

GRAVESANER

BLÄTTER

HERAUSGEBER HERMANN SCHERCHEN

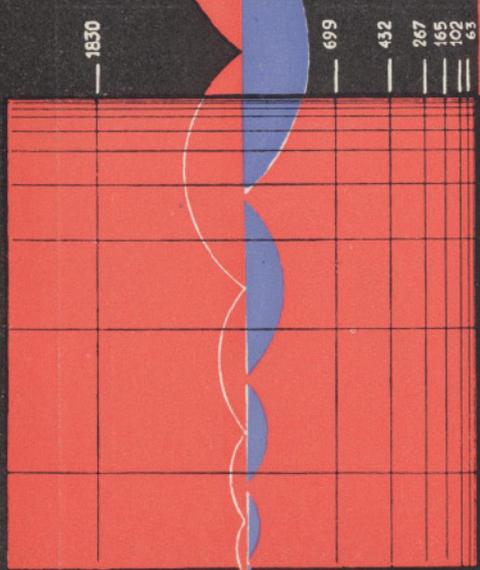
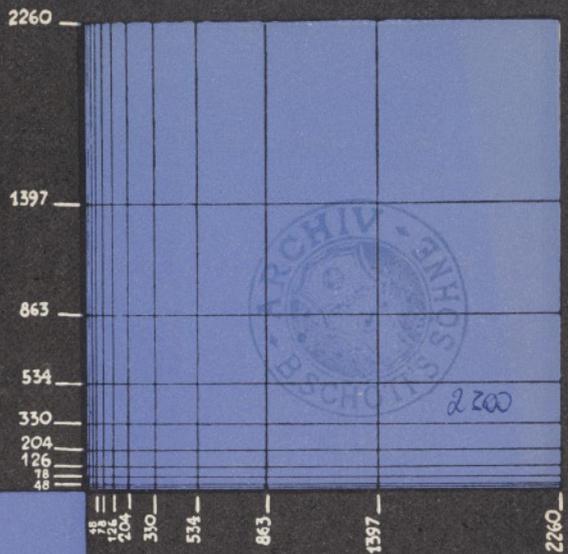
ENGLISCH-DEUTSCH

ARS VIVA VERLAG  
(HERMANN SCHERCHEN)  
GMBH · MAINZ

MUSIKALISCHE, ELEKTROAKUSTISCHE UND  
SCHALLWISSENSCHAFTLICHE GRENZPROBLEME  
1960

JAHRGANG V HEFT

17



**RADIOTECHNISCHES LABORATORIUM**

**HANS LURF**

**WIEN 1**

**REICHSRATSSTRASSE 17**

**TELEFON 332169**

Für die messtechnische Anwendung auf dem Gebiet der  
**SCHALL- UND SCHWINGUNGSFORSCHUNG:**  
 DIN-Lautstärke-Schallpegelmesser, Oktavfilter und Sonefilter, Such-  
 tonanalysatoren mit Zusatz- und Hilfseinrichtungen



**ROHDE & SCHWARZ · MÜNCHEN 9**

**G R A V E S A N E R B L Ä T T E R**

Nr. XVII

V. Jahrgang

1960

**INHALT**

	Seite
Musik und Elektroakustik . . . . .	R. Vermeulen 2
Anmerkung zu den „zeitbedingten Wechselwirkungen“ . . . . .	Pierre Schaeffer 12
Erhaltung und Lagerung von Schallaufnahmen . . . . .	A. G. Pickett und M. M. Lemcoe 78
Raumakustische Maßnahmen beim Umbau des Saales im Schützenhaus Herford zur Konzerthalle der Nordwestdeutschen Philharmonie	Ing. E. Tress 110
Ein Vorschlag zur Verbesserung des einkanaligen Hörens . . . . .	K. Wiese 112
Ein neuer Orchesterraum im Tanglewood Music Shed . . . . .	F. R. Johnson, L. L. Beranek, R. B. Newman, R. H. Bolt und D. L. Klepper 118
Automatische Bewertung von Musikaufführungen . . . . .	Andrew G. Pikler 137

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. XVII

Vol. V

1960

**CONTENTS**

	Page
Music and Electroacoustics . . . . .	R. Vermeulen 7
Note on Time Relationships . . . . .	Pierre Schaeffer 50
Preservation and Storage of Sound Recordings . . . . .	A. G. Pickett and M. M. Lemcoe 93
The Acoustics of the Schützenhaus Hall, Herford, Westphalia . . . . .	E. Tress B. E. 111
A Proposal for the Improvement of Single-channel Listening . . . . .	K. Wiese 115
Orchestra Enclosure and Canopy for the Tanglewood Music Shed	F. R. Johnson, L. L. Beranek, R. B. Newman, R. H. Bolt and D. L. Klepper 131
Precision in Ensemble Music Measured by Modern Recording and Analytic Techniques . . . . .	Andrew G. Pikler 140

Published by Experimental Studio Gravesano

Editor: Hermann Scherchen

**Extracts may not be published without permission**

## Musik und Elektroakustik\*

von

R. VERMEULEN

Es ist jetzt fünf Jahre her, seit Hermann Scherchen Musiker, Wissenschaftler und Techniker aus aller Welt nach Gravesano zu sich kommen ließ, um eine kühne und weitreichende Tat anzubahnen: die Musik, die Wissenschaft und die Technik sollten ihre gemeinsamen Ziele wieder gemeinsam anstreben. Zwei Arbeiten von hervorragenden Physikern hatten im selben Jahr das Bestehen eines echten Problems hervorgehoben; H. B. G. Casimirs Schlußvortrag des Ersten Kongresses für Elektroakustik der I. C. A., "Music, Science and Technology", und die Rede von Robert J. Oppenheimer zum Abschluß des zweihundertjährigen Jubiläums der "Prospects of Arts and Sciences".

In vergangenen Zeitaltern war die Kunst so eng mit der damaligen Technik verbunden, daß der Künstler auch gleichzeitig Handwerker war. Was konnte ihm die Wissenschaft schon helfen? Als in der Renaissance die Philosophie sich von der meditierenden Spekulation zum systematischen Experiment und zur quantitativen mathematischen Analyse hinwandte und so zur Naturwissenschaft wurde, hatte man in ihr eine unschätzbare Kenntnisquelle, die der Technik — die sich gleichzeitig von der Kunst zu trennen begann — ein vollkommen neues Gesicht gab.

Als ich vor fünfunddreißig Jahren meine ersten Lautsprecher baute, erwartete ich ganz selbstverständlich, das zuverlässigste Urteil von seiten der Berufsmusiker bekommen zu können. Wie groß aber war meine Enttäuschung, als sich herausstellte, daß sie nicht nur nicht besonders interessiert waren, daß sogar ihre Meinung mehr von den wiedergegebenen Musikern — Komponist sowie Interpret — beeinflußt wurde als von den Fehlern meiner Lautsprecher! Lieber hörten sie gute Musik über einen schlechten Lautsprecher als schlechte Musik über einen guten Lautsprecher. Die wertvollste Kritik bekam ich schließlich von einem Kollegen, der, wenn auch keine musikalische Bildung, so doch ein scharfes Ohr besaß, sich also durch die Musik nicht beeinflussen ließ. Daraus zog ich die Konsequenz, daß die Musikwiedergabe kein musikalisches, sondern ein technisches Problem ist, und daß man die Musiker nicht mit in die Frage hineinziehen sollte.

Also stellten wir uns die wohlabgegrenzte Aufgabe, die Apparatur so zu bauen, daß die vom Lautsprecher ausgestrahlten Schallwellen ein genaues Doppel der von den Musikern erzeugten seien. Unser erster Fehler war die Annahme, daß der vom Mikrophon empfangene Schall die vollständige

\* Vortrag mit Vorführungen, Gravesano, 8. August 1959.

Aussage über die wiederzugebende Musik sei, daß wir also nichts weiter zu tun hätten, als diesen nachzuahmen.

Auch war es bequem zu glauben, daß diejenigen Parameter, die wir am leichtesten messen konnten, die wichtigsten seien: hier machten wir einen weiteren Fehler. Als das Kathodenstrahloszilloskop zu einem gebräuchlichen Meßgerät wurde, liefen wir Gefahr, die Abbildung der Schallwellen als nahe verwandt mit dem gehörmäßigen Eindruck zu betrachten. Es stellte sich heraus, daß dies einerseits nicht genügte, andererseits aber auch zu viel verlangt war. Also waren wir gezwungen, die Physiologie des Gehörs und die Psychologie der Schallwahrnehmung zu studieren.

Trotzdem es uns gelang, den Frequenzgang über den musikalisch zutreffenden Bereich hinaus zu erweitern, die Leistung der Verstärker immer mehr zu steigern und unerwünschte Geräusche wie Brummen und Kratzen, Summations- und Differenztöne, Übersprechung und magnetische Kopiereffekte zu beseitigen, trotz alledem war die Wiedergabe noch immer deutlich vom Original zu unterscheiden. Das machte uns große Sorgen.

Die Antwort auf die Frage, warum die sogenannte "HiFi" die Musik nicht wirklich naturgetreu wiederherstellen kann, war in der Tat ganz einfach. Auch der allerbeste Lautsprecher ist nicht imstande, einen besseren Eindruck hervorzurufen, als den, den man durch ein Loch in der Wand des Konzertsaals haben kann. Also machten wir vor 20 Jahren unsere ersten Versuche mit der Stereophonie, weil die Stereophonie dieses Loch zu einem großen Fenster vergrößert, durch welches man das Orchester hören kann. Aber auch die Stereophonie kann immer nur das *Orchester*, nie das *Konzert* nachahmen. Auch das wirkliche Orchester braucht einen Konzertsaal mit guter Akustik, also wäre es zu viel von einer Nachahmung verlangt, dies nicht zu brauchen! Also ist eine stereofone Wiedergabe nicht im Heim, sondern im Konzertsaal zu spielen. Ein klarer, aber leider bloß theoretischer Fall: man ahmt sowohl die vom Orchester erzeugten Schallwellen, als auch die von der Decke und den Wänden des Saals reflektierten nach. Es ergab sich aber, daß keine genaue Imitation nötig war, sondern daß man einen zwar sehr ungefähren, aber doch unerwartet saalähnlichen Halleindruck gewinnen konnte, wenn die Musik nur einige wenige Male von verschiedenen Richtungen und entsprechend verzögert wiederholt wurde. Dieses Verfahren nannten wir "*Ambiophonie*".

Das Sonderbare an der Stereophonie sowie der Ambiophonie ist, daß sie den Originalschall nicht einmal annähernd wiederherzustellen versucht, aber trotzdem einen musikalisch befriedigenden Eindruck erweckt. Einerseits ist das Gehör fast zu wählerisch, was gewisse, ihm wichtig erscheinende Eigenschaften des Schalls anbelangt: wird ein Klavierton in der Frequenz um die geringste Kleinigkeit verändert, so klingt er abscheulich. Andererseits ist das Gehör gerne bereit, sich aus zwei Schallquellen eine einzige subjektive Scheinquelle herzustellen — in der Stereophonie; ein paar

richtig verzögerte Wiederholungen aus verschiedenen Richtungen hält es für eine gute Nachahmung eines Saals — in der Ambiophonie.

Vor fünf Jahren führten wir in Gravesano eine Wiedergabe des Schlusschors aus Bachs Matthäuspasion vor, indem eine große Anzahl Lautsprecher über das Auditorium verteilt war.\* Diesen Lautsprechern wurde die Musik mit verschiedenen Verzögerungen mittels Magnetspeicher zugeführt. 1959 wurden nur noch vier Lautsprechersäulen verwendet, die je eine Spur eines 25 mm breiten Vierspurmagnettonbandes wiedergaben. Die Wirkung, für die man damals viele Lautsprecher benötigte, erzielt man jetzt mit nur vier Lautsprechern durch Anwendung des Prinzips der Stereophonie — daß man eine Schein-Schallquelle an jeder beliebigen Stelle zwischen zwei Lautsprechern orten kann.

Seit uns Sabine beigebracht hat, welche wichtige Rolle die "Nachhallzeit" in der Saalakustik spielt, sind wir geneigt, sie hier als den wesentlichsten, wenn nicht als den einzigen Parameter zu betrachten. Zur Zeit sind wir uns aber dessen bewußt, daß wenigstens noch ein Parameter, die "Diffusität" des Schallfeldes, vielleicht sogar noch wichtiger ist als die Verlängerung des Schalls. In einem Saal sind beide eng verbunden miteinander — ohne eine Vielzahl von Reflektionen an den Wänden, die den Schall auch verlängern, gibt es keine Schalldiffusion, wird der Schall nicht gleichmäßig verstreut. Die Wiedergabe eines Mozartschen Menuetts zeigte der Versammlung, daß es in der Ambiophonie möglich wird, auch bei einer kurzen Nachhallzeit den Schall gleichmäßig zu verteilen.

Nicht nur in der Musikwiedergabe findet die Ambiophonie Anwendung, sondern auch in der Verbesserung der Saalakustik bei einer lebendigen Orchesteraufführung. In diesem Fall wird ein Mikrofon über das Orchester gehängt und die Musik durch im Saal verteilte Lautsprecher aleatorisch verzögert wiedergegeben, was die Diffusität des Saals weitgehend verbessert. Apparatur zur Ambiophonie ist im Betrieb im Konzertsaal des "Residentie-Orkest" Den Haag, in der Mailänder Scala, im Palais de Chaillot (Paris) und im Großen Saal der Brüsseler Weltausstellung, um nur die allerwichtigsten zu nennen.

Noch immer waren die Musiker an dieser Entwicklung der angewandten Elektroakustik kaum oder gar nicht beteiligt. Die Musik wurde als eine gegebene Tatsache angesehen, als einen Gegenstand, den der Wissenschaftler als solchen zu untersuchen, der Techniker nach objektiven Normen zu behandeln hatte. Ihr subjektiver Geschmack und ihre musikalischen Vorurteile sollten sie nicht von ihrer Arbeit ablenken. Als ich 1954 in Gravesano die erste Bekanntschaft mit Pierre Schaeffers bahnbrechender Arbeit machte, war ich ziemlich überrascht, daß die Musiker sie ernst nahmen. Aber erst durch die Werke von Webern und Varèse konnte ich meine

\* R. Vermeulen, Stereophonie und Stereonachhall; Gravesano, Musik, Raumgestaltung, Elektroakustik, Ars Viva Verlag Mainz 1955, Juli, pag. 132—141.

Skepsis über die Produktion statt der Reproduktion der Musik durch elektronische Mittel überwinden. Verlangten die modernen Komponisten tatsächlich diese Klänge, wollten sie sie wirklich aus den traditionellen Musikinstrumenten erzwingen, so war der Elektroakustiker dazu berufen, ihnen Beistand zu leisten. Sicherlich konnte hier keine Rede davon sein, die Elektroakustik zwingen ihre Errungenschaften der Musik auf, um sie zu verderben, vielmehr war es eine einzigartige Gelegenheit, die Kluft, die zwischen der Kunst und der Technik entstanden war, zu überbrücken.

Unterschiede der Denkweise erschweren erheblich jede enge Zusammenarbeit; gegenseitiges Verständnis schlägt bald zu gegenseitigem Mißtrauen um. In Aufsätzen über die moderne Musik verstand ich oft die Wörter nicht, von dem Sinn gar nicht zu sprechen. In dem unterschiedlichen Gebrauch der Metapher tritt die Kluft zwischen Künstler und Wissenschaftler deutlich zutage. Der Wissenschaftler kann sie nicht entbehren, weil ihm die Worte zu seinen neuen Begriffen fehlen. Doch ist er bestrebt, ihre ursprüngliche Bedeutung so schnell als möglich hinter sich zu lassen und ihnen einen neuen, festen, eindeutigen Sinn zu geben, der womöglich noch mathematisch genau festgelegt ist. Der Künstler aber hat eine Abneigung zu vielgebrauchten Ausdrucksweisen — ist die Wahrheit, die er uns sagt, auch immer dieselbe, so will er sie wenigstens immer neu ausdrücken. Durch seinen Haß auf Plattheiten verwendet er verschiedene Wörter für ein und denselben Begriff und erweitert die Bedeutung anderer Wörter. Wenn er aber aus der Sprache der Wissenschaftler Ausdrucksweisen entlehnt, um ihnen eine viel allgemeinere Bedeutung zu geben, als die strengen Gewohnheiten der Wissenschaftler zulassen, dann wird der Ideenaustausch zwischen der Kunst und der Wissenschaft besonders schwierig und wimmelt von Mißverständnissen.

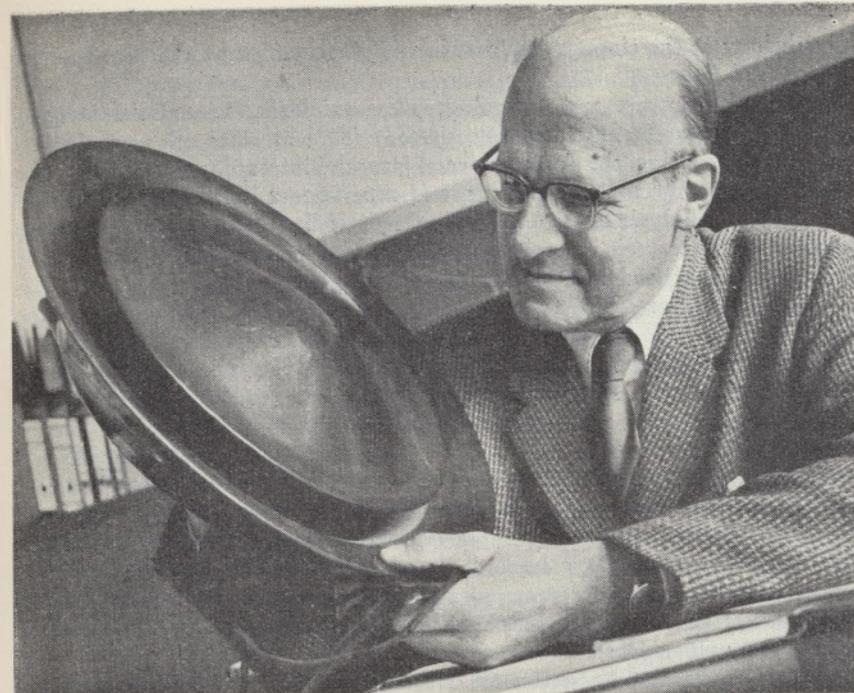
Auch die Beweisführung zwischen den beiden ist unterschiedlich. Der Wissenschaftler will jede Behauptung entweder experimentell oder logisch bewiesen haben; zieht der Techniker einen solchen Beweis auch vor, so muß er sich oft mit einer angemessenen Wahrscheinlichkeit über die Tatsachen zu seiner Verfügung begnügen. Der Künstler aber neigt viel mehr zu kulturphilosophischen Grübeleien; er hat schon eine Meinung darüber, wie die Welt oder seine Kunst sein sollte, bevor er weiß, wie sie wirklich ist, und er führt seinen Beweis entsprechend. Seine Wahrheiten sind von anderer, vielleicht höherer Art: sie basieren nicht auf Experimenten, sondern auf Offenbarung.

Wirkt der Wissenschaftler und der Techniker auch revolutionierend auf die Welt, so ist er doch selber das Ergebnis einer langen und mühsamen Entwicklung. Dies weiß er: ohne die Weisheit, die Erfahrung und das Können seiner Vorgänger wäre er nichts. Wenn er auch ein Naturgesetz neu ausdrückt, so tut er es nicht, um originell zu sein, sondern weil neue Kenntnisse es erfordern. Auf der anderen Seite scheint der Künstler einen

Drang zu haben, die alten Regeln umzuwerfen. Ihm ist die Originalität der Ausdrucksweise wesentlich. Aus Liebe zum Fortschritt will er manchmal Revolutionär sein und verliert sich in Dogma.

Aber es gibt auch Parallelen. Der Künstler sowie der Wissenschaftler arbeitet an den Grenzen einer sich entwickelnden Welt, er ist in den Bann gezogen von der Schönheit schöpferischen Denkens, welches unerforschte Regionen erschließt. Beide können in ihrer fortgeschrittensten Arbeit sich nur mit Menschen verständigen, die selber auf eigenem Gebiete Könner sind. Befriedigt dies auch den Wissenschaftler und spornt es ihn an zu weiteren Errungenschaften, so genügt es dem Künstler noch lange nicht. "Nicht für jedermann muß er schreiben, malen, spielen. Aber Menschen müssen sein Publikum ausmachen — Menschen, und keine hochausgebildete Schar von Experten." (Oppenheimer a. a. O.).

Trotz aller Schwierigkeiten der Verständigung zwischen Künstlern und Elektroakustikern müssen sie in der neuen Musik zusammenarbeiten. Die Unterschiede der Denkweise müssen sie als solche hinnehmen und achten und in ihrer Zusammenarbeit sich dessen erinnern. Für die Wissenschaft und die Technik ist es vielleicht die einzige praktische Möglichkeit, ihre eigenen Wege zu gehen und sich über die Theorien und Dogmen der Kunst nicht allzuviel zu kümmern. Soll der Wissenschaftler die physikalischen, physiologischen und psychologischen Gesetze der Akustik und sogar der Musik erforschen, der Techniker die Verfahren und Geräte entwickeln und verbessern, so wie sein Geist ihn führt: seine Arbeit stellt er dem Künstler zur Verfügung und läßt sich durch deren Gebrauch — und auch Mißbrauch — jederzeit zu weiteren Arbeiten anregen. Es kommt vielleicht der Tag, an dem sie ein Künstler anders verwendet, als man erwartete, sei es ein Genie, der damit den tiefsten Sinn unserer Gesellschaft ausdrückt, sei es ein Handwerker, der damit die Leute amüsiert und dadurch reich wird.



R. Vermeulen, 65 Jahre  
Chefingenieur des Philips Research Labors in Eindhoven

R. Vermeulen aged 65  
Chief Engineer of the Philips Research Laboratory, Eindhoven

## Music and Electroacoustics\*

by

R. VERMEULEN

Five years ago Hermann Scherchen called together musicians, scientists and engineers at his home in Gravesano in an heroic and far-reaching attempt to re-establish the collaboration of "Musik, Wissenschaft und Technik". That there existed a real problem was accentuated by two papers by outstanding physicists in the same year, one the Closing Lecture of the First I. C. A. Congress on Electroacoustics by H. B. G. Casimir on "Music, Science and Technology", the other the address by J. Robert

\* Lecture with demonstrations, read at the lustrum of the Gravesano Meetings on Saturday, 1959 August 8.

Oppenheimer at the close of the Bicentennial Celebration on the "Prospects of Arts and Sciences".

In the old times art and technology were so closely related that artist and artisan were one and the same person. To him Science was to little avail. When, during the Renaissance, Natural Philosophy switched over from meditative speculation to systematic experimentation and quantitative mathematical analysis of the data obtained, it became a profuse source of information, changing completely the aspects of technology which, at the same time, drifted away from the arts.

When, thirty-five years ago, I built my first loudspeakers, I quite naturally supposed that I could best check my results by asking the opinion of professional musicians. It was a great disappointment to find that they were not very interested, to say the least, and still worse, that their opinion was more influenced by the quality of the musicians, both composer and interpreter, than by the defects of my loudspeaker. They would prefer the reproduction of good music by a bad loudspeaker to that of bad music by a good loudspeaker. On the other hand I received the most valuable criticism from a colleague whose judgment was not swayed by the music itself because he was not musical at all, but who had very keen ears. So I came to the conclusion that the reproduction of music was not a musical but a technical problem and that we should not draw musicians into it.

We then embarked upon a well defined task i. e. to make the sound waves radiated by the loudspeaker an exact copy of the sound waves produced by the musicians, whatever the music they played. The first mistake we made was that we thought we had to copy the sound picked up by the microphone as representing the complete information on the music to be reproduced.

Another mistake was that we were inclined to think that the properties most convenient to measure were also the most important ones. When the cathode ray oscilloscope came a into common use the danger arose that the visual picture of the sound waves might be considered as closely correlated to the aural impression. We found that an exact copy was not enough, and at the same time too much to ask for. So we were obliged to study the physiology of the ear and the psychology of sound perception.

We became more and more disturbed by the fact that, notwithstanding the extension of the frequency range beyond the musically relevant, the increase of power of our amplifiers, the suppression of spurious sounds such as hum and hiss, sum tones and difference tones, modulation noise and magnetic echoes, the reproduced music could still be clearly distinguished from the original.

The reason for the failure of what is sometimes called "Hi Fi" to produce a really "life-like" reproduction of the music turned out, however, to be quite simple. Even the most perfect loudspeaker cannot do better than a

hole of the same dimensions in the wall of the concert hall. We therefore began 20 years ago, to study stereophony, a technique which makes it possible to widen this hole into a large window, as it were, through which we can hear the orchestra. But stereophony can only imitate the *orchestra*, not the *concert*. Even the live orchestra needs a concert hall with good acoustics so you cannot expect an imitation of it to do without. A stereophonic reproduction should therefore be played in the concert-hall, not in the home. The obvious, but alas theoretical solution to this is to imitate not only the sound waves as the orchestra produces them, but also the waves reflected by the ceiling and the walls of the concert hall. We found, however, that no exact copy was necessary but that even a small number of repetitions of the music from different directions and with appropriate time delays gave a very rough but surprisingly satisfactory approximation to the reverberant sound in the concert hall. This technique we called "*Ambiophony*".

The remarkable thing about both stereophony and ambiophony is that although they do not produce anything like an exact replica of the original sound-field, they still give a satisfactory musical impression. The ear is on the one hand almost over-particular about certain parameters of the sound which it considers important, e.g. a very slight variation in the frequency of a piano tone makes it sound revolting. On the other hand it is willing to combine two sound sources into a single phantom-source as in stereophony; it will accept a few repetitions with appropriate delays coming from different directions as a satisfactory imitation of the reverberation of a hall, as in ambiophony.

At the meeting at Gravesano five years ago we demonstrated the reproduction of the Final Chorus of Bach's St. Matthew's Passion by means of a large number of loudspeakers distributed throughout the auditorium.\* To these loudspeakers the music was fed with different time-delays obtained by means of a magnetic delay wheel. At the 1959 meeting only four loudspeaker-columns were used, each reproducing the signal from one of the four tracks of a magnetic tape one inch wide. The same effect as with many loudspeakers can now be obtained with only four by the application of the principle of stereophony, which makes it possible to place a phantom sound-source at any place between two loudspeakers.

Since Sabine taught us the importance of the "Reverberation time" as a characteristic parameter of the acoustics of a hall, we had become inclined to consider it as the only or at least the most important one. At present we are aware that at least one other parameter, the "diffuseness" of the sound-field, is perhaps even more important than the prolongation of the sound. In real halls the two are closely related, it being impossible

\* R. Vermeulen, *Stereophonic und Stereonachhall*; Gravesano, Musik, Raumgestaltung, Elektroakustik, Ars Viva Verlag, Mainz, 1955, Juli; pag. 132—141.

to diffuse the sound without a multitude of reflections from the walls, which necessarily also prolong the duration. In ambiophony we can make the sound-field diffuse with a short reverberation time, as was demonstrated at the meeting by the reproduction of a Minuet by Mozart.

Ambiophony may be used not only in the reproduction of music but also to improve the acoustics of a concert hall during the performance of a live orchestra. A microphone is then placed above the orchestra and the music is diffused with aleatoric delays by loudspeakers distributed over the hall. Ambiophony apparatus has been installed in the Concert hall of the "Residentie-Orkest" at the Hague, the Scala in Milan, the Palais de Chaillot in Paris and the Grand Auditorium at the "Expo" in Brussels, to mention only the most important ones.

Even in the development of these applications of electro-acoustics there was little or no collaboration with musicians. Music was still considered as a given object, to be studied as such by the scientist, to be handled by the technician according to objective standards. Their subjective taste or musical preferences should not be allowed to enter into their work. At the 1954 meeting at Gravesano I was confronted with the pioneer work of Pierre Schaeffer, and was rather surprised that it should be taken seriously by the musicians. Still rather sceptical about the use of electronic means in the production as opposed to the reproduction of music, I only became convinced by the compositions of Webern and Varèse. If these were indeed the sounds modern composers wanted and tried to produce by traditional instruments, then the electro-acoustician was certainly obliged to offer them the assistance they seemed to need. This was clearly not a case where electro-acoustics tried to corrupt music by forcing its achievements upon the composer; it was an opportunity to bridge the schism that had grown between art and technology.

A close collaboration is, however, made rather difficult by the difference in mentality which hinders mutual understanding and is apt to breed mutual distrust instead. When trying to read papers on modern music I often failed to understand even the meaning of the words. The schism between artist and scientist is clearly revealed by their use of metaphors. The scientist needs them because he has no appropriate words for his new concepts. He tries, however, to wear off the original meaning as rapidly as possible and to give them a unique, well-defined and fixed sense. He wants to express his new ideas unambiguously, as clearly and as accurately as possible, and preferably in a mathematical form. The artist, on the other hand, has an aversion for much-used metaphors, he looks for originality in the expression of the same eternal truisms. He dislikes platitudes and is therefore inclined to use different words for the same concept and to extend the meaning of other words.

This difference in style already makes verbal communication difficult and open to misunderstanding, especially when the artist borrows metaphors

from scientific language and applies them in a sense much more general than the strict habits of the scientist permit.

Moreover, there is a difference in style of argumentation. The scientist wants experimental or logical proof of every assertion. The engineer would also prefer such evidence but is more often than not obliged to content himself with a reasonable probability on the facts at his disposal. The artist is more inclined to cultural-philosophical speculations, he has a preconceived opinion on how the world or his art should be before he knows how it is, and chooses his arguments to carry his point. His truth has another, perhaps higher character, being founded on revelation instead of experiment.

The scientist and the engineer, though they revolutionize the world, are at heart evolutionists. They know that they would be nowhere without the wisdom, the experience and the know-how of their predecessors on whose shoulders they are standing. They do not seek to change the expressions of physical laws for the sake of originality but only when forced to do so by experimental facts. The artist seems to be compelled to reject the rules that held in the past. To him originality in expression is essential and in order to be progressive he often tries to be revolutionary and becomes dogmatic.

On the other hand there are also analogies. The artist and the scientist are both working at the frontiers of a changing world, both are fascinated by the beauty of inventive and creative thoughts which open new vistas onto unexplored regions. In their most progressive work both can only communicate with others who are skilled in their own art. But though this may satisfy and stimulate the scientist, this is not enough for the artist. "He need not write for everyone or paint or play for everyone. But his audience must be man; it must be man, and not a specialized set of experts among his fellows." (Oppenheimer l. c.)

Although it seems that it is almost insuperably difficult for the artist and the electro-acoustician really to understand each other's world, they are forced to co-operate in these new developments of music. They will have to accept their differences in mental approach, and they will have to respect them and in their contacts they must always be aware of them and keep them in mind. Perhaps the only practical course for the scientist and the engineer will be to go their own way and not to bother too much about the theories and dogmas of the artists. The scientist may search for the physical, the physiological and the psychological laws of acoustics and even of music; the engineer may develop and improve procedures and instruments as the spirit moves him. He will place the results of his work at the disposal of the composer and keep his mind open to the stimuli resulting from their use, or even misuse. Then perhaps, some day some composer or musician will use them in an unexpected way, be it a genius to express the deepest sense of our community, be it an artisan to amuse people and make money.

## Anmerkung zu den „zeitbedingten Wechselwirkungen“<sup>1</sup>

von

PIERRE SCHAEFFER

In einer frühen Arbeit<sup>2</sup> mit der allgemeinen Überschrift „Wechselwirkung zwischen Musik und Akustik“ hielt ich es für erforderlich, die Aufmerksamkeit auf die wesentlichen Unterschiede der Methode zwischen den akustischen Experimenten und der musikalischen Erfahrung zu lenken. Mit dem Begriff *Wechselwirkungen* bezeichne ich die Gesamtheit der Erscheinungen, die zwischen diesen zwei Bereichen entweder unvereinbar sind oder Verhältnisse zeigen, die problematisch genug sind, um eine eigene Forschung zu erfordern.

Um mich klarer auszudrücken, erinnere ich an die Arbeitshypothesen, die viele Forscher einfach hinnehmen: die Phänomene der Musik beruhen auf der akustischen Beschaffenheit der Klänge (die sich immer als eine Funktion der drei Parameter: Zeit, Frequenz, Intensität ausdrücken lassen); und, mehr oder weniger alle akustischen Erscheinungen kann man mittels geeigneter Erforschung der Physiologie des Gehörs (z. B. Frequenzgang) in den musikalischen Bereich transponieren.

Jahrelang protestiere ich gegen diese Einstellung, und zwar nicht nur, weil diese ganze Denkweise meiner Meinung nach falsch ist, sondern auch, weil sie zu Unrecht zu wissenschaftlichen Kunstbetrachtungen führt. Daraus ergab sich, daß das musikalische Werk nicht mehr um seiner Botschaft willen geschätzt, sondern aufgrund seiner Ausarbeitung gerechtfertigt wurde in der Annahme, diese Ausarbeitung sei wissenschaftlich begründet.

Ich bin mir bewußt, daß ich damit eine tiefgreifende Frage berühre, deren Widerhall überall dorthin reichen wird, wo Kunst und Technik von nun an nebeneinander hergehen. Außerdem meine ich, daß man in dieser Debatte die zwei Elemente des Philosophierens und des Experimentierens voneinander unterscheiden muß.

Gewisse Aspekte des Problems lassen sich zur Zeit überhaupt nicht erforschen: damit meine ich die Parteien, die in der Forschungsarbeit ergriffen werden, oder die verschiedenen geistigen Tendenzen, die den verschiedenen Denkweisen und den manchmal entgegengesetzten Intuitionen entsprechen. Diese Einstellungen können antagonistische Strömungen hervorrufen; doch kann der gute Willen, der Respekt vor der Wahrheit und die Höflichkeit das Motto der einen sowie der anderen sein, von denen Pascal gesagt hätte, sie sollten „einen Sinn, wenn nicht für Feinheiten, dann für Geometrie“ haben.

<sup>1</sup> Weiterentwicklung eines am 8. 8. 59 in Gravesano gehaltenen Vortrages.

<sup>2</sup> Gravesaner Blätter Heft 14.

Andererseits sind viele der Phänomene, die heute die Gemüter teilen, der Experimentation unterworfen; der gesunde Menschenverstand könnte über gewisse Methoden oder Arbeitshypothesen Kritik üben, da ihre inneren Widersprüche einer Analyse nicht standhalten. Eine Aufklärungsarbeit tut Not, um den Forschern der verschiedenen Richtungen ein festeres sowie gemeinsames Fundament, eine solidere Anschauungsweise sowie einen Hinweis zu geben, über gewisse Forschungsarbeiten in einer neuen Weise zu denken.

Zum Schluß dieses Beitrages kommen wir zu dieser allgemeinen Frage zurück. Aber es erscheint mir besser, diese Ausführungen auf den experimentellen Bereich zu beschränken, mit dem ich mich seit einigen Jahren in der Musikalischen Forschungsgruppe der RTF beschäftige. Es ist dies *die Stellung der Klänge in der Zeit, ihre zeitliche Entwicklung und der Begriff ihrer Dauer*.

Dieser Bereich hat gegenüber anderen, vollkommen undurchschaubaren akustischen musikalischen Erscheinungen den Vorteil, daß er sich ohne weiteres mit einer Schere bearbeiten läßt, da ja die gemessene Klangdauer einer bestimmten Länge Magnettonband entspricht. In diesem besonderen Fragenkomplex stellt der Zeitparameter das Problem der Wechselwirkungen auf ganz frappierende Weise dar. In der Jahrhunderte alten Musikgeschichte ist unsere Generation die erste, der es gelungen ist, etwas so Flüchtiges wie die Musik in einer Spur von Material, welche sie anscheinend als Ganzes aufgenommen hat, festzuhalten. Unsere Generation ist auch die erste, die eine Partitur auf Millimeterpapier gezeichnet hat.

Wir müssen die Entscheidung treffen: ist die in Bandzentimetern gemessene Zeit eine Realität als musikalischer Parameter, so hat all das einen Zweck; besteht aber zwischen dieser gemessenen Zeit und der musikalischen Klangdauer eine grundlegende Diskrepanz, dann wird es sowohl unzulässig, die auf dieser gemessenen Zeit beruhenden Analysen weiter zu verfolgen, als auch musikalische Konstruktionen als Funktionen eines falschen Parameters zu ersinnen.

Muß ich mich vorübergehend auch auf andere musikalische Phänomene berufen, so werde ich mich doch im Wesentlichen an diese Seite des Problems halten und bitte um Verständnis hierfür. Dieser Versuchsbereich ist, wie man sehen wird, schon sehr ausgedehnt. Außerdem gelten zur Zeit nicht so sehr die Ergebnisse und der Ballast der erworbenen Erkenntnisse, sondern viel mehr die Art und Weise, durch die das akustische Experiment mit dem musikalischen zu vereinbaren ist. Erweist sich meine Arbeit als gültig, so zweifle ich nicht, daß nach mir viele in das ungeheure Feld der Wechselwirkungen zwischen Musik und Akustik eindringen werden.

## Zeitbedingte Wechselwirkungen

In dem Folgenden werde ich einen genauen Bericht über drei *musikalische Versuchsreihen* geben, die sich mit den zeitbedingten Wechselwirkungen beschäftigen. Jede dieser drei Versuchsreihen zielt auf einen wesentlichen Aspekt dieser Wechselwirkungen und ich belege diesen Bericht durch visuelle sowie akustische Dokumente<sup>3</sup>.

1. Die erste Versuchsreihe, über die *Zeitlokalisierung*, sucht die Lösung des folgenden Problems: wird dem Ohr ein Schallereignis dargeboten, dann lenkt sich die Aufmerksamkeit auf eine Folge von Zeitabschnitten, die sich in der Qualität unterscheiden. Der einleitende Zeitabschnitt erscheint z. B. unendlich wichtiger als die folgenden, als ob er den größten Anteil an Information enthielte. Entspricht diese Erscheinung einer akustischen Wirklichkeit oder einer psychologischen Wirklichkeit?

2. Das Problem der zweiten Versuchsreihe, über die *Zeitbewertungen*, ist das folgende: wird dem Ohr ein Schallereignis dargeboten, dann lenkt sich die Aufmerksamkeit auf die aufeinanderfolgenden Zeitdauern, die dem Ereignis seine Form geben. Zwischen diesen Zeitdauern, die vom Gehör entweder qualitativ oder quantitativ wahrgenommen werden, besteht ein bestimmtes Verhältnis, z. B. können zwei Zeitabschnitte gleich sein. Entspricht diese Zeitbewertung annähernd den gemessenen Zeitabschnitten oder sind sie weit davon entfernt?

3. Die *Identität* der Zeitbewertungen oder -lokalisierungen mit der metrischen Zeiteinteilung der Ereignisse sowie deren Informationsinhalt ruft die folgende Frage hervor: identifiziert sich die Aussage über ein Schallereignis mit diesem selbst, oder wird es durch das Mithören von vorangehenden oder folgenden Ereignissen beeinflusst?

Um den Forschungsbereich genauer zu definieren und um eine zu große Verschiedenartigkeit der Ereignisse zu vermeiden, kann der Versuch unternommen werden, mit den verschiedenen Abschnitten ein und desselben Schalls zu experimentieren. Das Problem stellt sich also wie folgt: Ruft das Abhören der verschiedenen Teile eines Schalls die gleiche Wahrnehmung hervor, wenn diese Abschnitte miteinander verbunden oder voneinander getrennt sind, wenn sie die ursprüngliche Reihenfolge beibehalten oder permutiert wiederkehren?

Um die Fragestellung besser zu verstehen und um uns auf die bevorstehende „herzerreißende“ Umstellung vorzubereiten, möchte ich die mutwilligen Annahmen über die Zeit in der Musik noch einmal erwähnen, auf die wir uns durch Analogie mit dem Zeitbegriff der Physiker stillschweigend berufen:

1. im Verlauf eines Ereignisses läßt sich ein Zeitpunkt genau lokalisieren;

<sup>3</sup> vgl. Schallplatte.

2. die Zeitdauer ist wahrnehmbar und läßt sich sogar chronometrisch messen;

3. in einem bestimmten Schallereignis ist die Zeitlokalisierung und -wahrnehmung ebenfalls bestimmt und kann keine unterschiedlichen, umgebungs-, teilungs- oder reihenfolgeabhängige Wahrnehmungen hervorrufen.

Treffen solche Vorstellungen auch für die Schallmaterie zu, d. h. für die Gesamtheit der materiellen Phänomene, die dem Magnettonband eingepreßt sind (Schallobjekt), so wird in dem Folgenden gezeigt, daß dies für die Schallinformation keineswegs der Fall ist, d. h. für die Gesamtheit der Wahrnehmungsphänomene, die sich das Gehör zu einer Synthese gestaltet (Klangobjekt). Die Beschreibung der Experimente wird genau das Gegenteil der drei obigen Behauptungen beweisen; diese Folgerung nehme ich hier vorweg, um den eigentlichen Sinn der Experimente klarer zu machen:

1. Die Zeitlokalisierung führt manchmal zu der seltsamsten Wechselbeziehung. So „lokalisiert“ das Gehör auf den Einschwingzeitpunkt das, was diesem Zeitpunkt überhaupt nicht angehört, sondern einem allgemeinen Gesetz der Dynamik entstammt. Es handelt sich hier um ein Integrationsphänomen: weit entfernt davon, die verschiedenen Zeitpunkte zu unterscheiden, projiziert das Gehör subjektiv das ganze Ereignis auf dessen Anfang.

2. Die psychologische Wahrnehmung der Zeitdauer ist gewiß eine Funktion der physischen Zeit des Ereignisses, aber außerdem und noch viel mehr eine Funktion der Menge und Qualität der Information, die dieser oder jener Zeitabschnitt enthält.

3. Über die Zeitwahrnehmung eines Schallereignisses gibt es keine Aussage ohne Rücksicht auf dessen Umgebung. Die zahlreichen Gründe dafür sind sehr verschieden:

- a. der Zusammenhang der *Kausalität*, worin sich jedes Ereignis befindet und der die analytische Wahrnehmung völlig „verdecken“ kann;
- b. die Unmöglichkeit, ein Ereignis *lebend zu zerstückeln*, da daraus immer neue (wenn auch mit dem ursprünglichen zusammenhängende) Ereignisse entstehen;
- c. der wichtige Einfluß der *Umgebung* auf ein Ereignis, welches selber zeitlich sehr unbestimmt ist;
- d. die den Ereignissen eigene *Asymmetrie*, die unser Gehör beeinflusst, je nachdem das Maximum an Information ihm plötzlich oder nach längerer Vorbereitung enthüllt wird;
- e. das Auftreten von *Eigentümlichkeiten* (die gleichzeitig mit der Kausalität bestehen können), die die Wahrnehmung verfärben und insbesondere die zeitliche Einschätzung stören.

Zusammenfassend also: musikalische Wahrnehmung ersetzt den arithmetischen Zeitparameter durch eine *Dauer*, die zwei Gesichtspunkte beinhaltet:

1. man kann sie als eine Funktion einer ziemlich großen Anzahl objektiver Faktoren betrachten;

2. sie kann sich aber genauso jeder objektiven Beurteilung entziehen, auf Grund verschiedener voraussehbarer oder zufälliger Bewußtseinszustände, die jedem Hören seine eigene Wahrnehmung verleiht.

### Erste Versuchsreihe

#### Untersuchung des Einschwingvorganges

#### Historisches

Die Einschwingung der Klänge ist zweifellos eins der bekanntesten Phänomene der Musik. Der Anschlag ist eine der ältesten musikalischen Ausdrucksformen (Lithophon, Gong, Trommel u. a.), von besonderer Wichtigkeit in der Instrumententechnik, sowohl für Schlaginstrumente (Klavier) wie für Instrumente, bei welchen der Ton ausgehalten wird (Bogen- oder Zungenstoß). Jahrhundertelange Anpassung hat wahrscheinlich eine unzerreißbare Verbindung geschaffen zwischen dem instrumentenspielenden Muskelreflex und dessen musikalischer Auswirkung, um die Betonung, die die Töne gewöhnlich einleitet, hervorzuheben. Umgekehrt verwirklichen die entgegengesetzten Techniken den weichen Ton oder die fortschreitende Einschwingung.

