

GRAVESANER

BLÄTTER

HERAUSGEBER HERMANN SCHERCHEN

ENGLISCH-DEUTSCH

ARS VIVA VERLAG
(HERMANN SCHERCHEN)
GMBH · MAINZ

MUSIKALISCHE, ELEKTROAKUSTISCHE UND
SCHALLWISSENSCHAFTLICHE GRENZPROBLEME
JAHRGANG V 1960

HEFT 18

Radiodiffusion-Television Française

PARIS

26. V. — 30. VI.

ERSTE BIENNALE DER FORSCHUNG
(Unter der Leitung von P. Schaeffer)

I. KONZERTE

26. Mai SALLE GAVEAU, 21 h. 1. Konzert, kommentiert von Pierre Schaeffer: ZURÜCK ZUM URSPRUNG. Parallelen zwischen urzeitlicher, exotischer (asiatischer, afrikanischer) und elektronischer Musik, Orchestermusik und musique concrète (P. Henry, F. Mache, L. Ferrari, P. Schaeffer, K. Stockhausen, O. Messiaen).
10. Juni SALLE PLEYEL, 21 h. 2. Konzert: KONVERGENZEN. Orchestre National unter der Leitung von Hermann Scherchen. Werke von Byrd-Orff, Gabrieli, Beethoven, Xenakis, Webern, Nono (Erstaufführungen), Otte, Philippot (Créations).
13. Juni SALLE GAVEAU, 21 h. 3. Konzert: NEUE WERKE DER EXPERIMENTAL-MUSIK. Werke von Chamass, Vandelle, Boucourechlieu, Ussachevsky, Ferrari, Maderna, Xenakis, Schaeffer (Erstaufführungen).
21. Juni SALLE DES AGRICULTEURS, 21 h. 4. Konzert: Stereophonische Wiedergabe des „LEHRSTÜCK“, einer Oper von Bertolt Brecht und Paul Hindemith (Vierspuraufnahme von Hermann Scherchen, über vier „Stereophoner“ übertragen). Einleitender Vortrag von C. Ballif über den Gebrauch der Instrumente in der zeitgenössischen Musik.
23. Juni SALLE DES AGRICULTEURS, 21 h. 5. Konzert: Stereophonische Wiedergabe des „LEHRSTÜCK“, einer Oper von Bertolt Brecht und Paul Hindemith (Vierspuraufnahme von Hermann Scherchen, über vier Stereophoner übertragen). Einleitender Vortrag von M. Philippot: Die räumliche Lokalisierung des musikalischen Signals.
30. Juni SALLE GAVEAU, 21 h. 6. Konzert: ZURÜCK ZUM INTERPRETEN. Kammerorchester unter der Leitung von André Girard. Orchesterwerke von Vandelle, Ballif, Ferrari; Werke für Orchester und Tonband von Mache, Xenakis; ERWARTUNG von Schönberg; Helga Pilarczyk (Sopran) als „Life“-Solistin, mit der Begleitung einer stereophonischen Aufnahme von Hermann Scherchen.

II. FILME UND VORFÜHRUNGEN

(Salle des Agriculteurs)

15. Juni 21 h. DIE GESCHWÄNZTE SCHULE oder Das Kindesalter der Kunst (Der Film von 1920 bis 1930), Vorführungen kommentiert von Paul Gilson. Am Flügel: Jean Wiener. Zwischenspiele: Kramers Puppentheater.
16. Juni 21 h. MIKROFON UND KAMERA ENTHÜLLEN DIE WELT von Jean Tardieu, mit P. Dumayet, F. Régie-Bastide, R. Mallet und den Stimmen von Colette, Paul Valéry, André Gide, Paul Léautaud.
17. Juni 17 h. DAS FANTASTISCHE KINO, Vorführungen kommentiert von Jean Barral. 21 h. STIL UND MATERIE, Vorführungen kommentiert von Roger Leonhardt.
18. Juni 21 h. Wiederholung der Vorführungen vom 17. Juni.
19. Juni 21 h. Wiederholung der Vorführungen vom 15. Juni.
20. Juni 17 h. DAS ZEITGESCHEHEN IM FERNSEHEN mit Pierre Sabbagh und den Technikern des Nachrichtendienstes. 21 h. DER FILM ALS ZEITRAFFER von Jean Painlevé und Alexandre Alexeieff.
22. Juni 17 h. FOTO UND DEKORATION (Man Ray und Agnès Varda) von Jean Serge mit Lucien Clergue. 21 h. KINO UND FERNSEHEN (I), Diskussion zwischen M. Ollivier und M. Fourré-Corneray, zusammen mit Auszügen aus „La Grande Bretèche“, vorgeführt von Claude Barma.
24. Juni 17 h. DIE DRAMATISCHE REALISIERUNG IM FERNSEHEN mit Stelio Lorenzi, René Lucot und Marcel L'Herbier. 21 h. KINO UND FERNSEHEN (II), Vorführung von Auszügen aus „Testament du Docteur Cordelier“ und „Déjeuner sur l'herbe“ (Frühstück auf dem Gras) von Jean Renoir, mit G. Leclerc und N. L. Dieulot.
25. Juni 21 h. DER ZEICHENFILM von André Martin.
26. Juni 21 h. ÄSTHETIK UND DYNAMIK DES WISSENSCHAFTLICHEN FILMS von Jean Painlevé.
27. Juni 17 h. DER ZEICHENFILM von André Martin (Wiederholung). 21 h. ERBSCHAFT UND AUSBLICK von Jean Serge, vorgeführt von Michel Simon und Paul Gegauff.
28. Juni 21 h. MIKROFON UND KAMERA: AUSDRUCK EINER ZIVILISATION, lebhaftes Schlußdebate von Pierre Schaeffer unter Mitwirkung von MM. Merleau-Ponty, Lévi-Strauss, J. Rouch, E. Morin, R. Barthe.

GRAVESANER BLÄTTER

Nr. XVIII

V. Jahrgang

1960

INHALT

	Seite
Gravesano (Brief an Hermann Scherchen)	K. v. Fischer 2
Erhaltung und Lagerung von Schallaufnahmen	A. G. Pickett und M. M. Lemcoe 3
Das Problem der sekundären elektroakustischen Wandler	F. A. Loescher 41
Grundlagen einer stochastischen Musik	I. Xenakis 61
Television und Operntheater	H. Graf 106
Klänge altösterreichischer Meisterglocken	113

Redaktion: Gravesano (Tessin) Schweiz

Herausgeber: Hermann Scherchen

Nachdruck verboten!

GRAVESANO REVIEW

No. XVIII

Vol. V

1960

CONTENTS

	Page
Gravesano (Letter to Hermann Scherchen)	K. v. Fischer 2
Preservation and Storage of Sound Recordings	A. G. Pickett and M. M. Lemcoe 20
The Problem of the Secondary Electro-Acoustical Transducers	F. A. Loescher 53
Elements of Stochastic Music	I. Xenakis 84
Television and the Opera House	H. Graf 109
Sounds of Old Austrian Master Bells	114

Published by Experimental Studio Gravesano

Editor: Hermann Scherchen

Extracts may not be published without permission

GRAVESANO (Brief an Hermann Scherchen)

Prof. Dr. Kurt v. Fischer

Musikwissenschaftliches Seminar
der Universität Zürich
Zürich, den 18. Mai 1960

Sehr geehrter Herr Professor

Es ist mir ein aufrichtiges Bedürfnis, Ihnen persönlich und zugleich im Namen aller Exkursionsteilnehmer herzlichst zu danken dafür, daß Sie uns während mehrerer Stunden einen Einblick gewährt haben in Ihr elektro-akustisches Institut und weiter in die Fragen, die für dessen Gründung und Führung von entscheidender Wichtigkeit sind. Die musikalischen Demonstrationen bedeuteten für uns ein völlig neuartiges Erlebnis: ein musikalisches Werk in einer bisher nie gehörten Transparenz zu vernehmen. Alle Teilnehmer waren beeindruckt von dem Geist des rastlosen Suchens und Forschens, der Ihr Institut durchweht, dieses Institut, das in einer so unvergleichlichen Landschaft steht.

Mit vorzüglicher Hochachtung grüßt Sie
Ihr ergebener
sig. K. v. Fischer

Musicological College
University of Zurich
18th May, 1960

Dear Prof. Scherchen,

It is my sincere desire to thank you personally and on behalf of all the members of our excursion for allowing us for several hours to see your electro-acoustic Institute and for indicating to us some of the important questions which are decisive in its foundation and direction. The musical demonstrations were for us an entirely new experience in the unheard-of transparency with which we were able to hear the musical works. All the members of our excursion were impressed by the spirit of untiring inquiry which pervades your Institute, surrounded by a countryside which is so incomparable.

Respectfully yours
sgd. K. v. Fischer

Erhaltung und Lagerung von Schallaufnahmen¹

von

A. G. PICKETT und M. M. LEMCOE

II. DIE SCHALLPLATTE

A. Die Azetatplatte

Materialien und Zerfallsmechanismen

Bis nach dem zweiten Weltkrieg pflegte man Sofortaufnahmen auf Platten zu machen. Diese Platten waren immer ein Kompromiß zwischen leichtem Schnitt und langer Lebensdauer, Alterung inbegriffen. Fortschritte der Aufnahmeapparatur gingen Hand in Hand mit dem Plattenmaterial, welches sich von weichem Wachs über Äthylzellulose und Zelluloseazetat zu Nitrozellulose hin entwickelte. Dieser mit Rizinusöl weichgemachte Nitrolack war manchmal auf einer Glasplatte, gewöhnlich aber auf einer aus Aluminium aufgetragen.

Für den beschränkten Studiogebrauch und zur Herstellung von Metallmatrizen durch Elektrolyse* sind diese Platten ideal; für die Bibliothek bieten sie aber schwere Nachteile. Da aber die Azetatplatten lange die besten Träger von Sofortaufnahmen waren, bilden sie einen großen Teil vieler Sammlungen. Um das, was auf ihnen aufgenommen ist, aufzubewahren, werden sie mit der Zeit auf einen haltbareren Träger umgespielt werden müssen, da sie nur beschränkt haltbar sind. Zellulosenitrat, der erste moderne Kunststoff, ist instabil und zersetzt sich durch die Einwirkung von Wärme, Photo-Oxydation und Hydrolyse, welche Kettenspaltung oder Molekularverkleinerung verursachen. Obwohl die Zerfallsgeschwindigkeit des reinen Stoffes einheitlich ist, wird sie durch Hydrolyse, die katalytische Wirkung der Zerfallsprodukte, Sauerstoffzufuhr und die beigemengten Stoffe beeinflusst. Das wichtigste Zerfallsprodukt ist Stickstoffdioxid, welches in der Anwesenheit flüssigen Wassers Salpetersäure oder salpetrige Säure bildet. Da Säuren die Zerfallsmechanismen katalysieren, ist diese Reaktion autokatalytisch.

Die Stabilität von Nitrozellulose-Sprengstoffen und der Zerfall von Zellulosenitratfilm wird durch die Denitrierung gemessen. Dieselbe Methode ist auch für diese Schallplatten verwendbar, wo sie aber dadurch kompliziert wird, daß die Schallplatte nicht wie der Film mit Kampfer weichgemacht wird, sondern mit Rizinusöl,

¹ Library of Congress, Washington 1959

* Kupfermatrizen sind nur beschränkt haltbar, da sie an der Oberfläche wahrscheinlich durch Säurerückstände angegriffen werden. Hingegen sollten sorgfältig hergestellte und gelagerte Nickelmatrizen unbeschränkt haltbar sein. Somit ist eine, wenn auch teure, so doch praktische Möglichkeit der Erhaltung von wertvollen Aufnahmen gegeben.

welches in Verbindung mit der Nitrozellulose keine Lösung, sondern eine Mischung bildet, also viel leichter verlorengeht. Allerdings verwendet man im allgemeinen veränderte Rizinusöle, die auch lösend wirken und nicht so leicht verlorengehen wie rohes Rizinusöl. Außerdem wird das Rizinusöl im Überfluß verwendet, damit der Stoff weich genug zum Schneiden wird. Zwischen der zum Schneiden und zum Abspielen notwendigen Menge Weichmacher besteht ein solcher Unterschied, daß sich der Rizinusölverlust nicht durch Beeinträchtigung der Abspielqualität bemerkbar macht. Dieser Verlust verursacht aber Schrumpfung der Lackschicht, die wiederum mit dem Aluminiumkern fest verbunden ist, sodaß innere Spannungen entstehen, die die Lackschicht schließlich sprengen.

Der Rizinusölverlust unterliegt folgenden Mechanismen: es kann sich in flüchtige Stoffe zersetzen, es wird durch Pilze verzehrt, es kann aus dem Kunststoff ohne chemische Veränderung herauschwitzen oder diffundieren, es wird durch Wasser entzogen, endlich wird es durch die Anziehungskräfte zwischen den Nitrozellulosemolekülen und durch die Wärmebewegungen der Moleküle herausgedrängt. Bei den beschleunigten Alterungstests wurde auch beobachtet, daß die Rizinusölmoleküle zu Tropfen innerhalb des Materials kondensierten, wodurch die Plattenoberfläche porös wurde.

Der Verlust von Weichmacher und der Zerfall des Zellulosenitrats gehen gleichzeitig vor sich und beeinflussen einander. So können z. B. die Oxydationsprodukte des Rizinusölzerfalls die Denitrierung des Zellulosenitrats katalysieren, wie auch der durch Kettenspaltung verursachte Festigkeitsverlust die durch innere Spannungen verursachten Brüche schneller herbeiführen kann. Es sind dieselben Bedingungen günstig für beide Arten des Zerfalls: eine zu hohe Temperatur beschleunigt Denitrierung sowie Weichmacherverlust, und zu viel Feuchtigkeit beschleunigt die Hydrolyse und auch wieder den Weichmacherverlust. Das Problem ist, daß die Zerfallsprodukte des Zellulosenitrats durch Luftzirkulation entfernt werden sollen, die Platte aber vor Feuchtigkeit, Sauerstoff, Luftunreinigkeiten und Staub geschützt werden soll. Durch Stickstoffzirkulation mit Alkalireinigung ist dies zwar möglich, aber wirtschaftlich untragbar. Im allgemeinen muß der Bibliothekar zwischen einem Plattenumschlag, der die flüchtigen Zerfallsprodukte durchläßt, und einem solchen, der die Platte vor Wasser, Sauerstoff und anderen Gasen schützt, wählen.

Chemische Analyse zur Bestätigung der Zerfallstheorien

Ist diese Anschauung der Zerfallsmechanismen der Azetatplatten richtig, dann können einfache chemische Tests entwickelt werden, die den drohenden Zerfall voraussagen können, die, regelmäßig angewendet, die Azetatplatten durch Überspielung erhalten können. Die optimale Lagerung wird sich daraus auch ergeben.

Für die chemische Analyse wurden zwei Muster gewählt:

1. eine 1944 hergestellte Platte wurde der Library of Congress entnommen. Die Lackschicht war, wie oben beschrieben, gesprungen;
2. eine 1958 hergestellte handelsübliche Platte wurde auch verwendet. Chemisch unterscheidet sie sich von der älteren Platte durch eine Verbindung von verändertem Rizinusöl, Alkydharz und synthetischem Weichmacher, die stabiler ist als das rohe Rizinusöl. Dadurch sollte aber die Art, wenn nicht die Geschwindigkeit, der Zerfallsmechanismen unverändert bleiben.

1 Gramm der Lackschicht wurde in einem Soxhlet-Extraktor mit 90 ml Azeton und 10 ml destilliertem Wasser (zur pH-Messung) 1 Stunde verdaut. Nach Erkalten wurde das pH mit einem pH-Messer gemessen. Die Lösungen wurden über einem Dampfbad getrocknet, ohne sie zu backen, und der Rückstand wieder in Azeton aufgelöst und durch einen Seitz-Zellstoff-Druckfilter mit einer Geschwindigkeit von 1 Tropfen je 3 Sekunden gefiltert und die Farbenveränderung dabei notiert. Von diesen Filtraten wurden die sichtbaren und infraroten Spektren mit einem Spektrophotometer aufgeschrieben und das Azetonspektrum subtrahiert. Ähnliche Spektrogramme wurden von der ursprünglichen Nitrolackschicht gemacht.

Die Testresultate sind in Tabelle 2 angeführt. Fast jeder Test zeigt einen Unterschied zwischen dem neuen und dem alten Material und viele von ihnen lassen sich bestimmen zu einer quantitativen Altersmessung einer Schallplatte entwickeln. Diese Tests beziehen sich auf die pH-Unterschiede zwischen der neuen und alten Platte, die Filtratfarbe und die spektrographische Analyse. Das infrarote Spektrum des Lackextraktes ist in Fig. 1 wiedergegeben. Die quantitativen Unterschiede hier in der Minima und Maxima ließen sich wahrscheinlich zu einer quantitativen Alterungsmessung entwickeln. Die Abnahme der Absorption bei $3,43 \mu$ zeigt einen Methylgruppenverlust an. Die Abnahme der Absorption bei $3,53 \mu$ zeigt Spaltung des Weichmachers bei den doppelten Wertigkeitsbindungen, wodurch andere Kohlenwasserstoffgruppen sich bilden und verflüchtigen. Die Abnahme der Absorption bei $5,79 \mu$ zeigt wahrscheinlich den Verlust des Stearinester (gesättigter Ester) und die Umformung des Weichmacher-Esters zu anderen Polymeren. Die breite Absorption bei $6,0 \mu$ ist hauptsächlich von organischen Nitraten verursacht und zeigt, daß der Inhalt an $R-ONO_2$ des gealterten Stoffes beträchtlich herabgesetzt ist. Die Abnahme der Absorption des $6,85 \mu$ -Bandes zeigt wieder den Verlust von Alkylgruppen. Die Absorption bei $7,79 \mu$ des neuen Musters kommt von organischen Nitraten und bestätigt den Verlust von Nitrogruppen aus der Nitrozellulose bei der Zersetzung. Die Absorption bei $7,83 \mu$ kommt von der Estergruppe und das breite Band daselbst vom $R-ONO_2$, während die Abnahme dieser Absorption im gealterten Muster wieder den Verlust dieser zwei Gruppen beweist.

Spektren wurden auch vom ursprünglichen, in Azeton aufgelösten, aber nicht gefilterten oder sonst behandelten Material aufgezeich-

Tabelle 2. Testergebnisse der Nitrozelluloseplatten

Test	Gealterte Platte	Neue Platte
Gewicht	1,0174	1,0762
pH	4,2	5,1
Ursprüngliche Extraktfarbe	Blau	Violett
Biegsamkeit	Spröde	Sehr biegsam
Filtratfarbe:		
1 Min.	Weiß	Weiß
3 Min.	Blaßgelb	Weiß
5 Min.	Goldfarben	Blaßgelb
7 Min.	Rotgold	Grau
10 Min.	Rot	Rotgrau
15 Min.	Blaurot	Purpur
Spektrographische Filtratanalyse:		
Sichtbar	Starke Absorption bei 6000 Å	Mittlere Absorption bei 6000 Å
Infrarot	Weniger Absorption bei 3,43, 3,5, 5,79, 6,00 $\pm$ 0,2, 6,85 μ Keine Absorption bei 7,79 μ Viel weniger Absorption bei 7,83 μ	Absorption bei 7,79 μ
Spektrographische Analyse des gesamten azetonlöslichen Materials:		
Sichtbar	Beträchtliche Absorption bei 7000 Å	Mittlere Absorption bei 7000 Å
Infrarot	Mehr 17 500 Å Beträchtlich 2,8 . . . 3,2 μ	Mittlere 2,8 . . . 3,2 μ
Chloroformlösung	Blau; bildet sich langsam; entzieht keinen Weichmacher; keine Absorption bei 5,75 μ	Gelb; verteilt sich schnell; entzieht Weichmacher; etwas Absorption bei 5,75 μ

net, wobei zwei zusätzliche Absorptionsbänder erschienen. Eine gesteigerte Absorption bei 17 500 Å deutet auf die Anwesenheit von weiteren zyklischen oder querverbundenen Molekülen, sowie auf weitere Polymerisation des Weichmachers. Eine starke Absorption bei 2,8 . . . 3,2 μ im gealterten Material ist die Folge einer Zunahme der organischen Säuren, besonders Essigsäure.

Es wurde auch eine Extraktion mit Chloroform durchgeführt, die weitere Unterschiede aufwies. Das alte Material entläßt Farbstoff: anscheinend hat sich dieser verändert und ist löslich geworden, da der neue Stoff den Farbstoff festhielt. Im Extrakt des alten Materials fehlte der Weichmacher, weil der verlorengegangene Weichmacher verdunstet war und der übrige Weichmacher sich weiter polymerisiert hatte und im Chloroform nicht mehr löslich war.

Diese chemischen Unterschiede zwischen den neuen und den alten Nitrozelluloseplatten, die ganz bestimmt und meßbar sind, entstehen, bevor sich der Zerfall äußerlich zeigt oder sich ein Verlust der Abspielqualität bemerkbar macht. Es sollte also möglich sein, diese Tests so zu entwickeln, daß die Lebenserwartung einer Gruppe von gleichen Platten vorausgesagt werden kann. Für diesen Zweck besonders geeignet erscheinen die Messungen der Weichmacher-Konzentration und der Denitrierung der Nitrozellulose. Diese Tests müssen noch quantitativ auf den Zerfall der Schallplatten abgestimmt werden.

Beschleunigte Alterung

War die natürlich zerfallene Platte auch wertvoll bei der chemischen Analyse, so gibt sie doch keinen Aufschluß über die optimalen Lagerungsbedingungen, da ihre eigene vergangene Lagerung quantitativ unbekannt ist. Man muß also bestimmte einzelne ungünstige Lagerungsbedingungen künstlich herstellen und die Art des ihnen entsprechenden Zerfalls beobachten.

Für diese Zwecke wurden handelsübliche Platten verwendet, die ungeschnitten waren, nicht modulierte Rillen (verschiedene Rillenabstände) hatten, oder Testfrequenzen oder -amplituden trugen.

Diese Alterungstests bezogen sich auf eine ähnliche Arbeit von Hill und Weber über die künstliche Alterung von Zellulosenitrat-Kinefilm: eine zehn Tage lange Alterung bei 100°C in einem trockenen Ofen hatte eine Wirkung, die dem natürlichen Zerfall sehr ähnlich war; dieselbe Wärmealterung bei hoher Feuchtigkeit ohne Luftzirkulation beschleunigte den Zerfall um ungefähr das Zehnfache.

Für die Schallplatten war diese Temperatur zu hoch wegen der viel größeren Menge von Weichmacher, den die Platte ausschied, wodurch sich die Schicht zwar nicht löste, aber die Abspielqualität herabgesetzt wurde. Bei derselben Temperatur und einer Feuchtigkeit von 100% löste sich die Lackschicht sehr schnell. Diese übertriebene Alterung war aber zu weit entfernt von der natürlichen und es wurde experimentell erwiesen, daß 65° die höchste zulässige Temperatur für künstliche Alterung ist.

Außer der erhöhten Temperatur und Feuchtigkeit und Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen wirkten bei diesen Tests ultraviolette Strahlen auf die Platten ein. Es wurden nicht nur Veränderungen der Abspielqualität, sondern auch Veränderungen des Gewichts und der Erscheinung sowie physikalische Schäden notiert (Tabelle 3).

Die Tests zeigten unter anderem, daß die heutigen Azetatplatten chemisch viel widerstandsfähiger sind als man erwartet hatte und auch, daß unmodulierte Rillen und Reinton-Testfrequenzen nicht genügten, um die Veränderungen der Abspielqualität aufzuzeigen, da die durch die Alterung verursachten Rillenunregelmäßigkeiten

Tabelle 3. Ergebnisse der beschleunigten Alterung der Azetatplatten
1. Konstante Temperatur und Feuchtigkeit

Untersuchte Platten*	Temp	Test-dauer	Rel. Feuchte	Luft	Ergebnisse
	°C	Tage	%		
2 AX und 2 AY	50	30	> 90	Zirkulierend	Geräusch + 4 dB
2 BX und 2 BY	57	30	> 90	Zirkulierend	Keine Signaländerung; Zerfall mancher Schichtstellen
2 AX und 2 AY	65	30	> 90	Zirkulierend	Geräusch + 7 dB
4 BX und 4 BY	65	7	> 90	Still	Schichtenzerfall
2 AX und 2 AY	50	30	> 90	Still	Schichtenzerfall
2 BX und 2 BY	65	30	< 10	Zirkulierend	Keine Signaländerung
2 AX und 2 AY	65	30	< 10	Still	Geräusch und 7 dB nach Entfernung

2. 24stündige Feuchtigkeitsschwankungen bei konstanter Temperatur und Luftzirkulation

Untersuchte Platten	Temp	Test-dauer	Max. Feuchte	Minus-Feuchte	Ergebnisse
	°C	Tage	%	%	
2 AX und 2 AY	50	30	90	10	Geräusch + 4 dB
2 AX und 2 AY	65	30	90	10	Geräusch + 7 dB
2 BX und 2 BY	65	30	90	10	Keine Signaländerung

3. 24stündige Temperaturschwankungen bei konstanter Feuchtigkeit und Luftzirkulation

Untersuchte Platten	Max Temp	Min Temp	Test-dauer	Rel. Feuchte	Ergebnisse
	°C	°C	Tage	%	
2 AX und 2 AY	50	-40	30	10	Keine Änderung
2 BX und 2 BY	50	-40	30	10	Keine Änderung

4. Ultraviolette Bestrahlung

2 BX bei 20°, 50%, 30 Tage: Keine Signaländerung

- * A = unmodulierte, gerillte Platte
B = Frequenzplatte
X = neue Platte
Y = neue Platte mit vorheriger 24stündiger UV-Bestrahlung

durch die Nadel beim Abspielen wieder glattgefahren wurden. Man müßte kompliziertere Wellen (wie wirkliche Sprache und Musik) verwenden und die Platten unter milderen Bedingungen — Höchsttemperatur 40° — viel länger — bis zu fünf Jahren — altern lassen. Außerdem ist es klar, daß die Haltbarkeit der modernen und früher verwendeten Lacke unterschiedlich genug ist, um eine getrennte Forschung dieser zwei Typen zu rechtfertigen.

Bemerkungen über die Alterung

Andere Beobachtungen (Latham) über die natürliche Alterung der Schallplatten zeigten ähnliche Resultate, nämlich daß der Verlust des Weichmachers den Geräuschpegel erhöht, ohne die Abspielqualität sonst zu beeinträchtigen; manchmal springt der Lack plötzlich durch unbekannte Ursache. Die Geräuschzunahme wird wahrscheinlich durch kleine Kohlenstoffteilchen und Poren verursacht; bis zu 25% des Weichmachers darf verlorengehen, ohne die Abspielqualität ernstlich zu beeinträchtigen. In diesem Stadium spielt Oxydierung und Denitrung eine große Rolle.

Das schließliche Springen der Lackschicht tritt so unregelmäßig auf, daß es wahrscheinlich die Folge unsachgemäßer Herstellung, von Pilzwirkung oder von hoher Temperatur und Feuchtigkeit ist. Unter Umständen kann sich der Lack, bevor er springt, so zersetzen, daß die so entstehende Sprödigkeit das Abspielen unmöglich machen kann.

Die Lebenserwartung dieser Platten liegt unter der des Zellosenitrat-Kinefilms (Größenordnung: ein halbes Jahrhundert), wegen der großen Menge Weichmachers und des Zellulosenitrats von niedriger Viskosität. Die kürzeste bekannte Lebenserwartung ist etwa 15 Jahre, aber moderne Platten sind bestimmt haltbarer. Die Unterschiede der Lagerung und in den Platten selbst sind so groß, daß das eigentliche Alter der Platten keine Richtlinie geben kann, und einfache chemische Tests sollten entwickelt werden.

B. Die Schellackplatte

Allgemeines

Normalrillenplatten werden aus Schellack und schellackartigen Verbindungen gepreßt. Von historischem Interesse sind die Schellackschichten, die einen Kern aus einem Stoff wie Pappe oder geronnenem Naturharz hatten, mit einer weichen Schellack-Wachsschicht, zur Aufnahme der gepreßten Rillen, überzogen. Diese verhältnismäßig kostspielige Platte wurde bald ersetzt durch einen mit synthetischen oder natürlichen Harzen und Wachsen überzogenen Kern aus einer gebundenen Holz- oder Steinmehlmasse. Anfänglich gab es nur ein Thermoplastik-Harz, welches die Preßtemperaturen überstehen konnte: Schellack; da seine Eigenschaften ausgezeichnet waren, wurde es erst mit dem Aufkommen der Mikrorille durch

Kunsthharze ersetzt. Aber auch während der Zeit der Schellackplatte führten die Schwankungen des Schellackmarktes zu dem Gebrauch von Ersatzstoffen. Heute wird z. B. Vinsol, Valit, Vinylchloridazetat für Normalrillenplatten verwendet. Leider ist es oft sehr schwer, eine echte Schellackplatte von einer schellackartigen zu unterscheiden, und da die meisten Hersteller sogar von Qualitätsplatten den Schellack mit bis zu 200% von weniger haltbaren Stoffen verlängern, die noch dazu untereinander sehr unterschiedlich sind, kann man keine allgemeingültige Aussage über ihre Haltbarkeit machen.

Dennoch gibt es wichtige Sammlungen dieser Platten, von denen viele nach einem halben Jahrhundert noch bestehen, während andere in weniger als einem Jahrzehnt zerfielen. Es ist meist schwer, die Ursache dessen festzustellen. Unter normalen Lagerungsbedingungen ist die Haltbarkeit von zellstoffhaltigen Mehlen und Fasern von gut bis furchtbar, diejenige von Lehm und Schiefer ausgezeichnet bis gut, während Mineralmehle gewöhnlich als ausgezeichnet gelten. Die Wachse pflanzlicher und mineralischer Herkunft weisen große Haltbarkeitsunterschiede auf, die Verlängerungs- oder Ersatzharze ebenfalls. Alle diese Stoffe sind sehr empfindlich gegen Umgebungsfaktoren.

Laboruntersuchungen

Es wurden drei typische Verbindungen zur Untersuchung gewählt. Die Schellackverbindung war die folgende:

Blattschellack	15,63%
Kongogummi	6,51%
Vinsolharz	5,86%
Entölter Kohlenstoff	2,61%
Zinkstearat	0,32%
Schlemmkreide (CaCO ₃)	52,13%
Aluminiumsilikat	13,03%
Flocke (langfaserig)	3,91%

Die zwei schellackartigen Verbindungen enthielten Kalkstein, durch Vinylchloridazetat oder holzdestillierte Harze und andere Zellstoffarten gebunden.

Die dimensionale Stabilität aller dieser Plattenarten wird durch zwei Faktoren gesichert: das Grundmaterial setzt den Wärmeausdehnungskoeffizient herab und ist gleichzeitig eine mechanische Verstärkung; und diese Platten sind dicker als die heutigen. Die dimensionale Stabilität wird oft beeinträchtigt durch die Feuchtigkeitsempfindlichkeit mancher Grundmaterialien sowie durch den Wachs- und Ölverlust mit der Zeit.

Diese Platten wurden keinen ausgedehnten Prüfungen unterzogen, da die Ergebnisse einer solchen Prüfung sich nicht auf eine ganze Sammlung anwenden ließen. Sie wurden aber zusammen mit den Kunststoffplatten (s. u.) der Pilzwirkung, erhöhter Temperatur

und Feuchtigkeit und Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen während Zeitabschnitten von einem Monat ausgesetzt. Die schellackartige Verbindung von Kalkstein und Vinylchloridazetat war ebenso stabil wie die Massivvinylchloridazetatplatten und zeigte größere dimensionale Stabilität. Die minderwertige Schellackart war dimensional stabil, wurde aber unregelmäßig spröde unter dem Einfluß von hoher Feuchtigkeit und Temperatur, wie sie auch durch Pilze leicht angegriffen wurde.

Hingegen wurde die Untersuchung der echten Schellackplatte mehr ins einzelne geführt. Der erste Test war zur Ermittlung des Grades der Bearbeitung des Schellack. Bearbeiteter Schellack kann sowohl als ein unter dem Einfluß der Wärme wiederholt weich zu machender Stoff (thermoplastic) als auch ein unter dem Einfluß der Wärme einmalig weich zu machender und dann für immer gerinnender Stoff (thermosetting) betrachtet werden. Das Ausmaß jeder der beiden Eigenschaften steht im Verhältnis zum Grad der Bearbeitung des Musters.

Roher Schellack ist eine feste Lösung einer Anzahl organischer Verbindungen, die auf eine Kraft wie eine sehr dicke Flüssigkeit reagieren. Durch die Bearbeitung und während der Alterung findet eine Kondensation zwischen den organischen Verbindungen statt, die das durchschnittliche Molekulargewicht durch Querverbindungen zwischen den Molekülen erhöht. Während roher Schellack leicht verformbar, sogar zähflüssig ist, ist bearbeiteter Schellack viel fester, elastischer, aber auch spröder, ist außerdem schwerer, da er durch die Bearbeitung schrumpft.

Der wichtigste Alterungsmechanismus des Schellack in diesen Platten scheint die Kondensation zu sein. Diese innere Reaktion des Materials ist zeitabhängig von der Lagerungstemperatur und -feuchtigkeit und dem Grad der Bearbeitung*. Die Lösbarkeit des Schellack in Alkohol ist ein halbquantitatives Maß des Bearbeitungsgrades: roher Schellack ist völlig lösbar, völlig bearbeiteter Schellack völlig unlösbar. Der Schellack der Testplatten war alkohol-löslich, wurde aber nach Wärmealterung unlöslich. Daraus folgt:

1. Der Schellack der neuen Platten ist in einem etwa rohen Stadium, welches, wie gesagt, die Eigenschaften einer zähen Flüssigkeit — ohne Elastizität — hat; daher ist eine frisch gepreßte Schellackplatte frei von inneren Spannungen.
2. Da unter Lagerung Kondensation stattfindet, wird die Platte zunehmend spröde.
3. Neue Platten werfen sich leicht und lassen sich ebenso leicht ausgeraden, während alte Platten mehr Widerstand zeigen.

* Unter gleichen anderen Bedingungen ist die Geschwindigkeit einer Reaktion abhängig von der Konzentration der reagierenden Stoffe. In dem vorliegenden Fall verringert jede auftretende Kondensation die Konzentration der reagierenden Stoffe, so daß die Reaktionsgeschwindigkeit einer solchen Kondensation exponentiell abnimmt.

4. Dimensionale Veränderungen (Schrumpfung) werden bei der Lagerung stattfinden; diese werden aber wegen des hohen Anteils von Füllstoffen wahrscheinlich gering sein.

Durch eine Reihe einfacher Experimente wurden diese Hypothesen überprüft. Zunächst wurde die Temperatur gefunden, bei welcher die nicht ganz senkrecht gestellte Platte sich in weniger als 15 Minuten krümmte. Diese Temperatur wurde als der Punkt betrachtet, bei welchem das Material weich wurde.

1. Das erste Experiment, welches gemacht wurde, um die oben erwähnten Hypothesen zu überprüfen, war das folgende: neue Platten wurden zusammen mit neuen Vinylplatten waagrecht auf eine Platte in einem Ofen gelegt und die Temperatur allmählich zum Punkt des Weichwerdens erhöht. Die Vinylplatten warfen sich (wie in Fig. 3), während die Schellackplatten flach blieben.
2. Die Schellackplatten wurden bei einer Temperatur von 65° eine Woche lang gehalten. Ein Vergleich mit den neuen Platten zeigte, daß die gealterten Platten stärker, aber viel spröder als die neuen waren.
3. Einige neuer Schellackplatten wurden in einer Vorrichtung eine Woche lang eingeklammert, manche bei Zimmertemperatur, andere bei 50° und 100% Feuchtigkeit. Danach waren sie alle gleich krumm und wurden also in waagrecht Lage im Ofen allmählich bis zu 50° erhitzt. Diejenigen von den Platten, die man bei Zimmertemperatur durchgebogen hatten, waren vollkommen flach, als der Ofen die gewünschte Temperatur erreicht hatte, während manche der anderen Platten noch nach einigen Stunden ein wenig krumm waren.
4. Diese milde Alterungsbeschleunigung hatte keine merkliche Änderung der Abspielqualität zur Folge. Übertriebene Temperaturen und Feuchtigkeiten führten zu raschem Versagen durch Sprödigkeit.
5. Diese Platten waren pilzanfällig, wahrscheinlich wegen der Pilznährstoffe der anderen organischen Substanzen, da Schellack als pilzimmun gilt.

