

Man 2s 284 /

2260	
1397	
863	
534	
330	
204	
126	
78	
48	
38	
126	
204	
330	
534	
863	
1397	
2260	

GRAVESANER

BLÄTTER

HERAUSGEBER HERMANN SCHERCHEN

1830

699

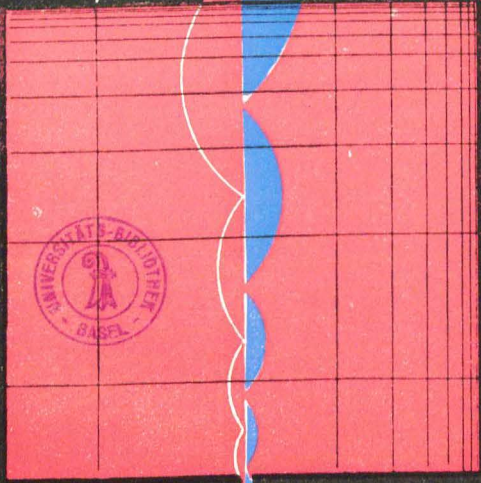
432

267

165

102

63



1830	
1131	
699	
432	
267	
165	
102	
63	

ENGLISCH-DEUTSCH

ARS VIVA VERLAG
(HERMANN SCHERCHEN)
GMBH MAINZ

MUSIKALISCHE, ELEKTROAKUSTISCHE UND
SCHALLWISSENSCHAFTLICHE GRENZPROBLEME
1960

JAHRGANG IV
Katalog

15/16

Le. Gschwendt



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. XV/XVI

IV. Jahrgang

1960

INHALT

	Seite
Unesco	R. Maheu 2
Fritz Enkel †	4
Technisches von der Tagung „Fünf Jahre Gravesano“	F. A. Loescher 5
Aussichten des Elektronischen Instrumentariums	Abraham A. Moles 21
Eine Analyse des Intonierungsvorganges bei Orgeln	A. Rakowski und E. G. Richardson 46
Akustisch-praktische Daten zum Waldhorn	Boegner 59
Spezialaufnahmeaggregat für Tongemische	Hermann Heiß 118
Studioanlagen für Stereophonie	H. Petzoldt 126
Betrachtungen zur stereophonen und pseudostereophonen 2-Kanalwiedergabe in der Praxis	W. Bürck 134
Methoden elektroakustischer Schallaufnahmen	Hermann Scherchen 147
Tonband und Mikroport im Opernhaus	Otto Kappelmayer 158
Stück für Schlagzeug 1957	Josef Anton Riedl 165
Winterlicher Besuch in Gravesano	Willi Reich 175

Redaktion: Gravesano (Tessin) Schweiz

Herausgeber: Hermann Scherchen

Nachdruck verboten!

GRAVESANO REVIEW

No. XV/XVI

Vol. IV

1960

CONTENTS

	Page
Unesco	R. Maheu 2
Fritz Enkel †	4
Technical aspects at the Fifth Anniversary of Gravesano	F. A. Loescher 12
The Prospects of Electronic Instrumentation	Abraham A. Moles 36
A Spectral Analysis of the Voicing Process	A. Rakowski and E. G. Richardson 55
Practical Acoustic Data on the French Horn	Boegner 98
Record-and-Playback Head for Tone Mixtures	Hermann Heiß 123
Stereo-Equipment for Studios	H. Petzoldt 131
Some Thoughts on Two-Channel Stereophonic and Pseudo-Stereophonic Reproduction in Practice	W. Bürck 142
Methods of Three-Dimensional Sound Recording	Hermann Scherchen 152
Tape and Mikroport in the Opera House	Otto Kappelmayer 162
Piece for Drums 1957	Josef Anton Riedl 165
A Winter Visit to Gravesano	Willi Reich 180

Published by Experimental Studio Gravesano

Editor: Hermann Scherchen

Extracts may not be published without permission

Anlässlich des 5. Jahrestages der Eröffnung des Elektroakustischen Experimentalstudios Gravesano, welches seitdem soviel geleistet hat für die musikalische Forschung und zur Weiterbildung junger Komponisten, begierig reichere Ausdrucksmittel kennen zu lernen, möchte ich seinem Schöpfer und Leiter, dem bedeutenden Dirigenten Hermann Scherchen meine Erkenntlichkeit ausdrücken für die kostbare und generöse Mitarbeit, die er unaufhörlich der Unesco zollt.

Paris, 6. August 1959

René Maheu
Interim's Generaldirektor

On the occasion of the 5th anniversary of the inauguration of the Gravesano Electroacoustic Experimental Studio, which has contributed so much to musical research and to the education of young composers desirous of finding the most extended means of expression, I extend my best wishes to its founder and furtherer, the eminent conductor Hermann Scherchen, and to express to him my gratitude for the valuable and generous help which he has never ceased to accord to Unesco.

Paris, 6th August, 1959

(sgd.) René Maheu
Acting Director General

ELEKTROAKUSTISCHES EXPERIMENTALSTUDIO GRAVESANO

Sonnabend, 8. August 1959

„FÜNF JAHRE GRAVESANO“

PROTEKTORAT:

Kanton Tessin · Schweizer Rundspruch
IMC der UNESCO

13.00 Uhr

Empfang · Kaltes Büfett · Begrüßung

15.00 Uhr

STUDIO I:

Vorfürhungen, 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



Fritz Enkel † 1908—1959

Fritz Enkel, Obergeringieur beim Westdeutschen Rundfunk, sah in den Naturwissenschaften und der Technik nicht die großen Zerstörer der Kultur, sondern das einzige Mittel, einer wachsenden Bevölkerung brauchbare Lebensbedingungen zu gewährleisten. Daher galt seine besondere Aufmerksamkeit der Heranbildung der Jugend und der Aufgabe, in ihr das Bewußtsein zu wecken, daß auch die Technik Kultur ist und nicht losgelöst von Vergangenheit und Zukunft betrachtet werden darf. Vielen jungen Menschen hat er auf diese Weise Weg und Richtung gezeigt. Seine wissenschaftliche Tätigkeit fand ihren Niederschlag in zahlreichen Veröffentlichungen. Hinter dieser Arbeit stand ein Mensch, der sich wegen seiner heiteren, liebenswürdigen Art großer Beliebtheit erfreute. Sein übersprühendes Temperament und sein überschäumender Ideenreichtum waren mit persönlicher Bescheidenheit und menschlicher Größe verbunden. Obwohl die tückische Krankheit schon lange an seinen Kräften zehrte, kam er bis zum letzten Tag seinen Pflichten nach und bleibt so vorbildlich allen, die ihn kannten.

To Fritz Enkel, Chief Engineer at the West German Radio, Cologne, modern science was not the great destroyer of culture, but the only means of guaranteeing a growing population a useable standard of living. Starting out from that viewpoint, he regarded it as his especial duty to educate young people to the knowledge that science, too, is culture — culture with a tradition as well as a future; many are the young men and women who first found a purpose in life through his teaching. His own scientific researches have become well known through numerous publications. The man behind this work was loved by all by reason of his cheerful and amiable manner; his vivacious and buoyant temperament and his never-ending store of ideas never changed his modest and unassuming personality — as proof of human greatness. Even though the treacherous illness had sapped at his strength for a long time, he carried out his duty until the very last day — an example to all who knew him.

Technisches von der Tagung „Fünf Jahre Gravesano“

von

F. A. LOESCHER

Hier soll ein kurzer Bericht über die am 8. August dieses Jahres in Gravesano vorgeführten Neuentwicklungen und eine Zusammenfassung des Inhalts der Vorträge und experimentellen Demonstrationen der Tagung gegeben werden.

Das von Chefingenieur VERMEULEN (Philips, Eindhoven) entwickelte und „Ambiophonie“ benannte Raumklang-Verfahren wurde von ihm selbst in Gravesano vorgeführt und erläutert. Es stellt eine Ergänzung normaler Stereophonie durch die Hinzufügung künstlichen Nachhalls zur Wiedergabe dar. Die Übertragung geht über vier Lautsprechergruppen vor sich, die bei normalen Wiedergaberäumen in deren vier Ecken aufgestellt sind. Über die Lautsprecher der den Zuhörern zugekehrten beiden vorderen Raumecken erfolgt eine stereophonische Wiedergabe in Mehrkanal-Übertragungstechnik unter Zufügung eines gewissen Prozentsatzes von Nachhall, während den Lautsprechergruppen in den beiden hinteren Ecken des Zuhörerraumes im wesentlichen nur die Aufgabe einer weiteren, räumlich orientierten Erhöhung des Nachhallanteiles zufällt. Das Ergebnis ist außerordentlich eindrucksvoll und vermittelt bei geeignetem Programmmaterial und günstigen Eigenschaften des Wiedergaberäumens einen gehörmäßigen Eindruck, der Originaldarbietungen sehr nahe kommt. Leider dürfte einer allgemeinen Anwendung des Verfahrens der große apparatemäßige Aufwand erschwerend im Wege stehen und seinen Einsatz — zumindest vorerst — auf Großveranstaltungen, Theater, Konzertsäle usw. beschränken.

Professor Dr. SCHERCHEN selbst zeigte drei neue Entwicklungen. Es waren dies „Die strahlende Wand“, als weiteres eine Einrichtung zur verzerrungsfreien Wiedergabe tiefster Frequenzen bis hinab zur unteren Hörgrenze und „Der aktive Lautsprecher“.

Die strahlende Wand besteht aus einer flächenhaft verteilten Anordnung zahlreicher Lautsprecher. In Gravesano war es die Frontwand des Studio I, die in drei übereinanderliegenden Reihen mit insgesamt 20 Lautsprechersystemen ausgerüstet war. Gruppenweise, von der Mitte aus mit steigender Leistung angepaßt, wurde — besonders bei Stereo- und Spektrophon-Wiedergabe — mit diesen Lautsprechern eine ausgezeichnete Klangverteilung erzielt.

Für die Demonstration einer verzerrungsfreien Wiedergabe tiefster Frequenzen diente eine Lautsprecher-Kombination, bestehend aus vier fremdregten dynamischen Lautsprechern mit besonders hohem Magnetfeld und

einem Korbdurchmesser von je 38 cm. Jedem dieser Lautsprecher war ein eigener Verstärker mit eisenloser Endstufe zugeordnet und jedes dieser komplexen Systeme zur Kompensation von Einschwingvorgängen und im Lautsprecher entstehenden Verzerrungen von der speziell ausgeführten Lautsprecher-Schwingspule her stark gegengekoppelt. Eingebaut war die Lautsprecher-Kombination in die Stirnwand des Studios, d. h. die Lautsprecher befanden sich außerhalb desselben in einer Kabine mit einem Luftinhalt von ca. 4 m³. Die bis hinab zu 10 Hz verzerrungsfrei arbeitenden Verstärker zusammen mit den speziell für Tiefenwiedergabe konstruierten Lautsprechern und dem dämpfungs- und resonanzfreien Einbau in die Studiowand verwirklichten eine Wiedergabe der Tiefen, die dem Schalldruckverlauf bei Originaldarbietungen weitgehend entspricht. Zweck dieser Versuchsanordnung war, zu zeigen, daß ein ganz bedeutender klanglicher Unterschied besteht zwischen einer einwandfreien Wiedergabe aller Grundschwingungen gegenüber den bei normalen Wiedergabeapparaturen durchweg nur gehörten „Pseudotiefen“, die sich aus der Eigenschaft des Ohres erklären, in den tiefen Frequenzen aus Oberschwingungen zur Grundschwingung, d. h. also aus Verzerrungen, die Grundschwingung zu rekonstruieren.

Die dritte und wohl sensationellste Neuentwicklung war die Verwirklichung des schon lange als ideal für die Wiedergabe erkannten, aber bisher konsequent noch nie realisierten Prinzips der pulsierenden Kugel, von Scherchen „Der aktive Lautsprecher“ genannt. Eine genaue Beschreibung der dieser Lautsprecheranordnung zugrunde liegenden Ideen und seiner Konstruktion findet sich bereits im letzten Heft der „Gravesaner Blätter“,^{*} so daß hier nicht weiter darauf eingegangen zu werden braucht. Hier sei nur noch festgestellt, daß alle Anwesenden von der Vorführung dieses Lautsprechers außerordentlich beeindruckt waren. Orchester, Chor und Solisten von Bachs Matthäus-Passion schienen persönlich den Raum zu betreten, als Scherchens Aufnahme dieses Meisterwerks auf den Plattenteller gelegt wurde. Am erstaunlichsten dabei war die unerhörte Räumlichkeit der Wiedergabe und das vollständige Fehlen des üblichen „Lautsprecher-Klanges“ mit seiner Rauheit und seinen unnatürlichen Klangfärbungen.

Unter dem Titel „Elektromagnetische Klangmanifestationen“ folgten, kommentiert von Dr. G. UNGEHEUER vom Institut für Phonetik und Kommunikationsforschung der Universität Bonn, eine Reihe auf elektronischer Basis entstandener Klangphänomene, welche die Vielfalt der Möglichkeiten zur Erzeugung neuer und zum Teil nie gekannter Klänge aufzeigten.

Der erste Teil dieser Vorführungen war Dr. UNGEHEUER's eigenen Experimenten mit Pulsmodulation gewidmet. Der im weiteren Sinne zu verstehende Ausdruck „Modulation“ bezeichnet dabei die verschiedenartig-

* siehe Heft 14, Seite 4.

sten Beeinflussungen reiner Töne und komplexer Klänge durch Impulse unterschiedlicher Form sowie die Erzeugung von Klangspektren durch weitere, spezielle Beeinflussungsmethoden. Für die Klangerzeugung benutzt wurden Elektronenschalter, Sinuswellen-Generatoren, Filter und Verzögerungsschaltungen, mit Hilfe deren sowohl amplituden- als auch frequenzmodulierte sowie kombiniert modulierte Schwingungen gebildet wurden. Ferner kam für die Erzeugung einiger Klangbilder eine Rückkopplungsschaltung zur Anwendung, bei der die Sinustöne zweier Tongeneratoren einen elektronischen Schalter passierten und das Ergebnis über eine Verzögerungsleitung wieder auf den Eingang des Schaltergerätes rückgekoppelt wurde. Die auf diese verschiedenen Arten hervorgerufenen Schallphänomene waren sowohl wahrnehmungspsychologisch als auch in Bezug auf die entstehenden und teilweise stark ausgeprägten Schallgestalten außerordentlich interessant und für den Akustiker und Wissenschaftler durch die zur Einsicht aufgelegten Sonagramme besonders aufschlußreich.

Die zweite Gruppe der vorgeführten Klangmanifestationen stammte aus dem von Alexander SCHAAF geleiteten Siemens-Labor für elektronische Klänge. Die von RIEDL zusammengestellten Aufnahmen waren mit der sogenannten Lochstreifenmethode erzeugt. Bei dieser erfolgt die Steuerung der einzelnen Komponenten des zu bildenden Klanggeschehens durch einzeln gelochte Spuren auf einem oder mehreren Lochstreifen. Normalerweise enthält ein Lochstreifen fünf derartiger Steuer-Spuren sowie eine Lochspur für den Transport. Die Kombination mehrerer Lochstreifen in einem Gerät ist möglich. Jede der Spuren dient der Steuerung einer bestimmten Komponente der Tonaufnahme, d. h. eine ist z. B. der Steuerung der Tonhöhe der Grundschwingung zugeordnet, aus der der elektronische Klang aufgebaut werden soll, eine zweite steuert die Zumischung einer zweiten Schwingung, eine dritte Spur dient der Regelung der Dynamik, eine vierte Spur schaltet Filter ein und so fort. Zu diesem Zwecke werden die Spuren einzeln mit Kontaktbürsten abgetastet, durch deren Kontaktgabe dann jeweils Steuerrelais zum Ansprechen kommen, die ihrerseits den betreffenden Schaltvorgang besorgen. Zur Erzeugung der Grundschwingungen dienen Generatoren verschiedenster Art, durch die sowohl reine Sinustöne als auch sehr komplex aufgebaute Impulse erzeugt werden können. Die erhaltenen Klanggemische werden auf Magnetband aufgespielt und stehen damit für die verschiedensten Verwendungszwecke zur Verfügung. Das vorgeführte Band zeigte die Mannigfaltigkeit der Möglichkeiten, deren Zahl praktisch unbegrenzt ist.

Das im dritten Teil zu Gehör gebrachte und von XENAKIS zusammengestellte Band benutzte die herkömmliche Montage-Technik, bei der die verschiedenen Komponenten des Klangbildes aufeinanderfolgend auf Magnetband aufgespielt werden. Neu war jedoch die Art der hier verwirk-

lichten Komposition elektronischer Musik, die auf mathematischen, in der Wahrscheinlichkeitsrechnung begründeten Berechnungen basiert, jedoch zu zufallsmäßigen Kombinationen der Einzelelemente führt, d. h. einen aleatorischen Charakter besitzt. Das auf Grund solcher Berechnungen zustandekommene Band von Xenakis zeichnete sich durch seinen besonders großen Tonumfang und seine Originalität aus.

Die Vorführungen von UNGEHEUER, RIEDL und XENAKIS erfolgten mit Wiedergabe über die strahlende Wand, wobei im ersten und letzten Falle SCHERCHEN's Raumklangverfahren — ursprünglich „Stereo-phoner“ und jetzt „Spektrophon“ genannt — zum Einsatz gelangte.

Mit der Ambiophonie-Einrichtung wurde sodann noch die Komposition „Capriccio“ von BADINGS zu Gehör gebracht, bei der das interessante Experiment einer Kombination elektronischer Klänge mit einem im Original gespielten Violin-Solo (Solistin FRL. VERMEULEN) verwirklicht wurde. Die Einfügung des „Life-Klages“ in das elektronische Klanggeschehen war bemerkenswert.

Der später folgende Vortrag des Begründers der „Musique Concrète“, Pierre SCHAEFFER, Paris, brachte als neue Erkenntnis die Tatsache, daß den Einschwingvorgängen akustischer Klänge keineswegs die absolut entscheidende Bedeutung zukommt, die man ihnen bisher allgemein zuschrieb. An Beispielen verschiedener, charakteristischer Instrumente wurde mittels Bandaufnahmen gezeigt, daß ein elektrisches Wegschneiden des Einschwingvorganges nicht in allen Fällen zu einem Unkenntlichwerden des Klangcharakters der betreffenden Instrumente führt. Instrumente mit im Anschwinggebiet im wesentlichen gleichmäßig verlaufender Charakteristik, wie z. B. das Klavier in seinen tiefen Lagen, bleiben auch bei stark beschnittenem Einschwingvorgang durchaus in der Klangfarbe erkennbar. Entgegen der bisherigen Auffassung, daß in allen Fällen die ersten Millisekunden des Einschwingvorganges entscheidend seien, wurde bewiesen, daß bei Instrumenten mit einem solchen Verlauf des Klangspektrums Beschneidungen in der Größenordnung von Sekundenbruchteilen noch ohne großen Einfluß bleiben. Bei Instrumenten dagegen, die besonders charakteristische Eigenheiten der Klangstruktur im Bereiche des Einschwingvorganges besitzen, — wie vor allem Zupfinstrumente — führt eine Unterdrückung des Einschwingvorganges zu einer starken Verfälschung des Klangbildes.

Die für den Abend in SCHERCHEN's Freilufttheater vorgesehenen elektroakustischen Vorführungen kamen leider bald nach deren Beginn durch einen heftigen Gewitterregen zu einem vorzeitigen Abschluß. Jedoch vermittelte das beinahe vollständig zur Aufführung gelangte „Lehrstück“ von HINDEMITH-BRECHT bereits einen starken Eindruck von der raffinierten Aufnahme- und Wiedergabetechnik, die — von Scherchen selbst ausgearbeitet — hier zur Anwendung gelangte. *In Vierkanal-Technik*

wurden — unter zusätzlichem Einsatz des „Spektrophons“ — vier Klang-ebenen geschaffen, die genau der von Brecht vorgeschriebenen Staffelung seines Lehrstückes auf der Bühne entsprachen. Diese elektroakustische Nachbildung einer sprechbühnenmäßigen Aufteilung kann wohl am besten als „Klang-Bühne“ bezeichnet werden, und mit ihr beschreitet SCHERCHEN hier einen ganz neuen Weg, der dazu angetan sein dürfte, im Musikleben vollkommen neue Möglichkeiten zu erschließen. Ganz besonders bedauerten es daher die Zuhörer, daß das zweite und dritte Stück des Abends ausfallen mußten, bei denen diese neue Technik noch weiter demonstriert werden sollte. Hierfür waren Szenen aus „Moses und Aron“ von SCHÖNBERG vorgesehen, deren deutsche Erstaufführung SCHERCHEN augenblicklich in Berlin vorbereitet. Gerade dieses Stück, in Zwei-kanal-Technik aufgenommen, hätte mit seiner Aufteilung in Sprechchor, Chor und Orchester besonders eindringlich die starke Raumwirkung erkennen lassen, die SCHERCHEN's neue Aufnahme- und Lautsprecher-technik vermittelt. Fast noch mehr bedauert wurde das Ausfallen des dritten Programmpunktes, der „Erwartung“ von SCHÖNBERG, bei dem die neue Technik zusammen mit einer „Life-Darbietung“, nämlich der von der bekannten Opernsängerin HELGA PILARCZYK gesungenen Solopartie, zu Gehör gebracht werden sollte.

Neben dem eigentlichen Vortrags- und Vorführungs-Programm erregte eine im Studio III durchgeführte Ausstellung von elektroakustischen Geräten das besondere Interesse der Fachleute.

Hier ist vor allem das von dem Komponisten HEISS zusammen mit der Firma VOLLMER neu entwickelte Magnetbandgerät zu nennen, das speziell für die Zusammenstellung elektronischer Musik konstruiert und von Herrn HEISS selbst vorgeführt wurde.

Gegenüber der üblichen Methode einer nacheinander erfolgenden Überspielung der einzelnen Frequenzen und Frequenzgemische mittels mindestens zwei getrennten Magnetbandgeräten arbeitet das HEISS'sche Verfahren mit nur einem speziellen Doppelspurgerät. Von normalen Doppelspurgeräten unterscheidet sich dieses durch eine andere Anordnung der Magnetköpfe und durch die Möglichkeit, den Löschkopf von Hand abzuschalten. Entgegen der normalen Kopffolge: Löschkopf — Aufnahmekopf — Hörkopf, ist diese beim HEISS-VOLLMER-Gerät: Hörkopf — Löschkopf — Aufnahmekopf. Ferner werden unterschiedliche Arten von Köpfen verwendet, nämlich als Hörkopf und als Löschkopf Vollspurköpfe, als Aufnahmekopf dagegen ein Kopf für zwei Halbspuren.

Der Aufnahmevorgang ist folgender:

Die erste Tonfrequenz wird auf Spur 1 normal aufgespielt. Nach der Aufpielung wird das Band wieder zum Anfang zurückgespult. Danach wird das Band wieder auf Vorwärtslauf geschaltet, wobei die vorher auf

der Spur 1 aufgenommene Frequenz durch den Abhörkopf aufgenommen und sofort wieder auf Spur 2 aufgespielt wird. Dabei wird der bereits abgetastete Teil des Bandes, bevor es den Aufnahmekopf erreicht, durch den in der Mitte liegenden Löschkopf in seiner vollen Breite gelöscht. Gleichzeitig mit diesen zwei Vorgängen wird auf der Spur 1 eine neue Frequenz aufgespielt, so daß dieser eine Arbeitsvorgang in Wirklichkeit drei gleichzeitig ablaufende Einzelvorgänge darstellt. Danach wird das Band wieder zurückgespult. Im nächsten Arbeitsgang wird der Programminhalt der Spuren 1 und 2 gleichzeitig vom Abhörkopf aufgenommen und über die untere Hälfte des geteilten Aufnahmekopfes auf Spur 2 überspielt, die ja bereits wieder frei ist, da das Band auch diesmal durch den dazwischenliegenden Löschkopf in seiner vollen Breite gelöscht wurde. Gleichzeitig erfolgt über die obere Hälfte des Aufnahmekopfes die Neuaufnahme einer dritten Frequenz auf Spur 1. In dieser Weise kann die Arbeit fortgesetzt werden, ohne daß dabei ein Amplitudenverlust im Resultat auftritt. Einblendungen, die früher durch Bandschnitte vorgenommen werden mußten, werden bei der HEISS-VOLLMER-Methode je nach ihrer Art entweder durch Abschalten des Löschkopfes oder durch Einlegen einer antimagnetischen Folie zwischen Band und die betreffenden Köpfe durchgeführt, wobei im letzteren Falle die Einblendungen bis auf $\frac{1}{100}$ Sekunde genau erfolgen können. Auch Vor- und Nachecho-Effekte können auf diese Weise erzeugt werden.

Der große Vorteil, den die HEISS-VOLLMER-Maschine gegenüber der alten Methode bringt, liegt in der außerordentlichen Zeit- und Materialersparnis, die damit möglich wird. Ein Programm elektronischer Musik, für dessen Zusammenstellung bisher eine Zeit von zwei Monaten benötigt wurde, kann mit der neuen Methode in ca. 24 Stunden fertiggestellt werden. Der bedeutende Bandverlust, der früher auftrat, wird vollständig vermieden. Es steht zu erwarten, daß durch dieses neue System der Anwendung elektronischer Musik ein neues und weiteres Feld erschlossen wird.

Sehr interessant für die Fachwelt war auch ein neues, großes Mischpult, von denen Professor SCHERCHEN zwei Stück im Zusammenhang mit dem unter seiner Leitung stehenden, neu gegründeten Aufnahmestudio in Herford/Westfalen von der Firma LURF in Wien herstellen ließ. Dieses Mischpult ist für die Übertragung zweier getrennter Kanäle eingerichtet und gestattet Anschluß und Mischung von insgesamt 16 Mikrofonen. Werden beide Mischpulte zusammen verwendet, so stehen also vier Kanäle mit Anschlußmöglichkeiten für 32 Mikrofone zur Verfügung. Es braucht nicht besonders betont zu werden, daß die Geräte allen an Studio-Einrichtungen zu stellenden Forderungen voll gerecht werden.

Gezeigt wurden ferner folgende, bereits in früheren Nummern der „Gravesaner Blätter“ ausführlich beschriebene oder zumindest erwähnte Geräte:

Ein Universal-Vollverstärker zur wahlweisen Übertragung entweder von stereophonisch aufgezeichneten Schallaufnahmen oder aber monophon aufgenommenen Darbietungen unter nachträglicher Umwandlung in einen Raumklang durch das in den Verstärker eingebaute „Spektrophon“. Die fünf verschiedenen und voneinander unabhängigen Eingänge des Gerätes erlauben dabei die Benutzung aller praktisch in Frage kommenden Tonfrequenzquellen. Eine Abbildung dieses Gerätes findet sich in Heft 12 der „Gravesaner Blätter“ auf Seite 62. Das Gerät ist eine Entwicklung des *Experimentalstudio Gravesano*.

Sodann der in den Heften 1 und 13 der „Gravesaner Blätter“ genau beschriebene akustische Zeit- bzw. Tempo- und Tonlagenregler für Magnetbandgeräte.

Weiterhin das Terzfilter der *Albiswerke Zürich A. G.*, über das — im Zusammenhang mit Filterversuchen — in Heft 6 berichtet wurde.

Dann die gesamte Einrichtung zur frequenzkonstanten Kraftstromversorgung von Aufnahmemaschinen für Tonstudios, bestehend aus Oscillator, Kraftverstärker und Frequenzmesser, wie sie in Heft 14 beschrieben ist.

Schließlich das Nachhall-Erzeugungsgesetz EMT 140 der *Wilhelm Franz KG*, das in geöffnetem Zustand ausgestellt war.

An interessanten Entwicklungen waren von der Industrie für die Ausstellung folgende Geräte zur Verfügung gestellt worden:

Der *Teldec-Neumann* Stereo-Schreiber, der seit etwa einem Jahre im Einsatz steht und sich bestens bewährt hat;

der zur Messe in Hannover erstmals gezeigte neue Stereo-Tonabnehmer von NEUMANN mit der Type DST, der besonders durch seine hohe Übersprechdämpfung auffällt;

das Studio-Mikrofon SM 2 für MS-Stereophonie der gleichen Firma, dessen Aufbau durch das im Ausstellungsmodell verwendete Plexiglasgehäuse sehr schön zu erkennen war;

schließlich ein neuer Studio-Verstärker der *Albiswerke Zürich AG*, dessen bestechend saubere und übersichtliche Konstruktion die neue Linie im Verstärkerbau erkennen ließ, die neben einer Erfüllung aller Forderungen des Pflichtenblattes auch einen praktischen, leicht zugänglichen Aufbau anstrebt.

So wenig Raum diese kleine Ausstellung einnahm, so bot sie dem Fachmann doch eine Fülle interessanter Neuheiten.

Abschließend kann festgestellt werden, daß die Tagung „Fünf Jahre Gravesano“ ein voller Erfolg war und wohl alle Teilnehmer — besonders aber die technisch interessierten — erfüllt und beeindruckt von dem Gesehenen und Gehörten Gravesano wieder verlassen haben.

Technical aspects at the Fifth Anniversary of Gravesano

by

F. A. LOESCHER

On August 8th 1959 a meeting was held at Professor Scherchen's Electroacoustical Experimental Studio under the title "Fifth Anniversary of Gravesano". Below a short summary of the lectures will be given and the different demonstrations in electroacoustics will be described.

One of the first subjects was "Ambiophonie". This is a stereophonic sound system developed by Mr. VERMEULEN, chief engineer of Philips, Eindhoven, and described by him personally. Ambiophonic may be considered a normal stereophonic sound reproduction to which is added a certain amount of reverberation. The main program is transmitted via two channels and two loudspeakers, normally situated in the two front corners of the auditorium, forwarding the sound of these two recorded channels. A certain amount of artificial reverberation is added. Two more loudspeakers, normally mounted in the two back corners of the room, transmit only artificial reverberation, thus heightening the spacious impression. The result of this procedure is very impressive. A strong feeling of presence is created which grows to the impression of a live performance, provided suitable program material is used and the auditorium itself has the proper qualifications.

Three more new developments were demonstrated by Professor SCHERCHEN himself: The "Radiating Wall", an arrangement for distortionfree broadcast of the deepest frequencies and the "Active Loudspeaker". The "Radiating Wall" is an arrangement of numerous loudspeakers distributed over the surface of a wall. In Gravesano the front wall of Studio I was used and covered with a total of 20 loudspeakers in three rows. Connected in small groups these were fed with a power level dependent on the situation of the group. The center groups being given the lowest level, this loudspeaker arrangement produced an excellent distribution of sound, especially when used for stereophonic transmission or together with Scherchen's "Spectrophon".

The distortionfree reproduction of the deepest frequencies was realized by a loudspeaker combination of 4 big loudspeakers (diameter 15" each) using a very strong electromagnet for the generation of a powerful magnetic field. Each of these loudspeakers formed a unit with a transformerless amplifier, the feedback for this amplifier being taken out of the voice coil of the speaker concerned to compensate for transients and distortion generated during operation in the loudspeaker system itself. The whole arrangement was mounted in the front wall of the studio, i. e. the loudspeakers radiated into the studio while the loudspeaker systems were

mounted outside the studio in a cabin with an air content of about 1400 cu. ft. The amplifiers working down to 10 cps without generation of any noticeable distortion together with a special loudspeaker construction for distortionless low frequency reproduction and combined with the ideal mounting conditions in the wall of the studio resulted in a reproduction of the deepest frequencies practically to the deep frequency pressure values of original performances. The purpose of this arrangement was to prove the large difference in sound between correctly reproduced deep frequencies and normal electroacoustical reproductions giving only an illusion of deep frequencies by the acoustical phenomenon based on the property of the human ear to produce from harmonics of a deep frequency fundamental the impression of the fundamental being present itself.

Professor Scherchen's third and probably most sensational development was the realization of the loudspeaker principle of the "pulsating sphere", his solution being called "the Active Loudspeaker". A detailed description of the basic ideas and the construction of this loudspeaker has already been given in the last number of "Gravesano Review".*

All participants at the demonstration were deeply impressed. Orchestra, choir and soloists of Bach's St. Mathew Passion actually seemed to come into the room when Scherchen's recording of this masterwork was put on the turntable. The spaciousness of the sound was most astonishing and so was the absolute lack of harshness and unnatural coloration inherent in every normal loudspeaker reproduction.

The following title "Electromagnetic Manifestations of Sound" covered a number of demonstrations of various sound recordings of electronically produced sounds. Dr. G. UNGEHEUER from the Institute of Phonetics and for Communication Research at the University of Bonn explained the different methods by which these new and astonishing sounds were produced. He first demonstrated the results of his own experiments with pulse modulation. The expression "modulation" has to be understood here in a wider sense and shall characterize most different methods of treatment of pure tones and complex sounds by pulses of different form and duration and by other special methods with the goal to generate new spectra of most complex formation. Electronic switches, sine wave generators, filters and delay circuits were used for the generation of the sounds, producing amplitude, frequency and combined modulated oscillations. Special sound phenomena were created by a feedback circuit in which two sine waves passed an electronic switch, the output being fed back to the input of the switch through a delay circuit. The different sound phenomena generated in this way were very interesting in respect to the resulting and partly strongly expressive sound figures, the presented sonagrams of which gave valuable information to the acoustician and scientist.

* See Gravesano Review No. 14, page 4.

The second group of sound-manifestations came from the Siemens Laboratory for electronic sounds in Munich which stands under the direction of Alexander SCHAAF. The recordings, selected and presented by RIEDL, were made with the so-called "punchtape method". This method uses one or several paper tapes with different rows of punched holes for the switching of relays by which the single components of the sound to be formed are mixed together or treated otherwise. Normally one of those tapes carries 5 tracks for the treatment of sound and one for its transport. It is possible however to combine several tapes in one machine. Each track serves one purpose only, i. e. the first, for example, determines the pitch of the fundamental frequency which serves as base for the electronic sound to be formed, the second f. i. decides if and — when given — how much of a second frequency shall be mixed to the first frequency, a third trace may regulate the dynamics, a fourth trace may switch filter circuits and so on. To fulfil all these functions the commands, represented by holes in the different traces, are taken off by contact brushes, one for each of the punch traces, and the impulses generated by the contact brushes when touching through a hole the contact plate mounted below, energize relays connected to the contact brushes, the relays in their turn switching the circuits to be activated. The resulting complex sounds are recorded on magnet tape and are ready for use. The demonstrated recording showed very clearly the great possibilities given by this method.

The third part of Electromagnetic Manifestations of sound was a composition of XENAKIS. Using the traditional technique of repeated magnet tape recordings, he played a composition of his based on mathematical calculations giving results with a stochastic distribution of the sound elements. The produced sound spectra were characterized by their broad frequency range and the composition by its originality.

The demonstrations of UNGEHEUER, RIEDL and XENAKIS were reproduced by the "Radiating Wall", the first and the last using Scherchen's "Spectrophon", formerly called "Stereophoner".

Next followed the very interesting experiment of a combination of electronic music and a live solo. The composition "Capriccio" by BADINGS was played with the Philips Ambiophonie installation accompanied by a violin solo played by MISS VERMEULEN. The live sound blended remarkably well into the electronically produced music.

Later on followed a lecture of the founder of "Musique Concrète", P. SCHAEFFER, Paris, who proved the long established axiom of the importance of the transient period for the sound character of instruments to be only partly true. Tape recordings and oscillograms of several characteristic instruments showed that a cutoff of the transient period does not always change the sound character of the instrument concerned to unrecognizability. Instruments which show a steadily mounting

characteristic in the transient range, as for instance the piano in its deep registers, are still recognizable in coloration even when a very large part of the transient period has been cut off. Contrary to the general opinion, the first milliseconds of the transient period do not have in all cases a superior importance for the coloration of the produced sound. The transient period of instruments with a steadily mounting characteristic, like f. i. in the cited piano range, may be cut off for the length of several parts of one second and the sound will not lose its characteristic properties. Instruments however showing unsteady and partly pointed transient periods — as for instance the guitar — become nearly unrecognizable if only a short part of the transient period is eliminated.

The electroacoustic performances planned for the evening which should take place at Scherchen's Open Air Theatre unfortunately soon after their start were brought to an end by a thunderstorm. However the nearly finished "*Lehrstück*" by HINDEMITH-BRECHT gave already an idea of the very special techniques Scherchen has developed for recording and playback. *The recording of this work had been done with four channels each of which was played back over one pair of loudspeakers connected to its channel-amplifier through a Spectrophon. The loudspeakers were mounted in a stacked arrangement at both sides of the free air auditorium forming groups of two, each group consisting of two loudspeakers. In this way four different planes of sound were created equivalent to the stacked formation of the players in BRECHT's "Lehrstück".* This electroacoustic facsimile of the situation on the theatre stage might perhaps be called best "*Sound Stage Performance*" and most certainly is a very interesting and new way by which Scherchen starts completely novel possibilities in musical life. It was most strongly regretted therefore that the second and third performance of the evening by which the possibilities of this new technique would have been more fully demonstrated, had to be cancelled. On the program had been *scenes from "Moses and Aaron" by SCHOENBERG. The planned demonstration containing orchestra passages as well as spoken and sung choir parts would have shown impressively the excellent spacious orientation and the width and depth the sound reproduction is getting by SCHERCHEN'S methods.* The third number on the program would have underlined this effect still more by the possibility for comparison of the artificial sound with live sound, the soprano solo in "*Erwartung*" by SCHOENBERG being planned to be sung by the famous German soloist HELGA PILARCZYK.

Besides the large program of demonstrations and lectures a small but very interesting exposition of electroacoustical instruments, shown in Studio III, found the attention of the experts.

First may be mentioned here a new tape recorder for the composition of electronic music developed by the composer H. HEISS and constructed

by the German tape recorder manufacturer VOLLMER. The machine was explained and demonstrated by Mr. HEISS himself.

While the normal way for the composition of electronic music with the aid of tape recorders makes necessary the use of at least two recording machines, only one specially constructed two-track tape recorder is used when working with Mr. HEISS method. The main difference between this machine and normal tape recorders lies in its differently mounted heads, the sequence being: playback head — erase head — recording head. Important is further that a one-track playback and a one-track erase head but a two-track recording head are used in the same machine and that the erase head may be switched off separately.

The recording of the electronic music is done as follows: the first frequency is recorded in the normal way on track 1. After this recording has been done, the tape is rewound to its start. Next the tape goes forward again, this time the formerly made recording on track 1 being picked up by the playback head and recorded by the recording head on track 2. Before reaching the recording head the tape is erased on both tracks. At the same time with the re-recording of the sound-content of track 1 on track 2, a second frequency is recorded on track 1, so that the second manipulation covers three single ones together. After this the tape is rewound. During the now following third step the contents of track 1 and track 2 are picked up by the single-track playback head, behind it the tape is fully erased and both half-track contents are recorded together on track 2, meanwhile a new frequency is recorded on track 1. The process may be continued as long as wanted without any loss in amplitude. Cueings which formerly had to be done by splicings may be fast and easily done in the HEISS-VOLLMER machine by switching off the erase head or with the help of a special tape of antimagnetic material, put in a suitable manner between the recording tape and the heads. The cues may be fixed by the latter method with an exactitude of $\frac{1}{100}$ of one second. To make them sufficiently soft, the stray field of the heads may be used. The big advantage of the HEISS-VOLLMER method lies in its great economization of time and material. A program of electronic music which needed before the time of 2 months for its composition may be finished now in about 24 hours. The great loss in tape with the old method is completely avoided. The new machine therefore might broaden the application of electronic music considerably.

Another interesting item of the exposition was a big microphone mixer, two pieces of which Professor SCHERCHEN has had constructed by the LURF company in Vienna in view of the newly established electro-acoustical studio in Herford, Germany, which will start its work on November 3rd under his leadership.

This mixer is constructed for the transmission of two separate channels

and allows a total of 16 microphones to be mixed. When using both mixers together, four separate channels are available to which 32 microphones may be connected. Unnecessary to say that these mixers comply in every respect with the high technical standard necessary for studio equipment.

There were further to be seen the following apparatuses which have been described already in detail or at least have been mentioned in earlier numbers of the Gravesano Review:

First a combined amplifier for the reproduction either of stereophonically recorded material or of monophonic recordings which may be given by it the characteristics of spacious sound by the Spectrophon included in it. Five separate inputs allow the use of all sorts of program sources. A picture and short description of this amplifier is to be found in Gravesano Review No. 12 on page 62. It was specially constructed for the Gravesano Studio.

Then the acoustic speed and pitch regulator for magnetic tape recorders described in numbers 1 and 13 of the Gravesano Review.

Further the Terz-Filter of the ALBIS-WERK ZÜRICH AG, mentioned in Nr. 6 in connection with filter experiments.

Then the complete equipment for the stabilization of power sources for recording studios as described in detail in Nr. 14, page 15 of the Gravesano Review.

Finally the Reverberation set EMT 140 of the WILHELM FRANZ KG, the protecting covers of which were taken off so that it could be inspected easily.

The industry showed the following interesting equipment:

The TELDEC-NEUMANN stereo-cutter which the recording industry uses already since more than one year and which has proven to be one of the best.

The new dynamic stereo-pickup, type DST, with its remarkably low crosstalk between channels which was shown for the first time at this year's Hannover Fair.

The studio microphone SM 2 of the same company for MS stereophony, the construction of which could be inspected very easily because of the plastic housing used for the exposition model.

Then a new studio amplifier just brought on the market by ALBIS-WERK ZÜRICH AG, showing the new line in amplifier construction which not only demands that the prescribed electrical values be in order but asks for a clear and easily serviceable mechanical construction too.

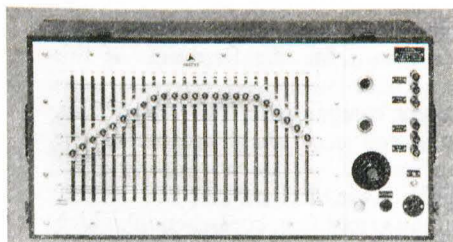
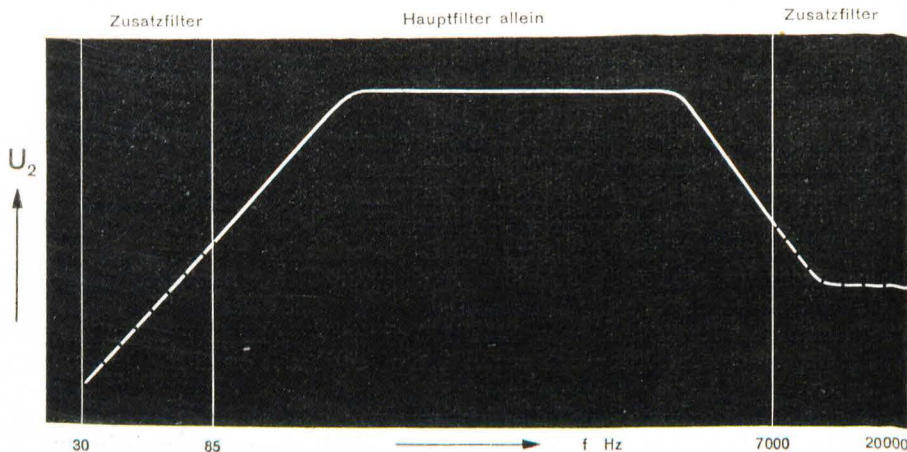
Small as this little exposition was in size, it nevertheless showed the expert a lot of interesting novelties.

It may be stated the Fifth Anniversary of Gravesano has been a full success and that the guests, especially the technically interested ones, have left Gravesano very impressed by the many interesting things presented at this meeting.



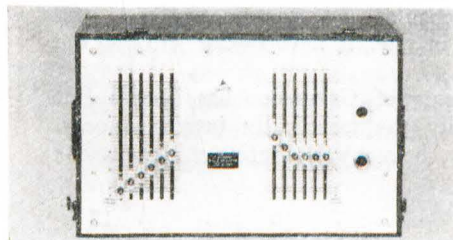
**ALBISWERK
ZÜRICH A.G.**

Beliebiger Frequenzverlauf
akustischer Übertragungen



**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.



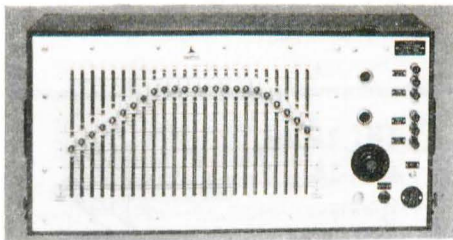
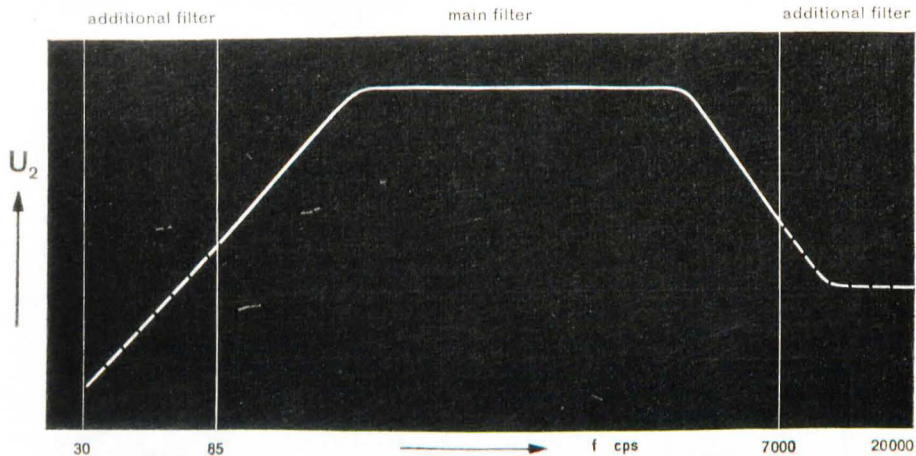
Oberes Bild: **Hauptfilter**
Unteres Bild: **Zusatzfilter**

ALBISWERK ZÜRICH A.G.
ZÜRICH 9/47 SCHWEIZ



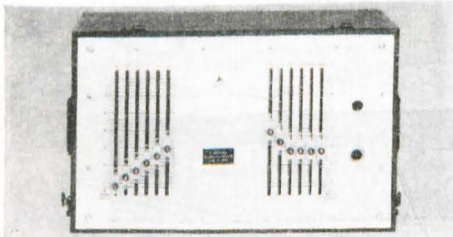
**ALBISWERK
ZURICH S.A.**

You may obtain any desired
frequency characteristic in
acoustical transmission



**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.



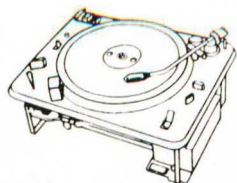
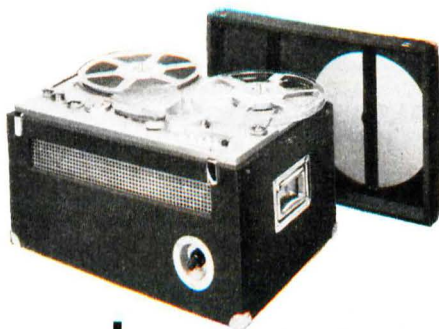
Top: **main filter**
Bottom: **additional filter**

ALBISWERK ZURICH S.A.
ZURICH 9/47 SWITZERLAND

STUDER 30

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

Magnetic Tape Recorder,
tape speeds 7,5 and 15 i.p.s.
Weight 70 lbs only.



EMT 927 and EMT 930

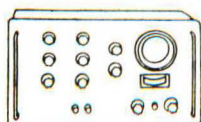
Studio-Plattenspieler

Transcription
Turntables.

STELLAVOX

Miniatur-
Magnetfon-
Gerät

Miniatur Mag-
netic Tape Recorder.



EMT 414 and EMT 418

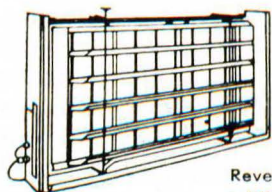
Tonhöhen-
Schwankungs-
Messer.

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

Aussichten des Elektronischen Instrumentariums

von

ABRAHAM A. MOLES

1. Einleitung

Die Experimentalmusik ist von nun an eine Tatsache des musikalischen Lebens: in den Lexika, Musikgeschichten und Artikeln der Kritiker hat sie Bürgerrecht erworben.

Hier einige ihrer Grundwirkungen:

1. Musik ist als Modulation der Zeitdauer — eine Klangkunst, deren Grenze weit über die der bloß akustischen Instrumente hinausgeht: jedes faßliche System organisierter Klänge ist imstande, ein ästhetisches Erlebnis zu sein: das musikalische Kunstwerk formt in dem uns umgebenden Chaos der Schallwelt Ordnungsgrade;
2. der normale Zugang des Hörers zur Musik ist nicht mehr der Konzertsaal oder die Hausmusik, sondern die Schallaufnahme, welche den zeitlich materialisierten Klang mit unbegrenzten Wiedergabemöglichkeiten versieht, worin das unausgesprochene Ziel aller Kunst besteht;
3. das Ziel der Experimentalmusik ist deshalb die Ausarbeitung und Konservierung von organisierten Tonsystemen mittels des Tonbandes u. a. durch Zusammensetzung dem „Schallmeer unserer Umwelt“ entnommener fragmentarischer Klangobjekte.

Die Konstruktion solcher Fragmente unterliegt der Inspiration des „authentischen Komponisten“, der selber im Tonstudio arbeitet. Je nach dem Charakter der einzelnen Klänge ändert er deren Klangfarbe, Tonhöhe, Zeitdauer, Pegel und bereitet so elektroakustisch ihre Vereinigung zu der „Komposition“ vor, die das fertige Band ergibt: das fertige Band ist also das Resultat aus vielen Versuchen und Irrtümern und rechtfertigt so in sich selbst den Namen der „Experimentalmusik“;

4. Die Auswahl der Klangobjekte ist unbeschränkt; sie können von Musikinstrumenten herkommen, von eben erst aufgenommenen und danach zweckmäßig gestalteten Geräuschen der Umwelt, oder sie können „elektronischer“ Natur sein, d. h., durch Generatoren mit Elektronenröhren erzeugt. Es ergibt sich so der Begriff des: „allgemeinsten Orchesters“ (Schäffer, Fig. 1).

Jede Epoche der Musikgeschichte hängt eng zusammen mit der jeweiligen musikalischen Technik. Die neue Schallkunst findet so ihren natürlichen Platz in der Tradition selbst, ebenso wie die Entstehung neuer Schallerzeugungsmittel — nach gewisser Reifezeit — immer auch neue Werke hervorruft.

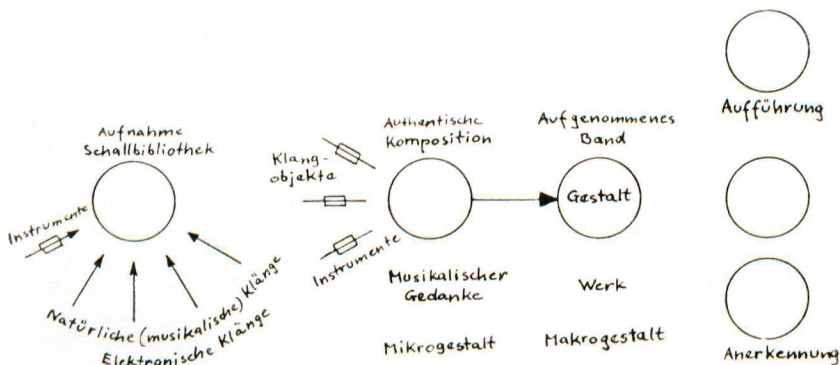
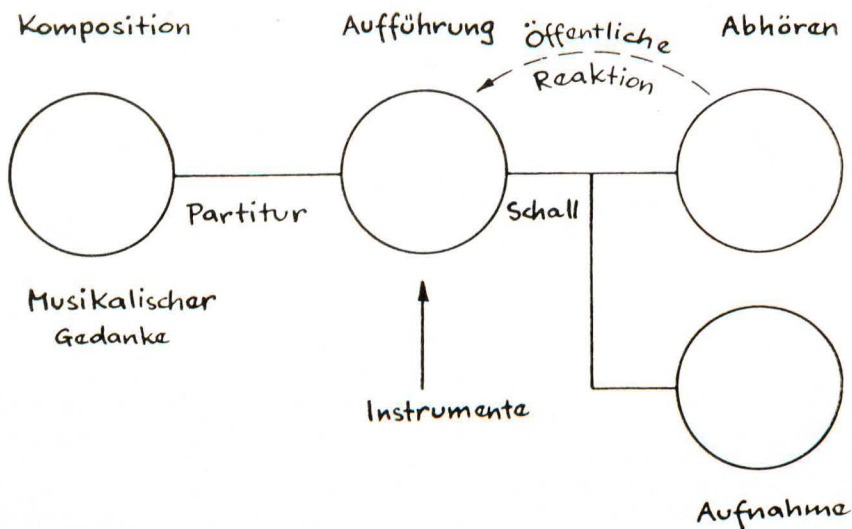


Abb. 1 (a) Das traditionelle und (b) das experimentelle Verfahren der musikalischen Komposition

Daraus erhellt, daß die oft „elektronische Musik“ genannte Experimentalmusik an ein anderes Instrumentarium als das der traditionellen Musik gebunden ist.

