

2260

Mus 20 284/

1397

863

534

330

204

126

78

48

78

126

204

330

534

863

1397

2260

GRAVESANER

BLÄTTER

HERAUSGEBER HERMANN SCHERCHEN

1830

699

432

267

165

102

63

102

165

267

432

699

1151

1830

ENGLISCH-DEUTSCH

ARS VIVA VERLAG
(HERMANN SCHERCHEN)
GMBH MAINZ

MUSIKALISCHE, ELEKTROAKUSTISCHE UND
SCHALLWISSENSCHAFTLICHE GRENZPROBLEME
1960 60 3002 Mus JAHRGANG V

Katalog

19/20

Le. Scherchen

Zur heutigen Situation der Stereophonie

von

ROBERT KOLBEN

Die Stereophonie setzt sich beim deutschen Publikum nur sehr allmählich durch: nachdem im ersten Halbjahr 1959 von 21,5 Millionen verkauften Platten nur 1,5 % stereophonische waren, stimmte die Industrie den Phono-Teil der Frankfurter Rundfunk-, Fernseh- und Phono-Ausstellung im August 1959 ganz auf Stereo ab — monaurale Apparaturen waren kaum vorhanden. Der Preis der Stereoplatten wurde um 30 % gesenkt, um in den Bereich der monauralen Platten zu kommen, und auch die deutsche Produktion trug zu einer reicheren Auswahl bei. Das Ergebnis dieser Maßnahmen war ein Stereoanteil von 10 % des Plattenverkaufs im Verkaufsjahr 1959/60. Dies bezeichnet die Industrie als „befriedigend“.

Der naheliegende Vergleich dieser Ergebnisse mit der entsprechenden Zahl aus den USA (30 %) fordert den Versuch einer Erklärung heraus. Es gibt verschiedene Möglichkeiten:

1. Dem deutschen Schallplattenfreund fehlt die nötige Hörkultur;
2. Er hatte noch nicht genug Gelegenheit, die Stereophonie kennenzulernen;
3. Er kann sich den apparativen Aufwand nicht leisten;
4. Ungeachtet aller Reklame und aller Trickplatten von Pingpongspiel oder vorüberfahrenden Eisenbahnen, erhöht die Stereophonie seinen Musikgenuß nicht.

Gesetzt den Fall, daß die allgemeine Erziehung, die Schallplattenindustrie und das Wirtschaftswunder gegen die ersten drei Möglichkeiten genügend gewirkt haben, wird man sich fragen, ob die Stereophonie mangelhaft oder an sich überflüssig ist. Eine allgemeine Umfrage würde wahrscheinlich ergeben, daß die Richtungswahrnehmung der verschiedenen Instrumente nicht zum Genuß des geistigen Inhaltes der Musik beiträgt, ja daß sie sogar von diesem ablenkt. Der Befragte würde aber bestimmt nicht ein Ohr im Konzert zuhalten. Hier ist die Richtungswahrnehmung ein Teil des Erlebnisses, sie ist natürlich; Schallplatten kann man auch ohne sie haben, ist sie aber da, so wird sie als künstlich empfunden. Beim Vergleich der Technik der Stereophonie mit der restlichen Aufnahmetechnik kommt man zu der Überzeugung, daß sie tatsächlich künstlich ist.

Das menschliche Ohr ist aber einmal mit der Fähigkeit der Richtungswahrnehmung ausgestattet. Wird diese nicht berücksichtigt, so kann keine Wiedergabe das ursprüngliche Erlebnis vortäuschen. Die Technik wird noch manches Problem zu lösen haben (u. a. auch das der Lautsprecher) und wird vielleicht sogar ihre ganzen Grundlagen ändern müssen, bevor eine technische Wiedergabe mehr als den technischen Teil der Musik reproduzieren kann. Erst dann aber wird der Hörer, dem es auf den geistigen Inhalt ankommt und der sich nicht durch das Wunder der Technik blenden läßt, die Stereophonie als einen wesentlichen Beitrag zur Schallkonserve beurteilen können.

Eine Ausnahme zu den technisch oder mechanisch komplizierten, und daher als künstlich empfundenen stereophonischen Verfahren, ist der Stereophon von Hermann Scherden. Technisch gesehen, war der Stereophon von Anfang an einfach. Diejenigen aber, die bei seiner Entwicklung dabei waren, erlebten, wie er mit jeder weiteren Vereinfachung besser wurde, der Musik weniger technische Hindernisse darbot, dem Wesen der Musik näherkam — keinen Nichttechniker wird das überraschen. Die Einfachheit ist kein bloß materieller, sondern ein wesentlicher Vorteil des Stereophoners.

Einfachheit allein gewährleistet aber noch keine Qualität, ist sie doch allzuoft mit Dilettanterie verbunden. Hier muß man unterscheiden zwischen der Einfachheit, die mit sich selbst zufrieden ist, weil sie nicht anders kann, und der Einfachheit, der es gelungen ist, nach und nach alles Unwesentliche auszuschalten, und die der Kunst zugrunde liegt. Aus diesem Grunde wie aus dem anderen, daß ihn ein Künstler geschaffen hat, ist der Stereophon ein Kunstwerk; deshalb bekommen die Schallplatten durch ihn eine neue Dimension, und zwar nicht nur die des Raumes, sondern die des geistigen Inhaltes einer Musik, der sonst durch die mechanische Wiedergabe fast immer vernichtet wird.

Musik Jg. 2, 8 4

GRAVESANER BLÄTTER

Nr. XIX/XX

V. Jahrgang

1960

INHALT

	Seite
Werner Meyer-Eppler †	2
Eine einfache Methode zur Beobachtung einiger akustischer Vorgänge Hans Jenny	4
Psychoakustik und Musik Fritz Winkel	13
Klangmaterielle Kräfte und Kunst der Musik Hermann Scherchen	20
Erfahrungen mit der doppelseitigen (stereophonen) Hörbrille W. Pistone	24
Ungelöste Probleme der Akustik und Elektronik * * *	31
Erhaltung und Lagerung von Schallaufnahmen (III) A. G. Pickett und M. M. Lemcoe	35
Aktuelle Probleme des Experimentellen Geigenbaues Abraham A. Moles und E. Leipp	85
Impulsmethode zur Messung von Geigenresonanzen W. Lottermoser und Fr. J. Meyer	106
Grundlagen einer stochastischen Musik (II) Iannis Xenakis	128
Ähnlichkeitsklassen bei Schallsignalen G. Ungeheuer	151
Raumakustische Probleme der Musiksoziologie Kurt Blaukopf	163

*** von: "WAVES AND THE EAR" by Willem A. van Bergeijk, John R. Pierce and Edward E. David, jr. (Science Study Series Anchor S. 9).

Redaktion: Gravesano (Tessin) Schweiz

Herausgeber: Hermann Scherchen

Nachdruck verboten!

GRAVESANO REVUE W

No. XIX/XX

Vol. V

1960

CONTENTS

	Page
Werner Meyer-Eppler †	3
A Simple Method of Observing some Acoustic Phenomena Hans Jenny	9
Psycho-acoustics and Music Fritz Winkel	16
The Forces in Sound and the Art of Music Hermann Scherchen	22
Experiences with the Use of a Stereophonic Hearing Aid W. Pistone	27
Unsolved Problems of Acoustics and Electronics * * *	33
Preservation and Storage of Sound Recordings (III) A. G. Pickett and M. M. Lemcoe	61
Some Current Problems of Experimental Violin-Making Abraham A. Moles and E. Leipp	97
Violin Resonance Measurement by a Pulse Method W. Lottermoser and Fr. J. Meyer	120
Elements of Stochastic Music Iannis Xenakis	140
Similarity Classes of Sound Signals G. Ungeheuer	158
Problems of Architectural Acoustics in Musical Sociology Kurt Blaukopf	173

*** from: "WAVES AND THE EAR" by Willem A. van Bergeijk, John R. Pierce and Edward E. David, jr. (Science Study Series Anchor S. 9).

Published by Experimental Studio Gravesano

Editor: Hermann Scherchen

Extracts may not be published without permission



Werner Meyer-Eppler †
1913 — 1960

Die glänzende Laufbahn eines großen Wissenschaftlers wurde jäh unterbrochen: am 8. Juli 1960 starb im Alter von 47 Jahren Werner Meyer-Eppler.

In Antwerpen 1913 geboren, begann Werner Meyer-Eppler 1932 mit dem Studium der exakten Naturwissenschaften.

Nach seiner Promotion im Fache Physik (1939) habilitierte er sich im Jahre 1942 an der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bonn. 1949 wurde er wissenschaftlicher Assistent am Institut für Phonetik und Kommunikationsforschung, und 1957 (als Direktor des Instituts für Phonetik und Kommunikationsforschung) Nachfolger des 1954 verstorbenen Professor's Menzerath.

Im Jahre 1949 erschien sein erstes Buch „Elektrische Klangerzeugung“. Krönung seiner wissenschaftlichen Arbeit ist das im Jahre 1959 erschienene Werk „Grundlagen und Anwendungen der Informationstheorie“.

Werner Meyer Eppler gelang es, in wenigen Jahren in Bonn eine neue wissenschaftliche Welt aufzubauen. Sein Beispiel, jede Art von Stagnation abzulehnen und nur sachlichen Notwendigkeiten zu gehorchen, wird — ebenso wie für Gravesano — zielgebend und beflügelnd für alle seine Schüler und Mitarbeiter bleiben.

A great scientist's brilliant career was abruptly terminated: Werner Meyer-Eppler passed away on the 8th July 1960, aged 47.

Born in Antwerp in 1913, Werner Meyer-Eppler began his science course in 1932, graduating in physics in 1939. In 1942 he received an appointment in the faculty of mathematics and science at the University of Bonn. In 1949 he entered the Institute of Phonetics and Communication Research at Bonn as scientific assistant, rising to the position of director in 1957, successor to Professor Menzerath, who had died in 1954.

His first book, "Elektrische Klangerzeugung" (Electric Sound-Production) appeared in 1949; the crowning effort of his scientific research is "Grundlagen und Anwendungen der Informationstheorie" (Fundamentals and Applications of the Information Theory), published in 1959.

In the course of but a few years, Werner Meyer-Eppler was able to turn Bonn into a new scientific centre. His example of rejecting stagnation in any form and of following nothing but objective necessity will always be an inspiration to Gravesano as well as to all his pupils and collaborators.

Eine einfache Methode zur Beobachtung einiger akustischer Vorgänge

von

HANS JENNY

VORBEMERKUNG

Vor zwei Jahren hörte ich zum ersten Male den Stereophoner von Hermann Scherchen. Das wunderbare, *raumplastische* Hören voller orchesterlicher Wirklichkeit war ein sich tief einbohrendes Erlebnis. Es gab den Antrieb, nach den Gesetzmäßigkeiten dieser Vorgänge zu forschen und die akustischen Zeit-Raum-Gestalten auch optisch offenbar zu machen. In der vorliegenden Mitteilung wird über den Verlauf dieser Arbeit berichtet.

ZWISCHENBERICHT

Zur Beobachtung einiger akustischer Vorgänge wurde eine einfache Methode angewandt. Der Körper, dessen Schwingungen beobachtet werden sollten, wurde beispielsweise mit geglühtem Quarzsand bestreut. Die Schwingungsimpulse werden durch einen Seignettekristall gegeben, der durch einen Frequenzgenerator erregt wurde. Der Seignettekristall wurde mit einer feinen Plastilinschicht aufgebettet. Im einfachen Fall wurde also beispielsweise eine Metallplatte verwendet; am gewünschten Ort wurde ein Seignettekristall auf eine feine Plastilinschicht aufgeschoben; in diesen Seignettekristall wurden die Frequenzen geschickt. Der in unserem Beispiel auf der Platte aufgestreute Sand formierte sich dann zu den bekannten Chladnischen Klangfiguren. Die Vorteile dieser Methode sind evident. Dies wird besonders bemerkbar, wenn man die Schwierigkeiten der Methode, die Chladni selber benützte, kennenlernt. (Chladni, Die Akustik, 1802.) Bei unseren Versuchen ist die Impulsfrequenz und die Impulsstärke wählbar und deshalb genau bekannt; der Impulsort, die Impulszeit und die Art der Impulsgebung können genau bestimmt werden. So ist der Versuch in seinen Bedingungen verhältnismäßig gut überschaubar und immer wieder gleich reproduzierbar. Weiter lassen sich *mehrere* Impulse *nacheinander* oder *zugleich* auf dasselbe System schicken, wodurch zahlreiche Beziehungen unter verschiedenen Variationen erzeugt werden können. Es lassen sich auch systematische Reihenversuche durchführen.

Es seien einige Versuche erwähnt.

Bei Reihenversuchen (bis zum Frequenzbereich 50 000) kehrt *die* *selbe* Figur mit steigender Zähligkeit (gemäß den höheren Frequenzen) in entsprechenden Abständen immer wieder. Eine Gesetzmäßigkeit, die Bergmann auch in Bereichen des Ultraschalles fand (Ludwig Bergmann, Der Ultraschall, 1954, S. 637). *Diese Reihenversuche lassen sich bei der hier beschriebenen Methode sehr schön durchführen.*

Durch die Impulsart lassen sich die Knotenlinien als Doppelbildung darstellen.

Weiter konnte das Variieren eines und desselben Figurenmotivs gut verfolgt werden, wie es schon Chladni genau angibt (Die Akustik, 1802). Es handelt sich um eine Art von Metamorphosen: Ein und Dasselbe in verschiedener, verwandelter Erscheinungsform.

Werden zwei Figuren (etwa Intervalle) erregt, so entsteht eine resultierende Gruppierung, eine neue, dritte Ordnung.

Ganz besonders schön lassen sich Interferenzvorgänge hervorbringen als Wechsel von Bewegung und Ruhe und bei geeigneter Anordnung als Pulsieren oder Pendeln der Linien. (Man ist bei der hier beschriebenen Methode im Erzeugen dieser Phänome unabhängig von Unregelmäßigkeiten des Materials. Westphal 1952: „Unregelmäßigkeiten im Material der Platte (Dichte, Elastizität, Form) haben Veränderungen in den Eigenschwingungen und in der Lage der Knotenlinien zur Folge. Dabei werden die Eigenfrequenzen aufgespalten, was zu hörbaren Interferenzen (Schwebungen) sowie — bei bestimmten Anregungen, z. B. durch Anschlag — auch zu Pendelungen der Knotendurchmesser um eine Ruhelage herum führen kann (Zenneck).“)

Interessant ist, daß auch eine chaotische Schwingung entstehen kann. Es bildet sich dann keine Figur, sondern das Bild eines Mükkenschwarms; die Sandpartikel wirbeln durcheinander.

Auffallend sind die erzeugbaren strömenden und rotierenden Schwingungsphänomene. Besonders die letzteren erregen das Interesse. Es treten zahlreiche rotierende Bezirke auf, meistens jeweils paarweise, wobei der eine Bezirk im Sinne des Uhrzeigers, der andere im Gegensinne dreht. Um Wirbel im Sinne der Strömungslehre handelt es sich dabei nicht. (L. Prandtl, 1956, Führer durch die Strömungslehre.) Wir haben über diese Erscheinungen Herrn Professor Bergmann Mitteilung gemacht. Er machte uns auf seine Versuche mit Seifenmembranen aufmerksam (1956). Auch da entstanden zwei im Gegensinne drehende Bezirke. Wir konnten ähnliche in schwingendem Wasser erzeugen (durch Tusche sichtbar gemacht). Ebenso in Wasser, das auf Glycerin aufgetropft wurde. (Es sei hier auf das Wirbelpaar, das Békésy [1923] in seinen Modellschnecken fand, und dann auch in Leichengehörschnecken nachweisen konnte, hingewiesen.) Jedoch sind diese rotierend bewegten Flüssigkeiten oder Seifenmembranteile von den rotierenden Bezirken fester Körper insofern verschieden, als es sich hier um einen reinen Schwingungsvorgang handelt, ohne Bewegung der Masse selber, wie bei den Flüssigkeiten oder Membranteilen. Weiter wurden Schwingungszentren beobachtet, die nicht um eine vertikale Axe drehten, sondern im oberen Teil von innen nach außen, im unteren von außen nach innen, also um einen horizontalen Kreis in sich rotierten.

Durch unsere Methode kann man leicht Flüssigkeiten und vor allem deren Oberfläche zu Schwingungen erregen. Außer den erwähnten „Wirbeln“ entstehen ganze Schwingungsfelder; die einzel-

nen Wellenzüge durchkreuzen sich; es bilden sich netzförmige, gitterartige Muster aus. Doch treten in diesen bewegten Mustern die Klangfiguren selber in ihrer Ordnung hervor. (Besonders im schräg auffallenden Licht erkennbar.)

Bringt man eine dünne Flüssigkeitsschicht auf eine schwingende Platte, so entsteht ein wunderbares Spiel von Schwingungen. Die sich durchziehenden Wellenzüge, ihre Richtung und Stärke, ihre Bewegung und ihre gegenseitige Durchwirkung kann aufs beste beobachtet werden. Dabei sind in diesen *Bewegungsformen* die Muster der eigentlichen Klangformen im engeren Sinne gleichsam ausgespart. Die *Bewegung um* die Knotenlinien wird offenbar. Man hat sozusagen das dynamische Gegenbild der eigentlichen Tonfiguren vor sich. Mit leicht fließenden Flüssigkeiten erscheinen die Vorgänge außerordentlich deutlich. Da sich Oberflächen schwingender Körper benetzen oder berieseln lassen, kann man auch an schrägen, vertikalen und überneigten Flächen die Schwingungsfiguren erzeugen und betrachten. Dabei man zwei sich nicht mischende Flüssigkeiten zusammen, so entsteht bei kontinuierlichem Impuls mit *einer Frequenz von geeigneter Höhe eine pulsatorische, rhythmische, kreislaufartige Bewegung. Dieselbe entsteht im Flüssigkeitssystem selber, da nur eine Schwingungsart in das System geschickt wird. In die schwingende Flüssigkeit eingestreuter Sand formierte sich figural (z. B. zu den beschriebenen Schwingungszentren). Wird eine Flüssigkeit, die etwa durch Erkalten erstarrt, anhaltend in Schwingung versetzt, so können die Schwingungsformen in festem Zustand erhalten werden.*

Selbstverständlich läßt sich diese Methode ebenfalls bei Seifenmembranen, doch auch bei Stäben, Saiten, Membranen, Instrumenten und bei zahlreichen anderen Versuchsanordnungen anwenden.

Die Schwingungsformen können bestimmt werden nach ihren Zahlen- und Maßverhältnissen und in ihren Symmetriebeziehungen. Der Mineraloge Dr. Armin Günthert machte uns darauf aufmerksam, wie die Bestimmung nach Symmetrieebenen und vor allem nach Symmetrieachsen hier anwendbar ist. Es ist interessant, wie auch Professor Bergmann in seiner späteren Arbeit (1959) auf die *Symmetrieverhältnisse hinweist. Versucht man die Formen solchermaßen zu erfassen, so zeigt sich, daß ihre Prinzipien und ihre Gesetzmäßigkeiten in verschiedenen Gebieten zur Erscheinung kommen, und daß sich eine große Reihe von eigenartigen Beziehungen ergibt. So hatten wir Gelegenheit, einige Formenreihen dem Kunstforscher Professor Ueberwasser zu zeigen. Er fand eine wesentliche Übereinstimmung zwischen Bauformen und Klangfiguren. So sind zum Beispiel in den Grundrissen und Aufrissen romanischer Dome und gotischer Kathedralen dieselben Ordnungen mit verschiedener Zähligkeit, wie in den Tongestalten vorhanden. Wie in der Architektur, so sind in den Bodenwegen alter Tänze (Choreographie) Figuren, die mit den Tonbildern zusammengehen, erkennbar. Aber auch zahl-*

reiche Strukturen und Ordnungen der Natur lassen Formprinzipien und Gesetzmäßigkeiten im Sinne der Klangfiguren erkennen. In Blütendiagrammen, Blatttrissen, in Mineralgittern, in der Kristallographie, in chemischen Strukturen, in der Histologie, in geologischer Tektonik und in mancher anderen Erscheinung erscheinen Ordnungen und Bildungen, die in den Klangfiguren sich offenbaren. Es eröffnet sich hier ein wunderbares Feld der Betrachtung. Es handelt sich darum, die Bestimmungen so durchzuführen, daß erkennbar ist, ob es sich um echte und wahre Analogien handelt, ob wirklich ein tautologisches Element vorliegt. Wo ein solches gefunden wird, ergibt sich für die experimentelle Forschung eine außerordentliche Fragestellung: Wenn es Gestaltungen der Natur gibt, die in echter und wahrer Analogie zu den Klangfiguren erscheinen, so müssen Schwingungsverhältnisse denselben zugrundeliegen. Es darf als Hypothese gesagt werden: aller Morphologie, die den Tongestalten essentiell entspricht, muß eine dynamisch-rhythmische Phase vorausgehen oder zugrundeliegen. Dem Experiment müssen sich entsprechend dem jeweiligen Gebiet Schwingungsstrahlen, Schwingungsströme, Schwingungsfelder, Schwingungsräume ergeben.

Beim Gewährwerden der Strömungen und Drehungen wird wohl jeder Betrachter an „astronomische Verhältnisse“ erinnert werden. Man wird zunächst allerdings an eine bloß äußerliche, unessentielle Analogie denken. Jedoch kann folgender Gedanke gebildet werden. Die energetischen Zustände der kosmischen Systeme, ihre Differenzen und die daraus folgenden Bewegungen, müssen zu Schwingungserscheinungen führen. Nur in solchem Sinne sei es zunächst gewagt, das Problem aufzuwerfen, die dynamisch kinetischen Morphologien der Astronomie als Schwingungsphänomene und Schwingungsergebnisse aufzufassen. (Als Beispiel seien erwähnt die pulsierenden Sterne, dann die dynamische Morphologie der galaktischen Systeme, Spiralnebel.) Es darf nochmals betont werden, daß der Prüfstein der Tautologie bei der Beobachtung der Welt als Schwingungsgestaltung das A und O ist und bleibt.

Aus der *Empirie* erwachsen solche Frage- und Problemstellungen. Auf den Wegen der *Empirie* schreitend entzündeten sich diese Ideenformen als *Empirie*. Auf diesen Wegen stößt man auf den Erkenntnisgedanken Rudolf Steiners, daß „die Entstehung der geformten Materie richtig zu vergleichen ist mit der *Formung* der Klang- oder Tonfiguren, daß das nachbildliche Vorgänge der *Urvorgänge* sind, daß Form in der Materie starr gewordener Ton ist“ (1909).

Phänomenologisch fügt sich durch das Studium der Klangfiguren der Zahlenakustik und Hörakustik eine eigentliche *Gestaltakustik* an. Eine Art Urphänomen (im Goetheschen Sinne) kann man in der „atmenden Kugel“ erblicken.

★

Die Arbeit, über die hier ein Zwischenbericht vorliegt, soll folgendermaßen fortgesetzt werden:

1. Die Formen sollen weiterhin als solche studiert werden. Ebenso ihre Periodizität durch verschiedene Frequenzbereiche. Ihre Elemente sollen mit den Elementen anderer Morphologien verglichen werden.

2. Durch die einfache Methode ist es möglich, die Schwingungsvorgänge in Körpern darzustellen, die nicht einfach berechnet werden können, die aber trotzdem von höchster Wichtigkeit sind. Als Beispiel sei die Geige erwähnt. *Die Schwingungsformen der Geige und der Gitarre konnten so sichtbar gemacht werden.* (Auch die Vorgänge an einer Lautsprechermembran können auf diese Weise studiert werden.) Wenn die Formprinzipien solcher Klangkörper gefunden werden können, so ist die Aussicht möglich, Klangkörper, Klanggehäuse und dergleichen zu entwickeln, die „universal“ schwingen.

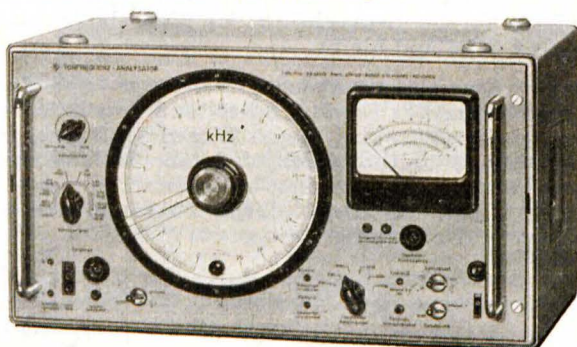
3. Es wird versucht, akustische Vorgänge spannungsoptisch sichtbar zu machen. In diesen Versuchen erhielten wir wertvolle Hilfe durch experimentellen Hinweis von Professor Bergmann. Dadurch wird ein Einblick in die raumplastische Welt der Akustik gewährt.

Auf eine Dokumentation durch Bilder wurde verzichtet, da es sich ja vor allem auch um Bewegungsvorgänge (Strömen, Pendeln, Rotieren, Schwingungsbilder usw.) handelt. Deshalb wurden die Erscheinungen in Filmen festgehalten.

Für die messtechnische Anwendung auf dem Gebiet der

SCHALL- UND SCHWINGUNGSFORSCHUNG:

DIN-Lautstärke-Schallpegelmesser, Oktavfilter und Sonefilter, Suchtonanalysatoren mit Zusatz- und Hilfseinrichtungen



ROHDE & SCHWARZ · MÜNCHEN 9

A Simple Method of Observing some Acoustic Phenomena

by

HANS JENNY

Interim Report, dedicated to Rudolf Steiner

Abstract. A simple method of observing some acoustic phenomena is reported on in aphorisms. This may stimulate the study of sound-patterns. If it helps the observer to develop an organ in himself with which to perceive forms of vibration, it fulfils its purpose. The inferences drawn were learned from the mysterious sound-patterns themselves and spring from a seeing-listening sense, as it were, called forth by the nature itself of these phenomena.

Preliminary Note. Two years ago, I heard Hermann Scherchen's Stereophonon for the first time. It was to me a deeply felt experience to hear, in this wonderful way, such utter *three-dimensional* orchestral reality, and it stimulated me to look for the laws governing these phenomena and to disclose the acoustic forms of time and space optically as well. This essay is an interim report on the progress of this work.

*

A simple method was used to observe some acoustic phenomena: for example, the body whose vibrations were under study was strewn with refined quartz sand, the vibrations being produced by an oscillator exciting a seignette salt crystal bedded in a thin film of plasticine. A simple experiment consisted in the use of a metal plate, for example; the crystal was stuck on a thin layer of plasticine at the desired place and excited by various frequencies, so that the well-known Chladni sound-patterns appeared in the sand strewn on the plate. The advantages of this method, which are evident already, become especially obvious to the person taking the trouble to obtain a first-hand knowledge of Chladni's own method (Chladni: *Die Akustik*, 1802). In our experiments, the pulse frequency and intensity are adjustable and therefore known exactly; the pulse location, pulse time; and the type of pulse transmission can be accurately determined, so that the experimental conditions are well under control and each test can be accurately repeated. In addition, *several* pulses can be sent *consecutively* or *simultaneously* into the same vibrating system, giving numerous relationships in many variations. Tests can also be carried out in systematic series.

A number of tests are to be described below.

In series of tests (up to a frequency of 50 kc/s), the *same* pattern is seen repeatedly to return, with rising pattern density, at accurate intervals. This corresponds to a law which Bergmann found also in the ultrasonic range (Ludwig Bergmann: *Der Ultraschall*, 1954, P. 637). *The described method allows these test series to be carried out very well indeed.*

The pulse type enables representation of the node lines as double formations.

It was also possible to follow easily the variations on the theme of one and the same pattern, as was already described accurately by Chladni (*Die Akustik*, 1802). Here we have a kind of metamorphosis: one and the same thing appearing under an ever changing aspect.

Simultaneous excitation of two patterns (e. g. intervals) results in a certain grouping, giving a new, third pattern.

Interference gives a particularly striking alternation of rest and motion or, with a suitable arrangement, of pulsation or oscillation of the lines. (This method is independent of irregularities in the material. Westphal, 1952: "Irregularities in the density, elasticity or shape of the plate material change the resonant frequencies and the position of node lines. The resonances are split, leading sometimes to audible interference, or beats; some modes of excitation, e. g. percussion, can also result in oscillations of the mode diameters about a mean position [Zenneck].")

An interesting observation here is that of chaotic vibration, resulting, not in a pattern, but in the likeness of a swarm of mosquitoes — the grains of sand whirl about.

The flowing and rotating vibration phenomena are most striking; the latter especially are full of interest. Numerous rotating regions are produced, mostly in pairs, one region rotating clockwise and the other in the opposite sense. This has nothing to do with eddies in flow theory. Prof. Bergmann, when informed about these phenomena, drew our attention to his experiments with soap membranes (1956) which also showed two regions rotating in opposite sense to each other. Similar phenomena could be produced in vibrating water, made visible by indian ink, or in drops of water on glycerine. (Attention might be drawn at this point to the pair of eddies found by Békésy in his model cochleae in 1928, and subsequently in those of corpses.) However, these liquids or soap-film parts in circular motion are distinct from the rotating regions of solid bodies in that the latter show pure vibration without entailing motion of the mass itself as in the liquids or film parts. A further phenomenon consisted of centres of vibration not revolving about a vertical axis but about a horizontal circle — from the centre towards the outside in the upper part and from the outside towards the centre in the lower.

Our method makes it easy to produce vibrations in liquids, especially at the surface. Not only the eddies already mentioned come about, but entire vibrating fields; the individual wave-trains cross, forming lattice patterns, within which the sound-patterns themselves appear with their design and can be easily observed in oblique light.

A thin liquid film on a vibrating plate produces a marvellous play of vibrations. The interlaced wave-trains, their direction and intensity, their motion and their reaction on each other can be observed extremely well.

But in these *moving* patterns, the actual sound-patterns seem to be scooped out: the *motion about* the nodes is revealed. This might be described as the dynamic opposite of the sound-patterns. Very mobile liquids show the phenomenon with a clarity which is extraordinary. The surfaces of vibrating bodies can be wetted or sprinkled, giving a means of observing the sound-patterns on sloping, vertical or overhanging surfaces. The use of two liquids which do not mix results in a pulsating, rhythmical, circulating type of motion when a suitable *single* frequency is continuously applied. The fact of a *single* frequency being used leads to the conclusion that this type of motion is produced by the liquid system itself. Sand strewn into the vibrating liquid formed patterns, e. g. in the vibrating centres mentioned. A continuously excited liquid which solidifies on cooling, will preserve the sound-patterns permanently.

This method can of course be applied also to soap membranes, as well as to rods, strings, diaphragms, instruments and numerous other experimental systems.

The vibrating patterns can be defined in numerical and dimensional terms and according to their relationships of symmetry. Dr. Armin Günthert, mineralogist, drew our attention to the applicability of planes and especially axes of symmetry here. It is interesting to note that Prof. Bergmann also mentions these symmetrical relationships in his later publication (1959). A more profound contemplation of the vibrating patterns along these lines shows that the principles and laws governing them are manifest also elsewhere, leading to a large number of singular relationships. We were able, for example, to show some of the series of patterns to the art researcher Prof. Walter Ueberwasser, who found an essential coincidence between architectural forms and sound-patterns. For example, the plans and elevations of romanic and gothic cathedrals show the *same orders*, with varying numerical density, as the sound-patterns. Old dance steps show in their choreography patterns closely related to the sound-patterns. Numerous structures and designs of nature show the same principles of form as the sound-patterns. The shapes of flowers and leaves, the arrangement of minerals, crystal optics, chemical structures, histology, geological tectonics and many other phenomena reveal the designs and forms of the sound-patterns. A wonderful field of contemplation is opened up here: the conditions must be chosen in such a way as to make it evident whether the analogy is true and genuine, whether there is a real tautological element. If this is found to be the case, an extraordinary problem is posed to experimental research: given forms of nature which are a true and genuine analogy to the sound-patterns, it follows that they must be based on forms of vibration. A hypothesis can be made: all morphology essentially corresponding to the sound-patterns must be based on or have

been preceded by a dynamic-rhythmic phase. The experiment must result in rays, currents, fields, spaces of vibration, as the case may be.

Anyone seeing the currents and rotations will be reminded of "astronomical relationships", although probably an external, inessential analogy will first come to mind. But the following thought can come: the states of energy of the cosmic systems, their differences and the resulting movement must lead to vibration phenomena. Only in this sense let us dare to pose the question of conceiving the dynamic-kinetic morphologies of astronomy as phenomena and results of vibration. (Examples: the pulsating stars, also the dynamic morphology of galactic systems and spiral nebulae.) Let it be emphasised again that tautology as the touchstone is and remains the Alpha and Omega in all observation of the world as expression of vibration.

The *experiment* is father to such questions and problems. Striding along the road of experiment, these ideas are kindled as experiment. Along this road we meet Rudolf Steiner's realisation that "the coming into being of *formed* matter can be truly compared to the *formation* of the sound-patterns, that these are processes imitating the original processes, that form in matter is solidified sound" (1909).

In phenomenology, study of sound-patterns adds another subject to mathematical acoustics and hearing acoustics: *acoustics of form*. One type of original phenomenon — an Ur-phenomenon, in Goethe's sense — can be seen in the "breathing sphere".

*

The work which is the subject of this interim report is to be continued as follows:

1. The study of the forms as such is to be continued, as well as their periodicity through various frequency ranges. Their elements are to be compared to the elements of other morphologies.

2. The simple method makes it possible to illustrate vibrations of bodies which cannot be easily calculated but are nevertheless of the utmost importance, for example the violin. *The modes of vibration of the violin and the guitar can be made visible*. (Loudspeaker diaphragms can be studied in like manner.) If the principles governing the vibration of such bodies can be found, the possibility follows of developing sound-boxes, acoustic enclosures, etc., with "universal" vibration.

3. An attempt is being made to make acoustic processes visible by strain optics. Valuable suggestions for experiment were given in this regard by Prof. Bergmann. The three-dimensional world of sound is disclosed here.

No illustrations accompany this report, as it deals above all with moving (flowing, oscillating, revolving, etc.) phenomena. For this reason, the events were documented by cinematography.

Psychoakustik und Musik

Tagebuchnotizen zum Festival de la Recherche Paris 1960

von

FRITZ WINCKEL

Er ist nicht leicht zu finden, dieser Salle des Agriculteurs, in einer Seitengasse nördlich vom Gare St. Lazare, wo vierzehn Tage lang experimentelle Kunst im breitesten Sinne demonstriert und über neueste Entwicklungen bei hochsommerlichen Temperaturen von 30° C hitzig debattiert wird.

In einem Festival de la Recherche präsentierte dort Pierre Schaeffer, der Initiator der Musique Concrète, neueste Arbeiten des reorganisierten Centre d'Etudes de la Radiodiffusion Française, neuerdings bemerkenswert durch die Einbeziehung des experimentellen Films. Wie anders aber ist die Atmosphäre gegenüber früheren Jahren: nicht mehr das extravagante Publikum mit dem schon äußerlich existentialistischen Anstrich, das grundsätzlich lüstern ist nach dem absolut Neuen, nicht mehr die Avantgarde der ganz Jungen, die Unmögliches zu wagen bereit sind. Viele sind dieselben von früher, aber das Wirtschaftswunder hat sie äußerlich verändert, und das, was sie vor Jahren heraufbeschworen haben, erweist sich nunmehr von einer so komplizierten Struktur, daß es der Durchdringung und mühseligen Analyse bedarf.

Musique Concrète, seit 1948 bekannt, kann nicht mehr mit dem „Reiz des Neuartigen“ operieren, wie im übrigen auch die Arbeiten der anderen elektronischen Studios, vielmehr gilt es jetzt, Bewährungsproben zu bestehen. Teilweise hat man sich an die naturalistischen Laute gewöhnt, die aus vielfachen Lautsprechern des Raumes kommen, aber man muß doch mit Überraschung feststellen, daß die ursprüngliche Prognose der Wissenschaft nicht gilt, man könne durch elektroakustische Verarbeitung das Kontinuum aller Klangfarben erhalten. Die mit elektronischen Mitteln erzeugten Leute haben ungewollt ihren spezifischen Charakter, so wie auch eine Orgel mit ihrem Reichtum an Registern stets den Orgelklang verrät. Die Auflockerung der montierten Lautgebilde erfolgt immer mehr durch die Schaffung von funktionellen Beziehungen zum Raum mittels verteilter Lautsprecher. Damit ist nichts gegen die elektrisch erzeugten Klänge gesagt, alle Erwartungen setzen wir auf den Komponisten. Es ist ein großer Arbeitskreis im Centre d'Etudes in der Rue de l'Université geworden und die Unterhaltung mit einigen von ihnen, I. Xenakis, L. Ferrari, M. Philippot zeigt, daß sie beim Eindringen in die neuartigen Lautstrukturen sich mit psychoakustischer und neuerdings auch elektroakustischer Wissenschaft beschäftigen, um den merkwürdigen Gesetzen der sinnlichen Perzeption auf die Spur zu kommen.

Im Studio, das von Pierre Schaeffer geleitet wird, kann man beobachten, wie vor der Komposition zunächst das Experiment steht, das Spiel mit Generatoren, Filtern und Magnettonspeichern variabler Geschwindigkeit, was Gesetzmäßigkeiten offenbaren soll. Schon lange weiß man, daß akustische Kenntnisse dafür nicht ausreichend sind. Es gilt wie auch in früheren Zeiten, man muß zuerst das hören lernen, was man als Idee auf Papier oder Magnetband gebracht hat.

Die Séances an manchen Nachmittagen im Rahmen des Festivals bringen manche Aufklärung. Am Verhandlungstisch finden sich Spezialisten ein — Bernhart, Brillouin, Clonard, Leipp, Le Lionnais, Matras, Moles und Winkel — die in Gegenwart eines interessierten Publikums über das *Zeitempfinden in der Musik* diskutieren. Es stellt sich heraus, daß es ein Bezugsmaß dafür nicht gibt, denn die Sekundenteilung als ein objektives aus dem Kosmos abgeleitetes Maß kann nur äußerliche Einteilungen im Sinne des Metronoms geben. Wenn ein Zeitempfinden bei genügender Dichte der akustischen Information gar nicht aufkommt, so ist dennoch der Musikausdruck als Ganzes, also auch in den Raumkoordinaten, eine Abbildung auf eine Zeitskala, wie die Impulsserien im Nervensystem erweisen. Ein relatives Bezugsmaß für die Perzeption läßt sich in der Zeitkonstante finden, die als „menschlicher Moment“ — schon seit einem Jahrhundert bekannt — die spezifische Hörweise des Menschen gegenüber dem Tier kennzeichnet.

Die Form des konzentrierten Symposiums führte anschließend zu persönlichen Kontakten mit Forschern, die in Richtung der Physik, der Biologie, der Philosophie, der Raumakustik orientiert sind. So konnte der Verfasser mit M. und Mme. Busnel in deren großzügig angelegten Institut in der Nähe von Versailles über das Verhalten von Insekten und Fischen sprechen, um daraus Schlüsse für das aus Gründen der akustischen Perzeption wichtige biologische Moment zu ziehen und die akustische Umwelt von Tieren aus deren spezifischen Verzerrung des Informationskanal kennenzulernen.

Im Gespräch mit dem Physiker L. Pimonow, wiederum unter schattigen Bäumen weit außerhalb der lärmenden banlieue, wird ersichtlich, daß die ominöse Zeitkonstante von 50 ms eigentlich nur in ihren Reaktionen bekannt ist, nicht aber ihr Ursprung quasi als eine biologisch eingebaute Quarzuhr. Merkwürdig ist, daß die von v. Békésy ermittelte Integrationskonstante peripheren Ursprungs (Basilarmembran) von gleicher Größenordnung ist wie der genannte Wert.

In der Begegnung mit J. Bernhart im Bois de Boulogne kommt zum Ausdruck, wie die Bauweise von Konzertsälen über die Echogrenze, die der gleichen Zeitkonstante unterliegt, wiederum dem menschlichen Maß unterliegt und im besonderen die Größe der Räume ein kritisches Maximum nicht überschreiten darf, was sich aus der Folge der akustischen Rückwurfimpulse ergibt.

Besonders lebhaft wird die Unterhaltung mit A. Moles beim Cous-cous-Essen am Montmartre in Richtung der philosophischen Auswertung der Informationstheorie. Es eröffnen sich neue Perspektiven durch Einführung von Begriffen der „konstruktionellen“ Komplexität des Aufbaus einerseits und der „instrumentellen“ Komplexität der Gebrauchsmöglichkeiten von Gegenständen der Wahrnehmung, woraus dann im Diagramm sichtbar ein „Gebiet des Schöpfungsvermögens der Maschine“ gipfelt.

Nicht minder anregend war der Einblick in die Welt der Geigentöne, die mir E. Leipp in dem berühmten Käse-Restaurant in der Rue d'Amsterdam eröffnete. In Klangfarben-Untersuchungen leitet er aus der Lage der Formanten zum Grundton einen „Konsonanz- oder Dissonanzgrad“ ab. In dem Gespräch über die Funktion der einzelnen Elemente der Geige — Nachgiebigkeit des Halses, Schwingfähigkeit des Steges usw. — stimmen beide Partner darüber überein, was für ein unmögliches Instrument die Geige im Laufe der jahrhundertelangen Entwicklung geworden ist. Der Verfasser hat dies früher einmal vom Standpunkt der physiologischen Haltung nachgewiesen.

Nach soviel theoretischen Gesprächen bot es eine gewisse Genugtuung, in einem Hotel im Quartier Latin zu beobachten, wie H. Scherchen an einem Vormittag der Reihe nach junge Komponisten empfing und deren Partituren auf ihre Verwendbarkeit prüfte. Immer wieder ertappt sie der gestrenge Mentor dabei, wie sie Noten schreiben, die durch den Verdeckungseffekt gar nicht hörbar werden können oder bei denen etwa die Addition von Tönen nicht nach der spektralen Beschaffenheit vorausgesagt werden kann. Bei dem anschließenden Bummel auf dem Boulevard St. Germain vertraut er mir seine Sorge an, wie die jungen Musiker zu sehr sich von elektroakustischen Prinzipien am Schreibtisch leiten lassen anstatt das Ohr einzuschalten.

Was dann aus der Fülle des Geschriebenen standhält, konnte man glänzend bestätigt bekommen durch Aufnahmen von H. Scherchen aus seinem Studio, die im Salle Gaveau mit großem Beifall aufgenommen wurden, „Lehrstück“ von Bert Brecht und Paul Hindemith sowie „Erwartung“ von Schönberg mit der direkt gesungenen Partie durch Helga Pilarczyk.

Die französische Metropole hat sich für das Experiment der Kunst als ein fruchtbarer Nährboden sowohl für die Entwicklung von Ideen als auch die praktische Realisierung erwiesen und in der weltoffenen Gastlichkeit als ein Forum des Gesprächs europäischer Geistesvertreter.

Aus der Fülle der mitgenommenen Schriften ist besonders zu erwähnen:

- R.-G. Busnel*, Quelques exemples de phonocomportement en présence d'un signal acoustique chez différentes espèces animales, *J. F. O. R. L.* 8, 1, 1959.
P. Schaeffer, Expériences musicales, *La Revue Musicale*, Sonderheft No. 244, 1959, 2. Sonderheft, Juni 1960.

- A. Moles, *Musiques expérimentales*, Editions du Cercle d'Art Contemporain, Paris 1960.
- E. Leipp, Thèse „Les paramètres sensibles des instruments à cordes“, Diss. Université Paris, erscheint demnächst.
- F. Winckel, *Vues nouvelles sur le monde des sons* (Traduction A. Moles et J. Lequeux d'édition allemande). Edition Dunod, Paris 1960.
- P. Barbaud u. R. Blanchart, *Algorithmes 1* (Productions Roland Douatte), Aufnahmen von Kompositionen, hergestellt mittels elektronischer Rechenmaschine „Bull“, auf Schallplatte.

Psycho-acoustics and Music

Diary Notes on the Festival de la Recherche, Paris, 1960

by

FRITZ WINCKEL

It is not exactly easy to find your way to this Salle des Agriculteurs, in a small side street north of Gare St. Lazare, where experimental art, in the widest sense of the term, is to be demonstrated, and latest developments heatedly argued about for a fortnight in midsummer temperatures of 85°.

Pierre Schaeffer, originator of *musique concrète*, presented the most recent accomplishments of the reorganised Centre d'Etudes de la RTF which now includes the experimental film. Festival de la recherche — but how different the atmosphere compared to former years: no longer we meet the eccentric spectators with the so obviously existentialistic look with a lust after the very latest on principle, no longer the avant-garde of the very young, ready to dare the impossible. Many faces are the same as before, yet prosperity has changed them; and what they conjured up in previous years has now turned out to be of so complicated a structure that it must now be mastered and analysed by hard work, bit by bit.

Musique concrète, known since 1948, has, just like the other electronic studios' products, lost its lustre of newness. It must now stand the test of time. We have become accustomed to many of the naturalistic sounds coming from the many loudspeakers around the room — but it is rather surprising to observe that it was a wrong scientific forecast that the continuum of all possible timbres could be obtained by means of electronics. The electronic sounds unintentionally have their specific character, just as the organ with all its variety of registers always betrays the characteristic

organ tone. It is becoming more and more usual to lighten the structure of any sound montage by using distributed loudspeakers to establish a functional relationship to the room. This statement is not to be interpreted as deprecating the electrically produced sounds — all our hopes rest on the composers. The group working at the Centre d'Etudes in Rue de l'Université has grown, and it turned out during the course of conversation with some of them — I. Xenakis, L. Ferrari, M. Philippot — that their attacks on the structure of the novel sounds entail the pursuit of sciences like psycho-acoustics and, of late even electro-acoustics, with which they hope to scent the track of the strange laws of perception.

The visitor to the studio directed by Pierre Schaeffer can see how all composition is preceded by experiments with oscillators and generators, filters, and variable-speed tape-recorders to store the experimental sounds, in the hope that laws will be revealed through observation. It is not news any more that a knowledge of acoustics is not enough for this. The old rule holds good still: you must first of all learn to hear the ideas you have stored on tape or on paper.

Much enlightenment can be had from the meetings held on some afternoons of the Festival in charge of a board of specialists — Bernhart, Brillouin, Clonard, Leipp, Le Lionnais, Matras, Moles and Winckel — who discuss the *sense of time in music* before an interested audience. It turns out that no standard of measurement for this exists, for the cosmically objective *second* can establish but a superficial metronomic relation. Even if the density of acoustic information is so great as to prevent the time being sensed at all, the music as a whole (including the space coordinates) will still be represented along a time scale — this is proved by the pulse series of the nervous system. A relative standard of measurement of perception can be found in the time constant, which has been known for a century to be a purely human attribute, distinguishing man's particular way of hearing from that of the animals.

This concentrated symposium was conducted in such a way as to make personal contact inevitable with research workers in physics, biology, philosophy and architectural acoustics. The author was able to visit M. and Mme. Busnel at their liberally equipped institute near Versailles for a discussion on the behaviour of fish and insects, drawing valuable conclusions on the acoustic environment of animals as seen from their specific distortions of the information channel.

Going for a walk with the physicist L. Pimonow, in the pleasant shade of trees far from the noisy *banlieue*, I was able to learn that the ominous time constant of 50 ms is known only by its effects, not in its origins as a biologically built-in quartz clock. The remarkable thing is that the inte-

gration constant of peripheral origin (basilar membrane) found by Békésy is of about the same order of magnitude.

Conversation with J. Bernhart in the Bois de Boulogne on concert hall design showed how the echo limit, which depends on the same time constants, depends again on man as the measure, and especially how the hall size must not exceed a critical maximum value deduced from the sequence of echo pulses.

Discussion with A. Moles over a meal of *cous-cous* at Montmartre became particularly lively. Looking at information theory from the philosophical standpoint, Moles opens up new vistas by introducing the concepts of "constructional" complexity (of structures) and "instrumental" complexity (of their applications) of the objects of perception; this enables him to show in a diagram "the machine's sphere of creative activity".

What I heard from E. Leipp in the famous cheese restaurant in Rue d'Amsterdam about violin tone was no less stimulating. When testing the timbre of an instrument, Leipp uses the position of the formants relative to the fundamental to deduce a "degree of consonance or dissonance". Talking about the function of the parts of a violin — suppleness of the neck, ability of the bridge to vibrate, etc. — we both agreed that centuries of development have turned the violin into an impossible instrument; this is something I have previously shown from the point of view of physiological posture.

After such a lot of theory, it was gratifying to watch H. Scherchen receive one young composer after another in his hotel in the Quartier Latin one morning to test the practicability of their scores; and the severe mentor kept catching them in the act of writing notes which cannot be heard because of masking, or where the addition of notes cannot be predicted by the spectrum. Sauntering then along Boulevard St.-Germain, he confided in me his concern about the young musicians taking their cue far too much from electro-acoustics at their writing-desks instead of following their ears.

A splendid confirmation of what, out of the vast amount written, stands the test of time, could be had in Salle Gaveau, where recordings which Scherchen had made in his studio were received with much applause. They were "Lehrstück" by Bert Brecht and Paul Hindemith and Schoenberg's "Erwartung", the latter with Helga Pilarczyk as live soloist.

The French capital proved to be a fruitful ground for the experiment of art, not only for the development, but for the turning into practice, of ideas. Its hospitality, open to the whole world, made it a forum of discussion for eminent representatives of European culture.

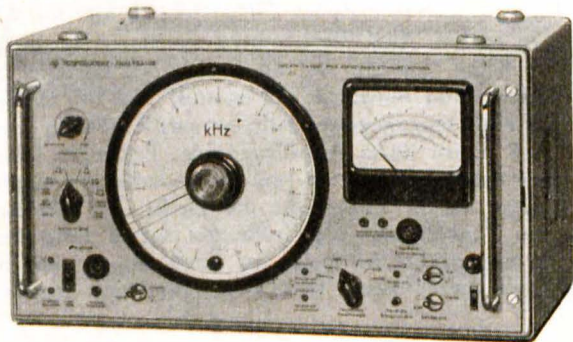
Out of the large amount of literature taken along, the following publications deserve special mention:

- R.-G. Busnel*, Quelques exemples de phonocomportement en présence d'un signal acoustique chez différentes espèces animales, *J. F. O. R. L.* 8, 1, 1959
- P. Schaeffer*, Expériences musicales, *La Revue Musicale*, special issue no. 244, 1959, 2nd special issue, June 1960
- A. Moles*, Musiques expérimentales, Editions du Cercle d'Art Contemporain, Paris, 1960
- E. Leipp*, Thèse "Les paramètres sensibles des instruments à cordes", Thesis for the University of Paris, to appear shortly
- F. Winkel*, Vues nouvelles sur le monde des sons (Traduction A. Moles et J. Lequeux d'édition allemande), Dunod, Paris, 1960
- P. Barbaud et R. Blanchart*, Algorithme 1 (Productions Roland Douatte), disk recording of compositions by the electronic calculator "Bull"

For measurements in

ACOUSTIC AND VIBRATION RESEARCH:

D. I. N. standard Loudness Level Meters, Octave Filters, Sone Filters, Wave-form Analysers and Accessories



ROHDE & SCHWARZ · MUNICH 9 · GERMANY

Klangmaterielle Kräfte und Kunst der Musik*

von

HERMANN SCHERCHEN

Ein altes chinesisches Wort spricht von der „MUSIK DER NATUR“, wenn „der Wind auf allen Höhlungen der Welt spiele“ . . .

LAOTSE sagt, daß „der Mensch atmend ganz Luft werden müsse“ . . . um nicht der Vergänglichkeit zu unterliegen . . .

PLATO verdammt eine griechische Tonart weil sie verweichlichend die Wollust fördere und empfiehlt eine andere, welche die Kampflust stärkend die Männlichkeit entwickle . . .

Der taubstumm geborene JOSEPH SAUVEUR (1653—1716) aber schenkt der Akustik die Methode, mittels absoluter Schwingungszahlen die Tonhöhen zu bestimmen (und somit einen überall anwendbaren Stimmtön aufzustellen); sein „Echomètre“ (1697) bestimmt die Dauer der einzelnen erklingenden Töne und die Zeit der verschiedenen musikalischen Tempi; ferner verdankt ihm die Akustik das grundlegende Gesetz der Obertöne, von denen er feststellt, daß noch der 128ste (in der siebenten Oktave liegende!) wahrnehmbar sei. Joseph Sauveur zieht am Schluß seines „Neuen Systems der Musik“ die Folgerung, daß „die naturgegebenen, feststehenden *Eigentöne* aller Klangkörper nunmehr bestimmbar seien und daß jede Veränderung der Eigentöne eines Klangkörpers Aufschluß gebe über den jeweiligen Zustand seiner Substanz“ (!). Diese wissenschaftliche Vorschau Sauveurs hat sich inzwischen als prophetisch erwiesen. In der Tat hat zweihundert Jahre nach seinen Behauptungen die moderne Maschinenakustik angefangen, aus den Veränderungen des Klanges bei aufmontierten Dynamomaschinen Fehlerquellen festzustellen, die bis dahin unentdeckbar geblieben hatten. Auch die störungsfreie Materialprüfung mit Ultraschall liefert im Sinne Sauveurs Aufschluß über den Zustand der Substanz eines Werkstückes. Und durch die Erkenntnis, daß bei Erhöhung der Druckspannung eines eingespannten Körpers eine Erhöhung seines Tones eintritt, wenn man diesen durch Anschlagen zum Erklingen bringt, werden Menschenleben gerettet: Bergleute (und Tunnelarbeiter) klopfen, beim Begehen von Stollen, an die Holzstücke der Decke und schließen aus der dabei erhaltenen Tonhöhe auf die Größe des darauf lastenden Gebirgsdruckes. Bemerkt man rasches Ansteigen der Tonhöhen, so muß durch Verstärkung des Einbaus dem Einsturz der Decke vorgebeugt werden.