Es wurde schon erwähnt, wie uneinheitlich die Zusammensetzung der sogenannten Schellackplatten ist. Eine Nachfrage bei den Herstellern von zwölf verschiedenen dieser alten Platten aus der Library of Congress zeigte, daß drei davon 12% Schellack und 15% andere Harze enthielten, drei enthielten überhaupt keinen Schellack, während die Zusammensetzung der übrigen nicht zu ermitteln war. Die Gründe hierfür sind einerseits Herstellerexperimente, andererseits Schellackmarktschwankungen.

So verschieden diese Platten sind, so verschieden werden sie sich auch in der Lagerung verhalten. Sie sind anscheinend im allgemeinen lange haltbar, solange sie vor Feuchtigkeit, Wärme, Sauerstoff, Pilzen und Spannungen geschützt sind. Die Hauptunterschiede zwi-

schen den Schellack- und den Vinyl-Schellackplatten bei der Lagerung sind die folgenden:

1. Die Schellackplatten sind viel feuchtigkeitsanfälliger, da die Feuchtigkeit die Geschwindigkeit der Kondensationsreaktion erhöht.
2. Die dem Schellack beigefügten Stoffe sind viel pilzanfälliger als reines Vinyl.
3. Die Schellack-Kondensationsreaktion bremst sich exponentiell, während die Zerfallsreaktion des Vinyl eine autokatalysierende ist. Die Schellackplatten werden also mit der Zeit sehr allmählich spröde, während die Vinylplatten am Ende ihres Lebens sehr schnell zerfallen. Die anderen „Schellack“-zusammensetzungen sind in puncto Lagerung völlig unberechenbar und man kann nur hoffen, daß die unhaltbarsten Platten nur einen kleinen Teil einer Sammlung ausmachen.

Die einzige mögliche Aufsicht dieser Platten ist wahrscheinlich, den Sprödigkeitszustand der Platten sachkundig zu beurteilen, um sie dann gegebenenfalls umzuschneiden. Solche Sprödigkeit läßt sich manchmal durch die Biegsamkeit der Platte beurteilen; manchmal führt die Sprödigkeit zu einer so starken Abnutzung (bei guter Abspielapparatur), daß ein weiches weißes Tuch an der Platte nach einem Abspielen schmutzig wird.

C. Die Kunststoffplatte

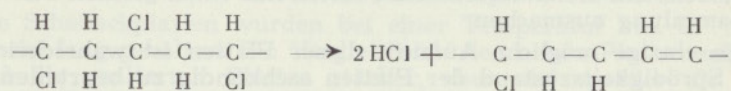
Material

Der wesentliche Unterschied zwischen der Schellack- und der Kunststoffplatte ist, daß jene wenig Schellack, aber umso mehr Kunststoffe enthält, die in der Hauptsache die Haltbarkeit bestimmen, während diese aus über 75% Kunstharz besteht, obwohl die übrigen Füllstoffe, die das Material verbilligen sollen, die Haltbarkeit beeinträchtigen — aber nicht im eigentlichen Sinne bestimmen. Polyvinylchlorid und Polystyren sind die beiden Kunstharze, aus denen diese Platten hergestellt werden. Jenes wird gepreßt, dieses gespritzt. Die Spritzprodukte sind im einzelnen billiger, erfordern aber eine größere Kapitalanlage. Styrenplatten sind verhältnismäßig selten, wurden also hier nicht gesondert untersucht. Eine Kenntnis der beiden Stoffe zeigt, daß die Haltbarkeit beider ähnlich ist und auch dieselben Lagerungsbedingungen benötigen; vielleicht ist das Styren-Polyblend oxydationsanfälliger als der PVC-Copolymer. Es ist anzunehmen, daß in der Zukunft eine größere Anzahl der Platten aus Polystyren sein werden.

Fig. 4 stellt einen Teil eines PVC-Moleküls dar. Die sich wiederholende Moleküleinheit wird durch die gestrichelte Grenzlinie gezeigt. Die Anzahl dieser Einheiten je Molekül (η = Polymerisationsgrad) hat normalerweise eine Größenordnung von 1000 bis 2000. Im

Kunststoff sind diese langen Kettenmoleküle aleatorisch gerichtet und in einander verwickelt. Die einzelnen Moleküle hängen nicht durch Wertigkeitsverbindungen zusammen (es sei denn, Alterung führt zu Querverbindungen), sondern durch verhältnismäßig schwache Intermolekularkräfte. Dennoch sind diese Kräfte zu groß, um dem Stoff die gewünschten physikalischen Eigenschaften zu geben, die also durch innere Weichmachung dadurch erzielt werden, daß man aus Vinylchlorid einen Copolymer mit Vinylazetat in einem Verhältnis von etwa 15 zu 85 herstellt.

Wärme und ultraviolette Strahlen zersetzen das PVC. Während die letzteren bei Schallplatten keine Rolle spielen müssen, so ist Wärme sowohl bei der Herstellung wie bei der Lagerung anwesend. Die Zersetzung wirkt sich aus als ein Verlust von Salzsäuremolekülen, wodurch doppelte Wertigkeiten entstehen:



Die ersten HCl-Moleküle verschwinden wahrscheinlich wegen Unreinigkeiten oder Abweichungen von der theoretischen Struktur, welche immer bei Polymeren auftreten, und die doppelten Verbindungen begünstigen den fortschreitenden HCl-Verlust, die Oxydation und Querverbindungen, welche letzteren sich als Sprödigkeit, Werfen und Springen zeigen. HCl katalysiert den weiteren HCl-Verlust, welcher also eine Kettenreaktion darstellt, sofern das HCl nicht entfernt wird. Der HCl-Verlust ist bei den Herstellungstemperaturen so rasch, daß ein merklicher Qualitätsverlust im PVC feststellbar ist nach der Pressung, wenn er nicht vorher stabilisiert wird. Die Stabilisierung ist der Zusatz einer Substanz, die den Zerfall nicht verhindert, ihn aber begrenzt durch die HCl-Aufnahme. Der Stabilisator-Inhalt einer Platte genügt gewöhnlich, um sie noch sehr lang zu schützen, und es wurden auch keine der untersuchten Platten gefunden die durch den chemischen Zerfall versagt hätten.

Chemische Analyse der Alterung

Die chemische Untersuchung dieser Platten — alter und neuer — war ähnlich wie bei den Azetatplatten: Azetonextrakt, pH-Messung, Trocknen, Schmelzen und Verbrennen des Überrestes, nochmalige Azetonauflösung, Filtrierung, Trocknen, Chloroformlösung und Spektraluntersuchung. Tabelle 4 faßt die Ergebnisse zusammen, während Fig. 5 die Infrarotspektren zeigt, welche wahrscheinlich den genauesten Aufschluß quantitativ über das Ausmaß der Zersetzung geben, obwohl diese Technik vielleicht nur bei Forschungsarbeiten Verwendung finden kann.

Veränderungen der Abspielqualität wurden durch beschleunigte Alterung untersucht. Eine längere Aussetzung der Platten zu dieser Alterung, die jedoch noch nicht das Versagen der Platten durch

andere Ursachen herbeiführte, änderte das Signal oder das Grundgeräusch der Platte nicht. Es wurde also der innere chemische Zerfall theoretisch analysiert (nach der chemischen Literatur sowie Korrespondenz mit dem Hersteller des Grundpolymers). Diese Analyse führte zu dem Ergebnis, daß die künstliche Erzeugung einer inneren chemischen Zersetzung eines solchen Ausmaßes, um nennenswerte physikalische Veränderungen zu zeitigen, einige Jahre von beschleunigtem Altern in Anspruch nehmen würde; es wurden also keine weiteren Alterungen unternommen.

Es ist anzunehmen, daß keine ernsthafte Zersetzung stattfindet, solange der Stabilisator seine volle Wirkung bewahrt. Die Lebenserwartung der Schallplatte kann also ohne weiteres mit derjenigen

Tabelle 4. Testergebnisse der Vinylchloridazetatplatten

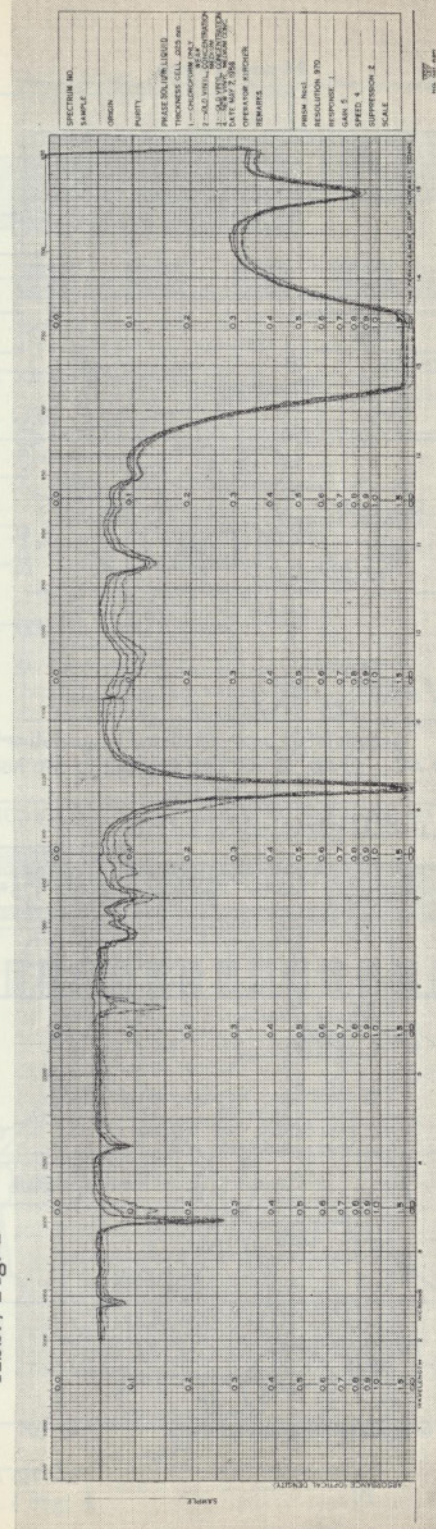
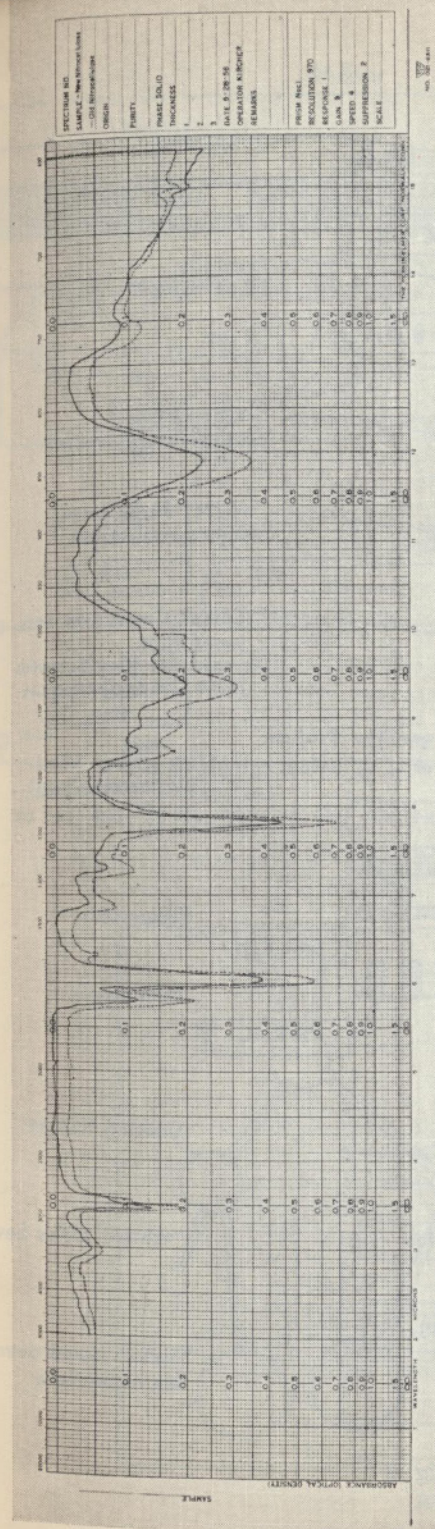
Test	Gealterte Platte	Neue Platte
Gewicht (Gramm)	1. 2,8835 2. 3,3308 3. 4,1495	2,3572 3,3408 4,1646
pH	1. Verloren 2. 6,85 3. 6,85	5,4 5,5 5,7
Physikalische Eigenschaften des Wassereextrakts:		
Erscheinung, Dicke	Fein, wachsig	Gallertartig, körnig
Farbe	Lachsfarben	B'äßgelb
Geruch	Aromatisch	Etwas ranzig
Schmelzpunkt	Etwas über Zimmer- temperatur	Etwas höher als ge- alterte Platte
Flammenfarbe	Orange	Gelb
Rauch	Rußig	Keiner
Überrest	Sehr wenig, weiß	Wenig, weiß
Geruch nach Trocknen	Phenol	Palmitinsäure
Wassereextrakt %	2,7	4,8
Infrarote Absorption	Mehr bei 3,33, erheblich mehr bei 3,45, 3,55, 5,75, 5,83 mehr bei 7,00 $\pm$ 0,2, 7,30, 755 μ	Mehr bei 8,23, 8,27, 12,7 . . . 13,2 μ

des Stabilisators gleichgestellt werden. Vernachlässigt man die Irradiation und extrapoliert man die Alterungsergebnisse anderer Forscher, so kann man folgendes behaupten: *chemische Versagung einer Vinylplatte bei normaler Lagerung in einer Bibliothek ist nicht vor einem Jahrhundert zu erwarten.* Durch eine Lagerung bei 20° kann diese Lebenserwartung verdoppelt werden. Die eigentliche Lebensdauer (immer chemisch gesehen) hängt von der genauen Zusammensetzung (einschl. Art und Menge der Stabilisatoren und Füllstoffe) und von der Temperaturvergangenheit der Platte (einschl.

Herstellung und Pressung) ab. Kleine Veränderungen dieser Parameter können die chemische Lebenserwartung um einige Jahre oder auch Jahrzehnte verändern. Daraus ergibt sich der zweckmäßigste Überwachungsplan der Platten auf der Grundlage eines Tests der Stabilisator-Erschöpfung. Eine solche Überwachungstechnik wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht entwickelt und sollte noch die Grundlage künftiger Untersuchungen werden. Eine solche Arbeit würde sich an ähnliche Tests der Filmindustrie und an eine einfache mikroanalytische Technik (Wartman, auch Druessow und Gibbs) anlehnen.

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



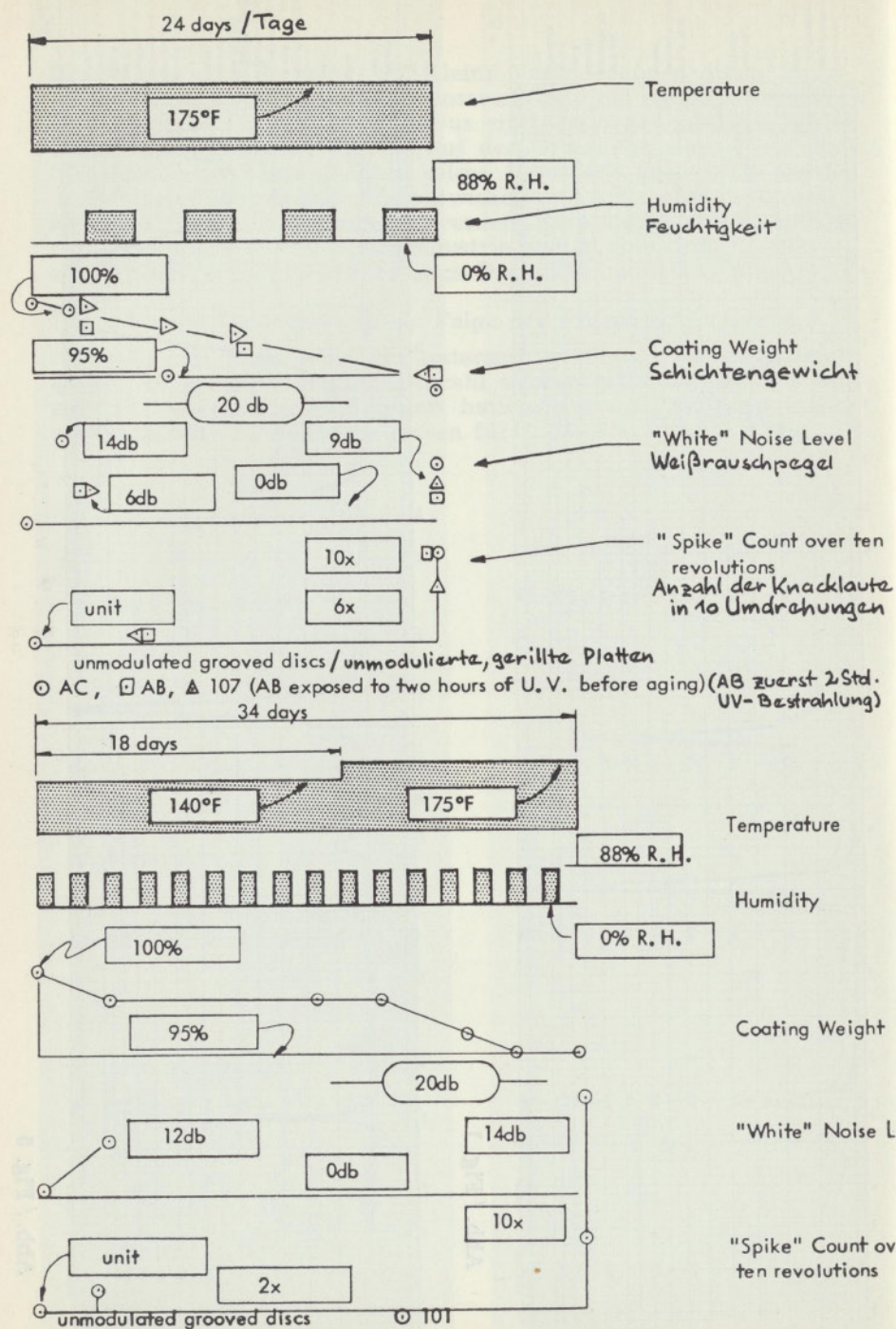


Abb. / Fig. 2

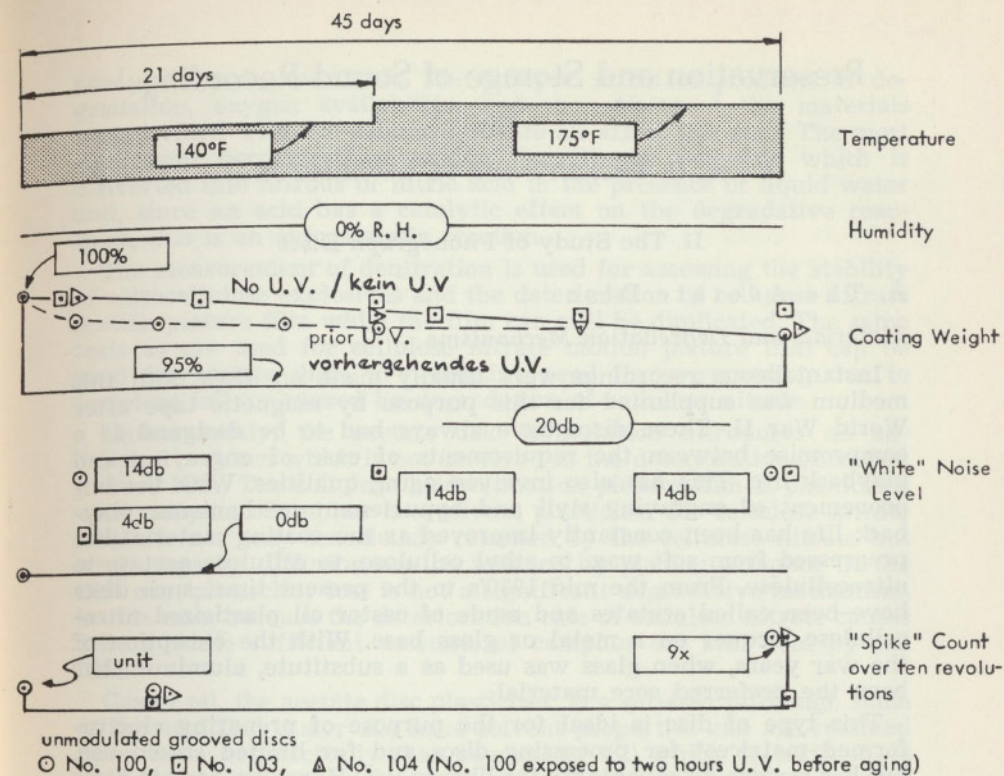


Abb. / Fig. 3

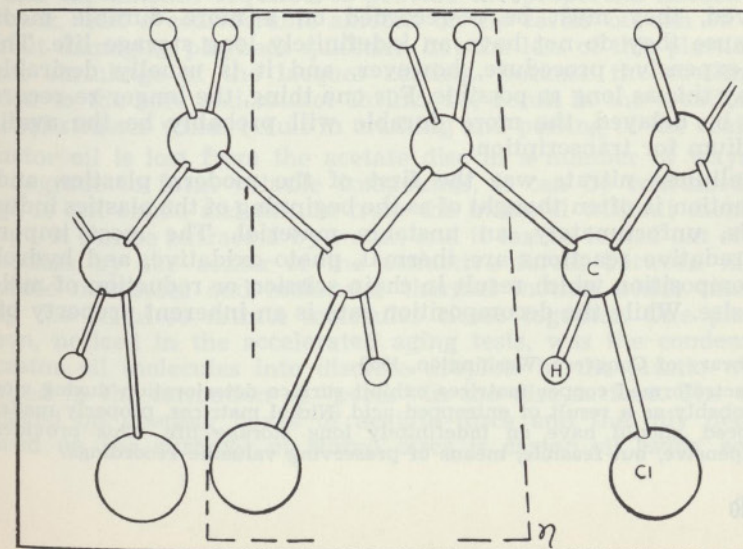


Abb. / Fig. 4

Preservation and Storage of Sound Recordings¹

by

A. G. PICKETT and M. M. LEMCOE

II. The Study of Phonograph Discs

A. The Acetate Disc

Materials and Degredation Mechanisms

Instantaneous recordings were usually made on discs until this medium was supplanted for this purpose by magnetic tape after World War II. These discs have always had to be designed as a compromise between the requirements of ease of engraving and playback life. This has also involved aging qualities. With the improvement of engraving styli and appurtenant mechanisms, playback life has been constantly improved as the coating material has progressed from soft wax, to ethyl cellulose, to cellulose acetate to nitrocellulose. From the mid 1930's to the present time, such discs have been called acetates and made of castor oil plasticized nitrocellulose lacquer on a metal or glass base. With the exception of the war years, when glass was used as a substitute, aluminum has been the preferred core material.

This type of disc is ideal for the purpose of preparing electroformed matrices* for processing discs and for limited studio use, but has serious disadvantages for library use. However, acetate discs were the best instantaneous recording medium for many years, and so large numbers of these discs form a significant part of many collections. Eventually, if the intelligence on them is to be preserved, they must be re-recorded on a more durable medium, because they do not have an indefinitely long storage life. This is an expensive procedure, however, and it is usually desirable to delay this as long as possible. For one thing, the longer re-recording can be delayed, the more durable will probably be the available medium for transcription.

Cellulose nitrate was the first of the modern plastics, and its invention is often thought of as the beginning of the plastics industry. It is, unfortunately, an unstable material. The most important degradative reactions are thermal, photo-oxidative, and hydrolytic decomposition which result in chain scission or reduction of molecular size. While the decomposition rate is an inherent property of the

pure substance, hydrolysis, the catalytic effect of products of degradation, oxygen availability, and the effects of the materials incorporated with the cellulose nitrate all affect this rate. The most significant decomposition product is nitrogen peroxide which is converted into nitrous or nitric acid in the presence of liquid water and, since an acid has a catalytic effect on the degradative reactions, this is an autocatalytic reaction.

The measurement of denitration is used for assessing the stability of nitrocellulose explosives and the deterioration of cellulose nitrate motion picture film while the film can still be duplicated. The same tests as are used for cellulose nitrate motion picture film can be used for acetate discs to determine need for re-recording due to incipient failure caused by degradation of cellulose nitrate.

Unfortunately, the acetate disc formulation introduces an additional problem which is not involved in the deterioration of motion picture film. The cellulose nitrate motion picture film is plasticized with camphor. Camphor is a solvent plasticizer for cellulose nitrate which is not only tenaciously retained by the cellulose nitrate but whose loss by diffusion can be reduced by placing camphor in the film can; plasticizer loss is not a significant degradative mechanism, in this case, because the deterioration rate of cellulose nitrate causes failure while sufficient amounts of camphor are still held by the film.

Castor oil, the acetate disc plasticizer, is a softener (although some of the modified castor oils have solvent properties and are retained much more satisfactorily than raw castor oil) which, in addition, is used in excess to provide a material soft enough for the engraving process. There is such a wide gap between the quantity of plasticizer required to provide the physical properties needed for engraving and the amount required to provide the properties needed for playback, that a considerable amount of the castor oil can be lost without damaging playback qualities, but the loss of this plasticizer causes shrinkage of the lacquer coating. Because the coating is bonded to the core and cannot shrink, the result is the creation of internal stresses which result in cracking and peeling of the coating.

Castor oil is lost from the acetate disc in a number of ways. It can degrade to form volatile compounds, it can be consumed by fungi, it can exude and diffuse from the material without chemical change, it can be extracted by water, and it can be forced out of the interstices by the action of the attractive forces between nitrocellulose molecules and molecular thermal motion which tend to bring the cellulose nitrate molecules closer together. One phenomenon, noticed in the accelerated aging tests, was the condensing of castor oil molecules into discrete droplets in the plastic which resulted in the formation of "pores" in the disc surface. The odor observed on opening boxes of acetate discs and the oily deposit noticed on the surfaces of stored discs is castor oil (with, some-

¹ Library of Congress, Washington, 1959

* Electroformed copper matrices exhibit surface deterioration during storage, probably as a result of entrapped acid. Nickel matrices, properly made and stored, should have an indefinitely long storage life. This provides an expensive, but feasible, means of preserving valuable recordings.

times, amounts of compatible plasticizers which are often used with the castor oil). The gradual loss of plasticizer results in progressive embrittlement and, finally, catastrophic failure of the coating. The effects of loss of plasticizer (and, probably, retained solvent) were the only effects which affected playback that were noticed in the accelerated aging tests.

Plasticizer loss and deterioration of cellulose nitrate actually occur simultaneously, of course, and under actual storage conditions, the physical and chemical changes which occur in the coating are the results of the inter-action of both of these factors. The oxidation products of the degradation of castor oil may catalyze denitration of cellulose nitrate, for example, and the loss in strength occasioned by chain scission may hasten failure occasioned by stresses induced by plasticizer loss. Likewise, the agents of degradation affect both parameters. Elevated temperatures accelerate both denitration and plasticizer exudation, for example, while both hydrolysis and plasticizer extraction are induced by excess moisture. The problem posed here is that, in storage, it is desirable to remove the products of decomposition of cellulose nitrate (which requires air circulation) while, at the same time, it is desirable to protect the disc from moisture, oxygen, atmospheric contaminants, and dust (which requires a barrier between the disc and the ambient atmosphere). While it is possible to provide a system which will accomplish both ends (by using a circulating nitrogen system with alkaline scrubbers, for example) such a system is not economically feasible. Where sound recording discs in library storage are concerned, the choice seems to be between using a record jacket which permits diffusion of volatile products of decomposition and a record jacket which is a barrier against water, oxygen, and other gases of the stack environment.

Chemical Analysis to Verify Degradation Theories

If these concepts of the mechanisms of degradation of acetate discs are correct, simple chemical tests can be developed to predict incipient coating failure and a surveillance scheme can be established for preserving acetate discs. Also, the optimum library storage environments are determined by these parameters.

Chemical analysis was used to check the theories of degradation of acetate discs and to determine the feasibility of using chemical tests as indices of degradation. Two specimens were chosen for test:

- (1) A glass base disc taken from the Library of Congress shelves which had been made and recorded in 1944. The coating had failed by shrinking, peeling, cracking, and embrittlement.
- (2) An aluminum base disc made in 1958 obtained from ordinary commercial sources. This disc was a standard disc whose original formulation differs from that of the old disc by the use of a combination of modified castor oil, alkyl resin, and

synthetic plasticizer instead of raw castor oil. Raw castor oil is more susceptible to oxidation, volatilization, polymerization and cross-linking than the modern plasticizer complex.

Despite the difference in formulations, the significant degradative mechanisms should be the same in kind if not in rate.

Nitrocellulose decomposes continuously with time to give various oxides of nitrogen, which in turn react with each other, or with oxygen or water vapor or other materials present in the environment. These gases may cause degeneration in several ways. For example, they may react with water to form nitrous acid (HNO_2), nitric acid (HNO_3), or other acid derivatives of the oxides of nitrogen; these acids, in turn, may act as a catalyst for the degradation of all the constituents or they may bring about further polymerization and/or cross-linking of the nitrocellulose and the plasticizer, causing embrittlement. In other instances they may result in removal of HOH from within the molecule or cause mild oxidation, especially to the plasticizer. Finally, they may cause the cleavage of the cellulose molecule itself to produce several organic acids.

The plasticizer can also undergo a number of changes. It may exude or diffuse from the lacquer without chemical change or it may polymerize further and/or cross-link by isomerization, increasing the brittleness of the coating. This isomerization is a result of the shifting of double bonds; therefore, the difference may show in the spectra of the materials. The plasticizer may oxidize to form an epoxy type compound which will cross-link and cause embrittlement. The polymeric chain may also be cleaved by air oxidation or by the action of acid or NO_2 . There is also the possibility that lower molecular weight organic acids will be formed from the glycol ester by acid hydrolysis.

The dye may be affected by air oxidation or acid hydrolysis. The other constituents of the lacquer should be relatively stable and inert.

The nitrocellulose coating was stripped from the base of the record. One gram of the material, weighed to the nearest milligram, was placed in a Soxhlet extractor with 90 ml of reagent grade acetone and 10 ml of distilled water* and digested for 1 hour. The apparatus was allowed to cool and the pH of the liquid was determined with a pH meter.

The solutions were evaporated to dryness over a steam bath, care being taken not to bake them. The residue was redissolved in acetone and the material filtered through a Seitz cellulosic pressure filter. Two filter discs were used to obtain good filtration. Approximately 0.2 psi was used on the filter to give a rate of 1 drop every 3 seconds. The color change during the filtration was noted. The spectra in the visible and near-infrared were run on this filtrate in

* Water was used for pH measurement.

a Perkin-Elmer Spectracord spectrophotometer. The spectrum for pure acetone was subtracted. Forty drops of the filtrate were evaporated on to the sodium chloride optical disc of an infrared spectrophotometer and the infrared spectrum was run. Also, similar spectrograms were run on an acetone solution of the original nitrocellulose coating from the records.

The results of the testing of the nitrocellulose records are summarized in Table 2. In almost every test there is a qualitative difference between the new and the aged material. It is quite certain that many of these tests can be developed to give a quantitative measurement of the state of aging of a record. The greater acidity of the aged nitrocellulose is as might be expected from the known production of nitrous acid and various organic acids during decomposition. The extract of the new coating is also slightly acid, which is probably caused by the hydrolysis of some of the nitro groups in the nitrocellulose during the extraction. The difference in acidity can be easily determined quantitatively. The use of two Seitz cellulose filters, in a sense, provided a small chromatographic column in which a noticeable separation of components was achieved during filtration. The characteristic yellowing of nitrocellulose with age is observed in the deeper colors of the initial stages of the filtration and also in the greater absorption at 6,000⁰ A. The dye appears to separate last.

The infrared spectrum obtained from the extract of the record material shown in Figure 1 contains a number of peaks which show a difference between the new and aged records. The measurement of these peaks might well be developed into a quantitative measure of the aging. The decrease in absorption at 3.43 microns shows a loss of methyl groups by the aged material. The decrease in the absorption at 3.53 microns indicates the cleavage of the plasticizer at the double bonds to form separate hydrocarbon groups which are lost by evaporation. Less absorption of 5.79 microns indicates the probable loss of the stearate ester (saturated ester) and conversion of the plasticizer ester to other polymerization products. The broad absorption at 6.0 microns is due primarily to organic nitrates and indicates that the R—ONO₂ content of the aged material has definitely been reduced. The reduction of the 6.85 micron absorption band in the aged record further indicates loss of alkyl groups. The separate absorption by the new material at 7.79 microns is due to organic nitrate and substantiates loss of nitro groups from the nitrocellulose as it decomposes. The absorption at 7.83 microns is due to the ester group and the broad band portion is due to the R—ONO₂; the reduction in absorption indicated is further evidence of the loss of these two groups from the aged material.

Spectra were also run on the samples of the original material which had been dissolved in acetone but not filtered or otherwise treated. Two additional absorption bands were noted by this means.

Table 2
RESULTS OF TESTS OF NITROCELLULOSE RECORDS

	Aged	New
Weight	1.0174	1.0762.
pH	4.2	5.1.
Original Color (after digestion)	Blue	Violet.
Pliability	Brittle	Very pliable; bends without breaking.
Filtrate Color, 1 min	White	White.
Filtrate Color, 3 min	Faint yellow	White.
Filtrate Color, 5 min	Golden	Faint yellow.
Filtrate Color, 7 min	Golden red	Grey.
Filtrate Color, 10 min	Red	Red-grey.
Filtrate Color, 15 min	Blue-red	Purple.
Spectrographic Analysis of Filtrate:		
Visible	Strong absorption at 6000 Angstrom units	Medium absorption at 6000 Angstroms units.
Near-infrared	No significant differentiation	
Infrared	a. Less 3.43 micron absorption b. Less 3.53 micron absorption c. Less 5.79 micron absorption d. Less 6.00 $\pm$ micron absorption e. Less 6.85 micron absorption f. No 7.79 micron absorption g. Considerably less 7.83 micron absorption	Separate 7.79 microns.
Spectrographic Analysis of Total Acetone Soluble Material:		
Visible	Considerable 7000 Angstroms absorption	Medium 7000 Angstroms absorption.
Near-infrared	More 17,500 Angstroms	
Infrared	Considerable 2.8-3.2 microns	Medium 2.8-3.2 microns.
Chloroform Solution	Blue color; slowly forms; no plasticizer extracted; no 5.75 micron absorption	Yellow color; quickly disperses; plasticizer extracted; some 5.75 micron absorption.

The increased absorption at 17,500⁰ A indicates the presence of more cyclic or cross-linked molecules and that further polymerization of the plasticizer has taken place. The strong absorption at 2.8-3.2 microns in the aged material is due to an increase in the organic acids, especially acetic acid.

The chloroform extraction showed further points of difference. The aged coating releases dye which indicates that the dye has been altered to become soluble as the new coating did not release its dye. The absence of plasticizer in the extract from the old coating shows that the plasticizer which had exuded had evaporated and the remaining plasticizer had further polymerized and was no longer soluble in the chloroform.

Definite and measurable chemical differences exist between the new and old nitrocellulose discs. These differences develop before any outward signs of degeneration or loss in playing quality is manifest. It should be possible to develop these tests to the point where the remaining useful shelf life of a batch of records can be predicted before signs of physical degeneration are apparent. Specific analytical tests which offer promise as indices of incipient degradation are measurements of plasticizer concentration and nitrocellulose denitration. Additional work is required to key these chemical tests quantitatively to the degradation of discs.

Accelerated Aging Tests

The naturally deteriorated acetate disc chosen for chemical analysis provided valuable evidence as to the mechanisms of storage degradation. Alongside it in the stacks of the Library of Congress were discs of similar manufacture and age which are still in good, playable condition. Lacking the complete history of these discs, it is impossible to do other than catalog the manifestations of degradation from a study of them. The determination of the causes of deterioration, the knowledge of which is so essential to establishing techniques for preventing or inhibiting degradation, involves both linking of cause to effect and the elimination of possible alternate causative factors. In the absence of sufficient information about the natural aging of discs it was necessary to use accelerated aging techniques and to attempt to correlate the results of these tests with the manifestations of aging observed in the stored discs.

The specimens provided by the Library of Congress were regular acetate discs obtained from ordinary commercial outlets. Master discs were 12 in. double faced regulars picked for smoothness of coating. The specimens were as follows:

- (1) 12 in. and 16 in. double faced regular blanks.
- (2) 12 in. 78 rpm and 16 in. $33\frac{1}{3}$ rpm discs precut on both sides with unmodulated grooves at 88, 104, 112, and 120 lines per inch.
- (3) Standard frequency test discs: 12 in. 78 rpm at 104 lines per inch, 12 in. and 16 in. $33\frac{1}{3}$ rpm at 128 lines per inch, all recorded with fixed frequencies of 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, and 10 kc/s.
- (4) Constant amplitude test discs: 12 in. 78 rpm and $33\frac{1}{3}$ rpm

at 96 lines per inch, recorded with fixed frequencies of 50, 100, 200, 300, 400, and 1000 cps.

