

GRAVESANER

BLÄTTER

HERAUSGEBER HERMANN SCHERCHEN

ENGLISCH-DEUTSCH

ARS VIVA VERLAG
(HERMANN SCHERCHEN)
GMBH MAINZ

MUSIKALISCHE, ELEKTROAKUSTISCHE UND
SCHALLWISSENSCHAFTLICHE GRENZPROBLEME
1961

JAHRGANG VI HEFT

21

Stereophoner and Universally Radiating Sphere

Zurich Radio Studio

28th October, 1960

National-Zeitung, Basel, 4th November, 1960, Evening Edition

The audience followed Hermann Scherchen's presentations with the greatest of interest. The stereophonic recordings he had brought with him — Schoenberg's "Erwartung" and "Lehrstück" by Brecht/Hindemith — showed what surprising results can be achieved by the method his musically trained ear has developed. In addition, it has been his long-standing wish to give a third dimension to monaural recordings. In the course of his research, he was able to develop his Stereophoner, which can be connected to any radio and to a second loudspeaker to give any broadcast a third dimension. The magic box was demonstrated, and the audience was not a little nonplussed to hear the current FM transmission stereophonically. Hermann Scherchen's invention is meant to bring stereophony within the reach of every listener.

Scherchen presented yet another invention which aims at eliminating the disadvantages of music radiated by only two speakers: it is a sphere which rotates continuously during the reproduction. Although minimal fluctuations of tone could be heard very occasionally, this universal radiator's great advantage lies in the fact that the listener no longer has to sit in a definite "best" seat, the stereophonic effect being equally good throughout a fairly large room. Here again, Prof. Scherchen's main concern is to give not only the well-to-do, but to every musically interested person the advantages of stereophony.

Hans Oesch

Tagesanzeiger, Zurich, 5th November 1960

In the second half, Prof. Scherchen showed what he has already achieved in his electronic magic kitchen: there was the "Stereophoner" which spreads a monaural programme over two loudspeakers to give an amazing three-dimensional effect; genuine stereo recordings, all of them captivating the listener by a fascinating transparency; finally, his rotating spherical loudspeaker experiment to build the "ideal zero order radiator", i.e. a speaker with no directional effect, radiating the sound evenly on all sides.

G R A V E S A N E R B L Ä T T E R

Nr. XXI

VI. Jahrgang

1961

INHALT

	Seite
Aufmerksamkeit!	Hermann Scherchen 2
Einführung in die Grundlagen der Schallmeßtechnik	W. Bürck 10
Rotierende Mehrfachköpfe	Anton M. Springer 38
Spannungsdoppelbrechung durch akustische Schwingungen	Hans Jenny 54
Erhaltung und Lagerung von Schallaufnahmen (IV)	A. G. Pickett und M. M. Lemcoe 60
Grundlagen einer stochastischen Musik (III)	Iannis Xenakis 102
Audio Engineering Society	123

Redaktion: Gravesano (Tessin) Schweiz

Herausgeber: Hermann Scherchen

Nachdruck verboten!

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

No. XXI

Vol. VI

1961

CONTENTS

	Page
Look!	Hermann Scherchen 2
An Introduction to the Fundamentals of Acoustic Measurement	W. Bürck 27
Rotating Multiple Magnetic Heads	Anton M. Springer 48
Double Refraction Caused by Strain of Acoustic Vibration	Hans Jenny 56
Preservation and Storage of Sound Recordings (IV)	A. G. Pickett and M. M. Lemcoe 79
Elements of Stochastic Music (III)	Iannis Xenakis 113
Audio Engineering Society	125

Published by Experimental Studio Gravesano

Editor: Hermann Scherchen

Extracts may not be published without permission

Aufmerksamkeit!

von

HERMANN SCHERCHEN

Die nachfolgenden vier Urteile des höchsten deutschen Bundesgerichts bringen zum Ausdruck, in welcher radikaler Weise neue *Wertungs*-Begriffe an die Stelle der bisherigen Vorstellungen vom Urheberrecht treten.

Zu den Rechten des Urhebers kommen jetzt hinzu: solche der Bearbeiter jeder Art, solche für die Übertragung auf Wiedergabe-Apparaturen und solche *Aller* an diesen Klängaufnahmen Beteiligten: Orchestermusiker und Chorsänger (nur Tonmeister, Aufnahmetechnik und — Orchesterdiener ... bleiben noch ausgeschlossen vom Urheberrecht).

Anscheinend ist die daraus resultieren müßende Strukturveränderung unseres Musiklebens dessen Teilnehmern selbst noch nicht zu Bewußtsein gekommen, wenngleich sich erste Komplikationen abzeichnen. So hatte eine große europäische Rundfunkgesellschaft die Herstellung eines Kultur-Propagandafilms zu Gunsten eines befreundeten kleinen Landes unternommen und dessen Rundfunkorchester dafür verpflichtet (bezahlt). Als der Film aber zur ersten Vorführung gelangen sollte, stellten die Orchestermusiker an die befreundete Rundfunkgesellschaft die Forderung, für alle Vorführungen des Films — die ausschließlich zu Gunsten ihres eigenen Landes hätten erfolgen sollen — jedes Mal ein neues Honorar in Höhe von ca. 3500 DM zu entrichten. Der Film wurde infolgedessen *ad acta* gelegt. . . .

Schallplatten-Gesellschaften, Rundfunk und Television werden — falls diese Urteile *Gesetzeskraft* erhalten — vor neue wirtschaftliche Probleme gestellt werden. Diese materielle Strukturveränderung wird sich dann unzweifelhaft zu einer gesellschaftlichen ausweiten: noch immer aber hat die Wirtschaft die eigenen pekuniären Produktionsprobleme in solche der an der Produktion Beteiligten umzuwandeln vermocht. . . .

Look!

by

HERMANN SCHERCHEN

The following four verdicts of the highest German Federal Court are an expression of the radical way new standards of value are taking the place of the original conceptions of copyright.

To the rights of the author are now added those of arrangers of any kind, those for the transcription on recording equipment and those of all

persons taking part in these recordings: members of the orchestras and choirs (only sound engineers, microphone technicians and — orchestra attendants . . . are still excluded from copyright).

The change inevitably resulting to the structure of our musical life does not yet seem to have penetrated to the consciousness of those taking part in it, even if the first complications are looming on the horizon. There was the case of a large European broadcasting company which had undertaken production of an educational film as propaganda for a small, friendly country and engaged (paid) that country's radio orchestra for it. When it came to showing the film for the first time, however, the members of the orchestra demanded of the friendly broadcasting company an additional fee of about 3500 German Marks (about \$ 830 or £ 300) for each and every showing of the film — which should have been exclusively for the benefit of their own country. The film was put on the shelf.

New financial problems will be the lot of record companies, radio and television, if these verdicts become *law*. This material change in structure will inevitably widen into a social change: but business has always up till now been able to pass its own pecuniary production problems over to those taking part in the production.

Wichtige Urteile des deutschen Bundesgerichtshofs zum Leistungsschutzrecht

Der Bundesgerichtshof, oberstes Zivilgericht in der Bundesrepublik Deutschland, fällte am 31. Mai 1960 vier Urteile von grundsätzlicher Bedeutung zum Leistungsschutzrecht (quasi-Urheberrecht) des Interpreten. Es ging um die Auslegung der durch die Novelle von 1910 in das deutsche „Gesetz betreffend das Urheberrecht an Werken der Literatur und der Tonkunst“ (LitUrhG) eingefügten Vorschrift des § 2 Abs. 2. Der volle Text des § 2 lautet:

(1) Urheber eines Werkes ist dessen Verfasser. Bei einer Übersetzung gilt der Übersetzer, bei einer sonstigen Bearbeitung der Bearbeiter als Urheber.

(2) Wird ein Werk der Literatur oder der Tonkunst durch einen persönlichen Vortrag auf Vorrichtungen für Instrumente übertragen, die der mechanischen Wiedergabe für das Gehör dienen, so steht die auf diese Weise hergestellte Vorrichtung einer Bearbeitung des Werkes gleich. Das Gleiche gilt, wenn die Übertragung durch Lochen, Stanzen, Anordnung von Stiften oder eine ähnliche Tätigkeit geschieht und die Tätigkeit als eine künstlerische Leistung anzusehen ist. Im Falle des Satz 1 gilt der Vortragende, im Falle des Satz 2 derjenige, welcher die Übertragung bewirkt, als Bearbeiter.

Die Urteile wurden vom Bundesgerichtshof mit folgenden Leitsätzen versehen:

I

Künstlerlizenz bei öffentlicher Wiedergabe von Schallplatten

BGH, Urt. v. 31. Mai 1960 — I ZR 53/58 — In Sachen BIEM u. GEMA (Klägerinnen zu 1. und 2.) gegen Schallplattenhersteller Austrophon u. a. (Beklagte)

Leitsatz:

Das fiktive Bearbeiterurheberrecht an einer Schallvorrichtung im Sinne von § 2 Abs. 2 LitUrHG umfaßt auch die ausschließliche Befugnis zur öffentlichen Aufführung. Öffentliche Musikdarbietungen in Gaststätten mittels Tonträger (Schallplatten, Tonbänder usw.) bedürfen deshalb der Erlaubnis der Hersteller der Tonträger, wenn die ausübenden Künstler, deren Wiedergabeleistung auf dem Tonträger festgelegt ist, diesen ihr Aufführungsrecht aus § 2 Abs. 2, § 11 LitUrHG übertragen haben.

II

Künstlerlizenz bei öffentlicher Wiedergabe von Rundfunksendungen

BGH, Urt. v. 31. Mai 1960 — I ZR 87/58 — in Sachen Deutsche Orchestervereinigung e. V. (Klägerin) gegen die Gastwirte Nickel u. a. (Beklagte)

Leitsatz:

Die öffentliche Hörbarmachung von Rundfunkmusik in Gaststätten bedarf der Erlaubnis der ausübenden Künstler, deren Wiedergabeleistung dargeboten wird. Dies gilt sowohl für Tonträger- wie für Direktübertragungen (sog. Livesendungen).

III

Orchester

BGH, Urt. v. 31. Mai 1960 — I ZR 71/58 — in Sachen Deutsche Orchestervereinigung e. V. (Klägerin) gegen den Kapellmeister Graunke (Beklagten).

Leitsatz:

Werden Orchesterdarbietungen erlaubterweise auf einem Tonträger festgelegt, so wird originärer Träger des Bearbeiterurheberrechts an dem Tonträger neben dem Dirigenten und etwaigen Solisten jedes einzelne Orchestermitglied. Wer zur Wahrnehmung dieses Rechtes befugt ist, richtet sich, falls ausdrückliche Abmachungen fehlen, nach dem sozialen Gefüge des Orchesters.

Besteht das Orchester aus freiberuflich tätigen Musikern, die sich nur gelegentlich mit wechselndem Mitgliederbestand unter einem bestimmten

künstlerischen und kaufmännischen Leiter für Direktübertragungen im Rundfunk zusammenfinden, so ist den Umständen des Einzelfalles zu entnehmen, ob dieser Leiter zur Wahrnehmung des Rechtes der einzelnen Orchestermitglieder befugt ist, über die Festlegung ihrer Leistung auf Tonträger zu Sendezwecken zu entscheiden, und ob ihm die Orchestermitglieder ihre Rechte aus § 2 Abs. 2 LitUrHG an den Tonträgern, soweit Wiederholungssendungen des Rundfunks in Frage stehen, zur Auswertung für eigene Rechnung oder nur zur treuhänderischen Verwaltung für Rechnung aller Mitwirkenden übertragen haben.

IV

Rundfunksendung „Figaros Hochzeit“

BGH, Urt. v. 31. Mai 1960 — I ZR 64/58 — in Sachen Deutsche Orchestervereinigung e. V. (Klägerin) gegen den Sender Freies Berlin (Beklagten).

Leitsatz:

Die Tonbandaufnahme einer Opernaufführung zu Zwecken der Rundfunksendung bedarf grundsätzlich der Einwilligung jedes einzelnen bei der Aufführung unmittelbar mitwirkenden ausübenden Künstlers. Soweit die Orchesterleistung in Frage steht, ist im Zweifel der Orchestervorstand berechtigt, dieses Zustimmungsrecht für die einzelnen Orchestermitglieder wahrzunehmen. Orchestermitglieder, die bei Theater- oder Orchesterunternehmen der öffentlichen Hand fest angestellt sind, sind, wenn es an einer ausdrücklichen vertraglichen Regelung fehlt, in der Regel auf Grund ihres Dienstvertrages verpflichtet, Tonbandaufnahmen von Aufführungen durch Sendeunternehmen und deren Verwertung für Rundfunksendungen gegen Zahlung einer angemessenen Sondervergütung seitens ihres Arbeitgebers zu dulden.

Important Verdicts of the German Federal Court in the Copyright Act

On the 31st May, 1960, the German Federal Court¹, which is the highest civil court of law in the German Federal Republic, established four precedents in verdicts protecting performers under copyright law. The legal paragraph in question was Section 2, added to § 2 of the German "Literature and Music Copyright Act"² as an amendment in 1910. The whole of § 2 reads:

¹ Bundesgerichtshof (BGH)

² „Gesetz betreffend das Urheberrecht an Werken der Literatur und der Tonkunst (LitUrHG)“

1. The author owns the copyright of a work. The translator owns the copyright of a translation and the arranger owns the copyright of any other kind of arrangement.

2. If a work of literature or music is recorded by personal performance on devices for reproduction on instruments which serve for a mechanical reproduction to be heard, then the device produced by this means is equivalent to an arrangement. The same is the case when recording is carried out by drilling, punching, setting of pins or pegs or by similar means, provided this activity can be regarded as being artistic. In the first case the performer, and in the second the original maker of the recording, counts as the arranger.

In its verdicts, the Federal Court established the following precedents:

I

Artist Licence for the Public Reproduction of Gramophone Records

BGH, Verdict of 31st May, 1960 — I ZR 53/58 — In re. BIEM and GEMA (Plaintiffs 1 and 2) vs. Record Manufacturer Austraphon et al. (Defendants)

Precedent:

The fictitious arranger's copyright of a sound device in the sense of § 2 Section 2 LitUrhG includes the exclusive right of public performance. Public performance of recorded music (disks, tape etc.) in an inn or public house therefore requires permission of the record manufacturer if the performers whose artistic effort has been fixed on the recording have conferred on him their performing right in the sense of § 2 Section 2 and § 11 LitUrhG.

II

Artist Licence for the Public Reproduction of Broadcasts

BGH, Verdict of 31st May, 1960 — I ZR 87/58 — In re. German Orchestral Association, Inc.³ (Plaintiff) vs. Innkeepers Nickel et al. (Defendants)

Precedent:

The public reproduction of broadcast music, whether live or recorded, in an inn or public house requires permission of the performing artists whose artistic efforts are being broadcast.

³ Deutsche Orchestervereinigung e. V.

III

Orchestras

BGH, Verdict of 31st May, 1960 — I ZR 71/58 — In re. German Orchestral Association, Inc. (Plaintiff) vs. the Conductor Graunke (Defendant)

Precedent:

Arranger's copyright of an authorised recording of orchestral music is owned not only by the conductor and by the soloist or soloists, if any, but also by each and every member of the orchestra. All claims falling under this right will be in conformation with the claimant's status within the orchestra, unless other terms have been expressly agreed on.

In the case of orchestras composed of independent musicians who assemble only occasionally and with varying membership under a certain manager and artistic director, the questions as to whether this manager or director is competent to make decisions on the terms of the members' efforts being recorded for broadcasting for purposes of claims, and whether the members have transferred to him their rights under § 2 Section 2 LitUrhG in the recordings (for the case of repeat broadcasts) for his own use or only in trusteeship for all members, are to be decided according to the circumstances obtaining in each individual case.

IV

Broadcast of "The Marriage of Figaro"

BGH, Verdict of 31st May, 1960 — I ZR 64/58 — In re. German Orchestral Association, Inc. (Plaintiff) vs. Radio Free Berlin⁴ (Defendant)

Precedent:

Tape recording of operatic performances for broadcast purposes basically requires agreement on the part of each and every performing artist actually taking part in the performance. In undecided cases of orchestral effort, the orchestra manager may claim this right of agreement for the individual members of the orchestra. Orchestra members in permanent employ of theatrical or orchestral enterprises of the public service are, in the absence of express agreement to the contrary, in general bound by the terms of their contract of employment to tolerate tape recording by broadcast enterprises as well as use of such recordings for broadcasts against payment of an adequate additional fee by their employer.

⁴ Sender Freies Berlin

**MUSIKVERLAG
B. SCHOTT'S SÖHNE
MAINZ**

Arnold Schoenberg „Moses und Aron“

ein triumphaler Erfolg unter Hermann Scherchen

In Berlin:

Unter den vielen Ereignissen der Berliner Festwochen bildete die deutsche szenische Erstaufführung von Arnold Schoenbergs nachgelassenem, gewaltigem Torso, der Oper „Moses und Aron“, in der Städtischen Oper wohl die bedeutendste künstlerische Tat.

G. A. Trumpff — „Darmstädter Echo“

Daß dieses Vorhaben gelungen ist, daß dieses immer problematisch bleibende Werk — nicht zuletzt dank guter Sprechtechnik und Aussprache — auch „verstanden“ werden konnte, ist mehr als nur ein Festwochenbeitrag: Diese Westberliner Aufführung wird in der deutschen Musikgeschichte der Gegenwart vermerkt werden müssen.

Hans Ullrich Kersten — „Münchener Merkur“

In Wien:

Was diese Musik durch Aussparung an geistiger Atmosphäre gibt, wie sie das Streitgespräch förmlich mit dramatisch-rhetorischen Akzenten stützt und im Tanz um das Goldene Kalb Sinnlichkeit ohne Klangbombastik beschwört, welche Töne ihr für das Übersinnliche gegeben sind — das alles nötigt dem durch das Werk gebannten Zuschauer allen gebührenden Respekt vor dem Genie ab. Kein Zweifel: niemand anderer als Schoenberg hat diesen Stoff auf die Musikbühne bringen können.

Herbert Schneiber — „Kurier“, Wien

Scherchen hat nicht nur als Dirigent Unvorstellbares an Präzision geleistet, er hat zuvor als Bearbeiter jüngste elektro-akustische Möglichkeiten (die es zu Schoenbergs Lebzeiten noch gar nicht gab) ausgewertet, um das Unaufführbare bühnenmöglich zu machen. So stehen einander zeitweise lebendige Chöre und Mikrofonstimmen antiphonisch gegenüber.

Otto F. Beer — „Neues Österreich“, Wien

Das nächste Gastspiel der Städtischen Oper Berlin mit Arnold Schoenbergs Oper „Moses und Aron“ wird im April 1961 in Paris am Théâtre des Champs-Élysées sein.

**B. SCHOTT'S SOEHNE
MUSIC PUBLISHERS
MAINZ**

Arnold Schoenberg „Moses and Aaron“

A Triumphant Success under Hermann Scherchen

In Berlin:

Among the many events of the Berlin Festival, the first German scenic performance, at the Municipal Opera, of Arnold Schoenberg's posthumous, powerful torso of the opera "Moses and Aaron" was no doubt the occasion of the greatest artistic significance.

G. A. Trumpff — "Darmstädter Echo"

The fact that an intention such as this gained realisation, that this work, which is and always will be problematical, could even be "understood" — thanks to good enunciation and pronunciation — this fact is more than just a contribution to the Festival: this West Berlin performance will go down in the history of contemporary German music.

Hans Ullrich Kersten — "Münchener Merkur"

In Vienna:

The spiritual atmosphere produced by musical reticence, the musical support of the quarrel by dramatic accents, the sensuality without bombast invoked by the music in the Dance around the Golden Calf, the music's ear for the supersensual — all that casts a spell over the spectator, forcing him to pay genius all the honour to which genius is due. There can be no doubt about it: none other than Schoenberg could have brought this material on the operatic stage.

Herbert Schneiber — "Kurier", Vienna

Not only as a conductor has Scherchen achieved an unbelievable precision — as an arranger he made use of the most recent advances of electro-acoustics (which did not even exist during Schoenberg's lifetime), so as to stage an unperformable work. Thus we have at times live choruses and microphone voices in antiphony.

Otto F. Beer — "Neues Oesterreich", Vienna

The next guest performance of the Berlin Municipal Opera with Arnold Schoenberg's opera "Moses and Aaron" will be in Paris at the Théâtre des Champs-Élysées in April, 1961.

Einführung in die Grundlagen der Schallmeßtechnik

von

W. BÜRCK

I

Schallmessung und Ohreigenschaften

In mannigfachen Situationen des täglichen Lebens mit seiner heute üblichen Technisierung tritt der Wunsch auf, die akustischen Eindrücke vielfältiger Art nicht nur subjektiv wahrzunehmen und zu beurteilen, sondern auch durch eine Messung zu objektivieren. Wenn etwa in einem Konzertsaal ein Musikwerk dargeboten werden soll, so besteht z. B. Interesse daran, festzustellen, welches Verhältnis der akustischen Energie zwischen den lautesten und den leisesten Stellen des Stückes einerseits und dem unvermeidlichen Störgeräuschniveau andererseits auftritt, oder wir interessieren uns für die räumliche Verteilung der Schallenergie an den verschiedenen Zuhörerplätzen. Möglicherweise wollen wir auch Musikinstrumente auf ihren Klanggehalt hin untersuchen oder verschiedene Darbietungsräume bezüglich ihrer akustischen Vermittlereigenschaften, ihrer „Hörsamkeit“, vergleichen. Nicht nur beim Bau von Theatern, sondern auch bei Industriebauten oder Wohnungen muß sich der Architekt heute zwangsweise mit Problemen der Nachhalldämpfung und Schallisolierung durch die Raumwände beschäftigen. Alle diese und viele weitere Aufgaben, vor allem auf dem Gebiet der technischen Lärmbekämpfung, können nicht mit dem Ohr allein ohne technische Hilfsmittel bewältigt werden, und zwar aus verschiedenen Gründen. Einmal können die Unterschiede bei der Beurteilung von Schallvorgängen von Mensch zu Mensch recht groß sein; auch ein und derselbe Mensch urteilt zu verschiedenen Zeiten oder unter verschiedenen Begleitumständen sehr unterschiedlich. Weiterhin hat das menschliche Ohr keinen in Zahlen ausdrückbaren absoluten Beurteilungsmaßstab für Schallgrößen und besitzt leider auch kein verlässliches Gedächtnis für die Art und Größe seiner Empfindung.

Die Unterschiedsempfindlichkeit des Ohres bei unmittelbaren akustischen Vergleichen ist zwar beachtlich hoch, doch geht über längere Zwischenzeiten, wie sie z. B. bei den Versuchen zum Zwecke der Lärminderung unvermeidlich sind, die Möglichkeit von Vergleichen mit dem Ohr verloren. Es ist auch nur in ganz seltenen Fällen möglich, für den direkten Vergleich stets eine „Normalschallquelle“ der interessierenden Art zur Hand zu haben; doch ist selbst die beste subjektive Methode der Schallbeurteilung unsicher, weil das Ergebnis des Vergleiches nur für einen bestimmten eingeübten Beobachter verbindlich ist, von anderen Menschen aber häufig als unrichtig empfunden wird.

Will man also etwas Allgemeingültiges über Schallgrößen aussagen, so muß man sich objektiv anzeigender Meßgeräte bedienen, die verschiedene Bedingungen erfüllen müssen. Sie sollen z. B. bei ein und demselben Schallvorgang stets dasselbe Ergebnis anzeigen, dieses in leicht zu merkenden Zahlen festlegen und bei verschiedenartigen und verschieden starken Schallvorgängen Werte ergeben, die einem aus den Durchschnittswerten vieler Beobachter erhaltenen Wertverhältnis möglichst nahe kommen.

Bevor man sich aber mit Einzelheiten bezüglich der anzuwendenden Meßtechnik befaßt, muß zunächst hinreichend genau bekannt sein, was eigentlich unser Ohr aufnehmen und wie es das Aufgenommene verarbeiten kann.

Was unser Ohr als akustisches Wahrnehmungsorgan erregt und kurzerhand als „Schall“ bezeichnet wird, ist eine Folge der Bewegung der Moleküle des Gasgemisches, aus dem die Luft zusammengesetzt ist. In der Regel entsteht eine Luftbewegung ursprünglich durch die Bewegung fester Körper, die die umgebende Luft „mitnehmen“ und z. B. bei plötzlicher mechanischer Ausdehnung die angrenzenden Luftschichten zusammendrücken und damit die Luftdichte erhöhen. Diese Luftverdickung, die mit einer kurzzeitigen Erhöhung des Luftdruckes verbunden ist, versucht sich auszugleichen, indem die Luftteilchen in das benachbarte Gebiet dünnerer Luft abströmen. Durch die Massenträgheit der in Bewegung geratenen Luft entsteht nun in etwas größerer Entfernung vom bewegten Festkörper, der den Anstoß für die Luftverdickung gegeben hat, wiederum ein erhöhter Luftdruck, der sich, genau wie die verdickte Stelle einer kriechenden Raupe, immer weiter vom erregenden Körper entfernt. Die Ausbreitung der Schallenergie erfolgt also senkrecht von einer vibrierenden Fläche weg in Form von Verdickungs- oder Longitudinalwellen, wobei die Geschwindigkeit der Abwanderung allein durch die festliegenden mechanischen Eigenschaften (Massenträgheit und Elastizität) des Gasgemisches Luft bestimmt wird.

Die Abwanderungsgeschwindigkeit der Schallwellen ist unterhalb einer extrem hoch liegenden Druckgrenze unabhängig von der Stärke des momentan erregenden Überdruckes; sie wird Schallausbreitungsgeschwindigkeit genannt und liegt, normalen Luftdruck und normale Temperatur vorausgesetzt, bei etwa 340 Metern pro Sekunde; sie ist aber keineswegs identisch mit der Strömungsgeschwindigkeit der Luftteilchen selbst, die je nach der Höhe des veranlassenden Überdruckes sehr verschiedene, meist aber sehr kleine Werte in der Größenordnung von Bruchteilen von Millimetern pro Sekunde erreicht.

Aus dem erregenden Überdruck und der Luftteilchengeschwindigkeit läßt sich ähnlich wie bei elektrischen Vorgängen aus Spannung und Strom die Leistung (hier Schallintensität genannt) ermitteln, die mit der Schallwelle durch ein bestimmtes Flächenstück hindurchwandert. Die maßgebliche Größe für die Schallempfindung im Ohr ist aber nicht die Schallgeschwin-

digkeit, nicht die durchwandernde Leistung, auch nicht die Strömungsgeschwindigkeit der Luftteilchen, sondern der erregende Überdruck, auf den im wesentlichen der Mechanismus unseres Ohres anspricht. Dieser Überdruck muß aber noch weitere Bedingungen erfüllen, wenn er als „Schalldruck“ wahrgenommen werden soll.

Die Erdoberfläche, unser Lebensraum, ist ja infolge der Schwerewirkung mit einer Luftschicht bestimmter mittlerer Dichte beladen, deren Druck (Barometerstand genannt) bei etwa 1 kg per Quadratzentimeter Fläche liegt und als gleichbleibender Druck unser Ohr nicht erregen kann. Langsame Schwankungen des Gleich-Luftdruckes mit der Änderung der Wetterlage sind ebenfalls unhörbar. Luftdruckunterschiede an verschiedenen Orten rufen Strömungen (Wind) hervor, die erst dann hörbar werden können, wenn sie als Folgeerscheinung schnelle Wirbelbildungen und damit schnelle Luftdruckschwankungen erzeugen, die häufig in kurzen Zeitabständen (Zehntel- bis Tausendstelsekunden) ihre Druckrichtung wechseln. Wir sehen also, daß nicht allein das Vorhandensein von Über- und (als Folge davon) Unterdrücken für eine Hörempfindung genügt, sondern daß auch ein genügend schneller Druckwechsel, etwa 20mal bis viele 1000mal pro Sekunde, Voraussetzung für einen Höreindruck ist.

Der Schalldruck ist also ein Wechsel-Luftdruck oder eine Druckschwungung, deren Richtungswechsel mit einer Doppelwechselzahl oder „Frequenz“ von etwa 20 bis 20 000 pro Sekunde (Einheitsbenennung Hertz = Hz) erfolgt. Wir können diese Druckschwankungen also nicht hören, wenn sie unterhalb oder oberhalb des Erregungsfrequenzbereiches unseres Ohres liegen.

Aber auch dann, wenn die Stärke der Druckschwankungen unter einer gewissen Grenze, der Hörschwelle, liegt, sind sie unhörbar. Wir wissen, daß oberhalb des absoluten Nullpunktes der Temperatur bei ca. -273° Celsius alle Materiemoleküle in ständiger Zitterbewegung sind, deren Heftigkeit mit der Temperatur zunimmt. Betrachten wir z. B. durch ein leistungsfähiges Mikroskop eine Flüssigkeit mit darin feinst verteiltem Metallstaub, so erkennen wir bei Dunkelfeldbeleuchtung an dem schnellen Blinken der bewegten lichtreflektierenden Stäubchen das Vibrieren der Flüssigkeitsmoleküle direkt mit dem Auge (sogenannte Brown'sche Molekularbewegung). Auch die Luftmoleküle bei normaler Temperatur vibrieren ständig infolge der Wärmebewegung unregelmäßig, so daß unser Ohr, wenn es eine unbegrenzt hohe Empfindlichkeit besäße, die hierdurch hervorgerufenen kleinsten Druckschwankungen (in der physikalischen Größenordnung vom Hundertmilliardstel des Gleichluftdruckes in kg pro Quadratzentimeter) als andauernd brodelndes und zischendes Geräusch hören würde.

Die Druckeinheit kg pro cm^2 wird auch „bar“ genannt; damit ist ein Hundertmilliardstel $= \frac{1}{100\,000\,000\,000}$ bar $= 10^{-11}$ bar oder 10^{-5} μbar , wenn man die für Schalldruckmessungen bequemere Einheit 1 $\mu\text{bar} = \frac{1}{1\,000\,000}$ bar $= 10^{-6}$ bar verwendet. Die tatsächliche Hörschwelle des menschlichen Ohres für Schalldrucke liegt aber im hauptsächlich interessierenden mittleren Frequenzbereich im Mittel bei $2 \cdot 10^{-4}$ μbar und damit oberhalb des „Luftgeräusches“. Der Schalldruckwert $2 \cdot 10^{-4}$ μbar wurde international als Schwellwert und Bezugswert bei allen Schallmessungen festgelegt.

Die Größe der normalerweise als Sprache, Musik, Geräusche und Lärm vorhandenen Schalldrucke schwankt nun in weitem Bereich etwa von 10^{-2} (also $\frac{1}{100}$) bis etwa 10^3 (also 1000) μbar .

In der technischen Praxis ist die Benennung der Druckwerte in den obigen physikalischen Einheiten wegen des großen Zahlenbereiches über viele Zehnerpotenzen unbequem. Es gibt nun neben der üblichen Darstellung einer physikalischen Größe in linearen Zahleneinheiten, also dem Fortschreiten nach einer (arithmetischen) Zahlenreihe, etwa 1, 2, 3, 4 usw., die Möglichkeit, jeweils ein multiplikatives Vergrößern nach Art einer geometrischen Reihe, etwa 1, 2, 4, 8, 16, 32 usw., mit einfachen Zahlen zu benennen, die den Exponenten einer festen Grundzahl entsprechen. Der oben genannten Reihe 1, 2, 4, 8, 16 entspräche z. B. 2^0 , 2^1 , 2^2 , 2^3 , 2^4 usw., eine geometrische Reihe, die aus den mathematischen Potenzen der Grundzahl 2 entsteht. Das Fortschreiten von jeder Potenz zur nächsthöheren, also eine Vergrößerung um 1 von 0 auf 1, von 1 auf 2, von 2 auf 3 usw. bedeutet hier eine Multiplikation um einen gleichen Faktor, nämlich den Faktor 2. Schreiben wir nun der Einfachheit halber nur noch die Potenzen an, also „0“, „1“, „2“, „3“ usw., so haben wir eine sogenannte „logarithmische“ Zahlenskala vor uns, die bei groß werdenden Absolutzahlen verhältnismäßig kleine Zahlen als „Potenzsiffern“ anzeigt.

Nach diesem System können nun auch die großen in der Praxis unbequemen Wertzahlen bei hohen Schalldruckgrößen vermieden werden. Man wählt den Hörschwellendruck $2 \cdot 10^{-4}$ μbar als „Schalldruckpegel 0“ und schreitet nun üblicherweise nicht in Potenzen von der Grundzahl 2, sondern der Grundzahl $\sqrt{10}$ fort. Diese zunächst etwas eigenartig anmutende Stufung kommt daher, daß bei einer Erhöhung des Schalldruckes um den Faktor $\sqrt{10}$ die Schall-Leistung, die ja quadratisch mit dem Druck anwächst, um den Faktor 10 gestiegen ist (analog wächst die elektrische Leistung in Watt mit dem Quadrat der elektrischen Spannung in Volt).

Die Potenzzahlen zur Leistungsgrundzahl 10 werden nun zur Unterscheidung von den einfachen Zahlen der arithmetischen Zahlenreihe und zur besonderen Kennzeichnung mit der Benennung „Bel“ belegt; 1 Bel ist

Tabelle der Beziehung
von physikalischem Schalldruck in μbar zum Relativschallpegel in dB:

μbar	= dB	μbar	= dB	μbar	= dB
$2,00 \cdot 10^{-4}$	0	$2,24 \cdot 10^{-3}$	21	2,24	81
$2,24 \cdot 10^{-4}$	1	.	.	.	.
$2,52 \cdot 10^{-4}$	2	.	.	.	.
$2,82 \cdot 10^{-4}$	3	$6,32 \cdot 10^{-3}$	30	6,32	90
$3,17 \cdot 10^{-4}$	4	.	.	.	.
$3,56 \cdot 10^{-4}$	5	.	.	.	.
$3,99 \cdot 10^{-4}$	6	$2,00 \cdot 10^{-2}$	40	$2,00 \cdot 10$	100
$4,48 \cdot 10^{-4}$	7	$2,24 \cdot 10^{-2}$	41	$2,24 \cdot 10$	101
$5,02 \cdot 10^{-4}$	8	.	.	.	.
$5,64 \cdot 10^{-4}$	9	.	.	.	.
$6,32 \cdot 10^{-4}$	10	$6,32 \cdot 10^{-2}$	50	$6,32 \cdot 10$	110
$7,10 \cdot 10^{-4}$	11	.	.	.	.
$7,96 \cdot 10^{-4}$	12	.	.	.	.
$8,93 \cdot 10^{-4}$	13	$2,00 \cdot 10^{-1}$	60	$2,00 \cdot 10^2$	120
$1,00 \cdot 10^{-3}$	14	$2,24 \cdot 10^{-1}$	61	$2,24 \cdot 10^2$	121
$1,13 \cdot 10^{-3}$	15	.	.	.	.
$1,26 \cdot 10^{-3}$	16	.	.	.	.
$1,42 \cdot 10^{-3}$	17	$6,32 \cdot 10^{-1}$	70	$6,32 \cdot 10^2$	130
$1,59 \cdot 10^{-3}$	18	.	.	.	.
$1,78 \cdot 10^{-3}$	19	.	.	.	.
$2,00 \cdot 10^{-3}$	20	2,00	80	$2,00 \cdot 10^3$	140

eine reine Verhältnisbenennung und bedeutet also zehnfache Leistung oder $\sqrt{10}$ -facher Druck gegenüber 0 Bel, 2 Bel 100fache Leistung oder zehnfacher Druck. Das Fortschreiten in Stufen von $\sqrt{10}$ -fachem Druck ist nun für die Praxis zu grob; man hat daher einfach die große Stufe wieder in 10 unter sich gleich große, natürlich ebenfalls logarithmisch unterteilte kleinere aufgespalten und so für den Größenverhältniswert 1 Bel den Wert 10 Dezibel (mit der Abkürzung dB) gesetzt. Damit ergibt eine Druckerhöhung auf das zehnfache einen Zuwachs von 2 Bel oder 20 dB. Legen wir nun, wie schon oben erwähnt, willkürlich, aber praktisch günstig, die Hörschwelle auf den Wert 0 dB, so ergibt sich: dem Schwellwertdruck $2 \cdot 10^{-4} \mu\text{bar}$ entspricht 0 dB; weiter entspricht $2 \cdot 10^{-3} \mu\text{bar} = 20 \text{ dB}$, $2 \cdot 10^{-2} \mu\text{bar} = 40 \text{ dB}$, $2 \cdot 10^{-1} = 0,2 \mu\text{bar} = 60 \text{ dB}$, $2 \mu\text{bar} = 80 \text{ dB}$, $20 \mu\text{bar} = 100 \text{ dB}$, $200 \mu\text{bar} = 120 \text{ dB}$ usw. Die Zwischenwerte können entsprechend der Tabelle ermittelt werden.

In eine mathematische Formel gefaßt ergibt der Übergang von einem bestimmten vorhandenen Schalldruck p_x in μbar auf den entsprechenden (logarithmischen) Schallpegelwert L in dB die Beziehung

$$L = 10 \cdot \log \frac{p_x^2}{p_o^2} = 20 \cdot \log \frac{p_x}{p_o} \text{ (dB)},$$

wobei p_o den Schwellwertdruck von $2 \cdot 10^{-4} \mu\text{bar}$ darstellt.

Wir haben mit den obigen Überlegungen bereits die beiden wichtigsten Grundgrößen für alle Schallmessungen gewonnen, nämlich einerseits die Schwingungszahl der hörbaren Druckschwankungen als Frequenz (in Hz) und andererseits die Größe der Druckschwankung in physikalischen Absolutwerten (in μbar) oder in den auf den Schwellwertpegel bezogenen praktischen Relativwerten (in dB). Diese Größenbezeichnungen finden sich als wichtigste unter anderen auf den Schallmeßeinrichtungen wieder.

