

GRAVESANER

BLÄTTER

HERAUSGEBER HERMANN SCHERCHEN

ENGLISCH-DEUTSCH

ARS VIVA VERLAG
(HERMANN SCHERCHEN)
GMBH · MAINZ

MUSIKALISCHE, ELEKTROAKUSTISCHE UND
SCHALLWISSENSCHAFTLICHE GRENZPROBLEME
1966

HEFT

29

2260

1397

863

534

350

204

126

18

18

126

204

350

534

863

1397

2260

18

126

204

350

534

863

1397

2260

18

126

204

350

534

863

1397

2260

1830

699

432

267

165

102

63

18

126

204

350

534

863

1397

2260

18

126

204

350

534

863

1397

2260

18

126

204

U. Grottel

UNIVERSITY OF TORONTO

THE FACULTY OF MUSIC

Electronic Music Courses — July 6 to August 31, 1966

Music 1081 — Lecture Courses in Electronic Music
Dr. LeCaine

Scientific basis of electronic Music
Design of studio equipment (8 lectures per week)

Music 1080 — Seminar in Electronic Music
Prof. Ciamaga

The composition of electronic music
Studio technique (5 lectures per week plus
laboratory)

Private Studio Time for students in either Course:
Two hours daily per student with assistance

Dr. LeCaine is the designer of many electronic music devices with which
the studio of the University of Toronto is uniquely equipped.

G R A V E S A N E R B L Ä T T E R

Heft 29 — Juni 1966

INHALT

	Seite
Dennis Braithwaite	Die beste Anwendung des Fernsehens? 3
Hermann Scherchen	Eine Stunde mit Franz Krämer (CBC Toronto) 5
Wilfried Scheib	Zur Übertragung musikalischer Ereignisse durch das Fernsehen 10
W. Gerber	Probleme der Fernsehtechnik 16
Iannis Xenakis	Zu einer Philosophie der Musik 23
Harold C. Schonberg	New York Philharmonic Hall 57
Alain Daniélou	Die Gehörmechanismen und das begrifflose Zählen 63
W. Bürck	Einführung in die Grundlagen der Schallmeßtechnik 76
Schallplatten-Beilage	Jimmy Giuffre — 13 Improvisationen

Redaktion: Gravesano (Tessin)

Herausgeber: Hermann Scherchen

Nachdruck verboten!

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

No 29 — June 1966

CONTENTS

	Page
Dennis Braithwaite	Best use of Television? 4
Hermann Scherchen	An Hour with Franz Krämer (at CBC-TV, Toronto) 7
Wilfried Scheib	Transmission of Musical Events on Television 13
W. Gerber	Problems of Television Technique 19
Iannis Xenakis	Towards a Philosophy of Music 39
Harold C. Schonberg	Philharmonic Acoustics 59
Alain Daniélou	"Non-verbal Counting" and the Mechanism of Listening 70
W. Bürck	An Introduction to the Fundamentals of Acoustic Measurement 91
Disk enclosure	Jimmy Giuffre — 13 Improvisations

Published by Experimental Studio Gravesano

Editor: Hermann Scherchen

Extracts may not be published without permission



LA DANSE
GRECQUE
ANTIQUE

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

15, Quai Anatole — France Paris VII^e

TABLE DES MATIÈRES

Livre I. — TECHNIQUE COMPARÉE

Première partie : LES ÉLÉMENTS.

Deuxième partie : LES PAS À TERRE.

Troisième partie : LES TEMPS SAUTÉS.

Quatrième partie : LES TOURS.

Cinquième partie : LES BRAS.

Livre II. — LES TEXTES GRECS

Livre III. — ORCHESTIQUE

Deuxième partie : DANSE DU THÉÂTRE.

Première partie : ÉLÉMENTS D'ORCHESTIQUE.

Ouvrage in-4^o coquille relié toile publié en 2 tomes :
730 pages de texte et 126 planches hors texte.

PRIX : 168 F

Die beste Anwendung des Fernsehens?

von

DENNIS BRAITHWAITE

Nach 20 Jahren streitet man sich noch immer über die beste Anwendung des Fernsehens. Unter anderem kennt man den Streit zwischen den Live- und den Film-Anhängern. Wird das Fernsehen nur voll ausgenutzt in einer Übertragung des augenblicklich Stattfindenden oder kommt es bloß auf ein durch den Äther übertragenes Heimkino hinaus? Es gibt noch eine dritte Art der Fernsehproduktion; sie kombiniert die Aufnahme mit der Direktsendung, Fazit: etwas *ausschließlich* Fernsehhaftes. Die Schlacht von Culloden wurde durch die BBC nachvollzogen; es war ein Film, doch mehr als ein Film und ganz gewiß viel mehr als das bekanntgewordene Fernsehspiel. Im Kino hätte das Werk kaum ein Publikum gefunden; aber für das Heimkino war es genau das Richtige. Nämlich ein fesselndes Erlebnis mit anderen Obertönen als denen von Theater oder Kino und mit einem anderen Zweck. Vor der Schlacht interviewte ein unsichtbarer An-sager die Hochländer, welche auf Gälisch antworteten, welches dann über- setzt wurde. Anscheinend ein Trick zuerst, wurde dies sehr schnell ganz natürlich und real! Der Unglaube verschwand leicht und vollkommen; der kompromißlose Realismus der Produktion gehörte natürlich dazu, eben- falls aber die Natur des Mediums, die gemütliche gewohnte Rolle, die es im alltäglichen Leben spielt. In einem gewissen Sinne ist alles im Fern- sehen real.

Selten wird Geschichte lebendig, wie oft man auch das Gespenst be- schwören mag; Hollywoods Unvermögen, mehr als eine Parodie vergan- gener Ereignisse zu bieten, ist eine Binsenwahrheit des Films, deren Aus- nahmen uns nicht bekannt sind. Kleopatra auf ihrem Kahn ist entweder Claudette Colbert oder Elizabeth Taylor; Napoleon ist Charles Boyer für die eine Generation, Marlon Brando für die andere.

Das Fernseh-Culloden verändert die Geschichte unwiderruflich, und zwar nicht unbedingt indem es die Ereignisse verfälschte, sondern indem es sie zum erstenmal ins Leben rief. Alle die alten Gespenster verkörperten sich.

Bonnie Prince Charlie wird nie wieder der „Herzige“ sein; Glaubens- bekenntnis, Rassenstolz, Schlagwörter, sie sind alle tödlich geschwächt oder hinweggefegt.

Die neuen Probleme sind schwierig. Ist dieses Culloden das wirkliche? Ist es wirklich so geschehen? Oder möchte man nur, daß wir das glauben?

Best use of Television?

by

DENNIS BRAITHWAITE

The argument over what's the best use of television is still on 20 years later. There is — among others — the live versus film debate. Is the medium utilized to its fullest only when recording actuality, or is it really just home movies, projected through the air on hertzian waves? There is a third concept in television production that combines the cinematic and actuality forms, producing something *uniquely* videomatic. The BBC's re-enactment of the Battle of Culloden is an example; it was a movie, but more than a movie, and certainly much more than a TV drama as we have come to understand that term. If put into theatres, the work would scarcely have found an audience; but for the home screen it was just right, an involving experience with different overtones from those of either theatre or film and serving different needs. When the Highlanders were interviewed before the battle by an unseen announcer and answered in Gaelic that was then translated, this seemed at first to be a gimmick. But how quickly it became perfectly natural and real! Disbelief was suspended easily and completely. The uncompromising realism of the production was part of it, but involved, too, was the nature of medium, the cosy, familiar role in plays in our lives. In a sense, everything on television is real.

Rarely does history "come to life", no matter how often the phrase is used; Hollywood's failure to produce more than a travesty of past events is a cinematic truism with no exceptions that come to mind. Cleopatra on her barge is either Claudette Colbert or Liz Taylor; Napoleon is Charles Boyer for one generation, Marlon Brando for another.

TV's Culloden altered history, irrevocably; not necessarily by distorting events, but by giving them life for the first time. All the ghosts were called up and made corporeal.

Bonnie Prince Charlie will never be Bonnie again; adherence to denominational faith, pride of race, the power of beliefs and slogans, all these are fatally weakened or swept away.

The new pitfalls are obvious and deep. Is this Culloden the real one? Did it really happen this way? Or does someone just want us to think so?

Eine Stunde mit Franz Krämer (CBC Toronto)

von

HERMANN SCHERCHEN

90% der Bildschirmbeschauer sind - gehörmäßig unentwickelt - an Musik als Kunst kaum interessiert. Wäre es möglich, durch das Fernsehen die Musik mehr Menschen zugänglich zu machen?

Dieses Problem („Musik im Fernsehen“) bot sich ungewollt kritischer Nachprüfung anlässlich von fünf Fernsehsendungen von Franz Krämer durch die CBC Toronto: Schönberg — „Fantasie für Violine und Klavier“, Debussy — „Syrinx“, Webern — 5 Stücke für Streichquartett, Strawinsky — Valse für Bläser, Bach — Sonate für Violine und Klavier.

Die Bedeutung dieser Sendungen ergab sich daraus, daß versucht wurde, „reine“ Musik in für das Fernsehen geeignete visuell-akustische Ausdrucks-gestaltungen umzuwandeln. Experimente, wie sie anlässlich der drei Gravesaner Tagungen (6. - 13. August 1961) in Gravesano durchgeführt worden waren, hatten dafür günstige Möglichkeiten ergeben. Allerdings handelte es sich dabei nicht um Direktübertragungen von Konzerten, sondern um kinematische (und damit fernsehmögliche) Umformungen von „absoluter“ Musik in visuell-akustische *Doppelerlebnisse*.

Erstaunlicherweise gelang dies Franz Krämer bei seinen 5 Sendungen am besten bei dem für den Bildschirmbeschauer schwierigsten Werk, der Fantasie für Violine und Klavier Schönbergs, am wenigsten bei der Sonate für Violine und Klavier von J. S. Bach, trotzdem die Interpreten beider Werke die gleichen waren: Yehudi Menuhin und Glenn Gould. (Der Aufnahmeleiter war in beiden Fällen Eric Till). Bei der Schönbergschen Fantasie wurden die charakteristischen Unterschiede beider Solisten bewußt eingesetzt: Menuhin wurde durchwegs en face und in Großaufnahme fotografiert, Gould entfernt und in Detailperspektiven. Das ergab ein erregendes Gegeneinander der Sichtbarkeit, während die Musik davon unbeeinflusst nach eigener Gesetzmäßigkeit aufτόnte: Menuhins beherrschtes Spiel von skulpturhaft strenger Ruhe erfuhr durch Goulds leidenschaftlich lang ausschwingende Hand- und Körperbewegungen Akzentuierungen, Widersprechungen und Ergänzungen, die wie eine dialektische Auseinandersetzung wirkten.

Wo das Ohr allein versagt hätte und bei bloßer Fotografie das Auge kaum interessiert geblieben wäre, entstanden plötzlich Anregungen ungewohnter Art aus: Gegensätzen in Spiel und Haltung, in Ausdruck und Erregung, aus Helligkeitsunterschieden von Nah- und Fernbild, und en face-Überdeutlichkeit und Kleinbildkonturverminderung.

Die Musik erhielt plötzlich auch dem bloßen Bildschirmbeschauer zugängliche Akzente und das Ohr empfing klangmitwandernd überraschende Klavier- und Geigenspiel-Nuancen.

So ließ diese Televisionssendung eine Grundeinsicht bewußt werden: die dem Fernsehen eigentliche visuell-akustische Doppelgestalt vermag auch uninteressiertesten Bildschirmbeschauern Musik in eine ansprechende Informationsquelle umzuwandeln. Damit wurden der Musikregie im Fernsehen *schöpferische* Aufgaben zugewiesen. Die Gestaltung der Synthese von Sicht- und Hörbarkeit aber verlangt Persönlichkeiten die, wie Franz Krämer, gleich befähigt sind, Musik „rein“ zu erleben und Bildkunst „absolut“ wahrzunehmen.

Der beschrittene Weg ist so verheißungsvoll, daß es kaum lohnt, über die weiteren Versuche zu berichten, umso mehr, als sie alle nur der Fantasie vorangegangene Arbeitstappen bedeuten. Der das Sehinteresse anregende Beginn von „Syrinx“ — sanft wellendes Seitwärtsgleiten von fahlen Raumandeutungen und sich zu Flächen bündelnden Linien — verliert seine Wirkung, als aus der Rauntiefe langsam die Miniaturfigur des Flötenspielers zur Bildmitte wächst. Von hier ab wandelt sich die Sendung schnell zur üblichen Konzert-Übertragung. Ebenso vermögen die anfänglich interessanten Sichtbarkeitswechsel der fernen Quartettspieler (Julliard-Quartett in Weberns „Fünf Stücke“ das Interesse nicht wachzuhalten, obgleich zweimal überraschende Eindrücke für Gesicht und Auge aufblitzen: leider werden beide Möglichkeiten nicht dialektisch ausgenutzt. Die karikierende Kleinstfiguren-Wiedergabe der 7 Bläusersolisten von Strawinskys „Valse“ endlich ist ermüdend von Anfang bis Ende; vergeblich will sie der Jazzspielertrick des bei seinen drei Noten sich jedesmal erhebenden Trompeters „beleben“. Mit Bachs „Sonate“ aber sind wir völlig im fotografierten Konzertsaal. Und selbst dem passionierten Musikfreund muß es erschreckend scheinen, wie die Wirkung der bloßen Direktübertragung des Spiels zweier so großer Künstler wie Gould und Menuhin es sind, beim Anhören vor dem Bildschirm immer matter wird.

Es war großartig, daß Franz Krämer so generös die Entwicklungsstufen der Arbeit seines hervorragenden Teams zur Vorführung brachte, über die er mit allen sorgfältig diskutierte und die ich bei der TV-Aufnahme von Proben zur „Kunst der Fuge“ vorher selbst praktisch schon kennen zu lernen Gelegenheit gehabt hatte.

An Hour with Franz Krämer (at CBC-TV, Toronto)

by

HERMANN SCHERCHEN

Ninety percent of the Television audience is presumed to be acoustically underdeveloped — which means that they are hard to interest in music as an art.

Is there nevertheless a slim chance, by way of Television, to make the essentials of music emotionally understandable to a vast, but often indifferent audience?

This problem (“Music on Television”) was the central theme on the occasion of an hour of viewing at the Toronto TV studios where Franz Krämer exhibited five excerpts from various hour-long music programs by the Canadian Broadcasting Corporation: Schoenberg “Fantasy for Violin and Piano”; Debussy “Syrinx”; Webern “Five Pieces for String Quartet”; Stravinsky “Waltz for Woodwinds and Trumpet”, and J. S. Bach “Sonata for Violin and Piano”.

The importance of these showings lay in the fact that they were trying to transform music per se into audio-visual experiences essential to successful television.

Similar experiments had been undertaken, with good results, during the three Gravesano Seminars in 1961 (August 6 - 13). These, of course, had not been live transmissions of performances, but rather cinematic transformations of absolute music into the simultaneous audio-visual experience suitable also for television.

Surprisingly, Franz Krämer succeeded best in the musically most demanding work for a television audience, the “Fantasy for Violin and Piano” by Arnold Schoenberg. He succeeded least in the Bach Sonata, and it was interesting that both works were played by same artists (Glenn Gould and Yehudi Menuhin). In both cases the director was the same — Eric Till.

In the Fantasy, the different personalities and their individual approach to the music was consciously explored. Menuhin was photographed in en face close-ups, Gould in wide side-shots revealing the movements of his body and hands alternating with extreme close-ups.

The result — exciting and emotionally meaningful visuals, while you could listen to the work and the logic of its musical thought undisturbed. Menuhin’s playing, controlled, treating the music rather like sculpture, was sometimes accentuated by Gould’s passionate, explanatory movements. At other times the two artists seemed to be engaged in an argument in sound, a dialectic exploration of Schoenberg’s work.

Where the ear alone might have tired early, where conventional photography would have failed to interest the viewer, a constant flow of emotional interest was maintained here by continuously pointing up the

contrasts in the two artists, their different approach to music, their expression as they listen to each other, their tension and concentration in the service of the music.

You could see all this, and the eye was helped by lighting, the quality of which changed from wide-shots to close-ups, and by the sharpness of features in close-ups alternating with soft-focus wide and medium shots.

All this was used to make the music more approachable even for the indifferent television viewer, and his ears were opened to the surprising give and take of piano and violin.

To sum up:

This was a proof that the simultaneous experience for eye and ear, which is a characteristic of Television, is able and helpful in the case of music, and can be a source of information about the music by appealing to both senses and through them to our emotions and our understanding of it.

This can only be done, though, if the production and direction of Television is in creative hands. Producers and Directors must have a deep knowledge of the music, and illuminate the work through their personalities. Of course, they also must be experts in the composition of pictures and judges of the pace which must be applied to these pictures in relation to the pacing of the music.

The possibilities of this tape excerpt are so promising, that there is not too much point in reporting about the other excerpts. Were it not for the fact that they appeared to be experimental steps leading toward the "Fantasy".

The beginning of "Syrinx" was visually interesting, a camera moving along dimly visible vertical structures toward a set of black lines on white, in wave-like formation. But it lost its effect when in the distance the small figure of the flautist appeared. He slowly grew and took the centre of the picture and stayed there until the end of the piece, which thereby turned into the usual concert transmission.

In the "Five Pieces for String Quartet" by Webern, there were interesting effects again at the beginning of the telecast, showing separate shots of the members of the quartet (the Julliard Quartet), but the interest faded as it progressed. Twice though, one was surprised by interesting visual ideas. One was a complete top-shot over the four players, and the other a framing of the quartet by a three-dimensional circle that appeared as if a lens were within a lens. Unfortunately, these two ideas were not developed dialectically.

The small figures of the six woodwind players and the trumpeter in Stravinsky's "Waltz" against an abstract background, Krämer tried to treat as a caricature, with the trumpeter, who always plays the same three

notes, getting up and sitting down every time he is supposed to play. I found the effect tiring.

And finally, the Bach Sonata which seemed no different than a photographed concert in a concert hall. And even though two great artists like Gould and Menuhin played, it is frightening that even a passionate music-lover loses interest when faced with a mere concert transmission that has very little to offer on the screen.

I had earlier finished the taping of a rehearsal of "Art of Fugue" which will be seen in Canada in June, 1966, to be followed by the North-American premiere of the new version on CBC Radio.

It was quite magnificent now to see the various steps of Krämer's experiments, and the work of his excellent production and tape-editing team (tapes he himself criticized and discussed freely).

Zur Übertragung musikalischer Ereignisse durch das Fernsehen

von
Professor Dr. WILFRIED SCHEIB

Will man den Vorteil des Fernsehens in bezug auf die übrigen audiovisuellen Medien feststellen, so wird man die Live-Übermittlung des gleichzeitigen Hör- und Seherlebnisses als sensationelles Plus nennen müssen. Indes es sind auch Vorbehalte anzumelden.

1. Programm und Probezeit

Das größte Handicap ist die immer wieder späte Programmierung der musikalischen Ereignisse.

Die Tatsache, daß Operntheater, Ballett- und Orchesterorganisationen meist die Besetzung nicht zeitgerecht festlegen, macht es den Fernsehmanagern schwer, früh genug die Verträge abzuschließen, die Lizenzangelegenheiten zu klären und die notwendigen technischen Voraussetzungen (Bereitstellung des Ü-Wagens mit rund 35 Technikern, Sendeleitung etc.) zu fixieren.

Ferner ist das Programm durch die Länge einzelner Stücke (wie etwa bei Konzertübertragungen), nur schwer mit dem Fernseh-Programmschema in Einklang zu bringen. Man hilft sich dann, indem zwar ein Teil live übertragen wird, das restliche Konzert (als Ampexaufzeichnung) aber erst später zur Sendung gelangt.

Schließlich genügt die Probeanzahl fast nie, um ausreichende technische TV-Möglichkeiten sicherzustellen. Man hilft sich dann mittels fernseh-eigenen Stellproben, um etwa bei der Oper kamerabedingte Stellungsänderungen zu erreichen.

Erfahrungsgemäß sieht der Produktionsplan einer Opernübertragung folgendermaßen aus:

SALZBURGER FESTSPIELE 1963

„Figaros Hochzeit“ - Festspielhaus

25. 7.	Orchesterprobe		
	Theaterbesuch*		
		26. 7.	Hauptprobe
			1. Mitfahren
		27. 7.	Generalprobe
			2. Mitfahren
5. 8.	Probe		
6. 8.	TV-eigene Probe		Beleuchtungsprobe
11. 8.	Sendung und Aufzeichnung		

* Theaterbesuch = Ansehen der Produktion seitens des Fernsehteams, ohne sendetechnische Maßnahmen zu treffen.

BREGENZER FESTSPIELE 1965

„Die Irrfahrten des Odysseus“ - Seebühne

9. 8.	Theaterbesuch
10. 8.	1. Mitfahren mit Originallicht
11. 8.	2. Mitfahren ohne Originallicht
13. 8.	Beleuchtungsprobe
14. 8.	1. Aufzeichnung - Fernsehlicht
18. 8.	2. Aufzeichnung - Fernsehlicht
22. 8.	Sendung

Da man gewöhnlich mit festen Aufführungsterminen zu rechnen hat, ergibt der oft unnötige lange Aufenthalt der TV-Technik erhebliche Mehrkosten.

2. Aufstellung, Licht

Nur selten ist zu erreichen, daß über den Orchestergraben seitlich Stege gelegt werden, damit die beiden Kameras, welche Großaufnahmen bringen, kleinere Fahrten durchführen können. Die Mittelkamera bleibt jedoch auf festem Platz (in einer Loge, etwa in Bühnenhöhe). Manche Regisseure behelfen sich mit „Gummilinsen“, deren Gebrauch jedoch mit Vorsicht anzuraten ist, soll die Übertragung eines künstlerischen Ereignisses nicht auf das Niveau einer Sportveranstaltung herabsinken.

Das größte Problem bleibt die Lichtgestaltung. Viele (teure) Nachtstunden müssen zum Umbau verwendet werden, da Bühnentechnik und -beleuchtung tagsüber mit den eigenen Inszenierungen des Musiktheaters ausgelastet sind. Ein spezieller TV-Beleuchtungsplan ist deshalb zwischen Bühnen- und Fernsehbeleuchtern zu koordinieren. Hierbei ergeben sich viele Fehlerquellen bei der Übertragung, aber auch manche Beschwerden von seiten des Theaterpublikums und der Presse.

Demgemäß wird eine rechtzeitige Absprache der Wünsche des Bühnen- und des Fernsehregisseurs zweckmäßig sein.

3. Manuskript/Technik

Um den technischen Arbeitsablauf zu verbessern, arbeiten verschiedene Stationen auch bei „live“ Sendungen mit Drehbüchern.

Der Bildregisseur macht dann nach Tonband, Schallplatte oder Partitur einen Plan, den er mit seinen Kameraleuten, den Ton- und Bildmeistern bespricht. Nur in seltenen Fällen wird an Hand eines kleinen Modells die genaue Schnittfolge festgelegt (Schweden).

Eine andere Art der Vorbereitung für das Team ist die Aufzeichnung einer Probe mit einer starren Kamera in der Totalen (Bayerisches Fern-

sehen) oder ein nummeriertes ausführliches Drehbuch, welches die Kameraleute noch vor der ersten Probe zu studieren haben (NHK-Japan).

Unabhängig davon aber bleibt ein spezieller Fernsehbeleuchtungsplan, der— bei der Beleuchtungsprobe festgelegt — während der Sendung von den Beleuchtern selbständig durchgeführt wird.

Alle diese Vorbereitungen sind jedoch nur Hilfsmittel, da immer wieder unvorhersehbare Ereignisse (Programmumstellungen, Besetzungsänderungen, technische Ausfälle etc.) bei Live-Sendungen auftreten.

Dem Fernsehteilnehmer gegenüber besteht die *Verpflichtung* zur Übertragung künstlerischer Ereignisse aus folgenden Gründen:

a) *Information*

um künstlerische Ereignisse unabhängig von örtlichen und finanziellen Gegebenheiten zu vermitteln.

b) *Bildung*

das Interesse an Werk und Interpreten zu fördern.

c) *Kulturpolitische(r) Aspekt*

wichtige Kulturleistungen zu verbreiten

d) *Dokumentation*

Aufzeichnungen historisch wichtiger Übertragungen.

Transmission of Musical Events on Television

by

Professor Dr WILFRIED SCHEIB

The sensational advantage of television over other audio-visual media is the possibility of live transmission, which allows the public to "be there" when an important cultural event takes place. We are, however, obliged to qualify this statement considerably, from an organisational, artistic, and technical point of view.

1. Programme and Rehearsal Time

The greatest handicap is the late programming of all musical events. Opera and ballet companies as well as orchestras do not in general finalise the cast in time to give the television people even a minimum amount of leisure in negotiating contracts, clarifying copyright matters and organising the technical side, which involves making available a mobile transmission unit with a technical staff of about 35, as well as the reservation of transmission lines.

As for the programme, there is hardly ever enough time available to broadcast a complete concert, and the only way out is a simultaneous broadcast of part of the programme, while the rest is recorded on videotape to be broadcast later.

Rehearsals are hardly ever sufficient to ensure satisfactory microphone and camera control. In the case of opera, the way out is a position rehearsal in which the movements on the stage can be slightly adapted to the requirements of the camera, in agreement with the stage producer. The following two timetables are typical production plans of operatic broadcasts:

1963 Salzburg Festival: *The Marriage of Figaro* in the Festspielhaus

- | | |
|--------|---|
| 25. 7. | Orchestral rehearsal
Watching a performance (for the television team to gain a preliminary impression) |
| 26. 7. | Main rehearsal, cameras in operation |
| 27. 7. | Final rehearsal, cameras in operation |
| 5. 8. | Rehearsal |
| 6. 8. | Special television rehearsal
Lighting rehearsal |
| 11. 8. | Broadcast and recording |

1965 Bregenz Festival: *The Wanderings of Odysseus* on the Lake Stage

9. 8. Watching a performance
10. 8. Operation of cameras with original lighting
11. 8. Operation of cameras without original lighting
13. 8. Lighting rehearsal
14. 8. 1st recording with television lighting
18. 8. 2nd recording with television lighting
22. 8. Broadcast

As the performance dates are fixed, much time has to be wasted by the technical staff on the free days, which are an important additional expense factor.

2. Camera Positions, Lighting

The paying public must not be distracted by the presence of television cameras, which must therefore remain in discreet, *fixed* positions. Few producers will agree to the erection of a small bridge on each side of the orchestra pit to permit a small amount of movement at least to the close-up cameras, but the centre camera will be in a fixed position at all events. Some television producers will fall back on the zoom lens, which must, however, be used with the greatest of discretion to avoid the risk of reducing the opera to the level of a sporting event.

Lighting is always the greatest problem and requires much expensive overtime at night as the stage is hardly ever available in the daytime. A special television lighting plan must be set up and coordinated between the stage and the television lighting staff. This results in much trouble, also from the part of the public and the press.

3. Technical Script

A technical script is used by most television companies to ensure smooth operation. This script is written by the producer, assisted by his cameramen, the sound and the picture engineers, using a tape or disk recording or the score. Only rarely (e.g. in Sweden) will this team lay down the succession of shots, using a model of the sets. Other methods are to record a long shot of a complete rehearsal (Bavaria) or to write a detailed, numbered script given to the cameramen to learn before the first rehearsal (NHK, Japan).

The lighting, already referred to, follows a script of its own, usually laid down during the lighting rehearsal.

Notwithstanding all these preparations, a certain amount of improvisation will always be called for, be it because of a sudden change of

programme or cast, of a technical failure, or for any other of the many unforeseen circumstances that always seem to arise during any live broadcast.

In our opinion, television is under an *obligation* towards the viewing public to broadcast cultural events, for the following reasons:

- a. **Information:** for the communication of cultural events independently of the listener's location or financial capacity,
- b. **Education:** to promote general interest in musical works and their interpretation,
- c. **Cultural politics:** to disseminate cultural achievements of an international standard,
- d. **Documentation:** to record historically important performances and preserve them for posterity.