The first tests made were exploratory in nature. As has been previously noted, laboratory studies of aging of organic materials are based on the work at the Bureau of Standards which began with the study of paper and included work by Hill and Weber on cellulose nitrate motion picture film. Hill and Weber found that aging in a dry oven at 212° F for 10 days produced much the same result for cellulose nitrate film as did natural aging to failure; they also found that deterioration was tremendously accelerated by thermal aging at high humidity in a stagnant atmosphere at 212° F (viscosity measurements indicated that chain scission which obtained in three days at high humidity required thirty days at low humidity).

This temperature proved to be excessive for acetate discs because of the profuse exudation of liquid plasticizer at this temperature which did not cause coating failure but did destroy tonal fidelity. Although other measurements could not be made, significant denitration of the nitro cellulose was indicated after five days' exposure to 212° F in a dry atmosphere by the change in color of light transmitted through coating stripped off of the discs to a green indicating the presence of nitrous compounds while the coating still maintained its integrity. Exposure to 212° F at 100% humidity resulted in extremely rapid coating failure. Since this temperature was excessive for correlation of results with natural aging, progressively lower temperatures were used until the results obtained were more nearly comparable to the effects of natural aging observed in stored discs. When 150° F had been found to be the maximum temperature to which these discs could be exposed without the occurrence of gross changes not correlable with the manifestations of shelf aging accelerated aging tests were begun.

These tests consisted of exposing test discs to extremes of temperature and humidity, to cyclic changes in temperature and humidity, and to ultraviolet light. The discs were inspected for changes in lacquer coating weight, appearance, and continuity as well as for changes in playback fidelity.

The purpose of these tests was to determine what changes in playback quality result from the chemical and physical changes which occur during shelf aging and to correlate these changes with environmental factors. This required the reproduction of the manifestations of shelf aging within the time allotted for testing.

It became apparent during testing that presently made acetates are far more resistant to chemical deterioration than had been expected and that using unmodulated groove and sine wave test frequencies produced somewhat unrealistic results because the stylus, during playback, wiped out the irregularities in the groove walls caused by aging. It appears that quantitative tests which could be used for prediction of life under normal conditions would require

Table 3
RESULTS OF ACCELERATED AGING OF ACETATE DISCS
1. Constant Temperature and Humidity Tests

Discs Tested*	Temp	Time	Humidity R.H.	Air	Results
2 - AX and 2 - AY	120° F	1 mo	>90%	Circulating	Noise +4 db.
2 - BX and 2 - BY	135° F	1 mo	>90%	Circulating	No chg in freq or distortion; some coating failure.
2 - AX and 2 - AY	150° F	1 mo	>90%	Circulating	Noise +7 db.
4 - BX and 4 - BY	150° F	1 wk	>90%	Stagnant	Coating failure.
2 - AX and 2 - AY	120° F	1 mo	>90%	Stagnant	Coating failure.
2 - BX and 2 - BY	150° F	1 mo	<10%	Circulating	No chg in freq or distortion.
2 - AX and 2 - AY	150° F	1 mo	<10%	Stagnant	Noise +7 db. after removing oil

2. Constant Temperature with Humidity Changed Each 24 Hours —
Air Circulating

Discs Tested*	Temp	Time	High Humidity	Low Humidity	Results
2 - AX and 2 - AY	120° F	1 mo	90%	10%	Noise +4 db.
2 - AX and 2 - AY	150° F	1 mo	90%	10%	Noise +7 db.
2 - BX and 2 - BY	150° F	1 mo	90%	10%	No chg in freq or distortion.

3. Constant Humidity with Temperature Changed Each 24 Hours —
Air Circulating

Discs Tested*	High Temp	Low Temp	Time	Humidity	Results
2 - AX and 2 - AY	120° F	-40° F	1 mo	10%	No change.
2 - BX and 2 - BY	120° F	-40° F	1 mo	10%	No change.

4. U.V. Exposure Only

70° F, 50% R. H., 2-BX for 1 mo, no change in frequency, distortion or noise.

* A—unmodulated groove disc.

B—test frequency disc.

X—new disc.

Y—new disc exposed to 24 hours ultraviolet light before test.

the use of more complex wave forms (such as are actually used in music and speech records) and much longer exposure times (of the order of five years) to milder aging conditions (maximum temperature 100° F). It also seems evident that there is sufficient difference in the stability of modern and obsolete lacquer formulations to justify separate consideration of the two types of discs.

The biggest difference between these two types of discs seems to be in stability and retention of plasticizer. While no new specimens of the old formulation were available for testing, chemical reasoning indicates that raw castor oil is quite susceptible to oxidation (as was noted in the chemical analysis discussion) and volatilization. Specimens of the new formulation were subjected to accelerated oxidation tests* but no evidence of oxidation was noted. In addition, the loss in weight after exposure at 212° F, 0% R.H., in circulating air, for two weeks corresponded to a loss of only 25% of the castor oil in the coating which is a much smaller loss than would be expected from the old formulation. It is realized that these tests are far insufficient, both in scope and measurement of parameters, to provide a scientific basis for an adequate theory of the degradation of acetate discs. They do, however, provide quite a bit of useful information; this information, when correlated with the observations of others, gives an indication of what can be expected from these discs.

Observations Regarding Aging

Latham and others have observed that acetate discs "dry out" or lose plasticizer during the first part of their shelf life and that this is manifested by an increase in noise but no other observed changes in fidelity; in addition, this is the only manifestation of aging observed in 15 years' histories of these discs (except for occasional and erratic coating failures). This is also the only manifestation of aging observed in the tests and, furthermore, the magnitude of the increase in noise is the same as was observed by Latham in shelf aging. Microscopic inspection of the discs indicate that this increase in noise is probably occasioned by the shrinking of the coating which exposes small nodules of imperfectly dispersed carbon black or other solid material as well as by the formation of minute pores due to exudation of plasticizer. The plasticizer is incorporated into the new disc in such excess that about 25 percent of it may be lost without

* This test consisted of placing specimens in an oxygen bomb (a closed stainless steel pressure vessel) with an atmosphere of pure oxygen at 100 psi pressure. This bomb is placed in a constant temperature water bath and is connected to a recording pressure gauge. Reaction between specimen and oxygen is indicated by specimen weight changes, drop in pressure during test, or changes in specimen properties. The acetate specimens were exposed to 100 psi of oxygen at 120° F for periods of 24, 100, 250, and 750 hours with no measurable oxidative reaction occurring. A.S.T.M. D 572-48 depicts an oxygen bomb of the type used in this test.

serious damage to the playback qualities of the disc. Oxidation and denitration do not seem to play a significant role in this manifestation of aging.

The final manifestation of aging seems to be catastrophic failure by loss of coating continuity and by delamination. While this has in some instances been observed to occur in less than 15 years, such occurrence is so erratic that it is presumed to result from poor fabrication or exposure to fungal attack or extremes of temperature and humidity. In longer time storage, both plasticizer loss and chemical degradation of cellulose nitrate recordings, embrittlement so serious that it prevents successful replay may precede coating failure; the possibility of this happening cannot be determined from these tests. The potential longevity of these discs is probably somewhat less than that of cellulose nitrate motion picture film (which is of the order of half a century) both because of the plasticizer used and because a low viscosity cellulose nitrate (with less inherent stability) is probably used in most lacquer formulations.

In years, under ordinary storage conditions, the well-made discs of the older formulations have a minimum *known* life expectancy of about 15 years. This figure was obtained from the inspection of discs stored by the Library of Congress under the environmental conditions previously outlined as well as the experience of the USN Underwater Sound Laboratory and others. Modern discs should have a longer life than these specimens. Even the modern discs, however, cannot be considered to have indefinitely long shelf lives because of the known instability of the material and must eventually be re-recorded if the intelligence on them is to be preserved. The differences which exist between acetate discs caused both by fabrication and environmental history rule out the use of chronological age as a criterion for prediction of failure, and the development of simple chemical analytical tests is recommended.

B. The Shellac and Shellac Type Disc

General

The shellac and shellac type formulation is used for pressing normal groove discs. Of historical interest are the shellac laminates which consisted of a structural core made of such materials as cardboard or a thermosetting resin coated with a soft shellac-wax material into which the grooves were pressed. This is not an efficient process, however, and it was early supplanted by a molding compound consisting of an aggregate (such as wood or rock flour) bound together and protected by synthetic or natural resins and waxes. Since shellac was the only thermoplastic resin available, at the time, which would withstand molding temperatures, it was used in the pressing of the first such discs and its excellent properties assured its continued use until the normal groove disc was supplanted by

the microgroove disc for quality sound recordings. Even during the period of shellac dominance as a binder material, however, the vagaries of the shellac market resulted in the use of other resins by many manufacturers. At the present time, normal groove discs use such materials as Vinsol, Valite, vinyl chloride-acetate, and other commercial resins for a binder instead of shellac. It is, unfortunately, often difficult to distinguish between shellac and shellac type discs by inspection, and even most quality disc manufacturers extend shellac up to 200 percent with materials of inferior aging qualities. This, together with the wide variety of formulations and ingredients used, make it almost impossible to make any statement about these discs which would be valid for all such discs found in a single collection.

Nevertheless, libraries have important collections of normal groove discs whose preservation is important. Many of these discs have survived for half a century and appear to be still in excellent condition, while some of them have deteriorated in less than a decade. It is hard to determine the cause of this degradation in most cases. In ordinary environments, storage stability of cellulosic flours and fibers ranges from good to terrible, of clays and ground slate from excellent to good, and mineral flours generally are rated as excellent. Likewise, the waxes of vegetable and mineral origin exhibit a wide variation in stability as do the resins used as extenders or substitutes. All of these materials are most sensitive to environmental factors.

Laboratory Investigations

Three typical formulations were chosen for study in this program.

The shellac formulation studied was:

Flake Shellac	15.63%
Congo Gum	6.51%
Vinsol Resin	5.86%
Carbon Black (low oil content)	2.61%
Zinc Stearate	0.32%
Whiting (CaCO ₃ passing # 400 mesh)	52.13%
Aluminum Silicate (passing # 400 mesh)	13.03%
Flock (long fiber)	3.91%

In addition, two shellac type formulations (D & E of the fungus study) which used crushed limestone as aggregate and vinyl chloride-acetate or resins obtained by the destructive distillation of wood and other cellulosic materials were studied.

Two factors contribute to the dimensional stability of all discs of this type. First is the aggregate which reduces the thermal coefficient of expansion of the material as well as providing added strength. Second is the greater thickness of these discs. Dimensional stability is often impaired by the sensitiveness of some of the aggre-

gates to moisture and the loss of waxes and oils which occurs during aging.

No elaborate tests were made on these discs because it was felt that the results thereof would not be applicable to a collection of discs. They were exposed along with the plastic discs to fungal action (see Fungus Study), elevated temperature, high humidity, and cyclic variations of temperature and humidity for one month periods. The shellac type formulation of crushed limestone and vinyl chloride-acetate proved just as stable as did the unfilled vinyl chloride-acetate discs (see Plastic Disc, Section C) and exhibited greater dimensional stability. The inferior shellac type formulation proved to have good dimensional stability but displayed random embrittlement when exposed to high humidity and temperature environments. This latter formulation also was quite susceptible to fungal attack.

The shellac disc was studied in somewhat more detail than the shellac type discs. The first test made was to determine the state of "cure" of the shellac. "Cured" shellac has both thermoplastic and thermosetting properties, and the degree of each type of behavior exhibited by a given sample is a function of completeness of "cure". Raw shellac is a solid solution of a number of organic compounds and reacts to an applied stress as does a very viscous liquid. During processing and aging, the condensation reaction between the organic compounds results in an increase in average molecular weight and cross-linking between molecules. The reaction is called "curing".

The physical properties of raw shellac and completely "cured" shellac are quite different. The most important of these properties, as far as phonograph discs are concerned, are elasticity and brittleness. Raw shellac is easily deformed and flows readily. Completely cured shellac deforms far less readily, is much more elastic, and is much more brittle. In addition, the "curing" process results in a denser resin which means that the "curing" process involves shrinkage of the material.

This condensation reaction appears to be the most important aging mechanism of the shellac in these discs. It is an internal reaction of the material and its rate is a function of storage temperature, storage humidity, and completeness of "cure". A semi-quantitative measure of "curing" is the solubility of shellac in alcohol. Raw shellac is completely soluble, completely "cured" shellac is insoluble, and the extent to which condensation has proceeded determines the degree of solubility of a shellac. The shellac of the test discs proved to be completely soluble in alcohol and became insoluble after ther-

* All other things being equal, the rate of a reaction is a function of the concentration of potential reacting elements. In this case, each condensation reaction which occurs reduces the concentration of potential reacting elements and thus the reaction rate for this internal reaction decreases exponentially as the reaction proceeds.

mal aging. It was concluded that the shellac in newly pressed discs approximates raw shellac in degree of condensation.

From a qualitative standpoint, this means that:

1. Since raw shellac behaves as a viscous liquid and exhibits but little elasticity, there can be no significant internal stresses or strains in a freshly pressed shellac disc.
2. As this condensation reaction proceeds in a stored disc, the disc will become less resilient and more brittle.
3. Freshly pressed discs can be easily warped and straightened, but aged discs, because of the cross-linking, will resist both warping and straightening.
4. There will be some dimensional changes during aging, but, because of the high percentage of filler, these will probably be minor changes.

In order to check these hypotheses, a group of simple laboratory experiments were made.

1. New discs were placed horizontally on a plate in a chamber alongside new vinyl discs and the temperature of the chamber was gradually raised to the softening point of the material (gauged by placing a disc in the off-vertical position and observing the temperature at which it warped from gravity loads in less than 15 minutes). The vinyl discs warped as shown in Figure 3 but the shellac discs did not.
2. The temperature of the discs was raised to and maintained at 150° F for one week. At the end of this time, the discs were removed and compared with new discs. The material of the aged discs was stronger, but much more brittle than that of the new discs.
3. A group of new shellac discs were intentionally warped by gravity loads applied by clamping the discs in a jig. Some of these warped discs were aged in the jig at 120° F and 100 percent R. H. for one week while the others were kept at room temperature. At the end of this period all of the discs had the same amount of warp and they were then placed horizontally on metal plates in a chamber in which the temperature was gradually raised to 120° F. The shellac discs which had not been aged were perfectly flat by the time the chamber came to temperature while the artificially aged discs retained some of the initial warp even after several hours exposure.
4. No noticeable changes in fidelity were observed to result from the mild acceleration of aging possible with these discs. Extreme conditions of temperature and humidity resulted in quick failure of the material by embrittlement.
5. These discs proved susceptible to fungal attack, this is probably due to the nutriment furnished by the organic materials other than shellac as the literature indicates shellac is fungi resistant.

A study of shellac formulations indicated that it would be useless to attempt to undertake any quantitative study of the properties of new or aged shellac discs because there is no such thing as a "typical" shellac formulation. Most popular discs made prior to World War II are usually classified as shellacs, and these discs have only one thing in common; they consist of a large amount of aggregate with a small amount of a natural or synthetic cementing agent. If one assumes that most of these discs contain shellac, one is still faced with the fact that shellac varies tremendously in its properties and that it comprises only one-third of the actual cementing agent used. In addition, the disc properties are as much a function of the filler as they are of the cementing agent and the fillers used run the gamut of natural cellulosic materials as well as of minerals. Of twelve old "shellacs" taken from the shelves of the Library of Congress for study, three of them contained no shellac at all; three contained 12 percent by weight of shellac with a mixture of 15 percent of other resins and gums; and the composition of the other discs is unknown.* This variation in composition was due to both experimentation on the part of manufacturers and the fluctuations of the shellac market.

One cannot, therefore, expect consistent behavior of stored shellac or shellac type discs. In general, they seem to have long storage lives if properly protected against the deleterious effects of moisture, heat, oxygen, fungi, and stress. The major differences between shellac and the vinyl shellac type formulations, as far as storage is concerned are:

1. Shellac discs are far more subject to damage by moisture (moisture increases the condensation reaction rate).
2. The extenders and modifiers used with shellac are far more susceptible to fungal damage than is pure vinyl.
3. The reaction rate of the major mechanism of chemical degradation of shellac decreases as the reaction approaches equilibrium while the corresponding reaction rate of vinyl is self-catalyzing. This indicates a slow, progressive embrittlement of the shellac disc as a mode of failure in a good storage environment as opposed to the increasingly rapid embrittlement of a vinyl disc at the end of its storage life. The behavior of the other formulations is completely unpredictable, and it can only be hoped that the very unstable formulations form but a small portion of any collection of discs. The only surveillance scheme which seems to be applicable to these discs consists of using skilled judgment to determine when a disc has become so embrittled that it should be re-recorded. Such embrittlement is often noticed by the decrease in flexibility of a disc or by playback (with good equipment) resulting in disc wear so

* From correspondence with disc manufacturers.

serious that the powder will dirty a soft white cloth wiped across the surface.

C. The Plastic Disc

Materials

The long playing (or microgroove) plastic disc cannot be regarded as just an improved shellac type disc in a study of the storage and preservation of sound recordings. The shellac type disc is made of 70 percent or more of a mineral or cellulose aggregate which is bound together and protected by resins and waxes. The nature of the binder is important in determining the physical properties and response to aging of these discs, but these qualities are more dependent on the other constituents than on the binder. The plastic disc is made of a thermoplastic into which no more than 25 percent of a filler or extender may be added for the purpose of decreasing the cost of the disc. The resin is all important in determining the physical properties and response to aging of these discs although their quality and storage life may be impaired by the use of fillers and extenders.

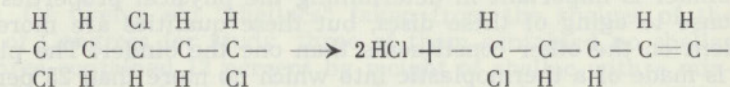
Plastic discs are made of polyvinyl chloride or polystyrene. Production costs of injection-molded polystyrene discs are lower than those of compression-molded polyvinyl chloride discs for large runs, but require a larger initial capital outlay. At present, polystyrene represents but a small proportion of the total stored disc population and was not studied in this program. A cursory comparison of the two materials indicates that the same storage environments and techniques which are recommended for polyvinyl chloride discs are indicated for polystyrene discs. The polyblend used for styrene discs seems to be somewhat more susceptible to oxidative degradation than the copolymer used for vinyl discs. At present, indications are that styrene will become a more common disc material in the future.

Polyvinyl chloride (PVC) is a synthetic resin which has been commercially produced in the United States for about 25 years. In the sound recording industry PVC is used in the manufacture of phonograph discs, magnetic tape backing, and magnetic tape binder. PVC is used as a binder in 78 RPM shellac type discs and for the manufacture of long playing (L.P.) plastic discs.

Figure 4 depicts a segment of the PVC molecule. The basic unit of this molecule is shown between dashed lines and the number of these units in one molecule (or n , the degree of polymerization) is usually of the order of 1000 or 2000. The long chain PVC molecules are randomly oriented, curled and intertangled together to form the plastic. The individual molecules are not bound to each other by primary valence bonds (except when cross-linking occurs as a

result of aging) but by relatively weak intermolecular forces. These forces are too great to provide a plastic having the exact physical properties required for the desired application, and internal plastification is used to provide a resin whose properties are satisfactory for the pressing of L.P. discs. This is accomplished by copolymerizing vinyl acetate with the vinyl chloride using a mass ratio of about 15 to 85.

Polyvinyl chloride degrades chemically when exposed to ultraviolet light or to heat. Phonograph discs need not be exposed to direct sunlight or other UV sources but they are exposed to heat in both processing and storage. Thermal degradation begins as dehydrochlorination which forms double bonds.



The first HCl molecules are probably lost because of impurities or the deviations from theoretical PVC molecular structure which occur in actual polymers and progressive dehydrochlorination is activated by the double bonds in the chain. The double bonds are sites for oxidative attack and cross-linking. Cross-linking is the binding of adjacent chain molecules together by primary valence bonds and is manifested by embrittlement, warping and cracking. The free hydrogen chloride evolved is a uniform catalyst for further dehydrochlorination so that a chain degradative reaction results (unless HCl is removed from the system). At processing and molding temperatures, the dehydrochlorination reaction rate becomes so rapid that PVC is noticeably degraded at the end of the molding cycle unless it is properly stabilized. Stabilization is accomplished by adding a chemical to the resin which does not prevent the degradation but controls it mainly by consuming the free HCl evolved. Sufficient effective stabilizer remains in a plastic phonograph disc to protect it for a very long time after pressing. In fact, the reaction rates are so slow that no discs were found in the examination of stored discs which had failed by chemical deterioration.

Study of Aging by Chemical Analysis

Chemical analysis was used to study the internal chemical reactions of vinyl discs. For this purpose, vinyl discs of identical formulation were obtained; an old disc pressed in 1949 and in excellent condition and a newly pressed disc. The discs were made of unfilled vinyl chloride-acetate copolymer with carbon black serving as a pigment and light stabilizer. The vinyl chloride-acetate copolymer decomposes in a number of ways which should leave chemical evidence. An initial decomposition stage is dehydrohalogenation in which the H and Cl are stripped off with the formation of HCl. In a similar manner, the acetate groups may also be removed. These

acids are also formed in the first stage of hydrolysis. Further hydrolysis may yield olefins, cyclic compounds or aromatic compounds. Air oxidation may bring about the formation of epoxy-type polymers which are easily cross-linked to form brittle products. Oxidation of the long chain polymer in the middle of the chain may give ketones; and mild oxidation of straight chains may give alcohols. Tribasic lead sulfate was used as a stabilizer for the vinyl plastic to neutralize the free acids and lead stearate was used as a lubricant and secondary stabilizer.

Samples of the vinyl discs were crushed and 3 grams of the material, weighed to the nearest milligram, were placed in a Soxhlet extractor with 90 ml of reagent grade acetone and 10 ml of distilled water,* and digested for one hour. The apparatus was allowed to cool and the pH of the liquid was determined with a pH meter and then the samples were evaporated almost to dryness. A small quantity of the residue was removed on a spatula and the physical appearance was observed. Comparative melting points were observed by heating the material on the spatula. The heating was continued and the flame color, smoke, and residue were observed. The residues were dried in an oven at 110° C for 15 minutes and weighed and the odor observed. The weight of this residue was then calculated as percent of water soluble material in the record. The residue was redissolved in 100 ml of acetone and filtered through the Seitz filter to remove the carbon black and lead salts. The filtrate was evaporated over a steam bath, then dried in an oven at 65° C for 30 minutes. This residue was dissolved in chloroform and an infrared spectrum run.

The results of the testing of the vinyl chloride-acetate records are summarized in Table 4. As with nitrocellulose records, there are definite differences between the old and new records in every case. Because the mechanisms of degradation are different, some of the trends in the data are in the opposite direction but are subject to reasonable interpretation. The acids liberated in the decomposition of the vinyl plastic must be thoroughly scavenged by the lead stabilizers as the pH of the old material is higher than that of the new. The low pH of the extract of the new record is probably due to the hydrolysis of some of the lead salts.

There are indications from the physical examination of the extract residue that the material from the old record contains considerable aromatic matter. The orange sooty flame and the phenolic smell are indicative of aromatic character, whereas the yellow, clean flame

* The use of the mixture of acetone and water has certain advantages over the use of either solvent alone. Water alone would do little extracting of the vinyl copolymer; acetone alone would not be a good medium for measuring pH. Acetone would dissolve the vinyl plastic and make the separation of the individual constituents more difficult. With the mixed solvent, water soluble materials are separated without dissolving the vinyl and dispersing the carbon black and lead salts.

Table 4
RESULTS OF TESTS ON VINYL CHLORIDE-ACETATE DISCS

	Aged Record	New Record
Weight	1. 2.8835 g 2. 3.3308 g 3. 4.1495 g	2.3572. 3.3408. 4.1646.
pH	1. Lost 2. 6.85 3. 6.85	5.4. 5.5. 5.7.
Physical Properties of H ₂ O Extract:		
Appearance, consistency	smooth, waxey	gelatinous, gritty.
Color	salmon pink	pale yellow.
Odor	aromatic	slightly sour.
Melting point	slightly above room temp	somewhat higher than aged record.
Flame color	orange	yellow.
Smoke	sooty	none.
Residue	very slight, white	small amount, white.
Odor after drying	phenol	palmitic acid.
% H ₂ O Extract	2.7	4.8.
Infrared Absorption	more 3.33 micron. considerably more 3.45 micron. considerably more 3.55 micron. considerably more 5.75 micron. considerably more 5.83 micron. more 7.00 $\pm$.2 micron. more 7.30 micron. more 7.55 micron.	more 8.23, 8.27 micron with separate fingers. more 12.7 to 13.2 micron absorption.

its utility is probably restricted to research analyses. The absorption and the odor of palmitic acid would indicate straight chain hydrocarbons. It is well known that vinyl polymers undergo loss of H and Cl to leave unsaturated bonds. It is possible to postulate the formation of aromatic compounds by a ring closure involving these bonds. The palmitic acid could be formed easily by the beta oxidation of the stearic acid formed from the lead stearate.

The infrared spectra of the two materials shown in Figure 5 may furnish the most accurate basis for establishing a quantitative measure of the degree to which decomposition has taken place, but

at 3.33 and the broad band absorption at 7.0 indicates that the old sample contains more olefins than the new material and substantiates the other indications of increasing unsaturation. The increase in absorption at 3.45, 3.55, 7.30, and 7.55 microns denotes an increase in alkyl groups from further polymerization and cross-linking of the aged vinyl copolymer and the formation of oxidation products. The absorption at 5.75 microns is due to esters. The acetate ester is present in both, but the loss of HCl would tend to increase the proportion of the acetate. Also, additional esters may be synthesized from the decomposition products. The increase in the absorption at 5.83 microns by the old vinyl shows the presence of carbonyl groups. The carbonyl group is known to be present during the second stage of oxidative degradation, and this absorption band might well serve as an indicator of the condition of the records. The greater absorption by the new material at 8.23, 8.27, and 12.7 to 13.2 microns is due to the presence of a greater amount of organic chloride. It is evident this reaction may be the primary degradation that is taking place.

These experiments justify the conclusion that a promising index of the chemical degradation of PVC discs is the determination of free HCl and ionic chloride and that a simple analytical technique analogous to the alizarin red technique for nitrocellulose motion picture film could be developed to determine degree of degradation.

Exploratory accelerated aging tests were used in an attempt to determine fidelity changes induced in vinyl discs by chemical degradation. No change in signal or noise was found to result from prolonged exposure to aging environments which did not induce failure of the disc from other causes.* When the exploratory tests failed to reveal significant chemical degradation within the limits of acceleration permitted by other parameters, a theoretical analysis of degradation rate was made using information available from the literature as well as information provided in private communications from manufacturers of the basic polymer. This analysis demonstrated that significant physical changes caused by internal chemical reactions would require several years of accelerated aging to be measurable and so further aging tests were not made.

Available information** indicates that, for the best formulations, the resin will not be seriously degraded until after the stabilizer is

* For example: (see Acetate Disc Section for Equipment and Techniques) (1) Unmodulated groove vinyl discs exposed to ultraviolet radiation for 275 hours showed no change in weight or groove noise. (2) Vinyl discs exposed to temperatures greater than 120° F warped so much as to become unplayable with no observable change in material. (3) Test frequency and unmodulated groove discs exposed to temperatures of 120° F for 1000 hours showed no change in weight, groove noise or signal.

** Based on tests in which the resin has been exposed to far worse environmental conditions than are phonograph discs, which should provide a conservative estimate.

no longer 100 percent effective and that, since the degradation reaction is catalyzed by free HCl, the potential life of a disc can be assumed equivalent to the life of the stabilizer. Neglecting the effects of irradiation and extrapolating the results of accelerated aging tests made by others, *failure by chemical degradation of a vinyl disc in ordinary library environments should not occur in less than a century*. This potential life can be doubled by storage at 70° F. The actual potential storage life with respect to chemical degradation of an individual disc is dependent on its exact formulation (including both kinds and amount of stabilizer and extender used) and its thermal history prior to acquisition (including processing and molding). Apparently, small changes in these parameters can change the potential storage life with respect to chemical degradation by several decades of years. For these reasons, *it appears that a surveillance procedure of inspection and test based on stabilizer exhaustion is the most feasible means of determining need for re-recording of these discs*. The development of a satisfactory surveillance procedure was not accomplished in this project, and is recommended for future investigation. Basically, it would be modeled on the surveillance technique presently used for motion picture film and a simple microanalytical technique based on the work of Wartman, and Druesedow and Gibbs.

Das Problem der sekundären elektroakustischen Wandler

von

F. A. LOESCHER

Das noch immer schwierigste Problem der heutigen Elektroakustik ist das der sekundären elektroakustischen Wandler. Die Aufgabe der Umwandlung von Schallvorgängen in formgetreue, elektrische Schwingungen kann heute als weitgehend gelöst betrachtet werden. Die Rückverwandlung dieser elektrischen Schwingungen in Bewegungen der Luftmoleküle, die ein in jeder Hinsicht dem ursprünglichen Schallvorgang entsprechendes Bild ergeben, ist jedoch in vielen Punkten noch immer unbefriedigend. Ziel dieser Arbeit ist es, eine gedrängte Übersicht über die Hauptprobleme der sekundären elektroakustischen Wandler zu geben.

Der primäre Umwandlungsvorgang, d. h., die Umsetzung des Originalklangbildes in ein „elektrisches Klangbild“ durch Mikrofone, sei als fehlerfrei angenommen und werde als Ausgangspunkt vorausgesetzt.

Die Leistungsverstärkung des zur Verfügung stehenden Frequenzgemisches macht beim heutigen Stand der Technik praktisch keine Schwierigkeiten mehr und ist mit höchster Qualität für alle vorkommenden Aufgaben möglich. Veränderungen in der Frequenzstruktur können bei diesem Verstärkungsvorgang beinahe vollkommen vermieden werden. Lineare, nichtlineare und Intermodulationsverzerrungen lassen sich mit vernünftigem Aufwand so klein halten, daß sie praktisch unhörbar bleiben. Auch die Aufrechterhaltung der genauen Phasenbeziehungen ist in ausreichendem Maße möglich. Auf jeden Fall sind die Veränderungen, die während des Verstärkungsprozesses entstehen, verschwindend klein gegenüber den Beeinträchtigungen, die das Klangbild bei seiner Rückverwandlung in Schall durch den sekundären Wandler erfährt.

Um dies deutlich zu machen seien einige Zahlen genannt: Verstärkerfrequenzgänge mit einer Linearität von ± 1 db in einem Frequenzbereich von 10 bis 50 000 Hz sind keine Seltenheit mehr. Zwangsläufig bleiben bei einem derart ausgeglichenen Frequenzgang auch die Phasendrehungen sehr klein. Nichtlineare Verzerrungen und Intermodulationsverzerrungen solcher Verstärker liegen bei der Nennleistung im allgemeinen unter 1% und damit praktisch unter der Wahrnehmbarkeitsgrenze. Demgegenüber sind in allen drei der genannten Punkte bei fast allen bekannten sekundären elektroakustischen Wandlern, worunter von hier ab ausdrücklich nur noch Lautsprecher verstanden werden sollen, die entsprechenden Werte sehr viel, häufig sogar um Größenordnungen schlechter.

Lautsprecher mit Intensitäts- und Phasensprüngen in den hohen Frequenzen von 10 bis 15 db bzw. 90° und mehr sind keine Seltenheit, und oft genug werden von solchen Lautsprechern in den Grenzbereichen nichtlineare Verzerrungen von 30% und mehr erzeugt.

Betrachtet man diese Verhältnisse, so erscheint es sinnlos, Verstärker allerhöchster Qualität zu verwenden, solange man nicht auf der Lautsprecherseite wenigstens in bezug auf die genannten Verhältnisse Besserung schafft.

Neben diesen, man möchte beinahe sagen „offensichtlichen“ und meßtechnisch noch verhältnismäßig einfach zu erfassenden Kriterien, kommen weitere Punkte für die Beurteilung der Gesamtqualität von Lautsprechern hinzu, die von entscheidender Bedeutung sind. Hierher gehört vor allem die durch die Lautsprecher verursachte Intermodulation. Über diese wird im allgemeinen tiefes Stillschweigen bewahrt, nicht zuletzt deshalb, weil deren Messung recht schwierig ist. Dem Verfasser dieser Zeilen ist keine Industriefirma bekannt, die sich der Mühe unterzieht, an Lautsprechern Intermodulationsmessungen durchzuführen, obwohl dies heute bei Verstärkern eine Selbstverständlichkeit geworden ist. Gerade Intermodulationsverzerrungen machen sich im Klangbild besonders störend bemerkbar; deren Entstehung aber ist bei den heute fast ausschließlich verwendeten dynamischen Lautsprechern kaum zu vermeiden. Verantwortlich sind hierfür einmal die bei vielen Systemen immer noch zu findenden prinzipiellen Mängel in der mechanischen bzw. magnetischen Konstruktion der Systeme sowie der Doppler-Effekt, der auftritt, wenn das betreffende Einzel-Lautsprechersystem für die Wiedergabe eines breiten Frequenzbandes verwendet wird. Letzteres leuchtet ein, wenn man bedenkt, daß die großen Amplituden der Membran bei tiefen Frequenzen rhythmisch und mit großer Geschwindigkeit deren Abstand vom Ohr des Zuhörers verändern, so daß damit auch die durch sie gebildete Schallquelle für die hohen Frequenzen sich dauernd hin und her bewegt. Daß der Doppler-Effekt bei sogenannten Breitband-Lautsprechern, die das gesamte Frequenzband wiedergeben sollen, nicht noch viel stärker in Erscheinung tritt als dies gehörmäßig festzustellen ist, liegt daran, daß die meisten dieser Lautsprecher selten eine untere Frequenzgrenze von 40 Hz unterschreiten, so daß bis zur unteren Grenze des Hörbereichs immer noch mehr als eine ganze Oktave fehlt.

Die Behauptung, daß das Fehlen der untersten Oktave unwichtig, weil nicht zu hören sei, kann durch den praktischen Versuch widerlegt werden. In diesem Zusammenhang sei angeführt, daß die Orgel eine Anzahl von Pfeifen (32 Fuß) enthält, deren „Ton“ mit dem Ohr kaum wahrgenommen wird, deren Wichtigkeit für das gesamte Klangbild der Orgel aber unbestritten ist. Über die Vorgänge, die diese an der untersten Hörbarkeitsgrenze liegenden Schalleindrücke in unserem Ohr auslösen, ist leider noch wenig bekannt. Ihrem Vorhandensein im Klangbild dürfte jedoch eine nicht zu unter-

schätzende Bedeutung im Rahmen des gesamten Hörvorgangs zukommen, und zwar in bezug auf eine ausgleichende Wirkung und auf eine Verdeckung von Verzerrungen im übrigen Hörbereich.

Noch aus einem anderen Grunde sollte die Erreichung der unteren Frequenzgrenze bei der Lautsprecher-Wiedergabe angestrebt werden. Die Lautsprecher-Membran und ihre Aufhängung stellen ein schwingungsfähiges Gebilde dar, dessen Eigenresonanz u. a. die untere Frequenzgrenze bestimmt, die der betreffende Lautsprecher erreicht. Unterhalb der Eigenresonanz fällt die Schalldruckkurve im allgemeinen steil ab. Neben dieser begrenzenden Wirkung hat die Eigenresonanz noch die unangenehme Eigenschaft, daß durch sie besonders ausgeprägte Ein- und Ausschwingvorgänge hervorgerufen werden, die das Klangbild entstellen, sofern man nicht für eine künstliche Bedämpfung sorgt. Es erscheint daher sehr viel sinnvoller, prinzipiell die Eigenresonanz des schwingenden Systems aus dem Hörbereich heraus zu verlegen, wie dies in der Ela-Technik, z. B. bei den primären Wandlern (Mikrofonen und Tonabnehmern), verwirklicht wird. Die geringe Berücksichtigung, die diese Maßnahme bisher gefunden hat, dürfte in erster Linie auf die Schwierigkeiten zurückzuführen sein, die hierdurch konstruktiv und fertigungstechnisch entstehen. Dennoch wird es unumgänglich nötig sein, diesen Weg zu beschreiten, sofern man sich dem Ziele einer weiteren Angleichung der elektroakustischen Wiedergabe an die Originaldarbietung nähern will. Es sind ja nicht allein die allertiefsten Frequenzen, die von einer solchen Maßnahme profitieren, sondern die Resonanzfreiheit der Lautsprechersysteme wirkt sich außerordentlich günstig auf den gesamten unteren Tonbereich aus. Die Wichtigkeit dieses Tonbereichs aber kann nicht genug unterstrichen werden, bestimmt er doch in hohem Maße den Eindruck der Unmittelbarkeit, den eine Wiedergabe erreicht. Fehlende oder zu schwache Bässe werden vom Ohr mit dem Begriff der Entfernung verknüpft und die Auswertung der durch ein solches Klangbild erzeugten Nervenströme im Gehirn ergibt den Eindruck eines von weitem gehörten Klanggeschehens. Dies wird leicht verständlich, wenn man die physiologischen Hörkurven (Fletcher und Munson) in diesem Zusammenhang berücksichtigt; entsprechend diesen Kurven wird ein Mangel an Tiefen in einem Klangkörper bekannter Zusammensetzung aufgrund der Hörerfahrung mit einer entfernten Schallquelle in Zusammenhang gebracht.

