich 9 geregelt.

## 2. Die Tastenmechanik

Die Tastenmechanik der Fig. 8 ermöglicht die Erzeugung von Schlagtönen, die von der Schnelle des Tastenanschlags abhängig sind, sowie von Dauertönen, die von der Anschlagschnelle und -tiefe abhängen. Durch den Anschlag auf die Taste (3, 3d) wird eine Kontrollstange 6 hochgeworfen: dieser Vorgang entspricht der Schnelle des Anschlags. Die Kontrollstange 6 zieht eine Trakturstange 1 mit, mit welcher die Tastenplatte 5 und der Verschuß 4 verbunden sind.

Die zwei Stellungen der Kontrollstangen-Daumensperre 8b sind für Schlagtöne (oben, wie dargestellt) und Dauertöne (unten) vorgesehen. Wenn die Sperre 8b unten ist und die Kontrollstange 6 emporgeworfen wird, dann dreht die Blattfeder 8a den Daumen 8 nach links, so daß dieser unter dem Dübel 6d einrastet und die Kontrollstange 6 zusammen mit der Trakturstange und der Tastenplatte hochhält. Die Taste ist progressiv gefedert, 3g, aber deren Bewegung gedämpft, 3i, so daß jede Druckänderung auf den Mechanismus übertragen wird und einen Dauerton entsprechend nuanciert. Durch Loslassen der Taste wird der Daumen 8 durch die Sperre 8b entriegelt, und die Kontrollstange samt Mechanismus fällt zurück.

Wenn die Sperre 8b in ihrer oberen (dargestellten) Stellung ist, dann rastet der Daumen 8 nicht ein, und die Kontrollstange samt Mechanismus fällt sofort zurück, auch wenn die Taste angehalten bleibt, so daß ein Schlagton entsteht.

Die schon angedeutete Zeitreguliertvorrichtung für die Ausschwingvorgänge ist durch eine Klinke 2 und eine Zahnlatte 1c dargestellt. Beim Anschlag zieht die U-Feder 7a durch Reibung auf der Kontrollstange 6 den Einschwinghebel 7c mit, so daß die Klinke 2 nicht in die Zahnlatte 1c eingreift; dadurch wird jede Verzögerung des Einschwingvorganges verhindert. In der Ruhestellung der Kontrollstange ist der Einschwinghebel 7c wieder unwirksam und überläßt die Kontrolle der Klinke 2 dem Ausschwinghebel 7b, der sich um dieselbe Achse 7 dreht, und eine Einrastung der Klinke 2 ermöglicht, wenn die Taste angehalten bleibt (bei Schlagtönen — zurückgefallene Kontrollstange), oder auch wenn die Tonhaltungsnockenstange 7e durch Betätigung etwa eines Pedals nach links gedreht worden ist.

Die Tastenplatte 5 und der Verschuß 4 sind schon unter Fig. 2B erwähnt worden. Die Tastenplatte 5 ist mit der Trakturstange 1 fest verbunden, während der Verschuß 4 mit seinen Schlitzen 4b, 4e eine kleine Relativbewegung durchführen kann. Beim Anschlag (Aufwärtsbewegung der Tastenplatte 5) wird eine sofortige Aufwärtsbewegung des Verschlusses durch Reibung der U-Feder 4a verhindert, so daß der Einschwing Schlitz 5a der Tastenplatte freigelegt wird. Beim Ausschwingvorgang, sobald der Einschwing Schlitz 5a den unmodulierten Zeitabschnitt 9e erreicht hat, ist auch die Nase 4d bei der Feder 4a angekommen, der Verschuß wird momentan



angehalten, verdeckt den Einschwing Schlitz  $5b$  und deckt den Ausschwing Schlitz  $5a$  ab.

Diese Mechanik kann durch Einschränkung ihrer Vielseitigkeit ohne weiteres vereinfacht werden, z. B. bei Manualen für Schlagtöne allein oder für Tutti allein, und die größte Ausdruckskraft (und Verwickelung) kann somit den Solomanualen überlassen werden. Es könnte auch etwa ein tasten-geregeltes Vibrato hinzukommen, indem die Tastenplatte mit der Traktur-stange nicht fest verbunden ist, sondern eine Seitwärtsbewegung der Taste in eine Drehung der Tastenplatte um die Tonscheibenachse verwandelt wird. Da die Taste hier aber schon das Tremolo regeln kann, erscheint das Vibrato als überflüssig.

### 3. Der Unisono-Tutti-Generator

Im Folgenden werden einige Methoden beschrieben, um jeden erzeugten Teilton mit einem schmalen, komplexen Frequenzspektrum zu umgeben.

Man könnte dazu eine Vielzahl leicht verstimmter Generatoren oder Tonspuren von wirklichen Tutti-Aufnahmen verwenden, was aber in beiden Fällen sehr kostspielig wäre.

Komplexe Seitenbänder entstehen auch durch Amplitudenmodulation eines Signals mit vielen asynchronen Frequenzen und Amplituden, die z. B. in einer Anzahl von parallelgeschalteten veränderbaren Widerständen oder aber durch Amplitudenmodulatoren entstehen können.

Durch Frequenzmodulation entsteht eine andere Art komplexer Seitenbänder, zu welchem Zweck man das Dopplerprinzip verwenden kann. Eine Anzahl Fühlerkondensatoren oder -spulen können elektrische<sup>30</sup> oder akustische Verzögerungsglieder abtasten. Eine Anzahl schwingender Magnetköpfe können ein Signal auf einen sich bewegenden Tonträger aufsprechen oder es davon wiedergeben (Fig. 9). Durch Versetzung der Köpfe untereinander erhält man einen Einschwingvorgang, der dem nicht ganz genauen Einsatz ebensovieler Instrumente ähnelt.

Eine weitere Möglichkeit erhält man durch Phasenmodulation des Signals, Fig. 10. Von den vielen Möglichkeiten der Phasenverschiebung<sup>31-34</sup> wird in diesem Bild (rechts) nur eine einfache veranschaulicht. Eine beträchtliche Phasenverschiebung im linearen Verhältnis zum phasenverschiebenden Blindwiderstand  $X$  erhält man durch Frequenzmultiplikation  $nX$  des phasenverschobenen Signals und Überlagerung  $M$  mit dem N.F.-Eingang. Ausgleichende Nichtlinearitäten im Phasenschieber  $PS$  erlauben es, die Multiplikation  $n$  herabzusetzen, da ein solcher Phasenschieber eine größere Verschiebung herbeiführen kann. Phasenverschiebung proportional zur Frequenz — eine konstante Zeitverzögerung also — erhält man durch einen geeigneten Blindwiderstand  $X$ , dann aber fallen der Trägerfrequenzgenerator  $CO$ , die symmetrischen Modulatoren  $BM$  und die Mischverstärker  $M$  weg.

Einseitige Modulation vermindert den Klirrfaktor im N.F.-Ausgang nach der Überlagerung.

Fig. 11 zeigt ein Verfahren mit unsymmetrischen Seitenbändern. Das N.F.-Signal wird mit Trägerfrequenzen  $CO$ , die mit Infrashallfrequenzen  $LFO$  gegenseitig verschoben sind, überlagert  $M$ ,  $BM$ . Man nimmt ein Seitenband<sup>32-34</sup> und gewinnt durch Überlagerung mit einem oder mehreren von den ursprünglichen abweichenden Trägern den N.F.-Ausgang. Durch die Verwendung von nur einem Seitenband entsteht eine unsymmetrische Spektrumverteilung. Das Bild zeigt zwei Verfahren der Erzeugung einseitiger Seitenbänder und von Trägerfrequenzen, die sich durch Infrashallfrequenzen unterscheiden — oben: durch Interferenz; unten: durch Filtrierung.

Durch die Schaltung der Fig. 12 erzielt man, daß die Klangfarbe um eine Grundklangfarbe schwankt oder „funkelt“. Veränderbare Formantenschaltungen, deren Eigenschaften bei Infrashallfrequenzen schwingen, täuschen die komplizierte Interferenz der Obertöne nicht ganz übereinstimmender Instrumente vor.

Durch Reihenschaltung mehrerer solcher Werke kann das Ganze erheblich vereinfacht werden, außerdem kann man von jedem Knotenpunkt einen immer ansteigenden Tuttieffekt abzapfen, etwa mittels eines Pedals. Eine weitere Vereinfachung wird durch Modulation des modulierenden Signals erzielt.

In allen diesen Verfahren kann die Multiplikation durch Infrashallgeräuschmodulation ersetzt werden, um eine komplexe Zufallsmodulation zu erreichen (Fig. 13).

Wenn man um jeden Teilton gleichbreite Spektren erzeugt, dann hat die Erfahrung gezeigt, daß diese Frequenzverstreuer das Infrashallgebiet nicht überschreiten soll. In der Praxis aber steht die Modulationsfrequenz in einem dem Teilton entsprechenden Verhältnis zur Modulation der Grundfrequenz, so daß die höheren Teiltöne schon im niedrigeren Hörbereich schwingen können. Die Teiltöne sollten also alle verschieden moduliert werden, und eine Frequenzteilung des N.F.-Einganges, wie sie in Fig. 14 dargestellt ist, ermöglicht annähernd diese verschiedenen Modulationsbereiche, und ist mit jedem der schon erwähnten Verfahren anwendbar.

### 4. Intensitätsregelung

Ein musikalisches Crescendo hat drei Seiten: eine Vermehrung der Stimmen, eine Bereicherung der Klangfarbe und eine Steigerung der Intensität jeder Stimme. Die Stimmenvermehrung ist schon im vorangehenden Abschnitt besprochen worden und die Regelung der Gesamtklangfarbe kommt noch später zur Betrachtung; Feinregelung der Intensität bewirkt die Tastatur.

Die grobe Intensitätsregelung aller Töne eines Manuals ist durch viele wohlbekannte Verfahren möglich, und das Folgende beschränkt sich also



auf die Beschreibung einer weniger bekannten Methode: Fig. 15 zeigt eine Schaltung, die nicht die Dynamik selber, sondern deren Änderungsgeschwindigkeit beeinflusst. Die Änderungsgeschwindigkeit der Gittervorspannung einer Exponentialröhre wird durch den Widerstand  $R$  mit serienschaltetem Verzögerungskondensator  $C$  geregelt; in der Neutralstellung bleibt die Vorspannung, die Verstärkung, und somit die erreichte Lautstärke konstant.

## 5. Umgebungsabänderung

Die gewünschte Raumgröße kann dadurch vorgetäuscht werden, daß der Schalldruckverlauf des Idealraumes auf einer den Hörer umgebenden geschlossenen Linie nachgeahmt wird. Die Lautsprecher  $L$ <sup>13-15</sup> der Fig. 16 werden mit verhaltenen, nacheinander verzögerten und gedämpften Signalen der Reihe nach gespeist.

Normalerweise ist ein ungefähr logarithmischer Ausschwingungsvorgang erwünscht<sup>35-36</sup>; dieser wird durch die Apparatur der Fig. 16 erreicht, mit Ausnahme des Amplitudengleichrichters 3 und der Exponentialröhre 5, deren Zweck noch zu erläutern ist. Der Ausschwingfaktor ist durch die Amplitude und die Verzögerung des Nachhallsignals gegeben. Zwar hat ein Saal eine Vielzahl von Schwingungsformen, die unabhängig voneinander ausschwingen, doch reichen zwei Ausschwingfaktoren zu einer guten Nachahmung aus<sup>37</sup>. Trotzdem wäre es möglich, durch Parallelschaltung mehrerer Gedächtnisspeicher 8, deren jeder mit seinen Wandlern und Mischverstärkern 7-11 einem bestimmten Nachhall entspricht, eine größere Vielfalt und Komplexität des Nachhalls zu erhalten. Da jede Schwingungsform einer bestimmten Raumresonanz entspricht, kann man aber die Wirkung der verschiedenen Abklingfaktoren einfacher durch eine Frequenzabhängigkeit der Nachhall-Gegenkopplung 2 erzielen. Es ergibt sich die Möglichkeit einiger interessanter Zusatzwirkungen:

1. Durch geeignete Umschaltung der Lautsprecher untereinander hat man die Schallquellenrichtung in der Gewalt.

2. Eine Schallquelle, deren Größe sich je nach der Intensität verändert, erhält man, wenn man dem vorderen Lautsprecher 13 zwei seitliche, die eine imaginäre Bühne begrenzen, hinzufügt: in den leisen Stellen ist der Mittellautsprecher 13 am lautesten, aber mit ansteigender Dynamik werden die Seitenlautsprecher schneller lauter als der mittlere, bis sie bei Vollaussteuerung alle gleich stark tönen.

3. Ein automatisch geregeltes Sostenuto kommt durch Regelung der Gegenkopplung des Nachhallerzeugers 2 zustande, wie es im Bilde dargestellt ist.

4. Der Ausschwingfaktor kann von der Signalamplitude abhängig gemacht werden, indem die vom Amplitudengleichrichter 3 erzeugte Hüll-

kurve des Signals die Gittervorspannung 4 einer Exponentialröhre 5 im Gegenkopplungskreis 6 steuert.

Der allgemeine Wunsch ist, in einem kleinen Raum einen großen Saal nachzuahmen. Wenn notwendig, kann man den Lautsprechern gegenphasige Signale zuführen, die von einer so berechneten Amplitude und Verzögerung sind, daß sie die eigentlich vorhandenen Schallspiegelungen des Zimmers ausgleichen. Da aber das hohe Verhältnis von der Fläche zum Volumen eines kleinen Raumes und die übliche Zimmereinrichtung dessen Nachhallzeit sehr herabsetzen im Vergleich zu einem Konzertsaal, wird diese Maßnahme kaum nötig sein.

Die erforderlichen Zeitverzögerungen werden durch Gedächtnisspeicher erzeugt 8, z. B. elektrische Verzögerungsglieder<sup>30</sup>, Magnetband<sup>38</sup> oder Magnettrommel<sup>39</sup>, lange Schraubenfedern<sup>37, 40</sup>, akustische Röhren<sup>41</sup>, u. ä.

## 6. Das Vorwählwerk

Die Orchestrierung, die Schallquellenrichtung, der Nachhall und die Tutti-effekte, die in einem Stück vorkommen, werden vor Anfang des Spiels vorgewählt, und zwar wird hierfür ein Lochstreifen- oder -kartensystem verwendet. Unter jedem Manual und über einer etwaigen Pedalklavatur ist über die ganze Instrumentenbreite je eine Querleiste angebracht, die die gelochte Information stufenweise weiterschaltet, ohne dabei das Spiel aufzuhalten.

Betätigung einer Querleiste 7, Fig. 17, erregt den Magnet 3, der dann den zwischen Antriebswalzen laufenden Lochstreifen 12 eine Stufe weiter befördert und durch seine Rückstellvorrichtung 4 den Schalter 2 und damit seinen eigenen Erregerstrom wieder ausschaltet. Jeder Klangfarbenlampe 8 stehen mehrere Löcher des Streifens zur Verfügung, und durch die geeignete Anzahl von vorgewählten Löchern erzielt man die gewünschte Intensität der entsprechenden Klangfarbe. Die einzelnen Lochkontakte jeder Lampe sind zum Schutz des Lampentransformators 15 durch Widerstände 6 voneinander getrennt für den Fall, daß die Lochspannungen voneinander abweichen. Wenn jeder Trennwiderstand groß im Vergleich zum Lampenwiderstand ist, dann ist die effektive Lampenspannung proportional zur arithmetischen Summe der einzelnen Widerstandspannungen; wenn die Trennwiderstände klein sind, dann ist die effektive Lampenspannung proportional zum arithmetischen Durchschnitt der Widerstandspannungen, und das Wirkungsgrad ist in diesem Fall größer.

Diese „integrale Steuervorrichtung“ ermöglicht die Wiedergabe der häufigen, komplexen Wandlungen der Instrumentation eines Orchesterstückes, nicht aber die zusätzliche, unabhängige Handhabung von einzelnen Registerzügen, es sei denn, das Vorwählwerk bleibt zu diesem Zweck außer Betrieb; bei der „differentialen“ Steuervorrichtung der Fig. 18 ist das jedoch



möglich. Betätigung einer Querleiste 12 schließt den Netzstromkreis 14 zur Ankerwicklung 2 des Registerzugmagneten, 3, zum Registerzugtransformator 5, zu den Kontaktwiderständen 7, zum Halterelais 11 und zum Lochstreifenantriebsmagneten 13, welcher den Lochstreifen 8 eine Stufe weiter befördert. Es gibt acht mögliche Kombinationen von 0—3 Löchern, somit gibt es acht verschiedene Spannungen der Kontaktplatte 6 und der damit verbundenen Statorspule 4 des Registerzugmagneten. Die acht Abzapfungen des Transformators 5 entsprechen diesen acht möglichen Spannungen, so daß eine der acht Statorwicklungen 4 immer stromlos ist und der Strom der anderen den Anker 2 und damit den Registerzug 1 selbst immer zu der jeweiligen stromlosen Statorwicklung zieht, der Lochkombination entsprechend. Dadurch wird die Spannung 15, 17 der Klangfarbenlampe 16 verändert. Das Halterelais 11 ist mit den Ankerwicklungen 2 der Magneten aller Registerzüge 10 in Reihe geschaltet, damit auch eine sehr kurze Betätigung der Querleisten 12 den Schalter lang genug geschlossen hält; der Lochstreifenantriebsmagnet 13 betätigt aber unmittelbar vor seinem Anschlag eine Feder 9, die auf den Schalter gegen das Halterelais 11 wirkt und ihn öffnet, sobald die durch die Vollendung der Bewegung aller Registerzüge verursachte Stromänderung das Halterelais entregt.