*

* Vorwort zu dem Buch: „Musik in der Medizin“ (Dr. H. R. Teirich), Heilkunst-Verlag, München 2, Richard-Wagner-Straße 10.

Das erwähnte chinesische Wort und die Erkenntnisse Sauveurs hängen eng zusammen: als naturwissenschaftliche, der Beobachtung, dem Experiment und der mathematischen Darstellung zugängliche Tatsachen. Laotse's Äußerung und Platos Behauptungen dagegen eröffnen, mit der Behauptung über das Klangmedium Luft und der Aussage über die Wirkungen musik-künstlerischer Kräfte, jene ästhetischen und naturphilosophischen Zweck-spekulationen, die außerhalb objektiv anwendbarer Methodik liegen. Die Medizin hat in erster Linie mit solchen zu tun. Das Thema unseres Buches sollte deshalb vielleicht lauten: „Die klangmateriellen Kräfte und die Medizin“ statt: „Die Musik in der Medizin“ . . .

*

Über die medizinische Einwirkung der Musik als Kunst (z. B. in den Werken Bach's) und überhaupt über den Einsatz *künstlerischer* Werte zu Heilzwecken etwas aussagen zu wollen, scheint ebenso verfrüht, als verfehlt zu sein. Sich aber aller Schwingungsphänomene zu bedienen, mit denen das Klangmedium Luft tönend die menschliche Physis attackiert (so wie das geschieht etwa im „uns kalt den Rücken überlaufen machenden“ hohen Tenorton B eines Caruso); im Rhythmus jedes unweigerlich Jedermann in seinem Bann miteinbeziehenden Marsches; im wie ein Urphänomen uns erschüttert mitschwingen lassenden Timbre tiefer Gongklänge — das könnte wohl zur Grundlage einer medizinischen Disziplin werden, die diese Wirkungen erforscht und in Behandlungsmethoden umsetzt. Vielleicht würden dadurch sogar die Schlußworte von Sauveur's Exposéé von 1716 eine Realität von heut noch nicht zu ahnender Bedeutung gewinnen:

„Daß die Kenntnis der Eigentöne alles auf der Erde Existierenden und ihrer Veränderungen nicht nur die Erkenntnis des Wesens des Menschen und seiner wechselnden Zustände, sondern auch die der Tiere und aller sonstigen irdischen Erscheinungen erleichtert und daß, wenn das Altertum schon die Eigentöne der Dinge hätte fixieren können, wir heut wissen würden, wer die Alten waren und welches die wichtigsten Vorgänge während ihrer Existenz gewesen sind!“

The Forces in Sound and the Art of Music*

by

HERMANN SCHERCHEN

An old Chinese Proverb speaks of "NATURE'S MUSIC" when "the wind plays on all the world's cavities" . . .

LAO-TSE says that "man, breathing, must completely turn into air" in order not to succumb to the transitoriness of life . . .

PLATO condemns one Greek mode for encouraging effeminacy and lust, praising another for developing manliness through increasing the fighting spirit . . .

But JOSEPH SAUVEUR (1653—1715), deaf-mute from birth, gave to acoustics the method of determining pitch in absolute terms of frequency of vibration (and, with it, the basis to a universal standard pitch); his "Echometer" (1697) measured the duration of the individual sounds and the speed of the various musical tempi; thanks to him we have the overtone law — he found that the 128th overtone (in the seventh octave!) can still be heard. At the close of his "New System of Music", Joseph Sauveur comes to the conclusion that "the fixed, natural resonances of all sounding bodies can now be found and that any change in a sounding body's resonance is an indication of the state of its substance at the time". This scientific foresight of Sauveur's has since proved prophetic. Indeed, using acoustics, engineers began two hundred years later finding hidden material faults in assembled machine parts by changes in their sound. Non-destructive ultrasonic material testing gives an indication of the state of part, in Sauveur's sense. And lives are saved through the knowledge that increase of stress leads to a rise in pitch of a part when struck: miners and tunnel workers knock on the wooden overhead beams when entering a shaft — the pitch of the resulting note gives them information on the load. If the pitches rise rapidly, collapse can be prevented by pillar reinforcement.

*

The Chinese proverb and Sauveur's discoveries are closely related: they are scientific facts open to observation, experiment and mathematical representation. On the other hand, Lao-Tse's statement about sound's medium air and Plato's remarks on the power of the art of music embark on speculations of aesthetics and natural philosophy which are beyond ob-

* Preface to "Musik in der Medizin", special issue of "Die Heilkunst" edited by Dr. H. R. Teirich (Heilkunst-Verlag, Munich 37, Germany).

jective judgment. For that reason, the theme of our book should perhaps be "Medicine and the Forces in Sound", and not "Music in Medicine" . . .

*

I would hesitate before making rash statements on the medical value of music as an art (in the works of Bach, for example), or on the therapeutic application of *artistic* values in any form at all. But the use of all vibrating phenomena in which sound's medium air attacks the human body — just think of "the shivers sent down the spine" by Caruso's top C, of the march casting you under its spell by its irresistible rhythm, of the deep tones of a gong coming as if from another world, forcing you to vibrate in sympathy with its timbre — all such vibrations could well become the basis of a new branch of medicine by research into these effects and their transformation into methodical treatment. It may be that this will turn the closing words of Sauveur's Exposé of 1716 into a reality of undreamed-of importance:

"That a knowledge of the resonances of all things existing on the earth, and their changes, facilitates a knowledge not only of the nature of man in his changing states, but of the animals and of all that is on earth; and that, if all the resonances could have been determined in antiquity, we would know to-day who the ancients were and what important processes they were subject to during their existence".

Erfahrungen mit der doppelseitigen (stereophonen) Hörbrille

von

W. PISTONE

Die äußerst schwierige Gehörkurve des Verfassers (ziemlich normales Gehör bis zu 500 Hz, dann rascher Abfall innerhalb von 2 $\frac{1}{2}$ Oktaven und Totalverlust oberhalb 3000 Hz) ließ die Idee eines helfenden Hörgerätes immer wieder fraglich erscheinen. Unter 500 Hz wurde ein solches nicht benötigt, über 3000 Hz konnte es nicht helfen (auch das beste Gerät kann *fehlendes* Hören nicht verstärken). Ein sehr leistungsfähiges Röhrengerät, 1953 angeschafft, half wohl bei hören und spielen von Musik, weniger aber bei Sprache und praktisch überhaupt nicht, wenn in einer Gesellschaft Mehrere gleichzeitig sprachen (oder im Theater und bei Vorträgen, d. h. überhaupt in Räumen mit Nachhall). *Hörbrillen* schienen zunächst einiges zu versprechen, enttäuschten dann auch wieder infolge der — durch die Nähe des Mikrofons zum Ohr — begrenzte Verstärkungsmöglichkeit. In Dr. H. Michlers Experimentallabor der Hals-, Nasen- und Ohrenklinik an der Universität Freiburg i./B. fand ich dann Gelegenheit, eine *SIEMENS*-Hörbrille zu probieren, die meinen hohen Anforderungen gerecht zu werden vermochte.

Ein mehrmonatiges Erproben der Brille — von der Firm Siemens zu Verfügung gestellt — zeitigte einige so erstaunliche Ergebnisse, daß es mich Überwindung kostete, mein altes Taschengerät auch nur dazu zu benützen, um es mit der Brille zu vergleichen!

Zunächst wurden Taschengerät und *ein* Brillenbügel verglichen. Der Unterschied war unwesentlich. Da meine Gehörkurve sehr hohe Verstärkungen bei höheren Frequenzen notwendig macht (z. B. im Theater, wo die volle Verstärkung des *Taschengerätes* ausgenutzt werden konnte), machte sich bei der Hörbrille die die Verstärkung begrenzende Rückkopplung störend bemerkbar. Diese wurde wieder teilweise ausgeglichen durch die Bequemlichkeit ihrer Handhabung und das Fehlen von Nebengeräuschen (wie sie z. B. durch die Kleider beim Gebrauch des Taschengerätes unvermeidbar sind).

Bei der Mitbenutzung des zweiten Verstärkerbügels wurde das Bild ein völlig neues:

1) Es ergaben sich *mehr* hohe Frequenzen, wodurch Sprache und Musik an Deutlichkeit gewannen (eine mäßige Zweikanal-Verstärkung hat also viel größeren Wert als eine hohe einseitige).

2) Um sich bei einem Konversations-Durcheinander auf eine Stimme konzentrieren zu können, braucht man das Richtungshören: das gesunde

* SIEMENS-Hörbrille 325 S

menschliche Ohr hat die Fähigkeit, ungewünschte Richtungen „azuschalten“. Zum Richtungshören benötigt man aber 2 Ohren. Hier steht jeder Träger eines Taschen-Hörgerätes vor einem Problem: benützt er sein Gerät, so geht das Richtungshören verloren; benützt er es nicht, dann kann er die Stimme, die er „heraussucht“, nicht verstehen. Die Verwendung von zwei Taschengeräten gibt keine Lösung des Problems; die dann gewonnenen Wahrnehmungen der Richtungen können — bei Drehung des Kopfes — denen der Ohren selbst nicht entsprechen. Das Problem aber ist durch die binaurale Hörbrille gelöst. Jedes Auftreten in der Gesellschaft wurde mir nicht nur durch deren bessere Hörmöglichkeiten erleichtert, sondern dadurch, daß sie als Hörgerät nicht erkannt wird, auch menschlich angenehmer gemacht (war es für mich als Musiker doch immer besonders peinlich gewesen, durch den „Knopf im Ohr“ meine Schwerhörigkeit sofort öffentlich festgestellt zu stehen).

3) Überraschend war dabei die Beobachtung, daß sich das Richtungshören als von der Pegelbalanz zwischen den beiden Verstärkerbügeln praktisch unabhängig bewies (die Theorie mußte ja zu der Meinung verleiten, daß beide Seiten genau gleich einzustellen wären, was in der Realität ja kaum ausführbar ist). Dieses *mein* Ergebnis ist so wichtig, daß es bei *Anderen* nachgeprüft werden sollte; es könnte eine neue Untersuchung der Theorie des Richtungshörens nötig machen.

4) Oft muß man (z. B. beim Klavierspielen) den Lautstärkereglер des Taschengerätes auf eine genau vorher bestimmte Stellung setzen, damit die benötigten Höhen gut hörbar bleiben, ohne daß die Schmerzwellе überschritten wird. Für die meisten der Schwerhörigen ist dieses Problem kaum von Interesse, denn wer — außer einem ausübenden Musiker — käme schon in die Lage, das Hörgerät richtig einstellen zu müssen, *bevor* der Klang selbst anfängt (da er nachher dazu die Hände nicht mehr frei hat)? Dennoch sei erwähnt, daß diese Schwierigkeit bei der doppelseitigen Brille entfällt — wahrscheinlich weil deren bessere Qualität der Wiedergabe einen größeren „Spielraum“ zuläßt.

5) Der höchste Anspruch, den ein Hörgerät befriedigen soll, ist, in einem größeren Raum (Theater, Kino, Kirche, Vortragssaal) gut hören zu können. Dafür hatte ich früher immer die *volle* Leistungsfähigkeit des Taschengerätes ausgenützt. Die stereophone Hörbrille versagt indessen auch hier nicht. Nicht nur erwies sich die mäßige Verstärkung *beider* Ohren wertvoller (vielleicht auch gesünder?) als die hohe einseitige Verstärkung, sondern durch das Richtungshören ergab sich die Möglichkeit, den Nachhall dieser Räume gewissermaßen nicht *mit*wahrzunehmen, wenn deren Akustik auch nur einigermaßen akzeptabel war! Es ist der *Nachhall*, der es auch dem Rundfunktechniker auferlegt, das Mikrophon viel näher zur Schallquelle aufzustellen, als der mit zwei Ohren Hörende es nötig hätte. Allerdings muß eine Umstellung vorgenommen werden: der Nachhall ist *bewußt*

„auszuschalten“. So scheint es überhaupt nötig, daß die meisten Schwerhörigen, die analytisches Hören nicht so gewohnt sind wie der Musikausübende Verfasser, sich dem Gerät viel bewußter anpassen sollten, denn — : es würde sich lohnen!

Vorteile der stereophonen Hörbrille sind:

1. Ihre Unauffälligkeit (welcher Vorteil indes u. U. dadurch wieder aufgehoben werden kann, daß der Gesprächspartner sich nicht mehr bewußt bemüht, besonders deutlich zu sprechen).

2. Ihre Bequemlichkeit (es besteht kein Unterschied zwischen dem Tragen einer Hör- und Sehbrille, wenn man davon absieht, daß erstere kaum je auf die Erde hinabfallen könnte, da Ohrstücke sie festhalten).

3. Ihr kostenloser Betrieb (es gibt keine teuren Schnüre zu ersetzen).

4. Die Möglichkeit, damit selbst über größere Entfernungen bequem Ferngespräche führen zu können (was dem Verfaßer durch die Induktions-spule der Hörbrille zum ersten Male gelang).

Endlich bleibt zu bedenken, ob eine durch das Zusammenschalten beider Bügel *einseitig* gemachte Hörbrille nicht eventl. sogar als Kleinstrundfunkgerät ausgestattet, und so einem viel größeren Publikum als dem der Schwerhörigen dienstbar gemacht werden könnte.

*

Den ursprünglichen Antrieb, mir eine Hörbrille zu verschaffen, gab mir Hermann Scherchen, der meine Schwierigkeiten mit dem Taschengerät wohl erkannte. Sogar meine weiteren Fortschritte als Pianist waren gefährdet: nachdem es mir Scherchen ermöglicht hatte, mehr als ein Jahr in Gravesano als sein Schüler und elektroakustischer Assistent zu arbeiten, hatte ich die durch das Taschen-Hörgerät gesteckte Grenzen erreicht. Scherchen, der sein Leben der Überwindung unüberwindlicher Schwierigkeiten gewidmet hat, konnte das aber nicht befriedigen. Er ließ mich fortgehen mit der Aufforderung, den „Versuch auf Leben und Tod“ zu machen, ob Pianist oder nicht, und gab mir 1000 Franken für eine Hörbrille dazu.

Der Anfang war schwer. Es war mir in Gravesano klar geworden, daß ich, um Pianist zu sein, nicht mehr täglich 8 Stunden auf andere Weise Geld verdienen und danach müde meine wahre Arbeit tun konnte. Meine Zeit brauchte ich zu meinem Studium — und die 1000 Franken brauchte ich, um zu leben. Dr. H. Michler aus dem Freiburger Hals-, Nasen- und Ohrenlabor, mit dem ich bei seinem kurzen Besuch in Gravesano Freundschaft geschlossen hatte, war erstaunt über meine Fähigkeit, meine Hörwahrnehmung — somit auch meine Schwerhörigkeit — objektiv zu beurteilen, die sonst den vielen Schwerhörigen, mit denen er Umgang hat, völlig abgeht. (Es sind wohl weder Musiker noch Elektroakustiker unter ihnen!) Er schlug mir vor, meine Erfahrung der Hörgeräteentwicklung zur Verfügung zu

stellen und dadurch eine Hörbrille zu erwerben. Die Fa. *Siemens* verdient meine unbegrenzte Anerkennung, daß sie die Verwirklichung dieses Planes ermöglichte.

Heute, kaum mehr als ein Jahr danach, kann ich auf die Anfänge einer erfolgreichen Laufbahn zurückblicken. Aber ich habe auch erfahren, daß ich als Künstler und als Mensch eine besondere Aufgabe in der heutigen Gesellschaft habe — und erst diese, durch Überlegung gewonnene Überzeugung hebt die Frage, ob Pianist oder nicht, über das rein Gefühlsmäßige, Subjektive, ja Egoistische hinaus.

Experiences with the Use of a Stereophonic Hearing Aid*

by

W. PISTONE

The author's most unusual hearing-loss curve, with fairly normal response up to 500 c/s rapidly dropping to total loss at 3000 c/s, made the very idea of the use of a hearing aid appear questionable: there was no need for it below 500 c/s, while it could be of no use above 3000 c/s — the most powerful hearing aid is unable to amplify hearing which just is not there — so that the only benefit obtainable from it could be within the relatively limited range of $2\frac{1}{2}$ octaves between those two extremes. A very powerful valve aid, which I obtained in 1953, was of quite some help when playing or listening to music, not so much for speech, and of no use at all at a gathering when a number of people made conversation together or at lectures in reverberant halls, at the theatre, etc. I naturally followed closely all developments in hearing aid design; transistors were a step forward in that they reduced operating costs, but they did not seem to improve hearing quality. The invention of spectacle hearing aids seemed to hold much promise, but a trial was to disappoint me, for the short distance between microphone and ear made acoustic feedback inevitable above a very limited range of amplification. However, I eventually was able to try a *Siemens* spectacle aid in Dr. H. Michler's experimental laboratory at the Ear, Nose and Throat Clinic of the University of Freiburg; it seemed to be the only aid able to satisfy my admittedly high requirements.

* SIEMENS Type 325 S

A several months' trial of this aid gave some remarkable results, and I must admit that I had to force myself to use my old pocket aid again for comparison. However, such a comparison is of quite some interest and well worth the trouble.

The pocket aid was compared first of all to one side only of the spectacle aid: the difference was surprisingly slight, even though my audiogram necessitates extremely high amplification of the treble. Feedback, which is the limiting factor in spectacle aid amplification, occurred only under such extremely unfavourable operating conditions (e. g. at the theatre), as had demanded the pocket aid's full power; but this was compensated at least in part by the spectacle aid's convenience and the absence of all background noises such as caused by clothes rubbing against the pocket aid's microphone.

This state of things, already favourable, was still further improved by the use of both sides of the spectacle aid:

1. I was able to receive more treble, so that both speech and music gained in clarity. It follows that moderate two-channel amplification is of more value than high single-channel amplification.

2. Anyone wishing to pick a particular voice out of a babble of conversation uses his faculty of directional hearing to do so, for a person with normal hearing is able to *select* the listening direction desired. As directional hearing requires the use of both ears, the user of a hearing aid is faced with a problem: either he uses his aid and cannot pick out the desired voice, or he does not use it and cannot understand the voice he has picked out. This problem is not solved by the use of two pocket aids whose directional characteristics can correspond to those of the ears only if the user keeps his head still, but the stereophonic (double-sided) spectacle aid removed this difficulty completely. My appearance in society was facilitated also by the spectacle aid's discreet appearance, for it had been more embarrassing to me as a musician than perhaps to most other people to see my deafness being advertised, so to speak, by the "button" in my ear.

3. One surprising result was the fact that directional hearing through the aid was shown to be quite unaffected by the relative position of the volume controls to each other, for theoretical considerations would lead to the belief that perfect balance would be necessary between the two sides of the aid, while on the other hand this perfect balance can never be obtained in practical use. This result is, in my opinion, of sufficient significance to be checked by others — carried to its logical conclusion, it might necessitate a revision of the entire theory of directional listening.

4. With the pocket aid, it had often proved necessary — e. g. when playing the piano — to preset the volume control to an exact position in order to hear the maximum amount of treble without however exceeding

the threshold of pain. While this may be of no more than passing interest to the majority of the hard of hearing (after all, no one but a musician is ever likely to have to set the volume control before the sound starts as he does not have his hands free any more afterwards) it is worth mentioning that the spectacle aid obviates this necessity, probably because the improved quality of reproduction increases the useful range of any control setting.

5. A hearing aid's most difficult job is satisfactory rendering of speech in a hall, theatre, cinema or church: this is where I had made full use of my pocket aid's reserve of power, and I was quite surprised to find that the spectacle aid's relatively moderate amplification of the sound to both ears gave better listening than the pocket aid's extreme but one-sided amplification. Apart from the fact that the latter now seems to me to place an undue strain on the ear and might, from several points of view, be considered detrimental from the very fact of its one-sidedness (taking due account, naturally, of cases of unbalanced deafness), binaural listening enabled me to concentrate on the sound coming from the direction of the source, thus consciously masking out reverberation with its blurring effects, within reasonable limits. It must be remembered that it is this reverberation which makes broadcast technicians place their microphones much closer to the sound source than a live listener with two ears would have to be sitting. It must be admitted that this masking-out of reverberation was a conscious effort at first and had to be learned; it is, in fact, likely that most hard of hearing people may have to put more conscious effort into becoming accustomed to the aid than I had to do, as the practice of music has made the act of analytical listening habitual with me. But I am positive that no deaf person will ever regret having taken the trouble of learning to hear through an aid.

The spectacle hearing aid has some additional advantages: its discreet appearance has already been mentioned, although this can, on occasions, be a disadvantage — the sight of a prominent hearing aid makes people speak distinctly. As regards comfort and convenience, there is absolutely no difference between "hearspecs" and "seespecs", except perhaps that the former fit more securely, being held fast by the earmoulds. There are practically no operating costs whatever (neither is there an expensive cord to replace) and with the aid of the telephone coil I was for the first time able comfortably to carry on telephone conversations over long distances.

Finally, here is a point the designers might consider: why not combine both sides of a spectacle hearing aid in a single circuit to make a broadcast receiver? This would make a wonderful invention available to a far wider public than is made up by the hard of hearing.

*

The idea that I *must* replace my pocket hearing aid by a spectacle aid originally came from Hermann Scherchen who realised and understood better than I myself what difficulties the pocket aid was creating for me. It would have even jeopardised my further progress as a pianist: after I had been privileged to work as Scherchen's pupil and electroacoustic assistant at Gravesano for over a year, I had practically reached the limits imposed on me by my pocket hearing aid. That could never be good enough for a man like Hermann Scherchen who has spent a lifetime surmounting insurmountable difficulties. He sent me away with orders to decide the question of whether to be or not to be a pianist by a trial of life and death, himself backing my mission by a 1000 franc note for a spectacle hearing aid.

The beginning was by no means easy. It had become quite clear to me in Gravesano that I could no longer do my life's work as a pianist after a tiring 8 hours' working-day earning my living. I needed my time for my study — and the 1000 Swiss francs to live on. A way out of this dilemma was shown to me by Dr. H. Michler, of the Ear, Nose and Throat Laboratory in Freiburg, with whom I had become friendly on his brief visit to Gravesano. My ability of analysing all I hear amazed him, for among all the hard of hearing persons he had met in the course of his work, I was the only one with an objective view of his deafness. (There are perhaps no other musicians or electro-acousticians among them!) He suggested that I should place my experience at the service of hearing aid development, acquiring a spectacle aid at the same time, and it is with great pleasure that I can acknowledge my indebtedness to the *Siemens* Company for their part in making this plan a reality.

Little more than a year has passed since then and I not only can look back already over the beginnings of a successful career, but I have learned that I, as an artist and as an individual, have a job assigned to me in today's society. It is this conviction which raises the question of being or not being a pianist beyond the plane of mere personal inclination.

Ungelöste Probleme der Akustik und Elektronik

* * *

In einer Gesellschaft aufgewachsen, die an fixe, unveränderbare Wahrheiten glaubt, fällt es uns schwer, hinzunehmen, daß die wissenschaftliche Wahrheit von heute zum morgigen Irrtum werden kann. Widerspricht diese Tatsache auch ganz unserer Kultur, so ist der Grund dafür im Unterschied zwischen Gesellschaft und Wissenschaft zu suchen: ändern sich die Gegebenheiten nur sehr langsam, wie in einer Gesellschaft, die sie durch Sitten und Gebräuche sowie durch das Gesetz regelt, so neigt die „Wahrheit“ zum Absoluten; im Vergleich dazu ändern sich die Tatsachen der Wissenschaft sehr schnell — hier sind die Wahrheiten oft flüchtig und kurzlebig.

Von dem, was wir heute wissen, ist manches ziemlich gewiß, viel mehr ist ungewiß und ein sehr großer Anteil nur dunkel geahnt. Die Akustik knobelt über verwickelte Probleme der Schallfortpflanzung in nichthomogenen Stoffen, in welchen sich die Schallgeschwindigkeit von Ort zu Ort ändert. Auf dem Gebiet des Unterwasserschalls bleiben viele Fragen unbeantwortet, während man kaum unter der Oberfläche des Ultraschalls noch heruntastet. Die größte Schwierigkeit ist, wie immer, „anregende und strategische Fragen“ zu finden.

Unsere Kenntnis des Gehörs und der Schallerzeugung bei Tieren ist sehr gering — verstünden wir die wesentlich einfacheren Mechanismen der niederen Tiere, dann wären wir besser in der Lage, die richtigen Fragen über die höheren tierischen und menschlichen Organe zu stellen. Bringt die Evolution der verschiedenen Lebensformen auch die Entwicklung immer komplizierterer Organe mit sich, so sind diese meistens Zusammenstellungen der schon bestehenden, einfachen Organe. So besteht das Ohr aus Einheiten des primitiven Seitenorgans, von dem wir bestimmt viel über die Haarzellen lernen könnten, sind doch die verwickelten, aber so wichtigen Fragen der Anregung der Haarzellen, der Rolle der *Schubspannungen* und der Anregung der Nervenfasern durch die Haarzellen so gut wie gänzlich ungelöst.

Die Erscheinungen der Sprache verstehen wir verhältnismäßig gut, doch wissen wir noch nicht genau, wie alle die verschiedenen Laute entstehen und wodurch sie sich voneinander unterscheiden. Warum, zum Beispiel, klingen zwei Menschen verschieden, obwohl sie (soviel wir wissen) die gleichen Bewegungen mit ihren Stimmorganen ausführen? Über die Steuerung der Spracherzeugung durch das Nervensystem haben wir wieder nur sehr verschwommene Begriffe.

*** von: "WAVES AND THE EAR" by Willem A. van Bergeijk, John R. Pierce and Edward E. David, jr. (Science Study Series Anchor S. 9).

Die Wirkungsweise des Nervensystems ist zweifellos eines der größten noch bestehenden Rätsel für die Wissenschaft. Über die Wirkung des Axons wissen wir ziemlich Bescheid und über Dendrite und Synapse haben wir eine Ahnung; dabei wissen wir fast nichts darüber, wie die Nerven miteinander verbunden sind, über ihre Wechselwirkungen, wie sie schwierige Aufgaben der Vernunft lösen und die Zusammenwirkung der verschiedenen Teile des ganzen menschlichen Leibes (das Nervensystem selber mit inbegriffen!) gewähren. Die Erforschung des Nervensystems wird zu einer der größten Aufgaben der künftigen Wissenschaft werden. Alle Arten von Nervensystemen werden wir untersuchen müssen, von den verhältnismäßig einfachen des Regenwurms bis zu den überaus komplizierten des Menschen, physiologisch und psychologisch im Leben, und an Hand mathematischer und elektronischer Modelle.

Für den heutigen Gehörforscher wäre es vielleicht besser gewesen, wenn Fourier seinen berühmten Satz, daß auch die kompliziertesten Klänge sich in Reintonkomponente zerlegen lassen, nie entdeckt hätte, denn es war auch verständlich, daß man die einfachsten Klänge zur Erforschung des Gehörs verwendete, so daß fast unser ganzes Wissen darüber auf Reintonmessungen basiert. Leider sind reine Sinustöne auch die bedeutungslosesten aller Klänge. Die Klänge, die für uns etwas bedeuten — Sprache, Musik, Verkehrslärm — sind alles andere als Sinuswellen, und man glaubt immer mehr (in Widerspruch zum Ohmschen Gesetz), daß das Ohr mehr als ein Organ ist, welches komplizierte Klänge zu Sinustönen umformt. Ohr und Gehirn scheinen mit Klanggruppen zu arbeiten, deren konstituierende Sinustöne uns normalerweise nicht zum Bewußtsein kommen. Die spannendste und dankbarste Arbeit wird man im Bereich der *Gruppenerkennung* leisten. Aber wie geht man hier ans Werk? Das ist die wesentliche, strategische Frage, und man arbeitet zur Zeit daran in der Hoffnung, eine anregende Frage zu finden, die die ganze Arbeit auszulösen vermag.

Unsolved Problems of Acoustics and Electronics

* * *

We have been brought up in a society that believes in immutable and unchangeable truths. To accept the fact that in science today's truth may be tomorrow's fallacy goes against the grain of our very culture. It certainly looks like a real conflict, but perhaps the solution is not as difficult as it seems. If the state of affairs does not change very much, as in a society where it is fixed by laws and conventions, "truth" tends to become absolute; in science the state of affairs changes rapidly all the time, and truth is often volatile and short-lived.

Some of what is known today is reasonably certain, much more is uncertain, and a very large portion is only dimly understood. In fact, acousticians are wrestling with some vexing problems of sound propagation in inhomogeneous media, that is, substances in which the velocity of sound varies from one place to another. There are a great many unanswered questions in underwater acoustics, and in the field of ultrasonics (very high frequency sound) the surface has barely been scratched. The difficulty, as always, will be: how to find "stimulating and strategic questions."

Our knowledge of animal hearing and sound production is very scant. If we understood the much simpler mechanism in lower animals, we would find it easier to ask good questions about the higher forms and man. As forms of life evolve they acquire more complex and specialized organs, but most of these are built from existing, simpler organs, as, for instance, the ear, which is constructed from the *units of the primitive lateral line organ*. Certainly we could learn a lot about hair cells from the lateral line organ. The vexing problems of how the hair cells are stimulated, what role is played by the *shearing* forces, and how the hair cells eventually stimulate the nerve fibers are of great importance but are as yet almost entirely uncomprehended.

The phenomena of speech are relatively well understood, but we still do not know precisely how all the various sounds are produced and what distinguishes one from another. What, for instance, makes one person sound distinctly different from another, although both make (as far as we can tell) the same gestures with their vocal apparatus? About the control of speech production by the nervous system we have, again, only rudimentary ideas.

The operation of the nervous systems is, without a doubt, one of the very great remaining mysteries of science. We know fairly well how an

*** from: "WAVES AND THE EAR" by Willem A. van Bergeijk, John R. Pierce and Edward E. David, jr. (Science Study Series Anchor S. 9).

axon works, we have some glimmerings of knowledge about how dendrites and synapses work; but we know next to nothing about the way nerves interconnect, interplay, perform intricate logical operations, and keep the whole complex human body (including the nervous system itself!) in co-ordination. Research on the nervous system is going to become one of the major scientific endeavors in years to come. We shall have to study nervous systems of all kinds, from the relative simplicity of the earthworm to the utter complexity of man. We shall have to study the nervous systems in real life, physiologically and psychologically, and with mathematical and electronic models.

It is perhaps unfortunate for the student of hearing that Fourier ever discovered his famous theorem that all sounds, however complicated, can be considered as built up of many simple sine waves. It was only natural that hearing should be investigated with the simplest possible sounds; so almost all our knowledge is based on measurements with sinusoids. What is unfortunate about all this is that sine waves are also the most meaningless sounds that one can think of. The sounds that are meaningful to us — speech, music, traffic-noise — are anything but sinusoids, and the belief is rising (the contradictions to Ohm's Law) that the ear is more than an organ to break down complex sounds into sine waves. The ear and brain seem to operate on patterns of sound, and ordinarily we are not aware of the constituent sine waves in the pattern. The most exciting and profitable work is going to be done in this field of *pattern recognition*. But how do you go about it? That is the vital, strategic question, and people are presently working with it, trying to find a stimulating question that may start them on the way.

Erhaltung und Lagerung von Schallaufnahmen*

von

A. G. PICKETT und M. M. LEMOCE

III

II. Die Schallplatte

C. Die Kunststoffplatte (Fortsetzung)

Physikalische Deformierung als Folge der schlechten Lagerung

Hatten sich auch keine der untersuchten Platten chemisch verändert, so wurde eine ganze Anzahl solcher gefunden, die sich so geworfen oder anders deformiert hatten, daß man sie nicht mehr spielen konnte. Die Ursache dessen für den allgemeinen Fall der Kunststoffplatten wurde untersucht, denn *dieses Problem ist von weit größerer Bedeutung für die Lagerung der Kunststoffplatten als das des chemischen Zerfalls.*

Alle Stoffe bekommen durch dauernde Belastung eine permanente Deformierung, die sich mit der Zeit vergrößert. Bei den Thermoplastik-Stoffen ist diese Deformierung groß genug, um ihre Anwendung weitgehend zu beschränken. Die Belastung einer Kunststoffplatte durch das Gewicht anderer Gegenstände oder durch das Eigengewicht kann andererseits zu einem Abdruck auf der Oberfläche, der durch örtliche Deformierung der Rillen die Abspielqualität stören kann, andererseits zu einem Werfen der ganzen Platte führen, so daß man sie nicht mehr spielen kann. Mangels genügender Literatur über dieses Problem wurde eine Reihe von Experimenten durchgeführt.

Die mechanischen Eigenschaften der Hochpolymer werden gewöhnlich ermittelt, indem man auf dem Plan der Molekularstruktur analysiert. Es wird also ein theoretischer Begriff der Materialstruktur aus Labortests entwickelt, welcher dann das Verhalten des Materials nicht nur erklärt, sondern auch voraussagt. Das Material wird angesehen als ein kontinuierliches, aber nicht-homogenes System von Elementen verschiedener Eigenschaften und ähnlichen Maßen, deren Verhalten man durch ein mechanisches (oder mathematisches) Modell annähernd studieren kann. Die Gültigkeit dieses Begriffs (oder Modells) wird durch die Genauigkeit dessen Voraussage über das Materialverhalten beurteilt. In der Modellanalyse von Hochpolymeren in den Übergangs- und gummiartigen Stadien ist die innere Struktur bekannt genug, um jedes Modellelement seinem entsprechenden Molekularvorgang zuschreiben zu können. Dadurch kann das mechanische

* Library of Congress, Washington, 1959

Verhalten von Hochpolymeren in einer Weise vorausgesagt werden, die unter den Materialien einzigartig ist.

Das einfachste System gehört dem Thermoplastikstoff, z. B. PVC, dessen strukturelles Grundelement ein aleatorisch orientiertes, verwickeltes, langes Kettenmolekül ist. Da es sowohl starke als schwache Molekularkräfte gibt, antwortet das Material auf eine Kraft sowohl elastisch als auch zähflüssig zur gleichen Zeit (Viskoelastizität). Ist ein solches Material linear viskoelastisch und kann man es als unzusammendrückbar betrachten, dann ist die Analyse besonders einfach. Die vorliegende experimentelle Untersuchung der Plattenverwerfung als Folge von Gewichtsbelastung umfaßte die folgenden Schritte:

1. Messung der Poissonschen Zahl, um festzustellen, ob man inkompressible Deformation annehmen kann;
2. Feststellung, ob die innere Spannung in linearem Verhältnis zur Belastung steht;
3. Messung der Kriechdeformierungskonstanten;
4. Analyse der Ergebnisse und Abschätzung der Verwerfung bei der Lagerung.

1. Die Poissonsche Zahl wurde nach Timoshenko gemessen: ein Probestück einer typischen ungeschnittenen Vinylplatte wurde poliert und in eine Biegevorrichtung gespannt; ein optisches Prisma mit einem 45° Winkel wurde auf die Mitte des Probestücks gelegt, welches dann senkrecht zu seiner Oberfläche durch eine monochromatische Lichtquelle beleuchtet wurde; die Reflexion der Lichtinterferenzlinien im Prisma, photographiert und vergrößert (Fig. 6), ergab die Poissonsche Zahl. Sie war $0,44 \pm 0,01$, eine Zahl, die für einen wirklichen Stoff dem Wert von 0,5, bei dem das Material theoretisch inkompressibel ist, sehr nahe kommt.

2, 3. Die nächsten zwei Schritte erforderten die Konstruktion besonderer Apparaturen. Diese Messungen bei einem Thermoplastikstoff sind besonders empfindlich gegen Temperaturschwankungen und mechanische Vibration und oft auch gegen Feuchtigkeit. Es wurde also eine geeignete Klimakammer (Fig. 7) gebaut, die die Temperatur innerhalb $\pm 0,05^\circ$, die Feuchtigkeit innerhalb $\pm 1\%$ hielt und die visuelle Beobachtung der Platten ermöglichte. Die Belastungsvorrichtung in der Klimakammer ermöglichte verschiedene Arten der Belastung. Linear veränderbare Differentialtransformatoren wurden verwendet, um Deflektionen bis zu 25 mm mit einer Genauigkeit von 0,025 mm zu messen. Die Apparatur wird in Fig. 8 gezeigt, wo die Klimakammer hochgehoben ist. Die Bedeutung der Beschriftung ist die folgende:

P ist der Belastungs- und Meßpunkt,

R ist die Gelenkkraft,

LEVER ist der Hebel, der P mit dem Transformator Kern verbindet,

L. V. D. T. ist ein linear veränderbarer Differentialtransformator Typ Shaevitz 500 SL, dessen Primärwicklung durch eine 6 V-Quelle erregt wird,

LOAD ist die Belastung, die durch den Transformator Kern mechanisch übertragen wird,

V. T. V. M. ist der Röhrenvoltmeter, der die Sekundärspannung des Transformators durch den Schaltkasten *SWITCHBOX* mißt.

Zunächst wurde das Linearitätsverhältnis Spannung - Belastung unter Bedingungen, die der nicht ganz senkrechten Lagerung entsprechen, gemessen. Da sich die Platte ziemlich viel werfen muß, um das Abspielen zu beeinflussen, mußten verhältnismäßig große Belastungen verwendet werden. Die Ergebnisse dieses Tests werden in Fig. 9 zusammengefaßt. Durch zwei einander gegenüberliegende halbrunde Stützen R_a und R_b wurden die Platten am Rande gehalten und durch zwei Gewichte P_c und P_d am Rande im rechten Winkel zu den Stützen belastet. Die Verrückungen der belasteten Punkte wurden bei 27° und 50% Feuchtigkeit 100 Stunden lang zeitabhängig gemessen. Diese Verrückungen wurden durch die Belastung dividiert und als eine Zeitfunktion aufgezeichnet. Zum Schluß wurde die bleibende Deformierung gemessen. Das Experiment zeigte, daß das Plattenmaterial annähernd dem idealen viskoelastischen Material entspricht, also die einfachste Analyse zuläßt, welche darin besteht, daß man ein mathematisches Modell des Materials konstruiert. Fig. 10 veranschaulicht es. Dieses Modell besteht aus zwei Elemententypen:

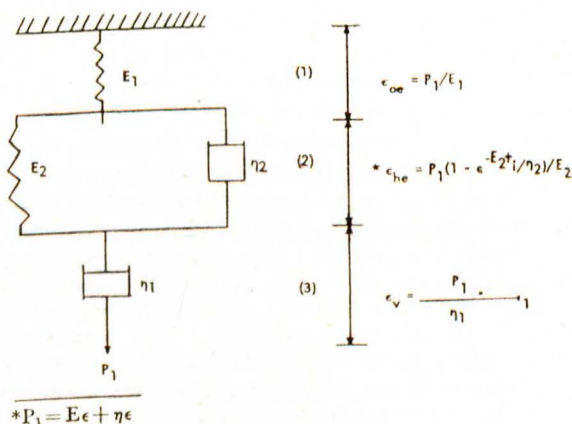


1. einer vollkommen elastischen Feder, deren Dehnung ϵ und Kraft P durch die Federkonstante E so verbunden werden: $\epsilon_i = \frac{P_i}{E}$ und



2. einem Kolben in einem Dämpfungszyylinder, dessen Geschwindigkeit $\frac{d\epsilon}{dt}$ und Kraft P durch die Viskositätskonstante η so verbunden werden: $\left(\frac{d\epsilon}{dt}\right)_i = \frac{P_i}{\eta}$

Diese Elemente stellen Einheiten zusammen, deren Spannung sich linear zu einer wirkenden Kraft verhält (s. Fig. 10). Dieses Modell ist nicht bloß



$$*P_1 = E\epsilon + \eta\dot{\epsilon}$$

$$\epsilon = (e^{-E t / \eta}) \left[\epsilon_0 + \frac{1}{\eta} \int_0^t P e^{E t / \eta} dt \right]$$

$$\text{if } P = \text{const.}, \epsilon = \epsilon_0 (e^{-E t / \eta}) + \frac{P}{E} (1 - e^{-E t / \eta})$$

Fig. 10 Modell der PVC-Molekularkräfte

eine Abstraktion — es illustriert die tatsächliche Bewegung der Moleküle. Wird eine PVC-Platte konstant belastet, so ergeben sich die folgenden Deformierungen:

1. eine sofortige Deformierung, die gewöhnliche elastische oder „glas-elastische“ Deformierung ϵ_{oe} . Hier wird interne Energie durch die Dehnung von Verbindungen oder Deformierung der Wertigkeitswinkel gespeichert.

2. Eine zeitabhängige Deformierung, die „hoch-elastische“ oder verzögert elastische Deformierung ϵ_{he} . Hier wird die interne Energie durch Veränderungen der Konfiguration der Moleküle gespeichert. Die Hauptannahme dieser Theorie ist eine fast freie Drehmöglichkeit um die einfachen C — C Verbindungen, wodurch die ineinander verwickelte Form der Moleküle am wahrscheinlichsten zustandekommt. Eine äußere Kraft ändert diese Form und nach Entfernung dieser Kraft führt die Wärmetätigkeit allmählich zu den bevorzugten Formen. Hier hat man es nicht mit gewöhnlichen elasti-

schen Kräften zu tun, sondern mit einer statistischen Interpretation des zweiten thermodynamischen Gesetzes.

3. Eine zeitabhängige Deformierung, der Fluß. Diese stellt eine Energieverwandlung in translationelle Bewegung durch Brownsche Bewegungen oder die Verschiebung eines ganzen Moleküls dar. Es kann auch ein Nachlassen der chemischen Spannung darstellen.

Entlastung hat diese Folgen:

1. Sofortige Aufhebung der gewöhnlichen elastischen Deformierung,
2. zeitabhängige Aufhebung der verzögerten elastischen Deformierung,
3. keine Aufhebung des zähflüssigen Flusses: diese permanente Verformung heißt Kriechverformung.

Das Verhalten des wirklichen Materials wird angenähert, wenn man viele dieser Modelle parallelschaltet. Dann hat man die folgende Gleichung der durch eine plötzlich anfangende und dann gleichbleibende Belastung verursachten Gesamtdeformierung:

$$\epsilon_{\text{gesamt}} = n (\epsilon_{oe} + \epsilon_{be} + \epsilon_v)$$

wo n = Anzahl der Modelleinheiten.

Glücklicherweise kann diese Gleichung durch einfache Algebra vereinfacht werden:

$$\epsilon_{\text{gesamt}} = \frac{P_i}{E_i} [1 + f(t_i)] \quad (\text{s. Fig. 10})$$

oder

$$\epsilon_{\text{gesamt}} = \frac{P_i}{E_t}$$

wo E_t = ein zeitabhängiger Deformationsmodul.

Obwohl das Modell für einfache direkte Belastung entwickelt wurde, kann das Prinzip mit voller Gültigkeit auf jede mögliche Belastung erweitert werden. Das Prinzip besteht darin, daß man den gewöhnlichen Elastizitätsmodul in den Deformierungsberechnungen durch den zeitabhängigen Modul E_t , der eine sehr komplizierte zeit-, sowie temperaturabhängige, aber empirisch zu ermittelnde Funktion ist, ersetzt.

Ist die Zeitskala der Voraussage von derselben Größenordnung wie die Zeitskala des Experiments, so kann durch eine Technik der Kurvenaneinanderpassung E_t erfolgreich angenähert werden. Viel wirksamer aber ist das Prinzip der Zeit-Temperatur-Superposition oder die Methode der reduzierten Variablen von Leaderman, Tobolsky und Andrews. In diesem Prinzip wird angenommen, daß die Zeitfunktion bei einer Temperatur gleich der Zeitfunktion bei einer anderen Temperatur mal einem Konstant ist, also kann man Kurven von E_t oder $\log E_t$ gegen $\log t$ durch waagrechte Verschiebung parallel zur $\log t$ Achse übereinanderstellen. Also kann man

eine allen Temperaturen und allen Zeiten entsprechende Materialkurve von E_t ermitteln, indem man viele kurze Tests bei verschiedenen Temperaturen ausführt und die resultierenden Kurven übereinanderstellt. Die Gültigkeit dieser Methode ist schon bei vielen linearen viskoelastischen Polymeren über der Glas-Übergangs-Temperatur erwiesen worden und wurde hier angewendet.

Kurzfristige Tests der Platten, die wie in dem Test der linearen Viskoelastizität unterstützt und belastet wurden, zeigen, daß die Verschiebung der Belastungspunkte die folgende Gleichung befolgte:

$$y = 1,560 \cdot 10^7 \cdot \frac{P}{E} + 4,22 \cdot 10^8 \cdot \frac{q}{E}$$

y = Deflektion (mm)

P = Konzentrierte Last

q = über die ganze Plattenfläche gleichmäßig verteilte Last

E = Elastizitätsmodul.

In dieser Gleichung ersetzt man bloß E durch E_t , um sie aus einer Elastizitätsgleichung, mittels derer man Deflektion als eine Funktion der Belastung ermitteln kann, in eine solche, mittels derer man die Deflektion als eine Funktion sowohl der Belastung als auch der Zeit ermitteln kann, zu verwandeln.

Es wurde die gleiche Apparatur wie für die Linearitätstests für eine Experimentenreihe zur Ermittlung von E_t verwendet. Drei gleichartig belastete Platten wurden in jedem Test verwendet und die Deflektion abhängig von der Zeit gemessen (Fig. 11). Feuchtigkeit war konstant bei 50% und die Tests dauerten 1000 Stunden bei konstanter Temperatur. Tests über 43° waren wegen störender Deformierung durch andere Ursachen wertlos. Die Ergebnisse dieser Tests sind in Fig. 12 zusammengefaßt und Fig. 13 ist die Hauptkurve, die sich aus der Übereinanderstellung der Kurven der Fig. 12 ergibt.

In der empirischen Gleichung, multipliziert mit dem Sinus des Winkels zwischen der Plattenachse und der Senkrechten, wurde dieses E_t eingesetzt und die Deformierung einer solchen Platte, die 20 Jahre bei 27° unter einem Winkel von 10° zur Senkrechten gelagert wurde, geschätzt (Fig. 14). Da die Hauptkurve zeigt, daß die Deformierung die gleiche sein würde, wenn die Platte unter demselben Winkel 1000 Stunden bei 43° gelagert würde, wurde diese Probe bei drei Platten durchgeführt und die vorausgesagte Deformierung in jedem Fall mit der zu erwartenden Genauigkeit erreicht.

Diese Ergebnisse zeigen, daß eine Kunststoffschallplatte viele Jahrzehnte senkrecht gelagert werden kann, ohne daß sie sich allzuviel wirft, so lange man folgende Maßnahmen beachtet:

1. die Temperatur muß mäßig bleiben ($< 27^{\circ} \text{C}$),
2. die Plate muß so senkrecht wie möglich gelagert sein,
3. es muß verhindert werden, daß die Platten einander belasten.

Eine Untersuchung der waagrechten Lagerung zeigte, daß die übermäßige Belastung der Zwischenräume zwischen den Rillen einen Oberflächenabdruck, der die Abspielqualität beeinträchtigt, verursacht. Man würde zunächst denken, daß die Oberflächen von waagrecht gelagerten Platten gleichmäßig belastet seien, aber dies trifft leider erst zu, wenn die Oberfläche schon so deformiert ist, daß sie in ihre Umgebung genau hineinpaßt. Sind z. B. Falten im Plattenumschlag oder Staubkörner zwischen den Platten, dann muß das ganze Gewicht durch diese Berührungslinien oder -punkte übertragen werden, bis die Falten oder Staubkörnerchen so tief in die Plattenoberfläche eingedrungen sind, daß weitere Teile der Oberfläche in Berührung kommen. Fig. 16 zeigt den Abdruck eines zerknitterten Plastikumschlags in einer Plattenoberfläche durch eine 100-stündige Belastung von drei anderen Platten bei 43° . Fig. 17 zeigt den Abdruck von Wellpappe auf einer Platte aus der Library of Congress (diese Platte hatte sich außerdem wegen Nachlassen der mikroskopischen Spannungen sehr geworfen).

Dieser Teil der Untersuchung bildet die Grundlage des Vorschlags, daß Kunststoffplatten senkrecht gelagert sein sollen.

Deformierung durch Restspannungen

Viele Platten werfen sich auf eine durch das vorhergehende noch nicht zu erklärende Weise. Die Form und die näheren Umstände der Deformierung zeigen, daß sie durch Restspannungen von der Pressung herrühren.

In einem Thermoplastikstoff gibt es zwei Arten von Restspannungen, die solche Deformierungen verursachen können: wir werden sie makroskopische und mikroskopische Spannungen nennen. Beschreibt diese Benennung die eigentlichen Spannungsmechanismen nicht, so ist sie doch am bequemsten.

Die makroskopischen Restspannungen sind wirkliche auflösbare Spannungen und fallen unter zwei Typen: Gegenkraftspannungen und Schichten-
spannungen. Ein sehr gutes Beispiel der Gegenkraftspannungen ist die Aufschumpfung eines Eisenreifens auf ein hölzernes Wagenrad. Es ist klar, daß die Zugspannung des Reifens durch Druckspannungen des Rades ausgeglichen werden. Diese Spannungen können berechnet werden, wenn man eine Speiche entfernt oder den Reifen durchschneidet und die entstehenden Größenveränderungen mißt. Schichtenspannungen können in einer Platte vorkommen als eine gleichmäßige biaxiale Zugspannung im Kern und eine gleichmäßige biaxiale Druckspannung in der Oberfläche, so daß die Kräfte über die Plattendicke so verteilt sind, daß der Resultant und das Drehmoment beide gleich Null sind. In diesem Fall könnte man

keine Deformierung beobachten, wenn man ein Stück der Platte durch die ganze Plattendicke ausschneidet, sondern man kann diese Spannungen dadurch ermitteln, indem man Schicht nach Schicht von der Oberfläche entfernt und dann die Deformierungen mißt. In beiden Fällen handelt es sich um gewöhnliche Elastizität und die Deformierung findet sofort statt.

Fünf Jahre alte handelsübliche Platten, sowie für diesen Zweck besonders hergestellte Leerplatten wurden auf die Anwesenheit makroskopischer Spannungen geprüft. In besonders gewählten Konfigurationen wurden die Platten angerissen und dann mit einer Drehbank in Ringe geschnitten; die Anrisse wurden vor und nach Zerbrechen der Ringe gemessen, hatten sich aber nicht verändert. Eine andere Konfiguration war ein Muster in der Form eines Y, welches in die neuen Platten hineingepreßt und in die alten gebohrt wurde. Nach dem Zerschneiden der Platten mit einer Säge wurde auch dieses Muster unverändert wiedergefunden. Reaktionsspannungen in den Platten waren also nicht nachweisbar. Die soeben erwähnten abgesägten Stücke wurden noch einer weiteren Prüfung unterzogen, indem von einer Fläche eine Schicht nach der anderen abgefräst oder abgeätzt wurde. Es gab wieder keine Maßveränderungen, welche Schichtenspannungen andeuten hätten. Es wurden genügend Tests durchgeführt, um zu zeigen, daß keine makroskopischen Restspannungen von einer Größenordnung, um die geprüften Platten zu krümmen, bestehen.

Die mikroskopischen Restspannungen, obwohl keine wirklichen auflösbaren Spannungen, können genau so wie die makroskopischen Restspannungen deformierend wirken. Hier hat man es nicht mit gewöhnlicher sondern mit „hoher“, also zeitabhängiger Elastizität zu tun. In einer Sammlung langer Moleküle gibt es eine Molekularkonfiguration, die statistisch am häufigsten auftritt, zum Beispiel



a. Die statistisch wahrscheinlichste Molekularkonfiguration

Wird die durchschnittliche Molekularkonfiguration durch äußere Kräfte verändert, so werden nach Entfernung dieser Kräfte die Brownschen Bewegungen das System zu der statistisch vorgezogenen Konfiguration zurückzubringen versuchen. Die Schranken der benachbarten Moleküle werden dies hemmen. Wirkt nun auf dieses Molekül eine Kraft F , so könnte im Grenzfall ein völlig orientiertes System gerader Molekülsegmente entstehen:



b. Ein völlig orientiertes System gerader Molekülsegmente, welches entsteht, wenn die intermolekularen Schranken groß genug sind, um eine Rückkehr des Moleküls zur entspannten, verwickelten Form zu verhindern

Erhöhung der Temperatur verstärkt die Brownsche Bewegung und vermindert die zur Schrankendurchbrechung nötige Energie; jeder Schranke entspricht also eine Temperatur, über welcher das Molekül *b* zur Form *a* zurückspringt, vorausgesetzt, die äußere Kraft, durch welche *b* zustandekam, ist nicht mehr wirksam.