Dieser Unterschied des Instrumentariums ist ihr wichtigstes Merkmal! (Musiker sind „poetisch“, es wäre unrecht, ihnen im Atom-Zeitalter den

Ausdruck „elektronisch“ für ihre Werke vorzuenthalten). Das Magnetophon „zu spielen“ muß aber auch: erlernt werden! Auf seiner instrumentalen Entdeckungsfahrt begegnet der Experimentalmusiker dann bald dem eigentümlichen Charakteristikum der modernen Welt: ihrer Komplexität.

2. Die Instrumente

Durch das Schema Fig. 1b lernen wir die Phänomenologie des Instrumentariums — in von den Maschinen abhängigen Graden — kennen: Wie begegnen Maschinen zur Herstellung von Klangobjekten, solchen zu ihrer

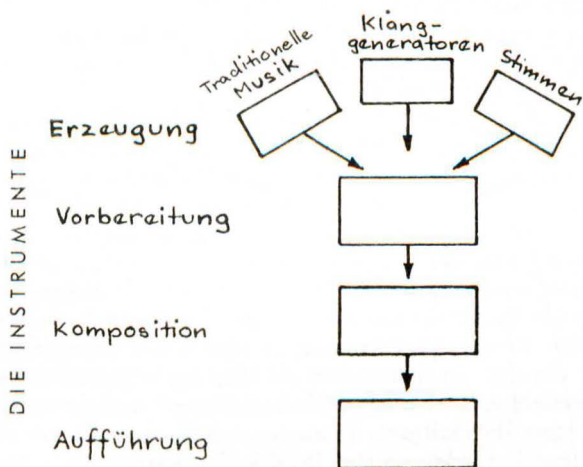


Abb. 1c. Die phänomenologische Betrachtungsweise des Ausdrucks „Instrument“

Ausarbeitung, andere zu ihrer Zusammenfügung und endlich solchen zu ihrer klanglichen Wiedergabe. Nun hat aber schon Schaeffer erwähnt, daß die Aufgaben dieser Geräte eine ganz andere ist, als es die der klassischen Instrumente war: sie bedeuten die Geburt einer musikalischen Technologie! Welche wir im Rahmen des Schemas Fig. 1 nun des näheren untersuchen wollen.

Die Schallerzeuger: Maschinen zur Herstellung von Klangobjekten.

Man unterscheidet gewöhnlich vier Arten von Klangobjekten:

Schall von Musikinstrumenten	} } (Magnetophon) → Schallbibliothek
Schall der Außenwelt	
Sprachschall	
Elektronischer Schall	

So entsteht die: *Schallbibliothek*

Am Anfang der Experimentalmusik hatte vor allem die Fülle der neuen Klangobjekte Bedeutung; die — Varèse, Russolo und Hofmann so begeisternde — Befreiung von der einengenden Herrschaft der traditionellen Musikinstrumente bedeutete tatsächlich eine ungeahnte Erweiterung des musikalischen Ausdrucks. Praktische Konsequenzen ergaben sich jedoch erst, als die Aufnahmetechnik fähig wurde, die Klangobjekte im Raum zu fixieren. Dazu waren gewisse technische Normen zu beachten, und zwar:

- a) ein dynamischer Bereich von mindestens 40 dB,
- b) eine getreue Transpositionsmöglichkeit der Klanggestalten innerhalb des Umfanges von 9 bis 10 Oktaven (Fig. 3).

Die magnetische Aufnahmetechnik zeigte sich imstande, diesen Normen zu entsprechen, so wurde das „Klangobjekt“ DAS Geschenk des Magnetophons an die Musik (Fig. 3).

Das neue „Klangobjekt“ hatte aber noch andere Hindernisse zu überwinden: z. B. die psychologischen Grenzen des Gehörs. Die Bereicherung der Dynamik zeigte sich von einer Einschränkung in der Substanz des Schalls, der Klangfarbe, begleitet: die Erfahrung mit elektronischen Instrumenten etc. bewies, daß die Zahl tatsächlich wahrnehmbarer, unterscheidbarer Klangfarben hinter der von bloß vorgestellten weit zurücksteht. Andererseits erschloß diese empirische Tatsache ein neues Forschungsfeld: die „sich entwickelnden Spektralgestalten“, welche das musikalische Gedächtnis jedoch infolge einiger gewissermaßen traditioneller physikalischer Gesetze, z. B. wie das der „exponentiellen Abklingung“, nur beschränkt speichern kann. So besteht z. B. zwischen „Glockenklängen“ und einem mittels Schnellkippgenerators im Hallraum erzeugten Schall ein noch unerforscht weites Gebiet. Neue Entdeckungen im Bereich der Klangobjekte sollten deshalb zunächst auf das akustische Neuland der durch Kunstgriffe in die Mitte des Gehörfeldes gelegten Mikro- und Makroklänge beschränkt bleiben. Diese weisen jenes Gleichgewicht von Pracht und Formvielfalt auf, welches — alle Wahrnehmung beherrschend — Verständlichkeit für das Gehör verbürgt. Der Werkstoff „Geräusch“ findet nur Anwendung, wenn er ein Minimum hervorstehender Merkmale oder ein sehr farbiges Spektrum hat, kurz, eine hohe Periodizität aufweist, verbunden mit jenem minimalsten Ordnungsgrad, dessen das Ohr zur Wahrnehmung bedarf.

So gelangen wir zur Untersuchung folgender bemerkenswerter *Schwingungssysteme*:

<i>Infraklänge</i>	Erdschwingungen, transponiert über 7 Oktaven
mittels Zeit-	Glocken und Metallkegel.
schrumpfung	Periodische Phänomene (z. Zt. erst graphisch bekannte). Wellengang des Meeres (als „Ebbe und Flut“ eigentlich nur für die Poesie von Bedeutung), in der Experimentalmusik

eine Rolle spielend, da der Techniker darin eine quasiperiodische Erscheinung relativ hohen Ordnungsgrades über ein Grundgeräusch von kontinuierlichem, mehr oder weniger gefärbtem Spektrum gelagert findet.

Diese objektive Analyse nimmt dem „Klang der Wellen“ alle Romantik, bereitet aber gleichzeitig die synthetische Verarbeitung des Phänomens vor.

Ultraklänge
mittels
Zeitspreizung
(gewöhnlich
obertonarm)

Diese müssen erst noch durch die Interferential-Spektroskopie (mittels verschiedenförmiger Quarzplatten etc.) bereichert werden.

Mikroklänge
harmonischer
Art
oder

Schwingende Nadeln erzeugen — ihren verschiedenen Abmessungen gemäß — Klänge, die nach Umwandlung der Schwingungen (durch Transposition) in hörbare Töne mittels selektiver Verstärkung brauchbar gemacht werden können. (Beispiel 1*b*)

Schall in
anderen Media
als Luft

Beispiele: Ein auf der Membran eines Kondensatormikro-
phons tanzendes Flohballett könnte „aufgenommen“ wer-
den; ebenso der „Garnelengesang“ am Meeresgrunde: das
sind natürlich nur Vorschläge für „Akustophile“.

Man könnte sich sogar suggerieren, Bizet's ganze Oper „Die Perlenfischer“ als Gähnen von Austern zu realisieren: Allerdings würde damit dann schon wieder die Poesie ihr Recht einnehmen . . .

Zu den Schallerzeugern rechnen wir auch Olson's „Synthetisator“, der einen Versuch zur allgemeinen Lösung des Problems der Klangobjekte bedeutet. Sein Grundprinzip ist, die Schallerscheinung aus solchen Einzel-eigenschaften zusammenzusetzen, deren Tonhöhen nach der temperierten Zwölftonskala von Stimmgabeln erzeugt wurden.

Ein Fragment des gewählten Klanges wird durch besondere Maßnahmen in die gewünschte Oktavlage transponiert, mit einer angestrebten Zeitdauer versehen, erhält dank einer Vielzahl, durch synchronisiertes und gefiltertes Mitschwingen gewonnener Harmonischer das angestrebte Timbre und endlich die aus Einschwingvorgang, Ausschwingung und Vibrato gebildete Klanggestalt, die jetzt auf Magnettonband festgehalten wird.

Mittels dieser Methode können eine unbeschränkte Vielzahl so geformter Klänge gemischt und ein ganzes Orchester daraus hergestellt werden. Das Zusammenfügen erfolgt über Lochstreifen (Fig. 4).

Man sollte die Qualität und Originalität dieses enormen mechanischen Klaviers durch den Zusatz von anderen weniger starren Vorrichtungen, wie z. B. des Heckschen Ringmodulators (siehe unten) zu steigern versuchen.

3. Zellen

Die Forschung auf dem Gebiet der „Klangobjekte“ sucht heute fast überall Systeme, die — komplizierter als jene von konstanter Klangfarbe — „Zellen“ genannt werden können. Das sind geordnete Familien von durch wahrnehmbare, organische Verhältnisse verbundenen Tönen (Fig. 5).

Dem Begriff der Zelle wächst immer größere Bedeutung zu, da er grundsätzliche Vorteile aufweist:

- a. Die Zelle ist dem Ohr leicht erkennbar,
- b. die innere Redundanz der sie gestaltenden Klangfarben verleiht ihr hohen Ordnungsgrad,
- c. da sie ganz allgemein längere Dauer hat als die elementaren „Klangobjekte“, verkürzt sie die kompositorische Ausarbeitung,
- d. nach der „Ausarbeitung“ behalten die Zellen ihren spezifischen Charakter, auch wenn die ursprünglichen Klänge abgeändert wurden.

Diese Klänge können auf die Zeitspanne, die eine durch das Gedächtnis faßbare Zelle einnimmt, aleatorisch verteilt sein, so wie die erratischen Zupflaute der Lietischen Amplitudenfiltrierung weißen Rauschens (Fig. 6). Sie können aber auch mit höheren oder geringeren Ordnungsgraden versehen werden, wie das der Fall ist bei Systemen, die einen Wirkungskreis nach Lewis zur Grundlage haben; das einfachste Beispiel davon wäre etwa eine Reihe mehr oder weniger zufällig zusammengeschalteter Relais, die akustische *Untierzellen* auf eine magnetische Trommel aufzeichnen. Das gäbe das ungefähre Äquivalent der *musique concrète* für gewisse Möglichkeiten der aleatorischen Ausführung bei z. B. Stockhausen's XI. Etüde. Viele solche Schaltungen sind für die Kybernetik (bei der Lösung von Modellproblemen) von Wert geworden. Doch ist ihre Anwendung in der Experimentalmusik noch fragwürdig. Trotzdem kann man die Schallsysteme, welche z. B. die Barron's (U.S.A.) anlässlich ihrer Produktionen: „Verbotener Planet“, „Magirama“, „Bells of Atlantis“ u. a. entwickelt haben, nicht unbeachtet lassen. Endlich können interessante Zellen durch akustische Rückkopplung erzeugt werden unter Verwendung der Larsenschen Erscheinung (Fig. 7).

Ganz allgemein gilt, daß jede nicht allzu einfache Rechenmaschine solche Zellen nach geeigneter Programmierung ziemlich schnell liefert. Der Vorteil solcher Montagen liegt darin, daß der Komplizitätsgrad der sich dabei ergebenden Klangzellen genau geregelt werden kann: die Denkmaschine wird „*Relais der Imagination*“.

An dieser Stelle ist Kendalls „Composertron“ zu erwähnen: durch ein auf Zelluloid berechnetes Modell befähigt, löscht ein „magnetischer Radiergummi“ z. B. die durch bestimmte Timbre bewirkten Aufzeichnungen eines Bandes. Dieses Gerät bedeutet eine interessante Anwendung Schaefferscher Bemerkungen über die „Urgestalt des Schalls“. Schließlich

sind von Tonzellen der Experimentalmusik noch die „note clusters“ zu erwähnen — Tonklumpen, von Cowell ursprünglich am Klavier verwirklicht —, die grundsätzlich für alle konkreten Schallquellen Geltung haben, wie dies eine auf Band aufgenommene Gravesaner Arbeit Ussachevsky's zeigt. Das Schallphänomen — existierender Musik entnommen und über 4 bis 6 Oktaven transponiert (mit entsprechenden Beschleunigungen oder Verlangsamungen) — wurde so zu einem direkten Beispiel der Hegelschen „Umwandlung von Quantitativem zum Qualitativem“. Die Transponierungen und die Verhallungen eines Melodieabschnittes über mehr als 4 Oktaven rücken endlich *gänzlich neue* Erscheinungen ins Gesichtsfeld der Wahrnehmung: 64tel „schmelzen“ zu völlig neuer, sich schnell entwickelnd prächtig bunter Klangpaste zusammen.

4. Klangausarbeitung

Im Gegensatz zum bisher gesagten scheint die Wirkung der Geräte und Verfahren zur Klangausarbeitung eine begrenzte zu sein. Normal wäre, daß sie im Moment der Realisierung der allgemeinsten Umwandlungen eine Asymptote dazu bieten würden, da die theoretischen Möglichkeiten der Klangobjektumwandlungen begrenzte sind und beträchtliche Teile davon schon erforscht wurden. Gerade hier aber wird das *Verfahren* „durchscheinend“ hinter dem fertigen Werk erkennbar — ein Fehler, nicht genug zu rügen! . . .

Die „Ausarbeitung“ zerfällt in mehrere Gruppen:

- a. *Teilvorbereitung* zur Umwandlung *einer* oder mehrerer Eigenschaften des Schalles,
- b. *Gesamtvorbereitung*, zu grundsätzlicher Umwandlung jedes einzelnen Schalls in jeden anderen Schall.

Um eine erschöpfende Liste der Ausarbeitungsmethoden zusammenzustellen, stützt man sich auf die dreidimensionale Klassifizierung des Schalles nach Höhe, Dauer und Pegel (vgl. Schrifttum). Als erstes seien die *Filterverfahren* erwähnt, die sich in der letzten Zeit dank der angesammelten Erfahrungen besonders entwickelt haben: Filtrierung bedeutet immer Verlust an Schallsubstanz — die bessere Verständlichkeit wird oft nur auf Kosten der sinnlichen Schallqualität gewonnen. Die polyphonen Filter ermöglichen jene wirklichen *Spektraverzerrungen* und damit Klangfarbumwandlungen, auf die wir von Anfang an abgezielt hatten. Durch die großen Fortschritte ihrer *effektiven* Selektivität bis zu einer Vierteloktave hin (Bauart: Albis oder Pimonow), erhält der heutige Musiker die Möglichkeit, Schritt für Schritt in die Feinstrukturen harmonischer Klänge einzugreifen (Fig. 8).

In diesem Zusammenhang muß daran erinnert werden, daß Filter mit nicht schon bestehendem Klang nicht in Resonanz treten können, daß also die Anwendung des Filters untrennbar ist von der Wahl des zu filtrieren-

den Werkstoffes. Zu polyphonischer Filtrierung eignen sich nur Klangobjekte, welche — in genügend breiter Zone zwischen einem eng benachbarten Amplitudenspektrum und einem ebensolchen Abklingfaktor — eine Vielzahl regelmäßig platzierter Linien aufweisen. Eine originelle Anwendung davon ist die Filtrierung eines Geräusches, leicht verfärbt durch Hervorhebung sehr tiefer Frequenzen, die dann eine erratische Erscheinung haben und schließlich auf andere Stufen des Hörbereiches transponiert werden: wir haben im Bereich der Tonhöhen hier das Gegenstück zur aleatorischen Amplitudenfiltrierung Lieti's.

Eine der jüngsten Entwicklungen des elektronischen Instrumentariums ist der *Tonlagenregler*, welcher *Transponierungen*, im musikalischen Sinn, im Bereich der Sext ohne Tempo- oder Zeitdaueränderungen ermöglicht. Dies ist eine geistreiche Anwendung des wohlbekannten, von Anton Springer entwickelten *Zeitreglers* (vgl. Schrifttum).

Eines der interessantesten Ausarbeitungsverfahren natürlicher Klangobjekte ist der Ringmodulator Dr. Heck's, der das Spektrum *umkehrt* und *verschiebt*, ohne die wesentliche Information, d. h. die mit der inneren Redundanz verbundene Verständlichkeit des Schalles, zu verändern. Diese wertvolle Eigenschaft, welche Filter nicht aufweisen, macht die Bedeutung dieser rein elektronischen Ausarbeitungsmethode besonders evident.

Die Verfahren zu *totaler Ausarbeitung* bedeuten für die Studios große wirtschaftliche Probleme, denn es handelt sich dabei um ebenso anspruchsvolle als komplizierte Geräte von der Fähigkeit, Klangobjekte völlig umzuwandeln, unter der Voraussetzung, daß das ursprüngliche Klangobjekt ein genügend reichhaltiges Spektrum hatte.

Der Vocoder, in Fig. 10 dargestellt, ist der Urtyp solcher Geräte: der analysierte Schall ergibt charakteristische Elemente, welche wiederum zu neuer Reihenfolge vereint werden. Um das zu erreichen, verbindet der Analysator die charakteristische „Reihenfolge“ mit einem Gitter von senkrechten Drähten; an ein ebensolches Gitter von *waagerechten* Drähten ist der Synthetisator geschaltet und die zwei Gitter zusammen ergeben dann die *Schallwandlungsmatrize*.

5. Komponiergeräte

Die synthetische Schallerzeugung auf Band ist auf die Stimme beschränkt und befindet sich noch im Kindheitsalter (Versuche von Cooper bei Haskins Laboratories). Die vollständige Vorprogrammierung auf Lochstreifen ruft „mechanisches Klavier“ und Olson's Synthetisator in's Gedächtnis zurück. Doch ist davon nicht viel neues zu erwarten: das Schaffensvermögen der Maschine braucht zusätzlichen Spielraum zur Entfaltung von Originalität; die zu starke Abgrenzung der Möglichkeiten des Schaffensvermögens aber wirkt hemmend auf dieses selbst . . . —: „Philosophie der Maschinen!“

Elektrisch Komponieren mittels Maschinen (Fig. 11) ist ein *Modell* geistiger Schaffensarbeit. Die Bedeutung der ersten Anwendungen dieser Methode übersteigt den Wert ihrer Resultate um vieles. Die Vorprogrammierung kann ebenso alle bekannten Instrumente (z. B. auch Oszillatoren) heranziehen, als sie Form, Klangfarbe und Dauer einem schon bestehenden Symbolspeicher entnimmt. Hier wäre das Modell DES „kritischen Hörers“ vonnöten — und damit befaßt sich unsere Forschungsarbeit schon seit langem . . .

6. Zusammenfassung

Diese Betrachtung der Möglichkeiten des elektronischen Instrumentariums sei durch einige allgemeine Bemerkungen abgeschlossen: man kann die Zukunft keiner menschlichen Tätigkeit voraussehen, jedoch durch die Extrapolierung ihrer Tendenzen *allgemeine Gesamtbilder* erzielen.

1. Der Begriff „elektronisches Instrumentarium“ muß ersetzt werden durch: „musikalische Technologie“.
2. Innerhalb der — gleich ob natürlichen oder elektronischen — Schallerzeugung muß dem Zellen-Problem immer mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden, da dieses nicht nur das authentische Komponieren erleichtert, sondern auch die Verständlichkeit der musikalischen Botschaften steigert.
3. Eben jetzt tritt ein gänzlich neuer Zweig des elektronischen Instrumentariums, welcher das *Komponieren* selbst angeht, hervor. Da er zur Zeit aber erst im Experimentierstadium ist, kann der Komponist der *musique concrète* oder der elektronischen Musik davon noch kaum direkten Gebrauch machen. Doch wird unter Heranziehung der Informationstheorie dadurch schon der Schaffensprozess des musikalischen Denkens erhellet und unser Erfassen der physikalischen Gesetzmäßigkeiten verständlicher Schallgestalten erleichtert.
4. Die Gesamtheit der Schallphänomene, welche wir hervorrufen, auszuarbeiten oder in zusammengefaßter Gestalt auszukomponieren, steht unter der Herrschaft der großen dialektischen Beziehung von: Ordnung \rightleftarrows Unordnung und unter der des quantitativen Begriffes des Ordnungsgrades oder — umgekehrt — *der Komplexität*.

Die Funktion musikalischer Botschaften ist — als Teil aller Umweltbotschaften — die Komplexität des Empfänger-Universums den Intentionen des Senders gemäß zu erhöhen. Die Komplexität erhöhen, heißt zugleich die Wahrnehmungswelt vergrößern, vorausgesetzt, daß der Mensch lernt, diesen seinen Reichtum zu gebrauchen. Auch für die Experimentalmusik gilt, was schon immer Musik bestimmt hat: der Mensch allein ist Maß der Dinge.

Das Schriftumsverzeichnis steht am Schluß der englischen Übersetzung.

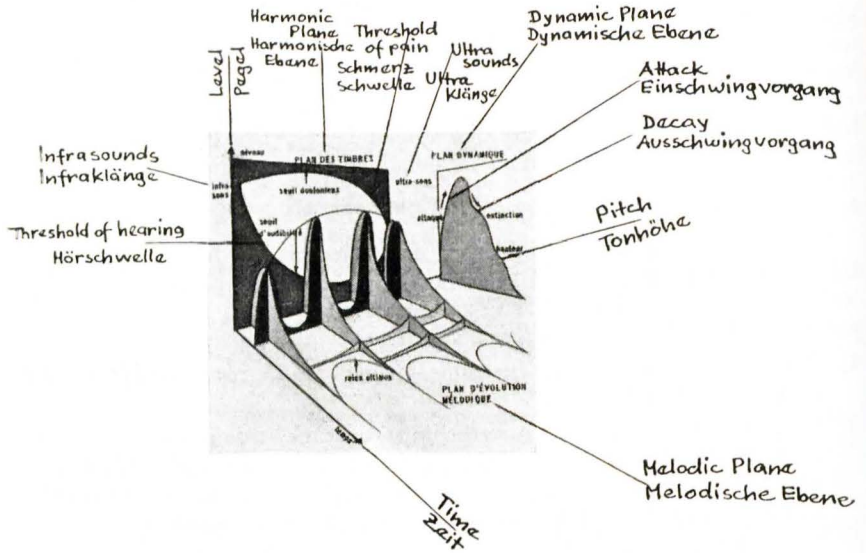


Abb. 2 Die dreidimensionelle Darstellung des Schalls
 Fig. 2 The three-dimensional representation of sound

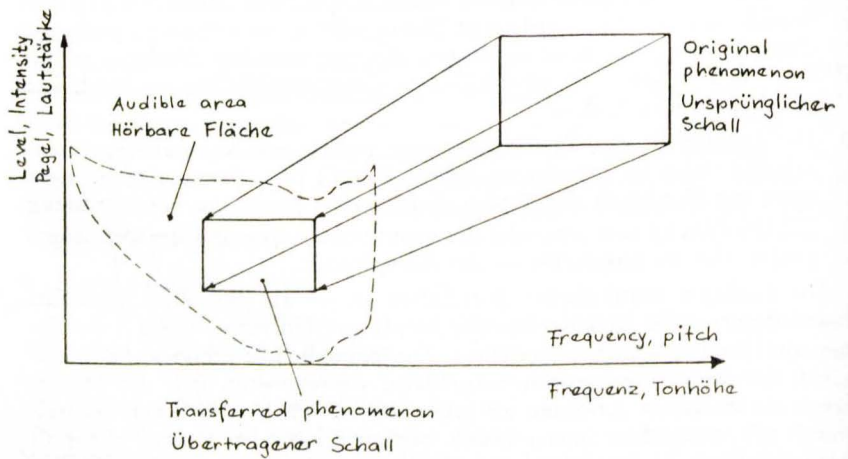


Abb. 3 Die Totaltransformation
 Fig. 3 The total transformation

FILTER AND TUNING
FORK CHAIN

INPUT
EINGANG

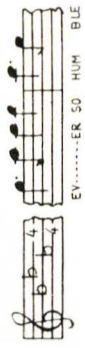
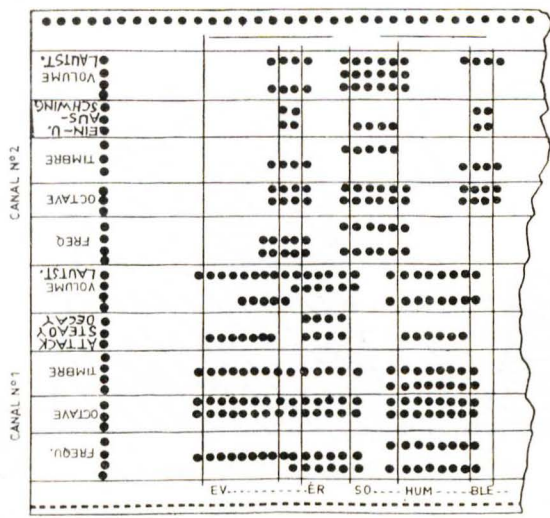
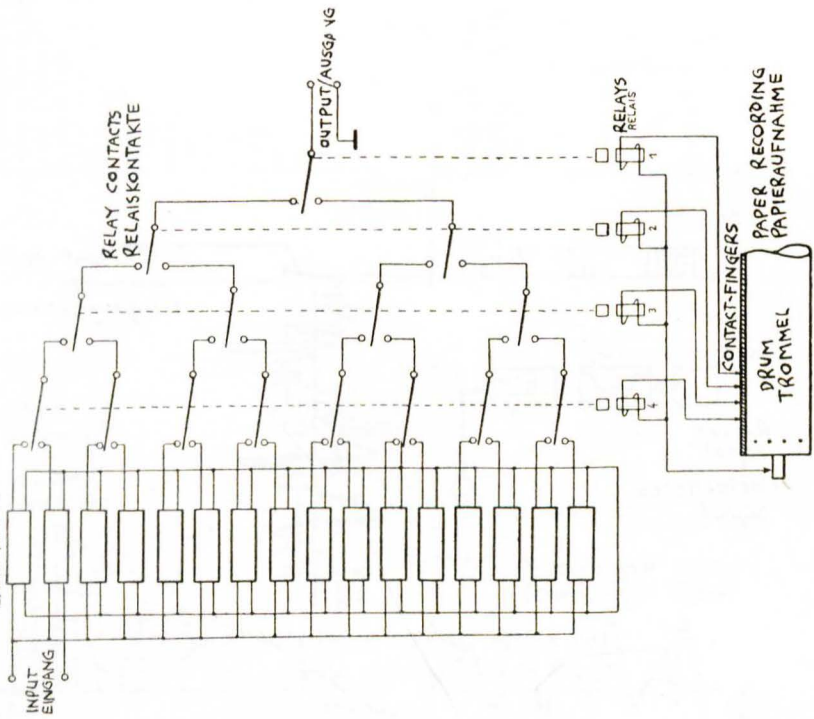


Abb. 4 Der Olson-Synthesator Fig. 4 The Olson Synthesiser

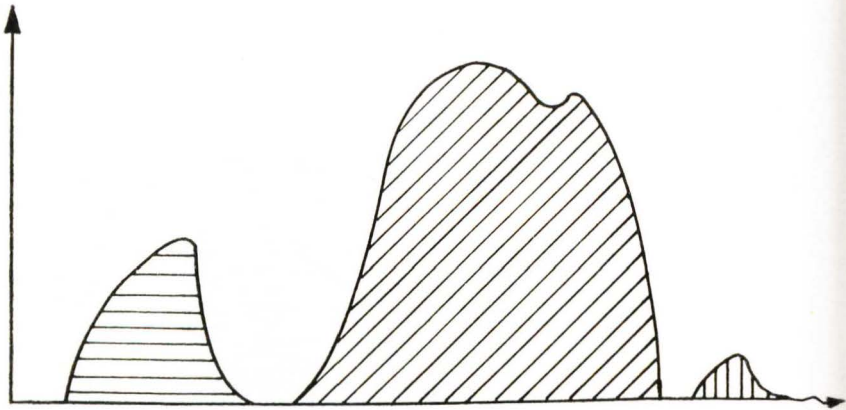


Abb. 5 Die Zellen Fig. 5 The Cells

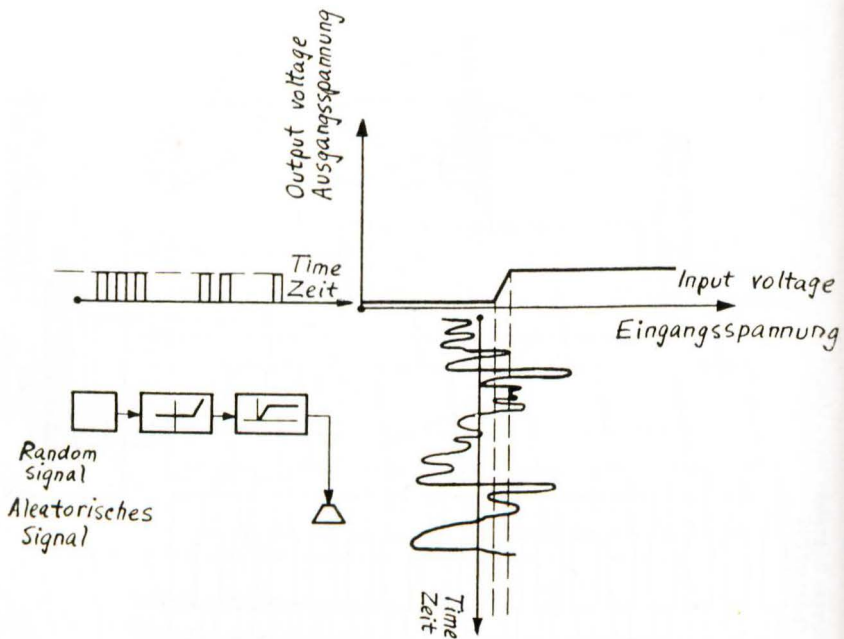


Abb. 6 Der Lieti'sche Amplitudenselektor
Fig. 6 Lieti's amplitude selector

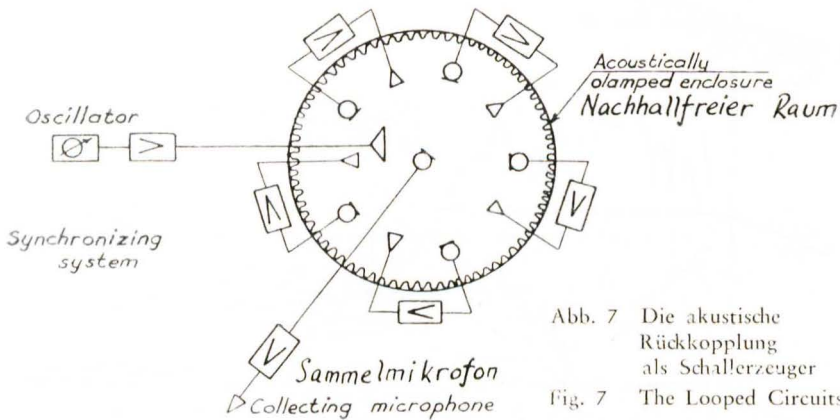


Abb. 7 Die akustische Rückkopplung als Schallerzeuger

Fig. 7 The Looped Circuits

Magnitude of the harmonics

Größe der Harmonischen

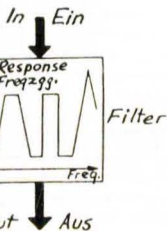
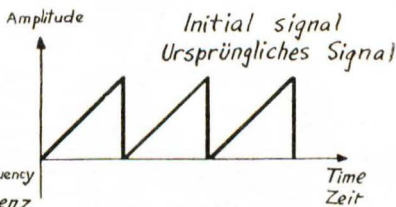
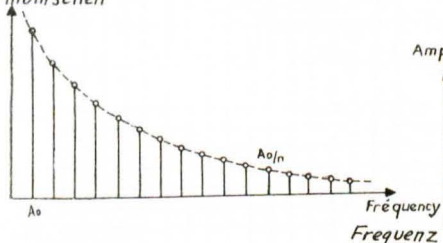
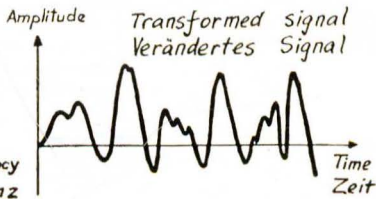
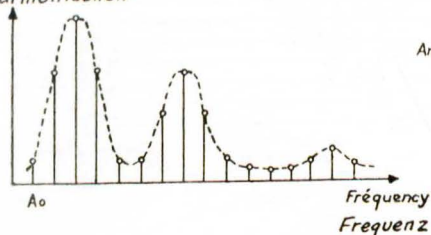


Abb. 8 Vorbereitung durch Filterung

Fig. 8 Preparation by filtering

Magnitude of the harmonics

Größe der Harmonischen



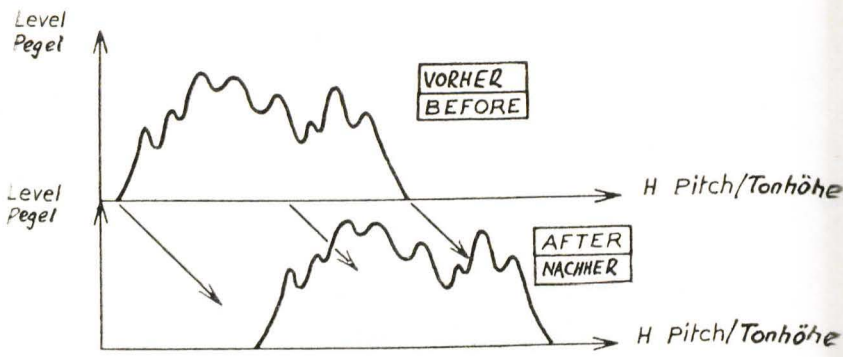


Abb. 9 Fig. 9 Transposition

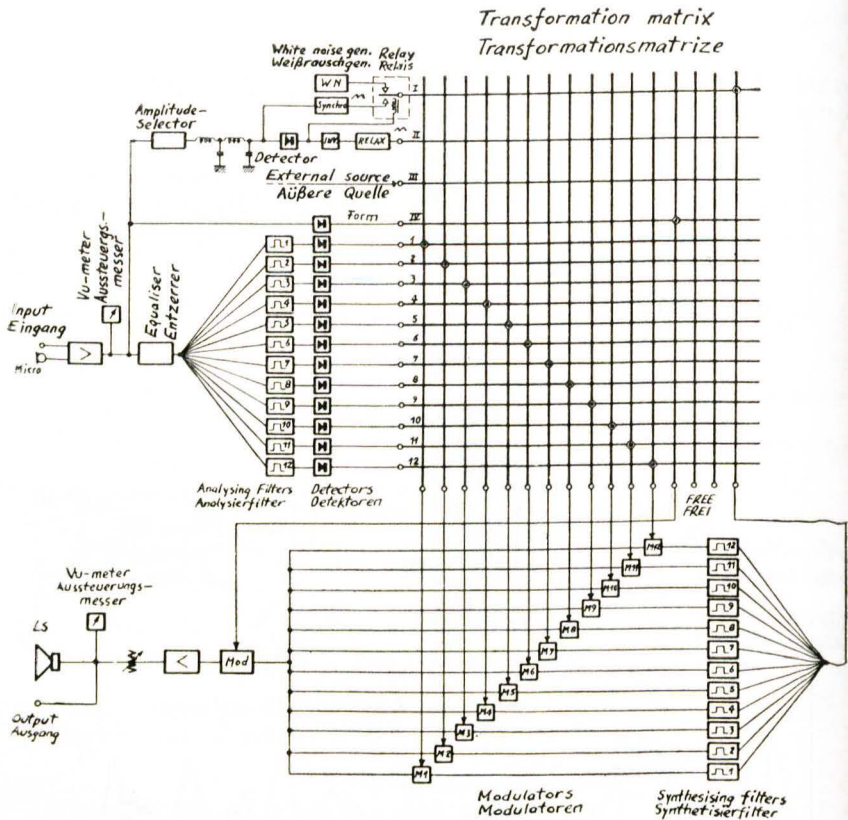


Abb. 10 Fig. 10 Vocoder

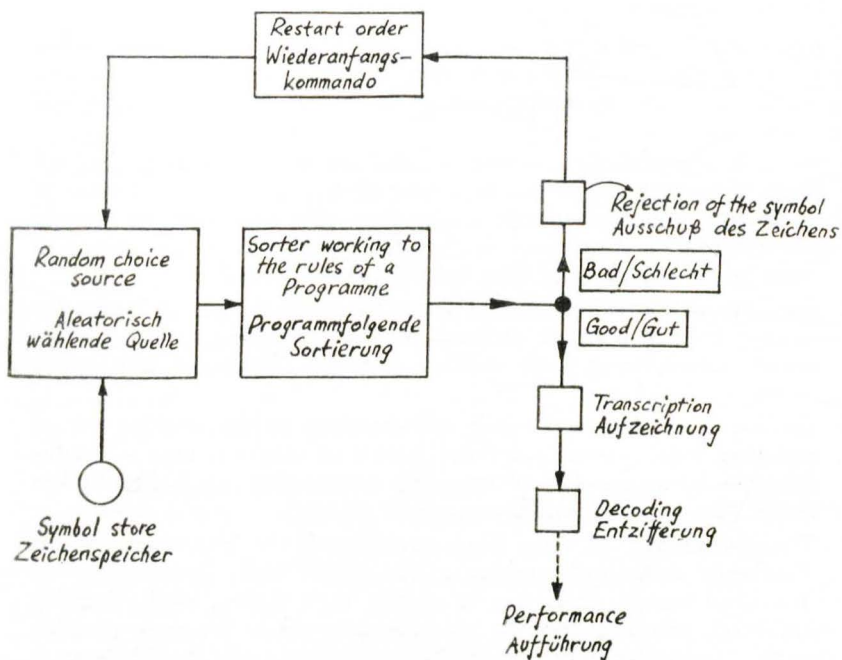


Abb. 11 Grundschemata eines musikalischen Kompositionsgerätes
 Fig. 11 Elementary block diagram of a musical composition machine

The Prospects of Electronic Instrumentation*

by

ABRAHAM A. MOLES

1. Introduction

Experimental music is from now on a fact in the musical world: it has acquired the right of citizenship in encyclopaedias, musical histories and the critics' columns. It is characterised by several more or less implicit basic axioms:

1. music is a *modulation in time*, a *tonal art* whose limits go beyond those set by the use of purely acoustical instruments: any system of intelligibly organised sounds is therefore able to arouse an aesthetic sensation: the musical work is *the appearance of a certain degree of order out of the chaos of the world of sounds around us*;
2. the listener's normal channel of access to music is now no longer the concert hall or amateur performance, but recording, which makes sound materialise in time, enabling it to be reproduced indefinitely — the aim of all art;
3. the aim of experimental music will therefore be the working out of organised tonal systems and their fixation on magnetic tape — among others — by an assembly of fragments representing *tonal objects* taken out of "the ocean of sounds around us" (Mager).

The construction of these fragments follows the inspiration of the "authentic composer" working at the studio itself. Listening to the individual sounds, he is free to modify their timbre, pitch, duration and level, *preparing* them by electroacoustic means for their assembly in the "composition" represented by the finished tape; the whole work takes place by *trial and error*, justifying the term experimental music;

4. in principle, there is no restriction to the choice of component tonal objects; these can originate from sounds produced by musical instruments, sounds previously recorded in the outside world and suitably altered, or "electronic" sounds, produced by vacuum tube generators. This is the concept of "the most general orchestra there is" (Schaeffer) (fig. 1).

Every phase of musical history is bound up with its technical history. The new tonal art falls here into its natural place in tradition, as the appearance of new means of producing sounds has always determined, after a certain time of ripening, the creation of new works.

* Paper presented at *Journées de Musique Expérimentale de Bruxelles*, October 1958.

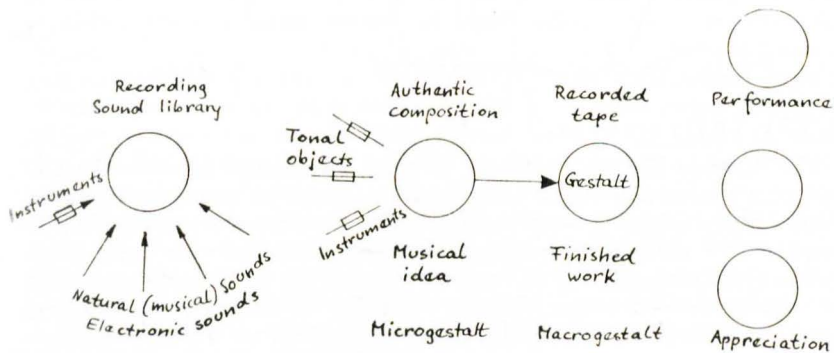
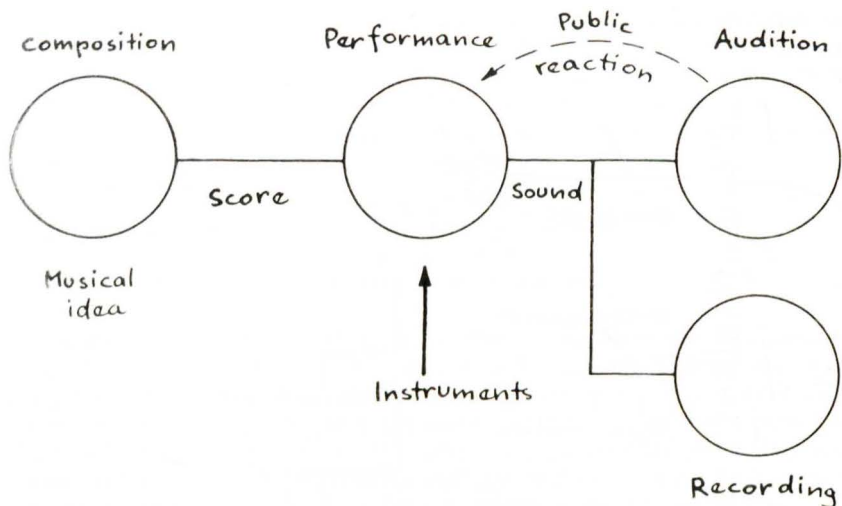


Fig. 1 (a) The conventional and (b) the experimental method of musical composition

Thus, experimental music, sometimes described "electronic" — musicians have something of the poet in them, and it would be sad indeed in the atomic age to refuse them the term "electronic" to describe their compositions — is seen to be tied to *other* instruments than those of conventional music; here then is a difference of instruments to distinguish it in the first place. The playing of the tape recorder is a difficult art, and

the experimental musician will meet in his instrumental wanderings the modern world's new dimension: *Complexity*.

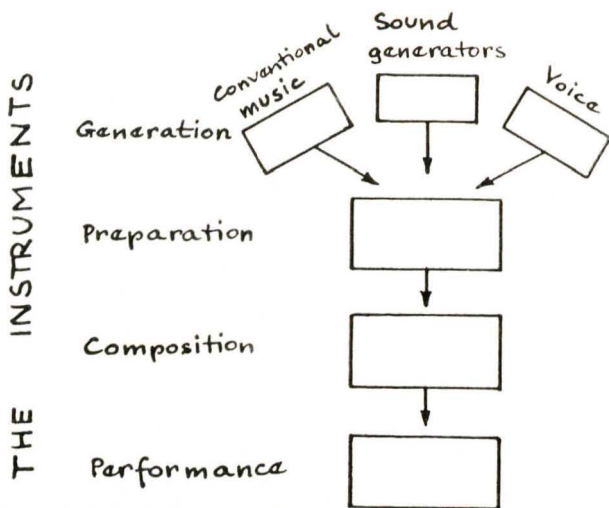


Fig. 1c. The phenomenological view of the term "instrument"

2. The Instruments

The diagram Fig. 1b introduces us to a phenomenology of instrumentation at the various stages where machines come in: machines to manufacture tonal objects, machines for their transformation (preparation), machines for their assembly (composition), and machines for their distribution (performance). But as has been pointed out by Schaeffer, the task of these machines is rather different from that of classical musical instruments: it is the birth of a *musical technology*, which we will now examine, taking the diagrams as a framework.

The generating instruments: machines for the manufacture of tonal objects.

Tonal objects are usually classified in four types:

sounds from musical instruments	} } (tape recorder) → sound library
sounds from the outside world	
speech sounds	
electronic sounds	

This brings us to our *sound library*.

Now the abundance of tonal objects was the determining factor in the beginning of experimental music; the liberation from musical instruments which inspired Varèse, Russolo and Hofmann meant an enlargement of the musician's sphere of action. This could only become apparent after recording had made it materialise in space, in respect to time. Certain technical standards had to be observed, among which are:

a. a dynamic range of at least 40 db,

b. a fidelity of form transposition expressed by a compass of 9 to 10 octaves (fig. 3).

Magnetic recording alone can meet these standards: *the tonal object* is the tape recorder's gift to music.

There are also other obstacles in the way of the tonal object: the limits imposed by the physiology and psychology of hearing. Side by side with a very real increase in dynamics, a certain deception makes itself felt, coming from the sound's own substance, its timbre; experience with the use of electronic instruments and others has shown that there does not exist as large a number of *distinctly different* timbres as might be imagined a priori. This opens a possible field of research, on the *evolving spectra*, of which only a restricted number can be "catalogued" by our memories by reason of the physical laws which could be called "traditional" and to violate which is one of the aims of experimental music — for example, the law of progressive exponential decay. For example, there remains a vast unexplored field between the sound of "bells" and sounds from a reverberation chamber conveniently excited by a rapid sweep oscillator. In fact, it seems that the discovery of new fields in the sphere of tonal objects is limited to unknown territory on the aural map — *microsounds*, *macrosounds*, brought into the centre of the aural area by artifice, possessing that balance between richness of texture and variety of form which reigns all perception, being a guarantee of *aural intelligibility*. For example, the use of the material termed "noise" is limited to the case where it has a minimum of distinguishing marks or lines or a very coloured spectrum, in short, a *degree of high periodicity* and a minimum degree of order required by the ear to appreciate it.

Thus we are led to enquire into these *important resonant systems*:

Infra-sounds Oscillations of the earth transposed through 7 octaves by temporal
telescope (recorded example 1a).

Bells and metal cones.

Exploitation of periodic phenomena already known in their graphic forms.

A phenomenon such as waves and tides is of value really to the poet only, who plays an essential part in experimen-

tal music, for the technician sees in it nothing but a sample of quasi-periodic phenomena of a relatively high degree of order, superimposed on a continuous, more or less coloured spectrum. This objective analysis removes all romanticism from the sound of waves and prepares the way for its synthetic manufacture.

Ultra-sounds
by temporal
microscopy
(usually poor
in harmonics)

They must be enriched: for example by interferential spectroscopy of variously shaped quartz plates.

Micro-sounds
of a harmonic
nature

A needle or pin vibrating in its various dimensions gives interesting sounds. Transposition of the vibrations into audible sounds and selective amplification makes them useable (Example 1*b*).

or
sounds in
media other
than air

Examples: A flea ballet could be danced on the diaphragm of a condenser microphone, or use could be made of the song of the shrimps at the bottom of the sea: such suggestions might tempt the sound hunter.

It is thus conceivable that the whole matter of the opera "The Pearl Fishers" could be expressed by the yawning of oysters: this is where poetry comes back into its rights.

Among the generating instruments we include the Olson electronic synthesizer, which is an attempt to find a general solution to the problem of the tonal object: let us recall that its aim, in principle, is a reconstruction of the sound phenomenon "note", always limited to the dominating pitches distributed in the equal tempered scale of twelve notes originating from a bank of tuning forks. By a multiplicity of preparations a fragment of the chosen sound is cut off, transposed into the desired octave, given the right length, provided with a timbre made up of a multitude of harmonics obtained by synchronised vibrations and filters, formed by an attack, a decay and a vibrato, and recorded on a disk. By a second such device, and rerecording, as many tracks as desired can be mixed, so that a whole orchestra can be reconstructed. The timing and ensemble is programmed on perforated paper tape (fig. 4). It ought to be possible to increase the range and originality of this immense player piano by the addition of some less rigid devices, such as Heck's ring modulator, described further on (example 2).

The Cells

In nearly all cases, present researches on tonal objects tend towards the discovery of systems termed *cells*, more complex than those dealing with

constant timbres. Cells are ordered families of sounds, connected by a perceptible organic relationship (fig. 5). This idea of a cell is gaining more and more importance nowadays, for it has a number of intrinsic advantages:

- a. it is easily recognisable by the ear,
- b. it has a high *degree of order* due to the internal redundance of timbres making it up,
- c. its duration is in general longer than that of elementary tonal objects, so that the labour of composition is reduced,
- d. after "preparation", cells retain their character, even when the original sounds have been transformed.

These sounds may be distributed at random in the period of time covered by a cell which can be retained by the memory: that is the principle behind the erratic peaks, obtained by Lieti by amplitude-filtration of white noise (fig. 6). They can also be provided with a greater or lesser degree of order: all systems working on the Lewis cycle fall into this class, the simplest of which is given by a more or less random connection of relays giving rise to tonal *sub-cells* recorded on a magnetic drum. Here we have the equivalent in musique concrète of certain aspects of random performance in Stockhausen's Etude XI. Many such circuits have been employed in cybernetics for the study of models, but they seem to be only of slight interest to the acoustician, although mention must here be made of the tonal system developed by Barron in the U.S. for their productions "Forbidden Planet", "Magirama", "Bells of Atlantis", etc. Finally, most interesting cells can be obtained by electroacoustic feedback making use of Larsen's phenomenon, provided they are properly controlled (fig. 7).

In general, every even slightly complicated calculating machine can deliver such cells fairly rapidly after suitable programming. Such montages are interesting because the method keeps the cells' degree of complexity under exact control: *the mechanical brain becomes imagination's relay*.

At this point reference must be made to Kendall's "Composertron", in which a "magnetic eraser" removes the magnetic impression on a tape in accordance with a given model calculated on celluloid, such as a given timbre for example. This instrument anticipates an interesting application of Schaeffer's remarks on the forms of the beginning of sound.

Finally, mention must be made, among the tonal cells used in experimental music, of note clusters, first introduced by Cowell on the piano, but covering in their principle all material sound sources, with special reference to a recording made on the basis of orchestral sound by Ussachevsky at Gravesano. These methods of speeding-up or slowing-down of the sound phenomena of existing music and transposed through 4 to 6 octaves are direct examples of that transformation of the quantitative into the

qualitative so well expressed by Hegel. The phenomena we perceive when a short melodic fragment is transposed and reverberated beyond 4 octaves are quite new; 64th notes (hemidemisemiquavers) melt together to form an entirely new, rapidly evolving, rich and coloured paste of sound.

4. Sound Preparation

Contrary to all the above, preparation instruments and methods seem narrowly limited in function. They should normally present an asymptote at the moment when the most general possible transformation has become reality, for the theoretical possibilities of tonal object transformation is limited, and an appreciable part has already been explored. This is the most likely place for "method" to become obvious — a fault to be guarded against at all times.

Preparation can be classed in several categories:

- a. *partial* preparation, where *one* or more aspects of the sound are modified,
- b. *total* preparation, transforming any sound into any other sound.

An exhaustive list of preparation methods can be made, based on the three-dimensional classification of sound as pitch, duration, level (cf. References). Let us just say a word on *filter* methods, about which much has been learned recently: filtration in itself means a loss of tonal substance — an improvement of intelligibility often comes at the expense of some of the sound's sensual elements. *Polyphonic filters* alone show a genuine *distortion of the spectrum*, the timbre transformation pictured from the start (recorded example). In this field perhaps we can look forward to great progress as concerns filter elements reaching a selectivity *effectively* down to about a quarter-octave (Albis or Pimonow type). This would enable the musician to intervene on the fine harmonic structure *line by line* (fig. 8 and Example 3).

It must be well remembered that a filter cannot enter into resonance with a non-existent sound, so that the use to which the filter is put is inseparable from the choice of sound to be filtered. The only tonal objects which lend themselves to polyphonic filtering are such as have numerous lines regularly spaced in a sufficiently broad zone between neighbouring amplitude spectrum and rate of decay. An original application of this is filtration of a noise slightly coloured by selection of very low frequencies which have an erratic appearance and can then be transposed into another part of the audible range. This is the equivalent, in pitch, of Lieti's amplitude filtration.