Differentialsteuerung ist zwar komplizierter als Integralsteuerung, hat aber mehr Möglichkeiten und somit eine größere Ausdruckskraft. Beide Verfahren könnten vereinfacht werden, wenn die Lampenhelligkeit proportional zur Spannung oder zum Strom wäre. Zur Steuerung der Grundklangfarben lassen sich Leuchtstoff- sowie Glühlampen zwischen weiten Grenzen abblenden<sup>42—46</sup>, wobei aber die Heizfäden der ersteren heiß bleiben müssen.

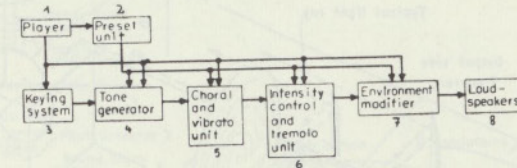


Abb. 1 Blockschema des Instrumentes  
Fig. 1 Block diagram of instrument

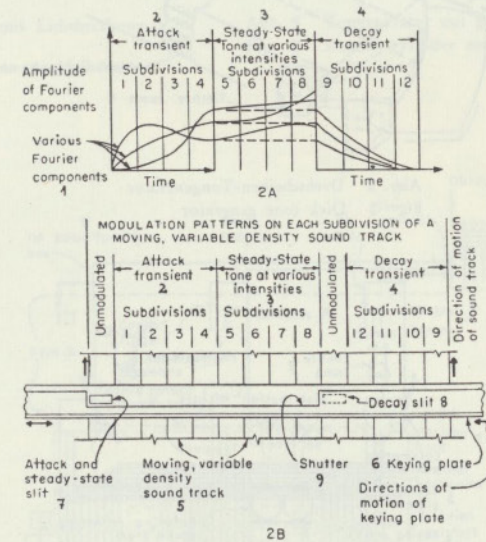


Abb. 2 Zeitabhängige Klangmuster  
Fig. 2 Tone pattern vs. time



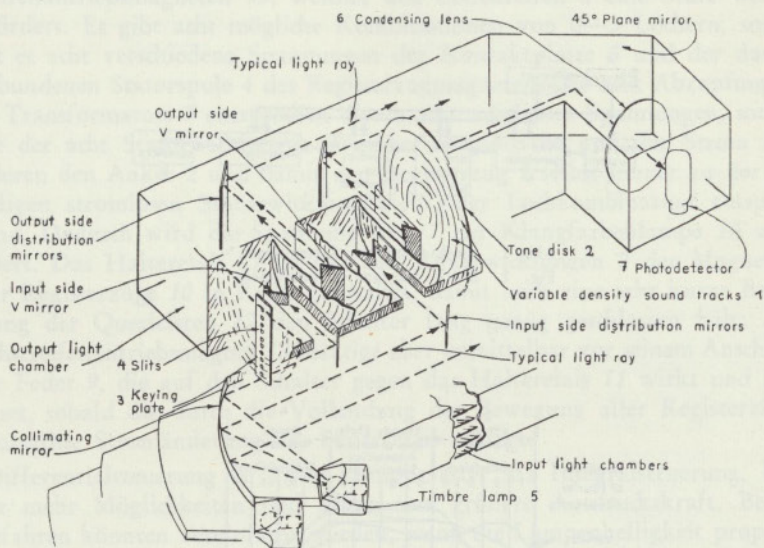


Abb. 3 Drehscheiben-Tongenerator  
Fig. 3 Disk tone generator

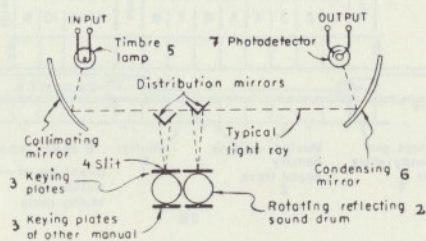


Abb. 4 Spiegelzylinder - Tongenerator  
Fig. 4 Reflecting drum tone generator

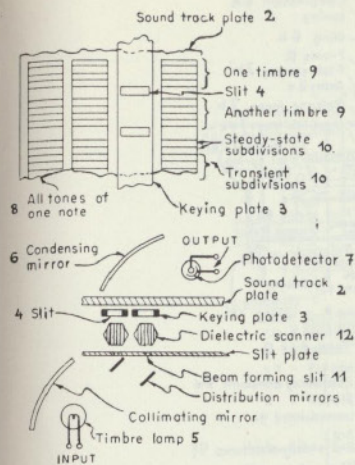


Abb. 5 Tongenerator mit Lichtbrechung  
durch Prismen  
Fig. 5 Dielectric prism tone generator

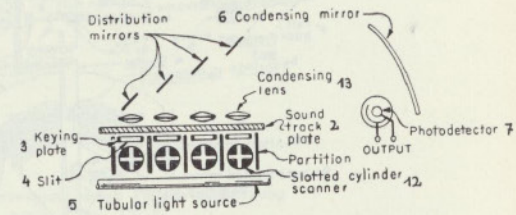


Abb. 6 Tongenerator mit geschlitztem Zylinder  
Fig. 6 Slotted cylinder tone generator

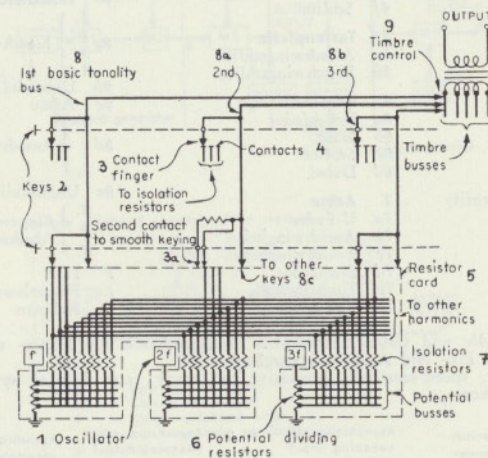
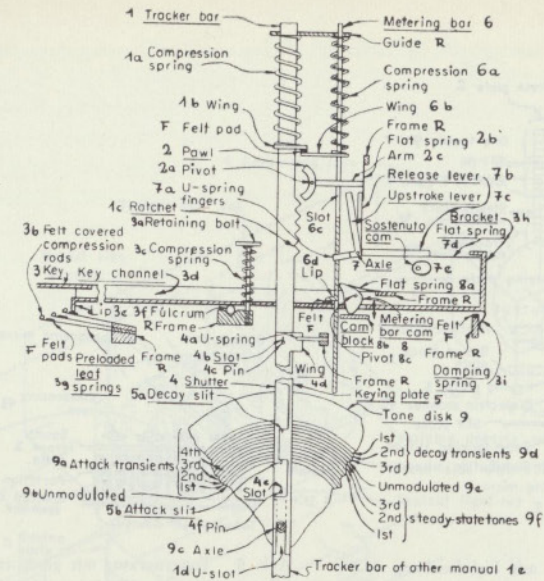


Abb. 7 Tongenerator mit gedruckter Schaltung  
Fig. 7 Resistor card tone generator





- |                             |                             |                           |
|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1 <b>Trakturstange</b>      | 4 <b>Verschluss</b>         | 8 <b>Daumen</b>           |
| 1a Druckfeder               | 4a U-Feder                  | (Kontrollstange)          |
| 1b Nase                     | 4b Schlitz                  | 8a Blattfeder             |
| 1c Zahnlatte                | 4c Stift                    | 8b Daumensperre           |
| 1d U-Schlitz                | 4d Nase                     | 8c Drehpunkt              |
| 1e Trakturstange            | 4e Schlitz                  | 9 <b>Tonscheibe</b>       |
| 2. Manual                   | 4f Schlitz                  | 1. } Einschwingabschnitte |
| 2 <b>Klinke</b>             | 5 <b>Tastenplatte</b>       | 2. }                      |
| 2a Drehpunkt                | 5a Ausschwing Schlitz       | 3. }                      |
| 2b Blattfeder               | 5b Einschwing Schlitz       | 4. }                      |
| 2c Arm                      | 6 <b>Kontrollstange</b>     | 9b Unmoduliert            |
| 3 <b>Taste</b>              | 6a Druckfeder               | 9c Achse                  |
| 3a Schlüsselbolzen          | 6b Nase                     | 1. } Ausschwingabschnitte |
| 3b Eingefilzte Druckstangen | 6c Schlitz                  | 2. }                      |
| 3c Druckfeder               | 6d Dübel                    | 3. }                      |
| 3d Tastenhebel (U-Profil)   | 7 <b>Achse</b>              | 9e Unmoduliert            |
| 3e Nase                     | 7a U-Feder                  | 1. } Einschwingene        |
| 3f Stützpunkt               | 7b Ausschwinghebel          | 2. }                      |
| 3g Vorgespannte Blattfedern | 7c Einschwinghebel          | 3. }                      |
| 3b Bügel                    | 7d Blattfeder               | F Filz                    |
| 3i Dämpfungsfeder           | 7e Tonhaltungs-Nockenstange | F Filzpolster             |
|                             |                             | R Rahmen                  |

Abb. 8 Anschlagsschnelle und tiefenempfindliche Tastenmechanik für Dauer- oder Schlagtöne mit unabhängigen Ein- und Ausschwingvorgängen  
 Fig. 8 Displacement, speed-sensitive, percussive or steady state keying system with separate attack and decay

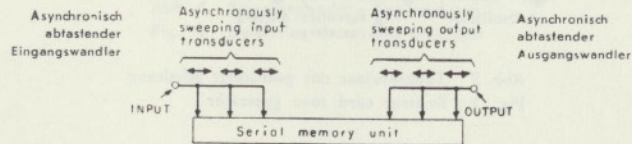


Abb. 9 Unisono-Tuttierzeugung durch Mehrfarb-Vibrato  
 Fig. 9 Multiple vibrato choral system

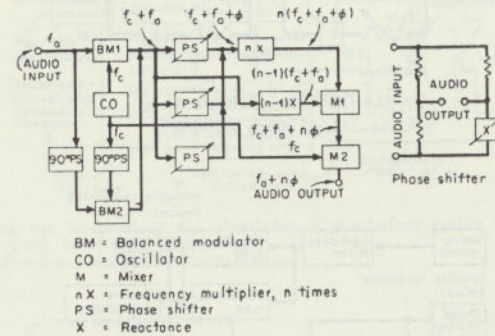
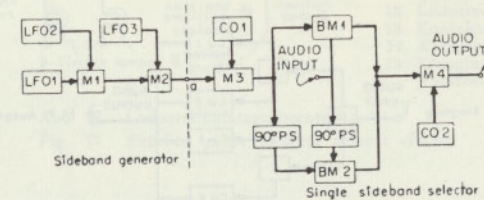


Abb. 10 Tuttierzeugung durch Phasenverschiebung  
 Fig. 10 Phase shifting choral unit

Single sideband selector, destructive interference method



Single sideband selector, filter method

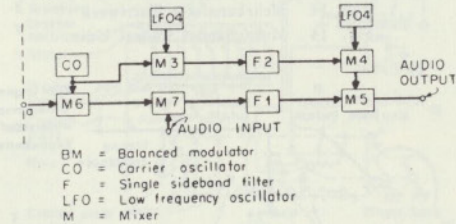
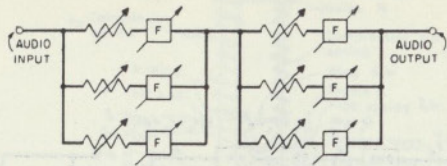


Abb. 11 Tuttierzeugung durch infraschallverschobene Trägerfrequenzen  
 Fig. 11 Displaced carrier choral system





F = Filter

Abb. 12 Klangfarbenfunklung  
Fig. 12 Timbre scintillator

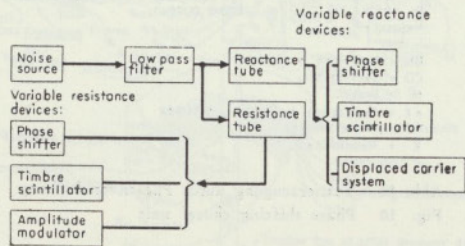
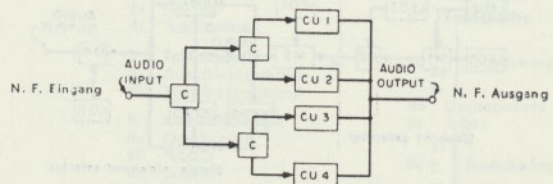


Abb. 13 Zufallsmodulation  
Fig. 13 Random modulator



C = Crossover network  
CU = Choral unit

Abb. 14 Mehrkanaliges Tuttiwerk  
Fig. 14 Multichannel Choral Unit

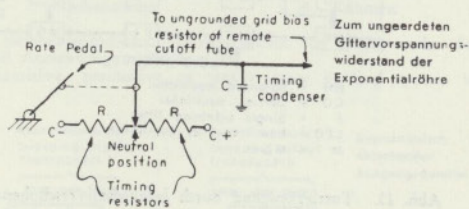


Abb. 15 Regelung der Dynamikänderungsgeschwindigkeit  
Fig. 15 Rate control of intensity

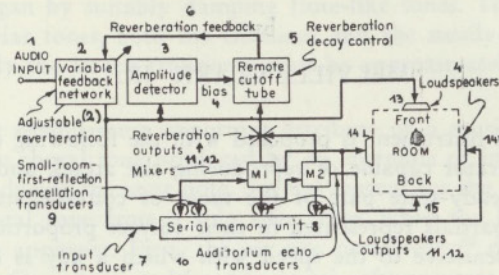


Abb. 16 Einrichtung zur Nachbildung der akustischen Eigenschaften großer Wiedergaberräume und zur Erzeugung künstlichen Nachhalls.  
Fig. 16 Large auditorium simulator and reverberator

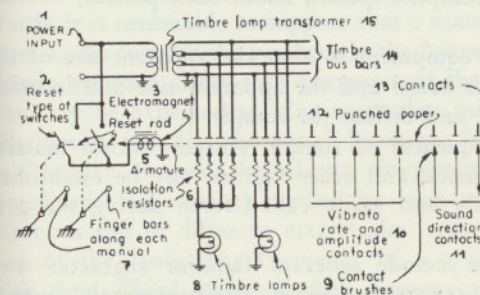


Abb. 17 Lochstreifenintegralsteuerung  
Fig. 17 Punched paper integral control system

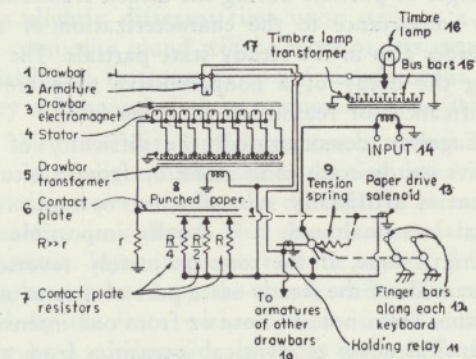


Abb. 18 Lochstreifendifferentialsteuerung  
Fig. 18 Punched paper differential control system



## A New Musical Instrument

by

MELVILLE CLARK JR.

A new musical instrument is proposed with the following elements:

1. a tone generator capable of reproducing the attack and decay transients and the steady-state part of the tones of conventional musical instruments with partials represented in their correct proportions;
2. keyboards sensitive to the speed with which a key is depressed and the distance to which it is depressed, so that the intensity of each individual note may be expressively controlled at all times;
3. a unit for the controllable generation of massive choruses from solo voices by producing narrow, complex spectra about each partial;
4. an intensity control unit;
5. environment modification equipment to alter the apparent size of the room within which the music is heard and the apparent size and location of the source, and to distribute and diffuse the sound;
6. a preset unit in which sequences of timbre, vibrato, choral massiveness, environmental characteristics, and other factors may be established before performance, and quickly and easily called forth during the performance.

The desired musical features include tones of familiar character and quality, realistic choral effects, expressive touch, environmental, control, flexibility, and ease of playing. Certain practical, nonmusical (e. g. economical) requirements are considered. Some numerical results are appended to demonstrate the feasibility of construction.

The secular changes of partials during the attack transient are considered to be of primary importance to the characterization of a tone, though some character resides also in the steady-state partials. The secular changes of partials during the decay of a nonpercussive tone are thought to be of negligible significance for reasons to be given later.