Da die mikroskopischen Restspannungen, wie erwähnt, zeitabhängig sind, wird eine Temperaturerhöhung die zu ihrer Auflösung notwendige Zeit verkürzen. Sie hat aber auch eine andere Folge, nämlich die Auflösung von solchen Spannungen, die bei tieferen Temperaturen überhaupt nie stattfindet. Dies begrenzt die Gültigkeit dieser Ergebnisse bei erhöhter Temperatur, aber solche Experimente können immerhin die Anwesenheit solcher Spannungen bestätigen.

Diese Experimente wurden mit ähnlich gekennzeichneten Platten und Mustern wie vorher ausgeführt. Die Temperatur dieser Muster und Platten wurde in der Klimakammer allmählich erhöht. Alle Muster und Platten schrumpften zusammen und warfen sich in ähnlicher Weise wie bei gewöhnlicher Lagerung. Die Deformation war in allen Fällen die Folge von Schrumpfung infolge des Nachlassens der Molekularspannungen; die Platten warfen sich, da diese Spannungen nicht durchweg gleich sind.

Weitere Experimente wurden mit einem speziell konstruierten Apparat nach Dannis durchgeführt. Die Muster hatten sehr verschiedene Herkunft und Zusammenstellung, und die Ergebnisse machten die Bedeutung der mikroskopischen Restspannungen in jeder einzelnen Platte — auch mancher einige Jahre alter — unbestreitbar. Fast immer wurde die Schrumpfung progressiv größer von der Plattenmitte zum Rande hin; sie war oft an einer Oberfläche größer als an der anderen; die Größenordnung der linearen Schrumpfung war $0,1 \dots 0,2\%$, was zwar die Abspielqualität nicht beeinträchtigt, aber zur Krümmung ausreicht (s. Fig. 15).

Von dem Gesichtspunkt der langen Lagerung von Kunststoffplatten ist es entmutigend, festzustellen, daß die Auflösung von durch das Pressen verursachten mikroskopischen Restspannungen zu solch schwerer Deformation führt. Erstens ist die gekrümmte Fläche nicht abwickelbar, die Platte läßt sich also nicht flach „bügeln“ (s. Fig. 3). Zweitens können diese Spannungen nicht ohne das Auftreten von anderen Deformierungen durch Vergütung aufgelöst werden — sie entsprechen darin nicht den makroskopischen Spannungen, sind sie doch keine gewöhnlichen elastischen Spannungen

in einem statischen Gleichgewicht. Die einzige Möglichkeit, die mikroskopischen Spannungen zu verhindern, ist, den Preßvorgang zu verbessern, und die einzige Möglichkeit, die Deformationen zu verhindern, ist eine niedrige Lagerungstemperatur. Zum Glück ist die eigentliche Schrumpfung klein genug, um keine bedeutende Frequenzänderung hervorzurufen (die größte gemessene Änderung war von 10 000 Hz zu 10 060 Hz), daher wird sogar eine sehr gekrümmte Platte nicht zum Totalverlust, sei sie auch durch eine normale Apparatur nicht mehr abspielbar. Ein besonderer Tonabnehmer, der solche Platten abspielen kann, würde den derzeitigen Verlust vieler wertvoller Kunststoffplatten durch die Möglichkeit des Überschneidens verhindern. Einen solchen Tonabnehmer (für 45 Upm-Platten) gibt es in vielen Musikboxautomaten.

Deformation durch Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen

Temperaturschwankungen sind eine weitere Ursache der Krümmung, die sich von den mikroskopischen Restspannungen unterscheidet, obwohl sie dadurch wahrscheinlich beeinflußt wird. Kunststoffe haben sehr hohe Ausdehnungskoeffizienten und sind schlechte Wärmeleiter, außerdem herrschen oft verschiedene Zustände auf den zwei Plattenseiten. Die Oberflächenzustände können bei einer waagrecht gelagerten Platte besonders schlecht sein, da ein Temperaturgradient durch die Plattendicke bestehen kann, und die Ausdehnungsmöglichkeit der Platte kann auf beiden Seiten verschieden sein. Es folgt, daß jede Temperaturschwankung eine geringe, nicht umkehrbare Deformation mit sich bringt; diese Deformationen sind natürlich kumulativ. Es wurden Kunststoffplatten einer Reihe von 24stündigen Temperaturschwankungen zwischen 27° und -40° unterzogen. Die Höchsttemperatur war noch unter derjenigen, die während der Testzeit zu Krümmung durch die Auflösung der mikroskopischen Restspannungen geführt hatte. Die oberste Platte eines waagrecht gelagerten Stapels warf sich schwer in nur 5 Schwankungen, während senkrecht gelagerte Platten über 15 Schwankungen bestanden. In beiden Fällen war die deformierte Form konisch, so daß die Platten nicht wieder flach gelegt werden konnten.

Feuchtigkeitsschwankungen sowie hohe Feuchtigkeit allein hatten keine Wirkung auf die Vinylplatten, was von der geringen Feuchtigkeitsadsorption dieses Materials zu erwarten war.

Zusammenfassung

1. Der chemische Zerfall der Vinylplatten ist sehr langsam, solange die Platten vor ultravioletten Strahlen (z. B. direktes Sonnenlicht) und allzu hohen Temperaturen geschützt werden. Die Lebenserwartung ist von der Größenordnung eines Jahrhunderts. Durch die Stabilisatormessung kann die chemische Alterung kontrolliert werden.

2. Vinylplatten können sehr lange senkrecht gelagert werden, ohne daß sie sich durch Gewichtsbelastung werfen, solange die Lagerungstemperatur 27° nicht übersteigt und die Platten sorgfältig gelagert werden. Bedingung ist die Einrichtung besonderer Regale, die die senkrechte Lagerung gewährleisten würden.

3. Temperaturschwankungen sowie das Nachlassen von durch den Preßvorgang verursachten mikroskopischen Restspannungen führen zu schweren Deformierungen. Temperaturschwankungen können bei der Lagerung verhütet werden, aber das Bilden von Restspannungen kann nur im Preßvorgang selbst verhindert werden. Das Nachlassen dieser Spannungen kann durch niedrige Lagerungstemperaturen gehemmt werden.

4. Feuchtigkeitskontrolle ist bei der Lagerung von Vinylplatten nur als eine Maßnahme gegen Pilze (s. u.) wichtig.

D. Oberflächenschäden durch Pilze und hohe Kontaktspannungen

Arten der Oberflächenschäden

Die Untersuchung der gelagerten Schallplatten zeigte überall Oberflächenschäden, abgesehen von mechanischen Schäden durch Behandlung und Abspielen. Diese Oberflächenschäden waren: Oberflächenabdruck zwischen den Rillen, Ätzung der Rillenzwischenräume und -zwischenräume und Veränderungen der Oberflächenstruktur und der Rillenzwischenräume. War der Oberflächenschaden auch nicht auf die waagrecht gelagerten Platten beschränkt, so war er doch hier bedeutender. Wellpappe hinterließ den ausgeprägtesten Abdruck und Plastikumschläge waren nicht viel besser (s. Fig. 16 und 17).

Die möglichen Mechanismen dieser Schäden sind die folgenden:

1. permanente Deformierung durch hohe Kontaktspannungen zwischen Unregelmäßigkeiten der Platte und der Verpackung;
2. chemische Wirkung eines Bestandteiles der Verpackung auf das Plattenmaterial;
3. das Aufsaugen eines flüssigen oder flüchtigen Weichmachers durch ein poröses Verpackungsmaterial;
4. Pilzätzung des Plattenmaterials durch Pilze, die auf der Verpackung wachsen;
5. Migration eines Bestandteiles des Verpackungsmaterials in das Plattenmaterial.

Im Labor konnten nur die Mechanismen unter 1 und 4 nachgeahmt werden, was aber die Möglichkeit der anderen Mechanismen nicht ausschließt.

Pilzwirkung auf die Platten

Das Klima von Washington förderte diese Untersuchung. Drei Unterteilungen der Platten wurden vorgenommen:

1. Platten, auf denen Pilzsporen und Mycelien vorgefunden wurden in Verbindung mit sichtbarem Oberflächenschaden;
2. Platten mit sichtbarem Oberflächenschaden, der durch Pilzwuchs hätte entstehen können, welcher aber nicht direkt nachzuweisen war — der Pilzwuchs war wahrscheinlich durch Reinigung entfernt worden;
3. Platten mit einer Oberflächenätzung, die wahrscheinlich durch Ausscheidungen von auf den Umschlägen wachsenden Pilzen verursacht wurden.

Diese Einteilung war ziemlich willkürlich, aber diente zum Anfang. Die folgenden Muster waren vorhanden:

- a. eine geschichtete Platte mit einer Schellackschicht auf einem Pappkern hatte Schäden unter 1 und 3;
- b. eine Azetat-auf-Glas-Platte (Schaden unter 2);
- c. eine schellackartige Platte (2 und 3);
- d. eine Vinylplatte (3).

Zusammen mit neuen Azetat-, Vinyl-, Schellackplatten und schellackartigen Platten wurden diese Platten in eine chemische Probekammer gelegt (Fig. 18). Wellpappe, mit Pilzsporen infiziert, wurde auf die Platten gelegt. Die Temperatur wurde zwischen 21° und 27° gehalten, die Luft war feuchtigkeitsgesättigt und wurde dauernd gewechselt. Ein üppiger Pilzwuchs war bald auf der Pappe zu sehen und griff allmählich zu den Platten über.

Nach vier Wochen wurden die Platten untersucht. Es wurden die folgenden Pilzarten identifiziert: *Pencillia*, *Aspergilli*, *Mucor* und *Rhizopus*. Der üppigste Pilzwuchs war auf den Wellenlinien in Berührung mit den Platten, dann (in abnehmender Reihenfolge) auf der Pappenfläche, Azetatplatten, Schellackplatten mit natürlichen Wachsen, Schellackplatten mit Harzen aus Holz und Zuckerrohr, und gefüllten Vinylplatten. Platten aus Vollvinyl wurden durch auf benachbarten Gegenständen und Fingerabdrücken wachsende Pilze geätzt, ohne die Pilze aber selbst zu beherbergen.

Pilzmycelien waren auf der Oberfläche infizierter Platten mittels einer Handlupe und eines stereoskopischen Mikroskops deutlich sichtbar. Zu bemerken war, daß das Mycelium in die Rillen hineinwuchs — es wuchs also auf der Platte selbst. Während der mikroskopischen Untersuchung glatter Plattenstellen wurden sie sauber gekehrt mit einem Kamelhaarpinsel, um die Pilzätzung zu entdecken. Diese waren wegen ihrer unregelmäßigen Form von gewöhnlichen Kratzern, welche gerade oder leicht gekrümmte Linien sind, leicht zu unterscheiden; sie waren auch anscheinend

oberflächlicher. Eine kalkstein- und kohlenstoffgefüllte Vinylplatte wies sowohl Pilzwuchs wie -ätzung auf, obwohl alle diese Stoffe als pilzbeständig gelten. Die Kratzer auf der Oberfläche, die zu Geräusch führen, waren von derselben Größenordnung wie die Pilzätzung.

Infolge dieser Ergebnisse wurde beschlossen, Plattenmaterialien während eines halben Jahres den Pilzen auszusetzen. Rechteckige Probestücke (50×75 mm) wurden mit den folgenden Pilzarten infiziert: *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus terreus*, *Alternaria humicola*, *Fusarium* sp., *Penicillium* sp., und *Rhizopus nigricans*. Sie wurden zwischen Wellpappe in feuchten Kammern bei Zimmertemperatur ($22 \dots 31^\circ$) aufbewahrt. Eine weitere Probestückgruppe wurde in einer Kühlkammer bei $3 \dots 5^\circ$ und $55 \dots 85\%$ Feuchtigkeit gelagert. Es wurden auch die Umschlagmaterialien, einschließlich einiger mit Pilzvergiftungsmittel behandelten, untersucht. Nach sechs Monaten wurden die Probestücke optisch untersucht und die folgenden Ergebnisse festgestellt:

1. Vollvinyl-Mikrorillen-Platten mit Bleistereat, Kohlenstoff und Farbstoff: üppiger Pilzwuchs auf dem Etikett, der sich über die Oberfläche ausbreitete, ätzte die Platte wenig, wenn überhaupt; das Material veränderte sich auch sonst nicht.

2. Ein ähnliches Material, aber unter Ausschluß des Kohlenstoffs, verhielt sich genau so.

3. Vinylit, mit CaCO_3 , natürlichen Wachsen und einem aus Holz destillierten Harz gefüllt: Ätzung wurde festgestellt, obwohl das Material selbst den Pilzwuchs anscheinend nicht selbst fördert; manche Teile wurden spröde; dieses Material ist billig und wird nicht für Qualitätsplatten verwendet.

4. Eine ähnliche Verbindung mit mehr CaCO_3 als Grundmaterial und weniger Füllstoff verhielt sich ähnlich, aber besser.

5. Schellackartige Verbindung aus synthetischen Harzen auf einem CaCO_3 -Grundmaterial wurde durch die Feuchtigkeit und Pilze schwer geschädigt.

6. 1944er Azetat (Nitrozellulose, mit rohem Rizinusöl weichgemacht): die Muster in der Kühlkammer zeigten leichten Pilzwuchs, aber keinen Schaden; die bei Zimmertemperatur gelagerten Muster zeigten ziemlichen Pilzwuchs, der wenig ätzte, aber den Lack vom Kern völlig abklebte, zuerst an bestimmten Stellen, an welchen sich Blasen bildeten, die sich dann über die ganze Fläche ausbreiteten. Wenig Ätzung war zu bemerken. Das Verhalten bei hoher Feuchtigkeit und Temperatur ohne Pilzwirkung war das gleiche und wird durch Weichmacherverlust, durch Pilzverzehrung und Feuchtigkeit verursacht.

7. Azetat, neu (Nitrozellulose, mit verändertem Rizinusöl weichgemacht unter Hinzufügen stabiler Harze): dieses Muster war viel beständiger gegen

Feuchtigkeit und Pilze als das Vorhergehende. Die Wirkung war von derselben Art, aber viel kleineren Ausmaßes.

Pilzwirkung auf das Umschlagmaterial

Verschiedene, auch wasserdichte Papiere verfaulten sehr schnell durch den Pilzangriff. Ein mit einem handelsüblichen, aber übel riechenden Pilztötungsmittel imprägniertes Papier verfaulte nicht so schnell, aber das Mittel war nach einem halben Jahr ziemlich am Ende seiner Wirkungskraft. Polyethylen- und Nylonfilm wurden durch die Pilze nicht sehr angegriffen; obwohl Pilze auf der Oberfläche wuchsen, ernährten sie sich anscheinend nicht von dem Material selbst, sondern von einem bei dessen Herstellung verwendeten Schmiermittel.

Richtlinien zur Verringerung der Pilzwirkung

1. Plattenmaterialien sollen sich auf die pilzimmunen beschränken.
2. Man verwende besondere Umschläge, die nicht von den Pilzen angegriffen werden. Damit fallen die gewöhnlichen Zellstoffe aus, auch kann Wellpappe nicht als Attrappen benutzt werden, wenn diese Stoffe nicht geschützt sind.
3. Feuchtigkeit sollte 55% nicht überschreiten.
4. Die Etikette sollten nicht aus Papier, sondern aus einem pilzimmunen Stoff sein.
5. Sie sollten mit einem pilzimmunen Stoff, z. B. Polyethylen, aufgeklebt werden.
6. Ein diesem Zweck entsprechendes Pilztötungsmittel wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht gefunden (s. I. Folge dieses Artikels, Heft 17).

Oberflächenabdruck durch hohe Kontaktspannung

Langfristige Belastung eines Thermoplastikstoffes kann schon bei einer sehr geringen Größenordnung zu Schäden führen, im Vergleich zu einer Belastung von kurzer Dauer. Die gerillte Plattenoberfläche bildet zusammen mit der unregelmäßigen Fläche von Wellpappe oder eines zerknitterten Umschlages eine sehr kleine Belastungsfläche, die zum Nachgeben des Plattenmaterials führen kann. Darunter kann die Abspielqualität leiden, da die Rillen beschädigt werden können. Am schlimmsten in diesem Zusammenhang sind die Zellstoffe, da sie mit der Feuchtigkeit ihre Maße verändern. Folgendes sollte bei der Lagerung beachtet werden:

1. Höchsttemperatur 27°,
2. keine Umschläge, welche unregelmäßige Oberflächen haben oder bekommen können,
3. Druck auf die Plattenoberfläche durch senkrechte Lagerung vermeiden.

E. Zusammenfassung der Ergebnisse und Richtlinien für die Lagerung der Schallplatten

Tabelle 5 faßt die wichtigsten Eigenschaften der üblichsten Platten zusammen. Bei der Lagerung sollten Temperatur und Feuchtigkeit möglichst konstant gehalten, ultraviolette Strahlen und Pilzfutter vermieden und die Platten sauber und druckfrei in glatten Umschlägen senkrecht gelagert werden. Die Platten sollen auch vor der umgebenden Luft geschützt sein. Am besten sollte die Bibliothek klimatisiert sein, wenigstens was die Abspiel- und Verpackungsräume betrifft.

Fig. 19 zeigt einen Plattenumschlag, der den Anforderungen der Bibliotheken entspricht. Er besteht aus Polyethylen, (flache) Pappe, Stanniol und Polyethylen. Die Pappe bietet der Platte mechanischen Schutz, verhindert die Krümmung und hält das Stanniol und Polyethylen flach und faltenfrei. Das Stanniol bietet Schutz gegen alle Gase, während das Polyethylen der Platte eine glatte, pilzfreie Fläche bietet und die Pappe und die Platte selbst zusätzlich vor Feuchtigkeit schützt. Der erhöhte Preis einer solchen Verpackung würde sich ohne allen Zweifel lohnen. Zieht man den derzeitigen schnellen Fortschritt der Verpackungsindustrie in Betracht, so sollten hier in der Zukunft Verbesserungen zu erwarten sein.

Bei der Verpackung sollen Platten und Umschlag mit einer staubfreien Luft von 20° und 50% Feuchtigkeit im Gleichgewicht sein. Ein Klima- oder Verpackungsraum ist dafür erforderlich. Beim Empfang einer neuen Platte oder wenn eine Platte aus schlechten Klimaverhältnissen zurückgekommen ist, sollte sie in diesem Raum 24 Stunden vor der Verpackung bleiben. Die Verpackung einer Platte mit einem größeren Feuchtigkeitsinhalt kann zu sehr hohen Feuchtigkeiten in einem dichten Umschlag führen.

Zwei weitere, z. Z. in der Nahrungsmittelindustrie gebräuchliche Verpackungsmethoden kommen in Betracht: Inaktivgasverpackung kommt für große Sammlungen wertvoller, aber selten verwendeter Platten in Betracht; für die Temperaturkontrolle beim Versand gibt es den stanniollaminierten Wellkarton.

Fig. 20 zeigt drei Beispiele, wie man Platten *nicht* lagert und zwei der hier vorgeschlagenen senkrechten Lagerungen. Die erste Methode (*d*) verwendet Regale, die in Fächer, groß genug für 1...25 Platten, eingeteilt sind; damit die Platten immer senkrecht stehen, werden die herausgenommenen durch Attrappen ersetzt; die Fächer dürfen aber nicht so voll sein, daß man die Platten nicht ganz leicht herausziehen kann. Die andere Möglichkeit (*e*) ist ein Regal, welches oben und unten einen „Kamm“ hat, in welchen die Platten senkrecht geschoben werden.

Nicht nur vor dem Abspielen, sondern auch vor der Lagerung müssen die Platten gereinigt werden. Die von uns verwendete Methode war zwar mühsam, aber wirksam. Vor dem Abspielen oder der Verpackung wurde

Tabelle 5
DIE ALTERUNG VON SCHALLPLATTEN: ZUSAMMENFASSUNG
A. Übliche Plattentypen

	Azetat	Schellack	Vinyl
Grundsätzliche Zusammensetzung	Nitrozellulose, durch Rizinusöl weichgemacht, auf einem Metallkern	Schellack, Copalharz, mineralisches Grundmaterial ist die beste, wenn nicht die üblichste Zusammensetzung — eine typische Schellackzusammensetzung gibt es nicht	Vinylchlorid-azetat — Kopolymer, nicht weichgemacht

B. Wirkung der atmosphärischen Faktoren

Pilzbildung	Stark	Oft stark — abhängig von der Zusammensetzung	Unterstützt die Bildung nicht; nicht immun gegen die Ätzung
Wirkung von hoher Feuchtigkeit	Weichmacherverlust; chemischer Zerfall; Maßänderung	Chemischer Zerfall; schwere Maßänderung	Unbeeinflußt
Wärmefestigkeit: Hohe Temperatur Temperaturschwankungen	Schlecht Beschleunigt Schichtenlockerung	Schlecht Unwirksam auf echten Schellack; Krümmung bei Schellackarten	Schlecht Arge Maßveränderungen, Krümmung
Lichtfestigkeit Abdruck- und Kratzfestigkeit	Sehr schlecht Schlecht	Gut bis schlecht Schlecht	Schlecht Schlecht
Festigkeit gegen Sauerstoff und Luftunreinigkeiten	Schlecht	Schlecht bis gut	Ausreichend

C. Alterungsergebnisse

Wahrscheinliche Versagungsart	Katastrophische Versagung der Schicht; Sprödigkeit	Sprödigkeit, Krümmung	Krümmung, Sprödigkeit
Wahrscheinliche Versagungsursache	Weichmacherverlust; Polymerdenitrirung	Füllstoffverlust; Schellackkondensation	Innere Spannungen; Füllstoffverlust; Querverbindungen
Plattenveränderungen	Mehr Geräusch ohne bedeutende Signaländerung	Erhöhung des Elastizitätsmoduls und Verringerung der Schlagfestigkeit	Krümmung

eine Reinigungslösung mit einem Kunstsamtappikator (Lektrostat Record Cleaning Kit, Dexter Chemical Corp.) sparsam aufgetragen. Während des Spielens wurde eine Äthylenglykollösung mit einem Pinsel und einem Mohairappikator (ESL Dust Bug) sparsam aufgetragen. Andere Methoden der Reinigung und Staubverhütung (z. B. antistatisches Spray, Spezialtücher, feuchter Kunstschwamm und radioaktive Luftionisation) wurden versucht, aber waren nicht so wirksam. Gründliche Reinigung (z. B. zur Beseitigung von Ölfilmen auf Azetatplatten erfolgte durch Waschen in lauwarmem Reinigungsmittel, Spülen mit destilliertem Wasser, schnellem Trocknen mit warmer Luft von einem Föhn und Klimatisierung bei 20° und 50% Feuchtigkeit. Diese Reinigung wurde nur bei dringender Notwendigkeit ausgeführt. Die Rillenflächen wurden nur mit Gummihandschuhen berührt und bei dem Herausziehen aus und Hineinschieben in den Umschlag wurde jede Reibung zwischen der Verpackung und der Rillenfläche vermieden.

Nach einer gewissen Zeit müssen die Platten überspielt werden, um deren physischen Verlust zu überbrücken. Es besteht keine völlig befriedigende Methode, um festzustellen, wann dies notwendig wird. Eine Untersuchung auf Krümmung, Pilzbildung oder andere sichtbare Zerfallszeichen ist regelmäßig durchzuführen. Für die Feststellung des chemischen Zerfalls müssen weitere Tests entwickelt werden. (Fortsetzung folgt)

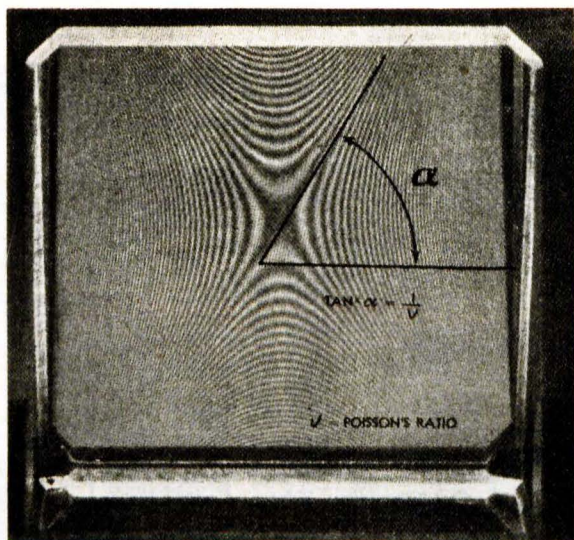


Fig. 6 Die Messung der Poissonschen Zahl durch reines Biegen einer Tafel
 Fig. 6 Measurement of Poisson's Ratio by pure bending of plate

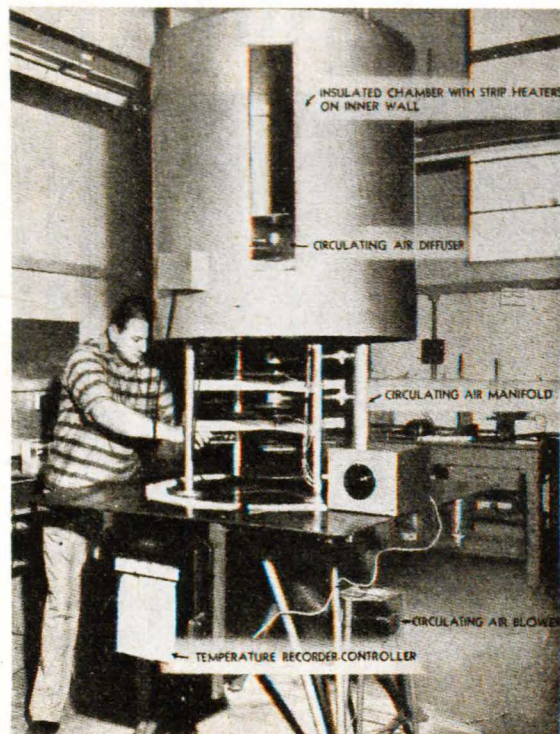


Fig. 7 Klimakammer
 Fig. 7 Environmental control chamber

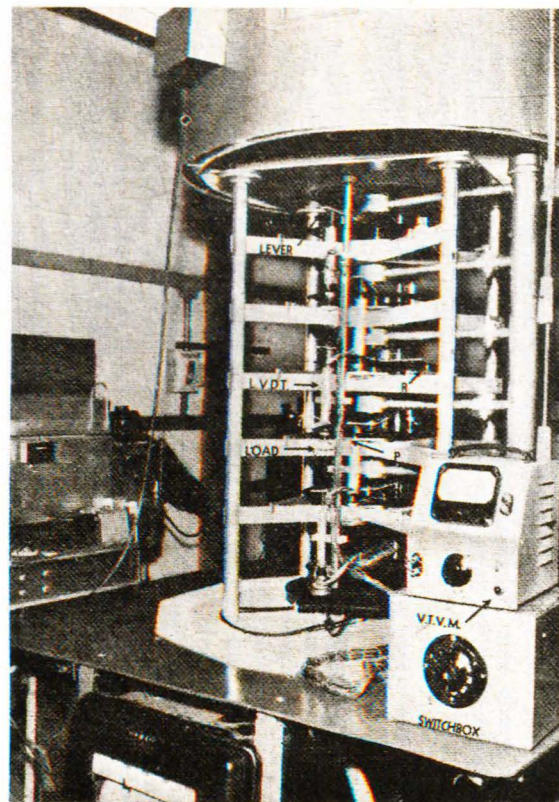
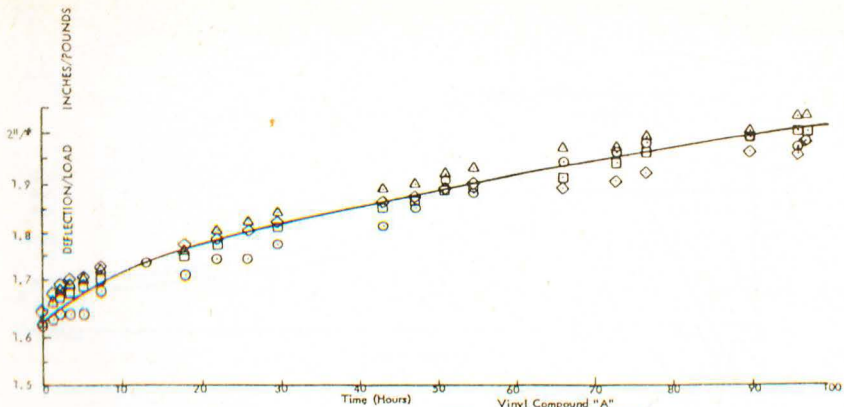


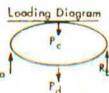
Fig. 8 Deflektionsmessung
 Fig. 8 Deflection measurement system of creep
 test apparatus



NOTE: L.V.D.T. for P_3 failed during test

- $P_1 = 0.231\#$
- $P_2 = 0.385\#$
- $P_4 = 0.713\#$
- $P_5 = 0.883\#$

Sym-	Cold
bol	Flow
○	0.075
□	0.170
△	0.332
◇	0.389



$P_c = P_d = R_a = R_b$
 $\Delta =$ Average Vertical Deflection of Points P.

Vinyl Compound "A"
 12" Blank Discs 0.034" Thick
 Temp. 80°F. R. H. 50%

Fig. 9 Test der Spannungsuperposition
 Fig. 9 Stress superposition test

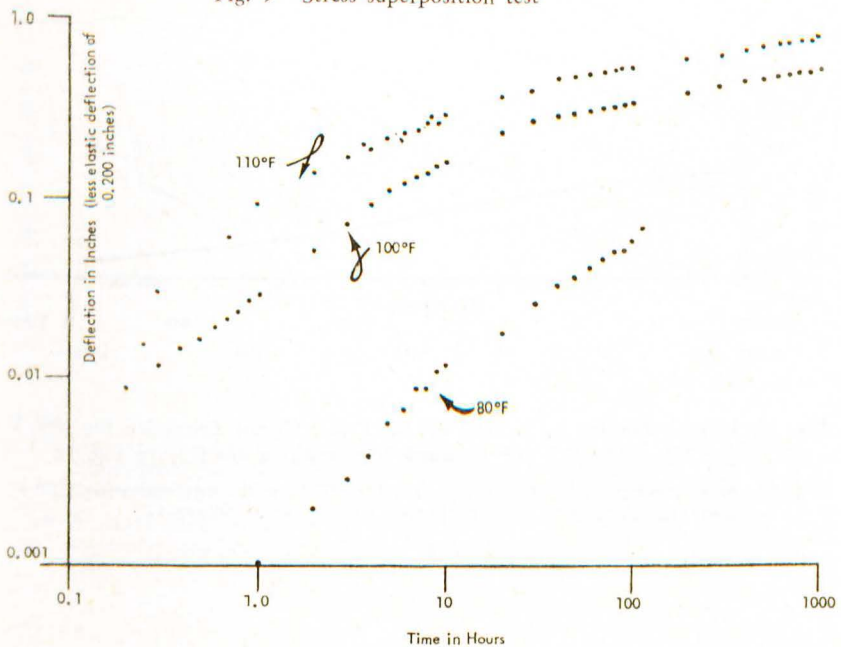
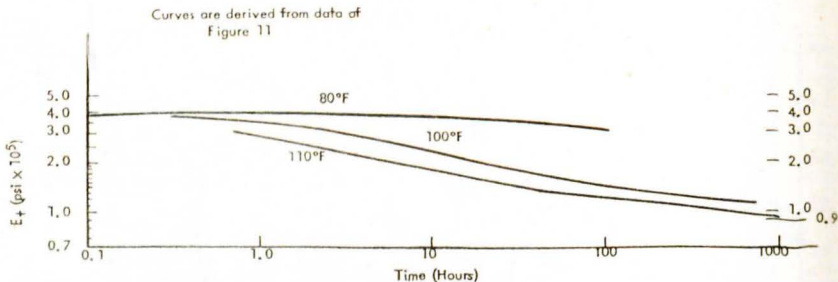
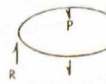


Fig. 11 Experimentelle Verschiebung von Vinylplatten -- Belastung nach Fig. 12
 Fig. 11 Experimental deflection data for vinyl discs loaded as shown in figure 12



Sample Calculations:



$P = 0.068 \#$
 $p = 0.0027 \# / \text{in}^2$
 $A = 113 \text{ in}^2$

Disc is 1/20 inch thick
 y is deflection of P

$R = P + p A / 2$

Loading Diagram

$E_t = 89,600 \div y$ Reduced Equation for $E_t = f(y)$
 At 80°F, 100 Hours, $y = 0.287$ Experimental Result
 $E(80^\circ, 100 \text{ hours}) = 8.96 \times 10^4 \div 0.287 = 3.12 \times 10^5$ Derived Value

Fig. 12

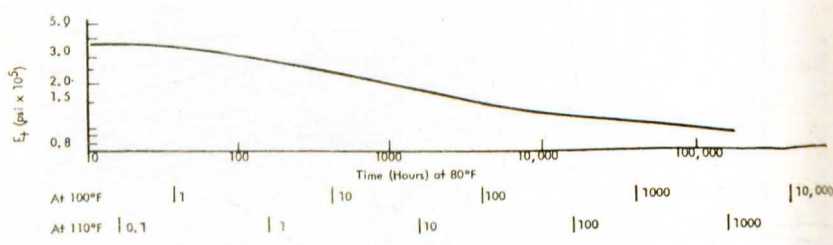


Fig. 13 Hauptkurve $\log E_t / \log t$ bei 80° F (27° C) mit Zeitskalen für 100° F (38° C) und 110° F (43° C) durch Superposition der Kurven Fig. 12

Fig. 13 Master curve of $\log E_t$ vs. \log time for 80° F. with time scales for 100° F. and 110° F. formed by superposing the curves of figure 12

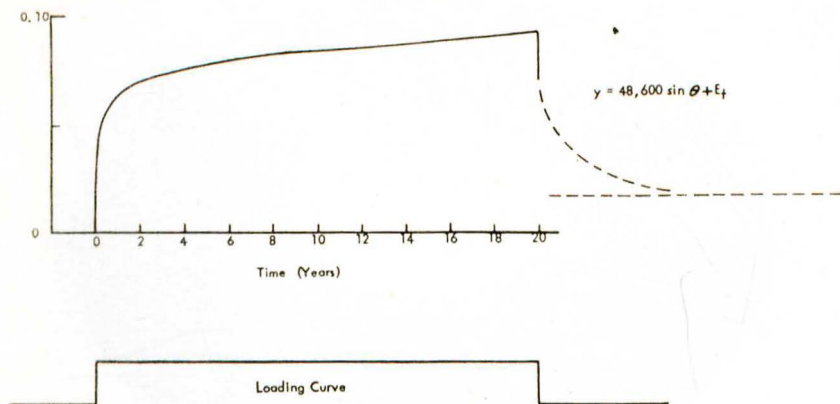


Fig. 14 Geschätzte Deformierung einer 20 Jahre lang bei 27° C unter 10⁹ zur Senkrechten gelagerten Vinylplatte

Fig. 14 Estimate of deformation of a vinyl disc stored at 10⁹ to the vertical without being moved for 20 years at 80° F.

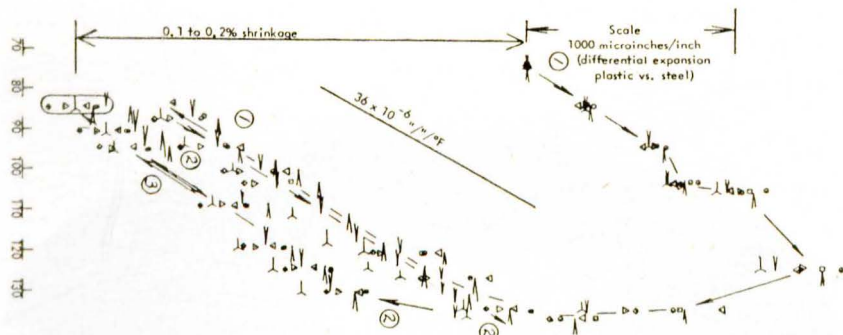
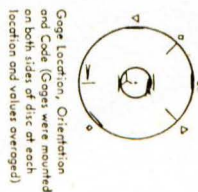


Fig. 15 Maßveränderung einer gekennzeichneten Vinylplatte durch Nachlassen der Molekularspannungen

Fig. 15 A strain gage survey of the relaxation of molecular configurational strains in a vinyl disc.



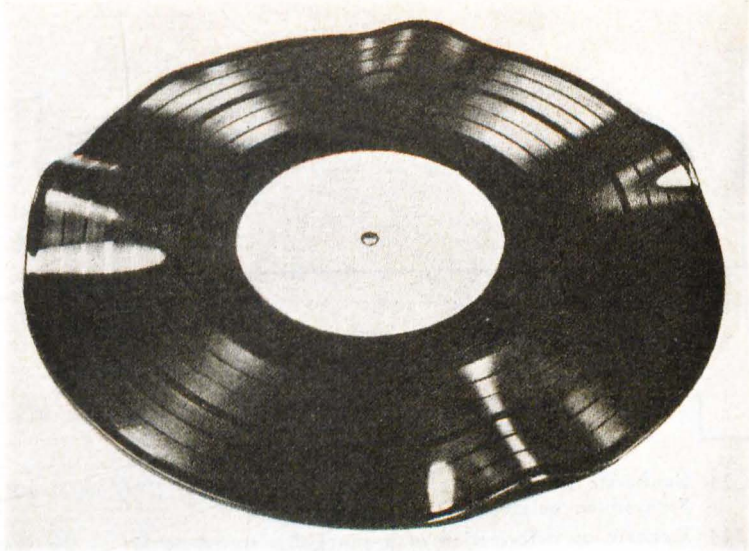


Fig. 3 Plisseeförmige Krümmung durch das Nachlassen mikroskopischer Restspannungen

Fig. 3 Photograph of fluted edge warp caused by relaxation of microscopic stress

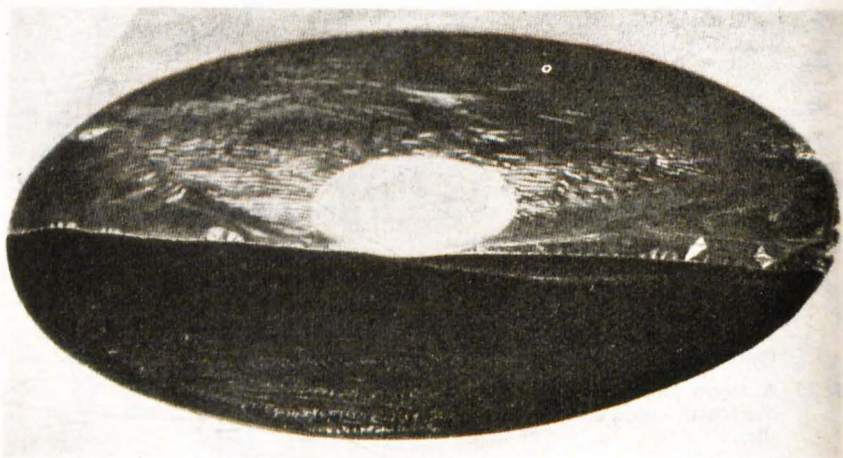


Fig. 16 Oberflächenabdruck durch zerknitterten Polyäthylenumschlag bei beschleunigter Alterung

Fig. 16 Surface imprint due to wrinkled polyethylene jacket and accelerated aging

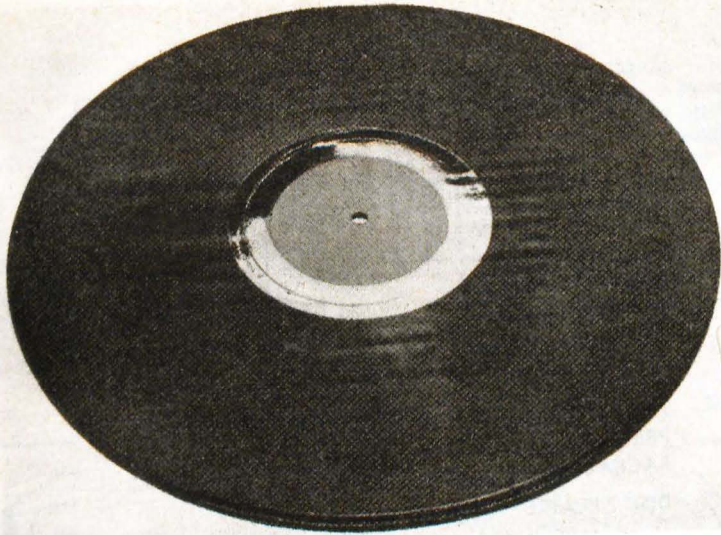


Fig. 17 Oberflächenabdruck durch waagrechte Lagerung in der Library of Congress
Fig. 17 Surface imprint found on Library of Congress shelves.
(Horizontal Storage Attitude)

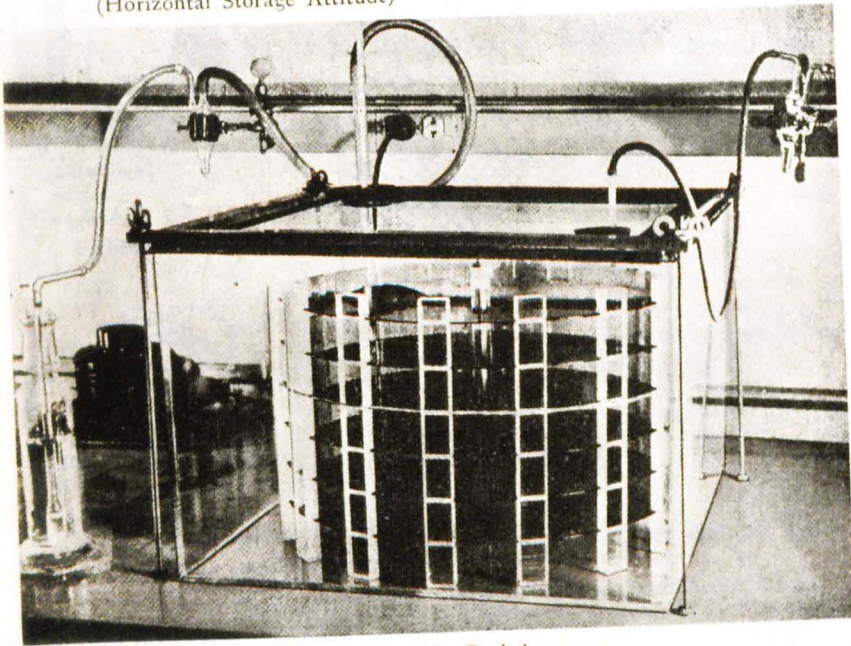
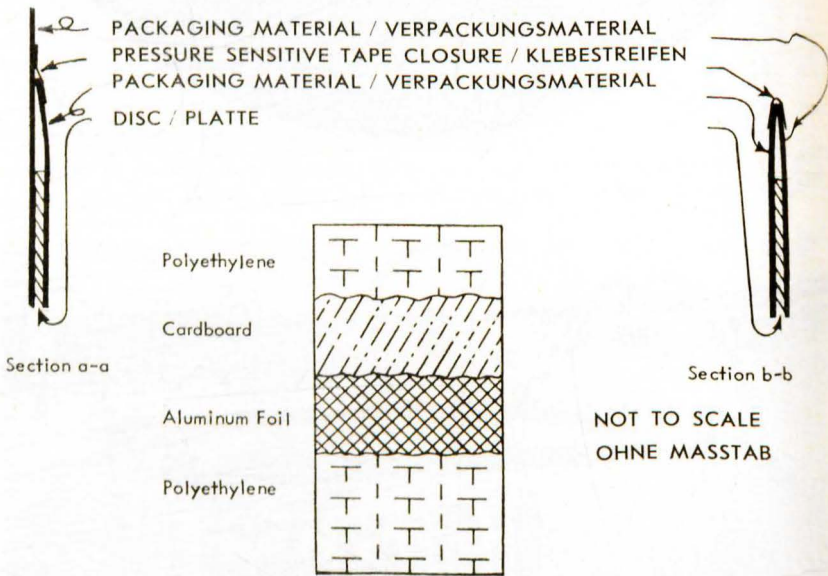
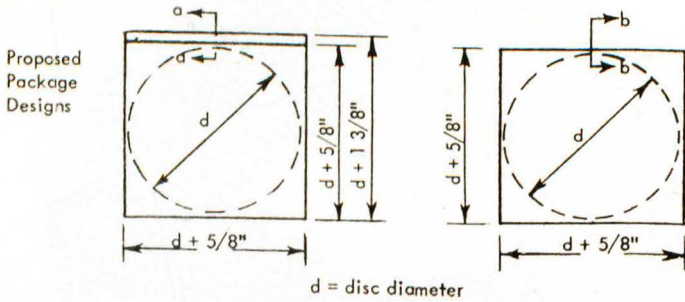
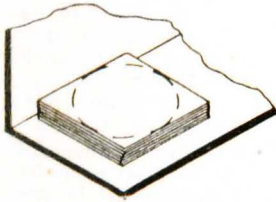


Fig. 18 Chemische Probekammer
Fig. 18 Chemical exposure chamber



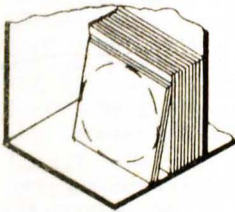
Packaging Material
 (See Text for Material Thickness)

Fig. 19 Vorgeschlagnene Plattenumschläge
 Fig. 19 Proposed disc storage packages



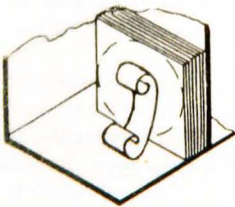
a. Waagrechte Stapelung verursacht Oberflächenabdruck auf allen Platten sowie Krümmung von Kunststoff- und Schellackplatten wegen Druck- und Temperaturunterschieden zwischen den Plattenseiten.

a. Horizontal Stacking - Poor; causes surface imprint in all discs and warp in plastic and shellac discs because of different boundary conditions of restraint and temperature on different sides.



b. Nicht ganz senkrechte Lagerung verursacht Oberflächenabdruck auf allen Platten sowie Krümmung von Kunststoff- und Schellackplatten wegen Druckunterschiede und Gewichtsbelastung

b. Off Vertical Stacking - Poor; causes both surface imprint in all discs and warp of plastic and shellac discs from poor boundary conditions and gravity loads.

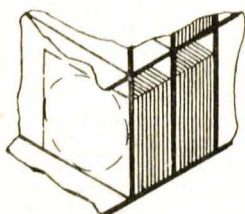


c. Gefederte senkrechte Lagerung verursacht Oberflächenabdruck und Druckunterschiede

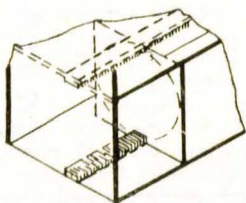
c. Spring Loaded Vertical Stacking - Poor; causes surface imprint, poor boundary conditions.

Fig. 20 Regalkonstruktion für die ausgedehnte Lagerung von Schallplatten (Fortsetzung nächste Seite)

Fig. 20 Very long time disc storage practice and shelf design (continued next page)



- d. Senkrechte Lagerung in vollen Fächern ist zu empfehlen; vor- geschlagene Höchstzahl ist 20 Platten je Fach. Die benötigten Fächer müssen voll mit Platten und Attrappen bleiben.
- d. Full Compartment Vertical Stacking - Good; recommended maximum 20 discs/compartment. Compartments in use should be kept full of discs or discs and fillers.



- e. Senkrechte Lagerung durch „Kämme“ ist zu empfehlen. Der Kamm kann aus Metall mit sehr dünnen Rippen sein. Die Schlitz müssen senkrecht übereinander liegen und der Schlitzgrund darf über das Regal nicht hervortreten.
- e. Template Controlled Vertical Stacking - Good; slotted template can be made of metal with very thin "fins". Slots should be well aligned vertically and bottoms of slots should be at or below shelf level.

Fig. 20 Regalkonstruktion für die ausgedehnte Lagerung von Schallplatten (Forts.)

Fig. 20 Very long time disc storage practice and shelf design (cont.)

Preservation and Storage of Sound Recordings*

by

A. G. PICKET and M. M. LEMCOE

III

II. The Study of Phonograph Discs

C. The Plastic Disc (continued)

Physical Deformation Induced by Storage Conditions

While no discs were found in either stack surveys or exploratory testing which had suffered appreciable chemical degradation, a considerable number were found which were so warped and deformed that they were no longer playable. An investigation of the causes of this behavior of plastic discs was made to provide a better understanding of this problem *which seems to be of far greater significance in the storage degradation of plastic discs than is chemical deterioration.*

All materials subjected to a continuous load develop a permanent deformation whose value increases with time. For thermoplastics the magnitude of this deformation is so great that their useful application is very limited. For stored discs, creep due to gravity loads can result in both surface imprint which might impair fidelity by local deformation of the groove walls or so warp the entire disc that it cannot be played. Insufficient information was available to estimate the significance of creep due to gravity loads during long time storage and so a series of tests was necessary to obtain the requisite data.

The mechanical behavior of high polymers is usually studied by means of an analytical approach at the structural level of aggregation. That is, a theoretical concept of the structure of the material is developed from laboratory tests and this concept is used both to explain and to predict the behavior of the material. The material is considered to consist of a continuous but nonhomogenous system formed of elements of different properties and finite dimensions whose behavior can be approximated by a mechanical (or mathematical) model. The validity of the concept (or

* Library of Congress, Washington, 1959

model) is judged by the accuracy with which it can be used to predict the behavior of the material. In a model analysis of high polymers in the transition and rubber-like regions, the knowledge of the internal structure is sufficiently complete to allow the actual identification of each element of the model with a molecular process. This has permitted investigators in this field to develop techniques for predicting the mechanical behavior of high polymers which find no counterpart in the mechanics of other materials.

The simplest system is that of the thermoplastic, such as PVC, whose basic structural element is the long chain molecule which is randomly oriented, coiled, kinked, and intertangled. The combination of strong intramolecular bonds and weaker intermolecular bonds causes the strain response to a stress to be a combination of elastic deformation and viscous flow (viscoelasticity). If such a material is linearly viscoelastic and can be considered to be incompressible, the analysis is particularly simple. The laboratory investigation of disc warp due to creep from gravity loads consisted of the following steps:

- (1) Measurement of Poisson's Ratio to determine if incompressible deformation can be assumed.
- (2) Measurement of linearity of strain response to stress.
- (3) Measurement of creep constants.
- (4) Analysis of results and estimate of creep induced warp under library storage conditions.

The measurement of Poisson's Ratio was accomplished by the technique described by Timoshenko. A specimen (2.00 in. x 0.50 in. x 0.034 in.) was cut from a 12-in. blank of a typical vinyl disc. This specimen was polished and then placed in a jig which applied a uniform moment at the two ends of the specimen. A 45° optical prism was then placed at the center of the specimen. A monochromatic source of light was directed normal to the specimen surface and the reflection of the interference lines in the prism was photographed. (See Figure 6.) The photograph was enlarged, the angle measured, and Poisson's Ratio computed. Values measured ranged from 0.43 to 0.45 with an average of 0.44. For a real material, this is very close to the value of 0.5 theoretically required for analysis assuming incompressibility.

The measurement of linearity of strain response to stress and the measurement of creep constants required the fabrication of special equipment. The creep behavior of a thermoplastic is very sensitive to

temperature variation and mechanical vibration and, often, moisture content. An environmental control chamber was built for these tests (see Figure 7) which provided temperature control to $\pm 1^\circ \text{F}$, was isolated from sources of vibration, provided humidity control to ± 1 percent R. H., and which permitted visual observation of the discs during testing. The loading fixture inside the chamber provided several alternate loading configurations and used linear variable differential transformers for measurement of displacements up to one (1) inch with an accuracy of one-one thousandth (0.001) of an inch. Figure 8 shows the test apparatus with the environmental control chamber raised, the notations being as follows:

(1) P is point of application of load to disc and point of measurement of deflection.

(2) R is the reaction.

(3) *LEVER* connects P to transformer core.


(4) *L.V.D.T.* is a 500 SL Shaevitz linear variable differential transformer whose primary is excited by a 6-volt power source.


(5) *LOAD* is applied at transformer core.

(6) *V.T.V.M.*, the vacuum tube voltmeter, measured the secondary voltage of the *L.V.D.T.* through the switch box providing deflection data.

The first experiment conducted was for the purpose of measuring the linearity of strain response to stress in a loading configuration conforming to that of a disc being stored in an off vertical position. Because warp must be of a larger order of magnitude to affect playback, it was necessary to use relatively large loads to produce the required deflections. Figure 9 summarizes the results of this test. The discs were simply supported in the horizontal position by two diametrically opposite hemispherical supports at the disc edge (R_a and R_b). The discs were loaded at the edge and at 90° to the supports with two simply supported weights connected to the cores of the *L.V.D.T.*'s which measured displacement at this point (P_c and P_d). The displacements of the loaded points were measured as a function of time for 100 hours at 80°F and 50 percent R.H. These displacements were divided by the value of the load and plotted as a function of time. At the end of the test, the disc warp was measured and recorded as cold flow. This experiment showed that disc formulation approaches the ideal linear viscoelastic material within the range investigated sufficiently well to permit the simplest method of analysis to be used. This method consists of constructing a mathematical model of the material which can best be visualized as a mechanical device as in Figure 10.