In diesem Zusammenhang wird auch klar, wie sehr es bei der elektroakustischen Wiedergabe auf ein ausgewogenes Klangbild ankommt. Das erstrebenswerte Ziel ist eine streng lineare Reproduktion des bei der ursprünglichen Darbietung vorhandenen Schalldruckes für alle Frequenzen im Hörbereich. Selbst wenn wir uns bei unserer Betrachtung allein auf das Verhalten der sekundären Wandler, also der Lautsprecher selbst, beschränken, zeigt eine Untersuchung der heute üblichen Wandlerarten, daß keine einzige von ihnen allein in der Lage ist, die bestehenden Forderungen zu erfül-

len. Aussichtsreicher erscheint die Aufspaltung des gesamten zu übertragenden Frequenzbereiches in kleinere Einzelbereiche und die Benutzung verschiedener, für die Übertragung der Einzelbereiche besonders geeigneter Wandlertypen.

Um diesen Gedankengang klarer zu machen, seien die Eigenschaften der Wandler-Kategorien kurz besprochen, wobei auf eine Beschreibung konstruktiver Einzelheiten verzichtet wird, da diese als im großen und ganzen bekannt vorausgesetzt werden können.

Die verschiedenen, unter diesem Gesichtswinkel infrage kommenden Wandlertypen sind: Piezoelektrische Wandler; Elektrostatische Wandler; Elektromagnetische Wandler; Elektrodynamische Wandler; Thermoelektrische Wandler; Coroneffekt-Wandler.

Der piezoelektrische Wandler hat als Lautsprecher nur geringe Bedeutung erlangt. Dagegen kommt das Arbeitsprinzip bis zu einem gewissen Grade bei Kopfhörern und Hörkissen zur Anwendung. Der Grund hierfür ist in der begrenzten Fläche zu suchen, mit der Kristallelemente hergestellt werden können, sowie in der Schwierigkeit, die Dicke der Kristallplatten, die zum Aufbau der Elemente dienen, unter einen gewissen Wert zu senken. Beides setzt der Abstrahlung tiefer Frequenzen eine Grenze, so daß der Kristall-Lautsprecher am ehesten für die Hochtön-Wiedergabe infrage kommt. Hier wäre an die Verwendung von Klangzellen als Direktstrahler zu denken, da die Einschaltung von Abstrahl-Membranen zwischen Kristallelement und Luft alle Vorteile dieses Wandlerprinzips wieder zunichte macht.

Der *elektrostatische* Wandler dürfte im Augenblick das geeignetste Mittel zur Wiedergabe des mittleren und hohen Tonbereichs sein. In seiner Ausführungsform mit symmetrischem Aufbau und metallisierter Kunststoffmembrane geringster Dicke (5 bis 10 Mikron) können durch ihn mit Leichtigkeit Frequenzgänge großer Breite bei Schwankungen des Schalldruckes von weniger als 3 db verwirklicht werden. Dabei sind die nichtlinearen Verzerrungen kaum meßbar. Besonders charakteristisch ist das Fehlen der üblichen, dicht benachbarten Spitzen in der Übertragungskurve, die bei jedem mit schwerer Membran ausgestatteten Lautsprecher unvermeidlich sind, und die Hand in Hand mit Phasendrehungen gehen. Gerade diese Sprünge in der Übertragungscharakteristik aber sind es, welche die unterschiedlichen Klangfärbungen bedingen, die bei Lautsprechern mit schwerer Membran und zentralem Antrieb so außerordentlich störend in Erscheinung treten, gar nicht zu reden von dem Hin- und Herspringen der virtuellen Schallquelle bei stereophonischer Wiedergabe, für das ebenfalls diese Intensitäts- und Phasensprünge in erster Linie verantwortlich zu machen sind. All das fehlt, wie gesagt, beim richtig gebauten und richtig zum Einsatz gebrachten elektrostatischen Lautsprecher. Was bei diesem dagegen bisher nicht restlos gelungen ist, ist seine Verwendbarkeit für die Wiedergabe sehr tiefer Frequenzen. Zwar sind heute schon

Modelle auf dem Markt, deren untere Frequenzgrenze mit 40 Hz angegeben wird, jedoch kann der aufmerksame und geschulte Hörer mit Leichtigkeit feststellen, daß bei der Wiedergabe von Programmmaterial mit starken Tiefen nicht nur diese unsauber kommen, sondern auch die Wiedergabe der hohen Frequenzen in Mitleidenschaft gezogen wird, wahrscheinlich infolge von Intermodulationsvorgängen, die unter diesen Betriebsbedingungen auftreten. Die Verwendung derartiger Lautsprecher ausschließlich zur Wiedergabe eines Frequenzbereiches von etwa 200 bis 20 000 Hz und die Übertragung des restlichen Bereiches von 15 bis 200 Hz durch ein hierfür besonders geeignetes, elektrodynamisches System, wenn möglich noch unter Verwendung getrennter Verstärker mit entsprechendem Frequenzgang, führt zu Ergebnissen, die zu dem Besten zählen, was in bezug auf die Linearität des Schalldruckverlaufs und auf Verzerrungsfreiheit heute erreicht werden kann.

Der elektromagnetische Wandler hat die Bedeutung, die ihm in der Frühzeit der Elektroakustik zukam, heute verloren. Das dürfte in erster Linie daran liegen, daß der Qualitätssprung zu dem ihn ablösenden elektrodynamischen Lautsprecher damals so groß war, daß auf lange Sicht kein Bedarf mehr bestand, einen Ersatz für diesen zu suchen. Weiterhin war die Fertigung der elektrodynamischen Lautsprecher verhältnismäßig einfach, und so verschwand der elektromagnetische Lautsprecher vollkommen in der Versenkung. Vom Gesichtspunkt des Arbeitsprinzips aus gesehen, erscheint dies ungerechtfertigt. Eine ideenreiche Neukonstruktion unter Verwendung moderner Werkstoffe müßte u. E. zu einem Ergebnis führen, das zumindest nicht schlechter zu sein brauchte, als die heute mit dynamischen Lautsprechern erzielten Resultate; sehr wahrscheinlich wäre es sogar möglich, bei solchen Lautsprechern einen Wirkungsgrad zu erzielen, der wesentlich höher liegt, als er bei den dynamischen Lautsprechern üblich ist.

Der elektrodynamische Wandler beherrscht heute fast ausschließlich das Feld. Bedauerlich ist, daß seine potentiellen Möglichkeiten, die bereits weiter oben angedeutet wurden, bisher keineswegs voll zur Auswertung gelangen. Das elektrodynamische Wandlerprinzip scheint prädestiniert für die Wiedergabe tiefer Frequenzen. Gerade in bezug auf diese fehlt aber immer noch der entscheidende Schritt, nämlich der zur Wiedergabe auch der Frequenzen bis hinab zur unteren Hörbarkeitsgrenze. Infolge seiner weiten Verbreitung sei dem dynamischen Lautsprecher hier ein etwas größerer Raum gewidmet und auch die mit seinem Arbeitsprinzip in Zusammenhang stehende Frage etwas ausführlicher behandelt.

Im Gegensatz zum elektrostatischen Lautsprecher moderner Konstruktion, bei dem die Masse der schwingenden Membran in der Größenordnung von einigen Milligramm liegt, trägt die schwingende Masse beim dynamischen Lautsprecher durchweg mehrere Gramm. Diese große dynamische Masse ist der Hauptgrund für die

ungleichmäßige und aus einer Unzahl einzelner Resonanzspitzen zusammengesetzte Wiedergabecharakteristik dieses Lautsprechertyps. Bis zu einer oberen Grenzfrequenz von etwa 1000 Hz schwingt die Membran dieser Lautsprecher als Ganzes in der Art eines Kolbens, wobei mit fallender Frequenz die Amplitude der Schwingungen quadratisch wächst. Oberhalb der angegebenen, ungefähren Grenze tritt ein unterteiltes Schwingen der Membran ein. Dieses unterteilte Schwingen der Membran und die daraus resultierenden undefinierten Verhältnisse sind der Grund für die unausgeglichene Schalldruckkurve der dynamischen Lautsprecher.

Maßgebend für die Schallabstrahlung in den tiefen Frequenzen ist das Verschiebungsvolumen der Luft, das durch den Lautsprecher in Bewegung gesetzt wird. Dieses ist direkt proportional der Fläche und der Amplitude der Membran.

Zur Wiedergabe einer Schwingung von 30 Hz bei Erzeugung eines Schalldruckes von einem akustischen Watt ist — unter Voraussetzung idealer Bedingungen für die Schallabstrahlung — eine mit einer Amplitude von 10 mm schwingende Membranfläche von 47 cm Durchmesser nötig. Beides stellt bei üblichen Konstruktionen dynamischer Lautsprecher ungefähr die obere Grenze dessen dar, was sich praktisch verwirklichen läßt. Dabei ist zu berücksichtigen, daß diese Schwingungen unverzerrt wiedergegeben werden müssen. Grenzen hierfür setzt das homogene Feld des Erregermagneten. Bewegt sich die Schwingspule des Lautsprechers aus dem homogenen Feld heraus, so sinkt augenblicklich die auf sie wirkende Antriebskraft und es tritt eine Abflachung der Kurvenform der wiedergegebenen Schwingung, d. h., eine starke Verzerrung auf. Ein dynamischer Lautsprecher zur Wiedergabe tiefer Frequenzen ist daher nur bis zu derjenigen Aussteuerung brauchbar, bei der seine Schwingspule noch im homogenen Feld des Erregermagneten bleibt. Es ist deshalb im allgemeinen richtiger, die Amplitudenbelastung solcher Lautsprecher nicht zu hoch zu treiben und anstelle einer Vergrößerung der Amplitude eine Vergrößerung der schwingenden Fläche anzustreben. Das einfachste Mittel hierzu ist die Verwendung mehrerer gleicher parallel geschalteter Lautsprecher. Der Grund für die Forderung der Parallelschaltung wird weiter unten ersichtlich.

Neben diesen, nur die Intensitätsverhältnisse bei der Abstrahlung tiefer Frequenzen betreffenden Bedingungen, ist beim dynamischen Lautsprecher das Feld des Erregermagneten von ausschlaggebender Bedeutung. Es bestimmt maßgeblich den Wirkungsgrad sowie die Bedämpfung der Ein- und Ausschwingvorgänge seiner Membran. Letztere können bei solchen massebehafteten, schwingenden Systemen außerordentlich störend in Erscheinung treten. Dies wird klar, wenn man sich vergegenwärtigt, daß bei jedem impulsartigen Vorgang die Membran u. U. aus der Ruhelage oder gar aus einer gegenläufigen Bewegung heraus auf sehr hohe Geschwindigkeit beschleunigt werden muß, um am Ende des Impulses ebenso plötzlich wie-

der in den Ruhezustand zurückkehren zu müssen, wenn eine wirklich formgetreue akustische Übertragung bzw. Umsetzung des Impulses zustande kommen soll. Wie weit wir heute noch von der Lösung dieses Problems entfernt sind, zeigt am besten die unbefriedigende Wiedergabe von Schüssen. Es ist ja auch einleuchtend, daß Impulsflankensteilheiten mit Anstiegszeiten in der Größenordnung von Mikrosekunden, wie wir sie aus der Impulstechnik kennen und wie sie bei Schallvorgängen der genannten Art annähernd erreicht werden, mit solch groben, massebehafteten Systemen nicht einwandfrei reproduzierbar sind. Glücklicherweise sind jedoch im allgemeinen die Anforderungen nicht so hoch wie in dem genannten Beispiel. Bei Sprach- und Musikwiedergabe können recht beträchtliche Zeiten für diese Ein- und Ausschwingvorgänge zugelassen werden, bevor sie wirklich ausgesprochen störend in Erscheinung treten. Es besteht dabei eine Abhängigkeit von der Frequenz, wobei die zulässigen Zeiten nach den tiefen Frequenzen hin zunehmen. Im mittleren Frequenzbereich zwischen 5000 und 2000 Hz liegen Verzögerungszeiten von etwa 3 bis 5 ms normalerweise noch unter der Wahrnehmbarkeitsgrenze und unterhalb von 100 Hz dürfen die Ein- und Ausschwingzeiten sogar 30 ms und mehr betragen bevor sie die Wiedergabe entscheidend beeinträchtigen. Dennoch ist natürlich klar, daß ein Lautsprecher umso besser sein wird, je kürzer diese Ein- und Ausschwingzeiten und die damit zusammenhängenden Ausgleichsvorgänge sind. Das geeignetste Mittel dies zu erreichen ist eine Bedämpfung der schwingenden Teile. Eine solche kann auf mechanischem, akustischem oder elektrischem Wege erfolgen. Da mechanische Dämpfungsmaßnahmen den Wirkungsgrad stark beeinträchtigen, kommen sie nur bedingt in Frage. Akustische Bedämpfungen können sehr wirkungsvoll sein und lassen sich auch in frequenzabhängiger Form ausführen, so daß hierdurch ein Mittel gegeben ist, nur diejenigen Teile des Frequenzspektrums zu bedämpfen, für die die Dämpfung einen Sinn hat. Die auch bei der akustischen Bedämpfung auftretende Erniedrigung des Wirkungsgrades kann hierdurch kleiner gehalten werden, als dies sonst der Fall wäre.

Die elektrische Bedämpfung stellt im allgemeinen den einfachsten und wirkungsvollsten Weg dar und beeinträchtigt nicht den Wirkungsgrad des Lautsprechers. Sie tritt automatisch bei Verwendung eines Verstärkers mit niedrigem Innenwiderstand ein. Jedes Über- und Ausschwingen der Membran erzeugt in der Schwingspule eine elektromotorische Kraft solcher Polarität, daß das hierdurch von der Schwingspule gebildete Magnetfeld diesen unerwünschten Schwingungsvorgängen entgegenwirkt. Der Grad der Bedämpfung wächst mit sinkendem Innenwiderstand des Verstärkers und mit zunehmender Feldstärke des Erregermagneten. Aus obigem geht hervor, wie wichtig ein starkes Erregermagnetfeld für den dynamischen Lautsprecher ist. Leider wird in dieser Beziehung bei den heutigen dynamischen Lautsprechern erheblich gesündigt. Die ausschließ-

liche Verwendung von Permanentmagneten zur Erzeugung des erregenden Feldes ist aus Bequemlichkeitsgründen üblich geworden. Bei mittleren Lautsprechersystemen lassen sich mit solchen Magneten bei normalem Aufwand an Magnetmaterial Feldstärken bis etwa 12 000 Gauß im Luftspalt erreichen, während der normale Wert bei etwa 8000 Gauß liegt. Da Bedämpfung und Wirkungsgrad mit dem Quadrate der Feldstärke wachsen, wirkt sich eine Verstärkung der Lautsprecher-Magnete ganz bedeutend aus und erhöht die Qualität der Lautsprecher erheblich. Mit wachsender Systemgröße muß naturgemäß der Magnet vergrößert werden. Wünscht man bei solchen großen Systemen Feldstärken in der Größenordnung von 16 000 Gauß, die von Rechts wegen angestrebt werden sollten, so gelangt man zu Permanent-Erregermagneten einer Größe und eines Preises, die kaum noch tragbar sind. Es scheint daher an der Zeit — wie so häufig in der Technik — wieder einmal einen Schritt rückwärts zu tun und zum erprobten und in dieser Beziehung viel günstigeren Elektro-Magneten zurückzukehren, zumindest dort, wo man höchste Qualität anstrebt, vor allem aber bei Tiefton-Lautsprechern.

Die Forderung einer möglichst starken elektrischen Bedämpfung ist auch der Grund, der die oben erwähnte Parallelschaltung mehrerer Lautsprecher zu einem Obligatorium macht. Werden mehrere Lautsprecher nicht in Parallel-, sondern in Serienschaltung betrieben, so ist jeder einzelne von ihnen durch den bzw. die vorgeschalteten Lautsprecher vom Verstärkerausgang getrennt. Der Innenwiderstand des Verstärkers kann also nicht als Kurzschluß für die Schwingspule zur Wirkung kommen, und die Ausgleichsvorgänge werden entsprechend wenig bedämpft.

Zu den bereits aufgezählten Voraussetzungen für einen qualitativ hochwertigen dynamischen Lautsprecher kommt noch die Forderung nach einem möglichst niedrigen Gewicht der schwingenden Teile. Sowohl Schwingspulen- als auch Membrangewicht müssen so niedrig wie nur möglich gehalten werden. Das ist logisch, wenn man bedenkt, daß die kinetische Energie solcher schwingenden Gebilde proportional zu ihrer Masse wächst und dementsprechend die Ein- und Ausschwingvorgänge beeinflusst werden.

Obige Schilderung der Einzel-Faktoren, die für die Qualität eines dynamischen Lautsprechers maßgebend sind, zeigt deutlich, wie komplex das Problem selbst bei diesem so einfach erscheinenden Wandler ist. Dabei wurden nur einige der wichtigsten Fragen gestreift und alle quantitativen Erörterungen beiseite gelassen.

Bereits vor einigen Jahren ist ein Wandlertyp verwirklicht worden, dem die schon von Edison stammende Idee der Nutzbarmachung eines thermischen Effektes für die Schallübertragung zugrunde liegt. Im Gegensatz zu Edisons „Thermophon“, dessen Wirkungsprinzip auf der mit der Tonfrequenz schwankenden und über einen Glühdraht auf die Luft übertragenen Joule'schen Wärme bestand, arbeitet das moderne „Ionophon“ mit einer Ionenkammer, in der der

Ionenfluß moduliert und in Wärme umgesetzt wird. Die Anpassung der Ionenkammer an die umgebende Luft erfolgt über einen Exponentialtrichter. Die Ionenkammer und der dieser angepaßte kleine Trichter begrenzen die Verwendung des Ionophons ausschließlich auf die Hochtön-Wiedergabe. In bezug auf Frequenztreue und Freiheit von Verzerrungen ist es hier unübertroffen. Seine Nachteile sind die starke Bündelung der abgestrahlten hohen Frequenzen, der geringe Wirkungsgrad, ein gewisses Grundrauschen und die Tatsache, daß bereits bei leichter Übersteuerung der Ionenübergang „ausgeblasen“ und der Lautsprecher erst nach einer Wartezeit von einigen Minuten wieder betriebsfähig wird.

Der Coroneffekt-Wandler ist heute noch im Versuchsstadium, und es ist zweifelhaft, ob er je darüber hinauskommen wird. Er beruht auf dem bekannten Corona-Effekt, der in der Bildung einer Luftbewegung in der Nähe von Metallspitzen besteht, an denen eine sehr hohe Spannung liegt. Der von den Spitzen abstrahlende „Corona-Wind“ wird moduliert und versetzt unmittelbar die umgebende Luft in Schwingungen. Wie auch der Ionen-Lautsprecher arbeitet dieser Lautsprecher-Typ masselos und scheint dementsprechend prädestiniert für die Hochtönübertragung. Ob er jedoch je zu einer Bedeutung gelangen wird, darf bezweifelt werden.

Betrachten wir die einzelnen Wandlertypen zusammenfassend, so kann festgestellt werden, daß im Augenblick wirklich interessant eigentlich nur der elektrostatische und der elektrodynamische Lautsprecher sind, wobei der elektromagnetische Lautsprecher einer konstruktiven Neubearbeitung und Überprüfung würdig erscheint. Unter Berücksichtigung der charakteristischen Eigenschaften des elektrostatischen und des elektrodynamischen Typs, liegt eine kombinierte Verwendung beider Typen nahe, denn sie bilden gegenseitig eine ausgezeichnete Ergänzung. Dabei wäre sinngemäß der elektrodynamische Typ zur Tieftön-Übertragung, der elektrostatische für die Hochtön-Wiedergabe einzusetzen.

Im Rahmen der bisherigen Ausführungen wurden bewußt nur die Hauptmerkmale sowie konstruktive und elektrische Gegebenheiten der einzelnen Wandler-Typen besprochen. Zu diesen gesellen sich jedoch noch die durch akustische Zusammenhänge entstehenden Probleme. Im Vordergrund steht hier vor allem das Anpassungsproblem der schwingenden Flächen des Wandlers an die umgebende Luft. Bedeutung hat dieses Problem in erster Linie für die tiefen Frequenzen, bei denen große Luftvolumina bewegt werden müssen. Einwandfrei zu lösen ist es durch die Verwendung von Exponentialtrichtern, jedoch nehmen diese unglücklicherweise für Wohnräume untragbare Dimensionen an, wenn die Wiedergabe auch der unteren Grenzfrequenz gefordert wird und die Wiedergabecharakteristik ohne wesentliche Intensitätsschwankungen verlaufen soll.

Unumgänglich nötig für jegliche Tiefenwiedergabe ist ein Abschluß der Vorderseite des Tiefenstrahlers gegen seine Rückseite,

um einen Druckausgleich der gegenphasig bewegten Luftmengen zu verhindern. Geschieht ein solcher Abschluß durch Einkapselung der Rückseite des Lautsprechers in einen gedämpften, fest verschlossenen Kasten, so ist eine Kompression der eingeschlossenen Luft die Folge und damit erhöht sich die Eigenresonanz der schwingenden Teile des Lautsprechers. Hand in Hand damit geht zwar auch eine Bedämpfung, die sich aber ihrerseits wieder in einer Erniedrigung des Wirkungsgrades auswirkt. Tragbar klein kann der Einfluß solcher fester, rückwärtiger Abschlüsse für den Tiefton-Lautsprecher nur dann gehalten werden, wenn der Luftraum hinter dem Lautsprecher ein Volumen von mehr als 1 cbm besitzt.

Wird anstelle eines festen Abschlusses auf der Rückseite des Lautsprechers ein teilweise offenes Gehäuse vorgesehen, so ist die Entstehung von Resonanzerscheinungen unvermeidlich. Zwar können diese durch die Ausnutzung entstehender Bandfilterwirkungen sogar zu einer gewissen Verstärkung der Tiefenwiedergabe herangezogen werden, man muß sich aber bei solchen Anordnungen immer darüber im Klaren sein, daß man sich damit vom Ziele einer wirklich linearen Wiedergabe entfernt und sowohl in bezug auf die Intensitäts- als auch auf die Phasenverhältnisse Kompromisse eingeht, die keinswegs wünschenswert sind. So bleibt als günstigste Lösung eine Trennung der Vorderseite von der Rückseite des Tiefton-Lautsprechers durch eine Schallwand oder die Wand eines Raumes. Beträgt die Gesamtweglänge zwischen Vorder- und Rückseite des Lautsprechers um diese Wand herum 8 m oder mehr, so ist man sicher, daß die Voraussetzungen für die Wiedergabe auch der untersten Grenzfrequenzen von der Abstrahlungsseite her geschaffen sind.

Neben den akustischen Anpassungsproblemen ist wohl das größte die scharfe Bündelung der hohen Frequenzen in der Achsrichtung der meisten Wandler. Mit Ausnahme des im ersten Versuchsstadiums stehenden Corona-Lautsprechers und des elektrostatischen Großflächen-Lautsprechers, bei denen der Richteffekt gegenüber anderen Systemen gar nicht bzw. in weitaus milderer Form auftritt, leidet die Wiedergabe aller heutigen Lautsprecher unter dieser Erscheinung. Besonders unangenehm wird diese Bündelung der hohen Frequenzen durch die Tatsache, daß der Hauptanteil der in den einzelnen Übertragungsliedern entstehenden Verzerrungen in das Gebiet der hohen Frequenzen fällt sowie durch die Intensitäts- und Phasensprünge in der Wiedergabekurve.

In geschlossenen Räumen überwiegt nur in allernächster Nähe des Lautsprechers das direkt abgestrahlte Schallfeld. Bereits in geringer Entfernung vom Lautsprecher ist der durch die Wände reflektierte Schallanteil im allgemeinen größer als der direkt vom Lautsprecher empfangene. Nur in einer schmalen Zone in der Mittelachse des Lautsprechers bleibt für die hohen Frequenzen der direkte Schallanteil größer, da dieser Teil des Frequenzbandes von der Lautsprechermembran stark gerichtet abgestrahlt wird. Der Gedanke, die

Schallverteilung im Raume durch die Verwendung einer größeren Anzahl verschieden ausgerichteter Lautsprecher gleichmäßiger zu gestalten, wurde im Regie-Lautsprecher des NWDR (HARZ und KOESTERS, ENKEL) verwirklicht. Der Regie-Lautsprecher des NWDR weist, verglichen mit normalen Lautsprechern, ein sehr ausgeglichenes Richtdiagramm auf. Jedoch enthält auch dieses noch deutlich mit dem Ohr wahrnehmbare Unregelmäßigkeiten, die durch Abschreiten des Raumes um den Lautsprecher leicht feststellbar sind.

Zur Verwirklichung eines gänzlich homogenen Schallfeldes wurde im Experimental-Studio Gravesano der bereits in Nr. 13/14 der Gravesaner Blätter beschriebene Kugelstrahler mit doppelter Drehbewegung des Lautsprecherträgers entwickelt (Abb. 1). Das mit dieser Anordnung erzielte Schallfeld ist im ganzen Wiedergaberaum praktisch homogen, und die den üblichen, ruhenden Lautsprechern — auch den Kugelstrahlern — eigene unangenehme Schärfe der Wiedergabe, die auf die unverändert gerichtete Höhenabstrahlung der Einzellautesprecher zurückzuführen ist, fehlt vollkommen.

Charakteristisch ist für diesen Lautsprecher, daß im ruhenden Zustand der Kugel eine wesentlich stärkere Höhenwiedergabe wahrgenommen wird als während der Drehbewegung. Der Grund für diese Erscheinung ist in der gleichmäßigen Verteilung der abgestrahlten hohen Frequenzen über die gesamte Oberfläche der Wände des Wiedergaberaumes zu suchen, die durch die Drehbewegung bewirkt wird. Die Höhen gelangen bei dieser Art der Abstrahlung nur zu einem ganz geringen Prozentsatz als direkter Schall an das Ohr des Zuhörers, während ihr Hauptanteil als reflektierter Schall dort eintrifft. Die Dämpfung, die sie bei der Reflexion an den Wänden erfahren, ist im allgemeinen wesentlich stärker als die Dämpfung, welcher die tiefen Frequenzen dabei unterworfen sind.

Die eben beschriebene Reflexion ist eine diffuse und der Grund dafür, daß der Schallstrahler als eigentliche Schallquelle gegenüber dem reflektierten Schall kaum noch hervortritt; damit ist diese Lautsprecheranordnung praktisch frei von jeder Richtwirkung. Diese Eigenschaft wiederum bedingt die erstaunlich plastische Wiedergabe, die mit ihr erzielt wird. Trotz Fehlens einer Ortungsmöglichkeit für die Einzelschallquellen wirkt die Wiedergabe mit diesem Schallstrahler dreidimensional.

Es steht zu erwarten, daß eine Zweikanal-Übertragung, die mit einem Paar derartiger, bewegter Kugellautsprecher durchgeführt wird, eine Stereo-Wiedergabe ermöglicht, die, zumindest in bezug auf das statische Verhalten des Klangbildes, ein Maximum dessen darstellt, was mit heutigen Mitteln erreicht werden kann.

Ein zweites, verbessertes Modell eines bewegten Kugellautsprechers, das auch für Versuche mit Zweikanal-Stereofonie zum Einsatz kommen soll, wird in Kürze fertiggestellt sein.

Weiterhin arbeitet das Experimentalstudio Gravesano bereits seit

längerer Zeit an der Verbesserung verschiedener Wandler-systeme mit dem Ziel, die weiter oben besprochenen Mängel der heutigen Lautsprecher soweit wie möglich zu beseitigen.

Über die Ergebnisse dieser Arbeiten soll in einer der nächsten Nummern der Gravesaner Blätter berichtet werden.

LITERATUR

- Skudrzyk, E. Die Grundlagen der Akustik, Springer-Verlag, Wien 1954
 Fischer, F. A. Grundzüge der Elektroakustik, Fachverlag Schiele & Schön GmbH., Berlin, 1959
 Saic F. C. Elektroakustik, Springer-Verlag, Wien, 1952
 Rickmann, E. und Heyda, H. Elektroakustisches Taschenbuch, Georg Neumann & Co., Berlin
 Bürck, W. Betrachtungen zur stereophonen und pseudostereophonen 2-Kanal-Wiedergabe in der Praxis, Gravesaner Blätter Nr. 15/16

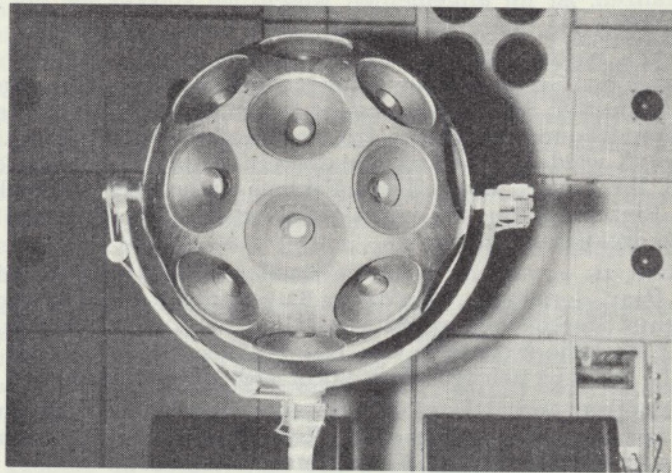


Abb. / Fig. 1

The Problem of the Secondary Electro-Acoustical Transducers

by

F. A. LOESCHER

The secondary electro-acoustical transducers still constitute electroacoustic's most difficult problem. The problem of changing sound into its equivalent electrical waves can now be pretty well regarded as solved. But the solutions to the problem of changing these electrical vibrations back into sound which is in every respect the equivalent of the original, are still unsatisfactory on many points. The aim of this paper is to present a very brief synopsis of the main problems concerning the secondary electro-acoustical transducers.

The primary change, from the original sound to electrical vibrations by microphones, may be regarded as faultless. There are also no problems any longer about power-amplification of the frequency mixture supplied by the microphones, which can be had top quality for all possible applications. Alterations to the frequency structure can be almost completely avoided at this stage. Linear, nonlinear and intermodulation distortions can, for a reasonable outlay, be kept so low as to be practically inaudible. The maintenance of exact phase relationships, too, is possible to a sufficient extent. At any rate, the alterations occurring during amplification are negligible compared to the damage the tonal object undergoes during the change back from electrical vibrations into sound by the secondary transducer.

A few figures may make this clear. Amplifier response within ± 1 db between 10 and 50 000 c/s is no longer a rarity. Such flatness in the response necessarily leads to very small values of phase shift. Nonlinear and intermodulation distortion of such amplifiers, when operated within the rated load, are in general less than 1%, which is practically inaudible. In contrast to this, nearly all well-known secondary electro-acoustical transducers (this term will, in the following, be understood to apply solely to loudspeakers) show, in each of the three above-mentioned respects, values which are so much worse as to be sometimes of a different order altogether. Loudspeakers with intensity variations of 10 to 15 db and phase jumps of 90° in the treble are no rarity, and nonlinear distortions of 30% and over are produced often enough by these speakers near the operating limits. What, then, is the point of using amplifiers of peak quality until loudspeakers are improved at least in regard to the values just mentioned?

Apart from these criteria, which could be described as fairly obvious and are quite easily measured, there are further important points on which loudspeaker quality must be judged: above all, the

intermodulation produced by the speakers. This is usually passed over in silence, not the least important reason for this being its difficulty of measurement. I know of no manufacturing company which takes the trouble to measure the intermodulation of its loudspeakers, although for amplifiers this has become a matter of course. However, intermodulation distortion makes itself more unpleasantly felt in the reproduced sound than most other forms of distortion, and with the dynamic loudspeakers almost exclusively used nowadays, it is hardly avoidable because of the basic mechanical or magnetic design faults which are unfortunately still so common and also because of the Doppler effect which occurs when a single loudspeaker is used over a wide frequency band. This last point is quite understandable considering that, at the large amplitudes associated with bass response, the cone keeps changing its distance from the ear, so that the sound source for the simultaneous high frequencies is continually moving to and fro in the rhythms of the low frequencies. The reason why in the so-called wide band speakers, which are supposed to reproduce the whole audio range, this Doppler effect is no worse than it is, is simply because these speakers rarely go below 40 c/s, leaving another octave to go down to the lower hearing limit.

The statement that the lack of this bottom octave is unimportant and inaudible can be easily disproved by an actual test. It is also worth mentioning in this connection that organs contain a number of 32 ft. pipes whose sound can hardly be perceived by the ear, but whose importance in the sound as a whole has never been questioned. Very little is known as yet about the perception of very low frequencies, but the importance of their presence in the sound should not be underestimated; they probably have a balancing effect on the rest as well as masking distortions.

There is yet another reason why loudspeakers should reach the lower hearing limit. The speaker cone constitutes with its suspension a vibrating system whose lower frequency limit is set by its frequency of resonance — below this, the sound pressure curve usually falls off sharply. But this is not the only adverse effect of resonance, for it also produces extremely characteristic attack and decay curves which colour the sound unless they are artificially damped. The alternative to artificial damping, a resonant frequency below hearing limits, would appear to offer some advantages; this is shown by almost all "Ela" products, e. g. primary transducers (microphones and pickups). Practical difficulties of design and manufacture are no doubt the prime reasons for the neglect of this type of design in the case of loudspeakers, but this will be the next inevitable step on the way to true high fidelity.

Freedom from resonance on the part of loudspeakers will benefit not only the very lowest frequencies but the speaker's whole lower range, the importance of which cannot be overemphasised, for it is

largely responsible for a reproduction "with the actual sound in the room". Weak or missing bass is associated, in listening, with sound at a distance.

The importance of a balanced reproduction becomes all the clearer: the aim should be a strictly flat reproduction, over the whole audible range, of the original sound pressure. Restricting ourselves to loudspeakers, we find that there is not a single speaker available to-day which can meet this requirement *by itself*. The only possibility is to subdivide the frequency range to be transmitted into smaller ranges to be each reproduced by its suitable speaker. To make this clearer, let me now briefly discuss the properties of the various types of speakers used to-day, without however entering on details of design, which are fairly well known on the whole. These various transducer types are: piezo-electric transducers, electrostatic transducers, electromagnetic transducers, electrodynamic transducers, thermo-electric transducers, and corona-effect transducers.

Piezo-electric transducers have, as loudspeakers, attained little importance. The principle is used up to a point in headphones and loudspeaker pillows. The reason is that crystals cannot be manufactured beyond a certain area and under a certain thickness, so that a bass limit is set to the reproduction — crystal speakers can be employed as tweeters only. Their only efficient use is as direct radiators, as the use of radiating cones or diaphragms interposed between the crystal and the air would destroy all their advantages.

The electrostatic speaker is at present probably the most suitable means of reproducing the middle and high range. The symmetrical type of design with an extremely thin (5 to 10 microns) metallised plastic diaphragm enables easy coverage of wide frequency bands with a flat response within 3 db of sound pressure. The nonlinear distortions are hardly measurable. A special feature is the lack of the many, closely-spaced peaks of all heavy-cone type speakers, which go hand in hand with serious phase shifts. It is these jumps in the response which make every centrally excited speaker with a heavy cone colour the reproduction adversely with its own particular characteristic, not to mention the resulting jumping about of the virtual sound source in stereophony. A correctly built and operated electrostatic speaker is free of all these faults. What it does not yet possess is bass response. Although there are models available whose bass limit is given as 40 c/s, an attentive and practised listener has no difficulty in discovering that heavy basses are not given clean response, also that their presence have an adverse effect on the treble, probably because of intermodulation resulting under such operating conditions. The use of such speakers for a range limited to 200 to 20 000 c/s and the reproduction of the remaining range of 15 to 200 c/s by a suitable electrodynamic system, using, if possible, separate amplifiers with a corresponding

frequency response, give a result which is among the best attainable to-day with regard to flat response and freedom from distortion.