*Eagelson* and *Eagelson* demonstrated<sup>1</sup> the difficulty of identifying an instrument from its steady-state tone alone or from a situation in which the attack transient is artificially subordinated. Second, even though the steady-state partials are unaltered, it is usually impossible to identify the instrument sounding a tone, if the tone be merely reversed. Third, the intensities of the partials of the steady-state part of a tone usually show<sup>2-27</sup> little regularity either from note to note or from one intensity to the next. The spectra of identical notes at identical intensities from two instruments of the same type often show little resemblance, and occasionally one of the spectra may even resemble that of an instrument belonging to a com-

pletely different family. Fourth, piano-like tones may be produced with an electric organ by suitably damping flute-like tones. To produce duplicates of familiar tones, both the transient and the steady-state parts of a tone (especially the attack transient) must be approximately correct reproductions.

Perhaps the second most important attribute of a musical sound is the broad, massive choral tone produced by an ensemble of instruments of the same type producing the same note. Several reasons for the distinguishability of such a choral tone from a solo tone, even when the latter is suitably amplified, are apparent. First, the ear can perceive<sup>27-29</sup> differences of the order of 0.1% from a rational frequency ratio of two notes played simultaneously (so that beats are audible) or in close sequence. The frequencies of the notes played by all first violinists, for example<sup>3</sup>, are certain to fall outside these limits and to lead to multiple, complex beating. In other words, it is reasonable to suppose that a massive choral tone is distinguished from a solo tone by the presence in the former of a large number of partials closely grouped about each harmonic of the solo tone. Because each violinist may be expected to play somewhat independently of the others, the distribution function about each harmonic frequency of the solo tone might be Gaussian. Second, the vibrato (frequency modulation) and the tremolo (amplitude modulation) applied by each musician are likely to be asynchronous and of different magnitudes from those used by any other musician of the choir. The frequency of a given partial may vary secularly with time. Third, corresponding harmonics of two slightly mistuned instruments will beat together at the rate harmonic to the beat rate of the fundamentals. A chorus may consist of the superposition of many such variably mistuned notes. The tone color scintillates about an average color in a complex manner. Fourth, the members of a chorus will sound their instruments at a slightly different time upon striking a note; the attack transient of the composite sound will be more or less step-like. If all notes of spatially distributed instruments sound simultaneous at one point of observation, they will sound slightly nonsimultaneous at other points.

Nuance is a third element very important to musical expression. In part nuances consist of slight distortions in the time intervals between notes. Nuances also consist of perturbations in the relative intensity of individual notes in a sequence or in a chord. This second class of nuances is of great artistic value to music. In an instrument of the keyboard type, the intensity of a note might be regulated by the speed with which the corresponding key is depressed, by the force with which it is held down, by the depth of depression, or by a combination of these factors. To facilitate playing, the sensitivity need be only enough to permit effecting nuances; other devices, such as the timbre-controlling system, the choral unit, or a volume



control, could be used to make large dynamical changes. A touch-sensitive keyboard is inherently capable of producing expressive tremolo for each individual note. With tremolo control available, individual control of vibrato is probably unnecessary, but could be added at some increase in cost and complexity.

The ability to alter apparent room acoustics at will may be fourth in importance as compared with the three musical desiderata of character, chorus, and nuance discussed above. A high fidelity system playing in a small room sounds very different from an orchestra playing in a large auditorium. A large part of the difference is certainly attributable to the acoustics of the environment. Ability to control artificially the apparent size of a room and the apparent location of the sound source would enhance the versatility and expressiveness of an instrument.

If complex forms of music, such as symphony music, are to be produced, it is necessary to have a quick and easy method of changing such factors as may be predetermined for each particular passage. Of course, the part of the music of immediate aesthetic consequence must remain under the direct control of the musician.

#### ORGANIZATION OF THE INSTRUMENT

The player has direct control of all units except the loudspeakers. The tone generator is also controlled through the keying system and the preset unit. The keying system enables the musician to select the notes and to determine the individual intensity of each at all times. The preset unit assists the player in his control of factors that can be established prior to actual performance: sequences of timbre, vibrato, choral massiveness, environmental characteristics, and other tonal effects that may follow one another in the performance of a particular composition.

The choral and vibrato unit may be switched to apply a vibrato to solo tones from the tone generator or to transform these tones into choral tones. The intensity control and tremolo mechanism needs no explanation. The environment modifier is used to alter the apparent size of the room, to distribute and diffuse the sound, and to control the apparent location and size of the source.

##### 1. Tone Generator

The heart of any instrument is the means by which a musical sound is created. Each of the several types of tone generators to be discussed below can produce the transient and steady-state parts of a tone, at various intensities, for each of several timbres and many frequencies. All of these generators are based on the principle of selecting an appropriate temporal

sequence of tone patterns from among the many stored in the generator mechanism.

A schematic representation of the attack, steady-state, and decay parts of one complex tone, and of the means for producing such a tone pattern is shown in Fig. 2. Fig. 2A illustrates the secular changes of the Fourier components during each of the three parts of the tone. Each part (attack, steady-state, and decay) is arbitrarily subdivided into four sections in this illustration; the number of subdivisions actually required for realistic simulation of the tonal character of a familiar instrument will almost certainly depend on the instrument and even on the style of playing.

Fig. 2B shows schematically the method by which the corresponding subdivisions of a variable-density sound track are selected sequentially. The sound track moves upward past the attack and steady-state slit and the decay slit. The keying plate is illuminated from above uniformly along its entire length, and light penetrates the sound track only through one of the two scanning slits. Depression of the corresponding key moves the keying plate and the shutter to the right transversely across the sound track subdivisions 1—4, the attack and steady-state slit being uncovered by the shutter during this transit. The several Fourier components change secularly with time during the attack transient in accordance with the motion of the slit and with the complete sound patterns recorded on each subdivision.

When the attack transient has been completed, the attack slit comes to rest opposite one of the steady-state sound track subdivisions 5—8. Then, by varying the subsequent pressure on the key, this slit can be moved within the range of the subdivisions 5—8, providing variable intensity and/or quality. Upon release of the key, the keying plate and shutter move to the left. As soon as the attack slit reaches subdivision 5, the attack slit is covered and the decay slit uncovered by the shutter, causing the decay pattern shown in Fig. 2A. At the time the keying plate reaches its original position, the shutter covers the decay slit and uncovers the attack slit again.

Because of the finite length of each slit, one tone pattern gradually merges into the next, as shown in Fig. 2A, as the slit proceeds from one subdivision to the next. Transients of different durations can be accommodated with a standard keying period by providing narrower transient subdivisions for those sound tracks with the shorter transients. It may be noted in passing that the durations of the attack and decay transients are independently determined by a timing mechanism to be discussed subsequently.

Several specific methods for producing a tone in the sequence outlined schematically in Fig. 2 are now considered. Fig. 3 shows a coaxial disk tone generator based upon these principles. For compactness each rotating disk carries (in concentric circles) all sound tracks of all timbres associated



with one note of the instrument. There might be a sound track for each of the basic families of orchestral instruments, for example bowed strings, double reed, single reed, flute, French horn, and brilliant brass. Each sound track is suitably subdivided and dimensioned to produce the necessary attack and decay transients and key-pressure controlled nuances.

A keying plate is associated with each disk and carries a pair of slits for each sound track recorded on the disk. All sound tracks of one disk are keyed simultaneously. One lamp, called a timbre lamp, illuminates all sound tracks of one timbre on all disks simultaneously. Mirrors are used to direct light beams from each lamp to and through the associated sound tracks. The brightness of each timbre lamp determines the relative intensity of the associated timbre; through adjustment of the relative brightness of several timbre lamps, a basic timbre can be perturbed by small admixtures of other voices to sound like some other similar instrument. Light from all tracks is collected by mirrors and lenses and directed to a photodetector.

Fig. 4 illustrates an alternate form of tone generator in which the variable-density sound tracks are on the reflecting surface of a rotating drum. A drum in this system corresponds to a disk in the system of Fig. 3. This method provides more convenient access to the tracks for the keying system. Also, since all tracks are of equal length, the tone generator may be more compactly constructed.

Light from a timbre lamp is reflected by a mirror through a slit in each keying plate and through a division of a sound track onto a drum. The beam is specularly reflected from the drum surface, passes again through the sound track, back through the slit, past the keying plate onto the other side of the mirror previously mentioned, through a condensing lens or mirror into a photodetector.

To keep light of different timbres separate, the input light chamber is subdivided by partitions, as previously shown in Fig. 3. To prevent light from scattering into the detector by devious paths, the partitions are roughened, corrugated, and coated with a very black material. The distribution mirrors shadow each other somewhat to prevent light from reaching the detector directly without being modulated.

Fig. 5 illustrates a tone generator in which all tone patterns are on one long plate. This system facilitates flexibility in voicing, through interchangeable sound track plates. A collimated light beam, incident on a rapidly rotating dielectric prism, emerges parallel to the incident beam but displaced according to the angle of rotation. Thus, the narrow beam of light scans one of the fixed tone patterns and is focussed onto a photocathode.

Fig. 6 shows a slotted cylinder scanner with a distributed light source. Lenses image the center of the scanner on the distribution mirrors to keep

the latter from occupying too much space. Otherwise, this method is essentially the same as the preceding one.

A final alternative tone generator is shown in Fig. 7. It consists of resistor cards and transistor oscillators, which generate the several partials individually. In this case, the upper nonoctavely related partials are equally tempered rather than pure. The connections (not explicitly shown in the figure) of the isolation resistors to the potential busses are used to store the tone pattern information. Isolation resistors are grouped together to form the tone patterns of each subdivision of each basic timbre for each note. A brush or finger associated with each basic timbre of each key wipes a sequence of contacts to generate the tone pattern sequence. By using two fingers connected together with a resistor, as shown in the center of the diagram, the tone color can be made to change more gradually from one subdivision to the next. The output coupling of each basic timbre is adjustable so that the composite timbre desired can be synthesized.

Recent developments in printed circuit techniques make reasonable the cost of the extremely large number of isolation resistors and interconnections, and the volume occupied. One card would be associated with each key and would carry all the contacts, isolation resistors, potential dividing resistors, and associated wiring. Only the various „harmonically“ related tone generators need be connected to each card. An instrument so designed could be extremely portable: indeed, the electronic circuits need be no larger than the keyboards.

## 2. Keying Systems

Various methods of control have been considered. Of these, a touch sensitive keyboard seems to offer the greatest flexibility and to be the best compromise for ease of playing, muscle memory, minimization of training, expressive nuances, and ability to play many notes simultaneously.

The keying systems shown in Fig. 8 provides speed sensitivity for percussive tones, and speed and displacement sensitivity for nonpercussive tones, both with and without *sostenuto*. Basically, a mass thrown upward after the bottoming of a depressed key measures the speed of the key. The systems consists of a metering bar thrown upward and away from the key channel as the key bottoms: the bar measures the speed of depression of the key. The metering bar carries upward with it a tracker, which in turn carries a keying plate and shutter.

The metering bar cam block shown in the figure has two possible positions. If the block is in its upper position, the cam does not engage the metering bar. The metering bar then reshoulders on the key channel as soon as the upward stroke has been completed, whether or not the key has been released. This position of the cam block provides for percussive sounds.



If the cam block is in the lower of its two positions, as shown in the figure, the cam does engage the metering bar and locks it in its most extreme upward position, together with the tracker bar and keying plate. Any further depression of the key against the preloaded leaf springs will cause the metering and tracker bars to follow along, increasing the intensity of the note as indicated in the center part of Fig. 2A. A gradual release of the key lowers the cam, since the cam axle is attached to the key channel; the metering and tracker bars are lowered proportionally, and the intensity of the note decreases. Nuances are thus made possible during a sustained note. Coulomb damping prevents the key from oscillating when depressed by a finger.

Upon release of the key, the metering bar cam is tripped by the cam block, releasing the metering bar if the cam block is in its lower position. (If the cam block had been in its upper position, the metering bar would already have reshouldered.) The tracker bar returns to its rest position at a rate fixed by a timing mechanism, here shown as a pawl engaging a ratchet.

The timer and tracker bar are coupled only in two instances: First, for nonpercussive tones, when the metering bar cam block is in its lower position and the metering bar has reshouldered upon release of the key, the timer is engaged only if the sostenuto cam has been rotated. Second, for percussive tones, when the cam block is in its upper position and the metering bar has reshouldered immediately, the timer is engaged as long as either the key is still depressed or the sostenuto cam has been rotated.

Rotation of the sostenuto cam prevents the L-shaped release lever from disengaging the timer pawl when the key channel bracket returns to its rest position. An L-shaped upstroke lever, which shares the axle with the release lever, prevents the timing mechanism from slowing the upward course of the tracker bar whenever the metering bar moves upward.

As noted above, the tracker bar carries with it a keying plate and shutter which are integral parts of the tone generator as shown in Fig. 2B. As the key is depressed and the tracker bar starts upward, a U-spring drags across a wing on the shutter. This spring causes the shutter to slide downward in its slots with respect to the keying plate, so that the decay slits are covered and the attack slits uncovered while the tracker bar is moving upward. The slits remain in this condition during the steady-state part of a sustained tone. When the bar moves downward, the U-spring again drags across the wing, causing the shutter to slide upward in slots with respect to the keying plate, covering the attack slits and uncovering the decay slits.

In summary, the keying system here described is speed-sensitive during attack, for either percussive or nonpercussive tones, through the use of a metering bar. It is also displacement-sensitive for nonpercussive tones, through nonlinear key bottoming and Coulomb damping. Percussive tones

with controlled decay rate are made possible by the tracker bar and timer. Finally, a sostenuto is provided by the sostenuto cam and allied mechanism. Elimination of one or more of the functions permits simplification of the keying system through elimination of the corresponding mechanism.

Simplified keying systems might well be used for specialized manuals for percussive sounds or for other manuals devoted to massive choral effects, leaving the highest degree of expressiveness (and complexity) for solo manuals. No explicit provision has been made here for key-controlled vibrato. This function could readily be accomplished by coupling the keying plate flexibly to the tracker bar and translating a lateral displacement of the key into a rotational displacement of the keying plate about the axle of the tone disk. With key-controlled tremolo, vibrato control individual to each key is probably unnecessary.

### 3. Choral Generators

A method of creating massive, choral tones is of utmost importance. Each of the methods described here creates a choral tone by surrounding each harmonic of a solo tone with a narrow, complex spectrum of frequency components.

A chorus may be provided by a large number of slightly mistuned generators. Alternatively, a chorus may be provided by sound recordings of choral tones themselves in instruments based upon such recordings. Both such schemes tend to be costly.

Complex sidebands can be produced by amplitude modulating a signal at many different asynchronous rates and amplitudes, as by a number of variable resistors all in parallel whose values are oscillated at low asynchronous rates. Amplitude modulators can be used for the same purpose.

A different type of complex sidebands can be produced by frequency modulating a signal at many different rates and amplitudes. Frequency modulation may be achieved by exploiting the Doppler principle. A number of scanning condensers or coils might sweep electrical<sup>30</sup> or sonic delay lines. A number of oscillating magnetic heads might record a signal on or reproduce it from a moving magnetic medium, as schematically illustrated in Fig. 9. By staggering the heads the attack of a note simulates that of a number of instruments.

Phase modulating a signal at many different rates and amplitudes provides another way of generating a choral effect, as shown schematically in Fig. 10. There are many types of phase shifters<sup>31-34</sup> of which only a simple one is shown in this figure. Extensive phase shift, linear with respect to the phase-shifting reactance or resistance, is developed by multiplying the phase-shifted signal and then heterodyning the result back to the original audio frequency. By providing compensating nonlinearities in the phase shifter,



the amount of multiplication needed can be reduced, since a larger phase shift is then possible with one unit. A phase shift linear with frequency, i. e., a time delay, is effected by omitting the carrier oscillator, input mixers, and final mixer, and by using an appropriate reactance in the bridge. Almost any desired functional dependence on the audio input frequency can be developed by using an appropriate combination of capacitors and inductors. Single-sideband modulation is used to avoid harmonic distortion upon heterodyning back down to audio frequencies.

A system that develops asymmetric sidebands is shown in Fig. 11. An audio signal is heterodyned against a set of carriers displaced from each other by infrasonic frequencies.

A single sideband is selected,<sup>32-34</sup> and this signal is heterodyned back to an audio frequency by one or more carriers with frequencies different from those of the first set. Only one sideband is used in order to achieve asymmetric distributions of spectra. Several methods of generating single sidebands and of making carriers with infrasonic frequency differences are shown.

The system shown in Fig. 12 causes the timbre to scintillate about an average timbre. Variable formant circuits, whose properties are oscillated at infrasonic rates, are used for this purpose. In this way, the intricate interference of various harmonics of slightly mistuned instruments may be simulated.