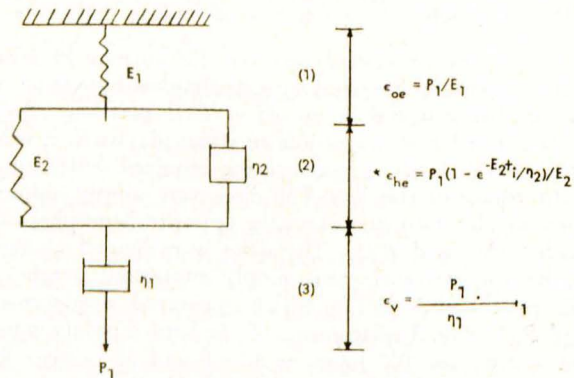
This device is made up of two types of elements:

- (1)  a perfectly elastic spring whose relation between displacement ϵ and force P is

$$\epsilon_i = \frac{P_i}{E} \quad \text{where } \frac{1}{E} \text{ is the spring constant,}$$
- (2)  a dashpot whose relation between rate of displacement $\frac{d\epsilon}{dt}$ and force P is

$$\left(\frac{d\epsilon}{dt}\right)_i = \frac{P_i}{\eta} \quad \text{where } \eta \text{ is the viscosity coefficient.}$$

These elements are combined into units which have a linear strain response to a load as indicated in Fig. 10.



$$*P_1 = E\epsilon + \eta\dot{\epsilon}$$

$$\epsilon = (e^{-E t / \eta}) \left[\epsilon_0 + \frac{1}{\eta} \int_0^t P e^{E t / \eta} dt \right]$$

$$\text{if } P = \text{const.}, \quad \epsilon = \epsilon_0 (e^{-E t / \eta}) + \frac{P}{E} (1 - e^{-E t / \eta})$$

Fig. 10 Model of PVC molecular forces

This model is more than an abstraction; it depicts actual molecular behavior. If a constant load is applied to a PVC disc the following deformations will be observed:

(1) An immediate deformation called ordinary elastic or glass elastic deformation (ϵ_{oe}). This is a storage of internal energy by bond stretching or valance angle deformation.

(2) A time dependent deformation called high elastic or retarded elastic deformation (ϵ_{be}). This is a storage of internal energy by changes in molecular configurations. In this theory, the main assumption is that of a quasi-free rotation around single carbon—carbon bonds which results in a most probable coiled up form for the average chain molecule. An external force changes this shape, and, on the removal of this force, thermal action results in a gradual reattainment of the preferred configurations. This recovery happens in accordance with the statistical interpretation of the second law of thermodynamics and is not caused by forces as is ordinary elasticity.

(3) A time dependent deformation called flow (ϵ_v). This represents energy dissipation by intermolecular Brownian movement of a translatory character or the movement of a molecule as a whole with respect to other molecules. It can also represent chemical stress relaxation.

When the load is removed, the following deformations will be observed:

- (1) immediate recovery of the glass elastic deformation,
- (2) time dependent recovery of the retarded elastic deformation,
- (3) the viscous flow component will not be recovered and this permanent change in shape is called creep.

In order to approximate the behavior of a real material, it is necessary to couple many of these units together in parallel and the resulting equation for total deformation of a suddenly applied load that is thereafter kept constant becomes

$$\epsilon_{total} = n(\epsilon_{oe} + \epsilon_{be} + \epsilon_v)$$

where n is the number of units.

Fortunately, simple algebra reduces this equation to

$$\epsilon_{total} = \frac{P_i}{E_i} [1 + f(t_i)] \text{ (see Figure 10)}$$

which is equivalent to

$$\epsilon_{total} = \frac{P_i}{E_t}$$

where E_t is a time dependent modulus of deformation.

While the model has been developed for a simple direct stress and a simple loading history, the principle can be extended to any stress condition without loss of validity. The principle is simply the substitution of E_t , a time dependent modulus of elasticity, for the modulus of elasticity in the calculation of deformations using the formulae of the theory of elasticity. E_t is a very complicated function of both time and temperature but it can be obtained empirically.

If the time scale of the prediction is comparable to the time scale of the experiment, curve fitting techniques can be successfully used to provide formulae to approximate E_t . A far more powerful tool, however, is the time-temperature superposition principle or method of reduced variables of Leaderman, Tobolsky and Andrews. This principle assumes that the time function at one temperature is equal to the time function at another temperature times a constant and, hence, curves of E_t , or $\log E_t$ versus $\log t$ can be superposed by means of a horizontal shift along the $\log t$ axis. A master curve applicable for all temperatures and all times, then, of E_t can be drawn by performing many short time tests at different temperatures and superposing the resulting curves. This has proven to be true for many linear viscoelastic polymers above the glass transition temperature and is the technique used for analysis in this study.

Short time tests of the discs showed that, supported and loaded as in the test for linear viscoelasticity, the deflection of the points at which the concentrated load was applied with respect to the supports obeyed the equation:

$$y = \frac{614,000 P}{E} + \frac{16,600,000 q}{E}$$

where y = deflection in inches

P = concentrated load in pounds

q = uniform load over disc surface in pounds

and E = modulus of elasticity in pounds/square inch.

As noted above, the substitution of E_t for E in this equation is all that is required to change the equation from an elastic equation which predicts deflection as a function of load to an equation which predicts deflection as a function of both load and time.

Using the same equipment as was used for testing linearity, a series of experiments were made to evaluate E_t . Three discs, loaded identically, were used in each test and the deflections were measured as a function of time (see Figure 11). Humidity was controlled at 50 percent R.H. and tests were run at constant temperature for 1000 hours. Tests above 110° F proved to be valueless because of interfering deformation from

other sources. Figure 12 summarizes the results of this series of tests and Figure 13 is the master curve drawn by superposing the curves of Figure 12.

Using the values for E_t obtained empirically and modifying the empirical equation for deflection in the horizontal position by multiplying it by the sine of the angle between the disc axis and a vertical line, an estimate of the deformation of such a disc stored at 10° off vertical and at 80°F without being moved for 20 years was obtained (see Figure 14). As the master curve indicated that the same magnitude of deformation would occur if the disc were exposed, under the same conditions, to a temperature of 110°F for 1000 hours, three discs were placed in the chamber at 10° off vertical at 110°F for 1000 hours. The predicted deformation was attained in each case within satisfactory limits to indicate the validity of this approach.

These data indicate that a plastic phonograph record can be stored in the vertical position for many decades without excessive warp due to creep caused by gravity loads if the following precautions are taken:

- (1) maintain moderate temperature ($<80^\circ\text{F}$),
- (2) provide as near vertical attitude as is feasible,
- (3) prevent discs from loading other discs.

An investigation of the horizontal storage attitude indicated that the *high bearing stresses on the lands of the modulations caused surface imprint which impaired playback qualities*. At first glance, it might seem that the surfaces of discs stored in the horizontal position are uniformly loaded. Unfortunately, this is true only after the plastic surface has been deformed sufficiently to fit around the unevenness of these surfaces and the materials between them. If, for example, there are wrinkles in the storage package or dust grains between the discs, all of the load between discs must be transmitted through these line or point contacts until the wrinkles or dust grains are pressed deeply enough into the disc surface for other portions of the surfaces to come into contact. Figure 16 shows the impress of package wrinkles in a disc surface caused by loading the disc with three other disc at 110°F for 100 hours. Figure 17 shows the impress of corrugations of a cardboard separator which developed on the surface of a disc stored by the Library of Congress (this disc was also badly warped by relaxation of microscopic stresses). This portion of the study forms the basis for the recommendation that plastic discs be stored in the vertical attitude.

Physical Deformation Induced by Residual Stress

The results of the creep tests help to justify the use of vertical storage attitude, but, as in the chemical degradation study, left unexplained the warped plastic discs found in library stacks. A study of the history of

some of the deformed discs showed that such warp had developed in horizontal storage at moderate temperatures and that, often, the deformed shape was not compatible with deformation due to creep induced by gravity loads. This indicated that these deformations were the result of residual stresses introduced in the molding process.

In a thermoplastic there are two kinds of residual stresses (or strains) which can cause such dimensional changes. The two kinds of residual stresses (or strains) will be denoted as macroscopic and microscopic stresses, for the sake of convenience, even though the nomenclature is not descriptive of the actual mechanisms involved.

Macroscopic residual stresses are real recoverable stresses and are of two kinds: reaction stresses and layer stresses. An excellent example of reaction stresses is provided by the shrink fitting of an iron tire on a wooden wagon wheel. It is evident that the tensile forces in the tire are balanced by compressive forces in the wooden wheel. These stresses can be evaluated by cutting out a spoke or cutting the tire and measuring the resulting dimensional changes. Layer stresses can exist in a disc as uniform biaxial tension in the core with the distribution of forces over the thickness having a zero resultant and zero moment. In this case, no deformation would be observed on cutting a section from the disc through the entire thickness but these stresses can be evaluated by removing successive layers from a surface of the section and measuring the resulting deformations. In both cases, ordinary elasticity is involved and the deformations occur immediately.

In order to measure deformations from macroscopic residual stresses, a Whittemore strain gage with a two inch gage length accurate to 0.0002 inches was chosen to measure changes in length and a dial gage jig for measuring curvature of the type described by Welch and Quackenbos was fabricated.

The specimens tested were new unmodulated ungrooved discs, especially pressed by two different manufacturers, and five-year-old unwarped discs purchased on the open market. Two different trepanning configurations were used for each type of disc. One configuration consisted of drilling eight concentric rings of two inch gage marks spaced $\frac{1}{2}$ in. apart radially beginning with a ring $\frac{1}{4}$ in. from the edge of disc. These rings were cut from the disc on lines midway between the concentric rings of gage marks using a lathe. After cutting, the gage marks were measured, the rings were broken and the gage marks remeasured. There was no change in shape or dimension noted. The other configuration consisted of an array of Y-shaped gage mark rosettes which were formed into one set of new discs during pressing and drilled into the other discs. Specimens including these rosettes were cut from the discs with a saw and measured. There

was no change in shape or dimension noted. These results showed that no reaction stresses existed in the discs tested.

The same specimens which had been cut from the discs for reaction stress measurements were used for the investigation of layer stresses. Layers were removed from one surface of each specimen by either milling or solvent etching. In no case were there the dimensional changes which indicate layer stresses. A sufficient number of tests were made to demonstrate that *there were no macroscopic residual stresses of intensity great enough to warp the discs used for test articles.*

Microscopic residual stresses are not real recoverable stresses, but can cause strains or deformations just as do the macroscopic residual stresses. While the mechanism involved in macroscopic residual stresses is that of ordinary elasticity, the mechanism involved in microscopic residual stresses is that of high elasticity. This mechanism is termed the molecular configurational strain. In an assemblage of linear molecules, there will be a statistically preferred (or most probable) molecular configuration; this "average" molecule, separated from its neighbors, might be depicted as:



(a) *Statistically Preferred Molecular Configuration*—If the average molecular configuration is changed by external forces, and the forces then removed, the random Brownian movements will attempt to restore the system to the statistically preferred configuration. This process will be hindered by the barriers set up by neighboring molecules. If a molecule such as is depicted in (a) is subjected to a stress F , an extreme result could be depicted as a completely oriented system of elongated molecular segments:



(b) *Completely Oriented System of Elongated Molecules* where the intermolecular barriers are too great to permit a molecule to relax to the entangled, curled system. An increase in temperature increases the Brownian movement and reduces the energy required to surmount a barrier so that there would be a temperature for any discrete barrier level above which a molecule of (b) would revert towards the preferred configuration (a) if the external force which created (b) is no longer effective.

As was previously noted, high elasticity strains neither occur nor are recovered immediately, but are time dependent. From the theory of such strains, elevation of temperature results in a decrease in time required for such strains to occur as well as the occurrence of strains which might not occur at far lower temperatures because the activation energy required for the relaxation of some molecular configurational strains can be higher than is attainable at the far lower temperatures. The study of the deformations which occur on elevation of temperature is not, therefore, an exact measure of the deformations which would normally occur at ambient storage temperatures, but it does furnish evidence as to the existence of microscopic residual stresses which can cause such deformations.

A group of discs was selected whose history and origin were identical with those used for the study of macroscopic residual stresses. These discs were marked and sectioned as before. The specimens and phonograph records were then placed in the environmental control chamber and observed as the temperature was slowly elevated. Both phonograph records and specimens warped and shrank. The deformations which occurred were similar to and of the same order of magnitude as those observed in discs which had warped in storage. The deformations observed were, in all cases, the result of shrinking caused by the recovery of molecular configurational strains with the warping being caused by differential shrinkage of different sections or sides of the specimens or phonograph records.

A differential thermal expansion apparatus of the type described by Dannis was assembled to further explore this shrinkage. With this apparatus, a large number of tests were made of the shrinkage which occurred in specimens excised from records of different formulation and different origin. The results were quite conclusive as to the significance of the microscopic residual stresses in all the discs tested (including discs several years old). In nearly all cases, the amount of shrinkage increased from the center of the disc outward toward the edge. In many cases, it was greater on one surface than on the other. In magnitude, linear shrinkage was of the order of 0.1% to 0.2% which does not affect fidelity but is sufficient to cause warping (see Fig. 15).

The demonstration that serious warp and deformation can, and probably frequently does, result from the relaxation of microscopic residual stresses caused by molding is disheartening from the standpoint of long time storage of plastic discs. First of all, the warped surface is not developable so that the disc can not be satisfactorily flattened by the use of heat and pressure (see Fig. 3). Secondly, these stresses cannot be relieved by annealing without serious dimensional changes as macroscopic residual stresses can often be, because they are not elastic stresses in static equilibrium. The only way to prevent such warp is to improve the molding process and the only way to inhibit it is to reduce the storage temperature. Fortunately

the amount of shrinkage which occurs is so small that it does not cause an appreciable frequency shift (the maximum measured value was a shift from the 10,000 cycle note of a new disc to 10,060 cycles after aging at elevated temperature) even if the disc is badly warped. The recording is not necessarily lost if it is too warped for playback with conventional equipment. It would seem that a special pickup arm which will track on a badly warped phonograph record would prevent much of this kind of loss of valued recordings on plastic discs by permitting re-recording. A pickup arm which accomplishes this for 45 RPM discs is used in some of the coin operated phonographs (jukeboxes).

Physical Deformation Associated with Thermal Cycling and Humidity

Another cause of warping which is distinct from, but probably influenced by, microscopic residual stresses is thermal cycling. Plastics have very large coefficients of expansion, are poor conductors of heat, and the boundary conditions on the two disc surfaces are often quite different. The boundary conditions of a horizontally stored disc can be particularly bad because they may result in both a thermal gradient across the thickness of the disc and different restraints against expansion of the two surfaces. The result is that each cycle of temperature results in a small irreversible deformation, and these deformations are cumulative. Plastic discs and phonograph records were subjected to 24-hour cycles of temperature from 80° F to -40° F in both horizontal stacks and in the vertical attitude. The highest temperature used was below the temperature which had proved to cause warp within the test period by recovery of molecular configurational strains of the particular discs or phonograph records tested. The top disc in horizontal stacks failed by warping in as few as five cycles while the discs maintained in vertical attitudes required fifteen or more cycles to failure. In both cases the deformed shape was conical and the discs could not be flattened.

Humidity cycling and exposure to high humidities proved to have no effect on the vinyl discs. This is to be expected from the low moisture adsorption of this material.

In summary, this portion of the study indicates that:

- (1) Vinyl discs have an extremely long potential storage life with respect to chemical degradation if they are not exposed to direct sunlight or other sources of U.V. and are stored at moderate temperatures. This potential life is of the order of a century for well-made and properly stored discs. The chemical aging of these discs can be monitored by measuring the amount of effective stabilizer remaining in the disc.

- (2) Vinyl discs can be stored in the vertical attitude for very long periods of time without appreciable warp being induced by gravity loads if the storage temperature is kept below 80° F and the discs are stored with care. However, suitable, shelves to maintain vertical attitude would be required.
- (3) Serious warp is induced by both thermal cycling and the relaxation of microscopic residual stresses resulting from the molding process. Thermal cycling can be prevented in storage, but only control of the molding cycle can prevent the introduction of residual stresses. The relaxation of these stresses can be inhibited by use of low storage temperatures.
- (4) Humidity control is not essential in the storage of vinyl discs except as a means of controlling fungal growth.

D. Surface Damage of Phonograph Discs Caused by Fungi and High Contact Stresses

Types of Surface Damage

The survey of the manifestations of degradation of stored discs indicated that surface damage (unrelated to mechanical damage caused by handling or playback) was a common result of storage. This surface damage consisted of surface imprint confined to the lands, etching of both lands and groove walls, and changes in surface texture of the lands. Surface damage appeared to be most pronounced in discs stored in the horizontal position but was not confined to such discs. Surface imprint was most noticeable in discs whose surfaces had been in contact with corrugated cardboard, but was also evident in discs protected by Kraft paper and polyethylene envelopes. Figures 16 and 17 show two cases of this kind of damage.

The manifestations could be caused by a number of agents, depending on the materials involved. Possible mechanisms are:

- (1) permanent deformation of the material due to high contact stresses between disc and packaging material irregularities;
- (2) chemical action of an ingredient of the packaging material on the disc material;
- (3) the wicking action of a porous material with respect to a liquid or volatile plasticizer;
- (4) fungal etching of the disc material by fungi growing on the packaging material;
- (5) migration of a constituent of the packaging material into the disc material.

While not discounting the other mechanisms as potentially feasible, it was only possible to duplicate the surface imprint in the laboratory by fungal action and by deformation of the material due to gravity loads.

Laboratory Investigation of Fungal Action—Discs

The Library of Congress was the source of most of these specimens and, because the climate of Washington, D.C., is peculiarly suitable for fungal attack of organic materials, the ability of fungi to cause such damage was investigated.

The discs inspected were classified into three categories:

- (1) discs on which fungi spores and mycelia were found associated with visible surface damage;
- (2) discs with visible damage which could have been caused by fungi growing on the disc, but without direct evidence of fungal activity. It was thought that fungi could have caused the damage under proper environmental conditions prior to removal upon subsequent cleaning;
- (3) discs with surface etching which could have been caused by the excretions of fungi growing not on the discs but on jackets or separators in contact with the discs.

This classification was somewhat arbitrary but was made to serve as starting point in the investigation. In these categories were the following specimens:

- (a) a laminate with cardboard core and shellac coating (1) and (3),
- (b) an acetate disc with glass core (2),
- (c) a shellac type disc (2) and (3),
- (d) a vinyl disc (3).

These discs, together with new acetate, vinyl, shellac, and shellac type discs were placed in the chemical exposure chamber (Fig. 18). Corrugated cardboard which had been inoculated with soil and fungus spores was placed on the discs. The air in the exposure chamber was kept at 70° F to 80° F, saturated with moisture, and continuously regenerated. A luxuriant growth of fungi soon appeared on the cardboard and gradually spread to the discs.

After four weeks exposure, the discs were removed for inspection. Species identified were penicillia, aspergilli, mucor, and rhizopus. The most luxuriant growth was found along the lines of corrugation in contact with the discs followed, in descending order, by cardboard surface, acetate disc surface, shellac discs containing natural waxes, shellac type discs containing resins derived from wood and sugar cane, and filled vinyl discs. Unfilled vinyl discs were etched by fungi growing on adjacent materials and fingerprints, but did not seem to support growth itself.

Fungus mycelia could be seen plainly on the surface of the infected discs with the aid of a hand lens and a stereoscopic microscope. It was also noted that the mycelium grew down, into the grooves, indicating that it was growing on the surface of the discs and not on the separator. Smooth portions of records covered with fungi were further examined under a microscope. While observing the field, it was swept clean with a camel hair brush, in order to determine if any markings could be noted underneath the mycelium. It was easy to distinguish etchings made by fungus hyphae from ordinary scratches. The ordinary scratches were in straight or curved lines. Etchings made by hyphae were irregular and appeared to be more superficial. A vinyl disc, containing limestone and carbon black filler (a compound normally considered fungi resistant), showed both fungal growth and etching. Scratches on the surface of this disc, known to cause noise in playback, were of the same order of magnitude as the fungal etching. This etching was most serious where fungal growth was most abundant, i. e., where the line of corrugations of the cardboard was in contact with the discs.

The results of this four weeks exposure appeared to confirm the suspicion that fungi were potential severe agents of disc deterioration. Accordingly, it was decided to expose disc materials to fungal activity for a six month period in order to obtain more information about this degradative agent.

Disc specimens were cut or broken into rectangles 2 inches by 3 inches in size. These rectangles were inoculated with common airborne or soil fungi: namely, *aspergillus niger*, *aspergillus flavus*, *aspergillus terreus*, *alternaria humicola*, *fusarium* sp, *penicillium* sp, and *rhizopus nigricans*. After inoculation, they were stacked with corrugated cardboard separators and placed in moist chambers. The moist chambers were kept at ambient temperature (72° F to 88° F). Additional stacks were placed in a cold room whose temperature was 37° F to 40° F and humidity was 55% R.H. to 85% R.H.

Other materials which are currently used for fabricating disc jackets or envelopes or are proposed for such use were also studied; this included materials in which fungicides had been incorporated. The materials were inoculated with the same fungi as above and placed on fungi inoculated agar in Petri culture dishes which were kept at ambient temperatures. It should be remarked here that the effects of exposure to high humidity are not inseparable from the effects of fungal activity in either discs or jacket material, as both can cause deterioration of plastic and natural organic materials, and high humidity is essential to growth of these fungi.

After six months incubation, the disc specimens were examined by hand lens and microscope for signs of deterioration and the following results obtained:¹

¹ See "Bakelite" Molding Technical Release No. 10 for formulation background information.

- (1) Unfilled, unextended microgroove vinylite compound, containing lead stearate, carbon black and a dye. Fungi grew profusely on label and branched out over the disc surface. After cleaning, little, if any, etching caused by fungi could be observed. No embrittlement or loss of flexibility was noted. This material seems to be resistant to deterioration induced by moisture or fungal activity. (Compound A).
- (2) This material is the same as noted in (1) above with the omission of carbon black: It behaved exactly as did the previous specimen. As far as resistance to damage by high humidity and fungi, the unfilled, unextended microgroove vinylite compositions proved superior to the other formulations. (Compound B).
- (3) Filled, extended microgroove vinylite compound which contains natural waxes and a resin obtained by the destructive distillation of wood as well as CaCO_3 ; Some etching was noted where two different specimens of this material were in surface contact. The compound did not appear to support fungal growth and the fungus appeared to have grown on some other substrate with the mycelia penetrating between the surfaces in contact. After this aging, some areas of the specimen were quite brittle while the remaining sections retained most of their flexibility. It is not known whether this was occasioned by humidity, fungal attack, or both together. This is an inexpensive microgroove formulation with too high a noise level for quality 33 $\frac{1}{3}$ disc manufacture. The most common use of this type of formulation is believed to be in popular 45 RPM's. (Compound C).
- (4) Filled, extended regular groove vinylite compound containing more CaCO_3 filler and less extender (which is also believed to be superior in aging qualities to that of the previous specimen). Fungi appeared to grow only on the label, but some etching was observed on the surface. The only embrittlement noted was at the disc rim which might have been caused by the increase or decrease in concentration of one of the constituents in this area during molding. (Compound D).
- (5) Shellac type normal groove compound using synthetic resins and CaCO_3 filler. This disc was seriously deteriorated by exposure to high humidity and fungi. Fungal etching was prominent over the entire surface. This disc was very brittle after exposure, probably caused by loss of plasticizer or one of the resins. (Compound E).
- (6) Acetate, 1944 composition (nitrocellulose plasticized with raw castor oil). Specimens kept in cold room showed a slight fungus growth but no visible evidence of damage. Specimens kept at ambient temperature showed considerable fungus growth which produced little etching but complete loss of adhesion between core and coating. This loss of adhesion began at discrete points (making "blisters"),

and spread to cover the entire area. The surface, though covered with spores and mycelia, was yet relatively clean and smooth. This behavior was identical with that observed when acetate discs were exposed to high humidity environments in stagnant air at elevated temperatures and indicates that loss of the plasticizer by fungal consumption and moisture extraction is responsible for this manifestation of deterioration.

- (7) Acetate, new (nitrocellulose plasticized with modified castor oil and with added stable resins). This specimen proved far more resistant to high humidity and fungal deterioration than the previous specimen. No growth was noted in the cold room specimen, and the ambient temperature specimen was etched considerably only where it was in contact with cardboard. The same type of loss of adhesion between core and coating had begun, but had not progressed to the extent noted in the previous specimen.

Laboratory Investigation of Fungal Action—Jacket Material

The following results were obtained from the six months exposure of jacket material:

- (1) Kraft paper was quickly disintegrated by fungal attack. This paper was cut from commercial disc jackets.
- (2) Kraft paper impregnated with a commercial fungicide (which had an obnoxious odor) designed for such use did not disintegrate as quickly but the fungicide was beginning to lose its effectiveness by the end of the test period.
- (3) Glassine was attacked and deteriorated as rapidly as the untreated Kraft paper. This glassine was cut from a commercial disc jacket.
- (4) Polyethylene film was not seriously attacked by the fungi. Although some fungi were growing on its surface, they appeared to obtain no food from the polyethylene but, probably, from a lubricant used in processing the film.
- (5) Nylon film behaved as did the polyethylene.

That some of the airborne soil fungi are able to utilize some of the organic plasticizers used in resin formulations as a source of organic nutrients is well recognized. In this utilization the fungi in some manner dissolve out the plasticizers and thus reduce the tensile strength, and cause plasticized plastics to crack. Berg, Ebert and Teitell, in their investigation on the utilization of plasticizers and related organic compounds by fungi state that the diesters of saturated, aliphatic dibasic acids can be utilized

by fungi, if they contain 12 or more carbon atoms. The malates are fairly fungus resistant and the alkyl derivatives of phosphoric and phthalic acids do not serve as a carbon source for fungi.

Also an ether linkage into the carbon chain decreases its ability to support fungus growth. These investigators tested the ability of 24 common fungi to utilize 127 plasticizers and related organic compounds as a carbon source. According to Zobell it is a general observation that the susceptibility of hydrocarbons to oxidation by microorganisms increases with chain length up to 15 or 20 carbon atoms. Ethylene glycol is considered toxic to fungi but appreciable growth may be obtained at concentrations of 2% by weight. While the average ability of fungi to utilize a particular plastic as a carbon source may be low, yet it may be very susceptible to attack by a few microorganisms.

Recommendations to Minimize Fungal Action

This investigation indicates that in order to store records for a long period of time, it will be necessary to take several precautions in order to protect them from deterioration by fungi and moisture, and these are as follows:

- (1) Use only those discs made of materials not readily attacked by fungi.
- (2) Use special jackets not readily attacked by fungi. This excludes the use of common cellulosic materials for jackets and corrugated cardboard for separators unless these materials are protected from attack.
- (3) Temperature and humidity should be carefully controlled. Relative humidity should be 55% or less.
- (4) The labels on the records should be made out of a fungus resistant material instead of paper.
- (5) Adhesive for labels should be of a fungus resistant material such as polyethylene.
- (6) Compatible fungicides are available for incorporation in *specific* materials but a general purpose fungicide suitable for incorporation in packaging material which will furnish long-time protection for phonograph discs without accelerating possible degradative reactions is, at present, unknown. (This conclusion was arrived at by a survey of commercially available fungicides and not by laboratory study; see preceding chapter.)

Surface Imprint Resulting from High Contact Stress

The other type of surface damage reproduced in the laboratory was surface imprint, which resulted from local yielding of the material under high contact stresses. For long-time loading, the actual value of a stress which will cause such yielding of thermoplastics is not of the magnitude which would be considered a high stress for a load of limited duration. The combination of a grooved disc surface with the irregular pattern of a warped cardboard or wrinkled jacket material results in a quite small bearing area which, given the proper combinations of temperature and load, will result in surface imprint. This imprint can result in poor playback because the deformed material may interfere with stylus tracking. Cellulosic materials are the worst offenders because of the dimensional changes induced by changes in moisture content. In packaging discs for storage, if surface imprint is to be avoided, it is essential to:

- (1) keep disc temperature below 80° F,
- (2) do not use materials with irregular surfaces, or which can develop irregular surfaces from humidity of temperature changes, in contact with discs,
- (3) do not store discs horizontally or with pressure exerted against their surface.

Section E following discusses recommended storage practices which include attitude and packaging.

E. Summary of Conclusions and Recommendations for Storage of Phonograph Discs

The major portion of this investigation was devoted to the study of phonograph discs. This may seem paradoxical to those who feel that magnetic tape has supplanted the phonograph record for instantaneous recordings so rapidly that the latter sound recording medium is already obsolescent for this purpose. Even if this were true, the fact remains that the present concern of the librarian is to preserve those sound recordings which he is now storing and to select the best sound recording medium for future acquisitions. Also, surprising as it may at first seem, published information on the deterioration of phonograph records is far more incomplete than the information that is available on magnetic tape. This is probably because the modern phonograph record was evolved over a long period of time by the gradual introduction of new materials and new techniques as they were developed by (or to meet the demands of) other fields such as plastics technology and electronics. Magnetic tape, on the other hand, was introduced in a technological period when not

Table 5
A SUMMARY OF THE AGING OF PHONOGRAPH DISCS
A. COMMON TYPES OF DISCS

Nomenclature	Acetate	Shellac	Vinyl
Basic Formulation .	Nitrocellulose (plasticized with castor oil) coating on metal core.	* Shellac, copal resin, mineral filler.	Copolymer of vinyl chloride-acetate, unplasticized.

B. THE EFFECT OF ENVIRONMENTAL FACTORS

Fungi Rating	Very susceptible . . .	Often very susceptible; depends on formulation.	Resistant to growth; not resistant to etching.
Reaction to Excess Moisture	Plasticizer loss; chemical degradation; some dimensional changes.	Chemical degradation; serious dimensional changes.	Unaffected.
Heat Resistance: a. High Temperature b. Thermal Cycling .	Poor. Probably accelerates loss of coating adhesion.	Poor. Not detrimental to good genuine shellac but warp inducing in shellac types.	Poor. Very detrimental dimensionally, inducing warp.
Light Resistance . . . Imprint and Abrasion Resistance.	Very poor Poor.	Good to poor Poor.	Poor. Poor.
Resistance to Attack by Oxygen and Atmospheric Contaminants.	Poor.	Poor to good	Fair.

C. THE RESULTS OF AGING

Probable Modes of Failure (in order of seriousness of results). Probable Causes of Failure	Catastrophic failure of coating; embrittlement. Loss of plasticizer; denitration of polymer.	Embrittlement; warping Loss of extender; condensation of shellac.	Warping; embrittlement. Internal stresses; loss of extender; cross-linking.
Disc Changes	Increase of noise with no significant change in signal.	Increase of tensile modulus of elasticity and loss of impact strength.	Warping.

* This is a best formulation, not necessarily a most common one. There is not a typical shellac formulation.

only were the materials and techniques available to take full advantage of its potentialities, but the method of design and development by scientific research had already been adopted by industry. Both of these sound recording media can be, and probably will be, improved and a major area of improvement is in that of potential storage life. At the present time, one advantage of the phonograph disc over magnetic tape is a sure confidence in the fact that certain types of discs can be safely stored for many decades while such longevity for tape is only a matter of surmise and conjecture. There is no substitute for actual storage experience, and phonograph discs have a good head start in this regard.

Phonograph discs have been made and stored for over fifty years. So many early examples exist of each different kind of disc which are still in excellent condition that it is certain that the potential storage life of each type is at least equal to, and probably far exceeds, the length of time that each kind of disc has been manufactured. At the same time, there have been a sufficient number of discs that have failed to cause concern over the possible loss of valuable recordings. Undoubtedly, inferior materials, poor manufacture, and exposure to abnormal environments have played a part in many of these failures but it also seems evident that the use of proper storage facilities and techniques will inhibit storage deterioration and result in the attainment of maximum disc life.

In the previous sections, the mechanisms and manifestations of degradation of different types of phonograph discs have been discussed. It was noted that the response to the various environmental factors varied for the different types of discs and this poses the first question in defining an optimum storage environment; that is, should the types of discs be segregated in storage and stored in separate environments designed for the idiosyncrasies of the individual types or should a compromise storage environment be designed for phonograph discs as a group? The answer probably lies in the fact that library storage is not dead storage and that library storage facilities must, in themselves, be a compromise based on the parameters of space, economics, record availability, and record stability, and these demands seem to recommend the latter course of action.

Table 5 is a summary of the significant characteristics of the most common types of discs generally found in library collections.

An optimum compromise storage environment for these discs which is compatible with library operations would:

- (1) prevent fungal damage by not providing an environment suitable for fungal activity. This can be accomplished by:
 - (a) reducing fungal nutrients to a minimum by keeping discs clean and not using nutrient packaging materials for storage,
 - (b) reducing moisture on disc surface below amount required by fungi;

- (2) keep moisture content of disc environment at a satisfactorily low value which is, at the same time, not so low as to cause undesirable changes in certain materials. A moisture content in equilibrium with 50% R.H. at 70° F seems to be satisfactory;
- (3) keep temperature reasonably constant and at as low a figure as is compatible with human activity;
- (4) deny access of ordinary sunlight or artificial lighting of the shorter wave lengths (such as certain mercury vapor fluorescent lights);
- (5) store all discs in the vertical attitude, keep them clean, do not use rough surfaced packaging materials, and do not permit sliding contact of disc surface with other surfaces;
- (6) provide a vapor and gas barrier between the disc and the ambient atmosphere. Inert gas purging of the package prior to closure is feasible in a large operation, but is probably not necessary as just prevention of the renewal of oxygen and atmospheric contaminants in the disc environment should reduce the attack by the agents to a tolerable level.

The extent to which these measures can be taken is, of course, dependent on the operation of the individual library. If possible it is, of course, desirable to air-condition completely the entire library and keep its environment dust free, at $50 \pm 10\%$ R.H. and $70 \pm 5^\circ$ F. If this is not possible, the playback and packaging facility environments should meet these standards and the stacks should meet the temperature standards.

The technique of handling discs should be carefully supervised. Discs should be kept clean both for playback and storage. The techniques used in the laboratory for this study were tedious but effective. Routine cleaning was accomplished by using two commercially available systems:

- (1) prior to playback or packaging: a sparingly applied detergent solution with an applicator of sheared acetate velvet fibres;²
- (2) during playback: a sparingly applied ethylene glycol solution with a brush and mohair applicator pad.³

Other systems of dust control and cleaning (such as spray of antistatic compounds, treated cloths, dampened synthetic sponge, and radioactive air ionization) were tried but did not prove as satisfactory as did these techniques. More drastic cleaning (called for in cases like the removal of gummy films from acetate discs) was accomplished by washing the disc in a lukewarm detergent solution, rinsing with distilled water from a wash bottle, quick drying in warm air from a hair dryer, and conditioning the

² Lektrostat Record Cleaning Kit, Dexter Chemical Corp.

³ ESL Dust Bug.

disc in the 70° F, 50% R.H. environment. This drastic cleaning was, of course, only performed when necessary. The disc grooved surfaces were never handled with bare hands (rubber gloves being used) and the discs were inserted into and removed from their packages without touching the grooved surfaces or permitting sliding contact between packaging material and grooved surface.

The present commercial packaging materials used in disc storage are all unsatisfactory in one regard or another. A specially designed package is recommended which:

- (1) is itself protected from the agents of degradation so that it will not warp, grow fungi, or otherwise aid in disc degradation,
- (2) will provide a gas and vapor barrier between the disc and the ambient stack atmosphere,
- (3) will present a smooth surface to the disc and will permit disc insertion and withdrawal without sliding contact between disc and package,
- (4) will be stiff and have some structural strength to help vinyl and shellac disc resist warping and so that it will not itself deform so as to cause surface damage to disc by high contact stresses.

There presently exist a number of satisfactory packaging materials and, with the rapid developments in the packaging industry, there will probably be superior materials to these in the near future.

At the present time, the most satisfactory material seems to be a laminate of polyethylene/paperboard/foil/polyethylene. The paperboard furnishes the necessary stiffness to support the polyethylene and aluminium films and prevent dimensional change or wrinkling of these materials as well as to aid the vinyl and shellac discs in resisting warping. The aluminium foil is an effective vapor barrier to deny access to oxygen and deleterious atmospheric contaminants. The polyethylene furnishes a smooth, fungi resistant surface and also is a moisture barrier for both the paperboard and the discs. Recommended specifications for this laminate are:

- (1) Paperboard—34 point bending chip grade boxboard (0.034 inch caliper).
- (2) Foil—Dead soft aluminium foil (military specification MIL-A-148A) of 0.001 inches thickness.
- (3) Polyethylene—developments in this field are being made so rapidly that no suitable specifications for the latest and best polyethylene coatings are available. Within the past year, the introduction of glueable polyethylene film, medium high density polyethylene, and

very thin films have made obsolete the polyethylene modified paraffin wax coating which would have been recommended but a few months ago. Probably the best current practice would be to use an 8 lb⁴ conventional low-density polyethylene⁵ extrusion coating on the foil and a 15 lb conventional low-density polyethylene coating on the paperboard and to laminate the coated foil to the coated paperboard with polyethylene; both techniques and materials should soon be supplanted by superior and more economical coatings.

It is difficult to estimate the costs for this material with no knowledge of the production volume required. However, recent price information indicates that, for 12 in. discs, the following cost data are approximately correct.

Kraft paper sleeves	\$ 0.01
Boxboard envelope	\$ 0.06 to \$ 0.09
Polyethylene film sleeves	\$ 0.02 to \$ 0.05
Proposed package	\$ 0.15 to \$ 0.20

Figure 19 outlines two feasible package designs.

Prior to insertion of the disc into an envelope, the disc should be clean, and both disc and envelope should be in equilibrium with an atmosphere of 50% R.H. and 70° F. A conditioning (or packaging) room is recommended for this operation. When a disc is received, or if it has been exposed to other than the optimum environment, it should be conditioned for 24 hours before packaging. Even if it is not feasible to aircondition the entire library, it is recommended that the playback facilities and conditioning room have the recommended environment and be dust free. Packaging of a disc with a moisture content higher than recommended may result in a detrimentally high humidity inside the package.

After packaging, the discs should be stored in the vertical attitude without pressure on the disc surface or the opportunity for off vertical attitude. This can be accomplished in at least two ways. One system is to use a compartmented shelf, with each compartment limited in size to accommodate from but one to two dozen packaged discs. A compartment which contains discs should be kept full of either packaged discs or packaged discs and fillers so that packaged discs are kept upright but not so that force is required to remove or insert a disc. Another system is to use shelves whose interior height is but very little greater than the package dimension, with well aligned slotted metal strips on both top and bottom

⁴ Weight, in lbs/3,000 sq ft (reams). 8 lb = 0.5 mil thick, 15 lb = 1.0 mil thick.

⁵ Petrothene 205 or equal.

of the shelves so that each packaged disc is supported in the vertical attitude independently of other discs. Figure 20 depicts these systems.

There are two other packaging techniques, presently used by the foods industry, whose potential value should not be neglected. One of these techniques, which could be *applicable to large collections of precious but very seldom used discs*, is inert gas packaging and the other is the aluminium foil-laminated corrugated box for temperature control during shipment of sound recordings. The application of these techniques to sound record preservation would be a worthwhile endeavor for industrial development and use.

Recordings should be re-recorded when necessary to insure preservation. At present, no completely satisfactory method is available to tell when this needs to be accomplished. As discussed previously, physical inspection for warping, fungus attack, or other visible evidence of deterioration is useful and should be done periodically. Also, there is evidence that detectable changes in the chemical composition of the record can be used to indicate incipient failure due to chemical deterioration, although more information is needed to develop analytical techniques and surveillance procedures. This aspect of the problem might be made the subject of additional study.

(To be continued)

Aktuelle Probleme des Experimentellen Geigenbaues

von

ABRAHAM A. MOLES und E. LEIPP

Problemstellung

Die neuzeitliche Entwicklung der Wirtschaft hat die Herstellung von Saiteninstrumenten grundlegend verändert. Obwohl sich die Anzahl der verkauften Instrumente wie Geige und Gitarre z. B. in den Vereinigten Staaten verzehnfacht hat, haben sich die Herstellungsmethoden fast gar nicht weiterentwickelt, wenn man auch in Deutschland und Sowjetrußland vereinzelte Versuche mit Kunststoffen unternommen hat.

Heute ist die Hauptfrage in der Herstellung die maximale Herabsetzung des Selbstkostenpreises, da der Absatz praktisch allein dadurch bestimmt wird. In einem europäischen Staat, der 35 000 Geigen zu Preisen von 2 bis 4 Dollar in die Vereinigten Staaten exportiert, wird der Geigenbau zu einfacher Schreinerei — der Verbraucher mache sich keine Illusionen über eine etwaige Kontrolle der Klangqualität! Aber er nimmt ja sowieso, was man ihm gibt.

Die klassische Lösung des Preisproblems ist, die gewünschte Erzeugnisqualität objektiv zu bestimmen und dann diese Richtlinie bei der Rationalisierung der Herstellungsverfahren anzuwenden. Ein groß angelegtes Handwerkertum ist keine konkurrenzfähige Lösung.

Der heutige Geigenbau basiert ausschließlich auf der Nachahmung sogenannter vollkommener Instrumente. Nun spielen in der Akustik die allgemeine Beschaffenheit und die mikroskopische Struktur der Werkstoffe, z. B. Holz, eine nicht voraussehbare Rolle, so daß das Nachahmungsprinzip seine Gültigkeit nur dann behält, wenn die verwendeten Werkstoffe denen des Modells gleich sind. Die Tatsache, daß dies praktisch eine Unmöglichkeit ist, erklärt die enormen Qualitätsschwankungen einer Herstellung, die zumal viel schneller, brutaler und unkontrollierter ist als zu einer Zeit, da der Geigenbauer in langer Lehrzeit sich ein sehr genaues, wenn auch empirisches Bewußtsein der Zusammenhänge zwischen Form und Materie erwarb. Es ist diese instinktiv erfaßte Wechselbeziehung, die es erklärt, warum keine alte Geige einer anderen desselben Meisters gleicht, kommt doch Ungeschick hier nicht in Frage; jedes neue Stück Holz veranlaßt den Meister zu einer Änderung, um den gewollten Klang beizubehalten.

Damit kommen wir zum Problem der objektiven Festlegung der erwünschten Klangeigenschaften eines Streichinstrumentes zurück; unter dieser Bezeichnung ist in dem Folgenden ausschließlich die Geige gemeint. Wir

stehen auf dem funktionellen Standpunkt: ist die Musik zum Hören da, so kann ein Instrument nicht durch seine Form, die Schönheit seiner eingelegten Arbeit oder dergleichen, sondern nur durch seinen Klang beurteilt werden. Die Klangbeurteilung zerfällt in zwei Teile:

1. objektiv: die Schwingungsform der Schallereignisse, die das als komplexer Generator betrachtete Instrument erzeugt,
2. subjektiv: die hörphysiologischen Veränderungen, denen sich die so erzeugten „Klanggestalten“ unterziehen¹⁵.

Die wissenschaftliche Forschung ist allein in der Lage, zur Technik des Geigenbaues beizutragen. Nun ist außer einiger Fragmentarbeit nichts Systematisches auf diesem Gebiet unternommen worden, obwohl die Akustik in den letzten fünfundzwanzig Jahren außerordentliche Fortschritte gemacht hat: die Experimentaltechnik ist heute weit entwickelt und die Eigenschaften des Gehörs sind genauestens bekannt. Es wäre also möglich, die Schwingungsform eines Instrumentes genau zu bestimmen, aufzunehmen und zu analysieren.

Das zweite Problem, „gut“ und „schlecht“, „erwünscht“ und „unerwünscht“ festzulegen, erscheint zunächst heikler, doch werden wir sehen können, daß man es — wenigstens für eine erste Annäherung — sehr übertrieben hat.

Bei einem Instrument, dessen Klänge so viele Gestalten annehmen können, je nachdem, wie es der Benutzer anwendet, lassen sich die Ergebnisse am besten in der Form eines *Steckbriefes* des Instrumentes auswerten unter ziemlich strenger Normalisierung der Spielverhältnisse, die aber von der Praxis nicht allzusehr abweichen dürfen.

Instrumentensteckbrief

Im Folgenden wird der Typus des Steckbriefes beschrieben, den man beim heutigen Stand der Technik über ein Instrument aufstellen kann, über welches — seines reinen Geldwertes und seiner historischen Herkunft wegen — man viel Tinte verschwendet hat, hat sich doch die Geige mit einer romantischen Aura umgeben, die aber ihrer Entwicklung sehr im Wege stand.

1. Kennzeichnung

Ein solcher Steckbrief muß *praktische* und *technische* Anwendungen haben. Als Erstes muß das Instrument genau beschrieben werden — eine Art Ausweis, der den untersuchten Gegenstand zunächst definiert. Also enthält der Steckbrief zuerst ein Lichtbild, eine Notiz über den Hersteller, Baujahr und Hauptmaße des Korpus.

Es wäre wünschenswert, wenn der Steckbrief nach Möglichkeit eine Angabe über die verwendeten Werkstoffe enthielte, und zwar die Hölzer (Herkunft, Dichte, Elastizität etc.); es ist aber klar, daß dies im allgemeinen nicht möglich sein wird: ein Steckbrief muß vor allem praktisch sein, also könnte man den bloß historischen und kennzeichnenden Angaben einige Angaben der Konstruktion hinzufügen, die mit den soeben erwähnten Werkstoffangaben in Zusammenhang stehen.

Pasqualini¹¹⁻¹³ verwendet z. B. die einfache und sehr geeignete Methode der elektrostatischen Vibrationserregung, um die Korpusresonanzen einer Geige unabhängig von den Saiten systematisch zu messen. Diese Resonanzen werden durch die Holzigenschaften und die Maße einmalig bestimmt. Ihre Anzahl ist sehr groß, jedoch kommen für uns hier nur einige davon in Frage. Pasqualini konnte auch den genauen Erregungspunkt des Deckels finden, zeigte somit den Weg zur Errechnung der Deckeleigenfrequenz, die vom im Korpus enthaltenen Luftvolumen unabhängig ist. Diese genaue Messung entspricht der instinktiven Geste der alten Geigenbauer, wenn sie mit dem Finger auf den Deckel klopften. Dasselbe wurde hier mit einem elektromagnetischen Detektor realisiert (Fig. 2).

2. Die Klangparameter

Hier spielen die Schallquellen — die Saiten — eine Hauptrolle, müssen also genauestens bestimmt werden. Wir wissen jetzt, daß es ein Gesetz gibt, nach welchem für ein gegebenes Instrument die optimale Saite nach Dichte, Dicke, Umspinnung, Elastizitätsmodulen bestimmt werden kann. Zusammenfassend kann man sagen, daß es für jede Saite eine bestimmte Spannung gibt, eine Funktion deren Elastizitätskonstanten, die einer optimalen Frequenz entspricht, für welche die Schalleistung des Saite-Instrument-Systems maximal ist; diese Spannung ist genügend bestimmt, um alle Zweifel auszuschalten.

Die Stimmung des Systems muß nachgeprüft werden und muß innerhalb genau festgelegter Toleranzen fallen. Ein Vorrat von ausgewählten, im Labor sorgfältig überprüften Saiten ist als Norm zu betrachten. Man verwendet entweder einen mit gleichmäßiger Geschwindigkeit sich bewegenden Normbogen oder einen sich drehenden Bogen.

Man macht eine Anzahl Bandaufnahmen unter Verhältnissen, die sowohl elektroakustisch als auch meteorologisch streng genormt sind — man bedenke z. B. daß eine Holztafel mit einem Trockengewicht von 70 g bis zu 8 g Wasser in einer gesättigt feuchten Atmosphäre aufnehmen kann!

Die Erfahrung bringt die Überzeugung mit sich, daß jeder mehr künstlerisch zu bezeichnende Versuch nicht nur zu sehr vom Ausführenden, sondern auch zu sehr vom subjektiven Urteil der Hörer abhängt. Es handelt sich um eine Bestimmung der *Eigenschaften eines Tongenerators*, und diese

Versuche muß man wie solche über Elektromotoren oder Niederfrequenzoszillatoren behandeln. Ausgeführt werden also steigende und fallende Tonleitern mit dem Normbogen, ein gehaltener Ton auf jeder leeren Saite, eine Pizzicatofolge und ein Frequenzgang „über alles“ in der ersten Lage. Außer diesen Tests unter annähernd natürlichen Spielverhältnissen kann man besondere und genauere Versuche mit einem durch einen mechanischen Bogen erzeugten Dauerton unternehmen (Fig. 1). In diesem Fall kann das Spektrum der leeren Saiten mit einem Frequenzanalysator ermittelt werden, was über die Resonanzen und Schwingungskonstanten, also über die Kopplung zwischen Saiten und Instrument, Aufschluß gibt. Werden dieselben Messungen nach einem Jahr wiederholt, so werden Verschiebungen der Töne die Korpusdeformierungen und die Intensitätsveränderungen die Alterung aufzeigen.

Entwurf eines Steckbriefes für die Geige

1. Herstellung

a. Hersteller

b. Korpusmaße, Nutzlänge der Saiten, Saitenwinkel auf dem Steg, Steigung des Griffbretts, Steghöhe.

2. Beschreibung

Drei Lichtbilder (Vorder-, Rück- und Seitenansicht), Farbe, Lack (Zusammensetzung wenn möglich, Trocknungsdauer, Art der Verleimung).

3. Werkstoffe

a. Holz (Herkunft, Alter, Dichte, elastische Konstanten)

b. Hauptresonanz des Korpus

c. Hauptresonanzen von Deckel und Boden.

4. Klang

A. Besaitung

Ein Satz Normsaiten, gekennzeichnet durch ihre spezifische Spannung, die Dicke in Hundertstel von Millimetern, ihre Stimmung in Savats (Toleranz der Obertöne untereinander: 2 Savats)

Spektren der Saiten allein

(alle Saiten sind vom selben Hersteller zu beziehen).

B. Schallaufnahmen

Normbogen: Bezugsbreite 1 cm; festgelegte Spannung, ständige Kolophonierung, Geschwindigkeit 1 m/s.

Tonbandgerät entspricht allen Normen: geradliniger Frequenzgang von 30...10 000 Hz \pm 2 dB, dynamischer Bereich 60 dB. Raumnachhall $< 0,5$ s bei 1000 Hz, genormtes geschwindigkeitsempfindliches Bandmikrofon, 80 cm vom Steg normal zum Deckel.

Relative Feuchtigkeit 50%, Temperatur 20°.

Die Aufnahmen sind:

- a. Ein gehaltener Ton auf jeder leeren Seite (Fig. 3)
- b. Eine steigende und eine fallende Tonleiter über eine Oktave auf jeder Saite (Fig. 4):
 - i. *pp* (der Kleinstpegel, bei welchem das Instrument noch anspricht)
 - ii. *ff* (normaler Höchstpegel)
- c. Ein Pizzikato auf jeder Leersaite (das Plektrum zieht die Mitte der Saite 5 mm aus der Normallage vor dem Zupfen), man mißt den absoluten Pegel in Phon und die 60 dB-Ausschwingzeit
- d. Frequenzgang über alles von G_3 bis A_4 in der ersten Lage.

C. Messungen

- a. Brüel & Kjaer Pegelstreifen von den gesamten vorhergehenden Schallaufnahmen: $WS = 400 \text{ dB/s}$, $LLF = 50 \text{ Hz}$, $v = 1 \text{ mm/s}$
- b. Frequenzanalysator-Spektren der gehaltenen Leersaitentöne a.
- c. Frequenzanalysator-Spektren der Leersaiten-Pizzicati c.

Vor den Messungen werden die Saiten 24 Stunden in freier Luft stabilisiert.

Den so festgelegten Steckbrief kann man als Normsteckbrief aller Instrumente betrachten; für den Geigenbauer, den Fachmann oder den Benutzer — sei er Künstler oder Dilettant — erfüllt er seine verschiedenen Zwecke. Es wäre zu wünschen, daß solche Steckbriefe in der nicht allzufernen Zukunft von den Herstellern selbst ausgestellt werden, genau wie Uhrmacher bestimmten, „Chronometer“ genannten Uhren einen Steckbrief und eine Garantie begeben. Der Steckbrief dient nicht nur dazu, ein Instrument zu identifizieren — was bei nicht mehr ganz neuen Instrumenten immer mühsam ist — sondern bietet außerdem den Vorteil einer objektiven Bestimmung der Qualität, die in jenen eigentlich ziemlich aleatorischen Geigenklangwettbewerben viele Debatten erregt hat. Der Steckbrief enthält einen rechnerischen und einen klingenden Teil: das *Tonband*, dessen Dauerhaftigkeit die heutigen Materialien und Aufnahmefethoden gewährleisten können. In diesem Fall wird ein Klangwettbewerb zu einem einfachen Vergleich von Instrumentenpaaren, wodurch ein gut Teil der Publikumsattraktion verlorenggeht, wäre doch etwas an sich Langweiligeres als das Anhören von Tonleitern schwer zu finden. Dieser Verlust wird aber durch den wissenschaftlichen Beitrag zum Fortschritt im Geigenbau mehr als gutgemacht — man denke nur an die Automobilwettbewerbe und deren Wert für die Kraftfahrzeugindustrie. Der Geigenbauer kann nämlich die Ergebnisse des Steckbriefes genauestens anwenden und z. B. die Eigenfrequenzen der Decken und Böden bei der Teilkontrolle der Produktion verwerten. Ähnlicherweise könnte man Steckbriefe für die Saiten ermitteln und in dieser Richtung haben wir schon einige Arbeit geleistet.