One of the most recent advances in electronic instrumentation is the *pitch regulator*, enabling the *transposition*, in the musical sense of the word — without change of speed or time — of the sound within a range

of two-thirds of an octave. This is an ingenious application of the now well-known time regulator made available commercially by Springer (cf. References) (Example 4).

Finally, one of the most interesting ways of preparing natural tonal objects is by the frequency ring-modulator designed by Heck, permitting *inversion* and *displacement* of timbre without changing the informational quality of the sound, i. e. its intelligibility, related to its "inner redundancy". This is a valuable attribute not found in filters, which lends this purely electronic preparation method special interest (Example 5).

Total preparation methods are, in truth, an economic headache for the studios: these are ambitious and complicated pieces of large equipment enabling a total subversion of tonal objects, on condition however that the initial object has a sufficiently rich spectrum.

Fig. 10 shows the working principle of the Vocoder, typical of these instruments: the sound is analysed for its characteristic elements, which are then recombined in a new order. The characteristic "orders" given by the analyser are delivered to a grid of vertical wires. A grid of horizontal wires is connected to the synthesising circuits, the two grids together forming a sound *transformation matrix* (Example 6).

5. Composition

Synthetic sound generation on tape is still in its infancy, and is limited to the voice (Cooper's experiments at the Haskins Laboratories, Example 7).

A consideration of complete advance programming on perforated tape brings us back to the above described Olson synthesizer or player piano. In fact, there is little to be expected of it. The point is that exercise of the machine's creative ability requires an additional field of originality, it is sterilised by limitation which is too strict: here we have entered on the philosophy of machines.

Electrical composition by machines (fig. 11) is a *model* of the brain's creative activity. Hence, the importance of its first applications greatly exceeds the value of its results. Advance programming can make use of any existing instrument, e. g. oscillators, but form/timbre/duration are also available in a previously set-up repertory of symbols. A model of the critical listener seems to be indicated here, which is just what we are working on at the moment.

6. Conclusion

Let us close this round trip of the prospects of electronic instrumentation with a few general remarks; the future of any particular human activity cannot be predicted, but its tendencies can be extrapolated to give a *composite picture*.

1. The term "electronic instrumentation" must be replaced by "musical technology".

2. In the generation of sounds, whether natural or electronic, increasing attention must be paid to the problem of *cells*, for they not only make authentic composition easier, but improve the intelligibility of the musical message.
3. An entirely new branch of electronic instrumentation relating to *composition* is brought to our attention. At present it is in the experimental stage, it can hardly be put to direct use by the composer of electronic music or *musique concrète*, but, guided by the Information Theory as applied to music, it can shed some light on the creative processes of musical thought and must help us in our conquest of the physical laws of an intelligible form of sound.
4. The acoustic phenomena created, prepared or organised by us in a composed form, taken as a whole, are ruled by the great dialectic relation: order \rightleftharpoons disorder, and by the quantitative idea of the degree of order or, conversely, the *degree of complexity*.

The function of the musical message, as a part of all the messages in the surrounding world, is to augment the complexity of the receiver's universe at the transmitters behest. Augmentation of complexity means the enrichment of the world of perception, provided the human operator knows how to put these riches to use. As far as experimental music — as all music, in short — is concerned, man is the measure of all things.

List of Recorded Examples

1. *a.* Accelerated terrestrial sounds (*a*) Seismology
b. Sounds obtained by interference (*b*) Ionosphere
2. Electronic synthesiser
3. Polyphonic filtering
4. *a.* Pitch regulator
b. Time regulator
5. Klangumwandlungen, Ring-Modulator
6. Vocoder
7. Haskins synthesis
8. Illiac

References

1. *Winckel, Meyer-Eppler, Poullin*, et al.: *Klangstruktur der Musik* (Radiofoto Verlag, Berlin, 1955)
2. *P. Schaeffer* and *A. Moles*: *A la recherche d'une musique concrète* (Ed. du Seuil, Paris, 1951)
3. *A. Moles*: *Machines à Musique: du Phonogène au Vocoder*. Numéro spécial sur les musiques expérimentales (Ed. Richard Masse, 1957)
4. *W. Meyer-Eppler*: *Elektrische Klangerzeugung* (Dummler Verlag, Bonn)
5. *A. Moles*: *Théorie de l'Information et perception esthétique* (Flammarion, 1958)
6. *A. J. Hiller*: *Les machines créatrices: machine à musique*, in "Ere atomique", encyclopédie des sciences modernes, Vol. 8 (Cybernétique)



VOLLMER

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

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.

E B E R H A R D V O L L M E R

**TECHNISCH-PHYSIKALISCHE
WERKSTÄTTEN**

**ERSTE DEUTSCHE SPEZIALFABRIK FÜR MAGNETBANDGERÄTE
PLOCHINGEN AM NECKAR**

Eine Analyse des Intonierungsvorganges bei Orgeln

von

A. RAKOWSKI* und E. G. RICHARDSON
King's College, Newcastle upon Tyne, England

Zusammenfassung

Von den Klängen einer metallenen und einer hölzernen Lippen-Orgelpfeife wurden während des Intonierungsprozesses Magnetbandaufnahmen gemacht. Eine mittels elektronischer Rechenmaschine durchgeführte Fourier-Analyse zeigt die Auswirkung der verschiedenen, vom intonierenden Orgelbauer vorgenommenen Eingriffe an den Pfeifen in Bezug auf den Gehalt an Harmonischen im Klangbild.

Die Analyse wurde sowohl für die während des Anblasens auftretenden Einschwingvorgänge als auch für die stabilen Zustände nach dem Einschwingen durchgeführt.

Allgemeines

Der Vorgang der Tonerzeugung bei Orgelpfeifen der Flöten-Klasse ist bekannt. Es wird dabei angenommen, daß der Luftstrom, der aus einem Schlitz (der Kernspalte) der Pfeife austritt und auf das Oberlabium auftrifft, einen Schneidenton erzeugt, dessen Höhe mit wachsender Windgeschwindigkeit eine kontinuierliche Steigerung erfahren würde, wenn kein Pfeifenkörper vorhanden wäre. Die Änderung der Tonhöhe wäre in diesem Falle proportional der Quadratwurzel aus dem Druck in der Kanzelle.

Die Eigenschwingungen der Luftsäule im Pfeifenkörper beschränken jedoch die erzeugten Töne auf die Grundschwingung der Pfeife und deren Harmonische, die bei steigendem Druck angeregt werden, sobald der Schneidenton in die Nähe der betreffenden Resonanzstellen kommt.

Fig. 1 zeigt am Beispiel einer offenen Prinzipal-Pfeife mit einer Grundschwingung von 280 Hz die möglichen Schwingungszustände in Abhängigkeit vom Schneidenton.

Die Pfeife zieht deutlich den Schneidenton aus seiner natürlichen Tonhöhe in diejenige ihrer Luftsäule hinüber. Nur dann, wenn der Frequenzunterschied zwischen dem Schneidenton und den Resonanzstellen der Pfeife zu groß ist, wird keine Synchronisation mehr erreicht, die Höhe des erzeugten Tones steigt oder fällt um ein Geringes und die Pfeife verstummt vollkommen.

Fig. 1 zeigt ferner eine weitere Art des Schneidentones, die bei niedrigen Winddrücken auftreten kann und die unter diesen Arbeitsverhältnissen mit

* Jetzt Musik-Akademie, Warschau, Polen.

den Eigenschwingungen des Pfeifenkörpers synchronisationsfähig ist. Solche „unterblasene Töne“ werden während der Einschwingvorgänge hörbar, wenn der Wind in die Pfeife einzuströmen beginnt.

Die Schneidentöne können mit einer geeigneten Versuchseinrichtung hörbar gemacht werden, ohne daß ein Pfeifenkörper vorhanden ist, und zwar sowohl in Luft (Richardson) oder unter Wasser (Gross). Nachdem die Pfeife und der Pfeifenmund roh vorgearbeitet ist, nimmt ein Spezialist eine Justierung des Mundes vor, deren Ziel im wesentlichen darin besteht, die Grundschiwingung und die niedrigen Harmonischen zu verstärken, die höheren Harmonischen aber so weit wie möglich abzuschwächen, da diese für die Rauheit und den zischenden Charakter des ursprünglich erzeugten Tones verantwortlich sind. Untersuchungen über die Intonierung von Orgelpfeifen sind schon früher von Kuhn und Mercer durchgeführt worden.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung bestand darin, den Einfluß festzustellen, den die verschiedenen Maßnahmen während der Intonierungsarbeit auf die Entstehung von Harmonischen ausüben; sowohl die Einschwingperiode als auch der stabile Schwingungszustand sollte untersucht werden.

Für die Untersuchung ausgewählt wurden zwei typische Pfeifen der Flöten-Klasse, nämlich eine hölzerne Wald-Flöte ($H_3 = 276$ Hz) und eine offene Prinzipal-Pfeife $B_3 = 233,1$ Hz). Beide Pfeifen sind im Schnitt in Fig. 2 gezeigt. Sie wurden in der Werkstatt der Firma Harrison, Orgelbauer, Durham, hergestellt. Die Magnetbandaufnahmen wurden in einem teilweise schallgedämpften Raum durchgeführt, wobei ein dynamisches Mikrophon zur Verwendung kam. Das Mikrophon war in einem Abstand von 1 m vor dem Mund der Pfeifen aufgestellt. Die auf dem Magnetband aufgezeichneten Schallvorgänge wurden später einem Katodenstrahlscillographen zugeführt und durch eine Filmkamera mit laufendem Filmstreifen photographiert. Mittels der Fourier-Methode wurde die Zusammensetzung der während des Einschwingvorganges und im stationären Zustand der angeblasenen Pfeifen entstehenden Obertöne untersucht. Die Anwendung Fourier'scher-Reihen zur Untersuchung von Einschwingvorgängen bedeutet immer eine Näherungsrechnung, die zu dem Grade der benötigten Genauigkeit in einem vernünftigen Verhältnis stehen muß; im vorliegenden Falle vermittelt sie durchaus brauchbare Informationen über die Bildung von Harmonischen. Die 32- und 20-Punkt Analysiermethoden kamen zur Anwendung, um auch den Gehalt an harmonischen Komponenten höherer Ordnung zu erfassen, wenn solche auftreten sollten, jedoch wurden in den Kurvendarstellungen nur die mit verhältnismäßig großer Intensität auftretenden Harmonischen eingetragen (Fig. 4). Alle Berechnungen wurden mit Hilfe einer elektronischen Rechenmaschine durchgeführt, die von der Durham Universität zur Verfügung gestellt war.

Die Holz-Pfeife

Die Wald-Flöte gehört zu den Orgelpfeifen der Flöten-Familie; diese sind im stabil angeblasenen Zustand durch die geringe Oberwellenbildung charakterisiert. Die Eingriffe, die beim Intonieren einer Holzflöte vorgenommen werden, betreffen in der Hauptsache geringfügige Veränderungen des Kernspaltes und bestehen im wesentlichen in einem Verschieben der in der Fachsprache als „Vorschlag“ bezeichneten vorderen Kappe und der Anbringung von Einkerbungen am Unterlabium. Eine Verschiebung des Vorschlags entlang der Längsachse der Pfeife wirkt sich in einer Erweiterung bzw. Verengung der Kernspalte aus und bestimmt damit die Luftmenge, die von der Flöte ausgestoßen wird. Gleichzeitig verändert sich damit auch der Winkel, unter dem der Luftstrom das Oberlabium trifft. Dieser Eingriff beeinflusst daher die Ansprechzeit der Pfeife und die relative Intensität der niedrigzahligen Harmonischen. Das Einkerven beeinflusst dagegen in der Hauptsache die höheren harmonischen und unharmonischen Anteile des Schalles, die — besonders während des Einschwingvorganges — u. U. eine unangenehme Rauigkeit und einen charakteristischen, zischenden Klang erzeugen können.

Fig. 3a zeigt die Schallwelle der Holz-Flöte vor deren Intonierung. Der Gehalt an Harmonischen ist in Fig. 4a dargestellt.

Charakteristisch ist die verhältnismäßig lange Dauer des Anblasvorganges und der hohe Prozentsatz der zweiten Harmonischen.

Der erste Eingriff beim Intonieren der Pfeife bestand in einer Vergrößerung des Kernspaltes durch Erweiterung des Schlitzes zwischen Vorschlag und Unterlabium. Der Vorschlag wurde gegen das Oberlabium hin verschoben und der verstärkte Luftstrom dabei mehr nach dem Innenraum der Pfeife hin gelenkt. Diese Maßnahme führte zu einem Überblasen der Pfeife und zu einer überwiegenden Bildung der zweiten Harmonischen während des stabilen Zustandes. (Fig. 4b).

Der Vorschlag wurde sodann in der entgegengesetzten Richtung verschoben, d. h. der Kernspalt verengt. Der Luftstrom mußte nun den engen Schlitz passieren und traf das Oberlabium unter einem anderen Winkel. Der Erfolg ist in den Figuren 3c und 4c dargestellt. Die zweite und die folgenden niedrigzahligen Harmonischen werden ganz wesentlich geschwächt, dafür aber entsteht ein starker Anteil von Frequenzen über 3000 Hz. Dieser Schwingungsanteil setzt sich aus Oberschwingungen der 15. bis 17. Ordnung zusammen und ist teilweise unharmonisch. Im Kurvenbild kommt dieser Anteil als mittlere Amplitude der 16. und 17. Harmonischen zur Darstellung.

Das Vorhandensein ähnlicher Schwingungsanteile wurde auch in allen anderen Fällen zu Beginn des Einschwingvorganges festgestellt, jedoch war hier der Prozentsatz sehr viel höher, blieb auch während des stabilen Zustandes erhalten und konnte leicht als eine unangenehme zischende Färbung

des Tones erkannt werden. Dieses Phänomen findet in der Literatur keine ausreichende Erklärung, beruht jedoch zweifellos auf einer Wirbelbildung des entweichenden Luftstromes, denn die Stärke der Erscheinung ist weitgehend abhängig von der Oberflächenglätte des Vorschlags und des Unterlabiums und kann daher ganz wesentlich durch eine entsprechende Nachbearbeitung dieser Teile gemildert werden.

Die Figuren 3d und 4d zeigen die Auswirkung des Einkerbens. Der Anteil hoher Harmonischer ist wesentlich vermindert, die Zeit des unterblasenen Zustandes, während dessen die zweite Harmonische vorherrscht, ist kurz, und der stabile Zustand wird in weniger als 0,2 Sekunden erreicht, einem Wert, der für Holz-Pfeifen dieser Größe als normal zu betrachten ist.

Die abschließende Justierung besteht meist in kleinen Änderungen der Lage des Vorschlags, mit dem Ziele, das Anblasen zu beschleunigen und den Gehalt an Schwingungen der zweiten Harmonischen zu verringern. Schließlich wird der Vorschlag in der gefundenen günstigsten Stellung befestigt, und die Intonierung der Pfeife ist beendet.

Die Metall-Pfeife

Die offene Prinzipal-Pfeife, eine der typischsten Orgelpfeifen, ist ein charakteristischer Repräsentant der Labial-Pfeifen. Die ihr eigene geringe Oberwellenbildung weist ihr eine Stellung zwischen den verhältnismäßig gedeckt klingenden Flöten und den brilliant klingenden Streicher-Prinzipalen zu.

Der Intonierungs-Vorgang verläuft im allgemeinen wie folgt:

1. Erweiterung des Pfeifenmundes durch „Aufschneiden“ und Formgebung des Oberlabiums. Dieses wird gewöhnlich nach dem Schneiden von außen her noch abgeschrägt.
2. Nachschneiden des Unterlabiums, des Kernes, bzw. manchmal beider.
3. Einstellung des Arbeitsdruckes im Fuß durch Veränderung der Größe der Fußbohrung und Einstellung der Größe des Kernspaltes.

Es gibt noch einige andere Möglichkeiten der Intonierung wie z. B. die Befestigung eines zylindrischen Körpers (Röllchens) im Pfeifenmund und die Anbringung eines besonderen Stimm-Schlitzes, jedoch sind diese Methoden nicht bei allen Arten von Prinzipal-Pfeifen anwendbar.

Fig. 3e zeigt die Schallwelle der Metall-Pfeife in ihrer rohen Form vor dem Intonierungsvorgang. Es wird erkennbar, daß während der Dauer einiger Zehntel-Sekunden die Schallwelle durch ein kontinuierliches Frequenzspektrum mit Breitband-Eigenschaften, das in seiner Frequenzverteilung einen aleatorischen Charakter aufweist, gekennzeichnet ist. Bald jedoch zeichnen sich in der Schwingung Komponenten ab, die eine bestimmte Tonhöhe festlegen (jedoch sind diese während des Einschwingvorganges nicht ganz harmonisch), und nach einem verhältnismäßig langen Übergangs-

stadium erzeugt die Pfeife eine überblasene Oktave mit einem hohen Gehalt an Teilschwingungen höherer Ordnung. Der Klang dieses Tones ist rau und unangenehm.

Der erste Arbeitsvorgang der Intonierung umfaßte zwei Eingriffe: Erweiterung des Mundes und Verkleinerung des Durchmessers der Fußbohrung, beides mit dem Ziele einer Herabsetzung des Arbeitsdruckes im Pfeifenfuß. Letztere Justierung wird meist durch Schlagen der Pfeifenspitze mit einem Bronzhammer vorgenommen. Der Erfolg der genannten Justierung ist in den Figuren 3f und 4f zu erkennen. Zu Beginn des Einschwingvorganges herrscht die dritte Harmonische vor und im stabil eingeschwingenen Zustand erzeugt die Pfeife ihre Grundfrequenz mit einem hohen Gehalt der zweiten Harmonischen.

Zur weiteren Verbesserung wurden die Labien nachbearbeitet. Das Ergebnis wird in den Figuren 3g und 4g erkennbar. Die Kerben wurden in das Unterlabium eingeschnitten, und zwar zusätzlich zu den bereits während der Roh-Bearbeitung angebrachten drei Kerben. Durch sie wird der Gehalt des Tones an Harmonischen höherer Ordnung wesentlich beeinflusst.

Auch die zweite und dritte Harmonische werden stark abgeschwächt; die dritte Harmonische ist während des Einschwingvorganges nicht mehr vorherrschend, so daß hierdurch die Anblaszeit auf ungefähr 0,1 Sekunde herabgesetzt ist.

Abweichend von den für diese Arbeit angewandten wissenschaftlichen Methoden und dem verwendeten modernen Instrumentarium verläßt sich der erfahrene Orgelbauer gänzlich auf sein Ohr. Dank seiner langen Praxis und der Schulung seines Ohres gelingt es ihm, die erforderlichen Justierungen schnell und mit erstaunlicher Genauigkeit vorzunehmen.

Die Autoren danken Herrn Cuthbert Harrison für die Unterstützung, die ihnen in seinen Werkstätten zuteil geworden ist und Herrn F. Howe für seine Hilfe.

Weiterhin möchten sie dem British Council ihren Dank aussprechen für die Bewilligung eines Stipendiums an Andrej Rakowski zur Durchführung der vorliegenden und anderer akustischer Untersuchungen.

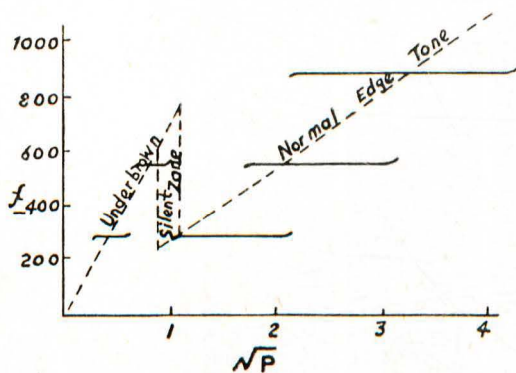


Fig. 1 Schneidentöne in Orgel-Pfeifen

Fig. 1 Edge tones in organ pipes.

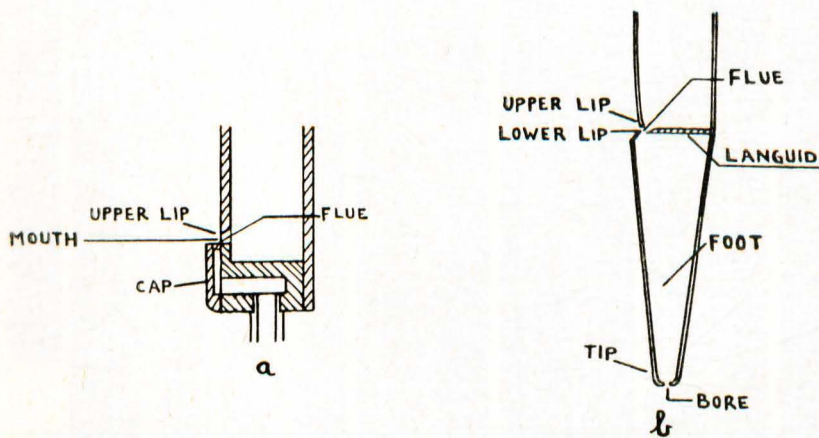


Fig. 2 a. Querschnitt einer hölzernen Orgel-Pfeife der Flöten-Klasse

b. Querschnitt einer offenen Prinzipal-Pfeife

Fig. 2 a. Cross-section of the wooden organ pipe "flute" type.

b. Cross-section of the open diapason pipe.

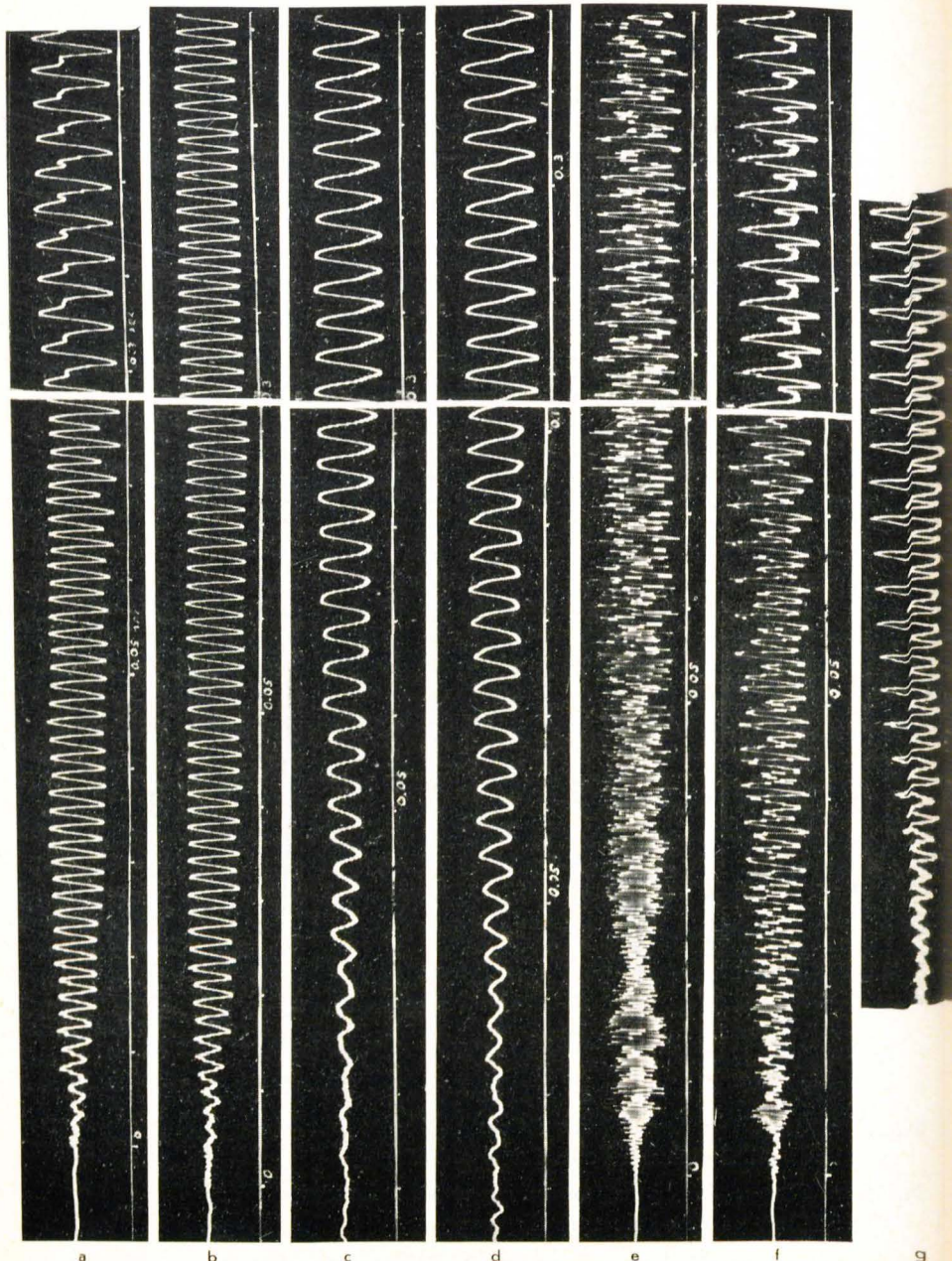


Fig. 3 Die Bildung der Schallwellen in den Orgel-Pfeifen nach Vornahme der verschiedenen Justierungen während des Intonierungs-Vorganges a, b, c, d = Wald-Flöte — e, f, g = Offene Prinzipal-Pfeife.

Fig. 3 The development of sound waves in the organ pipes after different voicing adjustments a, b, c, d = wald flöte — e, f, g = "open diapason".
 (The analysis was made at smaller intensity of cathode ray, giving greater precision).

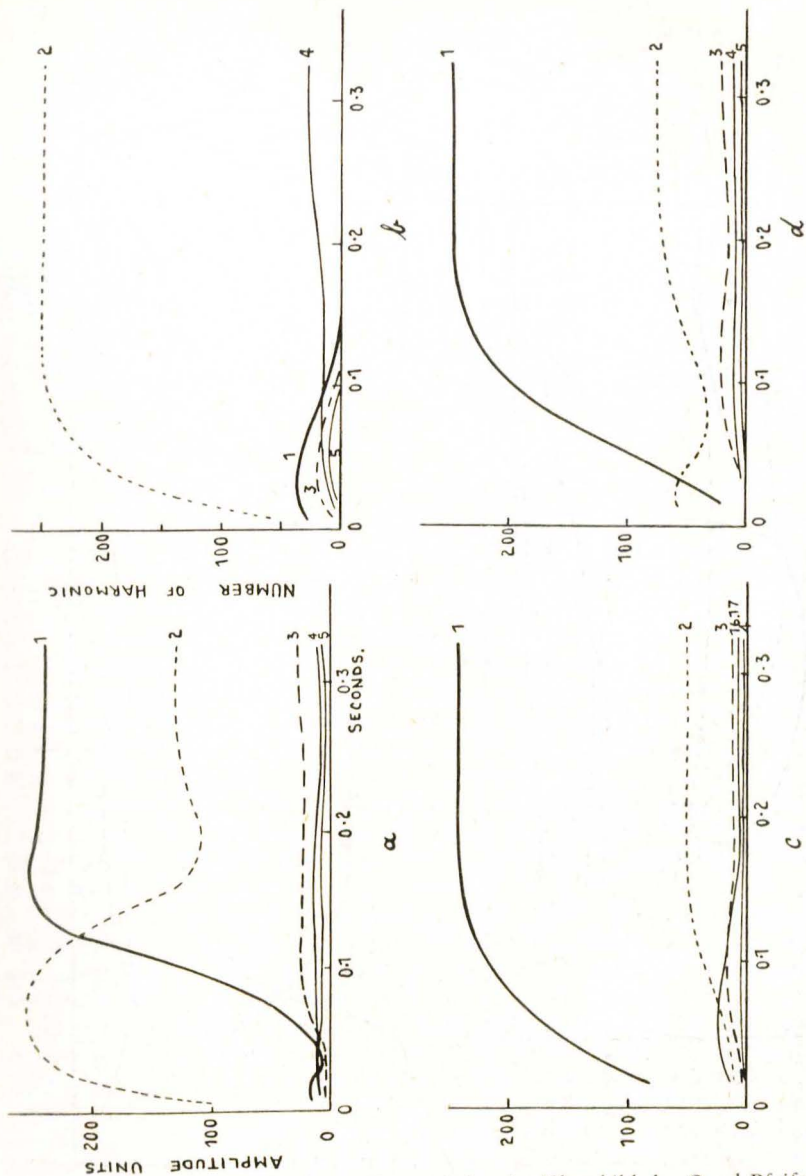


Fig. 4 Analysen der verschiedenen Harmonischen im Klangbild der Orgel-Pfeifen nach Vornahme verschiedener Intonierungs-Justierungen
 a, b, c, d — Wald-Flöte

Fig. 4 The analysis of the separate harmonics in the sound of the organ pipes, after different voicing adjustments.
 a, b, c, d, — "wald flöte"

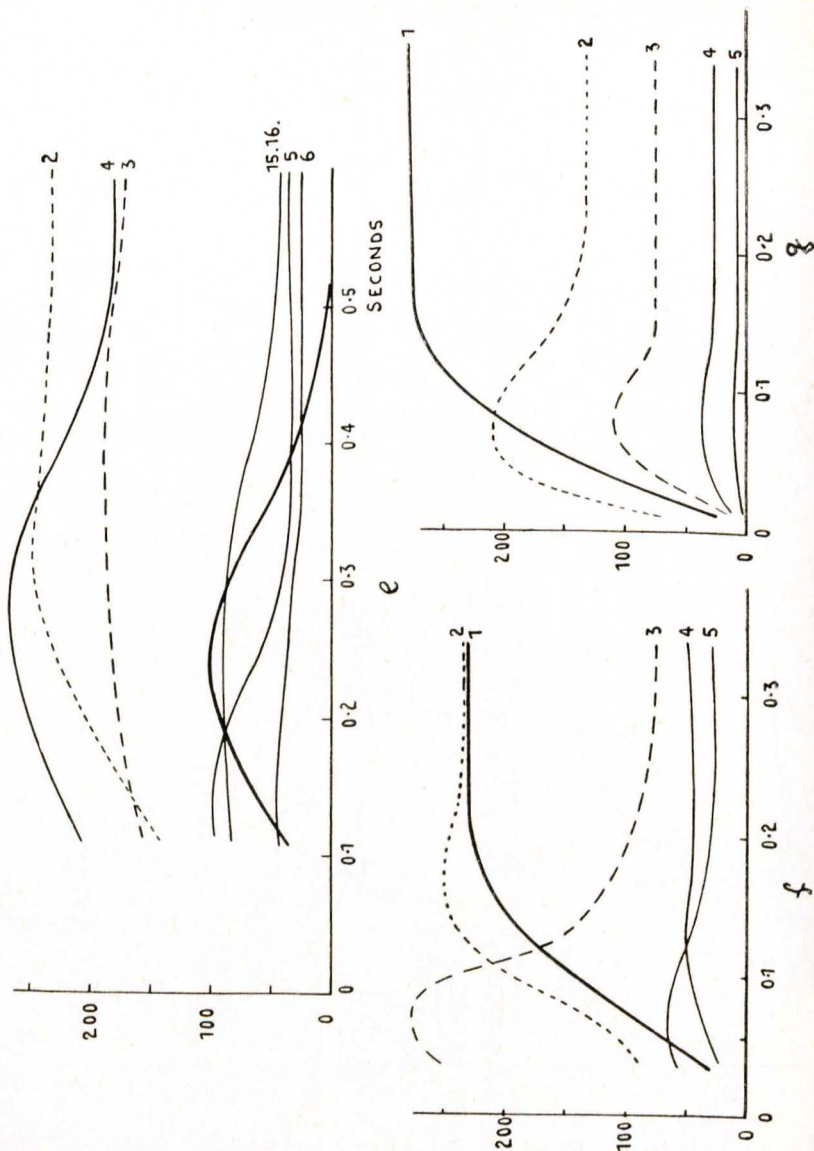


Fig. 4 Fortsetzung e, f, g — Offene Prinzipal-Pfeife
 Fig. 4 Cont. e, f, g. — "open diapason".

A Spectral Analysis of the Voicing Process

by

A. RAKOWSKI* AND E. G. RICHARDSON

King's College, Newcastle upon Tyne, England.

Summary

Tape records have been made of the sounds of two organ pipes, one wood and one metal, of diapason type during the process of voicing. A Fourier analysis of the records, made on an electronic computer, shows the effect on the harmonic components of the various adjustments made by the voicer. The analysis is given for both the transient and steady states.

Introduction

The process by which the flue organ pipe speaks its note is well known. It is believed that the air issuing from a slit in the mouthpiece and striking the upper lip (cf. Fig. 2) produces an edge-tone whose pitch in the absence of the pipe, would rise continually in proportion to the wind velocity, i. e. to the square root of the pressure in the wind chest. The natural frequencies of the column of air, however, are confined to the fundamental and its harmonics which it sounds in turn at rising pressure as the edge tone comes nearly into resonance. These possible modes of vibration are shown in relation to the edge tone on Fig. 1 for an open diapason type of 280 c/s. fundamental.

The pipe actually pulls the edge tone out of its natural pitch into that of the Column. Only when the two partners of the coupled system are badly out of synchronism does the pipe rise or fall a little in pitch and then become silent.

The figure shows another type of edge tone, produced at low pressures, which can come into synchronism with the tones of the column at low pressures. These 'underblown tones' are apparent as 'transients' when the wind is first let into the pipe.

The edge tones can be heard in a suitable apparatus without any pipe, either in air (Richardson) or under water (Gross). After the pipe and its mouthpiece have been roughly fashioned, a skilled craftsman makes adjustments of the mouthpiece, the subject of which is generally to strengthen the fundamental and some of the lower harmonics and remove the higher ones which are responsible for the roughness and sibilance of the original tone: Previous experiments on the voicing of flue pipes have been made by Kuhn and Mercer.

* Now at Academy of Music, Warsaw, Poland

The aim of the present investigation was to examine the influence of different voicing operations on the harmonic development of the transient and steady sound of flue pipes.

The two pipes chosen were typical flue pipes of the middle register; a wooden "wald flöte" ($B_3 = 276$ c/sec) and a "open diapason" ($B_3b = 233.1$ c/sec). Their sections are shown on Fig. 2. The pipes were made in the works of Messrs. Harrison, Organ Builders, Durham. The records of sound were taken in a partly lagged room using the dynamic microphone and the tape recorder. The microphone was placed at a distance of 1 m from the pipe's mouth.

The recorded sound waves were later transferred to a cathode ray oscillograph and photographed on a moving film camera. The Fourier method was used to analyse the overtone structure and its development as the wind was let into the pipe. Using the Fourier series method for analysing transient states is always an approximation but may be justified by the range of accuracy required and gives useful information about harmonic development. The 32 and 20 point methods of analysis were adapted in order to detect the high harmonic components, if any, but only the development of more important and stronger harmonics is marked on the graphs (Fig. 4). All calculations were carried out with the aid of the electronic computer belonging to Durham University.

The Wooden Pipe

The "wald flöte" belongs to the "flute" pipes family which is characterised by a small development of harmonics in a steady state. The operations carried out when voicing a wooden flue pipe concern mainly delicate changes in the flue and consist of changing the position of the cap and nicking the lower lip. Replacing the cap along the longitudinal axis of the pipe is equal to widening or narrowing the slit that changes the quantity of air emitted by the flue. At the same time it changes the angle at which the stream of the air strikes the upper lip. This operation effects the speaking time of a pipe and the relative intensities of the lower harmonics. The nicking of the flue exit effects mainly the higher harmonics and non-harmonic components of sound which cause unpleasant roughness and "chiff" especially in transient states.

Fig. 3a represents the sound wave of the wooden flue pipe before voicing. Its harmonic development is shown on Fig. 4a. It is characterised by a comparatively long articulation time and a high percentage of the second harmonic.

The first voicing operation was opening the flue by widening the slit between the cap and lower lip. The cap was moved towards the upper lip and the increased stream of wind was directed more inside the pipe.

This caused the pipe to overblow and resulted in it sounding mainly the second harmonic during the steady state (Fig. 4b).

The cap was then removed in the opposite direction, narrowing the flue. The stream of air now had to pass through a narrow slit and struck the upper lip under a different angle. The effect of this may be observed in Figs. 3c and 4c. The second and other lower harmonics are considerably depressed but a strong high component of frequencies over 3000 c/sec. appears. This component consists of the harmonics of the range from 15th-17th and is partly non-harmonic. In our graph it is represented as the average amplitude of the 16th and 17th harmonics.

The presence of similar components was observed in the beginning of transient states in all other cases, but in this case it is much stronger, lasts over the steady state and can be easily heard as an unpleasant "hiss" in the sound. This phenomenon has no adequate explanation in literature, but no doubt is due to turbulence in the issuing jet for it depends on the smoothness of the surface of the cap and the lower lip and may be removed in considerable degree by proper nicking.

Figs 3d and 4d illustrate the effect of nicking. The high component is now considerably decreased, the 'underblown' time, where the second harmonic predominates in the sound, is short and the steady state is reached in less than 0.2 sec., the average for a wooden pipe of this size.

The final adjustment may consist of small changes in the position of the cap in order to hasten the articulation (widening the flue) or to decrease the content of the second harmonic. Then the cap has to be fixed in a chosen position and voicing is completed.

The Metal Pipe

The open diapason, one of the most typical organ pipes is a characteristic representant of the flue group. Its moderate harmonic development classifies it between the rather dull-sounding flutes and the brilliant quality "string" diapasons.

Voicing is usually carried out by: —

1. Heightening the mouth, which consists of "cutting up" and shaping the upper lip. The upper lip after cutting is usually bevelled from the outside.
2. Nicking the lower lip, the languid, or sometimes both together.
3. Adjusting the effective pressure of the air in the foot by changing the size of the bore and adjusting the width of the flue.

There are some other possibilities such as fixing a roller in the mouth and introducing the separate "tuning slot" but they are not available in all kinds of diapason.

Fig. 3e represents the sound wave of the metal pipe in its rough form, before voicing. We notice that in a few tenths parts of a second it is mainly a random function with a continuous spectrum over a wide frequency band. The distinct components carrying a definite pitch appear however quite soon (being in this transient state not quite harmonic), and after a comparatively long transition, the pipe sounds an overblown octave with a large content of higher components. This sound is rough and unpleasant.

The first operation concerned two adjustments; heightening the mouth and diminishing the diameter at the bore in order to decrease the effective pressure in the foot of the pipe. (This is usually done by striking the tip with a brass hammer). The effect may be observed in Figs 3f and 4f. In the early transient state the third harmonic is predominant and in the steady state the pipe sounds its fundamental frequency with a large content of second harmonic.

These conditions were further improved by nicking and the final result is shown in Figs 3g and 4g. The nicks were cut on the lower lip in addition to some (three) which were originally cut in the making of the pipe. Their presence affects considerably the high harmonic development. The third and second harmonics are also considerably decreased, the third harmonic is no longer predominant in the transient state so that in effect the articulation time is reduced to about 0.1 sec.

Though we have undertaken a scientific analysis of voicing using modern instrumentation, the craftsman, of course, relies entirely on his ear. It is a tribute to his long experience and ear-training that he is able to assess so quickly and accurately the effect of the adjustments that he makes.

A c k n o w l e d g e m e n t s

The authors wish to thank Mr. Cuthbert Harrison for placing the facilities of his works at their disposal and Mr. F. Howe for his co-operation.

They are also grateful to the British Council for granting a scholarship to A. R., which enabled him to come from Warsaw to carry out this and other acoustical projects.

Akustisch-praktische Daten zum Waldhorn

von

BOEGNER

(1) Die Polsterpfeifen

Die bei der Orgel vorkommenden Tonerzeuger (Lippen- und Zungenpfeifen) erregten von je das fast ausschließliche Interesse der Physiker und man versucht die dritte Art der Tonerzeuger, die Polsterpfeifen, damit abzutun, daß man sie kurzerhand als Doppelzungen bezeichnet und meint, die Gegeneinanderbewegung der Bläserlippen (die Vibration) sei der gleiche Vorgang wie bei einem Rohrblattinstrument.

Bei den Lippen- und Zungenpfeifen kommt es im wesentlichen darauf an, den Luftstrom richtig an die Schneide zu bringen bezw. die Zunge in Vibration zu versetzen, dann ist der Grundton da. Die weiteren Töne (von dem *einen* darauffolgenden Oberton abgesehen) können nur mit Hilfe mechanischer Mittel (Tonlöcher, Klappen) erfolgen, indem die klingende *Luftsäule verkürzt* wird.

Bei Instrumenten mit Kesselmundstück (Trompete, Posaune, Horn) aber kann bei *gleichbleibender Länge* der schwingenden Luftsäule *eine ganze Serie von Obertönen* erzeugt werden und die vibrierenden Lippen (Polster) müssen für jeden Ton eine ganz bestimmte *Breite* und eine ganz bestimmte *Spannung* haben und zudem muß der Luftstrom in einer ganz bestimmten Richtung ins Mundstück geblasen werden.

Der Schwingungsvorgang selbst ist beim Mundstück der Rohrblattinstrumente so, daß das Blatt nur in einer Richtung hin und her schwingt. Dagegen bewegen sich die Polster räumlich, sie bewegen sich gegeneinander *und* vor und zurück. Also handelt es sich hier um einen ganz anderen, viel komplizierteren Ablauf von Bewegungen wie sie niemals z. B. bei einer Orgelpfeife auftreten!

Dies alles zusammen erschwert natürlich die experimentelle Erforschung der Blechblasinstrumente ungeheuer und macht die Lücken auf diesem Sektor der Akustik besonders klar.

(2) Klangerzeugung

(Siche Abb. 1)

Bei a wird die Luft weggeblasen; bei b verdichtet sie sich und drückt durch ihr Ausdehnungsbestreben die anschließende Luft nach hinten (c), sodaß bei d wieder eine Verdichtung stattfindet, die ihrerseits nach außen drückt und die nächste Verdichtung bereits außerhalb des Instrumentes hervorruft. Dabei muß aber immer beachtet werden, daß sich die Luft

nicht im ganzen fortbewegt, sondern daß die *einzelnen* Luftteilchen kurz hin und her schwingen und vermöge ihrer Elastizität immer wieder an ihren Ausgangspunkt zurückkehren.

(Das Beispiel zeigt den 2. Naturton = eine ganze Wellenlänge.)

Eine Wellenbewegung wie die obere heißt Longitudinalwelle, weil die Schwingbewegung der Medium (= Luft)teilchen *in* Richtung der Energiefortpflanzung vor sich geht. Diejenigen Stellen der schwingenden Luftsäule, die Luftverdichtungen aufweisen, haben einen „Druckbauch“ (Abb. 1, b und d), der mit einem „Bewegungsknoten“ zusammenfällt, die Stellen mit Luftverdünnungen aber zeigen gleichzeitig einen „Druckknoten“ und einen „Bewegungsbauch“ (a, c und e).

Die Bezeichnungen „Knoten“ und „Bauch“ wurden von den „transversalen“ Wellen übernommen, d. h. Wellen, wie sie z. B. eine ausgestrichene Violine trägt.

Hier werden beim Erregen einer Saite, die an 2 Punkten festgelegt ist, Querschwingungen erzeugt. (Siehe Abb. 2).

Die Longitudinalwelle in transversaler Darstellung hat praktische Bedeutung, weil dadurch die Wellenbewegung zeichnerisch leicht sichtbar gemacht werden kann. Die Wellenbewegung der Abbildung 1 würde, auf das Rohr eines Blasinstrumentes übertragen, so aussehen. (Siehe Abb. 3).

Wir haben von der Erzeugung irgendeines beliebigen Tones gesprochen. Wie aber wird es, wenn wir einen Ton anderer Tonhöhe erzeugen wollen? Musiker wie Physiker sprechen da von „überblasen“. Man sagt „*durch Verstärkung* der Luftzufuhr schlägt der erste Ton in einen anderen und zwar höheren um“. Bei abermals stärkerem Anblasen entsteht ein weiterer Ton u. s. f.¹ Diese Töne bezeichnen wir als Obertöne, Naturtöne, Teiltöne. Auf unserem Waldhorn sind es etwa 16, die geblasen werden können. Über ihren Zusammenhang und ihr Wesen werden wir später sprechen.

Durch die stärkere Luftzufuhr müßten, so könnte man meinen, die Töne mit zunehmender Höhe immer lauter werden. Jeder Hornist weiß aber, daß auch die höchsten Töne im Pianissimo zu erzielen sind. Also kann das „Überblasen“ nicht einfach in der Verstärkung der Luftzufuhr liegen, wie es in den Lehrbüchern heißt. Es müssen andere Momente auftreten, welche die Modulation der Töne über dem Grundton erlauben.²



Jeder Blechbläser weiß, daß er zur Bildung der verschiedenen Naturtöne auf seinem Instrument die Lippen verschieden stark spannen muß. Es sei betont, daß diese Untersuchungen sich nur auf das *Naturhorn* beziehen,

¹ Dies trifft wohl bei den Lippenpfeifen zu, wo es sich leicht experimentell nachweisen läßt, nicht aber bei den Posterpfeifen! Die Töne der Lippenpfeifen sind starr und nicht modulationsfähig.

² Kröncke a. a. O. klärt diese Frage für Lippenpfeifen anschaulich in seinen Versuchen No. 34 und 35.

die Ventile müssen außer Acht bleiben, weil sie nur die Stimmung *eines* Naturhornes in die *eines anderen* Naturhornes umformen.

Der Hornist muß, um einen bestimmten Ton zu treffen, abgesehen von der richtigen *Lippenspannung*, mit dem Luftstrom in einer bestimmten *Richtung* einen bestimmten *Platz* im Mundstück anblasen. Gerät er nebenhin, entsteht sofort ein anderer Ton, der, wenn er sogleich korrigiert wird, den berühmten „Kiekser“ ergibt. Dabei ist die *Tonhöhe* unabhängig von der *Stärke* des Luftstromes.

Folgende zwei Töne mögen als Erläuterung dienen: Das hohe c^2  und das tiefe C_1 . Zwischen beiden liegen 3 Oktaven. Durch den großen Abstand der beiden Töne wird der Unterschied im Ansatz besonders klar.

Abgesehen von der verschiedenen starken *Spannung* der Lippen muß der obere Ton sehr stark von oben nach unten geblasen werden, also nicht in die Röhre hinein, sondern sehr weit vorne an das untere Ende des *Mundstückes*, wie Abbildung 4 zeigt.

Nach dem Gesetz der Wellenreflexion muß der Luftstrom im Konus des Mundstückes ein oder mehrere Male *reflektiert* werden, bis er den Eingang in das Rohr des Instrumentes gefunden hat. (Siehe Abb. 4).

Je höher der Ton, desto weiter *vorne* muß der im Mundstück gebildet werden und um so *kürzer* muß der Abstand des Lippenspaltes von der im Mundstück angeblasenen Stelle sein³. Auf diese Weise kann der Reflexionswinkel jedesmal so gehalten werden, daß der Luftstrom immer an die Stelle dirigiert wird, die den Übergang des Konus zur „Seele“ bildet. Von diesem Punkt aus folgt die Wellenbewegung dann den Windungen des Instrumentes.

Das hohe C muß sehr steil nach unten angeblasen werden, während das tiefe fast waagerecht angeblasen wird. Die dazwischen liegenden 12 Naturtöne haben ihren Platz *zwischen* den beiden besprochenen Anblasepunkten. Diese liegen, ihrem Intervall entsprechend, näher zusammen oder weiter auseinander. Daraus ist auch erklärlich, daß Bindungen von kleinen Intervallen leichter auszuführen sind als von größeren (immer auf dem Naturhorn!); denn der Anblasepunkt ist dabei nur um sehr kleine Entfernungen zu verschieben. Triller mit der Sekunde oder Terz sind möglich, mit der Oktave aber unausführbar!

Beim hohen C sind die Lippen stärker gespannt, besonders die Unterlippe, während beim tiefen C dieselben stark entspannt sein müssen. Außerdem wird der Lippenspalt bei den hohen Tönen durch seitliches Zusammenpressen *verkleinert*, sodaß eine *unter* den 17 mm des Mundstückdurchmessers

³ Abgesehen von der stärkeren Spannung der Lippen und der kleineren Öffnung des Lippenspaltes!

liegende Vibrationszone der Lippen entsteht, während bei den tiefen Tönen die Lippen in ihrer ganzen Breite schwingen müssen.

Noch ein weiteres kommt hinzu. Die Oberlippe und die Unterlippe berühren sich nicht beim Blasen, wie bei aufschlagenden Zungen zum Beispiel. Der Lippenspalt ist bei den hohen Tönen weniger und bei den tiefen mehr geöffnet. Bei den hohen Tönen schwingt weniger, bei den tiefen mehr Lippenfleisch mit⁴.

Hier sei auch gleich eine Betrachtung über die Bohrung des Musikstückes angeschlossen. Weite Bohrung des Mundstückes erleichtert die Ansprache der tiefen Töne, enge Bohrung die der hohen. (Siehe Abb. 5).

Wenn früher gesagt worden ist, daß nur sehr wenig Luft durch das Instrument hindurchgeht, so spielt die geringe Luftmenge doch eine Rolle. Bei den höheren Tönen ist der Luftstrahl dünner und wird im engen Mundstück sicherer geführt, während der stärkere Strahl eines tiefen Tones die größere Bohrung leichter passiert und die Schwingungen sich leichter entwickeln können; eine zu enge Bohrung behindert den Luftweg so stark, daß sich das auch auf die Höhe nachteilig auswirkt; während umgekehrt ein zu weites Mundstück dem Luftstrom so wenig Führung gibt, daß selbst die tiefen Töne nicht mehr ansprechen.

(3) Die Schwingungsvorgänge im Rohr

Die Naturtöne:

Der zweite Naturton maßgebend für die Stimmung

Verwandtschaft der Naturtöne

a) Oktave

b) Übrige Obertöne

1) Ihr Verhältnis zur Rohrlänge

2) Ihr Verhältnis zueinander

Theoretischer und praktischer Tonumfang

⁴ *Martin* (a. a. O. S. 305) untersucht die Lippenschwingungen bei einem *Kornettmündstück* mit Hilfe eines geknickten, zum Teil durchsichtigen Experimentalmundstückes, das erlaubte, die Lippenbewegungen von vorne und von der Seite in Reihen-
aufnahmen zu photographieren. Die in Diagrammen dargestellte Auswertung lehrt, daß auch hier die Bläserlippen sich tatsächlich nicht berühren, und daß Ober- und Unterlippe bei verschiedenen Frequenzen verschieden stark an der Tonbildung beteiligt sind. Die photographierte Abbildung hat *Stauder* (a. a. O. Sp. 725, Abb. 2) übernommen, sie zeigt die Vibration „bei einer tiefen Frequenz“. *Hendersons* Untersuchungen (a. a. O. S. 58 ff.) sind ebenfalls exakt für den *Trompetenansatz* durchgeführt und er meint am Schlusse, daß — „im Gegensatz zur allgemeinen Annahme — die Oberlippe der primäre Erreger des Tones sei. Ihr Anteil an der Vibration hängt von dem Grade ihrer Steifheit und von der schwingenden Masse ab. Diese beiden Faktoren werden hauptsächlich durch die Gegenbewegung („biting“) und den Gegendruck der Unterlippe kontrolliert“.

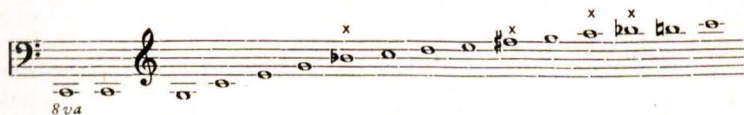
Wie die Schwingungen innerhalb der Röhre entstehen, wurde bereits im vorigen Teil besprochen. Wir müssen uns aber noch etwas eingehender damit befassen.

Das Beispiel der ersten Abbildung zeigt die Entstehung des zweiten Naturtones. Dieser ist für jedes Blasinstrument besonders wichtig, weil eine ganze Wellenlänge dieses Tones gerade gleich der Rohrlänge ist.

Dieser zweite Naturton, — der gerade einer Wellenlänge im Rohr entspricht —, ist maßgebend für die *Stimmung* der Röhre des Instrumentes. Um es an einem praktischen Beispiel zu erläutern, beziehen wir uns auf das „F-Horn“. Sein zweiter Naturton ist das klingende große F. Dieses hat eine Wellenlänge von 3,94 m⁵ und das ist die *theoretische* Länge eines F-Hornes (in der Praxis jedoch weicht sie um einige Zentimeter davon ab).