The complexity of equipment associated with the generation of choral tones can be drastically reduced by a multiplicative principle. A series of choral units may be connected in tandem so that each one multiplies the effect of all those preceding. At each successive junction, the degree of massiveness of the tone has been increased. By taking the output sequentially from these junctions, a tone of growing or diminishing massiveness can be generated. A choral pedal can be used to control the massiveness. Complexity might also be reduced by modulating the signals used to modulate the audio signals.

Low frequency noise modulation, developed as shown schematically in Fig. 13, can be used in place of multiplication to provide complex random modulation in any of the above schemes.

Experience shows that, if the spectral broadening about each partial be the same, the broadening should be restricted to infrasonic frequencies. In practice, however, the higher harmonics of a note of even moderate frequency played by several instruments will beat at low audio rates. By dividing the audio spectrum into bands, as shown in Fig. 14, low audio rates of modulation can be applied to the higher frequency bands and infrasonic rates of modulation to other bands. In particular, if each band passes one octave, the modulation rates applied to any one band may be double that

of the next lower band. In this way, the beat rate of a harmonic of a note is approximately the harmonic multiple of the beat rate of the fundamental, just as it is with instruments playing the same note. Any of the previous types of modulations listed could be used.

#### 4. Intensity Control

A crescendo in music involves three elements: a more massive chorus, addition of distinctive timbres to the composite tone, and increase of the intensity of each voice. Control of the composite timbre is discussed later. Fine control of the intensity is effected by the keying system. Gross control of the intensity of all notes associated with one manual can be effected in many familiar ways.

Only one unusual type of gross intensity control is suggested here. Fig. 15 shows a circuit that controls the rate of change of volume, rather than in the volume itself. The rate of change of grid bias on a remote cutoff tube is controlled by adjusting the resistance  $R$  in series with the timing condenser  $C$ . A neutral position is used to anchor the bias, gain, and loudness.

#### 5. Environment Modification

Control of the apparent size of the acoustical environment can be effected by simulating along some boundary surrounding the auditor the pressure pattern that would exist with an ideal environment. Spaciousness and room resonance are simulated by applying reverberated, successively delayed and attenuated signals sequentially to loudspeakers<sup>13-15</sup> located around the boundaries of a room, as shown in Fig. 16.

Normally, an approximately exponential decay is desired;<sup>35-36</sup> such a decay is provided by the equipment of Fig. 16, excluding the amplitude detector 3 and remote cutoff tube 5, the purpose of which will be mentioned separately. The rate of decay is determined by the amplitude and delay of the reverberation signal. Though in actual auditoriums there are many modes, each decaying with an individual rate usually, the overall decay can be satisfactorily approximated with only two rates<sup>37</sup>. As many multiple decay rates as desired can be provided by connecting in parallel a number of serial memory units 8, each with its associated auditorium echo transducers and mixers 7-12, one unit for each rate. Since each mode corresponds to an individual resonant frequency of the auditorium, the effect of the different decay rates can be somewhat more simply produced by inserting a frequency sensitive network in the reverberation feedback loop 2.

Several subsidiary or unusual effects are easily produced. First, the apparent location of the source of sound can be altered at will by cyclic permutation by suitable switching of the signals to the loudspeakers. Second, a sound source that grows in size as the sound becomes louder can be simulated



by loudspeakers located in the center and in each wing of an imaginary stage, if, in soft passages, the center loudspeaker 13 is the loudest and if, as the volume increases, the volume of the wing loudspeakers grows faster than that of the central one, until at full volume all three sound equally loud. Third, a controllable sostenuto is produced by regulating the feedback to the input of the reverberator 2, as schematically shown in Fig. 16. Fourth, the decay can be made dependent upon the amplitude of the signal by controlling by the envelope 3 of the signal itself, the bias 4 of a remote cutoff tube 5 in the feedback loop 6, as shown in Fig. 16.

Usually the desire is to simulate an auditorium in a small room. If necessary, negative signals of appropriate magnitude and delay could be applied to the loudspeakers to reduce reflections from the boundaries of the actual room. Because of the large surface-to-volume ratio and the furnishings characteristic of small rooms, their reverberation time is normally much smaller than that of a large auditorium. For this reason, it is doubtful that actual reflections from the boundaries of a small room are of much concern.

Serial memory units are used to provide the necessary time delays. Such units may consist of electrical delay lines<sup>36</sup>, magnetic tape<sup>38</sup> or drums<sup>9</sup> units, long helical springs<sup>37, 40</sup>, acoustic pipes<sup>41</sup>, and so on.

## 6. Preset Unit

The orchestration, the location of the sound source, the reverberation of the room and the degree of choral effect desired at any given time are determined and fixed before a composition is played. This type of information can be punched into cards or paper tape before a composition is played. A bar along and below each of the keyboards and above the pedal clavier of an organ-like console can be used to advance the punched information step-by-step, easily, and quickly with no interruptions of the rhythm. Such a system is shown schematically in Fig. 17.

Depression of any finger bar energizes an electromagnet that advances the punched paper one step, the paper being sandwiched between drive rollers. The electromagnet resets the switch to "off" and in so doing turns off its own power. Isolation resistors protect the timbre lamp transformer in case two or more holes associated with different potentials are punched. Timbres of intermediate intensities result from several holes being punched for each timbre lamp.

If the resistance of an isolation resistor is large compared with that of the light source, then the potential applied to the light source is proportional to the sum of the individual voltages applied to the resistors. If the resistance of the isolation resistors is small, then the voltage applied to the light source is proportional to the arithmetic average of the potentials

applied to the individual resistors; the power efficiency is higher than in the former case. With this equipment the frequent, complex changes in instrumentation found in orchestral music may be duplicated.

With the system just described, designated as an integral control system, manual readjustment of preselected elements by the drawbars is impossible unless the preset unit is switched off. The differential control system shown in Fig. 18 permits manual readjustment of the drawbars at all times other than the short periods during which the stop mechanism is actually effecting a change itself. Depression of any finger bar closes a switch that energizes the drawbar transformer, the armature of the drawbar electromagnet, the holding relay, the contact-plate resistors, and the paper-drive solenoid, which advances the punched paper one step.

Each of the eight potentials provided by the drawbar transformer is equal to one of those which the contact plate may assume. The potential of this plate is determined by the combination of contact-plate resistors that may complete their circuit through suitable holes punched in the paper.

There is no potential across one of the stator coils, called the neutral coil, of the drawbar electromagnet. The potential across any other coil is proportional to its distance from the neutral coil and of such a sense that the armature is urged toward the neutral coil. The drawbar is moved by the armature coil until it comes opposite the neutral stator coil, and the potential applied to the associated timbre lamp changes correspondingly. Each of the eight stator coils can be made the neutral coil by one and only one combination of punchings in the paper.

The circuits of all armature coils are completed through the holding relay, which maintains the primary switch closed until all motions have ceased. A spring is actuated near the end of travel of the armature of the paper-drive solenoid; the spring opens the primary switch as soon as it is released by the holding relay in consequence of the current change upon completion of the motion of all drawbars.

Differential control is more complicated than integral control, but differential control does provide greater flexibility and potential expressiveness. With either system, numerous simplifications could be effected if the brightness of the lamp were a linear function of the applied voltage or current.

Both fluorescent and incandescent lamps can be dimmed over a wide range<sup>42-46</sup> to control the intensities of the basic timbres. The filaments of fluorescent lamps must be kept hot over the whole range of dimming.



## References

- 1 H. V. Egelson, O. W. Egelson, *J. Acoust. Soc. Am.*, *19*, 338—342 (1947).
- 2 D. C. Miller, "The Science of Musical Sounds" (The Macmillan Company, New York, 1926), second edition, ch. 6.
- 3 E. Meyer, *Z. techn. Physik*, *12*, 606—611 (1931).
- 4 E. Meyer, G. Buchmann, *Sitzber. preuß. Akad. Wiss., Physi-math. Kl.*, *52*, 735—778 (1931).
- 5 R. B. Abbott, *J. Acoust. Soc. Am.*, *7*, 111—116 (1935).
- 6 R. N. Gosh, *J. Acoust. Soc. Am.*, *7*, 27—28 (1935).
- 7 F. Trendelenburg, E. Franz, *Z. techn. Physik*, *16*, 513—516 (1935).
- 8 F. Trendelenburg, E. Franz, E. Thienhaus, *Akust. Z.*, *1*, 59—76 (1936).
- 9 D. C. Miller, "Sound Waves: Their Shape and Speed" (The Macmillan Company, New York, 1937), ch. 3.
- 10 H. Meinel, *Akust. Z.*, *2*, 22—33 (1937).
- 11 H. Meinel, *ibid.*, p. 62—71.
- 12 F. A. Saunders, *J. Acoust. Soc. Am.*, *9*, 81—98 (1937).
- 13 C. P. Boner, *J. Acoust. Soc. Am.*, *10*, 32—40 (1938).
- 14 A. T. Jones, *J. Acoust. Soc. Am.*, *11*, 122—128 (1939).
- 15 C. P. Boner, R. B. Newman, *J. Acoust. Soc. Am.*, *12*, 83—89 (1940).
- 16 A. W. Nolle, C. P. Boner, *J. Acoust. Soc. Am.*, *13*, 145—148 (1941).
- 17 A. W. Nolle, C. P. Boner, *ibid.*, p. 149—155.
- 18 R. B. Watson, W. J. Cunningham, F. A. Saunders, *J. Acoust. Soc. Am.*, *12*, 399—402 (1941).
- 19 H. W. Henderson, *J. Acoust. Soc. Am.*, *14*, 58—64 (1942).
- 20 D. W. Martin, *J. Acoust. Soc. Am.*, *13*, 309—313 (1942).
- 21 C. S. McGinnis, H. Hawkins, N. Sber, *J. Acoust. Soc. Am.*, *14*, 228—237 (1943).
- 22 F. A. Saunders, *J. Acoust. Soc. Am.*, *18*, 396—401 (1946).
- 23 C. A. Culver, "Musical Acoustics" (McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1956), fourth edition, chs. 10, 12.
- 24 D. W. Martin, *J. Acoust. Soc. Am.*, *19*, 535—541 (1947).
- 25 S. E. Parker, *J. Acoust. Soc. Am.*, *19*, 415—419 (1947).
- 26 E. Robloff, *Z. Naturforsch.*, *3 A*, 184—185 (1948).
- 27 H. F. Olson, "Musical Engineering" (McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1952), first edition, chs. 6, 7.
- 28 S. S. Stevens, *J. Acoust. Soc. Am.*, *27*, 815—829 (1955).
- 29 H. Fletcher, "Speech and Hearing in Communication" (Van Nostrand, New York, 1953), second edition, ch. 9.
- 30 J. M. Hanert, US Patent No. 2,382,413 (1945).
- 31 S. M. Beleskas, *Proc. National Electronics Conference*, *3*, 654—661 (1947).
- 32 R. B. Dome, *Electronics*, *19*, 112—115 (Dec. 1946).
- 33 H. J. Orchard, *Wireless Engr.*, *27*, 72—81 (1950).
- 34 F. E. Terman, "Electronic and Radio Engineering" (McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1955), fourth edition, p. 541.
- 35 P. M. Morse, "Vibration and Sound" (McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1948), second edition, ch. 8.
- 36 P. M. Morse, R. H. Bolt, *Revs. Modern Phys.*, *16*, 69—150 (1944).
- 37 J. G. Frayne, H. Wolfe, "Elements of Sound Recording" (John Wiley and Sons, Inc., New York, 1949), p. 522—525.
- 38 S. K. Wolf, *Proc. I. R. E.*, *29*, 365—371 (1941).
- 39 J. Z. Menard, *Bell System Tech. J.*, *31*, 530—540 (1952).
- 40 D. W. Martin, A. F. Knoblaugh, *IRE Trans., AU-2*, 95—98 (1954).
- 41 G. W. Curran, *Audio Engng.*, *32*, 13—17 (May 1948).
- 42 A. C. Hardy, F. H. Perrin, "The Principles of Optics" (McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1932), first edition, ch. 9.
- 43 E. L. Chaffee, "Theory of Thermionic Vacuum Tubes" (McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1933), first edition, ch. 5.
- 44 A. A. Eastman, J. H. Campbell, *Illum. Eng. (New York)*, *47*, 27—35 (1952).
- 45 J. W. Strange, *Trans. Illum. Eng. Soc. (London)*, *15*, 111—135 (1950).
- 46 A. Davis, R. E. Stephenson, L. D. Harris, *Illum. Eng. (New York)*, *50*, 143—146 (1955).



# Die Innenstimmung von Musikinstrumenten

## IV

### Das Alt-Saxophon

von

ROBERT W. YOUNG

#### Einleitung

Wie bei den anderen Rohrblatt-Instrumenten spielt man die oberen Töne des Saxophons unter Mithilfe einer durch den Daumen betätigten Klappe, welche das eine oder das andere der zwei kleinen „Oktavenlöcher“ im oberen Teil des Instrumentes öffnet. Im Folgenden werden die durch den Gebrauch dieser Löcher auftretenden Stimmungsschwierigkeiten besprochen; auch wird der Einfluß verschiedener Mundstücke auf die Stimmung des Alt-Saxophons durch Experimente illustriert. Die Abweichung jedes gespielten Tons von der gleichtemperierten Skala ( $A_4 = 440$  Hz) wurde durch die schon in dieser Artikelfolge beschriebene Methode<sup>1</sup> in Hundertstel eines Halbtones (Cents) gemessen.

#### Stimmungsdiagramm

Die Innenstimmung des Saxophons wird durch Abb. 1 veranschaulicht; die Ordinate zeigt den Ton, der gespielt wurde (wie geschrieben), die Abszisse die Abweichung in Cents von der temperierten Skala. Die Testbestimmungen sind bei der Abbildung angeführt.

Nach Abb. 1 war der Ton  $A_5$  27 Cents höher als die Norm und fast 15 Cents zu hoch im Vergleich zu den benachbarten Tönen. Es stellt sich die Frage, warum der Hersteller diesen Ton nicht tiefer stimmte, indem er das betreffende Loch kleiner machte, oder es weiter unten ins Instrument bohrte; dabei darf man aber nicht außer Acht lassen, daß dieser Ton mit demselben Griff — unter Hinzunahme der Oktavenklappe — wie  $A_4$  gespielt wird, daß also eine Änderung des Tonloches *beide* Töne verändern würde.

Durch Aufzeichnung der Abweichung von der reinen Oktave bei Oktavtönen werden die inneren Verstimmungen des Instrumentes augenfälliger — siehe die kleine Kurve links oben in der Abb. 1. Z. B. war die Oktave  $A_4 - A_5$  um 19 Cents zu groß, also erhält die Ordinate  $A_5$  dieser „Differenz“-Kurve eine Abszissenlänge + 19; gleichfalls geht aus dieser Kurve hervor, daß das Intervall  $D_4 - D_5$  um 21 Cents größer als eine Oktave war.

<sup>1</sup> ROBERT W. YOUNG, Gravesaner Blätter 7/8, 87—91 (1957), 9, 111—119 (1957), und 11/12, 174—186 (1958).

Das moderne Saxophon hat nur eine Oktavenklappe für den Daumen, wodurch jedoch eines von zwei Oktavenlöchern geöffnet wird: die Mechanik ist so eingerichtet, daß sich durch Mitbetätigung der Klappe des dritten Fingers der linken Hand das untere Oktavenloch öffnet, sonst aber das obere. Folglich werden die Töne  $D_5$  bis  $Gis_5$  durch das untere Oktavenloch gespielt, die Töne darüber aber durch das obere. Die Wirkungen dieser zwei Oktavenlöcher wurden einander in dieser „Differenz“-Kurve gegenübergestellt.

Ein Oktavenloch wirkt dadurch, daß in seiner Nähe ein Schwingungsbauch entsteht; wenn der Bauch über oder unter dem Loch entsteht, dann wird der Ton in *beiden* Fällen etwas zu hoch. Bei dem Instrument unter Betrachtung entsteht der Bauch bei dem Ton  $Fis_5$  anscheinend in unmittelbarer Nähe des Oktavenloches, da der Oktavenunterschied für diesen Ton fast Null ist; über und unter  $Fis_5$  sind die Töne im Vergleich zu ihren unteren Oktavtönen zu hoch. Von allen Tönen, die durch das obere Oktavenloch erzeugt werden, hat  $C_6$  die kleinste Abweichung, während die Töne darüber und darunter zu hoch sind mit der größten Abweichung bei  $A_5$  am Ende der Reihe, da der Bauch hier am entferntesten vom Oktavenloch liegt.