Obwohl der Schall physikalisch an die mechanische Schwingbewegung des Gasgemisches Luft gebunden ist, entsteht er häufig indirekt durch die mechanische Schwingung von festen Körpern, die einerseits in bestimmten seltenen Fällen direkt vermittelt „Knochenleitung“ Empfindungen im Ohr hervorrufen, andererseits aber auch ohne Ohranregung als Hautreiz oder Organreiz empfunden werden kann. Umgekehrt können Festkörpervibrationen auch sekundär durch Luftschallanregung entstehen. Es interessieren daher manchmal neben den Empfindungsgesetzen unseres Ohres auch die Vibrationsempfindungen.

Die bisher betrachteten Meßgrößen des Luftschalles, also Schwingungszahl in Hz und Druckwert absolut in μbar oder relativ in dB über dem Schwellwert, sind objektiv vorhandene und direkt meßbare Größen; wir können entsprechend aufgebaute Meßanordnungen ohne weiteres in diesen Größen eichen, ohne unser Ohr dabei zu benützen oder auf eine Ohrempfindung Rücksicht zu nehmen.

Wenn wir jedoch die Wirkung von Schallvorgängen verschiedener Frequenz oder unterschiedlichen Schalldruckes auf unsere Empfindungen beim Anhören berücksichtigen wollen, so müssen wir auf Grund von Versuchen leider feststellen, daß kein ganz einfacher Zusammenhang zwischen den genannten physikalischen Größen und der Empfindung besteht. Zwar ist mit steigender Frequenz auch eine steigende Tonhöhenempfindung verbunden, aber die Empfindungsstärke („Lautstärkeempfindung“) bei Vorgängen verschiedener Tonhöhe mit gleichem physikalischem Schalldruck ist nicht gleichbleibend, sondern tiefe und ganz hohe Töne erscheinen trotz gleichen Druckes merklich leiser als mittelhohe Töne. Schon die Tatsache allerdings, daß die Hörempfindung bei den ganz tiefen und den extrem hohen Tönen auch bei beliebig hohem Druck ganz aufhört, läßt darauf schließen, daß es ein Übergangsgebiet verminderter Empfindungsstärken in der Nähe der Grenzfrequenzen geben muß.

Beziehen wir unsere Lautstärkeempfindung auf einen Schallvorgang mittlerer Frequenz (hierfür eignet sich der international immer mehr eingebürgerte Wert von 1000 Hz als Normalfrequenz sehr gut), so zeigt sich, daß für die Gewinnung gleicher Empfindungsstärken bei anderen Tonhöhen ein relativ gesteigerter Schalldruck bei tiefen und ganz hohen Tönen nötig ist. Eine Kurvendarstellung, bei der für gleichbleibende Stärkeempfindung der jeweils nötige Schalldruck in Abhängigkeit von der Frequenz dargestellt ist, wird sinngemäß „Kurve gleicher Lautstärke“ genannt. Der Kurvenverlauf ist nicht nur von der Tonhöhe, sondern auch noch vom absoluten Druckpegel abhängig und wird um so flacher, bei je größeren Schalldrucken insgesamt beobachtet wird.

Man legt nun eine Kurvenschar gleicher Lautstärke allgemein so fest, daß die Einzelkurven stets durch ganze Zahlenwerte der Dezibeleinteilung bei einer Frequenz von 1000 Hz laufen und bezeichnet sie als „Phon“-Kurven mit der Wertzahl, die dem dB-Wert von 1000 Hz entspricht (siehe Abb. 1).

Eine Kurve gleicher Lautstärke von 60 Phon z. B. läuft durch den Punkt 60 dB bei 1000 Hz und gestattet bei allen außerhalb von 1000 Hz liegenden Frequenzen abzulesen, wieviel Schalldruck (in μ bar oder dB) nötig ist, um die gleiche Stärkeempfindung wie bei 1000 Hz mit 60 dB im Ohr auszulösen, wobei der Verlauf der Kurve als Mittelwert vieler Messungen an sehr zahlreichen Versuchspersonen gewonnen wurde (statistischer Mittelwert).

Aus praktischen Gründen hat man für die Anwendung in der Meßtechnik den allmählich sich mit dem dB-Pegel verändernden Kurvenverlauf schematisch vereinfacht und z. B. in Deutschland eine mittlere Kurvenform für das Gebiet von 0 bis 30 dB, eine weitere etwas flachere Form für 30 bis 60 dB und eine noch flachere für Pegel über 60 dB normmäßig festgelegt (DIN 5045), siehe Abb. 2.

In Amerika dagegen findet ein Wechsel der schematisierten Bewertungskurven bei anderen von Fall zu Fall festgelegten Pegeln, z. B. bei 55 und bei 85 dB statt. Somit kann es vorkommen, daß die an einem und demselben Schallvorgang gemessenen Werte je nach dem verwendeten Meßgerät etwas verschieden ausfallen, wobei auch eine gewisse Abweichung gegen den „wirklichen“ Wert besteht, den man bei kontinuierlich geänderten Bewertungskurven erhalten würde. Die mit den hier üblichen und auch im übrigen Europa weit verbreiteten deutschen Meßgeräten erhaltenen Meßwerte in angenäherten Phon müssen also zur genauen Kennzeichnung des erhaltenen Meßwertes aus den Näherungskurven nach DIN mit „DIN-Phon“ benannt werden; im Ausland werden sie häufig als „bewertete dB“ bezeichnet.

Um den Normkurven praktisch zu genügen, werden in den Meßgeräten, die die akustischen Werte für Zwecke der Messung in elektrische Span-

nungen umformen und diese zur Wertanzeige weiterverarbeiten, entsprechende Frequenzbewertungen als elektrische Verzerrungsglieder der Frequenzkurve eingebaut. Die entstehenden, aus den angenäherten Kurven gleicher Lautstärke für Einzeltöne abgeleiteten Frequenzkurven der Schallmeßgeräte erscheinen in der üblichen Darstellung, bei der nach oben in der Ordinate die relative Empfindlichkeit oder Verstärkung des Gerätes, nach rechts in der Abszisse die Frequenz in Hz aufgetragen wird, umgekehrt gekrümmt wie die Kurven gleicher Lautstärke; sie fallen also nach tiefen Frequenzen und auch bei den ganz hohen nach unten ab. Der genaue Verlauf der Gerätefrequenzkurven für die drei genormten Lautstärkebereiche von mehr als 60 DIN-Phon, zwischen 30 und 60 DIN-Phon und unter 30 DIN-Phon sind samt ihren für Meßgeräte zugestandenen Toleranzgrenzen in Abb. 3 dargestellt. Es ist zweckmäßig, zu wissen, daß die Bewertungskurve 1 über 60 DIN-Phon der in den USA verwendeten Bewertungskurve B, unsere Kurve 2 (30 bis 60 DIN-Phon) der Kurve A der amerikanischen Norm Z 24. 3. 1944 im Bereich der dort zugelassenen Toleranzen entspricht; im Ausland ist, wie schon erwähnt, der Begriff DIN-Phon allerdings häufig unbekannt und nicht gebräuchlich und wird durch die Bezeichnung „bewertete dB“, z. B. „dB weighted curve B“ ersetzt, wobei nicht immer eine feste Kopplung zwischen Bewertungskurve und zugehörigem Pegelbereich vorgeschrieben ist, sondern neuerdings die Bewertungskurven unabhängig vom Schallpegel frei gewählt werden können.

An den Übergangsstellen zwischen zwei Bewertungskurven, also z. B. in der Nähe von 60 Phon und von 30 Phon, kann man jeweils 2 verschiedene Meßwerte bei demselben Schallvorgang erhalten. Um die daraus sich ergebenden Unzuträglichkeiten in der Praxis zu vermeiden, kann man zweckmäßigerweise eine Mittelung der beiden möglichen Werte vornehmen, indem man eine „interpolierte Lautstärke“ nach einem besonderen Verfahren definiert.

Bei allen durch Messung gewonnenen Werten, mit DIN-Phon oder bewerteten dB benannt, muß man sich stets vor Augen halten, daß es sich um Näherungswerte handelt, die nicht immer mit einem durch direkten subjektiven 1000-Hz-Tonvergleich erhältlichen Wert übereinzustimmen brauchen. Die durch Berücksichtigung der Tonempfindung des menschlichen Ohres zustande gebrachte Phonbewertung bedeutet nämlich im Grunde, daß für einen Ton anderer Frequenz als 1000 Hz der näherungsweise gleich laute dB-Wert bei 1000 Hz bestimmt wurde. Zu empfindungsrichtigen Meßwerten gelangt man also nur bei gleichlauten Einzeltönen verschiedener Frequenz, aber durchaus noch nicht bei Tongemischen, die aus mehreren oder vielen Einzeltönen (Komponenten) bestehen. Der Begriff des Einzeltones bedeutet im streng physikalischen Sinn eine Schwingungsform, bei der sich der Luftdruck pendelnd mit sanftem Übergang (d. h. sinus-

förmig wie bei einem mechanischen Pendel) von einem Extremwert auf der positiven Seite (Überdruck) zu einem negativen Gegenwert (Unterdruck) und zurück bewegt. Liegt aber im Gegensatz hierzu beispielsweise ein plötzlicher, ruckweiser Übergang vor, so kann dieser nach dem bekannten mathematisch-physikalischen Zerlegungssatz von Fourier als gleichzeitig erfolgende Bewegung mit mehreren sinusförmigen Verläufen, die sich überlagern, gedeutet werden; man spricht dabei, je nach Bewegungsform der schwingenden Luftteilchen, von einem „Klang“ bei periodischer Wiederholung einer nicht allzu komplizierten Schwingungsform oder von einem „Geräusch“ bei zeitlich unregelmäßigem Verlauf oder bei Schwingungen mit sehr dicht benachbarten Frequenzkomponenten. Sehr kurz dauernde Geräusche werden als „Knall“ oder „Knack“ bezeichnet.

Den Vorgang der Auflösung eines tatsächlich vorhandenen Bewegungsablaufs in mehrere gleichzeitig gedachte Einzelbewegungen mit sinusförmigem Verlauf nennt man Frequenzanalyse. Sehr steil anspringende, kurz dauernde Knacke enthalten in ihrem Tonspektrum bei der Frequenzanalyse angenähert alle hörbaren Frequenzen mit gleicher Schalldruckamplitude. Es gibt aber auch zeitlich andauernde, gleichmäßig erscheinende Geräusche, die dasselbe Tonspektrum besitzen; ein praktisch wichtiges Beispiel hierfür ist das sogenannte „weiße Rauschen“, das in steigendem Maße für Meßzwecke verwendet wird und in gewisser Weise das Gegenstück zum „reinen Ton“, einer Sinusschwingung, darstellt. Schneidet man z. B. durch Frequenzfilter bestimmte Frequenzgebiete aus dem gleichmäßigen Tonspektrum des weißen Rauschens heraus und unterdrückt das außerhalb des Filterbereiches liegende Frequenzgebiet, so kann man die „Kurven gleicher Lautstärke“ anstatt mit reinen Tönen mit „farbigem (d. h. tongefärbtem) Rauschen“ nachkontrollieren. Beim Vergleich der Lautstärke solcher Rauschbänder in verschiedenen Frequenzlagen bei konstantem effektivem Schalldruck mit einem um 1000 Hz herum gelegenen Vergleichsband oder direkt einem 1000-Hz-Ton ergibt sich ein grundsätzlich von den Kurven gleicher Lautstärke abweichender Verlauf. Mit steigendem Frequenzschwerpunkt der Bänder erscheinen sie relativ immer lauter (bis mindestens 8000 Hz hinauf), fallen also stetig, während die Kurven gleicher Lautstärke bei reinen Tönen bereits früher deutlich wieder ansteigen. Würde man ein Lautstärkemeßgerät mit einer „Kurve gleicher Rauschlautstärke“ anstatt der Kurve für reine Töne versehen, so ließen sich damit Rauschen und ähnliche Vorgänge in guter Übereinstimmung mit dem subjektiven Empfinden messen, dagegen reine Töne nicht mehr richtig.

Bietet man dem Ohr mehrere diskrete Einzeltöne gleichzeitig an, so hängt die beobachtbare Erhöhung der Stärkeempfindung gegenüber einem Einzelton vom relativen physikalischen Stärkeverhältnis der Töne, von ihrer absoluten und relativen Frequenzlage und von noch anderen Größen

in leider sehr verwickelter Weise ab, wie schon die Messungen mit Rauschbändern zeigen.

Dicht benachbarte Töne gleicher Einzelstärke ergeben meist wesentlich kleinere Empfindungserhöhungen (wegen sogenannter Verdeckungserscheinungen) als Töne großen Frequenzabstandes. Die Meßergebnisse mit Geräten auf der Basis der „Phon“-Bewertungskurven, wie sie bei der genormten Lautstärkemessung zu erhalten sind, entsprechen daher bei mehreren Einzeltönen, bei Tongemischen und Geräuschen durchaus nicht genau der wirklich empfundenen Vergleichs-Lautstärke gegenüber dem 1000-Hz-Normalton und sind aus diesem Grunde exakt lediglich als Relativbewertungszahlen brauchbar und auch dies nur, wenn bei den Vergleichen die Frequenzzusammensetzung, also der spezielle Charakter der Geräusche, sich in keiner Weise ändert.

Ein weiterer grundsätzlicher Nachteil der üblichen Lautstärkemessung mit ihren genormten Phonwerten ist die fehlende Übereinstimmung der erhaltenen Zahlenwerte mit den statistisch ermittelten Zahlenverhältnissen der Empfindungsstärken im Sinne einer „Lautheitsskala“, auch wenn es sich um gleichartige Schallvorgänge, ja selbst um einen einfachen Einzelton bei verschiedenen Druckpegeln handelt.

Die früher in vielen Schriften verbreitete Theorie nach Weber und Fechner, nach der ganz allgemein angeblich die Sinnesempfindungen proportional zum Logarithmus des physikalischen Reizes verlaufen sollen und damit auch als Begründung für eine logarithmische Lautstärkeskala in dB anzusehen seien, hat sich als falsch erwiesen, sobald die meßtechnischen Mittel zur exakten Kontrolle zur Verfügung standen.

Wird z. B. bei einem Einzelton von 1000 Hz von bestimmtem dB-Wert, etwa 80 (und dementsprechend auch mit dem Phonwert 80), der zugehörige Schalldruck verdoppelt, also um 100 % erhöht, so erhält man nach Definition des gewählten logarithmischen Maßstabes einen Meßwert von 86 dB oder Phon; die Lautstärkeerhöhung beträgt also nach der Lautstärke-Messung 6 Phon, oder bezogen auf den Grundwert von 80 Phon nur $\frac{6}{80}$ oder 7,5 %.

Nach vielfach wiederholten Vergleichsversuchen ergab sich für das hier gewählte Beispiel aber eine von den Versuchspersonen empfundene Lautstärkeerhöhung von 50 bis 60 % im Mittel. Um derartige Diskrepanzen auszuschalten, wurden Lautheitsskalen vorgeschlagen, die die experimentellen Vergleichsergebnisse berücksichtigen und formal eine einfache Umdeutung der Phonwerte in die empfundenen Lautheitswerte mit der neuen Benennung „Sone“ darstellt. Eine einfache Umrechnung, wie sie mittels der folgenden Tabelle vorgenommen werden kann, gilt aber grundsätzlich stets nur für Einzeltöne.

Tabelle:

phon	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	0,250	0,268	0,287	0,308	0,330	0,354	0,379	0,406	0,435	0,467
30	0,500	0,536	0,574	0,616	0,660	0,707	0,758	0,812	0,871	0,933
40	1,00	1,07	1,15	1,23	1,32	1,41	1,52	1,62	1,74	1,87
50	2,00	2,14	2,30	2,46	2,64	2,83	3,03	3,25	3,48	3,73
60	4,00	4,29	4,59	4,92	5,28	5,66	6,06	6,50	6,96	7,46
70	8,00	8,57	9,19	9,85	10,6	11,3	12,1	13,0	13,9	14,9
80	16,0	17,1	18,4	19,7	21,1	22,6	24,3	26,0	27,9	29,9
90	32,0	34,3	36,8	39,4	42,2	45,3	48,5	52,0	55,7	59,7
100	64,0	68,6	73,5	78,8	84,4	90,5	97,0	104	111	119
110	128	137	147	158	169	181	194	208	223	239
120	256					(363)				(479)

Sone

NB! Im praktischen Gebrauch werden nur 2 Stellen verwendet!

Hierbei wurde dem Wert 40 Phon aus rein praktischen Gründen willkürlich der Wert 1,00 Sone zugeordnet. Wie man sieht, ergibt sich im technisch wichtigen Lautstärkebereich eine Verdoppelung des Sonewertes jeweils bei einer Lautstärkesteigerung um 10 Phon. Dabei würden sich also bei 50 Phon 2 Sone, 60 Phon 4 Sone, 70 Phon 8 Sone, 100 Phon = 64 Sone usw. ergeben.

Die Umdeutung von Phonwerten in Sone ist stets so aufzufassen, daß von Phonzahlen ausgegangen wird, die durch den unmittelbaren Hörvergleich des Tones oder sonstigen Schallvorganges mit dem gleichlauten 1000-Hz-Ton gewonnen wurden; es handelt sich also um „echte physiologische“ Phon, wie sie seinerzeit erstmalig durch die Experimente von Barkhausen bestimmt wurden, nicht aber um DIN-Phon, wie sie mit dem DIN-Lautstärkemesser gemessen werden können. Letztere entsprechen nur soweit den „Barkhausen“-Phon (die außerhalb Deutschlands ebenfalls mit „Phon“ bezeichnet werden), wie die angenäherten Bewertungskurven im DIN-Lautstärkemesser nach Abb. 2 mit den genauen Kurven gleicher Lautstärke nach Abb. 1 übereinstimmen. Bei reinen Tönen sind die Unterschiede nicht erheblich, so daß z. B. die durch eine Messung bestimmten DIN-Phonwerte zur Umrechnung in Sone (die dann eigentlich als „DIN-Sone“ bezeichnet werden müßten) direkt verwendet werden dürfen.

Bei dem in der obigen Tabelle niedergelegten Zusammenhang zwischen den Lautheitswerten in Sone (S) und den Lautstärkewerten in Phon (P) gilt die mathematische Beziehung

$$S = 2^{0,1 \cdot (P - 40)}$$

als einfachste Annäherung an die mittleren Meßwerte aus den Versuchen.

In Ostländern ist als Einheit für die Lautheit gro eingeführt, das sich in Übereinstimmung mit den Sonewerten bis etwa 75 Phon befindet, darüber aber stärker anwächst.

Man scheute sich lange vor einer bindenden Festlegung, weil die experimentellen Ergebnisse bei verschiedenen Versuchsbedingungen (etwa bei Versuchsreihen mit stets steigender oder stets fallender Vergleichslautstärke, ferner bei schmalbandigen oder breitbandigen Geräuschen) unterschiedliche Ergebnisse liefern, die um mehrere Phon mehr oder weniger streuen und sich etwa zwischen 7 und 14 Phon pro Lautheitsverdopplung oder -halbierung bewegen. Leider kommen in der Praxis, besonders bei der Lärmbekämpfung, selten Schallvorgänge in Form von Einzeltönen oder auch nur angenähert tonähnlichen Geräuschen vor, so daß ein einfacher Übergang von den gemessenen Phonwerten eines Gesamtgeräusches in Lautheitswerte in Sone gemäß vorstehender Tabelle nicht zulässig ist. Auf Grund umfangreicher Versuche, die laufend noch vervollständigt werden, ist ein kompliziertes Verfahren für die Gesamtlautheitsbestimmung eines Geräusches nicht zu umgehen; dieses Verfahren arbeitet mit einer Aufteilung des gesamten Hörbereiches in einzelne Frequenzbänder bestimmter Breite, mit Einzelmessungen in diesen Bändern und mit rechnerischer Zusammenfassung der Einzelergebnisse unter Berücksichtigung von bestimmten Korrekturfaktoren. Es hat sich nun gezeigt, daß in manchen Fällen für die praktische Lärmbekämpfung die einfache Aufteilung des Hörfrequenzbereiches in Oktavbändern ausreicht (also jeweils im Frequenzverhältnis 1 : 2, etwa 31,5 bis 63 Hz, 63 bis 125 Hz, 125 bis 250 Hz, 250 bis 500 Hz, 500 bis 1000 Hz, 1000 bis 2000 Hz, 2000 bis 4000 Hz, 4000 bis 8000 Hz, 8000 bis 16 000 Hz gemäß der internationalen Normreihe für Frequenzen). Die gemessenen Phonwerte in den einzelnen (hier 9) Oktaven werden nach obiger Tabelle in Sonewerte umgedeutet und die neun Zahlen einfach addiert. Der Summenwert entspricht dann bei gewissen breitbandigen Geräuschen, d. h. solchen, die viele Teiltöne von den tiefsten bis zu den höchsten Frequenzen enthalten, mit erträglich kleinen Fehlern der vom Ohr wirklich empfundenen Lautstärke, wenn nicht der Schwerpunkt des Frequenzspektrums gerade bei tiefen Frequenzen liegt, die hier etwas überbewertet werden.

Eine bessere Annäherung an die Stärkeempfindung eines gleichlauten 1000-Hz-Tones bei einer großen Anzahl von Geräuschen mit verschiedenem Charakter ergibt sich, wenn die Bandaufteilung des Hörfrequenzbereiches in relativ ungleich breite Bänder vorgenommen wird, die der Stufung des physiologischen Tonhöhenempfindens (sogenannte Mel-Skala) angepaßt sind. Eine besonders günstige, für die Praxis bezüglich des technischen Aufwandes noch tragbare Zerlegung ist z. B. eine Filtereinteilung in 6 Bänder mit den Frequenzbereichen 30 bis 750, 750 bis 1500, 1500 bis 2500,

2500 bis 3850, 3850 bis 6200 und 6200 bis 11 500 Hz (Sonefilter); diese Aufteilung hat sich bei Lautstärken über 50 Phon recht gut bewährt.

Als weitgehend ohrenentsprechende Frequenzbandaufteilung, die bei ganz geringen Lautstärken gilt, bei denen noch keine Verdeckungserscheinungen im Ohr eine Rolle spielen, kann die Einteilung nach sogenannten Frequenzgruppen oder Kopplungsbreiten des Ohres verwendet werden. Die folgende Tabelle gibt die 24 vorgeschlagenen Gruppenbereiche mit ihren Grenzfrequenzen und Bandbreiten wieder. Diese sehr feine Aufspaltung, die, abgesehen von den Gruppen bei tiefsten Frequenzen, recht gut mit einer Terzfiltereinteilung übereinstimmt, wird häufig als Ausgang für Lautstärkeberechnungen auf Grund der Meßwerte (Effektivwerte) in den Gruppenbandbreiten verwendet. Bei allen praktisch interessierenden Lautstärken jedoch müssen die durch Verdeckungserscheinungen hervorgerufenen Überdeckungen und damit Verschmelzungen der Frequenzgruppen berücksichtigt werden, was zu beträchtlichen Abschlägen bei der Summation der aus den Einzelgruppen gewonnenen Werte führt und damit praktisch auf eine Verringerung der wirksamen Gruppen hinausläuft, wie es im obigen Beispiel der Sonefilter schon verwirklicht ist.

Voraussetzung für die praktische Durchführbarkeit einer Sonelauthitätsbestimmung ist aber, daß das Geräusch mindestens für die Dauer der Messungen in den Bandfiltern, die in ca. $\frac{1}{2}$ bis zu einigen Minuten durchgeführt werden können, gleichmäßig besteht. Ist dies nicht der Fall, so hilft eine Schallaufzeichnung auf einem geeichten Schallkonservierungsmittel, etwa einem Magnetbandgerät. Die nachfolgende Auswertung kann dann von einem ausgewählten Stück der Schallkonserve in Form einer Bandschleife erfolgen, die in steter Wiederholung solange abgespielt wird, als der Meßvorgang über die Bandfilter dauert. Physikalisch bedeutet dies eine grobe Frequenzanalyse. Der Erfolg der Methode mit Frequenzbandaufspaltung in Form von Ergebnissen, die sich in guter Übereinstimmung mit den vom normalen Ohr im Mittel empfundenen Lautheitswerten befinden, wird mit dem Mechanismus des Zusammenwirkens der Nervenbahnen im Gehirn erklärbar. Weit auseinander liegende Teiltöne in verschiedenen Frequenzgebieten erregen ganz verschiedene Empfindungsnervenleitungen und -registrierzentren, die Gesamtempfindung bildet sich also aus der Summe der Einzelwerte; nahe beieinander liegende Komponenten (z. B. in demselben Filterbereich) werden mit ihrem Effektivwert, d. h. mit ihrem quadratischen Mittelwert summiert, was einen geringeren Gesamtwert als die arithmetische Summe ergibt und die teilweise Überdeckung der Nerven-erregung widerspiegelt.

Leider ist die Störimpfindung eines Geräusches, das als Lärm betrachtet werden muß, nicht nur von diesen physiologischen Gesetzen der Lautstärkeempfindung beherrscht, sondern darüber hinaus noch von der sehr subjektiven und zeitlich stark veränderlichen psychologischen Einstellung des

Tabelle der Ohr-Frequenzgruppen:

Gruppen-Nr.	Durchlaßband	Bandbreite
1	0 — 100 Hz	100 Hz
2	100 — 200	100
3	200 — 300	100
4	300 — 400	100
5	400 — 510	110
6	510 — 630	120
7	630 — 770	140
8	770 — 920	150
9	920 — 1 080	160
10	1 080 — 1 270	190
11	1 270 — 1 480	210
12	1 480 — 1 720	240
13	1 720 — 2 000	280
14	2 000 — 2 320	320
15	2 320 — 2 700	380
16	2 700 — 3 150	450
17	3 150 — 3 700	550
18	3 700 — 4 400	700
19	4 400 — 5 300	900
20	5 300 — 6 400	1 100
21	6 400 — 7 700	1 300
22	7 700 — 9 500	1 800
23	9 500 — 12 000	2 500
24	12 000 — 15 500	3 500

jeweiligen Beobachters. Der Begriff der Lästigkeit, mit dem Lärmbegriff gedanklich gekoppelt, ist für diesen Fragenkomplex charakteristisch; er läßt sich in einen statistisch noch erfaßbaren, daher auch meßbaren Anteil und einen weiteren zweiten Anteil aufspalten, der sich grundsätzlich jeder Messung entzieht. Der meßtechnisch erfaßbare erste Teil der Lästigkeit eines Schallvorganges beruht auf der Tatsache, daß ein hoher prozentualer Anteil von hohen Frequenzen in einem Geräusch auf die Dauer stark ermüdet und daher ausgesprochen unangenehm wird. Als physikalische Erklärung kann herangezogen werden, daß gerade die hohen Frequenzen wegen ihrer bedeutenden Stärke- und Laufzeitunterschiede, mit denen sie unsere beiden Ohren erreichen, und wodurch sie unbewußt zur Richtungsbestimmung des eintreffenden Schalls dienen, die Aufmerksamkeit auch eines uninteressierten oder ablehnend eingestellten Zuhörers erzwingen. Man hat daher zum Zwecke der Lästigkeitsbewertung für manche Meßverfahren versuchsweise die hohen Frequenzen in den Kurven gleicher Lautstärke relativ überhöht, z. B. durch die Anwendung der „Kurven

gleicher Geräusch-Lautstärke“ oder durch Anwendung einer Bewertungskurve (gleicher Lautstärke für Einzeltöne), die einem niedrigeren als dem vorhandenen Lautstärkepegel zugehört. Eine allgemeine Festlegung solcher höhenbetonter Lästigkeitskurven ist jedoch nicht vertretbar, weil dann mit diesen abgeänderten Meßeinrichtungen andererseits keine exakten Lautstärke- und Lautheitsmessungen bei reinen Tönen mehr durchführbar sind.

Der andere, nicht meßbare Anteil der Geräuschlästigkeit beruht darauf, daß ein und derselbe Schallvorgang einmal willkommen sein kann, ein andermal höchst unerwünscht ist: das morgendliche Vogelgezwitscher kann z. B. einen ausgeschlafenen Frühaufsteher entzücken, für einen schlaflosen Kranken stellt es einen unerträglichen Lärm dar. Man darf nicht erwarten, in derartigen Fällen eindeutige Aussagen oder gar Maßzahlen zu erhalten, die dem subjektiven Empfinden angemessen sind.

Auch die zeitliche Verteilung eines ablaufenden Schalldruckvorganges spielt eine bedeutende Rolle bei der Empfindung im Ohr. Nur für kurz begrenzte Zeit erklingende Töne erscheinen nicht so laut wie mit gleicher Tonamplitude bei relativ langer Dauer über 0,2 sek. Aus Versuchen mit Kurztönen verschiedener Dauer ergaben sich experimentelle Werte für den Zusammenhang zwischen empfundener Lautstärke und Tondauer, die roh angenähert einen exponentiellen Verlauf mit langsamer Annäherung an den Dauerwert bei einer Anstiegszeitkonstante von etwa 15 bis 30 msec aufweisen. Sehr kurz dauernde Vorgänge (Knalle, Knacke) können wegen ihres Überraschungseffektes sehr unangenehm sein, lassen aber ebenfalls den Höchstwert der Lautstärkeempfindung, der bei längerer Dauer oder bei häufiger Wiederholung erreicht würde, nicht entstehen. Diese Trägheitserscheinung des Ohres wird in Meßgeräten nachgebildet, indem man dem Anzeigeelement für direkte Wertablesung oder dem Schreibgerät für die Aufzeichnung der Lautstärkewerte eine trägheitsbedingte Anschlagzeit von ca. $\frac{1}{4}$ Sekunde zubilligt; eine kürzere Einschwingzeit wäre dem subjektiven Eindruck besser angepaßt, erfordert aber mehr gerätetechnischen Aufwand, ebenso wie eine in der Norm nicht vorgesehene Spitzenwertanzeige hinter einem Effektivwertgleichrichter und einem Zeitkonstantenglied in der Anzeigeeinrichtung, die ja eine vereinfachte Nachbildung des statistisch gemittelten Normalohres darstellen soll.

Verwickelte weiterhin bestehende Zusammenhänge im Wirkungsmechanismus des Ohres sind in reicher Zahl vorhanden, im Hinblick auf die praktische Berücksichtigung aber gegenüber dem bisher Besprochenen von untergeordneter Bedeutung und werden daher hier nicht näher erörtert.

(Fortsetzung folgt)

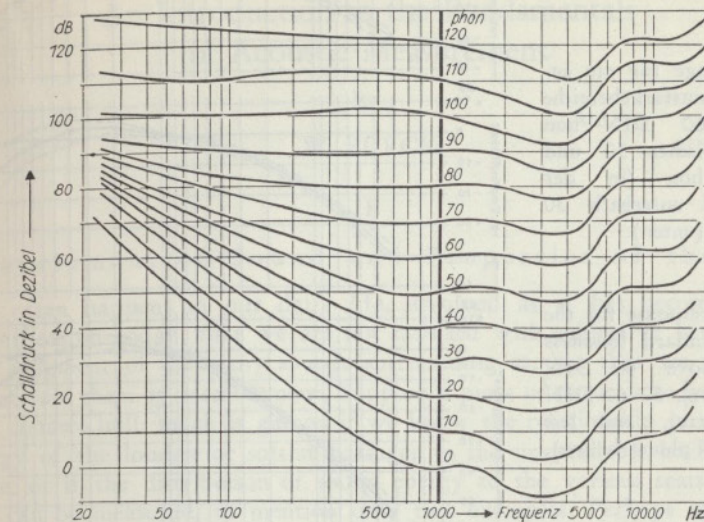


Abb. 1 Die Kurven gleicher Lautstärke für reine Töne.

Fig. 1 Curves of constant loudness for pure tones.

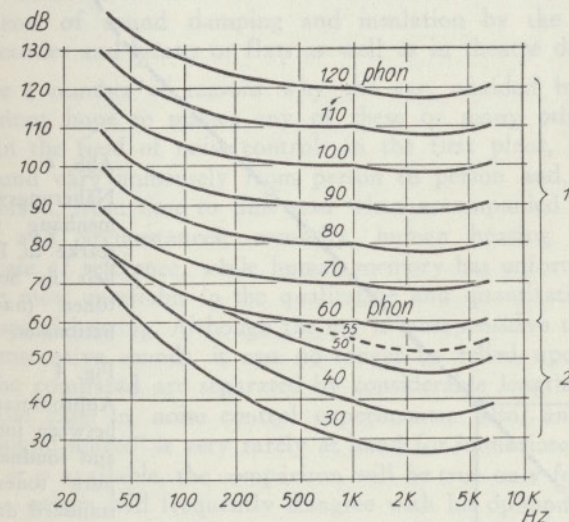


Abb. 2 Kurven gleicher Lautstärke, die sich aus den schematisierten und angenäherten Bewertungskurven nach DIN 5045 ergeben. Die Kurven 40 bis 60 Phon überschneiden sich zum Teil.

Fig. 2 Curves of constant loudness, simplified as in the curves of the German Standard DIN 5045.

Abb. 3

Frequenzgänge für die genormten Lautstärkebereiche oberhalb 60 DIN-Phon (oben), zwischen 30 und 60 DIN-Phon (in der Mitte) und unterhalb 30 DIN-Phon (unten).

Fig. 3

Frequency response for the German standard loudness ranges: above 60 DIN phons (above), 30-60 DIN phons (centre), and less than 30 DIN phons (below).

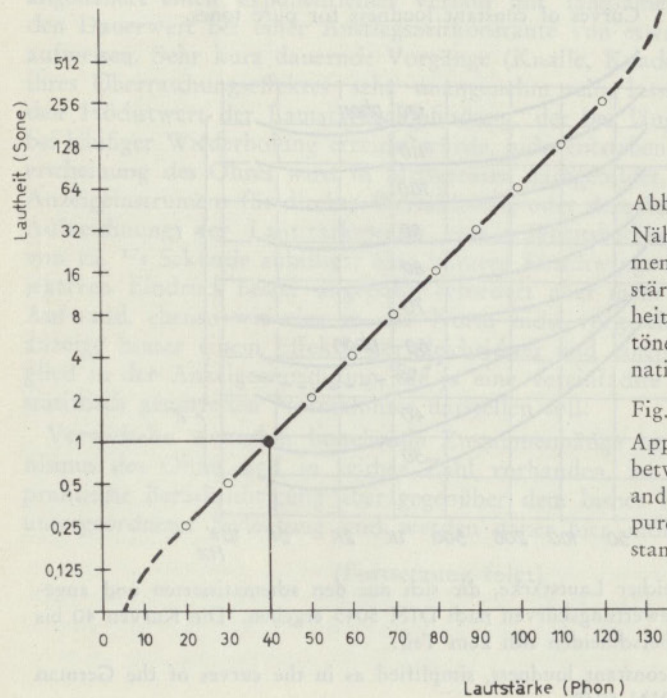
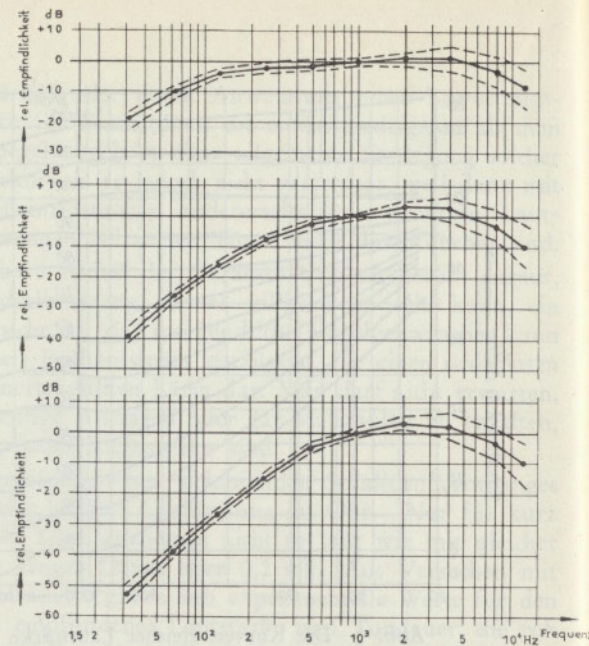


Abb. 4

Näherungsweise Zusammenhang zwischen Lautstärke in Phon und Lautheit in Sone bei Einzeltönen (nach dem internationalen Vorschlag).

Fig. 4

Approximate relationship between intensity in phons and loudness in sones for pure tones (international standard draft).

An Introduction to the Fundamentals of Acoustic Measurement

by

W. BÜRCK

I

Measurement of Sound and Properties of the Ear

It often happens in our daily life, involved as it has become with technification today, that we are not satisfied with subjective perception and judgment of the many sounds surrounding us, but that we wish to objectivate them by measurement. Suppose a piece of music is to be played in a concert hall: much is gained if we know the relationship in acoustic energy of the loudest or softest passages to the unavoidable background noise, or if the distribution of sound energy to the various seats in the hall can be measured, to mention only two examples. Perhaps again we wish to analyse the sound of musical instruments or compare a number of halls as to their acoustics in general, that is, their ability to transmit a relatively undistorted sound. A modern architect must concern himself with problems of sound damping and insulation by the walls when building factories and houses or flats as well as in theatre design.

There are a number of reasons why the ear, unaided by measuring devices, cannot hope to master any of these or many other problems especially in the field of noise control: in the first place, the opinions about a sound vary immensely from person to person and, in one and the same person, from time to time and when accompanied by different phenomena and circumstances; secondly, human hearing possesses no objective scale of reference, while human memory has unfortunately been found to be most unreliable in the qualitative and quantitative judgment of impressions of hearing. Although the ear is most sensitive to differences between consecutive sounds, it can no longer be relied upon when the sounds to be compared are separated by considerable lengths of time, as is always the case in noise control experiments; also, an appropriate "standard sound source" is very rarely at hand for immediate comparison, but even if it is available, the comparison will be true only for the person making it — others will frequently disagree with his opinion. No general quantitative statement on sound can therefore be made without recourse to scale-and-pointer measuring instruments fulfilling a number of conditions, e. g. they must always show the same result for the same sound, indicate it in easily memorized figures, and in the case of various kinds and

intensities of sound they must show values approaching the mean subjective evaluations of a large number of observers.