Probleme der Fernsehtechnik

von

Dr. W. GERBER

(Präsident des 5. Internationalen Fernseh-Symposiums, Montreux 1967)

Das Weltfernsehen

Auf der Erde sind 180 Millionen Empfangsstellen vorhanden. Die monatliche Zuwachsrate beträgt 2 Millionen. Nach Verlautbarung des Internationalen Fernmeldevereins, der mit der UNESCO zusammenarbeitet, dürfte die erste Milliarde in Jahre 1980 erreicht werden, und das Doppelte dieser Anzahl wäre auf die Jahrhundertwende zu erwarten. In diesen Schätzungen spielen die Entwicklungsländer eine wichtige Rolle. Dort ist das öffentliche Fernsehen ein Mittel zur Aufklärung. Im industriellen Sektor „Unterhaltungselektronik“ stellt sich damit die Aufgabe, *netzunabhängige Empfänger* zu bauen. Das öffentliche Fernsehen ist ein weltweites Massenmedium geworden und die Entwicklung ist keineswegs abgeschlossen. Da es keine Sprachgrenzen gibt, ist es international veranlagt. Und schließlich möchte man doch in die Ferne sehen! Alle Länder sind heute am internationalen Programmaustausch interessiert. Man spricht bereits von einem kulturellen Politikum.

Natürlich sind die örtlichen Unterschiede der Lokalzeiten nicht ohne Bedeutung. Unter Umständen ist es zweckmäßig, das Programm zu konservieren und erst später, zu einer günstigeren Lokalzeit auszustrahlen. Je größer aber die Zeitdifferenz wird, umso mehr verliert die Aktualität an Wert. Immerhin besteht eine grundsätzliche Möglichkeit, die gesamte Menschheit gleichzeitig vor dem Bildschirm zu erreichen. Dies ist jeweils der Fall, *wenn über dem pazifischen Raume die zweite Nachthälfte liegt.*

Mit dem Aufkommen der Nachrichtensatelliten ist ein weltweites Fernsehen möglich geworden. Beispielsweise waren beim Abschluß der Gemini-Kapsel hüben und drüben über hundert Millionen Menschen vor den Bildschirmen versammelt! Weitere Möglichkeiten werden die in Vorbereitung befindlichen Satellitensender erbringen.

Damit sich alle Völker am internationalen Programmaustausch beteiligen können, sind einheitliche Normen eine der wesentlichen Voraussetzungen. Auch die Netzplanung ist darauf angewiesen. Und nicht zuletzt sollte die industrielle Fertigung an der einheitlichen Normung interessiert sein.

Die Vielgestalt der Normen ist geschichtlich bedingt. Jeweiliger Stand der Technik und von Land zu Land verschiedene Gegebenheiten bestimmten die Entwicklung. In der Folge wurden Normenwandler notwendig, als Notlösung.

Zunächst handelt es sich darum, die verschiedenen Normen zu koordinieren. Zwei Dominanten zeichnen sich ab: das 525-Zeilenbild, mit 60 Halbbildern/Sekunde, und das 625-Zeilenbild, mit 50 Halbbildern/Se-

kunde. Beide sind unter sich weitgehend kompatibel. Eine weitergehende Angleichung drängt sich auf. Nach wie vor aber scheint die mehr allgemeine technische Entwicklung keineswegs abgeschlossen, wenn man bedenkt, wie grundverschieden die heutige Videotechnik und ihr physiologisches Vorbild immer noch sind.

Farbiges Fernsehen

Mit der Sättigung des Marktes im monochromen Fernsehen entsteht ein wirkliches Bedürfnis nach dem farbigen Bild. Diese Situation ist in den USA zur Tatsache geworden. Verwendet wird das nach wie vor in seinen Hauptansprüchen mustergültige NTSC-Verfahren. Dieses verfügt über eine gute inhärente Bildqualität und ist kompatibel mit dem monochromen Fernsehen.

In Europa, wo man auf 1967 mit der Einführung des Farbfernsehens rechnet, benützt man die noch verfügbare Zeit zu eingehenden Untersuchungen, hauptsächlich im Bereich der Kodierung der Chrominanzinformation. Denn es war offensichtlich geworden, daß das NTSC-Verfahren unter einer Phasenempfindlichkeit leidet, die sich in der praktischen Übertragung mehr oder weniger störend bemerkbar machen kann. So hatte *H. Defrance* vorgeschlagen, zeilenweise alternierend nur eine der beiden Chrominanzinformationen durchzugeben und im Empfänger die zugehörige zweite von der vorangehenden Zeile über einen Speicher beizufügen. Schließlich hat *W. Bruch* eine Synthese mit dem ursprünglichen, amerikanischen Vorgehen erreicht, die sich im weiteren Verlauf der Entwicklung als fruchtbar erwies.

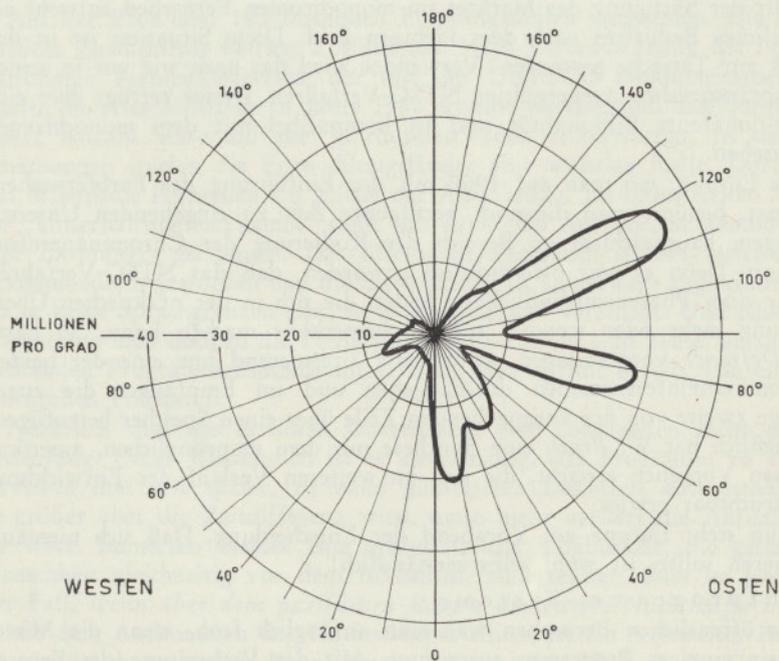
Nun steht Europa am Vorabend der Entscheidung. Daß sich niemand isolieren sollte, ist wohl selbstverständlich!

Mehrprogramm-Systeme

Im öffentlichen Fernsehen war man anfänglich froh, wenn die Mittel für ein einziges Programm ausreichten. Mit der Verbreitung des Fernsehens folgte bald das Bedürfnis und die Möglichkeit, mit derselben Empfangsanlage unter verschiedenen Programmen wählen zu können. In USA und Japan, wo von Anfang an verschiedene Programmgesellschaften im Wettstreit standen, war dem schon seit längerer Zeit so. Heute gibt es auch in Europa Länder mit zwei oder sogar drei gleichzeitigen Programmen.

Im Stockholmer Wellenplan 1961 sind rund 6000 Kanäle dem öffentlichen Fernsehen in Europa zugeteilt. Vielleicht lassen sich später über Mikrowellen richtiggehende Mehrprogrammübertragungen verwirklichen?

Gegenwärtig geht der Trend dahin, über gemeinsame Fernsehantennen mehrere Programme verschiedener Herkunft aufzunehmen und über ein Kabelnetz auf eine mehr oder weniger große Anzahl Teilnehmer zu verteilen. In der Schweiz und anderswo gibt es bereits viele solche Anlagen. Was es aber noch zu ordnen gilt, das sind die mit diesem Vorgehen verbundenen Urheberrechtsfragen.



Verteilung der Erdbevölkerung über die geographische Länge
World's population in millions per degree of longitude

Problems of Television Technique

by

Dr W. GERBER

(President of the 5th International Television Symposium
Montreux, Switzerland, 1967)

International Television

180 million television receivers are in operation throughout the world. This figure is increasing at the rate of 2 million per month. The International Communication Association, in cooperation with UNESCO, estimates that the 100 million mark will be reached in 1980, while double that number is expected about the turn of the century. The emergent countries are an important factor in this estimate. Public television is an important medium of education there. Thus there is a demand for battery-operated television sets which the industry must fill. Public television has grown into a world-wide mass medium whose development has by no means come to an end. As there are no language barriers, it has an international tendency. Every country is interested in the international exchange of programmes nowadays. There is even talk of international cultural politics in connexion with television.

Of course local time difference is not without bearing on the matter. In many cases it be expedient to record the programme and broadcast it at a more convenient local time. But the news value decreases as the time lag increases. Nevertheless, it is in principle possible to reach a large proportion of the world's population with a possibility of their sitting in front of their sets, namely when the Pacific region is in the small hours of the morning.

The communication satellites have made worldwide television possible. As an example, over a hundred million persons in both halves of the world watched the start of the Gemini satellite! The satellite transmitters now being designed will increase these possibilities.

Uniform standards are one of the most essential conditions for international programme exchange. Network planning depends on it too, and, last but not least, the industry might be expected to be interested in a worldwide uniform standard.

The various different standards are the result of historical evolution in that television was developed separately in the various countries, and converters from one standard to another have become a necessary makeshift.

The first essential step is the coordination of the various standards, of which the two most important ones are 525 lines at 60 c/s and 625 lines at 50 c/s, which are already compatible with one another to a large extent, although even closer matching would be desirable. After all, it is to be hoped that no one will say that the television picture will never be any better than it is today.

Colour TV

With the black-and-white TV market approaching saturation, there is a genuine demand growing for colour, as already proved by the situation in the U.S., the system in use there being the NTSC system, exemplary as it still is in meeting the most important demands, as it produces excellent pictures and is also compatible with monochromatic television.

Colour television is expected to come to Europe in 1967, and the interim is being used for detailed research, especially in the field of coding the chrominance information, for it had become clear that the NTSC method was rather oversensitive to phase errors. *H. DeFrance* had suggested transmitting the two chrominance factors not with every line but alternating, the missing one being added at the receiver end, where it would have been stored from the previous line. In the end, *W. Bruch* devised a synthesis with the original American system, which has turned out to be most useful for subsequent development.

And now, Europe is on the eve of the decision. Obviously all of us should avoid being left isolated!

Multi-programme Systems

Originally, public television corporations were satisfied if their budget met the costs of one programme. As television grew more popular, it was possible to meet the new demand of being able to choose among a number of programmes, as has been the case in the U.S. and in Japan, where a number of television companies have been in competition with each other from the very beginning. By now, two or even three programmes are being transmitted simultaneously in many European countries.

The Stockholm frequency plan of 1961 provides about 6000 channels for public television in Europe. Could it be that in the future a proper multi-programme system can be transmitted over microwaves?

The present trend is the reception of several programmes from various directions by a long-distance aerial and distributing them by transmission lines to a greater or lesser number of subscribers. There are already many such systems in operation in Switzerland and elsewhere. The only thing left to sort out in this case is the copyright question.

RI V FI
WESTMINSTER

J. S. BACH

L'ARTE DELLA FUGA

(Nuova versione e strumentazione a cura di Hermann Scherchen)

HERBERT TACHEZ, clavicembalo

Orchestra da camera di Vienna
dir.: HERMANN SCHERCHEN

33 - WSR-LP 62 400

"CORRIERE DELLA SERA"

... "Certo il 'passe-partout' bachiano di Scherchen è sembrato aprisse le porte del paradiso. Perciò il pubblico dei 'Pomeriggi', ha ascoltato con eccezionale raccoglimento, ha sentito vibrandone e ha applaudito a non finire." ...

f. a.

"L'UNITA"

Un grande Scherchen nell'Arte della fuga

... "Scherchen è rimasto aderente all'originale bachiano nota per nota, senza permettersi nessuna di quelle infiorature che funestano tante trascrizioni di opere del passato." ...

g. m.

"IL GIORNO"

... "Hermann Scherchen spiegò ieri ai suoi fedeli 'L'Arte dello Fuga' di Bach. Fu una predica ricchissima di insegnamenti pervasa di pietà filiale" ...

Giulio Confalonieri

"L'AVANTI"

... "Un lavoro, questo di Scherchen, non certo di arida filologia, ma di vera e propria ricreazione poetica" ...

p. s.

"L'ITALIA"

... "Scherchen ha dato all'esaltazione del contrappunto bachiano una sua rispettosa e fantasiosa esaltazione;" ...

g. m.

SCALA REALE

CONGRESSO
INTERNAZIONALE
DI STUDI VERDIANI

ISTITUTO DI STUDI VERDIANI
Strade della Repubblica, 57
PARMA

FONDAZIONE GIORGIO CINI
San Giorgio Maggiore
VENEZIA

E. A. TEATRO LA FENICE
Campo S. Fantin, 2519
VENEZIA

Isola di San Giorgio Maggiore in Venezia,
presso la Fondazione
GIORGIO CINI

30 e 31 luglio — 1 e 2 agosto 1966

Conferenze e Mostra di Discografia Verdiana

(Situazione e prospettive degli studi verdiani nel mondo)

Si prega di indirizzare la corrispondenza

all' Istituto di

STUDI VERDIANI

Strada della Repubblica, 57 — Parma (Italia)

Zu einer Philosophie der Musik

von

IANNIS XENAKIS

Im Laufe dieser Arbeit wollen wir den Versuch unternehmen:

- a. „die historische Tradition“ der Musik „zu enthüllen“¹,
- b. eine Musik zu konstruieren.

Die Anwendung der „Vernunft“ auf die Erscheinungen und ihre Erklärung war der größte Schritt, den der Mensch auf dem Weg seiner Befreiung und seines Wachstums getan hat. Deshalb darf man die ionischen Wegbereiter Thales, Anaximander, Anaximenes als den Ausgangspunkt unserer Kultur im eigentlichen Sinn der Kultur der „Vernunft“ betrachten. Den Begriff „Vernunft“ gebrauche ich hier nicht im Sinn der Aneinanderkettung von logischen Gedanken, von Syllogismen oder logisch-technischen Mechanismen, sondern es ist ein Ausdruck jener außerordentlichen Eigenschaft, einen Drang, eine Neugier zu empfinden und dann die Frage, *ἡ ἀεγγχος* zu stellen. Wir können heute kaum begreifen, wie dieser Sprung möglich war, der in Ionien die Kosmologie aus nichts schaffen konnte trotz der mächtigen Religionen und Myserien, die die ersten Formen der „Vernunft“ waren. Der Orphismus z. B., der einen solchen Einfluß auf den Pythagoreismus ausübte, betrachtete die menschliche Seele als einen gefallenen Gott, den nur die *Ek-stasis*, das Verlassen des Selbst, in seiner wahren Gestalt offenbaren konnte und der durch Läuterungen (*καθαρμοί*) und Sakramente (*ῥήγια*) seine verlorene Göttlichkeit wiederfinden und sich vom *Rad der Geburt* (*τροχός γενέσεως*, bhavachakra), d. h. vom Schicksal der ständigen Wiedergeburt als Tier oder Pflanze, erlösen konnte. Diese Form der Mysterien zitiere ich, denn sie erscheint als eine sehr alte und weit verbreitete Form des „Denkens“ zu sein, die man fast zur gleichen Zeit und unabhängig auch in der Lehre der indischen Hindus findet².

Bemerkenswert aber ist Folgendes: Der von den Ioniern angebahnte Pfad hat schließlich weiter geführt als alle Mysterien und alle Religionen einschließlich des Christentums. Nie ist der Geist dieser Philosophie so allgemein verbreitet gewesen wie heute, da die USA, China, die UdSSR und Europa, die Hauptvertreter, sie mit fast beunruhigender Gleichförmigkeit wiederkäuen.

¹ Diese Formulierung in Husslers Sinn, vgl. Hussleriana VI: „Die Krisis der europäischen Wissenschaften und die transzendente Phänomenologie (eine Einleitung in die phänomenologische Philosophie)“; s. auch *Pure Geometry* (M. Nijhoff, Den Haag 1954) S. 21-25 und Anhang III S. 379-380.

² vgl. den Kommentar über die Upanishaden der Bhagavadgita in Ananda K. Coomaraswamy, *Hindouisme et Bouddhisme* (Gallimard, Paris) S. 36.

Einmal gestellt, löste die Frage (*ἔλεγχος*) ein Rad der Geburt sui generis aus, und die verschiedenen vorsokratischen Schulen blühten auf und beeinflussten die gesamte philosophische Entwicklung der Folgezeit bis zur Gegenwart. Zwei Höhepunkte sehe ich in dieser Periode: den Pythagoreismus der Zahlen und die Dialektik des Parmenides, beide ein ursprünglicher Ausdruck derselben Beschäftigung.

Der Pythagoreismus der Zahlen behauptet: Die Dinge sind Zahlen, oder allen Dingen entsprechen Zahlen, oder die Dinge sind zahlenartig, je nach den verschiedenen Anpassungsphasen dieser Philosophie bis zum 4. vorchristlichen Jahrhundert. Was den Musiker besonders interessiert, ist der Ausgangspunkt dieser These, nämlich das Studium der musikalischen Intervalle zur Erlangung der orphischen Katharsis (Läuterung), denn nach Aristoxenes verwendeten die Pythagoreer Musik zur Seelenläuterung wie Arznei zur Leibesläuterung. Diese Methode finden wir auch in anderen Orgien wie z. B. in denen der Korybanten, über die Platon in seinen *Gesetzen* berichtet. Auf alle Fälle hat der Pythagoreismus das gesamte abendländische Denken durchdrungen, angefangen mit dem griechischen, von wo es über Byzanz nach Europa wie auch zu den Arabern gekommen ist.

Alle Musiktheoretiker von Aristoxenes bis Hucbald, Zarlino und Rameau haben dieselben Thesen aufgenommen und zeitlich gefärbt. Aber das Allerfantastischste ist, daß die gesamte gegenwärtige intellektuelle Tätigkeit, einschließlich der Kunst, in die Zahlenwelt getaucht ist (wobei ich einige reartierende oder okkulte Strömungen außer Betracht lasse). Bald wird es die geometrische Struktur von DNA³ der Vererbung ermöglichen, das Rad der Geburt beliebig zu verwandeln, wie wir es uns wünschen und wie schon Pythagoras empfahl. So hat nicht die orphische oder hinduistische oder taoistische ek-stasis zu einem der obersten Ziele aller Zeiten, nämlich die Qualität der Reinkarnationen (erblichen Wiedergeburten, *αιετρε λπσ γγι*) zu bestimmen, geführt, sondern diese Kraft der „Theorie“, der Frage — der Blüte menschlichen Tuns, wovon der Pythagoreismus ein besonders eindrucksvoller Ausdruck ist. (Wir sind alle Pythagoreer.)⁴

Andererseits hatte Parmenides die Fähigkeit, der Frage der Veränderung auf den Grund zu gehen, indem er sie im Gegensatz zu Heraklit verneinte. Die Entdeckung der logischen Prinzipien der ausgeschlossenen Mitte und der Tautologie verblendeten ihn so, daß er sie wie ein Messer benützte, mit dem er aus der flüchtigen Veränderung der Sinne den Begriff des *Seins*, welches *ist*, einzig, unbeweglich, die Welt erfüllend, ohne Geburt, unvergäng-

³ Deoxyribonukleinsäure, vgl. die Zeitschrift der American Association for the Advancement of Science, *Science* Vol. 138 Nr. 3539 (26. Oktober 1962), S. 498 unter „Genetic Code“.

⁴ „Wohl das Sonderbarste an der modernen Wissenschaft ist ihre Rückkehr zum Pythagoreismus“ (Bertrand Russell in *The Nation* vom 27. 9. 1924).

lich, herauschnitt; da das Nichtseiende nicht ist, ist das Seiende begrenzt und vollkommen, eine Kugel (was Melissos nicht verstanden hatte)!

„... denn es ist für immer unmöglich, daß sich das, was ist, dem, was nicht ist, beuge; und hüte dein Denken vor diesem Weg des Suchens. . . . Von nur einem Pfad können wir weitersprechen: daß es ist. Auf diesem gibt es viele Anzeichen, daß es ungeboren und unzerstörbar ist, denn es ist vollkommen, unerschütterlich und ohne Ende. Weder war es, noch wird es sein, denn es ist jetzt, plötzlich und auch ein Dauerndes. Denn welches Entstehen willst Du dafür suchen? Wie und von wo könnte es erwachsen sein? . . . Ich lasse dich nicht sagen noch denken, daß es aus dem entstand, was nicht ist; denn es ist unsagbar und undenkbar, daß etwas nicht sei. Und welcher Zwang könnte es bewogen haben, später oder früher entstanden zu sein, wenn es aus nichts kam? Also muß es unbedingt absolut oder überhaupt nicht sein.“⁵

Abgesehen von der abrupten und dichten Denkweise ist das Frageverfahren absolut. Es führt zur Verneinung der Sinneswelt, die nur aus widerspruchsvollen Erscheinungen besteht, welche der „Zweikopf“ (der Mensch), ohne eine Miene zu verziehen, als echt betrachtet; die einzige Wahrheit ist aber der Begriff des Seins, welcher, mittels der Regeln der abstrakten Logik unterstützt, keinen weiteren Begriff braucht außer dem seines Gegensatzes, des Nichtseins, welches man sofort als unsagbar und undenkbar erkennt.

Diese Knappheit und diese Axiomatik, welche die Götter und die sich auf die ursprünglichen Elemente⁶ stützenden Weltanschauungen hinter sich läßt, setzte Parmenides' Zeitgenossen in Erstaunen. Man kann sie als den ersten absoluten und totalen Materialismus betrachten. Im großen und ganzen war die direkte Reaktion darauf die Prinzipien der Kontinuität des Anaxagoras und der atomischen Diskontinuität des Leukippos, und in der Folgezeit hat diese Axiomatik die gesamte Intellektualität bis heute geprägt. Das Prinzip der Erhaltung der Energie zum Beispiel — ist es nicht erstaunlich? Was die Welt erfüllt, ist, dank der Entsprechung Materie - Energie, elektromagnetische, kinetische und materielle Energie. Die Energie ist das Seiende an sich geworden. Die Erhaltung bedeutet, daß sie sich im ganzen Universum durch nicht ein einziges Photon verändert, und zwar von Ewigkeit zu Ewigkeit. Andererseits ist in der Logik eine logische Wahrheit schon tautologisch: alles Bewiesene ist eine Wahrheit, die keiner Alternative Raum läßt (Wittgenstein). Die heutige Erkenntnislehre akzeptiert die Leere, aber entspricht sie wirklich dem Nichtsein? Oder handelt es sich bloß um einen nicht weiter erklärten Komplementärbegriff, eine leere Phrase also?

⁵ Parmenides, *Gedicht*, 7. und 8. Fragment (vgl. die Übersetzung von John Burnet in der nachfolgenden englischen Fassung dieses Beitrags)

⁶ Die Elemente sind noch immer aktuell: die drei Aggregatzustände und die Energie entsprechen den Zuständen Erde, Wasser, Luft und Feuer; diese Entsprechung kannte bereits Heraklit.

Seit den Mißerfolgen des 19. Jahrhunderts ist das wissenschaftliche Denken eher skeptisch und pragmatisch geworden. Aber gerade deshalb konnte es sich bis zum Äußersten anpassen und erweitern. Das „Es geschieht alles, als ob . . .“ ist das Zeichen dieses an sich optimistischen und positiven Zweifels. Neuen Theorien schenkt man Vertrauen auf Zeit, und man verwirft sie ohne Umstände, um sich passenderen zuzuwenden, solange sie auf bequeme Weise das Funktionieren erklären, sodaß es mit allem anderen übereinstimmt. Zu einer solchen Einstellung gehört eigentlich ein guter Schuß Fatalismus. Deshalb ist der heutige Pythagoreismus (ganz wie die parmenidische Axiomatik) nur relativ, und zwar auf jedem Gebiet einschließlich der Kunst.

Im Lauf der Jahrhunderte haben sich die Künste parallel zu den beiden wesentlichen Schöpfungen menschlichen Denkens — dem hierarchischen und dem Zahlenprinzip — verwandelt. Diese beiden Strömungen beherrschten auch die Musik insbesondere seit der Renaissance bis zu den heutigen Kompositionsverfahren.

In der Schule wird die Einheit, besonders die Einheit der Themen und ihrer Entwicklung, betont; dann kommt die Reihentechnik mit einer anderen Hierarchie, einer andern, genauso tautologischen Einheit, inkarniert durch die Reihe und das Prinzip der perpetuellen Variation, aber immer innerhalb derselben Tautologie. So erscheinen die axiomatischen Prinzipien, die unsere Berufe das ganze Leben lang abstecken, auch in der Musik, ganz in Übereinstimmung mit der Frage des Seins, die Parmenides vor 25 Jahrhunderten erstmalig stellte.

Zu beweisen, daß alles schon entdeckt ist und daß wir nichts als Nachahmer sind, kann nicht in meiner Absicht liegen — das wäre offenbar Unsinn. Es gibt nie Wiederholung, sondern eine Art tautologischer Identität durch die Verwandlungen des Seins, welches das Rad der Geburt bestiegen hat. So, als hätten wir bestimmte Zonen, die weniger veränderbar als andere sind, und als hätte auch die Welt bestimmte Gegenden, die sich nur sehr langsam wandeln.

Stillschweigend gibt Parmenides in seinem Gedicht zu, daß man Notwendigkeit, Not, Kausalität, Gerechtigkeit mit Logik verwechselt; da das Sein aus dieser Logik geboren ist, ist ihm der reine Zufall ebenso unmöglich wie das Nichtsein. Dies wird klar ausgedrückt besonders in dem Satz: „Und welcher Zwang könnte es bewogen haben, später oder früher entstanden zu sein, wenn es aus nichts kam?“ Dieses Eingeständnis hat das Denken jahrtausendlang beherrscht. Es führt uns zu einem anderen, vielleicht dem wichtigsten Aspekt der Dialektik auf dem Plan der praktischen Tätigkeit: zum Determinismus. Schließt die Logik den Zufall aus, so kann man durch Logik alles wissen und sogar alles tun. Das Problem der Wahl, des Entschlusses, der Zukunft ist gelöst.

Aber man weiß, daß ein einziges Körnchen Zufall die schönste deterministische Struktur zu Fall bringt. Das ist der Grund, warum alle Religionen und Philosophien den Zufall immer und überall an die Grenzen der Welt verbannt haben. Sofern sie in der Praxis der Weissagung davon Gebrauch machten, betrachteten sie ihn nicht absolut als solchen, sondern als ein geheimnisvolles System von gottgesandten, den Eingeweihten verständlichen Zeichen; widersprachen die Götter einander des öfteren, so wußten sie doch wohl, was sie wollten. In diesem Licht betrachten wir heute das chinesische System des I-Ching, sowie jede Art von Oonoskopie bis zur Marktbudenwahrsagerei. Diese Unfähigkeit, den puren Zufall zuzugeben, verfolgt sogar die Wahrscheinlichkeitstheorie der modernen Mathematik, der es gelungen ist, ihn in logischen deterministischen Gesetzen einzufangen, sodaß der reine Zufall und der reine Determinismus nur die zwei Seiten einer Medaille sind, wie ich gleich durch ein Beispiel zeigen werde.

Meines Wissens gibt es in der ganzen Geschichte des Denkens nur eine einzige „Enthüllung“ des reinen Zufalls, und zwar durch Epikur. Epikur bekämpfte die deterministischen Systeme der Atomiker, Platoniker, Aristoteliker und Stoiker, die schließlich zur Negierung des freien Willens führten und den Menschen der Fatalität der Natur auslieferten. Denn wenn in der Welt wie auch in unserem Körper, der ein Teil der Welt ist, alles logisch angeordnet ist, so ist auch unser Wille dieser Logik unterstellt, und unsere Freiheit ist null und nichtig. Für den Stoiker z. B. hatte auch die geringste irdische Handlung ihre Wirkung auf den entferntesten Stern — heute würden wir sagen: Das Verbindungsnetz ist dicht, empfindlich und ohne Informationsverluste.

Diese Epoche wird zu Unrecht verachtet, denn damals wurden alle möglichen Sophismen besprochen; die Megariker führten die logische Rechnung ein und die Stoiker schufen die sogenannte modale Logik im Gegensatz zur Klassenlogik des Aristoteles. Andererseits wird zweifellos die moralische Größe der Stoa zur Grundlage des Christentums, welchem sie weichen mußte, denn der Ersatz der Züchtigung durch die Person des Christus sowie der Mythos der ewigen Vergebung der Sünden beim jüngsten Gericht sind den Sterblichen ein königlicher Trost.