#### Einfluß des Mundstückes

Um den Einfluß des Mundstückes auf die Stimmung zu ermitteln, wurden Messungen mit 5 Mundstücken an je 5 verschiedenen Tagen gemacht, wobei der Spieler, das Instrument und das Rohrblatt unverändert blieb. Auch die Stimmeinrichtung dieses Saxophons, mit einer Kante ausgerüstet, gegen welche alle Mundstücke zu schieben sind, wurde während den Tests nicht angetastet. Die Messungen wurden mit dem dem Instrument gehörendem Conn-Mundstück verglichen. Abb. 2 zeigt die Abweichungen der Link-Metall- und Gummimundstücke von jenem, nicht also die Abweichungen von der temperierten Skala.

Im Allgemeinen wird die Stimmung durch eine vergrößerte oder verkleinerte Aushöhlung des Mundstückes abgesenkt, bzw. angehoben. Diese Tatsache stimmt mit der üblichen Weise, auf die man Saxophone stimmt, überein, denn indem man das Mundstück auf dessen Röhre verschiebt, verändert man die Instrumentenlänge sowohl als die Mundstückeshöhhlung.

Aus Abb. 2 geht hervor, daß das Link-Gummimundstück innen verhältnismäßig klein war, während das Metallmundstück desselben Herstellers verhältnismäßig groß sein dürfte. Es ist denkbar, daß ein Spieler bei der Verwendung des Metallmundstückes das Saxophon als zu tief beurteilen würde, während man mit dem Gummimundstück sagen würde, dasselbe Saxophon sei zu hoch! Die Verstimmungen zwischen diesen beiden Link-Mundstücken sind beträchtlich — von einer Größenordnung von 50 Cents in den höheren Lagen.



Zu Abb. 2 ist zu bemerken, daß das Metallmundstück von Link die meisten Töne (mit Ausnahme der obersten) um etwa 15 Cents im Vergleich zum Conn-Mundstück herabsetzte, daß also die Innenstimmung nicht verändert wurde, da die Verstimmung aller Töne gleich war. Das Gummimundstück jedoch hatte eine progressive Anhebung aufzuweisen mit einer plötzlichen Veränderung beim Registerübergang, also von  $Cis_5$  zu  $D_5$ : es veränderte die Innenstimmung.

Die zwei anderen Mundstücke dieser Versuchsreihe waren ein Brillhart Nr. 3\*464 und ein Gregory Type A Nr. 4A-16. Jenes glich dem Conn Steelay No. 5, dieses dem Link Gummimundstück in seiner Wirkung.

#### Eintragung der Meßwerte

Da die Stimmung eines Blasinstrumentes nicht bei jedem Spiel gleich ist, muß man mehrere Tests machen, um dann den Durchschnitt zu ermitteln. Außerdem gibt es für manche Töne verschiedene Griffe: Messungen wurden mit 13 anderen Griffen als denjenigen, die für Abb. 1 verwendet wurden, gemacht. Abb. 3 stellt eine zweckmäßige Art der Aufbewahrung solcher Meßergebnisse dar. Die Eintragsreihenfolge in diesem Formular ist in erster Linie durch den Fingersatz bestimmt; die Ordnungszahl des Tonloches, welches den jeweiligen Ton hauptsächlich bestimmt, erscheint in der Reihe unter dem Buchstaben *H* („Hole“); die Fingersatztabelle (*Fingering*) gibt den verwendeten Griff für den entsprechenden Ton genau an. Z. B.: der Ton  $F_5$  wird in erster Linie durch Loch Nr. 16 bestimmt; gegriffen wird er mit der Daumenklappe *T* („Thumb“), den drei Klappen der linken Hand und der Klappe des rechten Zeigefingers. In der nächsten Reihe ist die Schwingungsform (*M = Mode of vibration*) eingetragen.

Für den Ton  $F_5$  betrug der Durchschnitt der 5 Messungen 10 Cents: er erscheint in der Reihe *Ave.* (*Average*); für die untere Oktave  $F_4$  war der Durchschnitt 0, ein Unterschied also von 10 Cents, welcher in der letzten Reihe *Reg.* eingetragen wurde; diese Abkürzung bedeutet *Registerlänge* und gibt die schon erwähnte Oktavendifferenz, also die Verstimmung zwischen den Registern an. Die Reihe *Rel.* ermöglicht es, die Stimmung *relativ* einer anderen Skala als der gleichtemperierten Skala mit einem  $A_4$  von 440 Hz zu berechnen. Die kleinen Halbkreise neben der *Ave.*-Reihe weisen auf weniger gebräuchliche Griffe, die sich nicht in eine Kurve wie Abb. 1 eintragen lassen.

Diese Versuchsreihe mit 5 Mundstücken beträgt 1125 einzelne Messwerte, von denen die 225, die dem einen Mundstück entsprechen, in Abb. 3 zu sehen sind. Die Wiederholung der Messung ist besonders für jene Töne notwendig, die größeren Schwankungen — manchmal bis zu 20 Cents — unter-

liegen. Nebenbei sei erwähnt, daß die für eine Messreihe von 45 Eintragungen benötigte Zeit kaum mehr als 5 Minuten — etwa 7 Sekunden je Meßwert — betrug.

#### Schluß

Aus diesen Messungen der Innenstimmung eines Alt-Saxophons geht hervor, daß die Oktavenlöcher dazu beitragen, die Intervalle zwischen den Registern ein wenig zu verstimmen. Durch die Verwendung von mehr als zwei Oktavenlöchern könnte diese Verstimmung — allerdings auf Kosten einer komplizierteren Mechanik und schwierigerem Fingersatz — weitgehend beseitigt werden.

Das verwendete Mundstück hat einen großen Einfluß auf die Innenstimmung eines Alt-Saxophons: ein Mundstück mit großer Aushöhlung senkt die Stimmung ab, während eins mit kleiner Aushöhlung sie anhebt. Diese Wirkung ist nicht unbedingt über den ganzen Spielumfang gleich, wodurch man die Möglichkeit hat, ein Mundstück auszusuchen, welches dazu beitragen kann, dem Instrument etwa anhaftende Stimmungsfehler auszugleichen (oder zu unterstreichen!).

\*

Die freundliche Erlaubnis der Firma C. G. Conn Limited, die hier beschriebenen Messungen der Innenstimmung zu veröffentlichen, sei hier dankend anerkannt.



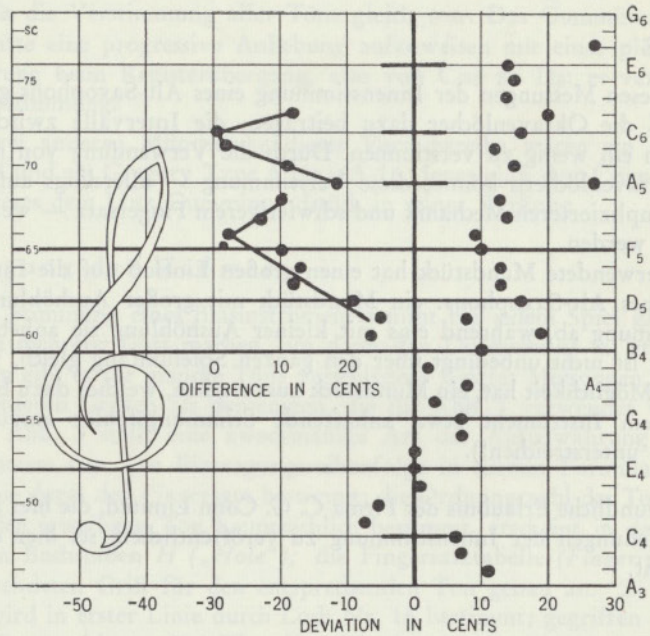


Abb. 1. Durchschnittliche Innenstimmung eines Alt-Saxophons in Es.  
 Hersteller: C. G. Conn Limited  
 Type und Nr.: 26 M Nr. 269 282  
 Mundstück: Conn Stealay Nr. 5  
 Stimmeinrichtung auf Mittelstellung  
 Spieler: L. E. Waddington  
 Zimmertemperatur: 22° C  
 Tage: 10.—23. September 1940  
 Testanzahl: 5

Fig. 1 Average intonation of an alto saxophone in Eb  
 Maker: C. G. Conn Limited  
 Model and Number: 26M No. 269 282  
 Mouthpiece: Conn Stealay No. 5  
 Tuning device at medium position.  
 Player: L. E. Waddington  
 Room temperature: 22°C  
 Dates: 10-23 September 1940  
 Number of trials: 5

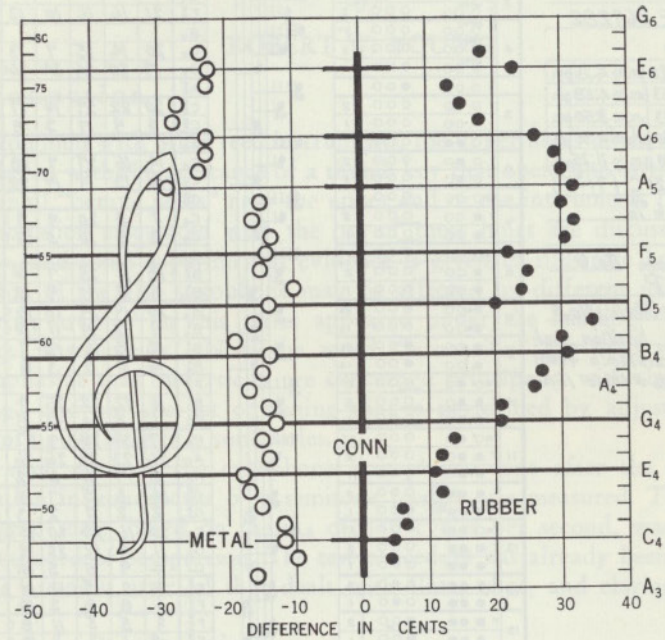


Abb. 2. Einfluß des Mundstückes auf die Innenstimmung eines Alt-Saxophons: Metallmundstück Otto Link Nr. 4\* BB 37 und Gummimundstück Otto Link 9364 Nr. 4 im Vergleich mit dem Conn Stealay Nr. 5 Mundstück.

Fig. 2 Differences in intonation of an alto saxophone resulting from use of the Otto Link No. 4\* BB37 metal and Otto Link 9364 No. 4 rubber mouthpieces, in comparison with a Conn Stealay No. 5 mouthpiece.



SAXOPHONE TEST

Musician L.E. Waddington No. \_\_\_\_\_

Make Conn  
 Model 26 M  
 Serial Number E 269282  
 Date \_\_\_\_\_ Time \_\_\_\_\_

10 Sep 40 4:20 pm to 4:25 pm  
 12 " " 4:53 pm to 4:58 pm  
 17 " " 3:43 pm to 3:50 pm  
 18 " " 4:30 pm to 4:35 pm  
 23 " " 11:20 am to 11:25 am

Temperature 22°C (71°F)  
 Humidity 36%  
 Loudness \_\_\_\_\_

Chromatic Stroboscope 16.6  
 Observer NCP

Mouthpiece Conn Stealy No. 5

Tuning Device in position such that distance from mouthpiece to #1 hole 11 mm.

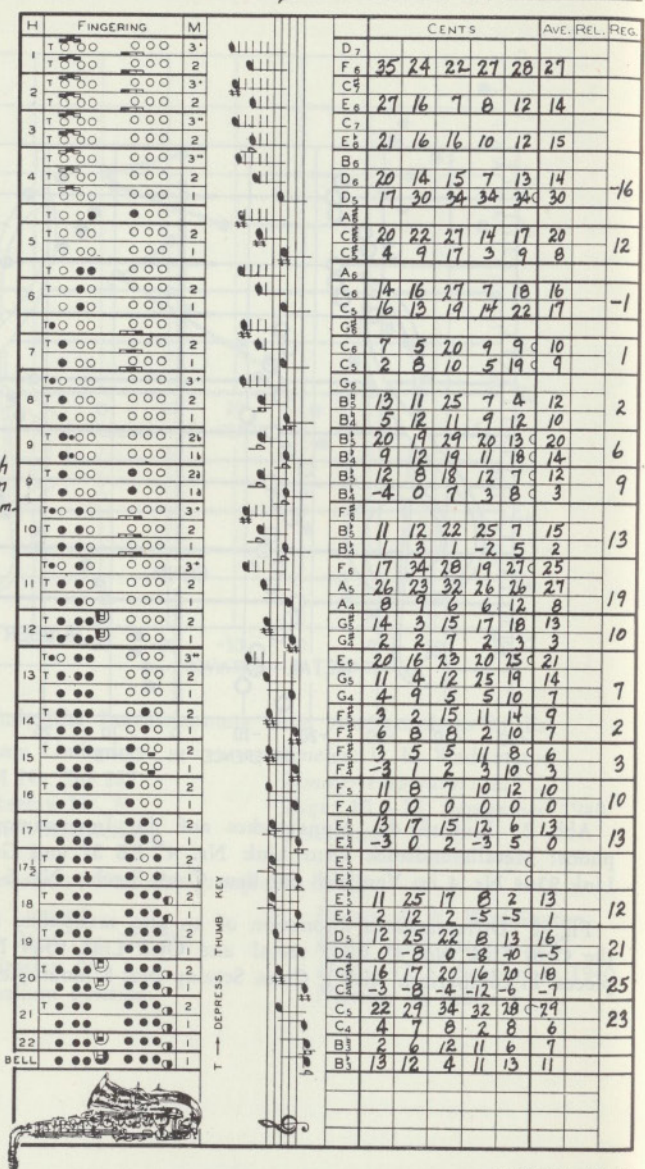


Abb. 3 Beispiel des Formulars zur Eintragung der einzelnen Stimmungsmessungen des Saxophons und zur Errechnung der durchschnittlichen Stimmung und der „Register“-Differenzen  
 Fig. 3 Form used for recording the individual measurements of intonation of a saxophone, the average intonation, and the differences called "length of register".

Intonation of Musical Instruments

IV

The Alto Saxophone

by

ROBERT W. YOUNG

Introduction

In common with other reed instruments, the upper notes of the saxophone are played with the assistance of a thumb key that opens one or the other of two small "octave holes" near the upper end of the instrument. Difficulties of intonation associated with the use of these holes are discussed in this article, and some experimental evidence is given to illustrate how the intonation of the alto saxophone may be affected by different mouthpieces.

Earlier articles<sup>1</sup> in this series appeared under the heading "Tuning of Musical Instruments." Now the word "intonation" has been substituted, to emphasize that the articles are concerned principally with the "internal tuning" and not the act of tuning that is performed by adjusting string tension or by changing tone holes.

As each note on the saxophone was played, one after the other, the deviation in hundredths of a semitone (cents) was measured. The equally tempered scale, based on the A<sub>4</sub> of 440 cycles per second, was taken as the standard of comparison. The test procedure has already been described in the previous articles<sup>1</sup> that dealt with flute, oboe, and clarinet.

Graph of Intonation

The intonation of the saxophone is shown in Fig. 1, where the vertical position of a plotted point indicates which note (as written for the instrument) was tested and the horizontal position shows how sharp or flat the note was. Details of the conditions of test appear under the figure.

According to Fig. 1, the note A<sub>5</sub> was 27 cents sharp, in comparison with the standard, and nearly 15 cents sharper than nearby notes. One may wonder why the maker did not lower the intonation of A<sub>5</sub> by making the appropriate hole in the saxophone smaller or by placing it lower on the instrument. It must be remembered, however, that (with the addition of the octave key) the note A<sub>5</sub> is fingered the same as the note A<sub>4</sub> an octave lower, and that the intonation of both notes would be lowered by a change in the tone hole.

<sup>1</sup> ROBERT W. YOUNG, Gravesaner Blätter 7/8, 87-91 (1957), 9, 111-119 (1957) und 11/12, 174-186 (1958).



Errors in "internal tuning" become more evident if one plots the differences in intonation of notes that are nominally an octave apart. This has been done in the small graph at the upper left of Fig. 1. For example,  $A_5$  was relatively sharper than  $A_4$  by 19 cents, so the point in the "difference" graph is plotted + 19 on the line for  $A_5$ . Similarly, the graph shows that the interval from  $D_4$  to  $D_5$  was 21 cents greater than a mathematically exact octave.

On modern saxophones there is only one octave key to be depressed by the thumb when the higher notes are to be played, but either of two octave holes is opened thereby: the mechanism is such that if the key is depressed by the third finger of the left hand the lower octave hole is open, otherwise the upper one is open. Consequently the notes  $D_5$  to  $G\sharp_5$  are played by use of the lower octave hole and the notes  $A_5$  and above are played by use of the upper hole. The differences plotted at the left in Fig. 1 have likewise been connected into two groups, corresponding respectively to the lower and upper octave holes.

The function of an "octave" hole is to cause a velocity antinode to occur in the vicinity of the hole; if the antinode tends to form *either* above or below the hole the resulting note is sharpened somewhat. Thus, in this particular saxophone, the antinode for  $F\sharp_5$  evidently forms near the lower octave hole because the "difference" for this note is nearly zero; notes both above and below  $F\sharp_5$  are relatively sharper than the corresponding notes an octave lower. Similarly, for the notes produced by the help of the upper octave hole, there is a minimum "difference" at  $C_6$ . The differences are greater for notes both below and above this note; the difference is greatest for  $A_6$  at the bottom of the group because its antinode is most distant from its octave hole.