Der Steckbrief läßt sich für die statistische Verwertung durch die Geigenmacher zu einem „Raster“ vereinfachen, der die verschiedenen wesentlichen Elemente enthält (Fig. 5) und eine Vorstufe zum eventuellen Gebrauch von Lochkarten darstellt. Eine besondere Eigenschaft dieser vereinfachten Darstellung ist die Folgende: sind die zahlenmäßigen Werte auch ungenau, so hat das resultierende *Muster* eine bemerkenswerte Stabilität, die es von der Ungenauigkeit der Angaben weitgehend unabhängig macht, was die Systematisierung der wissenschaftlichen Kontrolle der Instrumente erleichtert.

Die zwei in Fig. 5 miteinander verglichenen Geigen sind eine ausgezeichnete moderne Geige und eine Savartsche trapezoide Geige.

Savart war ein echter Experimentierer ohne Respekt für die heilige Tradition und machte Versuche mit der Geigenform, um einfach zu sehen, was dabei herauskommen würde. Nach den damaligen Berichten wurde der Klang seiner trapezoiden Geige hochgeschätzt in objektivem Vergleich mit einer traditionellen Geige — Cherubini war Jurymitglied! Die Tatsache, daß die hundert Jahre später durchgeführten genauen Messungen die Savart deutlich minderwertig aufzeigen, führt zu der Annahme, daß der Zeitfaktor die trapezoide Form ungünstig beeinflusst, rechtfertigt somit die klassische Geigenform nicht so sehr aus klanglichen Gründen, sondern aus solchen der Haltbarkeit. Außerdem ist es sehr wahrscheinlich, daß der Unterschied von fast 20 dB zwischen den Tiefen und den Höhen der Savart in Zusammenhang steht mit der Lage des Baßbalkens in der Mittelachse der Decke, die die Biegungselastizität der tiefen Seite also nicht mehr genug unterstützt.

Das subjektive Element

Die heutigen Probleme des Geigenbaues werden durch diesen Steckbrief klar aufgezeigt. Das subjektive Element ist aber noch zu untersuchen: ist die Quantität und Qualität des von einem Instrument erzeugten Schalls einmal bekannt, muß man auch noch wissen, inwiefern diese Eigenschaften vom Zuhörer aus gut oder schlecht sind. In diesem Bereich herrscht ziemliche Verwirrung, jedoch zeitigt eine aufmerksame Untersuchung der Entwicklung und Anwendung der Instrumente einige bestimmende Tatsachen:

1. *Die Schall-Leistung* ist bestimmt diejenige Eigenschaft aller Instrumente, die man mit der geringsten Mühe würdigen kann und die am meisten nachgefragt wird. Das Problem ist besonders akut für den Solisten, der in immer größeren Sälen und unter Begleitung immer größerer Orchester um jeden Preis durchkommen muß; hat er ein mangelhaftes Instrument, so kann er sich aushelfen, indem er systematisch ganz wenig falsch spielt, um nicht verdeckt zu werden.

Fig. 5

Porträts:

Objektive Benennung	Absoluter Pegel der Leersaiten				Pegelabweichungen innerhalb einer Saite				60 dB-Abklingzeit				Einschwingzeit				Timbre			
Subjektive Benennung	„Schallleistung“				„Gleichmäßigkeit“				Klang „voll oder trocken“				Leichte Ansprache				„Warm, rund, scharf, schreiend“			
Saiten	E	A	D	G	E	A	D	G	E	A	D	G	E	A	D	G	E	A	D	G

EINER SEHR GUTEN MODERNEN GEIGE:

Sehr gut:	1															X			
Gut:	2	X			X	X			X						X		X		X
Befriedigend:	3		X	X				X		X	X	X	X	X					X
Ausreichend	4					X				X								X	
Mangelhaft:	5																		
Ungenügend:	6																		

Durchschnitt: 2,7

EINER SAVART-GEIGE:

Sehr gut:	1																		
Gut:	2																		
Befriedigend:	3	X				X	X					X				X	X		
Ausreichend	4		X				X			X				X					
Mangelhaft:	5			X	X			X	X	X	X	X	X	X	X			X	
Ungenügend:	6																		X

Durchschnitt: 4,25

Die Beurteilungsnormen in Dezibel, Millisekunden, Formanten (Anzahl und Lage) sind noch zu bestimmen.

2. Was das *Timbre* anbelangt, so bringt es die außerordentliche Anpassungsfähigkeit des Gehörs mit sich, daß es erst an zweiter Stelle das *Timbre* beurteilt, dessen Mängel sehr leicht durch virtuoses Spiel verdeckt werden können; ohne Widerspruch kann man behaupten, daß jedes *Timbre* gut ist, solange man es richtig zu verwenden weiß.

Es war natürlich nicht immer so, und auch heute noch gibt es eine Minderzahl von Musikern (z. B. Streichquartettmitglieder), die feinere Wahrnehmungen verlangen, auch in Bezug auf die Form des gesamten Spektrums; doch wissen wir jetzt, daß dies viel zu sehr von der akustischen Umgebung abhängt, vom Nachhall und vom Verhältnis des reflektierten zum verhallten Schall, um bei einiger Entfernung vom Instrument eine besondere, statisch erfaßbare Rolle zu spielen. Also ist es konsequent, die Forschungsarbeit zunächst auf den Schallpegel zu richten.

Bei den für die Aufstellung der Steckbriefe der verschiedenen Instrumente erforderlichen Messungen haben wir eine große Sammlung von Zahlenergebnissen angehäuft, darunter auch solche, die sich auf die Schallgeschwindigkeit in Holz und Saite beziehen. Wir konnten auch eine Anzahl charakteristischer Parameter aufstellen, die das Klangspektrum mit den physikalischen Eigenschaften der verwendeten Werkstoffe verbinden. Dieser Weg führt schließlich zur wissenschaftlichen Beherrschung der wahrnehmbaren Einflüsse — nur diese wissenschaftliche Beherrschung kann zu einer Verbesserung der Geigenbautechnik führen.

Schluß

Diese kurze Übersicht über das Problem des Instrumentensteckbriefes zeigt eine sehr einfache Zusammenstellung empirischer Ergebnisse, eine autonome Forschungsmethode, die sehr schnell zu den Grundproblemen der Physik des Geigenbaues führt. Die beträchtlichen Fortschritte der Elektroakustik und besonders die systematische Einführung der Schallaufnahmetechnik im Labor sind zu solcher Arbeit an Steckbriefen oder an Dokumenten überhaupt wie geschaffen, trennen sie doch die eigentliche Feldarbeit der Aufnahme selbst ganz deutlich von deren Auswertung, die sich dann bequem im Labor durchführen läßt.

Man kann einen interessanten Vergleich aufstellen zwischen dieser Entwicklung und parallelen Techniken auf anderen neuzeitlichen wissenschaftlichen Bereichen, wie z. B. die Schall- und Vibrationsforschung, bei welcher sich die Schallaufnahme im Feld und die Untersuchung im Labor durch Methoden wie die der Bandschleife vollkommen getrennt haben.

Man kann endlich behaupten, daß das Tonbandgerät zum Hauptgerät des akustischen Labors geworden ist, eine Tatsache, in der der Hauptunterschied zwischen unserer Zeit und dem Heldenzeitalter der Akustik, des Zeitalters eines Savart und eines Bouasse, zu suchen ist, denn damals waren die Schallereignisse seltene, veränderbare, flüchtige Erscheinungen, bei denen die subjektive Aussage eine unendlich wichtigere Rolle spielte.

Aber das Tonbandgerät, ja die ganze Schallaufnahmetechnik, stellt auch den Gesamtkomplex der Orchesterinstrumente in ein neues Licht. Gewiß, die aufgenommene Musik, die nun, da sie ihre Reife erlangt hat, über 90%

der gesamten musikalischen Tätigkeit der Welt ausmacht, wird die Anwendung der Instrumente bald an ihre neue Aufgabe anpassen. Die elektrische Gitarre ist keine dem Labor eigene Rarität mehr. Die Geige allein ist stehengeblieben, weil man die überwältigenden Fortschritte eines lang vergangenen Zeitalters noch immer nicht vergessen hat und sie als vollkommen betrachtet, anstatt sich zu einer Untersuchung der möglichen Verbesserungen aufzuraffen und sie den heutigen Umständen anzupassen zu versuchen.

Bedenkt man die Rolle des Mikrofons in der heutigen Musik, so kommt man zu der Ansicht, daß die Frage der Schalleistung, um die sich der heutige Instrumentenbau dreht, eines Tages in den Hintergrund treten wird, genau wie man die Schönheit einer Singstimme nicht mehr nach den schmetternden Beispielen des Belcanto vom vorigen Jahrhundert beurteilt. Dann wird die Klangqualität nicht mehr eine Frage des Pegels, sondern des Timbre sein und die Probleme des Geigenbaues werden sich vielleicht völlig umdrehen.

References

Schrifttum

- 1 BACKHAUS: Über Resonanzeigenschaften von Streichinstrumenten. *Ak. Zeitschrift* 1 (1936) und 4 (1939)
- 2 BLADIER: Etude sur la vibration des cordes dans les instruments de musique. *J. Phys. et le Radium*, déc. 1954 et déc. 1955
- 3 BLADIER: Evolution des phénomènes transitoires dans la mise en vibration des cordes. *Journ. Phys.*, déc. 1956
- 4 BLADIER: Sur la caisse, l'âme et le chevalet du violoncelle. *Comptes Rendus Ac. Sc.*, août 1957
- 5 CHARRON: Thèse sur le frottement de l'archet. Paris, 1916
- 6 CHENANTAIS: Le violoniste et le violon. Nantes, sans date
- 7 LEIPP: Essai sur la lutherie. Paris, 1946
- 8 LEIPP: La sonorité du violon. Paris, 1952
- 9 MEINEL: Frequenzkurven von Geigen. *Ak. Zeitschrift* 2 (1937) und 4 (1939)
- 10 MOLES: Pourquoi deux violons font-ils plus de bruit qu'en seul? *J. Phys.*
- 11 PASQUALINI: Nuovi risultati nello studio nella cassa armonica. *La ricerca scientifica*, 1943
- 12 PASQUALINI: Misura dell'attrito interno e delle costanti elastiche del legno. *Nuovo Cemento*, 1948
- 13 PASQUALINI: L'étude electroacoustique de la caisse harmonique. *Congrès Int. Electroacoustique*, Delft, 1953
- 14 SAUNDERS: The Mechanical Action of Instruments of the Violin Family. *Journ. Ac. Soc.* 9, 1946
- 15 STEVENS and DAVIS: Hearing. Wiley and Sons
- 16 SAVART: Mémoire sur la construction des instruments à cordes et à archet. Roret, 1894
- 17 VANNES: Dictionnaire des Luthiers. Bruxelles, 1951. (Préface de C. Iviglia)
- 18 WINCKEL: Die Kunst des Geigenbaues. Berlin, 1954
- 19 WINCKEL: Le Monde des sons sous la loupe. Ed. franç. chez Dunod, 1958

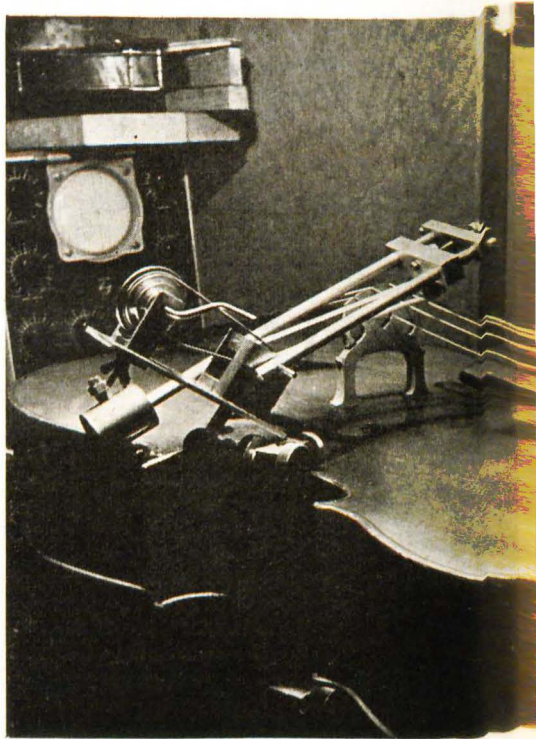
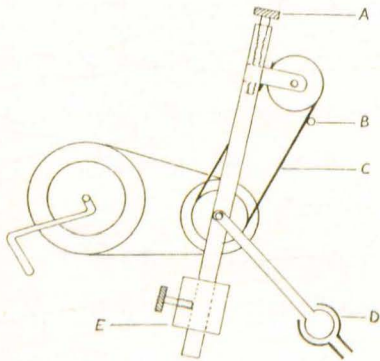


Fig. 1 Drehbarer mechanischer Bogen: der Bezug C ist ein Pergamentstreifen, dessen Spannung durch die Schraube A verändert werden kann; der Druck auf die Saite B ist durch Verschiebung des Gegengewichtes E und die Geschwindigkeit durch die abgestufte Riemenscheibe veränderbar, während das Kugelgelenk D jede gewünschte Richtung zulässt.

Rotating mechanical bow: the "hair" C is a strip of parchment whose tension can be adjusted by the screw A; its pressure on the string B is adjusted by moving the counterweight E, while the cone pulley enables the speed to be varied. The supporting ball-joint D allows all possible orientations.

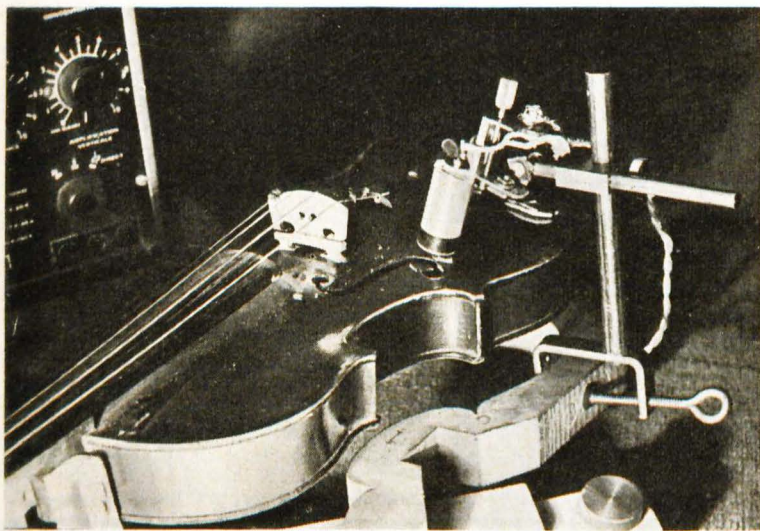


Fig. 2 Geigenprüfvorrichtung mit elektromagnetischem Detektor — ein Stückchen Eisen wird an der interessierenden Stelle auf dem Instrument verkittet, welches auf dem Untersatz mittels weicher Gummikeile gehalten wird.

The experimental setup for violin study showing the electromagnetic detector coupling with a small piece of iron cemented to the instrument at the point under examination. The instrument is held to the frame by means of soft rubber wedges.

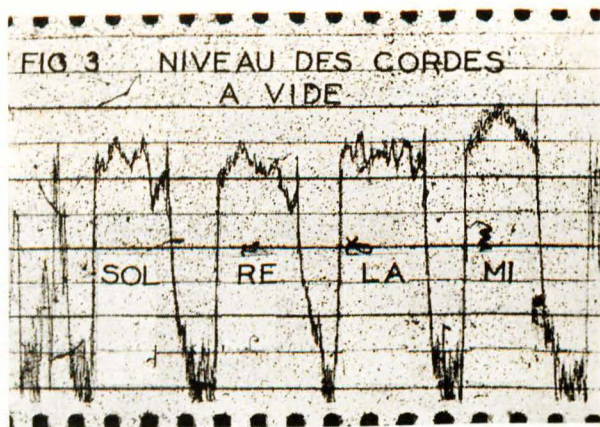


Fig. 3 Pegelstreifen der Leersaiten, mezzoforte. Die Schwankungen werden durch den normalen Bogen erzeugt. Aus diesem Grunde wurde der drehbare mechanische Bogen konstruiert.

Level recordings of the open strings, playing mezzoforte. The irregularities stem from the use of the normal bow, which is the reason why the rotating mechanical bow was designed.



Fig. 4 Pegelstreifen von steigenden chromatischen Tonleitern im forte auf den vier Saiten einer modernen Geige Nr. L 19. Bemerkenswert ist die Ausgeglichenheit dieser Geige im Vergleich mit anderen Instrumenten wie die Savartsche trapezoidale Geige, die Schwankungen von mehr als 20 db aufweist.

Level recording of ascending chromatic scales on the four strings of a modern violin No. L 19, playing forte. Note the excellent balance of this instrument compared to other violins like the Savart trapezoidal violin which fluctuates over a range of over 20 db.

Some Current Problems of Experimental Violin-Making

by

ABRAHAM A. MOLES and E. LEIPP

Statement of the Problem

The making of instruments of the violin family has completely changed face during the past half-century under the influence of commercial factors. While the consumption, in absolute numbers, of instruments like the violin and the guitar is now in the United States ten times the previous figure, manufacturing *methods* have undergone no basic change in spite of some experiments, mainly in Germany and Russia, with moulded plastics.

Manufacturing considerations have been based on questions of maximum prime cost reduction, for this pretty well determines the demand. Once a European country exports 35 000 violins to the United States at a price of \$2 to \$4, violin-making becomes a simple problem of carpentry; sound control is a consumer's illusion — in any case, he takes what he is given.

With this state of affairs, the classical solution of the problem of cost reduction is an objective attempt at defining product quality, followed by quality-controlled rationalisation of manufacture. Skilled craftsmanship on a large scale is no real solution in the face competition.

Current manufacturing methods are based exclusively on copying so-called perfect models. Now in the realm of sound, the microscopic form and structure of materials — the wood, among others — all play their part; and the copying method evidently holds good only if the materials employed are similar to those of the model; hence the large fluctuations of quality in poorly controlled manufacture, which is in addition faster and more brutal now than at a time when, after long apprenticeship, the violin-maker acquired a very exact, even if empirical, sense of relation between form and material. This instinctive relation explains the continual variations shown by the instruments of the masters, variations which cannot be ascribed to a lack of skill: each time the master started on a new stock of wood, his models were modified in order to obtain a definite, preconceived sound.

This brings us back to the problem of objective definition of the tonal quality of a stringed instrument, confining ourselves here to the violin. Let us adopt the functional view: music is made to be heard, so an instrument must be judged on the sound it produces and not on its shape, the beauty of its inlaid work, and so forth.

Assessment of an instrument's tonal quality comprises:

1. an objective part: the wave-form of the phenomena produced by the instrument, regarded as a complex generator,
2. a subjective part, relating to the transformations which the human ear imposes on the "tonal objects" produced¹⁵.

Scientific research alone can contribute to progress in violin-making, but, apart from some fragmentary work, nothing has been done in this field in a systematic way. However, the science of acoustics has, during the last twenty-five years, made enormous progress; experimental technique has been developed to a very full degree and the ear's properties have been very accurately defined. There seems to be, therefore, some possibility of finding out accurately the wave-form produced by an instrument, and of recording and analysing it.

The second problem seems more delicate at first sight, namely, to define what might be termed good or bad, desirable or undesirable; but we shall see that the problem has been greatly exaggerated, at least as far as a first approximation is concerned.

We are dealing with a versatile instrument capable of producing many different sounds depending on the way it is being used by the human operator, so that the results can best be assessed by presenting them in the form of a *characteristic certificate* of the instrument and by strict standardisation of play conditions without removing them too far from current user practice.

Characteristic Certificate

We shall describe here the type of certificate which can, in the present state of the art of acoustics, be drawn up on an instrument on which, by reason of its expense and historical origin, much ink has been spent: for the violin has, in the course of time, surrounded itself by a rather romantic aura which has been quite detrimental to its progress.

1. Identification

A certificate like this must have practical and technical applications. The first characteristic it must give is a sufficiently accurate identification of the instrument, a sort of identity card, defining first of all the object under study. The head of the certificate will therefore contain a photograph, a note on the maker, the date of manufacture and the characteristic dimensions of the sound-box.

It might be desirable for this certificate to contain also, within the limits of possibility, some information on the materials, e. g. the wood (origin, density, elasticity, etc.), but it is obvious that this will be hardly possible in most cases — the certificate must be, above all, practical. It

will then be desirable to add to the strictly historical and identifying factors some data of a more structural nature bearing on the preceding factors, characterising the materials employed. Pasqualini¹¹⁻¹³ for example systematically measured the resonances of violin sound-boxes independently of the strings, by the relatively simple but apt method of using an electrostatic vibrator. These resonances are uniquely determined by the wood constants and the dimensions. They are very numerous, but from our particular point of view only some of them are of immediate interest. In accurately defining the excitation point of a violin's belly, this author showed that it is possible to determine the resonant frequency of the belly, depending on the elastic constants of the wood and independent of the volume of air contained in the sound-box. This accurate measurement is the counterpart of the old violin-makers' instinctive tapping on the belly with the finger. We have reproduced these experiments with an electromagnetic detector (fig. 2).

2. Acoustic Parameters

Under this heading it is the strings, sources of the sound, which play a major part and must therefore be strictly defined. We now know that there is a law which specifies the optimum string for any given instrument in terms of density, thickness, winding and moduli of elasticity. Briefly, any string has a specific tension, which is a function of its elastic parameters, corresponding to an optimum frequency for which the acoustic output of the string-and-instrument system is a maximum; this tension is sufficiently defined to leave no room for doubt.

The intonation must be checked and must be within well-defined tolerances. A selected stock of laboratory-controlled strings must be used as standard.

Similarly, either a standard bow moving at uniform speed or a rotating bow should be used for the mechanical tests.

From this point on, a certain number of tape recordings are made with a microphone under very well defined standard conditions, as regards not only the electroacoustics but also the meteorological conditions, which have great bearing on the result (thus, a dry panel of wood weighing 70 gm can absorb up to 8 gm of water in a moist atmosphere at saturation).

After numerous experiences we decided against any tests of a more artistic nature, for these depend far too much on the player as well as on subjective audience reaction. We are trying to define *the properties of a sound generator*, and these tests must approach those used on electric motors or low frequency oscillators. They will include, for example, ascending and descending scales played with a standard bow, a sustained note on each open string, a pizzicato sequence and an "overall" response curve in first position.

In addition to these tests under conditions bordering on the normal, more specific and precise tests can be made on a continuous sound produced by a mechanical bow (fig. 1). The spectrum of each open note can be obtained by a frequency analyser, leading, together with the resonance information already obtained, to conclusions on the coupling between strings and instrument. If these measurements are repeated after a year, the displacement of the notes themselves will show the importance of sound-box deformation, while changes in the intensity of the sound will show the influence of aging.

Proposed Characteristic Certificate for Violin

1. Construction

a. Maker

b. Sound-box dimensions, thicknesses, useful string length, length of tail-piece, angles of strings on the bridge, rise of the fingerboard, bridge height

2. Appearance

Three photographs (front, back, side), colour, varnish (composition if possible, drying time, type of glue)

3. Materials

a. Wood (origin, age, density, elastic constants)

b. principal resonance of the sound-box

c. principal resonances of belly and back

4. A. Stringing

A set of standard strings defined in terms of their specific tension, thickness in hundredths of a millimetre and their intonation in savarts (tolerance among the partials 2 savarts).

Spectra of the strings by themselves.

(String samples to be made by the same manufacturer.)

B. Sound Recordings

These recordings are to be made using the standard bow: hair width 1 cm, specified tension, continuous rosin application, speed with respect to string 1 m/sec.

The recordings are to be made on a standard tape recorder with a response from 30 to 10 000 c/s uniform within ± 2 db and a dynamic range of 60 db.

The recordings are to be made in a room having less than 0.5 sec. reverberation time at 1000 c/s, with a standard ribbon velocity microphone placed 80 cm from the bridge perpendicular to the belly.

Atmospheric conditions: RH 50%, temperature 20°C.

The recordings comprise:

- a. *A sustained open note* on each string (fig. 3)
- b. *An ascending and descending scale* on each string over one octave (fig. 4):
 - i. played *pp*, being the minimum tone obtainable
 - ii. played *ff*, being the instrument's normal maximum under normal playing conditions.
- c. *A pizzicato note* on each open string: plectrum displaces the centre of the string by 5 mm before plucking; recording to be carried out to a decay of 60 *db* and the time measured as well as the absolute level in phones.
- d. *An overall response curve* playing forte from G₂ to A₄ in first position.

C. Graphical Recordings

- a. Brüel & Kjaer level recordings of all the above tape recordings: WS = 400 *db/sec*, LLF = 50 *c/s*, v = 1 *mm/sec*.
- b. Frequency analyser spectra of sustained open notes under *a.* above.
- c. Frequency analyser spectra of pizzicato open notes under *c.* above.

All these measurements are to be preceded by string stabilisation for 24 hours in free air.

The above-defined certificate may be regarded as a standard certificate for any instrument; it is useful to a violin-maker, a specialist or a user, be he artist or amateur. It is worth hoping that, in the near future, such certificates are drawn up by the makers themselves, following the example of many watch manufacturers who accompany certain watches termed "chronometers" by a running report and a warranty. Apart from their obvious use in the identification of an instrument, which always becomes involved once the instrument has acquired a certain age, they would enable objective definition of instrument quality, which has been subject to numerous discussions in these rather random competitions of string tone. In fact, this certificate comprises a numerical part and a sounding part — the tape — whose permanence can be guaranteed by to-day's recording methods. A competition of string tone will in this case be reduced to a comparison by pairs. While much of the public attraction will be lost by this — for there is nothing duller than listening to scales going up and down — this will be outweighed by the gain in scientific value of furthering progress in violin-making, as motor-car competitions have done for the automobile industry; the maker can obtain accurate values from such

The certificate might be simplified for the sake of statistic applications by the makers, by reducing it to the form of a "grid" referring to the various essential aspects, such as fig. 5. This grid would be the preparatory stage to the use of perforated cards. An advantage inherent to this simplified arrangement is that while the absolute numerical values of the "score" might well be the subject of much discussion, the resulting *pattern* of relative values shows a remarkable stability of structure making it largely independent of the possible inaccuracy of the absolute values. This can therefore simplify scientific instrument control systematisation.

The two violins compared in Fig. 5 are an excellent modern violin and a Savart trapezoidal violin. Savart followed the true experimental method, showing no respect for tradition, rather experimenting with the violin's shape to see how it would turn out. It is on record that Savart's trapezoidal violin was held in high esteem for tone when compared to an ordinary violin objectively and without prejudice — Cherubini was a member of the jury. The fact that accurate measurements made a hundred years later clearly show it to be inferior, would imply that this shape does not age very well, justifying the classical violin shape rather for its resistance to aging, than for its inherent tonal qualities.

Apart from that, it would appear that the difference of nearly 20 *db* between the low and high register of the Savart violin may be partly accounted for by the position of the bass on the belly's longitudinal axis of symmetry, which might not give the bass side enough bending elasticity in comparison to the treble side.

The Subjective Element

The setting up of such characteristic certificates clearly shows up current problems of violin-making, leaving the subjective element still to be examined: once the quantity and quality of sound produced by an instrument has been determined, it must still be established in what way these qualities are regarded as good or bad by the listener. While there is much confusion on this subject, close scrutiny of the evolution and use of instruments brings some decisive factors to light:

1. *Power* is certainly the quality most easily appreciated and most looked-for in all instruments; from the soloist's point of view, this is of prime importance: playing in larger and larger halls, accompanied by larger and larger orchestras, he must come through at any price. If his instrument happens to be deficient, he uses the trick of playing slightly out of tune all the time, so as not to be masked.

2. *As for timbre*, the ear's extraordinary adaptability places this in second position only, for virtuosity of playing can easily hide defects of timbre. It can be maintained without paradox that any timbre is good, provided it is put to proper use.

Of course, the position has not always been thus, and a minority of instrumentalists (string quartet members, for example) look for more subtle qualities, leading even to the overall shape of the spectrum, but we now know that this is far too dependent on room acoustics, on reverberation and on the proportion of reflected to reverberated sound, for being able to play an important, statistically significant part at any reasonable distance from the instrument. The logical thing for manufacturers to do, is first of all to concentrate on the question of power, or sound level.

In determining the data contained in the characteristic certificates of various instruments, we have had to obtain a large collection of numerical results, some of them relating to the speed of sound in the various types of wood and strings; this led to the establishment of a number of characteristic parameters relating the spectrum to the physical properties of the materials used. This road leads to eventual capture of the parameters actually perceived in the sound, which alone can have some scientific improvement of violin-making as a result.

Conclusion

This brief survey of the problem of the characteristic certificate of instruments shows that there exists a simple systematisation of empirical results, an autonomous research method which very rapidly reaches the fundamental problems of the physics of violin-making. The recent considerable progress in sound recording in the laboratory makes it possible to do written work at leisure in the laboratory, on the recordings which have already been taken.

It is interesting, incidentally, to note a parallel evolution of experimental technique in other fields of research, for instance in noise and vibration study, where field recording and laboratory study by methods such as the closed loop have been cleanly separated.

Going further, it can be said that the tape recorder has become the acoustic laboratory's prime instrument, and it is this which distinguishes the present time from the heroic era of acoustics, from Savart to Bouasse, when sound events were rare, fluctuating, fleeting, and when, consequently, subjective evidence played an infinitely greater role.

But the tape recorder and allied sound recording techniques are revolutionising even the outlook of orchestral instruments. It is certain that

recorded music, which has now come of age and represents over 90% of the world's musical activity, will very shortly condition the adaptation of instruments to their new role. The electric guitar is no longer a laboratory curiosity. The violin alone seems to have fossilised because it was decided, on the basis of terrific progress made at a time long since dead, that this instrument is perfect — instead of making an effort to look into any possible improvements which would adapt it better to present conditions.

If modern music is to become microphone music, it seems likely that the question of tonal power, about which present instrument-making is revolving, will one day take second place; it will be the same with singing voices, which are already judged by the microphone more on their beauty of tone and variety of expression than on their size. "Tone" will then no longer be a question of level but of timbre, so that violin-making may be turned completely on its head.

IN ALLER WELT - FÜR JEDEN FALL



D 24 B

MIKROFONE

FÜR:

RUNDFUNK · FERNSEHEN · TONFILM

EIA ·

TONBANDGERÄTE · STEREO-MIKROFONE



AKUSTISCHE- u. KINO-GERÄTE GMBH

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

Impulsmethode zur Messung von Geigenresonanzen

von

W. LOTTERMOSER und Fr. J. MEYER

Einleitung

In dem bekannten Buche von Hill¹ über das Leben und Werk von A. Stradivari wird folgende Rangordnung der Bauelemente einer Geige hinsichtlich ihrer Klangwirkung aufgestellt:

1. Lack,
2. Konstruktion und Dimension,
3. Material.

Die bisherigen akustischen Untersuchungen auf diesem Gebiete² ergaben, daß es schwer ist, irgendeinem dieser Elemente eine besondere Bedeutung zuzuerteilen, es scheint vielmehr wichtig zu sein, daß die drei genannten Komponenten von den besten Meistern optimal ausgewählt und aufeinander abgestimmt wurden.

Der Einfluß des Lackes wurde zu einem gewissen Grad akustisch erfaßt³ und seine in bestimmter Art dämpfende Wirkung erkannt. Daß die Konstruktion und Dimension von akustischer Bedeutung ist, liegt auf der Hand, wenn man an die Resonanzkurven von Stainer-Geigen mit hoher Wölbung oder an die von Bratschen im Vergleich zu Geigen denkt. Das Material, also Art und Beschaffenheit des Holzes, vornehmlich das der Decken, dürfte ebenfalls eine bedeutende Rolle spielen, was insbesondere aus den Untersuchungen an Einzelteilen⁴ der Geigen deutlich wurde. Zum ersten Male wurde dabei der Weg beschritten, die akustischen Eigenschaften der verschiedenen Teile der Geige im Verlaufe ihres Zusammenbaus messend zu verfolgen, und es konnte gezeigt werden, daß sich die Folge der Resonanzen bei der fertigen Decke in einem gewissen Grad aus der Resonanzkurve der rohen Platte herleiten läßt. Das gleiche gilt auch vom Boden, aber auch von der Kombination der Decke bzw. des Bodens mit dem Zargenkranz, sowie vom Zusammenbau des Körpers mit und ohne Stimmstock. Einen besonderen akustischen Eingriff bedeutet zweifellos der Einbau des Stimmstockes, weil durch ihn Decke und Boden gekoppelt werden und sich deren Spannungsverhältnisse verändern.

Natürlich gibt es verschiedene Wege, den Bau klanglich guter Geigen anzustreben, wie die Arbeiten von U. Arns⁵ und L. Suominen⁶ erkennen ließen, in denen die Schwingungszustände der Decken und Böden studiert wurden. In der vorliegenden Arbeit, die in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig ausgeführt wurde, liegt die Betonung auf

der Aufnahme der Resonanzkurven, zumal sich gezeigt hat, daß zwischen diesen und dem Ausgleichsverhalten enge Beziehungen bestehen.⁷ Aus diesen Untersuchungen folgt, daß jener Geige der Vorrang einzuräumen ist, deren Resonanzkurve dicht mit vielen Maxima ohne breite und tiefe Minima besetzt ist. Auf das analoge Verhalten der Bandfilter wurde bereits hingewiesen.

Aus Klanghölzern verschiedenen Alters und verschiedenen Ursprungs wurden in den Abmessungen genau gleiche Platten hergestellt, deren Resonanzkurven hinsichtlich der Frequenzlage, Zahl und Amplitude der Resonanzen gewisse Übereinstimmungen, aber auch deutliche Unterschiede zeigten. Bei Abarbeitung solcher Platten auf die Geigenform mit ihrer endgültigen Wölbung und Stärke blieb die Grundform der Resonanzfolge ähnlich, so daß jede fertige Geigendecke eine Art Verwandtschaft mit ihrer Ursprungsplatte erkennen ließ. Dies könnte für eine Eignungsbeurteilung von Platten wertvoll sein.

Während solcher Arbeiten zeigte es sich, daß die Entwicklung der Resonanzen zwar bei gleichbleibender Art der gewählten Einspannung und Anregung verfolgt werden konnte, daß aber dadurch gewisse Schwingungszustände der Platten erzwungen wurden und zum Teil denen nicht oder nur angenähert entsprachen, welche beim bloßen Anklopfen zu hören waren. Wenn nämlich ein Geigenbauer die Eigentöne der Decken und Böden prüft, faßt er die Platte im oberen linken Viertel oder er legt sie auf die Kuppen dreier ausgestreckter Finger und klopft mit der anderen Hand gegen eine freie Fläche. Die so entstehenden Klopföne werden abgehört und hinsichtlich ihrer Tonhöhe mit Hilfe eines Klaviers o. ä. bestimmt. Ausgehend von diesem Verfahren wurde eine Impulsmethode ausgearbeitet, welche die Schwierigkeiten der früher benutzten Methode vermeidet. Die zu prüfenden Platten werden dabei impulsartig an einer geeigneten Stelle angeregt, können aber danach praktisch völlig frei ausschwingen.

Beschreibung des Verfahrens

Zur Lagerung der Platten während der Messungen befinden sich in einem Grundbrett drei Stellschrauben, deren Enden mit ganz weichen Schaumstoffpolstern versehen sind, auf denen die Platte ruht. Zur Erzeugung der Impulse dient ein elektromagnetisches System, in dessen Hohlkern ein Eisenanker hineingezogen wird, der an seinem einen Ende eine abgerundete Metallspitze trägt, welche auf die Prüfplatte aufschlägt. Jedesmal, wenn die Spule durch einen rotierenden Kontaktgeber kurzzeitig Strom erhält, zieht sie an und treibt den Anker mit der Spitze auf die Platte. Nach der Kontaktgabe wird er durch Federkraft zurückgeschleunigt, wodurch die Impulslänge t klein gegen die Impulsperiode ist. Wie bekannt, besteht ein Impulsspektrum⁸ aus einer Vielzahl von Teiltönen im Abstand der Im-

pulsfolgefrequenz m , wobei die „praktische Breite des Frequenzspektrums umgekehrt proportional der Breite des Impulses ist“. Da bei dem praktisch angewandten Verfahren sowohl t wie m um gewisse Werte schwanken, treten keine ausgesprochenen Minima auf, das Anregungsspektrum besteht aus etwa um einige Hz auseinanderliegenden Teiltönen, deren Amplitude mit steigender Frequenz allmählich abnimmt.

Die mit einem solchen Spektrum angeregte Platte strahlt ihrerseits ab und zwar besonders stark bei den Resonanzen, wobei die Stärke der Abstrahlung von der Dämpfung abhängt. Da die Berührungszeit an der Anregungsstelle vernachlässigbar kurz ist, kann die Platte frei ein- und ausschlagen. Durch Einspannungen vorgegebene Eigenfrequenzen werden auf diese Weise vermieden. Außerdem fallen die Einflüsse des Raumes praktisch fort. Die Dämpfung der Eigentöne ist so gering, daß während des Klopfens deutlich mehrere Töne herausgehört werden können. Zur Messung wurde der abgestrahlte Schall über Mikrophon auf Tonband aufgenommen; von den interessierenden Stellen wurden Schleifen angefertigt und diese nach dem Suchtonverfahren analysiert. Man erhält dadurch das von der Platte abgestrahlte Spektrum, das nach der Frequenzlage und der Größe und Zahl der Resonanzen ausgewertet werden kann. Obwohl die Versuchsbedingungen bei den einzelnen Messungen nur schwer einander gleich gemacht werden können, liefert das Verfahren gut reproduzierbare Resonanzkurven. Entsprechend der späteren Anregung durch die Stegfüße wurden die Decken an diesen beiden Stellen angeschlagen, während beim Boden hierzu die Stelle, wo der Stimmstock aufsitzt, gewählt wurde.

Meßergebnisse

Über die Verschiebung der Resonanzen während des Abarbeitungsprozesses wurde bereits in einer früheren Arbeit berichtet.⁴ Es hatte sich gezeigt, daß alle Resonanzen nach höheren Frequenzen rücken, wenn aus der rechteckigen Platte die Geigenform geschnitten wird. Bei Ausarbeitung der Wölbung verschoben sich die Resonanzen dagegen nach tiefen Frequenzen hin, worauf eine nochmalige Erhöhung nach dem Einleimen des Baßbalkens, eine nochmalige Vertiefung nach dem Ausschneiden der f -Löcher stattfindet. Dabei läßt sich leicht verfolgen, daß das Ausschneiden der Form eine Massenverringering darstellt, daß das allmähliche Abarbeiten eine Elastizitätsminderung bedeutet und daß das Einfügen des Baßbalkens die Steifigkeit wieder erhöht, während sie das Ausschneiden der f -Löcher herabsetzt. So verschob sich in einem Fall beispielsweise die Hauptresonanz während des ganzen Arbeitsganges von ca. 500 Hz bis auf 330 Hz. Andere Platten gleicher Dimension zeigten ein ähnliches Verhalten, doch unterschieden sie sich, je nach ihrer Masse, Elastizität und Struktur in der Folge, Zahl und Form der Resonanzspitzen deutlich voneinander. Es überrascht

daher nicht, daß sich die fertigen Decken in dieser Hinsicht ebenfalls voneinander unterscheiden.

In Abb. 1 sind die Impulsdigramme von sechs fertigen und auf gleiche Maße abgearbeiteten Decken mit f -Löchern und Baßbalken zu sehen. Eine gewisse Ähnlichkeit der Kurven ist nicht zu verkennen. Eine tiefe Resonanzspitze um etwa 370 Hz tritt in allen Fällen auf und wird auch bei f_1 gehört. Nach höheren Frequenzen hin folgen darauf eine schwächere Resonanz meist mit Doppelmaximum und darauf eine zusammenhängende Folge von Maxima im Bereich von etwa 550 bis 1200 Hz. Diese große Gruppe ist sehr verschiedenartig ausgebildet. Bei manchen Decken erkennt man besonders starke Maxima um 1000 Hz, bei anderen eine mehr gleichmäßige Besetzung. Über etwa 1200 Hz sind bei 1300 bis 1400 Hz Maxima zu erkennen, während das Verhalten der darüber liegenden Resonanzen unterschiedlich ist.

Wenn das Holz eine größere innere Dämpfung hat wie bei 1, ist die Resonanz relativ gering. Bei hartem und dichtem Holz wie bei 6 sind verhältnismäßig hohe Spitzen über 2000 Hz zu erkennen, während das tiefe Maximum bei ca. 380 Hz zurücktritt. Die Decken 3 und 4 stammen vom gleichen Fällungsjahr aus derselben Gegend, was sich in der Ähnlichkeit der Resonanzkurven deutlich auswirkt. Die einzelnen Daten der Decken sind in Tabelle 1 ausführlich zusammengefaßt. Unter diesen Decken wurden zwei, Nr. 2 und 3, ausgesucht und ihre Stärke in der Mitte und der Hohlkehle verringert. Abb. 2 zeigt das Ergebnis. Man erkennt, daß die tiefe Resonanz bei etwa 370 Hz in ihrer Frequenzlage nicht merklich beeinflusst ist und daß die höheren Resonanzen bei Decke 3 sich überhaupt nicht wesentlich verändert haben. Das bedeutet, daß durch den Abarbeitungsvorgang die Massenveränderung die Elastizitätsveränderungen etwa kompensiert hat. Bei Decke 2 ist offenbar die Elastizität stärker verändert worden als die Masse, denn das besonders deutliche Maximum bei 1000 Hz verlagerte sich durch die Bearbeitung nach etwa 920 Hz, während die Resonanzen unter etwa 600 Hz sich nur wenig verschoben. Durch die Behandlung wurden auch die Minima deutlich abgeschwächt, was auf eine Erhöhung des Strahlungswiderstandes zurückgeführt werden kann.

Die nächste Arbeitsphase in Richtung auf die fertige Geige besteht im Aufleimen der Decke auf den Zargenkranz. Wie derartige Versuche zeigten, wirkt sich dies vorzugsweise als beträchtliche Massenvergrößerung am Rande aus, d. h. die Resonanzen der Decke verlagern sich nach tiefen Frequenzen und ändern teilweise merklich ihre Intensität. Am Beispiel Abb. 3a sieht man, daß ein tiefes Resonanzmaximum bei 460 Hz größer wird und sich mehrere Maxima um etwa 100 Hz nach links verlagern. Dieses Verhalten wird durch Versuche mit dem Aufbringen des Bodens auf den Zargenkranz bestätigt, ein Verfahren, das den Gepflogenheiten des Geigenbaus besser entspricht als das Aufleimen der Decke auf den Zargen-

kranz. In den gezeigten Fällen Abb. 3 b sieht man deutlich, um welche Frequenzbeträge die Resonanzspitzen nach links rücken, wobei sich außerdem Erhöhungen einiger Maxima oder auch Schwächungen von solchen ergeben können. So treten oft im Gebiet von 1200 — 1300 Hz Spitzen auf, die vorher nicht vorhanden waren.

Tabelle 1
Daten der Deckenplatten

Lfd. Nr.	Gewicht g	Dichte g/cm ³	Fällungs-jahr	Art	Ort
1	368	0,409	1931	Haselfichte	Fleinstal / Südtirol
2	419	0,466	1930	Fichte	Prün / Bayr. Wald
3	339	0,382	1946	Fichte	Windgfäll / Wetterstein
4	327	0,368	1946	Fichte	Windgfäll / Wetterstein
5	364	0,414	1956	Fichte	Mittenwald, Schlagboden
6	420	0,528	1952	Fichte	Scheinegg / Bayr. Wald

Länge dieser Platten: 37,7 cm

Breite dieser Platten: 21,2 cm

Dicke in der Mitte: 1,77 cm

Dicke an den Seiten: 0,45 cm

Die weiteren Versuche beziehen sich auf den Zusammenbau des Korpus, also das Aufleimen der Decke mit bekannten akustischen Eigenschaften auf den mit Zargenkranz versehenen Boden, wobei zunächst kein Stimmstock eingesetzt wird. In Abb. 4 werden auf solche Weise gewonnene Resonanzkurven bei Benutzung der Decke 1 gezeigt. In der oberen Zeile wurde die Resonanzkurve des benutzten Bodens mit Zargenkranz, in der zweiten Zeile diejenige der Decke 1 allein eingezeichnet. Die dritte Zeile veranschaulicht die Resonanzkurve des Korpus, der an der Decke an der Stelle des rechten Stegfußes angeregt wurde. Durch diese Übereinanderstellung wird erkennbar, daß nach Bildung des Hohlraumes die sog. Hohlraumresonanz (240 Hz) hervortritt. Sie wird vor allem durch eine Resonanz des Bodens unterstützt, deren Frequenzlage im Zustand der ersten Zeile etwas höher (350 Hz) ist. Das darauf nach rechts folgende Maximum der Decke (zweite Zeile bei 640 Hz) dient zur Hervorhebung des Maximums bei 400 Hz, wobei zu bedenken ist, daß die Deckenresonanzen nach Belastung mit Zargenkranz und Boden nach links verschoben werden. Das-

selbe gilt für die Verschiebung der Deckenresonanz von 970 Hz nach 750 Hz und der zweigipfligen von 1300 und 1400 Hz nach 1070 und 1150 Hz. Von besonderer Bedeutung scheint das Frequenzgebiet um die Resonanz bei 400 Hz (3. Zeile) zu sein. Wenn die (Boden- mit Zargenkrantz)-Resonanz um ca. 600 Hz dicht mit Maxima besetzt ist, so ist das Tal zwischen der Hohlraumresonanz und der 400 Hz-Resonanz nicht so tief eingeschnitten. Dasselbe gilt für die um 650 Hz liegenden Resonanzen der Decke. D. h., Decke und Boden wirken bei der Bildung der Resonanzen besonders im unteren Frequenzbereich bis etwa 800 Hz mit, während darüber hinaus vornehmlich die Decke verantwortlich ist. In den nächsten Zeilen 4 und 5 werden die Resonanzkurven des Korpus bei Anregung der Decke auf der linken Stegfußstelle und des Bodens an der Stelle, wo der Stimmstock aufsitzt, gezeigt. Es ergeben sich gegenüber Kurve Zeile 3 keine wesentlichen Unterschiede. Die Hohlraumresonanz und die übrigen Hauptresonanzen werden in der gleichen Frequenzlage gemessen, lediglich in den Zwischenlagen machen sich geringfügige Intensitäts- und Formunterschiede bemerkbar.

Wenn in den Korpus der Stimmstock eingesetzt wird, treten im Falle der Deckenanregung am linken Stegfuß (Baßbalkenseite) nur relativ geringe Änderungen auf. Die Hauptresonanzen bleiben bei den gleichen Frequenzen, lediglich die Intensität der Zwischenmaxima verändert sich. Die Ähnlichkeit der Kurven Zeile 4 und Zeile 7 ist unverkennbar. Gewisse Änderungen bekommt man, wenn die Decke an der Stelle des rechten Stegfußes (Zeile 6) oder der Boden an der Stelle des Stimmstockes (Zeile 8) angeregt wird. In beiden Fällen wird die Intensität der Hohlraumresonanz auffallend gering, während die übrigen Hauptmaxima nach Amplitude und Frequenz etwa gleich bleiben. Auffallend ist allerdings das breite und tiefe Tal bei 600 Hz.

Um die Allgemeingültigkeit der gezeigten Resonanzverschiebungen zu prüfen, wurden noch andere Decken mit dem gleichen Boden- und Zargenkrantz kombiniert. Die Art der Resonanzverschiebung ist ähnlich, es ist aber sehr bemerkenswert, daß die Endkurven infolge der abweichenden Resonanzeigenschaften der verschiedenen Decken andere sind.

Im weiteren Verlauf der Untersuchungen wurde der Boden auf dünnere Stärken umgearbeitet und ebenfalls mit verschiedenen Decken kombiniert. Das Abarbeiten des Bodens wirkt sich auf die Resonanzen verschieden aus. Insgesamt ist eine Verringerung der Zahl schmaler tiefer Minima festzustellen, was durch die größere Dämpfung infolge besserer Abstrahlungsbedingungen erklärt werden kann. Störend ist ein neu entstandenes breites und tiefes Minimum bei 430 Hz, wodurch die Abstrahlung der Frequenzen zwischen Hohlraumresonanz und erster Körperresonanz bei der fertigen Geige beeinträchtigt wird.

Es kommt also darauf an, daß bereits die Resonanzkurven der Decken

und Böden möglichst viele dicht benachbarte Maxima besitzen und daß auffallende breite und tiefe Minima fehlen. Wenn es auch möglich erscheint, daß ein Minimum des Bodens durch ein Maximum der Decke kompensiert wird, so setzt dies doch voraus, daß während des Aufbaus der Einzelteile die Maxima an bestimmte Frequenzlagen rücken, anderenfalls kann es auch vorkommen, daß Maximum auf Maximum fällt, wodurch die Abstrahlung erhöht wird, die benachbarten Minima aber umso tiefer werden. Alle diese Umstände deuten darauf hin, dem Material eine entscheidende Rolle in der Frage des Einflusses auf den Klang zuzugestehen. Beispielsweise bemerkt man an den Resonanzkurven der Böden, daß meist nur wenige, aber starke Maxima vorhanden sind, die durch breite tiefe Täler getrennt sind. Nun ist Ahorn ein Material größerer Homogenität als Fichte, wodurch sich die geringere Mannigfaltigkeit in der Besetzung der Resonanzkurven zu erklären scheint. Fichte zeigt wesentlich mehr Resonanzen und ist deshalb für die Decken besser geeignet als es Ahorn wäre. Wichtig scheint es zu sein, solch ein Material auszuwählen, das bereits als Platte über eine besondere Mannigfaltigkeit und Vielzahl der Resonanzmaxima verfügt.

Um das Resonanzverhalten des Korpus im Verhältnis zur fertigen Geige studieren zu können, wurden mehrere Geigen zunächst am Steg angeregt, indem der Stift des Schlagsystems von der Seite her auf den Steg aufschlug. Man erhält dadurch eine Resonanzkurve, welche mit der nach dem früher beschriebenen elektromagnetischen Verfahren verglichen werden kann. Abb. 5 gibt ein Beispiel wieder, durch welches deutlich wird, daß die fertige gespannte Geige mit dem Korpus in Beziehung gebracht werden kann. In diesem wie in anderen Fällen auch bleibt die Hohlraumresonanz bei derselben Frequenz, dagegen liegt die untere Hauptresonanz bei der Geige auffallend höher als beim Korpus. Dies erklärt sich durch die Vorspannung, welche durch die Saiten verursacht wird. Im gezeigten Beispiel rückt das Resonanzmaximum durch diesen Effekt von etwa 470 auf 530 Hz. Das bedeutet, daß das Frequenzintervall zwischen Hohlraumresonanz und erster Hauptresonanz beim Korpus kleiner als bei der Geige ist. Merkwürdigerweise bleibt dagegen die Frequenzlage der höheren Resonanzmaxima bis über 1000 Hz praktisch unbeeinflusst. Die Änderung erstreckt sich hier in erster Linie auf die Intensitätsverhältnisse der einzelnen Maxima. Durch die Belastung des Steges werden gewisse Schwingungsformen der Platten unterdrückt, andere dagegen unterstützt, so daß es zu einem Wechsel der Resonanzamplitude von einer zur anderen Frequenz kommen kann. Trotz dieser Verschiedenheiten läßt sich aber die Gruppierung der Maxima von Korpus und Geige aufeinander beziehen. Die erstrebte Korrelation der Ausgangsplatten mit der fertigen Geige läßt sich also unter Beachtung gewisser Vorsichtsmaßregeln durchführen, wodurch es möglich sein müßte, geeignetes Holz zu finden und entsprechende Bearbeitungen anzuwenden, die zum Bau von hochqualifizierten Geigen führen.

Da es bereits früher möglich war, die Resonanzkurven einer ganzen Reihe altitalienischer Geigen mit elektromagnetischer Anregung zu gewinnen, wurde versucht, diese Kurven durch Analogiebildungen in Impulsresonanzkurven umzuwandeln. Durch den Vergleich dieser Kurven mit denen der fertigen modernen Geigen stellte sich wiederum heraus, bei welchen Frequenzen eine Verstärkung der Resonanzamplituden erwünscht ist und wo nicht.