The magnetic speaker has now completely lost the importance given to it in the early days of electroacoustics, probably in the first instance because the dynamic speaker which replaced it was of such incomparably better quality at the time that all incentive to replace it in turn was lost for a long time to come. Besides, dynamic speakers were relatively easy to manufacture, so that the magnetic speakers disappeared altogether. From the point of view of their working principle, however, this seems quite unjustified. A new magnetic speaker design using recent experience and modern materials should, in my opinion, give results which need at any rate be no worse than those obtained with to-day's dynamic speakers; very likely the efficiency of such a speaker would be considerably better than that of the usual dynamic speaker.

The dynamic speaker has the field practically to itself to-day. At the same time it is so very unfortunate that its latent possibilities, which have already been indicated, are by no means taken full advantage of. The dynamic speaker seems predestined for the reproduction of low frequencies, but just in this regard we have not attempted to reach the logical conclusion — of giving the frequencies down to the lower hearing limit. Because this type of speaker is so widely used to-day, I should like to devote to it some more space than for the other speakers, entering also into more detail in regard to questions dealing with its working principle.

The total vibrating mass, including the cone, of the dynamic speaker is of the order of several grammes, which is in stark contrast to the case of the modern electrostatic speaker, whose diaphragm weighs no more than a few milligrammes. It is this large vibrating mass of the dynamic speaker which is responsible for its irregular response strewn with resonant peaks. Below a limit of about 1000 c/s, the cone vibrates as a whole, acting as a piston, the amplitude of the vibrations varying inversely as the square of the frequency. Above this approximate limit, the cone subdivides and vibrates in sections, and the resulting conditions which cannot be well defined or controlled are the reason behind the irregular response.

The factor important to sound radiation of low frequencies is the volume of air displaced, proportional to the cone's area and amplitude of vibration. A frequency of 30 c/s at a sound pressure of 1 acoustical Watt needs an ideally vibrating membrane of $18\frac{1}{2}$ inches diameter vibrating with an amplitude of $\frac{3}{8}$ inch. Both dimensions represent just about the outside limit of practicability with usual design practice. But it must also be considered that this frequency must be reproduced without distortion. This condition is limited by the extent of the exciting magnet's homogeneous field. If the voice coil emerges out of the field's homogeneous limits, the

force acting on it drops momentarily and the waveform reproduced is flattened, resulting in bad distortion. The amplitude at which the voice coil still remains within the homogeneous field of the magnet sets the limit to the power it can radiate at low frequencies. Instead of driving such speakers to too high an amplitude, it is a better plan to increase their radiating area. The simplest way to do this is to use several similar speakers in parallel. The reason for parallel connection will become evident presently.

While the considerations just mentioned refer to the radiated intensity of low frequencies only, the field of the exciting magnet is important to the efficiency and to the damping of the cone's inherent attack and decay curves, which can assume disturbing proportions due to the large vibrating mass. This becomes quite evident once it is considered that every pulse acting on the cone accelerates it from rest, or even from the opposite motion, to a very high speed; at the end of the pulse it must come to rest again just as suddenly, if the pulse is to be reproduced at all faithfully. The long way we still have to go to reach this ideal is best illustrated by the unsatisfactory reproduction of shooting. It seems quite obvious that the steep slope of a pulse having an attack time of the order of a few microseconds, as here, cannot be imitated by a rough, heavy system. Fortunately, normal requirements are less stringent, and music and speech allow in general quite long attacks and decays on the part of the loudspeakers. These are frequency-dependent, the permissible times increasing with falling frequency: delays of 3 to 5 ms are usually still below the perceptible threshold for medium frequencies of 2 to 5 kc/s, while 30 ms can be quite in order below 100 c/s. This in no way alters the fact that the shorter these attack and decay times are, the better the loudspeaker will be for it. The way to achieve this is by damping the vibrating parts mechanically, acoustically and/or electrically.

Mechanical damping seriously lowers the efficiency and has therefore limited application. Acoustical damping can be most effective and can be made frequency-dependent, so that only those frequencies requiring it need be damped, while at the same time the efficiency is not impaired as much as if the whole spectrum were damped. Electrical damping is the simplest and most effective of all, with no adverse effect on the speaker's efficiency. It occurs automatically when a low output impedance amplifier is used, because overshoot of the cone produces in the voice coil a current which links with the magnet's field to produce a force acting against the motion. Damping varies as the magnet's field strength and inversely as the amplifier's internal impedance, and the importance of a powerful magnet becomes obvious. Unfortunately, present manufacturers sin in this respect as in so many others. Permanent magnets are being used exclusively, out of convenience. A magnet of reasonable cost for a medium-sized speaker can reach a field strength of 12 000 Gauss, but 8000 is the common value to-day. As

damping and efficiency vary with the square of the field strength, greater field strength considerably improves speaker quality. Larger speakers will of course require larger magnets, of the order of 16 000 Gauss for a good woofer, a value entailing a magnet of prohibitive size and price. It seems to be time once again to take a step backwards — as has so often been necessary in engineering — and to return to the electromagnet, which used to be far more common and seems to offer so many advantages in this respect. At least when highest quality is desired, and above all for bass speakers, this should be done.

The requirement of the best possible damping is also the reason why a number of speakers used together should be connected in parallel, for series connection increases the impedance seen by each speaker by that of all the other speakers, thus reducing the available damping current.

Another requirement must be added to those already listed for the attainment of quality in dynamic speakers, namely light weight of all vibrating parts — voice coils as well as cones. This is quite logical considering that the kinetic energy is proportional to the mass — heavy parts are not readily set in motion by an attack transient or stopped again by a decay transient.

This description of single factors decisive in dynamic speaker quality clearly shows the problem's complexity even for the case of such an apparently simple type of transducer — and only a few of the most important questions were briefly touched on and all quantitative considerations left out of the discussion.

Several years ago a transducer type was developed on the principle, already thought of by Edison, of taking advantage of a thermal effect for sound transmission. This transducer differs from Edison's "Thermophone" however, in which the A. F. current heated a wire, this heat being passed on to the air; the modern "Ionophone" has an ion chamber in which the flow of ions is modulated and transformed into heat, connection to the surrounding air being by an exponential horn. The ion chamber and the small horn size confine the ionophone's use to the treble, where however it is second to none in regard to frequency response and freedom from distortion. Its disadvantages are the marked directional response resulting from the horn, its low efficiency, a certain background noise, as well as the fact that a small amount of overload "blows" the flow of ions out, putting the speaker out of action for several minutes.

The corona-effect speaker is at present in the experimental stage and there is some doubt of its ever graduating from there. It uses the well-known corona effect by which air is set in motion in the vicinity of a pair of metal points kept at high potential difference. The "corona wind" radiating from the points is modulated and transmits its vibrations directly to the surrounding air. This

speaker works like the ionophone without vibrating masses and holds some promise for treble reproduction, if it ever comes into general use.

In summary, it is seen that the electrostatic and the electrodynamic are the only speakers worthy of practical consideration, the latter evidently being in need of fundamental redesign. These two types of speaker seem to be made to be used in combination, for the electrostatic speaker is at home in the treble while the dynamic speaker shows at its best when used as a woofer.

Now there is more to a speaker than its mechanical and electrical design: the problems of acoustical design and application are of prime importance, especially the matching of the speaker's vibrating surfaces to the surrounding air. The problem is particularly pressing for the case of low frequencies, for large volumes of air must be set in motion here. The ideal solution is the use of exponential horns, but it is just for bass response without intensity drop that these horns grow to a size impossible to accommodate in a living-room.

It is absolutely essential to any kind of bass response to separate the vibrations coming from the speaker's front from those coming from the back, in order to prevent pressure compensation between air movements of opposite phase. If this separation is carried out by enclosing, the loudspeaker's rear in a damped air-tight box, compression of air results, raising the speaker's resonance. There is also some damping, which occurs at the cost of some efficiency however. This kind of complete enclosure is practicable for woofers only when the volume of air enclosed behind the speaker is at least 40 cu.ft.

If the loudspeaker enclosure is partly open, resonance will be the inevitable result. While certain resonance effects of band-pass filtering can well be put to use to reinforce the bass, it must always be remembered that this type of arrangement will ever conflict with the ideal of flat response and entails undesirable compromise of intensity and phase aspects. We are therefore left with the best solution: to separate the front from the back of the speaker by a baffle board or the wall of a room. If the path the sound emitted by one side of the speaker has to travel to reach the other side is 30 ft. or more, good response down to the lowest audible limit is assured.

Next of importance to the problem of acoustic matching is the strong treble directional response along the axis of most speakers, with the sole exception of the experimental corona-effect speaker and the electrostatic speakers with large area diaphragms, which show, respectively, no, or far less pronounced, directional response. This directing of high frequencies is made all the more unpleasant by the fact that most distortions due to all equipment occur in the treble, as do the intensity peaks and phase shifts.

In a closed room, the proportion of reflected sound heard outweighs by far the amount of direct sound received, except in the speaker's immediate vicinity and along a narrow strip bordering the speaker axis, where much direct treble is heard because of the directional response. This fact as well as the desire for more evenly distributed sound led to the idea of using a number of speakers facing different directions resulting in the spherical loudspeaker developed by Harz and Koesters, and Enkel, and in practical use in radio NWDR's control-rooms. But even with this speaker, intensity variations can be distinctly heard when walking around it.

In order to obtain completely homogeneous radiation, the spherical speaker rotating in two directions was developed in the Gravesano Experimental Studio, as described in Gravesano Review No. 13/14 (fig. 1). The "bite" common to all, including spherical, speakers, which is due to constantly directed treble radiation by the individual speakers, is completely absent with this speaker, as it produces a practically homogeneous sound-field in the whole room. It is characteristic of this speaker that considerably more treble is heard when the speaker is still than when it is in motion. This is because the rotation distributes the treble evenly around the whole area of the walls enclosing the room, so that only a very small proportion of treble reaching the ear is directly radiated sound, the rest being reflected by the walls, which have in general a much higher treble than bass absorption.

This reflection is diffuse and is the reason why this speaker hardly predominates over the reflected sound, so that there is practically no directional effect at all. This in turn results in this speaker's quite amazing three-dimensional effect which occurs in spite of the fact that the individual sound sources cannot be placed. One could expect that two-channel reproduction carried out with a pair of such rotating spherical speakers will give stereophony which cannot be surpassed by the means available to-day.

A second, improved model of a moving spherical loudspeaker, to be used also for two-channel stereo experiments, will be ready shortly. Apart from that, work has been going on for some time at Gravesano on the improvement of the various types of transducer with a view to correcting their above-described inherent faults to the best possible extent. The results of this work will be described in a forthcoming issue of the Gravesano Review.

References

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

Grundlagen einer stochastischen Musik

von

IANNIS XENAKIS

PROLOG

Wir könnten mit allen begrifflichen Vorstellungen aufräumen. Die aufeinander folgenden Gesetzgebungen der Musik haben ihre Zeitlichkeit bewiesen. Die tonale Gesetzgebung hat die modale und monophonische ersetzt, um sich ihrerseits im Kontakt mit der Reihentechnik aufzulösen. Provisorische Etappen, Moden.

Heute ist in Hinsicht auf ein Schallereignis keinerlei Notwendigkeit gegeben, es umzuwandeln oder es einem anderen gegenüberzustellen. Wir sind Einzelgänger im Universum, ohne Bindungen, ohne Führer, ohne Leitstern. Eine Sackgasse? Man muß nur einfach den Weg freilegen und zu den Grundlagen des Denkens und Handelns hinabsteigen.

Beginnen wir mit der Notwendigkeit. Es handelt sich hierbei um eine menschliche „Kategorie“ (die Natur kennt keine Notwendigkeit). Ein infinitesimales Ereignis A folgt immer auf A: es ist das Seiende, die Existenz. Ein Ereignis B folgt auf A, immer: hier haben wir die klassische Kausalität. Zwei Ereignisse B oder C folgen immer auf A, mit relativen Häufigkeiten für die Momente AB und AC, welche Grenzen zustreben, sobald die Abfolgen hinreichend oft wiederholt werden: es bietet sich uns eine zweiwertige Kausalität. Die Wahrscheinlichkeiten (relative Häufigkeit einer langen Folge von Ereignispaaren) der Aufeinanderfolge AB oder AC haben Werte, die zwischen 0 und 1 liegen, setzen wir p_1 und p_2 , so daß $p_1 + p_2 = 1$. Schreiten wir nunmehr zur Grenze. Auf A folgt eine Unendlichkeit anderer Ereignisse A, B, C, Die Wahrscheinlichkeiten der Aufeinanderfolge AA, AB, AC, AD, besitzen als Summe die Einheit, $p_1 + p_2 + p_3 + \dots = 1$, und jedes p_i wird positiv und kleiner als 1 sein. Wenn nunmehr die p_i untereinander gleich sind, so wird jedes p_i nach Null streben müssen. Die Folge hiervon: die Aufeinanderfolgen AA, AB, AC, treten niemals ein. So wie die allgemeinste, die reichste Kausalität (mit unendlicher Entropie) in die totale Unmöglichkeit einmündet, gibt es nach und während A nichts! Es ist Verallgemeinerung des Esels von Buridan angesichts aller irdischen materiellen und geistigen Güter, vorausgesetzt, daß es einen Esel und das Universum gibt; nichts erfaßt sie jedoch als die Erfahrung. Somit wären wir, nach Dauvillier-Seguin, „Söhne der ultravioletten Strahlung, welche, auf der Oberfläche des Urmeeres, die Schaffung der verschiedenen Körper herbeigeführt hätte, von denen aus, durch das Spiel des schöpferischen Zufalles, die Lebensprozesse sich im Verlaufe der Zeiten in spotaner Weise haben manifestieren können, um immer komplexer zu werden“ [0].

Man kann eine „pluralistische“ Kosmotheorie zugeben und auf-

stellen. Wo liegt der Beginn der Anstrengung einer „monistischen“ Weltanschauung? Jedenfalls ist sie es, welche die Geschichte der Menschheit beherrschte. Zunächst waren es die einzigen Gottheiten der Mythen und der großen antiken Religionen, dann der platonische Demiurg, anschließend der Christengott, die hegelianische Idee, das Prinzip der Konstanterhaltung der Energie usw. Vielleicht wird die Zukunft dem Menschen den Schleier von den Augen nehmen und diesen hierarchischen Totalitarismus mit einer einzigen Quelle, von der man seit Jahrtausenden durchtränkt ist, durch eine Anarchie von Quellen ersetzen, die auf einer höheren fantastischen Ebene liegen; wir besitzen sehr wohl eine Unendlichkeit von Vätern und Vorgesetzten in unserem Alltagsleben!

Meinerseits habe ich zum Teil der Geschichte nachgegeben, als ich diesen Essai schrieb. Ich habe Premissen (Grundhypothesen) aufgestellt, aber ich habe, da die Zeit drängt, Strukturen und Gedankengänge zugestanden, die allen Horizonten des gegenwärtigen Denkens entlehnt sind, welche meinen Beschäftigungen nahestehen.

Desgleichen habe ich der Musik das Gebiet der Mathematik zurückgegeben oder habe es doch wenigstens versucht, der Mathematik (Verlängerung der Intuition), welche ich unter drei wesentlichen Gesichtswinkeln betrachte:

1. Philosophische Zusammenfassung des Seienden und seiner Entwicklung : Beispiel : das Poisson'sche Gesetz [13].
2. Qualitative Stütze und Mechanismus des Logos : Beispiele : Mengentheorie, Theorie der Kettenereignisse, der ich den Ausdruck „stochastisch“ entlehnt habe, um damit die globale Bewegung dieser neuen „Kompositions“-Methode zu bezeichnen.
3. Meßinstrument, welches die Forschung, die Realisierung verfeinert (und die Wahrnehmung) : Beispiel : Matrizenrechnung.

Denn die Musik ist ein Homorphismus des Universums, dank der gegenwärtigen Denkweise und in erster Linie dank der reinen Mathematik und der Logik. Und die Rolle des heutigen *Komponisten* besteht *zunächst* darin, Denkschemata, operationelle Prototypen zu erfinden und erst in *zweiter Linie* über ihre klangliche oder luminöse Materialisierung zu wachen.

Dieses Buch ist erst ein Anfang, eine Einleitung, denn das Problem ist gewaltig; und die Arbeit anderer Forscher wird mit der Zeit dazu beitragen, die geöffnete Bresche zu bereichern, zu vervollständigen, zu umgrenzen. So ist keine Rede von den Mechanismen der Autokorrelation, den bedingten Reflexen, der Lehrzeit usw., die man ebenfalls verwenden könnte. Es ist auch nicht die Rede von den ungeahnten Schöpfungen, die auf der Kompliziertheit der weiträumigen Anlagen der „Riesengehirne“ beruhen.

Es kann von jedermann gelesen werden, aber es ist ganz besonders für eine neue Kategorie von Forschern bestimmt: für die „experimentellen Komponisten“, ob sie nun Musiker, Filmfachleute,

Maler, Bildhauer usw. seien, vorausgesetzt, daß sie über ein gewisses mathematisches Gepäck und insbesondere über Abenteuergeist verfügen. Denn ich bin überzeugt davon, daß in einer Generation die Musikkonservatorien die Fächer Mathematik, Physik und Psychologie, eine Art neues Trivium, lehren müssen, da sonst die wissenschaftliche Forschung eine neue Abteilung gründen würde: die „audio-visuelle Forschung“, welche die Kompositionsstudien der gegenwärtigen Konservatorien absorbieren würde.

Aber wenn die Musik in diesem Buche einen ganz speziellen Raum einnimmt, so sind die anderen Bereiche des „künstlerischen“ Handelns nichtsdestoweniger mit darin eingeschlossen, so allgemein ist die Form des Denkens. Immerhin wird dieses Buch zwei Unzufriedene lassen: den nicht „geometrisierten“ Musiker im Sinne der Inschrift, welche über dem Eingang der Akademie Platons eingegraben ist, und den Wissenschaftler, der, desinteressiert an der Musik, Gefahr läuft, daraus nichts zu lernen.

Dieses ist mein Risiko, oder vielmehr das des Herrn Prof. Hermann Scherchen, unermüdlichen „Geburtshelfers“ wesentlicher Gedanken der zeitgenössischen Musik, welcher diesen Essai angeregt und sich anschließend dazu entschlossen hat, ihn zu veröffentlichen. Desgleichen bin ich Herrn Olivier Messiaen verpflichtet für die lebhafteste Unterstützung, die er mir hat angedeihen lassen. Mein Dank gilt ebenfalls Herrn Pierre Schaeffer, der es mir freundlicherweise ermöglicht hat, in den Studios der Radiodiffusion Télévision Française eine Probe der „Analogique B“ zu realisieren, sowie Herrn Dr. Ungeheuer für überaus wertvolle wissenschaftliche Ratschläge.

Erster Teil ALLGEMEINES

Grundhypothese (Lemme) und Definitionen

Jeder Schall stellt eine Integration von Korpuskeln, elementaren Klangteilchen, Tonquanten dar. Jedes dieser Elementarteilchen besitzt eine zweifache Natur: die Frequenz und die Intensität (die Dauer jedes Schallpartikels ist minimal und unveränderlich)*. Jeder

* Die hier vorgetragene Beschreibung der Feinstruktur von Schallsignalen dient der musikalischen Realisation als Ausgangsbasis und ist daher mehr anschaulich bildhaft als wissenschaftlich konsistent. Sie kann jedoch als erste Näherung der von GABOR in die Informationstheorie eingeführten Betrachtungen angesehen werden (s. MEYER-EPPLER, S. 21)*. In der sog. GABOR-Matrix wird ein Schallereignis in akustische Elementarsignale mit sehr kurzer effektiver Dauer aufgelöst, deren Amplituden ebenfalls im Sinne der Informationstheorie gequantelt werden können. Allerdings sind diese Elementarsignale Sinusoidalfunktionen mit einer GAUSS-Kurve oder „Glockenkurve“ als Einhüllende. Immerhin kann man sich diese Gabor'signale durch kurzzeitige Sinustöne mit angenähert rechteckigen Einhüllenden approximiert denken.

* W. MEYER-EPPLER, Grundlagen und Anwendungen der Informationstheorie, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1959 [1].

Schall, jede selbst kontinuierliche Tonschwankung wird als eine Zusammenfügung einer hinreichenden Anzahl von Elementarteilchen verstanden, die in der Zeit in adäquater Weise geordnet sind. Somit kann also jeder Schallkomplex in Reihen reiner sinusförmiger Töne analysiert werden, selbst wenn die Variationen dieser sinusförmigen Töne einander in unendlich kleinen Abständen folgen, kurz und komplex sind. Im Auftakt eines komplexen Schalles, in seinem Vollklang, in seinem Abfallen erscheinen Tausende reiner Töne innerhalb eines ziemlich kurzen Zeitraumes Δt . Hekatomben reiner Töne sind für die Entstehung eines komplexen Tones erforderlich. Man müßte sich einen komplexen Schall wie ein in allen Farben sprühendes Feuerwerk vorstellen, in welchem jeder einzelne Lichtpunkt auf dem Hintergrund des schwarzen Himmels augenblicklich aufleuchtet und wieder erlischt. Aber in diesem Feuerwerk gäbe es so viele Lichtpunkte und sie wären derartig organisiert, daß ihr schnelles und wimmelndes Aufeinanderfolgen Formen, langsam abrollende Spiralen oder im Gegenteil kurze Explosionen entstehen ließe, die den ganzen Himmel entflammen. Durch eine ausreichend große Anzahl von aufblitzenden und wieder verlöschenden Punkten entstünde eine leuchtende Linie.

Die beiden physikalischen Wesensarten der Schallpartikel sind miteinander verknüpft. Sie konstituieren zwei, ihrer Natur nach unabhängige Mengen F und G . Zusammen bilden sie die Produktmenge $F \times G$, welche das elementare Schallteilchen enthält. Im allgemeinen ist die F -Menge eine eindeutige (homomorphe) Abbildung auf die G -Menge. Eine solche Beziehung zwischen F und G kann in mehrfacher Weise gegeben sein: entweder in extensionaler, matrizieller oder kanonischer Darstellung.

Darstellungsbeispiele:

Extensional: (Glieder für Glied)	Frequenzen	f_1	f_2	f_3	f_4	.....			
	Intensitäten	g_3	g_n	g_3	g_h	.....			
Matriziell: (in Tabellenform)	$\downarrow$	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	.....
	g_1	+	0	+	0	0	0	+	
	g_2	0	+	0	0	0	+	0	
	g_3	0	0	0	+	+	0	0	
	.								
	.								

Kanonisch: $\sqrt{f} = Kg$ f = Frequenz K = Koeffizient
(in Funktionsform) g = Intensität

Die Abbildung kann auch unbestimmt (stochastisch) sein, und die bequemste Darstellung ist in diesem Falle die materielle, welche die Übergangswahrscheinlichkeiten aufzeigt.

Beispiel:	$\downarrow$	f_1	f_2	f_3	f_4	.....
g_1		0,5	0	0,2	0	.....
g_2		0	0,3	0,3	1	.....
g_3		0,5	0,7	0,5	0	.....

Diese Tabelle muß in folgender Weise gedeutet werden: zu jedem der Werte f_i von f gehören ein oder mehrere entsprechende Werte g_i der durch eine Wahrscheinlichkeit definierten Intensitäten. Beispiel: der Frequenz f_2 entsprechen die beiden Intensitäten g_2 und g_3 mit den jeweiligen Ereigniswahrscheinlichkeiten von 30% und 70%.

Andererseits kann jede der beiden Mengen F und G mit einer Struktur versehen sein. d. h., mit einer inneren kompositionalen Beziehung und Gesetzmäßigkeit.

Die Zeit t wird als eine vollkommen geordnete, dem F oder G in Form lexikographischer Ordnung beigegebene Menge angesehen.

Beispiele: a) $f_1 \quad f_2 \quad f_3 \quad \dots$ b) $f_{0,5} \quad f_3 \quad f_{\sqrt{11}} \quad f_x \quad \dots$
 $t = 1, 2, \dots \quad t = 0,5; 3; \sqrt{11}; x; \dots$

c)	f_1	f_1	f_2	f_1	f_2	f_2	f_n	f_3	...	...	...
$t =$	A	B	C	D	E	...	...	...	...	...	...
	Δt	Δt	Δt	Δt	Δt	Δt	Δt	...	...	...	...
	$\Delta t = \Delta t$										

Das Beispiel c) stellt die allgemeinste Form dar, da die kontinuierliche Entwicklung in Abschnitte mit der einheitlichen Dicke Δt zerlegt ist, wodurch sie in eine diskontinuierliche umgewandelt wird und sich damit leichter isolieren und unter dem Vergrößerungsglas prüfen läßt.

Wir können die Werte der reinen Frequenzen mit Punkten vergleichen, die auf einer positiven Abszissenachse oder, für die Intensitätswerte, auf einer positiven Ordinatenachse verteilt sind.

Der Maßstab der Koordinaten wird logarithmisch gewählt.

In Dezibel für die Tonstärken, in Oktaven oder in Halbtönen für die Frequenzen.

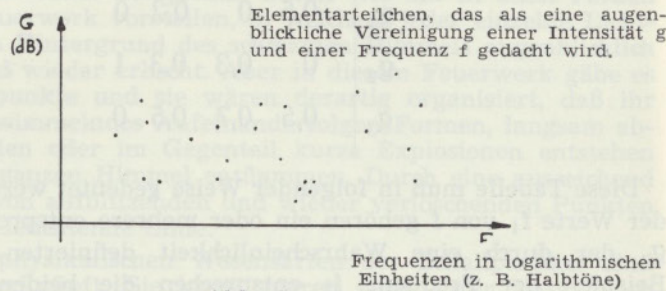


Abb. 1

Diese Wolke von Punkten stellt eine zylindrische Projizierung auf die Ebene (FG) der in einem ziemlich kurzen Zeitabschnitt Δt enthaltenen Partikel dar.

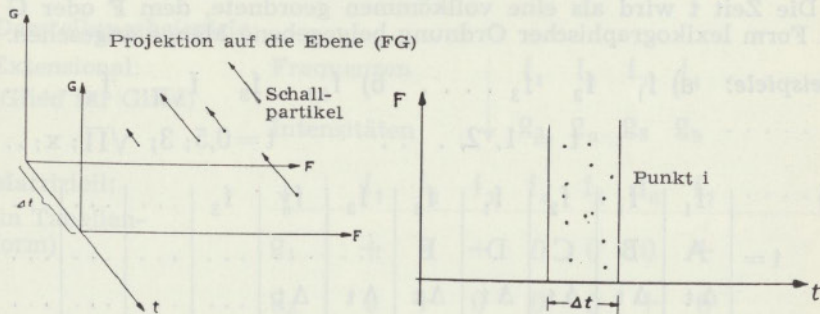


Abb. 2

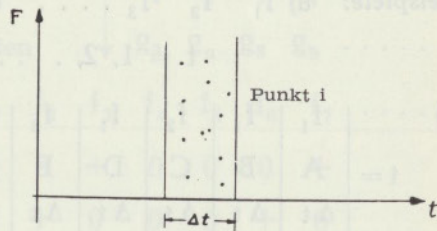


Abb. 3

(jedem Punkt i muß eine Intensität g_i zugeordnet werden)

Diese beiden graphischen Darstellungen machen die bisher angeführten abstrakten Möglichkeiten greifbarer.

Wir befinden uns vor einer Wolke von Punkten in ständiger Bewegung. Diese Wolke stellt das Produkt der beiden Mengen F und G in dem Abschnitt Δt dar. Welches können die einschränkenden Grenzen der menschlichen Psychophysiologie sein?

Welches sind die allgemeinsten Manipulationen, denen man die Wolken und ihre Umwandlungen innerhalb der Grenzen der Psychophysiologie unterwerfen kann?

Die abstrakte Grundhypothese, welche den korpuskularen Aufbau jedes möglichen Schallereignisses annimmt, gibt den beiden voranstehenden Fragen einen sehr tiefen Sinn. In der Tat können wir, innerhalb der dem Menschen gesetzten Grenzen und durch die an diesen Partikelwolken vorgenommenen Manipulationen aller Art, hoffen, nicht allein die Töne der klassischen Instrumente, der elastischen Körper und allgemein jene zu erzeugen, die mit Vorliebe von der konkreten Musik verwendet werden, sondern auch klangliche Erschütterungen mit bisher unerhörten und unvorstellbaren Entwicklungen, Strukturen von Klangfarben und Umwandlungen, die auf Grundlagen beruhen, welche nichts mit dem gemein haben, was bis heute bekannt ist.

Wir können uns selbst zu einer Annahme allgemeinerer Art vorwagen. Nehmen wir einmal an, daß jeder Punkt dieser Wolken nicht nur eine reine Frequenz und die ihr zugeordnete Intensität darstellt, sondern bereits eine a priori geordnete Struktur von elementaren Schallpartikeln. Wir sind der Ansicht, daß auf diese Weise eine Klangeinheit zweiten und selbst dritten Grades usw. geschaffen werden könnte.

Neuere und künftige Arbeiten über die Hörbarkeit haben zufriedenstellende Antworten für die Probleme der Wahrnehmung gefunden oder werden sie finden.

Eine Reihe von Grundproblemen, die uns betreffen und die wir übrigens als gelöst annehmen, selbst wenn einige Lösungen noch ausstehen sollten, sind folgende: [2, 3]

1. Welches ist die (in aller Bequemlichkeit) wahrnehmbare Mindestdauer eines Sinustones in Abhängigkeit von seiner Frequenz und seiner Intensität?
2. Welches sind die minimalen Intensitätswerte in Dezibel entsprechend den Frequenzen und der minimalen Dauer der Sinustöne?
3. Welches sind die Hörschwellen der minimalen melodischen Intervalle in Abhängigkeit von der Lage auf der Frequenzachse, den Intensitäten und der Dauer?

Eine gute Annäherung ermöglicht das Diagramm von Fletcher-

Munson, „Diagramm der Kurven gleicher wahrgenommener Schallintensität“.

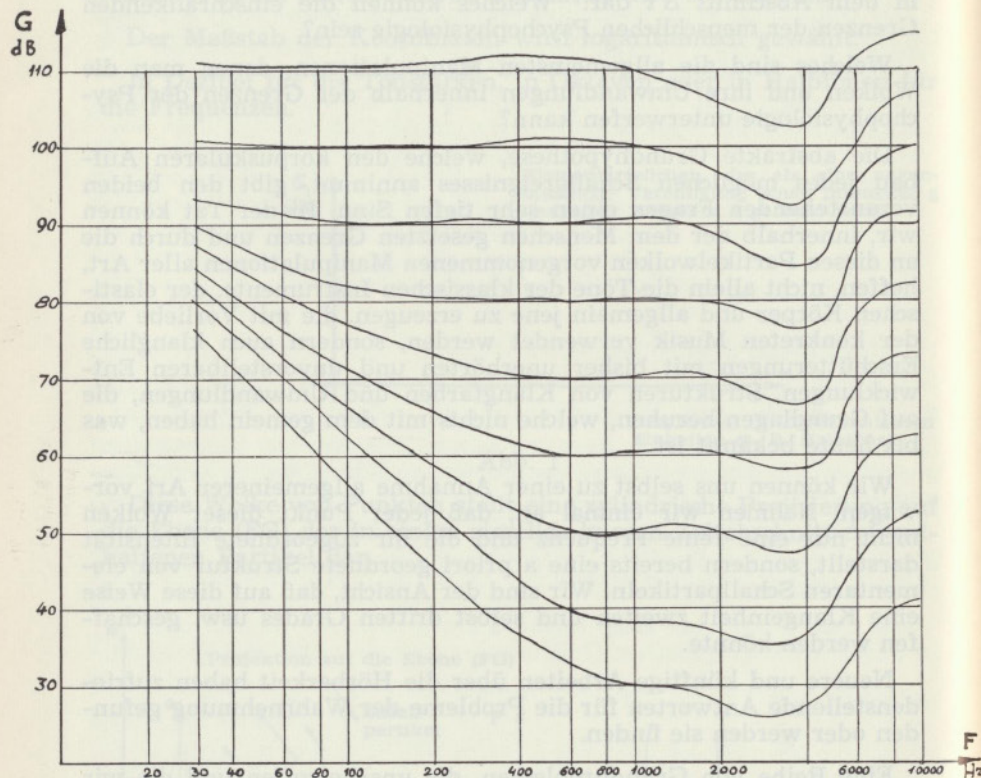


Abb. 4

In der Tat gibt es eine Auszählung der hörbaren elementaren Schallpartikel. Ihre Gesamtzahl beträgt etwa 340 000. Das Ohr ist empfindlicher im Zentrum des Hörbereiches.

An den Extremitäten nimmt es die Amplituden- und melodischen Intervalle weniger stark wahr.

Wenn man also versuchte, den Hörbereich durch die beiden Koordinaten F und G in homogener Weise darzustellen, d. h., so, daß jedes Flächenelement $\Delta F \cdot \Delta G$ dieselbe Dichte an wahrnehmbaren

Schallpartikeln aufwiese, so würde man zu einer Art Weltkarte gelangen.

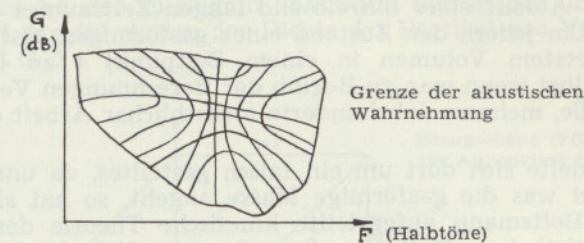


Abb. 5

Um die nachstehend ausgeführten Gedankengänge zu vereinfachen, ohne sie zu verfälschen, werden wir uns auf das Diagramm von Fletcher stützen und annehmen, daß eine adäquate, wechselseitige Umwandlung dieser Koordinatengruppe vorgenommen wird, welche diesen gekrümmten Raum in einen gewöhnlichen geradlinigen Raum verwandelt.

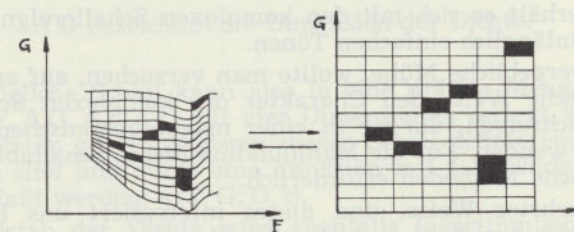


Abb. 6

Alle vorhergehenden experimentellen Ergebnisse wurden unter idealen Bedingungen und ohne Beziehung zu der wirklichen Kompliziertheit der natürlichen Töne des Orchesters und der elastischen Körper im allgemeinen, ohne von den noch komplexeren Schallereignissen in der Industrie oder der chaotischen Natur zu sprechen, aufgestellt [4]. Theoretisch gesehen [5] kann ein komplexes Schallereignis in erschöpfender Weise nur durch ein dreidimensionales Diagramm F, G, t dargestellt werden, in welchem die augenblickliche Frequenz und die augenblickliche Intensität in Abhängigkeit von der Zeit gegeben werden. Praktisch führt dieses jedoch zu der Aussage, daß für die Durchführung der Darstellung eines momentanen Geräusches, z. B. eines einfachen, von dem Auspuffrohr eines Kraftwagens erzeugten Geräusches, Monate für die Berechnung und die graphische Darstellung erforderlich sein würden. Dieses Problem,

das eine Sackgasse verbirgt, erinnert ganz besonders an das Abenteuer der klassischen Mechanik, welche vorgab, alle physikalischen und selbst biologischen Phänomene allein mit Hilfe einiger Formeln und nach Ablauf eines hinreichend langen Zeitraumes erklären zu können. Um jedoch den Zustand einer gasförmigen Masse mit sehr herabgesetztem Volumen in einem Zeitpunkt t zu beschreiben, wären, selbst wenn man zu Beginn der Berechnungen Vereinfachungen zuließe, mehrere Jahrhunderte menschlicher Arbeit erforderlich gewesen!

Es handelte sich dort um ein falsch gestelltes, da unnützes Problem, und was die gasförmige Masse angeht, so hat sich die von Maxwell-Boltzmann aufgestellte kinetische Theorie der Gase mit ihrer statistischen Methode als außerordentlich fruchtbar erwiesen [6]. Diese Methode setzte den Wert der Beobachtungsmaßstäbe wieder ein. Für ein makroskopisches Phänomen ist der globale massenmäßige Effekt ausschlaggebend, und jedesmal, wenn man ein Phänomen beobachten will, muß zuvor das Maßstabsverhältnis Beobachter $\longleftrightarrow$ Phänomen festgestellt werden. So muß, wenn man die Milchstraßensysteme beobachtet, zunächst entschieden werden, ob es die Gesamtbewegung ist, welche uns interessiert, die eines einzigen Sternes oder die molekulare Struktur einer ganz kleinen Region auf einem dieser Sterne.