Before going into details in this regard, we must therefore know with sufficient accuracy how and to what kinds of sound our hearing reacts. Molecular motion of the gas mixture called air is the "sound" stimulating the ear as a perceptive organ. This motion is usually brought about by motion of solid bodies taking the surrounding air along with them, e.g. sudden mechanical expansion compresses the adjacent layers of air, raising their density. This is accompanied by a rise in pressure, and the air seeks to regain its equilibrium in that the particles under this pressure flow into the adjacent layers which are still under normal pressure and density, so that the pressure rises here in its turn, and, restricted by the air's inertia, this pressure area keeps moving away from the body causing it just like a crawling caterpillar's bulge. In other words, radiation of sound energy takes place perpendicularly to a vibrating surface in the form of density or longitudinal waves whose speed of propagation is determined only by the mechanical constants (mass and elasticity) of the gas mixture air. Below an excessively high sound pressure, the sound's speed of propagation is independent of the momentary pressure causing it and is about 1130 feet per second at normal air pressure and temperature. This wave speed is by no means identical to the speed of flow of the air particles themselves: this depends on the pressure causing it but usually has a very low value of the order of some thousandths of an inch per second.

The sound intensity passing with the wave through a certain area can be calculated from the sound pressure and the particle velocity, just as voltage (or "electrical pressure") and current give the electrical power. But it is not this intensity, nor the speed of propagation of the wave or the particle velocity to which the ear reacts to any extent, but the sound pressure. Before it can be perceived as sound, this pressure must however fulfil certain conditions. The atmospheric pressure of about 15 pounds per square inch on the surface of our earth does not act as a stimulus on the hearing because it is constant. Gradual meteorological pressure changes are also inaudible. Differences of pressure at various places result in wind which can be heard only when forming rapid turbulences which result in very fast pressure changes or *vibrations* changing direction in tenths or thousandths of a second. Pressure alone then is not sufficient to cause a sensation of hearing, but the pressure must change back and forth with a *frequency* of at least 20 but not more than 20 000 complete cycles per second.

To be heard, these vibrations must not only be within a certain frequency range, the *audio frequency*, or *A. F. range*, but the pressure must be above a certain minimum value, the *hearing threshold*, in order to be audible.

We know that the molecules of all matter above absolute zero temperature (-273°C , or 459 degrees Fahrenheit below zero) are in constant vibration which increases with the temperature. This vibration can be seen as "Brownian movement" when extremely fine metal dust dispersed in a liquid is observed through a powerful microscope in side light. The molecules in the air are also in constant vibration, which cannot be heard because it is below the threshold of hearing.

The unit of atmospheric pressure is the *bar*, equal to 1 kilogramme per square centimetre or 14.7 pounds per square inch. The mean threshold of hearing for the middle A. F. range is, on the average, $2 \cdot 10^{-4}$ μbar , which has been agreed on by international standard as the threshold and reference value in all acoustic measurement. The μbar (microbar, also called dyne per square centimetre) is one millionth of a bar or 10^{-6} bar, and the thermal noise of the air molecules is of the order of only 10^{-5} μbar , well below the threshold of hearing, while the normal run of sounds in speech, music and noise have a sound pressure ranging between about 10^{-2} and 10^3 (i. e. $\frac{1}{100}$ to 1000) μbar . This extremely wide range of practical values

occurring in acoustic measurement, involving many powers of 10, is very cumbersome using an arithmetical scale of sound pressure in microbars. There is a very easy way out of the difficulty by using a logarithmic scale of values. We could, for example, start out from the mean threshold of hearing and call the value of $2 \cdot 10^{-4}$ μbars our reference point of 0 units, 10 times the reference value could be "1 unit", 100 times is "2 units" and so on to 10 million or 10^7 times the reference value (this would be $2 \cdot 10^3$ μbars) which would be quite simply "7 units". The scale indicated would be a logarithmic scale to base 10, and what has actually been agreed on as international standard is something very similar, except that the international standard logarithmic scale of sound pressure has a base of $\sqrt{10}$, with the same point of reference, namely $2 \cdot 10^{-4}$ μbar as 0 units, so that $\sqrt{10}$ times the reference value is "1 unit", 10 times is "2 units", and 10^7 times is 14 units. While this may appear strange at first sight, there is a very good reason for it, as the acoustic power varies as the square of the sound pressure (just as the electrical power in watts varies as the square of the voltage) and while the sound pressure rises by 1 unit (i. e. its absolute value multiplies by $\sqrt{10}$), the acoustic power multiplies by 10, but it also rises by 1 unit and has a logarithmic scale to base 10.

The logarithmic unit of sound pressure to base $\sqrt{10}$ is called the *bel*. The bel is too large a unit for practical use and was subdivided into 10 *decibels* (abbreviated dB), so that $2 \cdot 10^{-4}$ $\mu\text{bar} = 0$ dB, $2 \cdot 10^{-3}$ $\mu\text{bar} = 20$ dB, $2 \cdot 10^{-2}$ $\mu\text{bar} = 40$ dB, 0.2 $\mu\text{bar} = 60$ dB, 2 $\mu\text{bar} = 80$ dB, 20 $\mu\text{bar} = 100$ dB, 200 $\mu\text{bar} = 120$ dB and 2000 $\mu\text{bar} = 140$ dB, which is about the highest value normally occurring in acoustics. Table 1 shows

the complete range of dB values and their equivalents in microbars of sound pressure, mathematically expressed in the equation

$$L = 10 \log \frac{p_x^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p_x}{p_0}$$

where L = sound level in dB,

p_x = corresponding sound pressure in μbar ,

p_0 = threshold level of $2 \cdot 10^{-4} \mu\text{bar}$.

We have now defined the two most important units of all acoustics, namely the *frequency* of the audible pressure vibrations in cycles per second (c/s or cps — for convenience, 1000 c/s are called 1 kilocycle or kc) and the *magnitude* or *amplitude* of these pressure vibrations in absolute physical values (μbar) or in dB values relative to threshold. These magnitudes can be objectively measured by appropriate instruments without recourse to the organs of hearing.

Table 1
Equivalent values

of absolute sound pressure in μbars and relative sound level in dB

μbar	= dB	μbar	= dB	μbar	= dB
$2.00 \cdot 10^{-4}$	0	$2.24 \cdot 10^{-3}$	21	2.24	81
$2.24 \cdot 10^{-4}$	1	.	.	.	.
$2.52 \cdot 10^{-4}$	2	.	.	.	.
$2.82 \cdot 10^{-4}$	3	$6.32 \cdot 10^{-3}$	30	6.32	90
$3.17 \cdot 10^{-4}$	4	.	.	.	.
$3.56 \cdot 10^{-4}$	5	.	.	.	.
$3.99 \cdot 10^{-4}$	6	$2.00 \cdot 10^{-2}$	40	$2.00 \cdot 10$	100
$4.48 \cdot 10^{-4}$	7	$2.24 \cdot 10^{-2}$	41	$2.24 \cdot 10$	101
$5.02 \cdot 10^{-4}$	8	.	.	.	.
$5.64 \cdot 10^{-4}$	9	.	.	.	.
$6.32 \cdot 10^{-4}$	10	$6.32 \cdot 10^{-2}$	50	$6.32 \cdot 10$	110
$7.10 \cdot 10^{-4}$	11	.	.	.	.
$7.96 \cdot 10^{-4}$	12	.	.	.	.
$8.93 \cdot 10^{-4}$	13	$2.00 \cdot 10^{-1}$	60	$2.00 \cdot 10^2$	120
$1.00 \cdot 10^{-3}$	14	$2.24 \cdot 10^{-1}$	61	$2.24 \cdot 10^2$	121
$1.13 \cdot 10^{-3}$	15	.	.	.	.
$1.26 \cdot 10^{-3}$	16	.	.	.	.
$1.42 \cdot 10^{-3}$	17	$6.32 \cdot 10^{-1}$	70	$6.32 \cdot 10^2$	130
$1.59 \cdot 10^{-3}$	18	.	.	.	.
$1.78 \cdot 10^{-3}$	19	.	.	.	.
$2.00 \cdot 10^{-3}$	20	2.00	80	$2.00 \cdot 10^3$	140

Now experiments have shown that our ears do not respond in a simple way to these units, and this must be considered, for the ears must be the

measure of acoustics, just as man is the measure of all things. Rising frequency is accompanied by a rise in pitch, to be sure, but one and the same sound pressure does not give the same impression of loudness at all frequencies — very high and very low sounds sound softer than those in the middle range, even though the sound pressure remains the same. Considering that if the frequency rises above or drops below the limits of hearing, no amount of sound pressure will result in any impression of loudness at all, it is not really surprising to find a gradual increase of loudness as we move in towards the middle from the limiting frequencies.

Looking at the same question the other way, we can say that in order to obtain a constant impression of loudness our ears require more sound pressure for low bass and high treble notes than for those of the middle range. The frequency of 1000 c/s is a very convenient middle range frequency and is gaining more and more international recognition as a standard frequency in acoustics; the relationship of sound pressure to loudness at 1000 c/s can be used as a reference in drawing experimental "constant loudness curves" (fig. 1) which show the sound pressure as rising towards the low and the high ends. These curves have been drawn so as to be 10 dB of sound pressure apart at 1000 c/s; the unit of loudness is the *phon* and is equal to the dB value of sound pressure at 1000 c/s. The constant loudness curve of 60 phons, for example, passes through the point "60 dB at 1000 c/s" and shows the sound pressure necessary to give the same impression of loudness at frequencies other than 1000 c/s. It represents the statistical mean of measurements on a large number of test subjects.

Although all these curves rise towards both ends, the "loud" curves (high dB or phon values) are flatter than the "soft" curves. It is possible to simplify their shape as in fig. 2 in order to build a similar "response" into objective measuring instruments without too much trouble, and for the same reason the curves have been grouped, in Germany, into a mean shape for 0 to 30 phons, another for 30 to 60 phons and a third for levels above 60 phons by the German Standard DIN 5045. The U.S. Standard for schematised evaluation curves provides for loudness levels to suit each particular case, e.g. 55 or 85 phons. This difference makes it necessary to specify the type of measuring instrument used to obtain any particular result, or simply to specify the standard of loudness observed in measurement such as "DIN phons" (sometimes also called "weighted dB").

The constant loudness curves give the sound pressure necessary for constant loudness and are therefore the inverse to the ear's "frequency response" which would give the loudness perceived at constant sound pressure. Fig. 3 shows the frequency response of German standard loudness meters with the three ranges from 0 to 30, 30 to 60 and above 60 DIN phons, with their tolerances. It is useful to know

that curve 1 (above 60 DIN phons) lies entirely within the tolerances of U.S. Standard (Z of 24 March 1944) curve B, and the German curve 2 (30 to 60 DIN phons) within the tolerances of U.S. standard curve A. However, the U.S. standard does not prescribe the level with which each curve is to be used, the acoustician being free to choose the curve he thinks fit. It is also possible to choose between two values in the German standard when the level is close to 30 or 60 phons and it is not quite clear which of two curves is the more applicable. In this case the mean of the two curves can be chosen, provided reference is made, in the result, to the "interpolated loudness", defining the method of interpolation.

Now the loudness curves apply to pure tones, so that discrepancies are bound to arise when using complex sounds consisting of several, or many, pure tone components. A *pure tone* is a sound which is heard when the air pressure changes evenly (i. e. in the form of a sine wave, like a pendulum) from the positive (pressure) to the negative extreme (slight vacuum) and back again, without any sudden changes. Any irregularities in the curve can be interpreted mathematically according to Fourier's theorem as a number of simultaneously occurring sine waves. The sounds of music and speech are in general periodically recurring waves which are not too complicated; non-periodic or extremely complicated waves with dense distribution of frequency components are called *noise*.

By Fourier's theorem, complex wave forms can be *analysed* into their component sine waves. A very sudden and brief *clap* or *bang* has a sound spectrum containing about all audible frequencies at equal sound pressure amplitude. There is also a continuous noise which has the same spectrum: this is called *white noise*, because it contains, analogous to white light, all the frequencies of the spectrum; white noise, which has recently been gaining great importance in acoustic measurement, can be regarded as the exact opposite to pure tones. If white noise is *filtered* so as to suppress all frequencies except those contained in a relatively narrow band, we are left with *coloured noise* — it is coloured by the tone in the middle of its band. If coloured noise is used instead of pure tones to obtain constant loudness curves, using either a 1000 c/s pure tone or a similar band of coloured noise centred about 1000 c/s as a reference, the curves will fall continuously while the frequency rises up to at least 8000 c/s whereas the pure tone constant loudness curves begin their upward turn much earlier; this is because noises sound louder than pure tones in this range. Therefore, loudness measurement of noises requires a loudness meter having a different response to that applicable to pure tones. A number of simultaneous tones, such as a chord in music, also sounds louder than a single tone, but the increase of subjective loudness depends here on the relative objective intensity of the tones to each other, on their absolute and relative pitches and on other quantities which make calculation of such a case a very compli-

cated matter. For example, a chord of very closely spaced tones gives rise to *masking effects* making such sounds sound softer than a widely spaced chord. The foregoing will make the limitations of standard loudness measurement clear: its value for measuring the loudness of sounds other than pure tones is only relative, and even then only if the type of sound measured does not change.

A further disadvantage of the normal phon or dB scale is that it does not correspond to loudness as actually experienced by a person, even for one and the same type of sound or for pure tones of various pressure levels. In support of the logarithmic dB or phon scale, apart from its convenience, is the well known theorem of *Weber* and *Fechner* which states that perception on the part of the senses is quite generally proportional to the logarithm of the physical stimulus. Although this theorem found widespread application in much published work, the advent of more exact measuring equipment proved it to be untenable experimentally. As an example, let us take a 1000 c/s tone of say 80 dB (and therefore 80 phons) level and a second tone of twice the sound pressure, which will, by definition, have a level of 86 dB or phons. According to Weber and Fechner,

the second tone should sound $\frac{86 - 80}{80} = 7.5\%$ louder than the first,

while a large number of comparison tests showed the actual increase in subjective level to be rather of the order of 50 to 60%. To avoid discrepancies such as this, the logarithmic scale of phons was given a new linear scale which not only corresponds closely to the relative levels actually experienced but allows of easy mathematical conversion to the old phon scale. The new unit is called the *sone* and its equivalents in phons are shown in Table 2. It will be observed that the value of

Table 2

Phons	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Sones									
20	0.250	0.268	0.287	0.308	0.330	0.354	0.379	0.406	0.435	0.467
30	0.500	0.536	0.574	0.616	0.660	0.707	0.758	0.812	0.871	0.933
40	1.00	1.07	1.15	1.23	1.32	1.41	1.52	1.62	1.74	1.87
50	2.00	2.14	2.30	2.46	2.64	2.83	3.03	3.25	3.48	3.73
60	4.00	4.29	4.59	4.92	5.28	5.66	6.06	6.50	6.96	7.46
70	8.00	8.57	9.19	9.85	10.6	11.3	12.1	13.0	13.9	14.9
80	16.0	17.1	18.4	19.7	21.1	22.6	24.3	26.0	27.9	29.9
90	32.0	34.3	36.8	39.4	42.2	45.3	48.5	52.0	55.7	59.7
100	64.0	68.6	73.5	78.8	84.4	90.5	97.0	104	111	119
110	128	137	147	158	169	181	194	208	223	239
120	256					(363)				(479)

N. B. Only 2 figures are used in practice.

40 phons was given the arbitrary equivalent of 1 sone, for practical reasons, and an increase of 10 phons corresponds to a doubling of soness, so that

$$S = 2^{0.1 (P - 40)},$$

where S = level in soness,
 P = level in phons.

In the eastern countries, the *gro* is being used as the unit of loudness. It corresponds to the sone up to about 75 phons but grows more rapidly above that level.

Scientists hesitated for a long time before committing themselves to a unit of this nature, because the experimental results depend to such an extent on conditions other than the loudness itself, e. g. whether the reference tone is constantly increasing or decreasing in loudness, or whether the noise whose loudness is to be found has a wide or narrow bandwidth; the scatter in the results is of the order of several phons and a doubling or halving of the loudness gives a difference of anything between 7 and 14 phons. As the sounds met with in practice, especially in noise prevention, very rarely bear any resemblance to a tone of any sort — no to mention a pure tone — it is not possible to convert phons into soness just by using Table 2. A complicated method of turning the sound pressure of a noise into loudness cannot be avoided unfortunately: the whole A. F. range is divided into bands of a definite width and the results obtained in all the bands are combined using certain empirical correction factors obtained from many experiments which are still being continued. In some cases of noise prevention it is sufficient to divide the A. F. range into octave bands, i. e. the limiting frequencies always bear the ratio of 1:2, fixed by international standard agreement as 31.5 to 63 c/s, 63 to 125, to 250, to 500, to 1000, to 2000, to 4000, to 8000, and to 16 000 c/s. The phons measured in each of these 9 octaves are turned into soness by Table 2 and simply added together, and the result obtained from certain wide-band noises does in fact come very close to the loudness actually perceived, unless the low frequencies, which tend to be exaggerated by this method, predominate.

A better approximation to the loudness of a 1000 c/s tone is attained by a subdivision of the audio range into unequal bands (the *mel scale*) such as 30 to 750, to 1500, to 2500, to 3850, to 6200 and to 11 500 c/s as built into the *sone filter*. This subdivision has shown good results above 50 phons. For low intensities not influenced by masking within the ear, a subdivision by the ear's own "frequency groups" or "coupling widths" can be used, as shown in Table 3. This subdivision comes close to that of a thirds filter. At practical levels, however, masking within the ear makes the frequency groups tend to merge, and if this is mathematically

taken into consideration, the total result will have to be drastically reduced; this merging of the frequency groups leads back to the sone filter for levels above 50 phons.

For loudness measurement to be practically possible, the noise to be measured must remain constant at least for the $\frac{1}{2}$ to several minutes necessary for band-pass filter measurement, otherwise it must be recorded on a standard recording instrument, e. g. tape recorder, and a section of the recording is closed into a loop of tape giving a continuous noise for as long as desired.

The reason why this method, which is in reality just a rough frequency analysis, is so successful in establishing loudness values in close approximation

Table 3
The ear's frequency groups

Group No.	Pass band c/s	Bandwidth		
		c/s	ratio f_1/f_2	Nearest interval
1	0 — 100	100	— —	— —
2	100 — 200	100	2.000	Octave
3	200 — 300	100	1.500	Fifth
4	300 — 400	100	1.333	Fourth
5	400 — 510	110	1.275	Major 3rd = 1.25
6	510 — 630	120	1.235	
7	630 — 770	140	1.222	Minor 3rd = 1.2
8	770 — 920	150	1.195	
9	920 — 1 080	160	1.174	(Major 2nd = 1.125)
10	1 080 — 1 270	190	1.176	
11	1 270 — 1 480	210	1.165	
12	1 480 — 1 720	240	1.162	
13	1 720 — 2 000	280	1.163	
14	2 000 — 2 320	320	1.160	Minor third
15	2 320 — 2 700	380	1.164	
16	2 700 — 3 150	450	1.167	
17	3 150 — 3 700	550	1.174	
18	3 700 — 4 400	700	1.189	
19	4 400 — 5 300	900	1.204	Major third
20	5 300 — 6 400	1 100	1.207	
21	6 400 — 7 700	1 300	1.203	
22	7 700 — 9 500	1 800	1.234	
23	9 500 — 12 000	2 500	1.263	
24	12 000 — 15 500	3 500	1.291	

to those actually perceived is because of its similarity to the nervous mechanism of perception: partial tones lying far apart in pitch act on nerves and brain centres which are also far apart, so that the sum of the parts is perceived as the whole, while components which are close together (e. g. in the same pass band) are added by their effective, i. e. root mean

square values, giving a smaller result than the arithmetical sum, thus reproducing the partial masking occurring in the nervous stimulus.

Now an unwanted noise is not only judged by the physiological impression of loudness it causes but by each observer's individual attitude to it, which is also very much subject to change depending on many extraneous causes. This part of the question is characterised by the term "displeasure" associated with that of "noise" and can be only partly registered statistically and measured. This measurable part of the displeasure caused by a noise rests on the fact that a high percentage of high frequencies is in the long run very tiring. This can be explained physically by the fact that the unconscious directional effect of these high frequencies is exaggerated by their pronounced intensity and phase differences reaching a listener's two ears to such an extent as to coerce the attention of even an uninterested or hostile listener. Attempts were therefore made to exaggerate purposely the high frequencies of the constant loudness curves by the use of "curves of constant noise loudness" or of a DIN-phon curve (for pure tones) for a lower level than the one actually present, although standardisation of such "displeasure measurement of noise" does not seem justified at present.

That part of the displeasure caused by noises which cannot be measured can best be illustrated by an example how one and the same sound can be welcome under some circumstances and most undesirable under others: the song of the birds at dawn can enrapture the early riser after a good night's sleep, but heard after a sleepless night from the sick bed it can be unbearable.

A sound's dynamic evolution in time also affects the way it is registered by the ear: very short sounds softer than the same sound continued for more than 0.2 sec. An empirical relationship between duration and subjective level was established and came roughly to an exponential curve approaching the level of the constantly held tone and having an initial time constant of about 15 to 30 ms. Extremely short events such as claps or bangs can be unpleasant because of their surprise effect, but even then the subjective level due to them is less than that caused by the continuous sound or by frequent repetition. It is quite easy to imitate this inertia of the ear by giving the scale pointer or the automatic writing instrument a time constant of about $\frac{1}{4}$ sec; although a smaller time constant would be a better imitation of the ear, it would make the instrument too complicated, necessitating also peak value indication behind an r.m.s. rectifier not provided for by the standard and a time constant circuit in the meter, in order to imitate the statistical normal ear in simplified form.

Many more complicated properties of the ear have been defined and could be discussed in this regard, but they seem to have less practical importance than those mentioned already and can therefore be passed over.

(To be continued)



40 Jahre

DEUTSCHE KINOTECHNISCHE GESELLSCHAFT E.V.

BERLIN HAMBURG KÖLN MÜNCHEN

Berlin W 15 — Schaperstraße 15 — Telefon 91 53 78

Gemeinnütziger Zusammenschluß von Fachleuten und Vertretern der Wissenschaft auf dem Gebiet der Kinematographie, des Fernsehens und verwandter Techniken und Wissenschaften.

Förderung der Kinotechnik in Theorie, Praxis und Normung.
Herausgabe von Prüf- und Testfilmen.

Fachlicher Erfahrungsaustausch unter den Mitgliedern.
Bekanntgabe wissenschaftlicher Erkenntnisse.

Technical non-profit association of experts and scientists in the field of motion pictures, television and allied techniques and sciences.

Advancement of the theory and practice of motion picture engineering; standardization of equipment; maintenance of a high professional standing among its members;

development of test films;
dissemination of scientific knowledge by publication.

Rotierende Mehrfachköpfe

von

ANTON M. SPRINGER

(aus dem akustischen Laboratorium der Fa. Telefonbau und Normalzeit,
Frankfurt/Main)

Für die kontinuierliche Abtastung magnetisierbarer Tonträger sind Magnettonköpfe in Verwendung, die die magnetischen Felder des Tonträgers in elektrische Schwingungen (Hörköpfe) oder elektr. Schwingungen in magnetische Felder (Sprech- und Löschköpfe) umformen. Der Magnettonkopf dient also zur Aufzeichnung oder Abtastung magnetisierbarer Tonträger. Im allgemeinen werden feststehende Köpfe verwendet, im Gegensatz dazu werden in den folgenden Ausführungen bewegliche Köpfe beschrieben:

Für besondere Zwecke (Zeitdehner, Zeitraffer) ist es erforderlich, bei konstanter Relativgeschwindigkeit zwischen dem Tonträger und dem Magnettonkopf Modulationsabschnitte des Tonträgers mehrfach abzutasten oder Modulationsabschnitte des Tonträgers zu überspringen. Es sind ferner Magnettonköpfe mit mehreren Köpfen im Umfang eines Zylinders bekannt, die zur Abtastung oder Aufzeichnung von zeitmultiplex-übertragenen Nachrichten verwendet werden (Fig. 1): hier werden Modulationsabschnitte mit beispielsweise zehnfacher Geschwindigkeit abgetastet; während der übrigen 90 % der Zeit bleibt der Kanal für andere Aufgaben frei. Weiter werden für die Abtastung einer Tonspur, bei welcher lediglich die Tonlage, nicht aber die Wiedergabedauer verändert wird, ebenfalls zylindrische Abtastköpfe verwendet, wobei die Relativgeschwindigkeit zwischen Tonträger und Kopf verändert wird.

Derartige drehbare Magnettonköpfe wurden bereits während des Krieges verwendet*. Mit der Entwicklung des akustischen Tempo- und Tonlagenreglers wurden auch die Abtastköpfe weiter entwickelt. Das Konstruktionsprinzip ist unterschiedlich, weil die Merkmale des Kopfes vom Verwendungszweck abhängig sind. In erster Linie hängt die Größe des Vierfachkopfes von der Aufnahmegeschwindigkeit ab, in zweiter Linie von der Länge der Modulationsabschnitte, welche beim Raffen oder Dehnen einer Schallaufnahme wiederholt bzw. herausgeschnitten werden. Diese Abschnitte, die in der Größenordnung von 30 bis 40 ms liegen, müssen auf jeden Fall kürzer sein als der kürzeste Ton in der Musik, um nicht zwei Laute oder Töne gleichzeitig zu wiederholen. Sie müssen aber auch so lang wie möglich sein, da die Überspringungen oder Wiederholungen bei steigender Häufigkeit allmählich hörbar werden. Daher ist bei einer gegebenen Aufnahme-

* DRP 721 198.

geschwindigkeit der Abstand zwischen zwei benachbarten Tonköpfen oder, richtiger gesagt, Abtastspalten festgelegt.

Für eine Aufnahmegeschwindigkeit von 76 cm/s und für die Länge eines Modulationsabschnittes von etwa 40 ms beträgt dieser Spaltabstand 31,4 mm. Bei einem Zylinder mit 4 Köpfen im Umfang ergibt sich daraus ein Durchmesser von 40 mm. Nachstehende Tabelle zeigt für verschiedene Tonträgergeschwindigkeiten die Durchmesser der Zylinder bei je 4 Köpfchen im Umfang:

Aufnahmegeschwindigkeit	Durchmesser des Zylinders
76 cm/s	40 mm
38 cm/s	20 mm
19 cm/s	10 mm
9,5 cm/s	5 mm
4,75 cm/s	2,5 mm

Während sich 4 Einzelköpfe im Umfang eines Zylinders mit 40 mm $\varnothing$ für eine Aufnahmegeschwindigkeit von 76 cm/s noch ohne weiteres unterbringen lassen, steigen mit verminderter Aufnahmegeschwindigkeit die Schwierigkeiten bei der Herstellung. In Fig. 2 ist ein Vierfachkopf mit 40 mm $\varnothing$ in Plexiglas-Ausführung dargestellt. Die 4 einzelnen Köpfe sind so zusammengesetzt, daß homogene magnetische Felder keine Spannungen induzieren bzw. deren Spannungen sich beim Zusammenschalten vollkommen aufheben. Der einzelne Kopf besteht aus 2 bewickelten Schenkeln (Fig. 3). Die Impedanz eines Einzelköpfchens beträgt 300 mH, so daß 4 parallel geschaltete Köpfchen 75 mH haben. Die Spaltbreite beträgt 16 μ . Die 4 einzelnen Köpfe sind aus einer größeren Stückzahl derart ausgewählt, daß keine größeren Empfindlichkeitsabweichungen auftreten. Die Abweichungen betragen max. 1 dB bei 1000 Hz und 2 dB bei 10 000 Hz. Bei der Herstellung der Köpfe ist größte Aufmerksamkeit auf die Justierung der Magnettonspalte zu legen. Der Frequenzgang eines solchen Vierfachkopfes ist in Fig. 4 dargestellt; man erkennt daraus, daß bei der Abtastung tiefer Frequenzen mehrere Spalte beteiligt sind, deren Frequenzgänge sich gegenseitig überlagern.

Mit der Normierung der Magnetton-Aufnahmegeschwindigkeit beim Rundfunk auf 38 cm/s ergab sich die Aufgabe, einen Vierfachkopf von nur 20 mm $\varnothing$ zu entwickeln, die eine neue Konstruktion ergab. Sie brachte eine bedeutende Vereinfachung in der Fertigung. Der neue Vierfachkopf besteht aus nur 3 Einzelteilen, von welchen zwei identisch sind. In Fig. 5 sind die Einzelteile dargestellt; a. zeigt den bewickelten Spulenkörper, b. den Spulenkörper mit den beiden polschuhtragenden Teilen für Halbspur und c. wie b. aber für Vollspur.

Der radialgeschlitzte Spulenkörper besteht ebenso wie die beiden polschuhtragenden Teile, die die Wicklung mit dem Spulenkörper umschließen, aus einem hochpermeablen Material. Die Spaltbreite beträgt $8\ \mu$. Die Empfindlichkeitsschwankungen liegen bei $\pm 0,5\ \text{dB}$ bei $1000\ \text{Hz}$ und $\pm 1\ \text{dB}$ bei $10\ \text{kHz}$. Nach dem Zusammenbau und dem Einlöten der Spaltzwischenlage beträgt die Impedanz ca. $75\ \text{mH}$. Auch in diesem Fall konnten wir bei Betrachtung des Frequenzganges zunächst feststellen, daß sich dieser aus der Abtastung von mehreren Spalten zusammensetzt. Durch eine einfache, im folgenden Absatz beschriebene Maßnahme am fertigen Magnettonkopf konnten die unerwünschten Pseudospalte für alle Zeiten beseitigt werden.

Denken wir uns den Umfang eines solchen Vierfachkopfes in die Ebene abgewickelt, dann erhalten wir 3 verschiedene Abtastspalte, und zwar den Nutzspalt σ , und die beiden Pseudospalte σ_v und σ_n (Fig. 6). Durch eine einfache Rechnung läßt sich der Frequenzgang der Pseudospalte ermitteln. Durch Überlagerung der 3 Abtastvorgänge erhält man die in Fig. 7 dargestellten Frequenzkurven. Um nun einen Frequenzgang zu erhalten, der nicht durch Pseudospalte gestört ist, haben wir die den Spalt nicht bildende Seite der Polschuhe schräg abgeschnitten; dadurch fallen gleichzeitig die Spalte σ_v und σ_n weg und der Frequenzgang erleidet keine Einbrüche. Durch das nachträgliche Beschneiden dieser Polschuh-Kanten wird die Permeabilität an dieser Stelle absichtlich verschlechtert. Zum Unterschied zu anderen Verfahren zur Vermeidung von Pseudospalten bleibt der Effekt nach dem obengenannten Verfahren auch nach Abnutzung des Kopfes unverändert (siehe Fig. 8b). Im übrigen beträgt die Lebensdauer der Vierfachköpfe die vierfache Zeit eines normalen Kopfes, da ja stets max. $1/4$ des Umfanges des Zylinders vom Tonträger berührt wird. Die Empfindlichkeit eines Vierfachkopfes gegenüber der eines normalen Vollspurkopfes setzt sich zusammen aus: $3\ \text{dB}$ Dämpfung für die halbe Tonspur-Breite und weiteren $6\ \text{dB}$ für das Zusammenschalten von 4 Abtastspalten. Es liegt also der Pegel im Mittel um $10\ \text{dB}$ unter dem des Vollspurkopfes.

In diesem Zusammenhang muß erwähnt werden, daß 4 Köpfe wohl die optimale Anzahl für Mehrfachköpfe darstellen. Der Umschlingungswinkel des Tonträgers muß stets den Winkel zweier benachbarter Spalte umfassen. Würde man 2 Köpfe verwenden, müßte der Umschlingungswinkel 180° sein. Der Tonträger würde einen beachtlichen seitlichen Zug auf die Hörfopfelle ausüben. Die Reibung und damit die Abnutzung würde dadurch zunehmen. Die Pegeldämpfung würde in diesem Fall jedoch nur $6\ \text{dB}$ betragen. Bei 6 Köpfen am Umfang würde zwar der Umschlingungswinkel kleiner als 60° werden, jedoch würde der Empfindlichkeitsverlust etwa $12\ \text{dB}$ betragen. Gleichzeitig würden die Schwierigkeiten, die Empfindlichkeitsunterschiede der einzelnen Köpfe so gering wie möglich zu halten, steigen.

Für Schallaufnahmen mit $19\ \text{cm/s}$ muß nach dem Vorhergegangenen der

Durchmesser des Vierfachkopfes $10\ \text{mm}$ betragen. Nach der gleichen Konstruktion der Köpfe mit $20\ \text{mm}$ $\varnothing$ ist auch dieser Kopf gebaut und in Fig. 8a dargestellt. Damit sind wir aber am Ende der Durchmesser, denn bei noch kleineren Geschwindigkeiten läßt sich die Konstruktion allein schon wegen der Befestigungsvorrichtung nicht mehr anwenden. Daher sind für noch geringere Geschwindigkeiten, für die die meisten käuflichen Tonbandgeräte gebaut sind, also für etwa $9,5$ oder $4,75\ \text{cm/sek.}$, völlig geänderte Konstruktionen verwendet worden.

In Fig. 9 ist ein Vierfach-Magnettonkopf von nur $2\ \text{mm}$ $\varnothing$ abgebildet; man sieht auch die beiden Polschuhteile auseinandergenommen (ihre Schenkel sind länger als die des Zusammenbaus). Ein Zündholz dient als Vergleich. Die beiden Polschuhe sind im feststehenden magnetisierbaren Joch drehbar gelagert. Die Spalte betragen $3\ \mu$, die Empfindlichkeit gegenüber dem Vollspurkopf $-10\ \text{dB}$. Die Spaltlänge entspricht der halben Tonspurbreite von $2,8\ \text{mm}$. Diese neuesten Köpfe haben eine ganze Reihe von Vorteilen:

1. Die Wicklung rotiert nicht mehr mit, so daß sich Schleifringe zur Abnahme der induzierten Spannung erübrigen.
2. Die Polschuhe selbst sind auswechselbar.
3. Die Tonspurlage kann beliebig geändert werden, indem die Polschuhe in der Welle verschoben werden.
4. Jede beliebige Impedanz läßt sich auf dem feststehenden Joch unterbringen.

Die Konstruktion der Köpfe für 19 und $38\ \text{cm/sek.}$ Aufnahmegeschwindigkeit gestattet, auch mehrspurige Köpfe herzustellen, da die Breite des Magnettonkopfes der Länge des Abtastspaltes entspricht. Rechts in Fig. 10 ist ein Stereo-Vierfachkopf dargestellt. Man erkennt auf der Unterseite die 4 Schleifringe zur Abgabe der beiden Tonspur-Spannungen. Es lassen sich also ohne weiteres Stereoköpfe darstellen, deren Übersprechdämpfung bei $27\ \text{dB}$ liegt. In diesem Fall sind auf der Unterseite des Vierfachkopfes 4 Silberschleifringe konzentrisch angebracht, während für normale Köpfe 2 Schleifringe genügen. Eine weitere Ausführung eines Mehrfachkopfes ist in Fig. 10 links dargestellt: es ist ein Vierspur-Vierfachkopf für $25\ \text{mm}$ breites Magnettonband. Dieser Kopf besitzt somit 16 Köpfchen auf seiner Oberfläche und an der Unter- und Oberseite je 4 Schleifringe. Der Frequenzgang ist zwischen $20\ \text{Hz}$ und $14\ \text{kHz}$ geradlinig, die Übersprechdämpfung größer als $43\ \text{dB}$ im ungünstigsten Bereich (bei $300\ \text{Hz}$). Sie beträgt bei $1000\ \text{Hz}$ $49\ \text{dB}$ bei Kanal 1 auf dem daneben liegenden Kanal, bei Kanal 1 auf dem übernächsten Kanal beträgt die Übersprechdämpfung $55\ \text{dB}$. Dieser Kopf dient für einen Temporegler, welcher beispielsweise 4 Sprachen gleichzeitig dehnen oder raffen kann. Eine weitere Ausführungsart ist in Fig. 8d gezeigt. Es ist ein $20\ \text{mm}$ -Vierfachkopf mit der Tonspur unten, ebenso ein $20\ \text{mm}$ -Kopf mit Volltonspur (Fig. 8c).

Sämtliche dieser besprochenen Köpfe eignen sich nur zur *Abtastung* von Magnettonspuren. Natürlich ist mit stillstehendem Kopf auch eine Aufzeichnung möglich, sollte aber *während der Aufnahme* eine zeitliche Dehnung oder Raffung erfolgen, dann sind weitere Maßnahmen notwendig. Es muß dann dafür Sorge getragen werden, daß bei der Drehung des Vierfachkopfes keine Modulationslücken auf dem Magnettonband entstehen, wenn sich der Kopf in Richtung der Tonträgerbewegung dreht, und daß keine Doppelaufzeichnungen entstehen, wenn sich der Kopf gegen die Bewegungsrichtung des Tonträgers dreht. Diese Aufgabe läßt sich etwa dadurch lösen, daß mit der Größe der Raffung bzw. Dehnung der Umschlingungswinkel um den Vierfachkopf geändert wird. Er beträgt z. B. 180° für eine akustische „Zeitlupe“ von 2 : 1 und 45° für einen akustischen „Zeitraffer“ von 1 : 2.

Zusammenfassung

Es wurden verschiedene drehbare Magnetton-Mehrfachköpfe beschrieben. Je nach dem Verwendungszweck sind sie in der Konstruktion verschieden. Die Durchmesser der Vierfachköpfe liegen zwischen 40 und 2 Millimeter. Der Anwendungsbereich umfaßt den akustischen Tempo- und Tonlagenregler sowie Diktiergeräte und Nachrichtenübertragungsgeräte mit magnetischer Zwischenspeicherung.