Um seiner These des freien Willens eine axiomatische und weltanschauliche Grundlage zu verschaffen, wandte sich Epikur von der atomischen Hypothese ab mit den Worten: „Im geradlinigen Fall der Atome durch die Leere . . . weichen diese in einem unbestimmten Augenblick um noch so wenig von der Senkrechten ab, . . . aber kaum und so wenig wie nur möglich, sodaß uns eine schräge Bewegung gar nicht erst in den Sinn kommt.“⁷ Das ist die durch Lucretius dargelegte Theorie der *clinamen*. Es ist außerordentlich aufschlußreich, diese Theorie mit der 1738 erstmalig von

⁷ Lucretius, *De rerum natura*, II. Buch V. 217-224

Daniel Bernoulli formulierten kinetischen Theorie der Gase zu vergleichen, die auf der Korpuskelnatur der Materie und gleichzeitig auf dem Determinismus und dem Indeterminismus beruht. Seit Epikur war niemand auf den Gedanken gekommen, den Zufall als ein Prinzip oder eine Art des Seins anzuwenden.

Erst 1654 wurde eine Lehre zur Anwendung und zum Gebrauch des Zufalls formuliert: Pascal und besonders Fermat waren im Laufe ihrer Untersuchungen der Glücksspiele wie z. B. Würfel und Karten zur Formulierung der ersten beiden Kombinationsregeln von Wahrscheinlichkeiten durch Multiplikationen und Addition gekommen, und 1713 folgte die Veröffentlichung von Jacob Bernoullis grundlegendem Werk *Ars Conjectandi*⁸ mit ihrer Darlegung eines allgemeinen Gesetzes der großen Zahlen, welches E. Borel⁹ folgendermaßen formuliert: „ p sei die Wahrscheinlichkeit der günstigen Alternative, q die Wahrscheinlichkeit der ungünstigen Alternative und ε eine beliebig kleine positive Zahl: dann strebt die Wahrscheinlichkeit, daß der absolute Wert der Differenz zwischen dem beobachteten Verhältnis der günstigen zu den ungünstigen Ereignissen einerseits und dem theoretischen Verhältnis p/q andererseits ε übersteigt, gegen 0, wenn die Anzahl der Versuche dauernd ansteigt.“ Ein gutes Beispiel ist der Wurf der Münze. Ist die Münze vollkommen symmetrisch, dann ist bekanntlich die Wahrscheinlichkeit p (Zahl: günstige Alternative) und die Wahrscheinlichkeit q (Adler: ungünstige Alternative) gleich und das Verhältnis $p/q = 1$. Von n Würfeln sind etwa P Zahl und Q Adler, deren Verhältnis P/Q im allgemeinen nicht gleich 1 ist. Dann besagt das Gesetz der großen Zahlen folgendes: Je länger man spielt, d.h. je größer die Anzahl n der Spiele wird, desto mehr strebt das Verhältnis P/Q gegen 1.

So bleibt Epikur mit der *Notwendigkeit des Entstehens in einem unbestimmten Augenblick* ein mit dem gesamten, auch modernen Denken in Widerspruch stehender Einzelfall, denn die heutige Aleatorik, die Stochastik ist das Ergebnis einer akzeptierten Unkenntnis, wie es Henri Poincaré vollkommen ausgedrückt hat. Gibt die Wahrscheinlichkeitsrechnung die Ungewißheit von Zahl oder Adler im Einzelwurf auch zu, so umhüllt sie diese Ungewißheit gleichsam mit zwei Mänteln: einem hypothetischen — der Unkenntnis der Flugbahn, die die Ungewißheit erzeugt — und einem deterministischen — dem Gesetz der großen Zahlen, welches mittels Zeit oder Raum die Ungewißheit wieder aufhebt. Untersuchen wir aber das Beispiel des Münzenwurfs etwas näher, so sehen wir, wie sehr die Unvorhersehbarkeit an die Symmetrie gebunden ist. Ist die Münze vollkommen symmetrisch, besteht also aus einem vollkommen homogenen und gleichförmig verteilten

⁸ In diesem Werk braucht er zum ersten Mal den Begriff *Stochastik*, heute gleichbedeutend mit Wahrscheinlichkeit, Aleatorik, Zufall.

⁹ übersetzt aus E. Borel, *Elements de la Théorie des Probabilités* (Editions Albin Michel, Paris 1950) S. 82.

Material, dann erreicht die Ungewißheit¹⁰ bei jedem Wurf ihren Größtwert, und die Wahrscheinlichkeiten von Zahl oder Adler sind einander gleich. Verfälscht man nun die Münze, indem man zum Beispiel das Leichtmetall auf der einen Seite aushöhlt und durch das etwa achtmal schwerere Platin ersetzt, so wird die Münze durch diese Asymmetrie die Tendenz bekommen, auf die schwerere Seite zu fallen, und die Ungewißheit wird geringer, denn die Wahrscheinlichkeiten von Zahl und Adler sind nicht mehr gleich, wie auch ein Butterbrot gewöhnlich auf die Butterseite fällt, denn Butter ist etwa viermal so schwer wie Brot. Treibt man nun die Münzverfälschung an die Grenze des Möglichen und verfertigt eine Münze einerseits aus Platin und andererseits aus Schaumgummi, so wird die Unsicherheit gegen 0 tendieren, also gegen die Sicherheit, daß immer die leichte Seite nach oben zeigen wird. So haben wir die proportionale Verbindung zwischen Unsicherheit und Symmetrie demonstriert. Es sieht wie eine Tautologie aus, ist es aber auch nicht mehr als die mathematische Definition der Wahrscheinlichkeit: „Die *Wahrscheinlichkeit* ist das Verhältnis der Anzahl der günstigen zur Anzahl der möglichen Fälle, wenn alle Fälle als *gleichwahrscheinlich* anzusehen sind.“

So sind wir heute noch immer die Gefangenen von Kräftelinien, die vor 25 Jahrhunderten geschaffen wurden, und die anscheinend mit der größtmöglichen Wirksamkeit das gesamte menschliche Tun weiterbestimmen. Von hier stammen jene Probleme, welche wir armen Komponisten in der Dunkelheit unserer Unwissenheit nun endlich aufrühren wollen. Determinismus oder Alea¹¹, stilistische Einheit oder Eklektizismus, rechnen oder nicht, Intuition oder Konstruktion, Apriorismus oder nicht, eine Metaphysik durch die Musik oder einfach Musik als Unterhaltungsmittel usw. Das sind also die Fragen, die wir uns stellen müssen:

1. Welche Folgen entstehen für die Musik aus ihrem Bewußtsein der pythagoparmenidischen Sphäre?

2. Auf welche Weise?

Antworten:

1. Das Nachsinnen über das Sein führt uns unmittelbar zur möglichst voraussetzungslosen Rekonstruktion der grundsätzlichen Gegebenheiten der Komposition, insbesondere zur Ablehnung aller Gegebenheiten, die nicht die Probe durch die Frage (*ἐλεγχθῶ, ἀδικοῦμαι*) bestanden haben.

2. Diese Rekonstruktion soll durch moderne Axiomatische Methoden inspiriert sein.

Wenn wir von bestimmten Voraussetzungen ausgehen, können wir das allgemeinste musikalische Gebäude aufstellen: Die Ausdrucksformen eines

¹⁰ Die Ungewißheit selbst kann in der Informationstheorie durch die Entropie gemessen werden und erreicht ein Maximum, wenn die Wahrscheinlichkeiten p und $1 - p$ gleich sind.

¹¹ vgl. I. Xenakis, in *Gravesaner Blätter* Heft 1, 6 und 11/12

Bach, Beethoven oder Schönberg sind alle nur Einzelfälle eines riesigen Möglichkeitsfeldes, welches durch die eben erwähnten Aufräumungsarbeiten und die axiomatische Rekonstruktion erst ermöglicht wird.¹²

Eine Methode des Nachsinnens habe ich in meinem Buch dargelegt¹³. Anstatt aber den ganzen logischen Vorgang zu wiederholen, begnügen wir uns hier mit einem als Beispiel dienenden Auszug:

„Eine logische algebraische Skizze der musikalischen Komposition

„In diesem Kapitel wollen wir uns zunächst vorstellen, daß wir plötzlich das Gedächtnis verloren haben, um zu den Ursprüngen der kompositorischen Gedankengänge zurückkehren und die für die gesamte Musik allgemein gültigen Grundsätze herauslösen zu können. Keine psychophysiologische Untersuchung der Wahrnehmung soll dies werden, sondern einfach ein Versuch, uns etwas Klarheit darüber zu verschaffen, wie wir hören und denken, wenn Musik erklingt. So schmieden wir uns ein Werkzeug zum besseren Verständnis der Werke der Vergangenheit sowie zur Herstellung einer künftigen Musik. Dazu müssen wir die verschiedenen Wesen und Begriffe, die wir verstreut oder zusammenhängend antreffen, sammeln, zurechtschneiden, aneinandermontieren. So spulen wir den feinen Faden der Logik ab, welche zwar Lücken aufzeigen, aber immerhin den unzweifelhaften Vorzug haben wird, daß es sie überhaupt gibt.

„Fall eines einzelnen Erzeugerelementes

„Ein zeitlich begrenztes Schallereignis sei angenommen. Dieses Ereignis wird global als eine Einheit wahrgenommen, und diese globale Wahrnehmung genügt uns vorläufig. Durch den Gedächtnisverlust erscheint es uns weder sympathisch noch antipathisch, sondern neutral.

„Postulat. Wir weigern uns systematisch, ein Qualitätsurteil über ein Schallereignis zu bilden; gelten sollen nur die abstrakten Verhältnisse innerhalb des Ereignisses oder zwischen mehreren Ereignissen, sowie die logischen Vorgänge, denen sie sich unterziehen können. Sein Stattfinden ist also eine Art Anzeige, ein Schriftzeichen, ein Schallsymbol, welches seinerseits durch einen Buchstaben *a* dargestellt werden kann.

„Findet es einmal statt, so bedeutet dies nichts anderes als ein einmalig erscheinendes und verschwindendes Sein: man hat *a*.

„Findet es mehrmals hintereinander statt, so vergleicht man die Ereignisse und folgert, daß sie *identisch* sind, das ist alles. Wiederholung bedeutet also

¹² Das Folgende ist eine knappe Erklärung einer Behauptung, die ich 1963 in einer öffentlichen Debatte in Tanglewood machte, daß es möglich sei, ohne Beachtung der musikalischen Vergangenheit eine Musik zu konstruieren.

¹³ I. Xenakis, Kapitel V, „Musique Symbolique“ aus *Musiques Formelles* (Richard-Masse, Paris 1963).

Identität, Tautologie. Aber im Entstehen entbindet diese Wiederholung eine weitere Erscheinung, und zwar die *Zeitmodulation*. Wäre das Ereignis ein Morseton, so nähmen die Zeitabszissen eine äußere, dem Ton auferlegte Bedeutung an.

„Läßt man aber die Zeit außer Betracht, so bedeutet die wirkliche oder gedachte Wiederholung eines Schallereignisses bloß eine Identität, eine Tautologie:

$$a V a V a V a V a V \dots V a = a$$

(*V* ist ein Operator mit der Bedeutung: zeitloses Nebeneinanderstellen; mit; das Zeichen =; das Gleiche.)

„Mehr kann man mit einem Schallereignis nicht tun.

„Fall von zwei und mehr Erzeugerelementen

„*a* und *b* seien zwei Schallereignisse, sodaß *a* nicht identisch mit *b* ist und die beiden deutlich und sofort erkennbar sind wie z. B. die Buchstaben *a* und *b*, welche man nur miteinander verwechselt, wenn sie schlecht geschrieben sind oder man schlechte Augen hat.“

Im weiteren Verlauf des Buches wird der Begriff Intervall, Abstand definiert, dann wird gezeigt, wie man zu einer Gruppenstruktur einiger allgemeiner Toneigenschaften wie Dauer, Höhe, Stärke, Dichte usw. gelangt. Eine Entsprechung zwischen diesen Wahrnehmungselementen und der Gesamtheit der wirklichen Zahlen (dem Pythagoreismus) wird aufgestellt und so die Vektorenrechnung in die musikalische Komposition eingeführt. Das arithmetische Gesetz der Wahrnehmung von Reizen, die einem logarithmischen (geometrischen) Gesetz folgen, ist auf der Ebene der Strukturen unerheblich.

Jetzt möchte ich eine andere, durch Peanos *Formulaire de Mathématique* inspirierte, axiomatische Methode angeben, um die schicksalhafte Verwandtschaft zwischen den Zahlen und jeder Art von Ton aufzuzeigen. Diese zweite Methode der Analyse und Synthese ist direkter als die vorhergehende. Um mich sofort verständlich zu machen, nehme ich die temperierte chromatische Skala. Worin besteht ihr Wert in der Musik?

Man könnte sagen: Die gleichtemperierte chromatische Tonleiter ist die musikalische Entsprechung der Entdeckung der ganzen Zahlen. Nicht am Anfang allerdings, aber drei Jahrhunderte später. Am Anfang ermöglichte sie die Festigung der Durtonarten und die Arbeit in die Tiefen der tonalen Struktur mittels Mehrstimmigkeit und Modulation. Die gleichschwebende Temperatur war also ein neutraler Speicher der Logik, eine Leinwand, welche die Musiker sich geschaffen hatten, um darauf die reichsten Muster der Durtonarten zu sticken¹⁴. Der Verlust der Feinheiten der Kirchentöne, welche

¹⁴ vgl. Bachs *Wohltemperiertes Klavier*, welches die Neutralität dieser Tonleiter aufzeigt, indem sie ihm die Durchführung aller zwölf Modulationen ermöglicht.

zum Teil auf den Schwingungsgesetzen von Saiten und Pfeifen begründet¹⁵, und der besonderen, aber vergessenen Welten, die sie eingeschlossen, wurde durch wachsenden Axiomatismus ausgeglichen. Aber erst die Atonalität hat den völlig neutralen Charakter der chromatischen Skala geoffenbart. 1895 empfahl Professor Loquin vom Conservatoire de Bordeaux die Gleichheit der zwölf Töne und die Abschaffung der tonalen Hierarchien zugunsten der Neutralität. Es war Schönberg, der diese Streben besonders stark empfand, aber anstatt sich in dieser neuen und so weiten Welt wohlzufühlen (wahrscheinlich wegen seiner Unkenntnis der physikalischen und mathematischen Wissenschaften seiner Zeit), verkroch er sich in sein Schneckenhaus der Zwölftonreihe und wandte sich sogar den veralteten Formen der Mehrstimmigkeit zu. Nun hatte diese Neutralität — drei Jahrhunderte war sie vorausgesagt und gewollt, bis sie sich Anfang dieses Jahrhunderts in der Musik endlich inkarnierte — zur Folge, daß die Musik jede Trennung von der Arithmetik, der Algebra und der Geometrie verlor. Die ganze ungeheure menschliche Erfahrung, die Jahrhunderte der Mathematik angesammelt hatten, ergoß sich endlich in die Musik, nicht um sie zu ertränken — an gehässigen Bemerkungen dieser Art fehlte es nicht — sondern im Gegenteil um sie zu erheben wie eine besondere Arche menschlichen Geistes, wie eine Arche dazu bestimmt, daß der Mensch von diesen schwarzblauen Horizonten aus über die Welt herrsche und nicht damit er in den sicheren, dunklen und fruchtbaren Tälern des Aberglaubens und der bunten Miragen herumkrieche.

Hier nun ist die zweite axiomatische Konstruktion der temperierten Skala:

1. Der Ursprung ist ein Ton.
2. Der Nachfolger eines Tons ist ein Ton.
3. Töne mit gleichem Nachfolger sind einander identisch.
4. Der Ursprung ist der Nachfolger keines anderen Tons.
5. Entspricht dem Ursprung eine Eigenschaft und entspricht sie, wenn irgend-einem Ton überhaupt, so auch dem Nachfolger des Ursprungs, dann entspricht sie auch allen anderen Tönen (Induktionsprinzip).

Man beachte, daß diese Definition mit nur drei Grundbegriffen — Ursprung, Ton, Nachfolger — und fünf Voraussetzungen auskommt. Selbstverständlich kann der Ursprung jede Tonhöhe mit Frequenz zwischen 0 und ∞ Hz sein. Andere möchten mit weniger als fünf Voraussetzungen auskommen, jedoch enthält diese Definition nicht nur die chromatische Halbtonskala sondern auch jede andere melodische Fortschreitung wie z. B. durch Kommas, Ganztöne, Tritoni, Oktaven usw. Hier interessiert uns hauptsächlich die Methode.

¹⁵ vgl. A. Machabey, „Présence ou absence de la constance de quarte, de quinte et d'octave, son rôle structurel dans la musique grecque antique et la polyphonie occidentale primitive“ in *La résonance dans les échelles musicales* (Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, 9.-14. Mai 1960)

Hier ist noch eine dritte Konstruktion der gleichen temperierten Skala im weitesten Sinn:

Grundbegriffe:

O: ursprünglicher Ruhe- oder Haltepunkt

n: Haltepunkt

n': aus einer einfachen Verschiebung von n resultierenden Haltepunkt

D: Ein Satz Werte, die durch den betreffenden Klang bestimmt werden (Tonhöhe, Dichte, Lautstärke, Dauer, Tempo usw.); die Werte werden mit den Haltepunkten oder Verschiebungen identifiziert.

Grundsätzliche Voraussetzungen (Axiome):

1. Der Haltepunkt O ist ein Element von D.
2. Ist der Haltepunkt n ein Element von D, dann ist der neue Haltepunkt n' ebenfalls ein Element von D.
3. Sind die Haltepunkte n und m Elemente von D, dann sind die neuen Haltepunkte n' und m' nur dann einander identisch, wenn die Haltepunkte n und m einander identisch sind.
4. Ist der Haltepunkt n ein Element von D, dann ist n' verschieden vom Ursprungshaltepunkt O.
5. Wenn die zu D gehörigen Elemente eine besondere, auch dem Ursprungshaltepunkt O eigene Eigenschaft P besitzen und wenn für jedes Element n von D, das diese Eigenschaft hat, das Element n' sie auch besitzt, dann besitzen alle Elemente von D die Eigenschaft P.

Auch diese dritte Definition (nach Verschiebungen) führt zum gleichen abstrakten Gerüst der temperierten Skala, der Tonleitern oder der Zahlen.

Wie läßt sich diese Definition praktisch anwenden? Man denke sich dieses abstrakte Gerüst als ein Sieb, welches aus einem Papierstreifen mit Löchern in gleichen Abständen besteht. Auf eine Klaviatur gelegt, zeigt es durch die Löcher eine Reihe von Tasten mit gleichen Intervallen, entsprechend einer Verschiebung n, die ihrerseits durch den Lochabstand im Sieb festgelegt ist. Ist n = 4 Halbtöne, dann gibt es für das Sieb 4 mögliche Stellungen über der chromatischen Klaviatur, wie Fig. 1 veranschaulicht. Das läßt sich folgendermaßen ausdrücken:

Hat das Sieb eine Grundverschiebung n, so sind 0, 1, 2 . . . n - 1 die Stellungen, die nacheinander alle Tasten freigeben.

Unter Anwendung der Definition der Kongruenz modulo z bemerkt man, daß die n verschiedenen Siebstellungen den Resten r der Teilung einer beliebigen ganzen Zahl x durch n entsprechen. Man kann also schreiben

$$x - r \equiv (\text{mod. } n); (x - r = kn, k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots)$$

oder durch Vereinfachung der Schreibweise

$$x \equiv rMn \quad (1)$$

Werden die r und n festgelegt, so liefert die Gleichung (1) die Zahlen $x = \{ \dots r - n, r, r + n, r + 2n \dots \}$, also ein Sieb von n Stufen in der Stel-

lung der r ten Ordnung. Beispiel: Sind $n = 4$, $r = 2$, und entspricht die Stellung $r = 0$ dem Ton c , dann liefert das Sieb $x \equiv 2M4$

. . . d , fis , ais , d^1 . . .

Diese Siebtheorie ermöglicht die Bildung charakteristischerer Strukturen als der chromatischen Gesamtheit wie z. B. der Dur- oder Ganztonleiter. Der Ausdruck $rM2$ liefert die beiden möglichen Transpositionen der Ganztonleiter, wobei $0M2$ mit c und $1M2$ mit cis anfängt. Durch Einführung der logischen Grundrechnungen — die Vereinigung (oder, +), die Überschneidung (und, \cdot), der Ausschluß (komplementär, -) — kann die Durtonleiter auf zwei Weisen definiert werden:

$$(2M3 + 0M4) \cdot 8\bar{M}12 + 7M12 + 9M12$$

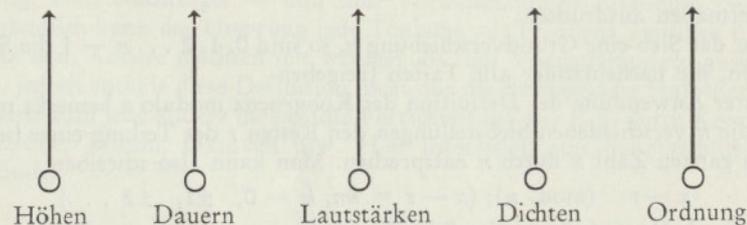
$$2\bar{M}3 \cdot 0M4 + 1\bar{M}3 \cdot 1\bar{M}4 + 2M3 \cdot 2M4 + 0\bar{M}3 \cdot 3M4$$

(\bar{M} entspricht dem Komplementärsieb). Dies sind die logischen Ausdrücke, deren Klassen aus den Elementen des allgemeinen Siebs rMn bestehen.

Diese Erbauung verfolgen wir jetzt nicht weiter.

Wir gehen etwas zurück und stellen uns vor, daß unsere Wahrnehmung nicht unkontinuierlich ist und daß die Intervalle unendlich klein sind, es also unendlich viele Töne innerhalb einer Oktave gibt, die die *Kraft des Kontinuierlichen* haben. Sofort entsprechen sie der Gesamtheit der reellen Zahlen oder der Punkte einer Geraden.

Die soeben für die Wahrnehmung des Tons (genauer: der Tonhöhe) aufgestellte Axiomatik läßt sich auf jede beliebige Klangcharakteristik anwenden, solange man die dazu nötigen Arbeitshypothesen aufstellt. So wäre es z. B. Unsinn, von einer Klangfarbenskala zu sprechen, denn im Gegensatz zu Tonhöhen-, -dauern- und -stärkeskalen wäre sie nicht allgemeinverständlich. Dauer, Stärke, Dichte (Anzahl der Ereignisse in der Zeiteinheit), der Grad der Ordnung oder Unordnung (als Entropie ausgedrückt) und andere Klangmerkmale können aber wie die Tonhöhe in ein eins-zu-eins-Verhältnis mit der Gesamtheit der ganzen Zahlen R_e oder der Punkte einer Geraden gebracht werden:



sandi — bestehen¹⁶. Man könnte fragen ob sich die einzelnen Strukturen noch voneinander unterscheiden lassen. Fig. 4 zeigt eine geregelte Anordnung von solchen Grundfeldern, die in größeren Konfigurationen als Elemente zusammenwirken können. Noch besser wäre die Bestimmung und sequentielle Anwendung von kontinuierlichen oder stufenweisen Zwischenstufen; ein mehr oder weniger gewaltsamer Verlauf vom ersten zum letzten Element wäre besonders interessant. Bei einer näheren Betrachtung dieser Klangfelder können wir darin bestimmte allgemeine Merkmale unterscheiden, die sich durch Veränderung mit diesen allgemeinen Grundformen verbinden können. Solche Merkmale sind u. a.

1. Tonlage (tief, mittel, hoch usw.)
2. allgemeine Dichte (hängt mitunter von der Besetzung ab)
3. allgemeine Lautstärke
4. Klangfarbenveränderungen (z. B. mit dem Bogen, auf dem Steg, Tremolo u. a.)
5. Fluktuationen (örtliche Veränderungen obiger vier Formen)
6. allgemeiner Formverlauf (Übergang zu anderen Grundformen)
7. Grad der Ordnung.

Was den 7. Punkt anbelangt, so kann die vollkommene Unordnung nur dann einen Sinn haben, wenn sie nach der kinetischen Theorie der Gase errechnet ist. Durch andere Darstellungsweise lassen sich solche Formen so bequem darstellen wie durch die grafische.

Über Strukturen, die aus punktuellen Klängen wie z. B. Streicherpizzicati bestehen (Fig. 5), läßt sich mit den nötigen Änderungen dasselbe sagen, auch die 7 Punkte werden die gleichen sein, nur wird „4. Klangfarbenveränderungen“ jetzt „(z. B. pizz., col legno, spiccato u. a.)“ heißen müssen. Aber gerade dadurch wird die Großzügigkeit dieser Abstraktion bewiesen. Außerdem kann jede beliebige Mischung der kontinuierlichen und punktuellen Klänge eine neue Dimension geben.

*

So wird die Musik zu einem Mittel, die Philosophie auszudrücken, also Ideen, Begriffe und Verhältnisse zwischen ihnen zu erörtern und zu erfinden¹⁷, zu einem Gerichtshof der Erzeugung, Diskussion, Annahme oder Ablehnung von Thesen. Indem sie sich jedes Erkenntnismittel von dem logisch-mathematischen bis zum physikalischen und psychologischen aneignet, verwandelt sich die Musik in ein ideales Feld der beweisenden aber auch künstlerischen Philosophie. Diese Rolle spielte die Dichtkunst bei Platon und Parmenides. Die Musik ist aber viel abstrakter und unbestimmter, läßt also eine größere Freiheit der Interpretation und ein reichhaltigeres Ergebnis zu. So wird die Musik auch prophetisch, weil sie so rätselhaft ist.

¹⁶ vgl. meine Analyse von *Metastasis* in Le Corbusier's *Modulor 2* (1955).

¹⁷ vgl. *Musiques Formelles* S. 36.

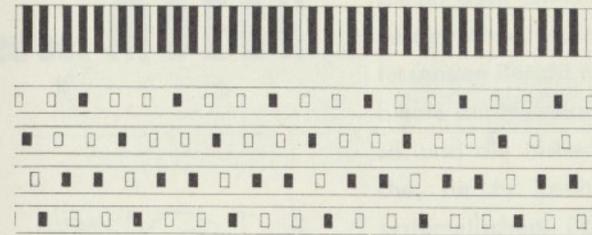


Fig. 1

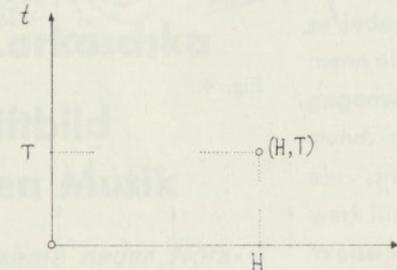
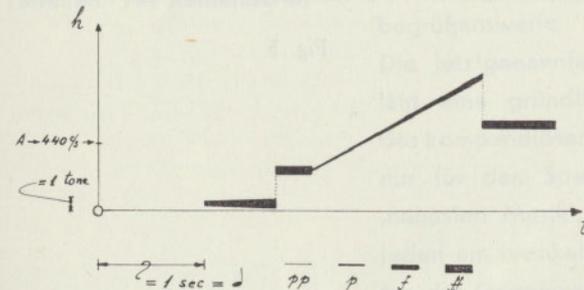
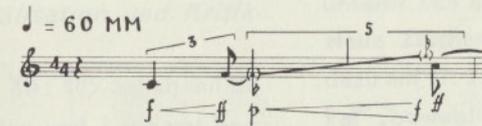


Fig. 2



N	T	H	V	D	I
1	1,00	1	0	0,66	3
2	1,66	6	0	0,33	5
3	2,00	6	+ 17,5	0,80	6
4	2,80	13	0	1,00	5

Fig. 3

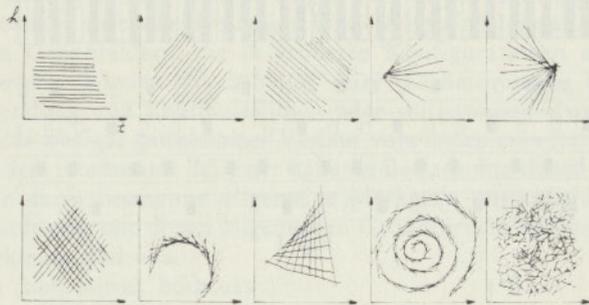


Fig. 4

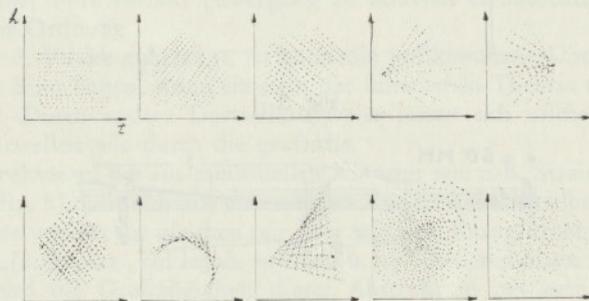


Fig. 5

1966 neu bei **MOECK**

Erhard Karkoschka Das Schriftbild der Neuen Musik

Bestandsaufnahme neuer Notationssymbole; Anleitung zu deren Deutung, Realisation und Kritik

23 × 30,5 cm, XII / 185 Seiten mit 89 Partiturbeispielen und 3 separat beigelegten Tabellen. Halbleinenband, DM 65.—

Spezialprospekt auf Wunsch

Dieses Buch enthält den ersten ausführlichen und zusammenfassenden Bericht über die Probleme der Notation Neuer Musik und die bisherigen Versuche, sie zu lösen. Dank der systematischen, übersichtlichen Darstellung des Stoffes bietet es jedoch nicht nur dem Fachmann einen Überblick über den gegenwärtigen Entwicklungsstand, sondern es ist zugleich ein praktisches Nachschlagewerk für alle, die in irgendeiner Weise — aktiv oder passiv — am musikalischen Geschehen unserer Zeit anteilnehmen. Die **Neue Zürcher Zeitung** schrieb dazu am 17. 2. 1966: (Karkoschka) „beweist bedeutende didaktische Begabung und sehr begrüßenswerte Objektivität. Die letztgenannte Eigenschaft läßt eine gründliche Lektüre des kompendiösen Buches nicht nur für den Spezialisten der ‚neuesten Musik‘, sondern für jeden am musikalischen Schaffen der Gegenwart Interessierten reizvoll und nützlich erscheinen“.