Die klangliche Verwandtschaft der Oktavtöne beruht auf einem einfachen Verhältnis der Wellenlängen zueinander. Die höhere Oktave hat immer die Hälfte der Wellenlänge des Ausgangstons, die tiefere Oktave die doppelte Wellenlänge. Der Grundton unseres F-Hornes — klingend F₁ — hat die Wellenlänge von 7,89 m; in dem 3,94 m langen Rohr schwingt also nur eine halbe Wellenlänge von F₁. Umgekehrt ist das klingende f eine Oktave höher als F, muß demnach die halbe Wellenlänge von F haben, d. h. 1,974 m. Beim kleinen f gehen also zwei ganze Wellenlängen in das Rohr unseres F-Hornes.

(4) Die Naturtöne



Die Wellenlängen der Naturtöne stehen zahlenmäßig in enger Beziehung zur Rohrlänge, fortschreitend von halber zu halber Wellenlänge (Tab. 1). Der 1. Naturton füllt mit $\frac{1}{2}$ Wellenlänge die Rohrlänge gerade aus, der 2. mit einer ganzen, der 3. mit $1\frac{1}{2}$, der 4. mit 2, der 5. mit $2\frac{1}{2}$, usw., der 16. Naturton, das klingende f², geht 8 mal in die Rohrlänge⁶.

In Tabelle 1 ist daselbe noch einmal in Zahlen ausgedrückt. Vergleicht man die Wellenlängen unserer Naturtöne mit denen der diatonischen Tonleiter, bemerkt man, daß sie im großen ganzen übereinstimmen.

⁵ Für a (gleichschwebend—temperierte Stimmung) = 435 Hertz bei 15 Grad Celsius.

⁶ Die mathematischen Beziehungen lauten also: Ordnungszahl $\times \frac{1}{2}$ = Anzahl der Wellenlängen im Rohr (z. B.: 5 mal $\frac{1}{2}$ Wellenlänge = $2\frac{1}{2}$ Wellenlängen im Rohr).

Dies gilt jedoch nur beim offenen Rohr! Beim einseitig geschlossenen (der gedeckten Pfeife) ist das Grundmaß $\frac{1}{4}$ Wellenlänge!

Tabelle 1

Die Naturtöne des F-Horns in temperierter Stimmung für 435 Hertz:

Notierung für F-Horn	Naturton Nr.	Klingender Ton	Wellenlänge in Metern	Geht in die Rohrlänge von 3,94 m
Großes	C	Kontra F	7,89	1/2 Mal
Kleines	c	Großes F	3,94	1 „
„	g	Kleines c	2,635	1 1/2 „
Eingestr.	c	„ f	1,974	2 „
„	e	„ a	1,566	2 1/2 „
„	g	Eingestr. c	1,317	3 „
„	(b)	„ (es)	1,126	3 1/2 „
Zweigestr.	c	„ f	0,987	4 „
„	d	„ g	0,879	4 1/2 „
„	e	„ a	0,783	5 „
„	(fis)	„ (h)	0,716	5 1/2 „
„	g	Zweigestr. c	0,658	6 „
„	(a)	„ (d)	0,606	6 1/2 „
„	(b)	„ (es)	0,562	7 „
„	h	„ e	0,522	7 1/2 „
Dreigestr.	c	„ f	0,498	8 „

Die Naturtöne No. 7, 11, 13 und 14 sind unrein. Ihre Wellenlängen entsprechen nicht den Wellen reiner Töne unserer Tonleiter. Sie sind alle zu groß. Infolgedessen klingen diese 4 Naturtöne zu *tief*, wie folgende Tabelle zeigt, in der die jeweils benachbarten *diatonischen* Töne angegeben sind.

Tabelle 2

Die unreinen Naturtöne

	Wellenlänge der Naturtöne	Wellenlänge der Nachbartöne	Verhältniszahlen zur Rohrlänge
7. Naturton	1,126 m	$d^1 = 1,173$	3,36
		-----	3,5
		$es^1 = 1,105$	3,58
11. Naturton	0,716 m	$b^1 = 0,737$	5,33
		-----	5,5
		$h^1 = 0,697$	5,65
13. Naturton	0,606 m	$cis^2 = 0,622$	6,33
		-----	6,5
		$d^2 = 0,586$	6,73
13. Naturton	0,562 m	$d^2 = 0,586$	6,73
		-----	7
		$es^2 = 0,552$	7,13

Man könnte die Tabelle rechnerisch und theoretisch weiter über die 16 Naturtöne hinaus fortsetzen. Diese höheren Naturtöne sind tatsächlich auf unserem Instrumente noch „drauf“, aber keines Menschen Lippen sind in der Lage die nötige rasche Vibration zu erzeugen, die für diese Höhen notwendig wäre.

Es ist bis jetzt noch nicht gelungen eine Polsterpfeife zu konstruieren, um *alle* Obertöne — bis zur oberen Frequenzgrenze des Ohres — *experimentell* erzeugen zu können. Die Konstruktionsvorschläge von Scheminzky-Ewald⁷ und Simbriger-Zehlein⁸ genügen nicht, weil die Polster beidemale starr sind, sich nur in *einer* Richtung bewegen und weil sie auch die anderen Bedingungen aus der Definition des Überblasens (S. 60!) nicht erfüllen. Der Grundton des F-Hornes, das klingende Kontra-F, hat 43,16 Hz⁹. Das heißt also, daß ein Luftteilchen sich in der Sekunde 43,16 Mal hin und her bewegt.

Diese Zahl 43,16 des Grundtones F_1 ist maßgebend für die Schwingungszahlen der ganzen Obertonreihe des F-Hornes; denn sie steckt in den Schwingungszahlen sämtlicher Obertöne drinnen. Umgekehrt: ein Ton mit einer Schwingungszahl, die *nicht* durch 43,16 teilbar ist, kann nicht in die Obertonreihe des F_1 gehören.

Die Tabelle 3 ist absichtlich über den gerade noch blasbaren 18. Naturton hinaus erweitert worden, weil damit auch in Bezug auf die Schwingungszahlen unsere Behauptung von Seite 10 veranschaulicht werden soll, — daß nämlich die Naturtöne nach oben immer enger zusammenrücken, daß die oberen Intervalle nicht nur halbe Töne betragen, sondern noch viel kleinere Abstände haben.

Zwischen das a" und b" schiebt sich bereits ein *neuer* Zwischenton ein. Das ist der 21. Naturton. Er muß, da er die Halbtonstufe halbiert, ein Viertelton sein. Solche Vierteltöne treten zwischen allen Halbtönen von d" bis a" regelmäßig auf.

Nehmen wir die obere Grenzfrequenz unseres Ohres bei rund 17000 Hz an, so entspräche das etwa dem siebengestrichenen c. Von unserem 24. Naturton c" bis zum 384. Naturton, eben dem c⁷, sind es 4 Oktaven, also nach unserer diatonischen Tonleiter *49 temperierte Halbtonschritte*. In den selben Bereich fallen aber nicht weniger als 361 Naturtöne!

In der Tiefe ist das zahlenmäßige Verhältnis gerade umgekehrt: Vom F_1 bis zum c" sind es $4\frac{1}{2}$ Oktaven mit *56 Halbtönen*, denen aber nur *24 Naturtöne* gegenüberstehen.

Ergänzend muß noch darauf hingewiesen werden, daß alle Töne, deren Ordnungszahlen sogenannte Primzahlen (von 7 ab 11, 13, 17, 19, 23, 31 usw.) sind, unrein erscheinen. Ebenso verhält es sich mit den Vielfachen

⁷ Abgebildet bei Scheminzky a. a. O. S. 339.

⁸ Abgebildet bei Simbriger-Zehlein a. a. O. S. 93.

⁹ Für 435 Hz, des a' nach Trendelenburg a. a. O. S. 21.

dieser Ordnungszahlen, sodaß trotz der Vielzahl der Naturtöne nur wenige wirklich reine Töne auftreten. Von den 384 Naturtönen bis zum c^7 entsprechen nur 40 unserer reinen Stimmung.

Tabelle 3

1. Teilton	F_1	=	43,16 Hz	=	1 mal 43,16
2. "	F	=	86,32 "	=	2 " "
3. "	c	=	129,48 "	=	3 " "
4. "	f	=	172,64 "	=	4 " "
5. "	a	=	215,80 "	=	5 " "
6. "	c'	=	258,96 "	=	6 " "
7. "	e'	=	302,12 "	=	7 " "
8. "	f'	=	345,28 "	=	8 " "
9. "	g'	=	388,44 "	=	9 " "
10. "	a'	=	431,60 "	=	10 " "
11. "	b'	=	474,76 "	=	11 " "
12. "	c''	=	517,92 "	=	12 " "
13. "	d''	=	561,08 "	=	13 " "
14. "	e''	=	604,24 "	=	14 " "
15. "	f''	=	647,40 "	=	15 " "
16. "	g''	=	690,56 "	=	16 " "
17. "	h''	=	733,72 "	=	17 " "
18. "	a'''	=	776,88 "	=	18 " "
19. "	b'''	=	820,04 "	=	19 " "
20. "	c'''	=	863,20 "	=	20 " "
21. "	$(a'''-b''')$	=	906,36 "	=	21 " "
22. "	d'''	=	949,52 "	=	22 " "
23. "	e'''	=	992,68 "	=	23 " "
24. "	f'''	=	1035,84 "	=	24 " "

(5) Theoretischer und praktischer Tonumfang

Unter dem Grundton einer offenen Röhre müßte der nächste tiefere Ton $1/2$ Wellenlänge weniger betragen als dieser. Da der Grundton aber gerade mit einer halben Wellenlänge in das Rohr geht und

$$1/2 \text{ Wellenlänge} - 1/2 \text{ Wellenlänge} = 0 \text{ ist,}$$

so entsteht *keine* Schwingung mehr *unterhalb* der Schwingung des Grundtones. Damit ist die naturgesetzliche Begrenzung der Obertonreihe nach der Tiefe hin erwiesen.

Ein einzelner Ton, der auf dem Horn geblasen wird, ist kein reiner Ton, wie etwa bei der Stimmgabel, sondern ein Klang; d. h. es klingen immer mehrere Töne zusammen. Einer davon bestimmt die Tonhöhe, die anderen

bestimmen die Klangfarbe. Diese mitklingenden Töne sind keine anderen als die schon bekannten Obertöne, Naturtöne, oder, wie sie in diesem Zusammenhange auch heißen, Nebenklänge, Aliquottöne oder Partialtöne. Je mehr solcher Teiltöne mitschwingen, desto voller und wärmer ist der Klang eines Instrumentes. Je weniger mitklingen, desto klarer und heller oder schärfer wird er. Es ist auch wichtig für die Klangfarbe, ob mehr tiefere oder mehr höhere Teiltöne und in welcher Stärke sie auftreten.

Folgende Abbildung 6 nach Scheminzky-Miller zeigt einige Klangspektren. Wir erkennen, daß die Stimmgabel einen reinen Ton ohne Obertöne gibt, also, musikalisch gesehen, langweilig, reizlos sein muß, während dagegen der Waldhornton *alle* Obertöne als mitschwingende Nebentöne enthält, wobei die unteren Teiltöne sehr *stark* ausgeprägt sind — was eben den weichen Klang hervorruft. (Siehe Abb. 6).

Auch Trendelenburg¹⁰ gibt die Klangspektren eines Waldhornes wieder und zwar für 3 verschiedene Töne. Sie seien hier zum Vergleich ebenfalls wiedergegeben. (Siehe Abb. 7).

Aber auch das genügt nicht, um ein Instrument vollständig zu schildern. Erst die *gesamte* Naturtonreihe ergibt ein klares Bild über den Klang eines Instrumentes, Höhe und Tiefe müssen *gleichermaßen* in die Betrachtung einbezogen werden. Deshalb seien auf Tafel I die Klangspektren der zwölf blasbaren Naturtöne des hohen B-Hornes wiedergegeben.

Die Betrachtung der Spektren lehrt uns auf den ersten Blick, daß der tiefste Naturton die größte Anzahl von Aliquottönen aufweist. Diese nehmen aber nach der Höhe zu immer mehr ab. Beim klingenden B₁ treten 20 Naturtöne auf, beim klingenden f^c sind es nur noch 3. Bei genauerem Zusehen bemerken wir auch, daß bei den ersten 4 Tönen der 1. harmonische Ton schwächer ist als die folgenden, während vom 5. Ton ab der Grundton des Klanges am stärksten in Erscheinung tritt. Die Obertöne nehmen von da an an Stärke stetig ab. In Mittellage und Tiefe erscheinen die unteren Partialtöne sehr stark (bis zu 120%) und sind ihrer Anzahl und Stärke wegen die Ursache für die Weichheit des Klanges. Umgekehrt erklärt ihre zahlen- und stärkenmäßige Abnahme in der obersten Oktave das Heller- und Schärferwerden des Klanges in der Höhe.

Wie kommt es indes, daß der Grundton B₁, obwohl er mit nur 10% sehr schwach auftritt, deutlich und scheinbar allein (!) gehört wird? Das hängt mit dem akustischen Phänomen der „Kombinationstöne“ zusammen. Wenn 2 Töne nebeneinander gleichzeitig erklingen, bilden sich (unter bestimmten Voraussetzungen) *nicht* gespielte, aber *dennoch* klingende Töne aus und schwingen mit. Da ihre Tonhöhe der Summe oder der Differenz der Schwingungszahlen der beiden Primärtöne entspricht, bezeichnet man die neuen Töne mit „Summations-“ bzw. „Differenzton“.

¹⁰ „Klänge und Geräusche“ S. 129.

In unserem Falle hat das B₁ 56 Hz, das B 112 Hz und das f 168 Hz. Durch die Subtraktion 168 Hz. 112 Hz ergeben sich also für den Differenzton 56 Hz. Diese 56 Hz sind aber die Frequenz des Grundtones B₁! Ebenso ist der Unterschied zwischen allen folgenden Aliquottönen — zwangsläufig 56 Hz, die alle den gleichen Kombinationston ausbilden und so den Grundton derart verstärken, daß das Ohr den Grundton *allein* zu hören glaubt. *Die tieferen Töne unseres Waldhornes, die wir hören, sind keine primären Töne, sondern Kombinationstöne!*

Diese Erscheinung ist anderweitig schon sehr lange bekannt und man hat sich dieser Erkenntnis beim Orgelbau bedient: Um für *sehr* tiefe Töne keine allzugroßen Pfeifen zu bauen zu müssen, hat man zwei kürzere angebracht, die, zusammen erklingend, einen viel tieferen Kombinationston erzeugen.

Wir sehen auf Tafel II die Oszillogramme der 12 Naturtöne des Hoch-B-Hornes abgebildet, deren Spektraldiagramme wir schon von Tafel I her kennen. Dort waren die Teiltöne eines Klanges nebeneinander ausgebreitet, hier erschien sie zusammen in *einer* Kurve. Der tiefste Ton ist der ausgezackteste und unregelmäßigste (B₁ mit 12 größeren und kleineren Spitzen in einer Periode). Das heißt aber nichts anderes, als daß sich die (schon bekannten) 20 Teiltöne dadurch bemerkbar machen, daß sich deren 20 Einzelkurven addieren und auf diese Weise den komplizierten Gesamtverlauf ergeben. Je höher der Klang, desto obertonärmer wird er, desto einfacher wird die Kurve. (Das B hat noch 7, das f nur noch 3 Spitzen usw.) Der höchste Ton, das klingende f⁴, ist schon fast sinusförmig, nähert sich also dem reinen Stimmgabelton (S. 67). Die hohen Töne verraten ihre Obertöne nur noch durch leichte Knickungen bzw. Abweichungen von der mathematisch genauen Sinuskurve.

(6) Gestopfte Töne

Bläst man das Horn ganz offen, ohne die Hand in den Schallbecher einzuführen, klingt der Ton hell, scharf, schmetternd, wie es bei den alten Jagdhörnern, ihrem Zweck entsprechend, wünschenswert war. Der Klang ist besonders reich an *hohen* Obertönen (Tafel IIIa). Von den Komponisten wird diese Art zu blasen mit „Stürze hoch“ bezeichnet.

Durch das Einlegen der rechten Hand in die Stürze — niemals ist es jedoch die *Faust* — wird die Entwicklung der hohen Obertöne unterbunden, so daß die tieferen besser in Erscheinung treten und der Klang weicher und runder wird (Tafel IIIb).

Die rechte Hand ist bei einem guten Hornisten während des Musizierens ständig in Bewegung und hat die Aufgabe, die einzelnen Töne zu formen — sowohl ihrem Klange als auch ihrer Tonhöhe nach. Die geringste Bewegung einer Fingerspitze kann schon eine Änderung der Intonation her-

vorrufen. Das Blasen mit eingeführter rechter Hand bezeichnet man heute mit „offen blasen“. Wird die Hand in offener Haltung tiefer in den Trichter eingeschoben, so wird der Effekt der „Dämpfung“ erzeugt. Der Ton wird leiser und dunkler und es können Echowirkungen hervorgebracht werden, ähnlich wie sie sich durch den später zu besprechenden „Dämpfer“ erzielen lassen. Erst wenn die Hand die Öffnung noch mehr verschließt, so daß eine deutlich wahrnehmbare Vertiefung des Tones hervorgerufen wird, spricht man von Stopfen.

Akustisch gesehen ist die Tonvertiefung wie soeben beschrieben ein ähnlicher Vorgang wie bei den Orgelpfeifen, wenn sie zur Feinabstimmung am offenen Ende ein Blättchen aus Bleiblech erhalten, das mehr oder weniger nah an die Pfeife gebogen wird (Abb. 8). Wie diese Änderung der Tonhöhe (= Änderung der Wellenlänge) zustande kommt, ist nicht geklärt.

Für das Waldhorn läßt sich Folgendes aussagen: Die Hand in der Stürze verhindert die frühzeitige Ausbreitung der Schallwellen in Kugelform, indem sie eine Verlängerung und zugleich eine Verjüngung des Rohres bildet, wie Abb. 9 zeigt. Der Luftstrom wird am unteren Schallbecherrand entlang gebündelt weitergeführt und der Druckknoten wird dadurch mehr nach außen verlagert. (Siehe Abb. 8).

Auch die Verengung der schwingenden Luftsäule bewirkt eine Tonvertiefung, wie es bei gewissen Orgelpfeifen der Fall ist, die sich nach oben konisch verjüngen. So ist zum Beispiel beim „Gemshorn“ und bei der „Spitzflöte“ die Tonhöhe tiefer als nach ihrer Rohrlänge zu erwarten wäre. (Siehe Abb. 9).

Ganz zu stopfen ist der Kunstgriff, den der Hornist heute ausschließlich anwendet, wenn gestopfte Töne verlangt werden. Er besteht darin, daß mit Hilfe der Hand das Rohr des Instrumentes möglichst dicht abgeschlossen wird. (Abb. 10). Ein vollkommener Verschuß ist durch die Form des Instrumentes und die der Hand nicht möglich. Etwas Luft wird immer austreten. Und selbst wenn ein vollkommener Abschluß möglich wäre, *dürfte* er nicht zustande kommen, weil sonst eine *gedeckte* Pfeife entstehen würde. Eine solche kann aber nie wie eine Polsterpfeife erregt werden; der am verschlossenen Ende umkehrende Luftstrom würde zwangsläufig die Vibration der Lippen hemmen und schließlich, da kein anderer Ausweg vorhanden ist, in die Lunge des Bläasers zurückkehren. (Siehe Abb. 10).

Das gestopfte Horn kann mit den *halbgedeckten* Orgelstimmen wie der „Rohrflöte“ oder „Rohrquinte“ verglichen werden, die in ihrem Spunde (Deckel) ein mehr oder weniger weites *Rohrchen* aufnehmen, um etwas Luft austreten zu lassen. (Siehe Abb. 11).

Eine solche Labialpfeife wurde wegen ihrer konstanten und überschaubaren Verhältnisse auf ihre Tonhöhenänderung untersucht, indem an das offene Ende einer gläsernen Pfeife mit kreisrundem Querschnitt ein Brett-

chen (Spund) senkrecht angehalten wurde. Das Brettchen hatte eine Durchbohrung, durch die ein Röhrechen aus Messing gesteckt war. Nachdem die Pfeife zum Tönen gebracht worden war — sie ergab offen a' — wurde der Spund über die Öffnung geneigt, bis er in waagrechter Lage eine halbgedeckte Pfeife herstellte.

Beim Anblasen machte sich eine Tonvertiefung erst bemerkbar, als der Neigungswinkel des Spundes weniger als 45 Grad betrug, Kurz vor der waagrechten Stellung blieb der Ton aus, um in der Endphase des Versuches in die darüberliegende Terz zu springen.

Machen wir, zum Vergleich, mit dem Horn ein ähnliches Experiment: Man halte verschiedene Töne der mittleren Lage nacheinander aus, führe jedesmal die rechte Hand bis zum ganzen Stopfen ein und versuche die Tonhöhe zu *halten*: Es wird nicht gelingen. Der Ton schlägt letztlich um, und zwar immer nach *oben*, in die kleine Sekunde.

Beobachtet man aber beim Einführen der rechten Hand das Tieferwerden des Tones und *folgt* mit dem Ansatz, so wird man bemerken, daß die Tonhöhe bis zur kleinen Untersekunde *absinkt*.

Im Prinzip handelt es sich offensichtlich beidemale — bei der Orgelpfeife und beim Waldhorn — um denselben Vorgang. Wichtig ist, daß bei allen Versuchstönen beim Horn immer die *gleiche* Erhöhung beziehungsweise Vertiefung auftritt. Es muß sich also um *neue* Naturtonreihen handeln, die $\frac{1}{2}$ Ton tiefer, beziehungsweise $\frac{1}{2}$ Ton höher liegen als die Stimmung des offenen Instrumentes.

Die halbgestopfte tiefere Naturtonreihe muß unbedingt durch eine längere und die ganz gestopfte höhere durch eine kürzere Luftsäule als der des offenen Rohres zustande kommen.

Man kann also nicht sagen: Der Ton wird beim Stopfen höher oder tiefer, sondern: Es werden durch die beiden Stopfarten zwei von der Grundlänge des Rohres abweichende neue Luftsäulen geschaffen, und zwar beim halben (dreiviertel) Stopfen eine längere und beim ganzen Stopfen eine kürzere, die ihrerseits genau so wie das offene Horn bei entsprechender Erregung die naturgesetzlich auftretenden Obertöne hergeben.

Der Vergleich offener und gestopfter Töne (Tafeln IIIb und IVa sowie V und VI) lehrt uns, das beim Stopfen die Obertöne fortlaufend erscheinen wie beim offenen Horn, daß sich dabei aber der Grundton durchweg als *stärkste* Komponente ausbildet, während die Aliquotöne (mit Ausnahme des ersten) schwächer, aber in größerer Anzahl auftreten. (Siehe Abb. 12).

Aufschlußreich ist auch ein Vergleich der Wandschwingungen des gestopften Hornes mit denen des offenen. (Tafeln VII—X).

Die Gegenüberstellung lehrt uns, daß der gestopfte Körperschall fast durchweg eine größere Anzahl von Obertönen aufweist als der offene.

Tabelle 4

	Zahlenmäßiges Auftreten der Obertöne beim Körperschall							
	Ansatzpunkt I		Ansatzpunkt II		Ansatzpunkt III		Ansatzpunkt IV	
	offen	gestopft	offen	gestopft	offen	gestopft	offen	gestopft
c''	4	7	5	7	5	6	4	7
a'	4	5	6	7	5	6	4	5
f'	5	6	5	6	6	9	5	6
c'	7	6+	6	8	8	10	6	14
a	8	10	7	11	10	10	8	7+
f	7	8	9	12	9	12	7	10
c	11	9+	11	17	13	14	12	13

Das heißt, das die Wand beim Stopfen durch die stark gepreßte Luftsäule *intensiver* erschüttert wird und mehr Obertöne aufnimmt und wieder abstrahlt als beim offenen Blasen.

Im Vergleich zum *Luftschall* sind auch beim offenen *Körperschall* die Aliquotöne stärker entwickelt, was besonders bei Ansatzpunkt III ins Auge fällt.

So kann die allgemeine Feststellung getroffen werden, daß die Röhre innen mehr schwingt als an beiden Enden.

Dies ist auch zu erwarten gewesen; das Mundrohr, das wegen des Mundstückes aus stärkerem Material gebaut sein muß, kann nicht so stark vibrieren und der Schallbecherrand wird durch die eingepreßte Hand eines Teiles seiner Elastizität beraubt.

(7) Einschwingvorgänge

Beim Anstoß (Erregung) eines Tones entsteht nicht sofort der fertige Klang mit allen Teiltönen, sondern diese bilden sich erst im Bruchteil einer Sekunde *nacheinander* aus — und zwar nicht ihrer Ordnungszahl folgend. Sie geben erst nach einer gewissen — nach Art des Instrumentes *verschieden* kurzen Zeit — einen mehr oder weniger stationären Ton. Die *Reihenfolge* des Auftretens der Obertöne bezeichnet man mit „Einschwingvorgang“ und die dazu benötigte Zeit mit „Einschwingzeit“.

So kurz diese auch ist — fürs menschliche Ohr allein nicht wahrnehmbar — so wesentlich ist sie für das Klangbild.

Die Zeitdauer, die vom Moment des ersten Anstoßes bis zum vollständig aufgebauten Klang benötigt wird, ist bei den verschiedenen Instrumenten und je nach der Tonhöhe verschieden lang. Werden zuerst die tieferen Teiltöne ausgebildet, so wird der Ansatz weicher klingen, entstehen aber zuerst die höheren Teiltöne, wird er schärfer sein. Abbildung 13 zeigt den Einschwingvorgang des offenen klingenden c' beim Waldhorn.

Der zuerst auf Band aufgenommene Ton wurde vierfach langsamer ablaufen gelassen und abermals bandmäßig festgehalten. Dann wurden die harmonischen Töne durch ein Terzsiebfilter herausgenommen und ihre Schwingungen mit einem Pegelschnellschreiber auf eine Wachsmatrize übertragen und sichtbar gemacht. Die Einzelkurven wurden zusammengezeichnet und ergaben das fertige Bild. (Siehe Abb. 13).

Aus ihm ist zu ersehen, daß der Grundton erst an dritter Stelle seinen größten Wert erreicht, während der vierte und zweite Oberton ihr Maximum vorher erreichen. Der dritte Oberton folgt als letzter nach. Kontrollaufnahmen haben bewiesen, daß sich der Grundton *nie* an erster Stelle voll entwickelt, sondern immer erst an *dritter* erscheint. Das starke Hervortreten der unteren Partialtöne erklärt den *weichen* Klang unseres Waldhornes. Auffallend ist auch der Verlauf der einzelnen Kurven zueinander: Schon *kurz* nach der Erregung laufen sie klar und deutlich *nebeneinander* her, ohne sich nochmals zu schneiden.

Anders sieht das Diagramm des wesentlich tieferen klingenden Kontra-B aus (Abb. 14).

Es überrascht nicht, daß sich auch hier der Grundton spät an sechster Stelle ausbildet. Es überrascht auch nicht, daß die Obertöne in größerer Anzahl auftreten als beim eingestrichenen c. Dies war nach den bereits bekannten Klangspektren zu erwarten. Der weiche, geheimnisvolle, verschleierte Klang des tiefen Waldhornstones spiegelt sich in dem Diagramm anschaulich wieder. (Siehe Abb. 14).

Aber nicht nur der Verlauf der einzelnen Kurven und ihre Beziehungen zueinander sind im Vergleich zum ersten Beispiel (c') andere, auch die Einschwingzeiten weichen von einander ab.

Beim c' liegt die Einschwingzeit bei 0,136 sec., beim B₁ dagegen bei 0,273 sec. Also ist sie beim tieferen Ton genau doppelt so groß wie beim höheren.

Daraus läßt sich folgender Schluß ziehen: Die tieferen Töne erheischen eine längere Einschwingzeit als die höheren.

Wieder anders sehen die Einschwingvorgänge des gestopften klingenden c' aus (Abb. 15). Zwar bildet sich der Grundton auch erst an dritter oder vierter Stelle voll aus, aber die Kurven zeigen einen wesentlich anderen Verlauf. Sie bilden ein Gewirr von Linien, bei dessen Betrachtung man gradezu den spreißelnden und schnarrenden Klang des gestopften Hornes zu hören glaubt.

Abbildung 15 zeigt zwei Beispiele. Beim ersten haben wir eine Einschwingzeit von 0,047 sec., beim zweiten von 0,159 sec. Der Unterschied von 0,112 sec. beim gleichen Ton ist in Anbetracht der Kürze des ganzen Vorganges sehr beträchtlich! (Siehe Abb. 15).

Je schärfer der Ton angeblasen wird, desto kürzer wird also die Einschwingzeit, je weicher er erzeugt wird, desto größer wird sie.

Neben dem offenen und dem gestopften Blasen ist die dritte beim Waldhorn mögliche Anregungsform die des gedämpften Tones. Auch für sie ist der Einschwingvorgang ausschlaggebend.

Der Vergleich der Diagramme des gedämpften und des offenen Kontra-B zeigt sinnfällig die Eigenart des durch Anwendung eines sogenannten Dämpfers hervorgerufenen Klanges. Während beim offenen B₁ die Einzelkurven sich vom Moment der Erregung ab sacht fortschlingeln, bilden sie beim gedämpften mehrere Gruppen, die sich deutlich von einander abheben. (Siehe Abb. 16).

In der ersten Periode spielt sich der Einschwingvorgang in verhältnismäßig kurzer Zeit ab (0,144 sec.) und wirkt stark abgedämmt. Ein Einschnitt verrät den Abschluß. Darnach beginnt in einer zweiten Periode ein neuerliches Aufbäumen der Kurven und der Einschwingvorgang scheint sich nochmals, wenn auch nicht in gleicher Reihenfolge, zu wiederholen (0,312 sec.). Doch steht der Klang noch immer nicht. Nach abermaliger Einsattelung drängen ein drittes Mal, nun aber kräftiger, die einzelnen Kurven nach oben. Erst nach Beendigung dieser dritten Periode kann von einem mehr oder weniger stationären Ton die Rede sein (0,492 sec.)¹¹

Diese Erscheinung tritt nicht nur beim Kontra-B zu Tage, sondern ist auch bei höheren gedämpften Tönen zu beobachten, ist also ein Charakteristikum des Sordino-Tones überhaupt.

Auffallend ist in Abbildung 16 der Verlauf der Grundharmonischen, die über den gebündelten Aliquotttönen frei zu schweben scheint. Ähnliches war nur beim eingestrichenen c (Abb. 13) zu beobachten, wo es als eine Folge der einfacheren Struktur aufzufassen ist.

Das bei den gedämpften Tönen *allgemein* zu beobachtende Alleingängertum des Grundtones dürfte die Ursache ihrer hohlen Klangfarbe sein.

Wenn wir die Ergebnisse der verschiedenen Einschwingvorgänge überblicken, müssen wir feststellen, daß die Einschwingzeiten sehr stark variieren.

1. Für einen *Einzelton* liegen folgende Werte vor:

Die Einschwingzeiten bewegen sich beim offenen c' zwischen 10 msec. (hier nicht wiedergegeben) und 136 msec (Abb. 13), beim gestopften c' zwischen 25 msec. (Abb. 15a) und 159 msec. (Abb. 15b); das gestopfte c' braucht also bis zur vollen Ausbildung 20 msec. länger als das offene.

2. Für den *ganzen Bereich* des Tonumfanges kann Folgendes ausgesagt werden:

Als geringster Wert ist das offene c' mit 10 msec und als höchster

¹¹ Das sich wiederholende ritardierende Moment wird wahrscheinlich hervorgerufen durch eine vom Dämpfer besonders geartete Rückwirkung der schwingenden Luftsäule auf die erregenden Bläserlippen.

das offene B_1 mit 273 msec. (Abb. 14) angenommen¹². Somit beträgt die Differenz rund 260 msec. Dieser verhältnismäßig große Zeitunterschied wird begrifflich, wenn man bedenkt, daß der Umfang des Waldhorns vier Oktaven beträgt.

Um zu zeigen, wie mannigfaltig die verschiedenen Einflüsse auf die Einschwingzeit sind, seien die bereits bekannten noch einmal zusammengefaßt und durch weitere — bisher nur in der Praxis beobachtete — ergänzt.

1. Die Einschwingzeiten sind für offene, gestopfte und gedämpfte Töne verschieden.
2. Je tiefer der Ton, desto größere Einschwingzeiten treten auf, je höher er ist, desto kleiner werden sie.
3. Je stärker der Ton angeblasen wird, desto kürzer, je weicher er erzeugt wird, desto länger werden sie. (Siehe Abb. 16).
4. Hörner tieferer Stimmung (= längere Luftsäule) benötigen mehr Zeit zum Einschwingen als solche höherer Stimmungen.
5. Leicht ansprechende Hörner haben kürzere, schwer ansprechende längere Einschwingzeiten.
6. Selbst die räumliche Umgebung spielt beim Blasen eine Rolle. Sitzt der Hornist vor einer festen Wand, so werden die an ihr reflektierten Schallwellen eine Dämpfung bewirken, das Blasen erschweren und die Einschwingzeiten verlängern. Kann er aber einen freien Platz einnehmen, so bläst es sich leichter und die Einschwingzeiten werden kürzer sein. (Hierher gehören Form, Größe und akustische Dämpfung („Nachhallzeit“) des Raumes, die die Tonerzeugung beeinflussen.)
7. Besonders schwierig ist die Ansprache (= Verlängerung der Einschwingzeit), wenn die Schallwellen eines anderen Instruments („Mitnahmeerscheinung“) die Tonbildung beeinträchtigen, so zum Beispiel, wenn der Hornist direkt vor die Pauken zu sitzen kommt, oder wenn zwei Hörner mit einem Sekundintervall einsetzen müssen. Dissonierende Schallwellen erschweren den Einsatz so stark, daß es den Bläser Mühe kostet den gewünschten Ton einwandfrei zustande zu bringen.
8. Bei gestopften Tönen ist die Einschwingzeit auch von der Form der Hand und der Art ihrer Einführung in den Schallbecher abhängig.
9. Bei gedämpften Tönen spielen Gestalt und Material des Dämpfers eine Rolle.

(8) Formanten

Es sind aber nicht nur die Ein- und bis zu einem gewissen Grade auch die Ausschwingvorgänge, die den Waldhornklang erkennen lassen, sondern

¹²) Da noch nirgends eine genaue Definition über die Beendigung der Einschwingzeiten gegeben ist, bleibt es eine Ermessungsfrage, welche der drei Perioden der Abb. 16 als ihr Abschluß zu betrachten ist. Deshalb wurde davon Abstand genommen, die 3. Periode hier anzuführen.

es spielt auch noch eine andere Erscheinung herein, die die Erkennbarkeit eines Klanges bewirkt, nämlich das Auftreten der sogenannten „Formanten“.

Unter diesen versteht man stark hervortretende Obertöne, die an einer bestimmten Stelle des Spektrums erscheinen — ganz gleich in welcher Höhe oder mit welcher Lautstärke der betreffende Horn ton geblasen wird. Die Formanten befinden sich in einer festliegenden Tonhöhe (Region), die natürlich bei jeder Instrumentenart eine andere ist.

Beim Waldhorn liegen sie um das c'' und das c''' herum, wie die Abbildung 17¹³ zeigt. (Siehe Abb. 17).

Weil diese bei einem Instrument immer auftretenden und gleichbleibenden Obertöne den Klangcharakter „formen“, hat ihnen L. Hermann 1894¹⁴ den Namen „Formanten“ gegeben. Er ging aber nicht von den Musikinstrumenten aus, sondern von den Sprachlauten. Für diese trifft die Formantentheorie einwandfrei zu, während ihre Anwendung auf Musikinstrumente bis jetzt problematisch ist.

So gibt Erich Hermann¹⁵ für die Hauptformanten des Waldhorns b' — c'' und für die Nebenformanten g''' — b''' an, während in Abbildung 19 die ersteren genau um c'' liegen, die letzteren aber schon bei g''' enden!

Dagegen liegen die Formanten für die *Vokale* fest. Sie sind zum Beispiel beim „O“ immer dieselben, ganz gleich ob es laut oder leise gesprochen, gesungen oder geflüstert wird, ob es von einem Manne, einer Frau oder einem Kinde stammt.

(9) Gedämpfte Töne

(Siehe Abb. 18)

Der Dämpfer (Abb. 18) besteht aus Holz, Metall, Pappe oder in neuerer Zeit auch aus Kunststoff, Er bildet gewöhnlich eine beiderseits offene, zylindrische Röhre von etwa 18 cm Länge und ungefähr 4 cm Durchmesser, die von einem kegelförmigen Gehäuse umfassen wird. Der Boden des Kegels schließt das Instrument nach außen ab, während Korkstückchen an seinem schmalen Ende die Verbindung zur Außenluft herstellen und zugleich einen guten Sitz im Schalltrichter garantieren.

Der Vorgang der Dämpfung besteht, wie schon angedeutet, darin, daß die auf die Bodenplatte auftreffenden Schallwellen an ihr reflektiert, und so teils in den Hohlraum des Dämpfers, teils in das Instrument zurückgeworfen werden. Dadurch tritt im Hauptrohr eine Überlagerung der Schallwellen in umgekehrter Richtung ein. Die Schwächung der Lautstärke wird durch eine verminderte Abstrahlung hervorgerufen.

¹³ nach Simbriger-Zehlein, Fig. 24.

¹⁴ L. Hermann in Pflügers Arch. 58 262 (1894).

¹⁵ nach Heinitz a. a. O. S. 25.

Vergleichen wir nun die Klangspektren der offenen, gestopften und gedämpften Töne auf den Tafeln VI, V und XII miteinander!

Der verschiedenartige Klंगाufbau bei den drei Klangmöglichkeiten ist auffällig. Das starke Hervortreten der unteren Teiltöne beim *offenen* Blasen hat früher schon den Grund für den vollen, warmen, weichen Klang des Waldhornes verraten, und als das Charakteristische des *gestopften* Klanges hatten wir das Hervortreten der Grundharmonischen erkannt.

Der *Dämpfer* hinwiederum ruft ein anderes Klangbild hervor. Die Vorherrschaft des Grundtones ist gewichen; die Aliquottöne erscheinen in größerer Anzahl und zeigen — vor allem kurz vor und besonders bei Beginn der dreigestrichenen Oktave (etwa 1000 Hz) — eine ins Auge springende Zunahme ihrer Amplituden. Daneben sind vor und nach dieser Region kleinere Spitzen, ähnlich wie bei den gestopften Tönen zu beobachten. So zeigen die gedämpften Töne ein wesentlich anderes Spektrum als die gestopften und es kann keine Rede davon sein, daß beide gleichen Klangcharakter besäßen. Der Unterschied, den das Ohr feststellen kann, ist also experimentell erwiesen.

Der Vergleich der drei Tafeln zeigt noch eine Besonderheit des eingestrichenen *f* (349,2 Hz), die nur am Rande vermerkt sei: In allen drei Fällen bilden sich bei ihm die Partialtöne auffallenderweise *schwächer* aus als bei den Nachbartönen. Außerdem treten sie in geringerer Anzahl auf.

Was die Klangspektren der gedämpften Töne schon gezeigt haben, bestätigen auch hier wieder deren Oszillogramme (Tafel XIII).

(10) Doppeltöne

Eine besondere Übung erfordert die Hervorbringung von „Doppeltönen“. Diese entstehen, wenn man den tiefsten Ton eines Akkordes *bläst* und einen höheren desselben dazu *singt*. Die Kunst liegt darin, daß nicht nur die *Lippen* für einen bestimmten Ton, sondern die *Stimmbänder* für einen anderen zu gleicher Zeit in Schwingung versetzt werden müssen. Der geblasene tiefe Ton erfordert ein Lockerlassen der Lippen, der höhere gesungene eine Anspannung der Stimmbänder. Die Luft muß für den geblasenen Ton im Körper anders geführt werden als beim gesungenen. Glückt es durch geschickte Einstellung der Hals- und Mundmuskulatur die zwei Töne miteinander zu erzeugen, so addieren sich die beiden Wellenbewegungen und ergeben den Doppelklang.

Bei Erzeugung der Doppeltöne stellen sich meist noch ein dritter Ton und weitere Töne ein, wenn die beiden Primärtöne rein zusammenklingen. Ein gehörmäßig leicht feststellbarer Ton tritt dabei besonders deutlich hervor. Es ist der sogenannte „Differenzton“, dessen Tonhöhe rechnerisch ermittelt werden kann, indem man die kleinere Schwingungszahl von der

Dehnungssicher



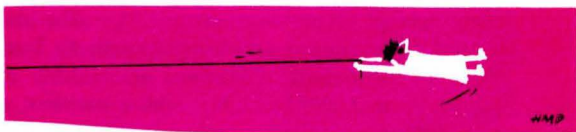
bis



3000 g



Stoßbelastung



Als Spezialband für Funk und Fernsehen übersteht MAGNETOPHONBAND BASF Typ LGR selbst diese Beanspruchung ohne Schaden.

Rundfunkstationen in Europa und Übersee schätzen MAGNETOPHONBAND BASF Typ LGR aber auch wegen seiner besonderen elektroakustischen Eigenschaften bei allen Bandgeschwindigkeiten: hoch aussteuerbar, absolut magnetisch stabil, extrem hohe Kopierdämpfung und rauscharm.

Diese hervorragenden elektroakustischen Eigenschaften werden durch die magnetische Vorzugsrichtung erzielt.

Daneben ist MAGNETOPHONBAND BASF Typ LGR feuchtigkeitsunempfindlich und unbegrenzt lange lagerfähig. Für hochwertige Studio- und Archiv-Aufnahmen ist es deshalb das ideale Band.

1/936

BASF

BADISCHE ANILIN- & SODA-FABRIK AG · LUDWIGSHAFEN AM RHEIN

größeren der beiden Primärtöne abzieht (daher der Name). In unserem Beispiel Abbildung 19 ist der Doppelton Fa analysiert¹⁶. (Siehe Abb. 19).

Das geblasene klingende F hat 87,3 Hz und das gesungene kleine a 218,15 Hz. Die Differenz beträgt also 130,85 Hz, die dem kleinen c entsprechen.

Es klingt aber noch ein vierter schwächerer und höherer Ton mit, der sogenannte „Summationston“. Er läßt sich ebenfalls leicht errechnen, wenn man die Schwingungszahlen der beiden Primärtöne zusammennimmt. $87,3 \text{ Hz} + 218,15 \text{ Hz} = 305,45 \text{ Hz}$, die das klein-(es) ergeben.

Auf diese Weise erklärt sich das Erscheinen ganzer Dreiklänge beim Blasen von Doppeltonen. Je höher die Doppeltonen (Primärtöne) liegen, desto deutlicher wird der Summationston hörbar, je tiefer dieselben liegen, desto deutlicher erklingt der Differenzton.

Differenztöne und Summationstöne zusammen nennt man, wie früher schon gesagt, Kombinationstöne. Es gibt davon zwei Arten: Solche, die tatsächlich entstehen und durch akustische Instrumente nachgewiesen werden können, sogenannte objektive, und solche, die nur durch besondere Vorgänge im menschlichen Ohr gehört werden, sogenannte subjektive Kombinationstöne.

Die Kombinationstöne des Waldhorns gehören der letzten Art an; sie erscheinen nicht im Spektrum. Die Stellen, an denen sie auftreten müßten, sind in Abbildung 19 durch Pfeile bezeichnet.

(11) Schallabstrahlung

Beim Waldhorn ergibt die ausladende Trichterform keine gleichmäßige Abstrahlung aller Töne, sondern die Richtwirkung ist bei verschiedenen Frequenzen verschieden. Unterhalb 200 Hz¹⁷ (etwa klingend as) gehen die im Verhältnis zum Stürzendurchmesser langen Schallwellen ungerichtet in den Raum. Das heißt für den Praktiker, daß die tieferen Töne ziemlich gleichmäßig stark zu hören sind, ganz gleich in welche Richtung das Instrument gehalten wird.

Bei den höheren Frequenzen (ab 500 Hz klingend c²) sind die Schallwellen kurz im Vergleich zur Stürzenöffnung und deshalb mehr gebündelt. Der Schall wird stärker gerichtet. Dieses bedeutet, daß Personen, die sich bei höheren Tönen in Richtung der verlängerten Endrohrachse befinden, diese Töne lauter wahrnehmen als solche, die sich seitlich vom Instrument aufhalten.

¹⁶ In der Notenschrift wird er so dargestellt:



¹⁷ nach Martin, a. a. O. S. 312.

Folgendes Richtwirkungsdiagramm¹⁸ veranschaulicht die Ausbreitung der Schallwellen nach Austritt aus der Röhre für vier verschiedene Frequenzen. (Siehe Abb. 20).

Ferner bringt Martin die Schallabstrahlung für sieben verschiedene experimentell angeregte Töne in Einzelbildern (Abb. 21, A bis G). Die Diagramme zeigen die Zunahme der Richtwirkung mit zunehmender Tonhöhe. Darüber hinaus zeigen sie, wie die Stärke der Richtwirkung mit zunehmender Entfernung vom Instrument rasch abnimmt. (Siehe Abb. 21).

(12) Material und Masse

Physikalisch gesehen hat das Material, aus welchem ein Blasinstrument hergestellt ist, keinen Einfluß auf den Ton. Es ist also belanglos, ob ein Instrument aus Messing, Silber oder Holz gefertigt ist. Die Tonhöhe wird auf keinen Fall davon beeinflusst; denn sie hängt einzig und allein von der Länge der schwingenden Luftsäule ab. Ein Horn aus Silber würde nicht wesentlich anders klingen als ein solches aus Messing; denn der *Toncharakter* wird primär durch die Rohrlänge im Verhältnis zur Rohrweite, seinen Konus, der Form des Schalltrichters, der Art des Mundstückes usw. bestimmt. Durch *diese Elemente* sind die Obertöne und Formanten festgelegt, nicht durch die Eigenschaften des *Materials*. Es schwingt nur sekundär mit, ähnlich wie ein *außerhalb* des Instruments liegender Gegenstand *auch* mit-schwingen kann. Die Wandung ist bei den Blasinstrumenten nur die Begrenzung für die im Inneren vibrierende Luftsäule¹⁹.

Im Gegensatz dazu stehen die Streichinstrumente. Bei ihnen wird der Klang weitgehend durch das Material (Saite und Korpus) bedingt. Etwas überspitzt ausgedrückt, könnte man auch sagen: Bei den Blasinstrumenten ist der Ton zuerst da und dann erst wird das Material (Wandung) erregt. Bei den Streichinstrumenten wird zuerst das Material in Schwingung versetzt und dann erst entsteht ein Ton. Man könnte sich sogar eine Luftsäule *ohne* jede Wandung vorstellen: Auch sie würde klingen! Eine *Geige* ohne festen Klangkörper hingegen ist einfach unvorstellbar!

¹⁸ Stauder, a. a. O. Sp. 728, Abb. 6.

¹⁹ Von Interesse dürfte hier ein Urteil des aml. Berichtes der Industrie- u. Kunstausstellung, London 1862, sein: „Nicht darf vergessen werden, daß der Franzose Besson . . . Waldhörner aus Papiermâché u. Gyps versuchen ließ, welche einen guten, aber schwächeren Ton hatten.“

Auch Mahillon (Katalog 1880, a. a. O. S. 24 u. S. 358) berichtet von Versuchen mit in Holz nachgebildeten Trompeten, deren Klang von Metalltrompeten kaum zu unterscheiden sei.

Der Verfasser hatte Gelegenheit ein *gläsernes* Hörnchen (in C) im Deutschen Museum München (Mus. No. 65 601) zu blasen, dessen Ton von dem eines Posthorns nicht zu unterscheiden war.

Der Ton eines Blechblasinstrumentes ist also *reinst*er Ton, nur schwingende *Luft*; der Ton eines Streichinstrumentes ist immer zuerst schwingendes Holz. (Ganz abgesehen von der Saite und dem Klophonium!)

Anders ist es mit der *Masse* des Materials. Je mehr Volumen das Material hat, desto größer ist die Resonanz, — natürlich in gewissen Grenzen; denn zuviel Masse könnte den Klang ersticken, zu wenig Masse würde einen dürftigen Ton ergeben.

Jeder Musiker kennt den hellen, scharfen, an hohen Obertönen reichen Klang der *Bach*trompeten. Durch die größere Masse unserer modernen *Ventil*trompeten (schon allein die Maschine enthält viel Material!) ist ihr Klang weicher und satter geworden. Ganz ähnlich ist es mit den Naturhörnern des 18. Jahrhunderts, die, abgesehen von ihrer engeren Mensur, aus *dünnem* Blech hergestellt waren und *keine* Ventile hatten. Ihr Gewicht ist *wesentlich* geringer als das eines modernen Ventilhornes, geschweige denn eines Doppelhornes.

Eine größere Masse ist erfahrungsgemäß schwerer in Bewegung zu setzen als eine kleinere, in unserem Falle in Schwingungen; und größere Massen sind deswegen weniger geeignet, Schwingungen hoher Frequenz mitzumachen. Auf diese Weise können sich die hohen Obertonschwingungen nicht ausbilden und dem Klang wird durch ihr Fehlen die Schärfe genommen. Man sieht also deutlich: Das Material, das zur Herstellung eines Blechblasinstrumentes verwendet wird, hat seiner *chemischen* Zusammensetzung nach fast keinen Einfluß auf die Klangfarbe. Dagegen spricht die Masse des Materials — seine Dichte, seine Menge, sein Gewicht — wohl bei der Ausbildung der zur Klangfarbe notwendigen Obertöne mit.

(13) Technische Daten

Die für die Untersuchungen notwendigen Töne wurden vom Verfasser auf einem *Doppelhorn* aus Messingblech geblasen, das vom Instrumentenbaumeister Anton Fischer, Erfurt, hergestellt ist. Mit Schnur nachgemessene Rohrlänge des F-Hornes 379,5 cm, des B-Hornes 281 cm (beidemal mit Mundstück). Gewicht des ganzen Doppelhornes (ohne Mundstück): 2,21 kg.

Als *Dämpfer* wurde ein solcher aus Pappe, der mit starkem Papier überzogen ist, verwendet. Seine Maße sind im Text angegeben.

Das *Mundstück* ist aus Messing gedreht. Oberer äußerer Durchmesser (mit Wulst): 26 cm; oberer innerer Durchmesser: 17,5 cm; Tiefe des trichterförmigen Kessels: 27 cm; Durchmesser der Seele: 4 mm; unterer Rand außen: 7 mm; innen: 6,5 mm.

LITERATURVERZEICHNIS:

- Altenburg*, Joh. Ernst: Versuch einer Anleitung zur heroisch-musikalischen Trompeten- und Pauker-Kunst, . . . J. Chr. Hendel, Halle 1795.
- Altenburg*, Wilhelm: Material und Klang bei den Blasinstrumenten; das sog. „Einblasen“ u. „Verblasen“. Zeitschr. f. Instrumentenbau, Leipzig 1911, Nr. 13 u. 14, XXXI. Jahrgg.
- Antlicher Bericht* über die Industrie- u. Kunstausstellung zu London im Jahre 1862, . . . Berlin 1863, Königlich Geheime Ober-Hofbuchdruckerei.
- Buch der Musik* = Spemanns goldenes Buch der Musik, Spemann, Berlin u. Stuttgart 1900.
- Carse*, Adam: Musical Wind Instruments. Macmillan, London 1939.
- Donington*, Robert: The Instruments of Music. Methuen, London 1949.
- Eichborn*, Hermann: Die Dämpfung beim Horn oder die musikalische Natur des Horns. Eine akustisch-praktische Studie. Breitkopf & Härtel, Leipzig 1897.
- Franz*, Oskar: Waldhornschule. Neuausgabe v. W. Spies, 12. Aufl. Erdmann, Leipzig 1937.
- Freiberg*, Gottfried v.: Das Waldhorn. In: Hohe Schule der Musik, Bd. IV. Athenaion-Verlag, Potsdam 1938.
- Gatby*, Aug.: Musikalisches Conversations-Lexikon. 2. Aufl. Niemeyer, Hamburg 1840.
- Heinitz*, Wilhelm: Instrumentenkunde. In: Handbuch der Musikwissenschaft. Athenaion-Verlag, Potsdam 1932.
- Helmholtz*, Hermann v.: Die Lehre von den Tonempfindungen, . . . 6. Ausg. Vichweg u. Sohn, Braunschweig 1913.
- Henderson*, H. W.: An Experimental Study of Trompet Embouchure. In "Journal of the Acoustical Society of America" (= J. A. S. A.) XIV, 1942, S. 58.
- Hofmann*, Heinrich: über den Ansatz der Blechbläser. Bärenreiter-Verlag, Kassel und Basel 1956.
- Jonquière*, Alfred: Grundriß der musikal. Akustik. Grieben, Leipzig 1898.
- Knaus*, H. P. und *Yeager*, W. Y.: Vibration of the Walls of a Cornet. In J. A. S. A. XIII, 1941, S. 16 ff.
- Kröncke*, Helmut: Mechanische Schwingungen und Schall. Lax, Hildesheim 1951.
- Mahillon*, Victor-Charles: Catalogue descriptif et analytique du Musée instrumental du Conservatoire Royal de Musique de Bruxelles. Annot-Braeckman, Gand 1880.
- Martin*, Daniel W.: Lip Vibrations in a Cornet Mouthpiece. In J. A. S. A. XIII, 1942, S. 305 ff.
- Martin*, Daniel W.: Directivity and the Acoustic Spectra of Brass Wind Instruments. In J. A. S. A. XIII, 1942, S. 309 ff.
- Pohl*, Richard: Akustische Briefe für Musiker und Musikfreunde. Hinze, Leipzig 1853.
- Pohl*, R. W.: Einführung in die Mechanik und Akustik. Berlin 1930.
- Prez*, August: „Das Waldhorn“ in „Musikinstrumentenkunde“ von Teuchert u. Haupt, III. Teil. Breitkopf & Härtel, Leipzig 1911.
- Riemann*, Hugo: Musik-Lexikon, 9. Aufl. Hesse, Berlin 1919.
- Scheminzky*, Ferdinand: Die Welt des Schalles. 2. Aufl. Das Bergland-Buch, Salzburg 1943.