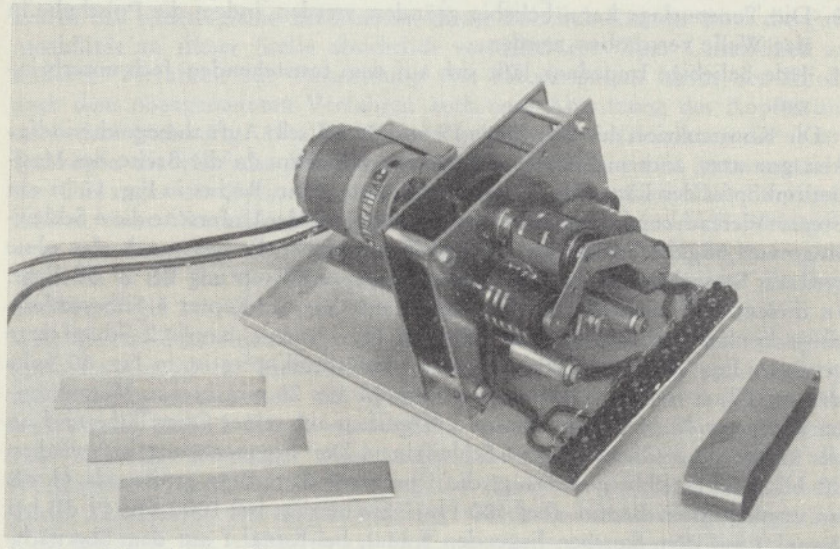


Fig. 1 Zeitmultiplex-Übertragungseinrichtung mit umlaufenden Magnettonköpfen und endloser Bandschleife (davor)

Fig. 1 Time multiplex transmission device with revolving magnetic heads, with the endless belt of magnetic tape in the foreground.

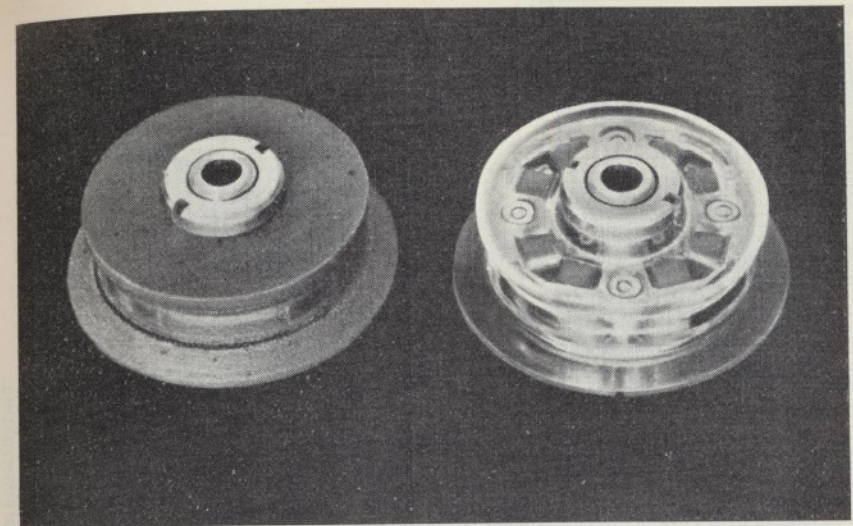


Fig. 2 Vierfach-Magnettonkopf 40 mm $\varnothing$ für 76 cm/s Aufnahmegeschwindigkeit in normaler und Plexiglasausführung

Fig. 2 Quadruple magnetic head of 40 mm diameter for 30 i. p. s. recording speed in normal finish and in transparent plastic.

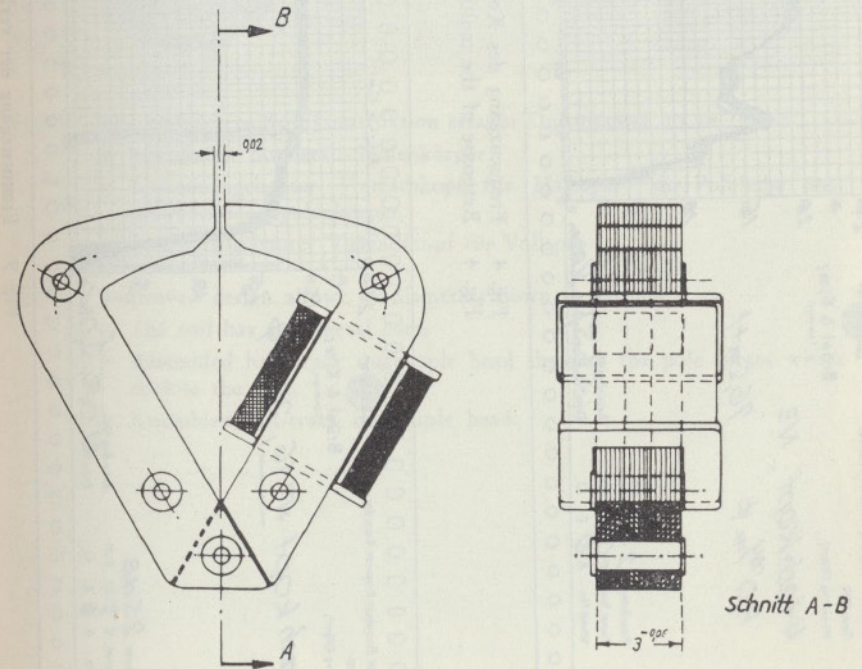


Fig. 3 Einzelköpfchen aus der Fig. 2.

Fig. 3 One of the individual heads of fig. 2.

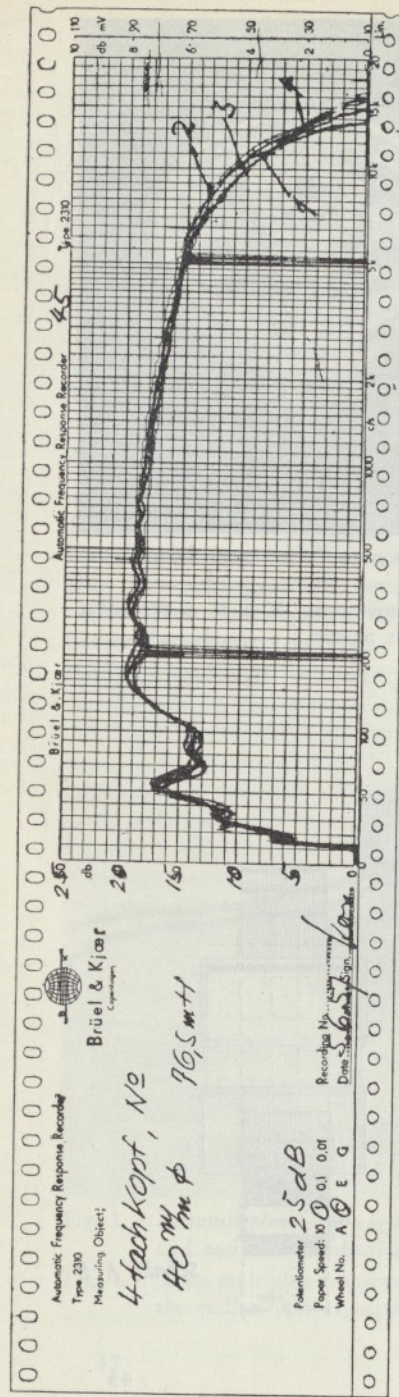


Fig. 4 Frequenzgang des Kopfes der Fig. 2.

Fig. 4 Response of the multiple head shown in fig. 2.

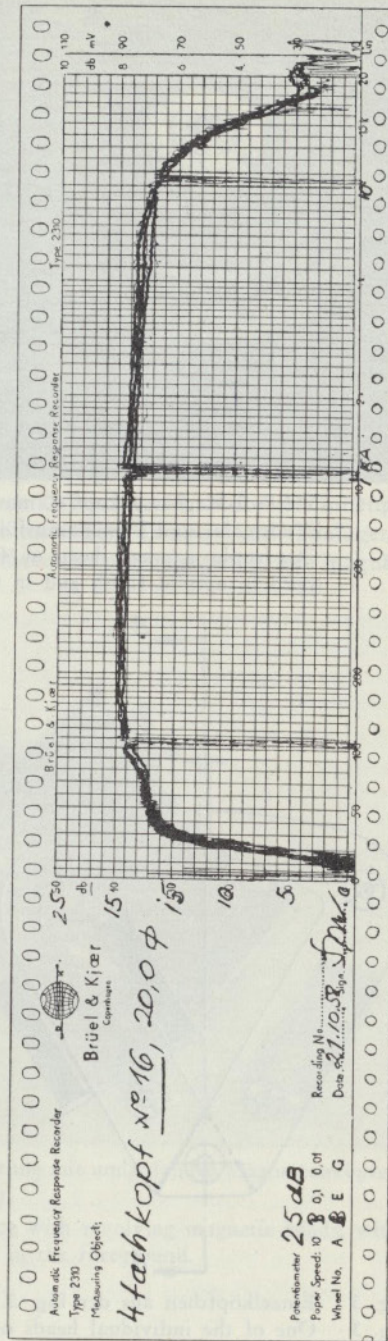


Fig. 7 Frequenzgang der verbesserten Kopfkonstruktion

Fig. 7 Frequency response of the improved design.

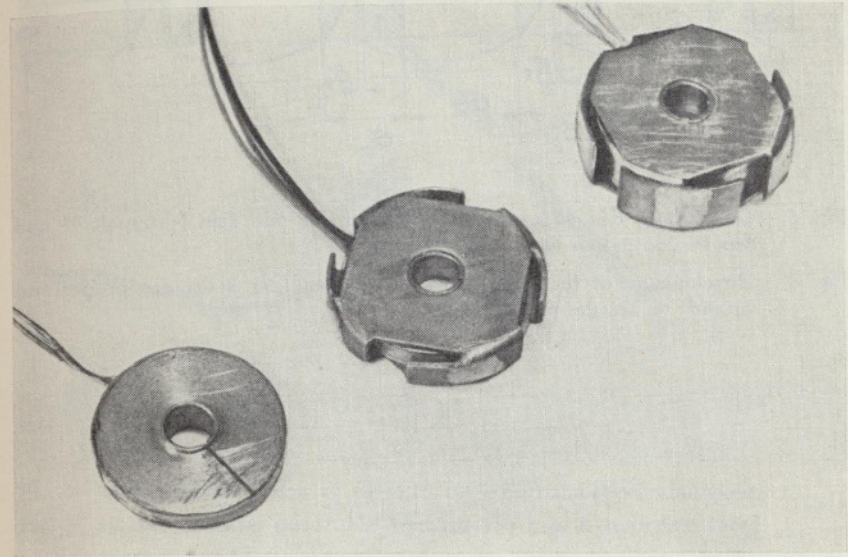


Fig. 5 Die verbesserte Kopfkonstruktion erlaubt Durchmesser bis zu 10 mm

- a. Bewickelter Mumetal-Spulenkörper
- b. Zusammengebauter Vierfachkopf für Halbspur: die Polbleche umschließen den Spulenkörper.
- c. Zusammengebauter Vierfachkopf für Vollspur

Fig. 5 Improved design allows of diameters down to 10 mm.

- a. The coil has a mumetal core.
- b. Assembled half-track quadruple head showing the pole pieces which enclose the coil.
- c. Assembled full-track quadruple head.

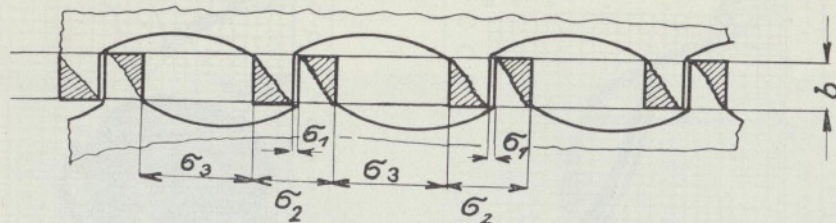


Fig. 6 Darstellung der abgewickelten Polschuhteile mit dem Nutspalt σ_1 und den Pseudospalten σ_2 und σ_3

Fig. 6 Development of the pole pieces into a plane: σ_1 is the gap proper and σ_2 and σ_3 are the pseudo-gaps.

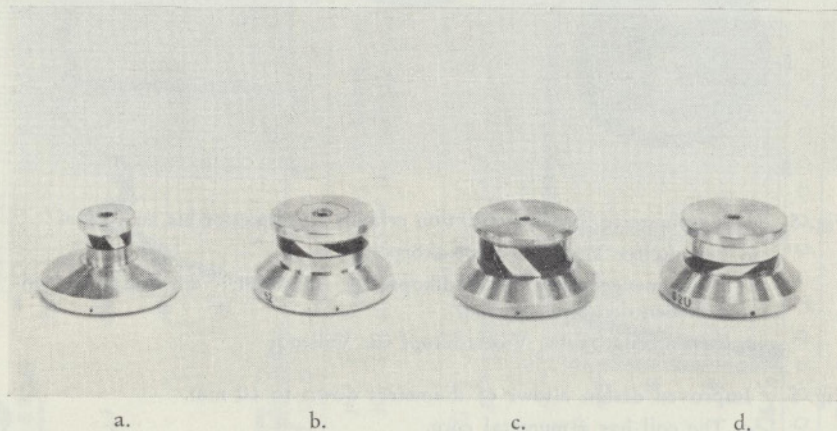


Fig. 8 Fertige Vierfachköpfe:

- a. 10 mm $\varnothing$ für 19 cm/s Aufnahmegeschwindigkeit
- b. 20 mm $\varnothing$ für 38 cm/s Aufnahmegeschwindigkeit (Halbspur)
- c. 20 mm $\varnothing$ für 38 cm/s Aufnahmegeschwindigkeit (Vollspur)
- d. 20 mm $\varnothing$ für 38 cm/s Aufnahmegeschwindigkeit (Tonspur unten)

Fig. 8 Finished quadruple heads:

- a. 10 mm diameter for $7\frac{1}{2}$ i. p. s. recording speed
- b. 20 mm diameter for 19 i. p. s. recording speed (half-track)
- c. 20 mm diameter for 19 i. p. s. recording speed (full track)
- d. 20 mm diameter for 19 i. p. s. recording speed (for bottom track operation)

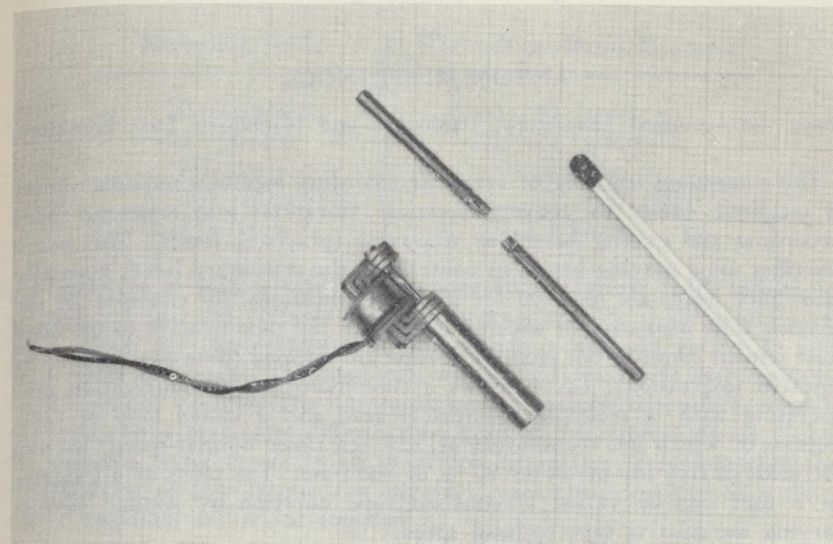


Fig. 9 Vierfachkopf 2 mm $\varnothing$ für 4,75 cm/s Aufnahmegeschwindigkeit.

Fig. 9 2 mm diameter quadruple head for $1\frac{7}{8}$ i. p. s. recording speed

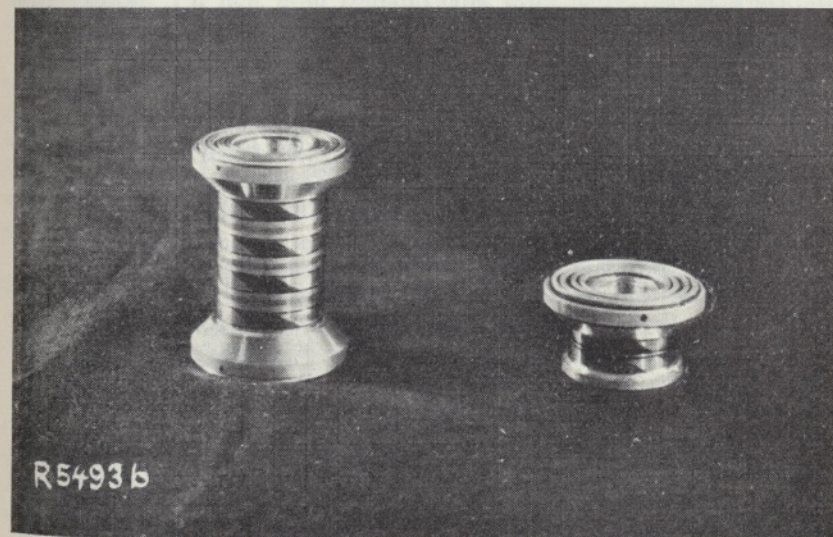


Fig. 10 Mehrspur-Vierfachköpfe.

Fig. 10 Multiple track quadruple heads.

Rotating Multiple Magnetic Heads

by

ANTON M. SPRINGER

(from the Acoustical Laboratory, Telefonbau und Normalzeit Ltd., Frankfurt)

The continuous tracking of magnetic recording mediums requires the use of magnetic heads to convert electrical vibrations into magnetic fields (recording and erasing heads) or vice-versa (playback heads). This paper describes some moving heads, in contrast to the stationary heads normally used. Such heads are required for special applications, for example for the acoustic time regulator, in which the speed of the tape relative to the head must remain constant but sections of tape are skipped (time contraction) or repeated (expansion); fig. 1 shows a time-multiplex communication unit operating with a multiple cylindrical head and a closed loop of tape, sections of which are transmitted at, say, ten times normal speed, leaving the channel free for the other 90 % of the time. The pitch of all signals on a tape can be varied at constant tape duration by similar devices varying the relative tape to head speed.

Such revolving heads were used already during the war (cf. German Patent DRP 721 198), but rapid development began with the invention of the Acoustic Speed and Pitch Regulator. The tape passes around a cylinder containing a number of heads in such a way that always one, but never more than one, head is in contact with the tape. Too few (e.g. two) heads would result in too great a side pull on the rotating cylindrical head, while too many heads, only one of which is in use at any time, result in poor efficiency, so that the optimum number of heads has been found to be four. Apart from that, the design depends on the application in each case. The head diameter depends on the tape section length to be skipped or repeated when contracting or expanding the time: this must be less than the shortest sound of speech or music so that there is no chance of skipping a whole sound or of repeating one sound on top of the next; on the other hand it must be as long as possible, so as to reduce the number of breaks to a minimum, for they become audible once their sequence reaches a certain frequency. This reasoning leads to a section length of 30 to 40 ms, giving a fixed diameter for a quadruple head for any recording speed (Table 1).

This difference in head size is too great to make repetition of the same design feasible for each case. While four individual heads can be built into a 40 mm head without difficulty, this is no longer possible with smaller diameters. Two such 40 mm heads are shown in fig. 2, one of normal construction and the other in transparent plastic. The individual heads

Table 1

Recording Speed	Cylindrical Head Diameter
30 i. p. s.	40 mm
15 i. p. s.	20 mm
7½ i. p. s.	10 mm
3¾ i. p. s.	5 mm
1⅞ i. p. s.	2.5 mm

are combined in such a way that homogeneous magnetic fields induce no voltage, i.e. that the voltages cancel each other out. Fig. 3 shows one such head, which has two windings. Its impedance is 300 mH, giving 75 mH for 4 heads in parallel. The head gap, which is adjusted with extreme care, has a width of 0.6 mils. The four heads are matched by selection as regards sensitivity to a maximum difference of 1 db at 1 kc and 2 db at 10 kc, the response being shown in fig. 4, which also makes it evident that the reproduction of low frequencies involves more than one gap at a time, whose responses are added together.

The introduction of a standard recording speed of 15 i.p.s. by the broadcasting companies brought the need for a 20 mm head. A new design had to be found, resulting not only in simplification but in considerable improvement. The new head contains only three parts, two of which are identical: *a* (fig. 3) shows the coil, enclosed by the two pole-face units in *b* (half track) and *c* (full track). High permeability alloy is used for the radially slotted coil unit and the pole face units. The gap has a width of 0.3 mils and level differences between the gaps are ± 0.5 db at 1 kc and ± 1 db at 10 kc; the impedance is about 75 mH for the assembled head with the gap spacer soldered in position. The response (fig. 7) is a notable improvement on the older construction, but is again a combination of several gaps.

The undesirable pseudo-gaps are eliminated by a very simple measure. Fig. 6 shows the cylindrical circumference of a quadruple head developed into a plane; every gap proper σ_1 is accompanied by the pseudo-gaps σ_2 and σ_3 . The pseudo-gaps' frequency response is easily calculated, giving, when superimposed on each other, the response shown in fig. 7. In order to obtain a response not marred by pseudo-gaps, the edges of the pole-faces away from the gaps are cut off obliquely, as shown by the hatched areas of fig. 6 and by the heads illustrated in fig. 8. No pseudo-gaps are formed by the oblique pole edges, and, in addition, the cutting process takes place after heat treatment, thereby intentionally reducing the permeability in the vicinity of the cut. Contrary to other measures against pseudo-gaps, this method is not affected by head wear.

In this regard it must be observed that a quadruple head has four times the life of a single head, as wear takes place only around one quarter of its circumference at any time. As for sensitivity, 6 db are lost by the connection of 4 heads in parallel, only one of which is in use at a time, and a further 3 db on half-track as compared to full-track operation, giving a level about 9 db below standard full track. The loss for a twin head would be only $3 + 3 = 6$ db, but the tape, in making a 180° angle in passing around the head, would exert too great a force on it from one side; a multiple head of 6 gaps would be enclosed through 60° only, but the loss would be $8 + 3 = 11$ db and the practical difficulties of matching the gaps would increase considerably, so that four can be regarded as the optimum number of gaps for a multiple head.

A 10 mm head for $7\frac{1}{2}$ i.p.s. recording speed was built to the same design and is shown in fig. 8a, but for still smaller tape speeds it was necessary to develop a new design again, as the design just described cannot be manufactured smaller than 10 mm, if only for the reason that the mounting would be unsatisfactory. Fig. 9 illustrates a quadruple head of 2 mm diameter for $1\frac{7}{8}$ i.p.s. recording speed. It differs radically from the foregoing designs in that the coil is stationary, the flux passing through the accurately ground bearing areas of the yoke to the rotating head, which consists of two parts, also shown separated to display the pole faces as well as the oblique cuts eliminating the pseudo-gaps. The gaps are 0.12 mils wide and cover the standard half track; the level is, as before, about 10 db below standard full track. This most recent head design has the following advantages:

1. as the winding is stationary, slip rings are obviated;
2. the pole faces are easily replaceable;
3. the track can be easily changed by sliding the pole pieces axially through the yoke bearing;
4. the stationary yoke can accommodate any desired impedance.

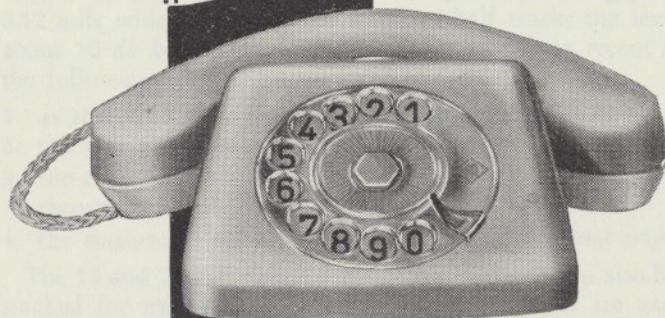
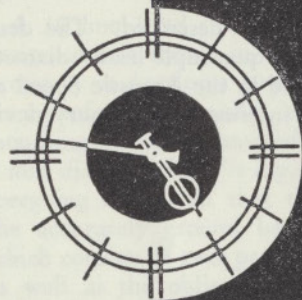
The 10 and 20 mm design for $7\frac{1}{2}$ and 15 i.p.s. can also be manufactured stacked for multiple track playback, as the heads are exactly the width of the track. A quadruple head for stereo is illustrated to the right in fig. 10, showing the four silver slip-rings for balanced connection to the two channels. Stereo heads with 27 db crosstalk are no problem. The other head shown in fig. 10 is a four-track quadruple head for one-inch tape: it has therefore 16 gaps and 4 slip-rings on top and 4 more underneath. The response is flat from 20 to 14 000 c/s and the minimum crosstalk (at 300 c/s) 43 db. Crosstalk at 1 kc is 49 db between adjacent channels and 55 db between non-adjacent channels. It is used in a speed regulator for simultaneous regulation of four languages for example.

All the heads described are normally used for playback only, although

there is no reason why recording should not be carried out while the head is stationary. However, if it is desired to regulate the speed during recording (instead of during playback), it will be necessary to change the angle by which the tape encloses the head to correspond to the degree of regulation, otherwise there will be gaps in the recording when the head is turning in the direction of tape movement or "double exposures" when the head is turning against the tape movement. For a "slow motion" recording in the *time* ratio of 2:1 of original, this tape angle around the head will have to be 180° , and for a time compression of 1:2 it will have to be 45° .

Summary

Various rotating multiple magnetic heads were described. The design differs in accordance with the application. The quadruple heads' diameters range from 40 to 2 millimetres. They are used in the Acoustic Speed and Pitch Regulator, dictating machines and for intermediate memory devices in communication systems.



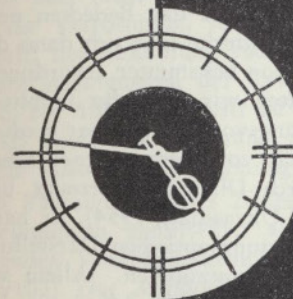
16 Verwaltungsbezirke mit Technischen Büros und Revisionsstellen in der Bundesrepublik und Niederlassungen in allen Ländern der Erde betreuen die ständig steigende Zahl unserer Kunden.

UNSER FERTIGUNGSPROGRAMM UMFASST:

Fernsprech-Anlagen
Elektrische Uhren
und Uhrenanlagen
Arbeitszeit-Registrierapparate
Feuermelde-Anlagen
Wächterkontroll-Anlagen
Polizei-Notruf-Anlagen
Sicherungs- und Alarm-Anlagen
Lichtruf-Anlagen
Fernwirk-Anlagen
Warenautomaten
Freistempler



TELEFONBAU UND NORMALZEIT · FRANKFURT/MAIN



Branches in all countries ensure a worldwide service for our constantly growing number of clients

OUR PRODUCTION PROGRAMME INCLUDES:

Telephone installations
Electric clocks
and clock systems
Registering clocks
Fire alarms
Watchman control systems
Burglar alarms
Emergency alarms
Paging systems
Remote control systems
Slot machines
and automatic shops
Postal stamping machines
Acoustic speed and pitch
regulator



TELEFONBAU UND NORMALZEIT · FRANKFURT/MAIN

Spannungsdoppelbrechung durch akustische Schwingungen

von

HANS JENNY

Unsere Versuche galten dem Problem, akustische Schwingungen komplizierter Gebilde sichtbar darzustellen. Die Methode, Partikel aufzustreuen und deren Bewegung, resp. Nichtbewegung, in der Schwingung zu zeigen, findet rasch ihre Grenze, wenn die Oberfläche des schwingenden Körpers nicht horizontal ist. Unverhältnismäßig weiter führt das Bedecken oder das Berieseln mit Flüssigkeit; in der Flüssigkeitsschicht läßt sich dann das Geschehen der Schwingungen als Wellenfelder von bestimmter Anordnung, als „Schwingungsbild“, beobachten. Doch wollten wir möglichst unmittelbar sozusagen im Material selber den Schwingungsvorgang sichtbar machen. Die spannungsoptische Methode schien uns dafür vor allem geeignet. Schon *Bergmann* hat Spannungsdoppelbrechung durch Ultraschall erzeugt und systematisch erforscht (*Ludwig Bergmann*, *Der Ultraschall*, 1954). Er hatte die Liebesswürdigkeit, uns einen Weg zur spannungsoptischen Darstellung auch akustischer Schwingungen eines Glasstabes mitzuteilen. Allein wir stellten uns die Frage, ob der Schwingungsvorgang nicht selber zur Erscheinung gebracht werden könnte?

Ein Material, das sich ganz besonders zu Untersuchungen der Spannungsdoppelbrechung eignet, ist das Gießharz Araldit¹ (siehe *R. V. Baud* und *H. H. Racké*, *Die elastischen und spannungsoptischen Eigenschaften von ARALDIT-Gießharz B bei 20° C und 150° C in Abhängigkeit von der Härtermenge*, 1955). Doch können natürlich nur verhältnismäßig spannungsfreie Materialien verwendet werden. Wir möchten an dieser Stelle der Kunststoffabteilung der Ciba herzlich danken für die stets hilfsbereite und verständnisvolle Bereitstellung ausgezeichneteter und in sorgfältigster Weise getemperter Araldit-Platten. Mit solchen ist das Arbeiten im Spannungsprüfer eine ungeheuer anregende Tätigkeit.² Bei dieser Gelegenheit

¹ ARALDIT(R) Gießharz B der CIBA Aktiengesellschaft Basel.

² Die Untersuchungsgebiete sind unabsehbar. An kunstvoll gegossenen Gebilden, die natürlich durchsichtig sind, lassen sich die vielfältigsten mechanischen Verhältnisse erforschen. Beispielsweise erhielt ich von der Ciba einen gegossenen Menschen Schädel, an dem sich die Spannungsvorgänge in der Schädelkapsel, an der Schädelbasis, im Gebiß bei Belastungen und bei Bewegungen optisch darstellen lassen. Biologisch und physiologisch ergeben sich ungeahnte Einblicke in die verschiedensten Gebiete. Für die chirurgische, orthopädische, zahnärztliche Forschung eröffnen sich praktische Aspekte (biomechanische Osteologie, Gelenkmechanik, Zahnformationen, dynamische Syndesmologie u. s. w.). Selbstverständlich handelt es sich dabei um Modellversuche, die aber eine große Näherung aufweisen.

kann erwähnt werden, daß sich in diesem Kunststoff auch thermische Effekte prächtig darstellen, und zwar nicht nur als Vorgänge der Wärme-konvektion, sondern es lassen sich durch Wärmeeinwirkung auf das Araldit-Material photoelastische Figuren erzeugen, die auf kristalloptische Verhältnisse hinweisen. Je nach dem Grade der Einwirkung verschwinden die Erscheinungen wieder oder sie prägen sich in das Material ein. Diesen Wärmeeinflüssen, die spannungsoptisch zutage treten, können die Wärmeeinflüsse an die Seite gestellt werden, welche etwa an einer schwingenden, mit Quarzsand bestreuten Metallplatte offenbar werden. Erwärmt man an gewissen Stellen während der Schwingung, so verschiebt sich die Chladnische Figur; aber nicht nur an der erwärmten Stelle und deren Umgebung zeigt sich die Verformung, sondern auffallend rasch verändert sich die ganze Gestalt. Bei Abkühlung rückt sie wieder in die frühere Lage zurück. Bei andern Bedingungen der Erwärmung kommt die Schwingung zum Stillstand; bei Abkühlung tritt sie wieder auf. Diese thermischen Einwirkungen, einmal photoelastisch, einmal akustisch dargestellt, sollen hier nur als vorläufige Mitteilung Erwähnung finden.

Im Verfolgen unseres Zieles, Spannungsdoppelbrechung durch akustische Schwingungen unmittelbar als Vorgang zu beobachten, gelangten wir zu folgender Versuchsanordnung. Wir benützten ein Stroboskop (Philips PR 9103). Das „stroboskopierte“ Licht polarisierten wir. Dieses „stroboskopierte“, polarisierte Licht ließen wir durch eine Araldit-Platte gehen, welche wir direkt durch eine Membran zur Schwingung anregten. Das „stroboskopierte“, polarisierte Licht, welches die schwingende Platte passiert hatte, betrachteten wir durch den Analysator; was uns auf diese Weise erschien, war der spannungsoptische Effekt der akustischen Schwingung, als *rhythmisches Bewegungsspiel Hell-Dunkel*, oder mit einem entsprechenden Filter als Farbenwechselwirkung. Solchermaßen konnten wir Platten bis zur Größe von 450 mm × 450 mm, und 2 mm Dicke zur Schwingung anstoßen und photoelastisch beobachten. Durch stärkeren Impuls oder durch Benützung größerer Membranen oder durch Anwendung von zwei Membranen wird der Effekt natürlich manifester. (Die Möglichkeit, photoelastische Vorgänge im Licht zu erkennen, das unter sonst gleichen Versuchsbedingungen von der schwingenden Platte reflektiert wird, soll erwähnt werden.)

Da geringfügige Erschütterungen oder Vibrationen des Materiales, besonders größerer Platten, ebenfalls spannungsoptisch in Erscheinung treten, ist es notwendig, Täuschungen auszuschließen. Die Frequenz der impulsierten Schwingung ist bekannt, ebenso die Einstellung des Stroboskopes. Der Rhythmus der schwingenden, anregenden Membran ist durch den stroboskopischen Effekt direkt sichtbar, und ebenso die periodische Bewegung des schwingenden Materials. In demselben Rhythmus, in dem also das System jederzeit kontrollierbar sich bewegt, erscheinen die Hell-Dunkel-Wirkungen oder die Farbumschläge. Im nicht-stroboskopierten, polarisierten

Licht ist selbstverständlich kein Schwingungseffekt bemerkbar; hingegen würden dann allfällige andere Vorgänge, die zu Spannungsdoppelbrechung führen, festgestellt werden können. Man kann also direkt und indirekt sicher feststellen, daß man akustische Schwingungen durch Spannungsdoppelbrechung sieht.

Die Versuche können infolge der Natur von Araldit nach Form und Dimension vielfältig variiert werden. Besonders das Gießharz B, verarbeitet mit Härter 901, getempert, ergibt deutliche Resultate. Trotzdem das Stroboskop P R 9103 nur bis 240 Hz eingerichtet ist, lassen sich leicht wesentlich höhere stroboskopische Effekte beobachten, wenn die Frequenz der Schwingung ein Vielfaches der Blitzfrequenz beträgt.

Durch Ausbau und Modifikation dieser Versuche sollen in der Weiterarbeit durchscheinende und durchsichtige, komplizierte, akustisch schwingende Gebilde (etwa Glocken, Geigen, mannigfaltige Klanggehäuse u. a.) spannungsoptisch betrachtet werden, um ihre realen Schwingungsmöglichkeiten zu erkennen und zu ergründen.

In Memoriam Ludwig Bergmann

Double Refraction Caused by Strain of Acoustic Vibration

by

HANS JENNY

Our experiments were concerned with the problem of obtaining visual representation of the acoustic vibration of complex bodies. The method of sprinkling the vibrating surface with solid particles to show their motion or otherwise caused by the vibration is no longer applicable to surfaces other than horizontal. Covering or sprinkling the surface with liquid is already a considerable advance; the liquid layer shows the vibrations as waves of a certain arrangement, as a "vibration pattern". However, our desire was to make the vibrations visible within the material itself. The method of strain optics appeared most suitable for this. Double refraction caused by ultrasonics has been observed and systematically examined by *Ludwig Bergmann* (Der Ultraschall, 1954), who was kind enough to indicate to us a way to strain optical representation of the acoustic vibrations of a glass rod. But we set ourselves the problem of making the vibration itself visible.

A material which particularly lends itself to strain optical experiments of double refraction is the cast resin Araldit¹ (see *R. V. Baud* and *H. H. Racké*, The elastic and strain optical properties of ARALDIT Cast resin B at 20°C and 150°C in relation to the amount of hardener, 1955). Of course we were able to use only relatively strain-free material. We wish to express here our gratitude to the plastics department of the Ciba Company for their always helpful and understanding cooperation in providing excellent and most carefully tempered Araldit plates, strain test work with which was a most stimulating activity.² In this regard it is worth mentioning that this plastic is also suitable for beautiful illustration of thermal effects, not only in the form of convection, but the heating of Araldit causes photoelastic figures indicating conditions as in crystal optics. These effects disappear again or remain fixed in the material, depending on the amount of heat applied. These thermal effects shown by strain optics are related to those shown for example by a vibrating metal plate strewn with quartz sand: the heating of such a plate at certain points makes the Chladni pattern change not only at the heating points but very rapidly throughout the pattern, which returns to its original form on cooling. Other forms of heating make the pattern stop moving, while it revives on cooling. These thermal effects, shown both photoelastically and acoustically, are given only provisional mention here, pending further work.

During the course of our work on direct observation of double refraction under strain of acoustic vibration, the following arrangement of equipment evolved: the light of a stroboscope (Philips P R 9103) was polarised, passed through an Araldit plate set into vibration by direct coupling to a diaphragm, and finally observed through the analyser, to show the strain optical effect of the acoustic vibration as a *rhythmically moving light and dark pattern*, or, using a suitable filter, as a pattern of changing colours. Plates up to 18 inches square and 2 mm thick were examined; the effect shows to better effect of course the larger the plates or vibrations are, or through the use of two diaphragms. (The possibility should be mentioned

¹ ARALDIT(R) Cast resin B (CIBA Ltd., Basel).

² There is no knowing the possible extent of the research. The most diverse mechanical relationships can be examined in skilfully carried-out transparent casts. To mention an example, the Ciba Company provided me with the cast of a human skull which gave excellent optical illustration of passing stresses in the forehead, the base of the skull and the jaw under loads and under motion. From the biological and physiological points of view, undreamed-of glimpses into a host of problems can be gained, while practical aspects are opened in surgery, orthopaedics and dentistry (biomechanical osteology, the mechanics of joints, tooth formations, dynamic syndesmolgy, etc.). Although we are always dealing with model tests, their approximation to reality is very close indeed.

of observing vibrations under similar conditions but by light *reflected* by the plate.)

Slight shocks to or stray vibrations of the material — especially of plates of larger dimensions — can lead to errors. The frequencies of the forced vibrations and of the stroboscope are known, so that the rhythm of the exciting diaphragm and the periodic motion of the vibrating material are made directly visible by the stroboscopic effect and the light and dark effects or colour changes follow the same known rhythm. Constant polarised light does not of course make the vibrations visible, although leading to observation of other effects causing strain optical double refraction, so that it can be ascertained both directly and indirectly whether it is actually the acoustic vibrations which are being made visible by strain optical double refraction.