MOECK VERLAG - 31 CELLE / Westdeutschland

STEINKOPF THE ORIGINAL INSTRUMENTS

now in

MOECK'S STUDIO PROGRAM:

Historical Wood Wind Instruments
Production Manager: Otto Steinkopf

Renaissance Instruments

Crumhorns
Kortholte
Rauschpfeifen
Shawns
Dulcians
Sausage Bassoon
Straight & curved cornetts
Serpent

Baroque Instruments

Transverse Flute
Oboe after Zenker
Oboe d'amore after Werner
Oboe da caccia after Scherer
Bassoon after Denner
Chalumeaux

MOECK music publishers instruments

31 Celle/West Germany

Please write
for our latest price list

Towards a Philosophy of Music

by

IANNIS XENAKIS

The purpose of this essay is

- a. to "unveil the historical tradition" of music¹,
- b. to construct music.

The ability to "reason" about phenomena and to explain them was the greatest step man accomplished along the road of his liberation and growth. For this reason the Ionian pioneers Thales, Anaximander, Anaximenes must be regarded as having started our culture in its true sense as the culture of "reason", a term I am using here not so much to mean chains of reasoning, of syllogisms, of logico-technical mechanisms, but to imply that extraordinary quality of feeling an urge, a curiosity, and then of applying the question, the *'ἐλεγχος*. We can hardly grasp this leap which, in Ionia, created the cosmology starting from scratch, in spite of all powerful religions and mysteries, which had been the first forms of "reasoning". Orphism for example, which so influenced Pythagorism, regarded the human soul as a fallen god who could be revealed in his true form only by *ek-stasis*, the leaving of one's self, and who had to go through purifications (*καθαρῶσι*) and sacraments (*'οργια*) if he wanted to find his lost divinity again and escape from the *wheel of birth* (*τροχός γενέσεως*, *bhavachakra*), i.e. from the fatality of reincarnation in animal and vegetable forms. I am quoting this particular form of the mysteries as it appears to be a very ancient and general form of "thought", occurring at about the same time independently also in Hinduism².

What we should realise is that the path opened up by the Ionians in the end surpassed all the mysteries and all the religions, including Christianity. The spirit of this philosophy has never been so universal as today: the U.S.A., China, the U.S.S.R. and Europe, its principal current proponents, re-edit it with a homogeneity and a uniformity I would even dare to call disturbing.

Once started, the question (*'ἐλεγχος*) incarnated a Wheel of Birth *sui generis* and the various pre-Socratic schools flourished, influencing the whole subsequent development of philosophy down to the present. This period has two summits, in my opinion, namely the Pythagorism of numbers, and

¹ "Unveiling the historical tradition" is used here in E. Husserl's sense; cf. *Husserliana*, VI: "Die Krisis der europäischen Wissenschaften und die transzendente Phänomenologie (eine Einleitung in die phänomenologische Philosophie)"; *Pure Geometry* (M. Nijhoff, The Hague, 1954) pp. 21-25, and Appendix III, pp. 379-380.

² cf. the comments on the Upanishads and Bhagavad Gita by Ananda K. Coomaraswamy, *Hindouisme et Bouddhisme* (Gallimard, Paris) p. 36.

the dialectic of Parmenides, both of which are original expressions of the same preoccupation.

The Pythagorism of numbers states that things are numbers, or that all things are associated with numbers, or again that things have the same properties as numbers, depending on its particular stage of development up to the 4th century B.C. The fact that makes this thesis of particular interest to the musician is that it was the outcome of the study of the musical intervals used to achieve the Orphic *catharsis* (purification) for according to Aristoxenes the Pythagoreans used music to purge the soul in the same way as they used medicine to purge the body. This method can also be found in other *orgia* such as those of the Korybantes, as confirmed by Plato in his *Laws*. In any case, Pythagorism impregnated all Western thought, starting with the Greek and passing *via* Byzance to Europe as well as to the Arabs.

All the musical theoreticians from Aristoxenes to Hucbald, Zarlino and Rameau have taken up the same theses, couched in the terms of their age. But the amazing part of it all is that the whole present-day intellectual activity, including the arts, has plunged into the world of numbers (except for just a few reactionary or occult currents). Perhaps the day is not far off when, thanks to the geometrical structure and combinatory properties of DNA³, genetics may be able to modify the Wheel of Birth at will, as Pythagoras advocated. Thus it is not the Orphic or Hindu or Taoist *ek-stasis* but this force of the "theory", of the question, the flower of human activity, expressed in Pythagorism as one of its most striking examples, which has led to one of the supreme goals of all times, namely that of controlling the quality of the reincarnations or hereditary re-births, *παλιγγενεσία*. (We are all Pythagoreans.)⁴

On the other hand, Parmenides had the capacity of getting to the bottom of the question of change by denying it, contrary to Heraclites. The excluded middle and the tautology, as principles of logic, were to him such dazzling discoveries that he used them as a knife to cut, out of the fleeting changes of the senses, the one concept of the *Being*, that which Is, One, motionless, filling the universe, without birth and imperishable, and the other concept of the not-being, non-existent, circumscribed and spherical (what Melissos had failed to understand)!

"... for this shall never be proved, that the things that are yield to the things that are not; and do thou restrain thy thought from this way of inquiry. . . . One path is left for us to speak of, namely, that *it is*. In this path are many tokens that what is is uncreated and indestructible; for

³ Deoxyribonucleic acid, cf. the journal of the American Association for the Advancement of Science, *Science* Vol. 138 No. 3539 (26 October 1962), Genetic Code p. 498.

⁴ "Perhaps the oddest thing about modern science is its return to Pythagoreanism" (Bertrand Russell in *The Nation*, 27 September 1924).

it is complete, immovable, and without end. Nor was it ever, nor will it be; for now *it is*, all at once, a continuous one. For what kind of origin for it wilt thou look for? In what way and what source could it have drawn its increase? . . . I shall not let thee say nor think that it came from what is not; for it can neither be thought nor uttered that anything is not. And, if it came from nothing, what need could have made it arise later than sooner? Therefore must it either be altogether or be not at all."⁵

Apart from the abrupt and dense style of thinking, the method of the question is absolute. It leads to a denial of the world of the senses, which consists of nothing but contradictory apparitions which "two-headed man" takes for the real thing in deadly earnest; the only truth it admits is the *concept* of reality, which, confirmed and supported with the aid of the rules of abstract logic, requires no other concept except its opposite, the Nonexistent, the Nothing, which, as it soon transpires, cannot be put into words or even be thought.

This conciseness and this axiomatic way of argument, which surpasses the gods and the cosmogonies based on the original elements⁶, astounded the contemporaries of Parmenides, and we can indeed call it the first case of absolute and total materialism. By and large, its first repercussions were the continuity of Anaxagoras and the atomic discontinuity of Leukippos, and in the time that followed right up to the present, every intellectual activity has been impregnated right through by this severe axiomatism. Is not the principle of the conservation of energy a striking one? Energy is what fills the universe in electromagnetic, kinetic or material form (matter and energy being equivalent). It, pre-eminently, has become *that which Is*. Conservation implies that it varies by not a photon in the whole universe, as it was in the beginning, is now, and ever shall be. In Logic, on the other hand, a logical truth is tautological: anything proved is a truth to which no alternative can be conceived (Wittgenstein). Modern Cognition will accept the Void, but is this really a non-entity? Or is it simply the designation of an unclarified complementarity?

After the failures of the 19th century, scientific thought has grown rather sceptical and pragmatic. It is just this that has enabled it to become adapted and simplified in the extreme. "It all works as if . . ." implies that doubt which is optimistic and constructive. New theories are temporarily depended on until they are abandoned for more convenient ones, provided *the way it works* is given a suitable explanation which fits in with the rest. In fact,

⁵ Parmenides, *Poem*, Fragments 7 and 8, translated in John Burnet, *Early Greek Philosophy* (the author slightly altered the translation of Fragment 7 to bring it more into line with the original Greek).

⁶ The elements are by no means out-dated, the three states of matter, and energy, being equivalent to earth, water, air and fire, respectively, this correspondence already being known to Heraclites.

this attitude represents a state of recoil, a kind of fatalism. This is why present-day Pythagorism (just like Parmenidian axiomatism) is relative, in every sphere including the arts.

Through the centuries, transformations in the arts have gone parallel to the two essential creations of thought, namely the hierarchical principle and the principle of numbers. In fact it is this which has held sway over music from the renaissance right up to modern methods of composition. At school, the unity of themes and their development is emphasized; the serial system imposes another hierarchy with its different but just as tautological unity incarnated by the series and the principle of perpetual variation within this tautology, and so forth — in short, all these axiomatic principles by which our professions are fenced in for the length of our lives fit in perfectly with the question of the Being inaugurated by Parmenides 25 centuries ago.

It is not my intention to show that everything has already been discovered and that we are nothing but plagiarists — that would obviously be nonsense: there is never any repetition but only a kind of tautological identity through the vicissitudes of the Unique Being which mounted the Wheel of Birth. It is as if we had some zones that are less changeable than others and as if the world, too, contained regions which change only very gradually.

Implicitly, Parmenides' Poem admits that Necessity, Want, Causality, Justice are confounded with Logic, and since the Being is born of this Logic, pure Chance is just as impossible as the non-Being. This comes out particularly clearly in the sentence: "And, if it came from nothing, what need could have made it arise later than sooner?" This implication has been thought for millennia. However, let us here consider another aspect of dialectics, perhaps the most important one from the practical point of view, namely determinism. In fact, if logic implies the absence of chance, everything can be understood and everything can be done by logic. The problem of choice, of decision, of the future, is solved.

Now we know that a single grain of chance is the ruin of any determinist construction. That is why religions and philosophies have banished chance to the frontiers of the universe. And whatever amount of chance they employed in the practice of divination was not at all regarded as such but rather as a mysterious system of signs to be read by the initiated, having originated from divinities who were frequently contradictory but who knew very well what they wanted. That pretty well specifies the Chinese system of I-Ching, as well as every kind of oenoscopy, right down to teacup-reading. This inability to tolerate pure chance has even infiltrated into modern probability mathematics, which has succeeded in confining it within logical, determinist laws, so that pure chance and pure determinism are only two sides of one medal, as I will soon show by an example.

To my knowledge there has been only a single "unveiling" of pure chance in the whole history of thought. It was Epicure who achieved this feat, the man who strove against the determinist networks of the atomicians, Platonicians, Aristotelicians and Stoics who finished by negating Free Will, man being subject to the Fatality of Nature. For if everything is logically ordained in the Universe as well as in its product, our body, then our will is subject to this logic and our freedom is null. The stoics for example admitted that the most trivial action on any part of the earth had its repercussions on the farthest star of the universe, so that the network of connexions, as we would say today, is dense, sensitive, and without any loss of information.

This period is wrongly despised, for it is the one when all kinds of sophisms were discussed; the Megarians inaugurated the logical calculus, and the stoics created the so-called modal logic as distinct from Aristotle's class logic. On the other hand, stoicism, by dint of its moral theses, its breadth and its extent, is no doubt the basis of the growth of Christianity which suppressed it because it substituted the person of Jesus Christ for chastisement and because of the myth of eternal forgiveness at the Last Judgment — a royal comfort to all mortals.

To put his thesis of man's Free Will on an axiomatic and cosmogonic footing, Epicure departed from the atomic hypothesis and admitted that "in the straight-line fall which carries the atoms through the void, . . . these atoms, at an indetermined moment, deviate by ever so little from the vertical . . . but only just and as little as possible so that we cannot even start imagining oblique movement."⁷ This is the theory of *ekklisis* (Lat. *clinamen*, inclination) exposed by Lucretius, and, with it, an "irrational" principle entered the beautiful edifice of atomic determinism. Thus Epicure based the structure of the universe simultaneously on determinism (the inexorable and parallel fall of atoms) and on indeterminism (*ekklisis*). It is striking to compare to this the kinetic theory of gases first proposed by Daniel Bernoulli in 1738, founded on the corpuscular nature of matter and simultaneously on determinism and on indeterminism. Apart from Epicure, no one had ever thought of employing chance as a principle or as a manner of existence.

It was not until 1654 that a doctrine evolved on the employment and the understanding of chance. Pascal and especially Fermat proposed this in the course of their studies of "games of chance" such as dice, cards, etc. Fermat proposed the first two rules of combining probabilities by multiplication and addition, and in 1713 James Bernoulli's fundamental work *Ars conjectandi*⁸ was published posthumously. This work contains the

⁷ Lucretius, *Of Nature*, Book II, Verses 217-224.

⁸ In this work he used for the first time the term *stochastic*, which, today, is synonymous with probability, chance, random occurrences.

explanation of a universal law, namely the Law of Large Numbers, which E. Borel⁹ stated as follows: "Given p as the probability of the favourable alternative, q that of the unfavourable alternative, and ε a positive number as small as desired, then the probability that the absolute value of the difference between the observed ratio of favourable to unfavourable events on the one hand, and of the theoretical ratio p/q on the other, is greater than ε , approaches 0 when the number of tests is increased indefinitely." In the case of the toss of a perfectly symmetrical, i. e. true, coin, we know that the probability p of heads (the favourable alternative) and the probability q of tails (the unfavourable alternative) are each equal to $\frac{1}{2}$ and the ratio $p/q = 1$. If the coin is tossed n times of which P are heads and Q are tails, the ratio P/Q will generally not be equal to 1. Now the Law of Large Numbers states that the longer the game goes on, i. e. the larger the number n of tosses grows, the more nearly the ratio P/Q will approach 1.

Thus Epicure, who admitted *the necessity of a birth at an indetermined moment* in full contradiction to all thought even including modern, remains an isolated case, for modern randomness or stochastics are the result of an accepted ignorance, as Henri Poincaré aptly defined it. And if probability calculation admits the uncertainty of a throw of heads or tails at each toss, it circumscribes this uncertainty in two ways: one of these is hypothetical, namely ignorance of the trajectory producing the uncertainty, and the other is deterministic, namely the Law of Large Numbers, which removes the uncertainty again with the aid of time (or space). But on looking more closely at the example of tossing a coin we see that unpredictability is closely linked to symmetry: only if the coin is perfectly symmetrical, i. e. if it is made of a perfectly homogeneous material uniformly distributed throughout its mass, will the uncertainty¹⁰ for each toss be a maximum and the probability of heads or tails each be $\frac{1}{2}$. If we now load the penny by replacing a certain amount of the copper on one face by lead (suitably disguised), which is about 30% heavier per unit volume than copper, the coin will tend to fall with its heavier face down, and the uncertainty will be reduced as the probabilities of heads or tails will no longer be equal, just as a slice of bread (relative density approx. 0.2 to 0.25) and butter (r.d. 0.9) is much more likely to fall on the butter. If we go to the extreme and counterfeit a penny making one face of the extremely heavy metal platinum and the other of, say, foam rubber, the uncertainty will tend towards 0 in that the "coin" will be almost certain to fall with its rubber side up, showing that uncertainty and symmetry are in proportional relationship. This looks

⁹ Translated from E. Borel, *Elements de la Théorie des Probabilités* (Editions Albin Michel, Paris, 1950) p. 82.

¹⁰ The uncertainty itself, measured by means of entropy in information theory, is a maximum if the probabilities p and $1 - p$ are equal.

like a tautology, but it is no more tautological than the mathematical definition of probability: "The *probability* is the ratio of the number of favourable cases to the number of possible cases, all the latter being considered *equally probable*."

It will now be clear that today we are still immersed in a field of forces started 25 centuries ago and still continuing to govern the basis of all human activity, and most effectively so, it would appear. This, then, is the origin of all these problems which we poor composers, that we are, are beginning to stir up in the obscurity of our ignorance. Determinism or stochastics¹¹, stylistic unity or eclecticism, intuition or constructivism, a-priorism or not, metaphysics by music or simply music as a means of entertainment, etc. Now we must ask ourselves the following questions:

1. What consequences must arise for musical composition out of its becoming conscious of the Pythago-Parmenidian field of thought?

2. By what means?

Answers:

1. Reflexion on *what Is* leads us directly to reconstruct the basic data of the composition from scratch as nearly as possible, and it conduces us especially to reject any data which have not submitted to the question (ἔλεγχος, δίζησις).

2. This reconstruction shall be inspired by modern axiomatic methods.

Starting from certain premises, we shall be able to construct the most general musical edifice; in other words, the expressions of Bach, Beethoven or Schoenberg etc. will be particular, actual cases of a gigantic virtuality made possible by the clean-up followed by the axiomatic reconstruction mentioned above.¹²

I have expounded a reflective method in my book¹³, but rather than copying down again the whole chain of reasoning here I shall limit myself to an excerpt by way of example.

"A logical and algebraic sketch of musical composition

"In this chapter we shall start by considering ourselves as having suddenly lost our memory in order to be able to return to the sources of the mental operations of musical composition and in the hope of throwing some light on the general principles holding true for all music. We are not going to make a study of the psycho-physiology of perception but we shall simply

¹¹ cf. I. Xenakis, in *Gravesano Review* Nos. 1, 6, and 11/12.

¹² The following is a succinct explanation of a statement I made at a public debate at Tanglewood in 1963, namely that it is possible to construct a music without taking the musical past into account.

¹³ I. Xenakis, Chapter V, "Musique Symbolique", of *Musiques Formelles* (Richard-Masse, Paris 1963).

try to gain a clearer view of the phenomenon of listening and of what goes on in our minds when we are hearing music. By this means we shall forge a tool for the better understanding of the musical works of the past and for the manufacture of the music of the future. We shall be obliged to collect, trim and weld together the entities and conceptions which we shall find dispersed or organised, by uncoiling the thin thread of a logic which may contain some gaps but which at any rate will have the merit of existing.

“Case of a single generating element

“Let there be an everlasting sound event. It will be perceived globally as an entity, and this global perception will do us for the moment. Our loss of memory must make us consider it as neutral, i.e. neither pleasant nor unpleasant.

“Postulate. We shall systematically refrain from any qualitative judgment of a sound event; all that counts will be the abstract relationships within the event or among several events as well as the logical operations they can be subjected to. Thus, the emission of the sound event is equivalent to an announcement, an acoustic symbol, a cipher, which lends itself to representation in writing by a letter, *a*.

“If this is emitted once, this fact does not mean anything beyond the unique existence, appearing and disappearing again: we just have *a*.

“If it is emitted a number of times in succession, the events are compared and we conclude that they are *identical*, that is all. Identity, tautology is thus implied by repetition. But in the very fact of coming into being, this repetition gives rise to another phenomenon, namely the *modulation of time*. If the event were a Morse tone, the time abscissae would have a meaning external to and independent of the sound. Thus in addition to the deduction of a tautology, the repetition brings about a new phenomenon inscribed in the time which it modulates.

“Summing up: without taking the element of time into account, a single sound event signifies only its announcement — the sign, symbol, generic element *a*, has been enunciated;

“a sound event really (or mentally) repeated signifies only an identity, an idempotent tautology:

$$a V a V a V a V a V \dots V a = a$$

where *V* is an operator meaning: ‘placing side by side independently of time’, ‘with’; the sign = : ‘it is the same thing’.

“That is all we can do with one sound event.

“Case of two or more generating elements

“Let there be two sound events *a* and *b* such that *a* is not identical with *b* but that the two are immediately recognisable as distinct, as for instance

in the case of the letters *a* and *b* which will not be confounded unless they are carelessly written or if the viewer has poor eyesight.”

In the book, I continue by defining the concept of the interval or distance, then I show how we can arrive at a *group structure* of a number of universal sound characteristics such as duration, pitch, intensity, density, etc. Then by establishing a one-to-one correspondence between these elements of perception and all the real numbers (Pythagorism) I introduce vector calculus into musical composition. The Arithmetic Law of perception of stimuli following a Logarithmic (Geometric) Law has no bearing on the structures.

I shall now give another axiomatic method inspired by Peano’s *Formulaire de Mathématique* in order to show the “fatal” relationship existing between numbers and any sound characteristic; this second method of dissection and reconstruction will turn out to be more straightforward than the one above. To make myself clear from the very start, I shall take the equally tempered chromatic scale. First, what is the importance of this scale in music?

One can say that the equally tempered scale is to music what the discovery of the integers was to mathematics. Not in its beginnings, but three centuries later. In the beginning it enabled the major mode to become established, and the tonal structures were delved into more deeply by means of polyphony and modulation. Thus equal temperament was a neutral logical fund, a canvas created by the musicians for them to embroider the major mode as richly as they could¹⁴. The loss of the modal subtleties based, in part, on the laws of vibrations in strings and pipes¹⁵ and the particular worlds they contained — which are now forgotten — was compensated by increased rigour and axiomatisation. But it was not until the advent of atonality that the universally neutral character of the chromatic scale was made manifest. In 1895, Professor Loquin of Bordeaux Conservatoire advocated equality among the 12 notes of the octave and the abolition of tonal hierarchies in favour of neutrality. It was Schoenberg who sensed this with particular acumen, but as his ignorance of the physics and mathematics of his day prevented his feeling at his ease in this new and so vast world, he retreated to a suitable hide-out he had discovered, namely the twelve-tone row, and he even reverted to the archaic forms of the polyphonists. However, this neutrality, forecasted and required three centuries ago and obtained at the beginning of the 20th century at last in music’s very flesh,

¹⁴ Cf. Bach’s *Well-tempered Clavier*, which shows the neutrality of this scale permitting him to construct all the modulations, twelve in number.

¹⁵ Cf. A. Machabey, “Présence ou absence de la constante de quarte, de quinte et d’octave, son rôle structurel dans la musique grecque antique et la polyphonie occidentale primitive” in *La résonance dans les échelles musicales* (Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, 9-14 May 1960).

resulted, at a blow, in music's losing all separateness from arithmetic, algebra and geometry. The whole colossal amount of human experience accumulated in centuries of mathematics could now pour forth in music, not in order to drown it — the many malicious comments of this nature notwithstanding — but to raise it up like the ark of the human Spirit for man's dominion over the Universe from these blue-black horizons and not for him to crawl through the safe, dark and fertile valleys of superstitions and many-coloured mirages.

Here now is the second axiomatic construction of the tempered scale:

1. The origin is a note.
2. The successor of a note is a note.
3. Notes having the same successor are identical.
4. The origin is not the successor of any other note.
5. If a property pertains to the origin and if, in pertaining to any note, it pertains also to its successor, then it pertains to all the notes (principle of induction).

It will be observed that this definition uses no more than three pre-requisite concepts, namely origin, note, successor, as well as five fundamental propositions. It goes without saying that the origin can be any frequency from 0 to ∞ c/s. According to other authors, the number of pre-mises might be reduced. On the other hand, this definition does not imply the semitone chromatic scale alone but any melodic progression at all, e.g. by commas, whole tones, tritones, octaves, etc. What interests us here is the method.

Here now is yet a third construction of the tempered scale in its widest sense:

Primary terms:

O : original point of rest

n : point of rest

n' : point of rest resulting from an elementary displacement of n

D : set of values specifying the sound under consideration (pitch, density, intensity, duration, speed, etc.), the values to be identified with the points of rest of the displacements.

Primary propositions (axioms):

1. The point of rest O is an element of D .
2. If the point of rest n is an element of D , then the new point of rest n' is an element of D .
3. If the points of rest n and m are elements of D , then the new points of rest n' and m' will be identical if and only if the points of rest n and m are identical.
4. If the point of rest n is an element of D , n' shall be different to the original point of rest O .

5. If the elements belonging to D have a special property P possessed also by the point of rest O and if for every element n of D having this property the element n' also has it, then all the elements of D have the property P .

This third definition (by displacements) brings us again to the same abstract skeleton of any tempered scale and of the natural numbers.

Let us now go a little further into the consequences of the third definition as applied to all the pitches. The abstract skeleton can be regarded as a sieve or *screen* which can be visualised as a strip of paper with equidistant holes which when placed over a special piano keyboard will locate keys separated by any elementary displacement n . If this displacement $n =$ say 4 semitones, the screen can be placed in 4 different positions on the chromatic keyboard (fig. 1). This can be expressed as follows:

If the elementary displacement of the screen is n , the distinctly different positions eventually locating all the keys will be positions $0, 1, 2 \dots n-1$.

Applying the definition of congruence modulo n , we notice that the n different positions of the screen correspond to the remainders r when any integer x is divided by n (remainders r modulo n), so that we can write

$$x - r \equiv (\text{mod. } n); \quad (x - r = kn, k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots)$$

or, simplifying the notation,

$$x \equiv rMn \tag{1}$$

If the values of r and n are fixed, the expression (1) will give the numbers $x = \{ \dots r - n, r, r + n, r + 2n \dots \}$, i.e. the screen of step n placed over position of rank r . For example if $n = 4$ and $r = 2$ and if the position $r = 0$ corresponds to the note C, the screen $x \equiv 2M4$ gives

$\dots D, F\#, A\#, D \dots$

This screen theory enables the formation of more characteristic structures than the chromatic totality, such as the whole-tone and the major scales: the expression $rM2$ gives the two possible transpositions of the whole-tone scale, $0M2$ starting on C and $1M2$ on C#. Introducing the elementary operations of logic — the union (or, +), the intersection (and, \cdot) and the negation (complement, $-$) — we can define the major scale in two ways:

$$(2M3 + 0M4) \cdot 8M12 + 7M12 + 9M12$$

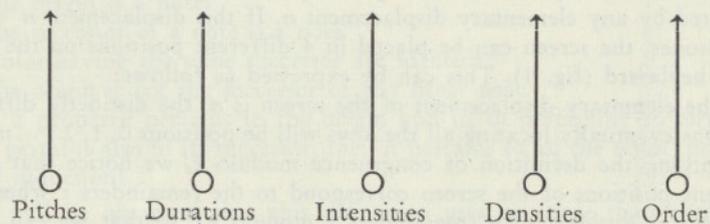
$$2M3 \cdot 0M4 + 1M3 \cdot 1M4 + 2M3 \cdot 2M4 + 0M3 \cdot 3M4$$

(M representing the complementary screen), which are the logical expressions whose classes are constituted by the elements of the screen rMn .

We shall not continue this edification any further.

We shall go back and imagine that our perception is not discreet but that the space between the notes is infinitesimal, i.e. that there is an infinite number of notes within, say, an octave and that they have the *power of the continuum*. From that moment we can make them correspond to the totality of the real numbers, or to all the points on a straight-line segment.