Ebenso verhält es sich mit den komplexen Schallereignissen und selbst mit hinlänglich einfachen Tönen.

Es wäre vergebliche Mühe, wollte man versuchen, auf analytische oder graphische Weise den Charakter der komplexen Schallereignisse zu beschreiben, um sie in einer magnetophonischen Komposition zu verwenden. Für die Manipulation dieser Schallabläufe sind makroskopische Methoden erforderlich.

In umgekehrter Weise, und dieses interessiert uns hier ganz besonders, als Architekt auf die Schallmaterie einzuwirken, um komplexe Schallereignisse und die Entwicklungsverläufe derselben zu konstruieren, verlangt die Anwendung makroskopischer Analyse- und Konstruktionsverfahren. Die Mikrotöne, die elementaren Schallpartikel, besitzen auf der von uns eingenommenen Stufe keine Bedeutung. Allein die Partikelgruppen und die Eigenschaften dieser Gruppen haben einen Sinn. Selbstverständlich wird in ganz besonderen Fällen das einzelne Partikel wieder zu seinen Ehren gelangen. In der Wilson'schen Nebelkammer ist es das Elementarteilchen, das die theoretische und experimentelle Physik trägt, und bei der Sonne ist es die Gesamtheit der Partikel und ihre dichten Wechselwirkungen, welche den Gegenstand Sonne ausmachen.

Unser Arbeitsfeld ist also der oben angeführte gekrümmte Raum, den wir jedoch der Einfachheit halber mit Hilfe einer wechselseitigen adäquaten Umwandlung in einen geradlinigen Raum verwandelt haben, der die Gültigkeit der Gedankengänge, denen wir folgen werden, sicherstellt.

RASTER

Die graphische Darstellung einer Partikelwolke innerhalb eines Zeitabschnittes Δt , der zu Beginn untersucht wurde, hat uns einen neuen Begriff zugeführt: den der Dichte der Partikel pro Volumeneinheit $\Delta F \cdot \Delta G \cdot \Delta t$.

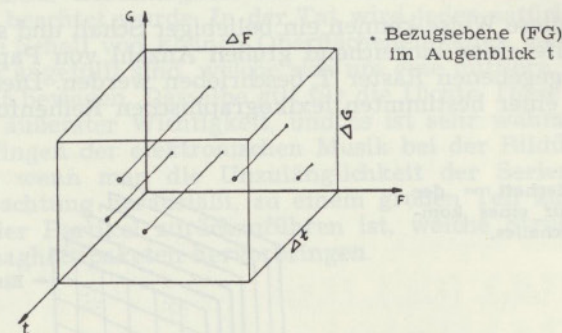


Abb. 7

ΔD bezeichnet die Dimension der Dichte.

Jeder mögliche Schall kann also in eine präzise Menge von Elementen $\Delta F \cdot \Delta G \cdot \Delta t \cdot \Delta D$ mit vier Dimensionen zerlegt werden, die in diesem Raum gemäß gewisser, diesen Schall definierenden Regeln angeordnet sind und durch eine Funktion mit 4 Veränderlichen zusammengefaßt werden: $s(F, G, D, t)$.

Der Maßstab der Dichte wird ebenfalls logarithmisch sein, mit einer Zahl als Basis, die zwischen 2 und 3 genommen werden kann.*

Um die Darstellung zu vereinfachen, lassen wir diese neue Koordinate der Dichte unberücksichtigt. Sie wird in unseren Überlegungen jedoch stets als ein dem dreidimensionalen Element $\Delta F \cdot \Delta G \cdot \Delta t$ zugeordnetes Seiendes zugegen sein.

Wenn die Zeit als ein lexikographisches Ordnungsverfahren betrachtet wird, können wir die Werte Δt ohne Beeinträchtigung als gleich, konstant und hinreichend klein annehmen. Wir können somit über einen zweidimensionalen Raum urteilen, der durch die beiden Halbachsen F und G definiert wird, vorausgesetzt jedoch, daß nicht aus den Augen verloren wird, daß die Wolke von Schallpartikeln in

* Die Wahl des logarithmischen Maßstabes und der Basis zwischen 2 und 3 wurde vorgenommen, um einen Anhaltspunkt zu geben. Sie entspricht indessen den Ergebnissen der Untersuchungen auf dem Gebiete der experimentellen Musik, die vom Verfasser durchgeführt wurden.
Beispiel: Diamorphoses, Schallplatte BAMEX 242, Paris.

der Zeitschicht Δt existiert und nur künstlich in die Ebene (FG) gelegt wurde.

Diese Ebene (FG), welche den durch ein ausreichend dichtes und homogenes Gitter, wie es im Vorhergehenden definiert wurde und den gegliederten Hörbereich darstellt, dessen Felder von Schallpartikeln besetzt sind oder nicht, wird in den folgenden Ausführungen durch das Wort „Raster“ bezeichnet.

Auf diese Weise können ein beliebiger Schall und seine Geschichte mit Hilfe einer hinreichend großen Anzahl von Papierblättern mit einem gegebenen Raster T beschrieben werden. Diese Blätter werden in einer bestimmten lexikographischen Reihenfolge zusammengestellt.

Ein Rasterheft = der Lebenslauf eines komplexen Schalles.

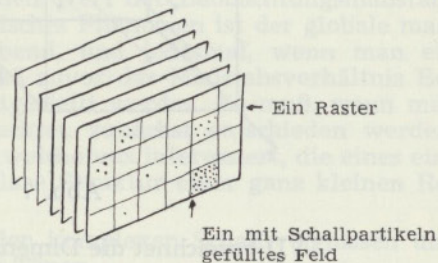


Abb. 8

Die in die Raster eingezeichneten Wolken von Schallpartikeln werden sich von einem Raster zum anderen durch ihre Position in der Intensitäts-Frequenz-Ebene (Topologie) und durch ihre Oberflächendichte unterscheiden.

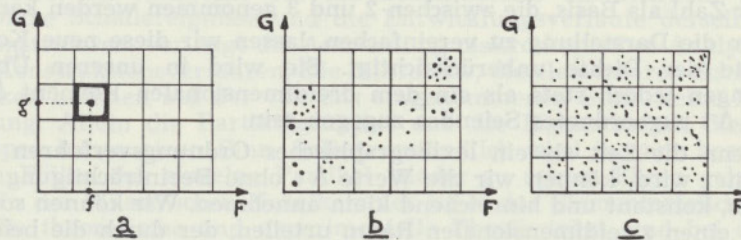


Abb. 9

Der Raster a enthält ein kleines elementares Rechteck mit einer kleinen Wolke mit der Dichte d, der durchschnittlichen Frequenz f und der durchschnittlichen Amplitude g. Es handelt sich hier beinahe um einen reinen Ton.

Der Raster b stellt einen komplexeren Schall mit dunklen und hellen Dominanten und einer schwachen Mittelzone dar. Der Raster c gibt ein Geräusch von geringer Dichte wieder, das also wie ein den gesamten Hörbereich einnehmendes tönendes Farbenspiel wahrgenommen werden kann.

Das Wesentliche in allen bisher getroffenen Feststellungen ist, daß die geographische Beständigkeit der Partikel auf den Rastern in keiner Weise beachtet wurde. In der Tat wird jeder natürliche oder instrumentale Schall von kleinen Oberflächeneinheiten gebildet, die mit Partikeln angefüllt sind, welche sich um eine mittlere Frequenz und Intensität bewegen. Dasselbe gilt für die Dichte. Diese Feststellung ist von äußerster Wichtigkeit, und es ist sehr wahrscheinlich, daß das Mißlingen der elektronischen Musik bei der Bildung neuer Klangfarben, wenn man die Unzulänglichkeit der Serienmethode aus der Betrachtung herausläßt, zu einem großen Teil auf die Beständigkeit der Partikel zurückzuführen ist, welche Strukturen in Form von Spaghettipaketen hervorbringen.

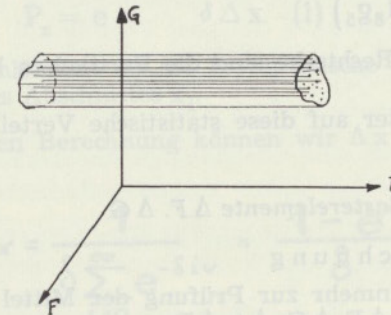


Abb. 10

Die geographische Beständigkeit der Partikel stellt einen sehr speziellen Fall dar, wohingegen im allgemeinsten Falle die Beweglichkeit, die statistische Verteilung der Partikel um Gleichgewichtspositionen herum gegeben ist.

Infolgedessen läßt sich die große Mehrheit der bisher bekannten Schallereignisse in hinreichend kleine Rechtecke $\Delta F \cdot \Delta G$ zerlegen, in denen die Position und Dichte der Partikel von einem Raster zum anderen gemäß gut oder nur wenig definierten Gesetzen variieren. Nach unserer Annahme sind die Partikel der Rechtecke $\Delta F \cdot \Delta G$ dort dem Zufalle entsprechend verteilt, so daß die Verteilung innerhalb von $\Delta F \cdot \Delta G$ um so homogener ist, je kleiner die Rechtecke sind.

Der Schall des Beispiels d in einem bestimmten Augenblick wird durch die Vereinigung der folgenden Rechtecke gebildet:

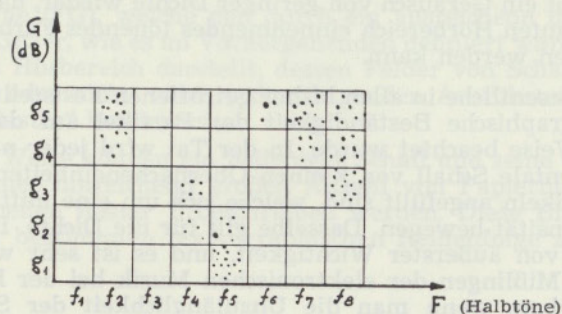


Abb. 11

$(f_2g_4), (f_2g_5), (f_4g_3), (f_4g_4), (f_5g_1), (f_5g_2), (f_6g_5), (f_7g_5)$
 $(f_8g_3), (f_8g_4), (f_8g_5)$

und in jedem der Rechtecke sind die Partikel in homogener Weise angeordnet.

Wir werden später auf diese statistische Verteilung zurückkommen.

Konstruktion der Rasterelemente $\Delta F, \Delta G$

1. Durch Berechnung

Wir gelangen nunmehr zur Prüfung der Mittel für die Berechnung der Elemente $\Delta F, \Delta G, \Delta t, \Delta D$.

Wie lassen sich diese Partikel in einem Elementarvolumen verteilen? Wenn wir uns auf eine mittlere Dichte der Partikel (= Anzahl der Partikel pro Volumeneinheit) festlegen, so stellt sich uns die Aufgabe der Lösung eines Wahrscheinlichkeitsproblems in einem vierdimensionalen Raum. Eine einfachere Methode bestünde darin, zunächst die Theorie zu entwickeln und anschließend unsere Berechnung entsprechend jeder der vier Koordinaten getrennt aufzustellen.

Nehmen wir also d Schallpartikel pro Einheit $\Delta F, \Delta G, \Delta t$ an.

Koordinate der Zeit [7]

Wir nehmen d Punkte an, die auf einer Geraden liegen sollen (Koordinate der Zeit), deren Länge gleich l ist ($l = \Delta t$). Die lineare Dichte beträgt $\delta = \frac{d}{l}$ Punkte auf der Länge l.

Wir haben $OA = l$ und nehmen an, daß die d Punkte in beliebiger Weise auf OA mit einer Dichte δ verteilt und numeriert sind (von der Extremität O ausgehend von links nach rechts:

$$A_1, A_p, A_q, A_r, \dots).$$

Wir setzen

$$x_1 = A_1 A_p, \quad x_2 = A_p A_q, \quad x_3 = A_q A_r, \dots, \quad x_i = A_s A_t, \dots$$

Wenn die Längen in den Einheiten v ausgedrückt werden, so erhalten wir

$l = av$ ($a > 0$) und $\delta v = \frac{d}{a}$ Punkte in der Längeneinheit v, ferner

$$x_i = iv \quad (i = 0, 1, 2, \dots)$$

Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß der i-te Abschnitt eine Länge x_i zwischen x und Δx besitzt, ist

$$P_x = e^{-\delta v i} \delta \Delta x \quad (1)$$

Diese Wahrscheinlichkeit ist die asymptotische Grenze der relativen Häufigkeit des Abschnittes x_i .

In der praktischen Berechnung können wir Δx als konstant betrachten und

$$\Delta x = \frac{1}{\delta \sum_{i=0}^{\infty} e^{-\delta v i}} = \frac{1 - e^{-\delta v}}{\delta}$$

vorausgesetzt, daß $0 > \delta v \leq 10^{-n/2}$

wobei n eine ziemlich große natürliche Zahl ist, um die Bedingung für die asymptotische Gültigkeit der Formel (1) herzustellen. (Siehe Anhang 1.)

Koordinaten der Intensität der Frequenz und der Dichte [7]:

Jede Frequenz und jede Intensität (sowie jede Dichte) bildet mit der vorhergehenden ein Intervall. Jedes Intervall ist durch einen Abschnitt x der jeweiligen Achsen F und G identifiziert. Es geht darum, eine Gerade $AB = a = \Delta F$ (ΔG oder ΔD) zu ziehen, wobei A die höchste und B die niedrigste Frequenz oder Intensität oder Dichte darstellt. Ein Abschnitt x, der sich innerhalb AB befindet, liegt zwischen j und $j + dj$ ($0 \leq j \leq a$).

Die Wahrscheinlichkeit dieses Ereignisses ist:

$$\Theta(j) dj = \frac{2}{a} \left(1 - \frac{j}{a}\right) dj$$

wobei dj als konstant angenommen wird $\sum \Theta(j) dj = 1$

$$dj = \frac{1}{\sum_{j=0}^a \frac{2}{a} \left(1 - \frac{j}{a}\right)}$$

$\sum_{j=0}^a \frac{2}{a} \left(1 - \frac{j}{a}\right)$ ist die Summe einer arithmetischen Reihe,

deren n -tes Glied ist: $u = \frac{2}{a} + (n-1)r$

und deren Bedingung $r = \frac{2}{a} \left(1 - \frac{j+1}{a}\right) - \frac{2}{a} \left(1 - \frac{j}{a}\right)$,

woraus folgt $r = \frac{2}{a^2}$

wenn das n -te Glied das letzte ist ($j = a$)

$u = 0$ und $n = a + 1$

und schließlich $\sum_{j=0}^a \frac{2}{a} \left(1 - \frac{j}{a}\right) = \frac{a+1}{a}$ und $dj = \frac{a}{a+1}$

Also ist $\Theta(j)dj$ eine unabhängige lineare Funktion der Dichte der Partikel.

Wir können die Gerade ziehen, da für $j = 0$, $\Theta(j)dj = \frac{2}{a+1}$ und für $j = a$, $\Theta(j)dj = 0$

und die Tabelle z. B. der Häufigkeit der Intervalle x wird erhalten, indem man die Ordinatenwerte der Punkte der Geraden mit der Zahl der Partikel minus 1 multipliziert.

2. Durch Erfahrung

Da die Wahrscheinlichkeiten der Frequenzen und Intensitäten (und der Dichten) Funktion der Seiten der Rechtecke $\Delta F \cdot \Delta G$ sind (unabhängig von der Dichte d), und wenn wir annehmen, daß die Oberflächeneinheiten $\Delta F \cdot \Delta G$ über den gesamten Hörbereich hin genormt sind, können wir auf dem Papier die Verbindung der verschiedenen Intervalle x , die aus der Tabelle der Häufigkeit des Ereignisses hervorgingen, durch eine Auslosung von zwei (oder drei) Urnen ersetzen, deren Kugeln in identischer Weise in den Proportionen der vorher ein für alle Mal kalkulierten Tabelle numeriert sind.

3. Durch Mischung auf Magnetophongeräten

Die Partikel werden realisiert, indem man von Sinustönen ausgeht, deren Dauer etwa 0,04 Sek. beträgt.

Diese Partikel müssen die Elementarfläche $\Delta F \cdot \Delta G$, die man sich vorgeschrieben hat, bedecken. Der zeitliche Ablauf wird mit Hilfe der Tafel der Zeitabschnitte für eine minimale Dichte d realisiert. Durch Mischung von Stücken dieses Bandes mit sich selbst können wir Werte für die Dichte erzielen, die in geometrischer Weise, also logarithmisch mit der Basis 1, 2, 3, usw. variieren, je nach der Zahl der synchronen Tonspuren, über die wir verfügen. Es sei denn, wir besitzen Elektronengehirne. In diesem Falle könnte eine Programmierung der Frequenz- und Intensitätsimpulse die Mischung ersetzen.

Erste allgemeine Bemerkung

Wir nehmen ein Feld $\Delta F \cdot \Delta G \cdot \Delta t$ an, das, obwohl es in homogener Weise von Schallpartikeln eingenommen wird, in der Zeit schwankt, wobei es sich um eine mittlere Dichte d_m bewegt. Wir können eine andere synthetischere Beweisführung anwenden und zugeben, daß diese Schwankungen im allgemeinsten Falle (wenn der Schallabschnitt hinreichend lang ist) beliebig sein werden und also den Gesetzen des Zufalles unterliegen. In diesem Falle stellt sich das Problem in folgender Weise:

Welches ist, unter Annahme einer prismatischen Wolke von Partikeln mit einer Dichte d_m , einem Querschnitt $\Delta F \cdot \Delta G$ und einer Länge $\sum_{j=0}^n \Delta t$, die Wahrscheinlichkeit dafür, daß in einem Elementarvolumen $\Delta F \cdot \Delta G \cdot \Delta t$ d Partikel enthalten sind? Ist der Wert d_m hinreichend klein, so wird die Wahrscheinlichkeit durch die Formel von Poisson gegeben:

$$p_d = \frac{d_m^d}{d!} e^{-d_m}$$

Für die Definition eines jeden Partikels werden wir wiederum die oben ausgeführten Methoden verwenden [8, 9, 10].

Zweite allgemeine Bemerkung (Vektorraum) [8]

Wir könnten die Elementarfelder ($\Delta F \cdot \Delta G$) der Raster ebenfalls nicht mit Punkten, sondern mit elementaren Vektoren konstruieren, die den Partikeln zugeordnet sind (Vektorraum). In der Tat setzt die mittlere Dauer von 0,04 Sek. pro Partikel einen kleinen Vektor voraus. Der Sonderfall des Partikels tritt ein, sobald der Vektor parallel zur Zeitachse liegt, wobei seine Projektion auf die Ebene (F, G) ein Punkt ist, und die Frequenz des Partikels ist konstant. Im

allgemeinen können die Frequenzen und Intensitäten der Partikel veränderlich und das Partikel ein sehr kurzes Glissando sein.

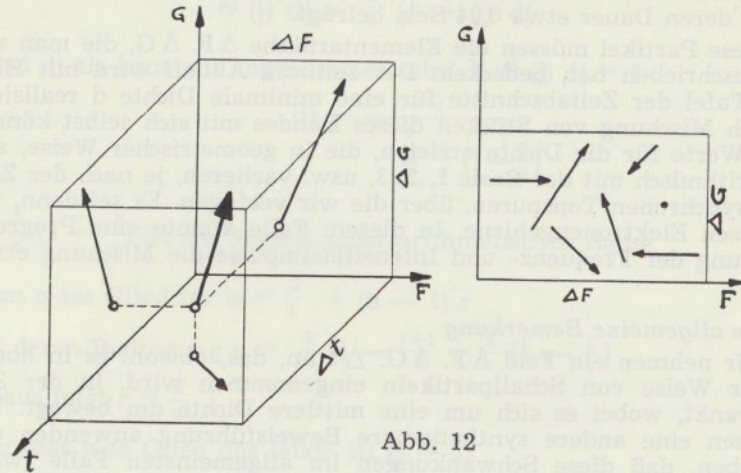


Abb. 12

In einem derartig definierten Vektorraum (F, G) würde die Konstruktion der Raster vielleicht erschwert, da der Begriff der Geschwindigkeit und der statistischen Verteilung ihrer Werte eingeführt werden müßte; aber das Interesse dieses Unternehmens ist gewaltig. Wir könnten uns Raster auf der Grundlage magnetisierter oder vollkommen neutraler (ungeordneter) Partikelfelder vorstellen.

Im Falle der totalen Unordnung errechnen wir die Wahrscheinlichkeit $f(v)$ des Vorhandenseins eines Vektors v in der Ebene (F, G) mit Hilfe der auf zwei Dimensionen zurückgeführten Formel von Maxwell [11]:

$$f(v) = \frac{2v}{a^2} e^{-\frac{v^2}{a^2}} \text{ und für den Mittelwert } v_1 \leq v_m \leq v_2$$

$$P(v_m) = \frac{2\sqrt{\pi}}{a} [\Theta(\lambda_1) - \Theta(\lambda_2)]$$

$$\text{worin } \lambda_i = \frac{v_i}{a}, \quad \Theta(\lambda_i) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\lambda_i}^{+\lambda_i} e^{-\lambda^2} d\lambda \quad [12]$$

(normales Gauß'sches Gesetz).

Auf jeden Fall werden die Beweisführungen in ihrer Gesamtheit nicht verändert, ob es sich nun um einen Vektorraum oder um einen Skalarenraum handelt [13].

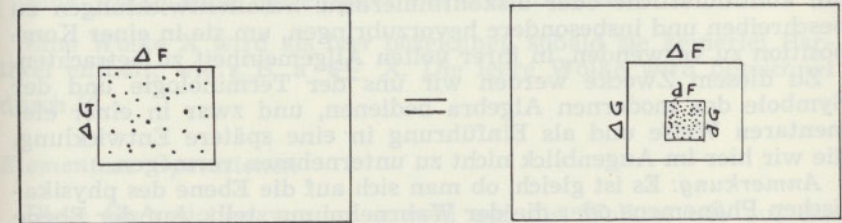
Zusammenfassung der Raster

a) Ein Raster wird durch eine Menge von Wolken definiert, die ihrerseits eine Menge von elementaren Rechtecken $\Delta F, \Delta G$ darstellen und Schallpartikel enthalten oder nicht enthalten.

Und dieses zu einem Zeitpunkt t in einem Zeitabschnitt Δt , der beliebig klein sein kann.

b) Die Schallpartikel bilden eine jedem elementaren Rechteck $\Delta F, \Delta G$ eigene Dichte und sind in diesem in ergodischer Weise* verteilt.

c) Innerhalb der Elemente $\Delta F, \Delta G$ lassen sich noch kleinere Rechtecke dF, dG lokalisieren und dort alle Partikel (Vektoren) von $\Delta F, \Delta G$ konzentrieren, ohne daß dadurch die dem $\Delta F, \Delta G$ beigeordnete Dichte verändert würde, da sie stets im Verhältnis zu $\Delta F, \Delta G$ betrachtet wird.



$$dF, dG \leq \Delta F, \Delta G$$

$$D = D$$

Abb. 13

Dichte D = Dichte D

d) die Konzeption des Elementarvolumens $\Delta F, \Delta G, \Delta t, \Delta D$ ist derart, daß im allgemeinen keinerlei Gleichzeitigkeit der Partikel vorgesehen ist. Die Gleichzeitigkeit tritt ein, sobald die Dichte einen hinreichend hohen Wert erreicht. Ihre Häufigkeit ist mit der Größe der Dichte verbunden. Alles ist eine Frage des Maßstabes, und dieser Paragraph bezieht sich insbesondere auf die Realisierung. Da die zeitliche Dimension des Partikels (Vektor) sich in der Größenordnung

* Ergodisch (Prinzip): „die unbeständige Wirkung einer Operation, die vom Zufall abhängt, wird durch eine hinreichende Wiederholung dieser Operation in zunehmendem Maße reguliert.“ Hierbei versteht es sich, daß eine ziemlich große Folge von Rastern berücksichtigt wird [14].

von 0,04 Sek. bewegt, kann keinerlei Überschneidung zweier Partikel (Vektoren), z. B. bei der Realisierung der elementaren Dichte:

$$D_0 = 1,5 \frac{\text{Partikel}}{\text{Sec}}$$

zugelassen werden. Und da die Oberflächenverteilung der Partikel ergodisch ist, kann nur der Zufall eine Überschneidung schaffen.

e) Im Grenzfalle kann es geschehen, daß ein Raster nur einen einzigen reinen Ton (Sinuston) oder sogar überhaupt keinen Ton enthält (leerer Raster).

ELEMENTARE OPERATIONEN AN DEN RASTERN (ALGEBRA)

Es wird ein komplexes Schallereignis angenommen. In einem Augenblick t seiner Lebensdauer und während eines Abschnittes Δt kann es durch eine oder mehrere Wolken von Partikeln oder Vektoren auf der Ebene (FG) dargestellt werden. Dieses ist die Definition, die wir von dem Raster gegeben haben. Die Vereinigung mehrerer dieser Raster in einer gegebenen Ordnung beschreibt oder bestimmt den Verlauf dieses Schallkomplexes. Es wäre interessant, die Weise, die Raster zu kombinieren und nebeneinanderzustellen, um kontinuierliche oder diskontinuierliche Schallentwicklungen zu beschreiben und insbesondere hervorzuheben, um sie in einer Komposition zu verwenden, in ihrer vollen Allgemeinheit zu betrachten.

Zu diesem Zwecke werden wir uns der Terminologie und der Symbole der modernen Algebra bedienen, und zwar in einer elementaren Weise und als Einführung in eine spätere Entwicklung, die wir hier im Augenblick nicht zu unternehmen vermögen.

Anmerkung: Es ist gleich, ob man sich auf die Ebene des physikalischen Phänomens oder die der Wahrnehmung stellt. Auf der Ebene der Wahrnehmung zählen wir arithmetisch, was auf physikalischer Ebene als geometrisch erscheint. Dieses läßt sich in strengerer Weise ausdrücken. Die Wahrnehmung scheint eine additive, „beinahe“ isomorphe Gruppe der physikalischen Erregung zu bilden, welche eine multiplikative Gruppe darstellt. Das Wort „beinahe“ ist notwendig, um auf die Näherungen hinzuweisen.

Die Partikel (Vektoren) der Ebene (F, G) bilden eine Wolke. Ein Raster kann aus Null oder mehreren Partikelwolken (Vektoren) bestehen.

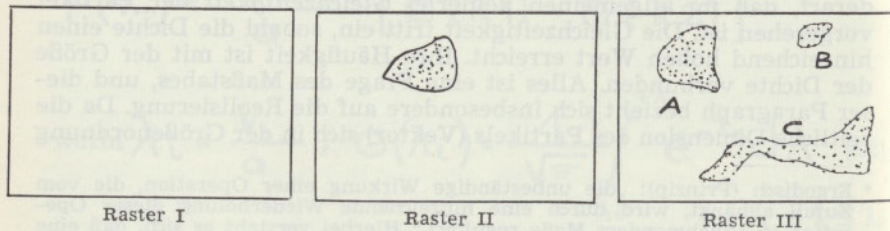


Abb. 14

Um auszudrücken, daß ein Partikel (Vektor) a zu einer Wolke E gehört, schreibt man $a \in E$, und die gegenteilige Beziehung wird durch $a \notin E$ wiedergegeben.

Sind alle Partikel einer Wolke X Partikel einer anderen Wolke Y , so sagt man, daß X in Y eingeschlossen ist oder daß X ein Teil oder eine Unterwolke von Y ist. Diese Beziehung wird ausgedrückt durch:

$$X \subset Y \text{ (Einschluß)}$$

Folglich erhalten wir die folgenden Eigenschaften:

$$X \subset X \text{ bei beliebigem } X$$

$$X \subset Y \text{ und } Y \subset Z \text{ ergeben } X \subset Z$$

Wenn $X \subset Y$ und $Y \subset X$, so werden die Wolken X und Y von denselben Partikeln gebildet; sie sind nicht unterscheidbar, und man schreibt:

$$X = Y \text{ (Gleichheit)}$$

Eine Wolke kann ein einziges Partikel enthalten.

Eine Wolke X wird als *leer* bezeichnet, sobald sie keinerlei Partikel enthält, wie z. B. $a \notin X$. Die leere Wolke wird bezeichnet durch $\emptyset$.

Elementare Operationen

Diese Operationen werden sowohl auf die Wolken wie auf die Raster angewandt, welche Mengen von Wolken darstellen.

Wir können also unterschiedslos die Begriffe „Raster“ oder „Wolke“, mit der Wolke oder dem Partikel „als konstituierendem Element“, verwenden.

Die Überschneidung zweier Raster A und B ist der Raster der Wolken, die zu A und zu B gehören. Man schreibt $A \cap B$, und diese Beziehung wird gelesen A inter B (von frz. intersection).

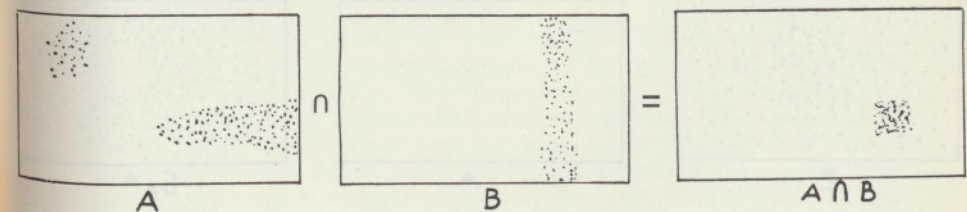


Abb. 15

Wenn $A \cap B = \emptyset$ ist, so sagt man, daß A und B *disjunktiv* sind.

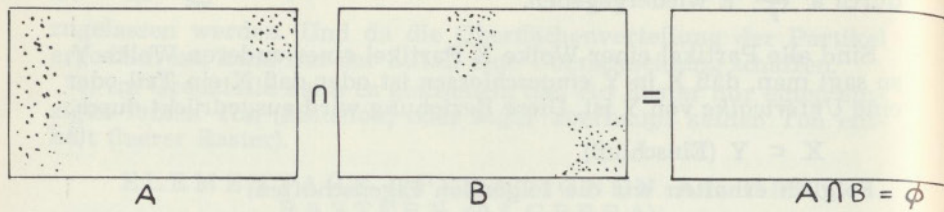


Abb. 16

Die *Vereinigung* zweier Raster A und B ist die Gesamtheit der Wolken, die *entweder* zu A *oder* zu B *oder* zu beiden gehören.

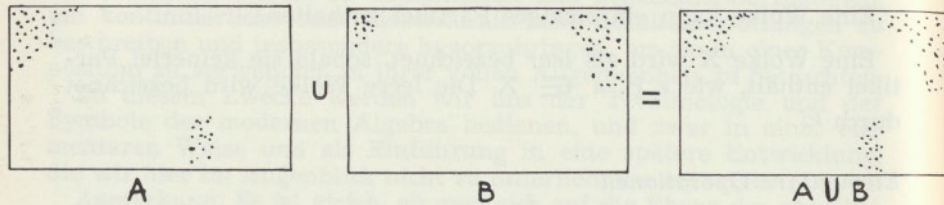


Abb. 17

Das *Komplement* eines Rasters A im Verhältnis zu einem Raster E, der A enthält, ist die Gesamtheit der Wolken von E, die nicht zu A gehören. Dieses wird bezeichnet durch $C_E A$, wenn über E kein Zweifel möglich ist.

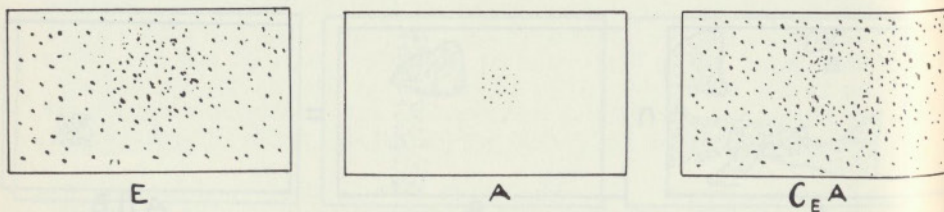


Abb. 18

Die *Differenz* $(A - B)$ zwischen A und B ist die Gesamtheit der Wolken von A, die nicht zu B gehören. Die sofortige Folge hiervon: $A - B = A - (A \cap B) = C_A (A \cap B)$.

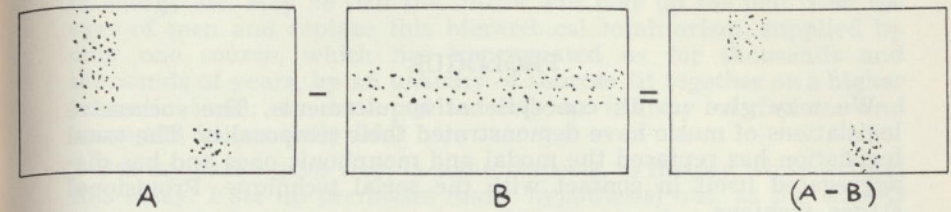


Abb. 19

Wir werden diesen Exkurs hier abschließen. Er wird es uns erlauben, eine klarere und bequemere Gesamtübersicht der folgenden Manipulationen und Beweisführungen zu gewinnen.

Elements of Stochastic Music

by

IANNIS XENAKIS

PROLOGUE

We may give up all conceptional acquirements. The successive legislations of music have demonstrated their temporality. The tonal legislation has replaced the modal and monophonic ones and has disaggregated itself in contact with the serial technique. Provisional stages, fashions.

To-day there is no necessity, concerning an acoustic event, to transform it or to compare it with another one. We are solitaires in the universe, without bonds, without any guide, without any pole-star. An impasse? We only have to clear away and to go down to the foundations of thought and action.

Let us begin with the necessity. It is a human "category" (nature doesn't know it). An infinitesimal event A ever succeeds to A: it is the being, the existence. An event B ever follows to A: we have the classical causality. Two events B or C always follow to A with relative frequencies for the couples AB and AC tending towards limits when these successions are repeated often enough: and we are in presence of a bivalent causality. The probabilities (relative frequencies of a long series of couples) of the succession AB or AC take values from 0 to 1, for instance p_1 and p_2 , so that $p_1 + p_2 = 1$. Now we'll pass to the limit. The event A is followed up by infinity of other events A, B, C, The probabilities of the successions AA, AB, AC, AD, will have as its sum the unit, $p_1 + p_2 + p_3 + \dots = 1$, and every p_i will be positive and smaller than 1. Now, if the p_i are equal one in comparison with the other, each p_i will be obliged to tend towards zero. The consequence is: the successions AA, AB, AC, will never occur. Just like the most general, the richest causality (with an infinite entropy) meets the total impossibility, there will be nothing after and during A! That's the generalization of the ass of Burdian in front of all worldly material and intelligent goods under the condition that there were an ass and the universe; nothing however involve them but experience. Thus, according to Dauvillier-Seguin, we would be the "sons of the ultra-violet radiation, which has caused, on the surface of the original oceans, the creation of different bodies from which onwards vital processes have been enabled, by the gambling of the creating chance and along the ages, to manifest themselves spontaneously and to become more and more complex". [0].

One can accept and set up a "plural" cosmotheory. Where is the beginning of the effort of a "monistic" Weltanschauung? But in any

case it's this conception of the world which governed the history of humanity. First of all the only divinities of myths and the great antique religions, followed up by the Platonic Demiurgos, then the Christian God, the Hegelian Idea, the principle of the conservation of energy etc. May be that the future will take up the veil from the eyes of men and replace this hierarchical totalitarism, supplied by only one source, which has impregnated us for thousands and thousands of years, by an anarchy of sources fit together on a higher fantastic level; we have quite well an infinity of fathers and managers in our daily life!

For my part I gave way, in some respects, to history while writing this essay. I set up premisses (basic hypothesis) but, as the time is pressing, I admitted structures and reasonings borrowed from any horizon of modern thinking close to my preoccupations.

I also gave back to music, in any case I tried it, the field of mathematics (extension of intuition), which I consider from three essential points of view:

- 1) Philosophical summary of the being and of its evolution : example : the Poisson's law. [13].
- 2) Qualitative support and mechanism of the Logos : Examples : the theory of ensembles, theory of chain events from which I drew the expression "stochastic" to characterize the total process of this new method of "composition".
- 3) Measuring instrument refining the investigation, the realization (and perception) : example : matrix calculation.

Because the Music is a homomorphism of universe thanks to the actual thinking and first of all thanks to pure mathematics and to logic. And the part of the *composer* of nowadays is *firstly* to invent schemes of thinking, operational prototypes and only in a *second place* to look after their sonorous or luminous materialization.