In der Experimentalmusik und vor allem seit den ersten Anfängen der *musique concrète* hat man folgende Erfahrungen gemacht:

a. der Einschwingvorgang ist besonders wichtig für die Herstellung musikalischer Gestalten und hängt von der Beschaffenheit des jeweiligen Klangkörpers und der Art dessen Anregung ab. Von den ersten Stämmeleien dieser Technik an hat man sich — wahrscheinlich zu unrecht — auf die herkömmliche Technologie berufen in der Unterscheidung der verschiedenen Werkstoffe wie Holz, Fell, Metall in Verbindung mit der Beschaffenheit der Schlägel. Trotzdem hat nie ein Experimentalmusiker daran gezweifelt, daß der Einschwingvorgang abhängig ist von:

1. dem dynamischen Charakter des Tonanfangs, den man in Schärfegrade oder in qualitative Kategorien (Zupfen, Schlagen, Explodieren etc) einteilen mußte;
2. der harmonischen Komplexität und Entwicklung der von dem Klangkörper ausgestrahlten musikalischen Gestalt.

b. Der Einschwingvorgang ist besonders wichtig für die *Analyse und die Wahrnehmung der musikalischen Gestalten*.

Auf einer grundlegenden Erfahrung beruhte die Forschungsaufgabe, die die Pariser RTF 1948 unter dem Titel „Musique Concrète“ einleitete, namentlich das „Die abgeschnittene Glocke“ genannte Experiment<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> s. Polyphonie No. S. : A la recherche d'une Musique Concrète, S. ??.

Die Aufnahmen waren auf einer Platte, doch läßt sich das Phänomen, von der Bandaufnahme ausgehend, besser beschreiben. Die Bandaufnahme eines Glockentons wurde also in zwei Stücke — Anfang und Ende — geteilt. War der Anfang des Schalls erkennbar, so war es der zweite Teil gewöhnlich nicht mehr, besonders dann nicht, wenn man sich die Mühe gemacht hatte, den Pegel merklich konstant zu halten. Gewisse Töne wurden dabei so verändert, daß sie wie Orgel- oder Blastöne klangen. Die Tatsache war neben ihrem eigentlichen Zweck interessant genug, um das Willkürliche einer summarischen Einteilung der Musikinstrumente (Schlagzeug, Holz, Streicher u. a.) in Erscheinung zu bringen. Man plante also einen experimentellen Versuch der Tonanalyse durch Bearbeitung der Klangmaterie und musikalisches Abhören.

Zunächst mußte man aber die viel früheren Bemerkungen Carl Strumpf bedenken, an die uns auch Hermann Scherchen erinnerte. Dieser hatte schon 1930 gesagt, daß bestimmte Instrumente, wenn man ihnen den Einschwingvorgang abschneidet, vom besten Musiker nicht mehr zu erkennen sind.

Hält man also das Positive aller dieser Arbeiten fest, wird man einsehen, wie sie dazu beitragen konnten, unter den Forschern eine gewisse Vorstellung über den Einschwingvorgang als ein deutlich in der Anfangsphase *lokalisiertes* Ereignis zu verankern. Dieser Schluß verleitete die Elektroakustiker dazu, den die Geburt der Töne begleitenden transienten Phänomenen die allergrößte Wichtigkeit zuzuschreiben. Auch gab sie den Musikern eine vorläufige Bestätigung der plausiblen Hypothese der zeitlichen Lokalisierung.

Mehrere Jahre konnten ohne weitere Fortschritte verlaufen — die Hypothese erschien zu augenscheinlich, um bezweifelt werden zu können. Wenn eine solche Arbeitshypothese falsch ist, dann geraten alle daraus sich ergebenden Forschungen in Verwirrung. Nur ein unerwarteter Zufall oder eine besonders sorgfältige Überprüfung der Forschungsbedingungen kann eine plötzliche Revolution der festgefahrenen Vorstellungen bewirken. Dies geschah folgendermaßen:

- a auf logische Weise durch eine aufmerksamere oszillographische Beobachtung der Transienten,
- b durch eine praktische Überprüfung, auf Band, des erwähnten Experiments: das abgeschnittene Klavier.

Diese Entdeckung ist nicht einzig geblieben, sondern führte sehr bald zu einer Versuchsreihe in die Dynamik der musikalischen Gestalten und in die Einteilung der verschiedenen Töne jedes Instrumentes in dynamische Gruppen. Gleichzeitig rang sich eine neue Theorie der Musikinstrumente ans Licht — man gruppierte sie nicht mehr als Folge einer primären Kausalität, auch nicht in Bezug auf die besonders verworrene Vorstellung des Timbre, sondern in Beachtung gewisser charakteristischer Züge der Dynamik der

Klanggestalten, die sie ausstrahlten. Es folgt die Beschreibung dieser ersten Versuchsreihe.

### 1. Serie: Oszillographische Erforschung der Anfangsphase der Klänge

Jacques Poullin und Allain de Chambure wurden 1957 beauftragt, die Anfangsphase verschiedener Klänge — mit besonderer Beachtung des Klaviers — oszillographisch miteinander zu vergleichen; es folgte die ähnliche Untersuchung von Streich- und Blasinstrumenten. Man erwartete zwar keine charakteristische Wellenform, jedoch eine Hüllkurve, die z. B. die Schärfe der Einschwingung musikalisch erklärt hätte. Das Experiment bezog sich auf die ersten fünfzig Millisekunden der Klänge, da dieser Zeitabschnitt einer Wahrnehmungsschwelle entspricht, die bestimmte Verfasser mit dem edlen Begriff „die Dicke des Gegenwärtigen“ bezeichnen.

Bevor man sich damit befaßte, die Hüllkurven zu analysieren, kam man auf den Gedanken, sich zu vergewissern, ob dieselbe Spielart desselben Tones auf demselben Instrument *charakteristische* Hüllkurven ergab. Zwei A<sub>1</sub>, die man unter denselben Bedingungen auf demselben Klavier spielte ergaben jedoch vollkommen verschiedene Oszillogramme (Fig. 1).

Die Geige ergab ähnliche Resultate: zwei ungleich verlaufende offene E, mit dem gleichen Ansatz von demselben Geiger gespielt, gaben nicht-charakteristische Oszillogramme ihrer ersten fünfzig Millisekunden; zwei ähnliche A gleichfalls. Diese verschiedenen Beispiele kann man auf Band 1 der Platte hören, wo sie durch das Morsesignal „—“ gekennzeichnet sind. (Fig. 2).

Aber die dramatischste Bildfolge erhielten wir, als ein sehr guter Trompeter eine für das Ohr völlig gleich klingende Folge von Staccato-Tönen spielte: keine zwei Töne waren auch nur ähnlich im Oszillogramm (Fig. 3). Diese acht Töne kann man auf Band — der Platte hören.

Was verstehe ich eigentlich unter dem Begriff „charakteristisches Oszillogramm“? Es muß zwei Bedingungen genügen:

- a verschiedenen Beispielen derselben musikalischen Gestalt (z. B. zwei Klavier-A) entsprechen Oszillogramme, die wenigstens in manchen Beziehungen Ähnlichkeiten aufweisen;
- b musikalischen Gestalten mit verschiedenen charakteristischen Ansätzen (z. B. Klavier, Geige, Trompete) entsprechen verschiedene charakteristische Oszillogramme.

Es ist ja möglich, daß das Oszillogramm bestimmte besondere Aspekte der Gestalt erläutert, insbesondere die *nebensächlichen Einzelheiten*, die die verschiedenen ähnlichen Ansätze unterscheiden; doch muß man jetzt zugeben, daß es das Nebensächliche und nicht das Wesentliche erklärt. Man könnte diese Erscheinungen als von zweiter Ordnung bezeichnen, da sie

stumm sind, im Gegensatz zu den Erscheinungen erster Ordnung, die eine *musikalische* Bedeutung besitzen.

Falls in dieser Hinsicht noch Zweifel bestehen, gebe ich noch einen weiteren Beweis dieses allerdings klassischen Irrtums, nach dem die musikalische Erscheinung dem akustischen Signal auf primäre Weise gleichgestellt wird. Wenn wir die ersten vier Staccatotöne des vorhergehenden Beispiels mit einer hochwertigen Studioanlage auf ein anderes Band überspielen, sodaß zweifellos dieselbe musikalische Gestalt entsteht, so ergeben sie vier wieder andere Oszillogramme (Fig. 4).

Man muß sich den Tatsachen beugen: Die Oszillogramme sind nicht nur ungenügend, um die Musik zu kennzeichnen, sondern sind außerdem beträchtlichen elektronischen, musikalisch völlig unwichtigen Störungen unterworfen. Welche Lehre ziehen wir aus diesen erstaunlichen Feststellungen, die in solchem Gegensatz zu einer wissenschaftlich anscheinend so unbestreitbaren Einstellung steht?

1. Man muß *wissen, was man sucht* und was man zeigen möchte — ist es der vorübergehende Zustand der elektroakustischen Übertragungskette: Schallkörper — Mikrofon — Bandgerät — Oszillograph, oder die musikalische Wahrnehmung des Ansatzes?

2. Man muß sich fragen, warum man mit den ersten fünfzig Millisekunden experimentiert unter dem Vorwand, daß sie einer Wahrnehmungsschwelle der Zeitdauer (ein übrigens schlecht definierter Begriff) entsprechen. Wie können diese fünfzig Millisekunden so wichtig sein, hat doch die jüngste psychologische Erforschung der Wahrnehmung gezeigt, daß das Ohr diese ganze Zeit braucht, um erst „anzufangen zu hören“?

3. Gibt man sogar zu, daß das Ohr diese Transienten hören kann, hört es sie tatsächlich? Nach den hellseherischen Beobachtungen des Dr. F. Winckel — einer der seltenen Fachleute, die hartnäckig eine Experimentation befolgen, welche sowohl in die Akustik wie in die Musik eingreift — erzeugt ein jegliches Signal während seiner ersten fünfzig Millisekunden solche Verzerrungen im Ohr selbst, daß sie gegen jede musikalische Analyse — ob es sich nun um Form oder Materie handelt — eine undurchdringliche Schranke errichten. *Das heißt so viel wie, daß das menschliche Gehör niemals den Anfang eines Tons hört.* Es ist sonderbar, mitten in einer wissenschaftlich anscheinend so korrekten Arbeit die nachträgliche Entdeckung einer so wichtigen Tatsache zu machen.

### 2. Serie: Die Suche nach dem charakteristischen Merkmal des Ansatzes.

Das Problem besteht also noch immer: Man muß ein objektives Merkmal finden, welches sich auf die musikalische Eigenart des Ansatzes bezieht. Der Mißerfolg der Untersuchungen der Transienten führt konsequent, wenn auch paradox, dazu, das Merkmal des Ansatzes jenseits der Anfangsaugen-

blicke zu suchen. Tatsächlich erkennt man aus Plattenbeispiel — .. und Fig. 5, daß die *allgemeine Dynamik*, abgesehen von ein paar Abweichungen, *vergleichbar* und *charakteristisch* ist. Man bemerkt auch das einheitliche Bild der Klavirdynamik überhaupt (ungefähr konstante Steigung) und das Gesetz deren Veränderung (ansteigende Steilheit mit der Tonhöhe).

Die Gitarre gibt ähnliche Resultate: die Dynamik hat wieder einen einheitlichen, wenn auch weniger regelmäßigen Verlauf, allerdings eine ausgeprägtere Veränderung von den Tiefen zu den Höhen (Plattenbeispiel — ... und Fig. 6).

Man ist also jetzt in der Lage, den folgenden *allgemeinen Satz* über die zeitbedingten Wechselwirkungen der musikalischen Gestalten aufzustellen: *Die musikalische Eigenschaft des Ansatzes ist nicht eine Funktion der Einschwingtransienten, sondern der allgemeinen Dynamik.*

3. Serie: Überprüfung des vorhergehenden Satzes nach der Methode des Abschneidens der konstant geneigten Ansätze

Behauptet man, daß der Eindruck des Ansatzes durch eine subjektive Lokalisierung der allgemeinen Dynamik auf den Tonanfang von seiten des Gehörs entsteht, dann sollte es möglich sein, den Anfang der Töne, die eine geradlinige Dynamik aufweisen, abzuschneiden, ohne die musikalischen Eigenschaften des Ansatzes zu verändern. Tatsächlich verändern Abschnitte von 50, 100 und 150 ms, die dem geradlinigen Teil eines  $A_4$  entsprechen, den Ansatz nicht merklich. Die Abschnitte entstellen ihn nicht, sie machen ihn nur weicher (Plattenbeispiel — — und Fig. 7). Bei einem tiefen Ton wie  $A_1$  ist der Überprüfungsbereich enorm, da man sich Abschnitte von einer halben oder sogar einer ganzen Sekunde erlauben kann, ohne den Ansatz wesentlich zu verändern (Beispiel — — . und Fig. 8).

Halten wir einen Augenblick ein bei der Betrachtung des merkwürdigen Aspektes dieser Bestätigung; denn diese Betrachtung überrascht den musicien concret, der das Bandschneiden schon gewohnt ist, genau so sehr wie den Pianisten, der nun sein körperliches Tun (Kausalität des Instrumentes) vom musikalischen Abhören (Analyse der Wirkungen) erstmalig trennen muß. Wir werden noch auf diesen Punkt zurückkommen.

Inzwischen können wir dem ersten Satz der zeitbedingten Wechselwirkungen einen Folgesatz hinzufügen: *Abschnitte im linearen Bereich eines Schalls stellen den ursprünglichen Ansatz wieder her, ausgenommen Unterschiede zweiter Ordnung.*

4. Serie: Dritter Satz: Die Ansatzschärfe steht im Verhältnis zur Steigung

Dieser Begriff wurde schon beim Vergleich der verschiedenen Klaviertöne eingeführt, aber das Gehör ist durch Gewohnheit in einen solchen Zustand gebracht worden, daß es aus allen diesen Ansätzen eine einzige mittlere,

globale Qualität heraushört. Andererseits kann man aus den Steigungsänderungen einer Dynamik, wie z. B. der des  $A_4$ , Nutzen ziehen, indem man musikalische Gestalten mit einer anderen Anfangssteigung herstellt. Diese neue Möglichkeit überrascht durch die Einfachheit, mit der man mittels der dynamischen Kurve jeden gewünschten Ansatz erreichen kann (Plattenbeispiel — — .. und Fig. 9).

Es versteht sich von selbst, daß die harmonische Entwicklung hier mitspielt und daß die abgeschnittenen Töne daran zu erkennen sind, was aber die Richtigkeit der vorgehenden Betrachtungen nicht beeinträchtigt.

5. Serie: Der Einfluß der harmonischen Entwicklung auf den Ansatz

Das soeben Gesagte führt eigentlich über die selbst gesteckten Grenzen dieser Arbeit hinaus; doch es liegt zu nahe, als daß man es übergehen könnte. Ein Experiment mit zwei Gongs zeigt deutlich diese enge Verbindung zwischen der dynamischen und der harmonischen Entwicklung einer musikalischen Gestalt. Mehr Unwesentliches wird abgeschnitten. Man darf aber nicht von einem Extrem in das andere fallen und das ins Spiel bringen, was ich ausdrücklich als Elemente *erster Ordnung* bezeichne.

Beispiel — — ... (Fig. 10) bringt zwei verschiedene Gongs mit je drei Abschnitten. Das Ohr lernt bald an diesen Beispielen, im Ansatz die folgenden Punkte ohne Schwierigkeit zu analysieren und von einander zu trennen:

- a. eine verhältnismäßig permanente Dynamik,
- b. dynamische oder harmonische Schwankungen, die aus der natürlichen Entwicklung der Gestalt stammen.

Ein harmonisch armer Gong wird durch das Abschneiden wenig verändert, ausgenommen ein Weicherwerden des Ansatzes. Die Ansatzschärfe wird im großen und ganzen auch bei einem harmonisch reichen Gong nicht verändert, sofern er im linearen Bereich seiner Dynamik abgeschnitten wird; in anderen Beziehungen verändert er sich aber.

6. Serie: Der Begriff des Musikinstrumentes — das Klaviersgesetz

Die gleichzeitige Betrachtung des harmonischen Inhaltes und des dynamischen Verlaufs der musikalischen Gestalten ermöglicht es nebenbei, den Begriff des Musikinstrumentes besser zu definieren. Bisher bestimmt man diesen Begriff durch das Timbre — dabei ist das Timbre selbst etwas ganz besonders Unbestimmtes. Man muß wohl zugeben, daß für ein Musikinstrument das Timbre das ist, was beim Schlafmittel die einschläfernde Wirkung ist.

Am Klavier haben wir sehen können, daß ein solches Instrument weit davon entfernt ist, musikalische Gestalten zu liefern, deren Grundeigen-

schaften immer dieselben sind, sondern eine *Vielfalt* von musikalischen Gestalten erzeugt, die sich mit der Tonlage ändern. Nicht nur die Dynamik eines Klaviers ändert sich, sondern auch die harmonische Komplexität.

Was diesen letztgenannten Begriff betrifft, so werde ich mich darauf beschränken, ihn nur sehr großzügig durch die Bezeichnungen „reich“ oder „arm“ zu umschreiben. Angesichts dieser Vielfalt von musikalischen Gestalten, die einem Instrument entstammen, sind es die Gesetze der *Veränderung* innerhalb dieser Vielfalt, die es uns ermöglichen, das Instrument überhaupt zu erkennen. Beim Klavier sind sie besonders leicht zu erfassen.

Wir haben schon gesehen, daß die Dynamik des Klaviers gegen die hohe Tonlage schärfer wurde (Beispiel — — . und Fig. 11). Für den Augenblick genügt es, zu bemerken, daß das Timbre dieser Töne (in der gewöhnlichen Bedeutung dieses Wortes, genauer also: deren harmonische Komplexität) in der tiefen Tonlage bei weitem reicher als in der hohen ist. Im Gegensatz zu den üblichen Banalitäten über dieses Instrument sind es also nicht die Höhen des Klaviers, die brilliant sind, sondern die Tiefen.

Das läßt sich wie folgt beweisen: Man spielt eine Melodie in der mittleren Lage des Klaviers, nimmt sie auf Band auf und transponiert sie zwei Oktaven hinunter und hinauf. Es ist bekannt, daß diese Transponierung das *akustische* Timbre beibehält. Vergleicht man die Transponierung mit der Melodie, wenn diese tatsächlich in der entsprechenden Tonlage gespielt wird, konstatiert man zwei Tatsachen:

1. Die Steigung der Dynamik des Klaviers ändert sich viel langsamer als die Frequenz, denn das Klavier ist in den Tiefen dynamisch schärfer als die verlangsamte Mittellage, und das Klavier ist in den Höhen dynamisch weniger scharf als die beschleunigte Mittellage.

2. Das Klavier ist in den Tiefen viel reicher und in den Höhen viel ärmer als die jeweilige Transponierung der Mittellage.

Von diesem Punkt aus kann man durch Analogie fortschreiten, ohne aber diesen Formulierungen eine allzu große Strenge beizugeben. Es handelt sich hier um, wenn auch qualitative, so doch sehr wichtige Gesetze. Man könnte sagen, das Klavier erzeugt eine Familie verschiedener aber sehr ausgeglichener Gestalten, deren Ausgeglichenheit durch die folgenden Gesetze gesichert wird:

1. Die Dynamik — daher der Ansatz — variiert in direkter Funktion der Tonlage;
2. Der harmonische Reichtum der Töne variiert in umgekehrter Funktion der Tonlage;  
(Diese beiden Variierungen sind nicht linear;)
3. Jeder Ton des Klaviers entspricht im großen und ganzen seinen benachbarten, denn das Gleichgewicht wird durch eine Art von energetischem Gesetz hergestellt, welches man durch Analogie ausdrücken könnte:

$$\text{harmonische Schärfe} \times \text{harmonischer Reichtum} = \text{konstant.}$$

## 7. Serie: Bestätigung der Klaviergesetze

Es gibt eine sehr amüsante Bestätigung dieser Gesetze. Stellen wir uns vor, man könnte der Mittellage des Klaviers einen Ton entlocken, der zugleich reicher und schärfer ist als der durch die Klaviatur erzeugte. Es ist möglich, daß man ihn durch Verlangsamung hinunter transponieren könnte und daß dann seine harmonische Komplexität, sowie seine Dynamik, genau der tiefen Lage entsprechen würde.

Reißt man eine mittlere Klavierseite mit einem Plektrum an, so erhält man tatsächlich einen solchen Ton, der ganz selbstverständlich von einem Klaviatur-Ton abweicht. Aber seine totale Transponierung nach unten ist dem dann entsprechenden Klaviatur-Ton sehr ähnlich. In Beispiel — — — .. hört man drei Beispiele dieser Umwandlung: die ersten zwei entstanden durch eine Transponierung von zwei Oktaven, das dritte von nur einer Oktave.

## 8. Serie: Formenlehre der Dynamik und deren Anwendung auf die Gitarre

Eine übereilte Verallgemeinerung über die Klavierabschnitte würde genau so fehlschlagen wie eine solche über die Gongs. Sehr viel hängt von der zeitlichen Entwicklung der wichtigen Elemente einer musikalischen Gestalt ab — diese Entwicklung ist entweder gleichmäßig oder nicht, sofern sie nicht einen Fall für sich darstellt.

Zwischen dem Klavier (Grundbeispiel der geradlinigsten Dynamik) und der Glocke oder dem Gong (das Beispiel der großartigsten dynamischen und vor allem harmonischen Entwicklung) gibt es Zwischenstufen wie die Gitarre, die im großen und ganzen zwei charakteristische Teile der Dynamik aufweisen: Pizzicato und Resonanz, welche sich nicht nur durch verschiedene Steigungen, sondern durch eine ganz charakteristische Form des Pegelverlaufs offenbaren. Beispiel — — — — und Fig. 12 zeigt die gemeinsame Herkunft der sechs offenen Saiten der Gitarre. Die Topografie dieses überaus komplizierten dynamischen Verlaufs erscheint mindestens so wichtig wie die arithmetischen Mittel der Steigungen.

Wenn man aufmerksam hinhört, wird man auch gewahr, daß die musikalischen Gestalten der Gitarre eine viel größere Vielfalt als die des Klaviers zeigen. Einige von ihnen lassen sich ziemlich offensichtlich interpretieren: die Wellenfront nimmt schnell ab (man erwarte von dem durch Zeitkonstanten gehemmten Pegelschreiber keine übergenaue Pegelanzeige, die ohnehin belanglos wäre), sodann steigt die Amplitude wieder an, da der Instrumentenkörper seine Schwingungsenergie wieder hergibt. Mit normalem Verstand und aufmerksamem Hören kann das musikalische Gehör allein, ohne Pegelschreiber, dieses Phänomen enträtseln.

Wenn man die Gestalttheorie beachtet, ersieht man, daß jedes Schallereignis als ein Ganzes wahrgenommen wird und daß das Ohr sich eine

Synthese daraus macht, die um so gedrängter ist, je evidentere deren Kausalität und je klassischer deren ästhetische Endgestalt ist. So war uns Forschern das Pizzicato lang ein Rätsel. Sineetwegen verschrieben wir uns einem hypothetischen Graphismus, der den Einschwingvorgang mehr oder weniger abrundete — wie verfehlt! In Wirklichkeit gibt es nichts Spitzeres als die Wellenfront, die einer plötzlich losgelassenen Saite entstammt, aber die vorübergehend gespeicherte und wieder losgelassene Energie der Resonanz ändert diesen Eindruck der Schärfe zu einem der Elastizität, die dann als das Charakteristische des Phänomens erscheint, die es weich macht, die es psychologisch färbt, und die aus dem Pizzicato etwas Abgerundetes macht, das endlich weniger hart als ein Klavieranschlag erscheint. Man sieht, wie weit diese auf dem psychologischen Plan vollkommen richtigen musikalischen Interpretationen von einer primären graphischen Interpretation entfernt sind. Die Klaviersteigung ist viel weicher als das Anfangsstadium eines gezupften Tones und das dynamische Wiederaufbäumen des Letzteren muß man ganz anders erklären.

Das Phänomen der Wechselwirkung wirkt überzeugend hier. Es handelt sich hier nicht nur um Blockierung der Wahrnehmung wie beim Klavier, sondern um eine wahre „zeitliche Vorausnahme“: das zweite Stadium des Ereignisses, die Elastizität, verfärbt immerhin die Wahrnehmung des Anfangs. Man sieht, wie eine mathematische Aufwertung der Pegel, oder auch der Steigungen, musikalisch gesehen zu Unsinn führt.

Man beachte außerdem, wie wichtig es ist, eher die Form als die Maße dieser Pegelstreifen im Auge zu behalten. Ihre Interpretation hängt viel mehr von der Intuition als vom Messen ab. Man muß unterscheiden können, welche Unregelmäßigkeiten von musikalischer Bedeutung sind. Und die Streifen erklären einander, ganz wie biologische Dokumente. So erhellt die oben beschriebene Interpretation des Gitarrentons viel klarer aus den tiefen Tönen als aus den hohen. Trotzdem wird man zugeben, daß auch die hohen Töne dieselbe Form aufweisen, wenn auch fast unmerklich.

Was die enormen Kurvenabweichungen — besonders gegen das Tonende — anbelangt, so könnte man zunächst behaupten, sie seien im Ohr „verdaut“, oder versenkt. Es ist aber genau das Gegenteil der Fall: ist das Ereignis durch die graphische Aufzeichnung genau beschrieben worden, so fängt das erweckte Ohr das zu hören an, was ihm bis dahin entging. Hier haben wir eine sehr interessante Rückwirkung des Beobachteten auf den Beobachter. Ein aufmerksames Anhören enthüllt im Licht der Pegelstreifen noch manche interessante Aspekte.

## 9. Serie: Transmutation der Instrumente

Wenn man Erscheinungen eher durch die Form als durch uninteressante Messungen erklären will, so muß man durch verwandte Methoden Beweise suchen. Da wir uns mit einem Lebendigen befassen, sollte Sektion auf-

klären. Wenn diese Gedanken der dynamischen Formenlehre einen Sinn haben, dann sollte es möglich sein, dieses charakteristische Merkmal zu unterdrücken, um jenes hervorzuheben. Musikalisch gesehen wird man dann Übergänge oder Transmutationen von einer Art von musikalischer Gestalt zu einer anderen ausführen und insbesondere von einem Instrument zu einem anderen übergehen.

Nehmen wir uns z. B. vor, mittels Abschnitten von der Gitarre zum Klavier überzugehen. Wir sollten jetzt in der Lage sein, die Bedingungen für den Erfolg eines solchen Experiments vorauszusehen. Es sind die folgenden:

1. Man muß eine Tonlage wählen, in welcher das Gitarrentimbre etwa so reich wie dasjenige des Klaviers ist.
2. In der Erkenntnis, daß die harmonische Entwicklung viel wichtiger bei der Gitarre als beim Klavier ist, dürfen wir nur das Endstadium des Gitarrentons beibehalten, in welchem diese Entwicklung abgeschwächt und dem Klavier ähnlich ist.
3. Das charakteristische Merkmal am Anfang des Pizzicato müssen wir entfernen, um in einem geradlinigen Teil des Gitarrentons die Eigenart des angeschlagenen Ansatzes wiederzufinden.

Es stellt sich heraus, daß dieses Experiment durch einen ziemlich weiten Tonumfang möglich ist und daß ein angemessenes Schneiden eines Gitarrentons einen sehr guten Klaviereffekt wiedergibt. Beispiel — — — —. und Fig. 13 und 14 zeigen je ein offenes E und ein offenes G, deren ein bis zwei ersten Sekunden abgeschnitten wurden.

Dieses Experiment ist nicht nur als Bestätigung des Vorausgehenden interessant. Es läßt sich daraus ein ganz allgemeiner Schluß ziehen über den weiten Bereich der Annäherungen, die das Ohr in sehr vielen Manipulationen dieser Art zuläßt. So wählerisch das Gehör auch ist, wenn es Abarten einer einzigen Eigenschaft wahrnehmen kann, so tolerant ist es bei der Erkennung von Typen, die manchmal sehr verschieden sind, sich aber auf dieselbe Form beziehen.

Daß das Gehör eine differenzierte Sensibilität mit einer umfassenden Wahrnehmungsfähigkeit in Einklang bringen kann, haben die neuzeitlichen Forscher noch nicht erkannt oder zugegeben. Das Ohr sträubt sich gegen die üblichen Arbeitsmethoden der Akustiker, wenn sie sich in absoluten Begriffen von gemessenen Größen ausdrücken. Die Formenlehre der Töne hat für sie eine entgegengesetzte Bedeutung zu der, die ich ihr gegeben habe, verwechseln sie sie doch mit der mathematischen Analyse der Phänomene. Es ist also verständlich, daß sie in ihrem Gefolge gewisse Musiker mitziehen, die, durch die Akustik geblendet, dieselben Fehler machen. Durch ihre mühsamen und in einem gewissen Sinne lobenswerten parametrischen Konstruktionen beruhigt, wähnen sie, daß ihr tönendes Werk diesen gültig entspricht und sowohl als Kunstwerk als auch als Wissenschaft Anerkennung

verdient. Sie wären aber zutiefst betrübt, den außerordentlichen Abgrund zwischen ihrer Absicht und ihrem Resultat festzustellen.

#### 10. Serie: Ein weiteres Beispiel der Transmutation der Instrumente

Wenn man mit einem Gitarren-H nichts anderes macht, als es durch Verlangsamung zwei Oktaven nach unten zu transponieren, erhält man einen sehr komischen Ton, der an einen sehr großen Flügel unter dem Angriff eines jener „hämmernden Klavirtuosen“ erinnert, der aus dem Instrument mehr herausholen will, als er sollte. Wie kann man das erklären?

1. Die starke Verlangsamung flacht die Gitarrendynamik ab, der Pizzicatoeffekt wird breit genug, um ihm Ohr „verdaut“ zu werden. Was davon übrig bleibt, erinnert an eine auf die Taste ausgeübte Gewalt, die die Saite tatsächlich in eine dem Pizzicato ähnliche Schwingung versetzt.

2. Da der Baß die brillianteste Lage des Klaviers ist, nähert sich die starke Transponierung der Gitarre auch diesem Timbre an.

Hier haben wir einen wahren „Durchgangston“ zwischen zwei Instrumenten.

#### Schluß der ersten Versuchsreihe

Wenn man experimentiert — besonders in solchem Neuland — dann darf man sich nicht scheuen, alles an Erkenntnissen herauszuholen, was sich nur bietet. Schon die erste Versuchsreihe ist die Quelle weiterer Forschungen, von denen sich erst die Anfänge überblicken lassen. So viele Entdeckungen wir auch unterwegs machen, so dürfen sie uns doch nicht von unserem vorgesteckten Ziel abbringen, und zwar: das ganz allgemeine Prinzip der Wechselwirkungen zwischen dem akustischen und musikalischen — gedachten und wahrgenommenen — Zeitbegriff.

Ohne die praktischen Versuche der ersten Reihe aus dem Auge zu verlieren, ist es an der Zeit, diese allgemeine Philosophie daraus zu folgern. Erstens verdeckt das Ohr die eigene Wahrnehmung der Tonanfänge, so daß den Transienten ihre Wichtigkeit genommen wird; zweitens entspricht auch das, was das Ohr als den Tonanfang wahrnimmt, nicht der eigentlichen zeitlichen Lokalisierung: entweder ist diese Lokalisierung rein willkürlich (z. B. geradlinige Dynamik) und entspricht nicht dem Anfang, sondern der Form der ganzen Dynamik, oder entspricht sie dem ersten charakteristischen Ereignis (z. B. Pizzicato), aus welchem das Ohr eine Teilsynthese macht (da die Energie des Resonanzbodens, welche der Saitenerregung nachfolgt, in der Wahrnehmung diese überwiegt) oder es unterscheidet das Ohr die verschiedenen durch Schnitte künstlich erzeugten Ansätze, ohne sie als besondere Merkmale der Dynamik herauszuhören, wenn der Ton als Ganzes dargeboten wird.

Man könnte behaupten, daß die Dynamik eines Tons sich dem Ohr als eine *allgemeine Form* zeigt, die auch im physischen Rahmen des Zeitverlaufs feststeht, den aber das Ohr als „Unterstützung“ betrachtet. Andererseits legt das Ohr Wert auf diese allgemeine Form.

Um das besser zu erklären, könnte man aus der Optik ein Beispiel anführen. Das Auge braucht auch Zeit, um z. B. eine Kurve auf einem Blatt Papier zu überblicken, doch ist diese Zeit bei weitem unwichtiger und auf jeden Fall ganz unabhängig von dem Wahrnehmen der Form. Zum Unterschied von einer visuellen Form, die die Zeit nicht als physische Dimension enthält, braucht die Schallform die Zeit, um überhaupt bestehen zu können. Die Wahrnehmung spielt sich aber ab, als ob die zum Hören notwendige Zeit von derselben Art wäre wie die zum Sehen gebrauchte, als eine eingeschlossene Notwendigkeit also, die aber das Wesentliche nicht berührt. Ist das Ereignis einmal in seiner physischen Zeit abgelaufen, dann ist es für das Ohr das Wesentliche, dessen allgemeine, gleichsam zeitlose Form beizubehalten. Es ist diese Form, die in das Bewußtsein eindringt. Sie scheint viel mehr eine Tatsache des Gehörs als eine akustische Tatsache zu sein.

Die Erklärung, die man dafür erfindet, ist nicht sehr wichtig. Ich selber betrachte es als eine Art Gedächtnisspeicher, der dem Bewußtsein nicht Zeitpunkte, sondern um Interessenspunkte gelagerte Zeitquanten liefert. Jedes dieser Zeitquanten enthält also sein Maß an Information. Es kann also von keiner Indeterminiertheit die Rede sein — das Wort „Wechselwirkung“ ist vielleicht nicht stark genug, um die sonderbare Extrapolation des musikalischen Eindrucks aus dem akustischen Ereignis zu beschreiben. Statt von einer Wechselwirkung zwischen zwei einander entsprechenden Variablen — die gemessene und die subjektive Zeit — zu sprechen, sollte man den völlig heterogenen Charakter der Zeit hervorheben: auf der einen Seite die gemessene Zeit als Parameter der physischen Welt, auf der anderen die Dauer als Dimension des Bewußtseins.

#### Zweite Versuchsreihe

##### Die Zeitbewertung

Wenn diese Schlüsse Neugier erregen, dann ist diese wohl berechtigt und führt zu einer näheren Betrachtung des Verhältnisses Zeit-Dauer. Die soeben abgeschlossene Versuchsreihe war zu voll von qualitativen Begriffen und führte zu einer zeitabhängigen Anatomie der musikalischen Gestalt. Über die nüchterne Frage, wie das Gehör die Sekunden zählt, kann man daraus aber noch keine klaren Schlüsse ziehen. So interessant eine morphologische Analyse oder eine Anatomie der Töne auch sein mag, so wollen wir nun nachforschen, *wie lange sie dauern*. An geeigneten Beispielen wollen wir unser Gehör darin üben, diesen oder jenen Teil eines Schalls qualitativ wahrzunehmen.

## 1. Serie: Der Einfluß der Information auf die Dauer

Dem Ohr werden jetzt sieben Klänge dargeboten, die ziemlich kompliziert und insbesondere informationsreicher als die Klavier- oder Gitarrentöne sind. Diese Klänge bestehen aus einer Ein- und einer Ausschwingung und das Ohr wird aufgefordert, diese in der Dauer miteinander zu vergleichen. Diese sieben Klänge sind auf Beispiel . — zu hören und der Leser wird gebeten, sie zu spielen, bevor er sich durch das Weiterlesen oder durch die Betrachtung der Abbildungen Vorurteile bildet.

Die Auswahl dieser Klänge erklärt sich dadurch, daß ihre Ansätze, wenn auch kurz, so nicht augenblicklich sind, und daß auch das ungeübte Ohr sie unterscheiden kann. Manche der Töne sind nach dem Ansatz kurze Zeit ausgehalten. Nach einem gewissen Zeitpunkt ist der Ansatz oder das Aushalten zu Ende und der Schallkörper klingt von selbst ab. Man kann das Experiment auch von der Kausalität aus betrachten, indem man den Schall in eine *Anregungs-* und in eine *Ausschwingungsphase*, d. h. in eine *aktive* und *passive Phase* einteilt.

Die Beobachter (Leser) werden gebeten, die Wichtigkeit dieser zwei Teile *musikalisch* zu beurteilen (denn es hätte keinen Zweck, mit chronometrischen Messungen zu schwindeln); man muß also die Klangdauern im Gedächtnis festzuhalten suchen. Beim Anhören eines Musikstückes ist es auch nicht anders, denn man kann und muß die Dauer einer Phrase oder z. B. eines Orgelpunktes wahrnehmen — was mit der Notation der Notenwerte oder Metronomschlägen nichts zu tun hat.

Vielleicht darf ich jetzt annehmen, daß der Leser die Güte hatte, sich diese sieben Klänge anzuhören. Sie zerfallen in drei Gruppen:

Klänge 1 und 2 sind abklingende Schlagtöne;

Klänge 3, 4 und 5 sind kurze aber immer länger ausgehaltene, sodann abklingende Kratzgeräusche;

Klänge 6 und 7 sind ausgehalten, und Klang 7 ist wiederholt. Auch sie klingen nach dem Aushalten ab.

Folgendes wurde von den Beobachtern festgestellt:

1. Bei den ersten zwei Klängen ist der Ansatz schwer festzustellen. Er ist gewiß wichtig, aber wesentlich kürzer als das Abklingen.
2. Die Dauer des Ansatzes und dem Abklingen ist bei den Klängen 3, 4 und 5 von etwa derselben Größenordnung: Es besteht ein ziemliches Gleichgewicht der Dauer.
3. Die Aushaltungs- oder Impulsdauer ist bei den Klängen 6 und 7 deutlich länger als die des Abklingens.

Entsprechend diesen musikalischen Äußerungen ist die physische Verteilung der Dauer, in Bandzentimetern ausgedrückt, die folgende:

1. Der Ansatz der ersten zwei Klänge ist etwa augenblicklich. Der Schlag des 1. Klanges klingt etwa  $1\frac{1}{2}$  Sek.; Klang 2 ist ein Doppelschlag (40 ms Abstand) mit etwa  $4\frac{1}{2}$  Sek. Abklingen.

2. Die Klänge 3, 4 und 5 werden 250, 200 und 300 ms ausgehalten, während die Gesamtklangdauer je etwa 3 Sek. beträgt.
3. Schall 6 wird kürzer als ein Drittel seiner Länge ausgehalten, während die Gesamtdauer der Impulse bei Klang 7 etwas weniger als die Dauer des Abklingens ist.

Vergleicht man diese zwei Beurteilungsmethoden, dann stellt sich Folgendes heraus:

1. Diejenigen Erscheinungen, welche das Ohr als *augenblicklich* wahrnimmt (unterhalb der 50 ms-Schwelle), sind nicht feststellbar und geben einen Eindruck der Dauer nur im Verhältnis zu ihrer Wichtigkeit als ein Ereignis selbst. Es widerstrebt dem Ohr, sie zu beurteilen, allerdings wird das Ohr wachgerufen durch bestimmte Rätsel, welche die Kürze des Ereignisses ungelöst lassen; so ist es z. B. nicht in der Lage, den komplizierten Ansatz des 2. Klanges wahrzunehmen, da der 40 ms-Abstand unter sein „Auflösungsvermögen“ fällt.
2. Sobald die Ereignisdauer die Wahrnehmungsschwelle überschreitet, kann das Ohr diese Dauer wahrnehmen, aber vielmehr in Abhängigkeit der Qualität als der physischen Dauer des Ereignisses. Daher stellt es eine gleiche Größenordnung der Ein- und Ausschwingdauer der Klänge 3, 4 und 5 fest, obwohl die physische Klangdauer im Verhältnis 1 zu 12 ist.
3. Außerdem beurteilt das Ohr die aktive Phase der Klänge 6 und 7 als deutlich länger als die passive Phase, obwohl das Verhältnis 1 zu 2 bzw. 1 zu 1 war.

Diese Ergebnisse können in dem folgenden Satz zusammengefaßt werden: *Die musikalische Klangdauer steht im direkten Verhältnis zur Informationsdichte.* Dabei will oder kann ich diese Begriffe natürlich nicht genau definieren. Was hilft es, von Informationsmenge zu sprechen, ist sie doch so subjektiv und bestimmt undefinierbar, oder sie durch eine problematische Zeiteinheit teilen zu wollen! Wir wollen uns also mit einer analogisch abgeleiteten Bedeutung des Wortes Dichte begnügen.

Wie kann man solche Ergebnisse erklären? Ansatz und Aushalten fesseln die Aufmerksamkeit sowohl durch die wirkende Kausalität (konkrete Aufmerksamkeit) als auch durch die Wichtigkeit der Entwicklungen, die der Schall durchmacht (abstrakte Aufmerksamkeit). Das einleitende Ereignis eines Schalls fesselt also die Aufmerksamkeit des Ohrs, welches es zwingt, Ursache sowohl als die Wirkung zu analysieren. Mit dem Ende dieses einleitenden Ereignisses stellt das Ohr diese Tätigkeit ein, des Glaubens, es hätte es mit keinem neuen Ereignis zu tun, da alle sich beim Abklingen weiterentwickelnden Eigenschaften schon durch die einleitende Phase bestimmt sind. Dieses Fesseln der Aufmerksamkeit des Ohrs in der einleitenden Phase verursacht eine starke Ausdehnung dieser Phase, die im Gedächtnis anscheinend den Hauptplatz einnimmt. Dem Abklingen hingegen zollt

das Ohr nur eine diffuse Aufmerksamkeit ohne Neugierde; das passiv gewordene Gedächtnis hält es kaum fest und zieht die Dauer aufs Möglichste zusammen.

Waren solche Ergebnisse auch vorauszusehen, so ist es doch überraschend, solch außerordentliche Abweichungen zwischen der gemessenen Zeit und der wahrgenommenen Dauer gewisser Klangereignisse festzustellen. Nun sind Ereignisse dieser Art weit entfernt davon, Ausnahmen zu sein — in der Musik sind sie die bedeutendsten und wirksamsten. Die ungeheure Wichtigkeit dieser Untersuchung steht also außer allem Zweifel. Diese Beispiele müssen also bestätigt werden. Am Rande dieser Serie von sieben Klängen wird jetzt Folgendes vorgeführt:

1. Die doppelte Verlangsamung der ersten fünf,
2. die Anfänge der sieben Klänge ohne Abklingen, wie folgt:

Klänge 1 bis 4: je 250 ms,

Klang 5: 300 ms,

Klang 6: fast 500 ms,

Klang 7: 500 und 250 ms.

Siehe die Schnellpflgestreifen und Oszillogramme Fig. 16 bis 18.

1. Bei den *verlangsamten Tönen* kann das Ohr die Klänge, die es außerdem schon kennt, viel unbefangener entziffern. Da die Verlangsamung die Unterschiede zwischen den Informationsdichten der aktiven und passiven Phasen mildert, wird die subjektive Beurteilung durch das Gehör weniger von den gemessenen Zeiten abweichen, was das vorausgegangene Kennenlernen der Töne noch unterstützt. Diese Erscheinung entspricht in der Musik einer „Erziehung“ des Ohrs und im Experiment der schon erwähnten Rückwirkung des Beobachteten auf den Beobachter.

2. *Klangreste*. Es ist bemerkenswert, daß diese Töne trotz der weitgehenden Verstümmelung dem Ohr eine musikalische Information darbieten können, die dem Original manchmal sehr nahe kommt. Das Ohr wird wohl gewahr, daß die Klangreste 4, 5 und 6 jetzt weder Verlängerung noch Abklingen haben. Da aber die charakteristischste Phase beibehalten wurde, findet sich das Ohr schnell damit ab und fügt vielleicht von sich aus ein allerdings unwichtiges Abklingen hinzu. Der 6. Klang hat allein seinen Sinn verloren und die 250 ms des 7. Klanges genügen nicht — er bedarf seiner ganzen 500 anfänglichen Millisekunden, um seinen charakteristischen Rhythmus wiederzugeben.

Was die Oszillogramme anbelangt, so sind sie nach wie vor uncharakteristisch. Zugegeben, daß sie für die Betrachtung von sehr kurzen, dem Pegelschreiber ungeeigneten Ereignissen, ihren Zweck haben, geben sie doch eine lineare statt eine logarithmische Anzeige, stellen also keine Energieintegration dar. In Verbindung mit einer Integriervorrichtung hätte der Oszillograph ein besseres Bild gegeben.

## 2. Serie: Krebsgang der Dauer

Der Einfluß der Informationsdichte auf den Begriff der Dauer führt zu der Annahme, daß die wahrgenommene Dauer des Krebsganges anders ist als die des Vorwärtsganges. Jenachdem die ganze Information mit dem Anfang anscheinend bloßgelegt wird, sodaß das Ohr sich durch Langeweile abschaltet, oder (beim mit dem Abklingen anfangenden Krebsgang) das Ohr progressiv wachgerufen wird und die Weiterentwicklung mit einer Art „Spannung“ abwartet, ist der Höreindruck tatsächlich sehr verschieden. Die Tatsache, daß die Krebsgänge nicht mit einmahl ihre Information bloßlegen, sondern sich eher durch Wirkung als Ursache offenbaren, ergibt Folgendes:

1. *Die Informationsdichte* ist besser verteilt. Die Aufmerksamkeit kann besser aufrecht erhalten werden und ist progressiver. Das Ereignis wird also von einem besseren Blickpunkt aus gesehen.