The axiomatics just established for the perception of pitch (i.e. the note itself) can be applied to any acoustic perception at all once the necessary working hypotheses have been set up. Right now there would be no point in talking about, say, a scale of timbres as this would not be universally understood and accepted like scales of pitch, duration or intensity. On the other hand, duration, intensity, density (number of events per unit time), the degree of order and disorder (measured by the entropy), etc., can be brought into a one-to-one correspondence with all real numbers taken as a whole, R_e , and with all the points on a straight-line segment:



Again, the acoustic phenomenon is the result of correspondence between the characteristics of the sounds in consequence of these axes. The simplest such correspondence is the Cartesian, an example of which with two axes is illustrated by fig. 2, where the variables time and pitch move along the t and h (*hauteur*) axes, the fixed values T and H representing definite durations and pitches; the point (H, T) where the co-ordinates of the points H and T (i.e. the line through each point parallel to the other axis) intersect represents the unique location of a definite pitch H sounding during a definite time-interval T .

Here I must stress some facts many people are frightened of while others again are too easily taken in by appearances.

We all know traditional musical notation, the result of millennia of effort traceable to Greek antiquity.

We have just represented a note by two new means, namely algebraically by a collection of numbers, and geometrically (graphically) by drawings.

Now these are only three codes and nothing else, and there is no more reason to be frightened of a lovely page of numbers than of a complicated score, neither is there any need to gape at a beautifully finished drawing with the awe befitting a magic totem pole. Every code has its advantages and its drawbacks, and the classical code of notation is very accurate and subtle — it is a combination of the other two. It would be just as absurd to give an instrumentalist who knows only his notes a graphical design to read (I am not referring to certain forms of pseudomystical and mystifying regression) as it would be to expect a computer directly to provide scores in traditional notation (unless a special encoder were attached to transform

the immediate binary results into notes). In theory, however, any music can be written down in any of the three codes. This is shown in fig. 3 where, in the table,

N is the note number

T is the point of time, in seconds, when the note starts

H is the pitch in semitones with $+10 \hat{=} A \hat{=} 440$ c/s

V is the slope of glissando, if any, in semitones per second, positive values rising, negative values falling

D is the duration in seconds

I is a number corresponding to a list of intensity forms.

We must never lose sight of the fact that these three codes are only the visual symbols of an aural fact which itself is considered as being a symbol also.

*

We have now unveiled history at least up to a point, and we have given at least some indication of the axiomatic reconstruction of music, so that we might finish our exposé at this point.

However, I should like to close with an example showing the advantage of graphical representation in extremely complex cases. Let us assume that our structures consist of straight lines, i.e. of glissandi e.g. of stringed instruments¹⁶. It might be asked whether the elementary structures are still distinguishable. Fig. 4 shows a regular list of elementary fields which can enter into combination in larger configurations. Better still would be the definition and sequential use of continuous or discreet intermediate gradations between the elements, and the more or less violent passage from the first element to the last would be particularly interesting. Looking at these sound elements more closely, we can also distinguish certain general characteristics which can be varied and combined with these general, basic forms, such as

1. registers (low, medium, high, etc.)
2. overall density (large, small orchestras, etc.)
3. overall intensity
4. variation of timbre (bowed, on the bridge, tremolo, etc.)
5. fluctuations (local variations of the four forms above)
6. general run of the form (transformation into other elementary forms)
7. degrees of order

Concerning point 7, total disorder can have a meaning only if it is calculated to the kinetic theory of gases. No other form of representation is as convenient as the graphical for the study of such forms.

Let us now conversely assume that our structures are discreet, consisting of point sounds such as produced by a plucked string: the procedure just

¹⁶ Cf. my analysis of *Metastasis* in Le Corbusier's *Modulor 2* (1955).

shown for the case of continuous structures can be repeated with the necessary changes (fig. 5), and the 7 points are the same also expect that "4. variation of timbre" will now have to be "(pizz., struck with the wood of the bow, spiccato, etc.)", showing how broad the abstraction is. Moreover, a new dimension can be produced by any combination of continuity and discreetness.

*

In fact music can become a means of expressing philosophy, i.e. the discussion of ideas and their relationship, as well as a means of inventing and proposing them as such¹⁷, a forum for the production, discussion, acceptance or rejection of theses. Thus, by applying every field of knowledge from the logical mathematical and physical disciplines to psychology, music can be transformed into an ideal means of demonstrative and artistic philosophy, as was the case with poetry or prose with Plato or Parmenides, but with the power of abstraction and the imprecision necessary for the greater generality and for the richer interpretation. Music can even be prophetic by reason of its enigmatic aspect.

¹⁷ Cf. *Musiques Formelles* p. 36.

EDITIONS DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
15, Quai Anatole-France, Paris-VII^e

CORRESPONDANCE
DU
Père Marin Mersenne
RELIGIEUX MINIME

Publiée et annotée par Cornelius de WAARD

Édition entreprise sur l'initiative de
M^{me} Paul TANNERY
et continuée par le Centre National de la Recherche Scientifique
avec la collaboration de M. Bernard ROCHOT, Dr ès Lettres

TOME IX

1^{er} Janvier — 6 Août 1640

Ouvrage in-4^o couronne broché, 612 pages, 2 hors-texte

PRIX : 78 F

RAPPEL : Tome V, in-4^o couronne de 644 pages Prix : 39 F
Tome VI, in-4^o couronne de 424 pages Prix : 28 F
Tome VII, in-4^o couronne de 476 pages Prix : 51 F
Tome VIII, in-4^o couronne de XII-788 p. Prix : 100 F

En s'arrêtant au 6 août, ce volume compte 612 pages. Il en eût fallu plus de mille pour l'année entière. Cette coupure insolite est due à une lettre de Descartes qui ne peut se séparer de celles de fin juillet. Mais toute coupure est forcément arbitraire. Le changement de millésime place au début de ce volume des lettres échangées avec les Anolais Haack et Pell qu'il faudrait lire avec celles de la fin de 1639. Cette correspondance, d'ailleurs, s'interrompt en mai, sans apparence de raison. Des lettres de Digby et Cavendish accompagnant celle-ci montrent Mersenne introduit en Angleterre les travaux de Desargues et de Pascal sur les coniques, les recherches couronnées de succès de Roberval, Descartes et Fermat sur la cycloïde (dont le nom apparaît pour la première fois, dans des documents écrits de la main de Mersenne). Mais le volume s'ouvre sur un portrait de Comenius, le grand pédagogue slave, peu connu en France, qui répond à une lettre de Mersenne, de trois mois antérieure : la réponse ne partira que plusieurs mois après. Cette correspondance passe par Londres pour atteindre la Pologne : d'où sa lenteur. Avec l'Italie et la Hollande, c'est plus facile. Doni est fidèle à sa musique, comme Bannius à la sienne. Le Père Kircher reçoit à Rome des nouvelles sur la variation de la déclinaison magnétique observée à Londres, Paris, Avignon, Aix et Digne. Descartes et Huygens reçoivent les mêmes informations en Hollande. Le dernier s'intéresse à tout, mais pense surtout à la pratique, celle des fontainiers et des quisatiers, à ce moment-là, et aussi celle des musiciens. Ce puissant personnage transmet beaucoup de lettres, notamment à Descartes, à Voetius et à Rivet. Les mathématiciens français, Descartes, Fermat, Frenicle de Bessy, égarent leur curiosité vers les carrés magiques : Mersenne les collectionne jusqu'en Angleterre, et invite ses correspondants à calculer les « nombres de Mersenne » (*i.e.* nombres premiers de la forme n^2-1). Des personnages peu connus surgissent : le P. Vatiér, le P. J. Morin, le P. Octou, le P. Geoffroy. Mais voici la troisième et dernière lettre de Mersenne à Galilée, qui jamais ne répond lui-même, bien que Mersenne parle à tout le monde de lui, et soit en relation avec ses amis Castelli, Cavaliere et Diodati. Enfin, Deschamps, de Bergerac, médecin et atomiste, mérite une mention spéciale, ainsi que ses amis Brun et Jean Rey. Le P. Lacombe, de Blaye, a des idées métaphysiques qui font penser à Descartes. Et ce dernier, dont les longues lettres sont cette année un peu moins nombreuses, demeure de loin le plus intéressant des correspondants : car si parfois il effleure ou dédaigne les questions, il lui arrive aussi de préciser sa pensée, et de se livrer plus qu'il ne fait dans ses grands textes. Et son mépris pour quelques sujets est également significatif. Certaines de ses lettres déjà connues comportent ici des détails nouveaux. Mais le médecin de Sens, Villiers, auquel Mersenne a fait lire Descartes, s'étend plus longuement encore, et parfois se mesure avec Descartes lui-même à propos des « esprits animaux » et de la glande pinéale (dont parle aussi un autre médecin, Meyssonnier, de Lyon). Mais Descartes demeure sceptique devant l'atomistique et le sel alchimique. Villiers est aussi musicien, et discute du système de notation de Le Maire, que l'on trouve en Appendice. Un autre Appendice signale comment Mersenne introduisit les mots Roulette, Cycloïde et Trochoïde, ce dernier propre à Roberval, et le premier alors plus fréquent que le second, resté seul aujourd'hui en usage.

This ninth volume of correspondence stops on the sixth of August 1640, and it already takes 612 pages. One thousand pages would have been necessary to fill

the year. That unusual cut is owing to a letter by Descartes, which cannot be set apart from the letters he wrote in the end of July 1640. But a cut is always arbitrary, inevitably. The change of year places at the beginning of this volume a few letters to Haack and Pell which should be read with the letters written at the end of 1639. That correspondence eventually came to an end in May, without any known reason. Hitherto unpublished letters by Digby and Cavendish are joined to the above mentioned : they show how Mersenne introduces in England Desargues's and Pascal's works on the conics, Roberval's, Fermat's and Descartes's successful researches regarding the cycloid (the name of which appears for the first time in documents written by Mersenne himself). The volume opens with a portrait of Comenius, the great slavonic pedagogue, of little renown in France, who answers a letter which Mersenne had sent three months before. Mersenne's answer to Comenius's letter will not leave France before several months. This correspondence passes through London before it reaches Poland, and then comes back, which explains the delay. With Italy and Holland, it is easier. Doni holds to his musical theory, and Bannius to own. Father Kircher in Rome receives news of the variations of the compass, as observed in London, Paris, Avignon, Aix and Digne. Descartes and Huygens receive the same informations in Holland. The latter is interested in every subject, but turns his mind to practical applications and questions relating to the craft of fountain-makers and well-sinkers in those days, and of musicians as well. That prominent personage transmits many letters he receives to Descartes, Voetius and Rivet, among others. The French mathematicians Descartes, Fermat, Frenicle, de Bessy let their attention wander over magic squares. Mersenne collects them, endeavours to find unknown specimens in England and asks all his correspondents to calculate "Mersenne's numbers" (*i.e.* prime numbers of the type n^2-1). People who are little known come into view: Father Vatiér, Father Octaul, Father Geoffroy. Then we find Mersenne's third and last letter to Galilei, who never answers himself, although Mersenne speaks of him to everybody, and communicates with Castelli, Cavalieri and Diodati, who are Galilei's friends. Finally, Deschamps in Bergerac, a medical doctor and an atomist, deserves a special mention, as well as his friends Brun and Rey. Father Lacombe in Blaye has metaphysical views which remind us of Descartes. The latter, whose long letters are a little less numerous than in other volumes remains the most interesting correspondent by far: if he but touches lightly or even despises some topics, he happens to express his thought more explicitly than in other writings, famous as those may be. And his contempt for certain topics is significant too. Some of his letters — though published already — contain here a few details which are new. Meanwhile, Villiers, a medical doctor in Sens, whom Mersenne familiarizes with Descartes's works, expatiates on undecided questions and even tries conclusions with Descartes himself about the "animal spirits" and the pineal gland (a subject also tackled by Meyssonnier, another medical doctor in Lyons). But Descartes remains sceptical before their atomist views upon alchemistic salts. Villiers is a musician too and criticizes Le Maire's system of musical notation, to be found in the Appendix. Another article in the Appendix explains how Mersenne brings in the words Roulette, Cycloid and Trochoid to designate the same curve. The last one was coined by Roberval. The first one was more frequent than the second in Mersenne's days. But the second one only is used at present.

ÉCOLE PRATIQUE DES HAUTES ÉTUDES
SORBONNE — IV^e SECTION

SCIENCES HISTORIQUES ET PHILOLOGIQUES

Répertoire
DE
Manuscrits Médiévaux

CONTENANT DES NOTATIONS MUSICALES

sous la direction de

Solange CORBIN

I. — BIBLIOTHÈQUE SAINT-GENEVIÈVE — PARIS

par

Madeleine BERNARD

Ouvrage in -4^o copuile, 162 pages, 26 planches hors texte
relié toile

PRIX : 38 F

EDITIONS DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

15, Quai Anatole-France, Paris-VII^e

New York Philharmonic Hall*

Verbesserte Akustik nach Umbau

von

HAROLD C. SCHONBERG

Nach vier Konzertsaisons — und einigen Millionen Dollar — hat die Philharmonic Hall ein neues Aussehen bekommen, optisch wie akustisch. Die jüngste Renovierung, die gerade rechtzeitig zur Saisonöffnung fertig wurde, kostete über \$ 330 000. Die letzte Renovierung war auch ein drastischer Versuch in dieser Richtung. Man bemerkte wohl die akustische Verbesserung, aber auch einige Probleme, die jedem Verbesserungsversuch trotzten. Die Arbeit wurde von dem deutschen Akustiker Heinrich Keilholz geleitet, der es mit einer stattlichen Anzahl von Problemen aufnehmen mußte.

Schon bei der Eröffnung des Saales am 23. September 1962 war es klar, daß sich die Stadt New York in eine Katastrophe gestürzt hatte. Sehr bald wurde Leo Beranek seines Amtes als beratender Akustiker enthoben. Einige Fachleute wurden befragt und die Bell Telephone Laboratories wurden für die akustischen Verbesserungsarbeiten engagiert. Man kam zu dem Schluß, daß die Bühne ersetzt werden mußte und daß Klangstreuer auf die Seitenwände montiert werden mußten. Hier sieht man nun gebogene Holzgestalten, die praktisch die ganze Fläche bedecken. Holztäfelung wurde auch eingearbeitet, die Bestuhlung wurde ersetzt und im Parkett wurden die Teppiche entfernt. Außerdem sind jetzt die Wände nicht mehr dunkelblau, sondern das Farbschema der Bühne wurde auf den ganzen Saal übertragen, denn die Musiker beklagten sich, daß das tiefe Blau einen deprimierenden Effekt hatte. Jetzt scheinen sie mit der neuen New York Philharmonic Hall sehr glücklich zu sein. Sie haben das Gefühl, daß der Saal nicht mehr so riesengroß aussieht.

Auch mit dem Klang sind sie im allgemeinen zufrieden. Die Orchesterspieler behaupten, daß sie sich nun zum erstenmal klar hören können. Was aber ein Orchesterspieler oder der Dirigent auf der Bühne hört, ist eines, und was das Publikum hört ist u. U. ein anderes. Doch stellte man in den inzwischen verflossenen 14 Tagen allgemein eine Verbesserung fest.

Der Klang ist weicher und runder, hat gleichzeitig mehr Präsenz. Der Baß ist lauter und steht in einem besseren Verhältnis zu den anderen Gruppen. Viel von der HiFi-Qualität, welche vorher einen klaren, aber

New York Times, 14. 10. 1965

harten Klang auf Kosten einer guten Baßgrundlage entstehen ließ, wurde beseitigt. All dies ist ein großer Gewinn.

Jedoch gibt es noch ein ärgerliches Echo in vielen Seitenplätzen. Wohl vermindert, bleibt trotzdem ein starker Rückwurf von der Rückwand der obersten Galerie während eines Trompetenstaccatos oder eines scharfen Rhythmus der Militärtrommel. Hier ist vermutlich das Problem einer noch verbleibenden ungleichmäßigen Klangverteilung zu lösen.

Anscheinend ist auch der Nachhallverlauf nicht konstant. Bei bestimmten Frequenzen weilt der Klang lange genug, um mit dem nachfolgenden Akkord zusammenzuprallen, obwohl dieses nicht mehr so hervorsteht und nicht mehr viele Zuhörer stören wird.

Weil der Saal sehr lang im Verhältnis zur Breite ist, sind die hinteren Plätze mit einem psychologischen Problem behaftet, denn sie sind so weit weg von der Bühne und die Musiker sehen so winzig aus, daß man meinen würde, der Klang sei dünn, während die Akustik von der obersten Galerie nach wie vor die beste vom ganzen Saal ist. (Unter den Galerien ist der Klang allerdings etwas gedämpft, aber von diesen Sitzplätzen gibt es ja zum Glück nur wenige.)

Wie dem auch sei, sind die New Yorker Philharmonie und Lincoln Center for the Performing Arts zu jeder evtl. noch notwendig gefundenen Arbeit verpflichtet. Jede bisherige Phase hat irgendeine Verbesserung mit sich gebracht und der jüngste Umbau zeitigte ermutigende Ergebnisse. Vielleicht sind bestimmte Mängel schon in den Saal hineingebaut, die man nicht mehr beheben kann, aber die Philharmonie hat versprochen, daß nichts unversucht bleiben wird.

Philharmonic Acoustics*

After Renovations, the Hall's Sound
Is Improved but Problems Remain

by

HAROLD C. SCHONBERG

Four seasons — and some \$1 million — later, Philharmonic Hall has a new look, physical and acoustic. The latest renovations, finished just in time for the season's opening, at something over \$330,000, are the most drastic attempted up to now. Some auditory improvement can be noted, and also some problems that seem to resist treatment. Most of the actual work has been in the hands of the German acoustician Heinrich Keilholz. He was faced with a considerable set of problems.

When the hall was opened on Sept. 23, 1962, it was immediately apparent that New York was faced with something little short of a disaster. It was not long after that Leo Beranek, the consulting acoustician, was relieved of his position.

Bell Telephone Laboratories was engaged to do the actual testing. Their conclusion was that the stage had to be redone, and that diffusing elements had to be added to the side walls, which are now covered with curved wooden forms attached over virtually the entire area. Wooden paneling has also been inserted. The original seats have been changed, and the carpets on the auditorium floor removed. No longer are the walls dark blue. The color scheme of the stage has been extended through the house. Musicians had complained that the deep blue depressed them. Now there seems to be general happiness among the musicians of the New York Philharmonic.

As for sound itself, most musicians are happy. Members of the orchestra say that for the first time they can hear themselves with clarity. But what a musician or conductor on stage hears, and what the audience hears, can be two different things, but in about two weeks of living in the new hall, preliminary estimates indicate that there indeed is an improvement.

Sound is mellower and smoother, with more presence. Bass has been brought up, and now its relation with the other choirs is good. A good deal of the hi-fi quality—that former sharpness and clarity, to the detriment of a firm bass — has been eliminated. All this is a most positive plus factor.

New York Times, October 14, 1965

But from many side locations the echo can still be annoying. It has been reduced, but when trumpets are engaged in staccato play, or when the snare drum is tapping, there is a heavy rebound from the rear of the top terrace. One would also guess that there still remains the problem of an uneven dissemination of sound.

It seems that the decay rate is not constant. At certain frequencies sound has a tendency to linger and clash with the ensuing volley of sound. Admittedly this is not as prominent as it used to be, and not many will notice it.

Because of the unusual length in relation to its width, Philharmonic Hall presents listeners in rear sections with a psychological hazard.

Since they are so far removed from the stage, and since the musicians look so small, there is a tendency for listeners to imagine that the sound is thin. As a matter of fact, the sound in the top terrace of Philharmonic Hall remains the best in the house. Under the terraces the sound is somewhat muffled. Fortunately there are relatively few seats in Philharmonic Hall under the terrace overhangs.

In any case, the New York Philharmonic and Lincoln Center for the Performing Arts are fully committed to continuing whatever work may be found necessary. They feel that each phase so far has brought some kind of improvement, and have been greatly heartened by the results of the most recent renovations. It may be that certain disabilities are built into the hall, and in that case nothing can be done. But the Philharmonic is now on record as saying that anything that can be done to improve the hall will be done.

III. BIENAL AMERICANA DE ARTE

Centro de Musica experimental Universidad Nacional de Cordoba
Argentina

The Experimental Music Center was formed in 1965 by the Arts School of the University of Cordoba, as an institution that would unite and aid the efforts of experimental musicians, in electracoustics as well as in the field covering new instrumental possibilities.

During 1966 work has commenced for the installation of an electroacoustic Laboratory.

This Center is also organizing the First American experimental Music meetings, during the III BIENAL AMERICANA DE ARTE.

FIRST AMERICAN EXPERIMENTAL MUSIC MEETINGS

PROGRAM

- First day Morning: "Musician's Attitude to Experimental Music"
 Afternoon: Concert
- Second day Morning: "The Formal Problem"
 Afternoon: Concert
- Third day Morning: "The sound Material Problem. The Problem of Language"
 Afternoon: Concert
- Fourth day Morning: "Relationship between Plastic Arts and Music"
 Afternoon: Concert

WORKS MAY BE SUBMITTED UNTIL JULY 15, 1966

MATERIAL RECEIVED WILL BECOME PART
OF THE EXPERIMENTAL MUSIC CENTER

TAPES AND/OR SCORES SHOULD BE SENT TO:

Bienal Americana de Arte
Cassella de correo 8
Cordoba, Argentina

ORCHESTRA SINFONICA SICILIANA
PALERMO

5 e 6 maggio 1967

CONCERTO SINFONICO

diretto da

HERMANN SCHERCHEN

Programma

KARLHEINZ STOCKHAUSEN

Punkte 1952/62 für Orchester

GUSTAV MAHLER

V. Sinfonia

Die Gehörmechanismen und das begrifflose Zählen

von

ALAIN DANIELOU

Sucht man auf einer Saite Töne, die zur Grundlage einer musikalischen Sprache dienen können, so entdeckt man, daß gewisse Punkte Töne ansprechen, welche besondere Bedeutung haben: *Oktave* und *Quinte* treten gewissermaßen als natürliche „Grund-Intervalle“ auf. Weichen sie auch nur gering von den Punkten ab, die ihnen zugrunde liegen, so scheinen sie „falsch“, „nicht angenehm“ und „uninteressant“ zu werden. Indessen: Während die etwas zu tiefe Quint falsch klingt, nehmen die „übermäßige“ Quarte oder die „reine“ Quarte den Charakter neuer Elemente an, die völlig verschieden sind von der Quint infolge ihres expressiven Charakters und ihrer ästhetischen wie emotiven Wirkungen.

Diese Feststellung hat die Musik-Theoretiker immer beeindruckt. Sie beobachteten, daß den „richtigen“ Intervallen Faktoren entsprechen, die in bestimmter Beziehung zu den Frequenzen stehen. Diese experimentell gefundene Tatsache wurde dann systematisiert und physikalisch und numerologisch interpretiert. Da die Theorien der Mehrzahl der Fälle genügten, paßte man ihnen auch andere Erfahrungstatsachen an, um zu einfachen und scheinbar logischen Systemen zu kommen, wie z. B. „Quintenzirkel“ und „temperierte Stimmung“. Diese Anpassungen haben die musikalische Erziehung beeinflußt, das Ohr systematisch an „falsche“ Intervalle gewöhnt und auf die musikalische Konzeption eingewirkt. Basierend auf der „temperierten Stimmung“ glauben heute viele Musikologen, daß zwischen Intervallen und psychologischen Faktoren keine Beziehungen bestehen können und daß die Assoziation gewisser Gefühle und Ideen mit Klangproportionen bloßer Konvention entspringen. Messungen mit modernsten Instrumenten an Aufnahmen emotionell von der Musik erfaßter Violinisten und Sänger ergeben, daß diese ohne Ausnahme die gleichen, natürlichen „Intervalle“ anwenden, welche die Inder, die Perser gebrauchten, und die gewissen psychologischen Konstanten zu entsprechen scheinen.

Das Ohr nimmt alle ankommenden Geräusche und Klänge innerhalb bestimmter Grenzen von Tonhöhe und Lautstärke wahr; der Gehörnerv vermittelt sie in verschlüsselter Form dem Gehirn, welches sie auswertet. Wenn wir wissen wollen, wie die Intervalle wirken, müssen wir diesen Übertragungsschlüssel und die Auswertungsmöglichkeiten des Gehirns kennen. Diese beiden Vorgänge der Übertragung durch die Nerven und der Aus-

wertung durch das Gehirn hängen von Zahlenverhältnissen ab bis zur Zahl 6, der Grenze des begrifflosen Zählens. Aber auch die Vielfachen der ersten vier Primzahlen 1, 2, 3, 5 „zählen mit“, wie wir auch unmittelbar nicht nur ein Dreieck oder Quadrat sondern auch eine Gruppe von z. B. drei Dreiecken oder vier Quadraten erkennen können. Die optische Wahrnehmungübertragung entspricht ziemlich genau der akustischen, sodaß man den optischen Nerv zum Ohr und den Gehörnerv zum Auge leiten kann.

Das aufmerksame Studium emotiver Wirkungen gewisser Intervalle führt auf ein anderes Phänomen: Gewisse Typen von Klangverhältnissen scheinen in sich selbst „traurig“, „froh“, „pathetisch“, „zart“. (Übrigens haben Typen gleichen Charakters innerhalb verschiedener Klangwahrnehmungs-Regionen auch analoge emotionelle Charakteristiken.) Davon weiß der europäische Musiker gewöhnlich nichts, denn er benützt als Grundlage neutrale und ungenaue Frequenz-Proportionen, welche ihn hindern, die genauen Intervall-Verhältnisse der musizierend emotionell erfaßten Violinisten und Sänger zu kennen.

Messungen exakter Intervalle und deren Nachprüfung mit Hilfe experimenteller Instrumente (innerhalb der Grenzen des begrifflosen Zählens) ergaben — und zwar scheint dies die logisch einzig mögliche Erklärung — als expressiv charakteristische Intervalle solche, die auf numerischen Proportions-Möglichkeiten beruhen, welche charakteristisch sind für die drei Moden der binären, ternären und quinternären Zählung. Jedes dieser Systeme löst eigene Gehirn-Mechanismen aus, die emotionell verschieden wirken. Übertragungen aus dem einen in das andere System entsprechen ungefähr Telephon-Verbindungen über das gleiche Kabel, aber mit verschiedener Modulation. So verstehen wir als für das Ohr verständliche Töne nur Proportionen, welche auf den ersten vier Primzahlen: 1, 2, 3, 5 basieren (die Faktoren von 7 überschreiten die Grenzen des begrifflosen Zählens) während 4 und 6 einfach 2×2 und 2×3 bedeuten). Als Folge der Vorherrschaft einer dieser Faktoren im Verhältnis zu den anderen erhalten wir drei verschiedene Übertragungs-Systeme, welche emotionell und mental verschiedene Wirkungen hervorrufen. So gehören die Quinte ($3/2$) und die große Sekunde ($9/8 = 3^2/2^3$) zur gleichen Gruppe, da sie den gleichen Übertragungs-Schlüssel gebrauchen. 9 als charakteristische Zahl der ternären Zählung wird in ihr geschrieben 100, während 9 für die binäre und quinternäre Zählung bedeutungslos in der einen zu 1001 und in der anderen zu 14 wird. Verhältnisse wie $5/4$ (große Terz), sowie $25/16 = 5^2/2^4$ (kleine Mollterz) gehören beide zur quinternären Familie. 5 und 25 schreiben sich 10 und 100, aber binär werden sie zu 101 und 11001 und ternär zu 12 und 221.