- Schlenger, Kurt*: Eignung zum Blasinstrumentenspiel, Beiträge zur Physiologie und Pädagogik des Blasinstrumentenspiels . . . Bungartz, Dresden 1935.
- Schmidt, Heinrich*: Die Orgel unserer Zeit. Oldenburg, München und Berlin 1954.
- Simbriger-Zebelein*: Handbuch der musikal. Akustik. Habel, Regensburg 1951.
- Sorge, Georg Andreas*: Genealogia allegoria intervallorum octavae diatonico-chromaticae, d. h. Geschlechtsregister der Intervallen nach Anleitung der Klänge des großen Waldhorn. Hof, gedruckt bey J.-E. Schultzen. Auf Kosten des Auctoris, 1741.
- Stauder, Wilhelm*: Horninstrumente-Akustik in „Die Musik in Geschichte und Gegenwart“, herausgeg. von Fr. Blume, Bd. VI, Sp. 724 ff., Bärenreiter, Kassel 1957.
- Trendelenburg, Ferdinand*: Klänge und Geräusche. Springer, Berlin 1935.
- — Einführung in die Akustik. Springer, Berlin 1939.
- Wachter-Tschering*: Akustische Untersuchungen am Waldhorn. Studienarbeit an der Ausbildungsstätte des Rundfunktechnischen Instituts Nürnberg 1955.

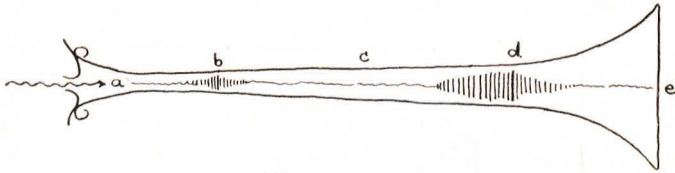


Abb. 1. Fig. 1

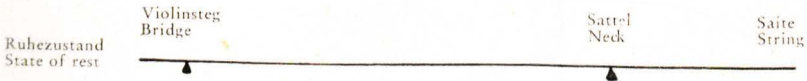


Abb. 2. Fig. 2

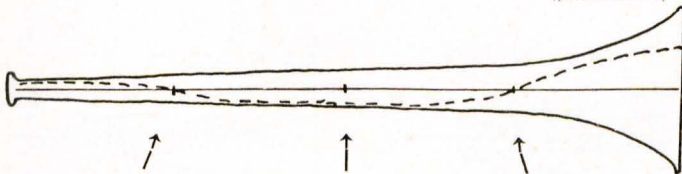
Wellenknoten
Bewegungsknoten
= Druckbauch
Vibration node
Velocity node
= pressure antinode

Wellenbauch
= Druckknoten
Velocity antinode
= pressure node

Wellenknoten
Vibration node

Bewegungsbauch
(Druckknoten)
Velocity antinode
(pressure node)

Bewegungsbauch
(Druckknoten)
Velocity antinode
(pressure node)



Bewegungsknoten
(Druckbauch)
Velocity node
(pressure antinode)

Bewegungsbauch
(Druckknoten)
Velocity antinode
(pressure node)

Bewegungsknoten
(Druckbauch)
Velocity antinode
(pressure antinode)

Abb. 3. Fig. 3

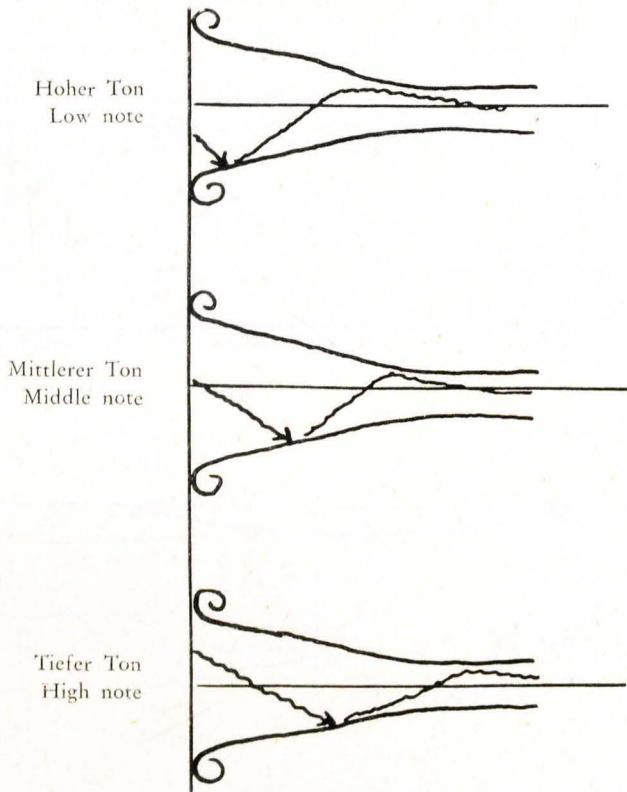


Abb. 4. Fig. 4

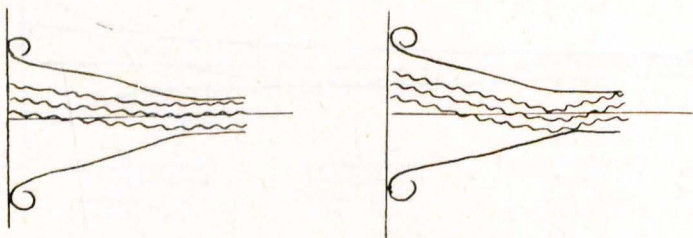


Abb. 5. Fig. 5

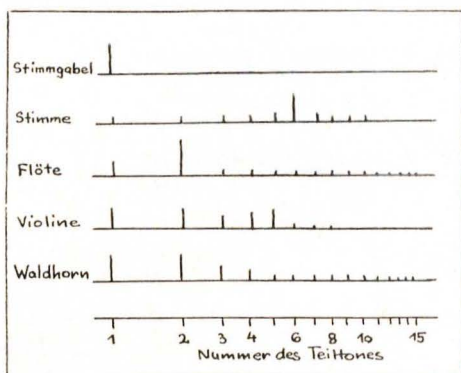


Abb. 6. Klangspektren verschiedener Schallquellen nach Scheminzky-Miller. (Scheminzky, Abb. 25)

Fig. 6. Frequency spectra of various sound sources (Scheminzky, loc. cit. Fig. 25)

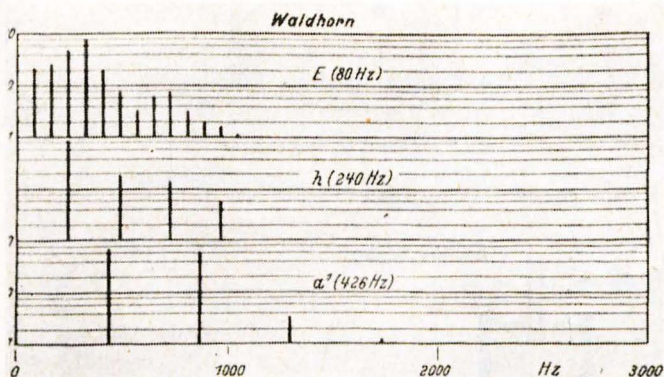


Abb. 99. Klangspektren eines Waldhorns. (Nach E. MEYER und G. BUCHMANN.)

Abb. 7. Klangspektren dreier Waldhorntöne nach Trendelenburg, Seite 129

Fig. 7. Sound spectra of three notes of the French horn (Trendelenburg, p. 129)

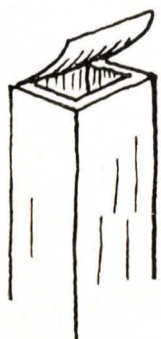


Abb. 8. Orgelpfeife mit Bleiblech zur Feinabstimmung (nach Scheminzky) S. 334)

Fig. 8. Organ pipe with lead sheet for fine tuning (Scheminzky)

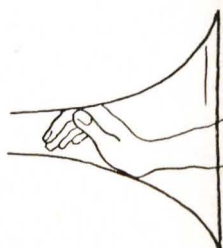


Abb. 10. Handstellung beim „Stopfen“

Fig. 10. Position of hand for „stopping“

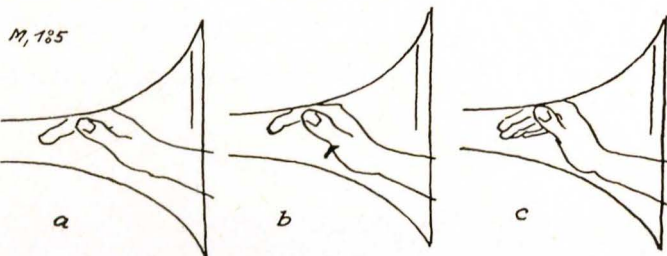


Abb. 9. Die Hand im Schallbecher
a) offen b) halb gestopft c) dreiviertel gestopft

Fig. 9. Hand in the bell
a) open b) half stopped c) three-quarters stopped

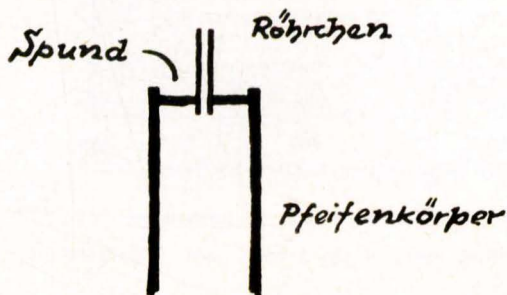


Abb. 11. Halb gedeckte Pfeife

Fig. 11. Half closed pipe

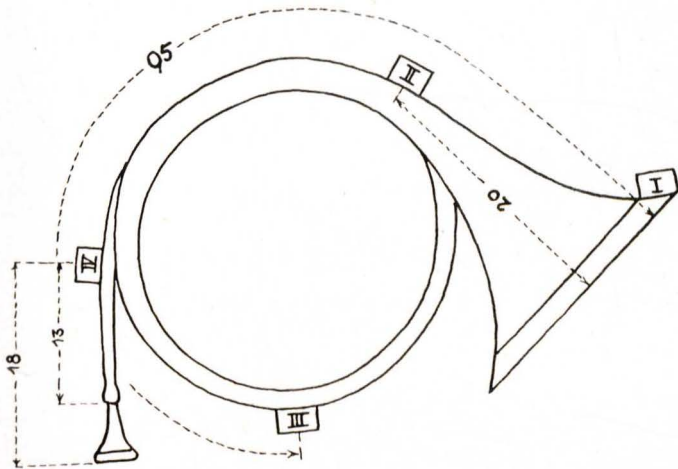


Abb. 12. Die Ansatzpunkte des Mikrophons (I—IV) zur Messung des Körperschalles

Fig. 12. Mounting points (I—IV) of the vibration pickup during vibration measurements

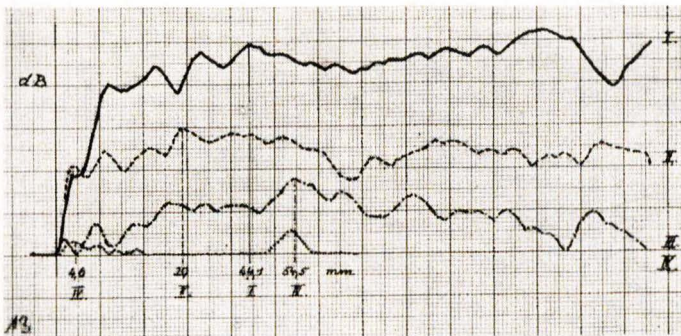


Abb. 13. Einschwingvorgang des offenen c^1 (268 Hz)

Fig. 13. Attack of open c^1 (268 c/s)

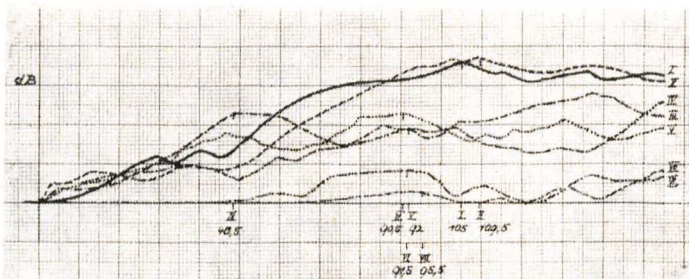


Abb. 14. Einschwingvorgang des offenen B₁ (58 Hz)
 Fig. 14. Attack transient of open B₁ (58 c/s)

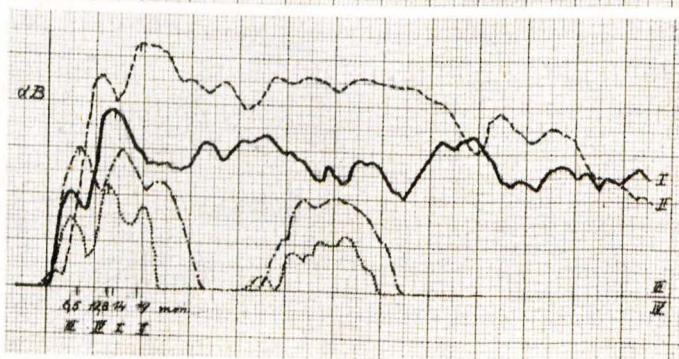
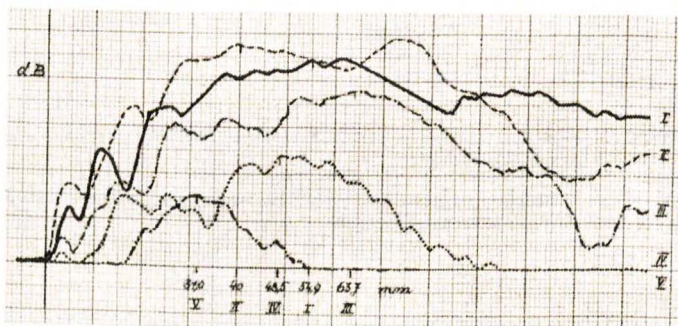


Abb. 15. Einschwingvorgänge des gestopften c' (270 Hz)
 a) sforzato angeblasen b) weich angeblasen
 Fig. 15. Attack of stopped c' (270 c/s)
 a) sforzato b) without accent

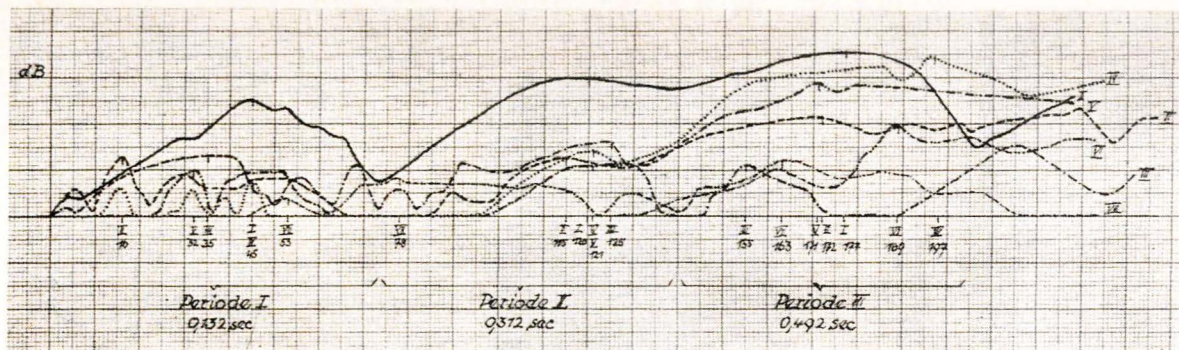
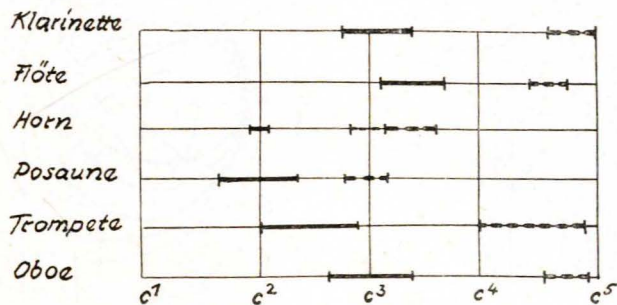


Abb. 16. Einschwingvorgang des B₁ mit Dämpfer (58 Hz). Fig. 16. Attack of muted Bb₁ (58 c/s)



Hauptformant (—) Region
 Nebenformant (---) Region 1. Grades
 Nebenformant (····) Region 2. Grades
 Abb. 17. Formanten einiger Blasinstrumente

Primary formant region (—)
 Secondary formant region 1st order (---)
 Secondary formant region 2nd order (····)
 Fig. 17. Formants of some wind instruments

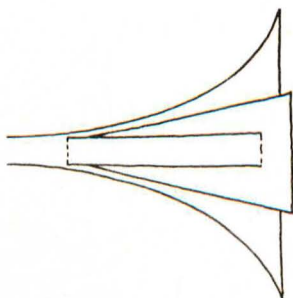


Abb. 18. Dämpfer im Schallbecher (Schnitt)
 Fig. 18. Sectional view of a mute in the bell

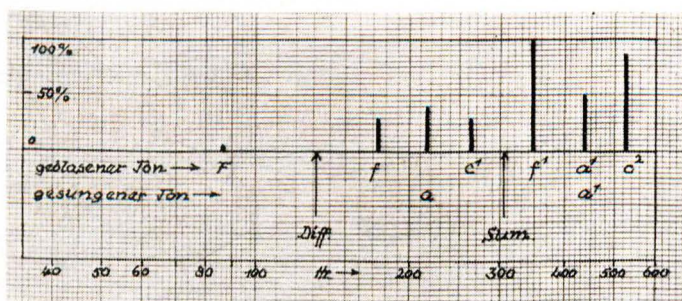


Abb. 19. Klangspektren des Doppeltones $F—a^1$
 Fig. 19. Frequency spectra of the double note $F—a^1$

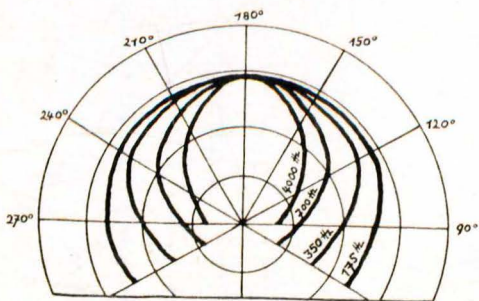


Abb. 20. Richtwirkungsdiagramm des Waldhorns (nach Stauder)
 für klingend $f = 175$ Hz
 " " $f^1 = 350$ Hz
 " " $f^2 = 700$ Hz
 " " $c^5 = 4000$ Hz
 Fig. 20. Polar diagram of the French horn (Stauder, loc. cit. par. 728, fig. 6)
 for $f = 175$ c/s, $f^1 = 350$ c/s
 $f^2 = 700$ c/s and $c^5 = 4000$ c/s

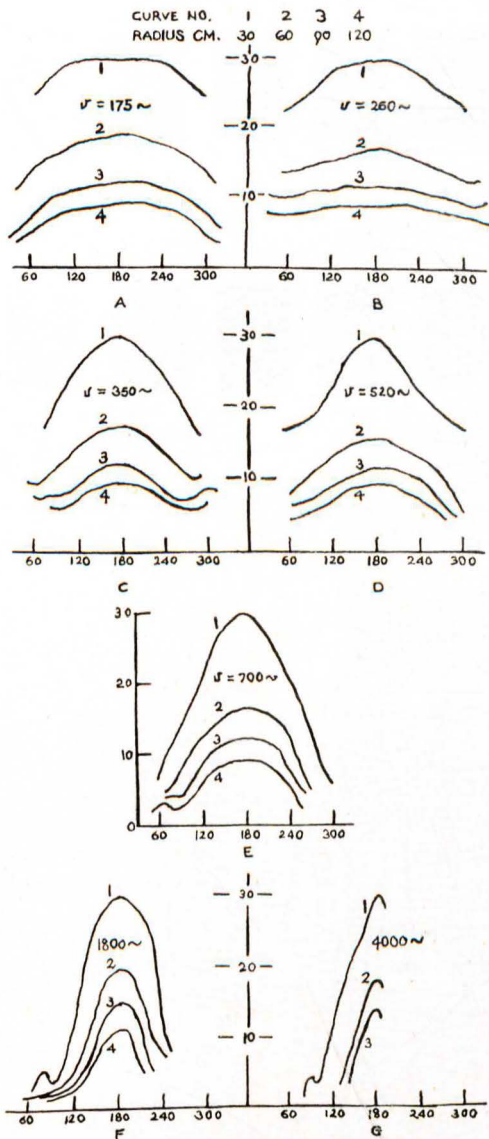
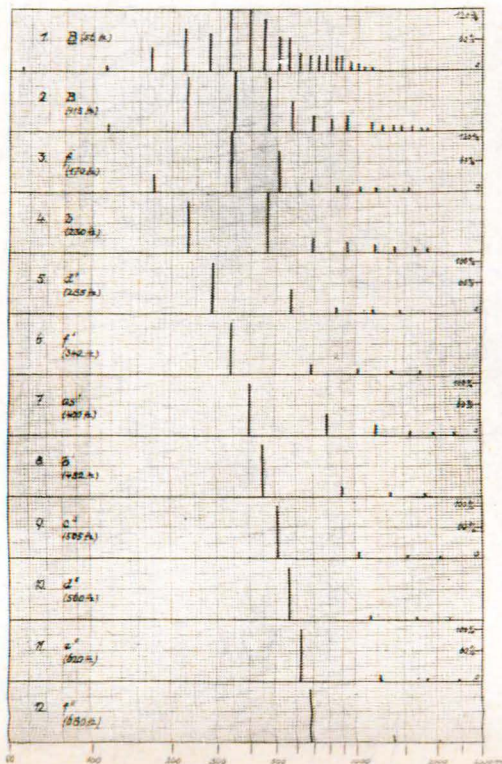


Abb. 21. Richtwirkungsdiagramme des Waldhorns (nach Martin)
 Fig. 21. Polar diagrams for the French horn (Martin)

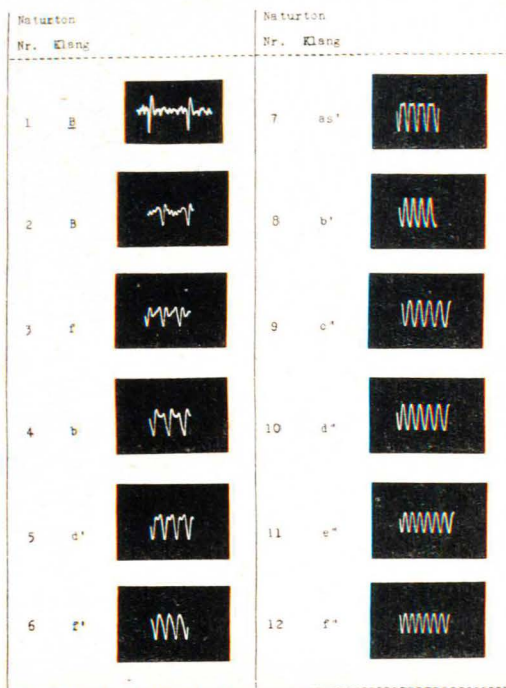
Tafel I Die Klangspektren der ersten 12 Naturtöne des Hoch-B-Hornes

Plate I Sound spectra of the first 12 natural notes of the high B-flat horn



Tafel II Oszillogramme der Naturtonreihe des Hoch-B-Hornes

Plate II Oszillograms of the 1st 12 natural notes of the high B-flat horn

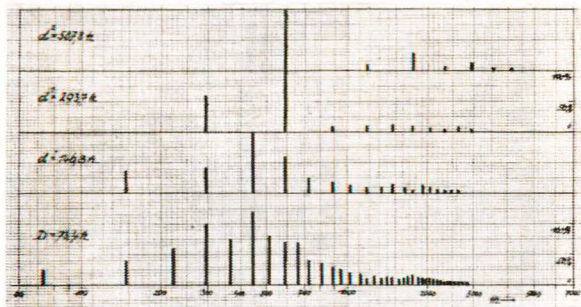


Tafel III Klangspektren (klingend d², d¹, d, D)

a) „Stürze hoch“

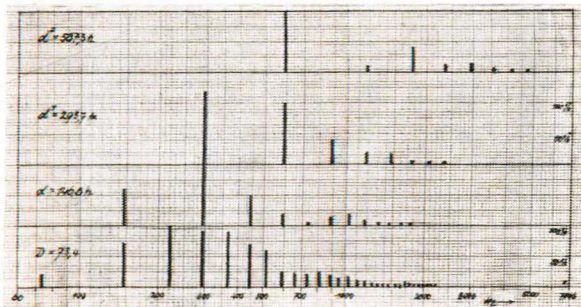
Plate III Spectra of the sounds d², d¹, d, D

a) Without use of the right hand



b) Offene Töne (rechte Hand eingelegt)

b) Open notes

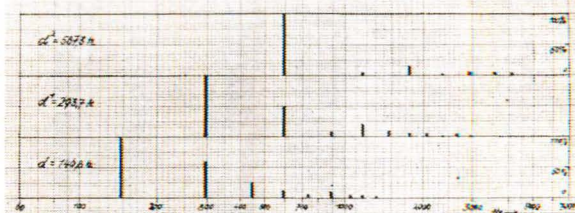


Tafel IV Klangspektren (klingend d², d¹, d, D)

a) Gestopfte Töne

Plate IV Spectra of the sounds d², d¹, d, D

a) Stopped notes

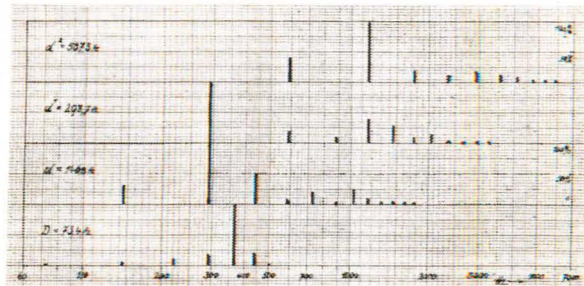


D = 73,4 Hz kann nicht befriedigend gestopft werden

D = 73.4 c/s cannot be stopped satisfactorily

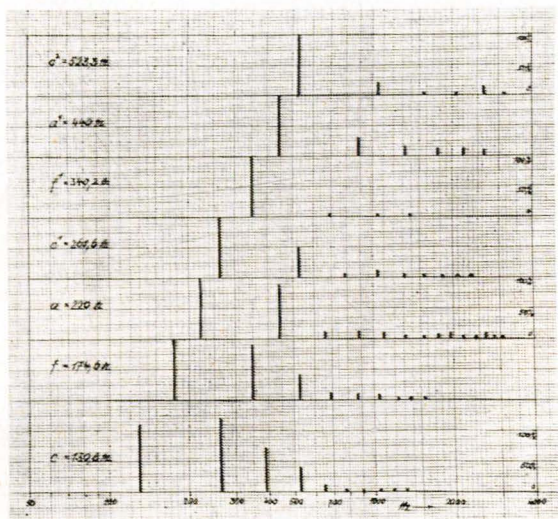
b) Mit Dämpfer

b) Muted notes

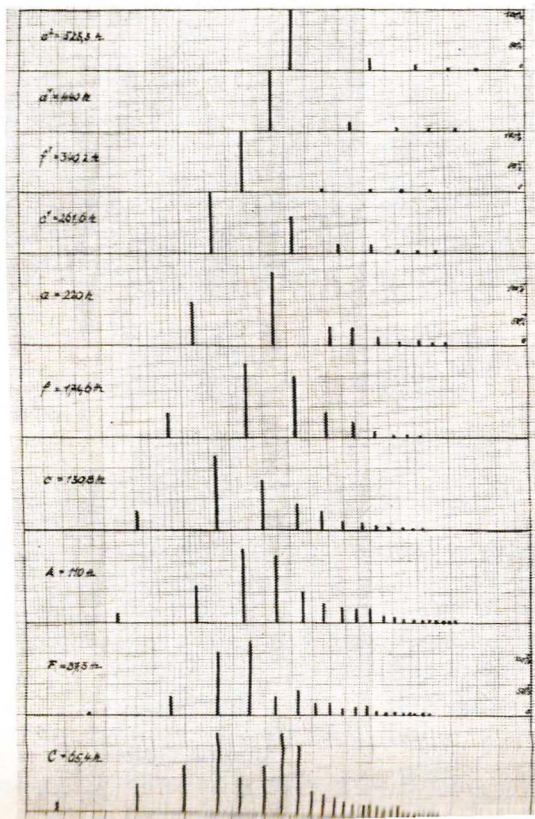


Tafel V Klangspektren Luftschall — gestopft
 Plate V Sound spectra Airborne sound — stopped

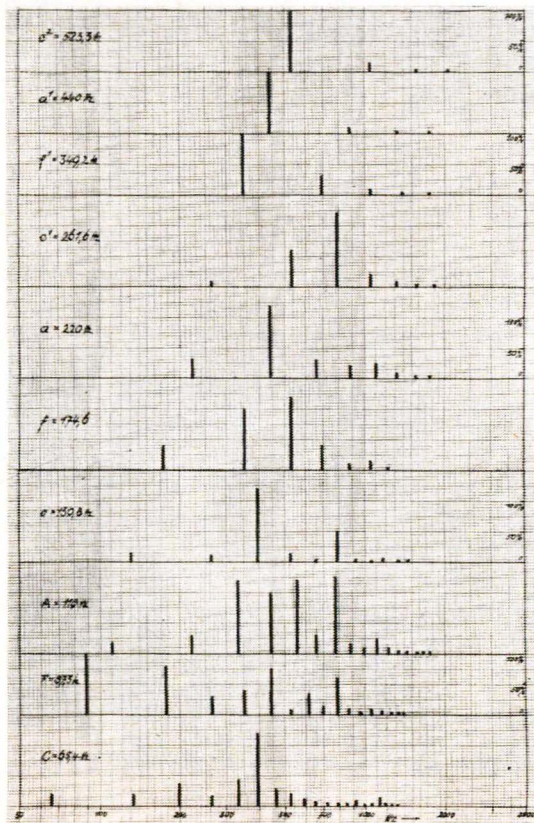
f6



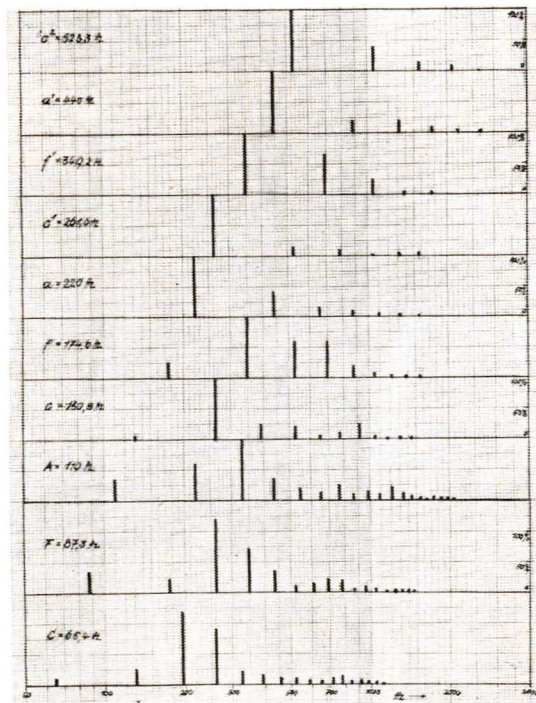
Tafel VI Klangspektren Luftschall — offen
 Plate VI Sound spectra Airborne sound — open



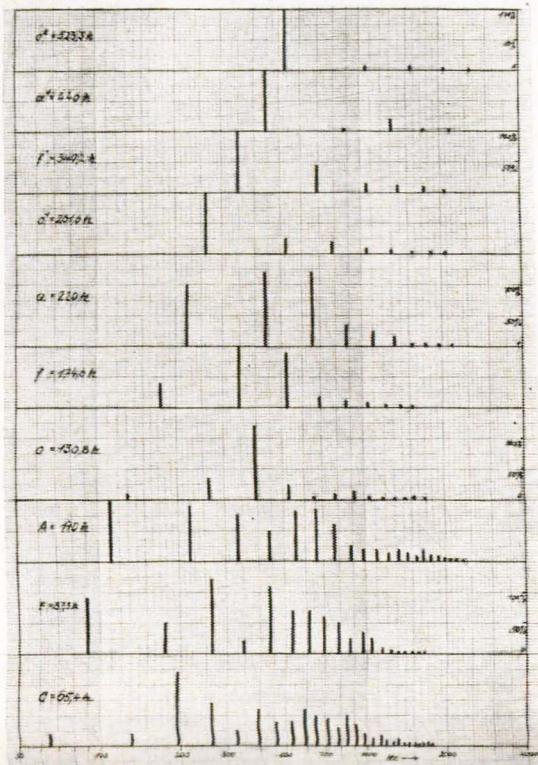
Tafel VII Klangspektren Instrumenten-Körperschall
 offen - Mikrophon am Kranz (I)
 Plate VII Sound spectra Vibration of the instrument
 — open Pickup at the rim (I)



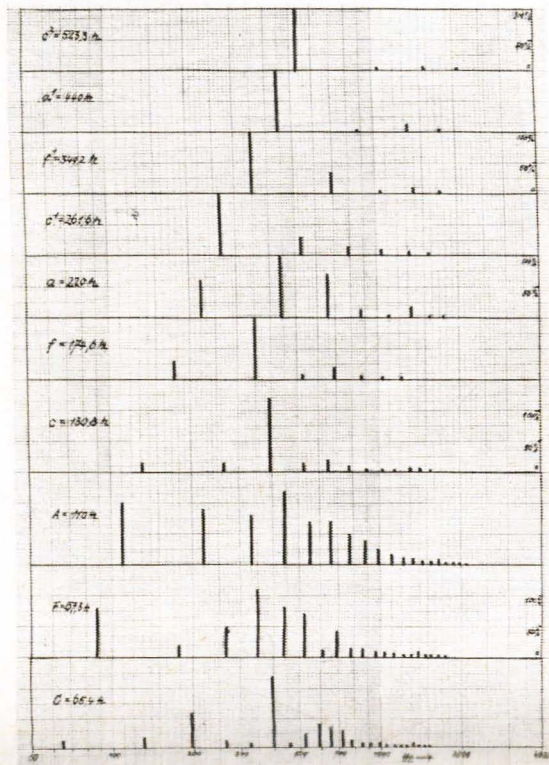
Tafel VIII Klangspektren Instrumenten-Körperschall
 offen - Mikrophon am Übergang Röhre
 Stürze (II)
 Plate VIII Sound spectra Vibration of the instrument
 — open Pickup at the joint between tube
 and bell (II)



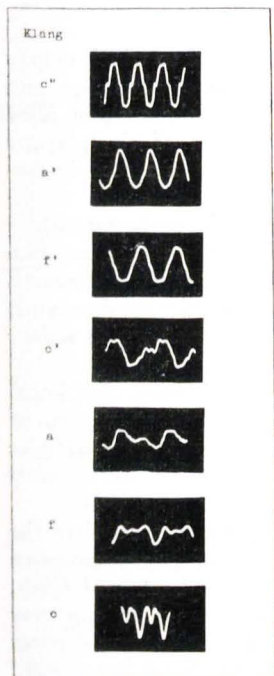
Tafel IX Klangspektren Instrumenten-Körperschall
 offen - Mikrophon am Rohr (III)
 Plate IX Sound spectra Vibration of the instrument
 — open Pickup on the tube (III)



Tafel X Klangspektren Instrumenten-Körperschall
 offen - Mikrophon am Mundrohr (IV)
 Plate X Sound spectra Vibration of the instrument
 — open Pickup at the mouth tube (IV)



Tafel XII Klangspektren Luftschall — mit Dämpfer
 Plate XII Sound spectra Airborne sound — muted

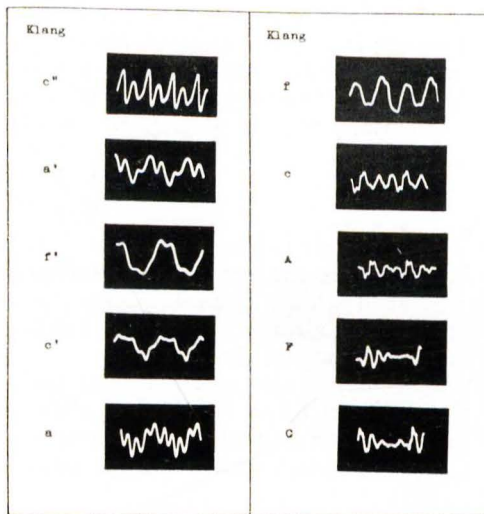
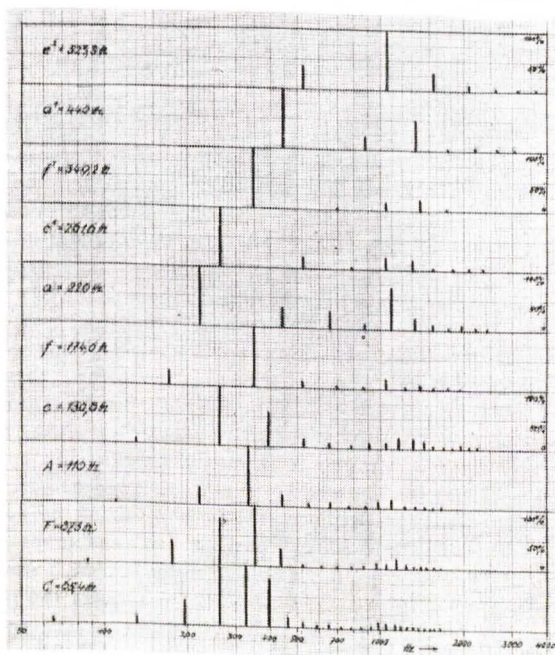


Tafel XI Oszillogramme gestopfter Töne (Luftschall, vergl. Tafel V)

Plate XI Oscillograms of stopped notes (Airborne sound, cf. Plate V)

Tafel XIII Oszillogramme gedämpfter Töne (Luftschall, vergl. Tafel XII)

Plate XIII Oscillograms of muted notes (Airborne sound, cf. Plate XII)



Practical Acoustic Data on the French Horn

by

BOEGNER

(1) Cushion Pipes

Since time immemorial, labial and reed pipes — the types to which organs are restricted — have completely absorbed the attention of physicists, and it has been usual to dispose of the third type of pipe, the cushion pipe, by simply describing it as a double reed: the vibration of the player's lips against each other is alleged to be the same thing as in a reed instrument.

The matter of importance in labial and reed pipes is the correct positioning of the stream of air against the lip in the one case, and the production of vibrations in the reed in the other: then we have the fundamental. The other notes (excepting *only the first* harmonic above the fundamental) necessitate the use of mechanical contrivances (holes or keys) which *reduce the length of the vibrating column of air*.

The instruments with a cup mouthpiece (trumpet, trombone and horn) can however produce *a whole series of harmonics* in an air column of *constant length*; the vibrating lips (cushions) must have a quite definite *width* and a quite definite *tension* for each note, and the air stream must be blown into the mouthpiece in a quite definite direction as well.

In reed instruments the vibration at the mouthpiece is such that the reed vibrates in *one* direction only, while the cushions of cup mouthpiece instruments vibrate not only against each other *but also* back and forth, resulting in a quite different, far more complicated action than can ever be ascribed, say, to an organ pipe. It is natural that all this should place immense difficulties in the way of experimental research on brass wind instruments, so that large gaps still remain to be filled in this branch of acoustics.

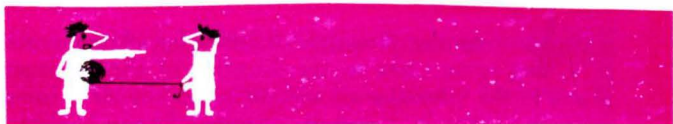
(2) Tone Production

(Fig. 1)

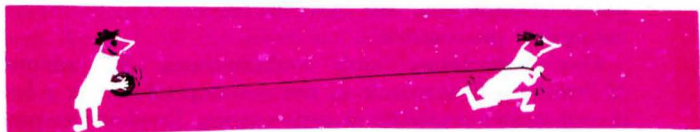
At *a*, the air is blown away; at *b*, it is compressed, pressing the neighbouring air to the rear (*c*) in expanding, so as to result in another compression at *d* which, in turn, presses outward again to produce the next compression already outside the instrument. It must be constantly kept in mind, however, that the air as a whole does not move at all, only the *individual* particles of air vibrate back and forth, returning always to their point of origin by virtue of their elasticity. (The example illustrated shows the 2nd natural tone, i. e. one whole wavelength.)

A wave motion such as the one described above is called a longitudinal

Withstands



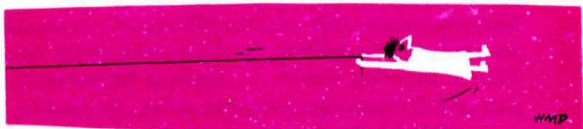
shock loads



up to



3000 g



BASF MAGNETIC RECORDING TAPE LGR, a special quality of tape for use in radio and television, withstands high stresses of this kind without suffering any damage.

Broadcasting stations in Europe and overseas are also well aware of the special electro-acoustical properties of BASF MAGNETIC RECORDING TAPE LGR at all tape speeds: -

- High peak record level
- Perfect magnetic stability
- Extremely low print-through
- Almost noise-free

These outstanding electro-acoustical properties are achieved by the magnetic orientation.

In addition, BASF MAGNETIC RECORDING TAPE LGR is unaffected by humidity and has unlimited storage stability. It is the ideal tape for high-fidelity studio and archives recordings.

wave, because the direction of vibration of the particles of the medium (i. e. air) is the *same* as the direction of the propagation of energy. The places in the vibrating air column where the air is compressed are "pressure *antinodes*" (Fig. 1, *b* and *d*), corresponding to "velocity *nodes*", while the points of expansion are "pressure *nodes*" and at the same time "velocity *antinodes*" (*a*, *c* and *e*).

This nomenclature "node" and "antinode" was adopted from the theory of "transverse" waves, e. g. the waves produced in a bowed violin string; the vibrations produced in such a string, fixed at two points, are transverse, (Fig. 2)

It is useful to represent the longitudinal vibration as in transverse motion for the wave motion comes out very clearly. The wave motion of Fig. 1, shown in the tube of a wind instrument, would look like this. (Fig. 3)

Up till now, the question has been the production of any note at all. What happens then if we wish to produce a different note? Musicians, like physicists, talk of "overblowing" here. They say, "An *increase* of the amount of air makes the first note jump to another, higher one." Still harder blowing results in again a higher note, and so forth¹. These notes are called overtones, natural notes, or partial tones, and our French horn is capable of producing about 16 of them; they are to be the subject of subsequent discussion.



It might be thought that the increased amount of air would make the notes louder and louder, the higher they are in the register. Any horn player knows, in fact, that a pianissimo is possible even in the highest notes. It follows that "overblowing" is not just the simple matter of blowing harder which the tutors make it out to be — there must be other factors enabling modulation of the notes above the fundamental.²

Any brasswind player knows that in order to obtain the various natural notes on his instrument he must vary the tension of his lips. Let it be emphasised here that these discussions are restricted to the *natural horn* without regard to the valves which, after all, merely turn one natural horn into another natural horn of a different key.

Apart from having the correct *lip tension*, the horn player must blow his stream of air in a certain *direction* and at a certain *place* in the mouth-piece in order to hit a certain note. If he misses, a different note is immediately obtained which — if corrected at once — results in the notorious "squeak". In all this, the *pitch* is independent of the *strength* of the air stream.

¹ This may well be the case for labial pipes, where it can easily be proved by experiment, but by no means for cushion pipes. The notes of labial pipes are rigid and cannot be modulated.

² Kröncke (loc. cit.) clears this question up for labial pipes in his tests nos. 34 and 35.

The following two notes will explain what is meant: the high c^2  and the low C_1 . There is an interval of 3 octaves between the

two, which will make the difference between the two ways to make them speak especially clear. Apart from the difference of *lip tension*, the higher note must be blown decidedly downwards — not into the tube, but far forward at the bottom *rim* of the mouthpiece, as shown in fig. 1. Because of the law of reflection of waves, the air stream will be *reflected* one or more times around the mouthpiece cup before finding its way into the tube opening. (Fig. 4)

The higher the note, the further *forward* must it be produced in the mouthpiece, and the *shorter* must be the distance from the lip opening to the place in the mouthpiece blown at — apart, again, from the increased lip tension and the reduced lip opening. In this way the angle of reflection can be kept so that the air stream is always directed to the transition point between the cup and the “soul” of the instrument, and from this point on the wave motion follows the curves of the tube.

While the high C must be blown steeply downwards, the low C is blown nearly horizontally; the 12 natural notes in between have their proper blowing positions *between* the two described, which lie closer together or further apart, depending on the interval encompassed. This explains why legato playing on the natural horn is easier for small intervals than for large, for the blowing position does not have to be moved far; trills on the second or third are possible, but not on the octave.

For the high C the lips — especially the lower lip — are quite tight, but quite relaxed for the low C. In addition, the lip opening is *reduced* for the top notes through lateral compression of the mouth, resulting in a vibrating zone on the lips which is *less* than the 17 mm of the mouthpiece diameter; for the low notes, on the other hand, the lips must vibrate in their whole width.

There is one thing more: the upper and lower lips do not touch in blowing, as reeds do for example: the lips are more apart for the low notes and less for the high ones; a greater amount of lip tissue vibrates for the low notes, less for the high ones.³

³ *Martin* (loc. cit. p. 305) examined the lip vibrations in a *cornet mouthpiece* with the aid of a folded, partly transparent experimental mouthpiece, enabling series photography of the lip motion from the front and the side. The diagrams illustrating these experiments clearly show that the player's lips do not touch and that the upper and lower lips are of varying importance for the formation of the various frequencies. *Stander* (loc. cit. par. 725, fig. 2) makes use of the photographs of these tests and publishes the vibration “for a low frequency”. *Henderson's* researches (loc. cit. pp. 58 ff) are just as accurate for the *trumpet*

At this point let us make some observations in regard to the bore of the mouthpiece: a large mouthpiece facilitates production of the lower notes, a small one the higher notes. (Fig. 5)

Although it has already been mentioned that only a very small amount of air passes through the instrument, it must be said that this small amount does play its part. The air current is narrower for the high notes and is given better guidance by a *narrow* mouthpiece, while the wider air stream of the low notes passes more easily through a wide bore, facilitating development of the vibrations. A too narrow bore hinders the passage of the air to such an extent as to be detrimental to the highs as well, while conversely a too wide bore is of so little guidance to the air current that even the low notes speak with difficulty.

(3) The Vibrations in the Tube

The natural notes:

Tuning determined by the second natural note

Relationship among the natural notes

a) Octave

b) Remaining overtones

1) Their relation to the tube length

2) Their relation to each other

Theoretical and practical compass

It has already been discussed how the vibrations come to pass in the tube. We shall now go into more detail. The example illustrated by fig. 1 showed the second natural note; this note is of particular importance to any wind instrument because the length of the tube is equal to the wavelength of this note. This second natural note — corresponding exactly to *one* wavelength in the tube — is decisive for *tuning* the tube of the instrument. As an example in practice, let us take the horn in F: its second natural note is the F vibrating at 86 cycles per second⁴, having a wavelength of 3.94 metres (12'—9"), and this is the *theoretical* length of the horn in F, although in practice it deviates by a few centimetres.

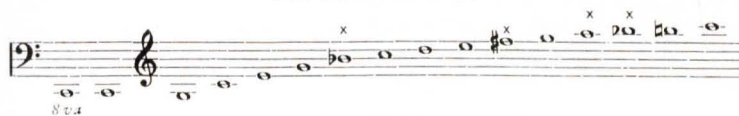
The fact that the notes of an octave are related to each other depends on the simple ratio of their wavelengths: the higher note always has half the wavelength of the lower. The fundamental F_1 of our horn in F then has a wavelength of 7.89 m, so that only a half wave vibrates in the tube length of 3.94 m. Conversely, the note f , the octave above F, has half

mouthpiece, and he comes to the conclusion that "contrary to general assumption, the *upper* lip is the primary tone producer. The part played by it in the vibration depends on its degree of stiffness and on the vibrating mass. These two factors are controlled mainly by biting and by pressure from the lower lip."

⁴ $A = 435$ at 15°C, equal temperament.

the wavelength of the latter, i. e. 1.974 m, so that two whole waves of this note will fit into the tube of the horn in F.

The Natural Notes



The wavelengths of the natural notes bear a simple relationship to the length of the tube, progressing by half wavelengths (Table 1). The 1st natural note just fills the tube length with half a wavelength, the 2nd with a whole wavelength, the 3rd with 1½, the 4th with 2, the 5th natural note with 2½ wavelengths, etc. up to the 16th natural note, which will go 8 times into the tube length.⁵ This is shown quantitatively in Table 1.

TABLE 1

The natural notes of the horn in F for the equal tempered scale based on $a^1 = 435$ c/s

Note as written	Natural note no.	Actual sound	Wave length in metres	No. of waves in 3.94 m tube length
C	1	F ₁	7.89	½
c	2	F	3.94	1
g	3	c	2.635	1½
c	4	f	1.974	2
e ¹	5	a	1.566	2½
g ¹	6	c ¹	1.317	3
(bb ¹)	7	(eb ¹)	1.126	3½
c ²	8	f ¹	0.987	4
d ²	9	g ¹	0.879	4½
e ²	10	a ¹	0.783	5
(f ^{#2})	11	(b ¹)	0.716	5½
g ²	12	c ²	0.658	6
(a ²)	13	(d ²)	0.606	6½
(bb ²)	14	(eb ²)	0.562	7
b ²	15	e ²	0.522	7½
c ³	16	f ²	0.498	8

⁵ The mathematical formula therefore is:
Harmonic degree $x \frac{1}{2}$ = number of wavelengths in the tube
e. (g. $5 \times \frac{1}{2} = 2\frac{1}{2}$ wavelengths).

N. B. This holds only for open pipes. For pipes closed at one end (the "gedackt" pipes of the organ) the harmonics step by $\frac{1}{4}$ wavelengths.

A comparison of the wavelengths of our natural notes with those of the diatonic scale shows that they correspond on the whole. The natural notes nos. 7, 11, 13 and 14 are impure, having wavelengths which are all *greater* than those corresponding to the relevant notes of our scale, so that they sound *flat*; this is made clear in the table following, which indicates the diatonic notes each side of the impure natural notes.