Many variations of the experiments are possible, for Araldit is not limited to any particular shape or dimensions. Very good results can be obtained with the casting resin B together with hardener 901, tempered. Although the P R 9103 stroboscope only goes to 240 c/s, much higher frequencies can be observed by employing multiples of the stroboscope frequency.

Work is continuing on extending and modifying the experimental conditions towards the strain optical observation of vibrations in translucent or transparent, complicated shapes, e. g. bells, violins and many other types of sound boxes and resonators, with the final aim of discovering the mechanisms and ultimate possibilities of their vibration.

Elektronisches Musikstudio Electronic Music Studio

OSKAR SALA

Mixtur-Trautonium: Composition — Interpretation

Magnetofon-Studiotchnik	Professional Tape Recording
Nachhallgeräte	Reverberation Units
Perfobandtechnik	Perforated Tape Work
Filmfon- und -bildbearbeitungs- geräte	Film and sound track editing machines
Mischfertige Herstellung von elektronischen Film- und Fernsehmusiken	Film and TV music ready for mixing
Geräuschsynthesen elektronisch und konkret	Electronic and concrete noise syntheses
Überspielungen fertiger Ton- bänder mit elektronischen Klangeffekten	Electronic sound effects dubbed onto finished tapes
Kontinuierlich variable Band- geschwindigkeiten zwischen 4 und 100 cm/s	Tape speed continuously variable from 1 ⁵ / ₈ to 25 i.p.s.

Im Hause **NEUE MARS-FILM** House

Charlottenburger Chaussee 51—55

BERLIN-SPANDAU

Erhaltung und Lagerung von Schallaufnahmen *

von

A. G. PICKETT und M. M. LEMCOE

IV

MAGNETTONBAND

A. Überblick über die Experimentalarbeit

Bald nach dem Ende des zweiten Weltkrieges wurde das Magnettonband in den USA zuerst verwendet. 1950 hatte es schon eine so hohe Qualität erreicht, daß es die Azetatplatte für Sofortaufnahmen nahezu ersetzte und sich jetzt sogar im Bereich der Kunststoffplatte für Vervielfältigungsaufnahmen behauptet.

Die von uns geleistete Arbeit wiederholt größtenteils die schon von anderen gemachten Untersuchungen, und zwar:

1. Untersuchungen der Formstabilität des Trägermaterials unter dem Einfluß von:
 - a. Veränderungen der Wickelspannung,
 - b. Veränderungen der Feuchtigkeit,
 - c. Veränderungen der Temperatur,
 - d. Spulenkonstruktion und schlechtem Spulen,
 - e. Veränderungen der Trägermaterialdicke;
2. Untersuchungen der Stabilität des Schichtmaterials unter dem Einfluß von:
 - a. Wickelspannung,
 - b. Trägermaterial,
 - c. Temperatur,
 - d. Feuchtigkeit;
3. Untersuchungen der Veränderungen der Magnetisierung unter dem Einfluß von:
 - a. Temperatur,
 - b. Wechselstromfeldern,
 - c. Zeit,
 - d. Gleichstromfeldern.

* Library of Congress, Washington, 1959

An diesen Untersuchungen ist vor uns schon viele Jahre gearbeitet worden, so daß wir uns auf die Bestätigung der Resultate oder Vereinigung von Diskrepanzen beschränken konnten.

Die untersuchten Bänder waren fabrikneue Muster aller der verschiedenen Bänder, die die vier Haupthersteller in den USA zur Zeit auf den Markt bringen, sowie einige ältere Muster. Die Library of Congress machte Frequenzbänder (Vollspur, 38 cm/s, —12 dB auf 600 Ohm) von 25, 50, 100, 200, 400, 1000, 2500, 5000, 10 000, 12 000, 15 000 Hz und Tonimpulsbänder („tone bursts“, — 4 dB auf 600 Ohm) von 400, 1000, 5000, 10 000 Hz. Leerbänder wurden auch geprüft.

Die Apparatur bestand aus: Studiobandgerät, Frequenzmesser, Röhrenvoltmeter, Oszilloskop, veränderbarem Bandfilter, Lautsprecher. In einer Feuchtigkeitskammer und in einem Ofen mit geregelter Feuchtigkeit wurden die Bänder den folgenden Prüfungen unterzogen:

1. 1000 Stunden bei 65° C, trocken,
2. 20 Perioden von 12 Stunden bei 65°, trocken, und 12 Stunden bei 25° und 50 % Feuchtigkeit,
3. 10 Perioden von 24 Stunden bei 38° und 100 % und 24 Stunden bei 25° und 50 %,
4. Wechselstromfelder bis zu 1 Monat.

Testbänder wurden bei Raumtemperatur gelagert (etwa 25°, 50 %). Unter den zu prüfenden Bändern waren solche mit verschiedenen Wickelspannungen, auch nicht gut gewickelte. Während den wechselnden Perioden wurden manche der Bänder bei jeder Periode umgespult. Die benutzten Spulen waren 13 cm Kunststoff, 18 cm Kunststoff und 25 cm Metall (NARTB). Längere Prüfzeiten und eine größere Vielfalt von Bedingungen wären zwar wünschenswert, aber im Rahmen dieser Untersuchung nicht realisierbar gewesen. Einige anfängliche Tests zeigten, daß noch schärfere Bedingungen unwirklichkeitsgemäß wären. Trotz der verhältnismäßigen Oberflächlichkeit dieser Untersuchung fanden meßbare Veränderungen statt, die im Zusammenhang mit der ausgiebigen Literatur (s. Verzeichnis, besonders die Arbeiten von Daniel und Axon, Latham, Radocy, Herr und von Behren, Westmijze, und die „Sound Talk Bulletins“, die die beschriebenen Phänomene durch empirische Kurven veranschaulichen) das im Folgenden Gesagte rechtfertigen.

B. Trägermaterial

Papier, Polyvinylchlorid, Zelluloseazetat und Mylar (Polyester) sind schon alle als Bandmaterial verwendet worden. Unsere Arbeit beschränkte sich auf die besseren Qualitäten von Zelluloseazetat- und Mylarbändern, weil sie in den USA die anderen Werkstoffe stark überwiegen. Das Trägermaterial muß unter den Beanspruchungen des Abspielens oder der Lagerung

und Alterung seine Form beibehalten. Es ist eigentlich überraschend, daß diese dünnen Bänder ihre Aufgabe so gut erfüllen, sind sie doch schließlich nur Thermoplastikstoffe unter äußerst starker Beanspruchung. Die Beanspruchungen der Lagerung sind die folgenden:

1. Die Wickelspannung verursacht einen hohen radialen Druck, der von außen nach innen wächst und Verformung in der Längsrichtung des Bandes verursacht. Jede Unebenheit in der Spule (z. B. Kernschlitze, Klebestellen oder schlechtes Wickeln) verursacht bleibende Deformationen, die die Wiedergabe beeinträchtigen.

2. Unterschiede der Eigenschaften des Träger- und des Schichtmaterials (z. B. Temperatur- oder Feuchtigkeitskoeffizienten oder Maßveränderungen bei der Alterung) können Querverformungen (Rollen) verursachen.

3. Verformende Kräfte können dadurch entstehen, daß die Ränder des Bandes der umgebenden Atmosphäre ausgesetzt sind, die Mitte hingegen davor geschützt bleibt. Bei plötzlichen Veränderungen der Atmosphäre wird sich das Band am Rande verändern wollen, in der Mitte aber nicht. Das Resultat ist Rollen oder eine Plisseeform am Rande.

Formveränderungen werden ferner verursacht durch:

1. das Nachlassen von molekularen Spannungen, die bei der Herstellung entstehen und unter dem Abschnitt über Kunststoffplatten schon besprochen wurden,

2. durch Alterung oder atmosphärische Veränderungen verursachte grobe Veränderungen der Wickelspannung,

3. das Nachlassen elastischer Spannungen.

Die Wichtigkeit dieser Formveränderungen beruht auf der Tatsache, daß die Wiedergabe von einem guten Kontakt zwischen Band und Hörfopf abhängt; außerdem muß der Hörfopfspalt dieselbe Stellung in Bezug auf das Band wie der Sprechkopfspalt haben. Veränderungen in dieser Hinsicht verursachen Amplitudenschwankungen, die nach den höheren Frequenzen hin ärger werden. Dieser Pegelverlust in Abhängigkeit des Bandkontaktes oder der Spalttrichtung ist schon eingehend untersucht worden (s. Daniel, Axon und Frost, Westmijze, 3M Sound Talk Bulletins No. 6 und 27) und wurde von uns nicht gemessen. Ein Beispiel genügt, um die Wichtigkeit dieser Parameter hervorzuheben: bei einem Halbspursignal von 7500 Hz bei 19 cm/s genügt ein Kopf-zu-Band-Abstand von $2,5 \mu$ oder eine Spaltneigung von $1/3^\circ$, um einen 6 dB-Pegelverlust zu verursachen (s. Fig. 21).

In Bezug auf die Formstabilität ist Mylar besser als Zelluloseazetat und dicke Bänder als dünne. Diese Stabilität wird ferner durch die Schicht beeinflusst. Die Eigenschaften der Azetat- und Mylarbänder werden in Tabelle 6 aufgezeigt (nach Angaben der Hersteller: 3M und Du Pont).

Tabelle 6

	6 mm Azetat- Band	6 mm Mylar- Band	Mylar- film
Thermale Längenausdehnung/ $^\circ\text{C}$	$5,4 \cdot 10^{-5}$	$3,6 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$
Feuchtigkeits-Längenausdehnung/ $^\circ\text{C}$	$15,0 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$
Kriechverformung nach 3 Std. Zugspannung 500 kg/cm ² und 3 Std. Ruhe	0,015	0,005	—

Diese zwei Bandmaterialien unterscheiden sich ferner dadurch, daß die vom Azetat aufgenommene Feuchtigkeit als zusätzlicher Weichmacher wirkt, der die Stoßfestigkeit (Brüchigkeit), den Elastizitätsmodul (Ausdehnung durch Belastung) und die Kriechverformung (zurückbleibende Ausdehnung nach Belastung) beeinflusst. Mylar nimmt weniger als 0,5 % seines Eigengewichts an Wasser auf, wird daher durch die ambiente Feuchtigkeit nicht beeinflusst; sein Nachteil ist hingegen, daß es sich unter einer Stoßbelastung, die Azetat nur zerreißen würde, ausdehnt, erfordert also mehr Sorgfalt der Anwendung.

Aus diesen Eigenschaften des Bandmaterials kann man die folgenden Lagerungsbedingungen schließen:

1. die Verwendung von größtmöglichen, ungeschlitzten Metallkernen;
2. die Verwendung von nicht verbogenen Kassettenflanschen*;
3. beim Wickeln soll nicht die Spannung, sondern der Drehmoment konstant sein, mit der kleinstmöglichen Anfangsspannung, mit der sich ein gut gewickeltes Band noch erzielen läßt. Konstante Spannung führt nicht nur zu einem höheren Radialdruck, sondern auch dazu, daß die schon gewickelten Bandschichten aufeinander rutschen und die Spannung ungleichmäßig verteilt wird;
4. die größte Sorgfalt zur Erzielung eines gut gewickelten Bandes;
5. die Vermeidung von atmosphärischen Veränderungen.

Da ein Azetatband sehr lange braucht, um mit einer größeren Feuchtigkeitsänderung in Gleichgewicht zu kommen, ist diese letzte Bestimmung für diese Bänder besonders wichtig. Wir empfehlen daher Klimatisierung der Abspiel- und Verpackungsräume bei 20° und 50 %. Von außen ankommende Bänder sollen im Verpackungsraum umgespult werden auf einer Umspulungsmaschine mit einer Höchstgeschwindigkeit von 76 cm/s und konstantem Drehmoment, der am Kern einer 25 cm NARTB-Kassette eine

* In Deutschland, wo die Verwendung von ungeflanschten Wickelkernen die Regel ist, wird diese Bestimmung wohl entfallen (Anm. d. Übersetzers).

Spannung von 80 ... 140 g in einem 0,04 mm dicken 6 mm-Band erzeugt. Azetatbänder, die ungünstigen Verhältnissen ausgesetzt waren, sollen sechs Wochen ausgepackt im Verpackungsraum bleiben und dann umgespult werden. Dann soll die Spulung überprüft werden und das Band in einer Metalldose oder einer zusammengesetzten Schachtel (ähnlich der im Kapitel „Schallplatten“ in Fig. 19 empfohlenen) gut verschlossen verpackt werden. Die Bänder sollen aufrecht aufbewahrt werden, damit sich die Kassettenflanschen unter der Belastung der anderen Bänder nicht verbiegen.

Zelluloseazetat wird schon seit langem verwendet (z. B. als Sicherheits-Kinefilm) und seine guten Lagerungseigenschaften sind bekannt. Mylar gibt es erst seit kurzem, doch hat es eine theoretisch längere Lebenserwartung, hauptsächlich weil es keine Weichmacher oder andere Fremdstoffe enthält.

C. Binder

Der die Schicht zusammenhaltende Binder ist der empfindlichste Teil des Bandes in Bezug auf Alterung. Er ist gleichzeitig die unbekannteste Größe, denn die Bandschichten sind sorgfältig gehütete Geschäftsgeheimnisse. Frühe Bänder (vor 1950) versagten durch Alterung manchmal schon nach fünf Jahren, denn der chemische oder physikalische Zerfall des Binders führte zu Schichtenlockerung oder klebte das gewickelte Band zusammen. Der Binder hat eine Anzahl schwerer Aufgaben zu erfüllen. Bei der Herstellung muß er das Eisenoxyd sehr vollkommen verteilen können und eine außerordentlich gleichmäßige Schicht nach Verflüchtigung des Lösemittels hinterlassen, ohne daß dieses das Trägermaterial angreift. Das fertige Erzeugnis muß eine glatte, harte Oberfläche haben, die durch das Abspielen nicht abgerieben wird und die bei dem hohen Druck des gespannten Spulens sich nicht am benachbarten Band festklebt. Der Binder muß so fest auf dem Träger sitzen und das Eisenoxyd so festhalten, daß er allen diesen Beanspruchungen ohne Kratzen, Abschälen oder Abblättern standhält. Auch nach dem Verlust von zurückgebliebenem Lösemittel, möglicherweise auch von Weichmacher, sowie nach einem gewissen Grad chemischen Zerfalls muß er seine guten Eigenschaften beibehalten.

Zellulosenitrat wurde anfangs benützt. Es klebt sehr gut, altert sehr schlecht. Heute werden wahrscheinlich chlorhaltige Vinylstoffe verwendet. Diese Kunstharze kleben nur bedingt auf Zelluloseazetat, doch kann dieser Nachteil aufgehoben werden durch Grundierung mit Polyvinylbutyral (hydroxylhaltig), durch ein das Trägermaterial angreifendes Lösemittel oder durch geregelten Oxydationsverfall des Trägermaterials. Diese Harze altern ganz gut, aber die katalytische Wirkung des Eisens auf ihren Wärmezefall und ihre Veränderungen bei Weichmacherverlust machen ihre Lebenserwartung fragwürdig. Ein innerlich weichgemachtes Acrylharz wird unseres

Wissens auch verwendet. Seine Lebenserwartung ist theoretisch länger, obwohl es darüber keine Daten gibt.

Weitere filmformende Stoffe sind ohne Zweifel untersucht worden und vielleicht auch in Umlauf. Z. B. versprechen die Epoxyharze viel. Leider können diese so wichtigen Stoffe mit der verfügbaren Information nicht wirklich abgeschätzt werden, während die Chemiker der Bandindustrie, die eine solche Abschätzung am besten machen könnten, ihr Wissen nicht veröffentlichen können, da es einen großen Aktivposten der Firmen darstellt. Die Kunst der Herstellung und des Gebrauchs der synthetischen Harzfilme entwickelt sich noch sehr schnell und man kann auf diesem Gebiet sehr viele Verbesserungen erwarten. Es wäre schön, wenn die verschiedenen Hersteller in Bezug auf diesen Bandbestandteil zusammenarbeiten könnten, um einen Binder mit wirklich langer Lebenserwartung zu entwickeln, bei dem Eigenschaften wie der Preis, der in der Konkurrenz eine so wichtige Rolle spielt, vernachlässigt werden könnten. Doch ist es noch lange nicht wahrscheinlich, daß eine solche Zusammenarbeit stattfinden könnte.

Eine sehr wichtige Frage in Bezug auf den Binder ist seine Haftfähigkeit auf dem Trägermaterial. Wegen des chemischen Unterschiedes ist es schwerer, zwischen den meisten Filmen und Mylar gutes Haften zu erzielen, als zwischen diesen Filmen und Zelluloseazetat. Die neuen Bänder halten ihre Schichten gut fest, doch haben wir weniger Erfahrung, wie Mylar altert, als bei Zelluloseazetat. Die bisher unbeantwortete Frage kommt auf: ist die Wahrscheinlichkeit der Schichtenlockerung der Mylarbänder groß genug, um die Vorteile dieser Bänder über Zelluloseazetat zu überwiegen?

Weil diese Filme durch Lösemittelverflüchtigung entstehen und zurückbleibendes Lösemittel ihre Eigenschaften beeinflusst, ist es gut, neue Bänder sechs Monate liegenzulassen, bevor man sie nochmals untersucht und sie für wichtige Aufnahmen zur langen Lagerung verwendet. Im Rahmen unserer Arbeit konnten wir durch diese Maßnahme eine Anzahl zufälliger Bandfehler (Schichtenlockerung oder Schichtenhaftung auf der aufliegenden Bandrückseite), die die neuen Bänder nicht hatten, entdecken, obwohl sie während dieser ganzen Zeit bei etwa 20° und 50% in der Originalverpackung gelagert wurden. Die wahrscheinliche Ursache war die Verflüchtigung des zurückgebliebenen Lösemittels.

D. Eisenoxyd

Der einzige Zweck des Bandmaterials und des Binders ist, die Eisenoxydteilchen zusammenzuhalten. Durch sorgfältiges Dehydrieren und Reduzieren von $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ erhält man das schwarze Magnetit Fe_3O_4 , welches früher oft verwendet wurde und auch heute für hochempfindliche Bänder benutzt wird, obwohl die meisten heutigen Bänder das rotbraune γ -Eisenoxyd enthalten, welches man aus der Oxydation von Fe_3O_4 erhält. Das fertige Er-

zeugnis muß besonders sorgfältig gewaschen werden, um alle Spuren von Säure, die in der Herstellung verwendet wurde, zu entfernen — alle Säuren katalysieren den Zerfall der meisten Thermoplastikstoffe, aus denen die Bänder bestehen, und das vorzeitige Versagen vieler der älteren Bänder war sehr wahrscheinlich die Folge sauren Eisenoxys.

Magnetisches Pulver eignet sich besser für Tonträger als ein kontinuierliches magnetisches Material. Das erhellt aus der Theorie, nach der man das magnetische Material in Gebiete unterteilt, so daß die örtliche Magnetisierung innerhalb jedes Gebietes gesättigt ist (wenn man jedes Gebiet als einen Magneten betrachtet). Das resultierende magnetische Moment von einem Stück dieses Materials hängt von der Größe und Orientierung dieser Gebiete ab, wie Fig. 22 schematisch darstellt. Die Größe und Wechselwirkung dieser Gebiete üben einen großen Einfluß auf die Eigenschaften des magnetischen Materials aus. Dieser Parameter läßt sich am besten durch die Verwendung von Pulvern in der Hand halten und das beste Pulver besteht aus Teilchen, die klein genug sind, um als einzelne Gebiete zu wirken. Wird ein Teilchen dazu gezwungen, ein einziges Gebiet zu bleiben, so kann keine Veränderung der Magnetisierung durch Grenzenverschiebung, die normalerweise verhältnismäßig schwache Felder erfordert, stattfinden, sondern nur durch eine starke Felder benötigende Drehung der Gebiete. Die wichtigen Parameter solcher Pulver sind: die Größe, Form, Orientierung und Trennung der Teilchen, welche die Höhenwiedergabe, sowie die magnetischen Eigenschaften überhaupt, bestimmen.

Die Ergebnisse von Experimenten vieler Forscher (s. Westmijze, Daniel und Axon, Herr und von Behren, Latham, Sound Talk Bulletin No. 10, und Radocy), die untereinander größtenteils schon im Einklang sind, wurden von uns zum Teil nachgewiesen. Diese, sowie die Grundtheorie, bilden den Ausgang der folgenden Schlüsse, die sich auf die Signalveränderungen — Demagnetisierung und das Auftreten von Fremdmagnetisierung — während der langen Lagerung beziehen.

Demagnetisierung spielt eine sehr geringe Rolle. Sie tritt zwar auf, ist aber vorwiegend eine Erscheinung von einer Magnetisierung durch schwache Felder (Hochfrequenz). Bei einem sachgemäß aufgenommenen und gelagerten Band wird der Amplitudenschwund aus dieser Ursache nicht bemerkbar sein. Nach einer sehr langen Zeit kann sich der Geräuschabstand ein wenig verringern, doch ist der Geräuschabstand auf Band schon so befriedigend, daß auch diese Wirkung keine Rolle spielt (es handelt sich hierbei natürlich nur um Demagnetisierung durch Lagerung).

Solange keine großen Fremdfelder vorhanden sind, begrenzt sich das Auftreten von Fremdmagnetisierungen auf den Kopiereffekt, d. h. die Magnetisierung einer Spulenschicht durch das schon vorhandene Signal auf der benachbarten. Der Kopiereffekt beschränkt sich wahrscheinlich auf eine Magnetisierung durch die Verschiebung von Gebietsgrenzen, die bei relativ

schwachen Feldern auftritt und das Vorhandensein von mehr als einem Gebiet in dem Magneteilchen voraussetzt (s. o.). Die Gebietsgrenzen haben Vorzugsstellungen, die voneinander durch verschieden große Schranken getrennt sind. Die Grenzen erhalten vom Raster Energie, mittels welcher sie die Schranken überwinden können; das erreichte Gleichgewicht (Stellung der Kleinstenergie) hängt von der Größe der Schranke ab und von der Wahrscheinlichkeit, daß eine Grenze die zu ihrer Überwindung nötige Energie erhalten kann. Dieser Prozeß kann beschleunigt werden durch eine Erhöhung der Rasterenergie, durch eine Erhöhung der Temperatur, oder durch ein Wechselstromfeld, welches die Schrankengröße periodisch verändert. Das Feld der benachbarten Bandschichten erhöht die latente Energie der Grenzen und führt zu einer Neuverteilung der Grenzen, die das durchschnittliche magnetische Moment in Feldrichtung erhält. Wird das Feld entfernt, so fallen die Grenzen in die ursprüngliche bevorzugte Verteilung zurück.

Diese Theorie, auf Magnettonband angewandt, bedeutet, daß die Größe des Kopiereffekts von der Schrankengröße und der Grenzenenergie abhängt. Diese sind wiederum abhängig von:

1. der Temperatur,
2. der Stärke des Magnetfeldes des Primärbandes und seinem Abstand von den Teilchen der Kopie (somit wird der Kopiereffekt zu einer Funktion der Wellenlänge),
3. der Dauer der Berührung und der Dauer der Trennung,
4. fremden Wechselstromfeldern,
5. der Größe, Form und Orientierung der Magneteilchen.

Sie bedeutet außerdem, daß die Temperatur-, Zeit- und Intensitätsverhältnisse den Verteilungsgesetzen der Wahrscheinlichkeitstheorie folgen sollten.

Theorie und Experiment führen zu den folgenden praktischen Schlüssen:

1. Die Intensität der Kopie ist praktisch proportional der Intensität des Primärsignals. Um einen optimalen Geräuschabstand mit einem befriedigenden Kopierabstand zu vereinigen, sollte man eine Grenze von 2 % Klirrfaktor nicht überschreiten (normalerweise 4 dB unter dem Normalpegel). Noch niedrigere Pegel verringern den Geräuschabstand, ohne den Kopierabstand zu verbessern.
2. Der Kopierpegel in Dezibel steigt logarithmisch mit der Berührungszeit und fällt logarithmisch mit der Trennungszeit. Obwohl er zu keiner eigentlichen Grenze strebt, ist er eine asymptotische Funktion, die für die endliche Zeit von der Größenordnung der Bandlebenserwartung begrenzt ist. Diese Tatsache ermöglicht eine Voraussage des Kopierpegels aufgrund kurzzeitiger Tests. In der regelmäßigen Banduntersuchung sollte auch eine Messung des Kopierabstandes sein, damit man voraussagen kann, wann

der Kopierpegel eine gewisse erlaubte Grenze erreichen wird (s. Fig. 23 und 24).

3. Der Kopiereffekt ist eine Funktion der auf dem Band gemessenen Signalwellenlänge. Der maximale Kopiereffekt entsteht in der 0,25 ... 0,5 mm-Wellenlänge (entspricht etwa 1200 Hz bei 38 cm/s oder 600 Hz bei 19 cm/s). Es wird vorgeschlagen, daß jedes Band einen bei Vollpegel aufgenommenen Klangimpuls (tone burst) von dieser Wellenlänge zur Kopiereffektüberwachung enthält.

4. Der Kopiereffekt ist eine Funktion der umgebenden Temperatur, die also so niedrig sein muß, wie es sich mit den übrigen Lagerungsbedingungen noch vereinbaren läßt (s. Fig. 23).

5. Der Kopiereffekt wird durch Wechselstrom-Streifelder von ausreichender Intensität und Dauer während der Berührungszeit erhöht. Nach unserer Auffassung sind Feldstärken unter 10 Gauß unwirksam.

6. Der Kopierpegel ist eine Funktion der Band- und Schichtdicken. Das dickste noch praktische Band sollte verwendet werden.

7. Der Kopiereffekt ist eine Funktion der Gleichmäßigkeit, Größe, Form und Orientierung der Magneteilchen. In neuerer Zeit sind durch verbesserte Herstellung Schichten entstanden, die einen viel besseren Kopiereffekt aufzeigen als die früheren Bänder. Es gibt keine theoretische Grenze zu der in dieser Richtung möglichen Verbesserung der Bänder durch die Verbesserung der Magneteilchen und auf diesem Gebiet kann man noch viele Fortschritte erwarten, die sich gleichzeitig auf die Höhenwiedergabe günstig auswirken werden.

8. Durch Wechselstromfelder kann der Kopiereffekt herabgesetzt werden, wenn die kopierenden Stellen nicht in Berührung sind. Diese Art von selektivem Löschen wird allerdings den Pegel anderer Schwachfeldmagnetisierungen, z. B. hohe Töne, auch verringern. Selektives Löschen ist ein wertvolles Mittel zur Verbesserung von Bändern, die mit einem zu hohen Pegel aufgenommen wurden, oder die hohen Temperaturen oder Wechselstromfeldern ausgesetzt wurden, und ist besonders geeignet vor dem Überspielen. Allerdings darf es nicht wahllos oder unachtsam angewendet werden. Durchgeführt wird es am besten, indem man das Band mit Aufnahmegeschwindigkeit durch eine Spule führt, die den durch einen Potentiometer herabgesetzten Löschstrom einer Maschine trägt. Der relative Pegelverlust von Signal zu Kopiereffekt (Print Through) bei 1600 Hz und 38 cm/s als Funktion des 100 kHz-Löschstromes wird in Fig. 25 veranschaulicht. Daraus erhellt, daß das Signal weniger verliert als der Kopiereffekt und daß es einen optimalen Löschstrom für diese einzelne Frequenz gibt. Leider wird ein Hochtonsignal viel mehr gelöscht als das Testsignal, aber nach Westmijze kann das durch eine Änderung der Entzerrungskurve kompensiert werden, allerdings wieder auf Kosten eines Geräuschabstandsverlusts.

Das selektive Löschen ist eben, wie gesagt, ein sehr kritisches Verfahren, welches eine Bibliothek nur im Ausnahmefall anwenden kann.

E. Schlüsse und Empfehlungen

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß der Kopiereffekt nicht zu einem Problem werden muß. Hochwertige Bänder und Geräte, der richtige Aufnahmepegel, gute Lagerung und regelmäßige Überwachung können zusammen dafür sorgen, daß der Kopiereffekt ein zulässiges Maß nicht überschreitet. Waren einer oder mehrere dieser Parameter nicht unter der Kontrolle der Bibliothek, dann könnte ein untragbarer Kopierpegel entstehen, der in vielen Fällen durch solche Maßnahmen wie selektives Löschen zu einem guten Teil behoben werden kann. Es ist sehr wahrscheinlich, daß magnetische Pulver auf den Markt kommen werden, die noch weniger zum Kopieren neigen als es heute bei den allerbesten Bändern der Fall ist.

Es folgen Empfehlungen zur Aufbewahrung von Magnettonbändern:

1. Man verwende nur Metallspulen mit ungeschlitzten Kernen nach der NARTB-Norm für 25 cm-Kassetten. Verbogene Flanschen müssen ersetzt werden.

2. Man verpacke die Kassette in gut verschlossenen Metaldosen oder gut verschlossenen Schachteln aus einem Material wie das schon beschriebene Polyäthylen/Pappe/Stanniol/Polyäthylen-Laminat. Die Dosen oder Schachteln sind aufrecht zu lagern. Man verpacke die Bänder erst, wenn sie sich zu 20° und 50% akklimatisiert haben.

3. Die Lagerungstemperatur sollte $20 \pm 3^\circ$ für viel benützte Bänder und $10 \pm 3^\circ$ (in einem besonderen Raum) für selten benützte oder wertvolle Aufnahmen betragen. Wenn möglich sollte die Feuchtigkeit bei $50 \pm 10\%$ sein.

4. Abspiel- und Verpackungsräume sollen eine staubfreie Atmosphäre von $20 \pm 3^\circ$ und $50 \pm 10\%$ haben. Bänder, die anderen Atmosphären ausgesetzt waren, lasse man vor dem Abspielen in dieser Atmosphäre sich akklimatisieren.

5. Streufelder sollten in der Bibliothek und den Abspiel- und Verpackungsräumen verboten sein. Die höchstzulässige Flußdichte ist 10 Gauß. Man darf nicht vergessen, daß jede Stromleitung ein Magnetfeld erzeugt. Eine normale, sachgemäß ausgeführte und ausgeglichene Installation verursacht hier keine Schwierigkeiten, da sich die Felder ausgleichen.

6. Bei der Instandhaltung der Abspielapparatur folge man genauestens den Angaben des Herstellers, einschließlich Reinigung, Einstellung der Bandführung und Demagnetisierung der Eisenteile.

7. Eine gesonderte Umspulmaschine soll getrennt von den Abspielmaschinen zur Verpackung und Inspektion verwendet werden. Die Spannung eines 0,04 mm dicken 6 mm-Bandes sei ein konstanter Drehmoment von 80...140 g am Kern einer 25 cm-NARTB-Kassette.

8. Unter den heutigen Bändern eignet sich 0,04 mm-Mylar-Band wohl am besten zur langen Lagerung, wenn auch über die Schichtenhaftung auf dem Band Zweifel bestehen. Die Hersteller sind in der Lage, Bänder von längerer Lebensdauer zu erzeugen, wenn die Nachfrage groß genug ist, und es ist zu hoffen, daß wenigstens einer es auch tun wird. Jeder der Haupthersteller erzeugt ein gutes Band und jedes Erzeugnis hat anscheinend den anderen Bändern bei einem Parameter etwas voraus, hat dafür Nachteile in den anderen Parametern. Die Konkurrenz auf diesem Gebiet erzwingt schnelle Fortschritte, die bestimmt zu einer längeren Lebensdauer führen werden.

9. Der höchste Aufnahmepegel sollte so gehalten werden, daß ein Klirrfaktor von 2 % nicht überschritten wird. 4 dB unter dem normalen Aufnahmepegel wird gewöhnlich die Regel sein. Die ersten und letzten fünf Meter des Bandes sollen nicht bespielt werden, sondern eine Impulsfolge mit einer Frequenz von einer 0,25 mm-Wellenlänge (etwa 750 Hz bei 19 cm/s) bei Vollpegel enthalten, der einige Leerschichten zur Inspektion vorangehen und folgen. Neue Bänder lasse man zunächst ein halbes Jahr unbespielt im Verpackungsraum. Von auswärts kommende aufgenommene Bänder seien im Verpackungsraum sechs Wochen zur Akklimatisierung gelassen.

10. Zwei Jahre nach dem letzten Abspielen werden die Bänder untersucht und so umgespult, daß sie sich in die entgegengesetzte Richtung biegen. Während der Untersuchung wird der Kopierpegel der Tonimpulse am Ende des Bandes gemessen und das innere Bandende auf Schichtenhaftung oder -lockerung angesehen. Das Band muß dabei nicht abgespielt werden. Der Vorteil dieser Umspulung ist die Herabsetzung der Kriechbiegung und des Kopiereffektes, der Nachteil ist die Aussetzung der Bandoberfläche dem Sauerstoff. Außerdem soll eine solche Untersuchung und Umspulung nach jedem Abspielen stattfinden.

11. Die Bandregale seien aus Holz oder aus einem nicht magnetisierbaren Metall und vibrations- und stoßfrei.

12. Der Einkauf und Versand von Bändern soll derselben Sorgfalt wie der unter Platten beschriebenen unterliegen.

EMPFEHLUNGEN FÜR DIE WEITERE ARBEIT

Schallaufnahmen sind allgemeines Kulturgut, dessen Erhaltung und Aufbewahrung die Pflicht der Gesellschaft ist. In der Entwicklung von Tonträgern kam die lange Lebensdauer erst an zweiter Stelle in Betracht — die Hersteller beschäftigten sich hauptsächlich mit der treuen Wiedergabe und den Herstellungskosten. Da nun aber die Lebensdauer eine Eigenschaft ist, die in ein Erzeugnis sozusagen während der Herstellung eingebaut wird, kann man mit einer einmal bestehenden Aufnahme nichts anderes machen,

als sie in der ihr zuträglichsten Umgebung aufzubewahren und sie vor dem Zerfall noch rechtzeitig umzuspielen. Leider aber sind sowohl die Lebensdauer dieser Stoffe als auch die Kriterien zur Feststellung des bevorstehenden Zerfalls unbekannte Größen, doch würden schon wenige Jahre geeigneter Arbeit genügen, um diese Kenntnislücke auszufüllen. Konzentrierte Anstrengung, die interessierenden Parameter zu messen, wäre nicht der beste Weg, sondern eine fünf bis zehn Jahre lange Untersuchung der sehr wenig beschleunigten Alterung. Die folgenden Untersuchungen wären in diesem Rahmen auszuführen:

1. Eine große Anzahl selbstlaufender, aber gelegentlich überwachter beschleunigter Alterungen, die nur mäßig erhöhte Temperaturen (zusammen mit Feuchtigkeits- und Luftumlaufsänderungen) umfassen und deshalb mehrere Jahre dauern würden. Ein solcher Test würde apparatur- und arbeitsmäßig sehr geringe Auslagen und auch sehr wenig Platz erfordern, aber die Ergebnisse eines solchen Programms würden nicht nur den Schallaufnahmeherstellern und -sammlern, sondern allen am Zerfall der Kunststoffe Interessierten zugute kommen.

2. Die Messung des Zerfalls als einer Funktion der chemischen Änderungen des Materials der Aufnahmen schon bestehender Sammlungen. Die Reihe einfacher chemischer Analysen, die den bevorstehenden Zerfall dieser Stoffe voraussagen können, wurde in den Kapiteln II A und C schon besprochen, aber ihre Koordinierung erfordert noch eine große Anzahl solcher Messungen.

Man könnte einen Ausschuß interessierter Fachleute zu diesen Zwecken bilden und ein beratendes Forschungsinstitut beauftragen, die Ergebnisse des Ausschusses zu koordinieren. Im Vergleich mit den Ersparnissen in Bezug auf die Überwachung der Aufnahmesammlungen wären dann die Kosten der so erhaltenen Kenntnisse gering, besonders wenn man die sehr herabgesetzte Wahrscheinlichkeit des Totalverlusts der Aufnahmen mit in Betracht zieht. Ein solcher Plan hätte die folgenden Ziele:

1. die Feststellung der längsten Zeit, während der die verschiedenen Aufnahmearten ohne Überwachung sicher aufbewahrt werden können;

2. die Entwicklung von Überwachungsmethoden, die die Überspielnottwendigkeit einwandfrei festlegen würden;

3. die Entwicklung der wirtschaftlichsten Lagerungsmethoden für Schallaufnahmen.

Ungeachtet des soeben Gesagten, welches sich auf die Erhaltung der schon bestehenden Aufnahmen bezieht, müssen Tonträger entwickelt werden, die an sich haltbarer sind und schon deshalb weniger Aufsicht brauchen. Nicht nur müssen solche Aufnahmen entwickelt werden — beim heutigen Stand der Technik können sie auch entwickelt werden, und wenn die Nachfrage groß genug ist — dies müßte man der Industrie beweisen — werden sie

nicht nur entwickelt, sondern auch hergestellt werden. Ist die Nachfrage nicht groß genug, dann muß die Minderheit, die daran interessiert ist, die Kosten der Entwicklung und Herstellung haltbarer Aufnahmematerialien tragen, aber auch dann wäre es undenkbar, den ungeheuren Reichtum an Erfahrung, den die Industrie gesammelt hat, der aber von Geschäftsgeheimnissen umhüllt ist, unberührt zu lassen. Ein solcher Plan wäre eine Frage von public relations, sowie von der Mitarbeit vieler Menschen von so sehr verschiedenen Fächern wie Bibliothekswissenschaft, die Physik fester Körper, Schallaufnahmetechnik und die Technik und Chemie der Kunststoffe. Wenn man einem guten Vorbild folgen will, so wird man einen Schallaufnahmehaltungsausschuß bilden, dessen Mitglieder, durch das gemeinsame Interesse für das Problem verbunden, Resultate erzielen könnten, wie sie durch einzelne Forschungsarbeiten oder durch mit beschränkter Sicht arbeitende Vereine bei weitem nicht gezeitigt werden könnten, ist die Schwierigkeit der gegenseitigen Mitteilungen zwischen den verschiedenen in Betracht kommenden Wissenschaften und Organisationen doch das größte Hindernis für den Fortschritt heute.