### Effect of Mouthpiece

As a step toward finding how the intonation may be affected by the mouthpiece, measurements were made with five different mouthpieces on each of five different days, the player, saxophone, and reed being the same in all cases. The measurements for the mouthpiece of the kind normally furnished with the saxophone were taken as the basis for comparison. Figure 2 thus shows how the intonation with the Link metal and rubber mouthpiece differed from the intonation with the Conn mouthpiece. Notice that *differences* in intonation are plotted in this figure and not deviations from the respective notes of the standard equally tempered scale.

This saxophone was equipped with a tuning device having a shoulder against which all mouthpieces were pushed. The tuning device was not changed during this series of tests.

In general terms, an enlarged cavity in a mouthpiece lowers the intonation, whereas a reduced cavity raises the intonation. This fact is pertinent to the usual method of tuning a saxophone by moving the mouthpiece on the end of the mouthpipe, because not only is the length of the instrument changed thereby but also the effective cavity within the mouthpiece is changed.

It is evident from Fig. 2 that the Link rubber mouthpiece was relatively small inside, whereas the metal mouthpiece (also made by Link) must have been relatively large. It is easy to understand how a player using the metal mouthpiece might say that a given saxophone was flat, whereas a user of the rubber mouthpiece might contend that the same saxophone was sharp! The difference in intonation between these two Link mouthpieces is quite significant — on the order of 50 cents in the upper register.

It is worth noting in Fig. 2 that, relative to the Conn mouthpiece, the Link metal mouthpiece lowered most notes (except the extreme upper ones) by roughly 15 cents; that is, the internal intonation was not changed since all notes were lowered about the same amount. In the case of the rubber mouthpiece, however, there was a progressive sharpening, with a discontinuity between the registers (that is, between  $C_5\sharp$  and  $D_6$ ): the internal tuning was changed. The lays of all mouthpieces were of similar shape, but not exactly the same. Some of the differences in intonation may therefore be due to differences in lay, as well as to the shape of the inside cavities.

The other mouthpieces included in this test were a Brillhart No. 3\*464 and a Gregory Model A No. 4A-16. The intonation with the first was almost the same as with the Conn Steelay No. 5 mouthpiece, whereas the latter yielded intonation very similar to the Link rubber mouthpiece.

### Record of tests

The intonation of a wind instrument is not the same each time it is played, so it is necessary to record the results of a number of trials before the average result can be plotted. Also, some notes can be fingered in several ways: measurements were made with 13 fingerings in addition to the 32 used for Fig. 1. Such records can be kept conveniently in the form shown in Fig. 3. In this form the notes are grouped according to the tone holes primarily responsible for their intonation; the numbers of the holes appear in the column headed *H*. The fingering chart shows exactly which keys are to be depressed to play the notes indicated. For example, the large hole that primarily determines the intonation of  $F_5$  is No. 16; this note is played by depressing the thumb key *T*, the three keys for the left hand and the key for the index finger of the right hand. The *M* at the head of the next column means "mode of vibration."



The average of the five individual measurements on  $F_5$  was 10 and this number is entered in the *Ave* column. The corresponding average for the note an octave lower,  $F_4$ , was 0. The difference between the two is therefore 10 cents and this value is entered in the column headed *Reg.* This is an abbreviation for *length of register*, the amount by which the intonation in the upper register exceeds the nominal interval of an octave between the upper and lower registers. This column affords a convenient place to compute the differences that are the first indications of the internal tuning. The column headed *Rel.* is available when the intonation is to be calculated *relative* to some other scale than the customary equally tempered scale based on the A of 440 cycles per second.

For certain notes, semi-circles in Fig. 3 just to the left of the *average*, column identify fingerings that are less commonly used. Ordinarily these results are omitted for simplicity from the graph such as Fig. 1. The results are, however, available when it is necessary to know about the intonation with these alternate fingerings.

For this series of tests on five mouthpieces 1125 individual measurements of intonation were made; the 225 of them for one mouthpiece are recorded in Fig. 3. The repetition of tests is necessary for those notes that are not played consistently; there are instances where the spread is as great as 20 cents. Perhaps of passing interest is the fact that the average time for making and writing down the 45 measured cents in a group was a little over 5 minutes — about 7 seconds per measurement.

### Conclusion

The measurements of the intonation of an alto saxophone here described indicate how the intervals between the playing ranges are distorted slightly by the octave holes. The distortion can be reduced by the use of more than two octave holes, but at the expense of more complicated mechanism or finger motion.

The intonation of an alto saxophone can be markedly affected by the mouthpiece used with it. A mouthpiece having a large cavity lowers the intonation, whereas one with a small cavity raises the intonation. The effect is not necessarily uniform throughout the playing range of the instrument, and the mouthpiece can be selected to correct (or make worse!) some errors in intonation.

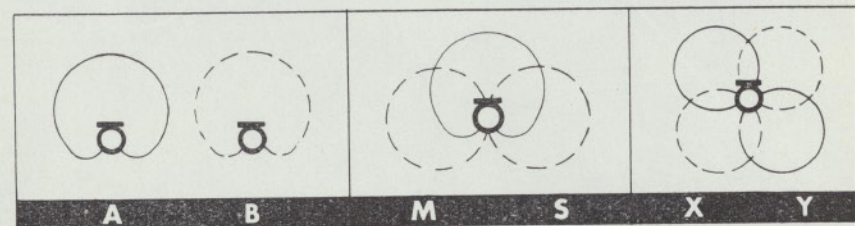
\*

It is a pleasure to acknowledge the permission of C. G. Conn Limited to publish the measurements of intonation here described.



# STEREO

## Stereo in Studios



Wir liefern komplette Anlagen vom  
Kondensator-Mikrophon bis zum Magnetongerät *Magnetophon*  
in ausgereiften Regieanordnungen

We supply complete equipment  
from Condenser Microphones to Tape Recorders *Magnetophon*  
in approved Control Systems

# TELEFUNKEN

G. M. B. H.

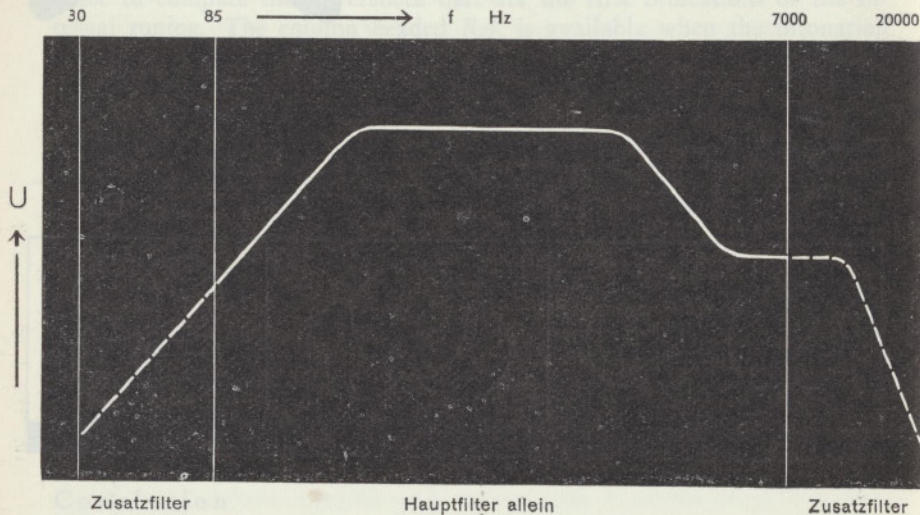
Fachgebiet Elektroakustik





**ALBISWERK  
ZÜRICH A.G.**

Beliebiger Frequenzverlauf  
akustischer Übertragungen



Zusatzfilter

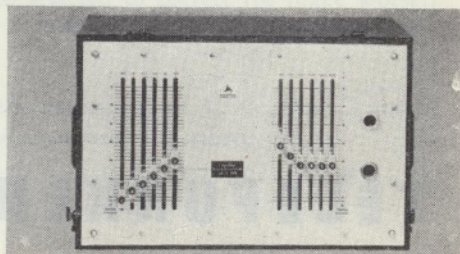
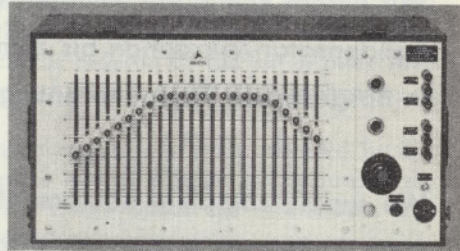
Hauptfilter allein

Zusatzfilter

mit dem variablen ALBIS  
Tonfrequenzfilter.

Dieses wird bei vielen Radio- und TV-Studios, in Forschungsabteilungen, Lehranstalten und Betrieben, sowie in Kliniken des In- und Auslandes verwendet.

Oberes Bild: Hauptfilter  
Unteres Bild: Zusatzfilter

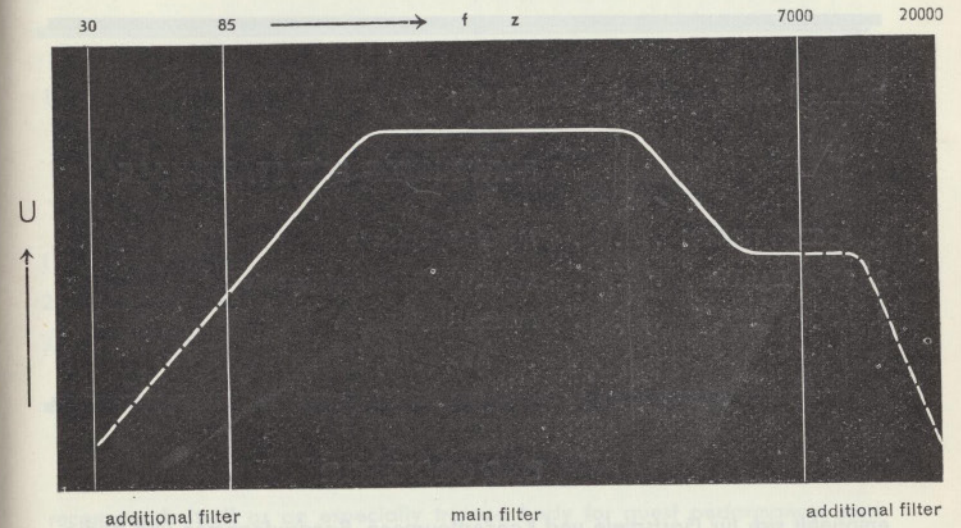


ALBISWERK ZÜRICH A.G.  
ZÜRICH 9/47 SCHWEIZ



**ALBISWERK  
ZÜRICH S.A.**

You may obtain any desired  
frequency characteristic in  
acoustical transmission



additional filter

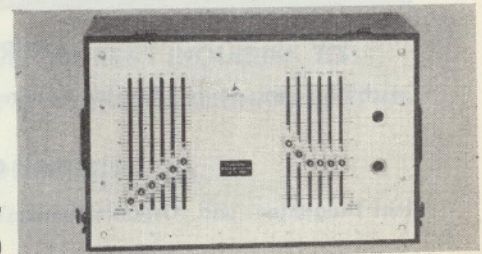
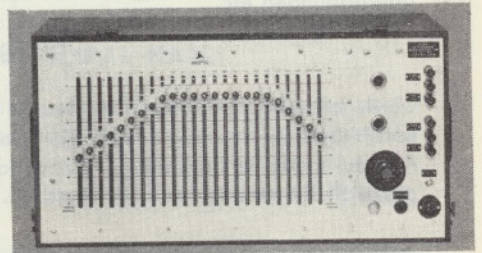
main filter

additional filter

with the variable ALBIS  
voice-frequency filter.

The variable ALBIS voice-frequency filter is used in many Radio- and TV-Studios, in several research laboratories, institutes and factories, as well as in clinics in Switzerland and abroad.

Top: main filter  
Bottom: additional filter



ALBISWERK ZÜRICH S.A.  
ZÜRICH 9/47 SWITZERLAND



**NORDWESTDEUTSCHE PHILHARMONIE  
HERFORD / WESTFALEN  
RATHAUS**

**C H E F D I R I G E N T : H E R M A N N S C H E R C H E N**

---

Dienstag, den 3. November 1959, 20 Uhr

**EINWEIHUNG DER STADTHALLE**

1. JOSEPH HAYDN . . . . . Militär-Symphonie
  2. BELA BARTOK . . . . . Musik für Saiteninstrumente
  3. MAX REGER . . . . . Mozart-Variationen
- 

**DAS ORCHESTER**

empfiehlt sich für Gastspiele und Konzerttourneen, Bandaufnahmen und Radioübertragungen etc.

**DIE STADTHALLE**

wurde akustisch entwickelt. Sie besitzt vierfach variable Akustik, direkte Vorhangsabdämpfungsmöglichkeit, variabel gestaltete Flächen für den Orchester-Aufbau, moderne Proberäume mit variabler Akustik und bequem eingerichtete große Studiermöglichkeiten für Solisten.

---

**ANFRAGEN ZU RICHTEN:**

Geschäftsleitung der Nordwestdeutschen Philharmonie, Rathaus, Herford in Westf.

**DAS ORCHESTER**

steht Dirigenten und Organisationen etc. für Engagements zur Verfügung.

**NORTHWEST GERMAN PHILHARMONIC  
HERFORD / WESTFALEN  
RATHAUS**

**C H I E F C O N D U C T O R : H E R M A N N S C H E R C H E N**

---

Tuesday, November 3, 1959, 8:00 P. M.

**INAUGURATION  
OF THE CONCERT HALL**

1. JOSEPH HAYDN . . . . . Military Symphony
  2. BELA BARTOK . . . . . Music for Stringed Instruments
  3. MAX REGER . . . . . Mozart Variations
- 

**THE ORCHESTRA**

recommends itself as an especially trained body for guest performances and concert tours, as well as for magnetic tape recordings, radio broadcasts, etc.

**THE MUNICIPAL HALL**

has been further developed acoustically. It possesses four-fold variable acoustics, possibility for direct damping of the concert stage by means of a curtain, variable stage levels for every kind of orchestral makeup, modern rehearsal hall (also with variable acoustics), and large, comfortably equipped practice rooms for soloists.

---

**PLEASE ADDRESS INQUIRIES TO:**

Geschäftsleitung der Nordwestdeutschen Philharmonie, Rathaus, Herford in Westf.

**THE ORCHESTRA**

may be engaged by conductors, organizations, etc.



**NORDWESTDEUTSCHE PHILHARMONIE  
HERFORD / WESTFALEN  
RATHAUS**

**C H E F D I R I G E N T : H E R M A N N S C H E R C H E N**

---

Dienstag, den 3. November 1959, 22 Uhr

**ERÖFFNUNG  
DES ELEKTROAKUSTISCHEN  
AUFNAHMESTUDIOS**

Das Aufnahmestudio ist ausgerüstet mit: je einer Stereo- und Monaural M 5 Telefunken / 10 Mikrofonen M 49 b Neumann (Niere, Achter und Kugel) und 3-kanaligem Mischpult (16 Vorverstärker Lurf, Wien), (auch monaural anwendbar).

Unter dem Aufnahmestudio (großes Sichtfenster auf das Orchesterpodium) befindet sich ein ebenfalls mit Sichtfenster versehener Parallel-Raum für gleichzeitig stattfindende Getrennt-Aufnahmen von Solisten und Chor.

Dem Aufnahmestudio ist ein Technik-Raum angegliedert zum Kopieren, Überspielen etc.

Daran anschließend folgt ein elektroakustisches Studio, das Interessenten Gelegenheit bieten soll, kompositorische und technisch-wissenschaftliche Arbeiten durchzuführen.

Ein großer „hart“ gemachter Steinkeller (4 Stützpfeiler zur Schalldiffusion) dient als Hallraum (ebenfalls mit variabler Akustik); diesem kann ein zweiter kleinerer Hallraum so angeschlossen werden, daß ein spektrumwandelndes „akustisches Gedächtnis“ entsteht.

---

**ANFRAGEN ZU RICHTEN:**

Geschäftsleitung der Nordwestdeutschen Philharmonie, Rathaus, Herford in Westf.

**DAS AUFNAHMESTUDIO**

steht mit seinem gesamten Inventar für Direktaufnahmen, Übertragungen, Synchronisierungen etc. zur Verfügung.

**NORTHWEST GERMAN PHILHARMONIC  
HERFORD / WESTFALEN  
RATHAUS**

**C H I E F C O N D U C T O R : H E R M A N N S C H E R C H E N**

---

Tuesday, November 3, 1959, 10:00 P. M.