TABLE 2
The Impure Natural Notes

Natural note		Nearest equal tempered notes		Ratio of tube length to wavelength
No.	Wavelength (metres)	Pitch	Wavelength (metres)	
7	1.126	d ¹	1.173	3.36
		eb ¹	1.105	3.5 3.58
11	0.716	bb ¹	0.737	5.33
		b ¹	0.697	5.5 5.65
13	0.606	c ^{#2}	0.622	6.33
		d ²	0.586	6.5 6.73
14	0.562	d ²	0.586	6.73
		eb ²	0.552	7 7.13

In theory, Table 1 can be extended beyond the first 16 natural notes, and the instrument does, in fact include them; but no human lips can vibrate at the necessary rate. To date it has also not been possible to construct an *experimental* cushion pipe to produce *all* the overtones up to the upper hearing limit. The design suggestions put forth by Scheminsky-Ewald⁶ and Simbriger-Zechelein⁷ are unsatisfactory because in both cases the cushions, being rigid, can move in one plane only and thus cannot fulfil the conditions arising out of our definition of overblowing.

⁶ Illustrated in Scheminsky loc. cit. p. 339.

⁷ Loc. cit. p. 93.

The fundamental note F_1 of the horn in F has a frequency of 43.16 cycles per second, i. e. each air particle moves back and forth 43.16 times in every second. This figure 43.16 of the fundamental F_1 is of paramount importance to the frequencies of every note in the whole overtone row, for in order to belong to the harmonic series, a note must have a frequency which is a simple multiple of the fundamental frequency. This is made clear by Table 3:

TABLE 3
Harmonic Series of F_1

Harmonic	Note	Frequency
1st	F_1	43.16 c/s = 1×43.16
2nd	F	86.32 c/s = 2×43.16
3rd	c	129.48 c/s = 3×43.16
4th	f	172.64 c/s = 4×43.16
5th	a	215.80 c/s = 5×43.16
6th	c^1	258.96 c/s = 6×43.16
7th	cb^1	302.12 c/s = 7×43.16
8th	f^1	345.28 c/s = 8×43.16
9th	g^1	388.44 c/s = 9×43.16
10th	a^1	431.60 c/s = 10×43.16
11th	bb^1	474.76 c/s = 11×43.16
12th	c^2	517.92 c/s = 12×43.16
13th	d^2	561.08 c/s = 13×43.16
14th	eb^2	604.24 c/s = 14×43.16
15th	e^2	647.40 c/s = 15×43.16
16th	f^2	690.56 c/s = 16×43.16
17th	$f\sharp^2$	733.72 c/s = 17×43.16
18th	g^2	776.88 c/s = 18×43.16
19th	ab^2	820.04 c/s = 19×43.16
20th	a^2	863.20 c/s = 20×43.16
21st	(a^2-bb^2)	906.36 c/s = 21×43.16
22nd	bb^2	949.52 c/s = 22×43.16
23rd	b^2	992.68 c/s = 23×43.16
24th	c^3	1035.84 c/s = 24×43.16

This table has been purposely extended beyond the 18th harmonic or natural note, which can just be obtained, for it thus illustrates our previous statement that the natural notes become more and more closely spaced towards the top so that the upper intervals become smaller even than semitones. Already the 21st natural note is a note between a^2 and bb^2 —

this must needs be a quartertone, seeing that it halves a semitone, and such quartertones occur regularly between all the semitones from d^3 to a^2 .

Let us suppose the upper limit of hearing to be 17 000 c/s, corresponding approximately to the note c^7 . There are therefore 4 octaves from our 24th harmonic c^3 to c^7 , which would be the 384th harmonic: there are therefore 361 harmonics all within the space of 49 equal tempered semitones! The reverse holds true for the lower register, for the 24 harmonics listed fall into the range of $4\frac{1}{2}$ octaves from F_1 to c^2 , encompassing 56 semitones.

It must be added that all harmonics above and including the 7th occurring as so-called prime numbers (i. e. the 7th, 11th, 13th, 17th, 19th, 23rd, 29th, 31st, etc.) are impure, as are also the harmonics occurring as multiples of these prime numbers, so that only a few of the whole multitude of harmonics are pure notes. Out of the 384 harmonics up to c^7 , only 40 correspond to our pure scale.

(5) Theoretical and Practical Compass

The next harmonic *below* the fundamental of an open pipe must be $\frac{1}{2}$ wavelength less than the fundamental. But as the fundamental already has only $\frac{1}{2}$ wavelength in the tube, it follows that the next lower harmonic must be 0 wavelengths. Therefore the fundamental is the lowest note which can be produced, which proves the natural law of the lower limit of an overtone row.

Any one note blown on the horn is not a pure tone as on a tuning fork for example, but consists always of a number of notes sounding together. One of these determines the *pitch*, the others the *timbre*, and these notes accompanying the main note are no other than the overtones or natural notes with which we have already become acquainted; in the sense in which they appear here, they are also called aliquotes or partials, and the greater the number of partials sounding, the fuller and warmer the tone of an instrument; the fewer the number of partials, the clearer, brighter, more penetrating the tone. It is also important for the tone colour whether there are more lower or higher partials, and the proportion of their intensity.

Fig. 6 shows a number of frequency spectra taken from data by Scheminzky-Miller. It will be seen that a tuning fork gives a pure tone without overtones, which must necessarily appear dull and uninteresting musically, while the sound of the French horn contains *all* the overtones, with the lower ones very *marked*, resulting in its round tone. (Fig. 6)

Trendelenburg* has also published the frequency spectra of a French horn for 3 different notes; they are reproduced here, for comparison. (Fig. 7)

* "Klänge und Geräusche", p. 129.

All this is still insufficient for a complete description of an instrument: the *complete* series of natural notes is required for a clear picture of the sound of an instrument — the high and low register must be equally considered.

Plate I shows the frequency spectra of all the twelve natural notes playable on the high B \flat horn, and it becomes clear at a glance that the lowest natural note contains the greatest number of aliquotes, which grow less and less towards the top: while the note B \flat_1 (as sounded) shows 20 harmonics, f^2 has only 3. A closer examination shows also that the 1st harmonic is weaker than the following ones in the first four notes, while from the fifth onwards, the fundamental predominates. In the low and middle register the lower partials are very pronounced (up to 120%), and this, together with the large number of lower partials appearing, is the cause of the tone's roundness. Conversely, the brightening and penetrating quality of the tone in the upper register is explained by the reduction, in strength and number, of the overtones in the topmost octave.

How does it come about now that the fundamental B \flat_1 is heard clearly and apparently by itself (!) even though its part in the total spectrum is only 10%? This is because of the acoustic phenomenon of "combination tones": if 2 tones are sounded simultaneously side by side, other tones are formed (under certain circumstances) which are heard even though they were not played, and which correspond in frequency to the sum or difference of the two primary tones' frequencies, so that the combination tones are given the name "summation" or "difference tones". In our particular case, the frequency of B \flat_1 is 56c/s, of B \flat 112 c/s and of f 168 c/s, so that the difference tone of the two latter notes is 168 — 112 = 56 c/s; but this is again the frequency of the fundamental B \flat_1 ! In the same way, the difference between all the following aliquotes must necessarily be 56 c/s, so that the fundamental is reinforced to the extent of giving the ear the illusion of hearing the fundamental by itself.

The lower notes of our French horn, as we hear them, are not primary tones but combination tones!

This phenomenon has been well known for a long time, and has been used in organ building, in that the trouble and expense of pipes of extreme length for *very* low notes are saved by the provision of two shorter pipes to give the required combination tone.

Plate II shows the oscillograms of the 12 natural notes of the high B \flat horn — their spectra have already been shown in Plate I, where the partials of a note were shown side by side: here they are shown all together in one curve. The lowest note B \flat_1 has the most zig-zag and irregular curve of the lot, with 12 larger or smaller peaks in one period. This has no meaning other than that the 20 partials we have already met show up in such a

way that their 20 individual curves add so as to form the complicated curve shown. The higher the note, the poorer in overtones and the simpler the curve — B \flat has only 7, f only 3 peaks, etc., while the highest note, f 2 as sounded, is very nearly a sine wave, approaching the pure tone of a tuning fork. These top notes betray their overtones only in the form of light notches or slight deviations from the mathematically exact sine wave.

(6) Stopped Notes

If the horn is sounded open, without putting the hand into the bell, the tone will be bright, penetrating, blaring — this was desirable in the old hunting horns and suited their purpose. This tone is very rich in the *higher* overtones (Plate IIIa). When the player places his right hand (but never the *first*) into the bell, the higher harmonics are suppressed, allowing the lower ones to come out more clearly, so that the tone is rounded (Plate IIIb). A good horn player's right hand is constantly in motion: it has the job of forming the notes as regards both pitch and quality. The least movement of a fingertip is liable to alter the intonation. When the hand is pushed further into the bell, the effect of "muting" is produced: the tone becomes softer and darker in colour, and echo effects can come about which are similar to those brought about by the "mute" to be described later. The effect called "stopping" does not result until the opening is closed still more by the hand so that the note is distinctly flattened.

The acoustic significance of this flattening is similar to the procedure followed by organ tuners in mounting a small sheet of lead to the open end of a pipe and bending it towards or away from the pipe to give the desired pitch (fig. 8). No satisfactory explanation for this change of pitch (i.e. of wavelength) has yet been found. For the French horn, it can be said that the hand in the bell delays the spherical growth of the sound waves by forming a prolongation as well as a narrowing of the tube, as shown in fig. 9: the air current is led as a stream further along the lower part of the bell so that the pressure node moves outwards. The narrowing of the vibrating air column also flattens the pitch, as in certain organ pipes which taper in towards the top. For example, the pipes called "Gemshorn" and "Spitzflöte" are pitched flatter than their length would make us expect.

Complete stopping is the knack always used by horn players nowadays when stopped notes are prescribed: the hand must close the tube as tightly as possible (fig. 10). The shape of the instrument and of the hand makes an air-tight stop impossible — some air will always seep through; and even if a perfect stop were possible, it would not be permissible, for a closed pipe would result, and a closed pipe can never be excited as a cushion pipe, for the air stream returning from the closed end would necessarily inhibit the lips' vibrations and, finding no other exit, return into the player's lungs.

The stopped French horn can be compared to the half closed organ registers such as the "reed flute" and the "reed quint", whose covers are provided with a small outlet (fig. 11). An examination was made of such a labial pipe because of the simple relationships holding for changes of pitch in such pipes: a small wooden board as cover with a narrow brass tube in it as outlet was held vertically to a glass organ pipe of circular section. The pipe was sounded open (it gave a^1) and then the cover was tilted over the open end until it "half closed" the pipe in its horizontal position. Not until the cover was at an angle of less than 45° was a flattening of the pitch noticeable; just before the cover was horizontal, the note stopped sounding, finally to jump up a third in the last stage of the experiment.

Let us make a similar experiment with the French horn: let various notes of the middle register be held while the right hand is brought into the position for complete stopping; if an attempt is now made to keep the pitch constant, it will not succeed — the note will allways jump up a semitone in the end. If on the other hand the pitch is not purposely kept constant, it will gradually flatten as the hand is introduced (as has already been mentioned) until complete stopping flattens it a semitone. Evidently the same principle is at work both in the organ pipe and in the French horn. The important thing is that all experiments on the horn result in the *same* sharpening or flattening of the note, so that we are led to believe that we are now dealing with *new* natural tone rows lying respectively a semitone lower and a semitone higher than the pitch of the open instrument. The only way for these natural tone rows to come about is by an increase of the length of the air column for the half stopped horn and a decrease for the completely stopped horn, compared to that of the open horn.

It is therefore incorrect to say that stopping flattens or sharpens the pitch; the right way to express it is by saying that the two stopping methods create new air columns deviating from the basic length of the tube: half (three-quarters) stopping creates a longer, and full stopping a shorter air column, which for their part form the basis of an overtone row with suitable excitation, just as is the case with the open horn.

A comparison of open and stopped notes (Plates III b and IV a, as well as V and VI) shows us that overtones are produced just as with the open horn, but that the fundamental note is in all cases the most pronounced, while the aliquotes (except the first) are weaker but more numerous. (Fig. 12)

A comparison of the tube wall vibrations for the stopped and open horn is most revealing (Plates VII—X): in nearly all cases, the stopped horn results in a greater number of overtones in the metal of the instrument as well. This means that the instrument vibrates more intensely as a result of the bottleneck in the air column, so as to absorb and also radiate more overtones than when open. Just as was the case in the airborne sound, the

TABLE 4
Number of overtones produced in the tube wall

Note	Mounting pos. I		Mounting pos. II		Mounting pos. III		Mounting pos. IV	
	open	stopped	open	stopped	open	stopped	open	stopped
c ²	4	7	5	7	5	6	4	7
a ¹	4	5	6	7	5	6	4	5
f ¹	5	6	5	6	6	9	5	6
c ¹	7	6+	6	8	8	10	6	14
a	8	10	7	11	10	10	8	7+
f	7	8	9	12	9	12	7	10
c	11	9+	11	17	13	14	12	13

metal vibrations of the open horn have aliquotes of greater amplitude than for the stopped horn. This is shown particularly clearly for mounting position III. We can therefore make the general deduction that the tube vibrates in the middle more than at the ends. But this is no more than we should expect: the mouth tube, being made of heavier metal because of the mouth-piece, cannot vibrate to the same extent, while the bell is robbed of some of its elasticity through introduction of the hand.

(7) The Attack Transient

At the attack (excitation) of a note, we do not at once obtain the final sound with all its partials; on the contrary, the latter are formed *one after the other* — and not in their numerical order — in a fraction of a second. This time needed to form the final, steady sound, varies from instrument to instrument and is called “attack time”, while the order of appearance of partials is named the “attack transient”. Short as this time is — so short, in fact, that the ear is not conscious of it — it is of the utmost importance to the perception of the sound as a whole.

The attack time, from the moment of the player's first action up to the completion of the steady tone, differs not only for the instruments but for the register. The attack will be milder if the lower, harsher if the upper harmonics are formed first.

Figure 13 shows the attack of the open note sounding c¹ on the French horn: the note was recorded on tape and dubbed at quarter speed; then the harmonics were filtered out one by one by a third-octave filter and their vibrations made visible by a high speed level recorder writing on wax. The individual curves were combined by drawing.

It will be seen that the 4th and 2nd harmonic reach their maxima before the fundamental, with the 3rd harmonic chasing the field home. Test recordings have shown that the fundamental *never* appears first, always *third* in position. The well pronounced lower partials explain the *round* tone of our French horn. The development of the individual curves in relation to each other, too, is remarkable: very *soon* after the beginning of the attack they run clearly and distinctly *side by side* without intersecting again.

The note Bb₁ (Fig. 14) looks quite different. It is not surprising that the fundamental is late here too, in sixth place. Neither is it surprising that there is a greater number of overtones than for c¹ — that has already been borne out by the tonal spectra. The round, veiled, mysterious tone of the horn's lower register is clearly exemplified by the diagram.

But not only are the individual curves and their relationships to each other different to the first example (c¹), also the attack times diverge, being 0.136 sec. for c¹ and 0.273 sec. for Bb₁, exactly double the higher note. From this we can gather that low notes extort longer attack times than high ones.

The attacks of stopped notes look different again (c¹, Fig. 15): although the position of the fundamental in third or fourth place remains unchanged, the curves themselves are quite different: in this maze of lines, the snort and sputter of the stopped horn can well-nigh be heard!

This figure 15 shows two examples with attack times of 0.047 and 0.159 sec.; the difference of 0.112 sec. for the same note is considerable, taking the brevity of the whole process into account!

It follows that the attack time is shorter for notes which speak with a sharp accent.

The third possible method of blowing a note on the horn, after open and stopped notes, is the muted note. Here again, it is the attack which makes the difference. The characteristic nature of the sound brought about by the so-called mute is clearly brought out by a comparison of the diagrams of the muted and open Bb₁: while the open note has its individual curves gently oscillating on from the start, the muted note is characterised by the formation of several distinct groups (see Fig. 16): in the first period, the attack is completed in the relatively short time of 0.144 sec. and is well damped towards the end. This is followed by a renewed rearing up of the curves during which the attack seems to be repeating itself, even if in a different order, for the next 0.312 sec. Yet the sound is still not steady here: after a second damping, the individual curves push up for a third time, with greater force, and it is not until the end of the third period of 0.492 sec. that a more or less steady state is reached.⁹

⁹ This action, repeated at ever growing time intervals, is probably the result

Because this phenomenon can be observed not only for Bb₁ but for the higher muted notes as well, it can be said to be a general characteristic of the sordino tone.

The curve for the fundamental in fig. 16 is worth mentioning for the way it seems to soar independently above the grouped aliquotes. This could be observed, up till now, only in c¹, fig. 13, where it can be interpreted as the result of the simpler structure. However, the isolation of the fundamental *generally* observed in muted notes might well be the cause of their hollow sound.

An overall view of the various attacks shows up great divergence among the attack times.

1) The following measurements apply in the case of *one note*:

For open c¹ the attack times vary between 10 ms (not shown here) and 136 ms (fig. 13), and for stopped c¹ between 25 ms (fig. 15a) and 159 ms (15b); this means that the stopped c¹ takes about 20 ms longer than the open c¹ to develop.

2) The following holds true for the *whole compass* of the instrument: the open c¹ has the shortest measured attack time of 10 ms and the open Bb₁ the longest, with 273 ms assumed¹⁰ (fig. 14), a difference of a round 260 ms. This large time difference becomes understandable once the four-octave compass of the French horn is considered.

In order to show the variety of conditions all tending to influence the attack time, they are summarised once more below and supplemented by further such phenomena which have been observed, as yet, in actual practice only:

- 1) Attack times vary for open, stopped and muted notes.
- 2) Attack times decrease with rising pitch.
- 3) A sharp attack (accent) gives a short attack time, a gentle attack (without accent) gives a long attack time.
- 4) Horns tuned to low keys (and therefore having longer air columns) need more time to speak than high key horns.
- 5) Horns which speak easily have short, those which speak with greater difficulty longer attack times.
- 6) The acoustic surroundings also have an effect on the playing. If the horn player is sitting in front of a solid wall, the reflected sound waves will give rise to damping sufficient to render playing more difficult

of a peculiar reaction of the vibrating air column on the player's lips, caused by the mute.

¹⁰ As the exact borderline between attack transient and steady state has never been defined, the question of how many of the three periods shown in fig. 16 can be classed as "attack transient" remains open to debate. This is why it was decided not to count the 3rd period here.

and increase the attack times. If he is able to choose an unencumbered place, playing will be easier and attack times shorter. Among the acoustic conditions influencing tone production are also the shape, size and acoustic damping (i. e. reverberation time) of the room.

- 7) Speech is rendered particularly difficult (i. e. the attack time is unduly prolonged) when the sound waves of another instrument interfere with formation of the note, e. g. if the horn player must sit right in front of the timpani or if two horns come in on the interval of a second. Discordant sound waves hinder the attack so much that the player has difficulty in cleanly managing the required note at all.
- 8) The attack time of stopped notes depends also on the shape of the hand and the way it is placed in the bell.
- 9) The attack times of muted notes depend also on the type and material of the mute.

(8) Formants

It is not only the attack and, up to a certain point, the decay transient of the note which give the sound of an instrument its characteristic, but there is also another phenomenon altogether: the so-called "formants". Formants are overtones appearing particularly distinctly at a certain place in the spectrum, regardless of the pitch or intensity of the note. The formants are in a fixed region of pitch, which varies of course for the different types of instruments. For the horn they are around c^2 and c^3 , as shown by fig. 17.¹¹

These overtones, which are always present and stay the same for any instrument, were called "formants" by L. Hermann in 1894¹² because they "form" the tonal character. Hermann, however, went out, not from the sound of musical instruments, but from speech sounds, for which formant theory holds perfectly, while the latter's application to musical instruments has until now remained problematical. Erich Hermann¹³, for example, gives the primary formants of the horn as between bb^1 and c^2 and the secondary formants as $g^3 - bb^3$ while our fig. 19 shows the former clearly about c^2 , while the latter do not reach past g^3 . The formants of the vowels, on the other hand, are fixed. The letter "O", for instance, always has the same formant frequencies whether it be pronounced loudly or softly, sung or whispered by a man, a woman or a child.

(9) Muted Notes

The mute, fig. 18, is made of wood, metal, cardboard or more recently of plastic, and usually consists of a cylinder about 7" long and $1\frac{1}{2}$ " in

¹¹ From Simbriger-Zehlein, fig. 24.

¹² L. Hermann in Pflügers Arch. 58 262 (1894).

¹³ Quoted in Heinitz, loc. cit. p. 25.

diameter, open at both ends, and surrounded by a conical housing. The base of this cone serves to close the end of the instrument, while the connection to the outside air is maintained at the cone's small end by cork pads, which at the same time ensure a good fit for the mute inside the bell.

As already indicated, muting comes to pass in that the sound waves are reflected from the baseplate partly into the cavity of the mute itself, partly back into the tube of the instrument, so as to produce interference between opposite directions of sound waves in the latter, and intensity is diminished by a reduction of sound radiation.

Let us compare the sound spectra of the open, stopped and muted notes of Plates VI, V and XII: what immediately strikes us is the difference in the way the three sounds are built up. The large proportion of lower harmonics in the *open* note has already been remarked upon as being responsible for the full, warm, round tone of the French horn, while the emphasis on the fundamental gives the characteristic note to the *stopped* sound. The *mute* again gives rise to yet another sound image: the fundamental has ceased to dominate, the aliquotes are more numerous and show an increase in amplitude which is especially striking around 1000 c/s, with smaller peaks which could already be observed for the stopped notes. The muted notes, then, possess a character entirely different from the stopped notes, and there can be no talk of their being at all similar. Thus the difference already heard by the ear has been proved to exist by experiment.

A comparison of these three plates show up also a peculiarity of the note f^1 (349.2 c/s) which might be remarked on in passing, viz. that in all three cases its partials are feebler and fewer than for the neighbouring notes.

The oscillograms, Plate XIII, confirm the above remarks about the spectograms.

(10) Double Notes

The playing of double notes requires much practice and consists of *playing* the bass note of a chord while *singing* a higher one. It is clear that vibrations of two different frequencies in the lips and vocal chords simultaneously can only be produced by the exercise of a very special art, for the former must be relaxed for the low note, while the latter must be tightened for the high one; the air, too, must be gunded differently for the played note than for the sung note. If the player has sufficient control of the laryngeal and oral muscles independently of each other, he will succeed in producing two notes together to give an interval.

If these two notes are well in tune, a third note, and more, will be heard: a very clear "difference tone" will make its appearance; its frequency is easily calculated by subtracting the smaller frequency from the larger — hence the name.

Figure 19 shows analysis of the interval F-a, written thus:



as an example. These two frequencies are 87.3 and 218.15 c/s, giving a difference tone of 130.85 c/s, the note c.

But a fourth note will also be heard, although more feebly: the so-called "summation tone" which is easily worked out by adding the frequencies of the primary notes, giving a result in our case of 305.45 c/s, the note e flat.

This explains the appearance of whole triads when double notes are played. The higher the primary double notes, the clearer the difference tone will be audible, the lower they are, the better will we hear the summation tone.

Difference and summation tones, as a class, are called "combination tones", as has already been mentioned. There are two kinds of combination tones: those whose actual existence can be proved with acoustic instruments, called "objective" combination tones, and those which are produced in the human ear itself, called "subjective" difference tones. The combination tone produced by double notes on the French horn belong to the latter class, as they do not appear in the spectrum; the places at which they should appear have been marked by arrows in the figure.

(11) Sound Radiation

The funnel-shaped bell of the French horn does not result in an even distribution of all notes, the directional effect varying with the frequency. Below about 200 c/s¹⁴ (about ab) the sound waves, which are long compared to the bell diameter, suffer no directional limitation, in other words, the low notes can be heard about equally loudly, no matter which way the instrument is facing. The waves of frequencies above about 500 c/s, e², are short compared to the bell diameter, and the sound is more directional, i. e. the sound will be louder from positions facing the bell than at the same distance from the side of the instrument. The polar diagram, fig. 20, illustrates the spread of the sound after leaving the instrument, for four frequencies.

Martin shows the horn's directional properties in single diagrams for each of seven notes produced artificially, and these have been reproduced here in fig. 21 A to G. These diagrams show not only how the directional effect increases with frequency, but how it rapidly decreases at increasing distance from the instrument.

(12) Material and Weight

Theoretically, the material of which an instrument is made bears no influence on the tone. It is therefore all one whether an instrument is made

¹⁴ According to Martin, loc. cit. p. 312.

of brass, silver or wood. For one thing, the *pitch* will not be altered in any way, for it depends solely on the length of the vibrating column of air. Furthermore, a silver horn will not have a very different tone from a brass horn, for the *timbre* depends primarily on the tube diameter in relation to its length, the amount of taper, the shape of the bell, the type of mouthpiece, etc. These, and not the properties of the material, are the factors determining the overtones and formants; the vibrations of the material are only incidental, just as any external object lying about near the instrument can vibrate to the sound. The tube wall of a wind instrument is there only in order to keep the vibrating air column in¹⁵.

The opposite holds true for stringed instruments, whose tone depends to a great extent on the material of body and strings. It would not be exaggerating too much to say that in the case of wind instruments the tone comes first, and it produces the vibrations in the material (tube wall), while a stringed instrument is played so as to produce vibrations in the material, which in turn produce the tone. It might even be possible to imagine an air column *without* any wall — it, too, could sound! But a *violin* without a solid vibrating body is unthinkable. It follows that the sound of a brasswind instrument is *purest* sound, nothing but vibrating *air*, while the sound of a stringed instrument is always first and foremost vibrating wood — not to mention the string and rosin!

The *weight* of the material is another matter: the greater the material's volume, the greater the resonance — within limits of course, for too much material would choke the sound, just as too little would give a very poor tone. Any musician knows the bright, edgy tone full of harmonics, as produced by the *Bach* trumpet. The weight of our modern *valve* trumpets (the mechanism alone contains a lot of material!) has made the tone rounder and fatter. The same holds for the simple 18th century horns: apart from the smaller bore, they were made of *lighter* sheet metal and had *no* valves, so that their weight is *considerably* less than that of our modern valve horns, not to mention a double horn.

It is a matter of experience that it is more difficult to set a large than a small mass into motion — in our case, into vibration; a large mass is therefore less prone to vibrate at high frequencies.

¹⁵ An opinion expressed in the Official Report of the London Industrial and Art Exhibition of 1862 might be of interest: "It must not be *forgotten* that the Frenchman Besson . . . made tests on French horns made of papier mâché and plaster of Paris, which had a good, although smaller tone."

Mahillon (1880 catalogue loc. cit. pp. 24 and 358) also reports on tests with imitation *wooden* trumpets which had a tone hardly distinguishable from that of metal trumpets.

The author had occasion to play on a little *glass* horn (in C) in the German Museum in Munich (Mus. No. 65 601), whose tone could not be distinguished from that of a post-horn.

It is therefore obvious that the material used to manufacture a brasswind instrument bears, in its *chemical* composition, no influence on the timbre; however, the *weight* of the material, as well as its density, mass and volume, has much to say for the formation of the overtones without which there would be no timbre.

(13) Technical Data

The notes for the experiments described here were played by the author on a brass *double horn* made by Anton Fischer, Erfurt. The length of the F horn (measured with string) was $12' - 5 \frac{3''}{8}$ and of the Bb horn $9' - 2 \frac{5''}{8}$ including the mouthpiece. Total weight without mouthpiece: 4 lb. $3 \frac{3}{4}$ oz.

The *mute* used was of heavy paper-covered cardboard.

The *mouthpiece* was of turned brass. Outside diameter at the top: 1" including flange; inside diameter at top: $\frac{11''}{16}$; depth of cup: $1 \frac{1''}{16}$; outside diameter at the bottom: $\frac{9''}{32}$; inside diameter at the bottom: $\frac{1}{4}$.

Bibliography

Please refer to the end of the original German of this article.

Spezialaufnahmeaggregat für Tongemische

Das Vollmer-Gerät „System Heiss“

Beschreibung von

HERMANN HEISS

1. Mischvorgang

Bild I

Beim ersten Durchlauf des Tonbandes wird eine Frequenz A auf die untere Spur aufgenommen. Das Band wird wieder in die Anfangsstellung gebracht. Beim zweiten Durchlauf wird das Band vom Wiedergabekopf abgetastet, die Frequenz A gelangt nun über Wiedergabeverstärker, Regler und Aufsprechverstärker durch die obere Hälfte des zweikanaligen Sprechkopfes auf die obere Spur des Bandes, das inzwischen durch den Löschkopf gelöscht wurde und nun frei ist für den zweiten Aufnahmevorgang: auf die obere Spur wird Frequenz A gegeben, gleichzeitig kann auf die untere Spur eine Frequenz B aufgenommen werden. Beim dritten Durchlauf werden $A + B$ vom Vollspurwiedergabekopf addiert und wie zuerst auf der oberen Spur gespeichert, während zugleich eine Frequenz C aufgenommen werden kann. Beim vierten Durchlauf werden $A + B + C$ in die obere Spur gemischt, während die untere wieder für eine weitere Aufnahme frei ist. Dieser Vorgang kann mehrfach wiederholt werden ohne db-Verlust (Tongemische bis zu 24 Frequenzen wurden produziert). Während einer Aufnahme kann das fertige Gemisch abgehört werden, Korrekturen sind möglich, da die letzte Aufnahme vom Gemisch getrennt bleibt. Durch den Vortransport einer Aufnahme vom Wiedergabekopf zum Sprechkopf geschieht natürlich eine Phasenverschiebung entsprechend der Distanz der beiden Köpfe (8 cm), die in der geforderten Dauer mit einberechnet werden muß. Bei einem Gemisch von 10 Frequenzen muß die erste um 10×8 cm über ihre Dauer hinaus aufgenommen werden. Die Strecke kann aber beliebig lang genommen werden, da jedes fertige Tongemisch an jedem beliebigen Punkt des Bandes am Gerät direkt abgelöscht werden kann. Dieser Phasenverlust tritt nur auf, wenn der Aufnahmeeinsatz durch ein Vorspannband oder die Abdeckfolie (s. u.) bestimmt ist. Ohne begrenzten Aufnahmeeinsatz geschieht eine Phasenverschiebung nach vorne in der Laufrichtung des Bandes. Ist ein fertiges Tongemisch auf die obere Spur gespeichert, so kann, um weitere Phasenverschiebung zu vermeiden, der Löschkopf abgeschaltet werden (Abb. II schwarzer Knopf auf dem Kopfträger). Auf die freie untere Spur können nun Einblendungen an beliebiger Stelle erfolgen. Der Kopfträger ist entgegen der üblichen Bauweise nach vorne orientiert, um eine bequeme und sichere Handhabung zu ermöglichen und um Einsätze oder andere Notizen auf dem Band (Signierband BASF) an-

bringen und kontrollieren zu können (Abb. II). Eine Fuß-Stopptaste (auch zur Fernbedienung bei Mikrophonaufnahmen) dient zur Entlastung der Arbeit am Band. Selbstredend ist das Gerät auch geeignet zum Mischen von akustischen Aufnahmen, indem bei jeder neuen Zuspredung die Erstaufnahmen vermittlels Kopfhörer abgehört werden können (playback).

Bei abgeschaltetem Löschkopf ist bei Ausnutzung der Phasenverschiebung ein determiniertes Echo möglich, indem der Schallvorgang über einen Verstärker zum Aufnahmekopf gebracht und somit um die Phase nach vorne geworfen wird. Liegt die Erstaufnahme auf der oberen Spur, so ergibt sich ein ansteigendes Vorecho, liegt sie auf der unteren Spur, so entsteht (durch den Effekt der Vormagnetisierung) ein diminuierendes Nachecho. Hallaufnahmen können bei Erhaltung oder Löschung der Erstaufnahme, mit Vor- oder Nachecho, über Wiedergabe : Hallraum und Mikrophon : Sprechkopf produziert werden, vermittlels dreier Bandgeschwindigkeiten (19, 38, 76 cm) um das Zwei- oder Vierfache gelängt. Auf Dreizackspulen liegendes Band kann gekontert werden, um bei Ausnutzung der Streuung des Löschkopfes eine weiche Einschwingung zu erzielen oder um gegenläufige Aufnahmen zu machen. Hüllkurven können (außer den Einzelfrequenzen) einem fertigen, statisch aufgenommenen Tongemisch während dem Überspielen auf Spur 2 gegeben werden. Bei dem gleichen Vorgang können Laut und Stille durch wechselndes Ein- und Ausschalten des Löschkopfes (harte Einsätze!) erzeugt werden.

2. Die Abdeckfolie

Die Abdeckfolie habe ich entwickelt, um ohne cutten zu müssen auf dem gleichen Band kontinuierlich Aufnahmen machen zu können. Sie erlaubt es, Schaltknackse, Vormagnetisierung und den unbrauchbaren Einspielvorgang bei anlaufendem Motor (einjaulen) abzudecken und millimetergenaue Einsätze und Abschlüsse zu erzielen. Die Abdeckfolie liegt in einer Auffangdose (Abb. II hinter dem Kopfträger, geöffnet, Abb. III geschlossen), wird bei der Tonrolle zwischen Tonband und Andruckrolle eingezogen und direkt vor die Köpfe gelegt (Abb.: vorderes Band Tonband, dahinter Abdeckfolie). Bei geschlossener Kopfklappe werden Band und Folie vermittlels der Rollen gleichmäßig in der geforderten Geschwindigkeit transportiert, gegen ein Durchgleiten ist Vorsorge getragen. Zur Aufnahme von Tongemischen werden Folie und Band an einer auf dem Band bezeichneten Stelle (Abb. III: A 3 oder B 1) kongruent gelegt und zwar mindestens so weit vom Sprechkopf entfernt als die Anlaufstrecke des Motors beträgt (bei 19 cm Geschwindigkeit ca. 4—5 cm, Distanz, bei 38 und 76 cm entsprechend mehr). Bei der Herstellung des Frequenzgemisches wird verfahren wie oben beschrieben, die Abdeckfolie wird immer wieder an die gleiche Markierung angelegt, so daß der Einsatz des Tongemisches an diese Stelle fixiert bleibt. Die Länge der Aufnahme wird am Band abgemessen (Zenti-

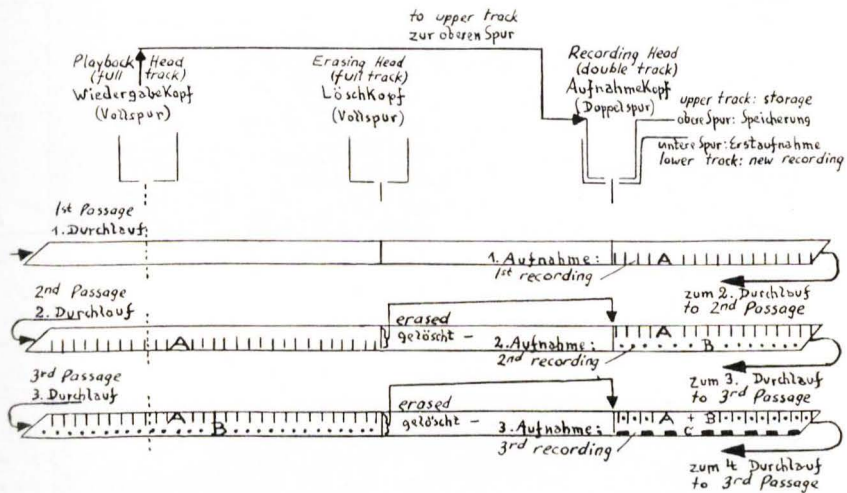
eterskala im Vordergrund), die Abdeckfolie bei der Markierung angelegt und bei abgeschaltetem Wiedergabe- und Sprechkopf der Überhang gelöscht. Um den Einsatz, bzw. Abklang weich oder hart zu charakterisieren, kann die Folie schräg (Abb. II) oder rechtwinklig (Abb. III) geschnitten werden.

Vermittels der Abdeckfolie können Frequenzfolgen bis zu 0,5 cm genau aufgenommen werden, das wären bei einer Umsetzung von 19 auf 76 cm Distanzen von 0,125 cm oder $\frac{1}{152}$ Sekd.

Die *Einblendung* in eine bestehende Aufnahme kann vermittels der Abdeckfolie ohne Cutten und Überspielen direkt erfolgen. Eine Tonfolge oder ein Tongemisch wird zunächst auf der oberen Spur gespeichert. Bei abgeschaltetem Löschkopf kann nunmehr an beliebigem Punkt eine weitere Aufnahme auf der unteren Spur erfolgen. Bei aufeinanderfolgenden Einzel- frequenzen vom Tongenerator geschieht hier auf Spur I eine fortwährende Löschung durch den Sprechkopf und Überlappung durch die nachfolgende Frequenz, so daß Einzellöschung nicht erforderlich ist. Doppelspurlöschkopf ist vorgesehen, so daß gegebenenfalls auch die Spuren getrennt gelöscht werden können. Bei der Einblendung von Tongemischen müssen diese erst in der beschriebenen Weise produziert und dann von einem zweiten Gerät eingespielt werden.

Der Zeitaufwand für Aufnahmen vom Tongenerator ohne Hilfskraft stellt sich etwa folgendermaßen dar: bei Tongemischen von drei Sekunden Dauer mit Vorlaufband 5—6 Aufnahmen in der Minute. Bei Tongemischen mit Abdeckfolie 2—3 Aufnahmen. Frequenzfolgen mit Abdeckfolie (bei Abständen unter 5 cm) 4—5, Frequenzflattern (0,5 cm Abstand, ohne Folie) 10—12 in der Minute. Bei einiger Übung gestattet die rationelle Arbeitsweise an diesem Gerät improvisatorische Aufnahmen, elektronischer oder akustischer Art, gestattet eine klingende Vorstellung binnen kurzem zu realisieren, ohne allzugroßen Zeitaufwand zu korrigieren, zu retuschieren, wie der Maler an der Leinwand oder der Bildhauer am Block, immer das klingende Ergebnis gegenwärtig, so daß auf eine spekulative Notation und Vorausbestimmung weitgehend verzichtet werden kann — was nicht ausschließt, auch determinierte Klanggestalten aufs genaueste zu produzieren.

(Aufnahmen aus dem Darmstädter Studio, wo das bisher einzige Gerät dieser Art in Benutzung ist. Das Gerät ist transportabel.)



I. Spezialaufnahmeaggregat "System Heiss" - Schema des Aufnahmevorgangs
 I. Special recording unit "System Heiss" - Diagram of the recording process

Abb. 1 Fig. 1



Abb. 2 Fig. 2

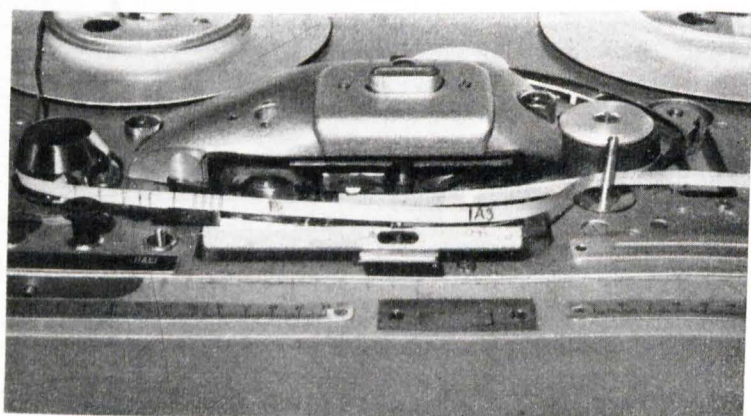


Abb. 3 Fig. 3

Record-and-Playback Head for Tone Mixtures

Vollmer Device "System Heiss"

Description by

HERMANN HEISS

1. Mixing

Figure 1.

At the first passage of the tape a frequency A is recorded on the lower track. The tape is returned to the starting position. At the second passage the tape is tracked by the playback head, the frequency A is taken through playback amplifier, attenuator and recording amplifier to the upper half of the two-channel recording head and from there to the upper track, while the lower track has meanwhile been erased by the erasing head and is now vacant for the second stage of recording: the upper track gives frequency A, while a frequency B can be recorded on the lower track. At the third passage, A + B are added by the full-track playback head and stored as before on the upper track while a frequency C can be recorded. At the fourth passage, A + B + C are mixed on the upper track while the lower track is again free for a further recording. This procedure can be repeated many times without loss of level (tone mixtures of up to 24 frequencies have been produced). During each recording it is possible to monitor the completed mixture, corrections are also possible, as the last recording is still separate from the rest of the mixture. The distance of 8 cm between the playback head and the recording head results in a change of phase which must be accounted for in the final length required. If 10 frequencies are to be mixed, the first must be recorded 8×10 cm longer than required. However, there is no harm in recording any excess length, as each mixture can be erased starting from any required point, without removing the tape from the recorder. This loss of distance becomes noticeable only if the beginning of the recording is determined by leader tape or the masking foil (see below). If the beginning of the recording is not fixed, the phase shift will occur forward in the direction of motion. Once a completed mixture exists on the top track, any further phase shift can be avoided by switching the erasing head off (fig. II, black button on the head carrier). Fade-ins can now be made anywhere on the vacant lower track. Contrary to usual practice, the heads face the operator to enable easy and error-free operation; with the use of writing tape (BASF Signierband), the tape can also be marked for entries or provided with notes, and such marks are easily visible during operation (fig. II). A foot operated stop switch leaves the hand free for other work and can also be used for remote control in microphone work. It goes without saying that

the device is most convenient for the mixing of acoustic recordings, enabling the monitoring, through head-phones, of the existing recording during each addition of sound.

With the erasing head switched off, the phase shift can be used to produce a determined echo, in that the sound is taken over an amplifier to the recording head, thus throwing the phase forward. If the first recording is on the upper track, the result will be a preceding echo increasing in amplitude; if on the lower track, magnetic bias will result in a diminishing trailing echo. Reverberation can be recorded, preserving or erasing the original recording, with preceding or trailing echo, over playback : reverberation chamber and microphone : recording head, increased to double or four times the original length through the use of three tape speeds of $7\frac{1}{2}$, 15 and 30 ips. Tape wound on standard spools can be counterwound, giving slow attack transients taking advantage of the erasing head's stray field, or for reverse recordings. Envelopes (apart from single frequencies) can be imposed on a completed mixture during dubbing on to track 2, and sound and silence with sharp transients can be obtained by switching the erasing head off and on.

2. The Masking Foil

I have developed the masking foil to enable me to record continuously on one tape without cutting. It can mask switching noises, magnetic bias, and the unwanted wow during starting of the motor, besides making entries and exits accurate to a fraction of an inch. It is kept in a cartridge shown open in fig. II and closed in fig. III, behind the head carrier, and is passed between the tape and the pressure roller (figs.: front tape is recording tape, rear tape is masking foil). Tape and foil are transported together, slip has been taken care of. When recording tone mixtures, the end of the foil is placed to coincide with one of the marks on the tape (fig. III: A 3 or B 1), leaving at least sufficient distance between this point and the recording head to allow for the running up of the motor (i. e. $1\frac{1}{2}$ — 2" at $7\frac{1}{2}$ ips. and correspondingly more at 15 and 30 ips). Frequency mixtures are produced as described above, with the masking foil always at the same place in the tape, so that the mixture always starts there. The length of the recording is measured off on the tape (scale of centimetres in the foreground), the masking foil placed at the end mark, and the excess erased with record and playback heads switched off. For a gradual or sharp initial or final transient, the foil is cut at a slant (fig. II) or at right angles (fig. III).

With the masking foil, series of frequencies can be recorded exact to 0.2" which, transposed from $7\frac{1}{2}$ to 30 ips, corresponds to a distance of 0.05" or $\frac{1}{150}$ sec.

Fade-in into an existing recording can be carried out using the masking foil without dubbing or cutting. A sequence or mixture is first stored in the upper track. With the erasing head switched off, a further recording can be made at any desired point in the lower track. A sequence of single frequencies from the oscillator then results in continuous erasing through the recording head and overlapping through the following frequency, making separate erasing superfluous. A double track erasing head is provided in case the tracks want erasing separately. Tone mixtures can be faded in from a second recorder, once they have been produced.

The time taken for recordings using an oscillator, without assistance, is roughly as follows: tone mixtures of 3 seconds duration, with leader tape: 5—6 recordings per minute; tone mixtures using masking foil: 2—3 recordings; tone sequences with masking foil (spaced under 2''): 4—5 recordings; frequency flutter without foil (0.2" apart): 10—12 per minute. After some practice, efficient working with this device makes electronic or acoustic improvisations possible; the sound imagined can be put on tape, corrected, retouched in a minimum of time, working as the painter at his canvas or the sculptor at his block, with the sounding result always at hand, so that speculative notation and planning become to a large extent superfluous — all of which by no means excludes the possibility of following a preconceived plan with the greatest of accuracy.

Studioanlagen für Stereophonie

von

H. PETZOLDT

Für die Herstellung einer Stereoschallplatte ist das Vorhandensein eines Stereotonbandes Voraussetzung. Für die Aufnahme dieses Tonbandes werden Studioanlagen benötigt, an die besondere Anforderungen zu stellen sind. Mit einem modernen Stereostudio muß man in der Lage sein, nicht nur Aufnahmen mit verschiedener Stereo-Aufnahmetechnik durchführen zu können, sondern auch hochwertige monaurale Aufnahmen.

Von den verschiedenen Aufnahmetechniken sei zuerst die AB-Stereophonie erwähnt. Man bezeichnet damit eine Technik, bei der alle Mikrofone auf einen linken und einen rechten Kanal aufgeteilt sind. Auch die Aufnahmen mit „künstlichem Kopf“, bei der zwei Mikrofone im Abstand von etwa 20 cm benutzt werden, kann man zu dieser Aufnahmetechnik rechnen. Sind die Abstände dieser Mikrofone voneinander groß (z. B. 10 m), dann kann dies zu Aufnahmen führen, die kaum noch als echte Stereophonie bezeichnet werden können. Das hat nichts damit zu tun, daß trotzdem ein Richtungseindruck vorhanden ist, der extrem gesehen aus zwei monauralen Klangeindrücken aus verschiedenen Richtungen besteht. Man gelangt leicht zu einem Rechts/Links-Eindruck — der sehr effektiv sein kann —, dem aber alle Zwischenwerte fehlen. Durch die Abstände der Mikrofone voneinander ergeben sich nicht nur Intensitätsunterschiede, sondern auch Laufzeit- bzw. Phasenunterschiede, die sich beim Zusammenmischen mehrerer Mikrofone klanglich auswirken. Keinesfalls kann man bei AB-Stereophonie die beiden Kanäle zusammenschalten, und damit eine vollwertige monaurale Aufnahme zu bekommen. Die AB-Stereophonie ist also nicht kompatibel, d. h. die Aufnahme läßt sich nicht monaural verwenden.

Eine andere Aufnahmetechnik ist die Intensitätsstereophonie. Bei ihr benutzt man Doppelmikrofone, deren beiden Systeme auf senkrechter Achse mit kleinem Abstand voneinander angeordnet sind. Dadurch können keine Phasenunterschiede in der Horizontalen entstehen. In der vertikalen Ebene können Phasenunterschiede auftreten, sind aber nicht kritisch, da sich die aufzunehmenden Klangkörper in der Regel nur in der horizontalen Ebene ausdehnen. Schließlich beschränkt man sich auch bei der stereophonen Wiedergabe nur auf die Horizontale. Die den Stereoeffekt ergebenden richtungsabhängigen Intensitätsunterschiede erhält man durch Ausnutzung der Mikrofoncharakteristik. Dabei können entweder die Charakteristiken der beiden Mikrofonsysteme unterschiedlich sein, oder die Hauptachsen der beiden Charakteristiken haben unterschiedliche Richtungen oder beide Merkmale sind gegeben.

Bezogen auf die Kennzeichnungen verschiedene Charakteristik und unterschiedliche Richtung unterscheidet man MS-Mikrofone und XY-Mikrofone. Bei den MS-Mikrofonen sind folgende Kombinationen gebräuchlich:

Kugelcharakteristik und quer zur Aufnahmerichtung liegende Achtercharakteristik,
Nierencharakteristik und ebenfalls quer zur Aufnahmerichtung liegende Achtercharakteristik,
Zwei um 90° gegeneinander versetzte Achtercharakteristiken, von denen die eine quer zur Aufnahmerichtung liegt.

Mit der jeweils zuerst genannten Charakteristik wird das M-Signal (monaurales, Mitten-Signal) aufgenommen. Hier zeigt sich deutlich der Unterschied gegenüber der AB-Stereophonie. Der M-Kanal stellt eine vollwertige, monaurale Aufnahme dar. Die Ausgangsspannung der an zweiter Stelle genannten Charakteristik (quer liegende Acht) ist in Intensität und Phasenlage ein direktes Kennzeichen für den Winkel, unter dem die Schallquelle auf das Mikrofon einwirkt. Damit liefert das zweite Mikrophonsystem das S-Signal (stereophonisches, Seiten-Signal). Für die Stereowiedergabe müssen diese beiden Signale umgesetzt werden in linkes und rechtes Signal für die beiden Lautsprecherkanäle. Dies geschieht durch Zwischenschaltung von Differentialübertragern, wodurch man einen Lautsprecherkanal $M+S$ und einen Kanal $M-S$ erhält.

Bei den XY-Mikrofonen kombiniert man zwei gleiche Richtcharakteristiken, deren Hauptachsen in einem Winkel gegeneinander versetzt sind:

Zwei Nierencharakteristiken,
Zwei Achtercharakteristiken.

Der Versetzungswinkel kann beliebig sein und bis zu 180° betragen. Zum Unterschied gegenüber der MS-Mikrofone erhält man bei XY-Kombinationen zwei Signale, die man ohne Umsetzung für die Wiedergabe direkt mit dem rechten und linken Lautsprecherkanal verbinden kann. Führt man die Umsetzung einer XY-Aufnahme durch, so erhält man $X+Y$ und $X-Y$. Das zuerst genannte Signal ist identisch mit M und ein vollwertiges monaurales Signal. Die Differenzbildung ergibt ein Signal, das identisch mit S ist.

Der ideale Fall, eine Stereoaufnahme mit nur einem Doppelmikrofon durchzuführen, ist in der Praxis leider selten gegeben. Ebenso, wie man von der monauralen Aufnahme her gewöhnt ist, muß man mehrere Mikrofone verwenden, um akustische Gegebenheiten des Aufnahmeraumes auszugleichen, Solisten hervorzuheben usw. Schaltet man mehrere Stereomikrofone zusammen, indem man z. B. alle M-Kanäle zu einer Mischanordnung und alle S-Kanäle ebenfalls zu einer Mischanordnung verbindet, dann erhält man mit den M-Kanälen eine vollwertige monaurale Aufnahme. Für Stereophonie ist jedoch nur dann eine richtungstreuere Aufnahme möglich, wenn sich alle Mikrofone auf der Mittelachse des aufzunehmenden Klang-

körpers befinden. Da dies aber in der Regel nicht der Fall ist, sind bei der Mischung der S-Kanäle (Richtungsmischung) besondere Maßnahmen erforderlich. Man muß bei der Mischung die Richtung einstellen können, aus der der Schwerpunkt des aufzunehmenden Klangbildes kommt (Richtungsregelung) und die Breite (Basis), die diese Klanggruppe innerhalb des gesamten Klangbildes einnehmen soll (Basisregelung). Es sei hier eingefügt, daß es sich dabei keinesfalls immer um die Naturgetreue der Abbildung handeln muß. So kann z. B. aus örtlichen Gegebenheiten ein Solist bei der Aufnahme links stehen, aber man will ihn akustisch in der Mitte des Klangbildes abbilden oder auch umgekehrt.

Für die Zwecke der stereohonischen Mischtechnik ist von Telefunken ein Gerät unter der Bezeichnung Stereo-Richtungsmischer E 130 entwickelt worden (Bild 1). Mit dem oberen Knopf wird die Basisregelung durchgeführt. Es wurde bereits erwähnt, daß bei MS-Stereophonie der M-Kanal eine vollwertige monaurale Aufnahme darstellt, während der S-Kanal das Richtungssignal ist. Läßt man S wegfallen, dann schrumpft bei der Wiedergabe die Basis punktförmig auf die Mitte zwischen den beiden Lautsprechern zusammen. Macht man die Regelung von S kontinuierlich (oberer Knopf in Bild 1), dann erhält man eine kontinuierlich einstellbare Basis und kann z. B. erreichen, daß ein Solist (Sänger) bei der Wiedergabe nicht die gleichgroße Basis hat wie das ganze Orchester.