This book is only a beginning, an introduction, for it takes up a giant problem; and the work of other searchers will progressively contribute to enrich, to complete and to limit the open breach. Therefore we do not deal with the mechanisms of autocorrelation, of the conditioned reflexes, of the apprenticeship etc. which could be utilized too. And there is no question too of unsuspected creations owing to the enormous ensembles of "giant brains".

It may be read by everybody, but especially by a new category of searchers: the "experimental composers", they may be musicians, film-producers, painters, sculptors etc. provided that they dispose of a certain mathematical luggage and particularly of a spirit of adventure. For I am convinced that the mathematics, physics and psychology, a sort of new Trivium, must be taught by the conservatoires within one generation if not the Scientific Research will run the risk of founding a new department: "the Audio-visual

Research" which would absorb the studies about composition brought about by the actual conservatoires.

But if music takes a special part in this book all the other fields of "artistic" action nevertheless are included too, to such a point the form of thinking is general. In any case this book will meet two sorts of unsatisfied readers: the not "geometrized" musician, in the sense of the inscription engraved at the entrance of Platon's Academy, and the scientific who, not being interested in music, runs the risk of learning nothing in it.

This is my risk or rather the risk of the Professor Hermann Scherchen, indefatigable promotor of principal ideas of contemporary music, who instigated this essay and who afterwards decided on publishing it in German and English. In this place I want to express him my profound esteem and gratitude.

I also owe very much to Mr. Oliver Messiaen and I thank him particularly for the great incitements which he was so kind to give me. I also thank Mr. Pierre Schaeffer, the founder of the "Concrete Music", who was so kind to permit the realization of a sample of the "Analogique B" in the studios of the Radiodiffusion Télévision Française as well as Mr. Dr. Ungeheuer for his very precious scientific advices.

Paris, April—May 1959

First Part

GENERALITIES

Basic hypothesis (Lemme) and definitions

All sounds represent an integration of corpuscles, of elementary acoustic particles, of sound quanta. Each of these elementary particles possesses a double nature: the frequency and the intensity (the life-time of each corpuscle being minimum and invariable)*. Every sound, every even continuous variation of a sound is to be under-

* This description of the micro-structure of acoustic signals is used as the starting-point of the musical realization and must be understood rather as to be an intuitive representation than of scientific consistence. But it can be considered as to be a first approach towards the ideas introduced into the theory of informations by GABOR (see MEYER-EPPLER, p. 21)*. In the so called GABOR matrix an acoustic event is decomposed into elementary signals of very short effective duration, the amplitudes of which could be decomposed too in the sense of the theory of informations. However these elementary signals are sinusoidal functions with a GAUSS' curve or "bell-curve" as envelope. Nevertheless it is possible to imagine these Gabor signals being approximated by sinusoidal tones of short duration presenting a nearly rectangular envelope.

* W. MEYER-EPPLER, Grundlagen und Anwendungen der Informations-theorie, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1959.

stood as an assembly of a sufficient number of elementary particles being disposed adequately within the time level. Thus any sound complex can be analyzed into series of pure sinusoidal tones, even if the variations of these latter ones are infinitely close together, of short duration and complex. During the attack of a complex sound, its full chord and its decay, thousands of pure tones appear within a very short interval Δt . Hecatombs of pure sounds are necessary for the creation of a complex sound. This one should be imagined as to be a display of fireworks sparkling in all colours, each luminous point of which appearing and disappearing instantaneously on the background of the black sky. But there would be so many luminous spots in this firework and they would be organized in such a way that their rapid and swarming succession creates forms, slowly uncoiling volutes or in the contrary short explosions inflaming the whole sky. A sufficient number of instantaneously appearing and disappearing spots would form a luminous line.

The two physical natures of the sound are associated. They constitute two ensembles which are independent in virtue of their nature: the F and the G. They have a product ensemble, the $F \times G$ which is the elementary corpuscle of the sound. Generally, the ensemble F is a univocal (homomorphic) application to the ensemble G. An application of F to G can be given either by an extensive or by a matrix representation or by a canonical representation.

Examples of representation:

Extensive: (Term by term)	Frequencies	f_1	f_2	f_3	f_4	.....
	Intensities	g_1	g_n	g_3	g_h	.....

Matrix: (in form of a table)	$\downarrow$	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	.....
g_1	+	0	+	0	0	0	+		
g_2	0	+	0	0	0	+	0		
g_3	0	0	0	+	+	0	0		
.									
.									
.									

Canonical:
(in form of
a function)

$$\sqrt{f} = Kg$$

f = frequency
 g = intensity K = coefficient

The application can also be indetermined (stochastic) and the most convenient representation is given by a matrix which indicates the transition probabilities.

Example:

$\downarrow$	f_1	f_2	f_3	f_4	.....
g_1	0,5	0	0,2	0	.....
g_2	0	0,3	0,3	1	.....
g_3	0,5	0,7	0,5	0	.....

This table must be interpreted in the following way: for every value f_i or f there are one or more corresponding values g_i of the intensities determined by a probability. Example: to the frequency f_2 correspond two intensities g_2 and g_3 with a chance of occurrence of 30% and 70% respectively.

On the other hand both of the ensembles F and G can show a structure. That means internal relation and compositional laws.

The time t is considered to be a totally regulated ensemble which is applied to F or to G in form of lexicographical order.

Examples: a) $f_1 \quad f_2 \quad f_3 \dots$ b) $f_{0,5} \quad f_3 \quad f_{\sqrt{11}} \quad f_x \dots$
 $t = 1, 2, \dots$ $t = 0,5; 3; \sqrt{11}; x; \dots$

c)

$t =$	f_1	f_1	f_2	f_1	f_2	f_2	f_n	f_3	...	...	...
	A	B	C	D	E	...	...	...	...	...	...
	Δt	Δt	Δt	Δt	Δt	Δt	Δt	...	...	...	...

$\Delta t = \Delta t$

The example c) represents the most general form, the continuous evolution being decomposed into unvarying sections Δt which transform it into a discontinuous evolution and which can be isolated much easier and examined with a magnifying glass.

Graphic representations

The values of the pure frequencies can be assimilated to points which are distributed on a half-abscissa axis and the values of intensities on a half-ordinate axis.

The scales of the co-ordinate system will be logarithmic.

In decibels for the intensities, in octaves or half-tones for the frequencies.

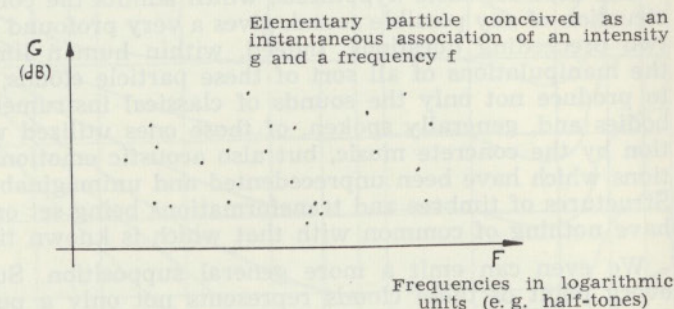


Fig. 1

This cloud of points is the cylindric projection on the plane (FG) of the particles which are contained in a rather short portion Δt .

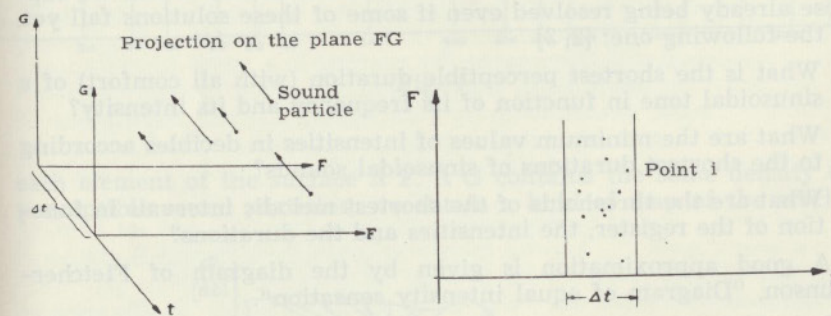


Fig. 2

Fig. 3

Every point i is to be affected by an intensity g .

These two graphic representations make the abstract possibilities, mentioned up to now, more tangible.

We are in presence of a cloud of points which progress. This cloud is the product of the two ensembles F and G within the portion Δt . What can be the restrictive limits of human psychophysiology?

What are the most general manipulations which could be imposed to the clouds and to their transformations within the psychophysiological limits?

The abstract basic hypothesis, which admits the corpuscular construction of any possible sound, gives a very profound sense to these two preceeding questions. Indeed, within human limits and with the manipulations of all sort of these particle clouds, we can hope to produce not only the sounds of classical instruments, of elastic bodies and, generally spoken, of those ones utilized with predilection by the concrete music, but also acoustic emotions with evolutions which have been unprecedented and unimaginable up to now. Structures of timbres and transformations being set on bases which have nothing of common with that which is known till now.

We even can emit a more general supposition. Supposing that every point of these clouds represents not only a pure frequency and its satellite intensity but already a structure of elementary particles being arranged a priori. We think that a sonority of second order and even third order etc. could be created in this way.

Recent and future works on audition have given and will give satisfying answers to the problems of perception.

A series of basic problems, which concerns us and which we suppose already being resolved even if some of these solutions fail yet, is the following one: [2, 3]

- 1) What is the shortest perceptible duration (with all comfort) of a sinusoidal tone in function of its frequency and its intensity?
- 2) What are the minimum values of intensities in decibels according to the shortest durations of sinusoidal sounds?
- 3) What are the thresholds of the shortest melodic intervals in function of the register, the intensities and the durations?

A good approximation is given by the diagram of Fletcher-Munson, "Diagram of equal intensity sensation".

Indeed, in summing up it exists an enumeration of the audible elementary particles. Their total number is about 340.000. The ear is much more sensible in the centre of the audible area.

At the extremities is perceives less the amplitude and melodic intervals.

Thus, if one would represent the audible area by the coordinate system F and G , but in a homogeneous manner, which means that

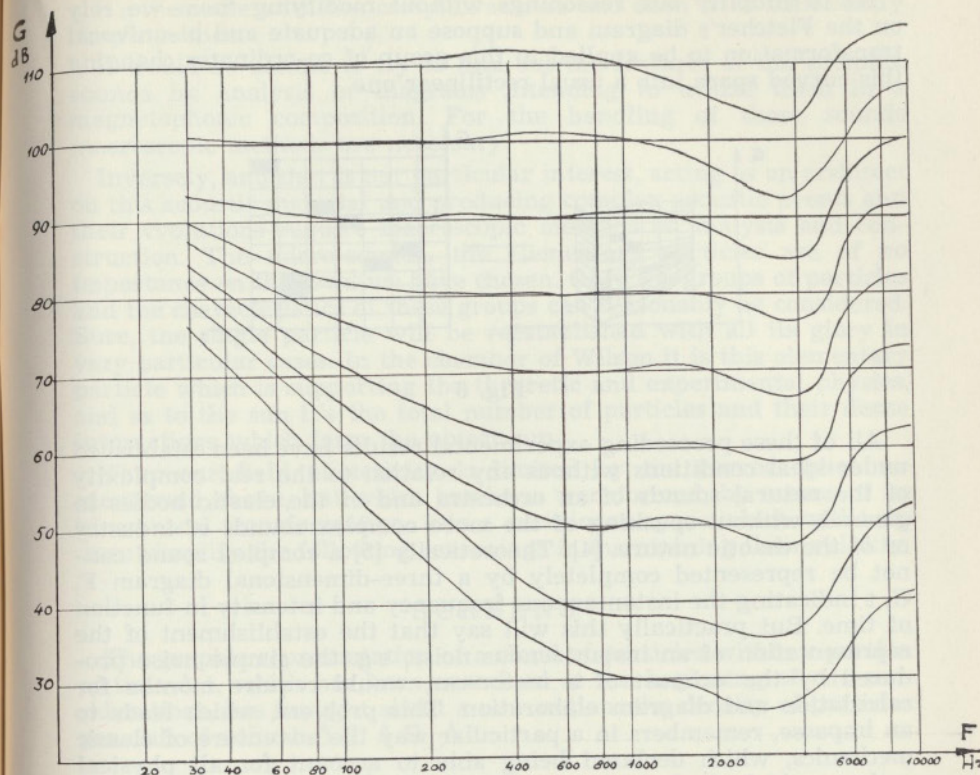


Fig. 4

each element of the surface $\Delta F \cdot \Delta G$ contains the same density of perceptible sound particles, we obtain a kind of map of the world.

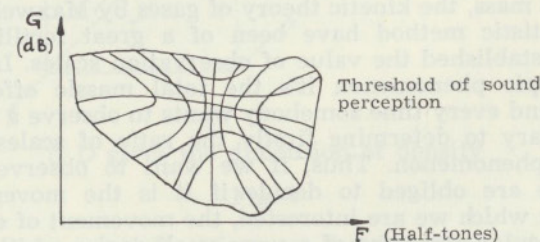


Fig. 5

As to simplify our reasonings without modifying them we rely on the Fletcher's diagram and suppose an adequate and bi-univocal transformation to be applied to this group of co-ordinates changing this curved space into a usual rectilinear one.

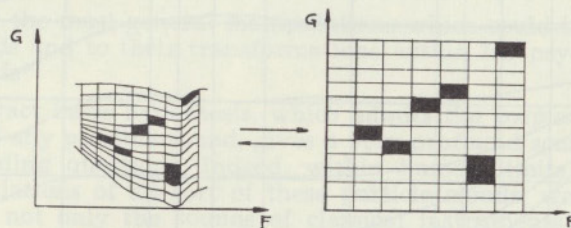


Fig. 6

All of these preceding experimental results have been established under ideal conditions without any relation to the real complexity of the natural sounds of an orchestra and of the elastic bodies in general, without speaking of the more complex sounds of industry or of the chaotic nature. [4]. Theoretically [5] a complex sound cannot be represented completely by a three-dimensional diagram F, G, t indicating the instantaneous frequency and intensity in function of time. But practically this will say that the establishment of the representation of an instantaneous noise, e.g. the simple noise produced by the exhaust of a motor-car, would require months for calculation and diagram elaboration. This problem, which leads to an impasse, remembers in a particular way the adventure of classic mechanics, which declared being able to account for all physical and even biological phenomena by nothing but some formulas and at the end of a sufficiently long period. But then several centuries of human work would have been necessary for the description of the state of a gaseous mass having a very reduced volume at an instant t , even if one admits simplifications at the base of the calculation!

That was a wrong problem, because it was useless, and concerning the gaseous mass, the kinetic theory of gases by Maxwell-Boltzmann and its statistic method have been of a great fertility. [6]. This method reestablished the value of observation scales. In the case of a macroscopic phenomenon it's the total massic effect which is important and every time somebody wants to observe a phenomenon it is necessary to determine firstly the ratio of scales: observer $\longleftrightarrow$ phenomenon. Thus, if we want to observe the galaxy systems we are obliged to decide if it is the movement of the ensemble in which we are interested, the movement of only one star or the molecular structure of a very small region on the surface of a star.

It's the same with the complex sounds and even with sufficiently simple sounds.

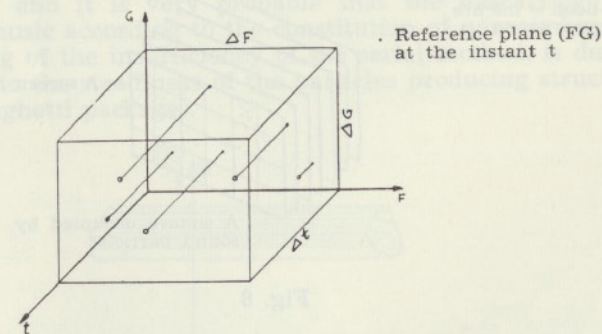
It would be useless to try to find out the features of the complex sounds by analysis or diagrams intending to utilize them in a magnetophonic composition. For the handling of those sounds macroscopic methods are necessary.

Inversely, and that is our particular interest, acting as an architect on this acoustic material und producing complex acoustic events and their evolutions require macroscopic methods of analysis and construction. The micro-sounds, the elementary particles are of no importance on the level we have chosen. Only the groups of particles and the characteristics of these groups can reasonably be considered. Sure, the single particle will be reestablished with all its glory in very particular cases. In the chamber of Wilson it is this elementary particle which is supporting the theoretic and experimental physics, and as to the sun it's the total number of particles and their dense interactions which form the object sun.

Thus our field of activity is limited by the curved space we mentioned above, but which has been transformed, by means of an bi-univocal transformation, into a rectilinear space which will help us to simplify the following reasonings in maintaining their validity.

SCREENS

The graphic representation of a cloud of particles within a portion of time Δt , which has been examined at the beginning of our considerations, has brought about a new notion: the density of particles per unit of volume $\Delta F, \Delta G, \Delta t$.



ΔD gives the dimension of density

Fig. 7

Every possible sound therefore can be decomposed into a determined quantity of elements $\Delta F, \Delta G, \Delta t, \Delta D$ with four dimensions,

being disposed within this space according to certain laws which define this sound and which can be resumed by a function with four variables: $s(F, G, D, t)$.

The scale of density will also be logarithmic, with as base a number which can be taken between 2 and 3*.

In order to simplify the statement we let this new co-ordinate of density unconsidered. But it will always be present in our mind as a reality associated with the three-dimensional element $\Delta F, \Delta G, \Delta t$.

If time is considered as a lexicographic ordonance system, we can admit the values of Δt , without prejudice, as to be equal, constant and sufficiently small. In this way we may argue about a two-dimensional space which is defined by the half-axis F and G , under the condition however that we never forget, that the cloud of acoustic particles is existing within the portion of time Δt and that it has been transformed into the plane (FG) only artificially.

This plane (FG) which represents a sufficiently dense and homogeneous squaring, as it is defined above, is the audible area the squares of which contain or not the acoustic particles. In the following it will be designated by "screen".

Thus, any sound and its history can be described, by means of a sufficient number of sheets, by a given screen T . These sheets are placed in a determined lexicographic order.

A screen-book = the life of a complex sound

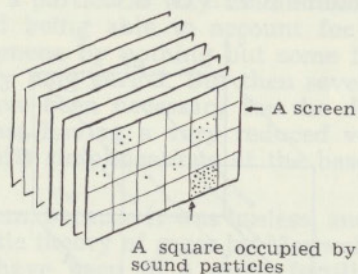


Fig. 8

* The logarithmic scale and the base between 2 and 3 have been chosen to give a foothold. This choice however corresponds to the results of those studies the author carried out in the field of experimental music.

Example: Diamorphoses, record BAMEX 242, Paris.

The clouds of sound particles shown in these screens will be differentiated from one screen to the other by their position in the intensity-frequency-plane (topology) and by their superficial density.

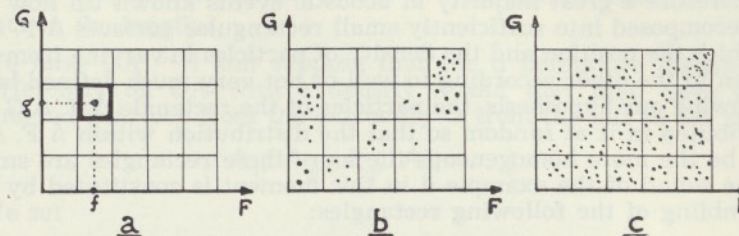


Fig. 9

The screen a contains a small elementary square including a little cloud with the density d , the mean frequency f and the mean amplitude g . It is nearly a pure sound.

The screen b represents a more complex sound with dominating graves and trebles and a weak middle register. The screen c represents a white noise of small density which therefore can be perceived as an acoustic play occupying the whole audible area.

This is the principal fact in all our constations up to now, that the geographical steadiness of the particles on the screens has not at all be considered. Indeed, every natural or instrumental sound is constituted by little surface elements which are filled up with particles oscillating around a mean frequency and intensity. This is also the case for the density. This establishment is of the highest importance, and it is very probable that the miscarriage of the electronic music according to the constitution of new timbres, without speaking of the insufficiency of the serial method, is due, for a great part, to the steadiness of the particles producing structures in form of spaghetti packages.

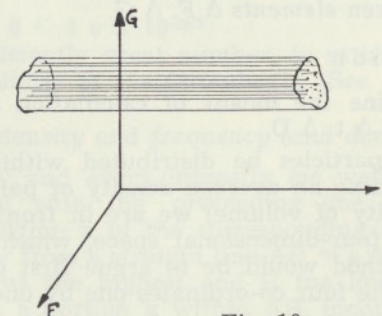


Fig. 10

The geographical steadiness of the particles is a very specific case because the most general case will present instability, the statistical distribution of particles around balance positions.

Therefore a great majority of acoustic events known till now can be decomposed into sufficiently small rectangular surfaces $\Delta F \cdot \Delta G$ in which the position and the density of particles in varying from one screen to the other according to well or not very much defined laws. Following our hypothesis, the particles of the rectangle $\Delta F \cdot \Delta G$ are distributed in it at random so that the distribution within $\Delta F \cdot \Delta G$ will be the more homogeneous the more these rectangles are small.

The sound of the example d in this moment is constituted by the assembling of the following rectangles:

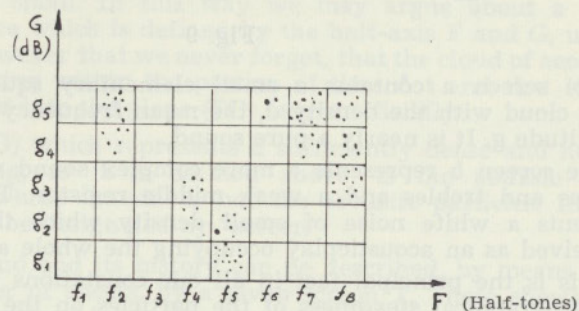


Fig. 11

$(f_2 g_4), (f_2 g_5), (f_4 g_2), (f_4 g_3), (f_5 g_1), (f_5 g_2), (f_6 g_5), (f_7 g_5),$
 $(f_8 g_3), (f_8 g_4), (f_8 g_5),$

and in each of these rectangles the particles are disposed in homogeneous way.

We'll re-examine this statistical distribution later.

Construction of screen elements $\Delta F \cdot \Delta G$

1. By calculation

Now we'll examine the means of calculation to determine the elements $\Delta F \cdot \Delta G \cdot \Delta t \cdot \Delta D$.

How can these particles be distributed within an elementary volume? When we fix an average density of particles (= number of particles per unity of volume) we are in front of a probability Problem within a four-dimensional space, which must be solved. A more simple method would be to argue first of all and to calculate afterwards the four co-ordinates one by one.

So we set d sound particles per unity $\Delta F \cdot \Delta G \cdot \Delta t$.

Co-ordinate of time [7]

We set d points which may be on a straight line (co-ordinate of time) the length of which is l ($l = \Delta t$). The linear density is $\delta = \frac{d}{l}$ points on the length l .

We have $OA = l$ and suppose that the d points are distributed indifferently on OA with a density δ and that they have been numbered (starting from the extremity O from the left to the right:

$$A_1, A_p, A_q, A_r, \dots).$$

We set

$$x_1 = A_1 A_p, \quad x_2 = A_p A_q, \quad x_3 = A_q A_r, \dots, \quad x_i = A_s A_t, \dots$$

Expressing the length by the unities v we get

$$l = av \quad (a > 0) \quad \text{and} \quad \delta v = \frac{d}{a}$$

points within the unity of length v , furthermore

$$x_i = iv \quad (i = 0, 1, 2, \dots)$$

The probability that the i -th section has a length x_i within a value taken between x and Δx , is

$$P_x = e^{-\delta v i} \delta \Delta x \quad (1)$$

This probability is the asymptotic limit of the relative frequency of the portion x_i .

For the practical calculation we can consider Δx as constant and

$$\Delta x = \frac{1}{\delta \sum_{i=0}^{\infty} e^{-\delta v i}} = \frac{1 - e^{-\delta v}}{\delta}$$

provided that $0 < \delta v \leq 10^{-n/2}$

where n is a sufficiently great number, to satisfy the condition of the asymptotic validity of the formula (1). (See Appendix 1).

Co-ordinates of intensity and frequency (and density) [7]

Every frequency and every intensity (as well as every density) forms an interval with the preceeding one. Every interval is identified by a portion x of the corresponding axis F and G . The question is to draw from a straight line $AB = a = \Delta F$ (ΔG or ΔD) where A represents the highest and B the lowest frequency, intensity or density, a portion x within AB , included between j and $j + dj$ ($0 \leq j \leq a$).

The probability of this event is:

$$\Theta(j) dj = \frac{2}{a} (1 - \frac{j}{a}) dj$$

where dj is considered as to be constant, then $\sum \Theta(j) dj = 1$

$$\text{and } dj = \frac{1}{\sum_{j=0}^a \frac{2}{a} (1 - \frac{j}{a})}$$

$\sum_{j=0}^a \frac{2}{a} (1 - \frac{j}{a})$ is the sum of an arithmetic progression the

n -th term of which is: $u = \frac{2}{a} + (n - 1) r$

and its ratio $r = \frac{2}{a} (1 - \frac{j+1}{a}) - \frac{2}{a} (1 - \frac{j}{a})$,

consequently $r = \frac{2}{a^2}$

when the n -th term is the last one ($j = a$)

$u = 0$ and $u = a + 1$

and finally $\sum_{j=0}^a \frac{2}{a} (1 - \frac{j}{a}) = \frac{a+1}{a}$ and $dj = \frac{a}{a+1}$

So $\Theta(j) dj$ is an independent linear function of the density of particles.

We can draw the straight line because for $j = 0$, $\Theta(j) dj = \frac{2}{a+1}$

and for $j = a$, $\Theta(j) dj = 0$

and the table e.g. of the frequencies of the intervals x will be obtained by multiplying the ordinate values of the points of the straight line with the number of particles less 1.

2. By experience

The probabilities of the frequencies and intensities (and densities) being function of the sides of the rectangles ΔF , ΔG (independent of the density d) and supposing that the surface elements ΔF , ΔG are standardized throughout the whole area of audibility, we can replace on the sheet of paper the combination of different intervals x , resulting of the event's frequency, by a drawing of two (or three) urns the balls of which having been numbered according to the proportions of the table calculated once for all.

3. By mixing on magnetophones

The particles are realized by starting from sinusoidal sounds the duration of which is about 0,04 s.

These particles must occupy the elementary surface ΔF , ΔG which has been fixed. The evolution in time will be realized by means of the duration table for a minimum density d . By mixing of parts of this band with themselves we can obtain even density values varying in a geometrical way, that means logarithmically with a base 1, 2, 3 etc. according to the number of the synchronous tracks at our disposal, unless we possess "electronic brains". In this case a programming of frequency and intensity pulses could replace the mixing.

First general remark

We suppose a square ΔF , ΔG , Δt which, although it is occupied homogeneously by sound particles, varies time moving around an average density dm . We can try another more synthetic reasoning and admit, that these fluctuations, in the most general case (when the duration of the sound is sufficiently long), will be any whatever and therefore obey to the laws of chance. In this case the problem may be posed as follows:

What is, supposing a prismatic cloud of particles having a density d_m , a section ΔF , ΔG and a length $\sum_{j=0}^n \Delta t$, the probability of d particles being contained in an elementary volume ΔF , ΔG , Δt ? If this value d_m is little enough the probability is given by the Poisson's law.

$$P_d = \frac{d_m^d}{d!} e^{-d_m}$$

For the definition of each of these particles we apply once more the method indicated above. [8, 9, 10].

Second general remark (Vector space) [8]

It is possible to construct those elementary spaces ΔF , ΔG of the screens not with points but with elementary vectors which are associated with the particles (vector space). Indeed, the average duration of 0,04 sec. per particle supposes a small vector. A special case is given when the vector is parallel to the time axis; its projection on the plane (F,G) then is represented by a point and the frequency of the particle is constant. Generally, frequencies and

intensities of particles can be variable and the particle itself a very short glissando.

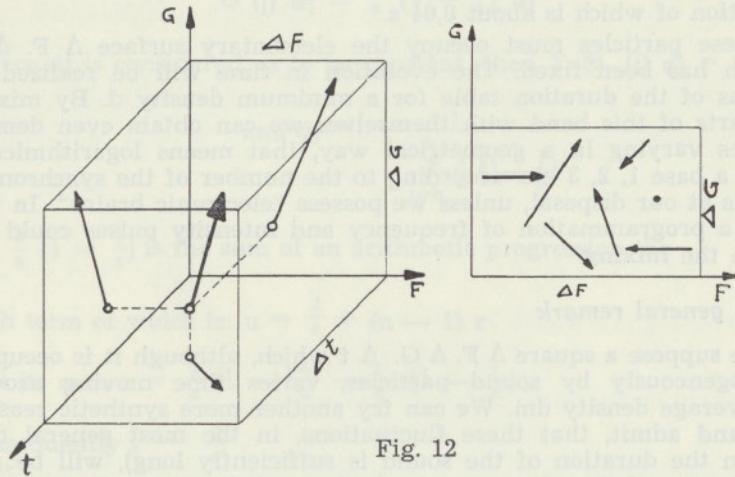


Fig. 12

May be that, in a thus defined vector space (F, G), the construction of screens would be more difficult, because it would be necessary to introduce the notion of velocity and of the statistical distribution of its values, but the interest of this enterprise is enormous. We would be able to imagine screens on the base of magnetized or completely neutral (disordered) particle fields.

In the case of a total disorder we calculate the probability $f(v)$ of the existence of a vector v within the plane (F,G) by means of the formula of Maxwell [11] referred to two dimensions:

$$f(v) = \frac{2v}{a^2} e^{-\frac{v^2}{a^2}} \text{ and for the average value } v_1 \leq v_m \leq v_2$$

$$P(v_m) = \frac{2\sqrt{\pi}}{a} [\Theta(\lambda_1) - \Theta(\lambda_2)]$$

$$\text{where } \lambda_i = \frac{v_i}{a}, \quad \Theta(\lambda_i) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\lambda_i}^{+\lambda_i} e^{-\lambda^2} d\lambda \quad [12]$$

for $\lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_2$

(normal Gauss' law).

In any case, it may be the question of a vector space or of a scalar space, the arguments will not to be modified in their totality. [13].

Summary of screens

a) A screen is defined by an ensemble of clouds, representing themselves an ensemble of elementary rectangles ΔF , ΔG and which contains or not sound particles.

And this in an instant t within a portion of time Δt , which can be as little as we want.

b) The sound particles from a specific density for every elementary rectangle ΔF , ΔG and are distributed in it in an ergodic way*.

c) Within the elements ΔF , ΔG we can furthermore localize even smaller rectangles dF , dG and concentrate all the particles (vectors) of ΔF , ΔG there without modifying the density which is associated with ΔF , ΔG because it is always considered in comparison with ΔF , ΔG .

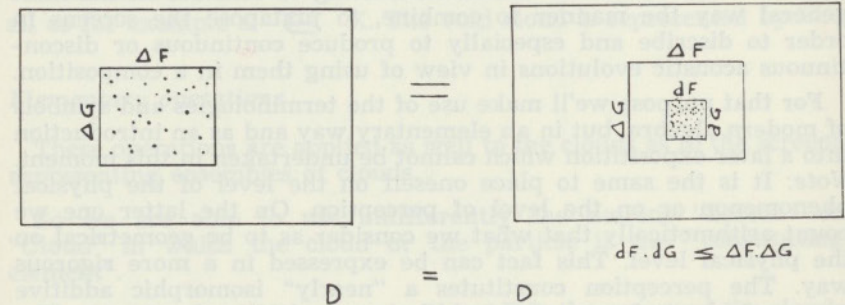


Fig. 13

Density D = Density D

d) The conception of an elementary volume ΔF , ΔG , Δt , ΔD is thus, that generally no *simultaneity* of the particles is provided. The simultaneity occurs when the density gets a sufficient high value. Its frequency is joined to the density value. Everything is a question of scale and this paragraph concerns particularly the realization. Because the dimension of time of the particles (vectors)

* Ergodic (principle): the unsteady effect of an operation depending on chance is increasingly regulated by a sufficient repeating of this operation. It is understood that we consider a sufficiently great number of succeeding screens [14], [15]

is about 0,04 sec. no intersection of two particles (vectors), e.g. in realizing the elementary density:

$$D_0 = 1,5 \frac{\text{particles}}{\text{sec.}} \text{ can be admitted.}$$

And as the superficial distribution of the particles is ergodic, only chance can create an intersection.

e) At the limit a screen may contain only one pure sound (sinusoidal) or even nothing at all (void screen).

ELEMENTARY OPERATIONS ON THE SCREENS (ALGEBRA)

We set a complex acoustic event. At an instant t of its duration and within a portion Δt it can be represented by one or more clouds of particles or of vectors on the plane (FG). This is the definition we have given for the screen. The association of several of these screens in a determined order describes or fixes the life of this acoustic event. It would be interesting to consider in the most general way the manner to combine, to juxtapose the screens in order to describe and especially to produce continuous or discontinuous acoustic evolutions in view of using them in a composition.

For that purpose we'll make use of the terminologies and symbols of modern algebra, but in an elementary way and as an introduction into a later exposition which cannot be undertaken in this moment. *Note:* It is the same to place oneself on the level of the physical phenomenon or on the level of perception. On the latter one we count arithmetically that what we consider as to be geometrical on the physical level. This fact can be expressed in a more rigorous way. The perception constitutes a "nearly" isomorphic additive group of physical excitation which is a multiplicative group. The word "nearly" is necessary to indicate the approximations.

The particles (vectors) on the plane (F,G) constitute a cloud. A screen can be composed by zero or several clouds of particles (vectors).

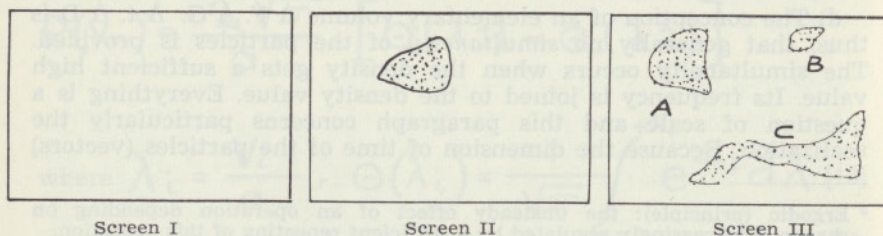


Fig. 14

To express that a particle (vector) a belongs to a cloud E we write $a \in E$, and the contrary relation is written $a \notin E$.

If all particles of a cloud X are particles of another cloud Y we say that X is *included* in Y or that X is a *part* or a *sub-cloud* of Y . This relation is expressed by:

$$X \subset Y \text{ (inclusion)}$$

Consequently we get the following properties:

$$X \subset X \text{ whatever may be } X$$

$$X \subset Y \text{ and } Y \subset Z \text{ involve } X \subset Z$$

If $X \subset X$ and $Y \subset X$, the clouds X and Y are constituted by the same particles; they are indiscernible, and we write:

$$X = Y \text{ (identity)}$$

A cloud can contain only one particle.

A cloud X is said *void*, when it does not contain any particle at all as for example $a \notin X$. The void cloud is represented by $\emptyset$.

Elementary operations

These operations are applied as well to the clouds as to the screens representing ensembles of clouds.

So we are able to use indifferently the notions "Screen" or "Cloud" in which the cloud or the particle is the "constituting element".

The *intersection* of two screens A and B is the screen of the clouds belonging to A and to B . We write $A \cap B$ and this relation is read A inter B .

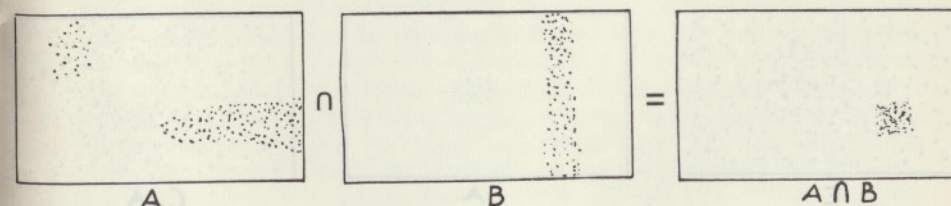


Fig. 15

When $A \cap B = \emptyset$ we say that A and B are *disjunct*.

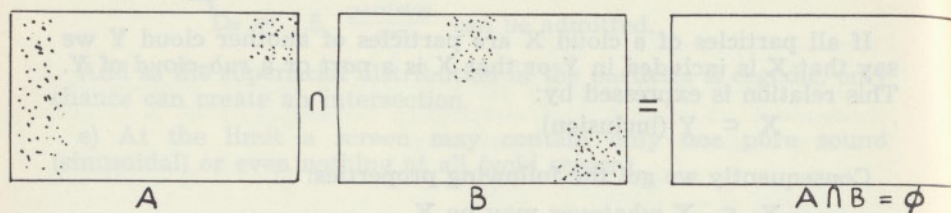


Fig. 16

The *association* of two screens A and B is the totality of clouds belonging *either* to A or to B or to both of them.