Anmerkung. Die umfangreichen Ergebnisse dieser Forschungsarbeit, die in diesem Bericht zusammengefaßt und tabuliert werden mußten, sind in der Library of Congress auf Mikrofilm aufbewahrt und werden Interessenten zugesandt.

MR. JAMES GRAYSON

is pleased to announce the formation of
The MUSIC GUILD Inc.

with offices at

111 West 57th Street • New York 19, N.Y.

The Music Guild will record and produce recordings of fine music for the growing number of discriminating and knowledgeable record collectors.

Distribution will be by direct membership only, and Members will have a voice in the selection of the recording program of The Music Guild.

Vol. 1 No. 1 of The Music Guild NEWS LETTER will be available in January and will be sent free of charge to prospective members. It will contain full details of the first records and of Members' privileges, and items of interest to all lovers of fine music.

Information in advance of the first publication and the release of the first records may be obtained from the offices of The Music Guild Inc. at 111 West 57 Street, New York 19, N.Y.

*

The Music Guild wird Schallplatten für die wachsende Anzahl anspruchsvoller Sammler und Musikkenner aufnehmen und herstellen.

Deren Verteilung wird ausschließlich durch Mitgliedschaft erfolgen und die Mitglieder der Music Guild werden das Aufnahme-programm mitbestimmen.

Heft 1 des Music Guild NEWS LETTER erscheint im Januar und wird Interessenten für die Mitgliedschaft kostenlos zugesandt. Es enthält alle Einzelheiten über die ersten Aufnahmen und die Vorteile der Mitgliedschaft sowie Mitteilungen von Interesse für jeden Musikliebhaber.

The Music Guild Inc., 111 West 57 Street, New York 19, N.Y. erteilt vor der ersten Veröffentlichung der Zeitschrift und der ersten Platten gerne Auskunft.

MR. JAMES GRAYSON

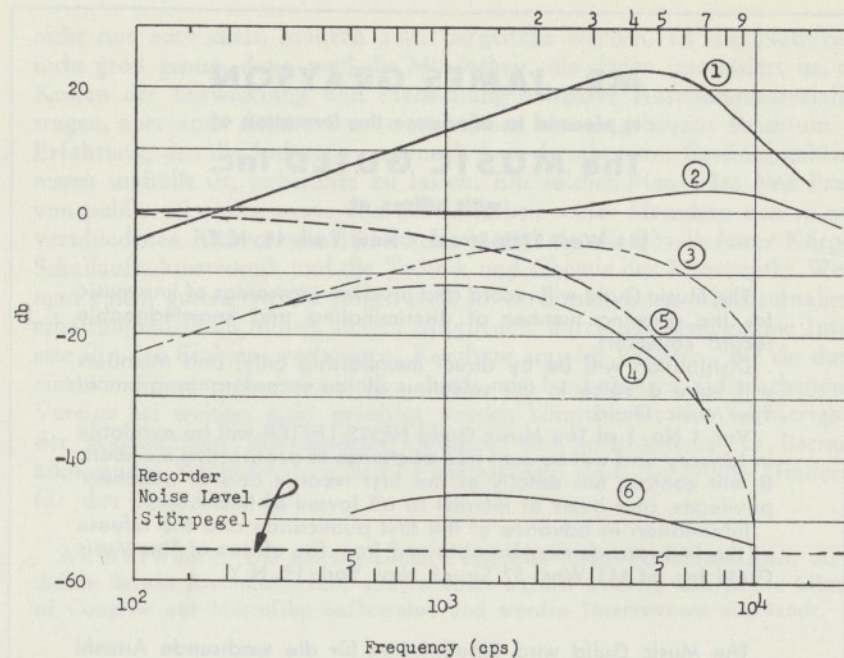
freut sich, Ihnen diese Mitteilung über die Begründung von

The MUSIC GUILD Inc.

mit Sitz in

111 West 57th Street • New York 19, N.Y.

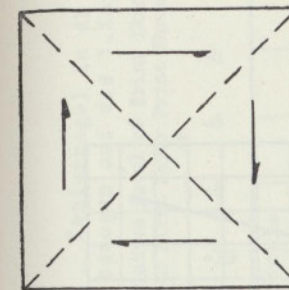
machen zu können.



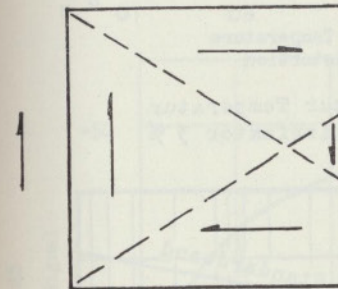
- 1 Frequenzgang des Bandes bei geradliniger Aufnahmeurve (ohne Vorverzerrung)
 - 2 Frequenzgang der Maschine mit Entzerrung
 - 3 Frequenzgang des Bandes mit einem 0,025 mm-Abstand vom Kopf
 - 4 Frequenzgang des Bandes mit einem 0,05 mm-Abstand vom Kopf
 - 5 Frequenzgang der Maschine mit einem 0,025 mm-Abstand zwischen Kopf und Band
 - 6 Kopierpegel nach 20 Jahren guter Lagerung (geschätzt, nach Daniel und Axon)
- 1 Actual Tape Output—Constant Power Input
 - 2 Recorder Output—Equalization
 - 3 Actual Tape Output—Tape 1 mil from Head
 - 4 Actual Tape Output—Tape 2 mil from Head
 - 5 Recorder Output—Tape 1 mil from Head
 - 6 Print Through (Estimated 20 year level from Daniel & Axon data) for good storage conditions

Fig. 21 Charakteristische Kurven eines normalen, 0,04 mm dicken Bandes mit der Wechselbeziehung zwischen verschiedenen Parametern (genaue Werte von Band und Maschine abhängig) bei einer Geschwindigkeit von 38 cm/s.

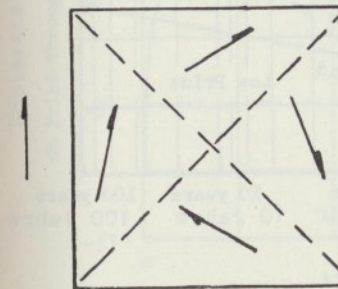
Fig. 21 Characteristic data for a general coated, 1.5 mil tape showing the interrelationship of various parameters (actual values depend on tape and recorder), tape speed 15 I.P.S.



1. In einem nicht magnetisierten Stück gleichen sich die Gebiete aus.
1. In an unmagnetized piece the domains balance out.



2. Das Stück kann durch Veränderung der Größe der Gebiete,
2. A piece may be magnetized by changes in domain size,



3. oder durch Drehung der Gebiete magnetisiert werden.
3. or by domain rotation.

Fig. 22 Magnetische Gebiete (nach Kittel)

Fig. 22 Magnetic domains (after Kittel)

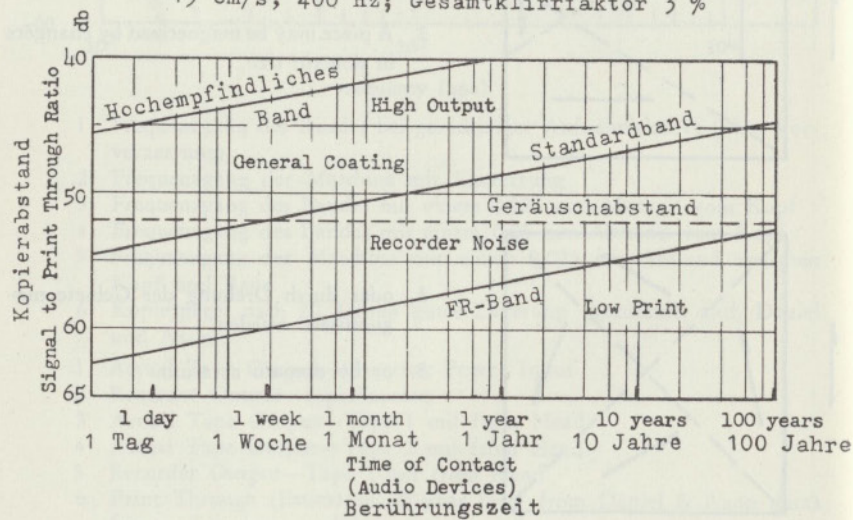
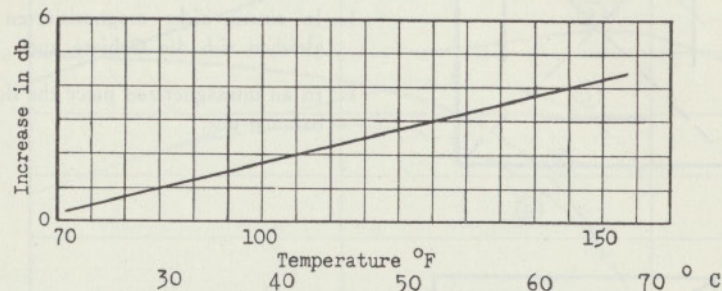
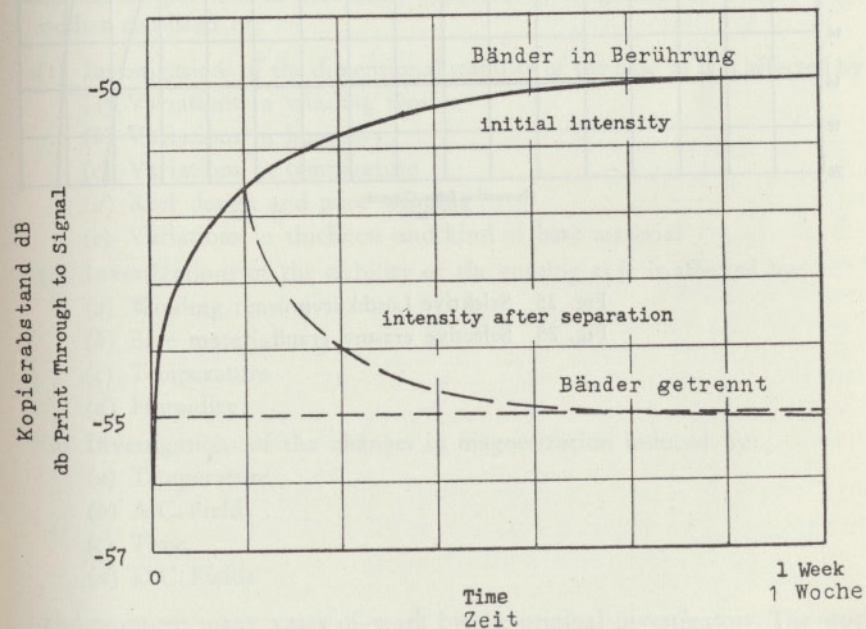
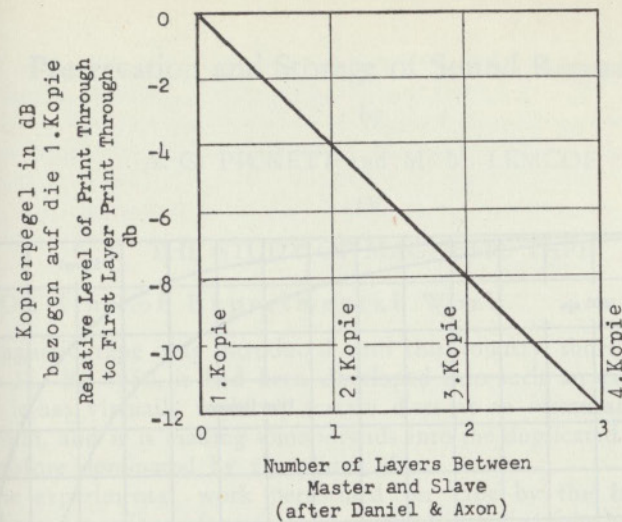


Fig. 23



Typical Print Through Curve
Ambient Temperature; 1000 cps; 15 ips
1½ mil General Coating Tape
Kopierabstand im Verhältnis zur Zeit
Zimmertemperatur; 1000 Hz; 38 cm/s;
0,04 mm dickes Standardband

Fig. 24

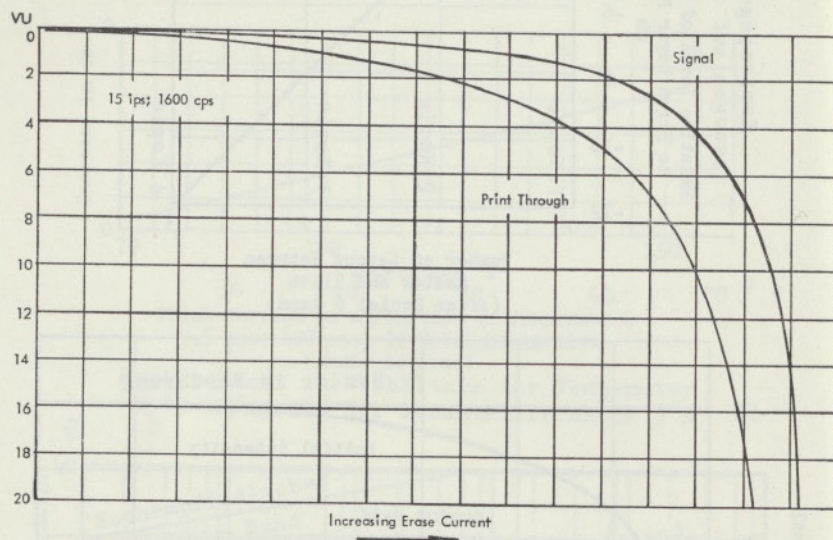


Fig. 25 Selektive Löschkurve

Fig. 25 Selective erasure graph

Preservation and Storage of Sound Recordings*

by

A. G. PICKETT and M. M. LEMCOE

IV

THE STUDY OF MAGNETIC TAPE

A. Outline of Experimental Work

Magnetic tape was introduced into this country shortly after World War II. By 1950, it had been developed into such an excellent product that it has virtually replaced acetate discs as an instantaneous recording medium, and it is making some inroads into the duplicated recording field heretofore dominated by the plastic disc.

The experimental work performed on tape by the Institute largely duplicated portions of previously reported investigations by others. These studies consisted of:

- (1) Investigations of the dimensional stability of the base as it is affected by:
 - (a) Variations in winding tension
 - (b) Variations in humidity
 - (c) Variations in temperature
 - (d) Reel design and poor winding
 - (e) Variations in thickness and kind of base material
- (2) Investigations of the stability of the coating as it is affected by:
 - (a) Winding tension
 - (b) Base material
 - (c) Temperature
 - (d) Humidity
- (3) Investigations of the changes in magnetization induced by:
 - (a) Temperature
 - (b) A.C. Fields
 - (c) Time
 - (d) D.C. Fields

and represent many years of work by the original investigators. The work performed on this project by the Institute served primarily as confirmation of conclusions previously arrived at or, in some cases, to reconcile differences between the conclusions of previous investigators.

* Library of Congress, Washington, 1959

The tapes which were tested consisted of new samples of all of the different kinds of tapes presently manufactured by the four major tape manufacturers of this country together with some samples of older tapes. The Library of Congress recorded frequency tapes single track at 15 inches per second (level α —12 DBM across a 600 ohm non-inductive resistor) at 25, 50, 100, 200, 400 cps and 1, 2.5, 5, 10, 12, 15 kc and tone burst tapes single track, 15 ips, (level α —4 DBM across a 600 ohm non-inductive resistor) at 400 cps, 1000 cps, 5 kc and 10 kc. Blank tapes and constant frequency tapes were also used in the tests.

Playback and instrumentation equipment used was a professional type tape recorder, a frequency counter, a V.T.V.M., an oscilloscope, a variable band pass filter, and a speaker. A humidity chamber and an oven with humidity control were used to expose the tape to the following conditions:

- (1) 1000 hours exposure to 150° F and low humidity.
- (2) Twenty cycles of 12 hours at 150° F and low humidity and 12 hours at 75° F and 50% R.H.
- (3) Ten cycles of 24 hours at 100° F and 100% R.H. and 24 hours at 75° F and 50% R.H.
- (4) Exposure to A.C. fields for periods up to one month.

Control tapes were maintained at ambient (approximately 75° F and 50% R.H.). The test tapes included tapes wound under different tensions and with varying perfection of wind. Also, during exposure to cycles of humidity and temperature, some test tapes were rewound at each cycle while others remained undisturbed. Three types of reels were used—five inch plastic, seven inch plastic, and ten inch N.A.R.T.B. metal reels. It would, of course, have been desirable to use far longer exposure times and a greater variety of tests but this was not feasible in this investigation. Exploratory tests indicated that more rigorous conditions were not realistic. Despite the cursory nature of the laboratory investigation, there were noticeable and measurable changes in the backing, coating and magnetization of the tapes which, together with the comprehensive information available in the literature, justify the following remarks (see Bibliography, especially the articles by Daniel and Axon, Latham, Radocy, Herr and von Behren, Westmijze, and the Sound Talk bulletins which provide complete empirical graphs of the phenomena referred to).

B. Base Material

Kraft paper, Polyvinyl chloride, cellulose acetate and Mylar (polyester) film have all been used as a base material for tapes. This study was restricted to the superior cellulose acetate and Mylar base tapes because most American made tapes are of these types. This base material is the structural component of the laminate which must resist stresses imposed

by playback or storage without permanent deformation and maintain dimensional stability during aging. That these thin films perform this mission as well as they do is somewhat surprising because they are, after all, thermoplastics subjected to severe loading conditions.

The severe loading conditions imposed by storage are:

(1) The forces caused by winding the tape under tension. This creates high radial pressures in the roll of tape which diminish in intensity from the hub outwards. This radial pressure causes longitudinal warping and any unevenness in stress distribution in the roll, such as is caused by hub slots, splices, or poor wind result in localized permanent deformation which impair playback qualities of the tape.

(2) The forces caused by the difference in properties between the film base and the coating. These may be differences in thermal or humidity coefficients of expansion or differences in dimensional response to aging. This can cause curl (transverse warping of the tape).

(3) The forces caused by the boundary conditions. The edges of the tape are exposed to the environment while the center is not. If the tape is not in equilibrium with its environment, the dimensional changes induced by the gradient will vary in amount from the edges towards the center of the tape. This can cause curling or edge fluting.

In addition to these forces, dimensional changes are induced by the recovery of molecular configurational strains (which result from the film fabrication process and are the same kind as those discussed under plastic discs), gross changes in winding tension induced by aging or changes in humidity or temperature, and simple relaxation of elastic stresses. The reason that these dimensional changes are so important is that satisfactory reproducing response is dependent on the surfaces of the reproducing head and tape being in perfect contact and the edges of the reproducing head gap being aligned (with reference to the tape) correctly with the original alignment of the trailing edge of the recording head gap. Variations in either of these parameters cause fluctuations in signal amplitude whose seriousness increases with increase of frequency. These effects have been so thoroughly measured and reported by different investigators (see Daniel, Axon and Frost, Westmijze, or Bulletins No. 6 and No. 27 of 3M Sound Talk) that complete quantitative data were not taken on signal attenuation as a function of head and tape separation or misalignment. An example of the seriousness of this parameter is that a 7,500 cps signal on a half track 7 1/2 inches per second recording is attenuated about 6 db by a head and tape separation of only 0.1 mil or a head and tape misalignment of only 1/3 degree. Figure 21 shows the relationship of this type of attenuation to other parameters and the effect of equalization on playback.

It is primarily in dimensional stability that Mylar is superior to cellulose acetate and that thicker bases are superior to thinner bases. This stability

is, of course, affected by the coating which is a different plastic from the base and highly filled with iron oxide and so exhibits different dimensional changes than does the base. Comparative figures obtained from manufacturer's laboratories (3M and Du Pont) for storage conditions are shown in Table 6.

Table 6

	1/4 inch Acetate Tape	1/4 inch Mylar Tape	Mylar Film
Thermal coefficient of Linear expansion	3.0	2.0	1.5×10^{-5} "/°F.
Humidity coefficient of Linear expansion	15.0	1.1	1.1×10^{-5} "/% R.H.
Creep (7000 psi tension for 3 hours and 3 hours recovery)	0.015	0.005	"/" at Ambient.

A further difference between these two base materials is that the moisture absorbed by cellulose acetate acts as a secondary plasticizer affecting its impact strength (brittleness), its tensile modulus of elasticity (elongation under load), and its creep (residual elongation after removal of load). Mylar absorbs less than 1/2% by weight of water and its physical properties are unaffected by change in environmental humidity. Mylar has the defect of stretching under impact loads (which would merely break acetate) that are caused by a poorly operated or adjusted machine which means that more supervision must be exercised over playback equipment use than is required for acetate.

The storage techniques indicated by these properties of the base are:

- (1) The use of metal, unslotted hubs of as large diameter as possible.
- (2) The use of constant torque* winding using as low an initial tension as is compatible with producing a well wound pack.
- (3) The use of reel flanges which are not deformed out of plane.
- (4) As perfect a winding pack as can be obtained.
- (5) The inhibition of changes in environmental humidity and temperature.

Since it takes a very long time for a reel of acetate tape to come into equilibrium with a large change in environmental moisture content, this

* Constant tension winding not only results in higher radial pressures, it results in slippage of already wound tape layers with consequent localized stress distributions.

last requirement is most important for acetate tapes. The recommended procedure for accomplishing these ends is to keep playback and packaging rooms at 70° F and 50% R.H. Tapes received for storage should be rewound in the packaging room on a rewind machine using a constant torque drive with a tension of from 3 to 5 ounces for 1/4 inch wide 1.5 mil thick tape at the hub of a N.A.R.T.B. 10 inch reel and whose maximum speed is 30 inches per second. The reel used should be metal, with undeformed flanges, having an unslotted hub of the N.A.R.T.B. 10 inch reel design. Acetate tape which has been exposed to other than the recommended environment should remain unpackaged in the conditioning room for six weeks and rewound; after inspection of the tape to make sure that the winding is satisfactory, the tape should be packaged in a metal can or a box made of the type of laminate material recommended for packaging discs, and the package sealed. The boxes or cans should be stored on edge so that the flanges will not be deformed by gravity loads such as might happen if they were kept in horizontal stacks.

Cellulose acetate base has been used for a long time, in safety motion picture film for example, and is known to have a dependable and long storage life. Mylar has been used for a much shorter time but has a theoretically longer storage life, mainly because no plasticizer or modifiers are used in its formulation.

C. Binder

The magnetic tape coating binder is the most critical part of the tape from the standpoint of aging. Unfortunately, it is the component about which the least information is available because the coating formulations are carefully guarded trade secrets. The early tapes (prior to 1950) often failed by aging in as short a period as five years because of chemical or physical degradation of the binder which was manifested by delamination or blocking (layer to layer adhesion). The binder must perform several very difficult roles. In the manufacturing process it must be susceptible to providing very complete dispersion of the iron oxide and to depositing a remarkably uniform coating of the mixture by solvent release without solvent attack on the base. The final product must furnish a smooth and tough surface which will not erode or rub off during playback or adhere to adjacent base material under the influence of the high radial pressures which are induced by winding under tension. The binder must adhere so firmly to the base material and the iron oxide that it will resist the stresses of playback and storage without crazing, flaking, or peeling. Furthermore, it must maintain these properties despite loss of residual solvent, and possibly, plasticizer as well as chemical degradation.

An early binder resin used was cellulose nitrate which proved to have excellent adhesive properties but, as has been noted, has poor aging qualities. Presently, it is believed, chlorine bearing vinyls are much used. These resins exhibit only fair adhesion to cellulose acetate, but this can be enhanced by such mechanisms as the use of a wash primer of polyvinyl butyral which is hydroxyl bearing. Other mechanisms which may be used for enhancing adhesion are solvent attack and controlled oxidative degradation of the base surface. These resins have good aging qualities but the catalytic effect of iron on the thermal decomposition of these resins as well as the change in properties associated with loss of plasticizer leave the potential longevity of these coatings somewhat questionable. Another currently used binder is believed to be an internally plasticized acrylic resin. It offers a longer theoretical potential storage life although no data are available to confirm this.

In addition to these binder materials, other film forming materials have doubtless been studied and are, perhaps, in use. Of these materials, the epoxy resins show great promise. Regrettably, these critical materials cannot be properly evaluated with the data at hand, and those most able to make such an evaluation, the research chemists of the tape industry, cannot freely communicate their knowledge because it represents a real asset of their organizations which would be lost by such communication. The art of the manufacture and use of synthetic resin coatings is still in a state of rapid development and one can expect that far superior coatings to the presently used ones will be available in the foreseeable future. It would be a worthwhile endeavor, indeed, if the tape manufacturers would cooperate in the endeavor to develop a binder formulation with optimum aging properties with disregard for the other properties, such as cost, which are of importance in the competitive marketing of tape. The obstacles to such cooperation are fully recognized but the end results would be of great benefit to all.

One aspect of binders cannot be separated from the nature of the base material and that is coating to base adhesion. Because of the difference in chemistry between the two materials, it is more difficult to obtain good bond between most coatings and Mylar than it is between those coatings and cellulose acetate. The initial bond obtained by present tape manufacturing techniques is excellent, but the experience with the response to natural aging is not as extensive in the case of Mylar as it is in the case of cellulose acetate. This poses another question to which no answer is available at this time; that is, does the possibility of premature delamination of Mylar base tape outweigh the advantages which Mylar has over cellulose acetate? Greater experience with and knowledge of these materials is required to choose properly between these materials for long-time storage requirements.

Because these coatings are deposited by solvent release and residual solvent affects their properties, it is desirable to "age" tapes for a period of six months prior to inspection and recording on them for long-time storage. Such "aging" should be done in the conditioning room and should disclose manufacturing defects not noticeable in the new tape. In the course of this project, a number of random tape failures by loss of bond between coating and base or transfer of coating to adjacent layers were observed after aging which were not present when the tapes were received. These tapes were stored at approximately 70° F and 50% R.H. in their original containers. It is believed that the evaporation of residual solvent was responsible for the disclosure of these defects.

D. Iron Oxide

The base material and binder are used for only one purpose, to keep the iron oxide particles in place. This iron oxide is manufactured by a careful process of dehydration and reduction of $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ to Fe_3O_4 . Fe_3O_4 is black magnetite used in high output tapes and many of the earlier tapes. At present, most tapes use the reddish brown gamma ferric oxide produced by oxidizing Fe_3O_4 . The end product must be very carefully washed to remove all traces of acid used in the process as acids are uniform catalysts of degradation for most of the thermoplastics presently used as binder resins. Many premature failures of older tapes can probably be attributed to use of acid iron oxide.

The reason magnetic powder is superior as a recording medium to a continuous magnetic material is provided by the domain theory of magnetism which also is the basis for the theories of changes in magnetization during aging. In this theory, a magnetic material is considered to be divided into domains within each of which the local magnetization is saturated (each domain is a magnet). The resultant magnetic moment of a piece of this material is dependent on the size and orientation of these domains. Figure 22 is a schematic simplification of this theory. The size and interaction of these domains exert a great influence on the response of a magnetic medium and the best way to control this parameter is to use powders with the most desirable powder consisting of sufficiently small particles, each composed of a single domain. If a small particle is forced to remain as a single domain, it will not be possible for magnetization changes to take place by boundary displacement which usually requires relatively weak fields, but such changes must be induced by domain rotation which requires large fields. In such powders, the important parameters are size, shape, orientation and separation of the particles. The uniformity of distribution, size and orientation of the iron oxide in magnetic tape is therefore exceedingly important in determining its quality, and the

**Wichtige erste Veröffentlichungen der
NEUEN Westminster Recordings Ltd.**

MOZART Requiem
BACH h-moll Messe
HÄNDEL Messias

S T E R E O

Staatsorchester Wien
Akademiechor Wien
Erste Solisten
Dirigent: Hermann Scherchen

**Important first releases of the
NEW Westminster Recordings Inc.**

MOZART Requiem
BACH Mass in B minor
HÄNDEL Messiah

S T E R E O

Vienna State Orchestra
Vienna Academy Choir
Top Soloists
Conducted by Hermann Scherchen

particle size, shape and separation determine its high frequency response as well as other magnetic properties.

The basic theory backed up by very thorough experimental work by a number of investigators whose results are in substantial agreement form the basis for the following conclusions (see Westmijze, Daniel and Axon, Herr and von Behren, Latham, Sound Talk Bulletin No. 10, and Radocy) which were verified by the duplication of experiments reported by the original investigators. The changes which occur in signal during long-time storage are demagnetization and the introduction of magnetization other than that originally recorded on the tape.

Tape demagnetization can be dismissed fairly easily. It does occur, but is primarily a weak field magnetization (high frequency) phenomenon, and if a magnetic tape is properly recorded and is kept in the proper environment, the amount of attenuation will not be noticeable. One can expect a slight decrease in signal to noise ratio in very long-time storage, but tape provides such a large initial signal to noise ratio that this is a minor effect (this remark applies to storage demagnetization only).

In the absence of large external fields, the introduction of other than recorded magnetization is limited to print-through (the magnetization in one layer of tape inducing magnetization in adjacent layers). Print-through is probably limited to magnetization by domain boundary displacement which, as has been noted, is associated with relatively weak fields and requires more than one domain to exist in the magnetic particle. The domain boundaries have preferred positions separated from each other by potential barriers which vary in magnitude. The boundaries obtain energy from the lattice which enables them to surmount the potential barriers; the attainment of equilibrium (positions of lowest energy) is dependent on the magnitude of the potential barrier and the probability of a boundary obtaining the requisite energy to surmount it. This can be accelerated by increasing lattice energy by an increase in temperature or by making the height of the potential barrier oscillate by introducing an alternating field. The field of adjacent tape layers increases the potential energy of the boundaries and results in a biased redistribution of boundaries which increases the mean magnetic moment in the direction of the field. Removing the field results in a redistribution of boundaries in the direction of the original preferred distribution.

In terms of magnetic tape, this means that the intensity of print-through depends on potential barrier height and boundary energy which are influenced by:

- (1) Temperature.
- (2) Strength of master field and its distance from the slave particles (which also makes print-through a function of wave length).

- (3) Time of contact and time of separation.
- (4) External A.C. fields.
- (5) Size, shape, and orientation of magnetic particles.

It also means that the temperature, time, and intensity relationships should obey diffusion laws defined by the theory of probability.

In practical terms, the conclusions arrived at by theory and experiment are:

(1) The strength of the slave signal is practically proportional to the strength of the master signal. In order to obtain optimum signal to noise ratio together with satisfactory signal to print-through ratio, all material should be recorded below 2% harmonic distortion (4 db down from normal recording level is a usual figure). Recording at lower levels does not improve signal to print-through ratio while it reduces signal to noise ratio.

(2) Print-through intensity increases with time of contact of master and slave and decreases with time of separation. The rate of measured increase or decrease in db of print-through diminishes logarithmically with time. While print-through does not actually approach a limit, it is an asymptotic function which is bounded for finite times of the order of tape life expectancy. This permits the prediction of print-through intensity to be made from short-time tests. Tape inspection procedure should include the measurement of print-through and the prediction of length of time required for print-through intensity to reach the maximum tolerance level. Figure 23 depicts this relationship. Also see Figure 24.

(3) Print-through intensity is a function of signal wavelength (in mils measured on the tape). Maximum print-through is obtained from the 10 to 20 mil wavelength (about 1200 cps for 15 ips or 600 cps for 7 1/2 ips). It is recommended that print-through surveillance be performed on a recorded tone burst of about 10 mil wave length on each tape at the maximum recording level of the tape for inspection purposes.

(4) Print-through intensity is a function of environmental temperature. For this reason it is desirable to keep environmental temperature as low as is compatible with other requirements (see Figure 23).

(5) Print-through intensity is increased by exposure of tape to external A.C. fields (while slave is in contact with master) of sufficient intensity and duration. It is believed that stray external fields below 10 gauss will not cause noticeable changes.

(6) Print-through intensity is a function of coating and base thicknesses. The thickest base tape feasible should be used.

(7) Print-through intensity is a function of the uniformity, size, shape, and orientation of the magnetic particles. In recent years, improvements

in manufacture have resulted in coatings which exhibit far less print-through than older materials. Theoretically, there is no limit on the improvement of print-through characteristics which can be achieved by magnetic particle improvement and it can be expected that much improvement will be made in the future (such improvement will also benefit high frequency response).

(8) Print-through decay can be accelerated by exposing the tape to A.C. fields when slave is not in contact with master (selective erasure). This will also cause attenuation of other weak field magnetization (such as high frequency signal). Selective erasure is a valuable curative measure for tape recorded at too high a level or which has been exposed to high temperatures or A.C. fields; in particular, just prior to re-recording. It should not be used indiscriminately or carelessly. Selective erasure is best accomplished by using a coil through which the tape is passed at recording speeds with reduced erase current from a recorder. Figure 25 is a graph made of the attenuation of print-through and signal induced in a general coating type by using an erase head and a potentiometer controlled erase current of 100,000 cps. The measurement is ratio of original signal (or print-through) to attenuated signal (or print-through) as a function of erase current. It can be seen that there is a net gain in signal to print-through ratio and an optimum value of the erase current for this single frequency. Unfortunately, the attenuation of very high frequency signal would be much greater than of the test signal. As Westmijze has noted, this can be provided for by a change in equalization with a loss of signal to noise ratio. This all adds up to a critical process justified only in unusual cases in library operation.

E. Conclusions and Recommendations

In summary, print-through does not need to be a problem. Use of proper tape, proper recording level, proper storage environment, and proper surveillance will keep print-through below the tolerance level. In those cases where the library has not had control of these parameters, an undesirable intensity of print-through may develop. In many cases, the recording can be salvaged by curative measures such as selective erasure. A further advantage can be obtained by the future development of magnetic powder coatings far less susceptible to print-through than even the best currently produced coatings.

The recommended procedure for storing magnetic tape is to:

- (1) Use only metal reels with an unslotted hub of N.A.R.T.B. dimensions (10" reel size). The flanges of these reels must be replaced if they are deformed out of plane.

(2) Package reels in sealed metal cans or sealed boxes of a material such as polyethylene/cardboard/foil/polyethylene laminate. The boxes should be stacked on edge in the shelves. Tape should not be packaged until it is in equilibrium with 70° F and 50% R.H.

(3) Stack temperature should be maintained at a temperature of 70° ± 5° F for often used recordings, and storage in special vaults at 50° ± 5° F is recommended for seldom used and valuable recordings. Stack humidity should be kept at 50% ± 10% R.H. if this feasible.

(4) Playback and packaging rooms should be maintained dust free and at 70° ± 5° F and 50% ± 10% R.H. Tapes exposed to other environments should be conditioned in the playback environment before playback.

(5) Stray external magnetic fields should not be permitted in the stack, playback and packaging environments. The maximum flux density permitted should be 10 gauss. It should be remembered that all current bearing wires have associated magnetic fields. Ordinary electric circuits, if properly installed and balanced, will cause no trouble because the fields will "cancel out".

(6) Playback equipment should be maintained as recommended by the manufacturer. This includes cleaning, tape transport adjustment, and component demagnetization.

(7) A rewind and inspection deck, separate from playback facilities, should be used for packaging and inspection. Winding tension for 1½ mil tape should be constant torque of 3—5 ounces at the hub of a 10 inch N.A.R.T.B. reel.

(8) The best tape presently available for storage purposes appears to be 1½ mil Mylar base with some doubt existing as to the coating to base adhesion of this type of tape. Any of the tape manufacturers are presently capable of producing longer lived tapes if there is sufficient demand for them and it is hoped that one or more of them will do so. Each of the major manufacturers produces good tape and each product seems to have a slight advantage over the others in one parameter while being at a slight disadvantage in others. The competition in this market is enforcing rapid advances in tape construction and formulation which should result in tapes of superior potential longevity in the foreseeable future.

(9) Tape should be recorded at a maximum level below 2% harmonic distortion (4 db below normal recording level is usually satisfactory). The first and last fifteen feet of the tape should not be used for program recording but should have a burst of 10 mil wavelength (approximately 750 cps at 7½ ips) signal at maximum recording level preceded and followed by several layers of blank tape for inspection purposes. Tape should be aged in the packaging room for six months prior to recording. Recorded tape which has been exposed to other than the prescribed en-

vironment should be conditioned in the packaging room for six weeks prior to packaging.

(10) Tape should be inspected once every two years measured from time of last playback and rewind so that the curvature of the base is opposite to the direction of the previous curvature. This inspection should consist of measurement of print-through caused by the toneburst at the end of the tape and a spot check at the tape end next to the hub for coating adhesion or delamination. It need not include playback.

The benefits of rewind are in reduction of creep induced curvature and print-through. The disadvantage is in exposing the surface to oxidative attack. The tape should be inspected and wound after each playback.

(11) Storage shelves should be of wood or a nonmagnetizable metal free from vibration or shock.

(12) The same care in procurement and shipment should be taken with tape as was recommended for discs.

RECOMMENDATIONS FOR FUTURE WORK

Sound recordings are cultural assets worthy of preservation. In the development of sound recording media, potential longevity has been a consideration secondary to such parameters as fidelity of reproduction and cost of manufacture. Because potential longevity is a property which is incorporated into an article when it is manufactured, all that can be done with an existing sound recording is to keep it in the environment most conducive to attainment of its maximum life and to re-record it before failure. Unfortunately, neither the life span of these materials nor the criteria for detection of incipient failure are known. This requisite knowledge could be obtained in a relatively small number of years by appropriate studies. The best approach would not consist of a concentrated effort to measure the parameters of interest but of a five to ten year study of aging under mildly accelerated aging conditions. Such an effort would consist of:

(1) A large number of unattended but monitored accelerated aging tests of several years duration using moderately elevated temperatures and variation in humidity and aeration. An individual test would require the expenditure of but small amounts for equipment, space, and manpower. The results of such a program would yield information of value not only for the manufacturers and collectors of sound recordings but for all concerned with the degradation of plastics.

(2) Stack surveys of existing collections measuring sound recording degradation as a function of changes in material chemistry. As has been noted in chapter II A and II C there is a group of simple chemical analytical techniques which should predict incipient failure of sound recording materials. The data necessary for correlation of these changes to degradation could be collected by such surveys.