Die Durchführung der Rechnung geschah so, daß mittlere Amplituden in Frequenzintervallen von je 50 Hz im Bereich unter 1000 und je 100 Hz im Bereich über 1000 Hz gebildet wurden, wobei die elektromagnetisch gewonnene Resonanzkurve zugrundegelegt und die Unterschiede gegen die durch die Impulsmethode gewonnene Resonanzkurve jeweils bestimmt wurde. Dies Verfahren wurde mehrfach an den Kurvenpaaren vorliegender, moderner Geigen angewandt und die Umrechnungszahlen gemittelt. Mit Hilfe dieser Mittelwerte wurden die Impulsresonanzkurven einer Guarneri-del-Gesu-Geige von 1742 und einer A. Stradivari-Geige von 1717 berechnet (Abb. 6). Dadurch konnten diese Kurven mit denen moderner Geigen verglichen werden und es konnte abgeschätzt werden, bei welchen Frequenzen eine Veränderung der modernen Geigen in Richtung auf die Klangqualität der Meisterinstrumente anzustreben wäre. Wie früher⁹ zeigte sich, daß die Abstrahlung der altitalienischen Geigen absolut im ganzen Frequenzbereich größer ist. Dies ist der größeren Strahlungsdämpfung solcher Instrumente zuzuschreiben. Besonders auffallend ist diese Erscheinung im unteren Frequenzbereich, ganz besonders im Oktavbereich 300 bis 600 Hz, in welchem die altitalienischen Instrumente eindeutig überlegen sind. Eine solche Geige besitzt also Grundtöne und Oktavteiltöne stärkerer Intensität als die modernen und klingt daher voller und kräftiger. Dies bedeutet, daß bereits bei der elektromagnetisch gemessenen Resonanzkurve zwischen Hohlraumresonanz und unterer erster Körperresonanz ein breites Gebiet vorhanden ist, das bei den sehr guten Geigen mit stärkeren Resonanzen erfüllt ist, bei weniger guten aber Minima zeigt.

Wenn man nun die Veränderung der Resonanzkurven mit wachsender Abarbeitung zur fertigen Geige im Auge behält, so ergibt sich, daß beim Korpus, aber auch schon bei den Decken und Böden, dieses Gebiet zwischen den entsprechenden Maxima einer besonderen Beachtung bedarf. Es ist dementsprechend bei der Auswahl des Holzes darauf zu achten, daß in diesem Bereich größere und dichtaufeinanderfolgende Resonanzen vorhanden sind. Normalerweise zeigen die Platten dort nur vereinzelte Resonanzmaxima, es gibt aber gewisse Hölzer mit größeren Strukturunterschieden bzw. Inhomogenitäten, welche von sich aus eine größere Zahl und Dichte von Resonanzen liefern. Bei dendrochronologischen Untersuchungen¹⁰ fiel nämlich auf, daß die Decken der altitalienischen Musikinstrumente eine deutliche Struktur besitzen. Die Abstände der Jahresringe sind bei solchen

Geigen höchst differenziert. Nach Huber¹¹ treten bei deutschen Hölzern derart auffallende Unterschiede kaum auf. Es kommt noch hinzu, daß die altitalienischen Geigenbauer die Decken verhältnismäßig dünn abarbeiteten, wodurch deren Strahlungsdämpfung zunahm und die Resonanzminima flacher wurden. Würde man in gleicher Weise mit neuem Holz ohne weitere Behandlungen verfahren, bekäme man wahrscheinlich zu dunkel klingende Instrumente, deren tiefere Teiltöne zwar stark, deren höhere aber zu schwach wären, so daß die Klangfarbe darunter litte. Es ist anzunehmen, daß bei den altitalienischen Instrumenten durch die Grundierung einerseits eine gewisse Versteifung des Holzes, andererseits durch die Lackierung eine Bedämpfung der hohen Frequenzen erreicht wurde, wobei aber nicht zu vergessen ist, daß die heutigen akustischen Eigenschaften dieser Instrumente erst im Laufe der Jahrzehnte, wenn nicht Jahrhunderte, erreicht wurden.

Das ganze Problem der Erzeugung neuer klangedler Instrumente scheint sich nach dem Ergebnis der vorliegenden Untersuchungen auf die Aufgabe zu konzentrieren, mittels der gezeigten Meßtechnik geeignetes Holz auszuwählen und dieses mit einer zweckentsprechenden Lackierung zu behandeln.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft, welche diese Untersuchungen bisher unterstützte, sei auch an dieser Stelle herzlichst gedankt. Außerdem möchten wir uns bei den Geigenbaumeistern Direktor Leo Aschauer (Mittenwald), Ludwig Aschauer (Salt Lake City) und O. Adelman (Berlin) für ihre Mitarbeit bedanken.

Literatur

References

- 1 W. H., A. F. and A. E. Hill: *A. Stradivari, His Life and Work* (1909) Macmillan & Co, London.
- 2 H. Meinel, *ENT* 14 (1937) S. 119; *Ztschr. f. Techn. Physik* 10 (1938) S. 297; *Akust. Ztschr.* 4 (1939) S. 89; 5 (1940) S. 124; 5 (1940) S. 283; F. A. Saunders, *Journ. Acoust. Soc. Amer.* 9 (1937) P. 81; 17 (1946) P. 169; 25 (1953) P. 491; G. Pasqualini, *Acustica* 4 (1954) P. 244; F. Winkel, *Zus.fass. Darstellung in „Die Kunst des Geigenbaus“* von O. Möckel / F. Winkel (Berlin 1954) etc.
- 3 H. Meinel, *Akust. Ztschr.* 2 (1937) S. 22 und 62 und W. Lottermoser u. Fr. J. Meyer, *Instrumentenbau-Ztschr.* 13 (1959) S. 189.
- 4 W. Lottermoser und Fr. J. Meyer, *Instr.bau-Ztschr.* 13 (1959) S. 185.
- 5 U. Arns, *Gravesaner Blätter*, 11 (1957) S. 92.
- 6 L. Suominen, *Acustica* 8 (1958) S. 363.
- 7 W. Lottermoser, *Acustica* 8 (1958) S. 91.
- 8 K. W. Wagner, *Einführung Lehre von den Schwingungen und Wellen*, Wiesbaden (1947) S. 67.
- 9 W. Lottermoser und Fr. J. Meyer, *Instr.bau-Ztschr.* 12 (1957) S. 42, s. a. W. Lottermoser in *Acoustique Musicale* (1958) Marseille.
- 10 W. Lottermoser u. Fr. J. Meyer, *Instr.-bau-Ztschr.* 12 (1958) S. 295.
- 11 Br. Huber, „*Holz*“ 6 (1953) S. 263.

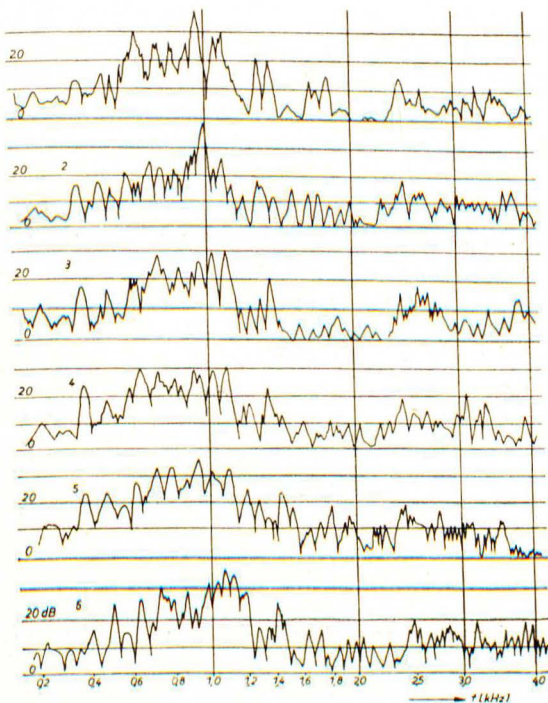


Abb. 1 Resonanzkurven von 6 fertigen Geigendecken nach Tabelle 1.

Fig. 1 Resonance curves of 6 finished violin bellies (see Table 1 for wood data)

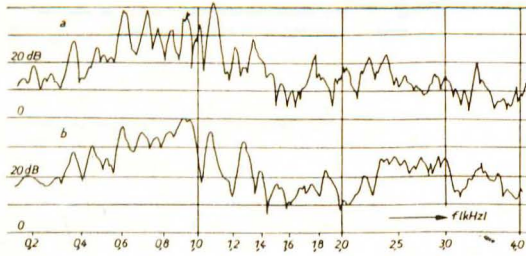


Abb. 2 Resonanzkurven von den dünner ausgearbeiteten Decken 3 (a) und 2 (b).
 Fig. 2 Resonance curves of a. belly 3, and b. belly 2, thinned down

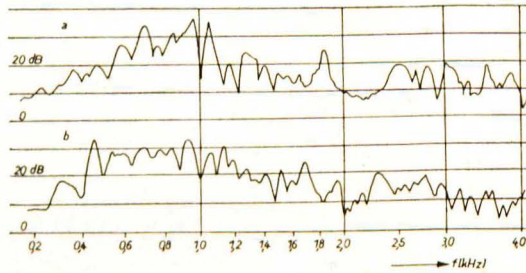


Abb. 3a Resonanzkurven einer fertigen Decke ohne (a) und mit (b) Zargenkranz.
 Fig. 3a Resonance curves of a finished belly a. without and b. with side

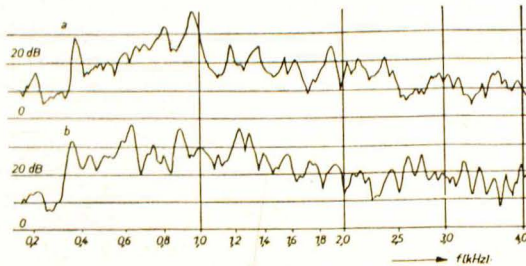


Abb. 3b Resonanzkurven eines fertigen Bodens ohne (a) und mit (b) Zargenkranz.
 Fig. 3b Resonance curves of a finished back a. without and b. with side

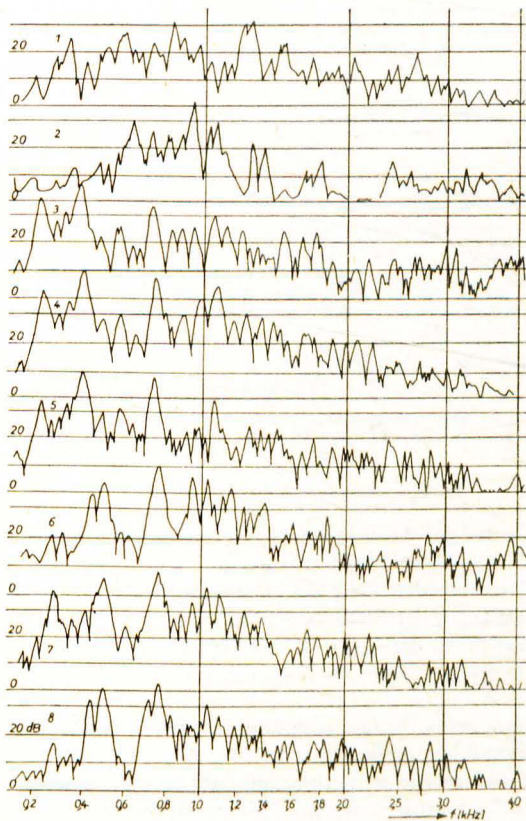


Abb. 4 Veränderung der Resonanzkurve beim Zusammenbau einer Geige (s. Text).

Fig. 4 Resonance curve changes during violin assembly

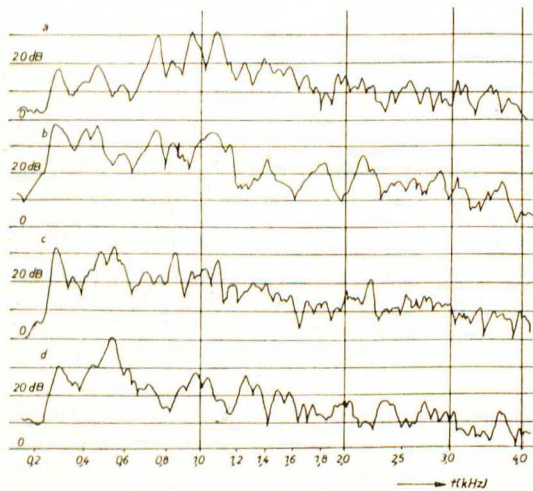


Abb. 5 Veränderung der Resonanzkurve des Korpus beim Aufbringen des Steges:
a—c. Korpus ohne Saitenbespannung

- a.* Decke an der Stelle des rechten Stegfußes angeregt.
- b.* Decke an der Stelle des linken Stegfußes angeregt
- c.* Boden an der Stelle des Stimmstockes angeregt
- d.* Bespannte Geige am Steg angeregt.

Fig. 5 Resonance curve changes with addition of bridge:
a—c. Sound-box without strings

- a.* Belly excited in position of right bridge foot
- b.* Belly excited in position of left bridge foot
- c.* Back excited at position of sound-post
- d.* Strung violin excited at the bridge

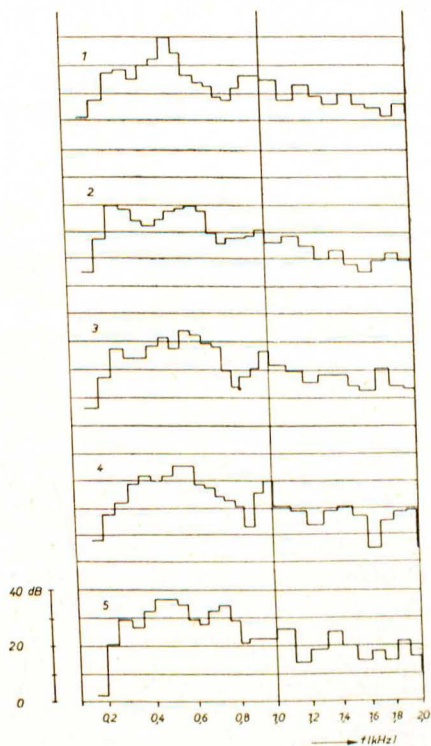


Abb. 6 Vereinfachte Impulsresonanzkurven

1—3 an modernen Geigen gemessen

4 umgerechnet bei einer Geige von Guarneri del Gesu 1742

5 umgerechnet bei einer Geige von A. Stradivari 1717.

Fig. 6 Simplified pulse resonance curves

1—3 of modern violins, as measured

4 of a 1742 Guarneri del Gesu violin, as calculated from the magnetic resonance curve

5 of a 1717 Stradivarius, as calculated from the magnetic resonance curve

Violin Resonance Measurement by a Pulse Method

by

W. LOTTERMOSER and F. J. MEYER

Introduction

In Hill's¹ well-known work on Stradivari, the elements making up a violin are arranged in the following order of importance as far as their effect on the sound is concerned:

1. varnish,
2. construction and dimensions,
3. material.

Research to date² has shown that it is difficult to ascribe particular importance to any one of these elements; the essential point seems to be that the old masters made an optimum selection of the three components, matching them to each other.

The influence of the varnish was shown by some acoustic measurement to rest in a certain damping effect³. Construction and dimensions are obviously of importance to the sound, especially considering the resonance curves of heavily domed Stainer violins, or those of violas compared to violins. The material — type and condition of the wood, especially in the belly — is also of importance, a fact which was made clear by tests on violin components.⁴ The acoustic properties of the various parts of the violin were continuously measured during assembly for the first time during the course of this work, and it could be shown that the succession of resonances in the finished belly can be derived up to a point from the resonance curve of the raw panel. The same holds good for the back as well as for the assembled belly and side or back and side and for the whole sound-box with or without the sound-post, which latter no doubt has particular acoustic significance, for it couples the belly and back, altering their stresses in the process.

There are of course various ways of attempting to build well-sounding violins; reference might be made to publications by U. Arns⁵ and L. Suominen⁶ on vibrating conditions in bellies and backs. In the research which is described here and which was carried out in the Federal Physical Institute, Braunschweig, the recording of resonance curves is given prominence, for it has been shown that there is a close relationship between these and the instrument's transients.⁷ The conclusion is made that preference should be given to violins with many closely-spaced maxima

without wide and low minima in their resonance curves. The analogy to band-pass filters has been referred to elsewhere.

Violin timbers of various ages and origins were worked down to panels of similar dimensions, whose resonance curves showed a certain relationship to each other but also some salient differences in regard to the number, amplitude and frequency of the resonances. Reduction of the panels to the ultimate violin shape with its final curvature and thickness did not basically alter the resonance sequence — the original wood still showed through the belly it had furnished. This might form a valuable basis for panel suitability judgment.

During the course of this work it turned out that the resonances' development could be followed as long as mounting and excitation of the part remained unchanged, but that certain vibrations were forced and corresponded only partly, if at all, to those which could be heard by merely tapping on the panel. When testing the resonance of a belly or back, the violin-maker holds the panel by its top left quarter or lays it over the tips of three fingers, tapping the free surface with the other hand. The pitch of the resulting sounds is determined, e. g. by means of a piano. This method formed the starting-point of a pulse method, by which the panels are excited at a suitable point by pulses, the vibrations being allowed to decay freely. Many of the disadvantages of the old method are avoided here.

Description of the Method

The panels rest on soft plastic-foam pads on three set-screws in base-plate. The pulses are produced by an electro-magnetic system whose hollow core houses an iron armature with a rounded metal point at the end knocking on the test panel. A rotating contact supplies the winding with current, driving the point of the armature against the panel. A spring then returns the armature to its original position, and the design is such that the pulse length is small compared to the pulse period. A pulse spectrum is known to consist of a large number of partial tones, multiples of the pulse frequency, the spectrum's practical width being inversely proportional to the pulse length⁸. The fact that, in practice, both the pulse length and the pulse frequency vary slightly about their mean values, results in the absence of pronounced minima; the exciting spectrum consists of partials spaced at a few cycles per second, whose amplitude gradually falls as their frequency rises.

A panel excited by such a spectrum radiates a sound which is particularly intense at the resonances, the intensity as a whole depending on the damping. The negligible time of contact of the armature point allows for undamped resonance of the plate and avoids resonant frequencies resulting from mounting stresses. The influence of room-acoustics is

practically negligible. Damping of the resonant frequencies is so small that several notes could clearly be heard during pulse tapping. The measurements were carried out by making tape recordings of the sound using a microphone, closing the tape into loops and analysing these with a search-tone analyser. Even though it was difficult to maintain the same test-conditions throughout, the resonance curves obtained by this method can be easily duplicated. As regards the points of excitation, the natural functioning of the violin is followed: bellies were excited at the position of each bridge foot and backs at the position of the sound-post.

Results of Measurements

The shifting of resonances during working-down of the panel has been described previously⁴. It had been found that all resonances shift upwards when the violin shape is cut out of the rectangular panel, downwards during doming, upwards again when the bass-bar is glued in, and downwards once more when the *f* slots are cut out. It is fairly obvious that the first step of cutting out the shape corresponds to a decrease in mass, gradual working-down to a decrease in elasticity, addition of the bass-bar to an increase in stiffness again, which is once more reduced by the *f* slots. In one case, the main resonance shifted during the whole working process from 500 to 330 c/s, for example. Other panels showed similar behaviour, although their differences of mass, elasticity and structure made the sequence, number and shape of their resonant peaks different also. It is therefore not surprising to find that the finished bellies showed similar differences.

Fig. 1 shows the pulse diagrams of six finished bellies of similar dimensions, complete with *f* slots and bass-bar. A certain similarity of the curves can be noted. There is in each case a peak around 370 c/s, which can be heard as *f*#¹. A weaker resonance, usually with a double peak, follows slightly higher up, and then one connected sequence of peaks from about 550 to 1200 c/s, this group varying greatly in its inner structure from belly to belly, some showing very pronounced peaks around 1000 c/s, while others have more evenly distributed maxima. At still higher frequencies, a peak occurs at 1300 to 1400 c/s, and the bellies' behaviour above that varies.

A wood having greater internal damping, such as sample 1, has less pronounced resonances. Hard, heavy wood, such as 6, shows relatively high peaks over 2 Kc/s, at the expense of the 380 c/s peak. Bellies 3 and 4 are of timbers coming from the same district and cut in the same season, which can be clearly seen in the similarity of their resonance curves. Data relating to each belly are set out in Table 1. Two of these bellies, Nos. 2 and 3, were reduced in thickness in the middle, the result being shown

in Fig. 2: the low peak at 370 c/s has not been noticeably moved, while the higher peaks have also not changed very much in the case of No. 3. Evidently, the change of mass approximately compensated the change of elasticity. In No. 2, the elasticity apparently changed more than the mass, for the pronounced maximum at 1000 c/s moved to 920 c/s, although the resonances below about 600 c/s altered little. The minima were also noticeably reduced, which can be interpreted as an increase of radiation resistance.

The next step towards the finished violin is glueing the belly to the side. The tests showed that this considerable increase of mass at the edge moves the resonances down, sometimes causing a noticeable change in their intensity. The example illustrated in Fig. 3*a* shows an increase in the 460 c/s peak and a lowering of several other peaks by about 100 c/s. Tests made on backs before and after the side was glued on, showed similar results — this order of operation corresponds more to violin-makers' habits than assembly of the side to the belly. Fig. 3*b* clearly shows lowered peaks; the intensity of some of them is also altered, for example in the occurrence of previously not clearly apparent peaks between 1200 and 1300 c/s.

Table 1

Belly Panel Data

No.	Weight gm	Density gm/cc	Timber	Year when cut	Locality
1	368	0.409	Hazel-fir	1931	Fleinstal, South Tyrol
2	419	0.466	Spruce	1930	Prün, Bavarian Forest
3	339	0.382	Spruce	1946	Windgfäll, Wetterstein
4	327	0.368	Spruce	1946	Windgfäll, Wetterstein
5	364	0.414	Spruce	1956	Mittenwald, Schlagboden
6	420	0.528	Spruce	1952	Scheinegg, Bavarian Forest

Measurements: Length 37.7 cm
 Width 21.2 cm
 Thickness in the middle 1.77 cm
 Thickness at the edge 0.45 cm

Further tests were made during body assembly, i.e. glueing of a belly of known acoustical properties on the back-and-side assembly, without introducing the sound-post to begin with. Fig. 4 shows such resonance curves using belly No. 1. Line 1 represents the resonance curve of back with side, line 2 that of the belly alone, line 3 that of the assembled sound-box excited at the position of the right bridge foot. This shows how the cavity resonance (240 c/s) comes into being when a volume of air is enclosed by the sound-box. It is supported by one of the back's resonances, which has moved down from its value of 350 c/s in line 1. The peak next in order comes from the belly (line 2 at 640 c/s), which serves to emphasise the maximum at 400 c/s (line 3); it must be remembered that the belly resonances are moved down by the load of the back and side. The same is the case for the shift in the belly resonance of 970 to 750 c/s and the double peak of 1300 and 1400 to 1070 and 1150 c/s. The region about the 400 c/s resonance in line 3 seems to be of special importance. While the back-and-side 600 c/s resonance has many neighbouring peaks, the low between the cavity resonance and the 400 c/s resonance is not so pronounced. The same can be said for the belly's 650 c/s resonances. This means that belly and back play a large part towards the formation of resonances especially in the lower range, up to about 800 c/s, while above that frequency the belly is of greater importance. Lines 4 and 5 show the sound-box resonances when the belly is excited in the position of the left bridge foot and at the back at the position of the sound-post, but there are no significant differences to line 3: the cavity resonances and the other important resonances remain unchanged, even though slight differences in intensity and shape occur in between.

Insertion of the sound-post brings about relatively slight changes when the belly is excited at the left bridge foot (bass-bar side): the main resonances remain unchanged, although the intermediate peaks alter — lines 4 and 7 are distinctly similar. Belly excitation at the right bridge foot (line 6) or back excitation at the sound-post (line 8) brings about more significant changes: in both cases, the cavity resonance becomes surprisingly small, but the remaining main resonances are altered little in regard to amplitude and frequency. However, there is a strikingly wide, low minimum about 600 c/s.

To test the generality of these resonance shifts, the same back and side was used also in combination with other bellies. Resonant shift is similar, but it is worth remarking that the final curves are different because of the different resonant properties of the other bellies.

Next, the back was reduced in thickness and again combined with various bellies. The reduction in thickness had varying effect on the resonances, but, in general, there was a reduction of the number of narrow, low minima, which might be explained through the fact of greater damping

resulting in better radiating qualities. However, there is a new disturbance in the occurrence of a wide, low minimum at 430 c/s, impairing the violin's radiation between cavity resonance and first sound-box resonance.

The foregoing makes it clear how important it is that the belly and back should already contain the largest possible number of closely-spaced maxima, without any wide, low minima. While it may of course be possible to compensate a back minimum by a belly maximum, it must be remembered that these values are altered during assembly, so that, say, two maxima might easily come to coincide, and while this would increase radiation at that particular frequency, it will make the surrounding minima all the more pronounced. All this points towards the great importance of the material itself in its influence on the sound. The resonance curves of the backs, for example, show in general only few but pronounced maxima separated by wide, low minima. Now maple is more homogeneous than spruce, which might explain the absence of large numbers of maxima. Spruce shows far more resonances and is therefore more suitable for bellies than maple would be. The important thing seems to be to select a material possessing a large number and variety of resonances already in its raw state.

To compare the sound-box resonances to those of the finished instrument, several violins were excited by tapping the bridge laterally with the pulse tapper, obtaining a result which shows considerable similarity to the resonance curve of the sound-box alone — an example of this is shown in Fig. 5, showing here, as in other cases, that the cavity resonance of the violin complete with strings is at the same frequency as that of the sound-box by itself. However, the lower main resonance has been considerably raised (from 470 to 530 c/s) by the stresses caused by the string tension. This means that the interval between the cavity resonance and the first main resonance will be smaller in the sound-box than in the violin. It is on the other hand quite remarkable that while the intensities of the individual maxima above about 1000 c/s have changed, their frequencies have remained practically constant: the bridge load causes suppression of certain modes of vibration of the panels which can in turn lead to an interchange of intensity among the various frequency peaks. But in spite of these differences, there is evident correlation between the sound-box's and the violin's grouping of maxima, and therefore between those of the original panels and of the violin, as long as certain precautions are observed when correlating. It should therefore be possible to recognise the suitability or otherwise of wood and to find the working-down process suitable to each panel, in order to make violins of a high grade.

Resonance curves of a number of old Italian violins have already been obtained previously by an electro-magnetic method, and an attempt was

made to transform these into pulse resonance curves by a method of analogy. When compared to the curves of modern instruments, these curves showed up the frequency ranges in which a reinforcement of resonance amplitudes would be desirable or not.

For the calculations, mean amplitudes were found for consecutive ranges of 50 c/s up to 1000 c/s and of 100 c/s above 1000 c/s for the electro-magnetic and pulse curves of a number of new violins; then the magnetic curves, regarded as standard, were subtracted from the pulse curves and the results from the pairs of curves from all violins were averaged, giving set of correction values for the curves obtained by the magnetic method. These corrections were used on the electro-magnetic resonance curves of a 1742 Guarneri del Gesu violin and a 1717 Stradivarius, the resulting "pulse resonance curves" being shown in Fig. 6. These curves could be compared to those of modern instruments and the frequencies estimated at which the modern violins ought to be altered to make them sound more like the old master instruments. The result tallies with a previous one⁹ in that the radiation of the old Italian violins is greater over the whole frequency range, this being due to their greater radiation damping. This is especially noticeable at lower frequencies, particularly in the 300—600 c/s octave which quite clearly shows the superiority of the old Italian instruments. It is evident that these violins possess stronger fundamental tones and first harmonics than the new violins, giving the former a tone of greater fullness and intensity. This means that the magnetic curve already showed a wide range, between the cavity resonance and the first sound-box resonance, filled with fairly marked maxima in the case of the master violins, but showing minima for the modern instruments.

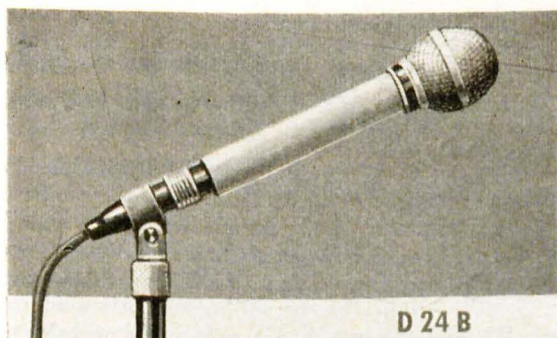
The gradual change of the resonance curve during the process of working-down makes it clear that the importance of this range between the two lower important peaks cannot be overemphasised, not only as far as the sound-box is concerned, but already for the bellies and backs, and in the selection of wood, which must show fairly intense, closely spaced resonances in this range. In general, however, wood panels show only occasional peaks here, but there are some kinds of wood having fairly marked irregularities in the grain, giving rise to a greater number and density of resonances: a dendro-chronological examination of the bellies of old Italian instruments¹⁰ showed a very marked grain with large differences in the spacing of seasonal rings. Huber¹¹ maintains that German timbers very rarely show such great differences. In addition, the Italian master violin-makers worked their bellies down until they were relatively thin, so that radiation damping increased, flattening the minima. The same procedure followed with present-day wood without additional preparation, would probably result in instruments with a very dark tone with strong lower but feeble upper harmonics, so that the tone colour would suffer. It is

probable that the old Italian masters obtained on the one hand a certain stiffening of their wood through priming, on the other hand a damping of high frequencies through the varnish; but it must be remembered that these instruments did not sound the way they do now when they were new, developing their tone through decades if not through centuries.

It would therefore appear that the whole problem of the manufacture of high-quality instruments is centred around the question of a careful selection of wood by means of the measuring method described, and treating it with a suitable varnish.

We should like to acknowledge our indebtedness to the Cooperative German Research Society (Deutsche Forschungsgemeinschaft), which has supported this work to date, as well as to Director Leo Aschauer (Mittenwald), Mr. Ludwig Aschauer (Salt Lake City) and Mr. O. Adelman (Berlin), master violin-makers, for their generous help.

THE WORLD OVER - EVERY TIME



MICROPHONES

FOR
BROADCASTING · TELEVISION · FILM
E. L. A.
TAPE RECORDERS · STEREO MICROPHONES



AKUSTISCHE & KINO-GERAETE LTD

SONNENSTR. 20 · MUNICH 15 · W. GERMANY
TELEPHONE 555545 TELETYPE 0523626

Grundlagen einer stochastischen Musik

von

IANNIS XENAKIS

II

UNTERSCHIEDUNGSMERKMALE DER RASTER

In unserem Willen, Schallkomplexe auf der Grundlage des ersten Tones, des Sinustones, zu schaffen, Schallkomplexe, die ebenso reich sind wie die natürlichen Schallereignisse, unerhörter als diese, mit wissenschaftlich und auf sehr allgemeinen, abstrakten und letzten Ebenen gemeisterten Evolutionen, haben wir stillschweigend die Bedeutung der drei Grundfaktoren anerkannt, welche *sowohl* die theoretische Konstruktion eines Schallprozesses *als auch* seine empfindungsmäßige Wirksamkeit beherrschen zu können scheinen:

- 1) Die Dichte der Ereignisse
- 2) Die geographische Lage der Ereignisse auf den Rastern
- 3) Die Ordnung oder Unordnung der Ereignisse.

Auf den ersten Blick hin sind also die Dichte der Partikel (Vektoren), ihre Topologie und ihr Grad an Ordnung die mittelbaren Wesenszüge, die Aspekte, die von unseren makroskopischen Ohren wahrgenommen werden. Was in dieser Natur der Dinge als bewundernswert erscheint ist, daß das Ohr und der Geist den objektiven Realitäten folgen und trotz der großen inhärenten oder kulturellen Unvollkommenheiten in unmittelbarer Weise reagieren. Die Messung war die Grundlage der experimentellen Wissenschaften. Der Mensch bezeichnet sich gern als sinnenschwach und hat sich aus diesem Grunde, und übrigens zu Recht, mit anzeigenden Meßgeräten bewaffnet, die von anderen Maschinen hergestellt werden. Jedoch gelingt es ihm, mit seinen Ohren, seinen Augen Dinge oder physikalische Phänomene zu messen, welche indessen umgewandelt sind, als wenn sich ein deformierender Filter zwischen die unmittelbare Wahrnehmung und ihr Bewußtsein schöbe. Vor etwa einem Jahrhundert wurde das logarithmische Gesetz der Empfindungen entdeckt. Es scheint, daß dieses Gesetz bis heute nicht widerlegt worden ist. Da aber die Erkenntnis niemals zum Stillstand kommt, wird die Wissenschaft von morgen sicherlich nicht allein eine größere Anpassungsfähigkeit, eine größere Feinheit für dieses Gesetz, sondern darüber hinaus den Anfang einer Erklärung des Warum dieses so erstaunlichen deformierenden Filters finden.

Diese quasi wechselseitige statistische Umwandlung der Erregung in Wahrnehmung hat es uns bis hierher ermöglicht, über physikalisch Seiendes, die Raster, zu urteilen, wobei wir gleichzeitig „wahrgenommene Tatsachen“ dachten.

Eine Wechselseitigkeit gleicher Art zwischen der Wahrnehmung und ihrer Vernunft gestattet es uns, den Übergang von den Rastern zu den Unterscheidungsmerkmalen zu vollziehen.

In dieser Weise beziehen sich die Gedankenführungen, denen wir nunmehr folgen werden, sowohl auf reine Begriffe als auch auf die Resultanten der Wahrnehmung, welche die fühlbaren Ursachen oder Folgen derselben sind, je nachdem wir die Haltung des Handwerkers oder die des Hörers einnehmen.

Wir haben bereits die Dichte und die Topologie der Partikel und der Felder festgestellt, und wir haben die Begriffe Ordnung und Unordnung in der ergodischen Oberflächenverteilung der Partikel zugelassen.

Wir werden nunmehr den Begriff der Ordnung in seinem genauen Umfange untersuchen, denn er ist es, der sich wahrscheinlich hinter den beiden anderen verbirgt. Das heißt, daß es sich bei der Dichte und der Topologie eher um vereinfachte, greifbare Verkörperungen dieses sich entziehenden und vielförmigen Begriffes der Unordnung handelt.

Wenn wir von Ordnung oder Unordnung sprechen, so meinen wir zunächst „von Gegenständen“, „von Elementen“; anschließend, und hier wird die Sache bereits komplizierter, definieren wir die „Elemente“ selbst, deren Ordnung oder Unordnung wir studieren und konstruieren wollen, ihren Maßstab im Verhältnis zu dem unseren, und schließlich bezeichnen wir diese Ordnung oder Unordnung und bemühen uns sie zu messen.

Wir sind sogar in der Lage, ein Verzeichnis aller Ordnungs- und Unordnungsgrade dieser Dinge auf allen Stufen, unter allen Aspekten, mit allen Messungen und selbst den Merkmalen der Ordnung und Unordnung dieser Liste zusammenzustellen und die Aspekte und Messungen erneut zusammenzufassen.

Nach dem oben angeführten Beispiel der Gase, und wenn wir uns auf die molekulare Stufe stellen (wir hätten ebenso bis zur atomaren Stufe hinabsteigen können usw.), sind die absoluten Werte der Geschwindigkeiten, ihre Richtungen und Verteilungen im Raum mannigfaltig. Und wir vermögen die „Elemente“ als Träger der Ordnung oder Unordnung zu unterscheiden. Wenn wir auf diese Weise in der Theorie das Element „Richtungen“ isolieren und annehmen konnten, daß es gezwungen ist, gewissen bevorzugten und nicht allen Richtungen zu folgen, so legen wir ihm einen gewissen Ordnungsgrad bei, und zwar unabhängig von den anderen Elementen, welche den Begriff Gas ausmachen. Desgleichen verteilen sich, in einer hinreichend langen Zeit, die Werte der Geschwindigkeit eines

einigen Moleküls um einen Mittelwert herum und weisen mehr oder weniger große Abweichungen von diesem auf, welche dem Gesetz von Gauss folgen. Hier haben wir eine gewisse Ordnung vor uns, da diese Werte in der Nähe des Mittelwertes bedeutend zahlreicher sind als alle anderen, selbst bis zu den unendlich großen oder unendlich kleinen.

Nehmen wir ein anderes deutlicheres und ebenso wahres Beispiel: eine auf dem Platz einer Stadt versammelte Menschenmenge von 500 000 Personen. Wenn wir die Bewegung der Gesamtheit dieser Menge untersuchen, so stellen wir fest, daß sie bewegungslos bleibt. Und dennoch bewegt jedes Individuum seine Glieder, den Kopf, die Augen usw. und verschiebt seinen Schwerpunkt um einige Zentimeter in allen Richtungen. Wären die Werte der Verschiebungen dieses Schwerpunktes sehr groß, so würde sich die Menge wegen der vielfachen Stöße der Individuen untereinander unter einem furchtbaren Geschrei auflösen. Die also statistischen Werte dieser Verschiebungen liegen normalerweise innerhalb sehr geringer Grenzen, die mit der Dichte der Menge schwanken.

Vom Standpunkt dieser Werte bis zur Bewegungslosigkeit aus gesehen, ist der Grad der Unordnung klein. Ein anderes Merkmal dieser Menge wäre die Orientierung der Gesichter. Wenn ein Redner von einem Balkon aus mit beruhigender Wirkung spräche, so würden wahrscheinlich 499 000 Gesichter sich zu dem Balkon hinwenden, und 998 000 Ohren würden den goldenen Worten lauschen. Eintausend Gesichter und 2 000 Ohren würden aus verschiedenen Gründen: Müdigkeit, Unbehaglichkeit, Einbildungskraft, Sexualität, Verachtung, Diebstahl usw. unaufmerksam sein. Wir können in Übereinstimmung mit der gesamten großen Presse und ohne mögliche Widerlegung behaupten, daß die Menge und der Redner in absoluter Weise miteinander übereinstimmen, besser, daß unter 500 001 Personen Einstimmigkeit herrscht. Der Grad an Ordnung, den der Redner suchte, erreichte wenigstens während einiger Minuten ein Maximum, und wenn die Einstimmigkeit sich ebenfalls beim Ausgang des Meetings ausgedrückt hat, so kann der Redner davon überzeugt sein, daß die Gedanken ebenso gut in seinem Kopf geordnet waren wie in den Köpfen der Menge.

Wir stellen nach diesen beiden extremen Beispielen fest, daß der Begriff der Ordnung und der Unordnung auf der Grundlage einer sehr großen Zahl von Phänomenen steht und selbst, daß die Definierung eines Phänomens oder eines Objektes in sehr vielen Fällen diesem Begriffe unterworfen ist.

Andererseits bemerken wir, daß dieser Begriff aus präzisen und deutlichen Gruppen von Elementen hervorgegangen ist, daß der Maßstab bei der Wahl der Elemente wichtig ist und schließlich, daß der Begriff der Ordnung oder Unordnung das Verhältnis der Effektivwerte zu allen möglichen Werten einschließt, die die Elemente einer Gruppe annehmen können,

wodurch der Begriff der Wahrscheinlichkeit in die quantitative Beurteilung der Ordnung oder Unordnung eingeführt wird.

Wir nennen *Verschiedenartigkeit* einer Elementengruppe die Zahl der getrennten Elemente.

Als *Entropie* einer Elementengruppe werden wir die in dieser Gruppe definierbare Menge an Ordnung oder Unordnung bezeichnen. Die Entropie ist an den Begriff der Verschiedenartigkeit, und dadurch an die Wahrscheinlichkeit eines Elementes der Gruppe, gebunden. Diese Begriffe sind der Kommunikationstheorie [15] entnommen und erinnern an das zweite Prinzip der Thermodynamik (Lehrsatz H. von Boltzmann).

Die Verschiedenartigkeit wird in reinen Zahlen oder ihrem Logarithmus mit der Basis 2 ausgedrückt. So umfaßt das menschliche Geschlecht zwei Elemente, das weibliche und das männliche; seine Verschiedenartigkeit ist entweder 2 oder 1 Bit:

$$(1 \text{ Bit} = \log_2 2)$$

Wir nehmen eine Gruppe von Wahrscheinlichkeiten (Gruppe reeler positiver Zahlen p_i , deren Summe 1 ist) an. Die Entropie dieser Gruppe ist laut Definition:

$H = -K \sum p_i \cdot \log p_i$ · Ist die Basis der Logarithmen 2, so wird die Entropie in Bit ausgedrückt.

Wenn wir also eine Folge von Kopf oder Schrift haben, wobei die Wahrscheinlichkeiten für Kopf und für Schrift gleich $1/2$ sind, so ist die Entropie dieser Folge, d. h. die Ungewißheit bei jedem Wurf 1 Bit. Wären die beiden Seiten Kopf, so wäre die Ungewißheit aufgehoben und der Wert der Entropie H wäre gleich Null.

Bleiben wir bei Kopf und Schrift und nehmen wir an, daß das Eintreten von Kopf oder Schrift nicht durch das Werfen des Geldstückes geschehe, sondern nach einem bestimmten, eindeutigen Gesetz (z. B. bei jedem geraden Wurf Schrift und bei jedem ungeraden Wurf Kopf wählen). Die Ungewißheit, die Unordnung fehlt ständig, und die Entropie H ist gleich Null. Wenn das Gesetz übermäßig kompliziert wird, so wird das Eintreffen von Kopf oder Schrift dem menschlichen Beobachter als vom Gesetz des Zufalls geregelt erscheinen, wodurch die Unordnung und die Ungewißheit wiederhergestellt werden. Was dieser Beobachter machen könnte wäre, z. B. die Würfe Kopf und Schrift zu zählen, ihre jeweilige Häufigkeit zu berechnen, daraus die Wahrscheinlichkeiten ableiten und anschließend die Entropie in Bit kalkulieren. Ist die Häufigkeit für Kopf gleich der für Schrift, so ist die Ungewißheit auf ihrem maximalen Wert und gleich 1 Bit.

Dieses typische Beispiel zeigt in großen Zügen den Übergang von der Ordnung zur Unordnung und die Art und Weise, diese Unordnung einzuteilen, um sie mit anderen vergleichen zu können. Desgleichen läßt es die Bedeutung der Maßstäbe hervortreten. Der menschliche Verstand eines Beobachters würde eine deterministische Zusammengesetztheit bis zu einer gewissen Grenze aufnehmen. Darüber hinaus würde die Zusammengesetztheit in seinen Augen ins Unvorhersehbare, in den Zufall, die Unordnung umschlagen, und das (makroskopisch) Sichtbare glitte ins (mikroskopisch) Unsichtbare. Er braucht andere Methoden, andere Gesichtspunkte, um die Phänomene zu beobachten und zu kontrollieren.

Zu Beginn dieses Kapitels hatten wir angenommen, daß der Geist und insbesondere das Ohr sehr empfindlich seien für die Ordnung oder Unordnung der Phänomene. Die Wahrnehmungs- und Urteilsgesetze stehen wahrscheinlich in geometrischem (logarithmischem) Verhältnis zu den Erregungsgesetzen. Wir wissen nicht viel darüber, und wiederum beschränken wir uns darauf, allgemeine Organismen zu untersuchen und eine Gesamtorientierung der poetischen Prozesse einer sehr allgemeinen Musik aufzuzeichnen, ohne Zahlen, Module, Determinismen geben zu können. Wir sind noch optimistisch genug, um zu glauben, daß die Erfahrung, die mit den abstrakten Hypothesen solidarische Aktion den Konflikt zwischen der Unwissenheit und der Realisierung gewaltsam, biologisch zu lösen vermögen.

Untersuchung der Ataxie (Ordnung oder Unordnung) auf der Stufe einer Wolke von Partikeln (Vektoren).

Zeitachse: Der Grad an Ataxie, die Entropie steht in Abhängigkeit von der Gleichzeitigkeit der Partikel und der Anzahl der getrennten Zeitabschnitte zwischen der Emission jedes Partikels. Wenn die *Verschiedenartigkeit* der Dauer zwischen den Emissionen kurz ist, so ist in der Tat auch die Entropie gering. Wenn z. B. in einem gegebenen Δt jedes Partikel in regelmäßigen Zeitabständen ausgesandt wird, so wird die zeitliche Verschiedenartigkeit 1 und die Entropie gleich Null sein. Die Wolke besäße einen Ataxiergrad Null und wäre vollkommen geordnet. Wenn andererseits in einer ziemlich langen Folge von Δt die Partikel nach dem Gesetz

$$P_x = \delta e^{-\delta x} \quad dx \text{ ausgesandt würden, so wäre der Ataxiegrad}$$

sehr viel größer.

Die Grenze der Entropie ist schließlich das Unendliche, denn wir können uns alle möglichen Werte von Zeitabschnitten mit gleicher Wahrscheinlich-

keit vorstellen. Wenn somit die Verschiedenartigkeit gleich $n \longrightarrow \infty$ ist, so beträgt die Wahrscheinlichkeit für jeden Zeitabstand $p_i = \frac{1}{n}$ und die

$$\text{Entropie } H = -K \sum_{i=0}^n \cdot \log p_i$$

$$H = -K \sum_{i=0}^n \frac{1}{n} \log \frac{1}{n} = -K n \frac{1}{n} \log \frac{1}{n} = -K \log \frac{1}{n} = K \log n$$

und für $n \longrightarrow \infty, H \longrightarrow \infty$

In der Praxis ist dieses weniger richtig, denn ein Δt wird niemals eine zu große Verschiedenartigkeit der Dauer aufweisen, und seine Entropie wird relativ klein sein. Ferner wird eine musikalische Komposition eine Anzahl Δt besitzen, die schwerlich die Zahl 100 000 überschreitet, also:

$$H \leq \log 100\,000 \text{ und } H \leq 16,6 \text{ Bit}$$

Frequenzachse (melodisch). Hier sind dieselben Gedangänge gültig mit einer größeren Einschränkung der Verschiedenartigkeit der melodischen Intervalle oder selbst der absoluten Frequenzen auf Grund der beschränkten Grenzen des Hörbereichs.

Die Entropie ist gleich Null, sobald die Verschiedenartigkeit der Frequenzen der Partikel gleich 1 ist, d. h. sobald die Wolke nur einen einzigen reinen Ton enthält.

Achsen der Intensitäten und Dichten. Die vorstehenden Bemerkungen sind gültig.

An der Grenze also, wenn die Entropien entsprechend den drei Achsen eines Elementes $\Delta F. \Delta G. \Delta t$ gleich Null sind, wird dieses Element nur einen einzigen reinen Ton mit konstanter Intensität enthalten, der in regelmäßigen Intervallen ausgesandt wird.

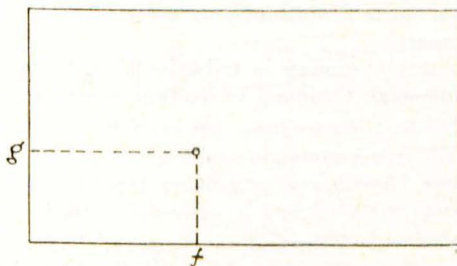


Abb. 20

(Ein einziges in regelmäßigen Intervallen ausgesandtes Partikel)

Daraus ergibt sich, daß eine Wolke einen einzigen in regelmäßigen Zeitabständen ausgesandten reinen Ton enthalten kann, und ihre durchschnittliche Entropie (arithmetisches Mittel der drei Entropien) ist gleich Null. Sie kann in chaotischer Weise verteilte Partikel enthalten, wobei dann die Ataxie sehr groß ist, ihren Höchstwert annimmt und eine im Durchschnitt maximale Entropie (theoretisch ∞) aufweist.

Zwischen diesen beiden Grenzen können die Partikel in unendlich vielfältiger Weise verteilt sein mit durchschnittlichen Entropien, die zwischen 0 und max. liegen und beispielsweise die Marseillaise oder auch eine Zwölftonreihe usw. darstellen.

RANDBEMERKUNG.

Allgemeine Bemerkungen über die Ataxie

Indem wir uns auf diese letzte Eventualität stützen, werden wir die sehr allgemeinen Prozesse der Formen in allen Bereichen des Denkens, in allen physikalischen und physischen Realitäten untersuchen.

Zu diesem Zwecke denken wir uns ein „erstes Ding“. Dieses „erste Ding“ wird nach Belieben plastisch, augenblicklich, progressiv oder schrittweise verformbar, ausdehnbar oder zusammenziehbar, einfach oder mehrfach sein, (im Verhältnis zum Menschen versteht sich).

Es wird eine gegebene allgemeine mittlere Entropie besitzen. Zu einer bestimmten Epoche unterwerfen wir es einer Umwandlung. Vom Standpunkt der Ataxie aus gesehen kann diese Umwandlung drei Wirkungen zur Folge haben. 1) Der Grad der Komplexheit (die Verschiedenartigkeit) bleibt unverändert, die Umwandlung ist neutral, und die globale Entropie hat sich nicht geändert. 2) Der Grad der Komplexheit hat zugenommen, die Entropie auch. 3) Die Umwandlung war vereinfachend, die Entropie hat abgenommen.

Somit bewirkt und verwandelt die neutrale Umwandlung:

I — Die vollkommene Unordnung in vollkommene Unordnung
(Schwankungen)

II — Die teilweise Unordnung in teilweise Unordnung

III — Die vollkommene Ordnung in vollkommene Ordnung

Die vervielfachende Umwandlung verwandelt:

I — Die teilweise Unordnung in vollkommene Unordnung

II — Die teilweise Unordnung in größere Unordnung

III — Die vollkommene Ordnung in teilweise Unordnung

Und die vereinfachende Umwandlung verwandelt:

I — Die vollkommene Unordnung in teilweise Unordnung

II — Die teilweise Ordnung in größere Ordnung

III — Die teilweise Ordnung in vollkommene Ordnung

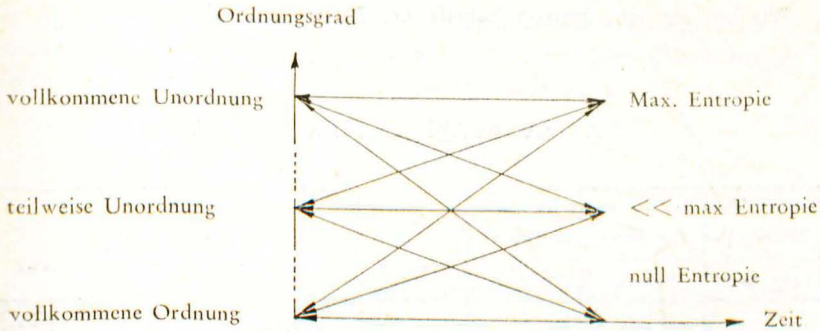


Abb. 21

Untersuchung der Ataxie auf der Stufe der Raster (Mengen von Wolken)



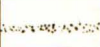















Nach den obigen Ausführungen kann ein Raster, der von einer Menge von Fächern ΔF ΔG gebildet wird, die mit Dichtewerten während eines Zeitabschnittes Δt verbunden sind, entsprechend den beiden Wesensarten der Partikel, der Frequenz und der Amplitude, aufgelöst und mit einer mittleren Entropie versehen werden. Auf diese Weise lassen sich die Raster gemäß des Kriteriums der Ataxie mit Hilfe zweier Unordnungsparameter einteilen: die Verschiedenartigkeit der Frequenzen und die Verschiedenartigkeit der Intensitäten. Wir lassen die zeitliche Verteilung der Partikel in Δt , sowie die Dichte, welche übrigens implicite mit den Verschiedenartigkeiten der beiden Grundgrößen der Partikel verbunden sind, unberücksichtigt.

- Wir symbolisieren: die vollkommene Unordnung durch ∞
- die teilweise Unordnung durch n oder m
- die teilweise Ordnung durch n oder m
- die vollkommene Ordnung durch 0

Vom Standpunkt der Ataxie aus gesehen wird ein Raster durch ein Moment von Entropiewerten ausgedrückt, das in derselben Reihenfolge dem Frequenz- und dem Intensitätsmoment seiner Partikel beigegeben wird. So bedeutet das Moment $(n \infty)$: Raster, deren Frequenzen eine ziemlich geringe Entropie besitzen (teilweise Unordnung oder Ordnung) und deren Intensitäten eine maximale Entropie aufweisen (materiell vollkommene Unordnung).

Wir können eine Entropietabelle der Raster aufstellen:

ENTROPIETABELLE DER RASTER

Vollkommene Unordnung		Teilweise Unordnung		Vollkommene Ordnung		Symbole	Bemerkungen	Schema	Schema
F	G	F	G	F	G				
F	G					$\infty \cdot \infty$	Einzelraster		
F			G			$\infty \cdot n$	Unendlich viele Raster		
F					G	$\infty \cdot 0$	Einzelraster		
	G	F				$n \cdot \infty$	Unendlich viele Raster		
	G			F		$0 \cdot \infty$	Einzelraster reine Töne		
		F	G			$n \cdot m$	Unendlich viele Raster		
		F			G	$n \cdot 0$	Unendlich viele Raster		
			G	F		$0 \cdot n$	Unendlich viele Raster		
				F	G	$0 \cdot 0$	Einzelraster (ein reiner Ton)		

AUFBAU DER RASTER

Wir werden nachstehend einige der Raster der oben gegebenen Tabelle kurz betrachten.

Raster ($\infty \cdot \infty$) Die Partikel sind dem Zufall entsprechend über den gesamten Hörbereich verteilt und bilden in einem Intervall Δt eine mittlere Verteilungsdichte d_m . Wie muß der Raster aufgebaut sein, damit er wirklich in einem gegebenen Δt eine maximale Entropie besitzt?