2. *Das Hören ist abstrakter*. Die musikalischen Eigenschaften des Schalls werden sowohl in der aktiven als auch in der passiven Phase besser wahrgenommen, wird doch die Aufmerksamkeit nicht nur besser aufrecht erhalten, sondern gibt sich mehr Mühe für die Analyse der musikalischen Wirkungen als zur Erklärung der unwesentlichen Ursachen.

3. Aber solche Klänge sind (leider) *eigentümlich*: Die Ursache der Krebsgänge bleibt dem Ohr normalerweise verborgen — genauer gesagt, erkennt das Ohr auch sehr bald die Ursache als bedingt durch das „experimentelle Verfahren“ (sich darauf zu berufen, ist sein gutes Recht), so hat es doch oft Schwierigkeiten, ohne besondere Einübung solche Klänge auf Ursachen zu beziehen, wie es sie gewohnt ist.

Das Eigentümliche ist in der Experimentalmusik von besonderer Wichtigkeit. Man könnte davon sagen, daß es das beste Reagens, aber gleichzeitig die schlimmste Krankheit einer neuen Musikalität ist. Man hat soeben gesehen, wie es die musikalische Speise würzen kann, aber der Preis dafür ist ein Hören, welches Anstoß erregt. Man kann nicht ungestraft das Ohr in eine Welt hineinstürzen, die, was die Ursachen der Ereignisse anbelangt, systematisch absurd ist.

Wir wollen aber zur schon gestellten Frage über die Wahrnehmung der Dauer zurückkehren: Wird der Krebsgang als kürzer oder länger als der Schall selbst beurteilt? An Beispiel. — (Fig. 19) kann sich der Leser seine eigene Meinung bilden. Man hört Klang 1 der ursprünglichen Reihe und seinen Krebsgang und dann Klang 2 und den Krebsgang. Die Beobachter hatten darüber das Folgende zu sagen: So sonderbar diese Klänge auch sind, ist die Aufmerksamkeit besser verteilt, und das Ohr scheint besser in der Lage zu sein, das Ansatzphänomen zu enträtseln, wenn es zuletzt kommt. Insbesondere nimmt das Ohr, wenn nicht den Ansatz selbst, so doch das wahr, was der zu Anfang stehende Ansatz verdeckte, und zwar den harmonischen Inhalt. Über die eigentliche Frage, ob der Krebsgang

länger oder kürzer ist, gibt es sehr subjektive und manchmal widersprechende Aussagen — manchen Beobachtern erscheint der vorwärtsgang länger, weil sich ihr Ohr „langweilt“, sobald der Ansatz vorbei ist; andere finden den Krebsgang länger, da die länger aufrecht erhaltene Aufmerksamkeit „die Zeit länger erscheinen läßt“.

Das 3. Beispiel dieser Reihe ist noch interessanter, da es im Vorwärtsgang deutlich zwei Phasen (Aushalten und Abklingen) zeigt, während diese im Krebsgang als ein kontinuierliches Ganzes erscheinen. Die nächste Versuchsreihe macht dies noch klarer.

### 3. Serie: Zusammenhang und Unterbrechung in einer Klanggruppe

Die soeben erwähnte beachtenswerte Erscheinung zeigt sich auf ganz dramatische Weise im Krebsgang der sieben ursprünglichen Klänge. Die drei obigen Bemerkungen kann man hier über das Ganze machen. Ist die Wirkung dieser sieben Krebsgänge leider auch sehr eigentümlich, so läßt sich nicht abstreiten, daß

1. die Aufmerksamkeit besser erhalten wird; da diese insbesondere durch die Ansatzmaske und die Abklingfadheit nicht zerstückelt wird, verteilt sie sich nicht nur über jeden ganzen Klang, sondern über die ganze Klangreihe: an der Stelle einer *Reihe* von sieben einzelnen, durch Pausen unterbrochenen Klanggestalten hört man jetzt eine *Sequenz* von sieben Klanggestalten, die sich aufeinander beziehen.

2. Man hat schon bemerkt, daß Krebsgänge zu feinerem, abstrakterem Hören führen als Vorwärtsgänge. Daher werden die harmonischen Inhalte nicht nur besser wahrgenommen, sondern heben sich gegenseitig besser ab.

An Hand des Beispiels .—.. welches man aus der Fig. 15 von rechts nach links verfolgen kann, kann man zu diesen Feststellungen auch selber gelangen.

### 4. Serie: Die Suche nach symmetrischen Klängen

Allen den bisherigen Experimenten hat ein besonders unsymmetrisches Material zugrunde gelegen, eine Vorsichtsmaßnahme, die schließlich ziemlich überflüssig war, da die Klänge der Musik im allgemeinen von vornherein eine natürliche Unsymmetrie besitzen. Das erkennt man sehr bald, wenn man den Versuch unternimmt, Klänge herzustellen, die auf dem Plan der musikalischen Dauer symmetrisch sind. Außer der gemessenen Symmetrie muß man hier natürlich auch alle die verschiedenen Erscheinungen beachten, die schon erwähnt worden sind, auch muß man außer der Verteilung der Informationsdichten das notwendige psychologische Gleichgewicht zwischen klarer Ursache und Eigentümlichkeit bewahren. Zwei Beispiele (.—...) einer solchen symmetrischen Konstruktion werden gegeben. Es wurde Folgendes beachtet:

1. Gleichgewicht zwischen klarer Ursache und Eigentümlichkeit: Die aufeinander folgenden Phasen des Klanges sind sonderbar und logisch genug zugleich.

2. Gleichgewicht zwischen Informationsdichte und Zeit: Die dichtesten Phasen entsprechen auch den kürzesten gemessenen Zeiten (Fig. 20).

### Schluß der zweiten Versuchsreihe

Beachtet der Komponist aufs Sorgfältigste die Phänomene der Dauer und ihrer Wechselwirkung mit der gemessenen Zeit, so wird es ihm in keinem, auch nicht dem konstruiertesten und abstraktesten musikalischen Werk gelingen, die Ursachenwirkung völlig auszuschalten, sei sie eine physisch wirkliche, die der Instrumentation oder Manipulation entstammt, oder eine psychisch wirkliche, die sich das Gehör spontan bildet. Die Ursachen werden über das musikalische Ereignis immer herrschen und bei der Wahrnehmung der Dauer sehr ins Gewicht fallen, sodaß die natürliche Unsymmetrie der meisten musikalischen Gestalten unvermeidlich wird.

Unter dem Begriff „Ursache“ verstehe ich natürlich nicht das Element der Analogie, durch welche ein Geräusch oder eine Stimme (oder ein Musikinstrument) erkennbar wird. Man kann annehmen, daß der Komponist dieses Stadium hinter sich hat und dazu gelangt ist, Klänge zu schaffen, die abstrakt genug sind, um jede Analogie zu entfernen. Es bleibt aber bestehen, daß das Aushalten eines Tons z. B. dem Ohr seine logische, voraussehbare, funktionelle Seite aufdrängt. Es widerspricht allen Beweisen, zu glauben, die reine Musik könne das Ohr befreien von seiner wesentlichsten Aufgabe: den Menschen über die ihn umgebenden Ereignisse zu unterrichten. Das Ohr sucht die Beschaffenheit und die Ursache jedes Ereignisses vor jeder ästhetischen Bewertung. Das ist der Grund, warum die Krebsgänge, deren ich für die Erklärung soviel Gebrauch machte und die, wie man sah, ein musikalischeres (abstrakteres) Hören ermöglichten, das Ohr lange (immer?) durch ihre abstoßende, weil unlogische Eigentümlichkeit verletzen werden.

Gibt man also zu, daß die Ursache der Schallereignisse dem Ohr nicht entgehen kann, gelangt man zu einer Zweiteilung des ganzen Schallbereiches:

1. *klassische* Klänge, deren deutliche Ursache das Ohr „freispricht“ (der musikalische Geschmack wird durch die jeweilige Instrumententechnik bestimmt);

2. *maßvoll eigentümliche* Klänge, deren instrumentale Ursache zu wissen, ein an die neue Musik angepaßtes Ohr nicht mehr fordern kann, deren interne Logik es aber immer suchen wird. Diese Musik der unerklärten Ursachen läßt sich vielleicht mit der abstrakten Plastik vergleichen. Man darf dem Ohr noch keine Schallereignisse darbieten, die seiner jahrhundertelangen Anpassung widersprechen, die daher stammt, daß alle Klänge der

Welt eine logische Ursache sowie eine Unsymmetrie der Form haben. Wenn man auch nicht in jedem Fall von einem Informationsmaximum im Ansatz sprechen kann, so bleibt doch bestehen, daß die natürlichen Klänge sich im Abklingen entwickeln. Der Grund, warum das Ohr die gleichmäßig oder schwebend ausgehaltenen Klänge akzeptiert, ist, daß es darin die Beständigkeit einer — gewöhnlich lebendigen — Ursache erkennt, die das musikalische Ereignis mit einem Sein durchdringt, welches von dem der Parameter sehr verschieden ist. Das ist aber eine andere Geschichte . . .

### Dritte Versuchsreihe

#### Das Schallereignis in seinem Zeitzusammenhang

Diese dritte Versuchsreihe wird den anderen zweien wohl nichts Neues hinzufügen, sondern deren Ergebnisse über die Zerteilung der Ereignisstadien, die Verlaufsrichtung oder die Wechselwirkung der Ereignisse aufeinander nur ganz allgemein illustrieren. Die Beispiele für die Experimente wurden bisher ganz naheliegenden Gestalten entnommen, deren Zusammenhang durch gleiche Eigenschaften (z. B. Unsymmetrie) oder gleiche Ursachen (z. B. Musikinstrument) gesichert wurde.

Man könnte meinen, daß ich vorläufig über diese Erscheinungen genug gesagt habe und daß ich mich mit der Anzahl der vorliegenden Ergebnisse begnügen kann. Ich glaube aber, daß der durch den anschaulichen oder analytischen Teil der Ereignisse überzeugtere Leser auch mehr Vorbehalte hegen wird über die allgemeineren Begriffe, zu denen ich zum Schluß gelangte und die viel mehr mit der Psychologie der musikalischen Wahrnehmung als den akustischen Ereignissen zu tun haben. Deshalb muß ich betonen, daß es nicht genügt, den Begriff der gemessenen Zeit durch den der musikalischen Dauer einfach zu ersetzen, auch dann nicht, wenn man die verschiedenen Gesetze der musikalischen Aufmerksamkeit und Wahrnehmung in Betracht zieht. Um eine so überraschende Reihe von Ergebnissen zu erklären, muß ich endlich unterstreichen, daß keine Art der Schallwahrnehmung eine *abstrakte Aufmerksamkeit*, die sich auf die Eigenschaften des dargebotenen Schallereignisses bezieht, von einer *konkreten Aufmerksamkeit*, die sich auf die Umstände oder anscheinenden Umstände seiner Geburt oder seiner Umgebung bezieht, trennen kann. Die Umgebung der Klänge, der Zusammenhang, das Licht, welches sie aufeinander werfen, sind keine Angelegenheit mehr von graphischen Darstellungen oder Messungen, sondern von dem gesunden Menschenverstand — der so vielen Forschern fehlt.

Ich unternehme jetzt einen Vergleich zwischen ziemlich langen Klängen ohne dynamische Besonderheiten, nur um dieses Phänomen zu verdeutlichen und um zu zeigen, wie sensibel das Ohr sein kann und wie sich sein Urteil durch andere Geistestätigkeit — d. h. durch das allgemeine Urteil über die Umstände des Experiments — beeinflussen läßt.

#### 1. Experiment: Die günstigen Bedingungen zu „analytischem Hören“

Wir vergleichen jetzt zwei Klangpaare, die ich vorläufig durch Buchstaben bezeichne. Diese Klänge sind lang genug, daß das Ohr vor allem ihren harmonischen Inhalt wahrnehmen kann, da uns die anderen Eigenschaften zur Zeit nicht interessieren. Beispiel . . . bringt den Klang *A*, dann den Klang *a*, ferner den Klang *B*, endlich den Klang *b*. Man kann das Folgende beobachten:

##### 1. Ursache (analogisches Hören).

Das Ohr „spürt“, daß die Klänge *A* und *B* demselben akustischen Ereignis entstammen, ohne (außerdem) dieses Ereignis näher bestimmen zu können, und daß auch die Klänge *a* und *b* demselben akustischen Ereignis, zweifellos demselben Instrument entstammen, welches das geübte Ohr schnell als Klavierresonanz identifiziert.

##### 2. Eigenschaften (analytisches Hören).

Das Ohr läßt noch eine weitere Parallele zwischen diesen Klängen zu, die musikalisch von größerer Bedeutung als die Suche nach den Ursachen ist, und zwar eine gewisse Verwandtschaft der harmonischen Inhalte. Es handelt sich hier nur um eine sehr ungefähre Annäherung; es genügt, wenn man die Absicht als solche erkennt, daß einer bestimmten harmonischen Struktur *A* eine andere *a*, und einer bestimmten harmonischen Struktur *B* eine andere *b* angenähert werden sollte. Das Wesentliche ist, zuzugeben, daß, *musikalisch* gesehen, der Klang *a* dem Klang *A* und der Klang *b* dem Klang *B* (trotz unterschiedlicher Herkunft) ähnlicher ist, als der Klang *A* dem Klang *B* oder der Klang *a* dem Klang *b* (ungeachtet der gleichen Herkunft, da die musikalischen Eigenschaften abweichen).

#### 2. Experiment: Ursachen „maskierung“

Wenn sich die Einwände über den vorhergehenden Absatz alsbald anhäufen, so wird man dessen Bedeutung sehr bald verstehen. Man wird auf jeden Fall zugeben müssen, daß die Frage trotz ihrer Ungenauigkeit einen Sinn hatte. Wenn man jetzt die Anfänge dieser vier Klänge hört, die auch die instrumentale Ursache ganz deutlich machen, dann stellt sich heraus, daß kein musikalischer Vergleich zwischen den harmonischen Inhalten mehr möglich ist, da die Ursache die ganze musikalische Aufmerksamkeit beansprucht. Der ungeheure Unterschied zwischen diesen Ursachen — dem Reiben auf einem Stab und einer Klaviertaste — lenkt das Ohr von jeder trotzdem bestehenden harmonischen Ähnlichkeit ab, die das vorhergehende Beispiel deutlich genug bewiesen hat. Auf Beispiel . . . hört man

- A'* (der zum Klang *A* gehörende Kopf),
- a'* (der zum Klang *a* gehörende Kopf),
- B'* (der zum Klang *B* gehörende Kopf),
- b'* (der zum Klang *b* gehörende Kopf).

Die vollständigen Klänge, wie sie in der Natur vorkommen, kann man sich aus  $A' A$ ,  $a' a$ ,  $B' B$  und  $b' b$  ohne Mühe denken.

Man kann am Rande bemerken, wie schwer die zeitbedingte Wechselwirkung der Dauer auch in diesem makroskopischen Phänomen wiegt: die Köpfe scheinen den Klang fast zu erschöpfen und die Dauern ändern sich, obwohl in gemessenen Zeitwerten  $A = a$ ,  $B = b$ ,  $A' = a'$  und  $B' = b'$ . Die Köpfe machen es unmöglich, sich das ganze musikalische Ereignis zu vergegenwärtigen, obwohl sie vielmals kürzer sind als das Abklingen. Diese psychologische „Maskierung“ des Ohrs durch die Ursache ist eine weitere Erscheinung der zeitbedingten Wechselwirkungen. Man könnte sagen, daß diese übermäßigen instrumentalen Unterschiede das Ohr blenden und es zur Analyse unfähig machen.

So konnte es geschehen, daß man seit zehn Jahren aus der Feder von unzähligen Kritikern triviale Urteile über die neuen Klänge, mit denen wir experimentieren, lesen mußte. Es handelt sich wohl um dieselbe Erscheinung: diese Kritiker — die, wenn sie schon keine geistige Neugierde zeigen, so doch ein besseres Gehör aufweisen sollten — hören nichts als Kochtöpfe, Motoren und andere Geräusche der Umwelt, wo es nichts als musikalische Klänge gibt, die zudem den traditionellen sogar sehr nahe kommen. Es ist vorgekommen, daß Sequenzen, die sich nur aus Geigen-, Cembalo- und Trompetenklängen aufbauten, verschieden bearbeitet (nur in Bezug auf die Zeit natürlich — es handelt sich um harmonisch unveränderten konservierten Schall), von berühmten Kritikern als realistische Geräusche, die sie ohne weiteres näher beschrieben, gehört wurden.

Die soeben gehörten Klaviertöne waren ein Versuch, in ihrem *Abklingen* eine diatonische harmonische Analyse eines Timbres zu realisieren, das anscheinend zu komplex ist, als sich einer solchen „Reduktion“ zu unterwerfen. Der Versuch war aber die Mühe wert und das Abschneiden des Ansatzes war naheliegend, nicht nur um die Analogie zu vermeiden, sondern um der dynamischen Struktur der Gestalt näherzukommen. Die hier gemachte Erfahrung kann zu einer genaueren Kenntnis der harmonischen Struktur der Klänge führen — insbesondere einer fast unbegrenzten neuen Art von fast normalen, natürlichen Klängen.

### 3. Experiment: Zusammenhang und Anziehung

Bedenkt man, daß alles musikalische Streben nach einem von der Analogie geläuterten Hören zielen muß, welches dem Ohr die bestmöglichen Bedingungen gibt, seine analytischen Fähigkeiten auszuüben und nicht die Ereignisse, sondern die Strukturen aufeinander zu beziehen — dann wird man die Wichtigkeit des vorangehenden Experiments trotz seiner fast karikierenden Art begreifen. Es ist daher von Nutzen, diese Klänge noch einmal, aber in einem neuen Zusammenhang zu hören (Beispiel ..—..). Bringt dies auch nichts Neues, so wird es doch eine unanciertere Wahrneh-

mung hervorrufen. Man findet in der Tat, daß man solche Klänge ohne Eigentümlichkeit umkehren kann. Die Umkehrung ist nichts als eine vollkommen klassische musikalische Variation der Dynamik — der traditionellen Musiker würde sagen: crescendo oder decrescendo. Man hört also

$A$  Krebs und  $a$  vorwärts,  
 $a$  Krebs und  $A$  vorwärts; dann  
 $B$  Krebs und  $b$  vorwärts,  
 $b$  Krebs und  $B$  vorwärts.

Diese Permutationen, als Ganzes genommen, bilden Variationen im musikalischen Sinne. Tautologien sind sie nicht, was beweist, daß ihre Umkehrung, ihre Reihenfolge und ihre Zusammenstellung, besonders wenn sie kleine dynamische Abweichungen mit sich bringen, neue Elemente der musikalischen Information oder eine Art *Anziehung* bedeuten.

### Allgemeiner Schluß

Bevor ich diesen Beitrag abschließe, möchte ich dem Leser eine grundlegende Frage stellen: Sind die hier geschilderten Ergebnisse über die zeitbedingten Wechselwirkungen eine Anregung, die Weiterentwicklung der Experimentalmusik zu verfolgen? Und worin besteht genau genommen eine solche Weiterentwicklung?

Die Ergebnisse der Wechselwirkungen zwischen Zeit und Dauer muß ich hier nicht noch einmal zusammenfassen. Man erinnert sich aber, daß ich schon im Vorwort sagte, die Experimentalmusik müsse eine völlig neue Richtung einschlagen, die abweicht sowohl von der Richtung der diesen neuen Erscheinungen gegenüber gleichgültigen, traditionellen Musiker, als auch von der Richtung der in die Akustik zu sehr Verliebten. Diese Behauptung muß man jetzt entweder annehmen oder widerlegen. Diese neue Richtung möchte ich jetzt kurz umreißen.

1. Die Zeit — einer der für Meßinstrumente sowie für das Ohr faßbarsten Parameter — hat durch die vorliegende Arbeit zwei voneinander grundsätzlich abweichende Aspekte erfahren, die zwei verschiedenen Wirklichkeiten entsprechen. Kann man also *die gemessene Zeit als einen musikalischen Parameter*, trotz aller sich daraus ergebenden Folgen, weiter betrachten?

2. Die Ergebnisse über die zeitbedingten Wechselwirkungen geben Grund zu denken, daß es den *anderen musikalischen Parametern ähnlich ergehen wird*. *Deren Wechselwirkungen mit dem musikalischen Gefühl* muß man auch erforschen. Es versteht sich von selbst, daß ich die Entwicklung ins Rollen bringen will mit dem Wort *Timbre*, denn es ist klar, daß dessen akustische und musikalische Begriffe nichts Gemeinsames haben. Der Abschnitt über die Dynamik gab mir Gelegenheit, mit einem genaueren, aber sehr komplexen Begriff des *Timbre* (beim Klavier) anzufangen. Schon

jetzt kann ich behaupten, daß das *Spektrum der Physiker*, von dem man uns seit Jahren erzählt, daß es bestimmend für das musikalische Timbre ist, genau so wenig das musikalische Timbre charakterisiert, wie es der Fall mit den Oszillogrammen und dem Ansatz war. Da ich dies als meine jetzige Aufgabe betrachte, *ist alles, was man mir zu diesem Thema beitragen kann, von Nutzen*, und ich möchte meinen eventuellen Korrespondenten im Voraus danken.

3. Wird man jetzt zugeben, daß die Musik zusätzlich zu den Wechselwirkungen zwischen akustischen Parametern und den musikalischen Faktoren fortwährend die *Psychologie des Gehörs* beachten muß? Das heißt so viel wie: es gibt keinen abstrakten Klang, keine reine musikalische Gestalt, sondern nur Ereignisse, die dem Ohr dargeboten werden und die sich mehr oder weniger zur Verwendung in einer abstrakten Konstruktion eignen.

4. Auch die *Kausalität* übt einen starken Einfluß auf das musikalische Ereignis aus. Um mich ganz deutlich auszudrücken, möchte ich den Einwand von vornherein entkräften, den ein oberflächlicher Leser vielleicht machen könnte: „Sie schneiden einen Klavierton ab,“ könnte er sagen, „das ist ja alles sehr schön, aber würden Sie deshalb behaupten, daß der erste Augenblick — der, in dem der Spieler auf die Taste gedrückt hat — nicht mehr wichtig ist? Haben Sie da nicht vielleicht einen falsch abgeleiteten Beweis ad absurdum geführt?“ Man muß in der Tat mehrere verschiedenartige Kausalitäten oder Ursachen, die ein Schallereignis hervorrufen können, unterscheiden.

- a. Die nächstliegende ist die *wirkende oder instrumentale Ursache*. Vom kurzen Augenblick, in welchem der Pianist die Taste drückt, hängt tatsächlich das ganze Werden des Klanges ab.
- b. Die zweite ist die *musikalische oder akustische Ursache*. Das akustische Problem des Pianisten wird, von den Anfangszuständen ausgehend, tatsächlich durch die Gleichung der schwingenden Saiten gelöst und verliert also alle Romantik.
- c. Endlich gibt es die *subjektive oder psychologische Ursache*, die man oft mit einer der beiden vorangehenden verwechselt. Das Ohr kann aber nicht anders, als zu hören, was es zu hören bekommt, und erst von diesem Punkt an kann es spontan induzieren. Dem unvorbereiteten Ohr klingt ein unter den erwähnten Bedingungen abgeschnittener Klavierton wie ein solcher, bei dem der Spieler die Taste dort drückt, wo der Schnitt anfängt. (In einem gewissen Sinne ist die Musik die Kunst, das Ohr zu betrügen.) In dieser spontanen Induzierung des Ohrs haben wir übrigens zwei Stufen unterscheiden können:
  - i. eine *äußerliche Induzierung*, die sich auf andere Ereignisse oder auf den Zusammenhang bezieht;
  - ii. eine *innere Logik*, die vom Aufbau und der Entwicklung des Ereignisses selbst ausgeht.

Man muß sich also fortwährend die grundsätzlichen Unterschiede zwischen diesen zwei Arten von Gehör, die einander dauernd ergänzen: das analogische und das analytische, das makroskopisch-beziehende und das differentiell-vergleichende, vergegenwärtigen.

5. Wird man, wenn das alles klar geworden ist, endlich zugeben, daß man ein für allemal die mehr oder weniger schmeichelnden — mehr oder weniger betrügerischen — Attribute, die man in letzter Zeit den verschiedenen Forschungen angehängt hat, über Bord werfen sollte? Ist es insbesondere nicht sonnenklar, daß das Attribut *wissenschaftlich* die meisten interessierten jungen Musiker zu einem dauernden *Unsinn* verführt? Entweder beschreibt ein solches Attribut auch die instrumentale Arbeitsmethode — und es hat sein *raison d'être*; oder es deutet eine pseudowissenschaftliche Methode an, besonders wenn man die Zuflucht zu den akustischen Parametern als einen Fortschritt im Solfeggieren ansieht. Vor der Gefahr, die einer wehrlosen Generation junger Menschen da droht, kann man nicht endringlich genug warnen.

\*

Zum Schluß möchte ich auch die Arbeitsmethode, die ich instinktiv verfolgte, kurz erläutern. Da ich mit der Zeit experimentierte, standen mir von Anfang an zwei wichtige Hilfsmittel zur Verfügung: die Schere, die den Augenblick bestimmt, und die totale Transponierung, die die Zeit dehnt oder rafft, ohne den physischen Inhalt des Klanges zu ändern, außer natürlich einer Verschiebung im Spektrum. Somit hat der Experimentierende viele Möglichkeiten. Diese zwei Bearbeitungen des Gegenstandes — Schnitt oder Dehnung — berühren das Wesentliche seines Haushalts — seine akustische Struktur — nicht. Der Bereich des Bewußtseins aber wird, wie wir sahen, durch diese Bearbeitungen von den unvorhergesehenen Seiten aus angegriffen.

Das Wichtigste in einer solchen Experimentalarbeit ist, nicht alles auf einmal in Bewegung zu setzen. Die Klanggestalt wird also zunächst so wenig als möglich verändert; dabei ändert sich seine Erscheinung für das musikalische Bewußtsein auf die mannigfaltigste und oft sehr plötzliche Weise, die aus dem Wesen der Klanggestalt selbst oft nicht erscheinen würde. Bei dieser Arbeit kann man mit ziemlicher Sicherheit die besonderen Gesetze des wahrnehmenden Ohrs studieren.

Es ist ja klar, daß das Umgekehrte auch zutrifft, nämlich daß man eine Klanggestalt bestimmten rein akustischen, musikalischen Messungen unterziehen kann, welche, bezogen auf die Wahrnehmung, zu ähnlichen Ergebnissen führen — das ist die *Wechselwirkung* zwischen dem physischen Wesen des Phänomens und dem Wesen der Wahrnehmung.

Aber das ist ja schließlich *der eigentliche Zweck des musikalischen Studiums*. Das Studium der Klanggestalten ist nur akustisch, das Studium der Wahrnehmung ist nur psychologisch, aber das Studium der Wechselwirkung

zwischen der Klangerregung und deren künstlerischem Ergebnis ist nichts anderes als *das Studium der Musik*. Darf man noch hinzufügen, daß ein solches Studium, um echt musikalisch zu sein, praktisch und handwerklich bleiben muß? daß der Musikforscher weder Wissenschaftler, noch Psycholog, sondern Künstler und Handwerker, der sich mit dem Endzweck und schließlich mit hörbaren Ergebnissen befaßt, sein muß? Diese oder jene Arbeitsstufe mag wohl aus wissenschaftlichen Arbeiten oder psychologischen Folgerungen bestehen, doch kann das für den Musiker nie zum Selbstzweck werden. So wichtig diese Ergebnisse auch sein mögen, können sie ihn nur dann interessieren, wenn sie ihm dazu verhelfen, *Musik zu machen*. Darf ich auch sagen: *besser zu hören*.

Es scheint, daß man in der ganzen Zeit, seit welcher sich eine solche Menge von Arbeitsgruppen auf diese Probleme stürzen, viel zu schnell vorwärts kommen wollte — nicht nur bei der direkten Bearbeitung der Klangstrukturen, sondern auch bei der illusorischen Anwendung einer wissenschaftlichen Methode, sowie bei der voreiligen Vorführung von hastig zusammengebastelten Synthesen vor Ohren, die entweder zu träge oder zu aufnahmebereit waren.

Bevor man durch jene Filtrierungen oder Wiederholungen, die theoretisch so viele Möglichkeiten besitzen und in der Praxis so armselige Resultate ergeben, den Schall selbst attackiert — bevor man mit Willkür synthetische Konstruktionen ausspinnt, sollte man vielleicht bedenken, daß die Klänge der Natur, ob sie nun von den traditionellen Instrumenten stammen oder Geräusche sind, uns viel zu lehren haben. Alles, oder fast alles, kann an deren Hand wieder entdeckt werden.

Für die wichtigsten meiner Entdeckungen hat ein Magnetongerät und eine Schere gereicht. Es ist etwa wie in den untersten Klassen, wo die strenge Disziplin die Lösung einer Aufgabe mit Lineal und Zirkel allein fordert.

Schere und Klebeschiene sind die bescheidenen Mittel dieser untersten Stufe des musikalischen Studiums, durch welches ich gegangen bin — und daran habe ich gut getan. Es waren das Lineal und der Zirkel, mit welchen die Griechen die Geometrie entdeckten. Die Musiker würden wohl tun, sich ein Beispiel daran zu nehmen.

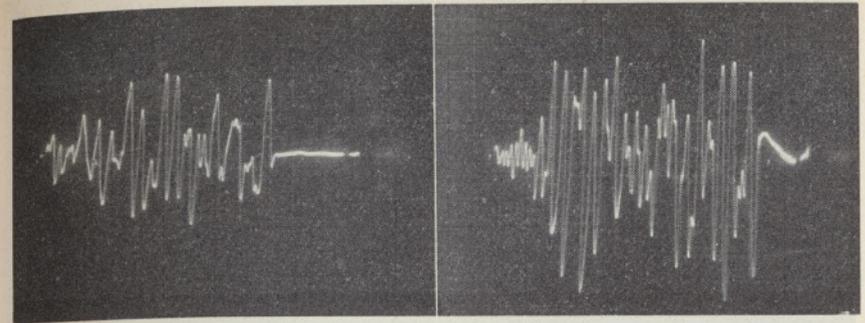


Abb. 1 Zwei Klaviertöne  $A_1$   
Fig. 1 Two piano notes  $A_1$  —

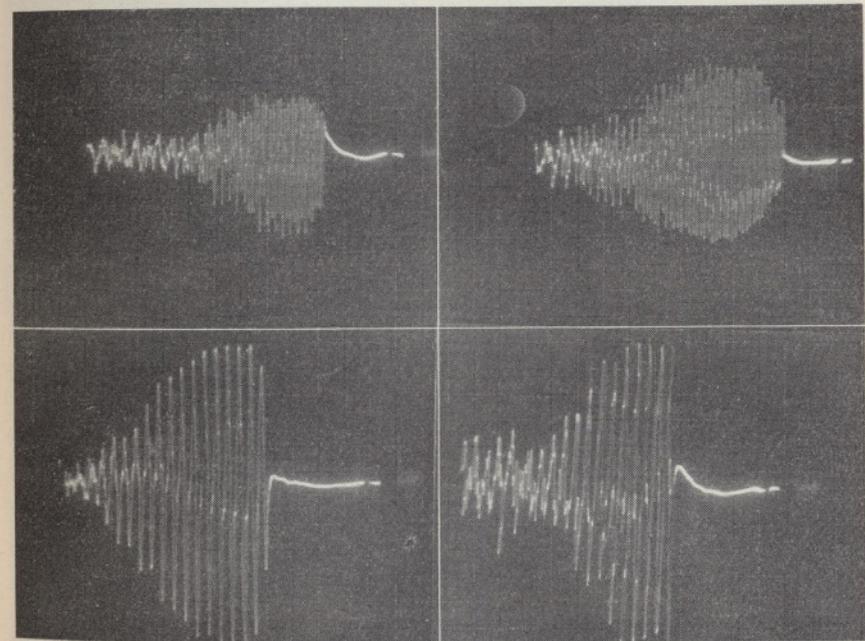


Abb. 2 Offene Geigentöne — oben: zwei E, unten: zwei A  
Fig. 2 Two open E's (above) and A's (below), of the violin —

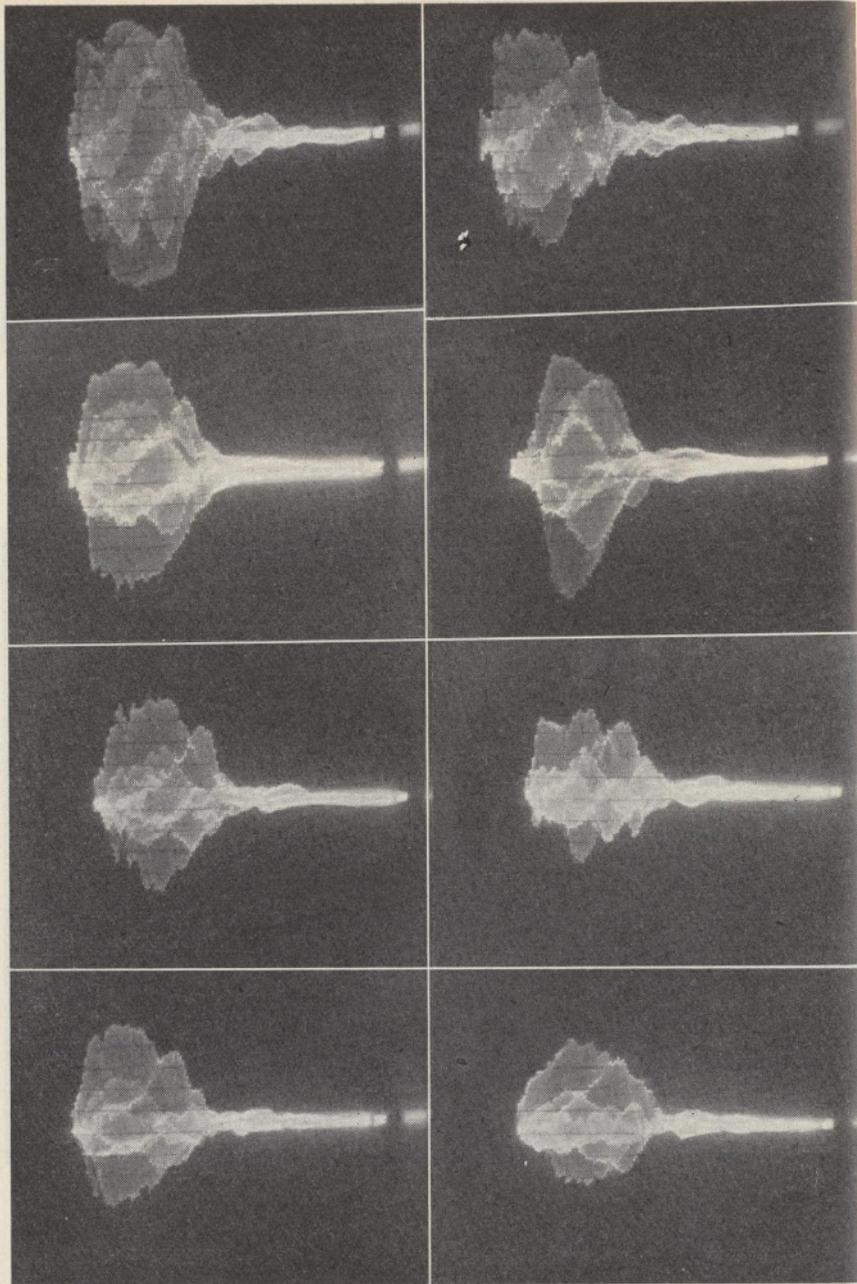


Abb. 3 Acht gleiche Staccatotöne der Trompete  
 Fig. 3 Eight similar trumpet staccato notes — .

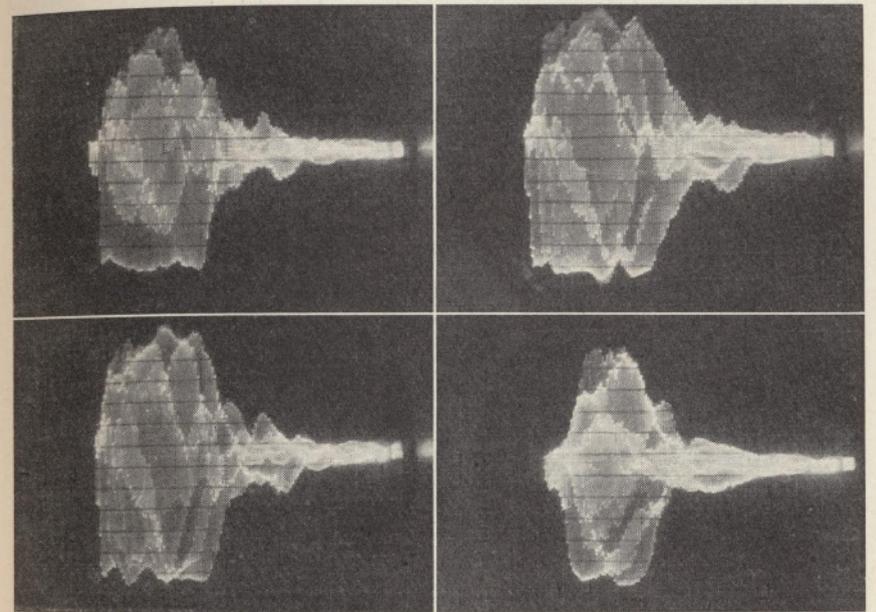


Abb. 4 Die Bandüberspielung der ersten vier Töne der Fig. 3  
 Fig. 4 The first four notes of fig. 3 dubbed an another tape

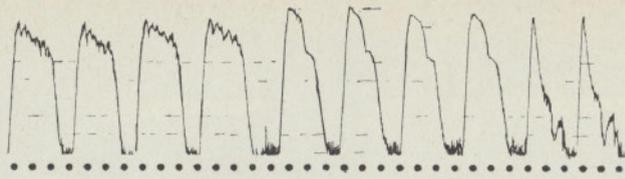


Abb. 5 Vier tiefe, vier mittlere und zwei hohe Klaviertöne  
 Fig. 5 Four bass, four medium and two treble piano notes — ..

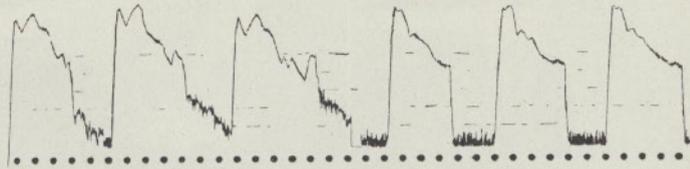


Abb. 6 Gitarrentöne  
 Fig. 6 Guitar notes — ...

Abb. 7 Ton  $A_4$  ganz, und mit 50, 100 und 150 ms vom Anfang abgeschnitten

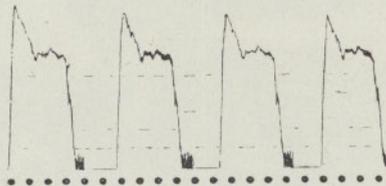


Fig. 7 Note  $A_4$  whole, and with 50, 100 and 150 ms cut from the beginning

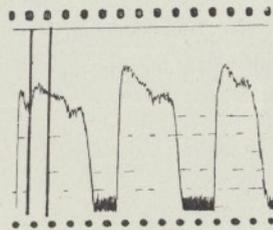


Abb. 8 Ton  $A_1$  ganz, und mit  $1/2$  und 1 sec abgeschnitten; die Schnittstellen sind im ganzen Ton angedeutet  
 Fig. 8 Note  $A_1$  whole, and with  $1/2$  and 1 sec cuts indicated by the lines on the whole note . - - .

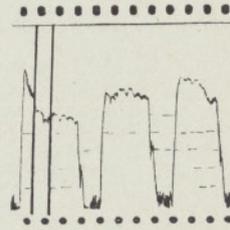


Abb. 9 Veränderungen der Einschwingung eines  $A_4$  durch Schnittstellen im nicht-linearen Teil  
 Fig. 9 Attack of an  $A_4$  altered by cutting beyond the linear portion — ..