Die folgende Tabelle vereint charakteristische Zahlen des binären, ternären, quinternären und dezimalen Systems:

Dezimal	Binär	Ternär	Quinternär
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	10	3
4	100	11	4
5	101	12	10
6	110	20	11
7	111	21	12
8	1 000	22	13
9	1 001	100	14
10	1 010	101	20
11	1 011	102	21
12	1 100	110	22
13	1 101	111	23
14	1 110	112	24
15	1 111	120	30
16	10 000	121	31
17	10 001	122	32
18	10 010	200	33
19	10 011	201	34
20	10 100	202	40
21	10 101	210	41
22	10 110	211	42
23	10 111	212	43
24	11 000	220	44
25	11 001	221	100
26	11 010	222	101
27	11 011	1 000	102
28	11 100	1 001	103
29	11 101	1 002	104
30	11 110	1 010	110
31	11 111	1 011	111
32	100 000	1 012	112
33	100 001	1 020	113
34	100 010	1 021	114

Dezimal	Binär	Ternär	Quinternär
35	100 011	1 022	120
36	100 100	1 100	121
50	110 010	1 212	200
64	1 000 000	2 101	224
75	1 001 011	2 210	300
81	1 010 001	10 000	311
100	1 100 100	10 201	400
125	1 111 101	11 121	1 000
128	10 000 000	11 201	1 003
243	11 110 011	100 000	1 433
625	1 001 110 001	212 020	10 000

Messungen in verschiedenen Musiksystemen an Aufnahmen von emotional beteiligten Musikern ergaben als einzig mögliche Erklärung dieser psycho-physiologischen Reaktionen auf Intervalle, daß diese ausschließlich von den Zahlenverhältnissen der Frequenzen abhängen (in gewissen Grenzen unabhängig von der Tonhöhe), daß die zahlenmäßigen Elemente, welche diesen Faktoren entsprechen, übertragen werden nach drei Zählungssystemen, welchen wiederum verschiedene Erregungs-Regionen entsprechen, daß daraus eine Oktavteilung in 52 Töne folgt, so wie sie schon oft vorgeschlagen wurde (besonders durch die Chinesen, wenn auch mit einer theoretisch irrigen Erklärung), daß diese 52 Töne in 5 Familien gruppiert werden können entsprechend den verschiedenen emotionalen Reaktionen. Diese Gruppierung der Intervalle nach dem Ausdruckscharakter ist von den Hindus mehrmals definiert worden als *Shruti-Jati* (Intervall-Familien). Alle diese verschiedenen kleinen Sekunden sind strikte parallel zu den kleinen Sexten und die kleinen Terzen zu den kleinen Septimen etc. Diesen Parallelismen entsprechen genau numerische Gegebenheiten der Beziehungen.

Mit experimentellen Instrumenten durchgeführte Versuche ergaben überzeugende Resultate. Ein in der Konstruktion befindliches elektronisches Instrument wird Musikern wie Musikologen alle expressiven und technischen Möglichkeiten der psycho-physiologischen Klangreihe zur Verfügung

stellen. Die dieser Arbeit zugrunde liegende Theorie ist dargestellt in meiner Abhandlung *Traité de psycho-physiologie et de sémantique musicale* (Hermann, Paris).

Die musikalische Skala, welche man erhält, indem die Beziehungen zugrunde gelegt werden, welche zwischen den Vielfachen der Zahlen 2, 3 und 5 gebildet werden können, ist mit weitgehend genügender Präzision vom Ohr festzustellen, indem es sich auf die Schwebungen stützt.

Es genügt, auf einer gegebenen Tonika eine Serie von steigenden und fallenden Quinten ($3/2$ und $2/3$) aufzubauen, ohne die 5. Potenz zu überschreiten.

Anschließend werden die pythagoräischen großen Terzen, die dabei entstehen (e+ und as) und welche mit der Tonika intensive Schwebungen bilden, verringert, um daraus große harmonische Terzen ohne Schwebungen zu gewinnen (e und as+), die um ein Komma ($81/80$) kleiner sind. Auf diese Terzen werden neue Quinten aufgebaut. (Es ist für europäische Ohren leichter, über große Terzen zu stimmen als über kleine Terzen, die wir als Basis (0) dieser Serien ansehen.)

Indem wir von diesen Terzen aus weitergehen, ergeben uns neue Terzen die Basis anderer Quintenserien.

Der so erhaltene Kreis hat seine Begrenzungen in der fast völligen Identität von Intervallen zweier verbundener Serien von der 4. Quinte ab, die, immer durch das gleiche, kaum wahrnehmbare Intervall von 1,95 cent getrennt, charakterisiert sind durch die Differenz der beiden Limmas $256/243$ und $135/128$.

Auf Grundlage der akustischen Wahrnehmung ist die Stimmung dieser Skala leicht.

Dagegen ist die innerliche Wahrnehmung von einer anderen Art. Die Serien erscheinen dann korrespondierend zu sehr unterschiedenen emotiven Charakteristiken.

Die erste Serie dieser Quinten, die wir Basis-Serie nennen, ist unpersönlich, aber stark und männlich aufsteigend ($3/2$, $9/8$, etc.), passiv und zart absteigend ($2/3$, $4/3$, $16/9$, etc.).

Die Serie der harmonischen Terz (e) (Serie -) ist zart (5 ist im Nenner), freundlich, verliebt.

Die Serie der harmonischen absteigenden Terz (as+) (Serie +) ist fröhlich, unternehmend, aggressiv.

Die Serie - (25 im Zähler) ist pathetisch, traurig, untröstlich.

Die Serie ++ (25 im Nenner) ist grausam, hart, unmenschlich und wird selten in der Musik gebraucht.

Auf dem auf Seite 69 gezeigten „Intervall-Zirkel“ geben starke Linien an, welche Intervalle in der Praxis der indischen Musik gebraucht werden. Veränderungen der Tonika und der Quinte werden nicht angewendet. Da-

"Non-verbal Counting" and the Mechanism of Listening

by

ALAIN DANIELOU

When we experiment with a stretched string to discover sounds which can be used to establish a series capable of providing a basis for a musical language, we find that certain points on the string seem to have particular importance. The octave and the fifth appear to be fundamental "intervals". If a slight deviation is made from the points which correspond to these intervals, the new sounds will seem "false", unpleasant and devoid of interest. If we move further still from these points we discover new regions where the sounds present a different character and where some points again appear to be "just" and others false, displeasing or expressionless. A fifth which is too low seems false, but an "augmented fourth" or a "perfect fourth" are for us elements that are entirely new and different to the fifth as regards their expressive character and aesthetic and emotional effect on the listener.

This verification has always aroused the curiosity of musical theorists. They observed that the intervals which appear to us as "just" correspond to certain ratios and frequency relationships. They attempted to systematize the elements obtained empirically and to interpret them according to data supplied by physics or numerology.

Having discovered theories which seemed to be applicable in most cases they endeavoured to interpret the facts gained through experience in order to obtain simple and apparently logical systems. The best known of these systematizations are the cycle of fifths and equal temperament, but many others also exist. All these systematizations have in their turn influenced musical education, conditioned the ear to intervals which are systematically "false" and reacted upon conceptions of music whenever these did not take sufficiently into account the relationships which exist, or seem to exist, between the intervals and the psychological or emotional reactions they provoke. As a result of a musical education based on equal temperament, many musicologists today believe that connections between intervals and psychological factors do not exist, and that the association of certain sentiments and ideas with sound ratios is purely conventional. But measurements carried out with modern equipment during the performances of violinists and singers when they are emotionally involved in the music show that they invariably return to the same "natural" intervals as Indian or Iranian musicians, and that such intervals therefore correspond to certain unalterable psychological facts. Our ear picks up all sounds or noises within

certain limits of frequency or intensity. These sounds are transmitted along a nervous channel according to a particular code and are analyzed and classified by a cerebral mechanism. It is, therefore, by trying to understand this transmission code and the limitations of the mechanism of mental classification that we can come to some understanding of the facts and the limits of the possibilities of musical intervals.

It appears that the processes of transmission and analysis are connected with ratios employing numerical elements that never exceed the number 6 (the limit of non-verbal counting). Simple multiples of the first four prime numbers, however, can apparently be recognized and classified. This is easy to understand. We at once recognize a triangle or a square, but also a group three triangles or four squares. The phenomena of the transmission of things perceived visually are similar, since it is possible to transfer the nerves serving the organs of vision to the organs of hearing, and vice-versa.

A careful study of the emotional significance of certain intervals discloses another phenomenon. Certain kinds of tonal relationships appear to us to be in themselves sad or gay, pathetic or tender. In addition, types of relationships having characteristics in common in the various regions of tonal perception also possess analogous emotional characteristics. The Western musician is generally unaware of these facts because the music he knows is based on inexact and neutral relationships, and he is therefore not acquainted with the precise measurements of the intervals used by violinists and singers when they are emotionally involved in their performances, and make the music speak.

Through observations made when measuring precise intervals, and with help of experimental instruments tuned according to the possibilities of relationships available within the limits of "non-verbal counting", it can be proposed — at least it seems to be the only logical explanation — that the characteristic expressive intervals are those which are based on ratios between numbers belonging to three modes of numeration: binary, ternary and quinary, and that each of these systems releases different emotional mechanisms in the brain. Transmissions in one or other of the systems are to some extent comparable with telephone communications which travel along the same cable but on different modulations.

We should therefore perceive as intelligible sounds only those whose relationships are based on ratios between the first four prime numbers, 1, 2, 3 and 5 (the factor 7 lies outside the limits of non-verbal counting, and 4 and 6 are simply 2×2 and 2×3). According to which factors predominate and the relations between one category and another, we should have three different systems of transmission which produce distinct emotional and mental effects on the listener.

For example ratios such as the fifth ($3/2$) or the major second ($9/8 = 3^2/2^3$) belong to the same group and employ the same transmission code. 9

is in fact a number characteristic of ternary numeration where it appears as 100, whereas in binary or quinary numeration it is insignificant, being written as 1001 in one case and 14 in the other.

Ratios such as 5/4 (major third) and 25/16 ($5^2/2^4$) belong to the quinary group: 5 and 25 are elements characteristic of quinary numeration where they are written as 10 and 100, while in the binary system they appear as 101 and 11001 and in the ternary as 12 and 221.

Here we give a table of the numbers characteristic of the three systems of numeration, binary, ternary and quinary:

Decimal	Binary	Ternary	Quinary
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	10	3
4	100	11	4
5	101	12	10
6	110	20	11
7	111	21	12
8	1 000	22	13
9	1 001	100	14
10	1 010	101	20
11	1 011	102	21
12	1 100	110	22
13	1 101	111	23
14	1 110	112	24
15	1 111	120	30
16	10 000	121	31
17	10 001	122	32
18	10 010	200	33
19	10 011	201	34
20	10 100	202	40
21	10 101	210	41
22	10 110	211	42
23	10 111	212	43
24	11 000	220	44
25	11 001	221	100
26	11 010	222	101

Decimal	Binary	Ternary	Quinary
27	11 011	1 000	102
28	11 100	1 001	103
29	11 101	1 002	104
30	11 110	1 010	110
31	11 111	1 011	111
32	100 000	1 012	112
33	100 001	1 020	113
34	100 010	1 021	114
35	100 011	1 022	120
36	100 100	1 100	121
50	110 010	1 212	200
64	1 000 000	2 101	224
75	1 001 011	2 210	300
81	1 010 001	10 000	311
100	1 100 100	10 201	400
125	1 111 101	11 121	1 000
128	10 000 000	11 201	1 003
243	11 110 011	100 000	1 433
625	1 001 110 001	212 020	10 000

From measurements made of the various musical systems and based on recordings of musicians when they were emotionally implicated, it follows that the only explanation of the psychophysiological reactions to intervals is:

1. that they depend exclusively on the numerical ratios of the intervals (within certain limits independently of the pitch) as observed by the Greeks, the Hindus, the Arabs and Europeans until fairly recent times;
2. that the numerical elements corresponding to these factors are transmitted according to three systems of numeration which answer to different emotional regions;

3. that this leads to a division of the octave into fifty-two sounds as has often been proposed, by the Chinese in particular, although their theoretical explanation was incorrect;
4. that these fifty-two sounds can be grouped in five categories which correspond to very distinct emotional reactions. This grouping of the intervals according to their type of expression was defined at a very early date by the Hindus under the name *shruti-jati* (families of intervals). For example, the various minor seconds are strictly parallel to the minor sixths, the minor thirds to the minor sevenths, etc. These parallelisms strictly conform to the numerical data of the ratios.

Tests made with experimental instruments yield results that are entirely convincing.

We are now building an electronic instrument which will make available to musicians and musicologists the expressive and technical possibilities of the psycho-physiological scale of sounds, established according to the theory put forward in my *Traité de psycho-physiologie et de sémantique musicale* (Hermann publications, Paris) which will appear shortly.

The musical scale obtained by using the ratios which can be formed from multiples of 2, 3 and 5 can easily be established by ear with sufficient precision, when the tuning is done by the beats.

First one should establish on a given tonic a series of ascending and descending fifths ($3/2$ and $2/3$) without exceeding the fifth power. Then the Pythagorean major thirds (E + and A flat), which produce a sort of rolling beat with the tonic, are altered by one comma ($81/80$) to obtain harmonic major thirds (E and A flat +) without beats.

New series of fifths are established on these thirds (it is easier for Western ears to tune on major thirds than on minor thirds which we indicate as the base (o) of these series).

Starting from these thirds further harmonic thirds are established which form the base of further series of fifths.

The cycle obtained is restricted by the near identity of intervals of two conjunct series starting from the fourth fifth. These are always separated by the imperceptible interval of 1,95 cents, represented by the difference of the two limmas ($256/243$ and $135/128$).

As far as acoustic perceptions are concerned the tuning of this scale is very easy. But to perceive it inwardly is another matter. These series seem to us to answer to very distinct emotional characteristics.

The first series of fifths, which we call the basic series, is impersonal but strong and virile in ascent ($3/2$, $9/8$ etc.), and passive and tender in descent ($2/3$, $4/3$, $16/9$ etc.).

The series on the harmonic third (E), the series - , is tender (factor 5 in the numerator), receptive, loving.

The series on the descending harmonic third (Ab +), the series +, is joyous, enterprising and aggressive.

The series - - (factor 25 in the numerator) is pathetic, sad, distressed.

The series + + (factor 25 in the denominator) is cruel, hard and inhuman. It is rarely used in music.

In the appended table showing the cycle of intervals we indicate the intervals used in practice in Indian music by heavier lines. It will be seen that the modifications of the tonic and fifth are not employed. A very dramatic lowered fourth occurs, however, in the raga Bilaval in the following form:

To represent the different intervals I use the following notation: o diatonic; (-) □ lowered by one comma; (- -) = lowered by two commas; (+) ◇ raised by one comma; (+ +) // raised by two commas.

Note for the recordings

I much regret not to have at my disposal at present an adequate instrument for the demonstration of the intervals based on the 2, 3, 5 numeration system. My experimental instruments have been damaged in transport and the new electronic ones are not ready. To give, however, some idea of the intervals, I am recording a few examples on a small harmonium which is damaged and has an incomplete keyboard of 24 keys. I much apologize for the very bad quality of the recorded examples.

Einführung in die Grundlagen der Schallmeßtechnik

von

W. BÜRCK

III

Die Schallmeßtechnik in der Praxis und die Eigenheiten des Schallfeldes.

Erfahrungsgemäß breitet sich der Schall von der Stelle seiner Entstehung nach allen Richtungen hin durch das „Übertragungsmedium“ Luft aus. Man kann allerdings gut beobachten, daß diese Ausbreitung nicht immer gleichmäßig erfolgt: im Freien z. B. ist die Abnahme der Lautstärke mit wachsender Entfernung von der Quelle eine bekannte Erfahrungstatsache, aber auch die relativ bessere Reichweite in Windrichtung, die größere Abschwächung gegen den Wind. Diese letzteren Erscheinungen sind z. B. darauf zurückzuführen, daß das Schallfeld bei Wind nicht mehr homogen ist, also seine Übertragungseigenschaften irgendwie als Funktion des Ortes ändert. Körperliche Hindernisse auf dem Wege der Schallausbreitung müssen nicht unbedingt die Ausbreitung verhindern: man hört auch um Ecken herum und hinter Gegenständen. Das hängt damit zusammen, daß sich in Luft bei verschiedenen hörbaren Frequenzen f infolge der im wesentlichen frequenzunabhängigen Fortschritzungsgeschwindigkeit c der Schallenergie Wellenlängen λ verschiedener Größe gemäß der Beziehung $\lambda = c/f$ ausbilden, die um Hindernisse ohne weiteres herumlaufen können, wenn diese klein in ihrer Ausdehnung zur Länge der Schallwellen sind. Beugungs- und Brechungseffekte ermöglichen das Hören ohne direkte optische Sicht. Komplizierter werden die Ausbreitungsvorgänge des Schalles, wenn Reflexionen an schallharten Hindernissen auftreten, also z. B. an Hauswänden oder in geschlossenen Räumen.

Bei der Durchführung von Schallmessungen sind aber nicht nur die Vorgänge auf dem Wege von der Quelle zum Empfangsort wesentlich, sondern genauso auch die Eigenschaften der Schallquelle selbst, z. B. ihre Größe, ihre Form und ihr Schwingungszustand, und in gleicher Weise auch die Eigenschaften der Schallaufnahmeeinrichtung. Von der letzteren soll zunächst die Rede sein.

Unser Ohr, das als natürliche Schallaufnahmeeinrichtung primäres Interesse verdient, fungiert im Prinzip als Schalldruckempfänger und würde wegen der relativ zu den Wellenlängen aller hörbaren Frequenzen kleinen Ankopplungsöffnung (Gehörgang) an sich den Schall aus allen Einfallsrichtungen gleich stark ohne Richtungsunterschiede aufnehmen. Durch den Einbau in den Kopf, die Anordnung zweier Ohren in horizontalem Abstand,

den Einfluß der Ohrmuschel usw. wird aber eine spezifisch verschiedene Schallreception erhalten, die z. B. zur Abstandsschätzung und Richtempfindung dient und, technisch gesprochen, eine spezielle Richtcharakteristik darstellt. Für tiefe Frequenzen mit Wellenlängen, die groß zum Kopfdurchmesser sind, ergibt sich eine reine Kugel- oder Rundcharakteristik, während bei zunehmend höherer Frequenz eine wachsende Richtschärfe in Richtung der Achse des Gehörganges entsteht. Soll ein Mikrofon als künstliches Normalohr dieselben Eigenschaften wie das Ohr haben, so müßte es diese Ohr-Richtcharakteristik genau nachahmen, was angenähert im Bereich der technischen Möglichkeiten liegt.

Für praktische Meßaufgaben werden allerdings meist Mikrofone angestrebt, die die Eigenschaft haben, aus allen Raumrichtungen gleich gut zu empfangen, die also ungerichtet arbeiten. Druckempfindliche Mikrofone sehr kleiner Abmessungen haben diese Eigenschaft, während z. B. die sogenannten druckgradienten- oder geschwindigkeitsempfindlichen Mikrofone (Achtermikrofone) ausgeprägte Richtwirkungen mit Zonen sehr geringer Aufnahmeempfindlichkeit aufweisen. Für Schallmessungen werden meist Druckmikrofone mit angestrebter Kugelcharakteristik verwendet.

Die vollkommene Rundcharakteristik des Aufnahmemikrofons für Schallmessungen erleidet allerdings bei den allerhöchsten Frequenzen eine Einbuße, nämlich dort, wo die geometrischen Abmessungen des Mikrofonkörpers nicht mehr genügend klein zur Wellenlänge der Schallfrequenzen sind. Bei Tönen über 1000 Hz etwa wird sich also eine mit der Frequenz zunehmende Bündelung der Aufnahmeempfindlichkeit mit einem Maximalwert in der auf der Membranfläche senkrecht stehenden Mikrofonachse ausbilden, die es empfehlenswert erscheinen läßt, bei Messungen die Mikrofonachse auf das Meßobjekt zu richten. Im Gebiet der Bündelung der Aufnahmeempfindlichkeit bei hohen Frequenzen ergibt sich als Folgeerscheinung ein Druckstau vor dem Mikrofon, der eine Anhebung in dessen Frequenzgang zur Folge hat und elektrisch entzerrt, d. h. wieder kompensiert werden kann.

Bei extrem kleinen Abmessungen des Mikrofonkörpers eines Druckmikrofons, wie es manchmal für Sondenmessungen hergestellt wurde (einige Millimeter Durchmesser), wäre es nicht notwendig, im Schallfeld die Mikrofonachse direkt auf die Schallquelle zu richten; in jeder Stellung würde derselbe Schalldruckverlauf und der gleiche Meßwert erhalten. Leider besitzen solche kleine Mikrofone relativ geringe Empfindlichkeiten, so daß sie nur für ziemlich hohe Schalldrücke verwendbar sind und daher im allgemeinen für Meßzwecke in weiten Lautstärkebereichen ausscheiden.

Wegen der Unabhängigkeit von der Schalleinfallrichtung lassen sich sehr kleine Druckmikrofone nicht nur im ebenen fortschreitenden Schallfeld, sondern auch in Schallfeldern mit willkürlich gemischten Einfallsrichtungen

(sogenanntes diffuses Schallfeld) verwenden, ohne daß ihre Druckeichung sich ändert.

Die normalerweise verwendeten relativ größeren Mikrofone dagegen geben, wenn sie in der Membranachse geeicht sind, also für ein ebenes von vorn einfallendes Schallfeld, im diffusen Schallfeld zu wenig Spannung ab, da infolge des Abfalls der Richtcharakteristik bei höheren Frequenzen die seitlich und von hinten einfallenden Energieanteile weniger bewertet werden. Wenn also in diffusen Schallfeldern gemessen werden soll, so muß auch die Mikrofoneichung im diffusen Schallfeld erfolgt sein bzw. es muß eine frequenzabhängige Korrektur im Meßergebnis angebracht werden, die dem Unterschied zwischen ebenem und diffusem Schallfeld entspricht. Diese Frequenzkorrekturkurve wird durch Messung der räumlichen Mikrofonrichtcharakteristik bei allen Frequenzen gewonnen und ist einer Frequenzgangkorrektur für den Mikrofondruckstau in der ebenen Welle etwa gegenläufig.

In der Praxis kommen rein ebene fortschreitende oder rein diffuse Schallfelder sehr selten vor, man hat es meist mit gemischten Verhältnissen zu tun (halbdiffuse Felder). Deshalb bemüht man sich zur Gewinnung exakter Meßergebnisse möglichst im stark absorbierenden („schalltoten“) Meßraum oder aber im „Nachhallraum“ zu arbeiten, wo die Entstehung rein fortschreitender bzw. rein diffuser Schallfelder am besten gewährleistet ist.

Das Ergebnis der Schallmessung einer Quelle ist außer von den Eigenschaften des Meßmikrofons und den Schallfeldwirkungen in hohem Maße von den Kenngrößen der Quelle selbst abhängig. Die Richtcharakteristik des schallabstrahlenden Gebildes interessiert daher besonders.

Stellen wir uns einen mechanisch im Hörfrequenzbereich vibrierenden und daher schallerzeugenden Körper in Kugelform als einfachst denkbare räumliches Idealgebilde vor, so ist leicht einzusehen, daß bei verschiedenartigen Schwingungszuständen unterschiedlich viel Energie in die verschiedenen Raumrichtungen abgestrahlt werden kann:

1. Eine Kugel, deren Oberfläche vom Mittelpunkt aus gesehen gleichzeitig nach allen Raumrichtungen vorrückt und zurückweicht, also eine sogenannte „atmende Kugel“, mit dem Fachausdruck als „Strahler nullter Ordnung“ bezeichnet, besitzt eine reine Rundcharakteristik, d. h. im selben Abstand vor der Oberfläche ist zum gleichen Zeitpunkt gleicher Über- oder Unterdruck im umgebenden Raum vorhanden, und zwar unabhängig von der Frequenz der Schwingbewegung. Eine derartige Anordnung kann z. B. durch einen Luftballon dargestellt werden, der über einem Schlauch im schnellen Wechsel Druckluft erhält, die dann wieder abgelassen wird. Eine Schalldruckmessung ergibt hier bei gleichem Meßabstand von der Oberfläche in allen Raumrichtungen stets gleiche Werte.
2. Eine Kugel, die als solche starr ist, aber in bestimmter Richtung hin- und herwackelt, bewirkt eine Luftteilchenverschiebung nur in ihrer Bewe-

gungsrichtung, aber so, daß in einem bestimmten Zeitaugenblick sich z. B. auf der einen Seite die Luft staut (Überdruck), während zugleich auf der anderen Seite Unterdruck entsteht. Längs des Großkreises in der Ebene senkrecht zur Bewegungsrichtung tritt keine Luftdruckänderung auf, weil die Kugel nur an der angrenzenden Luftschicht entlanggleitet. Eine solche Anordnung, die einer schwingenden Platte (etwa einer starren, kolbenförmig schwingenden Lautsprechermembrane) gleichwertig ist, wird „Strahler erster Ordnung“ genannt. Eine Schalldruckmessung ergibt hier bei gleichem Meßabstand in Bewegungsrichtung des Strahlers maximale Werte, in der Ebene senkrecht dazu Minimalwerte.

3. Strahler höherer Ordnung entstehen, wenn z. B. auf einer Kugel mehrere (paarweise) Oberflächensektoren abwechselnd in Gegenrichtung (Gegenphase) schwingen, etwa bei einer in 4 Teilen geschälten Orange je 2 gegenüberliegenden Schalensegmente aufeinander zu, die beiden anderen gegenüberliegenden voneinander wegschwingen; die beiden Pole der Kugel und vier um je 90° versetzte Meridiane bleiben dann in Ruhe (sogenannte Knotenlinien).

Gleichphasig schwingende ebene Flächen von einer Ausdehnung, die groß zur Luftwellenlänge des abgestrahlten Schalles sind, ergeben im Luftraum vor der Fläche ebene Wellenfronten, die sich von der strahlenden Fläche fortbewegen. Das gleiche Bild ergibt sich auch bei Kugelwellen in einer so großen Entfernung vom Strahler, daß die kugelige Krümmung der Wellenfronten nicht mehr festgestellt werden kann.

Bei den in der Praxis vorkommenden schwingenden Gebilden liegen meist sehr verwickelte Schwingungsformen vor, die noch dazu bei verschiedenen Frequenzen stets anders aussehen; auf den Oberflächen bilden sich die bekannten „Chladnischen Klangfiguren“ aus, d. h. abwechselnde Bezirke von Knotenlinien und Schwingungsflächen. Sind die schwingenden Flächenteile vergleichbar zur Wellenlänge oder größer, so treten Bündelungseffekte ein, die zu verschiedenen Abstrahlungsenergien unter verschiedenen Raumwinkeln führen. So erklärt es sich, daß in der Praxis bei schwingenden Körpern in verschiedenen Richtungen ganz unterschiedliche Meßergebnisse trotz konstanten Meßabstandes erhalten werden können.

Will man die akustische Leistung bestimmen, die ein schallabstrahlender Körper abgibt, so besteht eine der Methoden zur Durchführung der Leistungsmessung darin, daß man in einem Raum, dessen Wände, Decke und Boden vollständig absorbieren (oder im Freien, etwa auf einer Turmspitze ohne reflektierende Gegenstände in der Umgebung) auf der Oberfläche einer gedachten Kugel mit dem schallstrahlenden Gegenstand in der Mitte in sämtlichen Raumwinkeln die Schallintensität mißt und über die Kugeloberfläche integriert. Eine für die Praxis einfachere Methode besteht in der Schalldruckmessung in einem stark nachhallenden Raum, die sozusagen in

einem einzigen Arbeitsgang eine Integration einer großen Anzahl von Meßwerten automatisch vornimmt.

Für die Abschätzung der Regeln, nach denen mit wachsender Entfernung einer Schallquelle der gemessene Schalldruckwert abnimmt, kann man als idealisiertes Beispiel zunächst einen kugelförmigen Strahler sehr kleiner Ausdehnung („punktförmig“ im Verhältnis zu den Schallwellenlängen) annehmen, der in einem hindernislosen, freien Raum oder, was gleichwertig ist, in einem zwar begrenzten, aber mit völlig schallschluckenden Wänden versehenen Raum arbeitet. Hier fließt nach allen Seiten gleichmäßig die Schallenergie mit der Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit senkrecht zur Kugeloberfläche ab. Die Druckwellen laufen in Kugelschalenform nach außen weg, weswegen sich die Durchtrittsfläche für eine bestimmte Energie pro Raumwinkeleinheit mit wachsender Entfernung quadratisch vergrößert: in doppelter Entfernung vom Quellmittelpunkt ist die Durchtrittsfläche viermal so groß, die Energiedichte auf ein Viertel abgesunken. Wegen der Tatsache, daß der Schalldruck der Wurzel aus der Energiedichte proportional ist (genau wie die elektrische Spannung im Verhältnis zur Leistung), nimmt also der Schalldruck mit doppelter Entfernung auf die Hälfte ab. Im Relativmaß dB bedeutet dies eine Schalldruckabnahme von jeweils 6 dB bei Entfernungsverdoppelung.