Für die Richtungsregelung (unterer Knopf in Bild 1) wird der M- und S-Kanal benutzt, die über eine Brückenschaltung zusammengeschaltet sind. Die Spannung S des Achtermikrophones hat einen richtungsabhängigen Verlauf. Wandert eine Schallquelle im Halbkreis von links nach rechts um das Mikrofon herum, dann ändert sich die Spannung des S-Kanales bezogen auf die Spannung M des Kugelmikrophones von gleicher Amplitude und gleicher Phasenlage (90° links) über Null (Mitte) bis gleicher Amplitude aber entgegengesetzter Phasenlage (90° rechts). Diese Bewegung einer Schallquelle kann imitiert werden, indem man durch ein spezielles Regelglied dem S-Kanal eine Spannung zuführt, die dem M-Kanal abgeleitet wird. Je nach Amplitude und Phasenlage kann man die Schallquelle an jeder Stelle innerhalb der Basis abbilden. Der mittlere Knopf des Stereo-Richtungsmischer dient zur Umschaltung, je nachdem ob man MS- oder XY-Betrieb macht.

Das Bild 2 zeigt den Regietisch eines großen Stereo-Aufnahme-Studios für AB-, MS- und XY-Stereophonie und natürlich auch für monaurale Aufnahmen. In den Unterteilen des Tisches sind alle Verstärker und Schaltfelder untergebracht, die zur Gesamtschaltung der Studioeinrichtung erforderlich sind. Die Eingänge sind für den direkten Anschluß von Kondensatormikrofonen ausgelegt, die Ausgänge liefern einen Pegel von + 6 dB (1,55 V) zur Anschaltung der Tonbandgeräte, der Abhörlautsprecher mit eingebautem Leistungsverstärker, der Nachhallgeräte usw.

Auf der Regietischplatte befinden sich in der unteren Reihe der Bedienungselemente die Flachbahnregler, Entzerrer und die Umschalter für Abhören und Messen. Die obere Reihe enthält von links nach rechts die Stereorientungsmischer, das Mikrofon der Kommandoanlage, Tiefsperrern für die Hallkanäle und Schalter mit Reglern für die beiden Verhallungsleitungen.

Literatur:

- BERTRAM, K. Aufnahmetechnik für kompatible Stereophonie, Radio mentor Jahrgang XXIV, (1958) Heft 9.
- LAURIDSEN, H. u. SCHLEGEL, F. Stereophonie und richtungsdiffuse Klangwiedergabe, Gravesaner Blätter (1956) Heft 5.
- BERTRAM, K. u. PETZOLDT, H. Stereo-Richtungsmischer, (1959) Funktechnik, Heft 13.

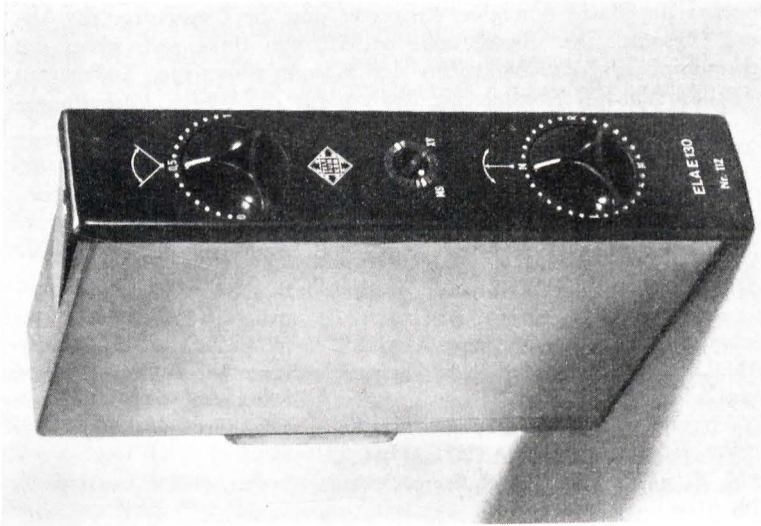


Bild 1 Stereo- Richtungsmischer
Fig. 1. Stereo directional mixer.

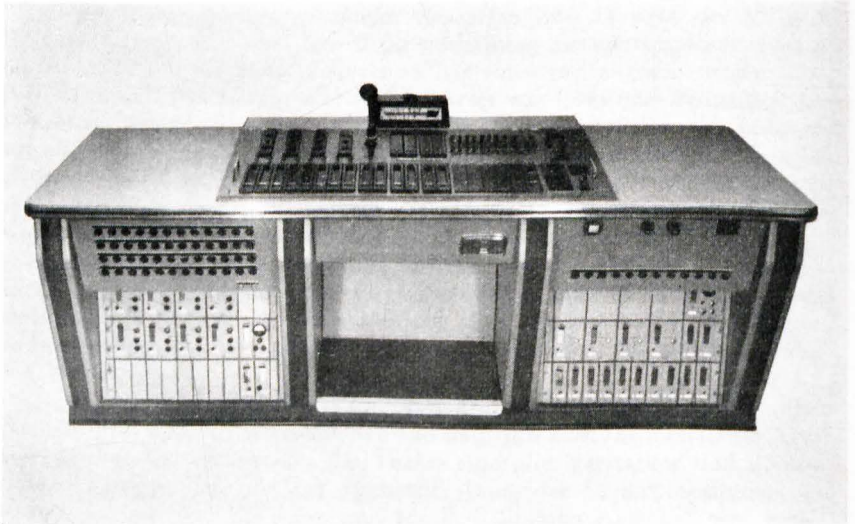


Bild 2 Regietisch für Stereoaufnahmen
Fig. 2. Mixer console for stereophonic recording.

Stereo-Equipment for Studios

by

H. PETZOLDT

A stereo tape is prerequisite for the manufacture of a stereo record, and to record this tape, studio equipment is required, which can satisfy special conditions. A modern stereo studio must enable its technicians to make recordings using any of the various current stereo methods, as well as high quality monaural recordings.

AB stereo might be mentioned first, of all the various recording methods: this name designates a method by which all the microphones are distributed between a left and a right channel, and it includes recordings with the "artificial head" containing a pair of microphones at a distance of about 8 inches from each other. If the microphones are separated by large distances (e. g. 30 ft.), the likely result will be recordings which can hardly be classed as genuine stereophony any longer, notwithstanding the fact that there will be a directional effect which, in the extreme case, may simply consist of the difference of direction between two monaural sources: it is all too easy here to obtain a left-right impression which can be most effective, to be sure, but which will lack all graduation. The distances separating the microphones will result not only in differences of intensity between the channels, but also in time or phase differences which will become audible once several microphones are mixed. It is therefore not possible to combine the two channels of an AB stereo recording in order to obtain a good quality monaural recording. This means that AB stereo is not compatible, i. e. cannot be used for monaural listening.

Another recording method is intensity stereo. Twin microphones are used here, the two diaphragms being mounted one very close above the other, so as to prevent phase differences arising in a horizontal plane. The phase differences which might arise in a vertical plane are unimportant as the sound sources to be recorded are almost always distributed horizontally, as are also the reproducing speakers. The intensity differences necessary for the stereo effect in playback are obtained by using microphones with different directional sensitivity patterns, with the same pattern facing different directions, or both. This gives rise to a distinction between MS microphones and XY microphones.

The following combinations are normally employed using MS microphones:

1. *a.* omnidirectional, *b.* figure-of-eight at right angles to the direction of the sound source;
2. *a.* cardioid, *b.* same as 1*b*;
3. *a.* figure-of-eight facing the sound source, *b.* as 1*b*.

The microphone mentioned under *a.* in each case is used to record the M signal, where M stands for monaural or middle. This is where the difference between this method and AB stereo shows clearly, for the M channel is, in itself, a full quality monaural recording. Intensity and phase angle of the output signal of the other, transverse figure-of-eight microphone is directly dependent on the direction of the sound source, so that this microphone gives the stereophonic, side, or simply S signal. The stereophonic reproduction of these two signals entails the use of differential circuits to give two new signals $M+S$ and $M-S$ respectively, to feed the speakers of the left and right channels.

XY microphones are a combination of two similar directional sensitivity patterns, whose axes can be turned in relation to each other:

1. two cardioids,
2. two figures-of-eight.

The angle between the axes can have any value up to 180° . The XY combination is distinct from the MS microphone in that the two signals issuing from it can be fed directly to the left and right loudspeakers without any differentiation, which would, if carried out, deliver two signals $X+Y$ and $X-Y$ which are identical with the M and S signals already described, the former being a full quality monaural recording.

It would be ideal if it were possible to use just a single twin microphone to obtain a stereo recording. Unfortunately, correction of studio acoustics, accentuation of solo parts, etc. lead to the necessity of using several microphones, just as in monaural recordings. If for example all the M channels are suitably mixed in one part of a console and all the S channels in another, the M channels together will give a full quality monaural recording, while the S channels will give a true indication of the direction only if all the microphones were positioned on the centre-line of the sound source. As this is, however, rarely possible, special measures will have to be observed in "directional mixing" — mixing of the S channels: the apparent direction of the sound source's "centre of gravity" must be adjustable (this is "directional control"), as must be the width which this "centre of gravity" is to take up within the whole picture ("base control"). It is worth mentioning here that the faithful reproduction of the state existing in the recording studio at the time, is by no means necessarily what is aimed at; it may for instance be convenient to record with the soloist actually standing in a corner but apparently coming from the middle in playback, or vice-versa.

The directional mixer "Stereo Richtungsmischer E 130", illustrated in fig. 1, has been developed by Telefunken for this purpose. The upper control serves for base control, as follows: we have already observed that the M signal of an MS stereo recording is a full value monaural recording with the S signal giving the direction. If the latter is omitted in a stereo

reproduction, the base will be reduced to a point half-way between the two speakers. The upper control shown in fig. 1 therefore is a continuous level control of the S signal and thus gives a continuously adjustable base; it makes it possible to have a soloist, e. g. a singer, not take up the same space as the whole orchestra.

Directional control is achieved using the lower control in fig. 1, adjusting the M and S output voltages over a variable bridge. It will be recalled that the S channel is recorded over a figure-of-eight microphone and has, therefore, a voltage which depends on the direction and will be equal to the omnidirectional M microphone's output voltage if the sound source's direction is 90° to the left, diminishing to zero for a centrally positioned sound source, and continuing to again equal amplitude but opposite phase for a sound source placed at 90° to the right. This movement of the sound source can be imitated by feeding the S channel with a voltage taken from the M channel, using a specially designed circuit. The amplitude and phase obtained with a particular setting will position the sound source at the required point within the base. Finally, the middle control is a switch enabling the instrument to be used with both MS and XY setups.

Fig. 2 illustrates the console of a large stereo studio. AB, MS, XY stereo and, of course, monaural recording are all possible with this console. The lower part of this desk contains all the amplifiers and jackfields necessary for the operation of the whole studio. Direct inputs are provided for condenser microphones and direct outputs at a level of $+6\text{ db}$ (1.55 V) can be connected to tape recorders, monitoring loudspeakers with built-in line-amplifiers, reverberation sets, etc.

The top of the console contains (bottom row, left to right) variable attenuators, variable equalisers, and switches for monitoring and levelling, as well as (top row) the above described directional mixers, the inter-communication microphone, high-pass filters for the reverberation channels and attenuating switches for the two reverberation lines.

References:

- BERTRAM, K. Aufnahmetechnik für kompatible Stereophonie, in *Radio mentor* XXIV (1958) Vol. 9
LAURIDSEN, H. and SCHLEGEL, E. Stereophonie und richtungsdiffuse Klangwiedergabe, in *Gravesaner Blätter* (1956) Vol. 5
BERTRAM, K. and PETZOLDT, H. Stereorientungsmischer (1959) *Funktechnik*, Vol. 13

Betrachtungen zur stereophonen und pseudostereophonen 2-Kanalwiedergabe in der Praxis

von

W. BÜRCK

Es ist einige Zeit vergangen, seitdem Wiedergabegeräte und Tonträger (vor allem Schallplatten) für 2-Kanalwiedergabe in Serien gefertigt werden und zur Verfügung stehen. Im Urteil der Allgemeinheit hat aber offenbar bisher die stereophonische Wiedergabe nicht die eindeutig positive Beurteilung gefunden, die man aufgrund des echten technischen Fortschrittes gegenüber der Einkanalwiedergabe erwarten sollte. Die folgenden Betrachtungen sollen einige Probleme berühren, die sich aus praktischen Erfahrungen heraus ergeben haben und eine Erklärung für manche beobachtete Effekte ergeben können.

Zur idealen, jedoch nur auf 2 Kanäle beschränkten stereophonen Wiedergabe gehören bekanntlich zwei völlig identische Wiedergabezweige, deren elektroakustische Eigenschaften, insbesondere bezüglich Frequenzgang und Phasen- bzw. Laufzeitverhalten, innerhalb geringer Toleranzen übereinstimmen soll. Aufgrund der Eigenschaften des Ohres müßte man fordern, daß, akustisch am Ort des Zuhörens gemessen, keine größeren Amplitudenunterschiede als 0,5 bis 2 dB (je nach Frequenzlage und Lautstärke) und keine größeren Laufzeitunterschiede als etwa 3 ms für die direkten Schallanteile auftreten, die von den Wiedergabelautsprechern abgegeben werden. Die Halleigenschaften des Wiedergaberaumes gehen hier nicht ein, da sie wegen der stets mit Reflexion und Nachhall verbunden längeren Laufzeiten in Verbindung mit Einfallsrichtungen außerhalb der Verbindungslinien von den Lautsprechern zum Zuhörer einer gesonderten subjektiven Beurteilung unterliegen, die erst in zweiter Linie die Güte der stereophonen Reproduktion beeinflusst.

Prüft man nun meßtechnisch selbst an recht hochwertigen Übertragungsanlagen die obigen Forderungen nach, so stellt sich heraus, daß sie kaum jemals auch nur annähernd erfüllt werden. Selbst die Verwendung von ausgesucht gleichen Lautsprechersystemen (die Verstärker machen kaum Schwierigkeiten) ist es praktisch nicht zu erreichen, daß die nun einmal bei den in der Regel verwendeten dynamischen Systemen auftretenden Resonanzstellen und Senken in den Frequenzkurven genau identisch verlaufen. So muß sowohl bei verschiedenen Tönen eines reproduzierten Musikinstrumentes als auch bei unterschiedlicher Stärke der Komponenten (Obertöne) eines bestimmten Instrumentones eine inkonstante Lokalisation seitens des Zuhörers stattfinden, die sich nur wegen der Schnelligkeit der Aufeinanderfolge streuender Richtungseindrücke praktisch einigermaßen auf einen Mittelwert ausgleicht. Dabei wird davon ausgegangen, daß sich der Rich-

tungseindruck bekanntermaßen ganz roh ausdrückt zu etwa 80% aus dem Intensitätsverhältnis von den beiden Kanälen her und zu etwa 20% aus der Laufzeitdifferenz der Kanäle bildet. In einer Lautsprecherfrequenzkurve ist nun stets eine Resonanzstelle (Maximum der Frequenzkurve) mit einer positiven Laufzeit, d. h. Verzögerung der Energie, verbunden, während in einer Frequenzsenke (Minimum) sogar „negative“ Gruppenlaufzeiten auftreten können. Diese früher nachgewiesene Tatsache¹⁾ hat die angenehme Seite, daß unter Umständen eine Kompensation der Effekte bezüglich des vom Ohr empfundenen Richtungseindrucks erfolgt, weil je ein wechselseitiger „Ersatz“ von Intensitätsunterschieden und Laufzeitdifferenzen möglich ist²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾, siehe auch Abb. 1a und 1b. Wie weit dann wirklich in praktischen Fällen eine solche Kompensation stattfinden kann, hängt von der Breite der Spitzen und Senken in den Lautsprecherfrequenzkurven und von der Pegellage dieser Stellen zum mittleren Niveau der Frequenzkurven ab.

Vergleicht man die Werte der Abb. 1a und 1b untereinander, so fällt auf, daß nach 1b beispielsweise eine Zeitverschiebung von 2 msec durch eine Intensitätsänderung von 11dB kompensiert werden kann, während nach 1a dasselbe erst bei wesentlich höheren Werten eintritt. Man kann annehmen, daß die kurzen Tonklicks und die Sprachlaute bei den beiden Versuchen in ihrem Charakter durchaus vergleichbar waren und daß die Sprache mit etwa 75 dB Pegel dargeboten wurde; dann wäre für die Kompensation von 1 msec Zeitverschiebung nach 1a etwa 20 dB Intensitätsdifferenz, nach 1b etwa 5,5 dB, also viel weniger, nötig. Dies würde bedeuten, daß wegen der kreuzweisen Durchmischung der beiden Schallanteile von den zwei Kanälen im Falle der Lautsprecherwiedergabe gegenüber der Kopfhörerwiedergabe die Laufzeitdifferenz für den Richtungseindruck viel weniger wirksam ist als die Intensitätsdifferenz.

Besteht die Möglichkeit, eine 2-Kanalanlage mit elektrostatischen Breitband-Lautsprechern (Kondensator Typen) zu betreiben, die wegen ihrer gleichmäßig über die ganze Membranfläche verteilten Antriebskraft und wegen der sehr hohen wirksamen Strahlungsdämpfung⁶⁾ nicht zur Resonanz- und Senkenbildung in ihrer Frequenzkurve neigen, so ist subjektiv gegenüber der Wiedergabe mit elektrodynamischen Lautsprechern eine exaktere Lokalisation ohne störende Springeffekte der Einfallsrichtung zu beobachten, was im Einklang mit den obigen Betrachtungen steht. Dagegen tritt hier eine neue Schwierigkeit dadurch auf, daß solche Kondensatorlautsprecher den Bereich ganz tiefer Frequenzen (etwa unter 100 Hz) heute noch nicht mit befriedigendem Wirkungsgrad abgeben. Man hilft sich dann, wie auch im Falle billiger Anlagen, in denen man den Aufwand für getrennte Tieftonlautsprecher für beide Kanäle umgehen will, oft so, daß man die tiefen Frequenzen beider Kanäle abfiltert und gemeinsam auf einen Mittenlautsprecher gibt, nachdem für tiefe Frequenzen sowie eine Richtungsbestimmung (bei Dauerton) unsicher oder unmöglich ist. Die zur Abfilterung der

Tiefen verwendete Frequenzweiche (Tiefpaßfilter) ergibt nun aber ihrerseits infolge ihrer geringen Bandbreite (100 bis 200 Hz) eine Laufzeitverzögerung, die die Grundtöne der Instrumentenklänge von den zugehörigen Obertönen zeitlich trennt und durchaus in die Größe der bereits hörbaren Laufzeitdifferenzen kommen kann, besonders wenn mehrgliedrige Tiefpaßketten verwendet werden. Diese Laufzeitdifferenzen liegen ungefähr in der Größenordnung von $1000 \cdot \frac{n}{f_g}$ (ms), wenn n die Gliederzahl der Kette und f_g die Trennfrequenz (Hz) darstellt; es ergibt sich also z. B. eine Tiefenverzögerung von 20 ms, wenn bei 100 Hz abgetrennt und ein 2-gliedriges Filter verwendet wird. Um diesen Effekt auszugleichen, müßte der gemeinsame Mittenlautsprecher für die Tiefenwiedergabe gegenüber den Seitenlautsprechern der beiden Übertragungskanäle um 6,8 m näher an den Zuhörer aufgestellt werden, was selten möglich ist. Man sieht also, daß die Einsparung der getrennten Tiefenwiedergabe für beide Kanäle problematisch ist und technische Nachteile mit sich bringt.

Die 2-Kanal-Stereübertragung stellt bestenfalls eine akustische Abbildung aus einer (waagrecchten) Ebene dar, gibt also für den Zuhörer eine Orientierung nach der Seitenrichtung und in die Rauntiefe, das letztere durch das mitübertragene Verhältnis von direkten und diffusen, d. h. hier zeitlich nacheilenden Schallanteilen. Durch Sekundäreffekte (scheinbare Erhebungswinkel bei geringem Abstand von Hörer zur Lautsprecherverbindungsline) kommt auch noch manchmal ein Höheneindruck zustande, aber dies nur in starrer Form. Sicherlich ist für die allermeisten der übertragenen Schallereignisse diese Abbildung einer Fläche ausreichend und befriedigend; man kann sich aber trotzdem fragen, ob, wenn schon die Zweikanalstereophonie einen Behelf darstellt, nicht auch durch andere, einfachere Mittel aus einer Einkanalübertragung eine sehr befriedigende, der 2-Kanal-Stereophonie ähnliche pseudostereophonische Übertragung⁷⁾ erhalten werden kann. Von Interesse ist diese Frage zur Zeit vor allem für Rundfunkübertragungen, weil hier aus den bekannten wirtschaftlichen und organisatorischen Fragen eine echte Stereoübertragung noch nicht durchgeführt wird. Betrachten wir den gegebenen Fall, daß nur eine rein einkanalige Darbietung zur Verfügung steht, also ohne Zusatz von Pilotfrequenzen für eine empfängerseitige Steuerung mit echter Richtungsänderung zwischen den vorhandenen beiden Empfängerkanälen, so ist klar, daß auf eine saubere Richtungsaufeilung für Schallquellen, die jede für sich ein breites Frequenzgebiet überstreicht und die sich frequenzmäßig überlappen, verzichtet werden muß. Man kann grundsätzlich nur den in der einkanaligen Wiedergabe schmalen Einfallsrichtungssektor entsprechend der verfügbaren Basisbreite der beiden Empfängerkanäle in der Waagrecchten auseinanderziehen und aus der Einfallsrichtung einer Schallquelle eine mehr oder weniger verwaschene „Einfallsbreite“ machen.

Da bei der 2-Kanal-Stereübertragung ein wesentliches Merkmal die physikalisch nachweisbare Verschiedenheit der Übertragungsvorgänge in beiden Kanälen ist, kann man sich überlegen, welche Aussichten bestehen, die wiederzugebenden Vorgänge aus einer Einkanalübertragung ohne Verlust an Substanz durch verschiedene physikalische Methoden in den beiden zur Verfügung stehenden Empfängerkanälen untereinander verschieden zu machen, um damit eine Annäherung an eine echte stereophonische Übertragung zu erreichen. Die Gefahr bei einer willkürlichen Aufteilung des Übertragungsfrequenzbandes (etwa Anstieg der Amplitude mit der Frequenz im einen, Abfall mit der Frequenz im anderen Kanal) besteht darin, daß erstens die Grundtöne von Schallvorgängen, die aus einer bestimmten Quelle stammen, von ihren zeitlich durchaus nicht immer konstanten Obertönen räumlich getrennt werden, und daß zweitens bei einer zeitlich nacheinander ablaufenden Tonverschiebung, etwa einer steigenden Tonleiter, die Schallquelle räumlich mitzuwandern scheint.

Eine andere Methode, die Übertragungsvorgänge aus einem Kanal für beide Empfängerkanäle verschieden zu gestalten, besteht in zeitlichen Manipulationen. Z. B. kann man einem Kanal den Originalvorgang, dem zweiten den nachträglich verzögerten oder verhaltenen Originalvorgang aufschalten. Solche „Raumton“-Schaltungen sind auch in manchen serienmäßigen Rundfunkempfängern vorgesehen. Erfahrungsgemäß ist es wirksamer, dem zweiten Kanal nicht nur den verzögerten oder verhaltenen, sondern eine dosierbare Mischung des Originalvorganges mit einem zusätzlichen Hallanteil, der einen optimal wählbaren Frequenzgang besitzt, anzubieten, vgl. Abb. 2. Geschieht dies in einem für die jeweilig zu übertragenden Schallvorgänge sorgsam erprobten Mischungsverhältnis, so lassen sich Wirkungen erreichen, die durchaus klanglich qualitativ vergleichbar mit stereophonischen Zweikanalübertragungen sind, wenn sie auch natürlich eine echte Richtungsbestimmung der Schallquellen vermissen lassen.

Interessant ist es nun, festzustellen, daß gerade die Fehler, vorzugsweise die Unsymmetrien der Wiedergabe-Apparatur, die für echte stereophonische Übertragung störend sind, also Frequenzgangunterschiede und Laufzeitdifferenzen zwischen beiden Kanälen, bei den oben erwähnten pseudostereophonischen Übertragungen den Eindruck der Raumwirkung steigern. So wird es auch verständlich, daß in vielen Fällen der Praxis der Unterschied zwischen einer geschickt arrangierten Pseudostereophonie zur echten Stereophonie als wesentlich geringer empfunden wird, als man es erwarten sollte: Die oft nicht genau bekannten Fehler der Wiedergabeapparatur verschlechtern die Güte der stereophonischen Übertragung, verbessern dagegen die Wirkung der Pseudostereophonie.

Eine Bestätigung hierfür bildet die Beobachtung, daß eine Tiefenstaffelung der einzelnen Kanal-Lautsprechereinheiten, etwa über eine Entfernungsdifferenz von 1 m in Richtung zum Zuhörer, bei echter Stereübertragung

die Lokalisation etwas verwischt, besonders für den Mitteneindruck, daß sie aber bei pseudostereophoner Übertragung wiederum den räumlichen Eindruck der Verteilung der Schallquellen steigert.

Es ist übrigens auch im positiven Sinne möglich, mit zeitlichen Zusatzmaßnahmen die Großräumigkeit einer echt stereophonen Übertragung zu steigern, also gewissermaßen einen Pseudoanteil zur echten Stereophonie hinzuzufügen. Man kann etwa nach dem Schema der Abb. 3 von jedem der beiden Stereokanäle einen Originalanteil abzweigen, künstlich verhallen (über Nachhallraum, Vielkopfmagnetbandspeicher oder Stahlblech-Hallplatte) und dann dem jeweils anderen, komplementären Kanal dosierbar zumischen. Eine ähnliche zusätzliche Raumwirkung ohne Beeinträchtigung des eigentlichen stereophonen Effektes ergibt sich, wenn man jeweils diagonal gegenüber den beiden Kanal-Lautsprechern (also hinter den Zuhörern in möglichst großer Entfernung) weitere Lautsprechereinheiten anbringt, die möglichst diffus in den Wiedergaberaum, aber mit einem Strahlungsminimum direkt zu den Hörern abstrahlen. Man nützt damit die Halleigenschaften des vorhandenen Wiedergaberaumes (der ohnehin im Vergleich zu dem Aufnahmeraum in manchen Fällen zu klein ist) besser aus und spart die besondere Verhallungseinrichtung. Auf diese Weise ist z. B. möglich, in Wohnräumen die Klangwirkung großer Orchesterdarbietungen zur Geltung kommen zu lassen, ohne auf die stereophonen Richtungseffekte zu verzichten.

Aus manchen der hier mitgeteilten Beobachtungen und Versuchen scheint hervorzugehen, daß unter den gegenwärtigen Verhältnissen eine richtig dosierte Pseudostereophonie nicht allzu weit von einer mit wesentlich mehr technischem Aufwand (besonders senderseitig) verknüpften echten stereophonen Übertragung entfernt ist. Demgegenüber darf man nicht übersehen, daß die Möglichkeit einer exakten Schallquellenortung große physiologische und ästhetische Bedeutung haben kann.

Der bekannte Versuch, über die beiden Wiedergabekanäle einer Zweikanal-Anlage aus verschiedenen Richtungen gleichzeitig mit gleicher Lautstärke zwei verschiedene Sprechtexte zu übertragen, von denen jeder der beiden wahlweise unter willkürlicher subjektiver Ausschaltung des anderen vom Hörer mit nahezu voller Wortverständlichkeit aufgenommen wird, während bei analoger Übertragung über einen einzelnen Kanal die Wortverständlichkeit auf ca. 10 % sinkt, zeigt, daß die willkürlich einstellbare Störausblendung des menschlichen Ohres nach verschiedenen Richtungen erst bei echter stereophoner Übertragung in nützlicher Weise zur Wirkung kommt. Der Mensch besitzt also die Fähigkeit, unerwünschte Störgeräusche örtlich selektiv im Gehirn auszublenden, was eben praktisch voraussetzt, daß auch die gewünschten Schallvorgänge gleichzeitig örtlich peilbar bleiben. Diese Forderung kann niemals von einer pseudostereophonen Übertragungseinrichtung erfüllt werden, auch dann nicht, wenn sie durch Pilotsignal oder

Steuereinrichtungen zeitlich nacheinander die Schalleinfallrichtung für den Zuhörer verändern kann (sogenannte „Knüppelstereophonie“).

Der Versuch mit den beiden gleichzeitig Sprechenden zeigt übrigens auch, daß die bekannten Kurven der Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit vom absoluten und relativen Störpegel⁸⁾ 9) noch einen weiteren entscheidenden Parameter enthalten, nämlich die Einfallrichtungs-Winkeldifferenz zum Zuhörer, die zwischen dem Nutzschall und dem Störschall im räumlichen Schallfeld besteht.

Dieses Beispiel zeigt weiterhin, daß es oft schwer ist, für einen physiologisch oder psychologisch wirksamen Effekt eine entsprechende physikalische Wertung zu finden. Gerade bei der Beurteilung der elektroakustischen Übertragungsqualität spielen Vorgänge eine Rolle, die mit den üblichen Mitteln nicht gemessen und in Zahlen ausgedrückt werden können. Nachdem außerdem das berührte Gebiet auch technisch noch sehr im Fluß der Entwicklung ist, wäre es verfrüht, ein abschließendes Urteil über die verschiedenen Übertragungsverfahren und ihre optimale Gestaltung fällen zu wollen.

S c h r i f t t u m :

- 1) *W. Bürck* und *H. Lichte*, *El. Nachr. Technik* 15, 1938, S. 78 ff.
- 2) *B. H. Deatherage* und *I. J. Hirsch*, *Journ. Ac. Soc. Am.* 31, N. 4, 1955, S. 488.
- 3) *W. Katzfey* und *F. K. Schröder*, *radio mentor* 6, 1958, S. 380.
- 4) *W. Grau*, *Elektronische Rundschau*, 7, 1959, S. 254.
- 5) *D. M. Leaky*, *Journ. Ac. Soc. Am.* 31, N. 7, 1959, S. 978.
- 6) *W. Bürck*, *Funkschau*, H. 21/23, 1957, S. 587 ff.
- 7) vgl. *Rundfunktechn. Mitt.* 3, H. 4, 1959, S. 166.
- 8) nach *Fletcher*, vgl. *W. Furrer*, *Documenta Geigy* Nr. 3, S. 43/44, Zürich 1958.
- 9) *K. Wendt*, *NTF* 15, 1959, S. 22.

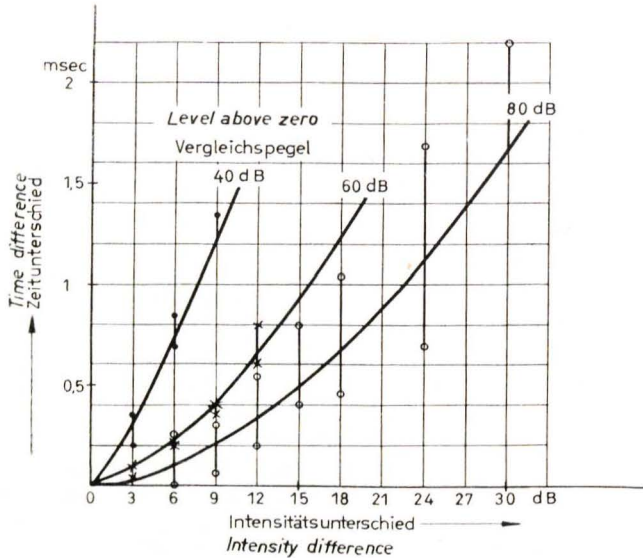


Abb. 1a Äquivalenz von Intensitäts- und Zeitunterschieden direkt am Ohr des Beobachters bei verschiedenen Pegeln. (Nach Deatherage und Hirsch, im Kopfhörer an Tonklicks gemessen).

Fig. 1a. Equivalence of intensity and time differences at the listener's ears, at various levels (from Deatherage and Hirsch, measured on tone-clicks, using headphones)

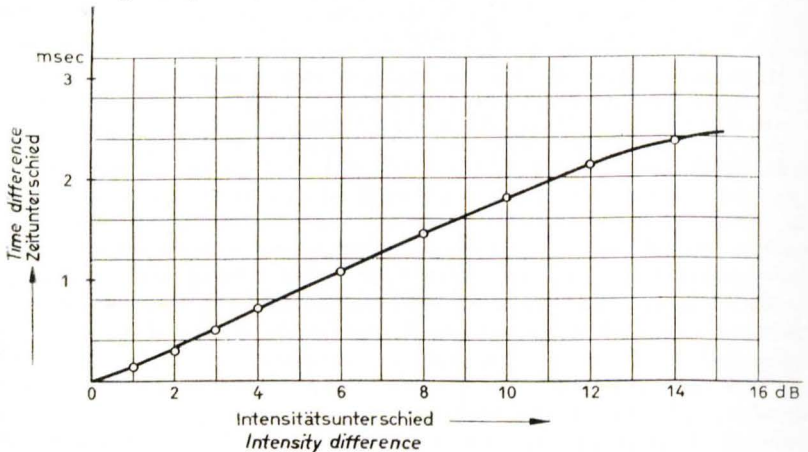


Abb. 1b Zeit-Intensitäts-Äquivalenz an Lautsprechern mit 3,5 m Hörabstand und 3,5 m Basisbreite (bei Sprache, nach Katzfey und Schröder).

Fig. 1b. Equivalence of intensity and time difference at a pair of loudspeakers spaced 3.5 m apart, at a listening distance of 3.5 m (from Katzfey and Schröder, measured on speech).

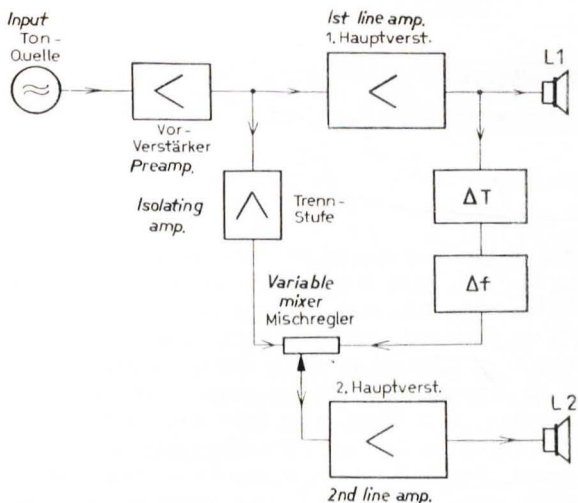


Abb. 2 Schema der Gewinnung eines pseudostereophonischen 2. Kanals durch Laufzeit- bzw. Halleinfluß (ΔT) und Frequenzgangbeeinflussung (Δf) mit wählbarem Mischverhältnis zum 1. Kanal.

Fig. 2. Block schematic showing how a pseudo-stereophonic 2nd channel can be obtained, containing a reverberation or time-delay component (ΔT) and a frequency response component (Δf).

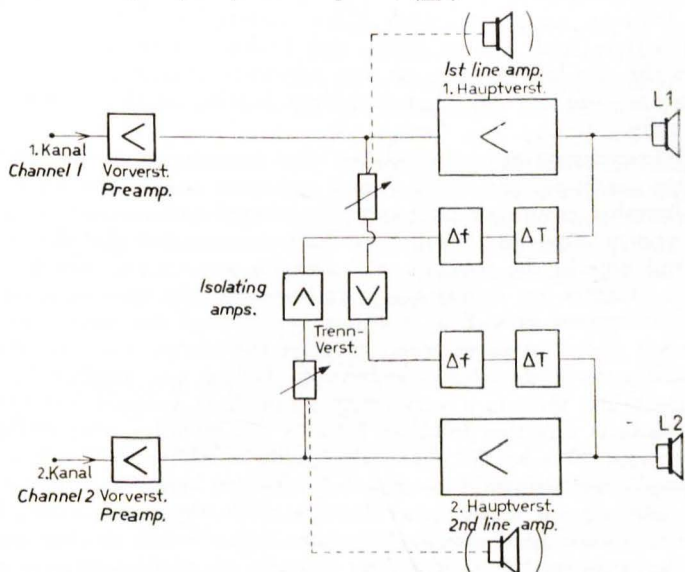


Abb. 3 Schema einer Schaltung zur Steigerung der Raumwirkung bei stereophonischer 2-Kanal-Wiedergabe.

Fig. 3. Block schematic of a circuit to increase the impression of space in a two-channel stereophonic transmission.

Some Thoughts on Two-Channel Stereophonic and Pseudo-Stereophonic Reproduction in Practice

by

W. BÜRCK

Two-channel playback units and recorded material — especially records — have been available mass-produced for quite some time, but have not yet received the public response, at least in Germany, which might be expected from the very real technical progress this method of sound reproduction represents as opposed to single channel playback. The following thoughts are an attempt to touch on some of the problems arising in practical experience; it is hoped that they will shed some light on the reason behind some of the developments which have been observed.

It is well known that high quality stereophonic playback limited to two channels requires these channels to have electroacoustic properties which coincide within very close tolerances, especially as concerns frequency and phase response. The properties of the human ear would demand the channel amplitudes to agree within 0.5 to 2 *db*, depending on the frequency, and the phase or time within 3 ms, when the direct sound issuing from the speakers is measured at the listener's position. The reverberating properties of the listening room are outside this consideration, for reflected sound always arrives with a time delay and probably from a direction not between the two loudspeakers, so that subjective evaluation plays a large part here — this can have but secondary bearing on the quality of the stereophony.

Careful measurements even of highest class reproducing equipment shows that these conditions are rarely if ever met even approximately. Even if the loudspeaker groups are most carefully selected and matched (amplifiers hardly present problems), it will never happen in practice that the resonant peaks and dips in the response will coincide exactly, at least as far as dynamic speakers are concerned. It follows that the various notes of a musical instrument as well as overtone variation of one note must make the listener uncertain about where to place the source, and only the fact that these various directional impressions follow one another in quick succession brings them to a very rough mean. It is assumed here that the listener deduces direction to about 80% by the intensity relationship and only to about 20% by the phase relationship — this very rough way of expressing a well-known fact may be sufficient here. Now it has been shown¹ that a point of resonance (maximum) in the response of a loudspeaker is always accompanied by a time delay, while minima may, in some cases, even lead to anticipation; this may compensate to some extent the intensity differences between the speakers, as the ear is unable to

discriminate between intensity and time differences in detecting direction, but relies on a summary impression²⁻⁵ (cf. fig. 1a and 1b). The extent to which such a compensation can occur in practice will depend on the width and height of the peaks and dips in the response.

A comparison of the curves of fig. 1a and 1b shows a marked discrepancy in the level required to compensate a given time delay: fig. 1b indicates that a 2 ms delay can be compensated by 11 *db* of level difference, while all the curves of fig. 1a show much higher values. Assuming that the brief tone-clicks are, for this purpose, sufficiently similar to the speech sounds and that the latter were presented at a level of about 75 *db*, then 1 ms time-delay can be compensated by about 20 *db* according to fig. 1a but by only 5.5 *db* according to fig. 1b. It would seem that time differences play a far greater part in headphone listening than in loudspeaker reproduction, where the two signals cannot be kept separate for each ear.

Compared to dynamic speakers, electrostatic types have a much lesser tendency towards formation of peaks and dips in the response. The reason for this is their very high effective radiation damping⁶ and the fact that the driving power is evenly distributed over the whole of the diaphragm area. It has been found, in fact, that placement of the sound source is much more exact with this type of speaker than with the dynamic type, and is not accompanied by the above mentioned disturbing jumps of direction. The difficulty here is that electrostatic loudspeakers with a satisfactory bass response (below about 100 *c/s*) have not been developed to date. As the directional effect of constant low frequencies is vague in any case, this problem can be solved — as in the case of most of the less expensive sets — by providing a crossover network to combine the bass of both channels in one bass speaker, thus saving the expense of a second woofer. This expedient, however, poses a new problem, for the low-pass filter constituting the crossover network has a time-delay of its own, resulting from its narrow bandwidth of 100—200 *c/s*, thus making the bass instruments' fundamentals lag behind their own overtones. This time lag can easily reach audible values, especially when multiple-stage low-pass filters are employed, for it is approximately expressed by

$$t = 1000 \cdot \frac{n}{f_g}$$

where t = time lag in ms

n = no. of links in the filter chain

f_g = cutoff frequency in *c/s*.

For a two-stage filter cutting off at 100 *c/s*, this gives the considerable lag of 20 ms. To correct this, it would be necessary to place the woofer common to both channels 22 ft. nearer the listener than the side speakers, which is hardly likely. It becomes evident that the saving of a woofer brings quite some problems with it.

At its best, two-channel stereophony is an acoustic imitation in one (horizontal) plane. The listener obtains an impression of direction and depth, the latter by the relationship, which is also reproduced, of direct to reflected — i. e. delayed — sound components. Secondary effects (apparent elevation when the listener is close to the centre-line connecting the speakers) may sometimes lead to an impression of height, but only in a rigid way. There is no doubt that this imitation of a horizontal plane suffices for the majority of the events transmitted; if however, two-channel stereophony is no more than an imitation in any case, one might be excused the question whether a very similar and quite satisfactory result might not more easily be obtained through other means, starting out from a single-channel transmission. This question of a suitable pseudo-stereophonic method⁷ is of particular interest to broadcasting, where obvious economic questions and problems of management have as yet prevented the transmission of true stereophony in Germany. As things are at present, we have at our disposal a single transmitting channel, without, say, pilot frequencies which might enable true directional control at the receiver end; it follows that clean discrimination of direction among sound sources, each of them covering a wide frequency band overlapping with the next, must be dispensed with. All that can be done is to expand the usual point source in a horizontal plane.

It has been shown that a fundamental feature of two-channel stereophonic transmission is the physical difference between the two channels' operation. Could not therefore true stereophony be approximated by dividing the receiver's single channel into two physically different reproducing channels, without loss of substance? One way would be to split the receiver channel into two channels of unlike frequency response, e. g. rising with increasing frequency in the one, falling in the other channel; two difficulties here: 1. fundamentals will be separated in space from their own overtones, 2. sound sources will appear to move when changing their frequency, e. g. during a melody.

Another way of creating differences between the two reproducing channels is to manipulate the time: one channel might be fed the original signal, the other a signal which has meanwhile been reverberated or delayed. Such "3 D" circuits can be had on some mass-produced radios nowadays. Experience has shown that it is more effective to add to the reverberated or delayed channel an adjustable dose of original sound, and to give this reverberation a frequency response which can be selected for each particular case (cf. fig. 2). If this selection is carefully done, the effect may reach a point where it will stand qualitative comparison with two-channel stereophonic transmission, even though true directional indication will naturally be lacking.

It is rather interesting to observe that the very asymmetry which detracts from true stereophony, i. e. differences of frequency response and of time, are a help to the spatial impression gained in pseudo-stereophony. This explains why ingeniously arranged pseudo-stereophony can in practice come so very much closer to true stereophony than might be expected: those slight faults of equipment which can rarely be specified exactly mar the stereophony but improve the pseudo-stereophony.

One more proof of this statement can be furnished by the following experiment: let the individual speakers making up each channel be staggered over a distance of about 3 feet towards the listener, and it will be found that the direction of sound sources in true stereophony will become blurred, while the impression of a distribution of sound sources in pseudo-stereophony will increase.

Now it is also possible to *improve* the impression of space in true stereophony by adding a pseudo-stereophonic component. Fig. 3 shows a scheme by which a small part of each channel output is artificially reverberated (by a reverberation chamber, multiple-head endless-loop recorder, or a sheet steel reverberation plate) and added to the other channel in controlled proportion. A similar effect of additional space without prejudice to the stereophony can be had also without the complicated reverberation equipment if a pair of speakers is placed as far away as possible behind the listeners in such a way as to bring the direct sound issuing from them to a minimum; these speakers, which are fed in controlled proportion from the channel diagonally opposite, make the best possible use of the listening room's reverberation, which is often too short compared to the recording studio, and bring the stereophonic reproduction close to the ideal atmosphere of large orchestral performances.

We have observed that pseudo-stereophony, properly carried out, may not fall very short of true stereophony — and the effort the latter takes, especially on the part of the sender, must always be kept in mind. On the other hand, the physiological and aesthetic importance, which an exact placing of sound sources can often have, must not be overlooked. It is a well-known experiment to transmit a different spoken text over each stereophonic channel: the listener will have little difficulty in subjectively eliminating either channel and receive the other at almost full intelligibility; in an analogous transmission over a single channel, intelligibility drops to about 10%, showing that the ear's ability to eliminate unwanted sound coming from another direction can be of use only when the stereophony is genuine, i. e. when the virtual sound sources making up the total sound all lie at various points simultaneously. This condition can never be met by a pseudo-stereophonic transmission, not even if pilot signals or mechanical control ("joystick stereo") are used to move the whole event from one direction to another.

The experiment with the two simultaneous speech transmissions shows, furthermore, that the well-known intelligibility curves relative to the absolute and relative noise level^{8, 9} imply the presence of one more parameter, namely, the angle, measured at the listener, between the signal and the unwanted noise.

This example shows also how difficult it is often to express a process playing a physiological or physiological rôle in physical terms. The quality of electroacoustic transmission depends on factors which cannot be measured by the usual means or expressed in figures. Considering in addition that the sphere under discussion is still very much in the flux of development, it would be rash now to pass final judgment on the various methods and their optimum application.

References

Please refer to the end of the original German of this article.

Methoden elektroakustischer Schallaufnahmen

von

HERMANN SCHERCHEN

Mit Vierspurmaschine und Zweispuraufnahmen ist es möglich, heut die Idee zu verwirklichen, welche Max Reinhart und Ferruccio Busoni schon zu Jahrhundertbeginn formuliert hatten: den *von allen Seiten den Hörer umgebenden Klangraum* aufzubauen.

I

HINDEMITH — BRECHT

„Lehrstück“

(Vierspuraufnahme)

Dieses Werk entstand 1929 — die Uraufführung erfolgte im gleichen Jahr in Baden-Baden. Beabsichtigt war, den Zuhörern nichts mehr vorzuführen, um sie „zu belustigen oder zu erbauen“, sondern sie das Werk mitgestalten zu lassen.

„Ein Flugzeug ist abgestürzt — die Trümmer liegen neben dem sterbenden Flieger“.

Der Sprecher macht folgende Angaben:

- 1) Bericht vom Fliegen.
- 2) Chorführer und Chor wenden sich an den Abgestürzten und die Menge (Zuhörer).
(Erste Untersuchung: Ob der Mensch dem Menschen hilft? Betrachtung über den Tod;
Zweite Untersuchung: Ob der Mensch dem Menschen hilft).
- 3) Examen des Abgestürzten durch Chor, Einzelne und die Menge (Zuhörer).

Die Aufnahmen wurden am 25. und 26. Juli 1959 mit Kammerorchester und Kammerchor Gravesano, 2 Solisten des Kammerchores (Tenor und Bariton) und 3 Schülern des Bühnenstudios Zürich mittels einer Vierspurmaschine (Albrecht-Berlin) im Experimentalstudio Gravesano durchgeführt. Technik: Walter Ehrler; Mithilfe: Allan Miller (New York) und Pablo Izquierdo (Santiago de Chile).

Die Sendung erfolgte am 8. August 1959 im Freilufttheater des Experimentalstudios Gravesano.

Auf einer Fläche von 20 m Breite und 25 m Tiefe befanden sich folgendermaßen plazierte 4 Lautsprecherpaare (jedes mit je einer Apparatur links und rechts):

das erste (zwei Telefunken-Kombinationen) in 20 m Entfernung voneinander und 25 m vor den Teilnehmern (I. Spur: *Orchester*, 1. und 2. Clown);

das zweite (zwei Philips Serien-Lautsprecher) in 17 m Entfernung voneinander und 18 m *vor* den Teilnehmern (II. Spur: *Chorführer und Chor*);
das dritte (zwei Allvox-Lautsprecher) in 14 m Entfernung voneinander und 11 m *vor* den Teilnehmern (III. Spur: *Flieger resp. 3. Clown*);

das vierte (zwei weitere Allvox-Lautsprecher) wiederum in 20 m Entfernung voneinander, jedoch 3 m *hinter* den Teilnehmern (IV. Spur: *Fernorchester, Einzelne und Menge*).

Die drei Clownsstimmen waren so aufgeteilt, daß die beiden aggressiven Typen (hoch und mittel) links und rechts auf Spur I lagen (ursprünglich Orchester), die passive dritte (tief) dagegen war Spur III (ursprünglich Tenor-Solist) zugeteilt.

Alle 4 Spuren wurden über „Stereophoner“ geführt. Orchester, Chor, Soli, Fernorchester, Einzelne, Menge erhielten so die genaue Lokalisierung, Farbe, Breite, Tiefe vollen Raumklanges, während die drei Clownsstimmen aus 3 verschiedenen Raumbereichen und -Richtungen mit vehementer Raumdialektik hervortraten.

II

SCHOENBERG

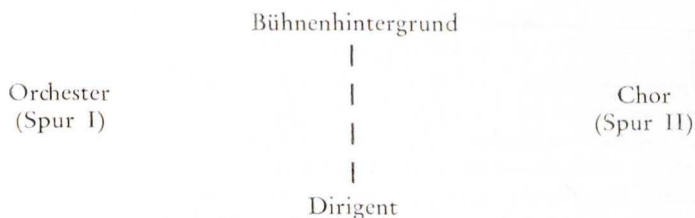
„Moses und Aron“

(Zweispuraufnahmen)

Diese Aufnahmen wurden am 2., 3. und 5. Juni 1959 auf der Bühne der Städtischen Oper (Berlin) mit dem Orchester, 6 Solisten und dem Rias Kammerchor durchgeführt. Es wurde eine Zweispur Stereo-Maschine (Telefunken M 5) benützt. Technik: Ing. Mostler (Siemens-Berlin); Mithilfe: der technische Direktor der Städtischen Oper Immendorf und sein elektroakustischer Stab.

Die Aufnahmen wurden ab Mitte Mai mit dem Orchester und Chor vorbereitet. Sie sollten in dem mit modernstem akustischem Raffinement ausgestatteten Ufa-Musik-Studio stattfinden. Durch „Unvorhersehbares“ war dieses dann zu den gewünschten Aufnahmetermen zunächst nicht frei — ein anderes, für die Aufnahme-probleme der „Moses und Aron“-Szenen geeignetes Studio aber in Berlin nirgends verfügbar. Ebenso wenig gab es außerhalb des Ufa-Musik-Studios eine Stereo-Zweispurmaschine noch den entsprechenden Stereomisch-tisch. Es mußte also eine Zweispur-Stereo-maschine extra aus Hannover herbeigeht und mit Hilfe eines monauralen Reisemisch-tisches ein Stereomisch-tisch erst improvisiert werden. Doch fehlte noch immer der Aufnahme-raum selbst! Ich ließ die leere Bühne der Städtischen Oper (durch einen in der Mitte von ihrem Hintergrund gegen den Souffleurkasten gezogenen hohen Tuchvorhang) in zwei gleiche Hälften aufteilen, weitere Tuchvorhänge vor den Rundhorizont in die Soffiten bis zum Boden hinab hängen und vor den eisernen Vorhang innen zwei weitere Tuchvorhänge anbringen; so bekamen wir einen für die beabsichtigten

Direktaufnahmen geeigneten, weitgehend schallgedämpften Aufnahme-Großraum: links vor mir wurde das Orchester (Spur I), rechts vor mir der Chor (Spur II) angeordnet.



Auf jeder der beiden Spuren gebrauchte ich 5 Mikrophone (M 49 Niere-Neumann, Berlin), die jedoch — mangels genügender Mischmöglichkeiten — pro Spur auf 3 Kanäle zusammengefaßt werden mußten. Die Kontrolle erfolgte — ohne Tonmeister — über Stereo-Kopfhörer (Beyer-Heilbronn).

a) *Moses vor dem Dornbusch.*

Im Orchester singen die 6 Solostimmen; dazu ertönt der Sprechchor aus dem „feurigen Busche“ (Bühnenhintergrund). Beides wurde mittels Zweispurapparat räumlich getrennt aufgenommen und ebenso — Orchester und Solostimmen durch Lautsprecher direkt aus der Orchestergrube und Sprechchor durch Lautsprecher aus dem Bühnenhintergrund — wiedergegeben.

b) *Zwischenspiel: „Moses, wo bist du?“*

Der Komponist schreibt vor, den zum Teil geflüsterten Chor pp im Finstern auszuführen. Aus in der Decke des Zuschauerraums montierten Lautsprecher-Kombinationen sprühen die Chorworte wie Gedankenfunken über den Zuhörern auf. Zu der elektroakustischen Zweispur-Wiedergabe des Chorparts tritt das Orchester „Life“ spielend begleitend hinzu.

c) *Zweite Szene des II. Aktes: Chor*

Dieser kurze, die Handlung eröffnende Chor beginnt aus 25 Lautsprechern addierend vom Hintergrund her und wächst über Seitenlautsprecher nach vorn, bis er aus Bühnenhintergrund-, Seiten- und Orchesterraumlautsprechern zugleich kulminierend ausklingt.

d) *Gesang der vier nackten Jungfrauen.*

Die Lautsprecher an der Decke des Zuschauerraums geben dem Gesang „Gedankenferne“, während begleitende Instrumente aus der Orchestertiefe auftönen.

e) *Bühnenmusik*: Ende der 2. Szene des II. Aktes.