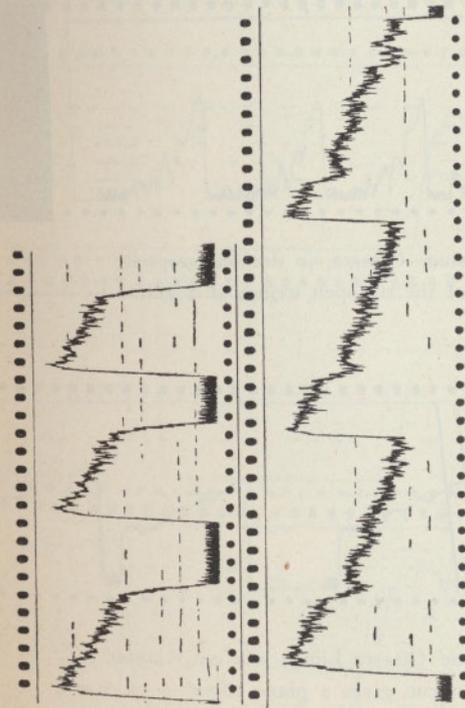


Abb. 10 Drei Abschnitte von zwei Gongs

Fig. 10 Three cuts off two gongs — - - -

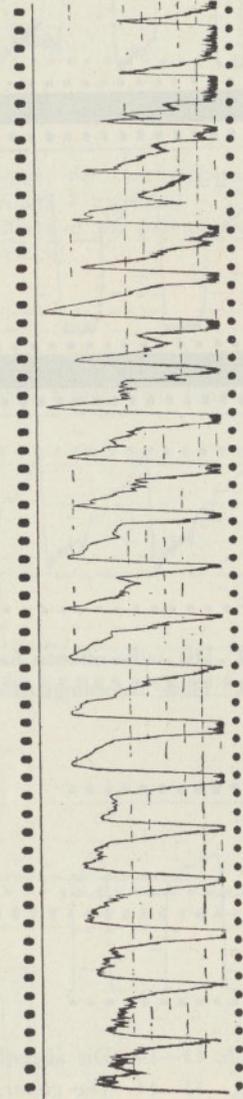


Abb. 11 Eine Auswahl Klaviertöne in ansteigender Reihenfolge: die Einschwingung wird immer schärfer

Fig. 11 A sample of piano notes in ascending order, showing the increasing sharpness of the attack — - - -

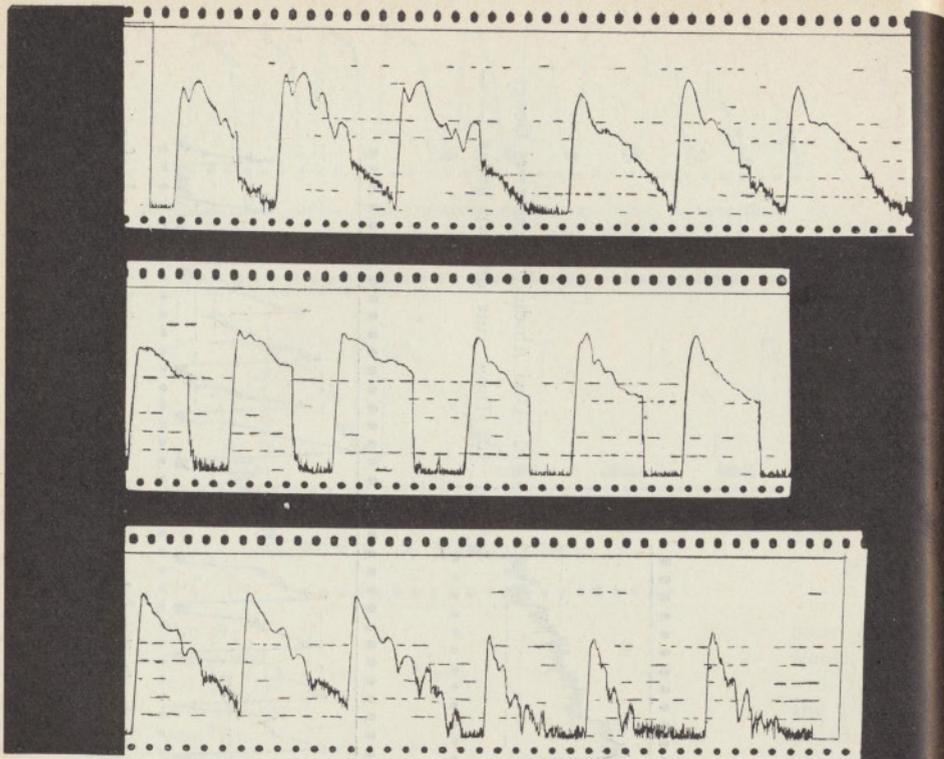


Abb. 12 Die sechs offenen Saiten einer Gitarre, je dreimal gespielt  
 Fig. 12 Three recordings of each of the six open strings of a guitar

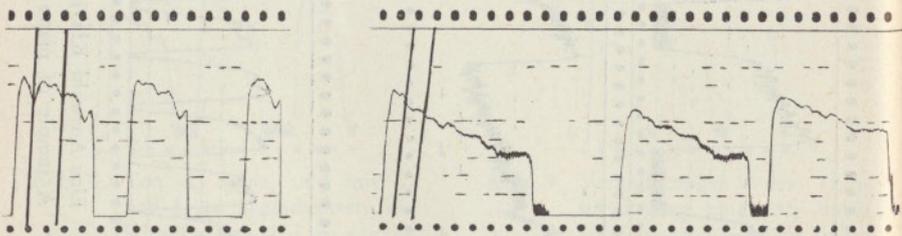


Abb. 13—14 Die abgeschnittene Gitarre klingt wie ein Klavier  
 Fig. 13—14 The guitar, when cut, gives a piano effect

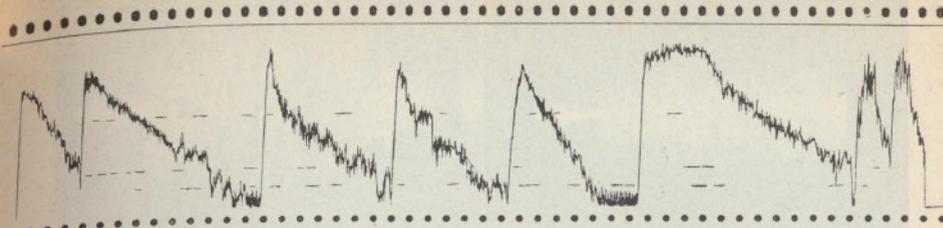


Abb. 15 Sieben Klänge  
 Fig. 15 Seven sounds

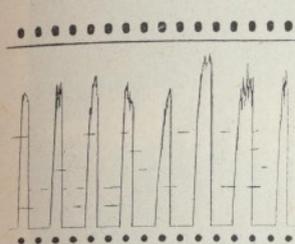


Abb. 16 Die Anfänge der vorhergehenden sieben Klänge (Klang 7 zweimal)  
 Fig. 16 The beginnings of the previous seven sounds (sound 7 twice)

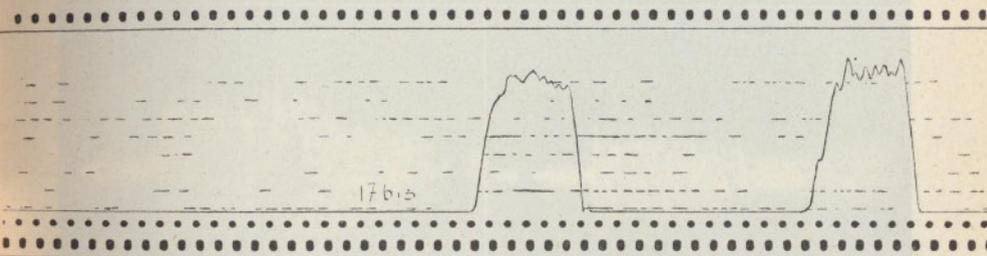
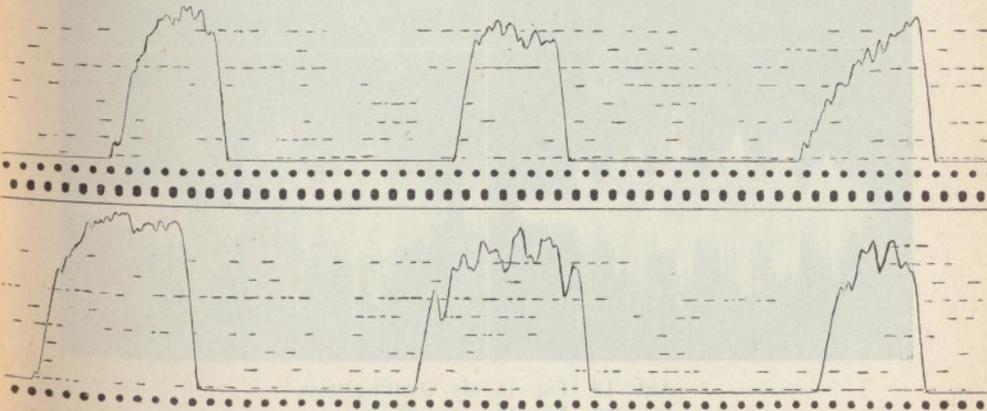


Abb. 17 Fig. 16 mit einer vergrößerten Zeitordinate  
 Fig. 17 Fig. 16 with a magnified time ordinate



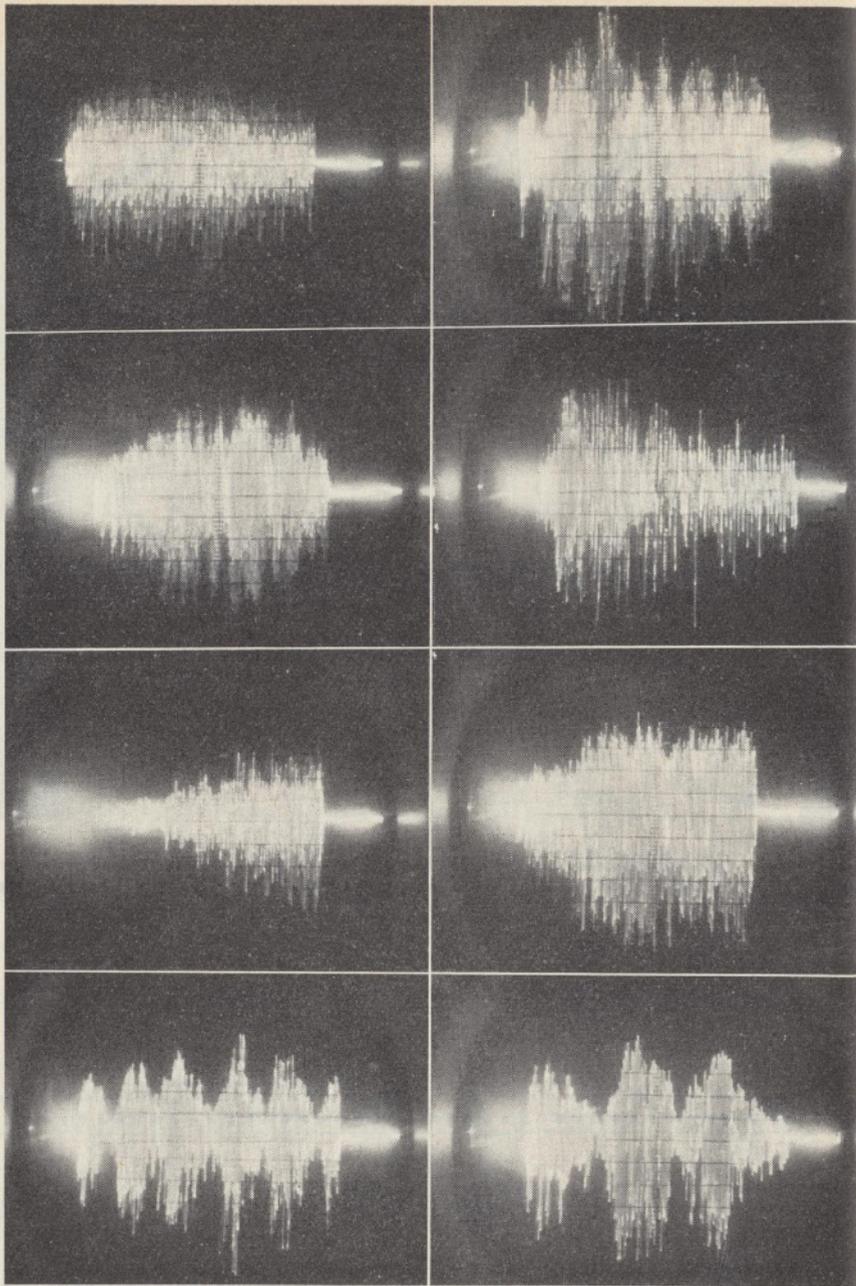


Abb. 18 Fig. 16 als Oszillogramm  
 Fig. 18 Fig. 16 as oscillogram

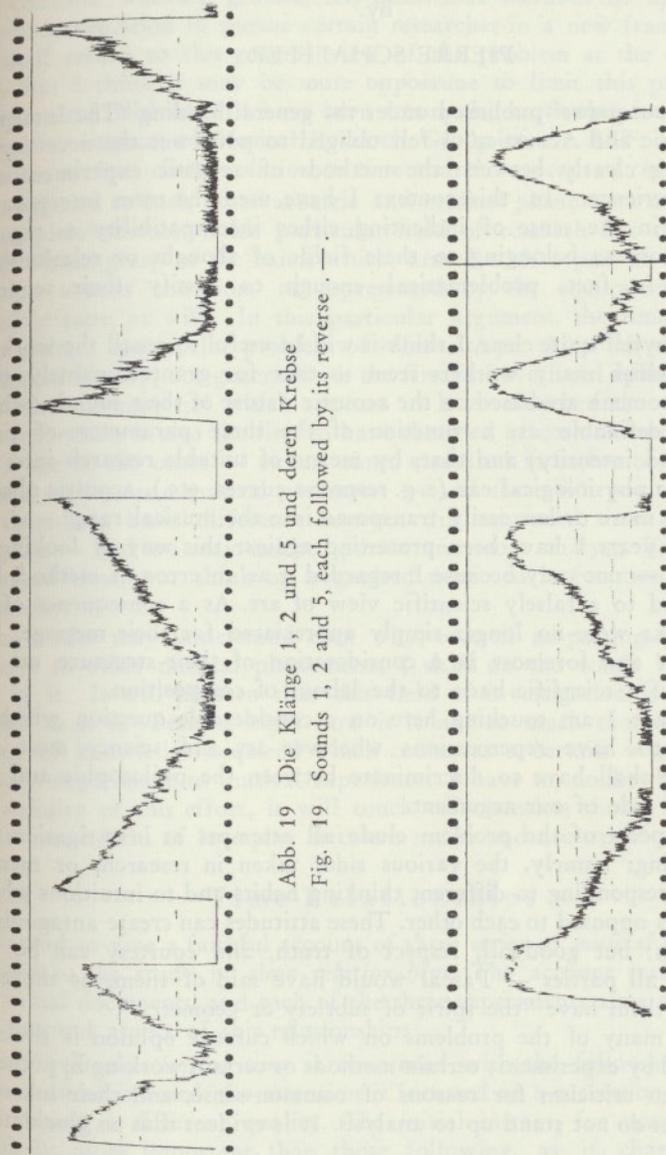


Abb. 19 Die Klänge 1, 2 und 5 und deren Krebse  
 Fig. 19 Sounds 1, 2 and 5, each followed by its reverse . — .

Abb. 20 Symmetrische musikalische Gestalten  
 Fig. 20 Symmetrical musical objects . — . . .

## Note on Time Relationships<sup>1</sup>

by

PIERRE SCHAEFFER

In a previous paper<sup>2</sup> published under the general heading "The Interplay between Music and Acoustics" I felt obliged to point out the necessity of distinguishing clearly between the methods of acoustic experiment and musical experience. In this context I have used the term *interplay* or *relationship* in the sense of indicating either incompatibility as regards certain phenomena belonging to these fields of thought or relationships which are, in fact, problematical enough to justify their separate investigation.

To make myself quite clear, I think it will be useful to recall the working hypotheses which many workers seem to take for granted: namely, that musical phenomena are based on the acoustic nature of their sounds (which are always definable as a function of the three parameters of time, frequency and intensity) and that, by means of suitable research into the nature of the physiological ear (e.g. response curves, etc.), acoustic phenomena can be more or less easily transposed into the musical range.

For many years I have been protesting against this way of looking at the problem — not only because I regarded it as an error of method, but because it led to a falsely scientific view of art. As a consequence of it, musical works were no longer simply appreciated for their message, but justified first and foremost in a consideration of their structure, on the assumption of a scientific basis to the labour of composition.

I realise that I am touching here on a considerable question which is likely now to have repercussions wherever art and science meet. In addition, we shall have to discriminate between the philosophic and the experimental side of our argument.

Certain aspects of the problem elude all attempts at investigation for the time being: namely, the various sides taken in research, or mental attitudes corresponding to different thinking habits and to intuitions which are sometimes opposed to each other. These attitudes can create antagonistic undercurrents; but goodwill, respect of truth, and courtesy can be the mainstay of all parties — Pascal would have said of them, as the case may be: let them have "the spirit of subtlety or geometry".

However, many of the problems on which current opinion is divided can be solved by experiment; certain methods or certain working hypotheses are subject to criticism for reasons of common-sense, and their inherent contradictions do not stand up to analysis. It is evident that an elucidating

<sup>1</sup> Development of a paper read at Gravesano on the 8th August, 1959.

<sup>2</sup> Gravesano Review, No. 14.

job needs doing to give those working in different directions a more solid and common working ground, less hazardous methods of approach, as well as a suggestion to pursue certain researches in a new frame of mind.

I shall return to this general view of the problem at the end of this note. But I think it may be more opportune to limit this paper to the experimental field which I have been attempting to further for some years under the auspices of Musical Research Group of the RTF: *the sounds' situation in time, their evolution in time and the concept of their duration*.

As opposed to such other acoustic and musical phenomena as are veiled in complete obscurity, this particular field of research has the merit of being within grasp of the hand, which, armed with a pair of scissors, can cut the sounds' duration, as represented by the equivalent length of magnetic tape, at will. In this particular argument, the time parameter poses quite a spectacular problem of *relationships*. After all the centuries of musical history, our generation is the first to have fixed ephemeral music in a track of material which appears to have absorbed the whole of it. Our generation is also the first to have sketched a score on squared paper.

It's one or the other — either: time, measured in inches of tape, comes in as a reality, as a musical parameter — and there is a point in all this; or: there is a basic difference between this measured time and musical duration — and we may neither pursue any more analyses based on this measured time, nor think up organised music as a function of a false parameter.

The reader may understand then why, even if in passing I may have to refer to other musical phenomena, I shall on the whole keep to this side of it. It will be seen that this field of investigation is quite wide enough as it is. Besides, right now it is not so much the results or the ballast of knowledge acquired which count, as a certain way of linking acoustic experiment to musical experience. I have no doubt that, granted the validity of this effort, it will touch off countless similar sorties into the immense field of interplay between music and acoustics.

### Time Relationships

I intend to give a faithful account of three series of *musical experiments* devoted to the study of *time relationships*. The account includes aural<sup>3</sup> and visual documents, and each of the three experiments aims at clarifying one essential aspect of this relationship:

1. *The localisation of time* is concerned with the following question: when a sound is heard, the attention is focussed on a succession of instants, each having a different quality. The initial instant, for example, seems infinitely more important than those following, as if charged with a

<sup>3</sup> cf. Record.

maximum of information. Does this phenomenon correspond to an acoustic reality or a psychological reality?

2. *The evaluation of time.* When a sound event is heard, the attention is focussed on the successive durations modelling that event. A certain equilibrium exists between these durations, which the ear perceives either qualitatively or quantitatively, e.g. equal duration. Do these perceptions of duration correspond closely to the measured times or not?

3. *The identity* of the evaluations or localisations, not only of the durations or time graduations of the sound event but of its information content, raises the final question: are the time-judgments on a sound event identified with the event itself, or are they conditioned by preceding or following events?

For a stricter definition of the field of investigation, and to prevent events of too heterogeneous a nature being introduced, the different portions making up each sound can be examined separately. The question will then take the following aspect: does listening to the various parts of a sound give rise to the same perception if these fragments are connected together or separated by silences, if they come in the original order or permuted in a different order?

\*

For a better understanding of the "heart-rending" revision to which this question will bring us in the end, let us recall the unfounded hypotheses regarding musical time to which we refer implicitly by analogy to the physicists' concept of time:

1. It is possible to localise a precise instant during the occurrence of an event;

2. It is possible to perceive duration and even to measure it on a chronometer;

3. The localisation of instants and the perception of durations for a fixed event in sound is likewise fixed and cannot give rise to different perceptions depending on environment, subdivision, or order of events.

It will be shown that while such concepts may apply to the material part of sound, i.e. to all the material phenomena stored in the magnetic tape (Tonal Object), this is by no means the case as concerns the sound information, i.e. all the perceptive phenomena out of which our ear, in the musical sense of the term, builds up its synthesis (Musical Object).

The description of the experiments to follow will in fact lead in the end to the contradiction of the above three propositions; this conclusion is being anticipated here so as to make the point behind the experiments clearer:

1. The localisation of instants sometimes results in a most strange *relationship*. Thus, what the ear "localises" in the attack instant does not at all pertain to that instant but comes from a general law of dynamics.

This is a case of an integration phenomenon: the ear, far from discriminating among the instants, subjectively projects the whole of the event onto its initial instant.

2. The perception of duration is, on the psychological plane, certainly a function of the physical time of the event's duration, but still more a function of the quantity and quality of the information contained in this or that period of time.

3. The perception of time in a sound event cannot be attached to that event without regard to its *context*, for a great variety of reasons, the main ones being:

- a. the *causality* context by which each event is surrounded and which can form genuine "masks" to the perception;
- b. the impossibility of *vivisection* of the event perceived, each fragmentation creating new events which are related to the original event but are new in themselves;
- c. the important bearing which the *environment* has on an event which is itself very indeterminate in regard to temporal perception;
- d. the natural *asymmetry* of events which largely condition our ear depending on whether the maximum of information is abruptly disclosed or gently prepared;
- e. the appearance of *peculiarities*, which by no means exclude causality, but tinge the perception and perturb in particular the perception of time.

Thus, in general: musical perception *substitutes* for the arithmetical parameter of time a parameter of *durations* with a twin aspect:

1. it can be regarded as a function of a rather large number of objective factors or causes;

2. it can just as easily elude all objective evaluation because of the existence of various states of consciousness, some of them predictable, others fortuitous, by which each listening is a special perceptive case.

## First Series of Experiments

### The Attack Phenomenon

#### Historical

The attack of a note is without any doubt one of the most familiar of all musical phenomena. Percussion is one of the most primitive musical gestures (lithophone, gong, drum, etc.) and one of the most important in instrumental technique not only in percussion instruments (piano) but in instruments of maintained tone (tonguing, bowing attack). Centuries of human conditioning seem to have made an indelible association between the muscular reflex in playing an instrument and the musical effect, and have brought the accent usually given to the beginning of a note into

prominence. Conversely, the complementary techniques show up the *dolce* or the progression of attacks.

Recent techniques, and especially musique concrète from its very first experiments, have given us the following experiences:

- a. the attack is most important in the creation of musical objects and varies with the quality of the sounding body under examination and its setting into vibration. From the first stammerings of this technique we have, probably wrongly, looked to traditional science for support in distinguishing among materials, e. g. wood, skin, metal, etc. in relation to the type of baton or clapper. Just the same, the experimenters never doubted that the attack conditions depended on:
  1. the dynamic nature of the tone's beginning, which they tried to classify either by the steepness of its slope or qualitatively as plucked, percussive, explosive, etc.;
  2. the harmonic complexity of the Musical Object emitted by the sounding body as well as the importance of its harmonic evolution and the character of that evolution (progression, grain, etc.);
- b. the attack is most important in the *analysis* and in the *perception of Musical Objects*.

A fundamental experience was behind the series of experiments carried out since 1948 in Paris at the RTF under the label of Musique Concrète, namely the experiments called "The Curtailed Bell".<sup>4</sup> The recordings were made on a disk, but the phenomenon is more easily described starting from the tape recording. This recording of the sound of a bell was cut into two sections, beginning and ending. If the beginning was recognisable, the second section of the sound was not, in general — especially if care was taken to keep the level perceptibly constant. Some bell sounds turned out more like those produced by an organ or wind instruments. Quite apart from the actual purpose of the experiment, this fact was so remarkable as to make the summary classification of instruments into families such as the percussion, wind and string groups, etc. seem quite arbitrary, or, rather, to make the real arbitrariness of this classification quite apparent. Soon sufficient interest was roused for an experimental analysis of sound by material preparation followed by musical audition.

At this point mention must be made of statements made well in advance of this by Carl Strumpf and opportunely recalled by Hermann Scherchen who had been maintaining since 1930 that certain instruments deprived of their attack could confuse the best musicians attempting to recognise them.

If we bear the positive nature of all this work in mind, we will admit that it has contributed towards anchoring, among searchers, a certain conception of the traditional idea of the attack, namely, as a quite distinct

<sup>4</sup> cf. *Polyphonie*, No. P. ; A la recherche d'une Musique Concrète, P.

event *localised* in the initial phase of the sound. This conclusion made electroacousticians attach the greatest importance to the transients accompanying the birth of a sound. It also led musicians to rest on the hypothesis of localisation in time which was both plausible and, for the time being, confirmed.

Several years passed without anything new happening: the hypothesis seemed too evident to be cast into doubt. Now it is always the case with a working hypothesis of this kind: if it happens to be wrong, all subsequent research only marks time and ends in confusion. An accident is necessary or an exceptionally scrupulous revision, to revolutionise suddenly the acquired habits of thinking. Now this happened this way:

- a. it happened methodically by a more attentive examination of the transients on the oscilloscope;
- b. and by experimental verification, on tape, of the above-mentioned experiment of the curtailed piano.

This discovery did not remain isolated but led to a series of investigations into the dynamics of Musical Objects and the family grouping of dynamic types of one single musical instrument. This again set off a new theory of musical instruments seen no longer as a function of some primary causality, nor of the particularly confused notion of timbre, but in relation to certain characteristic traits of the dynamics of the Musical Objects they emitted. Here is a description of this series of experiments.

#### 1st Series: Oscillographic study of the initial phase of a sound

Jacques Poullin and Alain de Chambure were charged in 1957 with the oscillographic comparison of the initial transients of various sounds with emphasis on those produced by the piano, but leading eventually also to string and wind instruments.

An attempt was made not only to find the characteristic wave-form, but to gain an envelope which could for example explain the sharpness of an attack in a musical manner.

The experiments were primarily aimed at the first fifty milliseconds of a sound, a time corresponding to a threshold of perception sometimes designated by certain authors by the noble term of "the thickness of the present".

However, before analysing envelopes, it was considered advisable to verify if, for one repeated note of a given instrument played as evenly as possible, the signal were *characteristic*, i. e. whether, apart from slight variations perhaps, the curves were as identical to each other as the sounds were.

Now it was found that two notes A<sub>1</sub>, played in the same way on the same piano, gave entirely different oscillograms, fig. 1.

Similarly for the violin: two notes E, played on the open string both times not the same, but with the same attack by the same violinist, gave non-characteristic oscillograms of their first fifty milliseconds; the same is the case for the open A. These examples are given on band 1 of the record, identified by the Morse signal “—”, and shown in fig. 2.

The most striking experiment was obtained when a good trumpeter was asked to play a staccato appearing even enough to the ear: no two of these eight notes resemble each other in the oscillogram (fig. 3). These eight notes, spaced apart, are heard on band —. of the record.

What do we really mean by a “characteristic oscillogram”? It must satisfy two conditions:

- a. samples of one musical object (e. g. two piano A’s) correspond to traces having at least some common characteristics;
- b. two musical objects of characteristically different attacks, e. g. piano, violin, trumpet, give characteristically different traces.

It may well be that the oscillogram illuminates certain particular aspects of the object and, notably, the incidental characteristics differentiating the variety of similar attacks, but we conclude soon enough that it tells us only about the incidental, nothing about the essential, in other words, about phenomena which could be classed as of 2nd order, being mute, as compared to 1st order phenomena, being of musical importance.

In case any doubts remain in this regard, further proof can be given of this classical error of ascribing primary correspondance between the musical phenomenon and the acoustic signal.

Let the first four staccato notes of the preceding example be dubbed on tape under professional conditions of a quality to reproduce with no doubt at all the same musical object: on the oscillograph, they give four traces all different to the ones before! We must submit to the evidence of fig. 4: not only are the oscillograms inadequate for a musical evaluation but they are affected by considerable electronic disturbances of no musical import.

What lesson do we learn from these astonishing facts which are so contrary to an apparently incontestable scientific attitude?

1. We must know what we are looking for and what we are trying to show: is it the transient state of affairs in the complex electroacoustic chain — sounding body — microphone — tape recorder — oscillograph, or the musical perception of the attack?

2. We must ask ourselves why we experiment on the first fifty milliseconds under the pretext that they correspond to one of the thresholds of time (a poorly defined concept, besides). Why should these fifty milliseconds be so important, since, in the light of recent research on the psychology of perception, the ear, in that time, is only “beginning to hear”?

3. Even if we admit the fact that the ear *can* hear these transients, *does* it hear them in fact? According to the clear-sighted remarks of Dr. Winckel — one of those rare specialists who obstinately pursue a line of research involving both acoustics and music — the first 50 milliseconds of any signal at all create distortions in the ear itself so as to form an *impenetrable mask* to every musical analysis.

This is as much as to say that *the human ear never hears the beginning of any sound*. It is curious to discover, in the course of an investigation apparently so scientific, belated evidence of such importance.

2nd Series: The search for the element characteristic of the attack

The problem, then, has not yet been scratched. It is to find an objective characteristic relating to the musical attack. The failure of the study of transients logically (even if paradoxically) leads us on to look for the attack characteristic beyond the initial instants. Now in actual fact, experiments on the piano on four low, four medium and two high notes (recorded example —.) show that the *general dynamic curve* is, except for a few irregularities, *comparable* and *characteristic*. The trait common to the dynamics of piano notes becomes apparent: the slope is on the whole constant, and is steeper for higher notes than for lower ones (fig. 5).

The guitar (example — . . . , fig. 6) gave similar results. Here, the general run of the dynamics is again characteristic but less regular. On the other hand, there is less variation from the low to the high.

We are now in a position to advance the following *general proposition* concerning the musical object’s time relationships: *The musical attack characteristic is a function, not of the initial transient, but of the overall dynamics.*

3rd Series: Verification of the preceding proposition by the method of cutting the constant slope attacks

If it is true that the sensation of attack is due to the ear’s subjective localisation of the general dynamics onto the initial instant, it must be possible to cut the beginning of tones having a linear dynamic curve without altering their musical character.

It is found, in fact, that when 50, 100 or 150 milliseconds, corresponding to a linear part of the note, are removed from the beginning of an A<sub>4</sub>, the attack character is not altered perceptibly. These cuts do not disfigure it, all they do is soften it a little (example —, fig. 7).

As for a low note like A<sub>1</sub>, the test margin is huge, for half a second, or even a whole second can be cut without altering the character of the attack (example .—., fig. 8).

Let us reflect for a moment on the strange side to this verification, which is just as surprising to the composer of musique concrète, who is already used to the dissection of magnetic tape, as to the pianist, who is now for the first time obliged to dissociate his physical act (instrumental causality) from his musical listening (analysis of the effect). We shall return to this question later.

Meanwhile we can propose the *second law* of time relationships as a corollary to the preceding one: *When the linear dynamic portion of a sound is cut, the attack characteristic remains unchanged, except for 2nd order differences.*

4th Series: Third law: The sharpness of attack is related to the slope

This thought was already present in the comparison of the different piano notes, but the ear, conditioned to the sound of the piano by habit, gave of its own accord an overall mean character to all these attacks. If on the other hand we take advantage of the change of slope of a dynamic as of the preceding  $A_4$  for the production of Musical Objects of a predetermined initial slope, we are surprised to discover the clarity of the result and the new possibility given to the musicien concret of obtaining any required attack effect from an equivalent cut of a certain dynamic curve (example — — —, fig. 9).

It goes without saying that the harmonic evolution introduces a complementary qualitative element here which tinges the resulting musical objects. However, this harmonic qualification by no means detracts from the dynamic character described above.

5th Series: The bearing which the harmonic evolution has on the attack

The qualification of the attack, and above all the consistency of the Musical Object resulting from each cut, are the starting-point for a new direction of research which is beyond the scope we have voluntarily set ourselves. However, it has too strong a bearing on our subject for it to be passed over in silence.

Experimentation on two gongs makes this intimate association between the dynamic and harmonic characters of a Musical Object of marked harmonic evolution evident. More incidental attack characteristics are visibly eliminated by the cuts. We must also beware of passing from extreme imprecision to extreme rigour of analysis and bring into play what we have insistently been calling *1st order* characteristics.

Thus, when three cuts off two different gongs are heard often enough, the ear becomes sufficiently trained to analyse and distinguish in the attack:

- a. a relatively permanent dynamic characteristic,
- b. dynamic or harmonic fluctuations originating from the object's natural evolution (example — — —, fig. 10).

A gong poor in harmonics will, after cutting, remain like, but with a softer attack. A gong rich in harmonics with an attack full of incidentals and a marked harmonic evolution will in a general way conserve the degree of sharpness of the attack to correspond to the dynamic slope, but vary in other respects.

6th Series: The concept "musical instrument" — the piano law

The simultaneous consideration of the harmonic content and dynamic curve of Musical Objects leads us on to define the term "musical instrument", which has, up till now, been veiled in the most empirical of definitions and the vaguest of appreciations: the one called timbre. There is no doubt that in music, timbre is to the instrument what the "narcotic power" is to the soporific.

Now the example of the piano shows that such a musical instrument by no means furnishes Musical Objects of constant basic characteristics, but provides a *variety* of Musical Objects varying with the register. For the piano, not only the dynamics vary but also the harmonic complexity.

As regards the latter characteristic, we shall limit ourselves to the approximate qualification of "rich" or "poor". If this is so, the timbre of a musical instrument is anything but constant. In the face of the variety of objects provided by one and the same instrument, the thing which enables us to recognise the instrument at all is the laws relating these variations to each other. These are particularly easy to grasp in the case of the piano.

We have already seen that the attack of piano notes was sharper, the higher we went in the register (example — — —, fig. 11).

For the present it will suffice to state that the timbre of these notes, in the usual sense of the word (more exactly then: their harmonic complexity), is richer in the bass, poorer in the treble. Therefore, contrary to the usual banalities heard in relation to this instrument, it is not the piano's treble which is brilliant, but its bass.

We can make certain of this as follows: a melody played in the piano's middle register is recorded on tape and transposed both up and down through two octaves. These transpositions of course conserve all the physical components which can affect the "timbre" (in the acousticians' sense) (ex. — — —). Comparing the transpositions with the melody played again on the piano, but in the register of the transposition, it is found that:

1. the dynamic slope of the natural notes evolve much more slowly than their multiplication or division. i. e. the natural bass is steeper than

the middle register slowed down, while the natural treble is less steep than the middle register speeded up;

2. the natural bass is much richer than the transposed middle range, while the natural treble is much duller than the transposed middle range.

By analogy, and without being rigid but simply discovering qualitative but most important laws, it can be stated that an instrument like the piano (generator of a family of different but remarkably balanced musical objects) assures this balance by the following laws:

1. The dynamics, and hence the attacks, vary in direct function of the register.
2. The harmonic richness of the notes varies in inverse function of the register.  
(Both these variations are non-linear.)
3. In an approximate way: Each note of the piano is in a complex way the equivalent of the neighbouring note, by the fact that it is balanced by a sort of law of energy which might be written (by analogy)

$$\text{Sharpness of attack} \times \text{Harmonic richness} = \text{Constant.}$$

#### 7th Series: Verification of the piano laws

The above thoughts can be verified in a rather amusing way: let us imagine it were possible to obtain out of the piano's middle register a tone which is at the same time richer in harmonics and sharper in attack than the one normally given by using the keyboard. There is quite some chance that a transposition down by slowing down would make it correspond exactly to the harmonic richness and steepness of attack of the bass register.

Such a tone can, in fact, be obtained from the piano by plucking the string with a plectrum, although, naturally enough, the musical object thus obtained is very different from the same note played by using the keyboard. However, total transposition into the bass makes it very like one of the bass notes. Recorded Example ———.. gives three examples of this transmutation, the first two having the plucked note transposed two octaves down, and the third, one octave only.

#### 8th Series: The shape of dynamic curves: application to the guitar

A rash generalisation from the piano cuts would be just as erroneous as in the case of bells. Everything depends evidently on the evolution in time of the main characteristics of a Musical Object: this evolution can be regular or irregular, or represent some special case.

Between the piano (typifying the most linear dynamics) and the bell (typifying the most richly evolving dynamics and harmonic content) there are intermediate types such as the guitar, showing roughly two character-

istic portions to the dynamic curve: the pluck, and the resonance; these two are disclosed not only by different dynamic slopes but by a characteristic curve shape in the level-recording (ex. ———, fig. 12).

The dynamic curves of the various open strings of the guitar betray their family relationship by a certain similarity in shape. Given the tortuousness of all these tracks, their topography appears at least as important as the numerical means of the slope values.

Attentive listening does in fact show that the Musical Objects furnished by the guitar are far more heterogeneous than those of the piano. As concerns at least some of them, the curves can be quite easily interpreted: a rapid decrease in amplitude to begin with (we must not expect the level-recorder, being, as it is, beset by time-constants, to furnish an accurate indication of level transients which are of no importance anyway) is followed by a regain of level provided by the restoration of energy by the instrument's body. Using ordinary common-sense and concentrated listening, the musical ear is able to unravel this puzzle all by itself, without needing recourse to measuring instruments. Some knowledge of Gestalt theory shows that every sound event is perceived as one whole and that the ear makes a synthesis which is the more compressed, the more the causality of it is evident and the aesthetic end of it is classical. For this reason, the pizzicato was a constant riddle to us scientific research workers. It beguiled us into hypothetical graphical representations which more or less rounded off the attack curve. But in reality there is nothing more pointed than the wave-front coming from a string suddenly let go — but the resonant energy momentarily stored and released immediately corrects that impression so that sharpness gives place to an impression of elasticity. It is this elasticity which then appears as the characteristic of the pizzicato, it is this elasticity which softens it, which tinges it psychologically, and which gives the pizzicato a round tone making it appear in the end less hard than keyboard percussion. It will now be clear how far removed these musical interpretations, perfectly correct when viewed psychologically, are from the graphical interpretation. The slope of the piano is far gentler than the beginning of the pizzicato, and the rebound of the latter has quite a different interpretation.

The phenomenon of incompatible *relationships* becomes convincing in this case, which shows not only a blockage of perception as was the case with the piano, but a genuine "time anticipation"; the elasticity of the pizzicato, although being only the second stage of the phenomenon, influences our perception of the beginning. Clearly, numerical interpretation of levels or even of slopes leads to musical nonsense.

Another thing to remember with these curves is the importance of their shape rather than their dimensions. Intuition and not measurement is decisive in the interpretation of them. One irregularity may have no

musical meaning, another may be most important. Moreover, one curve explains another, just as with biological documents. The interpretation of the guitar pizzicato as sketched above is seen much more clearly for the low notes than for the high ones. It can, however, be safely stated that the latter show the same signs of shape, even if much less markedly. On the other hand it might be maintained that other great irregularities, such as appear notably towards the end of the tone, seem to be "digested" or drowned in the ear; the reverse is true: once the phenomenon has been graphically described, the ear is alerted and actually hears things which espaced it before — this is an interesting reaction of the phenomenon observed on the observer. Careful listening of the various guitar pizzicati in the light of the level traces then reveals many interesting aspects.

#### 9th Series: Transmutation of instruments

This attempt of shape interpretation rather than measurements of no interest, leads on to research on verification by similar methods. Since we are operating on living tissue, some dissection work is likely to prove enlightening. If these notions of dynamic shape have sense, it should be possible by suppressing certain characteristics to emphasise other characteristics, which means, musically speaking, carrying out transmutations from one musical object to another and, especially, of using the sound of one instrument to obtain the sound of another instrument.

For this project let us, for example, make a piano out of a guitar by the method of cutting. What will determine the success of such an experiment? We must:

1. choose a register where the guitar's timbre bears some similarity in richness to the piano's timbre;
2. remember that harmonic evolution plays a far greater part in the guitar than the piano, and that we must therefore keep no more than the latter portion of a guitar's sound, where this evolution has slowed down and is therefore similar to the piano's harmonic evolution;
3. cut the characteristic pizzicato part of the curve so as to emphasise the percussive attack by retaining a linear portion of the guitar's dynamic slope.

We find that this experiment is possible for quite a large compass in pitch and that judicious cutting of a guitar note gives a very good piano effect (ex. ———, fig. 13—14, giving the open E and open G, respectively, cut by 1 to 2 seconds).

This experiment is interesting not only as confirmation of all the above, but also because it gives rise to a very general conclusion on the wide range of approximation which the ear will permit in numerous mani-

pulations of this nature. The musical ear, which is so fastidious in perceiving variations of one characteristic, is so tolerant in grouping sometimes very different types under one dynamic shape.

This versatility of the ear in reconciling extreme differential sensitivity with an overall perception of structures has not really been recognised by modern researchers. These people think in ways in which their ears do not really work; they try to express themselves in absolute terms of measured quantities, and they have no time for the shape structure of dynamics as it will not fit into a mathematical analysis of phenomena. It becomes understandable how in their train certain musicians, dazzled by acoustics, fall into similar error: absorbed by laborious and, in their way, valiant parametric constructions, they suppose that their compositions are a true reflection of this and must receive equal appreciation as works of art and as works of science. They would be deeply perturbed to realise the enormous gap separating their intentions from their results.

#### 10th Series: A further example of the transmutation of instruments

Using solely the slowing-down technique in transposing a guitar B through two octaves, we obtain an amusing note which reminds us of a very large grand piano under the severe treatment of one of those bashing virtuosos who try to get more out of the instrument than is in it . . . How can we explain this?

1. The very pronounced slowing-down flattens the guitar's dynamic slope enough to make the ear drown the pizzicato effect; what remains of it is something to recall a violent attack on the keyboard which does in fact set the string into the same sudden motion as plucking does.

2. As the bass of the piano is the most brilliant part of the instrument, it corresponds quite well to the guitar note which was transposed.

Here we have a real "passing note" between two instruments!

#### Conclusions from the first Series of Experiments

Since we are exploring such virgin country, we must have no inhibitions in getting the maximum of information out of our exploration.

This first series of experiments already leads on to subsequent work of which we can right now overlook but the beginning. Whatever interesting morsels we may pick up en route, let us never forget our original purpose of establishing the most general principle of *relationships* between the human ear and physical time. This principle includes the discovery of just about total incompatibility of the two aspects of time: acoustic parameter and musical duration.

Without forgetting the practical results of this first series of experiments, it is time to distil out of it this general philosophy. Not only are the initial instants masked from the ear, so that we need not attach too much importance to transients, but the perceptible stage, which the ear brings into full evidence and distinguishes as the beginning of the sound, does not correspond to a correct localisation in time. In one case, this localisation is quite arbitrary as in the case of linear dynamics, corresponding not to the initial stage but to the dynamic shape of the whole; or, as for the pizzicato, the localisation goes with a first characteristic event of which the ear makes a partial synthesis (as it emphasises the resonant energy of the sound-box at the expense of the plucking of the string, even though the latter precedes the former), or else again, as for the various cuts we carried out practically, although the ear can perfectly distinguish different attack curves artificially produced by cutting, it does not recognise them as distinguishing marks within the dynamics of the sound heard whole.

It can be said that the dynamics of a tone are perceived by the ear in the form of a *general shape* which does actually elapse in physical time but to which the ear refers only as "support". On the other hand, the ear hangs on to the general shape characterising that dynamic.

A comparison with a visual phenomenon will make this clearer. If we look at a shape, in the form, say, of a line drawn on paper, the time the eye takes to run this line's course is of little importance and certainly quite distinct from the perception of shape. Now while a visual shape does not contain the physical element of time, an acoustic shape, by its very definition, exists in time. But the aural perception of it takes place just as if the time it takes were of the same nature as the time taken by the eye to see, its inherent existence in time becoming incidental only. The essential thing for the ear, once the event has elapsed in material time, is to retain its general, as it were timeless, shape, and it is this shape which rises to the level of consciousness. It seems to be much more a fact of hearing than a fact of acoustics.

The explanation we give this is of little importance; for my part, I would see in it some sort of a memory store which delivers not instants, but longer portions of time grouped about centres of interest, to consciousness: thus, the discreet fragments of time are already informed by each event. It is clearly being summary to speak of indetermination; "*relationship*" is not perhaps a word strong enough to express the strange extrapolation of the acoustic event into a musical impression.

What is perhaps more necessary than a *relationship* between two corresponding variables, physical and subjective time, is a better emphasis on the utterly heterogeneous nature of metric time, as a parameter of the material universe and of duration, or as a dimension of consciousness.

## Second Series of Experiments

### The Evaluation of Time

The foregoing conclusions rouse a most legitimate curiosity and make us look closer into the relationship time-duration. The foregoing series of experiments was too full of qualitative ideas leading to an anatomy of the Musical Being as a function of time, to give us a sufficiently clear answer to the prosaic question of how the ear counts the seconds.

In other words, however interesting the shape analysis of sounds or their anatomy may be, let us now try to find out their *duration*. Let us give our ear suitable sounds on which it may practise the quantitative appreciation of this or that portion of them.

#### 1st Series: Information of the duration per event

We shall now examine seven fairly complex sounds of a considerably higher information content than the piano or guitar notes, in order to set the ear the simplest of problems: What is the relative duration of the attack and the decay of these sounds?

Before reading on or referring to the level-traces, the reader might now play these seven sounds on the record, example .—, so as to listen to them with an unprejudiced ear.

These sounds were chosen because their attacks, although brief (for the first ones anyway), are not instantaneous, so that the least trained ear has little difficulty in clearly distinguishing this initial stage, characterised either by an "accidental" or by the sound being actively "maintained" for some time. Then, at a certain moment, attack or maintenance cease, the sounding body is left to itself and resonates naturally. Another way of stating it is to speak of a first stage of *excitation* of the sounding body and of a second stage of *resonance* without maintenance; these two stages of each sound are then perfectly defined by their *causes*.

The observers are asked to give their *musical* evaluation (it is not a question of falsifying the experiment by chronometric measurement) of the importance of each of the two stages. To do this, they must rely on the memory to reconstruct each event, which is the only way to assess duration. Musical listening is of exactly the same order, for the listener can and must assess the duration of a phrase or, say, a pedal-point, by a constant mental reconstruction of the immediate past — which has nothing to do with crotchets and quavers or metronome beats.

Let us assume the reader has been kind enough to listen to these seven sounds. He will have found that they fall into three groups:

sounds 1 and 2 are percussions followed by resonance;

sounds 3, 4 and 5 are brief but progressively longer maintained creaks followed by resonance;

sounds 6 and 7 are maintained more or less permanently, continuously in sound 6, with repetition in sound 7, followed by resonance and silence. What do the observers have to about them?

1. The first two sounds are hard to assess. The attack is important, to be sure, of a duration which is shorter and not of the same order as that of the resonance.
2. The attacks of sounds 3, 4 and 5 are of the same order of duration as the resonance, the two being about equal.
3. In sounds 6 and 7, the duration of maintenance or pulsation clearly appear longer than that of the resonance and silence which separate them.

Now what is the physical distribution of the same two stages of each of these seven sounds, expressed in inches of tape, as compared to these musical assessments (see fig. 15)?

1. In the first two sounds the attack is pretty well instantaneous. Sound 1 is a simple percussive attack followed by about  $1\frac{1}{2}$  seconds of resonance, while sound 2 is a double attack spaced about 40 ms apart, with about  $4\frac{1}{2}$  seconds' resonance.
2. Sounds 3, 4 and 5 are maintained for 250, 200 and 300 ms respectively, each of the sounds as a whole lasting about 3 seconds.
3. Sound 6 is maintained for less than one-third of its entire duration, while the duration of the pulsation in sound 7 is slightly less than the duration of the silences.