Besitzt die Quelle in einer bestimmten Richtung merkliche Ausdehnung (groß zu den Schallwellenlängen), so entsteht im Gegensatz zum vorher angenommenen schwingenden „kugelförmigen Punkt“ eine idealisierte unendlich lange Gerade, die Zylinderwellen um sich als Achse verbreitet. Dabei vergrößert sich bei Abstandsvergrößerung die mit Energie durchsetzte Fläche nur proportional zum Abstand, der Schalldruck nimmt also bei Entfernungsverdoppelung nur noch um die Quadratwurzel aus der Energie-reduktion auf die Hälfte, mit dem Faktor $\sqrt{2}$ oder um 3 dB ab. Bei einer sehr ausgedehnten konphas schwingenden Ebene tritt wegen der entstehenden ebenen Wellen überhaupt keine Energieverdünnung pro Flächeneinheit in verschiedenen Abständen ein, die Schalldruckabnahme mit der Entfernung würde theoretisch 0 dB betragen.

Bei nicht konphas schwingenden und ungleichmäßig abstrahlenden Körpern, vor allem Strahlern höherer Ordnung, sind diese einfachen Abstrahlungsgesetze nicht mehr exakt gültig, weil es z. B. bei einer bestimmten Frequenz vorkommen kann, daß sich die Energieanteile von zwei getrennt abstrahlenden Einzelflächen an irgendeinem Raumpunkt in der Nähe aufheben, in größerer Entfernung aber addieren, so daß sogar eine Zunahme des Schalldruckes mit der Entfernung in einzelnen Raumgebieten vorkommen kann. Andererseits vermischt sich solche Effekte, wenn mehrere oder gar viele Frequenzen gleichzeitig abgestrahlt und gemessen werden; bei Breitbandgeräuschen gilt daher ein einfaches Abnahmegesetz wieder mit besserer Näherung auch bei komplizierten Strahlergebilden.

In sehr geringer relativer Meßentfernung im Verhältnis zu den Objekt-abmessungen (z. B. einige Zentimeter) kann das Meßergebnis ebenfalls stark streuen, da schon kleine räumliche Verschiebungen den Wechsel des Wirkungsbereiches von Knotenstellen oder Schwingungsbäuchen herbeiführen können. Die normalen Meßentfernungen betragen gewöhnlich zwischen ca. $1/2$ und einigen Metern, wobei bisher nur in ganz wenigen Fällen Festlegungen auf bestimmte Werte in allgemeingültiger Weise erfolgt sind (z. B. bei der Verkehrsgeräuschemessung auf 7 m, bei Maschinenmessungen auf 1 m Meßabstand).

Bei großen Meßentfernungen (im Freien) ist oft die Luftstrecke nicht mehr als homogenes Übertragungsmedium anzusehen; Temperaturgefälle, Windschichtungen, Feuchtigkeitsgradienten können so starke Verschiebungen und Richtungsänderungen der Schallwellenfronten herbeiführen, daß Meßergebnisse nicht mehr vergleichbar und somit unbrauchbar werden. Dies kann schon bei Meßentfernungen ab etwa 20 m eintreten und ist bei großen Strecken mit Sicherheit zu erwarten (etwa bei Reichweitenmessungen von Signalen und Lautstärkemessungen an Warnzeichengebern).

Befinden sich in Abständen vom strahlenden Objekt oder dem Meßmikrofon, die weniger als etwa dem Drei- bis Zehnfachen der Meßentfernung entsprechenden, schallreflektierende Gegenstände irgendwelcher Art, so treten Rückwirkungen durch Sekundärschall auf das Meßergebnis ein, die manchmal zu Abschwächungen, aber auch häufig zur Verstärkung des Meßschalles führen. Es entsteht ein halbdiffuses Schallfeld.

Mit einer Gesamtpegeländerung allein ist aber die Wirkung von Reflexionen nicht erschöpft. Durch die meist vorhandene Frequenzabhängigkeit der Absorption und des Reflexionskoeffizienten der Rückwurfflächen verändert sich auch die frequenzspektrale Zusammensetzung des Gesamtschalles.

Allein das Vorhandensein der Bodenfläche in einem sonst freien Raum ist deutlich bemerkbar, wenn Schallquelle oder Meßmikrofon sich in dessen Nähe befinden. Weit unangenehm ist es aber, wenn mehrere reflektierende Flächen in solcher Anordnung vorhanden sind, daß zwischen (annähernd) parallelen Flächen Flatterechos oder stehende Wellen auftreten, wie es z. B. in engen Straßen oder in allen geschlossenen Räumen mehr oder weniger der Fall ist.

Für die Schallmessungen in Räumen, auch wenn diese verhältnismäßig stark gedämpft sind, ergibt sich stets ein ziemlich unübersichtliches Durcheinander von Stellen geringeren oder höheren Schalldruckes, wenn tonähnlicher Schall vorhanden ist. Die durcheinanderlaufenden Wellenzüge aus den verschiedenen Reflexionsrichtungen mit verschiedener Amplitude bilden ein sehr kompliziertes Feld von fortschreitenden und stehenden Wellenzügen, das sich einer Abschätzung seines Verlaufes oder gar einer genaueren Berechnung entzieht. An direkt benachbarten Meßstellen im Raum können

je nach „Halligkeit“ des Raumes Pegelunterschiede der Größe 5 bis zu etwa 20 dB auftreten, so daß für die Gewinnung eines mittleren Pegelwertes eine große Anzahl von Einzelmessungen durchgeführt und das Mittel daraus genommen werden muß. Übrigens entsteht bei der üblichen rechteckigen Form der Räume (Parallelepiped) in der Nähe der reflektierenden Begrenzungen eine Schalldrucküberhöhung, z. B. von 3 dB an den Wandflächen, von 6 dB an Kanten (Zusammenstoßen von 2 senkrecht aufeinanderstehenden Wandflächen) und von 9 dB in Raumecken (Zusammenstoßen von 3 jeweils senkrecht aufeinanderstoßenden Wandflächen).

Günstiger ist es, wenn das Spektrum des durch Messung zu erfassenden Schalles nicht nur aus einer oder wenigen Spektrallinien besteht (also Ton- oder Klangcharakter besitzt), sondern sich einem breiten und kontinuierlichen Spektrum (Rauschcharakter) nähert. Durch die Überlagerung vieler und dicht benachbarter Frequenzen ist die Ausbildung definierter stehender Einzelwellen unmöglich, weil auch die Raumstellen der Minima und Maxima statistisch streuen und sich durch Überlagerung verwischen. Je kontinuierlicher und breitbandiger also das Schallspektrum ist, um so gleichmäßiger ist auch das Schallfeld, um so weniger schwanken die Meßwerte von Ort zu Ort und um so weniger Messungen müssen durchgeführt werden, um einen brauchbaren Mittelwert zu erhalten.

Kommt zu einem breiten Schallspektrum noch ein stark nachhallender Raum mit einer Formgestaltung, die eine gute Durchmischung aller Reflexionsrichtungen (hohe Diffusität) bewirkt, so werden die Unterschiede der Schallpegelwerte von Ort zu Ort immer geringer, um im Idealfall einer völlig gleichmäßigen Energieverteilung über das ganze Raumvolumen zuzustreben. Hier würde also an allen Stellen der gleiche Pegelwert zu messen sein und ein Pegelabfall mit steigender Entfernung von der Schallquelle überhaupt nicht mehr eintreten.

In den meisten praktischen Fällen gilt das Freifeld-Ausbreitungsgesetz von 6 dB Abfall bei Entfernungsverdoppelung auch bei angenäherter Kugelstrahlereigenschaft der Schallquelle nicht mehr. Die Kontrolle dieses Gesetzes kann unter entsprechenden Voraussetzungen bezüglich der Quelle direkt als Kriterium für die Ausbreitungseigenschaften im Raum benutzt werden. Bei systematischer Vergrößerung des Meßabstandes vom Meßobjekt wirken meist verschiedene Einflüsse auf den Abfall des mittleren Geräusch-Schalldruckes gleichzeitig ein: geht man unmittelbar von der Oberfläche des Lärmerzeugers an irgendeiner Stelle aus, so ist zunächst der Schalldruckabfall recht gering, weil bei Abstandsvergrößerung immer mehr die benachbarten schallabstrahlenden Flächen Einfluß gewinnen, so daß statt 6 dB pro Entfernungsverdoppelung nur z. B. 1 bis 2 dB beobachtet werden; dies ist mit den Verhältnissen bei Lautsprecherkombinationen mit Richtwirkung (Schallzeilen) vergleichbar. In größerer Meßentfernung, die vergleichbar mit den Abmessungen der Schallquelle ist, wird dann der Abfall des Schalldruckes zwar stär-

ker (z. B. 2 bis 3 dB pro Abstandsverdoppelung), erreicht aber wegen des Energierückflusses über die Wandreflexionen nicht den für den freien Raum gültigen Wert. Bei noch weiter wachsenden Meßentfernungen, etwa bei $\frac{3}{4}$ der Raumkantenlänge, strebt der Meßwert häufig einer Konstanten zu, fällt also nicht weiter. In größerer Entfernung besteht natürlich immer zusätzlich die Gefahr, daß weitere Geräuschquellen im Raum, die in unmittelbarer Nahmessung am Objekt noch nicht bemerkt werden, nun auf das Ergebnis Einfluß gewinnen.

Konstante Meßwerte im ganzen Raum unabhängig von der Entfernung und Richtung bezüglich der Schallquelle sind das Kriterium für einen idealen Nachhallraum bzw. ein ideales diffuses Schallfeld. Unter dieser Voraussetzung ist die Messung der gesamten, von einer Schallquelle abgestrahlten akustischen Leistung durch eine einfache Schalldruck- bzw. Schallpegelmessung möglich. Von einer gewissen Entfernung r ab, die als Hallradius bezeichnet wird und angibt, von wo ab das diffuse Reflexionsschallfeld praktisch überwiegt und damit der Schallpegel bei wachsender Entfernung von der Quelle nicht mehr merklich abnimmt, ist die abgestrahlte akustische Gesamtleistung der Schallquelle N_{ka} gleich dem Produkt aus einem konstanten Zahlenfaktor, dem Quadrat des effektiven Schalldruckes p und dem Raumvolumen V , dividiert durch die sogenannte Nachhallzeit T des Raumes, also

$$N_{ak} = \frac{p^2 \cdot V}{T} \cdot 10^{-6} \text{ [Watt]} \text{ oder } = 6,1 \cdot p^2 \cdot A \cdot 10^{-6} \text{ [Watt]}.$$

A stellt die später genauer definierte Absorptionsfläche des Meßraumes dar und wird in Quadratmetern angegeben. Mit dem Zahlenfaktor 10^{-6} kann mit einigen Prozent Ungenauigkeit also die akustische Leistung in Watt bestimmt werden, wenn der effektive Schalldruck in μbar , das leicht ausmeßbare Volumen des Raumes in Kubikmeter (m^3) und die Nachhallzeit in sek. eingesetzt wird. Die Nachhallzeit kann ebenfalls durch eine Schallpegelmessung bestimmt werden, wenn am Ausgang des Meßgerätes ein schnell registrierender Pegelschreiber angeschlossen wird. Eine tönende Schallquelle wird dann plötzlich abgeschaltet und der registrierte mittlere Schalldruckabfall, der im logarithmischen Aufzeichnungsmaßstab eine schräg abfallende Gerade ergeben sollte, bis zu einem Wert verfolgt, der nur noch 1‰ des Anfangsschalldruckes (also 60 dB Abfall) beträgt. Die Zeitdauer vom Anfangswert bis zum 1000mal kleineren Wert wird als Nachhallzeit bezeichnet.

Zur Messung kann auch ein genügend lang nachleuchtender Oszillograph benützt werden, der in seiner Spannungsanzeige entsprechend geeicht ist.

Der vorher genannte Hallradius (in m), außerhalb dessen gemessen werden soll, bestimmt sich aus der einfachen überschlägigen Beziehung

$$r = \frac{\sqrt{A}}{5}$$

wobei A in Quadratmetern die sogenannte Absorptionsfläche des betreffenden Raumes darstellt, also derjenige Teil der Wandoberfläche, der bei konzentriert zusammengelegter Dämpfungsfläche als 100 Prozent absorbierend für den Schall angesehen werden darf. Auch diese Absorptionsfläche A ist wiederum schnell aus einer Nachhallmessung zu ermitteln, denn es gilt die Beziehung

$$A = \frac{55}{340} \cdot \frac{V}{T} \quad [\text{m}^2],$$

wobei 55 ein reiner Zahlenfaktor, 340 die Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit in m/sek., V das Volumen des Raumes in m^3 und T die Nachhallzeit nach obiger Definition in sek. darstellt.

Soll der Absorptionsgrad (Schluckgrad) von schallverzehrenden Stoffen, etwa Wandbelägen, auf einfache Weise ermittelt werden, so ist die Ermittlung der Absorptionsfläche A vor und nach dem Einbringen der Schluckstoffe eine bequeme Methode, die mit 2 Nachhallzeitmessungen auskommt. Im leeren Hallraum wird die Absorptionsfläche A_0 durch die Nachhallzeit T_0 gemäß

$$A_0 = 0,163 \cdot \frac{V}{T_0} \quad \text{gemessen,}$$

nach Einbringen von F Quadratmetern Schluckbelag mit dem Schluckgrad α erhält man

$$A_1 = A_0 + F \cdot \alpha = 0,163 \cdot \frac{V}{T_1}.$$

So ergibt sich der gesuchte Schluckgrad (vgl. DIN 52 212) zu

$$\alpha = \frac{0,163 \cdot V}{100 \cdot F} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0} \right) \quad \text{in } \%.$$

In vielen praktischen Fällen sind Pegelmessungen oder Frequenzanalysen in vorhandener Umgebung nur für die Beurteilung des jeweils vorliegenden Einzelfalles von Wert, können aber niemals als Beurteilungsgrundlage für die Geräuschquelle selbst oder zu Vergleichen mit ähnlichen Geräuschquellen in anderer Umgebung dienen. Ist man bestrebt, ein objektives Bild vom Geräuschpegel und der Frequenzzusammensetzung des von einem Objekt erzeugten Schalles zu erhalten, so ist also grundsätzlich in jedem Fall die Meßentfernung ziemlich klein zu wählen, wobei evtl. eine größere Anzahl von Messungen unter verschiedenen Raumwinkeln in der Horizontalen und Vertikalen gemacht werden muß.

Die Meßentfernung, die gewählt werden sollte, um von Reflexionen freizukommen, liegt innerhalb des „Hallradius“, ist also stets kleiner als dieser.

Unter Hallradius wird nach den früheren Ausführungen derjenige Grenzzadius um eine Schallquelle verstanden, innerhalb dessen das direkte Strahlungsfeld (mit dem praktischen Kennzeichen maximaler Schalldruckabnahme mit der Entfernung) vorherrschend ist.

Ideal wäre für viele Fälle die Messung in einem Raum, dessen Wände vollständig schallschluckend für alle interessierenden Frequenzen ausgebildet sind: hier gibt es keine Reflexionen und stehenden Wellen, die Ausbreitung von der Schallquelle aus erfolgt ungehindert und als zusätzlicher Vorteil ist die Meßanordnung auch noch gegen Störgeräusche abgedämmt, die von außerhalb kommen können.

Ein wichtiger Punkt bei der praktischen Durchführung aller Schallmessungen ist die Beachtung der von sämtlichen anderen Schallquellen ausgehenden Schallfelder, die mit dem zu messenden Schall nicht zusammenhängen und einen Störpegel (Grundgeräusch, Umgebungsgeräusch) verursachen. Dieser Fremdschall soll nach Möglichkeit eliminiert werden.

Ein Schallmeßgerät als physikalischer Druckempfänger mit einer aus dem Schalldruck abgeleiteten Anzeige ist aber nicht in der Lage, Bewertungsunterschiede nach „Meßschall“ und „Störschall“ zu machen und eine subjektive Selektion anzuwenden, wie sie durch das menschliche Ohr in Verbindung mit Aufmerksamkeit und Willenskonzentration bis zu einem gewissen Grad, allerdings unter einer gewissen Nervenbelastung, möglich ist. Der Grad des jeweils noch zulässigen Störgeräuschpegels bei Messungen richtet sich nur nach der verlangten oder einhaltbaren Meßgenauigkeit.

Aus der beigegeführten Fluchtentafel zur Ermittlung der Gesamtlautstärke bei der Zusammensetzung von zwei gleichzeitig vorhandenen Einzelgeräuschen ersieht man, daß man keineswegs dB-Werte oder Phonwerte addieren darf, sondern sich bei der „Addition“ am einfachsten einer grafischen Darstellung in Skalenform bedient. Zu den in der Tafel als Beispiel angegebenen Skalenwerten darf jeweils ein beliebiger zusätzlicher dB-Wert in gleicher Höhe für die drei Skalen hinzuaddiert werden. Statt 0 dB₁ können wir also jederzeit z. B. 93 dB₁ setzen, müssen dann aber statt 0 dB₂ ebenfalls 93 dB₂ und statt 3 dB_{gesamt} jetzt 96 dB_{gesamt} einführen.

Die unterhalb der obersten Ziffern befindlichen Werte ändern sich analog. Haben wir also ein zu messendes Geräusch mit dem Pegel 78 dB₁ und gleichzeitig ein Störgeräusch von 69 dB₂ (= 78 — 9 dB₂), so erscheint als Gesamtwert beim Ziehen einer Verbindungslinie in der Fluchtentafel der Wert 78,5 dB_{gesamt} (= 78 + 0,5 dB_{gesamt}). Die Verfälschung des Meßresultates beim gleichzeitigen Störgeräusch beträgt also nur 0,5 dB.

Blieben wir stets mit unserem Störpegel 10 dB oder mehr unter dem Meßpegel, so bleibt die Verfälschung des Meßresultates sicher noch geringer als 0,5 dB, ist also für die Praxis vernachlässigbar. Bei der Bestimmung der Werte in einer Gesamtpegelmessung gelten mit praktisch genügender Genauigkeit dieselben Werteverhältnisse, während bei Analysen darauf ge-

achtet werden muß, daß in jedem einzelnen Teilbereich der Filterkanäle jeweils der Störpegel um mindestens etwa 10 dB unter dem Meßpegel bleibt, damit auch die Gestalt der Analysenkurve sich nicht unzulässig verzerrt.

Bei Messungen im Freien ist es neben dem oft störenden Geräusch von Flugzeugen auch in großer Entfernung vor allem der Wind, der zu Falschmessungen führt. Unbemerkt von unserem Ohr bilden sich am Mikrophonkörper in der Luftströmung Wirbel, die infolge ihres extrem kleinen Abstandes von der schallaufnehmenden Mikrophonmembrane zu großen Störspannungen im Gebiet hoher und auch ganz tiefer Frequenzen führen. Schon bei mäßigen Windgeschwindigkeiten, vorzugsweise böigen Charakters, sind darum genaue Messungen unmöglich. Die manchmal für Außenübertragungen verwendeten kugelförmigen Stoffschirme sind als Abhilfe auch nur begrenzt wirksam und stören meist die genaue Kontrolle der Meßentfernung und der Meßrichtung.

Der hohe Störpegel des Arbeits- und Verkehrslärms in dichtbesiedelten Gegenden verhindert heute die Durchführung feinerer Messungen bei niedrigen Nutzpegeln, etwa unter 50 dB, während der Arbeits- bzw. Hauptverkehrszeit, so daß hierfür die Zeit nach Arbeitsschluß oder die Nachtruhe abgewartet werden muß, wenn nicht gut schallisolierte Meßräume zur Verfügung stehen.

Auch nachts bei ruhendem Betrieb ist aber erfahrungsgemäß, z. B. in großen Fabrikhallen, noch ein Störpegel vorhanden, der von Stromversorgungseinrichtungen, Leuchtstofflampen, Werkuhren und auch von fernem Verkehrslärm herrührt. Andererseits muß erwähnt werden, daß die Angaben der meisten veröffentlichten Lautstärketabellen ungenaue Werte enthalten (z. B. ohne jeweilige Meßentfernung) oder auch propagandistisch gefärbt sind, indem sie viele der üblichen und unvermeidlichen Wohn- und Lebensgeräusche viel zu niedrig, andere, z. B. unerwünschte Industrie- und Verkehrsgeräusche, zu hoch ansetzen und damit gerade für die praktische Durchführung von Messungen ein irreführendes Bild über den zu erwartenden Störpegel entwerfen.

Nicht nur bei der gleichzeitigen Berücksichtigung von Stör- und Nutzpegel, sondern auch allgemein beim Vorhandensein mehrerer Geräuschquellen interessieren die Gesetze, die für die Überlagerung mehrerer vorhandener Schallpegel von verschiedenen Quellen her gelten. Man muß dabei unterscheiden, ob es sich um kohärente Quellen handelt, also etwa um Lautsprecher, die gemeinsam, z. B. mit gleicher Phase, gespeist werden, oder um voneinander vollkommen unabhängige Quellen, deren Tonspektrum sich mit statistisch bedingten Phasenverhältnissen überlagert. Im ersten speziellen Fall der Kohärenz, der in der Praxis sehr selten vorkommt, wird am Meßpunkt eine Summation der Schalldrücke unter Berücksichtigung der gegenseitigen Phasenlage eintreten. Zwei Quellen mit gleicher Phase geben dann bei Frequenzgleichheit im gleichen Meßabstand eine Verdoppelung

des Schalldruckes einer Quelle, was einer Vervierfachung der Einzelleistung entspricht; das kommt dadurch zustande, daß durch das gleichphasige Druckfeld der jeweils anderen Quelle der Strahlungswiderstand für die beiden Quellen ansteigt, wodurch eine Wirkungsgraderhöhung eintritt (die Anpassung der schwingenden Quellenmasse an die Luft wird verbessert). Rechnerisch entspricht dieser Schalldruckanstieg auf das Doppelte einem Zuwachs um 6 dB. Hatte also beispielsweise jede Quelle für sich einen Schalldruckpegel von 70 dB oder 70 Phon, so ergeben sich bei gleichzeitigem Arbeiten $70 + 70 = 76$ dB (oder auch Phon, sofern die Kurven gleicher Lautstärke bei dem betrachteten Beispiel bei 70 und 76 Phon noch als parallel zueinander angesehen werden dürfen). Ganz anders verhält es sich im normalen Fall der inkohärenten Quellen, bei denen die gegenseitigen Phasenlagen statistisch streuen und demnach keine gegenseitige Rückwirkung auf die Abstrahlung einsetzt. Hier gilt am Meßpunkt die einfache Energieaddition beider Quellen. Haben wir also zwei gleichstarke Quellen von beispielsweise je 70 dB Pegel, so gilt $70 + 70 = 73$ dB, weil diesmal der Schalldruck am Meßort nur um den Faktor $\sqrt{2} = 1,414$ gegenüber einer Quelle ansteigt; der Schalldruck ist ja der Wurzel aus der Energie proportional, die Energie aber hat sich verdoppelt. Die Erhöhung des Pegels in dB erscheint wegen des angewandten logarithmischen Maßstabes der Zahlenwerte unabhängig vom jeweiligen Absolutwert; bei 2 gleichstarken Quellen gilt also im letzteren Fall genauso $70 + 70 = 73$ dB wie $80 + 80 = 83$ dB oder etwa $26 + 26 = 29$ dB oder $10 + 10 = 13$ dB oder $0 + 0 = 3$ dB gemäß der Fluchtentafel. Man darf also bei der Anwendung dieser Tafel bei den Skalen dB₁, dB₂ und dB_{gesamt} jeweils einen beliebigen, aber für alle 3 Skalen gleichhohen Betrag hinzuzählen.

Will man mehr als 2 Schallquellen pegelmäßig zusammen erfassen, so geht man schrittweise vor: erst ermittelt man für 2 Quellen den Summenpegel gemäß Tafel, dann betrachtet man die Summe als Einzelquelle und nimmt die 3. Quelle als nächste hinzu und so fort. Man erkennt daraus, daß jetzt z. B. 4 gleichstarke inkohärente Quellen 6 dB Zuwachs im Endergebnis ergeben, 8 Quellen 9 dB Erhöhung; eine neunte zusätzliche Quelle erhöht das Endergebnis nur noch um 0,5 dB.

Um in einem Raume, in dem z. B. Schallmessungen durchgeführt werden sollen oder überhaupt größtmögliche Ruhe erwünscht ist, den von vorhandenen Geräuschquellen erzeugten Störschall möglichst klein zu halten, wird oft vorgeschlagen, die Raumwände mit Schluckstoffen zu verkleiden und so eine Absorption des Raumgeräusches zu erreichen. Die mit einer derartigen Schalldämpfung erzielten Ergebnisse entsprechen aber oft nicht den Erwartungen, weil der direkte Schallanteil auf dem Luftweg von der Störquelle zum Meßort dadurch nicht beeinflusst werden kann, sondern nur der an den Wänden reflektierte Anteil mehr oder weniger abgesaugt wird. Die Größe der erreichbaren Lautstärkepegelabsenkung kann aus der Verände-

rung der Raumnachhallzeiten vor und nach der Schallschluckverkleidung der Wände errechnet werden.

Die früher erwähnte Absorptionsfläche A eines Raumes ist ein Maß für die geschluckte Schallenergie in der Wandfläche; umgekehrt wird die wieder reflektierte Energie um so kleiner, je größer die Absorptionsfläche eines Raumes ist. Da nun die Nachhallzeiten vor und nach Wanddämpfung in einem Raum umgekehrt proportional zu den jeweils vorhandenen Absorptionsflächen verlaufen, besteht direkte Proportionalität zwischen der Energiedichte im Raum und der Nachhallzeit. Mathematisch ergibt sich damit als Beziehung zwischen der Schallpegelabsenkung ΔL (in der logarithmischen Einheit dB) und den vor und nach Wanddämpfung gemessenen Nachhallzeiten T_0 (vorher) und T_1 (nach der Wandbekämpfung) in sek.:

$$\Delta L \text{ [in dB]} = 10 \log \frac{T_0}{T_1} = 10 \log \frac{A_1}{A_0}.$$

Eine Verdoppelung der Absorptionsfläche bzw. eine damit verbundene Halbierung der Nachhallzeit ergibt also nur eine Schallpegelabsenkung von 3 dB, die bei mittleren Frequenzen auch einer Lautstärkeverminderung von 3 Phon entsprechen. Um eine Halbierung der Lautheit, also Pegelabsenkung um rund 10 dB zu erzielen, muß die Nachhallzeit auf $1/8$ bis $1/10$ des ursprünglichen Wertes gesenkt werden, was praktisch keineswegs immer erreichbar ist.

Verständlicherweise ist die pegelsenkende Wirkung von schallschluckenden Wandoberflächen stark von den räumlichen Standorten insofern abhängig, als bei großer Entfernung zwischen Störquelle und Meßort, besonders wenn sich letzterer in Wandnähe befindet, eine wesentlich größere Wirkung eintritt, als in der Nähe der Quelle. Eine Schreiberin z. B. wird in einem stark schallgedämpften Raum ihre eigene Schreibmaschine praktisch genauso laut hören wie in einem hallenden Raum, dagegen die Geräusche anderer weiter entfernten Maschinen kaum noch vernehmen, was meist sehr erwünscht ist. Durch diesen Effekt erscheint die Wanddämpfung subjektiv oft wirksamer als sie nach den Meßwerten des Schallpegels erwartet werden kann.

Nach diesen, wenn auch naturgemäß unvollständigen Betrachtungen über Fragen, die in der praktischen Schallmeßtechnik Berücksichtigung erheischen, soll zum Abschluß noch ein summierter Überblick über einige der wichtigsten Meßverfahren und der zu ihrer Durchführung verwendeten Geräte gegeben werden, die gemäß den Beschlüssen der internationalen Normungsorganisationen bevorzugte Anwendung finden sollen. Vor allem die ISO (International Organization for Standardization TC 43) und IEC (International Electrotechnical Commission, TC 29) haben sich auf dem Gebiete der Schallmessung zur Empfehlung von Richtlinien entschlossen, die sicher-

stellen sollen, daß die Versuchs- und Meßergebnisse nach denselben Gesichtspunkten bewertet werden und daher untereinander vergleichbar sind.

Auf der einen Seite sollen Meßergebnisse möglichst irrtumsfrei und einfach gewonnen und in einfacher Weise dargestellt werden können, auf der anderen Seite legt man Wert auf großen Informationsinhalt. Beides zu vereinigen ist kaum in befriedigender Weise möglich. Die sogenannten Einwert-Angaben, etwa eine einzige Zahl als Meßergebnis, sind in der Praxis erwünscht, liefern aber wenig Information. Beispielsweise die Angabe eines dB-Wertes als Schalldruckpegel, eines phon-Wertes als subjektive Lautstärke, einer Zahlenangabe in dB (A) als gemessener objektiv bewerteter Pegel sagt nichts über den Charakter des gemessenen Vorganges aus, etwa über eine Frequenzverteilung der Energie oder über den Zeitablauf.