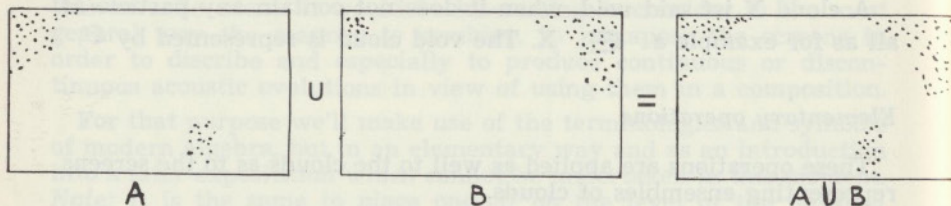


Fig. 17

The complement of a screen A in comparison with a screen E containing A is the ensemble of the clouds of E which do not belong to A. It is noted C_A when there is no doubt about E.

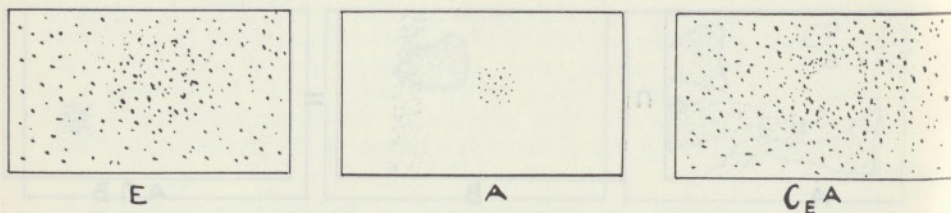


Fig. 18

The *difference* $(A - B)$ between A and B is the ensemble of the clouds of A which do not belong to B. The immediate consequence:

$$A - B = A - (A \cap B) = C_A (A \cap B)$$

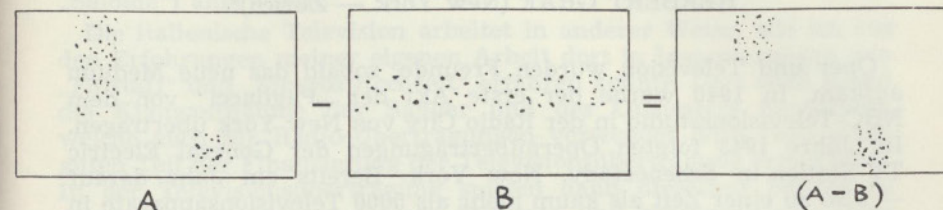


Fig. 19

We'll terminate this borrowing at this point. It will permit us to get a clearer and more comfortable survey of the following manipulations and reasonings.

Television und Operntheater

von

HERBERT GRAF (New York — Zürich)*

Oper und Television wurden Freunde, sobald das neue Medium aufkam. In 1940 wurde der erste Akt der „Pagliacci“ von dem NBC-Televisionstudio in der Radio City von New York übertragen. Im Jahre 1943 folgten Opernübertragungen der General Electric TV-Station in Schenectady, New York. Bereits ein Jahr darauf — also zu einer Zeit als kaum mehr als 5000 Televisionsapparate in Amerika existierten — wurde ich von der NBC als „Director of Operatic Production“ verpflichtet und inszenierte eine Reihe von Szenen und Adaptierungen von Opern. Es dauerte nicht lange, bis diese Gesellschaft eine eigene Televisionsoperngruppe unter der künstlerischen Leitung von Hermann Adler gründete, die bis zur heutigen Zeit regelmäßig eine Reihe beachtenswerter Studio-Televitions-Aufführungen schuf, die den gesamten Opernspielplan von dem Standard-Repertoire bis zur modernen Opernproduktion umfaßte.

In Europa begann der BBC Television Service bereits 1946 mit Opernproduktionen, die zum regulären Programmbestandteil der englischen Gesellschaft wurden. Das gleiche wurde der Fall bei dem italienischen Televisionsnetz, welches regelmäßig eine Reihe von Opernstudio-Aufführungen mit führenden italienischen Kapellmeistern, Regisseuren und Sängern veranstaltet. Auch Frankreich inszeniert gelegentlich Opern für die Television, während Deutschland in schneller Entwicklung die zeitlichen Vorgänger einholt. Auch das jüngste Mitglied der europäischen Televisionsfamilie, Österreich, machte bereits mit bemerkenswerten Aufführungen auf sich aufmerksam, während die Schweiz sich anschickt, eigenes auf diesem Gebiete zu leisten.

Opern-Fernsehübertragungen erfolgen auf 3 Arten: 1. durch Studio-Fernsehsendungen, die eigens für dieses Medium geschaffen werden; 2. durch Filme; 3. durch Übertragungen von Vorstellungen der Opernbühne. Die Mehrzahl der gegenwärtigen Opernübertragungen werden in der ersten Form als Studio-Sendungen veranstaltet.

In dieser Hinsicht ist es interessant festzustellen, daß die europäischen Methoden der Studioproduktion im allgemeinen sehr unterschiedlich von den amerikanischen sind. In England wird das in Amerika übliche Verfahren angewandt: die Opern werden mit jun-

gen Sängern im Studio mit dem „live“ Klangbild ihrer Stimmen und des Orchesters inszeniert. Nur gelegentlich wird das pre-recording für technisch schwierige Szenen (z. B. Chorszenen in Rudolf Cartiers Produktionen von Menottis „Saint of Bleeker Street“ oder „Salome“) angewandt.

Die italienische Television arbeitet in anderer Weise, wie ich aus den Erfahrungen meiner eigenen Arbeit dort in Inszenierungen von „Falstaff“ und „Figaros Hochzeit“ erfahren konnte. Dort wird zuerst die Klangaufnahme der Sänger und des Orchesters hergestellt, welche auch für Radio-Übertragungen verwendet wird (was einen guten Teil der Finanzierung der Televisionsübertragung ermöglicht). In der Televisionsübertragung spielen dann dieselben Sänger zu dem „play-back“ ihrer eigenen Stimmen und synchronisieren dazu die Bewegungen ihrer Lippen, wobei der wirkliche Klang von dem pre-recorded tape gesendet wird.

Die deutsche Television in München trug das play-back-System noch einen radikalen Schritt weiter, indem sie Sänger für die Klangaufnahme benützten, aber bekannte Theater- und Filmschauspieler zu dem Klangbild der Sänger spielen ließen. Obgleich dieses Verfahren aus künstlerischen Gründen bedenklich erscheint, muß ich nach der Vorführung der vollständigen Aufführung von Mozarts „Figaros Hochzeit“ doch gestehen, daß der Regisseur Kurt Wilhelm ein beträchtliches technisches Ergebnis erzielt hat.

Studioproduktion von Oper stellt dem Regisseur viele technische Vorteile zur Verfügung: ausgewählte Sänger-Darsteller, Deutlichkeit der Aussprache, Proben, sorgfältige Planung der Aktion und Einstellung der Kameras, dreidimensionale, leicht veränderliche Szenerie. Beleuchtungskontrolle, Überblendungen, Film-Einsätze usw. Aber es bestehen auch Nachteile: Beschränkung des Raumes und damit die Begrenzung des Repertoires und Ausschaltung der „Großen“ Oper (Aida, Wagner), die Bevorzugung der realistischen Inszenierungsweise, die ein wesentliches Stilelement der Oper — den musikalischen Stillstand — nahezu ausschließt. Und schließlich den Mangel der aktiven Publikumsteilnahme, wohl des größten Aktivpostens der Television. Ein großer Verlust, wenn man bedenkt, daß auch die bestkontrollierte Studioaufführung noch keineswegs den technischen Ersatz dafür schaffen kann, den der Film darstellt.

Televitionsübertragung vom Opernhaus leidet andererseits, zumindest in der gegenwärtigen Sendungspraxis, empfindlich unter technischen Unzulänglichkeiten: ungünstige Postierung der Kameras, ungenügende Beleuchtung, und allgemeinen Mangel an den nötigen Vorbereitungen für die technischen Erfordernisse einer solchen Sendung. Ein Beispiel: bei einer Übertragung der Eröffnungsvorstellung der Opernsaison des Teatro San Carlo in Neapel 1957 wurde Boitos „Nerone“ in meiner Theaterinszenierung von der italienischen Television übertragen. Der zweite Akt, welcher der Zauberei gewidmet ist und im Theater dementsprechend auf einen völlig dunklen my-

* Dr. Herbert Graf, seit 1936 Oberspielleiter der Metropolitan Oper in New York, übernimmt ab August dieses Jahres die Leitung des Zürcher Opernhauses.

steriösen Raum basiert war, in dem Scheinwerfer alle Arten von magischen Effekten spielten, wurde für das Publikum im Theater völlig dadurch ruiniert, daß das Bühnenbild von den Technikern der Television in strahlendes Licht getaucht wurde, das alle Bühneneffekte auslöschte.

Die BBC-Television war die erste Gesellschaft, die weder Kosten noch Mühe sparte, um die Unzulänglichkeiten der Theaterübertragung zu verbessern. Für ihre Sendungen von den Opernfestspielen in Glyndebourne wird eine eigene Vorstellung mit eingeladenem Publikum zur Verfügung gestellt, welche dem Televisionsdirektor freie Hand für Kamerapositionen, Lichteinstellungen und eventuelle Modifikationen der Aktion ermöglicht. Damit wird ermöglicht, daß das Televisionspublikum eine technisch zufriedenstellende Übertragung der Theatervorstellung sieht, ohne daß ein zahlendes Publikum im Theater davon beeinträchtigt würde.

In ähnlicher Weise hat die großzügige Einstellung des Teatro Massimo in Palermo und der italienischen Television eine erfolgreiche Sendung der ersten europäischen szenischen Aufführung von Bachs „Matthäus-Passion“ zu Ostern dieses Jahres unter Leitung von Dr. Hermann Scherchen und dem Verfasser dieses Aufsatzes ermöglicht. Nachdem die Televisionstechniker Gelegenheit hatten, die letzten Theaterproben zu verfolgen, wurde das Theater an 2 Tagen für Proben der Television zur Verfügung gestellt und in gemeinsamer Arbeit zwischen dem Televisionsdirektor und mir, dem Opernregisseur, die nötigen technischen Umstellungen für die erforderlichen visuellen Voraussetzungen geschaffen.

Während die gegenwärtigen Methoden der Opernübertragung durch die Television sich also auf Studio-Aufführungen und mehr oder minder kontrollierte Sendungen von Aufführungen aus dem Opernhaus beschränken, die ursprünglich lediglich für das Theater geplant waren, bleibt meines Erachtens eine weitere Form der Televisionsaufführung der Zukunft überlassen: die Produktion von Opern im Theater, die für die gemeinsamen Zwecke von Opernbühne und Television von Anfang an konzipiert wird. Diese Form der Aufführung wird allein im Stande sein, die eigentliche Bedeutung der Television — die visuelle Übertragung eines sich abspielenden Ereignisses auf weite Entfernung — mit ihren technischen Vorzügen, die dem Theater fehlen, vor allem der Konzentrationsmöglichkeit auf das Detail durch das Mittel des „close-up“, zu verbinden. Nur in dieser Form der Übertragung wird es auch möglich sein, drei Fehlerquellen der gegenwärtigen Studioübertragungen zu eliminieren: die Reduzierung des Repertoires auf die Opern kleineren Ausmaßes, die Bevorzugung der „Oper“ als realistische Form unter vielfacher Ausschaltung ihrer reinmusikalischen Funktionen (z. B. Ouvertüren, großen kontemplativen Arien und Ensembles), und das Problem der Aufstellung des Orchesters sowie den mangelhaften Kontakt zwischen Dirigent und Sängern. Es ist natürlich, daß die

Lösung einer solchen „Operntheater-Television“ vielerlei technische Voraussetzungen erfordert:

1. Eine neue Form des Opernhauses, die zumindest das teilweise Spielen im Raume und daher dreiseitige Fotografie ermöglicht.
2. Eine neue Aufstellungsform des Orchesters sowie der Televisionskameras.
3. Eine Inszenierungstechnik, die beiden Zwecken — der Theateraufführung und der Television — entspricht.
4. Eine enge Zusammenarbeit zwischen der Opernbühne und der Televisionsgesellschaft.

Ich weiß, daß diese Gedanken von vielen meiner Regiekollegen nicht geteilt werden und ich verstehe wohl deren Bedenken. Durch meine Erfahrung auf beiden Gebieten bin ich aber überzeugt, daß eine geplante Form der Operntheater-Television in gesteigertem Maße — neben Studio- und Filmoper — nicht nur möglich, sondern in Zukunft auch erforderlich ist. Denn daraus werden sich nicht nur künstlerische, technische und finanzielle Vorteile für beide Organisationen ergeben, sondern möglicherweise auch neue Konzepte für die Frage der Zukunft des Operntheaters selbst.

Television and the Opera House

by

HERBERT GRAF (New York — Zurich)*

Opera and television became friends as soon as the new medium came up. In 1940 the first act of „Pagliacci“ was televised at the NBC TV studio in Radio City. In 1943, General Electric followed with opera transmissions from their TV station in Schenectady. Only a year later, at a time when little over 5000 TV sets existed in the United States, I was engaged by the NBC as Director of Operatic Production and staged a series of scenes and adaptations from operas. It did not take this Company long to create its own TV opera group under Hermann Adler's artistic direction; up to the present time this group regularly brought a series of noteworthy TV studio performances which included the whole opera repertoire from standard operas to modern productions.

* Dr. Herbert Graf, chief producer at New York's Metropolitan Opera House since 1936, will take over his new post as director of the Zurich Opera House this August.

In Europe, the BBC Television Service started opera productions already in 1946, making them a regular part of the programme. It was the same with Italian TV, which sends a regular series of operatic studio performances with leading Italian conductors, producers and singers. France, too, occasionally stages opera in television, while Germany is quickly catching up on its predecessors. Even the youngest member of the European TV family, Austria, created attention with some remarkable opera performances, while Switzerland is preparing to make its own effort in this field.

Operatic telecasts are of three kinds: 1. studio performances, staged especially for this medium, 2. transmission of films, 3. telecasts of actual stage performances. The majority of present operatic emissions are of the first kind: studio telecasts.

In this respect it is interesting to observe that the Continental methods of studio production are in general very different from the American. England also uses the method usual in the States: the operas are staged with young singers in the studio together with the live sound of their voices and of the orchestra. Prerecording is done only occasionally for technically difficult scenes (e.g. chorus scenes in Rudolf Cartier's productions of Menotti's "Saint of Bleeker Street" or "Salome").

Italian Television works along different lines, as I was able to experience for myself in my work there on "Falstaff" and "The Marriage of Figaro" productions. First of all the sound recording of singers and orchestra is made — it is also used for sound broadcasts which finance the TV transmission to some extent. In the telecast, the same singers act to the playback of their own voices, synchronising their lip movements, while the sound is broadcast from the prerecorded tape.

German TV in Munich carried this playback system a radical step further by using singers for the sound recordings but stage and film stars to act to the sound which the singers had recorded. While this method must appear artistically suspect, I must admit, after witnessing the complete performance of Mozart's "The Marriage of Figaro", that the producer, Kurt Wilhelm, achieved quite a considerable technical result.

Studio production of opera gives the producer many technical advantages: selected singer-actors, clarity of diction, rehearsals, careful planning of the action and camera settings, three-dimensional, easily changed scenery, lighting control, fade-ins, film inserts, etc. But there are disadvantages too: limitations of space and therefore of the repertoire with the exclusion of really "grand" opera (Aida, Wagner), preference of realistic settings, which just about exclude an important element of style of opera — musical standstill —, and finally the lack of active audience participation, which is perhaps TV's greatest asset. This is a great loss considering

that even the best controlled studio performance is still not within reach of the film's technical resources.

Telecasts from the opera house on the other hand suffer, at least with present practice, very much from technical inadequacy: unfavourable placement of cameras, insufficient lighting, and a general lack of the necessary preparation for the technical requirements of such a transmission. An example: in a telecast of the opening performance of the 1957 opera season of the Teatro San Carlo in Naples, Boito's "Nerone", in my stage production, was transmitted by Italian Television. The second act, devoted to magic and based on an appropriately dark, mysterious stage, with spot-lights playing all kinds of magic effects, was utterly ruined for the theatre audience by the fact that the setting was bathed by the TV technicians in radiant light which put an end to all stage effects.

The BBC was the first company to spare neither cost nor trouble for improving the inadequacy of theatre productions. For their telecasts of the Glyndebourne Opera Festival, a special performance is held before an invited audience, leaving the TV director a free hand with camera positions, lighting adjustments and possible modification of the action. This enables the TV audience to have a technically satisfactory telecast of the theatre performance without entailing the disadvantage of a paying theatre audience.

In a similar way, the generous attitude of the Teatro Massimo in Palermo and the RTI made the transmission of the first European scenic performance of Bach's St. Matthew Passion last Easter, under the direction of Hermann Scherchen and the author of this article, a success. After the TV technicians had had the opportunity to follow the final stage rehearsals, the theatre was made available for two days to TV rehearsals while the TV director and I, the opera producer, cooperated in making the necessary technical adjustments for the desired visual conditions.

While present methods of operatic telecasts are confined to studio performances and more or less controlled actual performances which were originally planned just for the theatre, I feel that one more form of television performance of opera has been left for the future: theatre production of opera, conceived from the very beginning for the common purposes of the operatic stage and television. This type of performance alone will be in a position to reconcile the real meaning of television — the visual transmission of an event, as it occurs, over long distances — with its technical advantages which the theatre lacks, above all, the possibility of concentrating on detail by means of the close-up. Only with this form of transmission will it be possible to eliminate three decisive sources of error of the present studio transmissions: the reduction of the repertoire to smaller-scale operas, preference of "opera" as a realistic form to the frequent disadvantage of its purely musical

functions (e. g. overtures, great contemplative arias and ensembles), and the problem of orchestra seating as well as the poor contact between the conductor and the singers. It is only natural that the solution of such an "opera-house — television" requires a number of technical improvements:

1. a new form of opera house to enable at least in part action in the stalls and hence three-sided photography;
2. a new form of placing the orchestra and TV cameras;
3. a production technique meeting the requirements of both the theatre performance and television; and
4. close cooperation of opera and TV personnel.

I know that these ideas are not shared by many of my producing colleagues, and I fully understand their qualms. But my experience in both fields has convinced me that a planned form of opera-house — television next to studio and film opera is not only possible but necessary to an increasing degree in the future. For not only artistic, technical and financial advantages will result for both organisations, but perhaps a new conception of the question of the future of the opera house itself.

Legende zur Schallplattenbeilage

Klänge altösterreichischer Meisterglocken aus den Jahren 1300—1785

Diese Aufnahmen wurden im Jahre 1942 gemacht, im österreichischen Glockensammelplatz Brix.

Leiter der Aufnahmen: Prof. Weissenberg.

Technische Durchführung: Dipl.-Ing. Pfundner.

Es wurden neun Glockenklänge ausgewählt von 36 zur Einschmelzung bestimmten Glocken. Und zwar wurde die Auswahl getroffen nach Alter, Durchmesser und Gewicht. Die Aufnahmen wurden durchgeführt für das Grammophonarchiv der Universität Wien, dessen hervorragendem Leiter, Herrn Dr. Graf, die Veröffentlichung durch die Gravesaner Blätter zu verdanken ist.

Die Aufnahmen haben zweierlei Wichtigkeit:

1. als Dokumente von Meisterwerken der Glockengießerkunst vergangener Jahrhunderte,
2. als zu experimentellen Untersuchungen geeignetes Material des Glocken-Schlagtonproblems.

Jede der neun Glocken wurde zunächst 12mal dicht nacheinander und dann noch ein vereinzelt Mal angeschlagen.

Die Klänge sind angeordnet

nach Gewicht: Nr. 1) 60 kg	nach dem Durchmesser: Nr. 4) 45 cm
Nr. 2) 800 kg	Nr. 5) 114 cm
Nr. 3) 1600 kg	Nr. 6) 137,5 cm

nach dem Alter: Nr. 7) im Jahre 1300
Nr. 8) im Jahre 1533
Nr. 9) im Jahre 1785

Sounds of Old Austrian Master Bells of 1300—1785

These recordings were made in 1942, in the Austrian bell centre Brix.

Director of recording: Prof. Weissenberg.

Technician: Mr. Pfundner, B.E.

Nine out of thirty-six bell tones were chosen for the blending of certain bells. Choice was made by age, diameter and weight. The recording were made for the University of Vienna's Record Library, to whose outstanding director, Dr. Graf, we are grateful for the publication in the Gravesano Review.

The recordings are of importance in two ways:

1. as documents of masterpieces of the bell-founder's art of past centuries,
2. as an experimental basis to research into the stroke-tone of bells.

Each of the nine bells was struck twelve times in quick succession followed by a single stroke.

The bells were arranged

by weight: 1. 130 lb	by diameter: 4. 18 in
2. 1750 lb	5. 45 in
3. 3500 lb	6. 54 in
by the year of manufacture: 7. 1300	
	8. 1533
	9. 1785

Fortsetzung des Programms der Biennale in Paris

Radiodiffusion-Television Française

PARIS

26. V. — 30. VI.

ERSTE BIENNALE DER FORSCHUNG
(Unter der Leitung von P. Schaeffer)

III. KONFERENZEN UND ZUSAMMENKÜNFTE

(Salle des Agriculteurs)

- Vier Lehrstunden von der Groupe de Recherches Musicales
16. Juni 15 h. MUSIK UND AKUSTIK mit Prof. Winckel und einer Gruppe von Musikern und Akustikern
21. Juni 15 h. MUSIK UND KYBERNETIK mit Prof. Le Lionnais und einer Gruppe von Mathematikern und Musikern.
23. Juni 15 h. ÜBERTRAGUNGSNETZE UND NACHRICHTEN mit M. Anglès d'Auriac und einer Gruppe von Fernmeldefachleuten und -herstellern.
28. Juni 15 h. MUSIK, PHYSIOLOGIE UND PSYCHOLOGIE mit Dr. Moles und einer Gruppe von Fachleuten.
- 18 h. DIE ELEKTROAKUSTISCHE KETTE von J. Poullin
- 19 h. WECHSELWIRKUNG ZWISCHEN MUSIK UND AKUSTIK (I): Akustisches Signal und musikalische Gestalt, von Pierre Schaeffer.
- 18 h. VOM KLINGENDEN KÖRPER ZUR MUSIKALISCHEN GESTALT von A. de Chambure.
- 19 h. WECHSELWIRKUNG (II): Einschwingvorgänge, von Pierre Schaeffer.
- 18 h. GEDÄCHTNIS UND MANIPULATION von R. Vandelle und L. Ferrari.
- 19 h. WECHSELWIRKUNG (III): Musikalische Invarianten, von Pierre Schaeffer.
- 18 h. NOTATION UND EXPERIMENTAL-MUSIK von L. Ferrari.
- 19 h. WECHSELWIRKUNG (IV): Gemessene Zeit und musikalische Dauer, von Pierre Schaeffer.

FIRST BIENNALE OF RESEARCH
(under the direction of P. Schaeffer)

III. CONFERENCES AND MEETINGS

(Salle des Agriculteurs)

- Four Lessons by the Musical Research Group
- June 16 3 p.m. MUSIC AND ACOUSTICS with Prof. Winckel and a group of musicians and acousticians.
- June 21 3 p.m. MUSIC AND CYBERNETICS with Prof. Le Lionnais and a group of mathematicians and musicians
- June 23 3 p.m. NETWORKS AND MESSAGES with M. Anglès d'Auriac and a group of Telecommunication specialists and manufacturers
- June 28 3 p.m. MUSIC, PHYSIOLOGY AND PSYCHOLOGY with Dr. Moles and a group of specialists
- 6 p.m. THE ELECTROACOUSTIC CHAIN by J. Poullin
- 7 p.m. RELATIONSHIP BETWEEN MUSIC AND ACOUSTICS (I): Acoustic Signal and Musical Object, by Pierre Schaeffer
- 6 p.m. FROM SOUNDING BODY TO MUSICAL OBJECT by A. de Chambure
- 7 p.m. RELATIONSHIPS (II): Attack Phenomena, by Pierre Schaeffer
- 6 p.m. MEMORY AND MANIPULATION by D. Vandelle and L. Ferrari
- 7 p.m. RELATIONSHIPS (III): Musical Invariants, by Pierre Schaeffer
- 6 p.m. NOTATION AND EXPERIMENTAL MUSIC by L. Ferrari
- 7 p.m. RELATIONSHIPS (IV): Measured Time and Musical Duration, by Pierre Schaeffer

PREMIERE BIENNALE DE LA RECHERCHE
(Sous la direction de P. Schaeffer)

III CONFERENCES ET RENCONTRES

- 16 Juin SALLE DES AGRICULTEURS
15 h. — MUSIQUE ET ACOUSTIQUE avec le Pr. Winckel et un groupe de musiciens et d'acousticiens
- 21 Juin SALLE DES AGRICULTEURS
15 h. — MUSIQUE ET CYBERNETIQUE avec le Pr. Le Lionnais, un groupe de Mathématiciens et de musiciens
- 23 Juin SALLE DES AGRICULTEURS
15 h. — RESEAUX ET MESSAGES avec M. Anglès d'Auriac et un groupe de producteurs et de spécialistes des Télécommunications
- 28 Juin SALLE DES AGRICULTEURS
15 h. — MUSIQUE, PHYSIOLOGIE ET PSYCHOLOGIE avec Dr. Moles et un groupe de spécialistes
- Quatre leçons du Groupe de Recherches Musicales
SALLE DES AGRICULTEURS
18 h. — LA CHAÎNE ELECTRO-ACOUSTIQUE par J. Poullin
19 h. — ANAMORPHOSE ENTRE MUSIQUE ET ACOUSTIQUE (I) (Signal acoustique et objet musical) par Pierre Schaeffer
- SALLE DES AGRICULTEURS
18 h. — DU CORPS SONORE A L'OBJET MUSICAL, par A. de Chambure
19 h. — ANAMORPHOSE (II) (Phénomènes d'attaque) par Pierre Schaeffer
- SALLE DES AGRICULTEURS
18 h. — LA MEMOIRE ET LES MANIPULATIONS par R. Vandelle et L. Ferrari
19 h. — ANAMORPHOSE (III) (Invariants musicaux) par Pierre Schaeffer
- SALLE DES AGRICULTEURS
18 h. — LE SOLFÈGE ET LA MUSIQUE EXPERIMENTALE par L. Ferrari
19 h. — ANAMORPHOSE (IV) (Temps métrique et durée musicale) par Pierre Schaeffer

Radiodiffusion-Television Française

PARIS

26th May — 30th June

FIRST BIENNALE OF RESEARCH
(under the direction of P. Schaeffer)

I. CONCERTS

- May 26 SALLE GAVEAU, 9 p.m.: 1st Concert, commented by Pierre Schaeffer: BACK TO THE ORIGINS. Parallels among ancient, exotic (Asian, African) and electronic and orchestral music and musique concrète (P. Henry, F. Mâche, L. Ferrari, P. Schaeffer, K. Stockhausen, O. Messiaen).
- June 10 SALLE PLEYEL, 9 p.m., 2nd Concert: CONVERGENCIES. Orchestre National conducted by Hermann Scherchen in works by Byrd-Orff, Gabrieli, Beethoven, Xénakis, Webern, Nono (first performances), Otte, Philippot (Creations).
- June 13 SALLE GAVEAU, 9 p.m., 3rd Concert: RECENT WORKS OF EXPERIMENTAL MUSIC. Works by Chamass, Vandelle, Boucourechliev, Ussachevsky, Ferrari, Maderna, Xénakis, Schaeffer (first performances).
- June 21 SALLE DES AGRICULTEURS, 9 p.m., 4th Concert: Stereophonic Reproduction of "LEHRSTÜCK", opera by Bertolt Brecht and Paul Hindemith (4-track recording by Hermann Scherchen relayed over 4 "Stereophoners"), preceded by a survey by C. Ballif on the use of instruments in contemporary music.
- June 23 SALLE DES AGRICULTEURS, 9 p.m., 5th Concert: Stereophonic reproduction of "LEHRSTÜCK", opera by Bertolt Brecht and Paul Hindemith (4-track recording by Hermann Scherchen relayed over 4 "Stereophoners"), preceded by a paper by M. Philippot: Spatial Localisation of the Musical Signal.
- June 30 SALLE GAVEAU, 9 p.m., 6th Concert: BACK TO THE INTERPRETERS. Chamber Orchestra conducted by André Girard. Works for orchestra by Vandelle, Ballif, Ferrari; works for orchestra and tape recorder by Mâche, Xénakis; ERWARTUNG by Schoenberg; Helga Pilarczyk (Soprano), live soloist, accompanied by a stereophonic recording of the orchestral part by Hermann Scherchen.

II. FILMS AND DEMONSTRATIONS

(Salle des Agriculteurs)

- June 15 9 p.m.: TRUANTS FROM SCHOOL or The Art's Infancy (the film from 1920 to 1930), films commented by Paul Gilson. At the piano: Jean Wiener. Interludes: Kramer's Puppet Show.
- June 16 9 p.m. MIKE AND CAMERA, MEANS OF REVELATION by Jean Tardieu with P. Dumayet, F. Régie-Bastide, R. Mallet and the voices of Colette, Paul Valéry, André Gide, Paul Léautaud.
- June 17 5 p.m. THE FANTASTIC CINEMA, films commented by Jean Barral.
9 p.m. STYLE AND MATTER, films commented by Roger Leonhardt.
- June 18 9 p.m. Repeat of session of June 17.
- June 19 9 p.m. Repeat of session of June 15.
- June 20 5 p.m. TELEVISED NEWSREEL with Pierre Sabbagh and the technicians of the Services du Reportage.
9 p.m. THE FILM: A MACHINE FOR CONTRACTING TIME by Jean Painlevé and Alexandre Alexeieff.
- June 22 5 p.m. PHOTO AND DECOR of Man Ray and Agnès Varda, by Jean Serge, with Lucien Clergue.
9 p.m. FILM AND TELEVISION (I) discussion between Messrs. Ollivier and Fourré-Corneray, accompanied by extracts of "La Grande Bretèche" presented by Claude Barma.
- June 24 5 p.m. DRAMA IN TELEVISION with Stellio Lorenzi, René Lucot and Marcel L'Herbier.
9 p.m. FILM AND TELEVISION (II), presenting extracts from "Testament du Docteur Cordelier" and "Déjeuner sur l'herbe" (Breakfast on the Grass) by Jean Renoir, with G. Leclerc, N. L. Dieulot.
- June 25 9 p.m. THE CARTOON FILM by André Martin.
- June 26 9 p.m. AESTHETICS AND DYNAMICS OF SCIENTIFIC FILMS by Jean Painlevé.
- June 27 5 p.m. THE CARTOON FILM by André Martin (Repeat).
9 p.m. HERITAGE AND NEW HORIZONS by Jean Serge, presented by Michel Simon and Paul Gegauff.
- June 28 9 p.m. MIKE AND CAMERA, EXPRESSION OF A CIVILISATION: animated closing debate by Pierre Schaeffer with the assistance of Messrs. Merleau-Ponty, Lévi-Strauss, J. Rouch, E. Morin, R. Barthe.

Radiodiffusion-Télévision Française

PARIS

26. V. — 30. VI.

PREMIERE BIENNALE DE LA RECHERCHE
(Sous la direction de P. Schaeffer)

I CONCERTS

- 26 Mai SALLE GAVEAU — 21 h. — Ier Concert, commenté par Pierre Schaeffer: RETOUR AUX SOURCES. Parallèle entre musiques archaïques, exotiques (Asie, Afrique) et musiques concrètes, électroniques, orchestrales (P. Henry, F. Mâche, L. Ferrari, P. Schaeffer, K. Stockhausen, O. Messiaen).
- 10 Juin SALLE PLEYEL — 21 h. — IIème Concert: CONVERGENCES. Orchestre National sous la direction de Hermann Scherchen. Oeuvres de Byrd-Orff, Gabrieli, Beethoven, Xénakis, Webern, Nono (premières auditions), Otte, Philippet (Créations).
- 13 Juin SALLE GAVEAU — 21 h. — IIIème Concert: OEUVRES RECENTES DE MUSIQUE EXPERIMENTALE. Oeuvres de Chamass, Vandelle, Boucourechliev, Ussachevsky, Ferrari, Maderna, Xénakis, Schaeffer (premières auditions).
- 21 Juin SALLE DES AGRICULTEURS — 21 h. — IVème Concert: Audition stéréophonique du „LEHRSTUECK“, opéra de Bertolt Brecht et Paul Hindemith (Enregistrement sur 4 pistes de Hermann Scherchen, diffusée par 4 „Stereo-phones“) précédé d'un exposé de C. Ballif sur l'emploi des instruments dans la musique contemporaine.
- 23 Juin SALLE DES AGRICULTEURS — 21 h. — Vème Concert: Audition stéréophonique du „LEHRSTUECK“, opéra de Bertolt Brecht et Paul Hindemith (Enregistrement sur 4 pistes de Hermann Scherchen, diffusée par 4 „Stereo-phones“) précédé d'un exposé de M. Philippet: La localisation spatiale du signal musical.
- 30 Juin SALLE GAVEAU — 21 h. — VIème Concert: RETOUR AUX INTERPRETES. Orchestre de Chambre sous la direction d'André Girard. Oeuvres pour orchestre de: Vandelle, Ballif, Ferrari et Oeuvres pour orchestre et bande magnétique de: Mâche, Xénakis. ERWARTUNG de Schönberg (Enregistrement stéréophonique de Hermann Scherchen) joué et chanté en direct par Helga Pilarczyk, Soprano.

II PROJECTIONS ET PRESENTATIONS

- 15 Juin SALLE DES AGRICULTEURS — 21 h. — L'ECOLE BUISSONNIERE ou l'Enfance de l'Art (Le cinéma de 1920 à 1930) projections commentées par Paul Gilson. Au piano: Jean Wiener. Divertissement de marionnettes de Kramer.
- 16 Juin SALLE DES AGRICULTEURS — 21 h. — MICRO ET CAMERA, MOYENS DE REVELATION par Jean Tardieu avec P. Dumayet, F. Régie-Bastide, R. Mallet et les voix de Colette, Paul Valéry, André Gide, Paul Léautaud.
- 17 Juin SALLE DES AGRICULTEURS — 17 h. — LE CINEMA FANTASTIQUE, projections commentées par Jean Barral.
- 18 Juin SALLE DES AGRICULTEURS — 21 h. — Reprise de films projetés (Séance du 17 Juin).
- 19 Juin SALLE DES AGRICULTEURS — 21 h. — Reprise de films projetés (Séance du 15 Juin).
- 20 Juin SALLE DES AGRICULTEURS — 17 h. — L'ACTUALITE TELEVISEE avec Pierre Sabbagh et les techniciens de services du reportage. 21 h. — LE FILM, MACHINE A CONTRACTER LE TEMPS par Jean Painlevé et Alexandre Alexeïeff.
- 22 Juin SALLE DES AGRICULTEURS — 17 h. — PHOTO ET DECOR, de Man Ray et Agnès Varda par Jean Serge avec Lucien Clergue. 21 h. — CINEMA ET TELEVISION (I) dialogue entre MM. Ollivier et Fourré-Corneray, accompagné d'extraits de „La Grande Bretèche“ présentés par Claude Barma.
- 24 Juin SALLE DES AGRICULTEURS — 17 h. — LA REALISATION DRAMATIQUE A LA TELEVISION avec Stello Lorenzi, René Lucot et Marcel L'Herbier. 21 h. — CINEMA ET TELEVISION (II), présentation d'extraits du „Testament du Docteur Cordelier“ et du „Déjeuner sur l'herbe“ de Jean Renoir, avec G. Leclerc, N. L. Dieulot.
- 25 Juin SALLE DES AGRICULTEURS 21 h. — LE CINEMA D'ANIMATION par André Martin
- 26 Juin SALLE DES AGRICULTEURS — 21 h. — ESTHETIQUE ET DYNAMIQUE DU CINEMA SCIENTIFIQUE par Jean Painlevé.
- 27 Juin SALLE DES AGRICULTEURS — 17 h. — LE CINEMA D'ANIMATION par André Martin (reprise). 21 h. — HERITAGE ET NOUVELLE VAGUE par Jean Serge, présenté par Michel Simon et Paul Gegauff.
- 28 Juin SALLE DES AGRICULTEURS — 21 h. — MICRO ET CAMERA, expression d'une civilisation, débat de clôture animé par Pierre Schaeffer avec le concours de MM. Merleau-Ponty, Lévi-Strauss, J. Rouch, E. Morin, R. Barthe.