The following conclusions can be drawn from a comparison of these two methods of assessment:

1. The attacks of phenomena which are assessed as instantaneous by the ear (i. e. less than the 50 ms threshold) cannot be assessed at all and give only a relative impression of importance compared to the rest of the event. The ear shows a natural resistance to assessing them. Nevertheless, it is attracted by certain enigmas which the brevity of the event hides from it, e.g. the complex attack of sound 2, where it is unable to discern a double attack separated by a time of 40 ms which is below the ear's "definition".
2. As soon as the event's formation takes longer than the threshold of perception, the ear is in a position to assess the attack's duration, but as a function of event quality rather than of physical duration. That is why it readily takes the attacks of sounds 3, 4 and 5 to be about the same as the decays, even though the relationship is as  $\frac{1}{4}$  second to 3 seconds, or 1 to 12.
3. In the same way, the ear takes the durations of the attacks, or active stages, of sounds 6 and 7 to be well in excess of the passive stages, although this active stage is, metrically, only  $\frac{1}{3}$  and  $\frac{1}{2}$  of the whole, respectively.

All these results can be summed up in the following proposition: *Musical duration is a direct function of information density*. Not that we of course can or even want to define these terms with precision. What is the good of talking about quantities of information when this is so subjective and without doubt indefinable, or wishing to divide it by a most problematic unit of time! Let us therefore be satisfied with the word density in an analogical sense.

How can these results be interpreted? The short instants of attack or maintenance doubly captivate the attention, both by the presence of a causality of action (concrete attention) and by the importance of the various evolutions (abstract attention). The initial event therefore captivates the ear to analyse both the causes and the effects. Once this first event is over, the ear gives up the effort, convinced that it does not have to concern itself with any new event and realising that all the characteristics developing by resonance have already been predetermined by the attack or maintenance stage. In the first stage the ear is literally absorbed and its effort to pay attention immeasurably magnifies the event's duration as it becomes more deeply engraved in the memory; the second event captures only vaguely the ear's attention, deprived of curiosity: the memory, turned passive, hardly stores it at all, greatly minimising its duration.

Results of this nature were in a way expected at the outset, but not to the extent of finding such extraordinary disparity between the measured time and the musical duration of certain sound events. Now events of this type are far more the rule than the exception in music and are in fact the ones carrying the greatest musical significance and effect. The great importance of this research is therefore beyond all doubt, and justifies the effort of confirmation. The record contains the following variations of the original seven sounds:

1. sounds 1 to 5 at half speed;
2. all 7 sounds at normal speed but with the resonance event removed by cutting, so as to leave the following initial portions:  
sounds 1 to 4 : 250 ms each,  
sound 5 : 300 ms,  
sound 6 : nearly 500 ms,  
sound 7 : 500 and 250 ms.

High-speed level recordings and oscillograms of these cuts are shown in fig. 16 to 18. Here are the comments:

1. *Sounds at half-speed*. The ear will now be far more at ease in decoding a second time the sounds it already knows. In addition, the difference of information density between the active and passive stages will be less, so as to deminish considerably the *irrelationship* time-duration. We are witnessing here a most important phenomenon corresponding in music to

education of the ear and in experimental method to the reaction, already mentioned, of the phenomenon observed on the observer.

2. *Sounds deprived of resonance.* It is most interesting to note how close the information content of these so badly mutilated sounds often is to the original. In the case of sounds 4, 5 and 6, the ear is well aware that these examples have been deprived of both the maintained portion and the resonance; but as the most characteristic stage is there, the ear does not bewail this loss, perhaps even recalling, all by itself, a resonance effect of little importance. Sound 6 alone has lost its point, and it becomes evident also that 250 ms do not suffice to make sound 7 recognisable: all its 500 initial milliseconds are required for it to convey its characteristic rhythm.

Turning to the oscillograms, it is seen that they offer a poor description of the sounds. Without contesting the usefulness of the oscillograph in observing events of very short duration such as badly suit the level-recorder, we must remember that it is not logarithmic but linear and does not therefore represent an integration of energies. It would have given a better picture in conjunction with an integrating device.

#### 2nd Series: Reversion of duration

The bearing which the information density has on the perception of duration can make us predict that the reverse version of a sound will give rise to a different perception of duration. When the sound is heard "forward", it has been seen that after the attack, once all the information has apparently been given, the ear, being "bored", cuts itself off; when the reverse sound, starting with its resonance, is heard, the ear is roused progressively and awaits developments in a sort of "suspense", resulting in very different listening. The fact that the reverse sounds do not reveal all their information at once but are disclosed by their effect rather than their cause, leads to the following results:

1. *The information density* is distributed better. The attention is more progressive and more sustained, and the event is seen from a better "angle".

2. *Listening is more abstract:* the sound's musical qualities are perceived more clearly, both in the resonance stage and in the maintenance or attack stage, not only because the attention is more sustained, but because it takes greater care in analysing the musical effects than in explaining the incidental causes.

3. But (unfortunately) such sounds are *peculiar*; the causality of the reverse sounds usually escapes the ear; more precisely, although the ear may be able to explain the causality as being due to the experimental procedure (with every right to plead its cause), it often has, without special training, difficulty in ascribing to them a cause sufficiently common to prevent misunderstanding.

This element of the peculiar is of the utmost importance in experimental music — it might be described as the best reagent and worst malady of a new musicality. We have just seen the extent to which it can season the aural dish, but at the risk of offending the ear; one just cannot plunge the ear with impunity into a world which is, from the point of view of causality of phenomena as well as subject-conditioning, systematically absurd.

Let us however return to the still open question of the perception of duration: will the reverse sound appear shorter or longer than the forward sound? The reader can judge for himself from the three examples — shown in fig. 19. Here we listen to sound 1 of the original series followed by its reverse and sound 2 followed by its reverse. Observers give the following verdicts: even if they are unusual to listen to, the attention is distributed better and the ear seems to be given a better chance to unravel the attack riddle if it comes at the end. The ear may not hear the attack itself, but at any rate it will hear what the attack was masking out from its initial position: the sound's harmonic content. As for the question of the relative lengths of the forward and reverse sounds, the reactions to this are rather subjective and often contradictory, but the following interpretations can be made: the forward sound appeared longer than the reverse to some observers because their ears became "bored" once they had perceived the attack; others found the reverse sound longer than the forward because the attention, being more sustained, made the "time appear longer".

The important point, however, is the conclusion that the *passages* of the forward and reverse sounds do not take place in the same way, not even at the same speed; in running through the duration of a sound, our consciousness works by *passages*.

The third example of this series is still more enlightening, because its forward version distinctly shows the two stages of maintenance and resonance which fuse into a continuous whole in the reverse sound. This shows very clearly the difference between passages of attention over the duration of forward and reverse sounds, to the point of making a salient mark distinguishing one direction disappear altogether in the other direction: reversion of passage makes the discreet continuous.

#### 3rd Series: Continuity and discontinuity in a group of objects

The remarkable phenomenon described in the above example makes a spectacular showing when the whole first series of seven objects is heard in reverse. The three comments made about the preceding single examples now affect the whole. Notwithstanding the unfortunate peculiarity of these seven reversed sounds, it cannot be denied that

1. the attention is more sustained and especially, as it is no longer chopped up by the masking effect of the attacks and the paucity of interest in the resonances, it is spread not only throughout each object but throughout the whole series. In the place of a *series* of seven separate musical objects separated by silences, we now hear a *sequence* of seven musical objects in relation to each other.

2. It has already been noted that reverse sounds led to more subtle, in a way more abstract, listening as compared to forward sounds. It follows that the reverse objects' harmonic contents are not only more clearly perceived in themselves, but, in addition, set each other off to advantage.

The reader is invited to make his own conclusions on the reverse sequence of seven sounds shown in example .—.. which can be followed from fig. 15 reading from right to left.

#### 4th Series: The search for symmetrical objects

The precaution taken in all the preceding experiments of using particularly asymmetrical sound material is after all rather unnecessary as the general run of musical sounds are asymmetrical anyway. This becomes quite evident once the attempt is made to construct sounds which are musically rather than metrically symmetrical, in duration rather than time. It will be necessary in this project to take account of all the various phenomena described above, of the distribution of information density, and, in addition, of the indispensable psychological balance between causality which is evident, and peculiarity. The results of two such attempts are given in example .—... illustrated in fig. 20, where

1. causality and peculiarity have been balanced in that the events' successive stages are sufficiently logical while preserving enough curiosity,
2. information density and time have been balanced in that the most dense stages correspond to the shortest metric times.

#### Conclusions from the Second Series of Experiments

The most thorough understanding of all the phenomena of duration and the most conscientious taking into account of all the important *irrelationships* of measured time will not enable the composer of even the most carefully calculated and most abstract musical work entirely to remove causality, whether real, instrumental or manipulative, or subjective, i. e. spontaneously imagined by the ear. These causality phenomena will always dominate over the music and will weigh heavily in the perception of duration to the point of making an inevitability of the natural asymmetry of the majority of musical objects.

By "causality" I do not of course mean the incidental element of analogy which may bring about the recognition of a noise, a voice, or a musical

instrument; I am assuming that the composer has grown out of that stage to the point of sufficient ability in creating sounds of such abstraction as to remove all possibility of analogy. But the fact remains that for instance the maintenance part of a cycle imposes its logical, predictable, functional nature on the ear. It is a denial of all evidence to believe that pure music can dispense the ear of its most essential function of informing man on the events which happen. Before beginning all aesthetic appreciation, the ear seeks to find out the nature and the cause of each event. For this reason, the reverse sounds we have used so much in explaining the foregoing, while permitting more musical (i. e. more abstract) listening, offend the ear for a long time (or for ever?) by their peculiarity which is repugnant through its irrationality.

If we admit that the causality of events cannot really escape the ear, we shall come to the use of two categories of sounds:

1. *classical* sounds, of a clearly defined cause, corresponding to "acquittal" of the ear (as instrument-making conditions the musical civilisation around it);

2. *judiciously peculiar* sounds on which an ear conditioned by recent advances will not place any demands on knowing the instrumental cause, although it will persist in seeking their inherent logic. This music of unexplained causes might be compared to non-figurative sculpture. But the ear must still not be given sounds which are radically opposed to immemorial conditioning stemming from the fact that all the sounds of the world have a logical cause as well as an asymmetry of shape. Even if the initial attack does not contain the maximum of information, all natural sounds have an evolution towards their decay. And if the permanently or fluctuatingly maintained sounds are perfectly admitted by the ear, it is because it perceives in them the persistence of a permanent, usually living, causality which speaks through the musical phenomenon with a very different presence to that of parameters. But that is another story...

#### Third Series of Experiments

##### The Sound Event in its Time Context

This third series of experiments will probably not add anything new to the foregoing two, which it will only illustrate, but that in a most general way. In the experiments on separating the stages of an event, on the direction of its passage and on the reaction of events on each other, we have been working with objects close at hand related by a similar nature (e. g. asymmetry) or a common causality (e. g. instrumental).

It could be maintained I have now said enough about these phenomena, and that I could let it rest at this already sufficiently large number of results which have sometimes managed to reach a very descriptive stage

(in the dynamic shapes) or even a very evaluative one (in the types and gradation of attacks). But it may be that the reader who is more convinced by the descriptive or analytic part of the phenomena will also be more readily sceptical about the more general ideas I touched on towards the end, which after all tend far more towards the psychology of musical perception than the acoustic side of the phenomena. I must therefore emphasise that it will not do simply to replace the concept of measured time by that of duration and that it is not enough to take the various laws of musical attention and perception into account. In order to explain such a surprising lot of results, I have now reached the point where I must underline that *abstract attention*, bearing on the characteristics of the sound presented, and *concrete attention*, bearing on the circumstances which produced, seem to have produced, or at any rate surround it, can never be separated from each other in any act of listening. The sounds' environment, their relation to the context and the light each sheds on the other, have neither anything graphical nor measurable about them any longer — it is nothing more than a question of ordinary common-sense: that ordinary common-sense which so many research workers seem to lack.

I will now make a comparison among fairly long sounds having no very remarkable dynamic shape, to the sole end of making this fact evident and to show how sensitive the ear can be and how it can be swayed in its judgment by other mental operations, i. e. by the overall judgment it passes on the particular circumstances of each experiment.

#### 1st Experiment: The Conditions which favour analytical listening

We are going to compare two pairs of sounds which we shall for the moment designate by letters. These sounds are this time long enough for the ear to appreciate their harmonic content before all other characteristics, as we are not right now interested in the latter. On example —.. sound *A* can be heard followed by sound *a*, then sound *B* followed by sound *b*. The following will be observed:

##### 1. Causality (perception by analogy).

The ear "feels" that sounds *A* and *B* no doubt derive from the same acoustic phenomenon (and in addition) without besides being able to determine which particular phenomenon; similarly that sounds *a* and *b* derive from the same acoustic phenomenon, no doubt from the same instrument which a practised ear quickly identifies as piano resonance.

##### 2. Characteristics (analytical perception).

The ear can admit another parallel among these sounds, which has greater musical interest than the search for the cause: a certain parentage in the harmonic quality. This is a matter of only a very rough approximation,

sufficient to conclude the attempt evidently made to make *a*'s harmonic structure approach that of *A* and *b*'s that of *B*.

The important thing is to realise that *musically a* is closer to *A* and *b* to *B* (notwithstanding their difference of origin) than *A* is to *B* or *a* to *b* (notwithstanding their similarity of cause, as their musical significance differs).

#### 2nd Experiment: Causality—"masking"

If scruples are quick in forthcoming on the preceding paragraph, its significance will presently be made clear by what follows, when it will at any rate have to be admitted that, for all its inexactitude, this question had a very good reason. When the initial portions of these four sounds are now heard, it will have to be admitted that while their instrumental cause is clearly shown now, musical comparison of their harmonic contents is no longer possible, all musical attention being now monopolised by the question of causality: the causes, of so utterly different a nature as the rubbing of a stick and a piano keyboard, make the ear neglect all harmonic similarity, of the undeniable existence of which the previous example of the same sounds deprived of their causes gave sufficient evidence. Example —.. brings, respectively,

- A'* (the beginning previously removed from *A*),
- a'* (the beginning previously removed from *a*),
- B'* (the beginning previously removed from *B*),
- b'* (the beginning previously removed from *b*).

The sounds in their entirety, as they exist in nature, are obvious enough when *A' A*, *a' a*, *B' B* and *b' b*, respectively, are imagined joined together.

It is worth noting here what an important role is played by the time *irrelationships* of musical duration also in this macroscopic phenomenon: the beginning of the sounds just about seem to exhaust the subject, even though they are many times shorter than the resonances. This psychological "masking" of the ear by the causal phenomenon is another aspect of the time *irrelationships* already demonstrated previously; it can be put this way: an extreme difference of instrumental causality, such as shown in the example above, can dazzle the ear and make it lose all analytical faculty.

This is exactly what has been happening for the past ten years to the critics who write trivial reviews about the new experimental sounds we produce. Instead of putting up a better showing for their hearing if not for their intellectual curiosity, these gentlemen keep on hearing saucepans, engines and other realistic noises where there is nothing but musical objects very close to the traditional ones! It has come to pass that sequences entirely made up of violin, harpsichord and trumpet sounds, although subject to various treatments (only in regard to time, it is understood —

I am referring to conserved sounds which are harmonically identical to the original), were interpreted by distinguished critics as realistic mechanical noises which they did not hesitate to describe more closely.

The intention evidenced in the piano sounds just heard was to use their *resonance* to analyse a diatonic harmonic analysis of a timbre which is evidently more complex and not *reducible* by this means. But the exercise was worth the trouble and in fact the cutting of the attack suggested itself not only in order to make the sound less material but in order to approach the object's dynamic structure. This experiment unlocks the door to a better knowledge of the harmonic structure of sounds and especially to a large new variety of almost normal natural sounds.

### 3rd Experiment: Continuity and Attraction

In spite of its effect almost as a caricature, the importance of the foregoing exercise is to be seen in the extent to which all musical effort must aim at purified, abstract listening with the ear placed in the best possible position to analyse and compare not the events, but the structures. It is therefore of quite some interest to hear the same sounds again in reciprocal continuity and relationship, example ..—.. This will bring nothing new except a more subtly shaded appreciation.

Such sounds can in fact be reversed without becoming peculiar: the forward and reverse sounds result here in a quite classical musical variation of dynamics, a *crescendo* or *decrescendo*, or *swell*, as the traditional musician would say. We hear

- A* reversed followed by *a* forward,
- a* reversed followed by *A* forward; then
- B* reversed followed by *b* forward,
- b* reversed followed by *B* forward.

These permutations, heard as a whole, make up a variation, in the musical sense of the word. They are not tautology, proving that the order of elements, their inversion, their compilation — especially when marked by slight dynamic differentiation — amplify the musical information by a kind of *attraction*.

### General Conclusions

Before closing this paper, I should like to ask the reader a basic question: are these results concerning the relationships of time an incentive to pursue the experimental advance of music? And what does such an activity really consist in?

I suppose really that I will not have to go back over the results of the relationship time-duration in the way they have been expounded here. But as I have already indicated in the preface, it is necessary during these

initial attempts to admit or reject the proposition I have made on a new activity which is radically different to the direction taken both by the musicians who have remained traditionally indifferent to such markedly new phenomena and by those whose heads have been completely turned by acoustics. I shall now try to mark the salient features of the new experimental activity.

1. We have established two fundamentally diverging meanings, to cover two different realities, of the word "time", which is in music one of the most essential parameters and, at first sight, the most readily grasped both by measuring instruments and the ear; that being so, *can measured time continue being regarded as a musical parameter*, notwithstanding all the consequences?

2. The conclusions we have drawn on the relationships of time raise the question as to whether it will be the same for *other acoustic dimensions*, and make research into their *relationships with their musical equivalents* essential. It goes without saying that I myself am preparing to start proceedings with the word "timbre", whose musical and acoustical meanings clearly have nothing at all in common. During the above-mentioned research into dynamics I had occasion to explain in passing the most precise nature of a most complex idea of timbre, in the case of the piano for example. I am taking the liberty of announcing already that the physicists' *spectrum*, about which we have been told time and time again for I don't know how many years that it is the characteristic of musical timbre, is no more characteristic of the timbre than the oscillograms were of the attack. As this particular field will now be my immediate concern, *all information anyone can contribute on this subject will be of use*, and I should here like to thank any likely correspondents in advance for their trouble.

3. Shall we admit, in addition to all the *relationships* between acoustic parameters and musical characteristics, that music must constantly take account of the *psychological moment in listening*, which is as much as saying that there is no such thing as an abstract sound or a pure musical object, there are only events presented to the ear, which *can* more or less be structures proper to an abstract construction?

4. Among all these contingencies there is the one I have already referred to often, *causality*, and its importance to every musical phenomenon. To make myself quite clear, let me now forestall the objection which a superficial reader might make: "You cut a piano note," he might say, "all right, would you then say that the initial stage, the one where the pianist pressed the key, is no longer important? Don't you have a wrongly reasoned proof *ad absurdum* there?" Several distinctions of importance do in fact have to be made, leading to distinguishing various causalities all having a hand in the production of every sound event.

- a. The most evident one is the *instrumental or operative causality*. The whole sound does, of course, depend on the pianist's brief instant of action.
- b. The second is the *physical or acoustic causality*. The vibrating string equation solves the pianist's acoustic problem from the initial conditions on, purifying them no doubt of all romanticism.
- c. Lastly, there is the *subjective or psychological causality*. This is often confounded with either of the preceding ones; but the ear simply is obliged to hear what it is given to hear and nothing more, and it is from this point on that it can start inducing. For the unprepared ear, a piano note cut in the conditions already mentioned is a note where the pianist starts playing at the beginning of the cut — after all, music is in a way the art of deceiving the ear. Moreover, I have distinguished two aspects of this induction on the ear's part:
  - i. an *extrinsic induction*, by reference to other phenomena or to the context,
  - ii. an *internal logic*, by reference to the constitution and development of the phenomenon in question.

We must therefore constantly bear in mind the fundamental differences between these two ears which perpetually complement each other: one comparing, the other analysing; one macroscopic and acting as reference, the other differential and acting as comparison.

5. When all this has been understood, shall we admit that it is once and for all necessary to throw overboard all the more or less flattering — more or less deceptive — epithets given to various researches in these last few years? In particular, don't we see that the *scientific* epithets lead the majority of young interested musicians to everlasting *nonsense*? Either such adjectives imply an instrumental side which has been taken, and they have their *raison d'être*, or they imply a pseudo-scientific method, especially the recourse to acoustic parameters as an advance in *sol-fa*. I can only denounce the danger they make generations of defenceless minds run.

\*

In closing, let me also touch on the method of working which I have used by instinct. As I was working on time, I had at my disposal two main possibilities of operating, both of which were familiar to me from the very beginning: scissors to determine the instant, and total transposition to expand or compress the time without modifying the physical content of the object in any other way except of course for a transposition in the spectrum. Let us agree that the experimenter has a good chance already with these two simple means, which leave the essential part of the object's economy, its acoustic structure, untouched. On the other hand, these

manipulations, as we have seen, attack consciousness from the most unexpected angles.

But the important thing in this work is not to have everything moving at once. The sound object is deformed as little as possible; it is its presentation to musical consciousness which takes on many different forms almost without prejudice to the internal nature of the object. This is where the particular equation of the perceiving ear can be studied safely enough.

Isn't it clear that the reciprocal case is also true? That is to say that certain purely acoustic, physical measurements made on the object, when related to perception lead to an interpretation of the results by *correlation* between the nature of the physical phenomenon and the nature of perception.

Is this not, after all, *the very object of musical study*? The study of sound objects is acoustics only, the study of perception is psychology only, but the study of the correlation between the excitation of sound and its aesthetic result is the study of *music*. May I add that in order to be truly musical such a study must stay practical? That the musical research worker is neither a scientist nor a psychologist, but an artisan and an artist, preoccupied with audible results? Any particular result may consist, to begin with, of scientific work or psychological conclusions, but for the musician this can never be an end in itself. These results, essential as they may be, have no interest for him unless they help him *to make music*. Let us say also *to hear better*.

In all the years that so many groups work along these lines it would seem that they have been trying to fly before they could crawl in all the direct manipulations on sound structures, in the illusory application of scientific method, as well as in the presentation of hastily prepared syntheses to ears which were either too hard or too easy to please.

Before assassinating the sound itself, by these filterings or iterations which carry such theoretical promise and give such paltry results, before beginning straightaway by concocting synthetic constructions, we should consider that the sounds of nature, whether coming from traditional instruments or whether they are noises, have a lot to teach us. Everything, or nearly everything, can be rediscovered at their hands.

To make the most important of my finds, all I needed was a tape-recorder and a pair of scissors. It is rather like in the lower classes where austere discipline requires the solving of a problem with no other means than a ruler and a pair of compasses.

Scissors and a tabletop are the modest utensils at this elementary stage of musical study where I have done well to go through my paces. It is by ruler and compasses that the Greeks discovered geometry — musicians might do well to be inspired by their example.

# Erhaltung und Lagerung von Schallaufnahmen\*

von

A. G. PICKETT und M. M. LEMCOE

## I. Einflüsse auf das Verderben von Schallaufnahmematerial

### A. Herstellung

Die Haltbarkeit eines Gegenstandes ist schon durch seine Herstellung bedingt. Bei Kunststoffen — die Grundwerkstoffe bei der Herstellung der meisten Schallaufnahmen — trifft dies besonders zu, aber die Auswirkungen dieses Parameters sind noch nicht quantitativ abschätzbar. Die unbekanntesten Variablen sind das Grundstoffharz und die dazugefügten Stoffe, die die Eigenschaften des Harzes zu den gewünschten ändern, sowie das Herstellungsverfahren der Schallaufnahme. Viele Hersteller der Harze üben eine strenge Kontrolle über ihre Erzeugnisse aus und erzielen so eine gleichmäßige Güte ihrer Produkte. Andererseits gibt es viele Quellen dieser Harze, einschließlich einiger ausländischer, die sehr billige Erzeugnisse an die U. S. geliefert haben. Da die chemische Zersetzung schon durch Spuren von gewissen Chemikalien eingeleitet werden kann, wäre es überraschend, wenn die Unterschiede der Herstellungsverfahren der verschiedenen Firmen keine Unterschiede in der Haltbarkeit herbeiführen würden.

Die Unterschiede zwischen den Stoffen, die man dem Harz hinzufügt, sind noch größer als die des Harzes selbst. Große Unterschiede bestehen auch zwischen den verschiedenen Herstellern von Schallplatten bei der Fertigproduktzusammensetzung aus Gründen der Kostenersparnis oder Produktverbesserung. Eine unglückliche Wahl des Weichmachers oder der Füllstoffe könnte leicht die Lebensdauer eines aufbewahrten Kunststoffes um mehrere Jahrzehnte verringern, während eine Änderung des Stabilisators die Lebensdauer sogar um ein Jahrhundert verlängern könnte, ohne das Aussehen oder die Wiedergabequalität der neuen Platte merklich zu ändern.

Während des Herstellungsprozesses wird der Kunststoff temperaturmäßig sowie mechanisch stark beansprucht. Wenn die verschiedenen Hersteller auch nur durch feine Unterschiede der Umlaufzeit, Temperatur oder des Druckes von einander abweichen, so können sich innere Spannung, Schichtenhaftung, Lösungsmittelreste und der Beginn der chemischen Zersetzung sehr ändern. Alle diese Einflüsse auf die Lebensdauer der Schallplatten sind außerhalb der Kenntnis und der Kontrolle derer, die sie benützen, aufbewahren und lagern. Die einzige Lösung dieses Problems ist, geeignete Normen der Zusammensetzung und Herstellung zu entwickeln, die die lange Lebensdauer der Erzeugnisse gewährleisten könnten. Die Spitzenerzeugnisse, die nach solchen Normen hergestellt wurden, wären zweifel-

\* Library of Congress, Washington, 1959.

los teurer als die normalen Platten, doch würden die Ersparnisse, die sich aus der verringerten Pflegeerfordernis und den längeren Zeitabständen bis zum Umschneiden ergeben, diese erhöhten Primärkosten bei weitem überwiegen. Die Anfragen, die wir während dieser Arbeit erhielten, zeigen, daß die Nachfrage nach einem solchen Spitzenerzeugnis der verlängerten Lebensdauer dessen Herstellung rechtfertigen würde.

### B. Behandlung und Aufbewahrung

Ein wichtiger Faktor, der die potentielle Lebensdauer beeinträchtigt, kann ohne weitere Nachforschung eliminiert werden, nämlich die Umgebung der Schallplatte, in welcher sie sich zwischen dem Hersteller und dem Verbraucher befindet. Qualitätsschallplatten und Aufnahmematerial werden unter guten Bedingungen aufbewahrt bis zur Verpackung und auch gewöhnlich nach Ankunft in einer Bibliothek. In der Zwischenzeit werden sie aber öfters schlecht gelagert und transportiert, was ihre Lebensdauer stark herabsetzen kann. Kunststoffe neigen besonders zu potentiellem Schaden durch solche Behandlung. Die chemischen und physikalischen Veränderungen, die das Versagen schließlich herbeiführen, zeigen sich zunächst durch keine Veränderungen im Aussehen oder der Qualität während einer Induktionsperiode (einer Zeit, während der die inneren chemischen Reaktionen stattfinden, die die eigentlichen Zerfallsprozesse einleiten). Diese Reaktionen werden durch erhöhte Temperatur und manchmal auch durch Feuchtigkeit oder durch zyklische Schwankungen der Temperatur oder Feuchtigkeit beschleunigt. Das Problem der Feuchtigkeit läßt sich durch die geeignete Verpackung vor der Lagerung oder dem Transport lösen, aber mit der Temperatur ist es viel schwieriger: man muß dafür sorgen, daß die Lieferungen, die man bekommt, nicht ungünstig gelagert wurden, und man muß einen Transportunternehmer wählen, der die Vermeidung von extrem hohen oder niedrigen Temperaturen gewährleisten kann. In manchen Fällen wird ein klimatisierter Transportwagen erforderlich sein. Natürlich kann eine Bibliothek nicht alle Sendungen kontrollieren, doch würde sie von einer erhöhten Kontrolle zweifellos profitieren.

Die Lagerung in der Bibliothek selbst kann der Bibliothekar in gewissen Grenzen bestimmen; diese Grenzen werden durch den vorhandenen Raum und die zur Verfügung stehenden Geldmittel sowie durch die geforderte Griffbereitschaft der Schallplatten gesteckt. Die optimale Lagerung kann das schließliche Verderben der Platten nicht verhindern, aber es ganz bestimmt verzögern, und wird durch den physikalischen, chemischen und biologischen Zerfall der Kunststoffe bestimmt.

### C. Die Eigenschaften der Kunststoffe

Kunststoffe sind organische Verbindungen von hohem Molekulargewicht, denen man durch Wärme, Druck, Verdampfung eines Lösungsmittels, Di-

spersion eines zerstäubten Harzes in einem Weichmacher oder durch eine Kombination dieser Verfahren die gewünschte Form geben kann. Aus wirtschaftlichen Gründen und um die Eigenschaften des Kunststoffes zu verbessern, werden andere Substanzen, z. B. Plastizisatoren, Weichmacher, Fließmittel, Füllstoffe und -schichten, Stabilisatoren und Farbstoffe, dem Kunststoff gewöhnlich beigelegt. Zur Zeit werden Schallplatten im allgemeinen aus synthetischem oder teilweise synthetischem Thermoplastik hergestellt; dieses ist ein Werkstoff, den man durch erhöhte Temperatur wiederholt weich machen kann und der bei Erkalten wieder hart wird. Es besteht zwischen dem festen und dem flüssigen Zustand dieses Materials keine scharfe Grenze, sondern der Stoff wird mit zunehmender Temperatur allmählich weicher.

Kunststoffe sind an sich nicht verderblicher als andere Werkstoffe. Man fabriziert und verwendet sie aber seit so kurzer Zeit, daß man nur sehr wenig Erfahrung über ihre Dauerhaftigkeit gesammelt hat. Diese Wissenslücke wird dadurch vergrößert, daß Kunststoffe sehr oft auf eine ganz andere Weise zerfallen als die bekannteren Werkstoffe, wie z. B. Papier oder Leder. Obwohl Polyäthylen nicht für Schallplatten verwendet wird, ist die Geschichte dieses Stoffes ein gutes Beispiel dieser Eigenschaft der Kunststoffe im allgemeinen. Polyäthylen ist eine synthetische Kohlenwasserstoffverbindung, die ähnliche chemische Eigenschaften hat wie natürliches Paraffin, sich von diesem aber durch ein höheres Molekulargewicht unterscheidet. Die ersten Benützer von Polyäthylen, denen die Stabilität der Paraffine bekannt war, nahmen an, daß Polyäthylen sich als ebenso dauerhaft erweisen würde. Damit hatten sie recht, aber mit einer einzigen Ausnahme, die zu vielen Brüchen führte. Polyäthylen oxydiert nämlich sehr leicht unter Lichteinfluß wegen winzigen Unregelmäßigkeiten der chemischen Struktur, welche bei natürlichen Kohlenwasserstoff-Wachsen nicht vorkommen. Diesem Fehler hat man abgeholfen durch die Beimischung von oxydationshindernden Mitteln und lichtabsorbierenden Farbstoffen, die die Lebensdauer des Polyäthylens unter Einfluß des Wetters verdreißigfachen können. Dies weist auf eine andere wichtige Eigenschaft der Kunststoffe hin: daß sich die Eigenschaft von Kunststoffen durch Zusätze in eine gewünschte Richtung weitgehend verändern lassen. Gewöhnlich wird nicht nur eine Eigenschaft des Kunststoffes durch den Zusatz verändert. In dem soeben genannten Fall ändert der lichtabsorbierende Farbstoff auch die Farbe des Polyäthylens, was nicht immer wünschenswert ist. Aber die unerwünschten Veränderungen der Eigenschaften liegen nicht immer auf der Hand. So könnte man z. B. leicht dazu verleitet werden, eine Seife auf einer schweren Metallbase als Fließmittel zu wählen, die aber die Oxydation des Weichmachers katalysieren und die Lebensdauer des Kunststoffes wesentlich herabsetzen würde. Wegen der Interaktion zwischen all den verschiedenen Bestandteilen eines Kunststoffes hängen die Zerfallseigenschaften nicht nur von dem Grundharz allein ab.

Das Grundharz besteht aus langen Kettenmolekülen und seine physikalischen Eigenschaften hängen von der Größe und Form der Moleküle und Molekularkräfte ab. Diese Eigenschaften kann man chemisch verändern durch

1. Kettenspaltung, die die Moleküle verkleinert,
2. Querverbindungen, die die Art der Molekularkräfte verändern,
3. Nebengruppenveränderung, die die Größe der Molekularkräfte verändert.

#### D. Atmosphärische Einflüsse

Änderungen der Temperatur, Feuchtigkeit oder mechanischen Spannung können die physikalischen Eigenschaften eines Harzes auch verändern. Gewöhnlich sind die chemischen und physikalischen Veränderungen nicht unabhängig voneinander, sondern es finden viele Veränderungen gleichzeitig statt. Eine zu große Veränderung der physikalischen Eigenschaften eines Kunststoffes führt natürlich zu Schaden. Bei Schallplatten kann sich dieser Schaden als dauernde Deformation, Brüchigkeit, Springen, Schichtenlockerung oder Festigkeitsverlust zeigen. Chemische Veränderungen der Kunststoffe sind von zwei Arten: innere Reaktion und Reaktion mit der Umgebung. Die wichtigsten Veränderungen sind Reaktionen mit der Umgebung oder durch die Umgebung eingeleitete innere Reaktionen.

Die Strahlenenergie und insbesondere das ultraviolette oder hochfrequente Ende des Spektrums kann Zerfall sehr schnell herbeiführen. Deshalb sollte man Schallplatten vor der Sonne oder künstlich erzeugten ultravioletten Strahlen schützen.

Wärmeenergie ist sowohl für physikalische als auch chemische Veränderungen in den Kunststoffen verantwortlich. Die physikalischen Veränderungen, einschließlich Veränderungen der Größe und Form, sind die Folge des hohen Koeffizienten der Wärmeausdehnung in Verbindung mit der geringen Wärmeleitung der meisten Kunststoffe, sowie von den Viskositätsveränderungen, die durch die Temperaturveränderungen herbeigeführt werden. Temperatur-Extreme oder zyklische Temperaturschwankungen können dauernde Deformierung oder Delamination herbeiführen. Eine erhöhte Temperatur beschleunigt auch chemische Veränderungen: eine Temperaturerhöhung von 8°C verdoppelt ungefähr die Geschwindigkeit der meisten Reaktionen (besonders solcher mit Wasser) bei Nutzttemperaturen. Man würde also meinen, daß man Kunststoffe so kalt wie möglich lagern sollte. Man muß aber bedenken, daß Temperaturänderungen — besonders plötzliche — schädlich sind, da sie hauptsächlich physikalisch die Kunststoffe verändern. Daher ergibt sich eine optimale Lagerungstemperatur von 15...20°, die einen Kompromiß darstellt zwischen Erträglichkeit für den Menschen und der Möglichkeit, die Lagerungs- und Abspieltemperatur gleichzuhalten. Besonders wertvolle und selten verwendete Platten kann

man ohne weiteres 8...10° unter der Abspieltemperatur lagern — mindestens ein Schallplattenhersteller lagert seine Originalbänder so kühl. Die weitere Herabsetzung der Temperatur verursacht aber neue Probleme so wie extreme Brüchigkeit, die Bildung von Eiskristallen und Schäden, die durch die Unterschiede der Ausdehnungskoeffizienten der Stoffe, aus denen der Kunststoff besteht, verursacht sind.

Feuchtigkeit schadet sowohl physikalisch als auch chemisch. Veränderungen der Feuchtigkeit können weitgehende Veränderungen des Volumens mancher Harze und Füllmittel sowie Veränderungen wichtiger physikalischer Eigenschaften (z. B. Schlagfestigkeit) herbeiführen. Chemisch kann Wasser (1) direkt mit einem Harz reagieren (Hydrolyse), (2) andere Reaktionen katalysieren oder (3) als Lösungsmittel wirken. Diese letzte Wirkung ist besonders wichtig, weil dadurch (1) manche Stoffe von einem Ort zu einem anderen innerhalb eines Kunststoffes gelangen können und (2) Reaktionen, die nur in Lösung auftreten, stattfinden können. Biologischer Schaden wird auch durch Feuchtigkeit gefördert.

Bei Lagerung sollte die Feuchtigkeit diejenige Grenze nicht überschreiten, über der nennenswerter chemischer oder biologischer Schaden stattfindet, aber auch diejenige nicht unterschreiten, unter der ungewünschte physikalische Veränderungen des Kunststoffes stattfinden. Außerdem sollte man trachten, die Feuchtigkeit möglichst konstant zu halten, wenn es sich um Stoffe wie z. B. die Zellulosen handelt, die viel Wasser aufnehmen und dabei ihre Maße sehr verändern. Bei Nutzttemperaturen ist eine relative Feuchtigkeit zwischen 45 und 65 % eine gute Richtlinie.

Feuchtigkeit kommt in drei Arten vor: als Wasserdunst, Wasserfilm und Wasser in Verbindung, welche in einem geschlossenen System einander das Gleichgewicht halten. Das heißt, die Dicke des Wasserfilms auf einem Gegenstand und, manchmal, die Menge Wasser in Verbindung ist abhängig von der Zimmertemperatur und der Menge Wasserdunst in der Luft, kurz, der relativen Feuchtigkeit.

Ein weiterer Zerfallsfaktor ist Sauerstoff. Von der Art des Kunststoffes und dessen Umgebung hängt es gewöhnlich ab, ob der Zerfall durch Sauerstoff ernst ist oder nicht. Ein nach der Lehrbuchformel fehlerfrei strukturiertes Molekül ist in Abwesenheit oxydierender Katalysatoren indifferent gegen gewöhnlichen Sauerstoff. Abweichungen von der idealen chemischen Struktur des Harzes, welche schon bei der Herstellung entstehen, sowie chemische Veränderungen bei der Herstellung des Gegenstandes und der Alterung und die Einwirkungsstellen von Licht und Wärme werden alle zu Oxydationsstellen. Im Allgemeinen hat Sauerstoff wenig Einfluß auf einen aus hochwertigen Materialien sorgfältig hergestellten Kunststoff, wenn er vor Licht und Wärme geschützt wird. Einige Ausnahmen hat man in der Vergangenheit bemerken können: rohes Rizinusöl als Weichmacher, auch die Wirkungen von hohen Spritztemperaturen auf Vinylharze ohne

Dehnungssicher



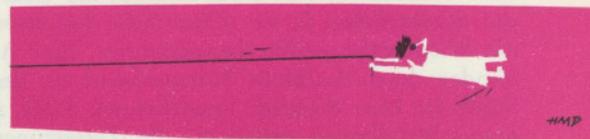
bis



3000 g



Stoßbelastung



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

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

Diese hervorragenden elektroakustischen Eigenschaften werden durch die magnetische Vorzugsrichtung erzielt.

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

BASF

genügende Menge stabilisierender Zusätze haben Schwierigkeiten gemacht. Aber alle jetzt hergestellten Kunststoffe sind anscheinend ganz stabil unter Einfluß von Sauerstoff in der Abwesenheit von Licht, zu hohen Temperaturen, Spuren von gewissen Unreinigkeiten und zu viel Feuchtigkeit. Ozon ist ein anderer Fall, ist aber kaum ein Problem für die Lagerung in Bibliotheken, besonders wenn die Schallaufnahmen so verpackt sind, daß sie gegen Ozon geschützt werden.

Unreinigkeiten der Luft können den chemischen Zerfall der Kunststoffe beschleunigen. Diese Unreinigkeiten sind hauptsächlich die Oxyde von Kohlenstoff, Schwefel und Stickstoff und benötigen Feuchtigkeit und eine freie Luftzirkulation, um wirksam zu sein. Mit Schwefeldioxyd und lederen Bucheinbänden hat man schon die entsprechenden Erfahrungen gemacht, aber gut verpackte Waren werden bei einer nicht zu feuchten Atmosphäre sogar durch sehr unreine Luft nicht angegriffen.

Staub verursacht physikalische und chemische Schädigungen. Physikalischer Schaden entsteht durch Kratzen der Oberfläche oder dadurch, daß sich die Staubteilchen in der Oberfläche festsetzen — in beiden Fällen wird die Wiedergabequalität beeinträchtigt. Eine Azetatplatte wird unter Umständen durch das bloße Herausziehen aus dem Papierumschlag zerkratzt. Staub ist kein chemisch unwirksamer Stoff, sondern kann Säureradikale sowie Metallionen enthalten, die Zersetzungsprozesse manchmal katalysieren (Tabelle 1 zeigt die Zusammensetzung von Staub in der industriellen Stadt Washington). Der Staubfilm zieht die Feuchtigkeit an, welche wiederum die chemische Tätigkeit des Staubs fördert.

Leider ist Thermoplastik ein schlechter Stromleiter und wird beim Pressen mit einer inneren Ladung<sup>1</sup> versehen, die eine Oberflächenladung sehr lange erhält. Diese wird beim Umgang mit der Platte erneuert, zieht den Staub an und hält ihn fest.

Die erste Maßnahme gegen Staubschaden ist natürlich, die Umgebung möglichst staubfrei zu halten. Nicht nur müssen die Aufnahmen gut verpackt gelagert werden, sondern die Abspielapparatur muß frei von Staub

<sup>1</sup> Elektrostatische Ladungen entstehen wahrscheinlich aus einem vorübergehenden Elektronenüberfluß oder -mangel in einem festen Körper. Bei Nichtleitern beschränkt sich diese Erscheinung gewöhnlich auf die Atome der Oberfläche, von wo die Ladung leicht abgeleitet werden kann. Viele Kunststoffe bilden aber solche Ladungen in ihren Inneren während des Pressens. Die beschränkte Elektronenbeweglichkeit des Nichtleiters verhindert die Entladung, sodaß ein „Ladungsspeicher“ gebildet wird. Diese Ladung kann eine Oberflächenladung durch Influenzwirkung hervorbringen, ohne sich selbst zu entladen, oder kann sehr allmählich zur Oberfläche fließen. Die innere Ladung der Vinylplatten ist von aleatorischer Intensität und Art, und die durch Influenz hervorgerufene Oberflächenladung ist entsprechend aleatorisch. Eine durch Reiben mit einem bestimmten Stoff hervorgerufene Oberflächenladung ist von einer Art und Intensität, welche von dem reibenden Stoff abhängt.

gehalten werden. Die nächste Maßnahme ist, die Umgebung so trocken zu halten, daß die chemische Wirkung der aktiven Staubbestandteile verhindert wird. Diese Maßnahmen verringern das Staubproblem, ohne es jedoch zu beseitigen, deshalb müssen die Aufnahmen gereinigt werden, und zwar so, daß ihnen durch diese Reinigung kein Schaden zugefügt wird.

Zusammengefaßt entsteht chemisches Verderben der Grundharze durch Veränderungen der physikalischen Eigenschaften durch

1. Kettenspaltung,
2. Querverbindungen,
3. Nebengruppenveränderungen,

welche durch

1. Licht,
2. Wärme,
3. Wasser,
4. Sauerstoff,
5. Luftunreinigkeiten,
6. Staub

entstehen.

Physikalisches Verderben der aus diesen Harzen hergestellten Gegenstände zeigt sich hauptsächlich als

1. dauernde Deformierung,
2. Brechen, Reißen oder Schichtenlösung,
3. Kratzen oder Teilcheneinbettung,

die entweder direkt entstehen oder indirekt durch vorübergehende Veränderungen der physikalischen Eigenschaften durch

1. erhöhte Temperaturen oder Temperaturschwankungen,
2. erhöhte Feuchtigkeit oder Feuchtigkeitsschwankungen,
3. Kratzen durch oder Einbettung von Staubteilchen durch Herausziehen aus dem Umschlag, waagrechte Lagerung oder Abspielen,
4. mechanische Spannung.

#### E. Beimischung von Zusätzen

Verfall entsteht unter Umständen auch durch das Verderben anderer Bestandteile des Kunststoffes als des Grundharzes, oder durch die Wirkung der Zerfallsproduktion dieser anderen Bestandteile auf das Grundharz. Hierfür kommen in erster Linie Weichmacher und Füllstoffe und -schichten in Betracht.