**OPENING  
OF THE ELEKTRO-ACOUSTIC  
RECORDING STUDIO**

The recording studio is equipped with: a stereo and monaural Telefunken tape-recorder / 10 microphones M 49 b Neumann (in 3 directional characteristic) and 3-channel control table (16 preamplifiers, Lurf, Vienna) also usable monaurally.

Under the recording studio (with a large window looking out onto the stage) there is a large room (also with such a window) for simultaneous but separated recordings by soloists or chorus.

A control room is connected to the recording studio for copying, playback, etc. Connecting with this room is an electro-acoustic studio where those interested composers and technicians may obtain permission to work.

A large, solid, stone cellar (with supporting pillars that diffuse the sound, and likewise with variable acoustics) serves as a reverberation chamber. A second, smaller reverberation chamber can be connected with the first to obtain an "acoustical memory" with an altered sound spectrum.

---

**INQUIRIES MAY BE ADDRESSED TO:**

Geschäftsleitung der Nordwestdeutschen Philharmonie, Rathaus, Herford in Westf.

**THE RECORDING STUDIO,**

with its complete equipment, can be engaged for direct recordings, broadcasts etc.



## VOLLMER MAGNETTON

### PROFESSIONELLE SPEZIALMASCHINEN

für Rundfunksender, Theater, Filmvertonung, Schallplattenfabriken, Kopieranstalten, Elektronische Musikstudios, Tonstudios, Wissenschaftliche Zwecke, Digitale und frequenzmodulierte Meßwertsspeicherung.

Vollmer Magnettonmaschinen bewähren sich bereits im zweiten Jahrzehnt hundertfach bei Rundfunk des In- und Auslandes bei robustem Dauerbetrieb an exponierten Stellen und oft unter ungünstigsten klimatischen Bedingungen.

## VOLLMER MAGNETTON

### PROFESSIONAL MACHINES

for radio stations, theater, film sound tracking, record factories, copying agencies, electro-acoustic studios, sound studios, scientific purposes, digital and frequency modulated measurement storers.

Vollmer tape recorders have proven themselves over two decades in hundreds of radio stations in this country and abroad under the severest tests often in unfavorable climactic conditions.

## BERNHARD VOLLMER

### TECHNISCH-PHYSIKALISCHE WERKSTÄTTEN

ERSTE DEUTSCHE SPEZIALFABRIK FÜR MAGNETBANDGERÄTE  
PLOCHINGEN AM NECKAR

## RADIOTECHNISCHES LABORATORIUM

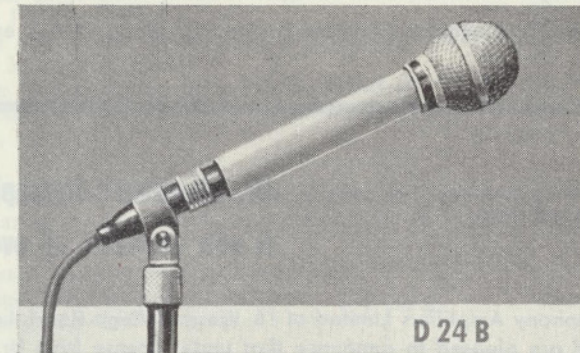
## HANS LURF

WIEN 1

REICHSRATSSTRASSE 17

TELEFON 33 21 69

IN ALLER WELT - FÜR JEDEN FALL



## MIKROFONE

FÜR:

RUNDFUNK · FERNSEHEN · TONFILM

ELA ·

TONBANDGERÄTE · STEREO-MIKROFONE



## AKUSTISCHE- u. KINO-GERÄTE GMBH

MÜNCHEN 15 · SONNENSTR. 20 · TELEFON 555545 · FS 0523626



**Dr. Scherchen's Stereophoner  
jetzt in der ganzen Welt verfügbar!**

Symphony Amplifiers Limited in Kings College Road, London, N. W. 3, England, haben das Vergnügen bekannt zu geben, daß sie jetzt die volle Produktion des Stereophoners bzw. Spektrophon unter Lizenz von Dr. Scherchen aufgenommen haben. Das Verfahren gibt Stereophonie von allen monauralen Quellen. Der Stereophoner ist in einem attraktiven Metallgehäuse eingebaut; Maße: 9×9×9 cm mit Gleichgewichts-Kontrolle an der Vorderseite.

Der Preis im U. K. ist £ 4.19.6 plus Porto 2/6 d, auf dem Kontinent £ 5.10.0 oder 15 Dollar inclusive Porto; Luftpost extra, wenn gewünscht.

Sofortiger Versand durch Paketpost wird nach jedem Teil der Welt garantiert.

Illustrierte Broschüre ist unter Erwähnung dieses Heftes erhältlich.

**Dr. Scherchen's Stereophoner  
is now available all over the world!**

Symphony Amplifiers Limited of 16, Kings College Road, London, N. W. 3, England are pleased to announce that under license from Dr. Scherchen they are now in full production with the Stereophoner (Spectrophon) — the device which gives stereophonic sound from any monophonic (monaural) source.

It is housed in an attractively styled metal box measuring 3½" by 3½" by 3½" with Balance Control on the front.

The price in the U. K. is £ 4.19.6 plus postage 2/6 d.

Overseas it is £ 5.10.0 (or equivalent) post paid. (Air Mail extra if required).

Immediate despatch by parcel post anywhere in the world guaranteed!

Illustrated leaflet available on mentioning this magazine.

**Formelzeichen der Akustik**

(nach dem Entwurf DIN 1332 des AEF — Ausschusses für Einheiten und Formelgrößen — vom November 1953)

**1. Einheiten**

In der Akustik wird überwiegend noch das cgs-System verwendet. In der neuesten Zeit bemüht man sich jedoch (besonders in der Elektromechanik), das Giorgische MKS-System einzuführen.

Es ist:

1 Newton (N)	= 10 <sup>5</sup> dyn	$\frac{\text{Nm}}{\text{s}}$
1 Watt	= 10 <sup>7</sup> erg/s	= 1 $\frac{\text{Nm}}{\text{s}}$
1 Newton/m <sup>2</sup>	= 10 $\mu$ bar	
1 Newton s/m <sup>3</sup>	= 0,1 Rayl	

**2. Widerstände**

Die drei Widerstände (Impedanzen  $w, W, Z$ ) werden durch verschiedene Buchstaben bezeichnet, da sie von verschiedener Dimension sind. Ihr Real- und ihr Imaginärteil können durch Indizes (r, i; 1, 2) oder durch die Vorsätze Re und Im gekennzeichnet werden.

**3. Größenverhältnisse**

Eine Größe, die als das Verhältnis zweier dimensionsgleicher Größen definiert ist, wird bezeichnet als

-faktor, wenn Zähler und Nenner (lineare) Amplituden sind

(II. Nr. 28, 34; III. Nr. 1, 3),

-grad, wenn Zähler und Nenner quadratische Energiegrößen sind

(II. Nr. 35, 36, 37, 39; III. Nr. 2).

Die Logarithmen dieser Größen werden als -maße bezeichnet (II. Nr. 38; III. Nr. 6).

Auf die Zeiteinheit oder die Längeneinheit bezogene Exponenten heißen Konstanten (I. Nr. 23; II. Nr. 15, 16, 17).

**4. Richtfaktor**

Er ist definiert als das Verhältnis des Schalldruckes  $p$  (oder der Spannung  $u$ ) unter einem Winkel  $\varphi$  zu dem maximalen Schalldruck  $p_0$  (oder zu der maximalen Spannung  $u_0$ ), z. B. in der Hauptachse:  $I' = p/p_0$  oder  $= u/u_0$ .

Beispiel: ungerichteter Wandler nullter Ordnung  $I' = 1$

achtförmige Richtwirkung  $I'_s = \cos \varphi$   $1 + \cos \varphi$

kardioidenförmige Richtwirkung  $I'_\omega = \frac{1}{2}$

**5. Schallenergie-Bündelung**

Die Leistungsbündelung  $\gamma$  ist das Verhältnis der Schallstärke (oder der Intensität), die ein ungerichteter Sender (oder Empfänger) mit der Maximalempfindlichkeit des gerichteten Senders (oder Empfängers) in seiner Hauptachse nach (oder aus) allen Seiten gleichmäßig strahlen (oder aufnehmen) würde, zu der Schallstärke (oder Intensität), die der gerichtete Sender (oder Empfänger) tatsächlich in den Raum abstrahlt (oder aufnimmt, z. B. aus einem diffusen Schallfeld). Die Leistungsbündelung läßt sich ausdrücken als das Verhältnis einer hinreichend großen (im Fernfeld liegenden) Kugeloberfläche zu dem Integral des Quadrates des Richtfaktors  $I'$  über diese Kugeloberfläche  $S$ :

$$\gamma = \frac{S}{\int I'^2 dS}$$

Beispiel: ungerichteter Druckempfänger oder

atmende Kugel	$\gamma_0 = 1$
achtförmige Richtwirkung	$\gamma_s = 6$
kardioidenförmige Richtwirkung	$\gamma_\omega = 3$



6. Weitere Benennungen und Definitionen s. DIN 1320.

7. Logarithmenpapiere

Zur Darstellung akustischer Messungen empfiehlt der AEF 4 Logarithmen- und 2 Polarkoordinatenpapiere. Einzelheiten hierüber s. DIN . . . . .

\* \* \*

I. Mechanische Größen — Mechanical Units

Nr. No.	Benennung Description	Formelzeichen Symbol	übliche cgs-Einheit Usual cgs Unit	MKS-(Giorgi-) System
1	Ortskoordinaten Coordinates Coordonnées	$x, y, z (r)$	cm	m
2	Ausschlag (s. II. Nr. 5) Elongation Elongation	$\xi, \eta, \zeta$	cm	m
3	Beschleunigung Acceleration Accélération	$a: a_x, a_y, a_z$	$\frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
4	Fläche Surface, area Surface, aire	$S (A)$	cm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
5	Volumen Volume Volume	$V$	cm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
6	Zeit Time Temps	$t$	s	s
7	Frequenz Frequency Fréquence	$f (v)$	Hz = $\frac{1}{\text{s}}$	Hz = $\frac{1}{\text{s}}$
8	Kreisfrequenz Angular frequency Pulsation	$\omega$		
9	Kraft Force Force	$F (K)$	dyn = $\frac{\text{g} \cdot \text{cm}}{\text{s}^2}$	$\text{N} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$ (Newton)
10	Normalspannung Normal stress Tension mécanique	$\sigma$	$\frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2}$	$\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$
11	Schubspannung Shear stress Tension de cisaillement	$\tau$	$\frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2}$	$\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

Nr. No.	Benennung Description	Formelzeichen Symbol	übliche cgs-Einheit Usual cgs Unit	MKS-(Giorgi-) System
12	Dehnung ( $\Delta l/l$ ) Strain Allongement	$\epsilon$	—	—
13	Elastizitätsmodul <sup>2)</sup> Young's modulus Module d'élasticité	$\frac{E}{E = E(1 + j \eta)}$	$\frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2}$	$\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$
14	Verlustfaktor Loss factor Facteur de perte	$\eta = \text{tg } \delta^3)$	—	—
15	Schub- u. Gleitmodul Shearing modulus Module de cisaillement	$G (F) (E_g)$	$\frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2}$	$\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$
16	Poissonsche Zahl Poisson ratio Coefficient de Poisson	$\mu (\sigma)$	—	—
17	Masse Mass Masse	$m$	g	kg
18	Dichte Density Densité	$\rho$	$\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
19	Steifigkeit Stiffness Raideur	$s$	$\frac{\text{dyn}}{\text{cm}}$	$\frac{\text{N}}{\text{m}}$
20	Reibungswiderstand $Re \left(\frac{F}{v}\right)$ Resistance of friction Résistance de frottement	$r (w_r)$	$\frac{\text{g}}{\text{s}}$ (mech. Ohm)	$\frac{\text{N}}{\text{m/s}}$
21	Mechanische Impedanz ( $F/v$ ) Mechanical impedance Impédance mécanique (s. II. 21)	$w (Z_m)$	$\frac{\text{g}}{\text{s}}$ (mech. Ohm)	$\frac{\text{N}}{\text{m/s}}$
22	Mechanischer Kennwiderstand $\sqrt{ms}$ Mechanical image impedance Impédance caractéristique mécanique	$w_o$	$\frac{\text{g}}{\text{s}}$ (mech. Ohm)	$\frac{\text{N}}{\text{m/s}}$
23	Abklingkonstante <sup>4)</sup> $r/(2m)$ Damping coefficient Facteur d'amortissement	$\delta$	$\frac{1}{\text{s}}$	$\frac{1}{\text{s}}$

<sup>2)</sup> Volum-Elastizitätsmodul  $E_v = -p \frac{V}{\Delta V} = \frac{1}{\text{adiab. Kompressibilität } K}$

<sup>3)</sup>  $\delta$  Phasenwinkel zwischen Verformung und Kraft, siehe I. Nr. 25 <sup>4)</sup>  $\xi = \xi_0 e^{-\delta t}$



Nr. No.	Benennung Description	Formelzeichen Symbol	übliche cgs-Einheit Usual cgs Unit	MKS-(Giorgi-) System
24	Logarithmisches Dekrement <sup>5)</sup> Logarithmic decrement Décément logarithmique	$A$	—	—
25	Resonanzschärfe <sup>6)</sup> Quality Qualité d'un système vibrant	$Q (\theta)$	—	—
26	Kinetische Energie Cinetic energy Energie cinétique	$T$	erg	Nm = Joule
27	Potentielle Energie Potential energy Energie potentielle	$U$	erg	Nm
28	Flächenträgheitsmoment $\int r^2 dS$ Polarmoment of inertia Moment d'inertie géométrique	$I (J) (S)$	cm <sup>4</sup>	m <sup>4</sup>
29	Massenträgheitsmoment $\int r^2 dm$ Mass-moment of inertia Moment d'inertie de masse	$J (\theta)$	g cm <sup>2</sup>	kg m <sup>2</sup>
30	Moment einer Kraft Moment of force Moment de force	$M$	dyn cm	Nm
31	Direktionsmoment (Rückstellmoment) Directional couple Force rétrograde	$D$	$\frac{g \text{ cm}^2}{s^2 1^0}$	$\frac{kg \text{ m}^2}{s^2 1^0}$

## II. Akustische Größen — Acoustical Units

Nr. No.	Benennung Description	Formelzeichen Symbol	übliche cgs-Einheit Usual cgs Unit	MKS-(Giorgi-) System
1	Schalldruck Sound pressure Pression acoustique	$p$	$\mu\text{bar} = \text{dyn/cm}^2$	$\frac{N}{m^2}$
2	Atmosphärischer Druck Atmospheric pressure (static pressure) Pression atmosphérique	$p_a (p_s)$	bar	$\frac{N}{m^2}$

$$^5) A = \ln \frac{\xi_n}{\xi_n + 1} = \delta T = 2\pi \frac{\delta}{\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}} = \frac{\pi r}{\sqrt{m s}}$$

$$^6) Q = \frac{\sqrt{m s}}{r}$$

Nr. No.	Benennung Description	Formelzeichen Symbol	übliche cgs-Einheit Usual cgs Unit	MKS-(Giorgi-) System
3	Schallstrahlungsdruck Acoustic radiation pressure Pression de rayonnement	$II$	$\mu\text{bar}$	$\frac{N}{m^2}$
4	Schallgeschwindigkeit Velocity of sound Vitesse du son	$c$	$\frac{cm}{s}$	$\frac{m}{s}$
5	Schallausschlag Particle displacement Elongation acoustique	$\xi, \eta, \zeta$	cm	m
6	Schallschnelle Sound particle velocity Vitesse d'une particule	$v, v_x, v_y, v_z, \dot{\xi}, \dot{\eta}, \dot{\zeta}$	$\frac{cm}{s}$	$\frac{m}{s}$
7	Schallfluß <sup>7)</sup> $v \cdot S$ Volume velocity Flux acoustique	$q (U)$	$\frac{cm^3}{s}$	$\frac{m^3}{s}$
8	Verschiebungsvolumen Volume displacement Volume déplacé	$\Delta V$	cm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
9	Ergiebigkeit einer Schallquelle <sup>8)</sup> Strength of sound source Puissance de la source sonore	$A$	$\frac{cm^3}{s}$	$\frac{m^3}{s}$
10	Potential der Schallschnelle <sup>9)</sup> Velocity potential Potential de vitesse	$\phi (\varphi)$	$\frac{cm^2}{s}$	$\frac{m^2}{s}$
11	Schalleistung Acoustic power Puissance acoustique	$P (N)$	$\frac{erg}{s}$	$\frac{Joule}{s}$
12	Schallstärke Sound intensity (sound energy, flux-density) Intensité acoustique	$J (I)$	$\frac{erg}{cm^2 s}$	$\frac{Joule}{m^2 s}$
13	Schalldichte Sound energy density Densité d'énergie acoustique	$E$	$\frac{erg}{cm^3}$	$\frac{Joule}{m^3}$
14	Verhältnis der spez. Wärmen ( $c_p/c_v$ ) Ratio of specific heats Rapport des chaleurs spécifiques	$x (\gamma)$	—	—

<sup>7)</sup> In eindimensionalen Schallfeldern. Das CCIF schreibt  $q$ .