Ist d_m sehr viel kleiner als 30, so genügt es, die Poisson'sche Formel anzuwenden, welche die Wahrscheinlichkeit p_k dafür gibt, daß in einem beliebigen Fach 0, 1, 2, . . . k, . . . Partikel enthalten sind:

$$p_k = \frac{(d_m)^k}{K!} e^{-d_m}$$

In der Tat können wir die Zahlen k der Partikel pro Elementarfach mit unabhängigen Symbolen assimilieren, die von einer Quelle (in regelmäßigen Intervallen) ausgesandt werden. Diese diskontinuierliche Quelle wird eine Entropie H besitzen: [15]

$$H = - \frac{\log p}{N} \left\{ \begin{array}{l} p = p_0^{p_0 N} p_1^{p_1 N} p_2^{p_2 N} \dots p_n^{p_n N} \\ p_k = \frac{(d_m)^k}{K!} e^{-d_m} \\ N \text{ ist die Zahl der Fächer des Rasters} \\ \text{Zahl der Symbole pro Folge} \end{array} \right.$$

Nun beruht das Poisson'sche Gesetz auf einer einzigen Bedingung, der der Unveränderlichkeit der mittleren Dichte d_m . Jede andere Regel, welche dieser hinzugefügt wird, würde nur andere Bedingungen zu der einzigen des Poisson'schen Gesetzes hinzufügen, und die neue Entropie der diskontinuierlichen Quelle wäre infolgedessen kleiner als die oben definierte.

Wir bilden also eine Folge von N Fächern, von denen jedes eine Anzahl von k Partikeln (wahrscheinlichste Zahl) enthalten wird, die aus der Poisson'schen Formel hervorgeht.

Anschließend verteilen wir diese Fächer auf den Raster, der in r Kolonnen und s Zeilen eingeteilt ist, entsprechend diesen Zeilen und Kolonnen, wobei wir zwei weitere Male dasselbe Gesetz von Poisson anwenden [13]. Wir erhalten auf diese Weise einen Raster, dessen Entropie von F und G den Maximalwert ($\infty \infty$) annimmt. Für jedes Δt wiederholen wir die drei vorhergehenden Verteilungen. Hierdurch entsteht eine Zusammenstellung von Rastern ($\infty \infty$).

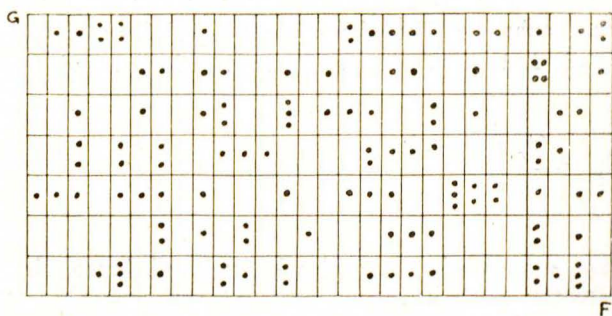


Abb. 22
 Hier $d_m = 0,60$ Partikel / Fach

Dieser Raster, welche aufeinander folgen und deren Unordnung vollkommen (maximal) ist, ergeben einen sehr reichen Schall, der dem weißen Klang nahekommt und niemals in der Zeit identisch ist. Um die Aufstellung und die numerischen Berechnungen jedes Rasters ($\infty \infty$) zu vermeiden, können wir bereits auf der Grundlage des ersten Rasters ($\infty \infty$) eine große Anzahl anderer aufstellen. Zu diesem Zwecke versetzten wir die Fächer nach Kolonnen oder Zeilen.

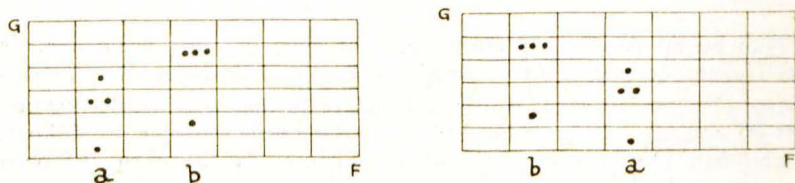


Abb. 23
 Beispiel für die Versetzung nach Kolonnen

Diskussion. Es ist offensichtlich, daß für eine große mittlere Dichte die Verteilung der Partikel um so mehr zu einer Regulierung (ergodisch) neigt und die Schwankungen von einem Fach (Wolke) zum anderen um so geringer sind, je größer die Zahl der Fächer ist. Die Grenzen der Dichte der Fächer des Hörbereiches werden also in Abhängigkeit von den verfügbaren technischen Mitteln, Rechenschieber, Tabellen, Rechenmaschinen, Notenpapier, Orchesterinstrumente, Ordinatoren, Magnetophongeräte, Scheren, programmierte Impulse reiner Töne, automatisches Zerschneiden, programmierte Aufnahmen, „Elektronengehirne“ usw. stehen.

Die Entropie (für eine gegebene mittlere Dichte) wird natürlich beeinflusst von der Feinheit des Gitters und wird gleichzeitig zunehmen. Hier ist es, wo eine ganze Serie statistischer Experimente über die Gegenstände die Wahrnehmungsgrenzen der Ataxie dieser Raster ($\infty \infty$) umschreiben und selbst die farbigen Abstufungen des weißen Geräusches ausdrücken müßte. Es ist sehr gut möglich, daß das Ohr sehr zahlreiche Raster, deren Entropie in starkem Maße variiert, in dieselbe Schublade einordnet. Es würde sich daraus eine Verarmung, eine Vereinfachung der Beziehung physikalische Information \longrightarrow Wahrnehmung ergeben, aber man hätte dann wenigstens den Vorteil, die Arbeit für die Herstellung der Raster in beträchtlicher Weise herabzusetzen.

Alle Raster. Auf der Grundlage einiger Raster und unter Anwendung der *elementaren Operationen* lassen sich alle Raster der Entropietabelle konstruieren.

Einige Beispiele:

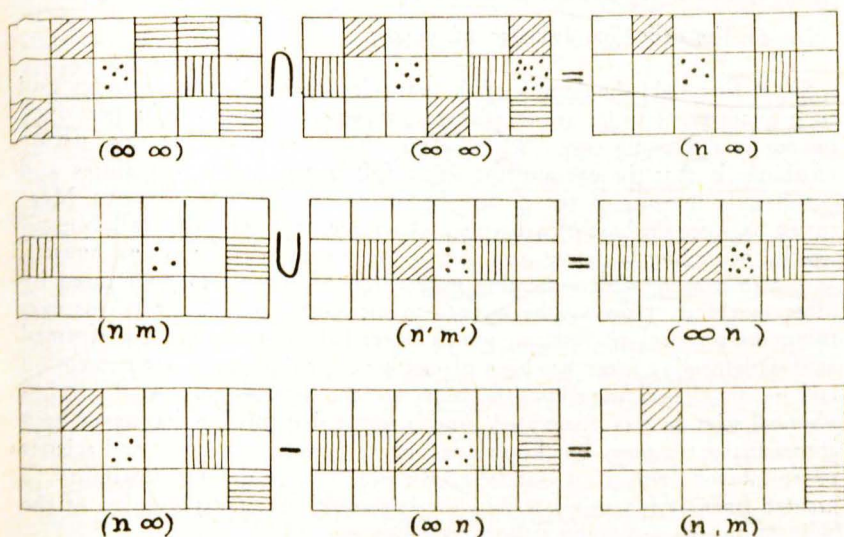


Abb. 24

Anmerkung: In der Praxis bilden die Frequenz- und Intensitätsfilter diese elementare Operationen in vollkommener Weise nach.

(Fortsetzung folgt.)

Elements of Stochastic Music

by

IANNIS XENAKIS

DISTINCTIVE FEATURES OF SCREENS

In our intention to create sound complexes on the base of the raw material of a sound, the sinusoidal sound, complexes which are as rich as the natural sounds, more unexampled than those ones, with scientifically mastered and, on very general levels, abstract and ultimate evolutions, we have implicitly admitted the importance of three fundamental factors which seem to be able to dominate *as well* the theoretical construction of an acoustic process *as* its sensorial efficiency:

- 1) The density of events
- 2) The topographical situation of the events on the screens
- 3) The order or disorder of events.

So, at first sight the density of the particles (vectors), their topology and their quantity of order are the beings, the aspects which will be perceived by our macroscopic ears. What seems to be wonderful in this nature of things is that the ear and the spirit follow the objective realities and act directly in spite of the great inherent or cultural imperfections. Measuring has been the base of experimental science. Man willingly calls himself invalid according to senses and that is the reason why he armed himself, and with reason, with indicating measuring instruments manufactured by other machines. However he succeed in measuring with his ears, his eyes things or physical phenomena which nevertheless have been transformed as if a deforming filter has been placed between the immediate perception and its conscience. Some hundred years ago the logarithmic law of psychophysical relation was discovered. And it seems that this law has never been contradicted till now. But knowledge never comes to an end and science of to-morrow will find out certainly not only a greater flexibility, a greater fineness for this law, but the beginning of an explanation of the Why of this so surprising deforming filter as well.

This quasi bi-univocal statistical transformation of excitation into perception permitted us to argue about physical beings, the screens, while thinking at the same time "perceived things".

A reciprocity of the same kind between the perception and its intelligence will allow us to pass from the screens to their distinctive features.

Thus the arguments we are following now can be applied as well to pure notions as to the resultants of perception, which are nothing else but the sensible causes or consequences of it according as we take the attitude of the artisan or of the listener.

We always have remarked the density and topology of the particles and squares and we admitted the notions of order and disorder within the ergodic superficial distribution of particles.

Now we are going to examine the notion of order in its exact sense because it is this notion which probably is hidden behind the two others. That means that the density and topology are rather simplified tangible incarnations of this shifty and multiform notion which is the disorder.

Speaking about order or disorder we firstly understand "of objects", "of elements"; afterwards, and this is already more complicated, we define these elements themselves, the order or disorder of which we want to examine and to construct, their scale in comparison with ourselves, and finally we qualify this order or disorder and endeavour to measure it.

We even can draw up a list of all degrees of order and disorder of these beings on every scale, of every aspect, of every measuring and even of the characteristics of the order or disorder of this list and establish again the aspects and measurements.

According to the example of gases quoted above and if we place ourselves on the molecular scale (we would have been able to go down until the atomic scale and so on), the absolute values of speeds, their directions and distribution in space are of any sorts. And we are capable to distinguish the "elements" as to be carrier of order or of disorder. So, if we could isolate theoretically the element "directions" and if we could suppose that it is forced to follow certain privileged directions but not all, we attribute a certain degree of order and this without considering the other elements constituting the notion of gas. In the same way, and in supposing a sufficiently long time, the values of the velocity of one single molecule are grouping themselves around an average value presenting more or less important differences with the latter one which follow the Gauss' law. This represents a certain order because the values placed in the near of the average value are essentially more numerous than all the others even if we consider the infinitely great or infinitely small ones.

Let us take another clearer example which is nevertheless as true as the first one: a crowd of 500,000 persons brought together in the town-square. If we examine the total displacement of this crowd we can observe that it rests motionless. However every individual is moving his limbs, his head, his eyes etc. and displaces his centre of gravity of about some centimeters in all directions. If these displacements of the centre of gravity would take very great values the crowd would be disaggregated under a

terrifying howl on account of the multiple shocks between the individuals. Thus the statistical values of these displacements are situated normally within very small limits varying with the density of the crowd.

From the point of view of these values up to the immobility the degree of disorder is not very important. Another feature of this crowd would be the orientation of faces. If an orator, placed on a balcony, were speaking with a calming effect probably 499,000 faces would be turned into the direction of the balcony and 998,000 ears would listen to the golden words. One thousand faces and 2,000 ears would be inattentive for different reasons: tiredness, discomfort, imagination, sex contempt, theft etc. With all the papers we can affirm without any possible contestation that the orator and the crowd were in absolutely good understanding one with the other, better, that 500,001 persons were unanimous. The degree of order the orator was aiming at reached, at least for some minutes, a maximum, and if this unanimity manifested itself also the end of the meeting the orator could be convinced that the ideas were ordered as well in his head as in those of the crowd.

After these two extreme examples we find that the notion of order or disorder constitutes the base of a very great number of phenomena and even that the definition of a phenomenon or of an object is submitted, in many cases, to this notion.

On the other hand we remark that this notion has been established on the base of precise and distinct groups of elements, that the scale is of very great importance for the selection of elements and finally that the notion of order or disorder includes the ratio of the effective values to any possible values which can be taken by the elements of a group thus introducing the notion of probability into the quantitative estimation of order or disorder.

We call *variety* of a group of elements the number of distinct elements.

We designate *entropy* of a group of elements the quantity of order or disorder which can be defined within this group. The entropy is connected with the notion of variety and consequently with the probability of an element belonging to the group. These notions come from the communication theory [15] and recall the second principle of thermodynamics (Theorem H by Boltzmann).

The variety is expressed by pure numbers or their logarithm with the base 2. Thus human sex has two elements, male and female; its variety is 2, or 1 bit:

$$(1 \text{ bit} = \log_2 2)$$

We suppose a group of probabilities (group of real positive numbers p the sum of which is 1). The entropy of this group is according to its definition:

$H = -K \sum p_i \cdot \log p_i$. If the base of logarithms is 2, the entropy will be expressed in bits.

When a sequence of heads or tails of a thrown coin is given with probabilities for head and tail $1/2$, the entropy of this sequence, that means the incertitude at every toss, is 1 bit. For a double-headed coin the incertitude would not exist and the value of the entropy H would be zero.

We continue our example of heads and tails and suppose that the coming of heads or tails is not caused by the toss of the coin but according to a determined univocal law (e. g. choose for every even throw tails and heads for every odd throw). The incertitude, the disorder is always absent and the entropy H is zero. When the law becomes excessively complicated the appearance of heads or tails will seem, to a human observer, to be regulated by the law of chance and disorder and incertitude will be re-established. The thing this observer could do is, e. g. to count the toss of heads and tails, to calculate their respective frequency, to deduce the probabilities from it and to determine finally the entropy in bits. If the frequency for heads is the same as for tails the incertitude takes its maximum value and is 1 bit.

This typical example shows approximately the transition from order to disorder and the way how to graduate this disorder in order to compare it with others. It shows also the importance of scales. The intelligence of a human observer would assimilate a determined complexity up to a certain limit. Beyond this limit would change over into the unforeseeable, into chance, the disorder and the (macroscopic) visible would turn into the (microscopic) invisible. Others methods, other points of view are necessary to observe and control the phenomena.

At the beginning of this chapter we admitted that the spirit and especially the ear were very sensitive to both order and disorder. The laws of perception and judgment are probably in geometrical (logarithmical) relation with the laws of excitation. We don't know much about it and once more we restrict ourselves to examining the general organisms and to indicate the orientation of poetical processes of a very general music as a whole, without giving numbers, modules, determinisms. But we are optimistic enough to think that experience, action which is solidary with abstract hypothesis can resolve the conflict between ignorance and realization by force, biologically.

Study of ataxy (order or disorder) on the scale of a cloud of particles (vectors)

Axis of time: The degree of ataxy, the entropy is a function of the simultaneity of particles and of the number of distinct periods between the emission of each particle. Indeed, if the *variety* of durations between the emissions is small, the entropy is small too. If, e. g. within a given Δt each particle is emitted in regular intervals, the temporal variety will be 1 and the entropy will be zero. In this case the cloud would present a degree of ataxy zero and would be absolutely ordered. On the other hand if, within a sufficiently long succession of Δt the particles are emitted according to the law:

$$P_x = \delta e^{-\delta x} \quad dx \quad \text{the degree of ataxy would be much greater.}$$

Finally the limit of the entropy is infinity, because we can imagine every possible value for durations with the same probability. Thus, if the variety $n \longrightarrow \infty$ the probability of each interval is $p_i = \frac{1}{n}$ and the entropy

$$H = -K \sum_{i=0}^n p_i \cdot \log p_i$$

$$H = -K \sum_{i=0}^n \frac{1}{n} \log \frac{1}{n} = -K \cdot n \frac{1}{n} \log \frac{1}{n} = -K \log \frac{1}{n} \\ = -K \log n$$

and for $n \longrightarrow \infty$, $H \longrightarrow \infty$.

In practice this is not quite true, for a Δt never will present too great a variety of durations and its entropy will be relatively small. Furthermore, a musical composition will have a number of Δt which hardly exceeds 100,000, therefore

$$H \leq \log 100,000 \text{ i. e. } H \leq 16.6 \text{ bits.}$$

Frequency axis (melodical): The same arguments are valid with a greater restriction to the variety of melodic intervals or even of absolute frequencies on account of the restrained limits of the audible area.

The entropy is zero when the variety of the frequency of particles is 1, that means when the cloud contains only one pure sound.

Intensity and density axes: The preceding remarks count.

So, at the limit, when the entropies, according to the three axes of an element ΔF , ΔG , Δt are zero this element will contain only one pure sound with a constant intensity emitted at regular intervals.

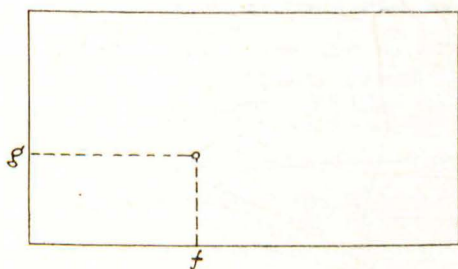


Fig. 20

(A single particle emitted at regular time intervals)

The conclusion is that a cloud can contain only one pure sound emitted at regular intervals and its average entropy (arithmetical average of the three entropies) is zero. It can contain particles which are distributed in a chaotic way. Then the ataxy is very great and reaches its maximum value and presents a maximum average entropy (theoretically ∞).

Between these two limits the particles may be distributed in infinitely various manners and present average entropies with values between 0 and max. and representing e. g. the Marseillaise or a twelve tone row etc.

DIGRESSION

General observations on ataxy

While considering this latter eventuality we'll examine the very general processes of forms in every field of thought, in all physical and psychical realities.

For that purpose we imagine a "first thing". This "first thing" will be at pleasure plastic, instantaneously, progressively or stepwise deformable, extensible or retractable, singular or multiple, as simple as an electron (!) or as complex as the universe (naturally in comparison with man).

It will have a given general average entropy. At a certain moment we submit it to a transformation. This transformation can have three effects when considered from the point of view of the ataxy. 1) The degree of complexity (the variety) rests unchanged, the transformation is neutral and the total entropy has not changed. 2) The degree of complexity has increased and the entropy too. 3) The transformation provoked a simplification and the entropy has diminished.

Thus the neutral transformation can act and change:

- I — The complete disorder into complete disorder (fluctuations)
- II — The partial disorder into partial disorder
- III — The complete order into complete order

— The multiplying transformation changes:

- I — The partial disorder into complete disorder
- II — The partial disorder into greater disorder
- III — The complete order into partial disorder

— And the simplifying transformation changes:

- I — The complete disorder into partial disorder
- II — The partial order into greater order
- III — The partial order into complete order

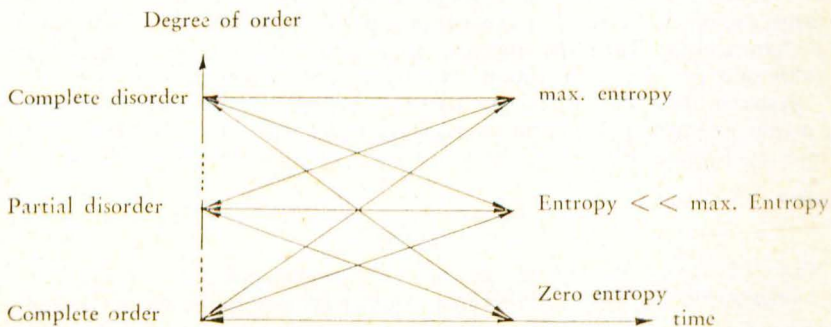


Fig. 21

Study of the ataxy on the scale of screens (ensembles of clouds)

After what has been said above, a screen which is constituted by an ensemble of squares ΔF , ΔG associated with the density values during a period Δt , can be dissociated according to the two natures of par-

ticles, frequency and amplitude, and affected by an average entropy. In this way we can classify the screens according to the criterion of the ataxy by means of two disorder parameters: the variety of frequencies and the variety of intensities. We neglect the distribution of particles within Δt as well as the density, which is implicitly linked with the varieties of these two fundamental values of the particles.

We symbolize: the complete disorder by ∞
 the partial disorder by n or m
 the partial order by n or m
 the complete order by 0

From the point of view of the ataxy a screen is expressed by a pair of entropy values which is attributed in the same order to the frequency and intensity pair of its particles. So the pair $(n \infty)$ signifies: screen the frequency of which has a very small entropy (partial disorder or order) and the intensity of which presenting a maximum entropy (materially complete disorder).

We can establish an entropy table of screens:

Complete Disorder		Partial Disorder		Complete Order		Symbols	Remarks	Scheme	Scheme
F	G	F	G	F	G				
F	G					$\infty \cdot \infty$	Single screens		
F			G			$\infty \cdot n$	Infinite number of screens		
F					G	$\infty \cdot 0$	Single screens		
	G	F				$n \cdot \infty$	Infinite number of screens		
	G			F		$0 \cdot \infty$	Single screens Pure tones		
		F	G			$n \cdot m$	Infinite number of screens		
		F			G	$n \cdot 0$	Infinite number of screens		
			G	F		$0 \cdot n$	Infinite number of screens		
				F	G	$0 \cdot 0$	Single screen (one pure tone)		

CONSTRUCTION OF SCREENS

We'll give a rapid survey of some of the screens indicated in the table above.

Screen ($\infty \infty$) The particles are distributed according to chance throughout the whole audible area and form, within an interval Δt an average density of distribution d_m . How must a screen be constructed to show a maximum entropy within a given Δt ?

If d_m is much smaller than 30 it will be sufficient to apply Poisson's law giving the probability p_k for 0, 1, 2, . . . , k, . . . particles being contained in any square:

$$p_k = \frac{(d_m)^k}{K!} e^{-d_m}$$

Indeed, we can assimilate the numbers k of the particles per elementary intervals). This discrete source will have an entropy H :

$$H = - \frac{\log p}{N} \left\{ \begin{array}{l} p = p_0^{p_0 N} p_1^{p_1 N} p_2^{p_2 N} \dots p_n^{p_n N} \\ p_k = \frac{(d_m)^k}{K!} e^{-d_m} \\ N \text{ is the number of squares of the screens} = \\ \text{Number of symbols per succession} \end{array} \right.$$

But Poisson's law is based on only one condition, that of the immutability of the average density d_m . Every other rule in addition to this one would bring nothing but other conditions to the single one of the Poisson's law and the new entropy of the discrete source would therefore be smaller than the entropy defined above.

We constitute a succession of N squares each which containing a number of k particles (most probable number) indicated by the formula of Poisson.

Then we distribute these squares within the screen, divided into r columns and s lines, according to these columns and lines in applying twice more the same Poisson's law. Thus we get a screen the entropy of F and G of which takes the maximum value ($\infty \infty$). For each Δt we repeat the three preceding distributions. So we get a collection of screens ($\infty \infty$).

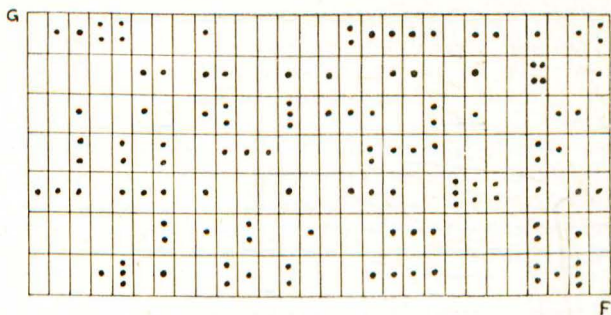


Fig. 22

Here $d_m = 0.60$ particle per square.

These succeeding screens the complete disorder of which is maximum give a very rich sound closely allied to the white noise and never identical in time. To avoid the elaboration and the numerical calculations of every screen ($\infty \infty$) we can already construct a great number of other screens by starting from the first screens ($\infty \infty$). For this purpose we exchange the squares by columns or by lines.

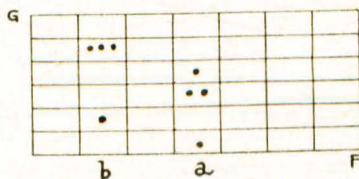
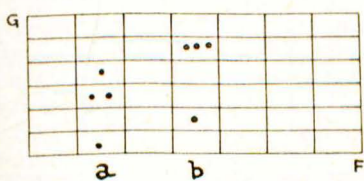


Fig. 23

Example of the permutation by columns.

Discussion: It is obvious that, for a great average density, the greater the number of squares is, the more the distribution of particles tends to an (ergodic) regulation and the smaller are the fluctuations from one square (cloud) to the other. So the limits of the density of the squares of the audible area are functions of the available technical means as slide rules, tables, computers, ordinator, music-paper, orchestral instruments, magnetophones, scissors, programmed pulses of pure sounds, automatic cutting, programmed recording, „electronic brains“ etc.

The entropy (for a given average density) is naturally affected by the fineness of the grid and will increase with it. It's here, where a whole series of statistical experiments concerning the objects would be necessary to describe the limits of perception of the ataxy of these screens ($\infty \infty$) and even to express the coloured nuances of a white noise. It is quite possible that our ears class very numerous screens the entropy of which is varying very much into the same case. This would lead to an impoverishment, to a simplification of the relation physical information \longrightarrow perception, but it would at least permit the advantage to reduce considerably the work for the fabrication of screens.

Every screens. Starting from some few screens and in applying the elementary operations every screen of the entropy table can be constructed.

Some examples:

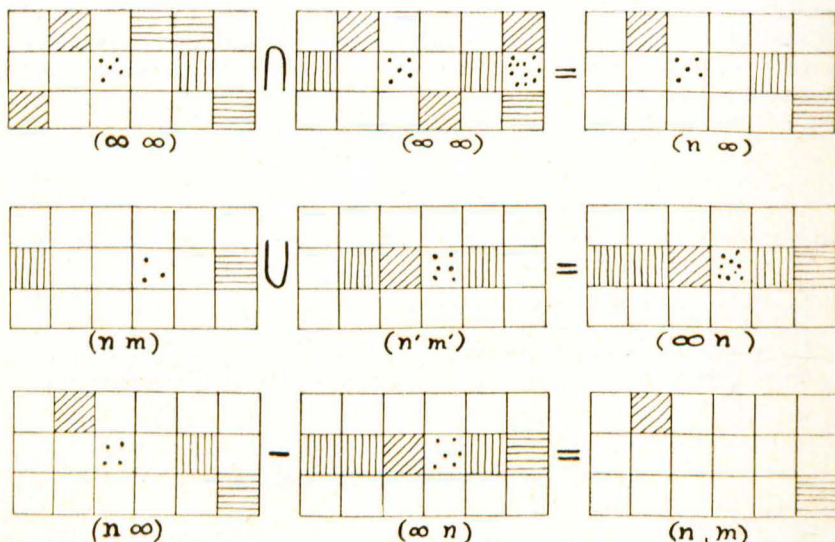


Fig. 24

Note: In practice the frequency and intensity filters imitate completely these elementary operations.

(To be continued)

Ähnlichkeitsklassen bei Schallsignalen

von

G. UNGEHEUER

Die akustische Erforschung von Schallsignalen hat in den letzten Jahren dank der modernen Meßinstrumente große Fortschritte gemacht. Im Gegensatz hierzu findet man auf dem Gebiete der auditiven Wahrnehmung nur wenige Forschungsergebnisse. Während man über die Struktur der Schallreize ziemlich genaue Kenntnisse besitzt, weiß man über die wahrgenommenen Qualitätsgefüge nur unzureichend Bescheid. Seit Jahrzehnten beschäftigt sich die Wahrnehmungspsychologie hauptsächlich mit optischen Phänomenen. Die Grundlagen der Gestaltpsychologie wurden in erster Linie aus Erscheinungen der visuellen Wahrnehmung abgeleitet. Eine Analyse der Gestaltgesetze und Ganzheitsphänomene im Bereich der auditiven Perzeption ist daher unerlässlich.

Die nachfolgenden Ausführungen sind ein Beitrag zu der geforderten Weiterentwicklung der auditiven Wahrnehmungslehre. Es handelt sich zunächst um eine qualitative Analyse stationärer Schallsignale. Die angewandte Methode läßt sich aber ohne große Schwierigkeiten auch auf nicht-stationäre Signale übertragen, also auf Schallgebilde, die durch zeitabhängige Strukturen bestimmt sind.

Die bisherigen Untersuchungen wurden an sprachlautartigen Schallverläufen durchgeführt, und zwar läßt sich das verarbeitete Schallmaterial in zwei Gruppen aufspalten, in vokalische und in frikative Laute. Die Methode ist eine für experimentelle Zwecke umgeformte „Quasianalyse“, die der Logistiker und Philosoph *Carnap* zur relationstheoretischen Konstitution eines allgemeinen Begriffsystems entwickelt hat. Diese Quasianalyse muß man vom logischen Standpunkt aus als eine „Definition durch Abstraktion“ ansehen. Ihre spezielle Verwendung bei der Erforschung auditiver Wahrnehmungsqualitäten wird am besten anhand der durchgeführten Tests erläutert.

Die den Untersuchungen zugrunde liegende Hypothese geht davon aus, daß Schallereignisse wie z. B. Vokale, Frikativlaute, Akkorde und ähnliche mehr oder weniger komplexe Schallphänomene zwar als einheitliches Ganzes wahrgenommen werden, diese Ganzheiten aber in sich gegliederte Gebilde sind, deren Struktur auf eine Reihe elementarer Qualitäten hinweist. Diese fundierenden Qualitäten lassen sich in direkter Analyse nicht aus den Phänomenen ablösen, weil das hierzu notwendige analytische Hören, falls es überhaupt möglich ist, die im ursprünglichen Erlebnis dominierenden Ganz-Eigenschaften zerstört, und es sehr fraglich ist, ob die aus ihrem Zerfall sich ergebenden Teilmerkmale wirklich auch als Momente die primäre Ganzheit aufbauen.

Wollte man beispielsweise den Zusammenschluß von Klängen nicht im Sinne der traditionellen Harmonik als Akkorde, sondern mit *Schönberg* und der modernen Musik als „Klangfarben“ auffassen, so hätte man es jeweils nicht mit einfachen Farben zu tun, sondern bei jedem Zusammenklang mit Komplexqualitäten, die sich aus einer Reihe von Elementarqualitäten zusammenfügen, Elementarqualitäten, die isoliert nicht unbedingt hörbar zu sein brauchen. Diese die komplexen Klangfarben fundierenden Attribute bilden den sachgerechten Ausgangspunkt für eine Klassifikation der Klangfarben; zu einer Klangfarbenklasse gehören eben diejenigen Phänomene, die in einer Elementarqualität übereinstimmen.

Man versucht daher umgekehrt, den betrachteten Phänomenbereich wahrnehmungsmäßig in Klassen aufzuspalten, um auf diesem Wege wenigstens zu einer extensionalen Bestimmung der qualitativen Elemente zu gelangen. Hierzu bietet sich als Methode die Relationstheorie an, als empirische Fundamentalrelation — wie schon bei *Carnap* — das *Ähnlichkeitserlebnis*.

Ausgangsbasis der bisherigen Untersuchungen waren die Repertoire von 21 vokalischen Lauten (zu ihnen gehören außer den Vokalen auch die Nasale u. ä.) und ein Repertoire von 18 Frikativlauten (Tonband, B. 1). Aus jedem Repertoire wurden alle möglichen Lautpaare in regelloser Folge auf ein Tonband kopiert, das ergab $21 \cdot 21 = 441$ Vokalpaare und $18 \cdot 18 = 324$ Frikativpaare. Bei jedem Paar betrug der Abstand der Laute etwa 0,5 sec, der Abstand von Paar zu Paar betrug etwa 4 sec (Tonband, B. 2).

Jedes der Testbänder wurde einer Gruppe von Versuchspersonen — es waren jeweils 11 Psychologiestudenten — mit der Aufforderung vorgespielt, sie sollten jedes Paar von Schallsignalen auf ihre Ähnlichkeit beurteilen. Den Vpn. standen folgende Urteilsmodi zur Verfügung: konstatierte Ähnlichkeit (+), Unentschlossenheit (·), konstatierte Unähnlichkeit (—). Die Urteile mußten jeweils in den 4 sec zwischen den Lautpaaren gefaßt werden. Die Beurteilungszeit wurde deswegen so kurz gehalten, damit die Vpn. nicht zum Grübeln oder zur rationalen Analyse verleitet wurden. Es wurde von ihnen vielmehr gefordert, sie sollten die Ähnlichkeitsurteile unmittelbar aus dem Wahrnehmungserlebnis heraus, ohne Zwischenschaltung von Überlegungen und Rückgriffe auf bereits bekannte Klassifizierungen fällen.

Es lag die Vermutung nahe, daß die ständige, angespannte Konzentration der Vpn. auf Ähnlichkeit von Lautpaaren die Ergebnisse verfälschen könnte. Um diesen Einfluß zu eliminieren, wurden für jedes Lautrepertoire bei denselben Vpn. zwei Tests durchgeführt. Im ersten sollten die Lautpaare auf Ähnlichkeit, im zweiten auf Unähnlichkeit beurteilt werden. Die Testergebnisse bestätigten die Richtigkeit der Vermutung. Die Einstellung der Vpn. führte zu interessanten Effekten, die zwar für unser spezielles Ziel der Qualitätsanalyse unerwünscht waren und durch den doppelten Test ge-

tilgt werden konnten, die aber für allgemeine wahrnehmungspsychologische Probleme außerordentlich erhellend sind.

Für die Auswertung der Testergebnisse werden die Urteile am besten in ein quadratisches Schema eingetragen. Betrachten wir zur Illustration ein Repertoire mit 3 Schallsignalen S_1, S_2, S_3 und bilden folgende Matrix (Abb. 1)

	S_1	S_2	S_3
S_1	S_{11}	S_{12}	S_{13}
S_2	S_{21}	S_{22}	S_{23}
S_3	S_{31}	S_{32}	S_{33}

Abb. 1

so ist die Zahl der Kästchen, symbolisiert durch S_{ij} , gleich der Zahl aller möglichen Paare, die aus dem vorgegebenen Repertoire von Schallsignalen zusammengestellt werden können. Teilt man jedes der Kästchen in vier Felder, so kann man in jedes die Testresultate für ein Signalpaar eintragen. Wir hatten folgende Anordnung gewählt (I: Ähnlichkeitstest, II: Unähnlichkeitstest, +: Ähnlichkeitsurteil, -: Unähnlichkeitsurteil):

	S_i	
		S_j
S_i	I+	II+
	II-	I-

Abb. 2

In jedes der vier Felder wird die Gesamtzahl der entsprechenden Urteile eingetragen. Als Beispiel geben wir die linke obere Ecke der Matrix für die Frikativlaute (Abb. 3).

	<i>g</i>	<i>β</i>	<i>f</i>
<i>g</i>	11 11 7 5	2 1 7 5	9 1 2
<i>β</i>	5 1 7 2	11 11	1 9 6
<i>f</i>	9 2	2 8 4	11 11

Abb. 3

Es stehen also die Plus-Urteile in den beiden oberen, die Minus-Urteile in den beiden unteren Feldern. Die aus beiden Tests resultierenden Gesamturteilshäufigkeiten erhält man aus der Addition der vorzeichenbehafteten Teilhäufigkeiten, also:

	<i>g</i>	<i>β</i>	<i>f</i>
<i>g</i>	22+	9-	8+
<i>β</i>	3-	22+	14-
<i>f</i>	11+	10-	22+

Abb. 4

Die Höchstzahl der Ähnlichkeitsurteile beträgt bei 11 Vpn., da es 2 Teste sind, 22+; die Höchstzahl der Unähnlichkeitsurteile beträgt entsprechend 22—. Zwischen 22— und 22+ sind alle Urteilshäufigkeiten möglich. Abb. 5 zeigt die Verteilung dieser Urteilshäufigkeiten bei den vokalischen Lauten.

Für unser nächstes Ziel, die Qualitätsanalyse, ist allein ausschlaggebend, ob ein Lautpaar überhaupt als ähnlich beurteilt wurde, unabhängig von dem Gewicht dieser Ähnlichkeit, das sich in der Zahl der Plus-Urteile ausdrückt. Man muß hierbei allerdings noch berücksichtigen, daß jedes Paar mit umgekehrter Reihenfolge zweimal vorkommt, einmal S_{ij} und einmal S_{ji} . Es kann dabei sehr wohl S_{ij} als ähnlich S_{ji} als unähnliches Paar konstatiert worden sein. Man hat es in diesem Falle mit ordnungsbezogenen Ähnlichkeitserlebnissen zu tun, denen bei einer detaillierten Auswertung der Tests naturgemäß ein besonderes Interesse zukommt. Diese „asymmetrischen“ Paare seien aber zunächst ausgeschaltet und nur die „symmetrisch-positiven“ in Betracht gezogen. Bezeichnet man die als ähnlich erlebten Paare — mit welcher Häufigkeit auch immer — in der Matrix mit einem Punkt, so erhält man für die vokalischen Laute die Abb. 6. Diese teilweise mit Punkten ausgefüllten Matrizen sind in logistischer Sicht Darstellungen von symmetrischen Relationen. Aus ihnen lassen sich *Ähnlichkeitsklassen* nach folgender Definition ableiten:

Ähnlichkeitsklassen umfassen Signale, die alle untereinander ähnlich sind; kein Signal außerhalb einer Ähnlichkeitsklasse ist mit allen darin befindlichen Signalen ähnlich.

Ähnlichkeitsklassen sind demnach die größten Klassen untereinander ähnlicher Signale.

Psychologisch läßt sich nun folgendermaßen schließen. Die Tatsache, daß gewisse Signale als untereinander ähnlich wahrgenommen werden, ist darin begründet, daß diese Sinnesdaten in einem Merkmal ihres Qualitätsgefüges übereinstimmen. Die Ähnlichkeitsklassen konstituieren demnach eine bestimmte Qualität, die allerdings erst extensional erfaßt ist, d. h. es wurden diejenigen Signale festgestellt, bei deren Perzeption diese Qualität hörbar wird. Der nächste Schritt der Untersuchung müßte darin bestehen, die Qualitäten nicht nur extensional, sondern auch intensional zu bestimmen, d. h. sie sachgerecht zu benennen und in ihrer Eigenart zu beschreiben.

Die Ähnlichkeitsklassen sind also zugleich auch Qualitätsklassen. Dies stimmt nicht nur mit dem psychologischen, sondern auch mit dem logistischen Sprachgebrauch überein, wo die Klasse als Repräsentant einer Eigenschaft angesehen wird. Die Merkmale oder Qualitäten, die nach der dargestellten Methode indirekt aus den Schallphänomenen abgesondert wurden, sind die gesuchten fundierenden Attribute der analysierten Sinnesdaten.

Die Systeme der Elementarqualitäten für die Vokal- und Frikativlaute, wie sie sich aus den bisherigen Untersuchungen ergeben haben, sind auf den Abbn. 7 und 8 dargestellt (Tonband, B. 3).



Der Text ist die erste Veröffentlichung über unsere Untersuchungen der auditiven Perzeption mittels einer zu experimentellen Zwecken umgeformten Carnap'schen Quasianalyse. Wir haben die angenehme Pflicht, Herrn Dr. Böhm, Psychologisches Institut der Universität Bonn, für sein sachliches Interesse und seine Hilfe bei der Durchführung der Tests zu danken. Die Testbänder wurden im Institut für Phonetik und Kommunikationsforschung, Universität Bonn, hergestellt.

(Siehe Schallplatte zu Gravesaner Blätter Nr. 18)

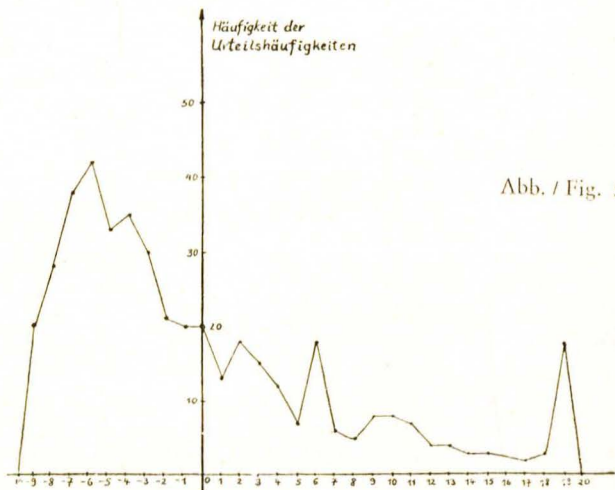


Abb. / Fig. 5

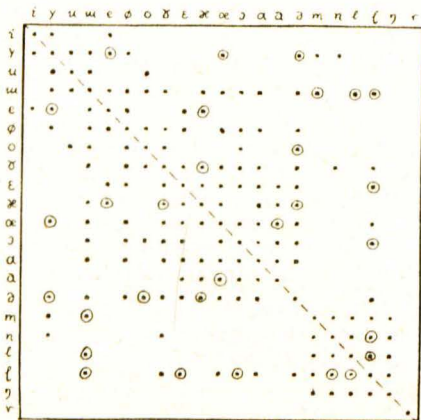


Abb. / Fig. 6

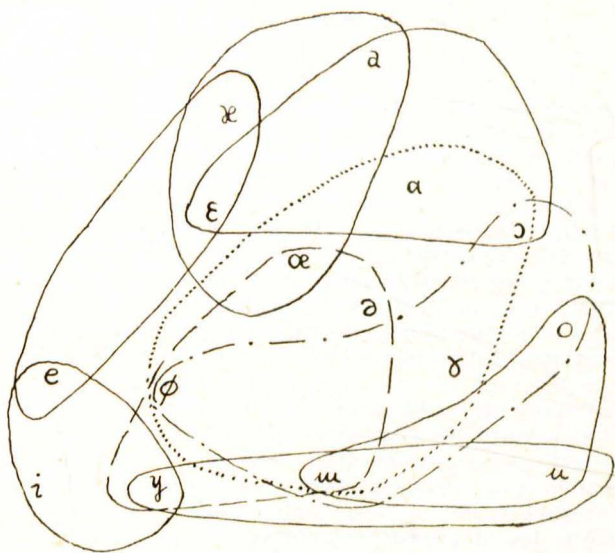


Abb. / Fig. 7

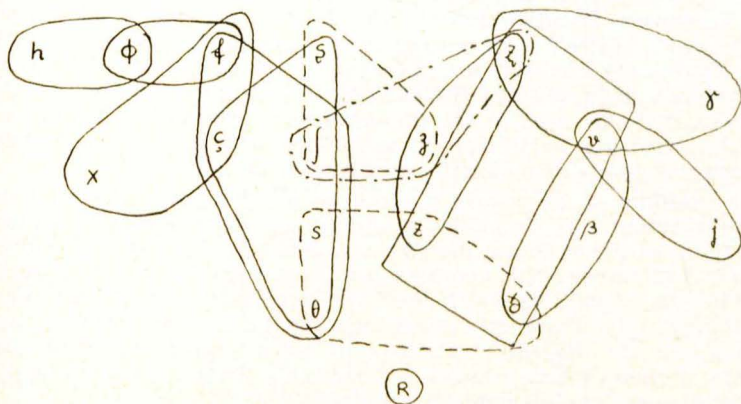


Abb. / Fig. 8

Similarity Classes of Sound Signals

by

G. UNGEHEUER

In contrast to the great strides of progress made, thanks to modern measuring techniques, in research into the acoustic nature of sound signals, results on auditory perception are scant. While the structure of sound stimuli is known fairly accurately, the qualities actually perceived are still virgin ground, in fact, it is optical phenomena which have been absorbing the attention of perception psychologists for decades: the fundamentals of Gestalt psychology were derived in the first instance from visual phenomena, and an examination of their application to aural perception is therefore indispensable.

This essay is a contribution to this development of the theory of aural perception. Although the sound signals analysed as regards quality are first of all stationary, the method outlined can be applied without much additional trouble to non-stationary signals, i. e. sound structures varying with regard to time.

The research under consideration was carried out on speech-type sounds falling into the two classes of vowel and fricative type sounds. Carnap's "quasi-analysis", developed by this logician and philosopher to found a general ideal system in relation theory, was modified for our experimental purposes. This quasi-analysis must be regarded, in logistics, as a "definition by abstraction", and its particular application to aural perception quality research will best be illustrated by the tests themselves.

The hypothesis on which the research is founded is that sounds such as vowels, fricative sounds, chords, etc., are perceived as one whole, which is itself a structured form, pointing to the existence of more elementary qualities which cannot be readily analysed from the phenomenon itself, because the analytical listening necessary for this destroys, if it can exist at all, the wholeness originally predominating; the resulting parts cannot be blithely assumed to have been the same elements as originally constituted the whole.

For example, if we regard a group of synchronous musical tones as "tone colour" as Schoenberg and modern composer do instead of as the traditional chord, then we can never be dealing with simple colours, but rather with complex qualities built up out of a series of elementary qualities which need not necessarily be audible when occurring singly. These attributes forming the basis of complex tone colours are the logical starting-point to a classification of tone colours; a class of tone colours is formed by those tone colours possessing at least one elementary quality.

However, the experimental procedure is to work back to this starting-point: the group of sounds under consideration is divided into similarity classes by listening, and then the attempt is made

to derive the qualifying elements by extension. Relation theory is a suitable method, the *experience of similarity* being the empirical fundamental relation, as with *Carnap*.

A list of 21 vowel sounds (containing, apart from the vowels, nasal sounds, etc.) and 18 fricative sounds (tape B. 1) has formed the basis of research to date. Every possible sequence of pairs out of each list was dubbed on tape in random succession, giving $21 \cdot 21 = 441$ vowel pairs and $18 \cdot 18 = 324$ fricative pairs. The time between the two sounds of a pair was about 0.5 sec. and the time between each pair and the next about 4 sec. (tape B. 2). Both test tapes were played to a group of 11 psychology students as test subjects, who were asked to judge the similarity between the two sounds of each pair by classing them as similar (+), dissimilar (—) or undecided (·) within the 4 seconds between the pairs. This test time was kept brief to prevent rational analysis on the part of the subjects, as the judgment was to be a direct reflection of the simple perceptive experience.

There was some suspicion that the persistent direction of the subjects' attention to the similarity of sounds would lead to considerable error in the results, and to eliminate this possibility, two tests were carried out, one for similarity, the other for dissimilarity judgment. The results proved the suspicion to have been well founded: interesting effects were observed in regard to the test subjects; while these were undesirable for the purposes of quality analysis and were eliminated by the double test, they throw considerable light on general perception psychology problems.

To evaluate the test results, the judgments were entered in a matrix such as the one illustrated below, where, as an example, a list of 3 sounds is entered into the matrix:

	S_1	S_2	S_3
S_1	S_{11}	S_{12}	S_{13}
S_2	S_{21}	S_{22}	S_{23}
S_3	S_{31}	S_{32}	S_{33}

Fig. 1

The number of squares here, generalised as S_{ij} , is equal to the number of all pairs possible from the list of 3 sounds given. The further subdivision of each square into four makes a complete entry of similarity test results for each pair possible:

		S_i
	I+	II+
S_i	II-	I-

Fig. 2

where I denotes similarity test,
 II denotes dissimilarity test,
 + denotes similarity judgment,
 - denotes dissimilarity judgment.

The total number of judgments passed in each case is entered into the corresponding square. The top left corner of the fricative sound matrix is reproduced here as an example:

		g	β	f
g	11	11	2	1
			7	5
β	5	1	11	11
	7	2		1
f	9	2	2	11
			8	4

Fig. 3

It has been noted that the "plus" judgments occupy the top and the "minus" judgments the bottom half of each square, and the total judgment frequencies of both tests is obtained by adding them, as follows:

	φ	β	f
φ	22+	9-	8+
β	3-	22+	14-
f	11+	10-	22+

Fig. 4

For 11 test subjects taking part in 2 tests, the maximum number of similarity or dissimilarity judgments is 22+ and 22- respectively, all judgment frequencies between these two extremes being possible. Fig. 5 shows the distribution of judgment frequencies for the vowel sounds.

These results are now used in the quality analysis, the only important point here being whether a pair of sounds was judged similar at all, the weight of this similarity, expressed in the positive remainder, being of no concern. It must however be considered that each pair occurs twice, S_{ij} and, in the reverse order, S_{ji} , and it is quite possible that one will be judged similar and the other dissimilar. This is a case of order-dependent similarity experiences, which are quite important in the detailed examination of the test results. For the purposes of this brief review, however, let these "asymmetric" pairs be left out of consideration and let us devote our attention to the "positive symmetrical" pairs only. In the matrix of fig. 6 the vowel pairs which were judged as similar (no matter with what frequency) are indicated by a dot. From a logistic point of view, such a matrix is a representation of symmetrical relations, from which *similarity classes* can be deduced by the following definition:

Similarity classes comprise signals which are all similar to each other; no signal outside a similarity class is similar to all the signals within the class.

Hence, similarity classes are the largest classes of similar signals. Psychological considerations lead to the following conclusions: certain signals are perceived as similar because they possess one common feature. Hence, similarity classes all contain one such feature or quality common to all signals within the class. But at

this stage, these features have been registered extensionally only, i. e. it was discovered which signals make each of these features audible. The next step would be to determine these features intensionally also, i. e. to define them and describe their peculiarities.

The similarity classes, then, are at the same time quality classes. This coincides not only with psychological but also with logistical terminology, where a class is regarded as representing a certain property. The features or qualities isolated out of the sounds indirectly by this method, are the basic attributes of the analysed sensory data, which were to be found.

The resulting systems of elementary qualities of the vowel and fricative sounds are shown in fig. 7 and 8 (tape B. 3).

★

This is the first publication on our research into aural perception by the method of *Carnap's* quasi-analysis modified for experimental purposes. It is our pleasant duty to acknowledge our sincere thanks to Dr. *Böhm* of the Psychological Institute of the University of Bonn for his objective interest and his assistance in carrying out the tests. The test tapes were recorded at the Institute of Phonetics and Communication Research of the University of Bonn.

(Look record to Gravesaner reviews number 18)

Raumakustische Probleme der Musiksoziologie

von

KURT BLAUKOPF

In einer Reihe von neueren Publikationen zu Fragen der Musiksoziologie wird das Bestreben fühlbar, „soziologische“, „außermusikalische“ Tatbestände ohne innige Vermittlung den „reinmusikalischen“ Tatbestände gegenüberzustellen. Während Max Weber¹ in seiner leider Fragment gebliebenen Schrift nach den Beziehungen zwischen rationalen und soziologischen Grundlagen der Musik fahnden wollte, begnügt man sich heute oft mit roh empirischer Katalogisierung, die zwar mancherlei relevantes Material zutage fördert, ohne aber damit die Musiksoziologie als besondere Disziplin zu legitimieren. Das bloße Sammeln soziologischer Tatbestände kann für die Musiksoziologie nicht ausreichen, solange der Einfluß dieser Tatbestände auf die musikalische Praxis und auf die Veränderung dieser Praxis unbeachtet bleibt. Die Musiksoziologie kann sich mit den Randphänomenen nicht begnügen, sondern muß das Wesen des gesellschaftlichen Produzierens und Konsumierens von gegliedertem Schall zu erfassen suchen. Es muß also überraschen, daß in einer der jüngsten musiksoziologischen Publikationen, in Hans Engels „Musik und Gesellschaft“², dem Problem des Tonmaterials nicht mehr als zwei Dutzend Zeilen gewidmet sind und daß das Problem des Raumes auf insgesamt 384 Seiten nicht behandelt wird. Ein arbeitsteiliger Wissenschaftsbetrieb hat eine schimärenhafte Vorstellung von Musik erzeugt: danach wäre Musik etwas in sich Fertiges, Geschlossenes, Autonomes, das durch den Zwang der Verhältnisse in gesellschaftliche Zusammenhänge gedrängt wird, so als stieße die Gesellschaft die Musik vor sich her, um sie zu verwunden oder zu erheben, zu entfalten oder zu verkrüppeln. An diesem „falschen Bewußtsein“ ist wohl auch die ursprünglich philologische Orientierung der Musikwissenschaft schuld, die jedoch gegenwärtig weitgehend überwunden wird.