Das Grundharz allein hat oft nicht die gewünschten physikalischen Eigenschaften. Die Zähigkeit und Brüchigkeit von Zellulosenitrat schließt seine Verwendung für Sofortaufnahmen aus, können aber durch Weichmachung verändert werden. Ein Kunststoff läßt sich von innen her weichmachen

durch die Co-Polymerisation eines fremden Monomers zur molekularen Grundkette oder durch eine Mischung der Polymer. Die Co-Polymer sowie die Polymer-Mischung (Polyblends) sind gewöhnlich genau so stabil wie die Grundharze. Ein Kunststoff läßt sich auch von außen her weichmachen durch ein Lösungsmittel oder einen Weichmacher. Der Unterschied zwischen diesen zwei Arten der äußerlichen Weichmachung kann mit dem Unterschied zwischen einer Lösung und einer Mischung verglichen werden. Verflüchtigung des externen Weichmachers bedeutet den Verlust der erwünschten Eigenschaft für welche er eingeführt wurde und manchmal auch ein Volumenverlust. Ein durch Lösungsmittel weichgemachtes System ist gewöhnlich stabiler als ein solches, welches durch ungelösten Weichmacher weichgemacht wurde. So ist z. B. ein durch Kampfer weichgemachtes Zellulosenitrat stabiler als ein durch Rizinusöl weichgemachtes, weil der Kampfer mit dem Zellulosenitrat ein Komplex bildet, was beim Rizinusöl nicht der Fall ist. Verlust des externen Weichmachers entsteht durch Verflüchtigung, Extraktion, Ausschwitzen, Abreiben, chemischen Zerfall oder biologische Verzehrerung. Außerdem können die Zerfallsprodukte der externen Weichmacher den Zerfall des Grundharzes einleiten.

Füllschichten werden verwendet, um die physikalischen Eigenschaften eines Harzes zu modifizieren (z. B. Schellack) oder aus wirtschaftlichen Gründen (z. B. manche Vinylplatten). Die üblichsten Füllschichten sind Kalkstein, Ton, Mehle aus Zellulose-Nebenprodukten, Pflanzenfasern und Kohlenstoff. Die Füllschichten sind vor der Umgebung durch den Harzmantel geschützt, können aber durch Stoffe, die durch das Harz diffundieren können, angegriffen werden. Kohlenstoff ist nicht nur inaktiv, sondern schützt das Harz durch seine absorbierende Eigenschaft vor Licht. Kalkstein wird nur in Anwesenheit von Wasser angegriffen. Ton wird nur durch Veränderungen der Feuchtigkeit beeinflusst, da er mit der Feuchtigkeit anschwillt und bei Austrocknung wieder zusammenschrumpft. Die Zellulose-Nebenprodukte und Pflanzenfasern schwellen an und schrumpfen zusammen bei Feuchtigkeitsänderungen und werden in Anwesenheit von Feuchtigkeit chemisch angegriffen durch dieselben Mittel wie die Harze sowie durch die Zersetzungsprodukte sowohl des Harzes als auch des Weichmachers. Da die Füllschichten in so vielen Arten und verschiedenen Mengen verwendet werden, läßt sich über ihren Beitrag zur möglichen Lebensdauer eines Kunststoffes keine allgemeine Aussage machen. Zum Glück sind die selben Lagerungsbedingungen für die Harze sowie für die Füllmittel günstig. Das Wichtigste in diesem Zusammenhang ist eine Gleichhaltung der Feuchtigkeit.

Ein Füllstoff ist ein organischer Stoff, der dem Harz beigemischt wird, gewöhnlich wegen Kostenersparnis. Gewöhnlich verwendet man natürliche Wachse und Harze aus der Destillation von Holz oder Pflanzenfasern. Sie sind gewöhnlich weniger stabil als das Harz und verkürzen die mögliche

Lebensdauer des Kunststoffes. Auch sie werden durch die selben Mittel angegriffen wie andere organische Stoffe, und die den Kunststoff schützende Lagerung ist auch für sie günstig.

Ein weiterer Bestandteil eines Kunststoffes, der die Lebensdauer verkürzen kann, ist ein Rückstand von Lösungsmitteln. Bei der Herstellung eines Kunststoffgegenstandes durch Lösungsmittelverdampfung wird ein Teil des Lösungsmittels durch das Harz zurückgehalten. Weil der Hersteller den sofortigen Gebrauch des Gegenstandes anstreben muß, wird der Kunststoff gewöhnlich so berechnet, daß die richtigen physikalischen Eigenschaften unter Berücksichtigung dieses Lösungsmittelrückstandes entstehen. Mit der Zeit kann dieser Rückstand aus dem Harz allmählich diffundieren und es verändern. Der Vorgang ist ein ähnlicher wie der Verlust an Weichmacher und man kann zwischen diesen beiden Vorgängen keine genauen Grenzen ziehen, es sei denn durch die Einschränkung, daß die Lösungsmittel viel flüchtiger als die Weichmacher sein müssen, also viel schneller verloren gehen.

Noch eine weitere Eigenschaft der Aufnahmematerialien, die den Zerfall beeinflusst, darf nicht vergessen werden. Schallaufnahmen sind in erster Linie für eine getreue Wiedergabe und gegen mechanische Abnutzung hergestellt. Die Verwendung neuer Stoffe und die Erfindung neuer Aufnahmeverfahren beziehen sich fast ohne Ausnahme nur auf diese zwei Kriterien und das der billigen Herstellung. Wo diese Stoffe fehlerhaft sind, zeigt sich erst nach einiger Gebrauchszeit. Dann wird das Erzeugnis verbessert, auch in Bezug auf die Lebensdauer. Aus den Eigenschaften der Aufnahmen von gestern lassen sich also die Eigenschaften der heutigen Aufnahmen nicht ohne weiteres ableiten, es sei denn, man nimmt an, sie werden auf jeden Fall besser und haltbarer sein. Die meisten dieser Stoffe sind erst im Entwicklungsstadium und eine über einige Jahre angehäufte Sammlung wird manche oberflächlich identische Muster von völlig verschiedener Lebensdauer enthalten.

## F. Pilzbildung

Pilzbildung trägt sehr viel zum Verfall der Schallaufnahmen bei. Die Pilze spielen eine unentbehrliche Rolle im Kohlenstoffkreislauf, von dem das Leben abhängt, indem sie die Zerfallsprodukte des Lebens in brauchbare Stoffe umwandeln und den Bestand an organischem Material in Umlauf hält. Um dieser Aufgabe gerecht zu werden, haben sich die Pilze zu einer sehr großen und heterogenen Gruppe von Lebewesen entwickelt, die in einem enormen Umfang organische Stoffe angreifen und denen ein ebenso großer Bereich von Lebensbedingungen zum Wachsen und zur Vermehrung günstig ist. Zwei ihrer Fortpflanzungsweisen, durch luftgetragene Sporen und Mycelteilchen, sind so wirksam, daß die freiliegende Fläche jedes Gegenstandes in einer normalen Umgebung dauernd von einer abwechselnden

Vielfalt dieser Lebewesen okuliert wird. Wo immer organisches Material, Umgebung und Lebewesen im richtigen Verhältnis zueinander auftreten, wächst ein Pilz und verdirbt ein Gegenstand.

Wenn es auch nicht überrascht, daß Pilzbildung bei dem Zerfall der organischen Bestandteile der Schallaufnahmen eine sehr große Rolle spielen, so sind einige ihrer Auswirkungen doch überraschend für den Nichtfachmann. Das Verfaulen von Brot z. B. ruft in der Vorstellung sofort ein Schimmelbeet hervor, dagegen kommt man weniger schnell auf den Verdacht, daß das Steifwerden eines Regenmantels daher stammt, daß ein unsichtbarer Schwarm ähnlicher Lebewesen den Weichmacher verzehrt. Überraschend ist auch die Art und Vielfalt der von den Pilzen hergestellten Chemikalien. Da die Pilze ihre Nahrung außerhalb ihrer Zellstruktur verdauen müssen, scheiden sie sowohl Enzyme wie Säuren aus, die nicht nur die Nahrung, sondern auch die umgebenden Stoffe angreifen. Ein treffendes Beispiel dafür ist die Glasätzung von Pilzen, die sich von einem fetten Fingerabdruck auf dem Glas ernähren. Eine Schallplatte kann während der Lagerung durch Pilze schwer beschädigt werden. Eine spätere Untersuchung der Platte zeigt wohl den Schaden, aber nicht die Ursache, die genau so wie Schaden durch andere Ursachen aussehen kann. Dies macht die Ursachenerklärung der Schäden von Schallplatten unbekannter Herkunft sehr schwer.

Es ist eine gute Faustregel, daß natürliche oder diesen ähnliche Stoffe empfindlicher gegen Pilzwirkung sind als synthetische Stoffe; diese Regel trifft anscheinend sehr gut zu, mit den Ausnahmen, die jede Regel über die Pilzwirkung hat. Manche natürliche Stoffe (z. B. natürliche Pflanzenharze, die bis zur Ausgrabung viele Jahre unversehrt in der Erde liegen) zeigen großen Widerstand gegen Pilzschaden.

Viele Schallplatten enthalten ausgezeichnete Nährmittel für Pilze, u. a. Öle, Wachse, Zellulose, Lignin, Fettsäuren, manche Weichmacher und Zellstoffabwandlungen, die als Weichmacher, Fließmittel, Füllstoffe und -schichten verwendet werden. Die Grundharze mit der Ausnahme von Zellulosenitrat und -azetat sind pilzimmun; das Azetat ist das Widerstandsfähigste von den Zellulosen. Viele der bei der Lagerung verwendeten Packmittel versorgen die Pilze mit Kohlehydraten, Proteinen, Wachsen, Zellulose und Ligninen.

Man würde meinen, daß ein Pilztötungsmittel von Nöten wäre, und das Problem wurde auch von dieser Seite untersucht. Ein geeignetes Mittel müßte die folgenden Bedingungen erfüllen:

1. es darf nicht giftig sein,
2. es muß eine große Vielfalt von Pilzen töten,
3. es muß eine lange Lebensdauer haben,
4. es darf zum Zerfall keiner der vielen chemischen Bestandteile der Schallaufnahmen beitragen.

Solche Pilzvertilgungsmittel könnte man dem Kunststoff während der Herstellung beifügen oder auch dem Umschlag eingliedern.

Die handelsüblichen Pilzvertilgungsmittel (einschl. der in die Kunststoffe zu mischenden) wurden von diesen Gesichtspunkten aus untersucht. Alle Verbindungen mit Kupfer, Zink, Chlor-Phenol und Säureradikalen wurden von vornherein abgelehnt, weil sie zum Zerfall mancher der Plattenkunststoffe wahrscheinlich beitragen würden. Abgelehnt wurden auch giftige oder übelriechende Mittel. Keines der übrigen untersuchten Mittel konnte die wirksamen Stoffe langsam genug entlassen, um über eine genügend lange Zeit wirksam zu bleiben. Zum Glück brauchen die Pilze Feuchtigkeit, und man hat schon sehen können, daß trockene Lagerung auch von anderen Gesichtspunkten aus erforderlich ist; die zugelassene Feuchtigkeit sollte also ohnehin unter der pilzbildenden Grenze liegen und das Pilzproblem ist nichts als ein weiterer Grund für trockene Lagerung. Auch die Notwendigkeit der Sauberkeit wird durch das Pilzproblem unterstützt, denn die meisten Staubarten sind zu einem gewissen Grade hygroskopisch, erhöhen also die Oberflächenfeuchtigkeit, und Fingerabdrücke sind günstig für die Pilzansiedlung.

Andere Lebewesen sowie Bakterien und Insekten sind anscheinend kein Problem, was den Kunststoff in der Bibliothek anbelangt.

#### G. Voraussage über die Lagerungs-Lebensdauer

Eine grundsätzliche Frage in einer solchen Untersuchung ist: Was ist die mögliche Lebensdauer einer Schallplatte *X*, die unter Bedingungen *Y* gelagert wird? Die einzige Methode, die man kennt, um diese Frage genauer zu beantworten, ist, die Platte *X* in den Bedingungen *Y* zu lagern und abzuwarten, bis sie kaputt geht. Da diese Methode natürlich nicht sehr befriedigend ist, haben Wissenschaftler und Techniker Methoden entwickelt, um die Stabilität verschiedener Stoffe zu vergleichen oder ihre mögliche Lebensdauer zu raten oder abzuschätzen. Die Genauigkeit einer solchen Voraussage hängt natürlich davon ab, wie viel man über das zu untersuchende Material weiß.

Da die neuen organischen Stoffe noch sehr wenig bekannt sind, was ihr Verhalten unter verschiedenen Bedingungen anbelangt, so kann man eine Voraussage der Lebensdauer bestenfalls als „viele Jahre“, „viele Jahrzehnte“ oder „über einer gewissen Mindestzeit“ ausdrücken. Den Voraussagenden würde es nicht überraschen, daß ein organischer Gegenstand, für den er ein Leben von vielen Jahren voraussagte, nach vielen Jahrzehnten oder gar Jahrhunderten noch immer in gutem Zustand ist. Nur wenn der Gegenstand schon in wenigen Jahren unbrauchbar wurde, würde er sich über die Gültigkeit seiner Voraussage Sorgen machen müssen. Es ist nur gerecht, diesen Tatbestand denjenigen Lesern zu erklären, die für ihre

Arbeit solche Voraussagen benötigen, sich aber ohne sie oder mit nicht ganz befriedigenden abfinden müssen.

Eine Methode der Lebensdauerabschätzung ist künstliches Altern; sie besteht darin, daß der Gegenstand so gelagert wird, daß der Zerfall beschleunigt wird, z. B. können ultraviolette Strahlen, Temperatur oder die Konzentration eines Gegenstand angreifenden Stoffes erhöht werden. Die Theorie dieses Verfahrens ist, daß das Auftreten eines Ereignisses wie die Diffusion eines Sauerstoffmoleküls zu einer Oxydationsstelle, das Brechen einer Wertigkeitsbindung oder das Verschieben eines Kettensegments eines Polymermoleküls aus seinem Strukturzusammenhang, abhängig ist von der aleatorischen Molekül- oder Segmentbewegung oder davon, daß ein Atom die nötige Energie erhält, um eine Schranke zu durchbrechen. Solche Ereignisse richten sich nach den Wahrscheinlichkeitsgesetzen, und die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens wird mit der Konzentration der wirksamen Stoffe oder der vorhandenen Energie erhöht.

Gegen diese theoretische Grundlage ist nichts einzuwenden. Der Praxis stehen aber zwei unüberwindliche Hindernisse entgegen, die eine genaue Aussage verhindern:

1. Der chemische und physikalische Zerfall eines Stoffes hängt von vielen Parametern ab, die auch selbst voneinander abhängig sind. Es ist unmöglich, jeden dieser Einflüsse um den selben Faktor zu beschleunigen, also wird das natürliche Altern nie genau imitiert.

2. Eine hinreichende Veränderung der Reaktionszeit oder der vorhandenen Energie ändert nicht nur die Geschwindigkeit, sondern auch die Art des Alterns und es ist im Allgemeinen nicht möglich, diese Grenze festzustellen. Trotzdem ist beschleunigtes Altern für die Stabilitätsvergleiche organischer Stoffe und für die Untersuchung der Zerfallsmechanismen von großem Wert, welcher durch die Kenntnis des natürlichen Alterns weiter gesteigert wird.

Extrapolation ist ein weiteres Mittel zur Voraussage des Stoffverhaltens. Man wählt einen Index (z. B. eine physikalische Eigenschaft oder die Konzentration eines bestimmten Stoffes im Gegenstand) und einen Grenzwert dieses Indexes, bei welchem der Zerfall des Gegenstandes angenommen wird. Man mißt die Veränderung dieses Indexes während einer Zeitspanne und nimmt an, daß die weitere Veränderung während der weiteren Lebensdauer des Gegenstandes die gleichen Regeln befolgen wird wie bis dahin. Natürlich gibt es keine Gewähr, daß man den richtigen Zerfallsindex gewählt hat, daß man über das Verhalten dieses Indexes die vollständigen Daten gesammelt hat oder daß sich dieses Verhalten nicht ändern wird.

Es stehen dem Forscher noch andere Schwierigkeiten im Wege auf der Suche nach einer Voraussage über das Verhalten eines organischen Stoffes bei langer Lagerung. Auch die einander gleichen Gegenstände haben kleine Unterschiede der Zusammensetzung, der Bearbeitung und der Vorgeschichte,

die ihre Lebensdauer sehr beeinflussen können; Form und Größe spielen auch eine Rolle, so daß genau genommen jeder Fall einen Fall für sich darstellt.

Alle diese Schwierigkeiten lassen sich am besten durch das Beispiel des Zellulosenitrats demonstrieren. Seit fast einem Jahrhundert wird dieses Material verwendet, untersuchen Chemiker seine Zerfalleigenschaften. Kinematographischer Film wird seit etwa einem halben Jahrhundert unter genau bekannten Bedingungen aufbewahrt und seine Lebensdauer in der Lagerung wird seit einem Vierteljahrhundert untersucht. An dieser Forschung sind die öffentlichen Anstalten und die Industrie vieler Völker beteiligt. Trotzdem gibt es noch keine Methode, durch welche man das mögliche brauchbare Leben eines solchen Films voraussagen kann, nicht einmal eine zuverlässige Abschätzung der Längstzeit, über welche man ihn unbekümmert lagern kann, ohne ihn für Anzeichen des drohenden Zerfalls testen zu müssen. Die Forschung hat aber doch etwas Gutes getan, und zwar hat man Laborteste entwickelt, die den drohenden Zerfall aufzeigen, so daß dem Filmverlust vorgebeugt wird, wenn man diese Tests alle ein bis zwei Jahre durchführt, um die Kopiernotwendigkeit festzustellen.

Bloß zu sagen, daß die mögliche Lagerungsdauer der Schallplatten unabschätzbar ist, ist aber eine viel zu einfache Umgehung des Problems. Es bleibt bestehen, daß der Bibliothekar irgend eine Richtlinie haben muß, die ihm sagen kann, wann es notwendig wird, wertvolle Aufnahmen umzuspielen. Jedes Jahr, welches man der geschätzten Lebensdauer einer Aufnahme hinzufügen kann, rationalisiert um vieles die Bibliotheksarbeit. Es folgt die logische Reihenfolge der Maßnahmen, die einem Umschneideplan zugrundeliegen.

1. Man bezieht sich auf die kürzeste *bekannt*e Lebenserwartung, die weit unter der kürzesten *eigentlichen* Lebenserwartung liegen kann (aber nicht muß). Mit wachsender Erfahrung und mit Kenntnis von dem Material kann man diese Ziffer dauernd nach oben berichtigen. Die anfängliche Lebenserwartung liegt auf der Hand, wenn es sich gezeigt hat, daß ein bestimmtes Material fünfundzwanzig Jahre überstanden hat, denn dann kann man einem anderen Muster dieses Stoffes unter denselben Lagerungsbedingungen eine kürzeste bekannte Lebenserwartung von fünfundzwanzig Jahren folgerecht zuschreiben. Der Bibliothekar kann diese Kenntnis zur Erhaltung von wertvollen Aufnahmen anwenden, indem er mit einem fünfundzwanzigjährigen Umschneideplan den Anfang macht und diese Zeitspanne allmählich mit der Lagerungserfahrung über dieses Material verlängert. So trivial diese Methode auch erscheint, so war sie doch die Grundlage der archivarischen Erhaltung in Deutschland während einer Zeit, als anderswo viele Platten verloren gingen, ehe sie neu geschnitten wurden. Diese Methode ist kostspielig und unpraktisch bei großen Sammlungen, stellt aber die erste Annäherung zu einer Feststellung der Lebensdauer der Schallaufnahmen dar.

2. Die nächste Maßnahme zur Feststellung der kürzesten Lebensdauer ist der Idee nach ebenso einfach, aber viel schwieriger in der Anwendung: durch Korrelation oder Extrapolation verbessert man die durch Beobachtung erhaltene Ziffer. Ist z. B. die kürzeste bekannte Lebensdauer eines Materials *A* fünfundzwanzig Jahre und kann es bewiesen werden, daß ein zum selben Zweck verwendetes Material *B* mindestens die dreifache Lebensdauer von *A* hat, dann kann man mit ziemlicher Sicherheit dem Material *B* eine kürzeste Lebenserwartung von fünfundsiebzig Jahren zuschreiben.

Die kürzeste bekannte Lebensvoraussage kann man auch auf andere Weise verbessern:

- a. Man stellt für eine gute Aufnahme einen Qualitätswert auf,
- b. durch Beobachtung stellt man die wahrscheinliche Zerfallsgeschwindigkeit über eine gewisse Zeitspanne fest;
- c. davon leitet man ab, wie lang die Qualität der Aufnahme weiter-sinken könnte, ohne unter ein bestimmte Minimum zu fallen.

Diese Methoden setzen eine genaue Kenntnis des Materials voraus und jede Unkenntnis zwingt eine Verkürzung der Lebensvoraussage auf. Die beschleunigten Alterungsversuche sind hier von Wichtigkeit, denn eine Kombination dieser Versuche mit einer Analyse natürlich gealterter Exemplare ermöglicht es dem Forscher, zu einer ziemlich genauen Voraussage der kürzesten Lebenserwartung des Materials zu kommen, vorausgesetzt, es steht ihm genug Geld und Zeit zur Verfügung (ob er mit den andern Forschern, die sich emsig mit der Verbesserung der Stabilität und Lebenserwartung dieser Stoffe beschäftigen, Schritt halten kann, ist eine andere Frage).

3. Hat man die kürzeste bekannte Lebenserwartung festgestellt, kann man die Aufnahmen auf zwei Weisen erhalten:

- a. Ist die Zeit um, so schneidet man die Platte um.
- b. Ist die Zeit um, so leitet man einen Testplan ein, um festzustellen, wann Umschneiden notwendig sein wird.

Keines dieser beiden Systeme befriedigt ganz, denn jenes wird zweifellos viele brauchbare Jahre sowie einige Qualität der Kopie kosten, während dieses einen geeigneten Test, ein Labor und einen strengstens zu beachtenden Plan erfordert.

Es würde viele Jahre dauern, die gesamten Kenntnisse zur Aufstellung einer wirtschaftlichen kürzesten bekannten Lebensdauer der Schallaufnahmematerialien zu sammeln und regelmäßige Testpläne sowie Testmethoden zum erwartenden Zerfall aufzustellen. Eine solche Arbeit würde das statische Erfassen der Aufnahmen von vielen Sammlungen und viele Jahre von beschleunigten Alterungsproben benötigen. Für die vorliegende Arbeit war dies nicht möglich — hoffentlich wird sie dafür zum Ausgangspunkt werden. Die lange Zeit, die insbesondere die beschleunigten Alterungen mit mäßig erhöhten Temperaturen und Konzentrationen angreifender Stoffe

verlangen würde, bedeutet, daß eine solche Arbeit den Forscher nicht sehr in Anspruch nehmen würde, es sei denn in ihren Anfängen. Die wertvollsten Experimente, die man machen könnte, würden fünf bis zehn Jahre mit nur gelegentlicher Kontrolle laufen. Eine Betrachtung der raschen Fortschritte und der vielen Verbesserungen der Aufnahmematerialien könnte die Zweckmäßigkeit einer solchen Arbeit in Frage stellen, sind doch die heutigen Materialien vollkommen verschieden von denen, mit welchen man vor fünfzehn Jahren hätte experimentieren können. Trotzdem sind wir der Meinung, daß man auf der Grundlage des Verhaltens der älteren Materialien die Lebensdauer der heutigen Platten genauer abschätzen kann, als wenn solche Experimente nie gewesen wären.

(Fortsetzung folgt.)

## Preservation and Storage of Sound Recordings\*

by

A. G. PICKETT and M. M. LEMCOE

### I. Factors Relating to the Degradation of Sound Recording Materials

#### A. Manufacture

The resistance of an article to degradation is built into the article at the time of its manufacture. The potential storage life of plastics, the basic materials used for the manufacture of most sound recordings, is particularly dependent upon this parameter. Unfortunately, the effects of this parameter are not, at present, subject to quantitative evaluation. The uncontrolled variables are the basic resin, the materials added to the basic resin to alter its properties to those desired, and the sound record manufacturing process. The quality control of the individual chemical plant producing a basic resin may be excellent and result in a uniform product, but there are numerous sources which have sold some extremely low-cost resins on the domestic market. Since chemical degradation can be initiated by but trace amounts of certain chemicals, it would be remarkable if the process differences between chemical plants did not cause differences in resistance to degradation.

The materials added to the basic resin are even more variable in nature than is the resin. The major sound record manufacturers differ significantly

\* Library of Congress, Washington, 1959.

in their formulations for cost or product improvement reasons. An unfortunate choice of lubricant or extender can conceivably decrease the potential life of a stored plastic by several decades while a change in stabilizer might increase such life by as much as a century without any noticeable change in appearance or playback quality of a new recording.

The conditions of heat and stress imposed on a plastic during the manufacturing processes are severe. The variation in processing techniques, even if these variations are but ostensibly minor differences in cycle time, temperature or pressure, contribute greatly to variations in such parameters as internal stress, laminate adhesion, retained solvent and chemical degradation initiation. All of these items which make for a variation in potential storage life of sound recordings are outside of the ken and the control of those who acquire and store sound recordings. The only way to overcome this deficiency is to develop suitable specifications covering formulation and manufacture to be used for the procurement of sound recordings which will provide a product of dependable and maximum storage life. Premium sound recordings manufactured under such specifications would undoubtedly be more costly than regular items, but the overall economy which would result from reduced care and longer time intervals between re-recording necessitated by record deterioration would—by far—more than offset this initial expense. From the inquiries received during this program, it seems likely that there is sufficient demand for premium life sound recordings to justify their manufacture.

#### B. Handling and Storage

One important factor responsible for the reduction of potential storage life can be eliminated without further research. This factor is the environmental history of the sound record between manufacture and acquisition. Quality sound recordings or recording materials are kept in good environment until they are packaged and, usually, after they are received in a library for use and storage. In the interim of warehousing and transportation, however, they are often subjected to severe environments which may materially reduce their potential shelf life. Plastics, because of their degradation mechanisms, are particularly susceptible to damage induced by noticeable changes in appearance or quality during an induction period (a period during which internal chemical reactions occur that initiate the actual degradative reactions) which often precedes rapid degradation or during the early stages of degradation. These reactions are accelerated by elevations of temperature and, sometimes, by moisture and cyclic changes in temperature or moisture content. The moisture problem can be solved by proper packaging prior to warehousing or transportation, but the temperature problem is far more difficult. It can be solved, however, by obtaining supplies which have not been stored in adverse environments

**Withstands**



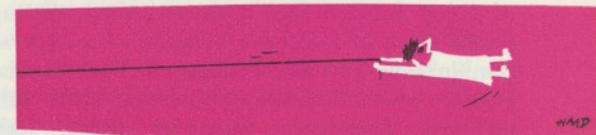
**shock loads**



**up to**



**3000 g**



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

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

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

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

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

1/926

**BASF**

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

and by proper choice of a carrier to obviate exposure to either extremes of high or low temperature. In some instances this might require shipment in an airconditioned truck. Libraries, of course, do not have control over many items they receive, but they can, undoubtedly, benefit by controlled procurement of many items.

The storage conditions are controllable by the librarian to an extent permitted by allotted space and funds as well as the requirement of ready availability of the sound records. Optimizing these conditions will not prevent degradation but can definitely inhibit it. The storage conditions are mainly determined by the parameters of physical, chemical and biological degradation of the basic plastic constituents generally used in the manufacture of sound recordings.

### C. Properties of Plastics

A plastic is a high-molecular-weight organic compound which is capable of being formed into a desired shape by application of heat, pressure, evaporation of a solvent, solution of a dispersed resin in a plasticizer, or a combination of these techniques. For reasons of economy, as well as to provide more desirable properties, other substances such as plasticizers, softeners, lubricants, extenders, fillers, stabilizers, and pigments, are generally incorporated into a plastic. At the present time, sound recordings are generally made of synthetic or partially synthetic thermoplastics. Thermoplastics are materials that will repeatedly soften when heated and harden when cooled. There is no abrupt change, at the service temperatures of these materials, between the fluid and solid states, but, instead, a thermoplastic gradually becomes softer as the temperature increases.

Plastics *per se* are no more susceptible to degradation than are other materials. They have been manufactured and used for such a short time, however, that the experience with and consequent knowledge of their long-time behavior is very limited. This deficiency in knowledge is aggravated by the fact that the manner of degradation of plastics is often quite different from that of other more familiar materials such as paper or leather. While polyethylene is not used in the manufacture of sound recordings, the history of this material provides a good example of this characteristic of plastics. Polyethylene is a synthetic hydrocarbon chemically similar to naturally occurring paraffin wax, but with a higher molecular weight. The first users of polyethylene, who were quite familiar with the stability of paraffin waxes, assumed that polyethylene would have the same inherent resistance to deterioration. They were correct in this assumption, with an exception that caused many unforeseen failures. Actually, polyethylene is extremely susceptible to photo-oxidation because of very minute imperfections in its chemical constitution which are not present in natural hydrocarbon waxes. This deficiency has been overcome by the

incorporation of anti-oxidants and light-absorbing pigments into the plastic, which increases the outdoor life of polyethylene as much as thirty-fold. This points up another important feature of plastics. That is, the properties of plastics can be altered remarkably by additives in order to achieve a desired result. In general, more than one of the properties of a plastic are changed when an additive is used. In this case, the use of a light-absorbing pigment also changes the color of the polyethylene, which may or may not be desirable. Often, other less obvious and more undesirable property changes are caused in this manner. For example, one could easily choose a heavy-metal soap for incorporation in a plastic as a lubricant which would unforeseeably catalyze the oxidation of the plasticizer used and materially reduce the useful life of the plastic. Because of the interaction between all of the different constituents of a plastic-based article, the deteriorative characteristics of such an article are not determined by those of the basic plastic alone, and due regard must be given to each constituent and its effect on the useful life of the article.

The basic thermoplastic, or resin, is composed of long chain molecules, and its physical properties are dependent on the size and shape of the molecules and the forces between the molecules. The properties of such a resin can be changed chemically by:

- (1) Chain scission, which reduces the molecular size.
- (2) Cross linking, which changes the type of forces between molecules.
- (3) Side group modification, which changes the amount of the forces between molecules.

### D. Atmospheric Factors

The physical properties of a resin can also be altered by changes in temperature, stress, or moisture content. Chemical and physical changes are usually not independent, many different changes taking place simultaneously. A sufficiently large change in the physical properties of a plastic obviously results in failure of the plastic of which the article is made. The manifestation of this failure, in sound recording materials, may be permanent deformation, embrittlement, cracking, loss of adhesion between laminates, or loss of strength. There are two kinds of chemical changes in plastics: internal reaction and reaction with environmental agents. The most important changes are those reactions with the environment or environmentally induced internal reactions.

Radiant energy, in particular the ultraviolet or high frequency portion of the spectrum, should be denied access to sound recording materials, since it is an extremely effective agent of degradation initiation. They should not be exposed to natural sunlight or artificial ultraviolet.

Thermal energy is responsible for both physical and chemical changes in plastics. The physical changes, including changes in size and shape, result

mainly from the high coefficient of thermal expansion together with the low thermal conductivity found in most plastics and the changes in viscosity induced by changes in temperature. Permanent deformation or delamination may result from either exposure to an extreme of temperature or cyclic changes in temperature. Chemical changes are accelerated by elevation of temperature. At service temperatures and for most reactions (especially those where water is involved), the reaction rate is approximately doubled for an increase in temperature of 15° F. It would seem that the optimum storage temperature for a material would be as cold as is attainable. This is true to a degree. It must be remembered that temperature changes are harmful, especially abrupt ones, and that the physical properties of plastics are radically changed by extreme changes in temperature. For this reason, it is best to choose a storage temperature (i. e., 60° F to 70° F) which is a compromise between human comfort and the desired reduction of thermal energy to maintain essentially the same temperature in both storage and playback. Sharp temperature changes may thus be avoided. For precious and seldom-used records, it is feasible (and practiced by at least one sound record manufacturer in master tape storage) to store recordings at 15° to 20° F below such a temperature. Much lower temperatures than this create new problems—such as extreme brittleness, ice crystal formation, and failure due to the differing coefficients of expansion of constituent materials.

Moisture is also both a physical and a chemical agent of degradation. Changes in moisture content can cause large dimensional changes in some resins and fillers, which may induce failure, and can also change important physical properties such as impact strength. As a chemical agent, water can either react directly with a resin (hydrolysis), can catalyze other reactions, or can act as a solvent. The solvent action of water is most important both because it enables some compounds to be transported from one place to another in a material and because it enables reactions to take place which only occur in solution. Excess moisture will also provide an environment conducive to biological deterioration.

For the range of materials involved in sound recordings, the optimum moisture content must be less than that which is high enough to promote significant chemical or biological deterioration and at the same time greater than that below which the desired physical properties of some plastics are impaired. For those materials such as the cellulose, which absorb large amounts of water and undergo large dimensional changes thereby, it is desirable to keep the environmental humidity as constant as is feasible. For service temperatures, the desirable humidity is between 45% R. H. and 65% R. H.

Moisture is present in three forms in a storage environment: water vapor, water films, and combined water. These three forms exist in equilibrium

with each other in a closed system. That is, the thickness of a water film on an article, and, sometimes, the amount of combined water, is dependent upon the ambient temperature and the amount of water vapor in the environmental atmosphere; in short, the relative humidity.

Oxygen can be a serious or a minor cause of chemical degradation in plastics. The seriousness of oxidative degradation is, in general, dependent upon the nature of the plastic and the environmental parameters. If a resin molecule is perfectly constructed according to its textbook formula and oxidative catalysts are absent, the resin would be unaffected by ordinary oxygen. Reaction sites for oxygen are, however, provided by deviations from the ideal chemical structure of the resin from the moment of manufacture. Light, heat, and chemical changes of the resin which occur during processing and aging provide further reaction sites for oxidative degradation. In general, a well made plastic of good materials is little affected by oxidation if kept in a storage environment free from light and excessive temperature. A few exceptions have been noticed in the past—in particular, the use of raw castor oil as a plasticizer and the effects of molding temperatures on vinyls in the absence of sufficient stabilizing additives have caused trouble—but all presently made materials seem to be quite stable in the presence of oxygen and in the absence of light, excessive temperature, certain trace impurities, and excessive moisture. Ozone is a different problem. In general, however, it will not be a problem in library storage especially if the sound recordings are packaged in materials which will deny access of ozone to the plastic.

Atmospheric contaminants can cause chemical degradation of plastics. These contaminants are principally the oxides of carbon, sulfur, and nitrogen. These contaminants require moisture and free air circulation to be of significance. That at least one of these contaminants can be a serious source of degradation in library environments has been demonstrated in the case of sulfur dioxide and leather book bindings. Properly packaged materials of proper moisture content will not be affected even in heavily contaminated environments and so this need not be a source of degradation if sound recordings are properly protected.

Dust and grit are sources of both physical and chemical degradation of sound recording materials. Physical damage can be caused by scratching of the surface or embedment of dust particles in the surface—either of which affects playback qualities. The surface of an acetate disc may be scratched by the mere withdrawal of it from a paper envelope. Dust is also not an inert material but can provide acid radicals as well as metallic ions which sometimes catalyze degradative processes (see Table 1, which contains data from Washington, D.C., a non-industrial city). Dust films attract moisture and, just as for the gaseous atmospheric contaminants, moisture is essential to their chemical action on materials.

Tabelle 1: Anorganische Analyse von Staub  
Table 1. Inorganic Analytical Data, Washington, D. C.,

Datum Sampling Date	Probe Nr. Sam. No.	Partic- ulate	Mn	Pb	Sn	Fe	Cu	Ti	V	Zn	Cr
23.—24. 2. 55	2982	198	0.02	0.6	0.01	0.8	0.05	0.03	0.06	0.4	0.003
28.—29. 4. 55	2991	146	0.02	0.8	0.004	0.7	0.04	0.02	0.07	0.5	0.002
4.— 5. 5. 55	2992	390	<0.01	0.5	<0.004	0.2	0.04	0.01	0.08	0.2	<0.002
12.—13. 5. 55	2993	165	0.02	0.9	0.02	0.9	0.03	0.02	0.08	0.4	0.002
16.—17. 5. 55	2994	201	0.04	0.9	0.008	1.1	0.02	0.07	0.08	0.4	0.009
6.— 7. 6. 55	2997	133	0.05	0.8	0.03	1.3	0.06	0.02	0.08	0.7	0.01
27.—28. 6. 55	3000	125	0.03	1.2	0.006	0.8	0.02	0.02	0.03	0.3	0.006
5.— 6. 7. 55	5226	184	0.03	1.0	0.01	1.3	0.02	0.02	0.09	0.4	0.002
1.— 2. 8. 55	5231	100	0.02	0.7	<0.003	0.7	0.02	0.01	0.03	0.2	0.003
10.—11. 8. 55	5232	70	<0.01	0.5	<0.003	0.3	<0.01	0.008	0.03	0.4	<0.002
29.—30. 8. 55	5234	168	0.02	0.7	0.01	0.6	0.02	0.02	0.09	0.5	0.003
12.—13. 9. 55	5236	141	0.06	1.4	<0.003	1.0	0.01	0.02	0.05	0.3	0.002
26.—27. 9. 55	5238	139	0.05	1.9	0.006	1.9	0.02	0.03	0.08	1.4	0.004
3.—4. 10. 55	5239	246	0.03	2.5	0.006	1.5	0.02	0.03	0.1	0.5	0.006
28.—29.11.55	5247	177	<0.02	0.6	<0.004	0.4	0.02	0.03	0.1	0.1	0.002
24.—25. 1. 56	7281	218	0.06	1.4	<0.004	2.0	0.03	0.05	0.2	0.4	0.008
28.—29. 2. 56	7286	158	0.06	1.0	<0.004	1.2	0.03	0.03	0.1	0.6	0.008

Unfortunately, the thermoplastic is a poor conductor and is electrostatically charged from the molding process with a volume charge<sup>1</sup> which maintains a surface charge for a long period of time. The surface charge, which is renewed during handling and playback, attracts dust to the surfaces of thermoplastics and holds it there.

The first precaution, of course, to prevent damage by dust is to provide

<sup>1</sup> Electrostatic charges are presumed to result from a temporary excess of or deficiency of electrons in a solid body. In non-conducting materials this is usually restricted to the atoms on the surface of the body, and such a charge is readily dissipated by discharge to ground. Many plastics, however, develop such charges within the volume of the material during molding. These charges are not readily dissipated because of the limited electron mobility of the non-conducting material and serve as an electrostatic charge "reservoir". These charges can induce a surface charge without themselves being dissipated (in the same manner that a charged rod can be used to charge an electroscope without dissipation of the rod charge) or can gradually "leak" to the surface. Volume charges in vinyl discs are of random sign and intensity, and induce correspondingly random surface charges. A surface charge caused by wiping a disc with a particular material will have a sign and intensity determined by the material rubbed against the plastic.

in Washington ( $\mu\text{g}/\text{Cu M}$ )  
Cardozo High School (B). From Dust Samples  $\mu\text{g}/\text{Cu M}$

Ni	Mo	Co	Bi	Cd	Sb	Ba	Be	Cl-	SO <sub>4</sub> -	NO <sub>3</sub> -	pH
0.02	Trace/Spur	<0.004	0.002	0.002	<0.1	<0.007	<0.002	0.1	22.7	0.9	5.7
0.02	Trace/Spur	<0.003	0.002	0.002	<0.1	<0.02	Trace Spur	0.1	14.0	0.9	5.7
0.02	<0.007	<0.004	<0.002	<0.002	<0.1	<0.007	<0.002	0.1	17.6	0.9	5.6
0.03	<0.007	<0.004	0.002	0.003	<0.1	0.02	Trace Spur	0.1	19.0	1.4	6.6
0.02	Trace/Spur	<0.004	<0.002	0.002	<0.1	0.02	<0.002	0.1	22.6	0.6	5.8
0.04	Trace/Spur	<0.003	0.002	0.004	<0.1	0.04	Trace Spur	0.1	14.8	0.8	5.5
0.01	<0.007	<0.004	0.002	0.002	<0.1	0.03	Trace Spur	0.1	20.6	0.4	5.6
0.03	Trace/Spur	<0.004	0.002	0.003	<0.1	0.02	<0.002	0.1	26.1	0.7	5.1
0.01	<0.007	<0.004	<0.002	0.002	<0.1	0.02	Trace/Spur	0.1	12.5	0.1	5.5
0.008	<0.006	<0.004	<0.002	0.002	<0.1	0.02	<0.002	0.1	11.9	0.4	5.7
0.02	Trace/Spur	<0.004	0.002	0.002	<0.1	0.006	<0.002	0.1	24.5	1.0	4.4
0.02	Trace/Spur	<0.004	<0.002	0.002	<0.1	0.01	<0.002	0.2	14.6	0.9	6.3
0.03	Trace/Spur	<0.004	0.002	0.005	<0.1	0.007	<0.002	0.1	17.9	2.1	5.7
0.04	Trace/Spur	<0.004	0.002	0.002	<0.1	0.02	<0.002	0.2	27.4	0.9	4.9
0.02	Trace/Spur	<0.004	0.002	<0.002	<0.1	<0.008	<0.002	0.1	18.3	0.7	6.2
0.04	Trace/Spur	<0.004	0.002	<0.002	<0.1	0.01	Trace Spur	0.1	24.1	1.8	6.0
0.03	Trace/Spur	<0.005	<0.002	0.003	<0.2	<0.008	<0.002	0.2	25.2	1.1	6.8

as dust free an environment as is feasible. The sound recording materials should be properly packaged during storage and use facilities should be kept as dust free as possible. The next step is to keep the moisture content of the environment low enough to prevent chemical action of reactive dust constituents. These steps will reduce the dust problem but will not eliminate it. This means that sound recording materials must be cleaned without damaging them.

The major types of chemical degradation of the basic resins have been noted as changes in physical properties resulting from:

- (1) chain scission,
- (2) cross linking,
- (3) side group modification,

induced by:

- (1) light,
- (2) heat,
- (3) water,
- (4) oxygen,
- (5) atmospheric contaminants,
- (6) dust and grit.

The major types of physical degradation of the articles made from these basic resins have been noted as:

- (1) permanent deformation,
- (2) breaking, tearing, or delamination,
- (3) scratching or particle embedment,

induced directly or through temporary changes in physical properties by:

- (1) temperature changes or excessive temperature,
- (2) moisture content changes or extremes of moisture content,
- (3) dust and grit abrasion or embedment caused by removal of record from jacket, horizontal stacking, or playback,
- (4) stress.

#### E. Compounding and Additives

Degradation may also be induced by deterioration of other constituents of a plastic than the basic resin, and by the action of the deterioration products of other constituents on the basic resin. The main sources of trouble from these causes are plasticizers, fillers, and extenders.

The physical properties of a basic resin are often not exactly those desired. Cellulose nitrate, for example, is too tough and brittle for use as a coating for instantaneous recordings. These properties may be changed by plasticization. A plastic may be internally plasticized by the copolymerization of a foreign monomer into the basic chain molecule or by a polymer blending. The copolymers or polyblends are usually as stable as the basic resins. Plastics may be externally plasticized by a solvent plasticizer or a softener. The difference between these two types of external plasticizer might be compared to the difference between a solution and a mixture. Loss of an external plasticizer means a loss of the desirable property for which it was introduced and, often, a loss in volume of the plastic. Usually, a solvent plasticized system is more stable than a softener plasticized system. Camphor plasticized cellulose nitrate, for example, is a more stable plastic than castor oil plasticized cellulose nitrate. This is because camphor forms a complex with the cellulose nitrate while castor oil is not chemically combined with the cellulose nitrate. An external plasticizer may be lost by volatilization, extraction, exudation, wicking, chemical degradation or biological consumption. External plasticizers are not only lost by chemical degradation, the products of their deterioration may induce chemical degradation of the basic resin.

Fillers may be used to modify the physical properties of a resin (as in shellac) or for economy (as in some vinyl discs). The more common fillers are limestone, clay, cellulosic by-product flours, plant fibres, and carbon black. These fillers are protected from attack by the environment by their resin coating, but can be attacked by anything which diffuses through the

resin. Carbon black is not only inert but protects the basic resin against the action of light by absorbing radiant energy. Limestone is attacked only in the presence of water. Clay is affected only by changes in moisture content (a swelling and shrinking response to such changes). The cellulosic by-product flours and plant fibres swell and shrink with moisture changes and, in the presence of moisture, are chemically attacked by the same agents as are the basic resins and by the decomposition products of both resin and plasticizer. Because of the wide range of kinds and amounts of fillers used, no general statement about their contribution to the potential longevity of a plastic can be made. Fortunately, the same storage environment which inhibits deterioration of the basic resins also inhibits the deterioration of fillers. Moisture content control is the most important feature of a storage environment as far as fillers are concerned.

An extender is an organic material blended with the basic resin usually for the purpose of economy. Natural waxes and resins obtained by the destructive distillation of wood or plant fibres are usually used. In general, they are less stable than the basic resin and reduce the potential storage life of the plastic. Again, they are attacked by the same degradative agents as other organic materials and their deterioration is inhibited by the same environmental control as should be provided for the basic resin.