Für Meßvorgänge, die sehr häufig vorkommen und nur geringen zeitlichen, personellen und gerätetechnischen Aufwand zulassen, sind die Einwertmessungen vorherrschend. Z. B. auch bei der Verkehrsgeräuschmessung, der sich alle oder eine sehr große Anzahl von Kraftfahrzeugen unterziehen müssen, wird neuerdings nach internationaler Vereinbarung die Angabe der „objektiven Lautstärke“ in dB (A) vorgeschlagen (ISO, WG 7).

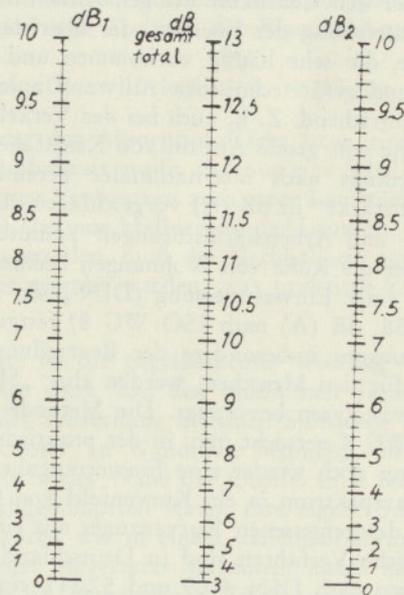
Ob bei Industrie- und Arbeitslärmstörungen zumutbare Grenzen überschritten werden oder die Ruhe von Wohnungen beeinträchtigt wird, kann am einfachsten mit einer Einwertmessung (DIN-phon nach den deutschen VDI-Richtlinien 2058, dB (A) nach ISO WG 8) festgestellt werden. Für genauere Untersuchungen, insbesondere der Beurteilung der Schädlichkeit einer Schallstörung für den Menschen, werden aber „Mehrwertmessungen“ in Form von Oktavanalysen bevorzugt. Die Methode der „Noise Rating Curves“ nach ISO WG 8 versucht nun, in der praktischen Anwendung aus der Mehrwertmessung doch wieder eine Einwertangabe zu machen, indem ein gemessenes Oktavspektrum in ein Kurvenfeld von Grenzkurven gelegt und die Berührung des gemessenen Kurvenzuges mit einer Grenzkurve bewertet wird. Ähnliche Verfahren sind in Deutschland bei bauakustischen Messungen üblich, wo nach DIN 4109 und 52 211 ein Terzspektrum mit einer vorgegebenen Grenzkurve verglichen und gegebenenfalls ein Unterschreitungs- oder Überschreitungswert ausgerechnet wird. Hier wird also aus der umständlicheren, aber informationsreichen Mehrwertmessung für die Abschlußdarstellung ein einziger Wert entnommen, bei dessen alleiniger Angabe die Mehrinformation wieder verloren geht. Für die Vergleichbarkeit der Meßwerte selbst sorgen die Festlegungen der IEC, WG 8, die den Verlauf der Bewertungskurven mit ihren Toleranzen und die sonstigen Eigenschaften der zur Messung verwendeten Geräte international festlegen. Damit hat die Schallmeßtechnik ihren ursprünglich vorherrschenden Charakter einer physikalischen Spezialkunst verloren und ist zu einem brauchbaren Werkzeug in der Praxis des Alltags geworden.

An Introduction to the Fundamentals of Acoustic Measurement

by
W. BÜRCK

III

Practical Acoustic Measurement Technique and the Peculiarities of the Sound Field



We know from experience that sound is radiated from the point where it is produced into all directions through the "medium of transmission", the air. But it is a simple matter of observation that this radiation is not always regular: we all know that loudness decreases as the distance from the sound source increases, at least in the open, while the sound carries further with the wind and not so far against it. This is because when there is a wind the sound field is no longer homogeneous, i. e. its transmission properties depend in some way on the position. Sound radiation is not always prevented by solid obstructions: we can hear around corners and behind objects. One of the reasons for this is that the speed of sound in air c is pretty well constant at all frequencies f so that waves of a length λ are formed keeping to the relationship $\lambda = c/f$ which can run around obstacles without any trouble as long as these obstacles are small compared to the wave-length. Refraction and diffraction effects enable us to hear out of the direct line of sight. This becomes more complicated when there are reflections on hard surfaces such as walls of rooms or houses.

In sound measurement, it is not only what happens to the sound on its way from the source to the point of reception that is important, but the properties of the source itself must be considered, including its size and shape and its state of vibration. No less relevant to this discussion are the properties of the sound receiver, to which we shall devote our attention now.

The primary sound receiver is the human ear. It acts as a sound pressure receiver with a coupling hole (the auditory meatus) which is small compared to all audible wavelengths so as to receive the sound equally well from all directions. A very definite directional characteristic is, however, produced by the fact that the ear is built into a very much larger head, by the auricle, and by the presence of two ears at a certain distance from each other in a horizontal plane. This directional characteristic enables us to judge the direction a sound is coming from and the distance of the source. For low-frequency sounds whose wavelengths are large compared to the size of the head, there is practically no directional characteristic,

i. e. the ear is omnidirectional, but the direction favours the axis of the auditory meatus more and more as the frequency increases. If we wish to design a microphone to be an artificial ear with the same properties as the natural one, we must see to it that it also has the same directional characteristic.

Most measuring procedures, however, require microphones whose sensitivity is equal in all directions, as is the case for pressure microphones of very small dimensions, while pressure-gradient or velocity microphones have a very pronounced directional response in the shape of a figure-of-eight. But even the pressure microphones used for measuring purposes are not perfectly omnidirectional for wavelengths small enough to be of the same order as the microphone's dimensions: above about 1000 c/s the direction perpendicular to the diaphragm surface will be favoured more and more with rising frequency, so that it is advisable to turn the microphone to face the object measured. The very presence of even a small microphone causes the sound pressure to build up in the direction of the sound, for wavelengths of the same order as the microphone dimensions. This emphasizes those frequencies in the microphone response, which must therefore be equalised by suitable filters.

Extremely small microphones, measuring only a fraction of an inch, have occasionally been built for special measurements. These need not be pointed at the sound source as they register the same sound pressure in all directions. As such microphones are rather insensitive, naturally, they can only be used for large sound pressures, but not for general measuring purposes. One of their applications is for measurements in a so-called diffuse sound field, i. e. one with sound coming from all directions at random instead of progressing freely from a single source; in a diffuse sound field, the rather larger microphones with axial calibration normally used give readings that are smaller than would be obtained from an equivalent free progressive field, as they are too unresponsive to the higher frequencies coming from the back and sides. Therefore, measuring microphones to be used in a diffuse field must also be calibrated in such a field, or the correction for such a field compared to a direct field must be known and taken account of. This correction graph is obtained by measuring the microphone's directional properties at all frequencies and is about the reciprocal of the correction for pressure build-up.

Pure direct and pure diffuse sound fields are very rarely met with in practice, where the rather more nondescript conditions of semi-diffuse sound fields are the rule. If possible, measurements are therefore carried out in a specially prepared, acoustically dead room, where a pure direct sound field will be obtained, or in an echo chamber, giving a pure diffuse sound field.

Measurements of a sound source are influenced not only by the properties of the microphone and the acoustic surroundings but by those of the source itself, especially its own directional characteristics. To illustrate this, let us imagine a sphere, as the geometrically simplest solid body, undergoing mechanical vibration in the audible range. The amount of energy radiated in each direction will depend on the way these vibrations are going on:

1. If the sphere is pictured as a balloon whose vibrations are produced by a rapid alternation of air-pressure entering and leaving through a tube, the result will be a sphere whose surface expands and contracts simultaneously and evenly in all directions. This is called a "breathing sphere" or, in technical parlance, a "zero-order radiator" with a perfectly omnidirectional response.
2. If the sphere is a rigid ball swinging to and fro in a single direction like a pendulum, it will push the air in front of it away in the direction it happens to be travelling, resulting in a rise of air pressure at the same moment as the pressure on the opposite side of the ball drops, while there will be no pressure change at all through the whole plane at right angles to the direction of motion. The effect is similar to that produced by a vibrating plate or a stiff loudspeaker diaphragm acting like a piston, and this kind of sound producer is referred to as a "first-order radiator". It has a figure-of-eight directional characteristic.
3. Higher-order radiators are obtained if, for instance, alternating sectors of the sphere's surface vibrate in opposite phase, as would be the case if the two opposite pieces of four quarters of a peel of an orange moved outwards whenever the two other quarters moved inwards. The four meridians at the junctions of the peel segments are at rest and are called "node lines".

Plane surfaces that are large compared to the wavelength of the sound in air and which vibrate completely in phase give plane wave fronts travelling away from the surface. Spherical wave fronts can also be considered plane when the point being measured is far enough from the source for the spherical curvature to be neglected.

In practice, the vibrations of solid bodies are usually very complex and change with the frequency: Chladni's sound patterns, with constantly changing node and antinode areas, are formed on the surfaces. If the vibrating segments are of the same order as, or larger than, the wavelength, complicated directional conditions will result. This explains why practical measurements of one and the same vibrating body can lead to very different results in spite of a constant measuring distance.

The acoustic output of a radiating body can be measured in an acoustically dead room or in the open, say, on top of a tower with no reflecting or echoing objects in the vicinity. The measuring object is then surrounded by an imaginary sphere and the sound intensity is measured at every point on

this sphere and integrated over its whole surface. A more practical method is to measure the pressure in an echo chamber, giving the whole integration automatically by a single measurement.

In what way does the sound pressure decrease as the distance from the source increases? As an idealised example, let us imagine a spherical radiator which is small compared to the smallest wavelength vibrating without interference, i. e. in the open or in a dead room with perfectly absorbent walls so that the sound energy can flow evenly away from and perpendicular to the sphere's surface at the speed of sound. As the wave fronts are spherical, the area through which the sound energy radiated by unit solid angle of the sphere passes, increases as the square of its distance from the centre, i. e. at double the distance the same amount of energy passes through four times the area, so that the energy density has dropped to a quarter. As the sound pressure is proportional to the square root of the energy density (just like the relationship between electrical voltage and power output), the sound pressure is inversely proportional to the distance: it drops to half its value or by 6 dB at double the distance.

Is the source is not a small sphere (or "point source") but has a dimension in one direction which is large compared to the wavelength, this can be idealized to an infinite straight line radiating cylindrical waves. The surface through which the sound energy passes is directly proportional to the distance from this axis and the sound pressure is inversely proportional to the square root of the distance: at double the distance the sound pressure decreases by the factor $\sqrt{2}$ or by 3 dB.

A large plane area vibrating entirely in phase produces plane waves whose energy theoretically remains constant at all distances.

Radiators oscillating not entirely in phase or unevenly, especially those with higher order radiations, do not keep to these simple radiation laws: at any particular frequency it can happen that the energy components due to two segments oscillating out of phase cancel each other at a certain point near the radiator, while they may add at another point a little further away, so that at certain points the sound pressure can even increase as the distance increases. These effects become blurred if several or a large number of frequencies are radiated and measured simultaneously, so that the laws of radiation come close to the simple ones again for wide-band noises, even in the case of complicated radiators.

If the distance of the point measured to the object is small in relation to the latter's dimensions (i. e. a few inches only), the result will again tend to stray as a very small change in position may bring the measuring point into the range of a different node or antinode. Sound radiators are normally measured at distances ranging from 1 or 2 feet to several yards, and in a very few cases these measuring distances have been standardised in Ger-

many, where traffic noise is measured at a distance of 7 metres and engine noise at 1 metre, for example.

When the point of measurement is far from the sound source (in the open), the air in between can no longer be regarded as a homogeneous medium of transmission, as temperature gradients, wind and other air currents and variations in humidity can distort and deflect the wave fronts to such an extent as to make the results quite unreliable. This can occur when the measuring point is as close as 20 yds. to the source and is entirely to be expected for even larger distances such as are used in measuring the range or loudness of warning signals.

If the sound can be reflected by objects situated within 3 to 10 times the measuring distance of the object or the microphone, a semi-diffuse sound field results with all the complications of secondary sound (reflections) which can attenuate or amplify the sound measured. As the reflecting surfaces rarely reflect all frequencies equally, their presence also affects the spectrum of the sound. This already becomes apparent if measurements are being carried out too close to the ground in an otherwise empty space, but the difficulty increases considerably if even approximately parallel surfaces, as are almost always present in narrow streets or rooms, result in flutter echoes or standing waves. In a room, a tonal sound source always produces rather a jumble of sound pressures even if the walls are well damped. The many wave trains of various amplitudes coming from all the reflected directions combine to form a most complex field of progressive and standing waves whose distribution cannot even be estimated, let alone calculated with the least accuracy. Neighbouring points can deliver measuring values differing by as much as 5 to 20 dB, depending on the amount of reverberation, so that the best that can be done is to take the mean of a large number of readings. Apart from that, the usual rectangular room in the shape of a parallelepiped shows a rise of sound pressure amounting to 3 dB near the walls, floor or ceiling, 6 dB near an edge where two such surfaces meet and 9 dB near a corner where three such surfaces meet.

It is much easier if the sound measured is not a musical sound whose spectrum consists of one or only a few lines, but a noise with a broad continuous spectrum. The close spacing of large numbers of frequencies prevents the formation of definite standing single waves as the positions of minima and maxima are statistically scattered and are blurred by overlapping. The more continuous the spectrum and the wider its frequency band, the less will the measurements deviate from place to place, and the smaller will be the number of readings necessary to obtain a usable mean. If the wide-band noise is sounded in a very reverberant room of an irregular shape mixing all reflected direction well (i. e. giving good diffusion), the differences of level from place to place will become smaller and smaller, tending towards perfectly even distribution of energy throughout the volume

of the room in the ideal case: the same level will be measured everywhere — there will be no decrease in sound pressure with increasing distance from the source.

In practice, the sound pressure hardly ever drops by 6 dB when the distance is doubled, even if the sound source is near enough to omnidirectional. Provided the sound source meets certain requirements, the way the pressure drops with increasing distance can be used as a criterion for a room's acoustic properties. As the measuring distance from an object producing noise is systematically increased, the drop in sound pressure is influenced by a number of simultaneous factors: starting at zero distance from the noise producer's surface, the pressure drop is very slight at first as a larger and larger proportion of the vibrating area is included in the measurement — it will be about 1 to 2 dB for double the distance, instead of 6 dB, similar to the effect of directional loudspeaker columns. As the measuring distance reaches an order comparable to the noise producer's own dimensions, the drop will rise to 2 or 3 dB, without however reaching the value of 6 dB calculated for free wave propagation because of the return of energy reflected from the walls. When the measuring distance reaches something like $\frac{1}{4}$ of one of the room's dimensions, the sound pressure will tend to a constant value, with no further drop. Of course, the larger the distance, the greater the danger of the inclusion of extraneous noises in the measurements.

The criterion for an ideal echo chamber (i. e. an ideal diffuse sound field) is constant measuring values independent of the position or direction of both sound source and test microphone. If this condition is fulfilled, the total output of a sound source can be obtained by a single sound pressure level reading. Provided the measuring distance is greater than the reverberation radius r (within which there is too much direct compared to reflected sound so that a diffuse sound field cannot be assumed), the acoustic output N is given by the formula

$$N = \frac{p^2 V}{T} \cdot 10^{-6} = 6.1 p^2 A \cdot 10^{-6} \text{ Watts}$$

where p = effective sound pressure in microbars

V = volume of the room in cubic metres

T = reverberation time in seconds

A = equivalent absorption area of the room (to be defined below), in square metres.

Sound pressure and volume measurements require no further elucidation; the reverberation time is also quite easy to measure if the output of the measuring amplifier is connected to a sound-level recorder with a rapid writing system: if the sound source is suddenly switched off, reverberation will prevent an equally sudden drop in sound pressure in the room, and

the time taken for it to decrease to one thousandth of its original value (equivalent to a 60 dB drop) is defined as the reverberation time. The decrement curve traced by a level recorder working to a logarithmic scale will almost always be a straight line, so that the reverberation time is easily calculated from the slope of this line. An alternative to the level recorder is a calibrated oscillograph which must, however, retain its fluorescence long enough.

The above mentioned reverberation radius r is easily obtained by the equation

$$r = \frac{\sqrt{A}}{5} \text{ metres.}$$

The equivalent absorption A is that area of perfectly absorbent surface, which would absorb sound at the same rate as the whole room, and can be obtained from the reverberation time by the equation

$$A = \frac{55}{340} \cdot \frac{V}{T} \text{ sq. metres}$$

where 55 is a numerical constant and 340 is the speed of sound in air, in metres per second.

The absorption coefficient of a surface material, such as acoustic wall-covering, is easily measured by taking readings of the reverberation time before and after bringing a certain area F of the material into a reverberation chamber and calculating the equivalent absorption of the room without and with the material. If these equivalent absorptions are A_0 and A_1 respectively, it follows that

$$A_1 = A_0 + \alpha F$$

where α = the absorption coefficient.

$$\begin{aligned} \text{Hence } \alpha &= \frac{A_1 - A_0}{F} \\ &= \frac{0.163 V}{100 F} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0} \right) \text{ \%} \end{aligned}$$

$$\text{as } \frac{55}{340} = 0.163$$

In general, sound pressure level measurements or frequency analyses carried out on location are of value only for the particular case in question and do not allow any conclusions to be drawn about the sound source itself or any comparisons to be made with similar sound sources in different surroundings. An objective picture of the level and spectrum of a source can only be obtained from close measurements from various directions, within the reverberation radius; a practical estimate for the latter is the fact that, within it, the sound pressure drop with increasing distance will

be a maximum. Many such measurements should be ideally carried out in a completely dead room, where there will be no reflections and standing waves, conditions being as in the open with the added advantage of the absence of extraneous noise, as this is also absorbed by the walls.

Extraneous noises are in fact an important factor to be considered in all sound measurements, as there is no measuring equipment that can distinguish between wanted noise and extraneous noise as the human ear can, at the expense of some concentration and willpower. While it will never be possible to eliminate all extraneous or background noise, the amount of such noise to be tolerated will depend on the accuracy required or obtainable in the measurements.

The table on p. 90 shows that dB or phon values can by no means simply be added to give the total intensity or loudness of two or more sounds, but that the "addition" must be carried out by means of a graph. The two dB values are added by holding a ruler between the value of dB_1 and that of dB_2 and reading off the dB_{total} . The range of values is only from 1 to 10 dB, but any additional dB value can be added, as long as it is the same for dB_1 and dB_2 : for example we can put 93 dB_1 instead of 0 dB_1 but then we must also put 93 dB_2 instead of 0 dB_2 , and we obtain 96 dB_{total} instead of 3 dB_{total} .

The same procedure is followed in the case of a background noise whose level is *below* that of a given noise. Let us take our signal noise as 78 dB_1 and a background noise of 69 dB_2 : then we add 69 dB (as it is the smaller of the two values) to all the values in the graph and obtain a 9 dB_1 (= 78 - 69 dB_1) signal with a 0 dB_2 noise, totalling to 78.5 dB_{total} (= 69 + 9.5 dB_{total}). This shows that the presence of the disturbance introduces an error of only 0.5 dB into the signal measurement.

It is seen that it is sufficient for the background noise to be at least 10 dB below the noise to be measured for it not to affect the result by more than about 0.5 dB, an error that can be neglected in practice. This is also true for spectral analyses, although it will here be necessary for the background noise to be at least 10 dB below the measured noise within the pass band of each filter used in the analysis.

Measurements in the open are disturbed not only by such noises as are made by distant aircraft for example, but by wind, which creates eddies in the air surrounding the microphone body which are not heard by the ear but can lead to considerable positive errors at both ends of the frequency range as their low intensity is more than compensated by their closeness to the microphone. A very moderate wind is therefore enough to render sound measurements impossible, especially if it is squally. Spherical cloth screens are sometimes used against this, but their value is limited, quite apart from the fact that they make it difficult to control the exact measuring distance and direction.

Factories and traffic make such a noise in densely populated areas nowadays as to make accurate acoustic measurements in the open impossible for sound pressure levels below about 50 dB, at least during working hours and peak traffic periods. The only remedy is to carry out such measurements after hours or at night unless good acoustic measuring rooms are available. However, there is a considerable amount of background noise even at night in such places as large factory halls, due to power plants, fluorescent lighting, clocks and distant traffic. It should also be mentioned that most of the loudness tables published are inexact (one of the most frequent sins in this regard is omission of the measuring distance) or dressed up for propaganda purposes in that many of the usual and unavoidable noises of everyday home life are presented at their lowest possible values, while the undesired industrial and traffic noises are shown at their worst, which makes these tables most misleading if they are used as an estimate of the background noise to be expected in any acoustic measurement.

The laws governing the addition of two or more sounds have other applications as well, apart from the addition of wanted and unwanted sound. Here we must distinguish between coherent sources, such as a pair of loudspeakers operating in phase, and independent sources operating at random phase. Coherent sources very rarely occur in practice: at the measuring point, the sound pressure are simply added, due account being taken of phasing. Two such similar sources will therefore lead to double the sound pressure, which again is equivalent to four times the output. This is because the pressure field due to each source increases the acoustical impedance to be overcome by the other, resulting in improved efficiency (matching is improved between the vibrating surfaces and the air). A doubling of sound pressure is equivalent to a 6 dB rise.

Incoherent sources, which are more usual, have phase relationships subject to statistical scatter so that the radiation efficiency of each source is not affected by the presence of the other source. Therefore it is not the sound pressures but the sound energies that are added at the point of measurement. Two such equally loud sources will therefore result in a 3 dB rise in the pressure level, as the pressure itself is increased by a factor of $\sqrt{2}$ only.

Hence, in the case of two equal coherent sources of a level of, say, 70 dB each, the relationship is $70 + 70 = 76$ dB, whereas if the sources are incoherent, they add up to $70 + 70 = 73$ dB. The increase of 6 or 3 dB is independent of the absolute loudness, i. e. in the case of two equal incoherent sources it is equally true to say, for example, $80 + 80 = 83$ dB, $26 + 26 = 29$ dB, or even $0 + 0 = 3$ dB. More than two sources are added, using the table, by adding two of the sources first, then adding the third source to the total, etc. For example, 4 equally loud incoherent sources sound together 6 dB louder than each individual one; 8 such sources sound

9 dB louder than each of them, while the addition of a 9th source makes only 0.5 dB difference to that total.

In order to keep background noise to a minimum in rooms used for acoustical measurements or where absolute silence is required for other reasons, it is frequently recommended that the walls be covered with absorbent material. While this does of course absorb a good part of the background noise reaching the walls, it has no effect on that part of the background noise reaching the ear or microphone by a direct path, and for this reason the acoustic treatment of rooms often does not come up to expectations. The noise reduction due to the acoustic treatment can be calculated from the change in reverberation time.

The equivalent absorption A of a room is a measure of the amount of sound energy absorbed by the walls, and therefore the amount of energy reflected by the walls will decrease as the equivalent absorption increases. As the reverberation times of a room before and after acoustic treatment are inversely proportional to the respective equivalent absorptions, the energy density in the room is directly proportional to the reverberation time. Hence we obtain the reduction in sound pressure level

$$\Delta L = 10 \log \frac{T_0}{T_1} = 10 \log \frac{A_1}{A_0} \text{ dB}$$

It follows that if the equivalent absorption area is doubled (i. e. the reverberation time is halved), the level will be reduced by only 3 dB. In order to reduce the loudness or level by about 10 dB, the reverberation time must be reduced to about $1/3$ to $1/10$ of its original value, which is by no means easy or even always possible.

Understandably, the noise reduction due to absorbent walls depends very much on the positions of the sound source and the listener: the effect of the absorption will be greater if the distance between the two is large, especially if the source is near an absorbent wall. A typist will hear her own typewriter practically just as much in a treated room as in an untreated one; the effect of the treatment will be to reduce the noise made by the other typewriters, which in fact is the desired objective. Acoustic treatment has therefore frequently a far greater subjective effect than might be expected from the measurements.

This naturally very sketchy description of some of the problems met with practical acoustic measurement might well close with a summary of some of the most important measuring procedures and the equipment used in them as recommended by the international standards associations, especially the ISO (International Standardization Organization, TC 43) and the IEC (International Electrotechnical Commission, TC 29), which have set up certain standards to ensure that the test and measuring results are evaluated in the same way, allowing comparison.

On the one hand, it is desirable for the results to be obtained by simple means and with as little error as possible and that they are expressed by simple means, but on the other it is also desirable for them to contain a maximum of information. These two conflicting requirements can hardly ever be reconciled satisfactorily. The so-called single-value data, expressing a result by a single figure, are very handy in practice but contain very little information. Some examples are a single dB value as sound pressure level, a single phon value as subjective loudness, or a single dB (A) figure as objectively weighted level — but none of these says anything about the type of noise measured, about its frequency distribution of energy or about its elapse in time.

Measurements made *en masse* require great economy as regards equipment and manpower, so that single-value measurements predominate among these. One of them is the measurement of traffic noise, which a large number of, if not all, vehicles must undergo, and ISO standard WG 7 recommends simply stating the “objective loudness” in dB (A).

The question as to whether reasonable noise limits in factories, offices, dwellings, etc. are exceeded can be ascertained by a single-value measurement of DIN phons (German VDI standard 2058) or dB (A) (ISO WG 8). If the values are required to be more accurate, especially if the effect of a certain noise on the health of those disturbed by it is to be determined, “multiple-value measurements” are preferred, generally in the form of octave analyses. The “noise rating curves” method of ISO WG 8 is an attempt to summarize the multiple-value measurement in a single figure again, by comparing the graph given by an octave analysis to a collection of limit curves. Architectural acoustics in Germany are measured by a similar method, in which a set of thirds filter measurements is compared to one of the tolerance curves in DIN 4109 or 52 211, after which an excess value may have to be calculated. Of course, in compressing the multivalued information into a single figure, much of the information is lost. The IEC standard WG 8 contains recommendations for measuring equipment as well as weighting curves with their tolerances, to enable independent measurements to be compared. In this way, the practice of sound measurement has lost its original character as that of a special art of physics and has become a useful tool for everyday use.

O. F. GMELIN

Philosophie des Fernsehens

- INHALT: 1 Phänomenologie des Erfolgs
2 Hydra Fernsehen
3 Modelle der Fernseh dramaturgie
4 Techniken des Manuskripts
5 Dialektik der Form
6 Wort-Ton-Bild-Theorie
7 Programm - Production - Regie
8 Körperschaft - Werbung - Moral
9 Fernsehen als Politik
- Anhang I Vertragsmuster
II Bibliographie
III Liste der Productionen des Deutschen Fernsehens
1953—1965 (1., 2. und 3. Programm — Spiel und
Dokumentation)
IV Stichwort- und Motiv-Verzeichnis zu Spiel- und
Dokumentarsendungen - Regisseure - Autoren

Elektroakustisches Experimentalstudio Hermann Scherchen - Gravesano

27. - 29. August 1966

Computertechniken und Kunst

Musik - Malerei - Dreidimensionaler Film

- Samstag, 27. VIII. 10.30 Computertechnik und Klanggestaltung
14.00 Diskussion (Leitung: Iannis Xenakis, Paris)
17.00 **Johann Sebastian Bach:**
a) Das Musikalische Opfer (neu eingerichtet
von Hermann Scherchen)
b) Goldberg-Variationen (für Kammerorchester
von Joseph Koffler)
- Sonntag, 28. VIII. 10.30 Computertechnik und Bildgestaltung
14.00 Diskussion (Leitung: Prof. Fucks, Aachen)
17.00 **Johann Sebastian Bach:** Die Kunst der Fuge
(neu eingerichtet von Hermann Scherchen)
- Montag, 29. VIII. 10.30 Computertechnik und dreidimensionale Film-
gestaltung
14.00 Diskussion (Leitung: Prof. Zemanek, Wien)
17.00 **Antoine:** „Dieu, est-il pop“? (Film)
Kagel: „Tremens“ . . . (Theater)
Sala: „Rede des toten Christus, daß kein Gott
sei“ (Melodrama)

Gesamtleitung:

Dr. J. R. Pierce (Bell Telephone Laboratories - Hermann Scherchen (Gravesano)