Die schärfste Formulierung dieses Gedankens einer Trennung von Musikwissenschaft und Musikästhetik einerseits und Musiksoziologie andererseits stammt von A. Silbermann³: „... das Studium der soziologischen Verwicklungen der Musik dient nicht dazu, Natur und Essenz der Musik selbst zu erklären.“

Eine solche Zweiteilung verurteilt die Musiksoziologie zur Unfruchtbarkeit. Voreingenommen fordert sie die Unabhängigkeit des soziologischen Denkens vom musikwissenschaftlichen Forschen und versagt sich damit auch die Möglichkeit, etwa bestehende Wechselwirkungen zwischen soziologischen und „innermusikalischen“ Tatbeständen zu erkennen. Die Systeme und Kataloge einer solchen Musiksoziologie haben keine musikalische Relevanz. „Was an soziologischen Begriffen an die Musik herangetragen wird, ohne in musi-

kalischen Begründungszusammenhängen sich auszuweisen, bleibt unverbindlich.“ (T. W. Adorno)⁴

Das Programm der musiksoziologischen Arbeit sollte nicht mit einem ideologischen Programm verwechselt werden. Die Entscheidung „prinzipieller“ Fragen über die Beziehungen des „Wesens der Musik“ zu ihren „soziologischen Verwicklungen“ kann vertagt werden, wenn nur erst einmal geprüft wird, ob solche Beziehungen konstatierbar sind. Musiksoziologie könnte sich vorerst mit folgendem Programm begnügen: „Sammlung aller für die musikalische Praxis relevanten gesellschaftlichen Tatbestände, Ordnung dieser Tatbestände nach ihrem Bedeutungsgrad für die musikalische Praxis und Erfassung der für die Veränderung der Praxis entscheidenden Tatbestände.“⁵

Voraussetzung für die Bewältigung eines solchen Forschungsprogramms ist allerdings die Abkehr von der rein philologischen Orientierung der Musikwissenschaft. Nicht der philologische Befund bildet danach das Objekt der wissenschaftlichen Analyse, sondern die musikalische Praxis, in erster Linie also das „Klangbild“. H. Reinold⁶ arbeitet diesen zentralen Gedanken der Musikforschung klar heraus: „... das Entscheidende an der Musik, das eigentlich geschichtlich Bewußte, ist das Klangbild. Den Angriff auf das Klangbild wird die Musikwissenschaft wagen müssen, um die ureigenste Ebene ihres Gegenstandes zu erreichen. Die technische Voraussetzung, Musik fixieren zu können, steht seit der Erfindung der verschiedenen Methoden der Klangspeicherung zur Verfügung. Gewiß nicht zufällig hat die Musikwissenschaft von den methodischen Möglichkeiten dieser für sie umwälzenden Erfindungen bis heute kaum Gebrauch gemacht, und sie wird dies erst können, wenn sie auf ihre anthropologische Ebene vorgedrungen ist.“

Diese begrüßenswerte Mahnung soll uns jedoch nicht dazu verführen, die bisher von der Musikwissenschaft geleisteten Beiträge zur Erforschung des Klangbildes geringzuschätzen. Hinweise auf das Problem des Klangbildes, des „Klangstils“ und des „Klangideals“ finden sich bei Kroyer⁷, Fellerer⁸, Pietsch⁹, Schering¹⁰ u. a. Arnold Schering¹⁰ hat in einem 1927 veröffentlichten Aufsatz über „Historische und nationale Klangstile“ die Aufmerksamkeit auf das zu untersuchende Problem gelenkt:

„Es hat den Anschein, als ob zwei grundsätzlich verschiedene Einstellungsmöglichkeiten des Menschen zum Klangsinnlichen sich im Laufe der Zeiten beständig abgelöst und im Sinne von Aktion und Reaktion aufeinander eingewirkt haben. Obwohl mir das Ungenügende der folgenden Terminologie wohl bewußt ist, will ich die eine als die Hinneigung zum Ideal der Klangverschmelzung, die andere als die Hinneigung zum Ideal des gespaltenen Klanges bezeichnen.“

Die Untersuchung des Klangbildes und des Klangideals ist für die moderne Elektroakustik und Bauakustik zur Aufgabe geworden,

noch ehe sich die Musikwissenschaft systematisch damit befassen konnte. Der Versuch, für Tonaufnahmen die jeweils „richtige“ raumakustische Umgebung zu finden, hat bald zu systematischen Prüfungen geführt, die durch die von der Bauakustik gewonnenen Erkenntnisse fruchtbar ergänzt werden konnten. Insbesondere wurde der Zusammenhang von Nachhall und musikalischem Stil näher untersucht. Neben den empirischen Versuchsreihen, die in Nürnberg¹¹ und Dresden¹² veranstaltet wurden, konnte auch die theoretische Erfassung dieser Beziehung Fortschritte machen. Schon 1954 versuchte ich, den Zusammenhang zwischen Nachhallzeit und Klangstil durch die Einführung des Begriffes „Modulationsgeschwindigkeit“ zu präzisieren.¹³ Ich definierte die Modulationsgeschwindigkeit als die Geschwindigkeit der harmonischen Modulation pro Zeiteinheit. Damit war auch schon grundsätzlich die Abhängigkeit eines Elementes der Komposition von der Raumakustik angedeutet. Ebenfalls 1954 veröffentlichte Thurston Dart¹⁴ eine Studie, in der auf die Bedeutung des Nachhalls für den Kompositionsstil hingewiesen wurde. Dart unterscheidet im wesentlichen zwischen „halliger Akustik“ („resonant“), Zimmerakustik und Freiluftakustik. Er macht ausdrücklich darauf aufmerksam, daß die Komponisten der Vergangenheit zu meist sehr bewußt auf diese akustischen Unterschiede Bedacht nahmen:

„Purcell distinguished in style between the music he wrote for Westminster Abbey and the music he wrote for the Chapel Royal; both styles differ from that of his theatre music, written for performance in completely 'dead' surroundings. The forms used by Mozart and Haydn in their chamber and orchestral music are identical; but the details of style (counterpoint, ornamentation, rhythm, the layout of chords, and the rate at which harmonies change) will vary according to whether they are writing room-music, concert-music, or street-music.“

Auch Dart bezeichnet also die „Modulationsgeschwindigkeit“ („the rate at which harmonies change“) als ein Stilmerkmal, das von der Raumakustik abhängig ist. In modernen Harmonielehrwerken wird, soweit mir bekannt, auf dieses Raummoment nicht Bezug genommen. Das Phänomen des Übergangs von einer Tonart in die andere — das Phänomen der harmonischen Modulation also — wird in der Regel nach seiner „Papierform“ beurteilt. Das Bewußtsein der Abhängigkeit der Modulationsgeschwindigkeit von der Nachhallzeit ist zwar vorhanden, doch die theoretische Erfassung dieses Phänomens scheint zu fehlen. Komponisten und Theoretiker vergangener Epochen beschäftigten sich damit allerdings auch theoretisch. Ich möchte hierfür zwei bisher wenig beachtete Beispiele anführen, die aus den ersten Jahren des neunzehnten Jahrhunderts stammen. J. N. Forkel¹⁵ schreibt in seiner Bach-Biographie:

„Bei den meisten Komponisten findet man, daß ihre Modulation langsam fortschreitet. Bei sehr stark besetzten Musiken an großen Plätzen, wie z. B. in Kirchen, wo der große Ton nur langsam ver-

hallen kann, zeugt diese Einrichtung unstreitig von der Klugheit des Komponisten, der seinem Werke die möglichst vorteilhafte Aufnahme verschaffen will. Aber bei der Instrumental- oder Kammermusik ist jene langsame Fortschreitung wohl kein Beweis von Klugheit, sondern weit öfter ein Zeichen, daß es dem Komponisten an gehörigem Reichtum der Gedanken gefehlt habe. Bach hat dieses alles gar wohl unterschieden. Seine sonst von Gedanken überströmende Fantasie wußte er in seinen großen Singwerken recht gut zurückzuhalten; in seinen Instrumentalwerken war aber diese Zurückhaltung nicht nötig. . . . Daher ist in der Modulation seiner Instrumentalstücke jede Fortschreitung ein neuer Gedanke, ein beständig fortgehendes Leben und Weben im inneren Kreise der gewählten und nächst verwandten Tonarten.“

E. T. A. Hoffmann, der sich für die Reinhaltung der Kirchenmusik von harmonischen Komplikationen einsetzte, ging ebenfalls auf das Verhältnis von Raumakustik und Kompositionsstil ein. Er behandelte dabei nicht nur die Modulation, sondern auch die Ornamentation (Nebennoten, Durchgangsnoten, Wechselnoten) und verdeutlichte seine Gedanken durch ein Beispiel aus Mozarts „Requiem“, dessen Notenbild er veränderte. E. T. A. Hoffmann¹⁶ schrieb:

„Jene bunten krausen Figuren, vorzüglich in den Saiteninstrumenten, die, wie aufgeklebte knisternde Goldfalter die Ruhe und Haltung des Ganzen stören, die den Gesang übertäuben und vorzüglich in dem hohen gewölbten Dome nur ein verwirrendes Geräusch machen, sind aller Kirchenmusik fremd, und nur der Unverstand kann sich ihrer bedienen; sowie alle weichliche Konzertmelodien der Blasinstrumente in der Kirche unkräftig und würdelos klingen. Allerdings ist es richtig, daß in starken Sätzen für die Violinen die geschwinden Noten von vieler Wirkung sind; aber dann ist das bloße Brechen der längeren Noten der Akkorde in geschwindere, z. B. der Viertel in Sechzehnteile, für die Kirche offenbar besser als jede andere, jede krause Figur. Z. B.



Dieselbe auf folgende Weise instrumentiert:



streift mit den durchlaufenden, dissonierenden Tönen schon an das Theatralische und klingt in der Kirche verworren. Überhaupt sind wohl in der Kirche diejenigen Figuren die schicklichsten, die ohne dissonierende Noten bloß in den Grundakkord durchlaufen, da sie der Kraft und Deutlichkeit des Gesanges am wenigsten Eintrag tun, vielmehr die Wirkung oft in vielem verstärken.“

Auch auf dem Gebiete des musikalischen Theaters haben im 19. Jahrhundert mehrere Komponisten und Kritiker den Zusammenhang von Klangideal und Raumakustik dargelegt. So hatte Stendhal Gelegenheit, Werke Rossinis in verschiedenen Theatern Italiens und Frankreichs zu erleben. Es ist überaus aufschlußreich zu hören, was Stendhal¹⁷ über den Klang von Rossinis „La Gazza Ladra“ in der Mailänder Scala und im Pariser *Théâtre Louvois* (Théâtre Italien) zu sagen hat:

„Il est à peu près convenu que pour les grandes salles il faut multiplier les morceaux d'ensemble. *La Gazza Ladra*, écrite pour l'immense salle de la *Scala*, paraît d'un effet plus dur qu'elle ne l'est réellement, jouée dans une petite salle fort silencieuse comme Louvois, et par un orchestre qui méprise les nuances et regarde le piano comme un signe de faiblesse.“

Berlioz¹⁸ wiederum verglich die Wirkung von Mozarts Musik im Pariser *Théâtre Italien* mit dem Klangbild der Aufführung im Pariser *Théâtre Lyrique* und stellte fest, daß ihn der Klang im großen Haus „eisig kalt“ lasse. Wie Berlioz mehrfach ausführte, hat sich der Gesangs- und Instrumentalstil der italienischen Oper des 19. Jahrhunderts aus den akustischen Gegebenheiten der „großen Häuser“ entwickelt. In diesem Zusammenhang ist es wohl wert, die stilistische Wandlung zu studieren, die der alte Verdi mit seinem „Falstaff“ vornahm. Viel zu wenig wurde bisher beachtet, daß Verdi bei seinem letzten Opernwerk durchaus nicht an ein großes Opernhaus dachte. Am 6. Juni 1891 schrieb Verdi¹⁹ an Giulio Ricordi:

„Es ist nicht an der Zeit, jetzt von ‚Falstaff‘ zu sprechen, der langsam vorwärts geht. Außerdem wird es immer mehr meine Überzeugung, daß die Größe der Scala der Wirkung Abbruch tun müßte. Als ich den ‚Falstaff‘ komponierte, dachte ich weder an Theater noch an die Sänger. Ich habe ihn zu meinem Vergnügen und nur für mich komponiert und ich glaube, man müßte ihn statt an der Scala in S. Agata aufführen.“

Verdis „Falstaff“ nähert sich auf manche Weise wiederum dem mehr kammermusikalischen Klangideal des Mozartschen Bühnenstils. Räumliche Nähe, unmittelbarer Kontakt mit dem Bühnengeschehen und klare „Durchhörbarkeit“ gehören zum historisch treuen Erleben der von Mozart für das alte Wiener Burgtheater geschaffenen Werke. H. Singer²⁰ hat den Versuch unternommen, aus Archivmaterial die Nachhallzeit dieses Theaters näherungsweise zu errechnen und diese mit etwa 1,4 Sekunden bestimmt. Dies bezieht sich also auf den Uraufführungsraum von „Entführung“, „Le Nozze di Figaro“ und „Cosi fan tutte“. Auch für die „Zauberflöte“, die für

das Theater auf der Wieden komponiert wurde und die man heute gerne als „große Ausstattungsooper“ inszeniert, gelten wohl dieselben Erwägungen. Ja, wir haben in bezug auf „Die Zauberflöte“ sogar ein Zeugnis des Komponisten, das diese Vermutung bestätigt. Im Oktober 1791 schrieb Mozart an seine Frau:

„Übrigens kannst Du nicht glauben, wie charmant man die Musik ausnimmt in einer Loge, die nahe am Orchester ist, viel besser als auf der Gallerie . . .“

Angesichts der gegenwärtigen Versuche, monumentalen Aufführungsstätten, die große Publikumsmassen aufnehmen, den Vorzug zu geben, sind derartige Zeugnisse von besonderer Wichtigkeit. Das neue Salzburger Festspielhaus (Eröffnung: Juli 1960) ist nach einem Ausspruch des Salzburger Festspielpräsidenten Bernhard Paumgartner²¹ gerade *nicht* für die fünf populärsten Opern Mozarts geeignet, denen in Zukunft das entsprechend verkleinerte alte Festspielhaus dienen soll. Ähnliche Einsicht in das Problem der raumakustischen Bedingtheit des Stils verriet Toscaninis Absicht, Verdis „Falstaff“ nicht in der Scala, sondern in der Piccola Scala aufzuführen. Auch in Paris wurde in jüngster Zeit dieser Gedanke verfochten. Als 1957 die Absicht bestand, die „Opéra comique“ zu schließen, schrieben Robert Kemp und René Dumesnil²²:

„La suppression de l'Opéra-Comique équivaut à la destruction des trois quarts du répertoire lyrique français . . . Ni Debussy ni Charpentier n'ont jamais accepté de transporter à l'Opéra *Pelléas* ni *Louise*: ils savaient trop qu'elles y eussent immédiatement péri, noyées en quelque sorte, englouties, ces frères créatures, dans un milieu, dans une atmosphère, que ne sont pas à leur mesure.“

All diese Zeugnisse sind hier nicht etwa wegen ihres anekdotischen Charakters angeführt, sondern vielmehr wegen ihrer Beweiskraft in bezug auf den Zusammenhang von Raumakustik und Klangbild. Eine nähere Prüfung kann erweisen, daß soziologische Faktoren auf dem „Umweg“ über die Architektur unmittelbaren Einfluß auf den Klangstil und das Klangideal haben. Während der Einfluß soziologischer Momente auf die Musik bisher oft ausschließlich auf „ideologischer“ oder „geistiger“ Ebene gesucht wurde, zeigt sich nun, daß eine viel unmittelbarere Einflußbeziehung besteht. Die von Schering vorgeschlagenen Extremtypen des Klangideals (Klangverschmelzung und Klangspaltung) erweisen sich allerdings hier als nicht ausreichend. Wir kommen dem Problem ein wenig näher, wenn wir historische und soziale Musiktypen nach den Nachhallzeiten der ihnen angemessenen Räume gruppieren. Einen vorläufigen Überblick liefert die Feststellung von Fritz Winckel²³:

„Man kommt für die Musik aller Zeiten auf Nachhallzeiten, die sich zwischen 1 bis 8 Sekunden bewegen — hier stets Räume für mehr als 1200 Zuhörer vorausgesetzt. Das Extrem von 8 Sekunden und mehr bezieht sich auf Musik, die in Domen, vornehmlich der Renaissance, erklingen ist; das andere Extrem ist für die neue Mu-

sik geeignet. Dazwischen liegen die optimalen Nachhallzeiten für klassische und romantische Musik mit 1,6 bis 2,1 Sekunden.“

Der Versuch, die soziologische Relevanz der Nachhallzeit für die Musik *aller* Zeiten, Völker und Völkerschichten zu bestimmen, scheint mir zur Zeit wenig aussichtsreich, weil die hiezu notwendigen Einzeluntersuchungen fast völlig fehlen. Überdies wird es in diesem Zusammenhang nicht genügen, die mittlere Nachhallzeit in Betracht zu ziehen, sondern man wird die Frequenzabhängigkeit der Nachhallzeit zu beachten haben. An einem einzigen Beispiel hingegen, dem des gregorianischen Chorals und des mittelalterlichen Organum mit seinen Quinten- und Quartparallelen ließe sich jedoch die wechselseitige Beeinflussung von Klangbild und soziologischer Gruppierung auf dem Umweg über die Architektur und den Raumhall exemplifizieren. Ich möchte einen solchen Versuch an diesem Modellfall unternehmen.

Für die Musikwissenschaft des 19. Jahrhunderts war das Verständnis der Musik vom Organum-Typus ein schwieriges Problem. Diese „rahmenlose“ Kunst des vorderperspektivischen und vorharmomonischen Zeitalters konnte vom Boden der Ästhetik des 19. Jahrhunderts aus nicht begriffen werden. Schon Helmholtz²⁴ beklagte, daß die Musikhistoriker ältere Musiktypen nach den Vorschriften der modernen Harmonielehre beurteilten und geneigt waren, „jede Abweichung von der letzteren für blosses Ungeschick der Alten zu halten oder für barbarische Geschmacklosigkeit“. In meiner „Musiksoziologie“²⁵ konnte ich eine Erklärung des Organumtypus versuchen, die ich jedoch heute als unzureichend erkennen muß. Ein entscheidendes raumakustisches Merkmal des Organum war mir damals noch entgangen, obwohl ich auch jenen Satz von Riemann²⁶ anführte, wonach beim Quintenorganum des Mittelalters „weniger die schneidenden Folgen der Quinten und Oktaven als vielmehr der Wohlklang der einzelnen Akkorde zur Geltung“ kam. Der Schlüssel zum Verständnis des mittelalterlichen Organum liegt jedoch nicht nur in der Entstehung dieses Musiktypus aus primitiverer Heterophonie, wie Guido Adler sie definiert hat, sondern auch

a) in der langen Nachhallzeit der romanischen und gotischen Kathedrale und

b) im eigenartigen Frequenzverlauf dieser Nachhallzeit.

Im Zusammenhang mit akustischen Untersuchungen an alten und neuen Orgeln erklärt W. Lottermoser²⁷:

„In romanischen und gotischen Kirchen sind steinere Böden, Decken, Wände und Säulen vorhanden, welche die Schallwellen tiefer und mittlerer Frequenzen reflektieren. Infolgedessen ist die Nachhallzeit in diesen Bereichen relativ groß und nimmt womöglich bei tiefen Frequenzen zu. Bei hohen Frequenzen über 2 kHz ist die Nachhallzeit geringer, weil hier der Schluckgrad der Wände größer wird, andererseits die Absorption der Schallwellen in Luft mit kleiner werdender Wellenlänge zunimmt.“

Diese Art des Raumhalls ist für die Wirkung des Organum wesentlich, denn aus dem Frequenzverlauf der Nachhallzeit ergeben sich zwei Kennzeichen des Klangbildes:

- a) durch die längere Nachhallzeit der tiefen und mittleren Frequenzen wird das Klangbild dumpfer;
- b) durch den Verlust an hohen Frequenzen wird die Lokalisierung der Schallquelle erschwert — der Hörer hat also nicht das Empfinden, einer Klangdarbietung „gegenüberzustehen“, sondern wird vom Klang „eingehüllt“.

Durch diese beiden raumakustischen Momente unterscheidet sich die „rahmenlose“, „heteronome“ Musik der mittelalterlichen Kirche von der „autonomen“ Musik späterer Epochen. Die moderne Soziologie hat schon mehrfach betont, daß in der Architektur soziologische Momente unmittelbar zum Ausdruck kommen. So etwa meint Georg Scheja²⁸:

„Soziologische Gruppierungen sind also in der Architektur unmittelbar wirksam. Die Architektur gestaltet ja denselben realen Raum, in dem die Menschen atmen. Soziologisch bewirkte Handlungen, der religiöse Ritus, die Wohnkultur, die Form des öffentlichen Lebens sind deshalb in der Gestalt des Bauwerks wirksam und also auch historisch feststellbar.“

Dieser Satz kann nun dahingehend ergänzt werden, daß die Raumarchitektur — wie wir am Beispiel des Organum erkennen — auch ein ganz bestimmtes Klangbild erzeugt. Mehr noch: die Verbindung zwischen soziologischen und klanglichen Tatbeständen ist keine „Einbahnstraße“, denn wir können hier auch Wechselwirkung konstatieren. Die lange Nachhallzeit der tiefen Frequenzen und der Verlust der mit Richtwirkung ausgestatteten hohen Frequenzen erzeugt wiederum eine ganz bestimmte seelische Haltung, die in der mittelalterlichen Kirche von den Gläubigen gefordert wird.

Die Kirche erwartet von den Gläubigen ein ganz bestimmtes Verhalten. Die Soziologie spricht von „Verhaltenserwartung“ als einem sozialpsychologischen Phänomen. Im Anschluß an die Lehren E. Durkheims untersucht die Soziologie das Phänomen der freiwilligen Unterwerfung unter gesellschaftliche Normen, die symbolische Identifizierung mit dem Ritual einer Gesellschaft. Die Normen der Gesellschaft werden „internalisiert“, wie es in der soziologischen Fachsprache heißt.

Es zeigt sich nun, daß diese Internalisierung von gesellschaftlichen Verhaltenserwartungen *auch* auf akustischem Wege erfolgen kann. Der einhüllende Klang der romanischen und gotischen Kirche trägt dazu bei, die Individuen zur Gemeinde zu verbinden. Der Verlust hoher Frequenzen und die Unfähigkeit des Gläubigen, die Schallquelle zu lokalisieren, macht ihn zum Teil eines tönenden Kosmos. Er steht dem Klang nicht „genießend“ gegenüber, sondern wird von ihm erfaßt.

Zusammenfassend kann also gesagt werden: die Architektur erzeugt durch die raumakustische Charakteristik ein bestimmtes Klangbild, das wiederum der soziologischen Internalisierung jener Normen dient, denen auch die Architektur folgt. Die Bedeutung dieser Wechselwirkung erweist sich bei näherer Betrachtung der „Bruchstellen“ der gesellschaftlichen Entwicklung. Eine solche „Bruchstelle“ ist das ausgehende Mittelalter; das weithin deutliche Zeichen dieses Bruchs ist die berühmte päpstliche Bulle des Jahres 1322, deren soziologische und musikalische Interpretation nun erst möglich wird. Die Klage, die späterhin E. T. A. Hoffmann erhebt, wird schon hier vernehmbar²⁹: „... nonnulli novellas Scholae discipuli dum temporibus mensurandis invigilant, novis notis intendunt fingere suas quam cantare malunt, in semibreves et minimis ecclesiastica cantatur, notulis percutiuntur.“

Kleine und kleinste Notenwerte werden eingeführt, von der Würde des Organum wird abgegangen — und all das führt zur Aufgabe der meditierenden Haltung. „Currunt enim et non quiescunt“ — mit diesen Worten kritisiert die päpstliche Bulle die Menschen, die sich dem lustvollen Singen und dem ebenso lustvollen Genießen der Töne hingeben. Kurzum: die gesellschaftlichen Normen der mittelalterlichen Kirche sind in Gefahr, denn die Menschen hören auf, an der freiwilligen Internalisierung dieser Normen teilzunehmen.

Untersuchungen über die Frage, ob diese Sinnesänderung auch durch innenarchitektonische Veränderung der Kirche gefördert wurde, stehen noch aus. Man darf jedoch annehmen, daß der Anstoß zu dieser Änderung von „außen“ kam, von den Darbietungen der Gaukler, fahrenden Leute, Ménétriers, die ursprünglich aus der Kirche als Ehrlose verbannt waren und die sich über die Höfe und die bürgerlichen Städte allmählich auch Eingang in die geistlichen Schauspiele und damit in die Bezirke der Kirche verschafften³⁰.

Diese Bemerkungen über die raumakustischen Probleme der Soziologie der mittelalterlichen Musik des Organum-Typus mögen hier als Modell für jene Forschungsweise stehen, die sich nicht damit begnügt, soziologische Gedanken an die Musik heranzutragen, sondern diese als im lebendigen Klangbild wirksam nachzuweisen. Ich versage es mir, aus diesen Notizen über ein Teilproblem allgemeinere Schlüsse zu ziehen, denn ich habe die Überzeugung gewonnen, daß nur spezifizierte Untersuchungen wesentliche Beiträge zur Klärung dieser Fragen liefern können. Vorerst ging es nur darum, die Aufmerksamkeit auf die Ergiebigkeit raumakustischer Fragestellungen für die Musikwissenschaft und Musiksoziologie zu lenken. Der Nutzen solcher Untersuchungen ist gewiß nicht nur rein theoretischer Art, denn die raumakustischen Überlegungen sind für die Praxis stilgerechter Musikaufnahmen, für den Bau neuer Konzertsäle und Theater und für die Repertoirebildung ebenso bedeutsam wie für die Erforschung der „Weltgeschichte des Klangideals und Klangbildes“, die wir heute nicht einmal noch in ihren Grundzügen kennen.

ANMERKUNGEN

- ¹ Max Weber: Die rationalen und soziologischen Grundlagen der Musik. Grundriß der Sozialökonomik, III. Abteilung, Anhang, Tübingen 1925. — Diese Schrift ist auch gesondert von Theodor Kroyer herausgegeben worden (2. Auflage, München, 1924).
- ² Hans Engel: Musik und Gesellschaft. Bausteine zu einer Musiksoziologie. Berlin, 1960.
- ³ Alphons Silbermann: Die Stellung der Musiksoziologie innerhalb der Soziologie und der Musikwissenschaft. Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie, 10. Jahrg., 1958, Heft 1, S. 113.
- ⁴ Theodor W. Adorno: Ideen zur Musiksoziologie. Schweizer Monatshefte, 38. Jahrg., 1958 Heft 8, S. 680.
- ⁵ Kurt Blaukopf: Artikel „Musik“ im „Wörterbuch der Soziologie“, hg. von W. Bernsdorf und F. Bülow, Stuttgart, 1955.
- ⁶ Helmut Reinold: Gedankengänge zu den Möglichkeiten musikwissenschaftlichen Denkens. Zeitschrift „Die Musikforschung“, Jahrg. 10, 1957, Heft 1.
- ⁷ Theodor Kroyer im Bulletin de la Société „Union Musicologique“, II.
- ⁸ K. G. Fellerer im Jahrbuch der Musikbibliothek Peters 1937.
- ⁹ G. Pietsch in Acta Musicologica IV/2,3.
- ¹⁰ A. Schering: Historische und Nationale Klangstile. Jahrbuch der Musikbibliothek Peters 1927.
- ¹¹ W. Kuhl: Günstigste Nachhallzeit großer Musikstudios. Acustica, Jahrg. 4, 1954, S. 618.
- ¹² W. Reichardt, E. Kohlsdorf und H. Mutscher: Die optimale Nachhallzeit für Studioräume. Zeitschrift „Hochfrequenztechnik und Elektroakustik“, Jahrg. 64, 1955, Heft 1.
- ¹³ Kurt Blaukopf: Über die Veränderung der Hörgewohnheit. Schweizerische Musikzeitung, 94. Jahrgang, 1954, Heft 2.
- ¹⁴ Thurston Dart: The Interpretation of Music. London, 1954 (3rd edition 1958).
- ¹⁵ Joh. Nik. Forkel: Über Johann Sebastian Bachs Leben, Kunst und Kunstwerke. Hg. von Max F. Schneider, Basel o. J., Seite 57 f.
- ¹⁶ E. T. A. Hoffmann: Alte und neue Kirchenmusik. Musikalische Novellen und Aufsätze, Band II, hg. und erläutert von Edgar Istel, Regensburg, o. J., S. 138 f.
- ¹⁷ Stendhal: Vie de Rossini. Ed. Henri Martineau. Paris, 1929. Vol. I, P. 184 f.
- ¹⁸ Hector Berlioz: A. Travers Chants. Übersetzt und herausgegeben von Richard Pohl, Leipzig, 1877, Seite 105 ff. und 156 f.
- ¹⁹ Giuseppe Verdi: Briefe. Hg. von Franz Werfel, übersetzt von Paul Stefan. Berlin-Wien, 1926, S. 349.
- ²⁰ Herta Singer: Die Akustik des alten Burgtheaters. Maske und Kothurn, Jahrg. 4, 1958, Heft 2/3.
Herta Singer: Materialien zur Rekonstruktion akustischer Charakteristiken. Gravesaner Blätter, Jahrg. 4, 1958, Heft 11/12.
Herta Singer: Das ideale Mozart-Theater. Phono, Jahrg. 5, 1959, Heft 4.
- ²¹ Kurt Blaukopf: Salzburger große Chance. „Heute“, Wien, 6. Februar 1960. (Teilabdruck in „fono-forum“, Jahrg. 5, 1960, Heft 3).
- ²² Robert Kemp et René Dumesnil: Pladoyer pour l'Opéra-Comique et la salle Luxembourg. „Le Monde“, Paris, 10. 12. 1957.
- ²³ Fritz Winckel: Akustik im festlichen Haus. Bauwelt, 48. Jahrg. Heft 51. Vgl. auch Fritz Winckel: Phänomene des musikalischen Hörens. Berlin, 1960. Insbesondere Kapitel 4: „Der Raumbegriff“ und die dort angeführte Literatur.

- ²⁴ H. Helmholtz: Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage der Musik. Braunschweig, 1877, Seite 389.
- ²⁵ Kurt Blaukopf: Musiksoziologie. Köln, 1950.
- ²⁶ A. a. O., Seite 87.
- ²⁷ W. Lottermoser: Akustische Untersuchungen an alten und neuen Orgeln. In „Klangstruktur der Musik“, hg. von Fritz Winckel, Berlin, 1953, Seite 58.
- ²⁸ Georg Scheja: Kunst und Soziologie. In „Soziologie und Leben“, hg. von Carl Brinkmann, Tübingen, 1952, Seite 226.
- ²⁹ Extravag, Comm. lib. III, Tit. I. de vita et honestate Clericor. Abgedruckt bei F. X. Haberl: Die „Schola cantorum“ in Rom und die päpstliche Kapelle in Avignon. Vierteljahresschrift für Musikwissenschaft, 1877. Zitiert bei Kurt Blaukopf: Musiksoziologie. Köln, 1950, Seite 19.
- ³⁰ Vgl. Robert Lach: Zur Geschichte des musikalischen Zunftwesens. Wien, 1923.

Problems of Architectural Acoustics in Musical Sociology

by

KURT BLAUKOPF

In a series of recent publications on questions of musical sociology, a striving has been making itself felt to juxtapose "sociological", "extramusical" facts and "purely musical" facts without connecting them. While Max Weber¹, in an unfortunately unfinished essay, tried to search for the relationships between the rational and sociological foundations of music, empirical cataloguing seems to suffice today; to be sure, this brings to light its share of relevant material, but it fails to legitimate musical sociology as a special science. The mere collecting of sociological facts cannot suffice for musical sociology as long as their influence on musical practice is neglected. Musical sociology cannot leave it at the peripheral phenomena but must seek to grasp the nature of society's production and consumption of organised sound. It is therefore astonishing that one of the most recent publications of musical sociology, "Musik and Gesellschaft" by Hans Engel², devotes no more than two dozen lines to the problem of music itself, while questions concerning the rooms or halls in which the music heard are not touched on at all in the whole of the 384 pages. The practice of division of labour, spreading over to science, has produced a chimerical idea of music as a thing in itself complete and autonomous, forced into social contact by prevailing conditions — just as if society shoved music about, to insult or exalt, to unfold or cripple it. Part of the fault for this "false consciousness" lies no doubt with the philological trend of early musicology, although this is being overcome to a large extent nowadays.

A. Silbermann has couched this idea of strict separation between musicology and musical aesthetics on the one hand and musical sociology on the other in the sharpest terms: "... the study of sociological complications in music does not serve to explain the nature and essence of music itself."³ Such bipartition condemns musical sociology to sterility. It demands a prejudiced independence for sociological thinking from musicological research, depriving itself of the chance to recognise their mutual action, which may, after all exist. The systems and catalogues of this kind of musical sociology are musically irrelevant. "Any sociological concept brought to bear on music without legitimate reasons founded on musical facts, remains noncommittal." (Theodor W. Adorno)⁴

The platform of musical sociology must not be confounded with an ideological programme. The decision on "fundamental" questions on the relationship of "the nature of music" to its "sociological complications" can be adjourned once it has been ascertained whether such relationships exist at all. Musical sociology might be satisfied with the following programme to begin with: "Collection of all social facts relevant to musical practice, classification of these facts in the order of their importance to musical practice and an understanding of those facts which play a decisive part in changes to musical practice."⁵

However, such a research project can be tackled only provided musicology relinquishes its purely philological tendencies. For it is not philological theory which scientific analysis has as its object, but actual musical practice — the musical sound itself. This central thought of musical research is clearly expressed by H. Reinold⁶:

"... the decisive thing in music, the part which is historically conscious, is the musical sound itself. If musicology is to reach the inner sanctum of its object, it will have to dare to attack the musical sound. The technical condition for this — the fixation of music — has been available since the invention of the various methods of sound recording and storage. It is certainly no coincidence that musicology has up till now all but neglected the methodic possibilities of these inventions which should have been able to revolutionise it; and it will not be able to use them until it has reached their anthropological plane."

This admonition, welcome as it is, should not mislead us into disparaging what musicology has already contributed to research into the musical sound. Kroyer⁷, Fellerer⁸, Pietsch⁹, Schering¹⁰ and others all refer to the problem of the musical sound, the "musical style" or the "musical ideal". As long ago as 1927, Arnold Schering called this problem to our attention in his essay on "Historical and National Musical Styles":

"It would appear that two fundamentally different musical perceptions have, in the course of time, been continuously replacing one another, acting on each other like action and reaction. While I am fully conscious of how unsatisfactory the following terminology is, I will call the one, the tendency to the ideal of blended sound, and the other, the tendency to the ideal of split sound."

Electroacoustics and architectural acoustics had to examine the musical sound and the musical ideal long before musicology was able to concern itself with the problem in a systematic way. The attempt to find the "right" acoustics for any particular recording quickly led to systematic research, which was supplemented by experience won in architectural acoustics. In particular, the connection between reverberation and musical style was examined more closely. Not only empirical data were collected as in Nuremberg¹¹ and Dresden¹², but theoretical progress was made as well. Already in 1954 I tried to define a more precise connection between reverberation and musical style by introducing the concept of "modulation speed", which I defined as the rate of harmonic modulation. This immediately suggested the dependence of one element of composition on the surrounding acoustics. Thurston Dart¹⁴ published an essay, also in 1954, in which he drew attention to the importance of reverberation to the style of composition. Dart draws fundamental distinctions between resonant, room and open-air acoustics and emphasises that composers in the past usually considered these differences in a very conscious way:

"Purcell distinguished in style between the music he wrote for Westminster Abbey and the music he wrote for the Chapel Royal; both styles differ from that of his theatre music, written for performance in completely 'dead' surroundings. The forms used by Mozart and Haydn in their chamber and orchestral music are identical; but the details of style (counterpoint, ornamentation, rhythm, the layout of chords, and the rate at which harmonics change) will vary according to whether they are writing room-music, concert-music, or street-music."

We see that Dart also considers the "modulation speed" ("the rate at which harmonies change") as a feature of style depending on the architectural acoustics. As far as I know, modern textbooks of harmony do not mention this at all. The phenomenon of transition from one key to another — in other words, the phenomenon of harmonic modulation — is judged, in the rule, according to its appearance on paper. Although we are in practice, fully conscious of the dependence of modulation speed on reverberation time, theoretical consideration of this phenomenon seems to be lacking entirely. It must, however, be admitted that composers and theorists of the past concerned themselves with this theoretically also. I should like to present two examples of this, which have received little attention; they both belong to the beginning of the nineteenth century. In his Bach biography, J. N. Forkel¹⁵ writes:

"Most composers are found to modulate by gradual steps. When it is a question of heavily scored music for performance in large places, e. g. churches, where the big tone can but gradually die away, this feature indubitably proves the intelligence of a composer wishing to have his works received at their best. But when this slowly progressing modulation is found in instrumental or chamber music, it is far less evidence

of intelligence than of the composer's paucity of ideas. Bach was very well aware of all these differences: in his great vocal works he knew very well how to keep his imagination, which at other times was always overflowing with ideas, in check; but in his instrumental works his self-control was not necessary . . . That is why in the modulations of his instrumental works each progression is a new idea, a living weaving in and out of the inner circle of the chosen and most closely related keys."

E. T. A. Hoffmann, who devoted himself to keeping church music pure of harmonic complications, also mentioned the relationship between acoustics and style. He treated not only modulation, but ornamentation (appoggiaturas, passing notes, changing notes), illustrating his thoughts by an example from Mozart's "Requiem", where he made some alterations. He wrote¹⁶:

"Those motley curly figures, especially in the stringed instruments, which disturb the peace and the poise of the whole like rustling gold-spangles glued on, which drown the singing and make, in the high vaulted dome, but a confusing noise, are foreign to all sacred music, and only folly can put them to use; just as all insipid wind melodies of the concert hall sound feeble and undignified in church. It must be admitted that in powerful violin passages the rapid notes are of great effect; but then the mere breaking of longer chord notes into faster ones, e. g. of crotchets into semiquavers, is evidently better in church than any other, any curly figure. E. g.



instrumentated like this



already borders with its dissonant passing notes on "theatre" and sounds confused in a church. In general, the figures which best become a church are probably those which pass without dissonant notes only through the fundamental chord, as they detract the least from the power and clarity of the melody, often, on the contrary, greatly increasing the effect."

For the realm of musical theatre, too, several 19th century composers and critics went into the connection between the ideal sound and the surrounding acoustics. Stendhal, for example, had occasion to see works of Rossini performed in various Italian and French theatres, and it is most revealing to hear what he has to say about the sound of "The Thieving Magpie" in the *Scala*, Milan, and the *Théâtre Luovois* (Théâtre Italien) in Paris¹⁷:

"It can be pretty well agreed on that large halls require an augmented ensemble. *La Gazza Ladra*, written for the immense *Scala*, appears to sound *harder* than it really is, when played in a rather dead, small hall like Louvois by an orchestra which shows little understanding of the shadings and takes the *piano* for a sign of feebleness."

Berlioz¹⁸, again, compared Mozart performances in the *Théâtre Italien* and the *Théâtre Lyrique* and found that the sound in the large theatre left him "ice cold". Berlioz repeatedly maintained that the style of vocal and instrumental writing in 19th century Italian opera developed out of the acoustics of the large opera houses. It is well worth while, in this connection, to examine the change of style which Verdi, as an old man, entered upon in his "Falstaff". Far too little attention has ever been paid to the fact that in his last opera Verdi was by no means thinking of a large opera house. On the 6th July, 1891, he wrote the following to Giulio Ricordi¹⁹:

"This is not the time to speak of 'Falstaff', which is making very gradual headway. Besides, I keep becoming more and more convinced that the size of the *Scala* would be detrimental to the work. In composing 'Falstaff', I gave neither the theatre nor the singers a thought. I composed it for own amusement and for myself alone, and I believe it ought to be performed not at the *Scala*, but at S. Agata."

Verdi's Falstaff again approaches in many ways the chamber style of Mozart's stage works. Physical nearness, close contact with the stage and clarity of sound are what the listener must have if he is to reexperience Mozart as the composer himself meant "Il Seraglio", "Le Nozze di Figaro" and "Così fan tutte" to be heard. These works were written for the original Vienna *Burgtheater*, whose reverberation time has been calculated from old records by H. Singer²⁰ to have been about 1.4 seconds. The same applies no doubt to "The Magic Flute", which producers nowadays like to treat lavishly although it was written for the not very large *Theater auf der Wieden*. This suspicion is confirmed by the composer's own statement in October, 1791, in a letter to his wife:

"Incidentally, you would never believe how charming the music sounds from a box close to the orchestra, much better than on the gallery . . ."

In the face of the present-day preference for performances in enormous quarters before a massed audience, documents of this kind are of vital importance. The new Salzburg Festival House to be opened in July, 1960, is, according to Salzburg Festival President Bernhard Paumgartner, the very opposite of an environment suit-

able to performances of Mozart's five best-known operas, which are to be presented, instead, in the old Festival House, suitably reduced in size. A like insight into this problem was shown by Toscanini's intention of performing Verdi's "Falstaff" not in the *Scala* but in the *Piccola Scala*. The same thought has more recently been subject of discussion in Paris, where there was a plan, in 1957, of closing the *Opéra-Comique*. Robert Kemp and René Dumesnil wrote²²:

"Suppression of the *Opéra-Comique* will mean the destruction of three-quarters of the French lyric repertory . . . Neither Debussy nor Charpentier ever accepted the removal of *Pelléas* or *Louise* from the *Opéra-Comique* to the *Opéra*: they knew only too well that they would have perished at once, drowned in a way, flooded out — these frail creatures — in surroundings, in an atmosphere not to their measure."

All this evidence is presented here not by way of anecdote but because of its bearing on the relationship between architectural acoustics and the musical sound. A closer examination can show that sociological factors directly influence the musical style and ideal *via* architecture. While sociological influence on music has up till now been looked for exclusively on an "ideological" or "spiritual" plane, we now see that this influence is far more direct. Schering's suggested extreme types of ideal sound (blended and split) are found to be insufficient here, however. We can make some headway with the problem by grouping historical and social musical types by the reverberation times of the halls proper to them. Fritz Winckel gives the following summary²³:

"Music of all periods leads to reverberation times within the range of 1 to 3 seconds, always assuming halls for an audience of at least 1200. The extreme time of 3 seconds and over is for music which was performed in cathedrals, especially of the Renaissance; the other extreme applies to the New Music. Between them we find the optimum reverberation times of 1.6 to 2.1 seconds for classical and romantic music."

I think there is not much hope of determining the sociological relevance of reverberation time to the music of *all* ages, peoples and classes, as practically no detailed research has been done. Moreover, the mean reverberation time will be insufficient — frequency response of reverberation time will have to be considered also. There is, however, one musical style of which an example could be made concerning the mutual influence of musical sound and sociological grouping *via* architecture and reverberation, namely, Gregorian Chant and the organum of the middle-ages with its parallel fifths and fourths. I shall now examine this particular case more closely.

19th century musicology found the understanding of organum-type music a knotty problem. This "frameless" art of the pre-perspective and pre-harmonic age could not be understood from the point of view of 19th century aesthetics. Helmholtz²⁴ already complained about music historians' habit of judging old music by modern rules of harmony, condemning the ancients' every depar-

ture from the latter as mere clumsiness if not barbaric lack of taste. In my "Musiksoziologie"²⁵ I attempted an explanation of organum which appears to me now as unsatisfactory, however. One decisive feature of organum, given by the architectural acoustics, had as yet escaped me, even though I quoted Riemann's statement²⁶ that it was not so much the trenchant fifth and octave sequences which gave the fifths-organum its stamp, as the euphony of the individual chords. But the key to an understanding of organum of the middle-ages lies not only in its evolution out of primitive heterophony, as Guido Adler defined it, but

- a. in the Norman and Gothic cathedrals' long reverberation time and
- b. in this reverberation time's peculiar frequency response.

In connection with acoustic research into old and new organs, W. Lottermoser says²⁷:

"Norman and Gothic churches have stone floors, ceilings, walls and columns which reflect sound of low and medium frequencies well. Hence the reverberation time is relatively long in this range, often rising with falling frequency. The reverberation time of high frequencies above 2 kc/s is less because the walls' as well as the air's sound absorption is greater here."

This is essential to an understanding of organum, for this type of reverberation leads to two conclusions on the musical sound heard in its environment:

- a. the increased reverberation time at low frequencies makes the sound darker;
- b. the loss of high frequencies makes localisation of the sound source more difficult, so that the listener is surrounded by sound instead of having the feeling of facing a performance.

These symptoms, both given by the environmental acoustics, distinguish the "frameless", "heteronomous" middle-age church music from the later "autonomous" music. In modern sociology it has already been often emphasised that sociological symptoms are directly reflected in the architecture of the period. Georg Scheja says²⁸:

"Sociological groupings take direct effect in architecture which shapes the same real space in which people breathe. Human action of a sociological cause, religious rites, the style of living, the form of public life therefore work at the buildings' form, remaining as historical evidence."

To this sentence can be added that the building style makes also quite a special musical sound, as we saw for the case of organum. Not only that, but the connection between sociological and musical facts is no "one way" affair, for mutual response is in evidence here too. The long reverberation time of the low frequencies and absorption of high frequencies produce a certain mental attitude, such as was demanded of the faithful by the church of the middle-ages.

The church expects a certain attitude of the faithful. Sociology speaks of "attitude expectation" as of a social and psychological phenomenon. With reference to the theories of E. Durkheim, sociology examines the phenomenon of voluntary submission to social standards, the symbolical identification with a society's ritual. In sociological terminology, society's standards are "internalised".

It is now seen that this internalisation of social attitude expectations can *also* take place acoustically. The sound in Norman and Gothic churches, surrounding the audience, strengthens the link between the individual and the community. The loss of high frequencies and the resulting impossibility of localising the sound makes the believer part of a world of sound. He does not face the sound in "enjoyment" — he is wrapped up by it.

It can then be said in summary: architecture produces by its acoustics a certain musical sound which serves towards the sociological internalisation of the standards followed also by the architecture. The importance of this mutual action becomes evident in a closer examination of the "fracture points" of the evolution of society. One such "fracture point" is the expiring middle-ages; the salient mark of this break is the notorious Papal bull of 1322, whose sociological and musical interpretation can now at last be attempted. The complaint which was to be raised by E. T. A. Hoffmann is already in evidence here²⁹: ". . . nonnulli novellae Scholae discipuli dum temporibus mensurandis invigilant, novis notis intendunt fingere suas quam cantare malunt, in semibreves et minimis ecclesiastica cantatur, notulis percutiuntur."

The note values used were becoming ever shorter, organum's dignity was being violated — and the attitude of meditation was being abandoned. "Currunt enim et non quiescunt" — such are the words by which the Papal bull condemns the people's enthusiasm for lusty singing and lustful enjoyment of music, in short, the social standards of the church are in danger, for the people are stopping to take part in the voluntary internalisation of these standards.

There has been no research to date into the question as to whether this change of attitude was also supported by a change of decoration inside the churches. However it can be assumed that the impulse for the change came from "without", from performances of travelling showmen and minstrels, originally banned from the church as dishonourable, who obtained, by way of the courts and the bourgeoisie, gradual access to the sacred theatre and, hence, to the church³⁰.

I hope that these remarks on the acoustical problems of the sociology of the organum-type music of the middle-ages can serve as a model for a research attitude which is not satisfied with imposing sociological ideas on music, rather discovering them in the living sound. I shall resist the temptation to generalise from these notes on a particular problem, for I have come to the conviction

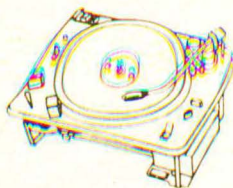
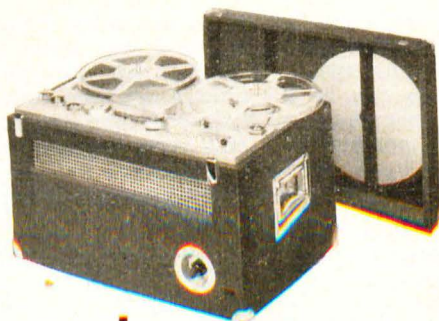
that a real contribution on this subject can be made only by specific research. For the moment I was only concerned with calling to general attention how fruitful the research into architectural acoustics can be for musicology and musical sociology. The use of such research is surely more than theoretical, for the stylistically correct performance and recording of music, the erection of new concert halls, theatres and opera houses, and the building up of a repertory can benefit just as much from a consideration of these problems as the writing of the "World History of Musical Sound and Musical Ideals", of which we do not yet know as much as the basic outline.

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

STUDER 30

Studio Magnetton-Gerät,
Bandgeschwindigkeit 19 u.
38 cm/sek, Gewicht 30 kg.

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



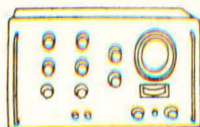
EMT 927 and EMT 930

Studio-Plattenspieler
Transcription
Turntables.

STELLAVOX

Miniatur-
Magnetton-
Gerät

Miniatur Mag-
netic Tape Recorder.



EMT 414 and EMT 418

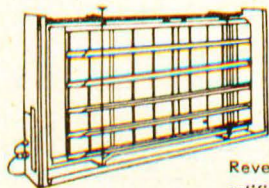
Tonhöhen-
Schwankungs-
Messer.

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 mic-
phones.



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

Stereophony Today: A Brief Review

by

ROBERT KOLBEN

Germany has been relatively slow in accepting stereophony: out of the 21.5 million records sold in the first half of 1959, only 1.5% were stereos, so that the recording trade saw fit to place the entire emphasis of the audio part of the German Radio, TV and Audio Exhibition held in Frankfurt in August 1959 on stereo: monaural equipment was practically not represented at all. Since then, stereo disks have had a 30% price cut, and home production is now able to cater for a wider taste, all of which resulted in a 1959/60 stereo sales proportion of 10% of the total. Record dealers, when interviewed, spoke of this as "satisfactory". They are perhaps not aware of the sales power of stereo disks in other countries (e. g. 30% in the U.S.).

The statistics of stereophony in a foreign country might be regarded as little more than a curiosity. But those taking more than a commercial interest in sound-recording will realise that Germany is not just any particular foreign country — the most eminent masters of every single period of Occidental music: Bach, Mozart, Beethoven, Wagner, Schoenberg, were all German speaking; it is hardly possible, from today's perspective, to accord the palm to any contemporary composer, but German musicians are at least carrying on this tradition of German music. At the same time, German engineering has made its contribution to all recording methods including stereophonic, so that we may well wonder at the reluctance of the German record buyer to "go stereo". All the above should count out the likelihood of his having had insufficient opportunity of becoming acquainted with stereophony or that he lacks the necessary musical appreciation, while Germany's economic development since 1948 is too well known to permit any doubts of his being able to afford it. He will, in fact, tell you, when asked, that he does not need to hear the direction of all the instruments when listening to music — on the contrary, he finds this additional "effect" distracting. On the other hand, it would certainly never occur to him to close an ear at a concert. Directional listening is part of a concert — it is natural; records can also be had without it, but, if it is there, there is something artificial about it. Some reflection on stereophonic methods may convince the informed reader that, compared to the remainder of recording technique, stereophony actually is artificial.

The difference expressed here between the German listener in particular (and the European listener in general) and his American counterpart, is very clearly borne out by the national differences in recording techniques, orchestral playing, musical instruments, recording and playback equipment, as well as by the curious fact that there is no equivalent, in any other language, of the word "hi-fi", because European high-fidelity is not larger than life and is therefore taken for granted. Now high-fidelity, in its widest sense, must include stereophony, for the human ear demands satisfaction of all its faculties, including that of directional hearing. A severe problem is posed by the inherent artificiality of all stereophonic methods and the European dislike of the artificial. Hermann Scherchen's Stereophoner is a remarkable and outstanding solution of this problem. Realising that conventional stereophony's insufficiency derives from the practical impossibility of using an infinite number of channels and the necessarily resulting over-simplification down to two channels entailing the compromises of A-B stereophony with some microphones feeding both channels or with the channels partly coupled in a third speaker, or of "compatible" M-S or X-Y stereophony, none of which is capable of giving a true picture of the arrangements existing at the performance, Scherchen decided to let the music create its own third dimension, being aware that, in music, pitch equals space, just as rhythm equals time. A single-channel source is all that is necessary, and those who were able to follow the Stereophoner's development had the remarkable experience of witnessing an improvement at every simplification, at every removal of a technical obstacle out of the music's way — this will hardly surprise anyone except the technically minded. Simplicity is not only a practical but an essential feature of the Stereophoner.

Yet simplicity is, by itself, no guarantee of quality — we must discriminate between the simplicity which is satisfied with itself because it knows no better and the simplicity of art which conceals art. It is for this reason, as well as because it is the work of an artist, that the Stereophoner is not just a technical device but a work of art; through it, reproduced music is given not only a new dimension of space but is able to communicate again its spiritual content which is destroyed by almost all other forms of reproduction.

GRAVESANER BLÄTTER / GRAVESANO REVIEW

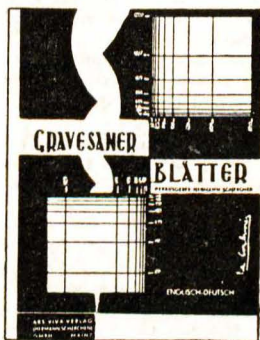
German/English Edition

Edited by Hermann Scherchen

The Audio Engineering Society is proud to announce that subscriptions to the GRAVESANO REVIEW are now available from the Society through arrangement with Experimental Studio Gravesano, Gravesano, Switzerland.

The GRAVESANO REVIEW, edited by Professor Hermann Scherchen, noted European conductor and musicologist, is issued quarterly accompanied with a GRAVESANO SCIENTIFIC DEMONSTRATION RECORD. All articles appear in both English and German.

Subscriptions will start with Number 17. A limited number of back issues (numbers 9-16) and accompanying records are available at \$ 1.50 per copy.



Order in the United States from:

Audio Engineering Society, Box 12, Old Chelsea Station, New York 11, New York

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 licence 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 $3\frac{1}{2}$ " by $3\frac{1}{2}$ " by $3\frac{1}{2}$ " 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 \$ 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