One other possible constituent of plastics which decreases its potential storage life is residual solvent. When a plastic article is fabricated by evaporation of a solvent, some of the solvent is entrapped by the resin. Because the manufacturer wishes the article to be immediately usable, the plastic formulation is usually designed so as to provide the proper physical properties with this amount of residual solvent. Over a period of time, this residual solvent may gradually diffuse from the plastic and change its properties just as does loss of plasticizer. It is, in fact, difficult to draw a hard and fast line between a solvent and a plasticizer as far as action goes, but process solvents must be much more volatile than are solvent plasticizers, and, hence, are lost by volatilization in a shorter period of time.

There is one characteristic of sound recording materials which affects their degradation which should not be forgotten. Sound recording media are designed primarily for fidelity of reproduction of sound and playback durability. Almost without exception, the design of a new material or type of sound recordings has been based on these considerations and economy of manufacture alone. In use, these materials reveal their deficiencies, including those which cause early failure in extended storage. As these deficiencies are recognized, the product is improved to provide longer lasting sound recordings. As a result, it is very difficult to predict the behavior of today's sound recordings from those of yesterday, except to guess that they will be better and longer lasting. Most of these materials

are still in the development stage and a collection covering but a few years' span will include items superficially identical but of vastly different potential longevity.

#### F. Fungal Action

An important cause of degradation can be fungal action. The fungi play an indispensable role in the carbon cycle on which life is based by converting the waste products of life into usable compounds and thereby keeping the building blocks of organic materials in circulation. In order to do this efficiently, they have evolved into a very large and heterogeneous group of organisms which attack a tremendous range of organic materials and have an equally wide range of acceptable environments for growth and reproduction. Two of their methods of propagation, by air borne spores and mycelial fragments, are so efficient that the exposed surface of any material in ordinary environments is continually being inoculated by a changing variety of these organisms. Whenever the correct combination of proper organic material, environment, and organism occurs, growth of the fungus and degradation of the material results.

It is not surprising to find that fungi are a significant cause of deterioration of the organic ingredients used in sound recording materials. There are, however, a number of features of fungal activity which are surprising to the non-mycologist. Not the least of these are some of the manifestations of fungal degradation. For example, one quickly connects decay of bread with the garden of mold on its surface, but is not liable to suspect that the stiffening of his raincoat arises from plasticizer consumption by an invisible horde of allied organisms. Another surprising feature of fungal action is the variety and kind of chemicals they manufacture. The fungi must digest their food outside of their cellular structure and so excrete both enzymes and acids which attack not only the nutrient media but other materials. A striking example of this is the etching of glass by fungi whose nutrient is an oily fingerprint on the glass. During the storage life of a sound record, it may be exposed to the proper conditions and seriously damaged by fungi. Inspection of the record at a later date may reveal the damage but not the cause since many of the manifestations of fungal activity duplicate degradation by other agents. This makes a study of the causes of deterioration of naturally degraded sound recordings of unknown history very difficult.

A rule-of-thumb for organic materials is that those materials of natural origin or chemically similar to those of natural origin are more susceptible to fungal degradation than are synthetic materials. This seems to be true with the usual exceptions to any rule involving fungi. Some naturally occurring materials (such as the gums of vegetable origin which remain

unaffected by many years of soil burial before they are harvested), are very resistant to fungal damage.

Excellent fungi nutrients have been incorporated into many sound records. These include: oils, waxes, cellulose, lignin, fatty acids, some plasticizers, and modified celluloses. It will be noted that these materials are used as plasticizers, fillers, lubricants, and extenders. The basic resins are fungi resistant with the exception of cellulose nitrate and cellulose acetate; and cellulose acetate is the most resistant of the celluloses. Many of the packaging materials used in storage provide carbohydrates, proteins, waxes, cellulose and lignins for fungi nutrition.

It would seem that a fungicide is needed, and this approach was studied in this program. A satisfactory fungicide would have to:

- (1) Be non-toxic to humans.
- (2) Be toxic to a wide range of fungi.
- (3) Have a long, useful life.
- (4) Not contribute to the degradation of any of the many sound recording material constituents.

Such fungicides are available for incorporation into a plastic during manufacture and it was thought that it might be feasible to incorporate such a material in the jacket or envelope to protect stored discs.

The commercially available fungicides (including those specifically designed for incorporation into plastics) were reviewed in an attempt to find a material which would meet these requirements. Those compounds containing copper, zinc, chlorinated phenols, and acidic radicals were rejected because of their probable contribution to chemical degradation of some of the disc plastics. Many compounds were rejected because of toxicity or offensive odor. Of the remaining compounds studied, none possessed the necessary quality of slow release of a fungicidal ingredient for a long enough period of time to protect satisfactorily a disc when incorporated in the packaging material. Fortunately, fungi require an adequate amount of moisture to be active (and destructive) and the other studies had indicated that environmental moisture content should be kept at a level below that required for fungal activity. The fungus problem is, therefore, really just more justification for such environmental moisture content control. The fungi problem is also an additional argument for keeping records clean as most dusts and lints are, to a degree, hygroscopic and tend to maintain a higher moisture level on a surface than would otherwise exist there, and fingerprints serve as good culture media. Other biological agents, such as bacteria and insects, do not seem to be a problem for these materials in library environments.

## G. Predicting Shelf Life

A fundamental question in any study such as this one is: What is the potential shelf life of sound record X stored in an environment Y? The only known method of obtaining an accurate answer to such a question is to store sound record X in environment Y and observe the length of time required for failure. This is, of course, an unsatisfactory technique for obtaining the desired answer, and so engineers and scientists have developed techniques for comparing stability or for guessing or estimating potential life of materials. The accuracy of such a prediction is, of course, dependent upon the completeness of knowledge of the material being investigated.

Because of the great lack of knowledge of the degradation behavior of any organic material, the best approximation which can be made for sound recording materials must be couched in such terms as many years, many decades, or more than a minimum length of time. An investigator would not be surprised to find that an organic material whose life he had estimated to be many years was still in good condition many decades or even many centuries later. He would properly feel concerned about the validity of his work only if the material failed in a few years. It seems only fair to explain this state of affairs to those readers who need such predictions in their work but must either do without them or accept not completely satisfactory ones.

One of the techniques used for the evaluation of life of a material is artificial aging. Artificial aging consists of placing the material in an environment which increases the rate of degradation of the material. Such an environment might provide a greater intensity of ultra violet light, a higher temperature, or a higher concentration of a reactive agent than the material would normally be subjected to. The theoretical basis of artificial aging is quite sound. Briefly, it is based on the fact that the occurrence of an event such as the diffusion of an oxygen molecule to a reaction site, the breaking of a primary valence bond, or the movement of a chain segment of a polymer molecule with respect to the rest of the molecule depends on the random movement of molecules or molecular segments or the acquisition of sufficient energy by an atom to surmount a barrier. Such events occur in accordance with the laws of probability and can be made to occur more often by increasing the concentration of reacting constituents or the energy available to the system.

Practically, however, there are two insurmountable obstacles to obtaining completely accurate results by this technique. First, the chemical and physical deterioration of a material consists of many different kinds of interrelated events which interact on each other. It is impossible to accelerate each of the same degree so that the natural aging behavior of the material is perfectly imitated. Secondly, the kinds of aging reactions which

occur are changed by sufficiently intense changes in reaction time or energy content. It is generally impossible to determine the point at which the proper limits of acceleration have been exceeded.

Accelerated aging techniques are, despite their deficiencies, valuable tools for comparing stability of organic materials and for studying the mechanisms of degradation. The more knowledge that is available about the natural aging of a material, the more information can be gained by such tests.

Another technique which is used for predicting long time behavior is extrapolation. This consists of choosing an index (such as a physical property or the concentration of a chemical in the material) and a limiting value of this index which denotes failure of the material, measuring the change in value of this index for a period of time, and assuming that the change in value of the index will obey the same rules during the remaining life of the material as it did during the observed period. There is, obviously, no assurance that one has chosen the proper index of failure or that the rules of behavior of this index have been fully outlined during the observed period.

There are other considerations which militate against an investigator who attempts to predict long-time storage behavior of an organic material. There are the differences in formulation, processing, and history of the material which affect its storage life as well as such items as shape and size factors which prevents information gained on the same material in other applications from being completely applicable to the case at hand.

Perhaps the best illustrative example of the difficulties involved in predicting shelf life of a recording medium is that of cellulose nitrate. This material has been in use and chemists have been studying the degradation of this material for nearly a century. Cellulose nitrate motion picture film has been stored under known conditions for about half a century and its shelf life has been studied for a quarter of a century. This investigation has not been confined to one organization, but has been a subject for international research by both government and industry. Despite the background of knowledge resulting from this experience there is no method presently available for determining the potential useful life of such film or even a reliable estimate for the maximum period of time such a film may be safely stored without testing it for signs of incipient failure. On the credit side of the ledger, laboratory tests have been developed which predict incipient failure and preclude loss of the film if these tests are made every one or two years to determine need for copying.

In a study such as this, one cannot dismiss the subject of potential shelf life of sound recordings by merely saying that no such estimate can be

made. The fact remains that librarian must have some basis for determining when to re-record in order to preserve valuable transcriptions. Each year that is added to the predicted shelf life of a record prior to re-recording increases the efficiency of the librarian's operation. There are a number of rational steps which can be taken as a basis for re-recording schedules.

The first step is to set a minimum *known* life expectancy. This is a figure which may (or may not) be far less than minimum *actual* life expectancy. It is a figure which can be continuously revised upwards as experience with and knowledge of the material increases. One source for such a figure is ready at hand; that is, if a stack survey shows that a certain type of material has been stored without failure for twenty-five years, one can logically assign a minimum known life expectancy figure of twenty-five years to this particular material in this environment. A librarian can use such information to preserve precious recordings by starting with a twenty-five-year re-record cycle for this class of material and can gradually increase the re-record time interval as experience with storage of the material increases. Trivial as this method seems, it was the basis for archival preservation in Germany during a period when valuable records were lost by others due to failure prior to re-recording. This method is expensive and impractical for large collections but it furnishes the first approximation for determining record life.

The next step in determining minimum known useful life is equally simple in concept but is more difficult to apply. That is to improve the figure obtained through observation by correlation or extrapolation. For example, if the minimum known life of material A is twenty-five years and one uses a material B for the same application, which can be proven to have at least thrice the life expectancy of A, one may safely assign a minimum known life of seventy-five years to material B. Another approach to the problem of improving a minimum known life prediction is: (1) establish a value of quality of the recording which is considered satisfactory, (2) from observations determine the probable rate of degradation, over a given interval of time; (3) then from the rate of degradation, we could determine how long the recording would continue to degrade, without falling below the established value of quality. These methods require detailed and complete knowledge of the material and each area of ignorance enforces a reduction in predicted life. It is to this step of predicting minimum known useful life that accelerated aging tests are of importance. By combining such tests with analysis of naturally aged materials an investigator, given sufficient time and money, can eventually derive a very accurate estimate of the minimum life expectancy of a material (whether he can keep up with other investigators busily engaged in increasing the stability and life expectancy of these materials is another question).

After establishing a minimum known life expectancy, two different systems of record preservation may be used. The first to re-record at the end of this period of time. The second is to begin a testing schedule at the end of this time to determine when re-recording is required. Neither system is entirely satisfactory. The first undoubtedly will result in the loss of many years of useful life and loss of quality of the sound recordings. The second requires the development of an appropriate test, laboratory facilities, and a schedule of testing which must be observed.

To gather the knowledge required to establish an economical minimum known shelf life for sound recording materials together with testing schedules and methods of test for incipient failure would require an effort of many years duration. It would involve an analytical survey of records from many collections and many years of accelerated aging tests. Such a program was too great an undertaking for this project, although it is hoped much of the project work will serve as a logical base for such studies. Because of the need for time, particularly, for accelerated aging studies using moderately elevated temperatures and moderately increased concentrations of reacting agents, such a project would not involve a concentrated effort except in the initial stages of work. The most valuable experiments which could be made could be expected to run for five to ten years with only occasional monitoring. One might question this statement on the basis of the rapid changes and improvements in sound recording media, i. e., to say the materials of today are quite different from those for which the experiment would have been conducted 15 years ago. Nevertheless, it is still believed that we can more accurately assess the longevity of present day records, on the basis of the performance of the older materials, than if no such experiment at all were conducted.

(To be continued)

Raumakustische Maßnahmen beim Umbau des Saales  
im Schützenhaus Herford  
zur Konzerthalle der Nordwestdeutschen Philharmonie

von

Ing. E. TRESS (Telefunken-Hannover)

Die erste Bekanntschaft mit den Echo-Effekten im leeren Raum von ca. 4500 cbm ergab Laufzeit-Unterschiede von 6,4 Sekunden. Die lange Nachhallzeit war auf ein Mindestmaß herabzusetzen (da das menschliche Ohr schon Laufzeit-Unterschiede von 0,05 — 0,1 Sekunde getrennt wahrnimmt). Durch Bespannung der Wände mit Stoff und Einsatz von langen Fenstervorhängen mit geringer Elastizität und großer Oberfläche wurde mit geringem Kostenaufwand der fehlende Schluckgrad erzielt. Bei der Bestuhlung erhielten die Rückenlehnen aufgeteilte Bespannung und wurden deren glatte, reflektierende Teile uneben gemacht. Dem Eindringen von Fremdschall, durch in Nachbarschaft zum Störpegel der Straße gelegenen Fenster wurde durch Doppelfenster begegnet. Auf dem Podium erforderlichen Maßnahmen zur Verhütung störenden Körperschalles (transportable Aufbauten: Praktikabeln) wurden durchgeführt.

Die Studio-Räume zur Aufnahme der technischen Apparaturen und Probe-Studio-Räume für musikalische Übertragungen sind in zwei Hörsamkeitsgruppen unterteilt. Alle Räume, welche der Aufnahmetechnik dienen, unterliegen akustisch strengsten Maßnahmen (da jeder Fremdschall hier falsche Beurteilungen ergibt). Sie erhielten Akustikplatten an Decken und Wänden, gedämmte Türen und Fenster für den Raumhall, gedämmtes Mauerwerk für die Körperschallunterdrückung und schwimmende Fußböden.

## II

Herrn Prof. Hermann Scherchen,  
HERFORD

Bremen, 5. Februar 1960

Sehr verehrter Herr Professor,

Ich möchte mir erlauben, Ihnen und dem Orchester für die schwierige und hervorragende Aufnahme der „Jeux“ von Debussy zu danken und Ihnen zu bestätigen, daß Saal wie Orchesteraufstellung technisch den höchsten Anforderungen gerecht werden und als ideal bezeichnet werden können.

Ihr

HANS OTTE  
Leiter der Musikabteilung  
Rundfunksender  
RADIO BREMEN

The Acoustics of the Schützenhaus Hall, Herford'  
Westphalia

by

E. TRESS B. E. (Telefunken, Hannover)

This hall was recently altered into a concert-hall, and is now the new home of the North-West German Philharmonic Orchestra. The first echo measurements in the original empty hall of about 170,000 cu. ft. showed time-delays of up to 6.4 sec. The excessive reverberation time had to be reduced to a minimum (seeing that the human ear receives time-delays of down to 0.05 — 0.1 sec. as separate impulses). Wall-coverings of cloth and long window-curtains of large area and low elasticity provided the required absorption at low cost. The backs of the seats were covered with absorbent material and smooth reflecting parts were modulated. The danger of stray noise entering through the windows facing the street was met by the provision of double windows. All measures were taken to prevent the transmission of stray vibration through the stage floor.

The recording and broadcast studios and the technical control-rooms are subdivided into two acoustic classes. All recording rooms are subject to the most stringent criteria (as all stray noise results in false judgment here). Walls and ceilings were fitted with acoustic boards, doors and windows were treated against reverberation, and insulating walls and floating floors absorb unwanted vibration.

## II

Bremen, 5th February, 1960

Prof. Hermann Scherchen,  
HERFORD

Dear Prof. Scherchen,

Please permit me to thank you and the Orchestra for the difficult and outstanding recording of Debussy's "Jeux" and to state that the hall as well as the orchestra seating meet the highest technical requirements and can be described as ideal.

Yours sincerely  
(sgd.) HANS OTTE  
Director of Music  
RADIO BREMEN

# Ein Vorschlag zur Verbesserung des einkanaligen Hörens

von  
K. WIESE

Zwischen der Klangempfindung, die beim unmittelbaren Anhören einer Wort- oder Musikdarbietung wahrgenommen wird und dem Anhören der gleichen Darbietung auf dem stereophonen Weg ist nur ein kleiner Unterschied; aber wenn dieselbe Darbietung über nur einen Kanal gehört wird, so ist die Klangempfindung ganz erheblich gestört. Beim stereophonen Hören werden zwei getrennte Wege benutzt und es mischt sich noch die Raumakustik des Raumes, in dem sich der Hörer befindet, zu jener, aus welcher das Geschehen übermittelt wird; beim einkanaligen Hören dagegen werden die dem ursprünglichen Schallfeld entstammenden Signale diesem an irgendwelchen Punkten entnommen und auf einem Teil des Übertragungsweges gemischt. Durch die einkanalige Übertragung und die Mischung des an verschiedenen Punkten abgetasteten Schallfeldes wirkt dieses bei der Wiedergabe durch einen oder mehrere Lautsprecher dann unnatürlich und mit gestörten Phasenbeziehungen auf den Hörer.

Diese, der Einkanal-Übertragung anhaftenden Mängel werden von dem größten Teil der Rundfunkhörer wohl bemerkt und durch die Klangregler am Empfänger je nach dem Geschmack des Hörers ausgeglichen (Stellung der Klangregler auf "intim" und abschneiden aller Höhen). Außerdem sind die Rundfunkanstalten dazu übergegangen, immer mehr auf die Übertragungen aus Theatern und Konzertsälen und besonders aus Kaffeehäusern und Cabarets zu verzichten und aus eigenen Studios unter Anwendung von mancherlei (oft von physikalisch sehr anfechtbaren) Tricks bei der Aufstellung der Mikrophone die Originalübertragung mit Raumwirkung vorzutauschen, was nicht immer ganz gelingt und den Hörer dazu zwingt, an seinem Empfänger das für ihn richtige Maß einzustellen. Die recht häufigen Beschwerden der Hörer über zu laute Ansagen und zu leise Musik oder umgekehrt fallen in erster Linie auf die erwähnten Mängel der Einkanal-Übertragung zurück.

Der Verfasser hat versucht — in dem Wunsch nach einer gleichmäßigen und in Zimmerlautstärke gut abzuhörenden Übertragung — die mit physikalischen Methoden faßbaren Effekte des zweiohrigen Hörens für die einkanalige Übertragung nutzbar zu machen.

Dem Hörer mit gleichen normalen Ohren stellen wir auf der technischen Seite eine der im Rundfunk gebräuchlichen Übertragungsanlage gegenüber, die hinsichtlich Frequenzgang, Linearität und Frequenzabhängigkeit höchsten Ansprüchen genügt. Eine Erscheinung, welche Allen, die sich mit Aufnahmen beschäftigen, bekannt ist, ist der Unterschied zwischen der *Nachhall-Empfindung* beim Abhören über eine Einkanal-Übertragungsanlage

und beim unmittelbaren Hören mit zwei Ohren. Die Sprecher im Rundfunk sitzen sehr nahe am Mikrophon und bei Diskussionsreden tritt meistens die Schwierigkeit auf, alle gleich gut verständlich zu übertragen. Auch bei Konzert- und Opernübertragungen, selbst wenn keine störenden Geräusche zu befürchten sind, stehen die Mikrophone sehr viel näher am Orchester als es einem mittleren Sitzplatz entsprechen würde. In einem gewöhnlichen Zimmer kann man einen Sprecher auf mehrere Meter Entfernung ganz mühelos verstehen. Wird aber in demselben Raum ein Mikrophon aufgestellt und der Sprecher befindet sich nur wenige Meter vom Mikrophon entfernt, so klingt es am Ausgang der Übertragungsanlage, als wenn der Sprecher in einem großen Raum mit kahlen Wänden gesprochen hätte. Es muß nun geklärt werden, wie es kommt, daß ein so auffälliger Unterschied in der subjektiven Beurteilung des Nachhalles beim normalen zweiohrigen Hören und bei der Übertragung über nur einem Kanal besteht. Ein einfacher Versuch soll zeigen, wie man eine Einkanal-Übertragung verbessern kann.

Hören wir uns einen Raum abwechselnd mit zwei Ohren und dann mit einem an (im Grenzfall ist die Einkanal-Übertragung ja nur die "Verlängerung" eines Ohres). Jeder, der seine Sinnesempfindung für andere verständlich wiedergeben kann, wird feststellen, daß beim zweiohrigen Hören — gegenüber der Wahrnehmung beim Hören mit nur einem Ohr — mehr Nachhall vorzuliegen scheint: es treten kleine Echos von den Wänden her in Erscheinung, Einzelheiten aus dem Klangbild verschwimmen, Pausen zwischen Silben und Noten sind stärker mit Geräusch aufgefüllt.

Eingehende Beobachtungen des Verfassers von verschiedenen Plätzen des Studios 10 des NDR und der Hamburger Musikhalle aus über Eindrücke bei ein- und zweiohrigem Hören haben folgendes ergeben:

1. Bei zweiohrigem Hören sind die einzelnen Instrumente deutlich erkennbar und die Pausen — trotz des Nachhalles in den großen Räumen — still. Nebengeräusche aus Orchester und Publikum wirken wenig störend.
2. Bei einohrigem Hören sind die Instrumente verschwommen; leise Einsätze sind nicht zu erkennen, die Pausen sind mit Geräuschen aufgefüllt und Nebengeräusche treten stark hervor.

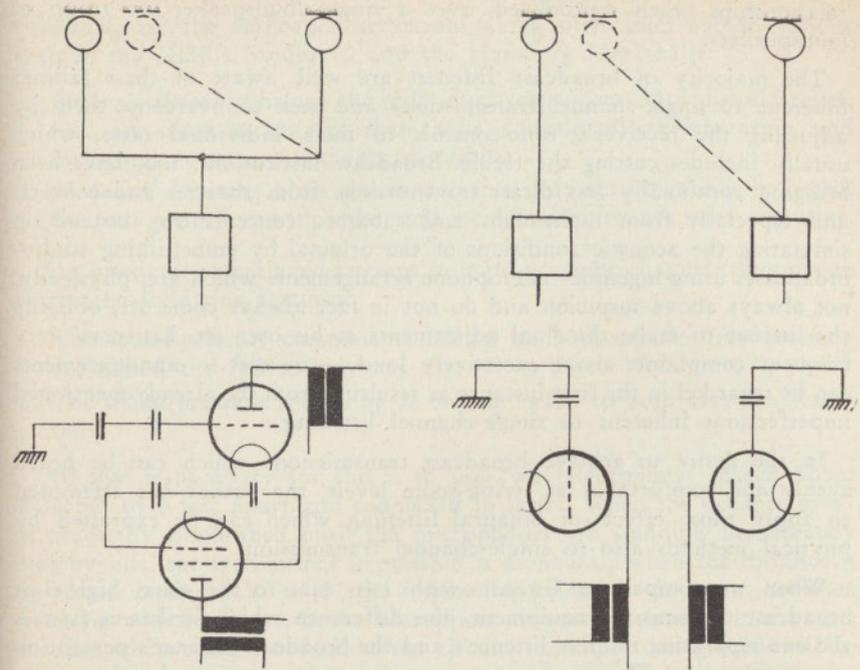
Der erwähnte Versuch besteht darin, einmal die Schalldruckanteile, welche bei normalem zweiohrigen Hören auf beide Ohren wirken, additiv nur einem Ohr zuzuleiten, und ferner den Schalldruck, der an einem Ohre vorherrscht, gleichzeitig beiden Hörer-Ohren zuzuführen.

Dazu genügt, zwei Mikrophone in einem Abstand von ca. 20—50 cm aufzustellen und diese in *Serie* einem Verstärker und einem Regelfeld oder zwei Verstärkern und einem Regelfeld zuzuleiten. Verringert man den Abstand von 20 cm allmählich, bis beide Mikrophone nebeneinander stehen, so hat man den gleichen Eindruck wie bei einohrigem Hören, erweitert

man den Abstand wieder auf 20—50 cm, so hat man den Eindruck wie beim Hören mit zwei Ohren. Das gleiche tritt auf, wenn man eine normal stereophone Schaltung herstellt und die beiden Mikrophone in der gleichen Weise wie oben beschrieben verändert.

Die gleiche Erscheinung läßt sich rein akustisch nachweisen. Wenn wir zwei Gummischläuche nehmen von ca. 30 cm Länge, diese an ihrem einen Ende mit kleinen Trichtern versehen und mit dem anderen Ende gut in unsere Ohren stecken, so haben wir unsere Ohren um unseren Kopf herum beweglich gemacht, können beide zusammenbringen oder auseinanderführen und erzielen so den gleichen Eindruck, wie er bereits beschrieben wurde. Nehmen wir die beiden Hörschläuche, setzen sie auf ein T-Stück und führen von diesem T-Stück aus einen dritten Schlauch in unser Ohr — das freie Ohr muß gut verschlossen werden — dann haben wir wieder den Eindruck, als wenn wir mit zwei Ohren hören. Kneifen wir indes einen der beiden Hörschläuche zu, so entsteht deutlich der einkanalige Hör-Eindruck.

Es soll hiermit nicht gesagt werden, daß mit dieser Schaltung die gleiche Qualität erzielt werden kann wie bei echter stereophoner Übertragung. Das kann nicht sein, weil die Lokalisationseindrücke fehlen. Dennoch bedeutet die Verminderung des scheinbaren Nachhalls, die außerordentlich gute Durchsichtigkeit und Natürlichkeit des Klanges und die größere Dynamik für die Einkanalübertragung eine beträchtliche Verbesserung.



## A Proposal for the Improvement of Single-channel Listening

by  
K. WIESE

There is but little difference between listening to live speech or music and their stereophonic transmission; but when the same sound is heard over a single channel only, the impression is considerably marred. Two separate transmission paths are used in stereophony, the acoustics of the listening-room only being added to that of the transmitting-room; in the single-channel transmission, however, the original signals are picked up at various points of the sound-field and mixed into the one channel, so as to be finally heard in an unnatural condition of perturbed phase

relationships when reproduced over a single loudspeaker or group of loudspeakers.

The majority of broadcast listeners are well aware of these failings inherent to single-channel transmissions and seek to overcome them by adjusting the receiver's tone-controls to their individual taste, which usually includes cutting the treble. Broadcast institutions, too, have been bringing continually less direct transmissions from theatres and concerts and especially from night-clubs and cabarets, concentrating instead on simulating the acoustic conditions of the original by embellishing studio-broadcasts using ingenious microphone arrangements which are, physically, not always above suspicion and do not in fact always come off, obliging the listener to make the final adjustments at his own set. Listeners' very frequent complaints about excessively loud — or soft — announcements can be regarded in the first instance as resulting from the already mentioned imperfections inherent to single-channel listening.

In the desire to achieve broadcast transmissions which can be heard evenly and comfortably at living-room levels, the author has attempted to apply those effects of binaural listening which can be expressed by physical methods also to single-channel transmission.

When we compare a listener with two ears to the usual high-class broadcast transmission equipment, the difference which strikes us first is the one separating the live listener's and the broadcast listener's perception of *reverberation*. This is of course not new to broadcast technicians, who therefore see to it that speakers and announcers speak close to the microphones, but it is still most difficult to make them all equally understandable. The microphones are also placed much closer to orchestras than would correspond to a normal seat at a concert. A person can be clearly understood speaking several yards away in a normal room — placed in the vicinity of a microphone in the same room, however, the same person will come over the loudspeaker as if speaking in a large bare hall. What is the reason for this great difference in the subjective impression of reverberation when heard directly with two ears or over a single-channel transmission? A simple experiment will show us how a single-channel transmission can be improved.

The limiting case of single-channel transmission is direct listening with one ear closed. There is no problem about listening anywhere (in a room) alternately with both ears and only one ear: anyone doing this and possessing enough analytical faculties will come to the conclusion that monaural listening seems to contain far more reverberation: little echoes which were not there before suddenly seem to come from the walls, the general sound becomes blurred in detail, pauses between syllables and rests between notes seem to be suddenly filled with background-noise. The

following are the author's observations along these lines out of various seats in the NDR's Studio 10 and the Hamburg Musikhalle:

1. *Binaural listening* brings the individual instruments into distinct relief, rests are silent in spite of these halls' considerable reverberation, and incidental noises are not very disturbing;
2. *Monaural listening* blurs the instruments, soft entries cannot be heard, the rests are filled with noise, and incidental noises are most obtrusive.

The previously mentioned attempt to improve single-channel transmission shows the following features:

1. The sound-pressure components falling on both ears in live listening are added and fed to only one ear;
2. The sound-pressure prevailing at one ear is fed to both ears simultaneously.

All that is necessary for this is to use two microphones spaced about 8 inches to 2 feet apart and connected in *series*. When the distance of 8" is gradually diminished until the microphones are standing immediately side-by-side, the transmitted impression is monaural; when the distance is increased again to 8" to 2', the impression gained is the same as when listening with both ears. If the microphone distance is changed in the same manner when using a normal stereo circuit, the impression gained will be the same.

A purely acoustical demonstration of the same effect can be made using a pair of rubber tubes about a foot long, providing an end of each with a small funnel and inserting the other in each ear: with these "extensions" to our ears we can do the same experiment as was described above for the microphones. If these two tubes are now connected by a T-joint connected to one ear (the other ear being tightly stopped), we shall again get an impression of binaural listening which immediately vanishes on closing one of the listening tubes.

These statements are not to be misconstrued as an attempt to make genuine stereophony superfluous: the same quality cannot be reached with the arrangement described here for the simple reason that the localisation effects must be lacking. But the reduction of apparent reverberation, the remarkable transparency and naturalness of the sound, and the improved dynamics all mean a considerable improvement to transmission over a single channel.

## Ein neuer Orchesterraum im Tanglewood Music Shed

von

F. R. JOHNSON, L. L. BERANEK, R. B. NEWMAN, R. H. BOLT  
und D. L. KLEPPER

### I. Einleitung

1954 engagierte das Boston Symphony Orchestra, welches das Berkshire Festival in Tanglewood, Lenox (Massachusetts), veranstaltet, die Firma Bolt Beranek and Newman Inc., um den Tanglewood Music Shed akustisch zu untersuchen. Der Shed (auf Deutsch: Schuppen) ist ein großer fächerförmiger Raum mit 6000 Sitzplätzen (Fig. 1), und weitere 6000 Menschen können im Freien zuhören, da die Seiten- und Rückwand unten offen ist. Es wird keine Schallverstärkung verwendet. Das Problem war, die Lautstärken der Orchesterabteilungen untereinander auszugleichen, die Deutlichkeit der Musik im Shed zu verbessern und die Lautstärke außen zu vergrößern.

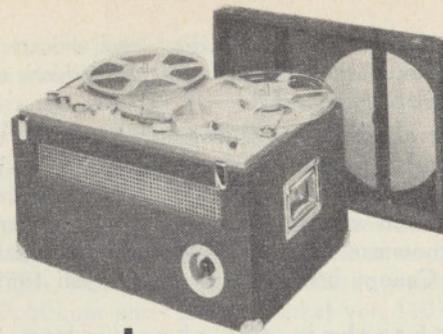
Der Orchesterraum wurde vor 25 Jahren für die ursprünglichen Freiluftkonzerte des Festival gebaut (Fig. 2); später wurde er in einem Zelt untergebracht und 1939 im Music Shed, welcher sich seither im allgemeinen eines guten akustischen Rufes erfreut. Die Nachhallzeit war ausreichend; in den hinteren Sitzplätzen und im Freien war der Orchesterschall ausgeglichen und die Klangqualität gut. Hingegen war die Lautstärke der Geigen bei den übrigen Sitzplätzen zu gering; von manchen Plätzen aus konnten sie, wenn Blech und Schlagzeug mitspielten, nur mit der größten Schwierigkeit überhaupt wahrgenommen werden, obwohl die Qualität ganz gut war, solange eine Abteilung für sich spielte. So waren z. B. bei einem für Streicher allein geschriebenen Mozartsatz die Geigen ganz deutlich zu hören. Im allgemeinen wurde festgestellt, daß die hinteren Abteilungen des Orchesters zu laut klangen. 1958 schrieben die New Yorker Kritiker z. B. folgendes über ein Konzert: „Der Pauker verhaute seine Instrumente ganz unbarmherzig, die Bläser pusteten, wie sie nur konnten, und man konnte nicht um den Eindruck umhin, daß man es hier mit einem Wettstreit um den Dezibelrekord zu tun hatte.“ In der Saalmitte und beim Zusammenspiel von Streichern und Holzbläsern war der Schall besonders undurchsichtig und verschwommen.

Außer der schon erwähnten Aufgabe, gute akustische Verhältnisse für 6000 Menschen im Saal und für 6000 weitere im Freien herzustellen, waren noch andere Probleme zu lösen. Es wurde verlangt, daß die Orchestermitglieder einander, und daß das Publikum, der Chor und die hinteren Orchesterabteilungen die hinter und über dem Orchester gebaute Orgel gut hören können. Der Saal mußte auch anpassungsfähig sein: der Orchesterraum mußte nicht nur für großes Orchester, sondern auch für kleinere Beset-

## STUDER 30

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

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



### EMT 927 and EMT 930

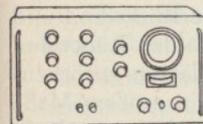
Studio-Plattenspieler

Transcription  
Turntables.

### STELLAVOX

Miniatur-  
Magnetton-  
Gerät

Miniatur Mag-  
netic Tape Recorder.



### EMT 414 and EMT 418

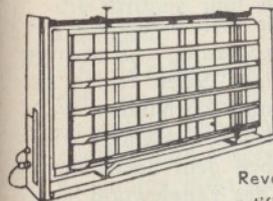
Tonhöhen-  
Schwankungs-  
Messer.

Wow and Flutter Meters.

### SPEZIALKABEL

Doppelt  
geschirmt und  
HF-dicht.

AF-cables,  
double screened.



### EMT 140

Nachhall-  
Erzeugungs-  
Gerät.

Reverberation Set for  
artificial echo effects.

### EMT 24 and EMT 28

Dynamische- und  
Kondensator-  
Mikrofone.

Dynamic and  
condenser micor-  
phones.



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

zungen, für Solisten und für die Orgel dienen. Der Orchesterklang endlich sollte Lautstärke, Brillanz und Deutlichkeit ohne Härte haben, wie in einem guten Konzertsaal.

Nach der akustischen Voruntersuchung wurde die Architektenfirma Eero Saarinen and Associates, Bloomington/Michigan, beauftragt, in Zusammenarbeit mit den Akustikern die endgültige architektonische Lösung zu finden; die Bauarbeiten wurden von Fa. Ernest J. Cramer Inc., Pittsfield/Massachusetts unternommen. Der neue Orchesterraum wurde Edmund Hawes Talbot Orchestra Canopy benannt und am 11. Juli 1959 eingeweiht (Fig. 3).

## II. Das Ergebnis der akustischen Untersuchung

Unsere Untersuchungen zeigten, daß das Mißverhältnis der Streicher zu den stärkeren Instrumenten auf die Form und Größe des Orchesterraumes zurückzuführen war, dessen Decke und Seiten, aus festem Material gebaut, sich nach außen erweiterten. Die hinteren Instrumente wurden von den drei nahen Wänden verstärkt und ihr Schall direkt zum Publikum geworfen; die Decke reichte aber nicht bis zu den Streichern, so daß diese nicht von der Decke oder von der Rückwand und sehr wenig von den ziemlich entfernten Seitenwänden verstärkt wurden und ihr Schall nicht zum Publikum geworfen wurde, sondern sich nach oben und nach den Seiten hin verlor.

Es stellte sich auch heraus, daß der Nachhall hauptsächlich im vorderen Teil des Saales über dem Orchesterraum entstand, weil die Rückwand und die Seitenwände unten offen waren und der obere Teil der Rückwand schräg gebaut war, um den Schall zu den hinteren Sitzplätzen zurückzuwerfen (s. Fig. 1). Die Qualität des Hallschalles war also in großem Maße abhängig von den Eigenschaften des Orchesterraumes und des Saals in dessen Umgebung. Der Streicherschall konnte direkt zur Umgebung des Orchesterraumes gelangen, während der Schall der Instrumente unter der Orchesterraumdecke nur reflektiert dort ankam; es bestand also ein Laufzeitunterschied zwischen dem Hallanteil der verschiedenen Instrumente, der sich auf die Qualität des Hallschalles schlecht auswirkte.

Aus unserer Erfahrung mit vielen Konzertsälen der Welt haben wir gelernt, daß Schallreflektionen mit kleiner Laufzeitverzögerung sehr wichtig für den Zuhörer sind. In breiten oder fächerförmigen Sälen fehlen sie meistens im Parkett, sind aber auf dem Rang fast immer vorhanden, weshalb der Rang fast aller großen Säle als akustisch viel höher gewertet wird als das Parkett. Diese kurzzeitigen Reflektionen geben dem Schall mehr Klarheit und Intensität. In den mittleren Sitzplätzen des Tanglewood Shed waren sie unzulänglich; um die dadurch verursachte Undurchsichtigkeit zu beseitigen, galt es, Schallspiegelflächen in der Nähe dieser Plätze zu bauen.

1958 hatte das Orchester einen eigenen Versuch gemacht, die Akustik mittels einer leichten Decke aus Kunststoff in etwa 7 m Höhe über dem

vorderen Teil der Bühne zu verbessern. Die ersten acht Reihen der Sitzplätze gewannen zwar dadurch, doch genügte diese Maßnahme nicht, um das Mißverhältnis der Streicher zu den Blechbläsern oder die Undurchsichtigkeit in den übrigen Plätzen zu verringern.

## III. Der fertige Orchesterraum

Fig. 1 zeigt die endgültige Konstruktion des Orchesterraumes. Die Seitenwände bestehen aus 10...16 mm Sperrholz mit einer unebenen Oberfläche und ungleichmäßigen Verstrebungen. Die Wände neigen sich oben nach innen. Damit das Publikum unter einem Winkel von  $110^\circ$  das Orchester sehen kann, müssen die Wände schräg nach außen stehen. Die Bühnenbreite ist also etwa 27 m vorne und 11 m hinten, die Bühnentiefe (Höchstmaß) etwa 14 m. Die Orchesterraumdecke hängt auf Stahlseilen vom Dachgerüst und besteht aus einer Anzahl nicht planer Dreiecke, deren Winkel zusammenstoßen. Sie sind aus dem selben Sperrholz gefertigt und bilden ein architektonisches Ganzes mit den Seitenwänden, die das Dreieckmotiv wiederholen.

Diese Konstruktion entsprach allen Erfordernissen gleichzeitig:

1. Der Orchesterklang ist ausgeglichen, da ein Teil des Schalles von Blech und Schlagzeug zwischen den Dreiecken der Orchesterraumdecke austritt und weniger in den Saal gerichtet wird.
2. Der Schall aller Orchesterabteilungen kommt gleichzeitig im großen Raum über der Decke an, so daß der Hallschall richtig gemischt wird.
3. Eine zweite Paneelreihe über den Streichern verstärkt die vorderen Instrumente und macht den Streicherklang besonders brillant.
4. Da der Orgelschall durch die Decke dringt, mischt er sich gut mit dem Orchesterklang und wird auch für die Orchestermitglieder deutlich vernehmbar.
5. Der vordere Teil der Decke verursacht die erwünschten kurzzeitigen Reflektionen zu den vorderen zwei Drittel der Sitzplätze, erhöht damit die Brillanz und die Intensität des Klanges und beseitigt die Undurchsichtigkeit.
6. Die Musik wird auch im Freien lauter. Einer der Gründe dafür ist, daß das Orchester durch die teilweise offene Decke angeregt wird, lauter zu spielen. Die Musik klingt bis zu einer Entfernung von 50 m vom Saal deutlich und ausgeglichen, und erst über fast 500 m Entfernung kann ihre Bedeutung nicht mehr wahrgenommen werden.

## IV. Technische Angaben

1957 wurden während mehreren Konzerten binaurale Musikaufnahmen und Nachhallmessungen vorgenommen. Bei deren Wiederholung 1959

spielte dasselbe Orchester unter demselben Dirigenten einige derselben Werke. Die Ausschwingung plötzlich abgebrochener Akkorde ergab die Nachhallzeit des voll besetzten Saals: die Bandaufnahme wurde durch Tiefpassfilter mit einem Brüel & Kjaer Pegelschreiber verbunden und ergab die Abklingkurven (Fig. 4).

Die Fig. 5...9 zeigen deutlich, daß die Brillanz der Musik — der erhöhte Anteil der hohen Frequenzen im Vergleich zu den tiefen — verbessert worden ist. Der Mikrofonstandort für die binauralen Aufnahmen ist durch *M*, vor den Logen der Fig. 1, bezeichnet. Die statistische Auswertung dieser Aufnahmen weist eine Pegelverstärkung von etwa 4 dB über 600 Hz auf im Vergleich zu der geringen Verstärkung, die auch unter 600 Hz zu merken ist. Diese Verstärkung ist in der Hauptsache den Streichern zuzuschreiben (Fig. 7). Aus Fig. 9 erhellt, daß die Blechinstrumente, im Vergleich zu früher, *nicht* verstärkt worden sind.

## V. Kritische Betrachtungen

Von der ersten Probe angefangen, bis zum letzten Konzert des Sommers, wurde der neue Orchesterraum von den Zuhörern und dem Orchester sowohl akustisch als auch optisch als ausgezeichnet bewertet. Der Geschäftsführer des Boston Symphony Orchestra, Mr. *T. D. Perry, Jr.*, schreibt: „Das Ergebnis Ihrer Bemühungen ist einfach fantastisch. Dirigenten, Solisten, Orchestermitglieder, das Publikum und die Presse stimmen überein, daß der Klang dieses schon vorher als außerordentlich gut zu bezeichnenden Saals merklich verbessert worden ist — wenn Ihnen in einem so subtilen Bereich wie das der akustischen Konstruktion eine solche Anerkennung zuteil wird, dann haben Sie geradezu ein Wunder geschaffen. Ich gratuliere Ihnen.“

*Isaac Stern*: „Der neue Orchesterraum des Tanglewood Music Shed stellt einen überaus erfolgreichen Versuch dar, trotz der Riesengröße des Saals einen leuchtend-warmen, klar abgestuften Klang zu schaffen. Besonders zu bemerken ist, daß der Klang auf praktisch allen Sitzplätzen der gleiche ist. Auf der Bühne selbst ist die Qualität äußerst lebendig und doch vollkommen klar — man hat keine Schwierigkeit, sich als Solist einem großen Orchester anzupassen.“

*Charles Munch*: „Der neue Orchesterraum löst alle die alten Probleme des Mißverhältnisses der verschiedenen Orchesterelemente zueinander. Die Streicher und insbesondere die Geigen haben den größten Vorteil davon; sie ertönen jetzt im Shed mit der Brillanz und Deutlichkeit, die den besten Konzertsälen eigen ist.“

*Pierre Monteux*: „Was man da gemacht hat, ist absolut wunderbar. Voriges Jahr konnte ich die Geigen nicht hören. Heuer ist der Klang perfekt.“

*The New York Times*: „Man konnte lernen, wie ein Orchesterraum allein imstande ist, die ganze Saalakustik zu verbessern . . . Der neue Klang bringt die Bläser nach vorne und ist überall gleichmäßig verteilt.“

*The New York Herald Tribune*: „Die Akustik befriedigt sowohl durch den schönen Klang und den guten Nachhall als auch dadurch, daß sie die Musik in alle Teile des großen Saals und darüber hinaus zu den Zuhörern im Freien gleichmäßig verteilt.“

*The Berkshire Eagle*: „Der Schall scheint lebendiger und — besonders was die Streicher betrifft — klarer und deutlicher durchzukommen.“

*The Springfield Republican*: „Die verschiedenen Chöre des Orchesters konnten mit der größten Deutlichkeit vernommen werden und die Projektion war erstaunlich.“

*The Albany/N. Y. Times Union*: „Hier ist das Phänomen Schall auf seinem Höhepunkt. Hier ist das Boston Symphony Orchestra auf dem Gipfel seiner Kunst. Man trauert dem alten Orchesterraum nicht nach.“

Bemerkenswert ist, daß kein einziges der vielen Urteile, die wir hörten, nachteilig war.