If a committee of interested people were organized for these purposes and the services of a consulting research organization were engaged to coordinate and evaluate the work done by the committee, the costs would not be prohibitive to acquire the information which would reduce the costs of surveillance of sound recording collections and provide increased security against loss of sound recordings. The objectives of such a study would be:

(1) To determine the maximum times for which the different types of sound recordings can be safely stored without surveillance.

(2) To determine surveillance techniques to be used for establishing necessity for re-recording.

(3) To establish the most economical environments and storage techniques for sound recordings.

The aforementioned recommendations were pointed towards the economical preservation of existing sound recordings. For the future, it is desirable to have more stable media of longer life and less dependence on expensive storage environments and techniques. The present state of knowledge should permit manufacture of sound recordings of several times the potential life of currently used media. If there is sufficient demand for longer lived sound recording materials, and this can be proven to the industry, they will, undoubtedly, develop and produce such materials. If such demand does not exist, the cost of development and production of longer lived materials must be borne by those few who will benefit from such endeavor. Even in this latter case it would be unthinkable not to take advantage of the wealth of knowledge which has been accumulated by those in industry, which is largely unavailable at the present time because of the necessity for preservation of trade secrecy. Such a project would involve public relations as well as the cooperation of many people of such diverse disciplines as library science, solid state physics, sound recording, plastics technology and chemistry. If one were to adopt successful precedent, the formation of a Committee for the Preservation of Sound Recordings is indicated. Such a group formed of people with a mutual interest in the problem and with the desire and ability to contribute to the development of longer lived sound recordings could achieve dramatic results in this field which would not be attainable by any single research effort or organization of limited viewpoint. The main obstacle to progress in this field seems to be the lack of communication between the different disciplines and this should be easily overcome by such an approach.

Note. — For this report, it has been necessary to summarize the original data and present them in tabular and graphic form. The original data, recorded on microfilm, may be obtained upon request from the Library of Congress.

BIBLIOGRAPHY

Creep

1. ALFREY, TURNER, JR., "Mechanical Behavior of High Polymers," Interscience Publishers, Inc., New York, 1948.
2. AIKEN, ALFREY, JANSSEN and MARK, "Creep Behavior of Plasticized Vinylite VYNW," Symposium on Plasticizers, pp 178ff, Elsevier Publishing Company, New York, 1947.
3. BUCHDAHL and NIELSEN "Transitions in High Polymeric Materials," *Journal of Applied Physics*, Vol 21, No. 6, June 1950, pp 483ff.
4. CONANT, HALL and LYONS, "Equivalent Effects of Time and Temperature in the Shear Creep and Recovery of Elastomers," *Journal of Applied Physics*, Vol 21, No. 6, June 1950, pp 499ff.
5. DANNIS, M. L., "Dimensional Changes in Rigid Vinyls" *Modern Plastics*, Vol 13, No. 7, March 1954, pp 120ff.
6. FERRY and FITZGERALD, "Dynamic Rheological Properties of Linear Polymers," *Proc 2nd Intern Congr on Rheology*, Oxford, 1953, p 140.
7. FINDLEY and WORLEY, "Short-Time Static Tests and Creep Tests of a Paper Laminated Plastic," *ASTM Proc.*, Vol 44, pp 949ff.
8. FINDLEY and KHOSLA, "Application of the Superposition Principle and Theories of Mechanical Equation of State, Strain and Time Hardening to Creep of Plastics Under Changing Loads," *Journal of Applied Physics*, Vol 26, No. 7, July 1955, pp 821ff.
9. Findley, W. N. "Plastics: Their Mechanical Behavior and Testing," *Applied Mechanical Reviews*, Vol 6, No. 2, pp 49ff, February 1953.
10. FINDLEY and PETERSON, "Prediction of Long-Time Creep with Ten-Year Creep Data on Four Plastic Laminates," Interim Report No. 1, Brown University to Department of the Army, October 1957.
11. FRITH, ELIZABETH M., and TUCKETT, R. F., "Linear Polymers", Longmans, Green and Company, New York, 1951.
12. HOUWINK, R., Ed., "Elastomers and Plastomers," Elsevier Publishing Company, New York, 1950.
13. ITO, KATSUHIKO, "Measuring Temperature Dependence of Mechanical Properties of Plastics," *Modern Plastics*, November 1957, pp 167ff.
14. KOLSKI and SHI, "The Validity of Model Presentation for Linear Viscoelastic Behavior," *ONR Tech Report No. 5*, January 1958.
15. LEE, E. H., "Stress Analysis in Viscoelastic Materials," *Journal of Applied Physics*, Vol 27, No. 7, pp 665ff, July 1956.
16. MacLEOD, A. A., "Design of Plastic Structures for Complex Static Stress System," *Ind and Eng Chem*, Vol 47, No. 7, July 1955, pp 1319ff.
17. MARK, H., "Intermolecular Forces and Mechanical Behavior of High Polymers," *Ind and Eng Chem*, Vol 34, 1942, pp 1343ff.
18. MELCHORE and MARK, "Effect of Strains on Heat Distortion," *Modern Plastics*, Vol 31, November 1953, pp 141ff.
19. NINOMIYA and FUJITA, "Stress Relaxation Behavior of Polyvinyl Acetate Films," *Journal of Colloid Science*, Vol 12, 1957, pp 204—299.

20. TIMOSHENKO, S., "Theory of Elasticity," McGraw-Hill, New York, 1934 (First Edition), Chapter VIII, Article 71.
21. TOBOLSKY, ARTHUR V., "Stress Relaxation Studies of the Viscoelastic Properties of Polymers," *Journal of Applied Physics*, Vol 27, No. 7, July 1956, pp 673ff.
22. TOBOLSKY and CATSIFF, "Reduced Equation for Viscoelastic Behavior of Amorphous Polymers in the Transition Region," *Journal of the American Chemical Society*, Vol 76, August 1954, pp 4204ff.
23. WEBER, ROBERTSON and BARTOE, "Time and Temperature-Dependent Modulus Concept for Plastics, *Ind and Eng Chem*, July 1955, Vol 47, No. 7, pp 1311ff.
24. WELCH and QUACKENBOS, "Residual Stresses in Phenolic Plastics," *ASTM Special Technical Publication No. 192*, pp 47ff.

Fungi

25. ABRAMS, EDWARD, "Microbiological Deterioration of Organic Materials: Its Prevention and Methods of Test," *NBS Misc Publ 188*, Nov. 1, 1948.
26. BERK, EBERT and TEITELL, "Utilization of Plasticizers and Related Organic Compounds by Fungi", *Ind and Eng Chem*, Vol 49, No. 7, pp 1115ff, 1061—1202.
27. REDDISH, GEORGE F., "Antiseptics, Disinfectants, Fungicides and Chemical and Physical Sterilization," Lea & Febiger, Philadelphia, 1954.
28. LEUTRITZ, JOHN, JR., "The Effect of Fungi and Humidity on Plastics," *ASTM Bulletin No. 152*, May 1958, pp 88ff (TP 140).
29. CHRISTENSEN, C. M., "The Molds and Man," University of Minnesota Press, Minneapolis, 1951.
30. U.S.D.C. Misc Publication 188, 1948, "Microbial Deterioration of Organic Materials."
31. WITT, CHAPMAN and RASKIN, "Effect of Moisture and Fungus on Plastic Insulating Materials," *Modern Plastics*, September 1952, pp 119ff.
32. ZOBELL, C. E., "Action of Micro Organisms on Hydrocarbons," *Bact Review*, 10, pp 1ff, 1946.
33. ZOBELL, C. E., "Advances in Enzymology," *Bact Review*, 10, pp 443ff, 1950.
34. SIU, R. G. H., "Microbial Decomposition of Cellulose," Reinhold Publishing Company, New York, 1951.

Discs

35. BARLOW, D. A., "Limiting Factors in Gramophone Reproduction," *Wireless World*, May and June 1957, Vol 63, Nos. 5 and 6, pp 228—230, 290—294.
36. BERNHARDT, E. C., "Scratch Resistance of Plastics," *Modern Plastics*, October 1948, Vol 26, No. 2, pp 123ff.
37. GIFFORD, WOODLAND and DAHL, "A Method for Testing Quality of Phonograph Records," *Modern Plastics*, Vol 34, No. 12, August 1957, pp 140ff.

38. HOWES, F. N., "Vegetable Gums and Resins," *Chronica Botanica Company*, Waltham, Mass., 1949.
39. KELLER, ERNEST A., "Noise Level and Mechanical Stresses in Plastic Sound Records," *Jour Acoust Soc of Amer*, Vol 26, No. 5, September 1954, pp 685ff.
40. OOMS, J. L., "The Recording and Production of Gramophone Records," *Philips Technical Review*, Vol 17, No. 4, October 1955, pp 101ff.
41. WOOD, L. A., and MOYER, R. C., "Proper Care of Test Records," *Trans IRE-PGA*, July 1952, pp 4ff.
42. "Synthetics Supplant Shellac," *Modern Plastics*, January 1950, p 135.
43. WARTH, ALBIN H., "The Chemistry and Technology of Waxes," Reinhold Publishing Corporation, New York, 1947.
44. WILLIAMS and MIGHTON, "The Effects of Molding Conditions Upon the Permanence of Plastics," *ASTM Spec Tech Publ No. 132*, pp 32ff.

Tapes

45. BICK, J. D., "Methods of Measuring Surface Induction of Magnetic Tape," Symposium, April 1953, *Jour SMPTE*, Vol 60, No. 4, pp 516ff.
46. CAMRAS, MARVIN, "Magnetic Recording," *Tele-Tech*, September 1953, pp 81ff.
47. DANIEL and AXON, "Accidental Printing in Magnetic Recording," *BBC Quarterly*, Vol 5, No. 4, pp 241ff.
48. DANIEL, AXON and FROST, "A Survey of Factors Limiting the Performance of Magnetic Recording Systems," *Proc Inst Elec Engrs*, Vol 104, B 14, March 1957, pp 158ff.
49. DEDELL, Thomas, "Magnetic Sound Tracks for Processed 16 mm Motion Picture Film," April 1953 Symposium, *Jour SMPTE*, Vol 60, No. 4, pp 491ff.
50. DZIERZYNSKI, O. E., "Measurement of 'Wow' and 'Flutter,'" *Wireless World*, Vol 61, No. 11, November 1955, pp 547—552.
51. FORMAN, ALBERT J., "Manufacturing Magnetic Tape," *Tele-Tech*, November 1954, pp 86ff.
52. FRANCK, ERNEST W., "A Study of Dropouts in Magnetic Film," April 1953 Symposium, *Jour SMPTE*, Vol 60, No. 4, pp 507ff.
53. GREINER, JOACHIM, "Der Unterschied zwischen Vor- und Nachecho beim Kopiereffekt," *Nachrichtentechnik* (Berlin), Vol. 3, No. 11, pp 506ff, and No. 12, pp 543ff, November—Dezember 1953.
54. GUCKENBURG, WALTER, "Tape Magnetization," *Jour SMPTE*, Vol 65, No. 2, February 1956, pp 69ff.
55. HARD, HERBERT G., "What Do You Know About Recording Tape?" *Radio and Television News*, Vol 59, No. 2, February 1958, pp 111ff.
56. HERR and von BEHREN, "Selective Erasure of Magnetic Tape Cross-Talk," *Electronics*, Vol 25, No. 8, August 1952, pp 114ff.
57. HOLLANDER, GERHARD L., "Bibliography on Data Storage and Recording," *Communications and Electronics*, March 1954, AIEE No. 11.
58. JOHNSON, S. W., "Factors Affecting Spurious Printing in Magnetic Tape," *Jour SMPTE*, Vol. 52, June 1949, pp 619ff.

59. HOWLING, D. H., "Noise in Magnetic Recording Tapes," *Jour Acoust Soc of Amer*, Vol 28, No. 5, September 1956, pp 977ff.
60. KASPIN, ROBERTS, ROBBINS and POWERS, "Magnetic Stripping Techniques and Characteristics," April 1953 Symposium, *Jour SMPTE*, Vol 60, No. 4, pp 470ff.
61. KITTEL, CHARLES, "Magnetism," *Modern Physics for the Engineer*, Edited by Louis N. Ridenour, McGraw-Hill, New York 1954.
62. LATHAM, W. S., "A Study of Limitations of Magnetic Tapes," *USN-USL Report No. 140, Audio Eng*, September 1952, pp 19ff.
63. LATHAM, W. S., "Tape Life," U.S. Navy Underwater Sound Laboratory, IRE Convention Record, 1955 Nat'l Conv, Audio III Seminar Magnetic Recording by the Engineer.
64. LeBEL, C. J., "A New Professional Tape," *Audio Record*, Vol. 13, No. 2, September 1957, pp 7ff.
65. MARCHANT, REYNOLDS, "Tape Characteristics for Audio Quality," *Tele-Tech*, July 1949, pp 30ff.
66. PRICE, R. LEE, "Modulation Noise in Magnetic Tape Recordings," *IRE Trans on Audio*, AU-6, March-April 1958, No. 2.
67. RADOCY, FRANK, "Tape Storage Problems," *Jour Audio Eng Soc*, Vol 5, 1957, pp 32ff.
68. RADOCY, FRANK, "A New Device for the Reduction of Print-Through," Preprint No. 36, AES 10th Annual Meeting, 1958.
69. RADOCY, FRANK, "Reducing Magnetic Tape Print-Through," Reprint from *Electronic Industries*, December 1957.
70. RADOCY, FRANK, "Magnetic Tape as a Recording Medium," Audio Devices, Inc, New York.
71. SCHMIDT, EDWARD, "Commercial Experiences with Magna-Stripe," April 1953 Symposium, *Jour SMPTE*, Vol 60, No. 4, pp 463ff.
72. SCHMIDT, EDWARD, "High Temperature Tapes," A Reeves Sound Craft Corp Paper.
73. SCHMIDT and FRANCK, "Manufacture of Magnetic Recording Materials," April 1953 Symposium, *Jour SMPTE*, Vol 60, No. 4, pp 453ff.
74. SELSTED and SNYDER, "Magnetic Recording—A Report on the State of the Art," *Trans IRE*, September—October 1954, pp 137ff.
75. SPRING, H. P., "The Characteristics of Magnetic Recording Heads and Tapes," *Jour Inst Radio Engrs* (Brit.), Vol 17, No. 4, April 1957, pp 217ff.
76. TAFEL, H. J., "Der Kopiereffekt bei der Schalllaufzeichnung auf Magnetband," *Fernmeldetechnische Zeichnung*, Vol 6, No. 1, 1953, pp 17ff.
77. WELCH, NAT, "How to Choose a Tape," *Radio and Television News*, Vol 56, No. 5, November 1956, pp 58ff.
78. WESTMIJZE, W. K., "Studies on Magnetic Recording," *Philips Research Reports*, Part I, Vol 8, No. 2, April 1953, pp 148ff, Part II, Vol 8; No. 3, June 1953, pp 161ff, Part III, Vol 8, No. 4, August 1953, pp 245ff, Part IV, Vol 8, No. 5, October 1953, pp 343ff.
79. WIGGIN, LYMAN J., "Magnetic Print-Through—Its Measurement and Reduction," *Jour SMPTE*, Vol 58, No. 5, May 1952, pp 410ff.

80. WILSON, CARMEN F., "Magnetic Recording Patents and Bibliography," *IRE Trans on Audio*, Vol AU-4, May—June 1956, No. 3, pp 53ff.
81. WALLAGE, R. L., Jr., "Reproduction of Magnetically Recorded Signals," *Bell System Tech Jour*, Vol XXX, No. 4, October 1951, pp 1145ff.
82. Sound Talk, A Series of Bulletins issued by Minnesota Mining and Manufacturing Company.
83. Physical and Magnetic Properties of Scotch Magnetic Tape, A Publication of Minnesota Mining and Manufacturing Company.

Degradation of Plastics

84. Battelle Memorial Institute, "Literature Survey on the Properties of Plastics Influencing Their Stability in Storage," Contract W 33-019-ORD-5333, Submitted May 31, 1946.
85. BEACHELL, HAROLD C., "The Oxidative Degradation of Large Molecules," Delaware University (Newark). *WADC Tech Rept* No. 57—406, Contract AF 33 (616)—465.
86. BIGGS, B. S., "Deterioration of Organic Polymers," *Bell System Technical Journal*, Vol XXX, October 1951, No. 4, Part II, pp 1078ff.
87. BURGESS, A. R., "Degradation and Weathering of Plastics," *Chemistry and Industry* (London), January 26, 1952, pp 78ff.
88. DeBRUYNE and HOUWINK, "Adhesion and Adhesives," Elsevier Publishing Company, New York, 1951.
89. DOYLE, C. D., "Application of the Superposition Principle to Data on Heat-Aging of Plastics," *Modern Plastics*, Vol 34, No. 11, July 1957, pp 141ff.
90. DOYLE, C. D., and DUCHWALD, C. S., "Non-Destructive Mechanical Test for Degradation, Part I: Degradation Study, Part II: Method of Test," *Modern Plastics*, March 1956, pp 143ff.
91. GRASSIE, NORMAN, "Chemistry of High Polymer Degradation Processes," Butterworths Scientific Publications, London, 1956.
92. GREATHOUSE and WESSEL, "Deterioration of Materials," Reinhold Publishing Company, New York, 1954.
93. HUTCHINSON, G. L., "Surveillance of Cinematograph Record Film During Storage," Report No. 2/R/48 (Brit.), Chemical Research and Development Establishment and the Department of the Government Chemist.
94. MELDRUM, R. S., "Rotproofing of Leather," *Chem Products*, 12, No. 1, 1948, pp 4—6.
95. RUSSELL, E. W., "Crazing of Cast Polymethyl Methacrylate," *Nature*, London, Vol 165, No. 4186, January 21, 1950, pp 91ff.
96. SAUER and HSIAO, "Stress-Crazing of Plastics," *Trans ASME*, Vol 75, No. 5, July 1953, pp 895ff.
97. SCRIBNER, B. W., "Summary Report of Research at the National Bureau of Standards on the Stability and Preservation of Records on Photographic Film."
98. TOBOLSKY, ARTHUR V., "Oxidative Degradation of Polymeric Material," *Disc. Faraday Soc*, No. 2, 1947, pp 384ff.

99. YOUNG and MAASSEN, "Correlation of Room Temperature Shelf Aging with Accelerated Aging," *Industrial and Engineering Chemistry*, Vol 47, No. 7, pp 1487ff.

Cellulose Acetate and Nitrate

100. CAROLAN, KENNETH T., and CHMURA, MITCHEL, July 1957, Samuel Feltman Ammunition Labs, Picatinny Arsenal, Dover, N. J., Proj TB 4-721, Tech Rept No. 2440.
101. DeCROES and TAMBLYN, "Protection of Cellulose Esters Against Breakdown by Heat and Light," *Modern Plastics*, Vol 29, No. 8, April 1952, pp 127ff.
102. DeCROES and TAMBLYN, "Stabilization of Cellulose Esters," NBS Circular 525, pp 171ff.
103. MILES, FRANK DOUGLAS, "Cellulose Nitrate," Oliver and Boyd, London, 1955.

PVC

104. "Bakelite" Vinyl and Styrene Phonograph Record Resins and Compounds, Molding Technical Release No. 10, April 1955, Bakelite Company.
105. DRUESDOW, D., and GIBBS, C. F., "Effect of Heat and Light on Polyvinyl Chloride," *Modern Plastics*, June 1953, Vol 30, No. 10, p 123; also NBS Circular 525, pp 69ff.
106. MACK, GERRY P., "Stabilization of Polyvinyl Chloride," *Modern Plastics*, November 1953, pp 150ff.
107. MOORE, ROBERT L., "The Properties of Fillers in Vinyl Plastics," *India Rubber World*, May 1948, pp 232ff.
108. SAVARESE, F. B., "Stabilizers," *Modern Plastics Encyclopedia*, September 1958, pp 378ff.
109. SCARBROUGH, KELLNER and RIZZO, "Role of Hydrogen Chloride in Polyvinyl Chloride Degradation," NBS Circular 525, pp 95ff; also *Modern Plastics*, May 1952, pp 111ff.
110. TAFT, GEORGE H., "Stabilization of Plastics," *Modern Plastics*, Vol 34, No. 9, May 1957, pp 170-176.
111. WARTMAN, L. H., "Heat and Light Degradation of Vinyl Chloride Resin," *IEC*, Vol 47, No. 5, May 1955, pp 1013ff.

Plasticizers

112. DECKEL, E. B., "What You Should Know About Plasticizers for Vinyls," *Modern Plastics*, Vol 31, No. 4, December 1953, pp 98-102.
113. DOOLITTLE, ARTHUR K., "The Technology of Solvents and Plasticizers," John Wiley and Sons, New York, 1954.
114. FRISSELL, W. J., "Volatility of Vinyl Plasticizers," *Industrial and Engineering Chemistry*, Vol 48, No. 6, June 1956, pp 1096ff.
115. MORRIS, J. J., "What You Should Know About Plasticizers for Vinyls," *Modern Plastics*, October 1953, pp 116ff.

116. QUACKENBOS, H. M., Jr., "Plasticizers in Vinyl Chloride Resins—Migration of Plasticizer," *Ind and Eng Chem*, Vol 46, No. 6, June 1954, pp 1335ff.

Mylar

117. "Physical, Electrical and Chemical Properties of 'Mylar,'" DuPont Tech Report, E. I. DuPont DeNemours and Company, Inc, Film Department, Wilmington, Delaware.
118. LANNING, D. D., "Mylar—A High Strength Film," *Product Engineering*, Vol XXVII, No. 7, July 1956, pp 187ff.

Electrostatic Charges

119. CLEVELAND, H. W., "A Method of Measuring Electrification of Motion Picture Film Applied to Cleaning Operations," *Jour SMPTE*, Vol 55, No. 1, pp 37 ff, July 1950.
120. SKINNER, GAYNOR and SOHL, "Electrostatic Charges in Plastics," *Modern Plastics*, Vol 33, No. 6, February 1956, pp 127ff.

Other

121. BRADLEY, JOHN G., "Motion Pictures as Government Archives," *Jour SMPE*, Vol XXVI, No. 6, June 1936, pp 653ff.
122. HILL and WEBER, "Stability of Motion Picture Films as Determined by Accelerated Aging," *Jour SMPE*, Vol XXVII, No. 6, December 1936, pp 677ff.
123. HUTCHINSON, ELLIS and ASHMORE, "The Surveillance of Cinematograph Record Film During Storage," *Jour Appl Chem*, Vol 8, January 1958, pp 24ff.
124. WEBER and HILL, "Care of Slide-Films and Motion Picture Films in Libraries," *Jour SMPE*, Vol XXVII, No. 6, December 1936, pp 691ff.
125. Reports of the Committee on the Preservation of Motion Picture Film, of SMPE.
126. SWANN, ADAMS and ESPOSITO, "Analysis of Lacquers Containing Nitrocellulose, Alkyd Resins, and Phthalate-Type Plasticizers," *Analytical Chemistry*, Vol 27, No. 9, August 30, 1955, pp 1426ff.
127. ACHHAMMER, B. G., "Polymer Degradation Studies by Absorption and Mass Spectrometry," *Analytical Chemistry*, Vol 24, No. 12, December 18, 1952, pp 1925ff.

ALTE MEISTER

AUF



- Orgelmusik aus dem 17. Jahrhundert
Praetorius, Frescobaldi, Froberger u. a.
Gustav Leonhard, Orgel AVRS 6115
- Italienische Musik der Renaissance
Gaffurio, Demophon, Vecchi u. a.
Solisten u. Chor d. „Polifonica Ambrosiana“
unter Mons. G. Biella AVRS 6126
- Renaissance- u. Barockmusik f. Laute und Gitarre
Visée, Dowland, Milan u. a.
Karl Scheit, Gitarre AVRS 6108
- Joseph Haydn: Lirenkonzerte
Kammerorchester des Wiener Konzerthauses
unter Paul Angerer AVRS 6176 *
- Salzburger Hofmusik I und II
Biber, Muffat, Michael Haydn
Camerata Academica unter B. Paumgartner
I. Ahlgrimm, Cembalo,
A. Scherbaum, Trompete AVRS 6179/80 *
- Concentus Musicus Ensemble f. alte Musik
Muffat, Biber, Joseph Haydn AVRS 6177/78 *
- Telemann: Triosonaten
Das Wiener Barocktrio AVRS 6181 *
- W. A. Mozart: Hornkonzerte K.V. 412, 417, 447, 495
Wiener Staatsopernorch. unter H. Swarowsky
Albert Linder, Horn AVRS 6164 *

* auch Stereo!

**AMADEO ÖSTERREICHISCHE SCHALLPLATTEN AG
WIEN**

ALFRED DELLER

COUNTER - TENOR

ON



- Elizabethan and Jacobean Music AVRS 6001
- Old English Folksongs AVRS 6162
- Cries of London AVRS 6149
- English Lute Songs AVRS 6144
- The English Madrigal School I & II AVRS 6071/72
- Italian Songs of the Baroque AVRS 6085
- Purcell: Ode on St. Cecilia's Day AVRS 6068
- Purcell: Songs, sacred airs and concerted
pieces for strings and harpsichord AVRS 6160/61
- Monteverdi: Il Ballo delle Ingrate AVRS 6069
- J. S. Bach: Cantatas Nos. 54 & 170 AVRS 6045

**AMADEO ÖSTERREICHISCHE SCHALLPLATTEN AG
WIEN**

Grundlagen einer stochastischen Musik

von
IANNIS XENAKIS

III RASTERFOLGEN

Wir haben bisher angenommen, daß ein beliebiger Schall, eine beliebige Musik mit Hilfe einer hinreichend großen Anzahl von Rastern beschrieben werden kann, die in der lexikographischen Reihenfolge der Seiten eines Buches angeordnet sind. Wenn wir jeden Raster durch ein spezifisches Symbol darstellen (doppeldeutige Verschlüsselung), so könnten der Schall oder die Musik durch eine Protokoll genannte Folge von Symbolen wiedergegeben werden:

a b g k a b b g

in der jeder Buchstabe Raster und Augenblicke t für isochrone Δt identifiziert.

Ohne die Ursachen dieser oder jener Folge von Rastern aufzusuchen, d. h. ohne in die physikalische Struktur der Schallereignisse einzutreten, noch auch in die logische Struktur der Komposition, können wir gewisse Arten von Folgen, gewisse Sorten von Protokollen freilegen. Wir verweisen hinsichtlich dieser Frage auf die Fachliteratur [16]. Hier werden wir einen kurzen Überblick über die elementaren Definitionen geben.

Eine beliebige Sache, oder ihr Einzelsymbol, wird *Glied* genannt. Zwei aufeinander folgende Glieder materialisieren einen *Übergang*. Das zweite Glied heißt die *Umgewandelte*, und die vorgenommene Veränderung wird dargestellt durch:

Glied A $\longrightarrow$ Glied B

oder auch

A $\longrightarrow$ B

Eine *Umwandlung* ist eine Gruppe von Übergängen. Aus dem vorhergehenden Protokoll abgeleitetes Beispiel:

$$\begin{array}{ccccccccc} | & a & b & g & k & . & . & . & . & . \\ \downarrow & b & g & k & a & . & . & . & . & . \end{array}$$

anderes Beispiel:

↓ do re la . . .
↓ si sol mi . . .

anderes Beispiel:

The first system of musical notation for 'The Song of the Lark' features a treble clef and a key signature of one flat (B-flat). The melody begins with a quarter note G4, followed by a quarter note A4, and then a quarter note B-flat4. The music continues with a series of eighth and sixteenth notes, including a triplet of eighth notes (G4, A4, B-flat4) and a quarter note C5. The system concludes with a quarter note B-flat4 and a quarter note A4.

Eine Umwandlung ist *geschlossen*, wenn die Gruppe der Umgewandelten nur Elemente enthält, die zur Gruppe der Glieder gehören.

Beispiele:

das Alphabet: $\downarrow$ a b c z
 $\downarrow$ b c d a

↓	c	cis	d	dis	e	f	fis	g	a	ais	h
↓	d	fis	g	c	f	h	a	dis	cis	e	ais

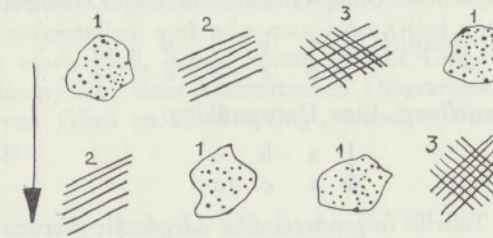


Abb. 25

- 1) Wolke punktförmiger Töne, z. B. Pizzicati
- 2) Netz paralleler Glissandi in einer Richtung
- 3) Netz paralleler Glissandi in zwei Richtungen

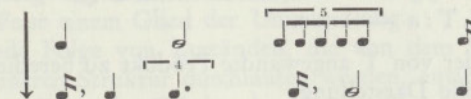
mit einer Unendlichkeit	↓	1	2	3	4	5	6	.	.	.	.	.	.
von Gliedern	↓	6	7	4	100	1	2	.	.	.	.	.	.

Eine Umwandlung ist *eindeutig*, wenn jedes Glied nur eine einzige Umgewandelte hat.

Beispiel: $\begin{array}{ccccccc} & a & b & c & d & \dots & \dots \\ \downarrow & & & & & & \\ & b & c & d & e & \dots & \dots \end{array}$

Beispiele für nicht eindeutige Umwandlungen:

↓	a	b	c	...
↓	b, c	d	m, n, p	...



Änderung der Klangfarbe einer Gruppe von Werten:

Klang- farben	Klarinetten	Hobo- en	Streicher	Pauken	Blechinstrumente
	Pauken	Pauken	Blech- instrumente	Hobo- en	Streicher
	Streicher	Fagott			Hobo- en

Charakterologie der konkreten Musik [4,5]

„Gangart“	↓	null	vibriert	zitternd	zyklisch	unregelmäßig
		zyklisch	unregelmäßig	null	zitternd	null
		zitternd		unregelmäßig	vibriert	zyklisch

Eine Umwandlung ist *doppelseitig*, wenn jedes Glied eine einzige Umgewandelte hat und jede Umgewandelte aus einem einzigen Glied hervorgegangen ist.

Beispiel: $\downarrow \begin{array}{cccc} a & b & c & d \end{array} \dots \dots$
 $\downarrow \begin{array}{cccc} b & c & d & e \end{array} \dots \dots$

Matrizielle Darstellung. Eine Umwandlung:

$\downarrow \begin{array}{ccc} a & b & c \\ a & c & c \end{array}$

kann durch eine Tabelle folgendermaßen dargestellt werden:

$\downarrow$	a	b	c
a	+	0	0
b	0	0	0
c	0	+	+

oder

$\downarrow$	a	b	c
a	1	0	0
b	0	0	0
c	0	1	1

Diese Tabelle ist eine Matrize der Übergänge von der Gruppe der Glieder zu der der Umgewandelten.

Produkt: Zwei Umwandlungen T und U:

T: $\downarrow \begin{array}{cccc} a & b & c & d \\ b & d & a & b \end{array}$ und U: $\downarrow \begin{array}{cccc} a & b & c & d \\ d & c & d & b \end{array}$

In gewissen Fällen können wir auf ein Glied n von T eine Umwandlung T und anschließend eine Umwandlung U anwenden. Dies wird geschrieben: $U[T(n)]$ und ist das Produkt der beiden Umwandlungen T und U, vorausgesetzt, daß die Umgewandelten von T die Glieder von U sind. So erhalten wir zunächst $T: a \longrightarrow b$, anschließend $U: b \longrightarrow c$ und zusammengefaßt $V = U \cdot T: a \longrightarrow c$.

Um das auf alle Glieder von T angewandte Produkt zu berechnen, verwenden wir die matrizielle Darstellung:

$\downarrow$	a	b	c	d
T: a	0	0	1	0
b	1	0	0	1
c	0	0	0	0
d	0	1	0	0

U:

$\downarrow$	a	b	c	d
a	0	0	0	0
b	0	0	0	1
c	0	1	0	0
d	1	0	1	0

und die Gesamtumwandlung V ist gleich dem Produkt der beiden Matrizen T und U in der Reihenfolge U, T.

$$\begin{array}{c|ccc} & U & T & V \\ \hline \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{array} & \begin{array}{ccc|ccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{array} & = & \begin{array}{ccc|ccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{array} \end{array}$$

Das *kinematische Diagramm* ist ein graphischer Ausdruck der Umwandlung. Um es aufzustellen, verbindet man jedes Glied mit seiner Umgewandelten durch einen Pfeil, dessen Spitze auf die Umgewandelte hinweist. Der *Darstellungspunkt* eines kinematischen Diagrammes ist ein gedachter Punkt, der von Glied zu Glied springt, wobei er den Pfeilen des Diagrammes folgt:

Beispiel:

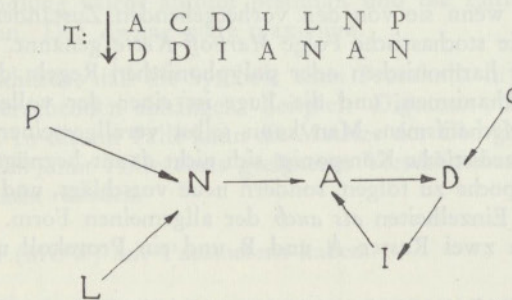


Abb. 26

Eine Umwandlung stellt in Wirklichkeit einen Mechanismus dar, und theoretisch lassen sich alle Mechanismen des physikalischen oder biologischen Universums durch Umwandlungen unter fünf Entsprechungsbedingungen wiedergeben:

- 1) jeder Zustand des Mechanismus (die Kontinuität wird in kleine, beliebig angenäherte Teilzustände zerlegt) entspricht in doppelseitiger Weise einem Glied der Umwandlung.
- 2) jede Folge von Zuständen, die von dem Mechanismus gemäß seiner inneren Struktur durchlaufen werden, entspricht einer ununterbrochenen Folge der Glieder der Umwandlung.
- 3) wenn der Mechanismus einen Zustand erreicht und darin verbleibt (Gleichgewichtszustand), so hat das diesem Zustand entsprechende Glied keine Umgewandelte.
- 4) wenn die Zustände eines Mechanismus sich unendlich in derselben Weise wiederholen, so zeigt die Umwandlung ein kinematisches Diagramm im geschlossenen Kreis.

- 5) ein Stillstand des Mechanismus und sein Wiederaanlaufen von einem beliebigen Zustand aus stellen in dem Diagramm eine Verschiebung des Darstellungspunktes dar, die nicht auf einen Pfeil, sondern auf eine willkürliche Aktion auf dem Papier zurückgeht.

Der Mechanismus ist bestimmt, sobald die entsprechende Umwandlung eindeutig und geschlossen ist.

Der Mechanismus ist nicht bestimmt, wenn die entsprechende Umwandlung nicht eindeutig ist. In diesem Falle wird die Umwandlung *stochastisch* genannt. In einem stochastischen Mechanismus müssen in der Umwandlungsmatrix die Zahlen 0 und 1 durch die relative Häufigkeit ersetzt werden. Hierbei handelt es sich um die Wahrscheinlichkeiten der Alternative dieser oder jener Umwandlung. Und der bestimmte Mechanismus bildet lediglich einen Sonderfall des stochastischen Mechanismus, in welchem die Übergangswahrscheinlichkeiten 0 und 1 sind.

Wenn in einer hinreichend langen Zeit diese Wahrscheinlichkeiten konstant sind, und wenn sie von den vorhergehenden Zuständen unabhängig sind, so wird die stochastische Folge *Markoff-Kette* genannt.

Beispiel: Alle harmonischen oder polyphonischen Regeln der klassischen Musik sind Mechanismen, und die Fuge ist einer der vollendetsten und bestimmtesten Mechanismen. Man kann selbst verallgemeinern und sagen, daß der avantgardistische Komponist sich nicht damit begnügt, den Mechanismen seiner Epoche zu folgen, sondern neue vorschlägt, und zwar *sowohl* hinsichtlich der Einzelheiten *als auch* der allgemeinen Form.

Gegeben seien zwei Raster A und B und ein Protokoll mit 50 Übergängen.

ABABBBABAABABABABBBBABAABABBAABABBABAAAABBAABBABBA

Die reellen Häufigkeiten der Übergänge sind:

A → B = 17 mal	A → B = 17 mal	Matrize der reellen Übergangshäufigkeit
B → A = 17 mal	A → A = 6 mal	
A → A = 6 mal	23 mal	↓ A B
B → B = 10 mal	B → A = 17 mal	
50 mal	B → B = 10 mal	
	27 mal	A 6 17
		B 17 10

Matrize der Übergangswahrscheinlichkeiten (MÜW)

(relative Häufigkeiten) ↓	A	B
A	0,26	0,63
B	0,74	0,37
	1,00	1,00

Wäre die vorstehende Matrize:

↓	A	B
A	0,5	0,5
B	0,5	0,5

so würde die Unvorhersehbarkeit der Folge von A und B ihren Höchstwert erreichen und die Entropie auch. Umgekehrt wäre der Zwang gleich Null.

Wäre die vorstehende Matrize gewesen:

↓	A	B
A	0	1
B	1	0

Die Umwandlung würde absolut bestimmt und die Entropie der Folge gleich Null sein. Der Zwang wäre maximum.

Es kann geschehen, daß die Symbole eines Protokolls in gewisser Weise von den vorhergehenden abhängen. Beispiel: Digramm-, Trigrammprotokolle usw. . . . In diesem Falle kann die Matrize der Übergangswahrscheinlichkeiten (MÜW) mit Hilfe eines geeigneten Verschlüsselungssystems unabhängig gemacht werden.

Wir können (MÜW) mit Parametern haben.

Beispiel:

↓	A	B	↓	A	B	↓	A	B
a) A	0,26	0,63	b) A	0,5	0,5	c) A	1	0
B	0,74	0,37	B	0,5	0,5	B	0	1

Die a, b, c sind Parameter.