Diese Zweispuraufnahme lokalisiert Fernhöre und Begleitinstrumente auf den Seiten und in die Tiefe des Bühnenraums.

f) *Auszug aus Ägypten*.

Die Musik wandert von links nach rechts. Nacheinander werden die Hintergrundlautsprecher von 1 bis 9 eingeschaltet, bis die ganze Raumbreite abstrahlt; danach verlöschen sie ebenso von links nach rechts bis der neunte Lautsprecher allein übrig ist. Gleichzeitig wandert in doppelt so langsamem Tempo eine Strahlkeule (von links nach rechts) über sie hin, die zwischen den 2. und 3. Lautsprecher anlangt, wenn Lautsprecher 1—5 schon zusammenstrahlen, und über dem fünften erst steht, wenn bereits alle 9 eingeschaltet sind; kommt sie zwischen dem 7. und 8. an, so wurden 1—5 schon abgeschaltet, erreicht sie endlich Lautsprecher 9, so ist dies der letzte allein noch rechts abstrahlende Hintergrundlautsprecher.

*

Wesentlich für diese Zweispuraufnahmen war, daß mit ihnen, — ähnlich wie schon mit den Vierspuraufnahmen des „Lehrstücks“ — statt üblicher „Stereophonie“-Effekte eine Art von dialektischer Raumaktivierung angestrebt wurde, die aus deutlich sich voneinander abhebenden, einander gegensätzlichen oder sich ergänzenden akustischen Zonen wahrnehmbar wird. Allen aufgenommnen 6 Szenen wurde gleichzeitig durch Schaltung über „Stereophoner“ voller Raumklang verliehen.

III

SCHOENBERG

„Erwartung“

(Stereoaufnahme)

Diese Aufnahme fand am 22. und 23. Juli im Oetkersaal, Bielefeld statt. Solistin: Helga Pilarczyk, Hamburg; Orchester: Nordwestdeutsche Philharmonie, Herford; Technik: Chefing. Dr. Scerri und Ing. Botinelli, Radio Lugano. Die stereophonische Aufnahme wurde mit einer Stereo M 5 (Telefunken, Hannover) durchgeführt, die monaurale über ein Magnetophon der Firma Studer, Zürich.

Die Klangkontrolle der Mikrophone, des Gesamtpegels und der Mikrophonaufrstellung erfolgte wiederum über stereophonische Kopfhörer (Beyer, Heilbronn). Es wurden pro Spur 5 Mikrophone (M 49 Niere, Neumann, Berlin) eingesetzt.

Die Aufnahme selbst dauerte eineinhalb Stunden (stereophonische und monaurale gleichzeitig). Dabei mußte der Gesang aus dem Saalraum aufgenommen werden, die Solistin auf der Empore hinter dem Dirigenten, in ca. 30 m Entfernung vom Orchester. Die Stimme ertönt bei der Stereo-Wiedergabe unverrückbar in der Mitte *vor* dem Orchester.

Außerdem wurde eine Stereoaufnahme nur des Orchesterklanges durchgeführt; die konnte mehrfach vor dem 8. 8. erprobt werden. Helga Pilarczyk spielte und sang nachts auf dem Freilufttheater Gravesano dazu „Life“ die „Erwartung“ ohne jegliche Wahrnehmungsmühen.

*

In *Gravesano* — „Lehrstück“, *Berlin* — „Moses und Aron“, *Bielefeld* — „Erwartung“ . . . wurden drei verschiedene Methoden elektroakustischer Mehrspuraufnahmen eingesetzt:

beim „Lehrstück“ (vierspurig und über 4 Stereophoner) zu einer den Zuhörer ganz in das Werk einschließenden Klangraumgestaltung;

bei den Szenen aus „Moses und Aron“ (zweispurig und über 2 Stereophoner) zu elektroakustischer Erweiterung und Verfeinerung der vokalen und instrumentalen Möglichkeiten;

bei Schönberg's „Erwartung“ endlich (zweispurig stereophonisch) um hochwertige Stereo- Wiedergaben des bloßen Orchesterklanges mit szenischer „Life“-Darstellung unabhängig von Ort und Raum zusammen zu binden.

Methods of Three-Dimensional Sound Recording

by

HERMANN SCHERCHEN

Four-track recorders and two-track recordings make a reality of the idea formulated as long ago as the beginning of this century by Max Reinhart and Ferruccio Busoni: *to form, by sound, the space surrounding the listener on all sides.*

I

HINDEMITH — BRECHT

“Lehrstück”

(Four-track recording)

This work was created in 1929, the first performance taking place in the same year in Baden-Baden. Instead of giving a performance “for the listeners’ edification or amusement”, the intention was rather to allow them to participate in the interpretation.

“There has been an air-crash. The pilot is dying, surrounded by wreckage.”

The following details are given by the narrator:

1. Report of the flight.
2. The choir, with its leader, addresses the pilot and the assembled crowd (audience).
(First investigation: Does man succour his fellows?
Contemplation on death;
Second investigation: Does man succour his fellows?)
3. Examination of the pilot by the choir, individuals and the crowd (audience).

The Gravesano Chamber Orchestra and Chamber Choir, 2 soloists out of the choir (tenor and baritone) and 3 students from the Zurich Stage Studio made the recordings at the Gravesano Experimental Studio on July 25 and 26, 1959, using a 4-track 35 mm recorder (Albrecht, Berlin). *Walter Ehrler* had the technical direction, with the assistance of *Allan Miller* (New York) and *Pablo Izquierdo* (Santiago de Chile).

The work was transmitted in the Open-Air Theatre of the Gravesano Experimental Studio on the 8th August 1959. Four pairs of loudspeakers were placed symmetrically on an area 66 ft. wide by 82 ft. deep, as follows:

Track 1 (Orchestra): a pair of Telefunken combinations 66ft. apart and 82 ft. in front of the participants;

Track 2 (Choir and leader): a pair of Philips series loudspeakers 56 ft. apart and 59 ft. in front of the participants;

Track 3 (Pilot, alternating with 3rd Clown): a pair of Telefunken "Allvox" speakers 46 ft. apart and 36 ft. in front of the participants;

Track 4 (back-stage orchestra, individuals and the crowd): a second pair of Allvox speakers 66 ft. apart and 10 ft. *behind* the participants.

All four tracks were played back using the "Spectrophoner", with a separate amplifier for each speaker, reproducing the exact placing, colour, breadth and depth of the full three-dimensional sound of the orchestra, choir, soloists, back-stage orchestra, individuals and the crowd, while the three clowns' voices came from three different directions and distances, vehemently emphasizing the artistic significance of Space.

II

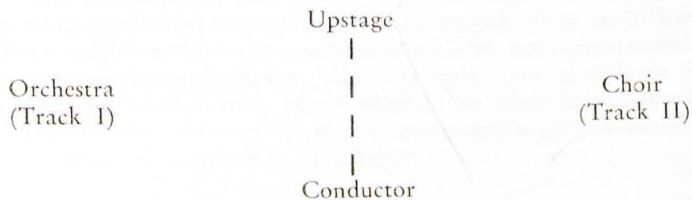
SCHOENBERG

"Moses and Aaron"

(Two-track recordings)

These recordings were made on the stage of the Berlin City Opera by the RIAS Choir, 6 soloists and orchestra on June 2, 3 and 5, 1959, on a Telefunken M 5 two-track stereo recorder, by Mr. *Mostler*, B. E. (Siemens, Berlin) assisted by Mr. *Immendorf*, chief engineer to the City Opera, and his technical staff.

These recordings, for which the chorus and orchestra had been rehearsing since the middle of May, were to be carried out in the new, lavishly equipped UFA Music Studio. However, at the dates agreed upon, this studio was not available due to unforeseen circumstances, and neither was any other studio in Berlin able to cope with the recording problems posed by the scenes from "Moses and Aaron", nor did a stereo tape recorder or a stereophonic mixer console exist anywhere else in Berlin. It was therefore necessary to have the recorder specially sent from Hanover and to improvise the stereo mixing console out of a portable monaural mixer — but there was still no recording studio. I divided the empty stage of the City Opera into two equal parts in its width by a heavy curtain, other curtains were hung from the flies to the floor before the backdrop, and two more just inside the iron curtain, so that a well-damped, large recording studio was created, in which the direct recordings could be carried out as intended. The orchestra (track I) was placed on my left, the choir (track II) on my right:



I employed 5 Telefunken-Neumann (Berlin) M 49 cardioid microphones for each track; before mixing, these had to be connected so as to leave only 3 outputs per channel, for lack of sufficient mixing facilities at the improvised console. Headphones (Beyer, Heilbronn) were used for control, dispensing with the services of a recording engineer.

a. *Moses and the Burning Bush*

The 6 soloists sing in the orchestra while the chorus recites out of the burning bush upstage. Both were recorded simultaneously and, at the performance, the two tracks were played back over loudspeakers actually placed in the pit and upstage, respectively.

b. *Interlude: "Moses, where art thou?"*

According to the composer's directions, the chorus is to recite pianissimo, *whispering* in part, in the dark. Loudspeaker groups were mounted in the auditorium ceiling, and the choir's words fly at the audience like sparks of thought. This two-track recording of the chorus is accompanied by the live performance of the orchestra.

c. *Act II, Scene 2: Chorus*

This short chorus, which opens the action, begins from 25 upstage loudspeakers, switched on one after the other, and grows over side speakers to the front, reaching a final climax with the further addition of speakers in the orchestra pit.

d. *The Song of the Four Naked Virgins*

The orchestra, playing in the depth of the pit, accompanies the song sounding as thoughts from afar from the loudspeakers in the auditorium ceiling.

e. *Music on stage: end of the 2nd scene of Act II*

This two-track recording makes back-stage choruses and accompanying instruments sound from the sides and the depth of the stage.

f. *The Flight from Egypt*

The music moves from left to right: upstage loudspeakers nos. 1 to 9 are switched on in succession, until the whole width of the stage is sound; then they are switched off in like manner, from left to right, until only the 9th speaker is left. Simultaneously, a radiating column moves over them, from left to right, so as to be in the centre of the loudspeakers in operation at any given moment.

*

As in the four-track recordings of "Lehrstück", these two-track recordings aimed, not at the usual "stereo" effects, but at dialectic activation of the element of space. This is achieved through the creation of distinctly contrasted acoustic zones in opposition or in complement to each other. At the same time, playback over the "Stereophoner" gave all the 6 recorded scenes full three-dimensional sound.

III

SCHOENBERG

"Erwartung"

(Stereo Recording)

This recording was made by the North-West German Philharmonic Orchestra, with Helga Pilarczyk (Hamburg) as soloist, in the Oetker Hall, Bielefeld, on July 22 and 23, under the technical direction of Dr. *Scerri*, chief engineer of Radio Lugano, and his assistant, Sig. *Botinelli*, B. E. The stereophonic tape recorder was a Telefunken M 5 (Hanover), a Studer Recorder (Zurich) being used for the monaural recording. 5 Telefunken-Neumann M 49 cardioid microphones were used in each channel, and Beyer stereophonic headphones were again used for control of mixing, level, and microphone position.

Simultaneous recording of monaural and stereo took an hour and a half. The vocal part had to be recorded, not from the stage, but from the auditorium itself, the singer standing on the gallery *behind* the conductor, about 100 ft. from the orchestra. In the stereophonic reproduction, the voice appears immovably in the middle, in *front* of the orchestra.

In addition, a stereo recording was made of the orchestral part alone; there was ample opportunity of rehearsing this before the 8th August. On that day, Helga Pilarczyk sang and acted, by night, at the Gravesano Open Air Theatre, her live performance of "Erwartung" to the stereophonic recorded orchestral part, without giving the audience the least problems of perception.

*

In *Gravesano* - "Lehrstück", *Berlin* - "Moses and Aaron", *Bielefeld* - "Erwartung": three different methods of multiple-track recording were employed:

In "Lehrstück" (four tracks over four "Spectrophoners"), the listener was totally enclosed in a space shaped by sound.

In the scenes from "Moses and Aaron" (two tracks over two "Spectrophoners"), electroacoustics were used to transcend and refine vocal and instrumental resources.

In "Erwartung" (two-track stereophonic), high-quality stereophonic reproduction of the orchestral part and a live scenic performance were united, free from all restrictions of locality.

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, erfolgte die

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 Stützpfiler 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, was the

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.

Tonband und Mikroport im Opernhaus

von

OTTO KAPPELMAYER

Im Sommer 1959 fanden in Berlin zwei für unser Thema bedeutsame Premieren statt: „Moses und Aron“ in der musikalischen Einstudierung und Leitung von Hermann Scherchen — und „Czardasfürstin“ auf einer Bühne von 4700 qm Fläche in der Deutschlandhalle. Bei „Moses und Aron“ setzte Prof. Scherchen zum ersten Mal in der Geschichte der Oper bespielte Tonbänder, Lautsprecherzeilen und elektroakustische Trick-Schaltungen als „künstliche Tonquellen“ ein — auf der Bühne in der Deutschlandhalle wurde die drahtlose Mikrophananlage „Mikroport“ verwendet, um die Stimmen der Solisten auf der Riesenbühne nicht zu verlieren. Beide Aufführungen stießen besonders im Ausland auf ein so lebhaftes Echo der musikalischen Fachwelt, daß man sie als den Beginn eines neuen Zeitalters in der Geschichte der Oper bezeichnen darf.

Bei „Moses und Aron“

wurde durch den Einsatz von Tonbändern nicht nur das Problem gelöst, Chöre erklingen zu lassen, die infolge der Raumverhältnisse überhaupt nicht hätten untergebracht werden können, sondern auch die Aufgabe einer absolut durchsichtigen, räumlich wirkenden Übertragung der Schallereignisse über die Rundfunksender. Beides sind Forderungen, die in der Praxis so häufig auftreten, daß an ihrer Erfüllung schon seit Jahrzehnten gearbeitet wird und zwar nicht nur für Opernaufführungen, sondern auch für die Filmtechnik. Beim Todd-A-O-Breitwandverfahren haben die Akustiker 6 Tonspuren auf einem 70 mm breiten Tonband nebeneinander aufgezeichnet — und zur Erzeugung der Klänge und Geräuscheffekte gelegentlich 96 verschiedene Schallquellen eingesetzt.

Was beim Breitwand-Film schon seit längerer Zeit erfolgreich praktiziert wird, war bisher bei Opernaufführungen nur ein akustisches Hilfsmittel, um dessen Einsatz sich die Dirigenten kaum zu kümmern brauchten, da es sich in der Hauptsache um Verbesserungen der Raumakustik handelte, nicht aber um musikalische Probleme. Diese treten erst auf, wenn man aus irgendwelchen Gründen nicht in der Lage ist, das Schallereignis mit den bisherigen natürlichen Mitteln so darzustellen, wie es sich der Komponist gedacht hat. Dabei handelt es sich allerdings nicht — dies sei zur Abgrenzung des Themas deutlich gesagt — um die Erzeugung elektronischer Klänge, künstlicher Echos und Ähnlichem. Die modernen Mittel der Tonaufzeichnung und Wiedergabe werden eingesetzt, um die natürlichen Schallerzeuger, die nicht auf die Bühne gebracht werden können oder sollen, auf dem Wege der Reproduktion vorher aufgenommener Tonbänder zu Gehör zu bringen. Daß man dabei Stimmen aus der Höhe oder Tiefe

erklingen lassen kann, aus der Nähe oder Ferne, daß man die Schallquellen beliebig im Raum wandern lassen und verschiedene Schallereignisse in unendlicher Vielfalt kombinieren kann, sind für die moderne Elektroakustik gelöste Probleme. So läßt sich z. B. mit dem Telefunken Richtungs-mischer ein Soloinstrument von links nach rechts über die ganze Bühne verschieben, ohne daß es sich überhaupt bewegt. Dies ist nur einer jener wunderbaren Tricks, an die man vor wenigen Jahren noch nicht einmal zu denken wagte.

Die technische Realisierung der Klangvorstellungen des Dirigenten (und sie sind ja identisch mit denen des Komponisten) erfordert allerdings eine intensive und mühevoll Probenarbeit, bei der er mit dem Ingenieur harmonisch zusammenarbeiten muß. Hierin liegt das Neue und Problematische des Ganzen. Denn schon die Sprache beider ist grundverschieden und muß erst eindeutig aufeinander abgestimmt werden. Da eine der Grundbegabungen des Dirigenten die ist, seine Vorstellung des Klangereignisses eindeutig auf die ausübenden Musiker zu übertragen, so ist es ihm möglich, sie dem Ingenieur mitzuteilen, der nun seinerseits die geeigneten Mittel zur Realisation auszuwählen und entsprechend einzusetzen hat. Weil viele Vorstellungen des Künstlers sich nur sehr unklar und fragmentarisch durch das Mittel der Sprache ausdrücken lassen, muß der Ingenieur gleichfalls mit einem feinen künstlerischen Gefühl begabt und mit dem gleichen Fanatismus seiner Aufgabe verpflichtet sein wie der Dirigent gegenüber dem Schöpfer des Werkes. Nur unter diesen Grundvoraussetzungen ist es möglich, das angestrebte Ziel zu erreichen.

Montierte Klangereignisse.

Begreiflicherweise werden sich viele Dirigenten zunächst dagegen wehren, daß man ihnen zur Leitung des Orchesters, der Solisten und der Chöre auch noch eine neue und vielleicht ebenso schwierige Aufgabe aufbürden will. Aber es gibt Werke, besonders der neuesten Musik, in denen Partien vorkommen, die sich nur auf dem Wege des *Einmontierens* verwirklichen lassen. Wenn dies heute noch Ausnahmefälle sind, so kann man fast mit Sicherheit voraussehen, daß die Oper der Zukunft ohne sie überhaupt nicht mehr auskommen wird. Es bedarf nur einer geringen künstlerischen Phantasie, sich eine vollkommen montierte Oper der Zukunft vorzustellen.

Was man mit den Bausteinen — um im Bild der Montage zu bleiben — d. h. vorher bespielten Tonbändern, bei der Gesamtauführung alles anfangen kann, davon hat „Moses und Aron“ bereits ein beredtes Zeugnis abgegeben. Wenn Schönberg selbst seinerzeit das Werk für unaufführbar hielt, so nur deswegen, weil er ja von diesen Dingen noch nichts ahnen konnte. Es war das Verdienst Prof. Scherchens, zum ersten Mal bewußt die moderne Elektroakustik einzusetzen, um das unaufführbare Werk aufführbar zu machen. Das zustimmende Echo auch aus den Kreisen derjeni-

gen, die der Aufführung nur am Rundfunkapparat beiwohnen konnten, beweist, daß das Experiment gelungen ist.

Der nächste Schritt,

der sich daraus ergibt, ist nun der, die Erfahrungen auszuwerten, um den seit langem stagnierenden Opernbetrieb in Europa wieder neu zu beleben. Der Einsatz des bespielten Tonbandes könnte in mannigfaltigster Weise viele der personellen, zeitlichen und finanziellen Schwierigkeiten erleichtern, die heute einer Operaufführung von Weltrang besonders an kleineren Provinzbühnen entgegenstehen. Da aber diese Zeilen nur zur Anregung der Intendanten, Dirigenten und Mäzene der Oper dienen sollen, wollen wir es bei den bisherigen Beispielen belassen — in der Hoffnung, daß eine Diskussion in Gang kommt, die die praktischen Folgerungen aus den gegebenen Möglichkeiten zieht.

In ganz anderer Weise

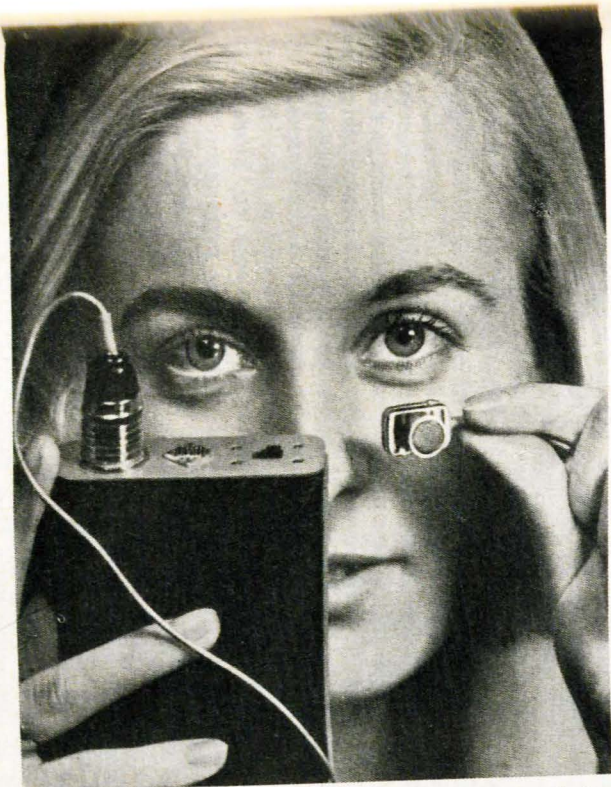
bedient sich der moderne Operndirigent des *Mikroports*. Das ist ein winzig kleines Mikrophon mit einem Miniatursender, dessen Reichweite ungefähr 100 m beträgt. Wenn der Sänger sich im Hintergrund einer Riesenszene bewegt und eine Pianostelle singen soll, kommt er gegen das Orchester nicht mehr durch, weil die räumliche Distanz zu groß ist. Er singt ins Mikroport-Mikrophon, der Tonmeister regelt auf dem Empfangsgerät den Verstärker nun so ein, daß ein Lautsprecher (oder eine Lautsprechergruppe) die Stimme genau so laut erklingen läßt, wie es das Klangbild erfordert.

Eine andere Möglichkeit ist das Hervortreten einer Solostimme aus einem großen Chor. Oder die Aufnahme eines Klangereignisses, das oberhalb oder unterhalb der Bühne stattfindet, aber für das Ohr des Zuhörers im Vordergrund derselben erklingen soll. Mit dem Mikroport ist der Solist gänzlich unabhängig vom Standort anderer Mikrophone, des Orchesters und weiterer Tonquellen, die gleichzeitig erklingen.

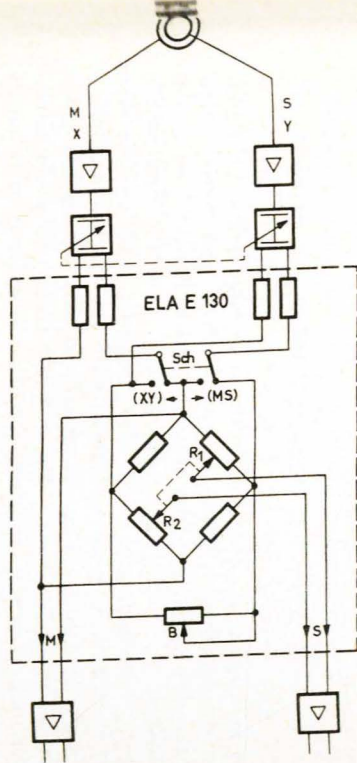
Auch dieses gelungene Experiment eröffnet dem Opern- und Theaterregisseur ungemein interessante Perspektiven. Insbesondere, wenn man es mit einem der oben gezeigten montierten Klangereignisse so verknüpft. Der Phantasie sind kaum Grenzen gesetzt. Aber es kommt darauf an, die Möglichkeiten erst einmal zu kennen und den schöpferischen Geist dafür einzusetzen, sie für die Bühne zu nützen.

*

Es war nur ein bescheidener Ausflug in jenes noch nicht gerodete Neuland, auf dem sich in Zukunft die Oper und die Elektroakustik gemeinsam ansiedeln werden. Kein Regisseur oder Dirigent wird in Zukunft an den wirkungsteigernden Möglichkeiten vorbeigehen können, die sich aus dieser Ehe ergeben. Aber es gehört Mut dazu, damit erst einmal anzufangen. Die Zeit dafür ist reif. Hoffentlich findet sie den Künstler bereit, sie zu nützen.



Transistortaschensender und Knopflochmikrofon der drahtlosen Mikrofonanlage Mikroport (Telefunken).
Pocket transistor transmitter and buttonhole microphone of the Telefunken Mikroport.



Schaltbild des Telefunken Richtungs-mischers ELA E 130, mit dem man eine feststehende Schallquelle elektronisch wandern lassen kann.
Schematic of the Telefunken ELA E 130 Directional Mixer, by which the apparent position of a fixed sound source can be moved at will.

Tape and Mikroport in the Opera House

by

OTTO KAPPELMAYER

Two first performances important to the discussion below took place in Berlin in the summer of 1959. The one, "Moses and Aaron" under Hermann Scherchen's direction, the other, "Czardas Princess" on a stage area of 50,000 sq. ft. in the "Deutschlandhalle". For the first time in opera's history, tape recordings and electroacoustic trick circuits were employed by Prof. Scherchen in the former, while the wireless microphone "Mikroport" was used in the Deutschlandhalle to save the soloists' voices becoming lost in the giant stage. The response these two performances aroused in the musical world, especially abroad, was so lively as to justify their description as the beginning of a new era in the history of opera.

In "Moses and Aaron",

tape recordings solved two problems: the live audience was allowed to hear choruses of a size impossible to accommodate on the stage, and the radio audience was given a performance which was absolutely transparent and three-dimensional in effect. The opportunity of reaching these two ideals has been missed frequently enough in the past for the problem to have been subject of research for decades, in opera as well as the cinema. In the Todd A-O wide screen method, 6 tracks are used on 70 mm tape, while 96 sound sources are used on occasions to record the required sounds and effects on these tracks.

Although this practice has been regular in the film industry for quite some time, opera regarded it but as an auxiliary, mainly to improve hall acoustics, which was of little concern to the conductor, having nothing to do with musical problems. These do occur, however, once it becomes impossible to give a performance by natural means such as the composer envisaged — for the limitation of our subject, let it be said at once that we are not dealing here with electronic sounds, artificial echo, etc. Modern means of recording and playback are used only for the performance of instruments which can, or for some reason should, not be placed on the stage, and in this case the recording is made in advance and played back at the performance. This brings with it the possibility of having voices from the deep or from on high, from afar or from the most intimate vicinity, of moving the sounds through space at will or of combining sounds in infinite variety — all this is no longer a problem for an electro-acoustician today. The Telefunken Directional Control, for example, makes the sound of an instrument move from left to right over the whole stage,

while the instrument itself stays in one place all the time. This is but one of all the ingenious tricks we did not dare to dream of a few years ago.

Intensive and arduous rehearsal with the technician is necessary before the conductor obtains the sound which the composer envisaged. The utter newness of the problem seen in this statement is the fact that conductor and technician do not speak the same language, and in their work together each must adapt his language to the other's mentality. Just as it is one of the conductor's basic talents to impart his artistic wishes to the performing musicians, he will be able to obtain the understanding of the technician, who must then find the practical means to make a reality of the conductor's wishes. However, music can never be very clearly expressed in language, and the technician must, for his part, possess subtle artistic insight and the same fanaticism for his work as the conductor has.

Sound Montage.

It is quite natural for conductors to be slow to accept a new responsibility which is perhaps just as great as the existing one of directing the orchestra, chorus and soloists. But there are works, especially some recent ones, which contain parts that can be realized in no other way than that of *montage*. While this may be the exception today, it can be predicted with some degree of certainty that the opera of tomorrow will be quite unable to do without such methods. It does not even require exceptional artistic imagination to conceive a future opera consisting entirely of montage.

The range of possibilities given by such tapes recorded in advance, was most convincingly demonstrated by "Moses and Aaron". It is a fact that Schoenberg himself thought that the work was unperformable, but only because he could have no conception of these technical developments. It is Hermann Scherchen's great merit to have deliberately employed modern electroacoustics for the first performance of the unperformable opera. The approbation from those who were able to hear only the broadcast is one more proof to the success of the experiment.

The next step

is to use this experience to give Europe's stagnating opera new life. There are endless ways by which prerecorded tape could be used to alleviate the difficulties of personnel, time and money which beset opera houses nowadays, especially when opera of international standard is desired in the provinces. But these lines are only intended as encouragement and inducement to opera directors, conductors and patrons. It would go beyond their scope to extend the examples already given. But this is said in the hope of starting a discussion which will carry these latent possibilities to their logical applied conclusion.

The Mikroport

is an aid which the modern opera conductor applies in a way altogether different to the facilities described above. It is a tiny microphone with a miniature transmitter having a range of about 100 yards. A singer attempting a soft passage from the back of a large stage will not come through the orchestra as the distance is too great. He simply sings into the Mikroport and the technician sets the receiving amplifier's volume control so as to make the voice sound over a loudspeaker (or loudspeaker group) at the volume desired for the correct balance.

Other possibilities can only be mentioned here in passing: a solo voice can be made to stand out from a chorus; or an action taking place above or below the stage can be made to sound from the front. The Mikroport makes the soloist entirely independent of the position of other microphones, of the orchestra, and of other simultaneous sound sources.

The success of this experiment again opens up some most interesting perspectives to the opera or theatre producer — especially when the Mikroport is used in association with the montage mentioned above. There are practically no limits to the imagination; but the possibilities must first of all be known, and the creative spirit must be there to use them on the stage.

*

It was but a modest excursion into this virgin country which will be the joint home of opera and electroacoustics in the future. From now on, no producer and no conductor can pass over these means of increasing the artistic effect, which will be begotten by this marriage. But it takes courage to make the beginning. The time is ripe. Artists **MUST** be ready to take advantage of it.

Josef Anton Riedl

Stück
für
Schlagzeug 1957

1 Spieler

Von Große Trommel mit Fußmaschine in F

der Pauke in A

Tiefe Afrikanische Holzschlitztrommel in B

zur Koreanischer Tempelblock in C

Höhe 1. Rechteckige Holztrommel aus Ahornholz mit Halter

2. Rechteckige Holztrommel aus Palisanderholz mit Halter

Türkisches Becken

Tam Tam

1. Indonesischer Gong

2. Indonesischer Gong (aus Musikinstrumenten-Sammlungen)

3. Indonesischer Gong

Vorrichtung zum Montieren der Holztrommeln, Beckenständer mit Schrägstellung

- 2 Paukenschlegel mit Filzkopf
- 2 Paukenschlegel mit Lederkopf
- 2 Paukenschlegel mit Holzkopf
- 2 Gongschlegel mit Lederkopf
- 2 Gongschlegel mit Holzkopf
- 2 Rundeisenstäbe

2

Ersatz im Notfall

Von	Große Trommel		
der	Pauke		
Tiefe	Holztrommel	} gleiche Art	} 3 Arten
zur	Holztrommel		
Höhe	Holztrommel		
	Holztrommel		
	Gong, Tam Tam oder Kuhglocke ohne Schwengel mit Halter	} 2 Arten	
	Gong, Tam Tam oder Kuhglocke ohne Schwengel mit Halter		
	1. Becken		
	2. Becken		
	3. Becken		

Vorrichtung zum Montieren von Holztrommeln, Aufhängen der Kuhglocke und Becken

PF	Paukenschlegel mit Filzkopf
PL	Paukenschlegel mit Lederkopf
PH	Paukenschlegel mit Holzkopf
GL	Gongschlegel mit Lederkopf
GH	Gongschlegel mit Holzkopf
Rst	Rundeisenstab
Fu	Fußmaschine
StKv	mit Stiel gespielt, Schlegelkopf vorne
StKh	mit Stiel gespielt, Schlegelkopf hinten
n	normal gespielt
l	Note oder tremolo mit linker Hand gespielt
r	Note oder tremolo mit rechter Hand gespielt
l	1. Note mit linker, nächste mit rechter, übernächste mit
r	linker Hand usw. gespielt
r	1. Note mit rechter, nächste mit linker, übernächste mit
l	rechter Hand usw. gespielt
lr	Note mit linker und rechter Hand gespielt
l bei tremolo	1. Ton mit linker, nächster mit rechter, übernächster mit
r	linker Hand usw. gespielt
r bei tremolo	1. Ton mit rechter, nächster mit linker, übernächster mit
l	rechter Hand usw. gespielt
lr bei tremolo	Ton, Töne mit linker und rechter Hand im gleichen
	Rhythmus gespielt
Fr	Fellrand
Fm	Fellmitte
d	dunkel
h	hell
R	Rand
M	Mitte
ten, t	tenuto

Ludwig van Beethoven

Op. 11 Trio für Klavier Klarinette und Violoncello B-Dur 3. Satz Variationsthema

Allegretto

$\downarrow = ca. 20$

Bezeichnungen gelten solange bis sie von neuem

1. Rechteckige Holztrömel

2. Rechteckige Holzschlötztrömel B

abgelöst werden

1. Rechteckige Holztrömel

2. Rechteckige Holzschlötztrömel B

Schlegelstiele zusammenschlagen

1 Rechteckige Holztrömel
Afrika Holzschlitztrömel B

PF
mp
p

1 Rechteckige Holztrömel
Afrika Holzschlitztrömel B

PL
mp

2 Rechteckige Holztrömel
1 Rechteckige Holztrömel
Afrika Holzschlitztrömel B

PF
mf

3 Gong
2 Gong

Becken
2 Rechteckige Holztrömel
1 Rechteckige Holztrömel

Stk
Phn
RM
M
SRKA
R
2p
3p

2 Gong
1 Gong
tam tam
Becken

Phn
MM
M
MM
M
M
M
Klingen lassen

3. Gang
4. Gang
1. Gang
lam lam
Becken

2p 3p
Klingen lassen

Schlegelstiele zusammenschlagen

3. Gang
4. Gang
lam lam
Becken

3p
Klingen lassen

3. Gang
4. Gang

4p
Klingen lassen

3. Gang
4. Gang
1. Gang

3p
Klingen lassen

Schlegelstiele zusammenschlagen

3. Gang
4. Gang
1. Gang
lam lam
2. Becken
1. Becken

Eckstiele zusammenschlagen

3p
Klingen lassen

decreasing
Klingen lassen

6

2. Rechteckige Holztrömel
1. Rechteckige Holztrömel
Trompletsch C
Hörn Holzschütztrömel B

STK_{tr}

decrecendo
Klingen lassen

2. Rechteckige Holztrömel
1. Rechteckige Holztrömel
Trompletsch C
Hörn Holzschütztrömel B

decrecendo
Klingen lassen

3. Gong
2. Gong

Becken
1. Rechteckige Holztrömel
1. Rechteckige Holztrömel

Klingen lassen

3. Gong
2. Gong
1. Gong
Gong tam
Becken
1. Rechteckige Holztrömel
1. Rechteckige Holztrömel
Trompletsch C

Klingen lassen

Klingen lassen

decrecendo

2. Rechteckige Holztrömel
1. Rechteckige Holztrömel
Trompletsch C
Hörn Holzschütztrömel B

decrecendo

oben
Kleinloch C
Rechteckige Holztrümel B
Kleine Trommel F
Kleinloch zusammenklagen

PF
Stktr
mp

2p

Klingen lassen

oben
Rechteckige Holztrümel
Kleinloch C
Rechteckige Holztrümel B
Kleine Trommel F
Kleinloch zusammenklagen

PF
Stktr
2p

mf

pmp

3p

Klingen lassen

oben
Rechteckige Holztrümel
Rechteckige Holztrümel
Kleinloch C
Rechteckige Holztrümel B
Kleine Trommel F

PF
Stktr
2p

3p

lp

mp

Klingen lassen

Rechteckige Holztrümel
Kleine Trommel F

PF
Stktr
PF
Stktr

rahmen

anderreiben

Rechteckige Holztrümel
Rechteckige Holztrümel
Kleinloch Holzschlitztrümel B
Kleine Trommel F

PF
PF

mf

lp

mf

8

3. Gang
2. Gang

Becken
2. rechteckige Holzmemel
1. rechteckige Holzmemel

hängen lassen

3. Gang
2. Gang

3. Gang
2. Gang
1. Gang
lam. lam.
Becken

Klingen lassen

3. Gang
1. Gang
lam. lam.
Becken

2p
Klingen lassen

gung
gung
gung
gung
lam.
schen

Handwritten musical score for the first system. It consists of several staves with notes and rests. Dynamic markings include "Klingen lassen" (let ring) and "temuto". There are also some numerical markings like "2p" and "3p".

gung
gung
gung
gung
lam.
schen

Handwritten musical score for the second system. It features notes and rests on the staves. Dynamic markings include "Klingen lassen".

mit Holzschlagtrömel B

gung
gung
gung
gung
lam.
schen

Handwritten musical score for the third system. It includes notes and rests. Dynamic markings include "Klingen lassen" and "deccrescenda".

Rechteckige Holztrömel
mit Holzschlagtrömel B

Becken
Rechteckige Holztrömel
Rechteckige Holztrömel
Templeblock C

Handwritten musical score for the fourth system. It features notes and rests. Dynamic markings include "deccrescenda".

deccresc-mp
Klingen lassen

Trompfeblock C
Hörn. Holzschlaginstrument B

decrec-2p mp

Schlagstiele zusammenschlagen

Klingen lassen

Trompfeblock C
Hörn. Holzschlaginstrument B

Schlagstiele zusammenschlagen

Trompfeblock C
Hörn. Holzschlaginstrument B

Schlagstiele zusammenschlagen

Trompfeblock C
Hörn. Holzschlaginstrument B

Schlagstiele zusammenschlagen

Hörn. Holzschlaginstrument B

Schlagstiele aneinander streichen

p

ever since the twenties

an immense variety of Philips electro-acoustical equipment has reached its destination. Philips microphones, amplifiers, loudspeakers and sound recorders were the faithful technical witnesses of more than three decades of evolution in sound registration and reproduction.

In the designing of quality products **research** comes first, and where evolution becomes revolution - and technical instruments play an evermore important part in the musical creation itself - Philips will continue to further the progress of

EVERY NEW DEVELOPMENT IN SOUND



ELECTRO-ACOUSTICAL & SOUND RECORDING EQUIPMENT



Edgar Varèse



Henk Badings



*Kid Baltan (l.)
Tom Dissevelt (r.)*

ELECTRONIC MUSIC RECORDED IN PHILIPS' PHYSICAL LABORATORIES

YEAR	COMPOSER	TITLE	TIME IN MIN.	ART	ELECTRO-ACOUSTICIAN	PREMIERE
1956	Henk Badings	Kain & Abel	17½	Ballet-music	J. W. de Bruyn	Holland Festival '56
1957	Henk Badings	Variations Electroniques	10	Film-music	J. W. de Bruyn B. F. Raaymakers	
1957	Kid Baltan	Song of the Second Moon	3	Popular music	Kid Baltan	(gramophone record)
1958	Henk Badings	Sounds of Reality	90	Radio-music Theatre-music	B. F. Raaymakers	Academy of Monumental Arts, Amsterdam '58
1958	Henk Badings	Man & Machine at Eindhoven	14	Suite	B. F. Raaymakers	Ballet Hannover '58
1958	Henk Badings	Evolutionen	14	Ballet-music	B. F. Raaymakers	Ballet Hannover '58
1958	Edgar Varèse	Poème Electronique	8	Organised Sound with Images by Le Corbusier	W. Tak J. W. de Bruyn	Philips Pavilion, Expo, Brussels, '58
1958	Henk Badings	Dialogues for Man & Machine	20	Concert-music	B. F. Raaymakers	Int. Days for Experimental Music, Expo, Brussels.
1958	Tom Dissevelt	I	3	Popular music	B. F. Raaymakers	
1958	Henk Badings	Genese	15	Concert-music	B. F. Raaymakers	I.D.f.E.M., Expo.
1958	Tom Dissevelt	II	3	Popular music	B. F. Raaymakers	
1959	Henk Badings	Andros	21	Ballet-music	B. F. Raaymakers	(at the request of the Netherlands Government)
1959	Henk Badings	Salto Mortale	—	Television-opera	B. F. Raaymakers	Bussum, Salzburg '59
1959	Henk Badings	The Barrier	—	Opera scene	—	(Neth. Government)
1959	Tom Dissevelt	III	3	Popular music	B. F. Raaymakers	
1959	Henk Badings	Capricio	8	Violin solo & el. accompaniment	B. F. Raaymakers	Gravesano '59
1959	Henk Badings	Electronic Manifestation of Sound	6½	Ballet-music	B. F. Raaymakers	Gravesano '59

Winterlicher Besuch in Gravesano

von

WILLI REICH

Wenige Monate nach der künstlerisch und menschlich so würdigen und anregenden Fünf-Jahr-Feier des Elektroakustischen Experimentalstudios — drei Tage vor Jahresschluß — führte mich mein Weg wieder nach Gravesano. Äußerlich erschien alles verändert: An die hochsommerliche, in tropischer Farbglut erstrahlende Landschaft gemahnte nur noch die kristallklare Sonne, die aber nur wenig Wärme spendete; der Schnee auf den nahen Bergen setzte ganz neue Akzente, und der eisige Hauch, der von ihnen ausging, hatte die weite Bühnenfläche des Freilufttheaters, auf der im Sommer statt der Schauspieler die elektroakustischen Apparate agierten, mit einer weißen, glitzernden Reifschicht überzogen. Die drei Studioräume, die eine neugierige Menge im Sommer fast zu sehr belebt hatte, waren jetzt ganz verödet; nur ab und zu huschte Herr Walter Ehrler, der eifrige und überaus sachkundige Famulus Professor Scherchens durch die beiden kleineren Laboratorien, setzte da und dort Bandapparate in Bewegung und regulierte Umlaufgeschwindigkeiten, Klangstärken und die übrigen akustischen Bedingungen für die Wiedergabe der neuesten Aufnahmen, die Maestro Scherchen mir, einem alten Freunde und Bewunderer seiner musikalischen und organisatorischen Arbeit, als erstem vorführen wollte.

Neben dem Maestro allein inmitten des großen Studioraumes sitzend, kam ich mir ähnlich vor, wie König Ludwig II. von Bayern, dem Richard Wagner einst im leeren Opernhaus mehrere seiner Werke als einzigem Zuhörer darbot.

Es erschien mir ganz besonders sinnvoll, daß die Vorführungen gerade an jene Werke anknüpften, die im Sommer im Freilufttheater zu hören uns ein plötzlich einsetzendes schweres Gewitter verhinderte. Schönbergs Monodrama „Erwartung“ sollte damals zu einer Stereoaufnahme des Orchesterparts mit Helga Pilarczyk als „lebendiger“ Solistin erklingen. Zuvor war nach intensivster Arbeit auf Grund der Beandbegleitung eine stereophonische Gesamtaufnahme des Werkes zustande gekommen, bei der das ungemein schwierige Zusammenwirken der Solistin und des Orchesters mit einer vorher noch nie erreichten Präzision funktionierte und im Vokalpart ein Grad von sprachlicher Deutlichkeit und improvisatorischer Freiheit erzielt wurde, der erst alle künstlerischen Feinheiten des Werkes voll zur Geltung kommen ließ und das Ganze zum erstenmal restlos faßlich machte. Nach dem Gehörten erschien mir Scherchens Mitteilung, die *Aufnahme* sei, nach der erwähnten gründlichen Vorbereitung, mit einmaligem, fast pausenlosem Durchspielen durchgeführt worden, geradezu märchenhaft. — Ans

Märchenhafte — auch in geistiger Beziehung — grenzten auch die drei Szenen aus „Moses und Aron“, deren Aufnahme in direktem Zusammenhang mit der Berliner Aufführung von Schönbergs Oper im Oktober 1959 stand. Auch hier erschienen mir die Rufe des Volkes („Wo ist Moses?“), der von mystischen Gesangslinien durchwobene Sprechchor als „Stimme aus dem Dornbusch“ und die allem Räumlichen entrückte Ekstase der als Ritualopfer erwählten vier Mädchen den Intentionen des Dichterkomponisten in einer von keiner „Life“-Wiedergabe erreichbaren Weise gerecht zu werden.

Bei den dann folgenden Vorfürungen reiner Instrumentalwerke machte das sich stets ereignende Unmittelbar-Angesprochen-werden durch die Musik auf mich den stärksten Eindruck. Obwohl bei den kompatiblen, abwechselnd stereophon und monaural durchgeführten Wiedergaben absichtlich ganz primitiv gebaute Lautsprecher verwendet wurden, kam es immer zu einem geradezu „dialektischen“ Musizieren, das die alten Definitionen vom „Wettstreit“ (concertare) und dem „Gespräch“ der Instrumente beweiskräftig neu unterbaute und das die Klänge in subtilster Abschattierung an das Gehör heranbrachte, ohne daß dieses die geringste Anstrengung zu machen brauchte. Für einen Menschen wie ich, der aus Berufsgründen (als Musikkritiker) sich neben dem akustischen Totalindruck immer auch um gewisse musikalische Einzelheiten der Wiedergabe kümmern muß, war diese mühelose und absolut sichere Art der klanglichen Wahrnehmung ein ganz besonderes, mich tief berührendes Erlebnis.

Daß diese besondere Art der Wiedergabe nicht auf spezielle Stilbereiche beschränkt ist, zeigt die Aufzählung der Werke, die ich an jenem denkwürdigen Nachmittage in Gravesano zu hören bekam und die alle in der eben gekennzeichneten künstlerischen und technischen Vollendung erklangen. Es waren dies: die Beethoven-Variationen von Max Reger (mit dem im Konzertsaal meist ganz unvollkommenen Gleichgewicht zwischen Streichern und Bläsern), Strawinskys dem Andenken Debussys gewidmetes symphonisches Bläserstück (eines der klanglich am schwersten zu realisierenden Werke der gesamten Musikkultur!), das mit bezaubernder Schlichtheit und unübertrefflicher Klarheit musizierte „Till-Eulenspiegel“-Rondo von Richard Strauß, das viel zu wenig öffentlich vorgeführte Adagio aus Bruckners II. Symphonie (mit höchst eigenartigen Bläsereffekten!), und schließlich der dritte Satz aus Béla Bartóks „Musik für Saiteninstrumente, Schlagzeug und Celesta“, bei der insbesondere die aparten Klänge des Xylophons, die Glissandos der Pedalpauken und die Celesta mit vorher noch nie gehörter Schärfe und Eindringlichkeit wahrgenommen werden konnten.

Nun noch zwei allgemeine Bemerkungen: Vor allem ein Hinweis auf den äußerst hohen Grad der Spiel- und Klangkultur, auf den das Orchester der Nordwestdeutschen Philharmonie durch die Arbeit mit Scherchen erhoben werden konnte. — Und dann — wohl am wichtigsten! — die,

unabhängig von dem jeweiligen Platz im Saal, erzielte volle Plastik des Raumklanges, die anscheinend zu ihrer Verwirklichung kaum mehr des speziellen stereophonischen Aufnahme-Verfahrens bedarf, sondern sich unmittelbar aus der sublimen Art der lebendigen Klanggestaltung ergibt, die Scherchen auf der nunmehr erreichten Höhe seiner künstlerischen Meisterschaft zu leisten vermag. — Dennoch zeigte mir unsere sich an die musikalischen Vorführungen anschließende Unterredung, daß für Scherchens nimmermüde künstlerische Arbeit all das bisher Erreichte nur Etappen auf einem Wege sind, der deutlich vor seinem geistigen Auge steht, und auf dem wir weitere beglückende Verwirklichungen erwarten dürfen.

Wenn ich also Gravesano gegenüber dem sommerlichen Feste äußerlich so verändert fand, in seiner inneren Struktur ist alles unverändert geblieben. Und das verbürgt die weitere lebendige, ganz dem Dienste an der Kunst geweihte, selbstlose Arbeit Hermann Scherchens.

A Winter Visit to Gravesano

by

WILLI REICH

Not many months had passed since the Electroacoustic Experimental Studio's Fifth Anniversary, the celebration of which had been so full of human greatness and so stimulating to the artist, when, three days before the year's close, my footsteps led once more to Gravesano. On the surface, everything seemed to have changed: the midsummer landscape, resplendent in its tropical colours, was recalled only by the brilliant sun, now giving but little warmth; the snow covering the neighbouring mountains placed accents altogether new, while its icy breath had clothed the nakedness of the open-air theatre's stage, where, in the summer, amplifiers and loud-speakers had been the actors, in a gown of hoar-frost, glittering in its whiteness. Deserted now the three studios which had been thronged almost to excess; only now and then, Walter Ehrler, Professor Scherchen's zealous and expert assistant, could be seen scurrying alone through the two smaller studios, starting machines here and there, regulating speeds, levels and the rest of the acoustic requirements for playback of the newest recordings, which Maestro Scherchen wanted me, an old friend and admirer of his musical and administrative work, to be the first to hear.

Sitting alone with the Maestro in the middle of the big studio, I felt as King Ludwig II of Bavaria must have done when Richard Wagner had presented several of his works to him as the sole audience in the huge theatre.

What I especially appreciated was that the performances set out from the very works which had been interrupted in the open-air theatre by a sudden, heavy summer thunderstorm, when Helga Pilarczyk was to have sung the live solo-part to a stereophonic orchestral recording of Schoenberg's Monodrama "Erwartung". Previously, diligent work had resulted in a stereophonic recording of the whole work, a recording in which the uncommonly difficult part-playing and singing had reached an unheard-of precision, with a clarity of diction and a freedom in improvisation which alone allowed all the work's artistic subtlety to unfold, making it utterly intelligible for the first time. After what I had heard, Scherchen's comment that the work had, after the thorough preparation already mentioned, been recorded in one go with hardly an interruption, seemed fabulous to me. Fabulous too, as regards spiritual content as well, were the three scenes from "Moses and Aaron", the recordings of which were directly related to the Berlin performance of Schoenberg's opera in October

1959. Here again I had the feeling that the shouts of the people: "Where is Moses?", the "Voice from the burning bush", spoken in a chorus interlaced by mystic vocal lines, and the spaceless extasy of the four maidens chosen as ritual offerings, did justice to the poet-composer's intentions to a degree unattainable in a live performance.

The most lasting impression made on me by the recordings of the purely instrumental works which followed, was the ever-present feeling of being directly addressed by the music. In spite of the fact that the most primitive loudspeakers were intentionally used for the compatible, alternately stereophonic and monaural reproduction, the result was always well-nigh "dialectic" music-making, throwing new light on the old definitions of the "contest" (concertare) and "conversation" of the instruments, and offering the sounds in the most subtle shadings to the ear without constraining it to make the least effort. To a man like me, who must for professional reasons of music criticism always bother about certain musical details apart from the overall acoustic impression, this effortlessness and absolute safety of musical perception was a very special and deeply moving experience.

If any proof is required that this special way of reproduction is not restricted to any particular regions of style, it is given by a list of the works I was allowed to hear on this memorable afternoon in Gravesano, all of them in the same artistic and technical perfection. They were: Max Reger's Variations on a Theme of Beethoven (in which, in a concert, the strings and wind are nearly always most imperfectly balanced), Stravinsky's Symphonic Piece for Winds, dedicated to the memory of Debussy (one of the entire literature's most difficult works to interpret), the rondo "Till Eulenspiegel" of Richard Strauss, in which music was made with enchanting simplicity and unsurpassable clarity, the Adagio from Bruckner's much too rarely performed 2nd Symphony (most peculiar wind effects here!), and finally the third movement of Bartók's Music for Strings, Percussion and Celesta, where especially the unusual xylophone sounds, the pedal timpani glissandi and the celesta impressed by their previously unheard-of bite and precision.

Just two more general remarks: first, a reference to the exceedingly high standard of playing to which Scherchen's work has managed to raise the Northwest German Philharmonic Orchestra; and, all-important, the vividness, independent of the listener's position, which was achieved in the three-dimensional sound, apparently requiring hardly any longer a special stereophonic recording method, being the direct result of the sublime art of living sound creation of which Scherchen has become capable at the present height of his artistic mastery. Even so, our discussion following the musical performance showed all these achievements to be

no more than a stage along a road showing clearly to Scherchen's never-tiring inner eye. We shall look forward expectantly to the happy realisation of even higher ideals.

Did I say that, on the surface, everything had changed in Gravesano since the summertime festival? In its inner structure it has remained the same. Guarantee of this is Hermann Scherchen's selfless, vital work, utterly dedicated to the service of art.



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.

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 US Doll. 16.— (or equivalent) post paid. (Air Mail extra if required).

Immediate despatch by parcel post anywhere in the world guaranteed!

Fully illustrated leaflet available on mentioning this magazine.

SYMPHONY AMPLIFIERS LIMITED, 16, KINGS COLLEGE ROAD, LONDON N. W. 3