## VI. Bemerkungen

Die oben erwähnten kritischen Betrachtungen sind natürlich sehr befriedigend. Dabei ist aber zu bemerken, daß der Tanglewood Music Shed in mehreren Beziehungen von den berühmten Konzertsälen wie z. B. der Bostoner Symphony Hall abweicht. Die sehr breite Fächerform und die dadurch verursachte breite Bühnenfront geben einer Schallquelle auf der Mitte der Bühne sehr wenig Hinterhalt. Das bedeutet, daß ein Flügel, dessen Abstrahlung nach oben durch seinen Deckel beschränkt wird, den Saal weniger durchdringt als eine Geige, die eine gute Abstrahlung nach oben hat. Ein Flügel mit abgenommenem Deckel hingegen strahlt fast seinen gesamten Schall nach oben, und daß fast nur Reflektionsschall den Hörer erreicht, ist auch nachteilig. Durch die unsymmetrische Aufstellung des Orchesters (Geigen links, Bratschen rechts) wirkt der ganze Saal musikalisch unsymmetrisch, da die Orchesterraumseitenwand den Schall der ihr nahen Instrumente zur gegenüberliegenden Saalseite wirft, sodaß man die Geigen besser rechts und die Bratschen besser links hört. Bei einem schmalen, rechteckigen Saal treten diese Probleme nicht auf. Andererseits wäre es wegen Fragen der abnehmenden Lautstärke und des Visuellen bei einem solchen Saal unmöglich, sechs- bis zwölftausend Menschen Musik zu bieten.

Man sollte noch erwähnen, daß vielen Werken aus dem Barock, der klassischen Frühzeit und der modernen Literatur eine etwas kürzere Nachhallzeit zugute kommen würde. Was die spätere Klassik, die Romantik und sonstige Werke anbelangt, so kommt fast kein Konzertsaal Amerika dem Tanglewood Shed nahe.

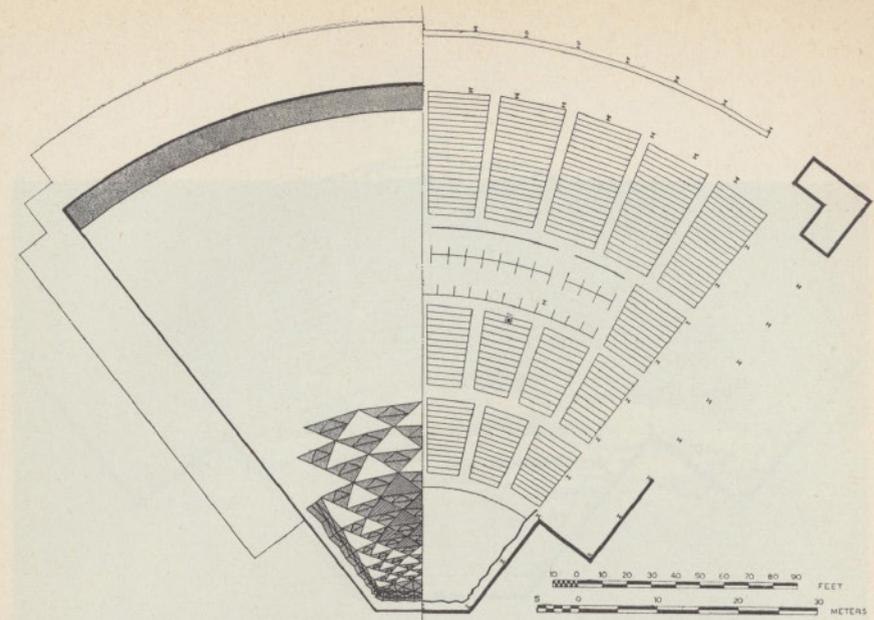
## VII. Weitere Verbesserungen

Um die Wiedergabe des kleinen Bach- oder Mozartorchesters zu verbessern, wird jetzt ein kleiner Orchesterraum konstruiert, der in den großen hineingestellt wird, aber dieselbe Decke benützt. Ein solcher provisorischer Raum wurde im Sommer 1959 erprobt; die Musiker beurteilten ihn als eine Verbesserung und das Publikum meinte, er erhöhe den Direktschallanteil, der wenigstens zum Teil die nachteilige Wirkung der langen Nachhallzeit auf diese Musik überwinden könnte.

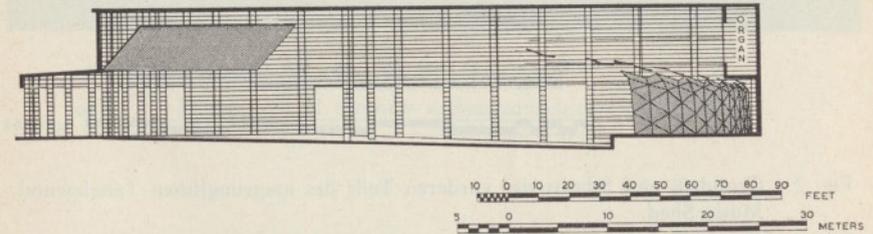
Da das Sperrholz der schrägen Reflektorfläche der Saalrückwand von Feuchtigkeit angegriffen ist, muß es demnächst ersetzt werden. Um die Schalldiffusion in den Saal ohne Echo zu verbessern, wird diese Wand dann mit Unebenheiten versehen. Es ist anzunehmen, daß der Klang in den Sitzplätzen, die von Bündelung des Reflektionsschalls betroffen sind, weitgehend verbessert sein wird.

## VIII. Anerkennung

Die Verfasser möchten ihrem aufrichtigen Dank für die angenehme Zusammenarbeit mit den Architekten Ausdruck geben. Mr. Warren Platner von der Firma Eero Saarinen sind wir zu besonderem Dank verpflichtet. Herzlichen Dank richten wir auch an Mr. T. D. Perry, Jr., Geschäftsleiter des Boston Symphony Orchestra, und an seinen Assistenten, Mr. Harry Kraut, die die Leitung der gesamten Arbeit hatten.



- a. Der Grundriß zeigt die Ausdehnung der Orchesterraumdecke und die Stellung der Seiten- und Rückwände. Der Mikrofonort wird durch *M* in der Sitzplatzreihe vor den Logen angedeutet.
- a. Plan showing the extent of the musical canopy and the location of the side and rear walls of the stage. The microphone position is indicated by an "M" in the row of seats just in front of the boxes.



- b. Der Schnitt zeigt die Höhe der Decke, die schräge Saalrückwand und die offenen Seitenwände. Man merke, daß die Sitzplätze nicht bis zu den Außenwänden reichen.
- b. Section to the same scale as the plan showing the height of the canopy, the sloping wall at the rear of the hall and the open areas at the sides. It is to be noted that the audience does not sit in the peripheral areas of the hall.

Fig. 1 Grundriß und Längsschnitt des geänderten Tanglewood Music Shed.  
Fig. 1 Plan and section of the revised Tanglewood Music Shed

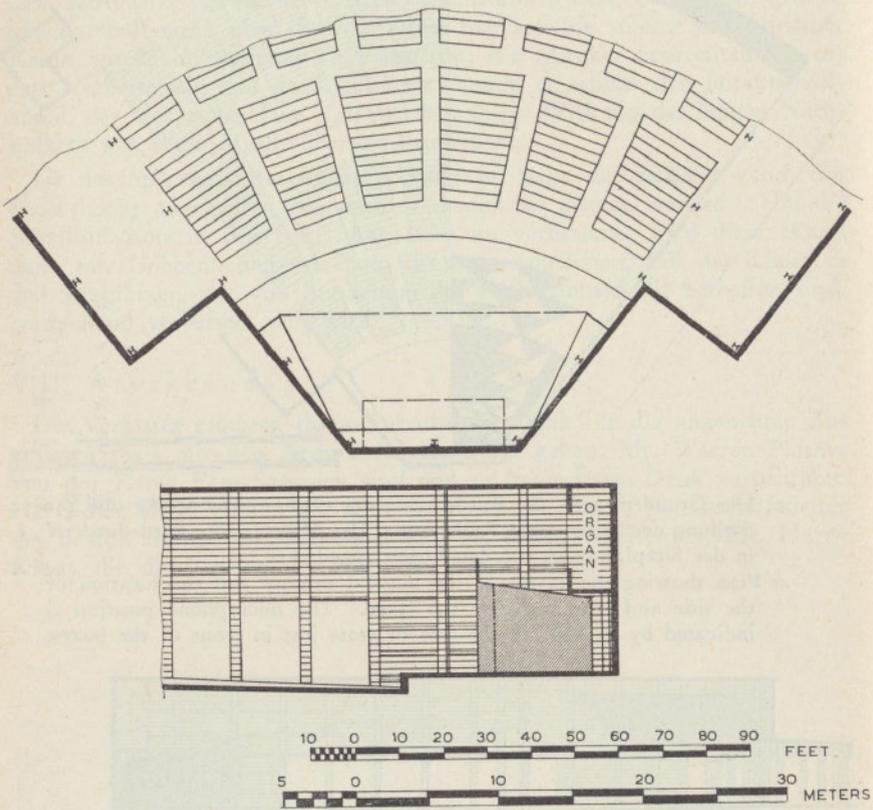


Fig. 2 Grundriß und Schnitt des vorderen Teils des ursprünglichen Tanglewood Music Shed.

Fig. 2 Plan and section of the front part of the original Tanglewood Music Shed.

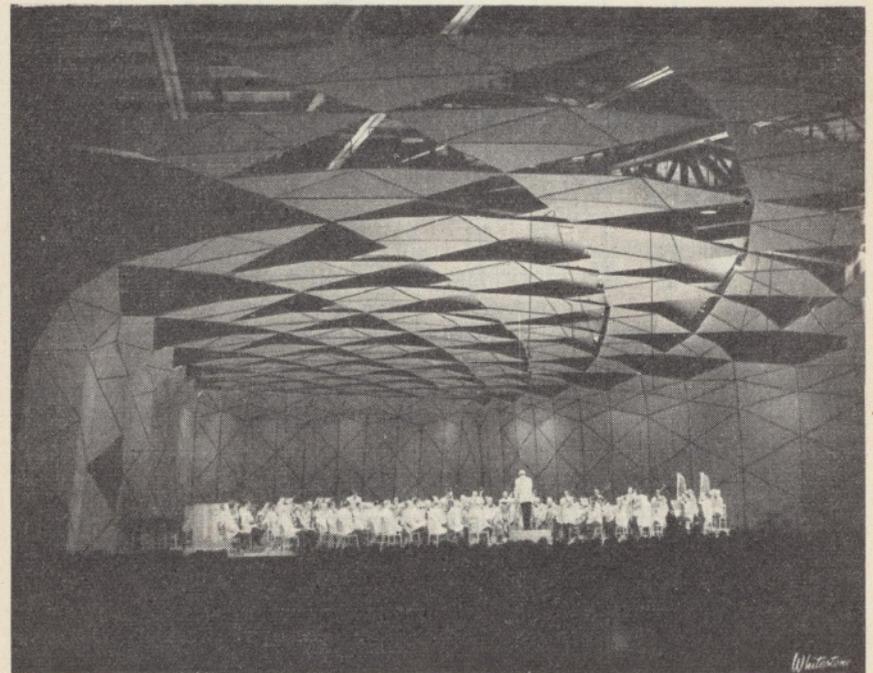


Fig. 3 Lichtbild des neuen Orchesterraumes.

Fig. 3 Photograph of the new orchestra enclosure and canopy.

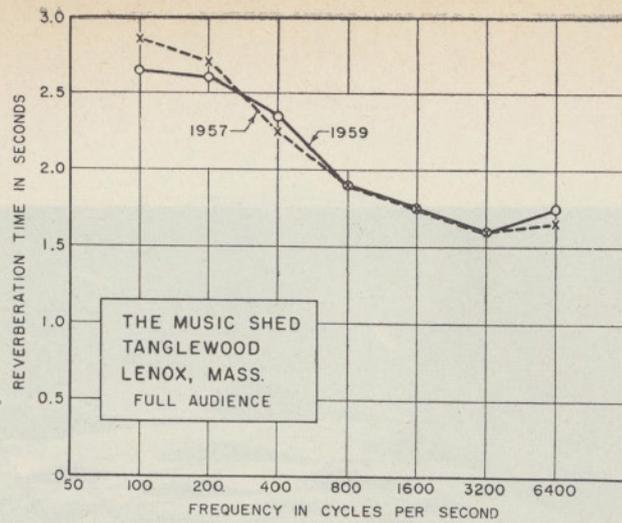


Fig. 4 Die Nachhallzeit des voll besetzten Tanglewood Music Shed, 1957 und 1959, an plötzlich abgebrochenen Akkorden gemessen.  
 Fig. 4 Reverberation time measured in the Tanglewood Music Shed in 1957 and 1959 with full audience. The measurements were obtained from sharply cut off chords.

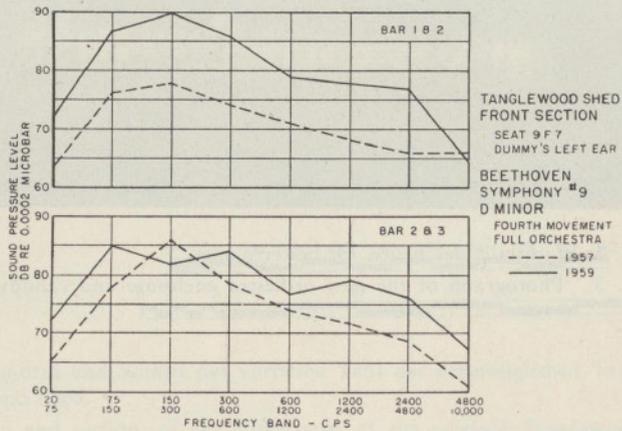


Fig. 5 Diese und die folgenden Kurven zeigen den Frequenzgang des Orchester-spiels im voll besetzten Saal. Die voll ausgezogene Linie stellt den Meßwert 1959 dar, während die gestrichelte Linie 1957 gemessen wurde. Das Mikrofon war in beiden Fällen das linke „Ohr“ eines Modellkopfes im Sitzplatz 9 F 7 (siehe „M“, Fig. 1). Der Schalldruckpegel in dB ist bezogen auf 0,0002  $\mu$ Bar. Es spielt beide Male das gleiche Orchester in der gleichen Sitzanordnung unter dem gleichen Dirigenten die 9. Symphonie von Beethoven: 4. Satz, Takt 1—2 (oben) und Takt 2—3 (unten), großes Orchester.  
 Fig. 5 SPL measurements made in the test seat in 1957 and 1959. Full orchestra playing. The same conductor and the same orchestra with the same orchestra seating were used both times.

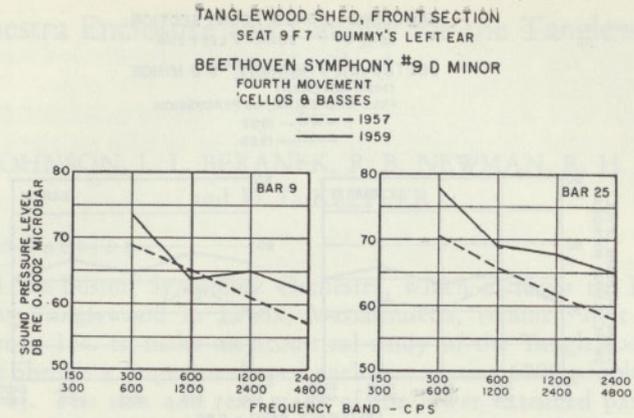


Fig. 6 4. Satz, Takt 9 und Takt 25 (Celli und Bässe).  
 Fig. 6 Same as Fig 5 except only cellos and basses played.

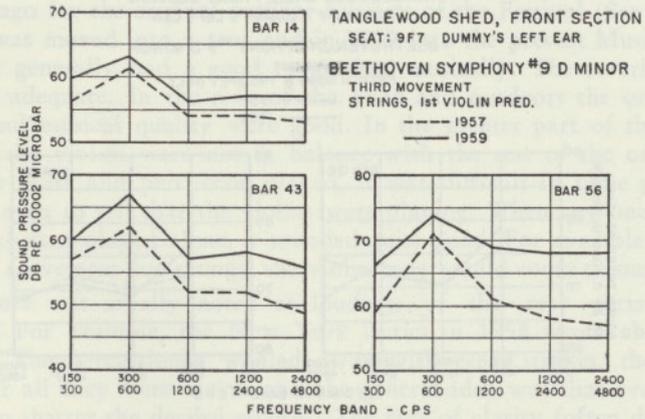


Fig. 7 3. Satz, Takt 14, 43, 56 (Streicher, Geigen hervortretend).  
 Fig. 7 Same as Fig 5 except first violins predominated in the sound analysis. Strings only played.

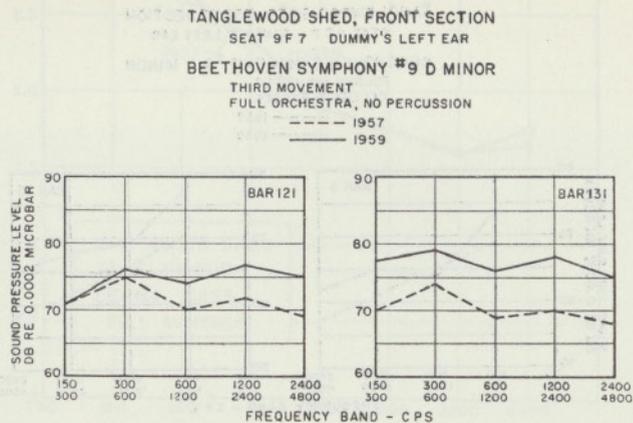


Fig. 8 3. Satz, Takt 121, 131 (großes Orchester ohne Schlagzeug).  
Fig. 8 Same as Fig 5 except full orchestra playing. No percussion.

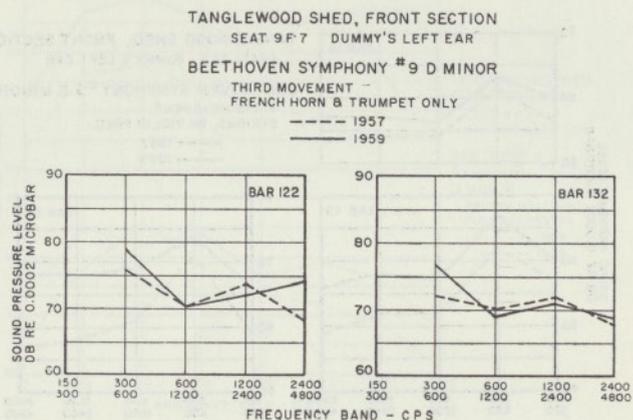


Fig. 9 3. Satz, Takt 122, 132 (Horn und Trompete allein).  
Fig. 9 Same as Fig 5 except French horn and timpani only playing. Comparison of the results above with those of Fig 7 indicate an enhancement of the violin tone without as great an enhancement of the brass tone.

## Orchestra Enclosure and Canopy for the Tanglewood Music Shed

by

F. R. JOHNSON, L. L. BERANEK, R. B. NEWMAN, R. H. BOLT  
and D. L. KLEPPER

### I. Introduction

In 1954 the Boston Symphony Orchestra, which manages the Berkshire Festival at Tanglewood in Lenox, Massachusetts, retained Bolt Beranek and Newman Inc. to make an acoustical study of the Tanglewood Music Shed. The Shed is a large fan-shaped enclosure seating 6000 people indoors (See Fig. 1). The side and rear walls of the lower extended part of the Shed are opened at ground level to permit the music to be heard by an audience of up to 6000 people outdoors on the lawn. No sound amplification is employed.

The acoustical qualities that were to be improved, if possible, were the sectional balance for large orchestra, the degree of clarity of the music inside the Shed and the loudness of the sound on the lawn.

The orchestra shell, located at the front part of the Shed, was built 25 years ago for the original outdoor concerts of the Festival (See Fig. 2). Later it was moved into a tent and in 1939 into the present Music Shed. The Shed generally had a good reputation, musically. The reverberation time was adequate. In the rear of the Shed and outdoors the orchestral balance and musical quality were good. In the greater part of the Shed, however, the violins were not in balance with the rest of the orchestra. When the brass and percussion played, it was difficult in some parts of the Shed even to tell that the violins were playing. When any one section of the orchestra played alone, it sounded quite good. For example, during a Mozart movement for strings, the violin tone would come through well.

Imbalance was usually noted as loudness of the rear parts of the orchestra. For example, the New York critics in 1958 wrote about one concert: "The percussionist whaled away with great strokes, the winds puffed for all they were worth and the general idea was that everybody was out to shatter the decibel record." The lack of clarity (often described by the listeners in the Shed as "muddiness") was particularly noticeable in the center of the hall and when the strings and woodwinds played together.

Following the preliminary acoustical study by the acoustical consultants, the firm of Eero Saarinen and Associates, Architects, of Bloomington, Michigan, was engaged to collaborate in arriving at the final architectural solution. The new orchestra enclosure and canopy is named the Edmund

Hawes Talbot Orchestra Canopy and was dedicated on July 11, 1959 (See Fig. 3). The construction was performed by Ernest J. Cramer, Inc. of Pittsfield, Massachusetts.

The design task was not only to provide satisfactory music for 6000 persons seated inside the Shed and for 6000 seated outside on the lawn, but each section of the orchestra must hear properly what is going on in other sections. Also, the organ, located above and at the rear of the orchestra, must be heard clearly by the audience, by the chorus and by the orchestra members near the rear of the stage. Another requirement was flexibility. The orchestra enclosure must be appropriate for small ensembles, for soloists and for the organ as well as for the full symphony orchestra. Finally, the sound of the orchestra must have brilliance, loudness and clarity in the audience area and yet must possess the much desired fullness of tone that is heard in fine halls.

## II. Conclusions from the Acoustical Studies

Our studies revealed that the imbalance between the strings and the heavier sections of the orchestra was due largely to the shape and extent of the orchestra shell. The ceiling and two sides of the old shell were solid and flared outward. Instruments at the rear of this shell received reinforcement from the three nearby walls and ceiling and their sound was projected directly toward the audience. The strings were not even covered by the ceiling of the old shell so that they received no reinforcement from the ceiling and rear wall and little reinforcement from the distant side walls. Furthermore, their sound was not projected well into the audience but readily went up, to the sides and to the back.

We also learned from our studies that the reverberant sound field was built up primarily in the front part of the Shed above the shell because the side and rear walls of the Shed were partly open and the upper rear wall of the Shed was sloped steeply forward to reflect sound back into the audience (See Fig. 1). Hence, the quality of the reverberant sound was set in large part by the characteristics of the combination of the shell and the Shed immediately above and to the sides of the shell. Because the sound of the strings could travel upward into the region over the old shell directly, while sound from the parts of the orchestra under the shell had to travel there indirectly by various paths, the blending of the reverberant sound was poor due to the differences in arrival times of the respective sounds.

A very important factor contributing to the lack of clarity ("muddiness") in the center of the hall was insufficient short-time-delay reflections at those seats. Our general studies of the acoustics of many concert halls around the world have revealed that a highly important acoustical characteristic is the presence of short-time-delay reflections for each

listener. These are difficult to obtain on the main floor in a wide or a fan-shaped hall, but are nearly always found in the balconies. This is the principal reason why the balconies of most large halls are judged by experienced listeners to be superior acoustically to the main floor. These early reflections add brilliance, loudness and clarity to the tone of the strings and woodwinds. Our studies indicated, therefore, that we would have to provide some means for reflecting sounds from some near-in surfaces to these seating areas.

The Orchestra attempted in 1958 to improve the sound by hanging a lightweight plastic ceiling over the front part of the stage, about 22 ft above the stage floor. This addition improved the sound in the front eight or so rows of seats, but did not change sufficiently the brass-string imbalance nor the lack of clarity in the remainder of the hall.

## III. The Completed Enclosure

The final design of the orchestra enclosure is shown in Fig. 1. The side walls are solid plywood, 3/8 in. to 5/8 in. thick with modulations in shape and randomly braced. The walls are tilted in at the top. In order to permit an audience seated within an arc of 110 degrees to view the orchestra, the side walls must splay outward, making an opening about 85 ft wide at the front edge of the stage and 35 ft wide at the rear. The maximum depth of the stage is about 47 ft. The canopy of the enclosure is suspended on steel cables from the roof trusses and consists of a series of nonplanar triangular plywood panels (also 3/8 in. to 5/8 in. thickness) connected tip-to-tip. Architecturally, the side walls are integrated with the hung overhead panels and repeat the triangular motif.

With this structure, the design objectives were met. First, orchestral balance is achieved. The brass and percussion tones may partially escape through the stage canopy into the space above and therefore the efficiency of forward projection of their sound is reduced. Second, the large space over the canopy receives the sounds of all sections in their proper time relationship and a pleasant blending of the reverberant sound results. Third, a second layer of panels over the strings and the conductor reinforces the sounds at the forward edge of the orchestra and greatly increases the brilliance of the string tones. Fourth, the organ music can penetrate the canopy both to blend with the orchestra music and to make it audible to the musicians. Finally, short-time-delay reflections into the front two-thirds of the hall occur from the forward part of the canopy. These reflections cause an increase in the brilliance and loudness of the music and remove the "muddiness" formerly heard in the center part of the hall.

A very desirable aspect of the improvement has been the increase in the loudness of the music on the lawn outside. This increase is partly due to the fact that with the more open canopy the orchestra tends to play louder.

Listeners outdoors within 150 ft of the rear wall of the hall now hear the music with clarity and balance. One has to move almost 1500 ft from the Shed to lose the sense of the music.

#### IV. Technical Data

Binaural recordings and reverberation measurements were made during several concerts in 1957 and again in 1959. Some of the same compositions were performed by the same orchestra and the same conductor both years.

The full-house reverberation data were obtained from the tails of sharply-released musical chords. The decay curves were recorded from the magnetic tape recordings with a B and K recorder after passing the recorded music through one-third octave band filters. The results of the reverberation measurements are shown in Fig. 4.

That the brilliance of the music (the augmentation of the high frequencies relative to the low frequencies) has been increased is obvious from the data of Figs 5—9. The binaural recordings were made at the point marked "M" just in front of the boxes on Fig. 1. Statistically, these records show an increase in level of about 4 decibels above 600 cps relative to the small increase that occurred below 600 cps. The increase in level is primarily that of the strings (see Fig. 7). From Fig. 9, we see a *lack* of increase for the brass.

#### V. Critical Evaluation

From the first rehearsal to the final concert of the summer, audiences and artists judged the new canopy excellent both acoustically and visually. The Boston Symphony Orchestra manager, Mr. *T. D. Perry, Jr.*, writes, "The results of your efforts are, quite simply, superb. The sound is acknowledged by the conductors, soloists, players, public and press to be noticeably improved from what was already felt to be a remarkably good hall — and when you can get such an acknowledgment in a field so subtle as acoustical design, you have virtually wrought a miracle. Congratulations." The authorized statement of *Isaac Stern*, violinist, was: "The new orchestra enclosure in the Tanglewood Music Shed is one of the most fantastically successful efforts to create brilliant warm ringing sound with wonderful definition despite the enormous size of this hall. It is particularly successful in having an equal sound value practically wherever one sits. On stage it has a wonderfully alive quality and yet complete clarity for balancing with a large orchestra." *Charles Munch*, conductor stated: "The new canopy has solved all the old problems of disproportion among the various elements of the Orchestra. The greatest benefit has come to the strings and especially the violins which can now be heard in the Shed with as much brilliance and clarity as in the best concert hall." *Pierre*

*Monteux*, conductor, said, "What has been done is absolutely marvelous. Last year I could not hear the violins. This year the sound is perfect." Two *New York Times* music critics reported: "It was instructive to note how fine acoustics were thanks to the new stage shell which was installed this year . . . The new sound does bring the winds forward and is evenly distributed all around." A *New York Herald Tribune* music critic wrote: "The acoustic results are very satisfying in their resonance and sonority and in carrying the music faithfully throughout the large auditorium and to the listeners outside." The critic of the *Berkshire Eagle* wrote: "The sound seems to come through more vividly and especially in the strings more clearly and true." The *Springfield Republican* wrote: "The various choirs of the orchestra came through with extreme clarity and the projection was something to marvel at." The *Albany, New York, Times Union* wrote: "Here is sound at its zenith. Here is the Boston Symphony Orchestra at its highest peak of artistry. There were no sad rites for the passing of the original acoustical shell."

It is significant to note that of the many musical reviews that came to our attention during the summer, every one was favorable. Not a single one found fault with the sound either indoors or outdoors.

#### VI. Discussion

The critical comments above are of course gratifying. One must note, however, that there are several ways in which the Tanglewood Music Shed differs from a great music hall such as Symphony Hall in Boston. The very wide fan plan and the resulting wide front to the stage provide little side wall reinforcement to music played at the center of the stage. This means that the piano (which does not radiate the sound upward well due to the cover) does not carry in the hall as well as the violin which does radiate upward well. If the cover is removed, all of the sound goes upward and little comes by a direct path to the listener, which is also not good. Also, the two sides of the hall are somewhat unsymmetrical musically, because the stage wall behind the first violins reflects their sounds better to the right than to the left of the hall. The opposite is true for the violas on the other side of the stage. In a narrow, rectangular-shaped hall, these difficulties do not occur. On the other hand, if one attempted to provide music for 6,000 to 12,000 listeners in a narrow rectangular hall, the visual problem and the decrease in loudness at the rear would be intolerable.

It should also be mentioned that the hall would probably be better for some Baroque, Early Classical and Modern compositions if its reverberation time were slightly lower. For Late Classical music, Romantic music and much of the remainder of the literature, the music in the Shed is almost without equal in any other concert hall in America.

## VII. Further Improvements

In order to improve the sound for small Bach and Mozart orchestras, a small enclosure inside the large stage enclosure (but using the same overhead canopy) is now being designed. A crude version was tried in the summer of 1959 and the musicians reported an improvement and the audience said that the direct sound was increased. An increase in direct sound tends, in part, to overcome the effects of the high reverberation time for this type of music.

Because the plywood of the sloped reflecting surface at the rear of the hall is deteriorating from moisture, it must be replaced soon. In order to increase the diffusion of the sound in the Shed without creating an echo, this surface will be modulated. It is expected that in those seats where the reflected sound energy now tends to concentrate, the musical quality will be improved.

## VIII. Acknowledgements

The authors wish to express their most sincere appreciation for the excellent manner in which the cooperative effort with the architects proceeded. In particular, we wish to thank Mr. Warren Platner of Eero Saarinen's office. Our warmest thanks are also due to Mr. T. D. Perry, Jr., manager and Mr. Harry Kraut, assistant to the manager of the Boston Symphony Orchestra, who were in charge of the entire project.

## Automatische Bewertung von Musikaufführungen

von

ANDREW G. PIKLER

U. S. Naval Medical Research Laboratory, New London, Connecticut

Vor etwa 20 Jahren stellten Seashore und seine Mitarbeiter ein Punktsystem der musikalischen Aufführung auf durch die harmonische Analyse von Meisteraufnahmen. Davon wurde die Wellenform als Phonogramm abgeleitet.<sup>1</sup> In gedrängter (zweidimensionaler) Form zeichnete Seashore auf derselben Kurve die zwei Meßwertgruppen der Zeit-Frequenz und Zeit-Intensität. In heutigen Begriffen ausgedrückt, stellt er das *Kraftspektrum* (running power spectrum) der Aufführung dar, welches er mit dem Kraftspektrum des Musikstückes selbst, in der sich strengstens an die Partitur haltende Aufführung, verglich. („Phrasierungspunktsystem“.) Obwohl er durch den damaligen Entwicklungsstand der Aufnahme- und Meßinstrumente behindert war, machte er auch solche Vergleiche zwischen verschiedenen Künstlern bei der Aufführung desselben Musikstückes.

Die Mittel zu diesem Zweck sind heute weit fortgeschrittener und ermöglichen sogar die Analyse der Aufführung eines Musikers als Ensemblemitglied. Mit mehrkanaligen Bandaufnahmen kann man jeden Spieler getrennt aufnehmen<sup>2,3</sup> und so jede einzelne sowie die gesamte Aufführung zwecks nachträglicher Analyse speichern. Somit kann man die gegenseitigen Beziehungen zwischen einzelnen Spielern sowie zwischen einem Spieler und der Gruppe objektiv beobachten.<sup>4</sup>

Fig. 1 stellt eine grobe Annäherung an die Möglichkeiten dar. Man sieht den Pegelverlauf von der von Caruso gesungenen Arie aus dem „Bajazzo“. Die damit synchronisierte Begleitung des Verfassers wurde auf einer zweiten Bandspur aufgenommen und beide getrennt dem Pegelschreiber zugeführt.

Die Abszissen der Fig. 1 wurden frei gewählt, also sind die anscheinenden Übersteuerungen der Begleitung ohne Bedeutung. Hingegen stellen die *durchgehenden Steigungen* crescendo dar, sind also charakteristisch für die ursprüngliche Gesangsinterpretation, nach der sich der Begleiter zu richten hat. Hingegen sind die kurzen Zacken vielleicht dem Vibrato zuzuschreiben die dem Begleiter gleichgültig sein können. Die Pausen des Musikstückes sind als Minima in der Pegelkurve zu erkennen. Die Zeitunterschiede ersieht man aus den gleichzeitigen Anfängen und Enden der Pausen. Zieht man die Zeitunterschiede und Steigungen in Betracht, dann wird es klar, daß der ideale Begleiter eine Kurve erzielen würde, die der des Gesangs sehr ähnlich ist.

Die vorgeschlagene Methode der bildlichen Darstellung hat einige besondere Vorteile gegenüber der von Seashore:

1. Die Darstellung ist automatisch. Völlig automatische Bearbeitung der Resultate ist möglich in der Mehrspurmethode durch die Anwendung von Rechenmaschinen zur Flächenintegration, wodurch sich die Abweichungen zwischen Original und Begleitung sowie die Zeitunterschiede ergeben. (Natürlich enthält das Band bei der großen Geschwindigkeit von 76 cm viel mehr Information, als der verhältnismäßig grobe Pegelschreiber darstellen kann.)

2. Die Anzeige der Fig. 1 ist nur *relativ*, auf keine Norm bezogen. In seinem System der Phrasierungspunkte analysierte Seashore auch die Abweichungen der Aufführungen von der physikalisch-mathematischen Norm. Will man eine *absolute* Untersuchung machen, so kann man eine (ungefähre) Norm, die eine metronomisch, tonhöhe- und pegelmäßig exakte Aufführung darstellen würde, auf einer dritten Spur aufnehmen.

3. Auf einer weiteren Spur könnte man das musikalische System der Taktstriche aufzeichnen, die Seashore sorgfältig darstellte. Dadurch könnte man eine fast vollkommene Orientierung jedes Tons in der ganzen bildlichen Darstellung erzielen.

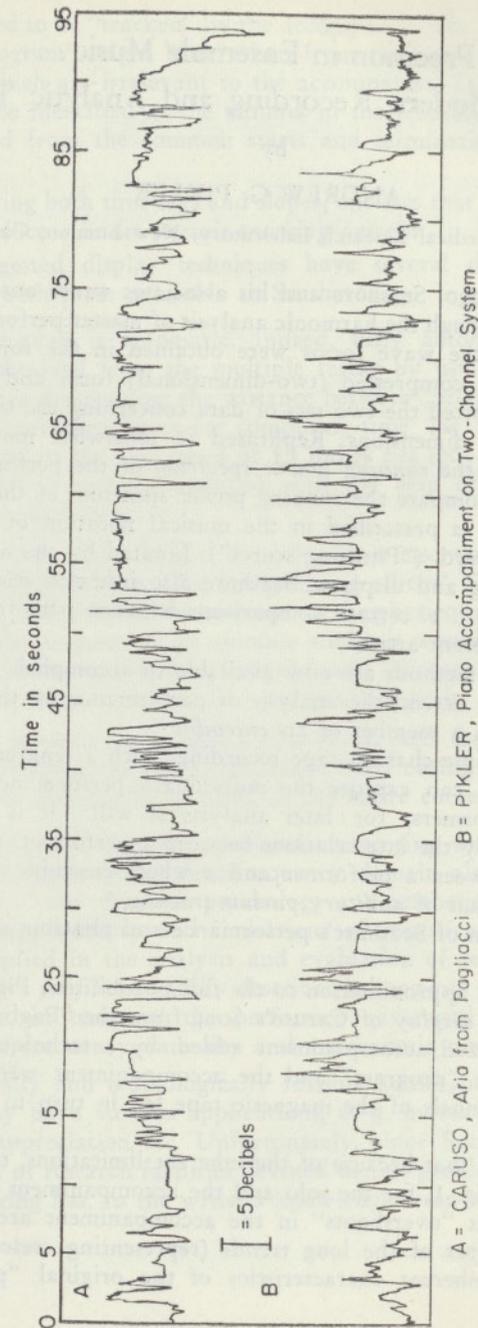
Eine Erweiterung der automatischen Bewertung von Musikaufführungen würde natürlich auch eine bildliche Darstellung des Zeit-Frequenz-Bereiches erfordern. Ferner sollte man die Musik-Psychologie und die Ästhetik berücksichtigen, indem man die Verwendbarkeit und Begrenzungen von *statistischen Maßnahmen* abschätzt, die man gewöhnlich bei der Analyse und Aufwertung von automatischen Mechanismen verwendet. Kann man durch kurz- oder langfristige statistische Methoden — ausgedrückt in den mittleren Abweichungen von der Frequenz-, Pegel- oder Metronomnorm — das Profil eines Ausführenden gültig beschreiben?

Eine automatische Bewertungsmethode von musikalischen Aufführungen ließe sich, solange sie musikalisch sowie technisch praktisch ausführbar ist, vielseitig anwenden, z. B. beim Testen musikalischer Eignungsfähigkeit, im Musikunterricht u. a. m. Seit Seashores Tod hat man in diesem Bereich meines Wissens leider keine weiteren Forschungen unternommen, da die Möglichkeiten dazu fehlen.

*Schrifttum:*

*References*

- <sup>1</sup> C. Seashore, *Psychology of Music*, McGraw Hill, 1938.
- <sup>2</sup> A. G. Pikler, Synchronization of music on dual tapes, *Journ. Acoust. Soc. Am.* 27, 974—975, 1955.
- <sup>3</sup> Synchronization of music by juxtaposition on dual-channel tapes, *Journ. Acoust. Soc. Am.* June 1959 (in press).
- <sup>4</sup> A. G. Pikler, Ensemble music and auditory tracking, *The American Psychologist*, Vol. 13.7. p. 376 (Abstract).



# Precision in Ensemble Music Measured by Modern Recording and Analytic Techniques

by

ANDREW G. PIKLER

U. S. Naval Medical Research Laboratory, New London, Connecticut

About 20 years ago, Seashore and his associates wrote out musical performance scores through the harmonic analysis of master performers' recordings, from which the wave forms were obtained in the form of phonophotograms.<sup>1</sup> In a compressed (two-dimensional) form and on the same graph, Seashore plotted the two sets of data concerning the time-frequency and time-intensity dimensions. Rephrased in somewhat more up-to-date terms, he envisaged the *running power spectrum* of the performance; with this he wished to compare the running power spectrum of the music piece, performed rigidly as prescribed in the musical notation of the score, as the objective standard. ("Phrasing scores"). Limited by the available techniques of recording and displays, Seashore also initiated studies on inter-artist comparisons, i. e. certain comparisons between performances of the same piece by different artists.

New and better methods are now available to accomplish the same purposes, and even to extend the analysis of performance by the musician to his performance as a member of an *ensemble*.

Methods of multiple-channel tape recording, with a separate channel for each performer<sup>2,3</sup> can capture the individual's performance, and of all simultaneous performers, for later analysis at will. It is possible thus objectively to study the interrelations between a performer and any other performer, or between a performer and a whole ensemble. The frame of reference here is that of *auditory pursuit tracking*.<sup>4</sup>

A refined version of Seashore's performance and phrasing scores can arise from such study.

As a coarse first approximation to the full possibilities, Fig. 1. represents the *time-intensity display* of Caruso's Song from the "Pagliacci" with the writer's synchronized accompaniment added by a technique of *channel juxtaposition*. The "program" and the accompaniment were written out from the two channels of the magnetic tape led in turn to a sound level recorder.

It is understood that because of the inherent limitations, the selection of the baselines in Fig. 1. for the solo and the accompaniment was arbitrary. Thus the apparent "overshoots" in the accompaniment are not relevant. However, the *slopes* of the long trends (representing crescendos and decrescendos) are inherent characteristics of the original "program" and

are expected to be "tracked" by the accompanist. The short-run fluctuations in the "program" might have arisen from the intensity component of the *vibratos* which are irrelevant to the accompanist. The rests in the musical score can be identified as the minima in the recording. The time lags can be obtained from the common starts and terminations of tones between rests.

Considering both time lags and slopes, one sees that the ideal accompanist would produce a *linear pursuit tracking pattern*.

The suggested display techniques have several distinctive features as compared with those available to Seashore:

1. The display is automatic. Indeed, fully automatic data processing could be obtained from the multiple tracks by using computers for area integration in determining the variance between "program" and accompaniment, and cross correlators for computing time lag. (It is understood that the tape used at the fast speed of 15 inches per sec., contains considerably more information than displayed with the help of the relatively crude sound level recorder.)

2. The information displayed in Fig. 1 is essentially *relativistic*, there being no standard shown. In his "phrasing scores", Seashore also analyzed the deviations of the performances versus the physico-mathematical standard. Now for the purposes of an *absolute* study, it would be feasible to record an (approximate) standard on a third track. This standard would be a rigid performance in metronomic time and in rigid pitch.

3. On a separate track also could be marked the musical bar system, carefully displayed in Seashore's work. Such cueing may permit a nearly perfect orientation, note by note, in the entire context of the display.

An extension of automatic performance scoring would of course call for display techniques in the time-frequency domain also. Furthermore, from the point of view of music psychology and aesthetics, one would have to assess the applicability and limitations of *statistical measures* which are usually applied in the analysis and evaluation of servo-mechanisms. Can a *performer's profile* be validly described in long-run or short-run statistical terms, i. e. in terms of the performer's averaged deviations from the baselines of frequency, intensity and metronomic time-flow?

A musically and technologically feasible automatic performance scoring system may have various applications, e. g. in testing musical aptitudes, in music appreciation etc. Unfortunately, since Seashore's death, because of the lack of research facilities devoted to this problem, research in performance scoring has, to the writer's knowledge, been completely abandoned.

Voranzeige

Im Mai 1960 erscheint ein Sonderheft der „Heilkunst“:

## „MUSIK IN DER MEDIZIN“

Zusammenstellung des Heftes: Dr. H. R. Teirich, Freiburg/Br.  
Heilkunst Verlag, München 2, Richard Wagner-Straße 10

26. Mai — 30. Juni 1960 Radiodiffusion-Télévision Française, Paris

## „EXPERIMENTELLE MUSIK“

4 Konzerte, Filmvorführungen, Elektroakustische Experimente

(Direktion: Pierre Schaeffer)

Aus dem Programm:

10. Juni Salle Pleyel — Orchestre National — H. Scherchen

- |    |  |
|----|--|
| 1) | a) Byrd-Orff: The Belles (für 4 Orchester)   |
|    | b) Gabrielli: Invention (für 2 Orchester)  |
|    | c) Haydn: Das Echo (für 4 Orchester)   |
| 2) | Uraufführungen von:<br>Evangelisti, Otte, Philippot, Varèse, Wilkinson,<br>Xénakis |
| 3) | Beethoven: Die Schlacht bei Vittoria<br>(für Orchestrion resp. 2 Orchester)        |

Ferner: Aufführungen von

Brecht / Hindemith: „Lehrstück“ (für Soli, Sprecher, Chor, Orchester)  
Vierspur-Aufnahmen über Stereophoner gesendet

und von

Arnold Schönberg: „Erwartung“ (Solistin: Helga Pilarczyk)

Advance Notice

The May, 1960 Number of „Die Heilkunst“ will be devoted entirely to

## „MUSIC IN MEDICINE“

edited by Dr. H. R. Teirich, Freiburg.

Heilkunst-Verlag, Richard-Wagner-Strasse 10, Munich 2, Germany

26th May — 30th June, 1960, Radiodiffusion-Télévision Française, Paris

## „EXPERIMENTAL MUSIC“

4 Concerts, Films, Electroacoustic Experiments

(Direction: Pierre Schaeffer)

Programme includes:

10th June, Salle Pleyel — Orchestre National — H. Scherchen

- |    |   |
|----|---|
| 1) | a) Byrd-Orff: The Belles (for 4 Orchestras)   |
|    | b) Gabrielli: Invention (for 2 Orchestras)  |
|    | c) Haydn: The Echo (for 4 Orchestras)   |
| 2) | First performances of works by<br>Evangelisti, Otte, Philippot, Varèse, Wilkinson,<br>Xénakis |
| 3) | Beethoven: Battle Symphony (for Orchestrion and<br>2 Orchestras respectively)                 |

Also performances of

Brecht / Hindemith: „Lehrstück“ (for Soloists, Narrator, Choir and  
Orchestra)

Four-track recordings played back over the Stereophoner

and of

Arnold Schoenberg: „Erwartung“ (Solist: Helga Pilarczyk)