<sup>8)</sup> Bei Kugelstrahlern vom Radius  $R$  ist die Ergiebigkeit  $A = q/(1 + jkR)$ .

<sup>9)</sup>  $v = + \text{grad } \phi$ ;  $p = - \rho \frac{\delta \phi}{\delta t}$



Nr. No.	Benennung Description	Formelzeichen Symbol	übliche cgs-Einheit Usual cgs Unit	MKS- (Giorgi-) System
15	Dämpfungskonstante <sup>10)</sup> Attenuation coefficient Coefficient d'atténuation	$a$	$\frac{1}{\text{cm}}$	$\frac{\text{N s}}{\text{m}}$
16	Phasenkonstante (Kreiswellenzahl) Phase coefficient (circular wave number $k = 2\pi/\lambda$ ) Coefficient de déphasage	$\beta (k)$	$\frac{1}{\text{cm}}$	$\frac{1}{\text{m}}$
17	Ausbreitungskonstante <sup>11)</sup> Propagation constant Coefficient de propagation	$\gamma$	$\frac{1}{\text{cm}}$	$\frac{1}{\text{m}}$
18	Wellenlänge Wave length Longueur d'onde	$\lambda$	cm	m
19	Spez. Schallwiderstand (Impedanz, $p/v$ ) <sup>12)</sup> Specific acoustical impedance Impédance acoustique spécifique	$W (Z)$	$1 \mu\text{bar} / \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ (Rayl)	$\frac{\text{N s}}{\text{m}^3}$
20	Akust. Widerstand (Impedanz, $p/q$ ) <sup>12)</sup> Acoustical impedance Impédance acoustique	$Z$	$\mu\text{bar} / \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$ (ak. Ohm)	$\frac{\text{N s}}{\text{m}^5}$
21	Mech. Impedanz ( $F/v$ ) <sup>12)</sup> s. I. Nr. 21 Mechanical impedance Impédance mécanique	$w (Z_m)$	$\text{dyn} / \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ (mech. Ohm)	$\frac{\text{N s}}{\text{m}}$
22	Schallkennwiderstand ( $c \rho$ ) Characteristic spec. acoustical impedance Impédance caractéristique acoustique	$W_0 (Z_0)$	$\frac{\mu\text{bar}}{\text{cm/sec}} = \text{Rayl}$	$\frac{\text{N s}}{\text{m}^3}$
23	Spez. Strömungswiderstand der Längeneinheit <sup>13)</sup> Flow resistivity Résistance au passage de l'air	$\Xi$	$\frac{\text{Rayl}}{\text{cm}}$	$\frac{\text{N s}}{\text{m}^4}$

$$^{10)} \xi = \xi_0 = e^{-ax}; \xi_L = \xi_0 L e^{-\beta x}; \beta = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda}$$

<sup>11)</sup>  $\gamma = a + j\beta = jk$ ;  $k$  wird besonders häufig bei sehr geringer Dämpfung gebraucht ( $a \approx 0$ )

<sup>12)</sup> Siehe Erläuterungen 2.

$$^{13)} \Xi = - \frac{\Delta p / \Delta x}{v}$$

Nr. No.	Benennung Description	Formelzeichen Symbol	übliche cgs-Einheit Usual cgs Unit	MKS- (Giorgi-) System
24	Porosität Porosity Porosité	$\sigma$	—	—
25	Schallstrahlungsimpedanz $P/v^2$ <sup>14)</sup> Sound radiation impedance Impédance de radiation acoustique	$W_r (Z_r)$	mech. Ohm	$\frac{\text{N s}}{\text{m}}$
26	Schallstrahlungswiderstand <sup>15)</sup> Sound radiation resistance Résistance de radiation acoustique	$\text{Re} (W_r)$	mech. Ohm	$\frac{\text{N s}}{\text{m}}$
27	Schallstrahlungsreaktanz Sound radiation reactance Réactance de radiation acoustique	$\text{Im} (W_r)$	mech. Ohm	$\frac{\text{N s}}{\text{m}}$
28	Richtfaktor $p/p_0$ <sup>16)</sup> Directivity factor (pattern) Facteur de directivité	$I'$	—	—
29	Schalleistungs-Bündelung $(S/\int I^2 ds)$ Sound power concentration Concentration de puissance acoustique	$\gamma$	—	—
30	Lautheit <sup>17)</sup> Loudness Intensité auditive	$N$	sone	sone
31	Lautstärke Loudness level Niveau de force sonore	$A$	phon	phon
32	Schalldruckpegel <sup>18)</sup> Sound pressure level Niveau de pression acoustique	$L$	dB	dB

<sup>14)</sup>  $P$  = komplexe Leistung der Schallquelle

<sup>15)</sup>  $W_r = \text{Re}(W_r) + j \text{Im}(W_r)$ , z. B.  $\text{Re}(W_r) = a \rho c S$ ;  $\text{Im}(W_r) = m_\gamma \omega$

<sup>16)</sup> Richtgrad =  $I'^2 = J/J_0$ ; Richtmaß =  $20 \lg I \text{ db} = 10 \lg (J/J_0) \text{ db}$ ;  
 $\gamma = 1/\text{directional efficiency}$

<sup>17)</sup> Proportional der Zahl der Nervenimpulse in der Zeiteinheit

<sup>18)</sup> Bezogen auf  $2 \cdot 10^{-4} \mu\text{bar}$ . Beispiel: Trittschallpegel



Nr. No.	Benennung Description	Formelzeichen Symbol	übliche cgs-Einheit Usual cgs Unit	MKS- (Giorgi-) System
33	Schallpegeldifferenz <sup>19)</sup> Sound level difference Différence de niveau du son	$\Delta L (D)$	dB	dB
34	Schallreflexionsfaktor $\frac{p_r}{p_0}$ Sound reflection factor Facteur de réflexion du son	$P$	—	—
35	Schallreflexionsgrad ( $J_r/J_0$ ) Reflection coefficient Coefficient de réflexion	$\rho$	—	—
36	Schallabsorptionsgrad ( $1 - \rho$ ) <sup>20)</sup> Absorption coefficient Coefficient d'absorption	$\alpha$	—	—
37	Schalltransmissionsgrad $J_d/J_0$ Sound transmission factor Coefficient de transmission	$\tau$	—	—
38	Schallisolationsmaß <sup>21)</sup> ( $10 \lg 1/\tau$ ) Reduction factor (sound insulation) Mesure d'isolation acoustique	$R$	dB	dB
39	Schalldissipationsgrad <sup>22)</sup> ( $\alpha - \tau$ ) = $\frac{I_0 - (I_r + I_d)}{I_0}$ Sound dissipation coefficient Coefficient de dissipation du son	$\delta$	—	—
40	Nachhallzeit Reverberation time Durée de réverbération	$T$	s	s
41	Schallabsorptionsvermögen ( $\Sigma \alpha S$ ) Absorption of sound Pouvoir absorbant	$A$	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>

<sup>19)</sup>  $\Delta L$  bei verschiedenen Betriebszuständen,  $D$  bei örtlichen Verschiedenheiten

<sup>20)</sup> Früher „Schluckgrad“ (DIN 1320)

<sup>22)</sup> Früher „Verwärmgrad“ (DIN 1320)

### III. Größen der Elektroakustik — Electro-acoustical Units

Nr. No.	Benennung Description	Formelzeichen Symbol	übliche Einheit Usual Unit	MKS- (Giorgi-) System
1	Elektromech. Kopplungs- faktor <sup>23)</sup> $F/i, u/v$ $F/u, i/v$ Electromechanical coupling factor Facteur de couple électromécanique (Impédance de couplage)	$M (H) (\tau)$  $N$	$\frac{\text{dyn Volt}}{\text{Amp cm/s}} \cdot 10^{-7}$  $\frac{\text{dyn Amp}}{\text{Volt cm/s}} \cdot 10^{-7}$	$\frac{\text{N Volt s}}{\text{A m}}$  $\frac{\text{N As}}{\text{V m}}$
2	Wirkungsgrad Efficiency Rendement	$\eta$	—	—
3	Elektroakust. Übertragungsfaktor $u/p$ für Empfänger $p/u$ für Sender <sup>24)</sup> Transmission factor (pressure response) Coefficient de transmission	$B_e (M)$  $B_s (S)$	V/ $\mu$ bar  $\mu$ bar/V	Vm <sup>2</sup> /N  N/m <sup>2</sup> V
4	Übertragungswinkel ( $\sphericalangle B$ ) Transmission angle Angle de transmission	$b$	Grad Degree	Grad Degree
5	Wandlerempfindlichkeit <sup>25)</sup> $u/(p\sqrt{R})$ für Empfänger $p\sqrt{R}/u$ für Sender Transducer sensibility (absolute response) Sensibilité d'un système électroacoustique	$E (S)$	V/ $\mu$ bar $\sqrt{\Omega}$ $\mu$ bar/ $\sqrt{\text{Watt}}$	Vm <sup>2</sup> /N $\sqrt{\Omega}$ N/m <sup>2</sup> $\sqrt{\text{Watt}}$
6	Elektroakust. Übertragungsmaß <sup>26)</sup> ( $20 \log B/B_0$ ) Pressure rating (response level) Mesure de transmission électroacoustique	$G$	— (dB)	— (dB)

<sup>23)</sup>  $i$  = Strom,  $u$  = Spannung

<sup>24)</sup> Früher „Übertragungsmaß“. Für Sender mit Index „s“, für Empfänger mit Index „e“.  $B$  ist jeweils der Quotient aus Ausgangs- und Eingangsgröße.

<sup>25)</sup> Früher „Übertragungsgröße“.

<sup>26)</sup> Für Empfänger  $B_{0e} = 1 \text{ V}/\mu\text{bar}$  oder  $1 \text{ V}/10^{-1} \text{ Nm}^{-2}$ . Für Sender  $B_{0s} = 2 \cdot 10^{-4} \mu\text{bar} / \sqrt{\text{VA}}$  oder  $2 \cdot 10^{-5} \text{ N m}^{-2} / \sqrt{\text{VA}}$



## Acoustical Symbols

(from the German Standard Draft DIN 1332 of the Units and Symbols Committee, November 1953)

### 1. Units

The cgs systems is the one still mainly adopted in acoustics. Of late, attempts are being made (especially in electrical engineering) to introduce the Giorgi or MKS system, as follows:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Newton (N)} &= 10^5 \text{ dyn} \\ 1 \text{ Watt} &= 10^7 \text{ erg/s} = 1 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} \\ 1 \text{ Newton /m}^2 &= 10 \text{ } \mu\text{bar} \\ 1 \text{ Newton s/m}^3 &= 0.1 \text{ Rayl} \end{aligned}$$

### 2. Impedances

The three impedances should be distinguished by different letters  $w$ ,  $W$ ,  $Z$ , as they are of different dimensions. Their real and imaginary components can be indicated by indices  $r$ ,  $i$ , or 1, 2, or by prefixes  $\text{Re}$ ,  $\text{Im}$ .

### 3. Relations of Magnitudes

A magnitude which is defined as a relationship between two magnitudes of the same dimension is termed in German:

“Faktor” if numerator and denominator are (linear) amplitudes

(II. No. 28, 34; III. No. 1, 3),

“Grad” if numerator and denominator are quadratic magnitudes of energy

(II. No. 35, 36, 37, 39; III. No. 2).

The logarithms of these magnitudes are termed “Maß” (II. No. 38; III. No. 6).

Exponents referred to units of time or length are termed “constants” (I. No. 23; II. No. 15, 16, 17).

### 4. Directivity Factor

This is defined as the ratio of the sound pressure  $p$  (or emf  $u$ ) at an angle  $\varphi$  to the maximum sound pressure  $p_0$  (or maximum emf  $u_0$ ), e. g. in the principal axis:

$$I' = \frac{p}{p_0} \text{ or } \frac{u}{u_0}$$

Example: Omnidirectional zero order transducer:  $I' = 1$  Figure-of-eight transducer:  $I'_8 = \cos \varphi$

Cardioid transducer:  $I'_\omega = \frac{1 + \cos \varphi}{2}$

### 5. Sound Energy Concentration

The output concentration  $\gamma$  is the ratio of the intensity which would be emitted (or received) by an omnidirectional emitter (or receiver) of the same maximum sensitivity as the directional emitter (or receiver) to the intensity actually emitted (or received) by the directional emitter (or receiver) into (or from) the room (e. g. from a diffuse sound field). It can be expressed as the ratio of a sufficiently large spherical surface  $S$  to the integral of the square of the directivity factor  $I'$  over this spherical surface:

$$\gamma = \frac{S}{\int I'^2 dS}$$

Examples: omnidirectional pressure receiver or “breathing sphere”:  $\gamma_0 = 1$   
Figure-of-eight transducer:  $\gamma_8 = 6$   
Cardioid transducer:  $\gamma_\omega = 3$

### 6. Further Terms and Definitions

See DIN 1320.

### 7. Logarithm Paper

4 types of logarithm papers and 2 types of polar coordinate papers are recommended by the Units and Symbols Committee for use in acoustic measurements: cf. DIN . . . .

2) Volumetric modulus of elasticity  $E_v = -p \frac{V}{\Delta V} = \frac{1}{\text{adiabatic compressibility } K}$

3) Phase angle  $\delta$  between stress and strain, see I. No. 25.

7) For unidimensional sound fields. The CCIF prescribes  $\varphi$ .

8) For a spherical radiator of radius  $R$ , the strength is  $A = q/(1 + jkR)$ .

11)  $\gamma = a + j\beta = jk$ ;  $k$  is very often used when damping is small ( $a \approx 0$ ).

12) See paragraph 2 of the Introduction.

14)  $P$  = complex output of the sound source.

16) Directivity gradient =  $I'^2 = \frac{J}{J_0}$ ; directivity index =  $20 \log I' \text{ db} = 10 \log$

$\frac{J}{J_0} \text{ db}$ ;  $\gamma = 1/\text{directional efficiency}$ .

17) Proportional to the number of nervous impulses per unit time.

18) Referred to  $2 \cdot 10^{-4} \mu\text{bar}$ , e. g. ambient noise level.

19)  $\Delta L$  for various working conditions,  $D$  for differences of location.

24) Suffix  $s$  for emitter,  $e$  for receiver;  $B$  always =  $\frac{\text{output}}{\text{input}}$ .





# NEWS

## DEUTSCHE GRAMMOPHON APPOINTED WESTMINSTER LICENSEE IN EUROPE

James Grayson, president of Westminster Records, announces that Deutsche Grammophon has been appointed the Westminster licensee for West Germany, Holland, Switzerland, Spain and Portugal. Deutsche Grammophon will issue the Westminster catalog in these countries under the label HELIODOR-WESTMINSTER.

The HELIODOR-WESTMINSTER records will be on sale in all these countries within the next few weeks.



# ELEKTROAKUSTISCHES EXPERIMENTALSTUDIO GRAVESANO

Sonnabend, 8. August 1959

## "FUNF JAHRE GRAVESANO"

### PROTEKTORAT:

Kanton Tessin · Schweizer Rundspruch  
IMC der UNESCO

13.00 Uhr

Empfang · Kaltes Büfett · Begrüßung

15.00 Uhr

### STUDIO I:

Vorführungen, Vorträge, Diskussionen:  
(Ambiophonie · Spektrophon · Strahlende Wand · Verzerrungsfreie Wiedergabe tiefster Frequenzen · Aktive Apparaturen · Akustische Phänomene)

19.00 Uhr

Kleines Nachtessen · Klangraritäten  
Gravesanobowle

20.30 Uhr

### FREILUFTTHEATER:

Brecht-Hindemith: Lehrstück. Elektromagnetische Klangmanifestationen.

Arnold Schönberg: Erwartung  
(mit Helga Pilarczyk)

Eintritt nur gegen Einladung

Saturday, August 8, 1959

## "FIFTH ANNIVERSARY OF GRAVESANO"

### SPONSORSHIP:

Canton of Tessin · Swiss Radio  
IMC of UNESCO

13.00 h

Reception · Cold Buffet Welcome

15.00 h

### STUDIO I:

Demonstrations, Reports, Discussions:  
(Ambiophony · Spektrophon · Radiating Wall · Distortionfree Broadcast of the Deepest Frequencies · Active Apparatus Acoustical Phenomena)

19.00 h

Short Supper · Rarities in Sound  
Gravesanopunch

20.30 h

### OPEN AIR THEATRE:

Brecht-Hindemith: Lehrstück; Electromagnetic Sound Demonstrations

Arnold Schönberg: Erwartung  
(with: Helga Pilarczyk)

By invitation only

GRAVESANO ELECTRO-ACOUSTIC EXPERIMENTAL STUDIO