Wir können zwei oder mehrere (MÜW) mit verschiedenen Symbolen unter der Voraussetzung koppeln, zwischen den verschiedenen Parametern eine bestimmte oder stochastische Umwandlung einzuführen.

Auf diese Weise kann ein Protokoll der Klangfarben mit einem Intensitätsprotokoll und einem Frequenzprotokoll usw. gekoppelt werden. Und jedes der Protokolle kann mit allen anderen paarweise gekoppelt werden.

Isolierte oder gekoppelte Mechanismen können eine oder mehrere Situationen der Stabilität, des Gleichgewichtes besitzen, zu denen sie in einer einzigen Weise hinneigen oder nicht. Und der stochastische Mechanismus ist ebenso wie ein bestimmter Mechanismus ein geschlossenes Ganzes.

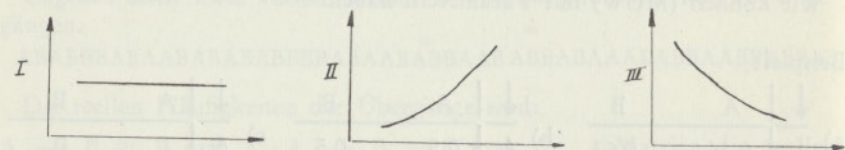
Wenn eine Matrize von Übergangswahrscheinlichkeiten (MÜW) einen theoretischen Gleichgewichtszustand besitzt, so neigt ihr Protokoll zu einer in der Zeit stabilen und homogenen (ergodischen) Proportionalität der Zustände. Diese Proportion der Symbole ist der letzte Gleichgewichtszustand. Im zweiten Teile werden wir zwei Methoden für die Berechnung dieses Stabilitätszustandes einer MÜW, sowie die Definition einer mittleren Entropie antreffen. Mit Hilfe dieser mittleren Entropie werden wir in der Lage sein, die Ataxiegrade dieses oder jenes Mechanismus zu definieren und anschließend zu vergleichen, die wir auf eine Zusammenstellung von Rastern angewandt haben.

Auf diese Weise kann alles, was über die Ataxie der Partikel, der Wolken gesagt worden ist, verallgemeinert und auf die Kollektionen (Hefte) von Rastern übertragen werden. Ein fundamentales Kriterium für die Entwicklung einer Musik kann durch die Umwandlungen der Ataxie in der Zeit gebildet werden.

Zum Beispiel: In der musikalischen Komposition ist es sehr geläufig, nicht alle möglichen Reichtümer sogleich zu liefern, sondern sie aufzusparen und in der Zeit nach und nach einzuführen. Es kann ebenfalls vorkommen, daß man sich eine Musik vorstellt, die ihre ganze Verschiedenartigkeit auf einmal zu Beginn gibt und sie anschließend in der Zeit ummünzt.

Die elementaren Entwicklungen der Ataxie können durch die folgenden Diagramme schematisiert werden:

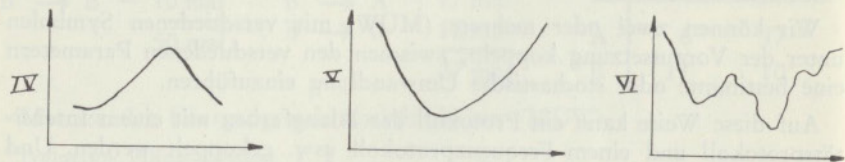
Ataxiegrad



I Die Entwicklung ist gleich null.

II Der Grad der Unordnung, der Reichtum, nimmt zu.

III Die Ataxie nimmt ab



IV Die Ataxie nimmt zu und anschließend ab

V Die Ataxie nimmt ab und anschließend zu

VI Die Entwicklung der Ataxie ist sehr komplex, läßt sich aber durch die drei ersten Diagramme analysieren.

Abb. 27

Das Diagramm VI kann in Form eines Protokolles gegeben werden. Die Ataxie kann also in Matrizenform mit Parametern usw. gebracht werden, und alle logischen Regeln der Umwandlungen, von denen bisher die Rede war, lassen sich auf die MÜW der Entropie anwenden.

Wie wird die Ataxie wahrgenommen? In mannigfaltiger Weise. Wenn die Partikel einer gegebenen Rasterfläche in ergodischer Weise verteilt sind, so wird die Steigerung der Dichte den Reichtum, die Unvorhersehbarkeit, die Entropie erhöhen.

In derselben ergodischen Verteilung der Partikel wird, wenn sich gewisse Symmetrien in der Anordnung der Partikel zeigen und wahrnehmbar sind, ein Zwang gespürt, woraus sich eine Verminderung der Entropie ergibt.

In derselben Verteilung wird, wenn melodische oder harmonische Verbindungen vorgenommen und wahrgenommen werden, die Unvorhersehbarkeit verringert und die Entropie auch.

So ist, nach dem ersten Ablauf einer Zwölftonreihe der temperierten Tonleiter, die Unvorhersehbarkeit auf Null abgefallen, der Zwang erreicht seinen Maximalwert, die Wahl ist gleich Null und die Entropie ebenfalls. Der Reichtum, also das Interesse wird auf andere Gebiete gelenkt: Harmonien, Klangfarben, Dauern usw., und viele kompositionelle Kunstgriffe zielen darauf ab, die Entropie wiederzubeleben.

In Wirklichkeit ist der Schallvortrag nur eine ewige Schwankung der Entropie in allen ihren Formen [17].

Jedoch folgt die menschliche Empfindung nicht unbedingt der Schwankung der Entropie, selbst wenn diese logarithmisch mit geeigneter Basis ist. Es ist vielmehr eine Aufeinanderfolge, ein Protokoll von Spannungen und Entspannungen mit allen Arten von Schattierungen, welche oftmals den Hörer in der der Entropie entgegengesetzten Richtung bewegen. So besitzt der Bolero von Ravel, dessen einzige Variation die Dynamik ist, eine Entropie, die von der dritten oder vierten Wiederholung des Grundgedankens an praktisch gleich Null ist. Dennoch nimmt das Interesse oder vielmehr die psychische Bewegung mit der Zeit zu, und zwar gerade wegen dieser Unbeweglichkeit — Banalität. Und jede Musik oder jede beschwörende Kundgebung zielt auf einen maximalen Spannungseffekt mit einer minimalen Entropie ab. Das Gegenteil trifft ebenfalls zu, und unter einem gewissen Gesichtswinkel gesehen, ist das weiße Geräusch mit seinem Maximum an Entropie sehr schnell ermüdend. Es scheint, daß es keine Entsprechung Ästhetik — Entropie gibt. Diese beiden Wesenheiten sind bei jeder Gelegenheit in ziemlich unabhängiger Weise miteinander verbunden. Diese Feststellung hingegen läßt noch etwas Raum für den freien Willen des Komponisten, und selbst dann, wenn dieser freie Wille, vergraben unter der Vielfalt der Errungenschaften der Kultur und der Zivilisation, nur noch ein Schatten ist, so besitzt er doch wenigstens eine Tendenz, einen einfachen Stochasmus.

Das große Hindernis für eine allzu unzeitige Verallgemeinerung ist insbesondere logischer Natur, denn ein Gegenstand ist nur Gegenstand in Abhängigkeit von seiner Definition, und es gibt insbesondere in der Kunst eine quasi Unendlichkeit von Entropien, denn der Begriff der Entropie ist eine Nebenerscheinung einer Definition. Welche ist oder welche sind gültig? Das Ohr, die Augen, schließlich das Gehirn entwirren manchmal unentwirrbare Situationen mit Hilfe dessen, was man Intuition, Geschmack, Verstand usw. nennt. Und zwei Definitionen mit zwei verschiedenen Entropien können als identisch wahrgenommen werden. Aber es ist ebenfalls wahr, daß die Gesamtheit der Definitionen eines Gegenstandes ihren eigenen Grad an Unordnung besitzt.

Was uns in dieser Darlegung interessiert ist nicht, eine in so schwieriger Weise komplexe und unerforschte Situation zu ergründen, sondern einfach einen Überblick über die Möglichkeiten zu geben, welche die Randgebiete des zeitgenössischen Denkens bieten, um zu handeln, zu suchen.

Um mit kurzen Worten zu schließen — denn die nachfolgenden Anwendungen sind eindringlicher als erläuternde Texte — nehmen wir an, daß eine Kollektion, ein Heft von Rastern durch Matrizen der Übergangswahrscheinlichkeiten mit Parametern ausgedrückt werden kann. Sie umfassen einen Grad von Ataxie, eine Entropie, die sich unter gewissen Voraussetzungen berechnen läßt.

Wir werden jedoch annehmen, um die Analyse und anschließend die Synthese eines Klangwerkes dem gewöhnlichen Verständnis und dem Rechenschieber zugänglich zu machen, daß wir für einen Raster drei Kriterien unterscheiden.

1. — *Typologisches Kriterium*

Die Stellung der Fächer $\Delta F. \Delta G$ innerhalb des Hörbereichs ist qualitativ bedeutend, und eine Aufzählung ihrer möglichen Kombinationen ist geeignet, eine Gruppe von genau definierten Gliedern zu schaffen, auf die wir den Begriff der Entropie und ihrer Berechnung anwenden könnten.

2. — *Kriterium der Dichte*

Die Oberflächendichte der Partikel eines Faches $\Delta F. \Delta G$ bildet ebenfalls eine übrigens unmittelbar wahrnehmbare Eigenschaft, und wir könnten Glieder definieren, auf welche sich der Begriff und die Berechnung der Entropie anwenden ließen.

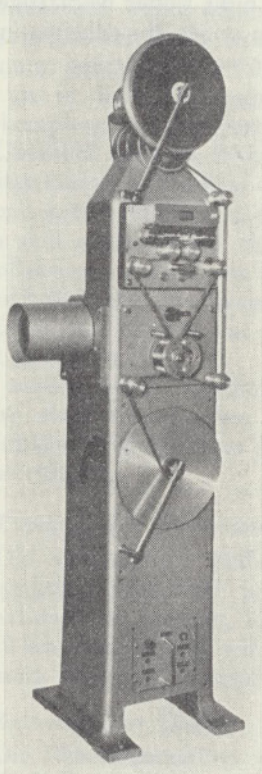
3. — *Kriterium der Ataxie* (definiert im Verhältnis zu den Partikeln eines Rasters)

Ein Fach hat drei Veränderliche: die mittlere Frequenz, die mittlere Amplitude und die mittlere Dichte der Partikel. Für einen Raster können wir also drei unabhängige oder miteinander verbundene Pro-

tokolle und anschließend drei Matrizen der Übergangswahrscheinlichkeiten aufstellen, die gekoppelt sind oder nicht. Jede der Matrizen hat ihre Entropie, und die drei gekoppelten Matrizen besitzen eine mittlere Entropie. In dem klanglichen Ablauf können wir mehrere Serien von drei Matrizen, also mehrere Serien mittlerer Entropien aufstellen, wobei ihre Variationen das Kriterium der Ataxie bilden.

Die beiden ersten Kriterien, welche allgemein sind und auf der Ebene der Raster liegen, werden uns in der Folge nicht weiter beschäftigen. Andererseits wird das dritte, konventionellere in seinen Einzelheiten im zweiten Teil, dem der Anwendungen, wieder aufgenommen.

Recording and Reproduction Equipment for Magnetic Film



MB 2/1 — 35 W

Our equipment is used for sound recording and playback by leading European film and TV studios.

Unsere Geräte werden von führenden europäischen Film- und Fernsehstudios zur Tonaufnahme und Wiedergabe verwendet.



Magnetfilm-Geräte

EINRICHTUNGEN FÜR DIE STUDIOTECHNIK

WILHELM ALBRECHT GMBH BERLIN-NEUKÖLN, JULIUSSTRASSE 51

Elements of Stochastic Music

by

IANNIS XENAKIS

III

SUCCESION OF SCREENS

Till now we admitted that any sound, any music can be described by means of a certain number of screens disposed in the lexicographical order of the pages of a book. By representing each of the screens by a specific symbol (bi-univocal code) the sound or the music may be translated by a succession of symbols called protocol:

a b g k a b b g

Where each letter is identifying the screens and the instants t for isochroneous Δt .

Without researching the reasons for this succession of screens or for that other one, that means without considering neither the physical structure of acoustic events nor the logical structure of the composition, we are able to set free certain kinds of successions, certain kinds of protocols. Concerning this question we refer to the specialized literature [16]. Here we'll only give a rapid survey of elementary definitions.

Any thing, or its only symbol, is called *term*. Two terms succeeding one each other materialize a *transition*. The second term is called the *transformed*, and the change which has been operated is represented by:

Term A $\longrightarrow$ Term B

or also

A $\longrightarrow$ B

A *transformation* is a group of transitions. Example which is drawn from the preceding protocol:

↓ a b g k
↓ b g k a

another example:

↓ do re la
↓ si sol mi

another example:

↓

A transformation is *closed* when the group of transformed doesn't contain but elements belonging to the group of terms.

Examples:

the alphabet: $\downarrow$ a b c z
 $\downarrow$ b c d a

$\downarrow$ c c# d d# e f f# g a a# b
 $\downarrow$ d f# g c f b a d# c# e a#

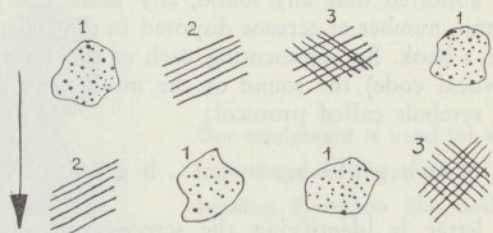


Fig. 25

- 1) Cloud of punctual tones, e. g. pizzicati
- 2) Network of parallel glissandi in one direction
- 3) Network of parallel glissandi in two directions

with an infinity of terms $\downarrow$ 1 2 3 4 5 6
 $\downarrow$ 6 7 4 100 1 2

A transformation is *univocal* when every term has only one transformed.

Example: $\downarrow$ a b c d
 $\downarrow$ b c d e

Examples of not univocal (many-one) transformations:

$\downarrow$ a b c
 $\downarrow$ b,c d m, n, p

$\downarrow$ [Musical notation: a quarter note, a half note, a quarter note, a quarter note, a quarter note, a quarter note]

Change of the timbre of a group of values

	Clarinet	oboe	strings	kettledrums	brass instruments
Timbres	[kettledrums]	[kettledrums]	brass instruments	oboe	strings
	[strings]	[bassoons]		oboe	

Characterology of concert music [4,5]

Rhythm	Null	vibrated	trembling	cyclic	irregular
	[cyclic trembling]	irregular	[null irregular]	trembling	[null vibrating cyclic]

A transformation is *bi-univocal* when every term has only one transformed and when every transformed comes from only one term.

Example: $\downarrow$ a b c d
 $\downarrow$ b c d e

Matrix representation. A transformation:

$\downarrow$ a b c
 $\downarrow$ a c c

can be represented by a table in the following way:

$\downarrow$	a	b	c
a	+	0	0
b	0	0	0
c	0	+	+

or

$\downarrow$	a	b	c
a	1	0	0
b	0	0	0
c	0	1	1

This table constitutes a matrix of transitions from the group of terms to that of the transformed.

Product: Two transformations T and U:

T: $\downarrow$ a b c d
 $\downarrow$ b d a b

and U: $\downarrow$ a b c d
 $\downarrow$ d c d b

In certain cases we can apply to a term n of T a transformation U. This is written: U [T (n)] and is the product of both of the transformations T and U under the condition that the transformed of T are the terms of U. So we get first T : a $\longrightarrow$ b and then U : a $\longrightarrow$ c and summed up V = U . T : a $\longrightarrow$ c.

In order to calculate the product which is applied to all terms of T we'll utilize the matrix representation:

$\downarrow$	a	b	c	d
a	0	0	1	0
b	1	0	0	1
c	0	0	0	0
d	0	1	0	0

T:

$\downarrow$	a	b	c	d
a	0	0	0	0
b	0	0	0	1
c	0	1	0	0
d	1	0	1	0

U:

and the whole transformation V is the product of both of the matrixes T and U in the order U, T.

$$\begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}$$

The *kinematic diagram* is a graphical expression of the transformation. For its realization every term is connected with its transformed by an arrow the head of which is directed towards the transformed. The *representative point* of a kinematic diagram is an imaginary point bounding from one term to the other following the arrows of the diagram:

Example:

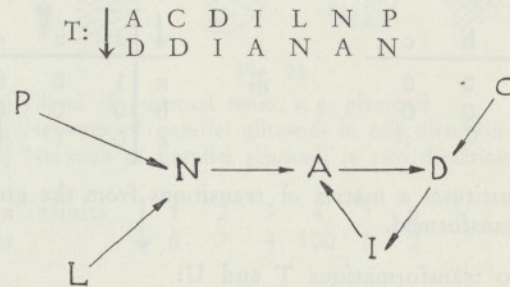


Fig. 26

In reality a transformation is a mechanism and theoretically all mechanisms of the physical or biological universe can be represented by transformations under five conditions of correspondence:

- 1) all states of the mechanism (the continuity is decomposed into discrete states which can be closed together as wanted) correspond bi-univocally to one term of the transformation.
- 2) all successions of states crossed by the mechanism according to its internal structure correspond to an uninterrupted succession of the terms of the transformation.
- 3) if the mechanism reaches a state and remains in it (balance state) the term corresponding to this state has no transformed.
- 4) if the states of a mechanism occur infinitely in the same way, the transformation presents a closed circuit kinematic diagram.

- 5) a stop of the mechanism and its starting again from a state whatever represent a displacement of the representative point within the diagram which is not due to an arrow but to an arbitrary action on the paper.

The mechanism is determined when the corresponding transformation is univocal and closed.

The mechanism is not determined when the corresponding transformation is not univocal. In this case the transformation is called *stochastic*. Within a stochastic mechanism it is necessary to replace the numbers 0 and 1 of the transformation matrix by the relative frequencies. Those are the probabilities of the alternative of such and such a transformation. And the determined mechanism is nothing else but a special case of a stochastic one the transition probabilities of which are 0 and 1.

If, within a sufficiently long period, these probabilities are constant, and if they are independent of the former states the stochastic succession is called *Markoff chain*.

Example: All harmonic or polyphonic rules of the classical music are mechanisms, and the fugue is one of the most achieved and most determined one. We even can generalize and say that the vanguard composer doesn't content himself in following the mechanisms of his epoch but sets up other ones, concerning both the detail and the general form.

We set two screens A and B and a protocol with 50 transitions.

ABABBBABAABABABABBBBABAABABBAABABBABAAABABBAABBABBA

The real frequencies of transitions are:

A → B = 17 times	A → B = 17 times	Matrix of absolute transition frequencies
B → A = 17 times	A → A = 6 times	
A → A = 6 times	23 times	↓ A B
B → B = 10 times	B → A = 17 times	
50 times	B → B = 10 times	A 6 17
	27 times	B 17 10

Matrix of transition probabilities (MTP)

(relative frequencies) ↓	A	B
A	0,26	0,63
B	0,74	0,37
	1,00	1,00

If the preceding matrix would have been:

↓	A	B
A	0,5	0,5
B	0,5	0,5

the unforeseeability of the succession of A and B would reach its maximum value and the entropy too. Inversely the compulsion would be zero.

If the preceding matrix would have been:

↓	A	B
A	0	1
B	1	0

The transformation would have been completely determined and the entropy of the succession is zero. The compulsion would be at its maximum value.

It happens that the symbols of a protocol depend, in a certain way, on the preceding ones. Example: digram, trigram protocols etc. In this case the matrix of transition probabilities (MTP) can be made independent by means of a suitable coding system.

We can have (MTP) with parameters:

Example:

a)	↓	A	B
	A	0,26	0,63
	B	0,74	0,37

b)	↓	A	B
	A	0,5	0,5
	B	0,5	0,5

c)	↓	A	B
	A	1	0
	B	0	1

The a, b, c are parameters.

It is possible to associate one or more (MTP) presenting different symbols under the condition however that a determined or stochastic transformation is introduced between the different parameters.

Thus a protocol of timbres can be connected with a protocol of intensities and a protocol of frequencies etc. And each of these protocols can be associated in couples to any other one.

Isolated or coupled mechanisms can have one or more situations of stability, of balance, towards which they are tending or not in only one way. And the stochastic mechanism is a closed whole just like a determined mechanism.

If a matrix of transition probabilities (MTP) has a theoretical state of balance its protocol tends towards a stable and homogeneous (ergodic) proportionality of states in time. This proportion of symbols is the final state of balance. In the second part we'll find two methods for the calculation of this balance state of a MTP as well as the definition of a mean entropy. This latter one will help us to define and afterwards to compare the degrees of the ataxy of such and such a mechanism which has been applied to a collection of screens.

In this way, all what has been said about the ataxy of the particles, of the clouds, can be generalized and transposed to the collections (books) of screens. A fundamental criterion of the evolution of a music can be formed by the transformations of the ataxy within the time.

For instance: In musical composition it is very common that the whole of possible abundance is not delivered at once but kept back to be introduced in time little by little.

But it may happen too that one imagine a music which gives all its variety at once in the beginning and coining it afterwards in the time.

The elementary evolutions of the ataxy can be schematized by means of the following diagrams:

Degree of Ataxy

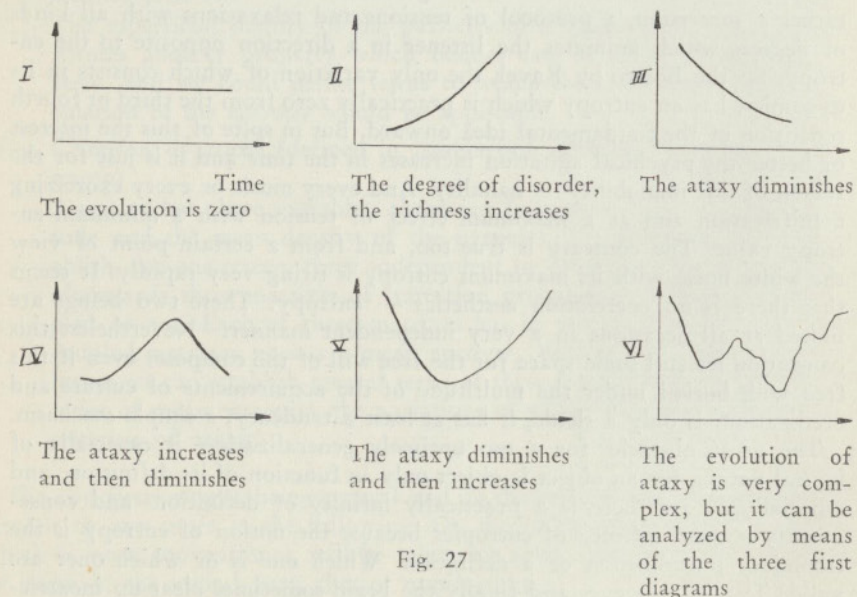


Fig. 27

The diagram VI can be given in the form of a protocol. So we can bring the ataxy into the form of a matrix with parameters etc. and apply all logical rules of the transformations we admitted up to now to the MTP of the entropy.

How to perceive the ataxy? In many ways. If the particles of a given space of a screen are distributed ergodically the increasing of the density will augment the richness, the unforeseeability, the entropy.

In this same ergodic distribution a compulsion is felt, when certain symmetries within the disposition of particles come out and are perceptible, and it results a diminution of the entropy.

In this same distribution the unforeseeability is diminished, and the entropy too, when the melodic or harmonic connections are effectuated and perceived.

Thus, after the first proceeding of a twelve-tone series of the tempered scale, the unforeseeability has fallen down to zero, the compulsion reaches its highest value, the choice is zero and the entropy too. The richness, the interest is displaced towards other factors: harmonies, timbres, durations etc. and a great number of compositional crafts aims at the reanimation of the entropy.

In effect, the acoustic discourse is nothing else but a perpetual fluctuation of the entropy in all its aspects [17].

Human sensibility however does not always follow the variations of the entropy even if the latter one is logarithmic with a suitable base. It is rather a succession, a protocol of tensions and relaxations with all kinds of degrees which animates the listener in a direction opposite to the entropy. So the Bolero by Ravel, the only variation of which consists in its dynamics, has an entropy which is practically zero from the third or fourth repetition of the fundamental idea onward. But in spite of this the interest or better the psychical agitation increases in the time and it is just for the reason of this immobility — banality. And every music or every exorcizing manifestation aim at a maximum effect of tension with a minimum entropy value. The contrary is true too, and from a certain point of view the white noise with its maximum entropy is tiring very rapidly. It seems that there is no correlation aesthetics — entropy. These two beings are linked at all occasions in a very independent manner. Nevertheless this constation let still some space for the free will of the composer even if this free will, buried under the multitude of the acquirements of culture and civilization, is only a shade, it has at least a tendency, a simple stochasm.

The great obstacle for a too untimely generalization is especially of logical nature, for an object is object only in function of its definition, and especially in art there is a practically infinity of definitions and consequently a quasi-infinity of entropies because the notion of entropy is the secondary phenomenon of a definition. Which one is or which ones are valid? The ear, the eyes and finally the brain sometimes clear up inextric-

able situations by means of that, what we call intuition, taste, intelligence etc. And two definitions having two different entropies can be perceived as to be identical. But it is true too that the whole of the definitions of an object has its proper degree of disorder.

But what we are interested in here is not to examine thoroughly a situation which is so difficultly complex and unexplored, but only to give a survey of the possibilities which are offered by the connected fields of contemporaneous thinking in order to act, to search.

Concluding with only few words — for the following applications are more eloquent than explicative texts — we suppose that a collection, a book of screens can be expressed by matrixes of transition probabilities with parameters. They include a degree of ataxy, an entropy which can be calculated under certain conditions.

However we'll admit, to bring the analysis and then the synthesis of an acoustic work to the level of common understanding and of the slide rule, that we distinguish three criteria of a screen.

1/ — *Topological criterion*

The position of the squares $\Delta F. \Delta G$ within the audible area is of qualitative importance and an enumeration of its possible combinations will be able to create a group of well defined terms to which we could apply the notion of entropy as well as its calculation.

2/ — *Density criterion*

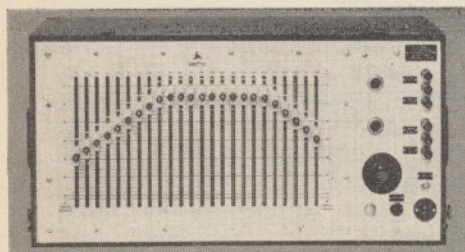
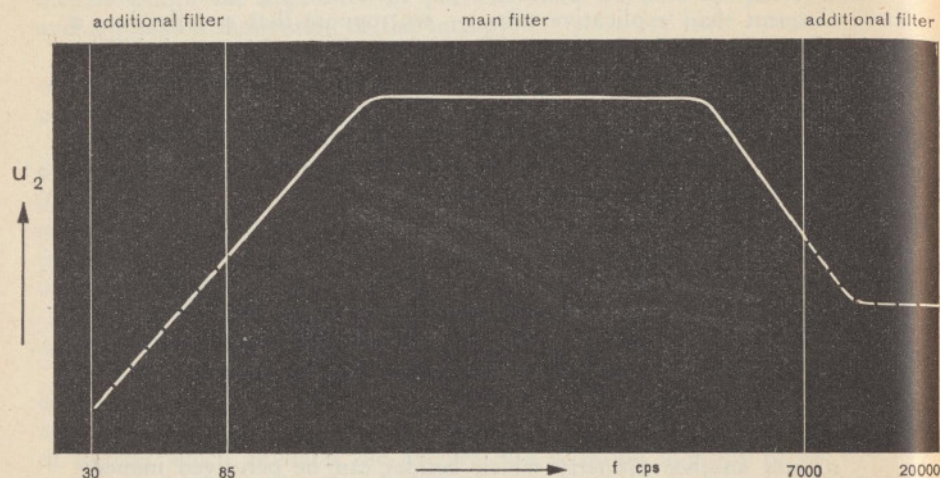
The superficial density of the particles of a square $\Delta F. \Delta G$ constitutes another property which besides can be perceived immediately, and we could define terms to which the notion and the calculation of the entropy would be applicable.

3/ — *Criterion of ataxy* (defined in comparison with the particles of a screen)

A square has three variables: the mean frequency, the mean amplitude and the mean density of the particles. Therefore we can establish, for one screen, three independent or connected protocols and afterwards three matrixes of transition probabilities which are coupled or not. Each of these matrixes has its entropy, and the three coupled matrixes possess a mean entropy. Within the acoustic evolution we can establish several series of three matrixes, that is several series of mean entropies, the variations of which are constituting the criterion of ataxy.

The two first criteria, being general and on the level of the screens, don't interest us any more in the following. On the other hand the third one, which is more conventional, will be taken up again and dealt with, items by items, in the second part, that of applications.

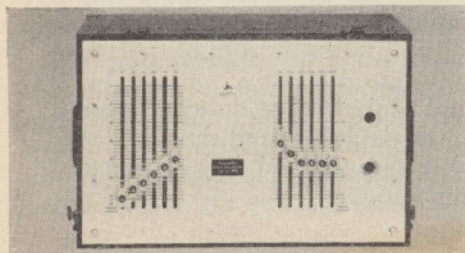
You may obtain any desired
frequency characteristic in
acoustical transmission



**with the variable ALBIS
voice-frequency filter.**

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

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



ALBISWERK ZURICH S.A.
ZURICH 9/47 SWITZERLAND

Audio Engineering Society

Da die Redaktion der GRAVESANER BLÄTTER der Meinung ist, daß die Arbeit jedes heutigen Elektroakustikers sich auf der Grenze zwischen Technik, Wissenschaft und Kunst bewegt, möchten wir den Leser mit der Audio Engineering Society bekannt machen und ihm den Beitritt zu empfehlen. Bitte senden Sie den ausgefüllten Antrag auf Seite 000 zusammen mit den Gebühren (in amerikanischer Währung) direkt an die AUDIO ENGINEERING SOCIETY, New York.

Was ist die AES?

Die Audio Engineering Society befaßt sich ausschließlich mit der Niederfrequenztechnik. Zu ihren, in vielen Ländern verteilten Mitgliedern zählen führende Persönlichkeiten der Elektroakustik. Die AES regt den Fortschritt auf diesem Gebiet an und macht die neuesten Entwicklungen prompt bekannt. Durch die Beschränkung auf die Elektroakustik allein ist es möglich, eine besonders große Anzahl von Arbeiten auf diesem Gebiet zu veröffentlichen.

Was sind ihre Tätigkeiten?

ZEITSCHRIFT — Das vierteljährlich erscheinende *Audio Engineering Society Journal* enthält technische Studien und Berichte von internationalen Kapazitäten der Elektroakustik.

VORDRUCKE — Viele der bei den AES-Tagungen gehaltenen Vorträge erscheinen als Vordrucke, die bei oder nach der betreffenden Tagung erhältlich sind. Mitglieder werden über alle neu erscheinenden Vordrucke regelmäßig unterrichtet.

TAGUNGEN — Die AES veranstaltet jeden Herbst eine Tagung in New York und jeden Winter eine an der Westküste der USA.

AUSZEICHNUNGEN für besondere Leistungen im Beruf oder für hervorragende Beiträge zur Elektroakustik, wie der Emile Berliner Award, der John H. Potts Memorial Award und der Audio Engineering Society Award, werden jährlich verliehen. Für vergangene Leistungen werden Elektroakustiker zu Ehrenmitgliedern ernannt.

Was sind die Stufen der Mitgliedschaft?

Jeder tätige Elektroakustiker mit einem Hochschuldiplom oder einer diesem gleichwertigen praktischen Erfahrung in der Elektroakustik und den damit verwandten Techniken kann MITGLIED sein. Die Jahresgebühr für Mitglieder beträgt \$ 10.00.

Jeder an der Elektroakustik Interessierte kann AUSSERORDENTLICHES MITGLIED sein. Nach seiner Ernennung hat ein außerordentliches Mitglied teil an allen Rechten der Mitgliedschaft außer dem Wahlrecht, dem Recht, ein Amt zu bekleiden oder einem Ausschuß vorzustehen. Die Jahresgebühr für außerordentliche Mitglieder beträgt \$ 8.00.

Jeder an der Elektroakustik interessierte Student einer anerkannten Universität, Hochschule oder höheren Lehranstalt kann der AES als STUDENTMITGLIED beitreten. Studenten können nicht wählen und dürfen in Ausschüssen nur in ihrer Ortsgruppe tätig sein. Die Jahresgebühr für Studentenmitglieder beträgt \$ 5.00.

Audio Engineering Society

Because the GRAVESANO REVIEW believes that today each sound engineer has to work in the borderlines of technique, science and art, we wish to inform our readers concerning the Audio Engineering Society and encourage them to affiliate themselves with this organization.

An application for membership may be sent directly to the AUDIO ENGINEERING SOCIETY, in New York City, enclosing dues payment in United States funds. Just complete form on Page 000.

What AES is

The Audio Engineering Society is devoted solely to audio technology. Its members, throughout the United States and in many foreign countries, include leading professionals and authorities in the audio field. It serves the world by stimulating and directing the advance of this vital technology, and by making the latest developments promptly and widely known. It can publish many more papers in the field of audio than can societies with multiple interests.

Activities of AES

JOURNAL. The Society publishes a journal four times each year. It contains engineering studies and reports from audio authorities in the United States and abroad.

PREPRINTS. Many papers read at the Conventions of the Society are made available as preprints and can be secured then or thereafter. Members are informed regularly of all new preprints.

CONVENTIONS. The Society holds two conventions a year, one in New York in the fall, and one on the West Coast in mid-winter.

AWARDS. The Society gives awards each year for professional leadership and outstanding contributions to the science, including the Emile Berliner Award, the John H. Potts Memorial Award and the Audio Engineering Society Award. Honorary Memberships and Fellowships are given for past contributions to the profession.

Stereophoner und Allabstrahler-Kugel

Zürcher Radio Studio

28. Oktober 1960

National-Zeitung, Abendausgabe, Basel, 4. November 1960

Mit größtem Interesse verfolgte das Auditorium die Darbietungen Hermann Scherchens. Er brachte eigene stereophone Aufnahmen („Erwartung“ von Schoenberg, „Lehrstück“ von Brecht-Hindemith), die zeigten, daß er durch sein vom künstlerisch ausgebildeten Ohr bestimmtes Verfahren zu ganz überraschenden Resultaten kommt. Sein Wunsch war es ferner seit langem, monaurale Aufnahmen mit Raumklang zu versehen. Im Zuge seiner Forschungen ist es ihm gelungen, seinen Stereophoner zu entwickeln. Man kann diesen Apparat an jedes Radiogerät anschließen, mit dem zweiten Lautsprecher verbinden und hört die Radiosendung dann mit Raumklang. Der Zauberkasten wurde vorgeführt. Es verblüffte die Zuhörer nicht wenig, die gerade ausgestrahlte UKW-Sendung sogleich räumlich vernehmen zu können. Hermann Scherchens Erfindung beabsichtigt, jeden kleinen Radiohörer in die Lage zu versetzen, auf denkbar billige Weise in den Genuß der Stereophonie zu kommen.

Schließlich wurde noch eine weitere Erfindung Scherchens vorgestellt, die zum Ziele hat, die Nachteile der nur von zwei Lautsprechern ausgestrahlten Musik zu beseitigen. Es handelt sich dabei um eine Kugel, die sich bei der Tonwiedergabe kontinuierlich dreht. Zwar stellt man bei der Ausstrahlung gelegentlich noch ganz minimale Schwankungen des Tones fest. Der Vorteil dieses Allstrahlers besteht aber darin, daß man als Hörer nicht mehr an einem ganz bestimmten optimalen Platz zu sitzen hat, sondern daß man überall in einem größeren Raum den gleich vorteilhaften stereophonen Empfang besitzt. Auch bei dieser Erfindung geht es Prof. Scherchen darum, die Stereophonie nicht einzelnen finanziell Bevorzugten, sondern einer breiten Schicht musikalisch Interessierter zugutekommen zu lassen.

Hans Oesch

Tagesanzeiger, Zürich, 5. November 1960

In einem zweiten Teil zeigte Prof. Hermann Scherchen, was er in seiner elektronischen Zauberküche schon alles erreicht hat: den „Stereophoner“, der einen monauralen Impuls auffächert und auf zwei Lautsprecher verteilt, so daß ein verblüffend plastischer Eindruck entsteht, echte stereophonische Aufnahmen, die alle durch eine faszinierende Transparenz fesselten, endlich seinen rotierenden Lautsprecherkugel-Versuch, den „idealen Nullstrahler“ zu konstruieren, d. h. einen Lautsprecher ohne Richteffekt, der den Klang nach allen Seiten gleichmäßig abstrahlt.

Absender:
From:

Mail to / An

AUDIO ENGINEERING SOCIETY
P. O. Box 12, Old Chelsea Station

NEW YORK 11, N. Y.

TESSIN

GRAVESANO

SCHWEIZ

Elektroakustisches Experimentalstudio Hermann Scherchen

Montag, den 7. bis Sonnabend, den 12. August 1961

6 Colloquien

unter Leitung und mit Vorträgen

FÜHRENDER INTERNATIONALER FACHSPEZIALISTEN

Demonstrationsmuster, Vorführungen, gemeinsames Experimentieren

über:

P R O B L E M E

der

T E L E V I S I O N

(dramaturgisch, visuell-akustisch, wiedergabetechnisch, raumakustisch,
klangelektronisch, raumklangbezogen)

Teilnahmebedingungen und ausführliches Programm zu erfragen:

Elektroakustisches Experimentalstudio Hermann Scherchen

GRAVESANO [Tessin / Schweiz]

TESSIN

GRAVESANO

SWITZERLAND

Electroacoustic Experimental Studio Hermann Scherchen

Monday, 7th to Saturday, 12th August, 1961

6 Colloquia

under the direction of and with lectures by

LEADING INTERNATIONAL SPECIALISTS

Demonstrations and joint experimenting

on

P R O B L E M S

of

T E L E V I S I O N

in

Dramatic production, Picture sound, Reproduction, Studio acoustics,

Sound electronics, Three-dimensional sound

Conditions of participation and detailed programme from

Electroacoustic Experimental Studio Hermann Scherchen

GRAVESANO [Tessin, Switzerland]