

WERNER KAEGI

Was ist
elektronische Musik

(1967)

ORELL FÜSSLER VERLAG ZÜRICH



* AK 62/4818

Mit 32 Abbildungen auf Tafeln und 118 Figuren im Text.

ABBILDUNGSNACHWEIS

Die Photos stammen von Baerlocher AG (Nr. 7), Monique Jacot (1, 3), N. V. Philips (6), Karsten de Riese (4, 5), P. Scheidegger (8), Télévision Suisse (2, 31, 32) und vom Verfasser (9-30).

Die Abbildungen und Schemata im Text sind vom Verfasser entworfen und ausgeführt worden.

Für meinen Sohn Heinerich und eine kommende Generation

Muß denn der Mensch an Gewandtheit der Kraft und des
Sinnes verlieren, was er an vielumfassendem Geiste gewinnt?
Ist doch keines nichts ohne das andere!

HÖLDERLIN

Il y a solidarité entre le perfectionnement scientifique et le
progrès de la beauté. Nous donnant des lumières sur la nature,
la science permet à la musique d'aller de l'avant, en signalant
à nos sens des harmonies méconnues, des sensations encore in-
connues. Au seuil de la musique la science et l'art collaborent.

EDGARD VARESE

Inhalt

1. KAPITEL: VORAUSSETZUNGEN

- 1.1 DIE SYNTHETISCHE KLANGERZEUGUNG 14
 - 1.11 Klangerzeugung durch Synthese von Elementarsignalen 14
 - 1.12 Klangerzeugung durch Analyse von Rauschen 14
 - 1.13 Musikalische Auswertung der synthetischen Klangerzeugung 16
- 1.2 DER EINBRUCH DER ELEKTROAKUSTIK IN DIE MUSIK DES 20. JAHRHUNDERTS 18
 - 1.21 Von der Aufführung zur Reportage 18
 - 1.22 Von der Aufführung zur Reproduktion und zur simulierten Aufführung 20
- 1.3 DIE STRUKTURWANDLUNG IM MUSIKLEBEN DES 20. JAHRHUNDERTS UND IHRE FOLGEN
 - 1.31 Industrialisierung der Musik 23
 - 1.32 Seiner Natur widersprechende Verwendung des Musikinstruments 26
- 1.4 DIE ANTWORT DES KOMPONISTEN: EXPERIMENTAL MUSIC 29
 - 1.41 Musique concrète und Tape music 30
 - 1.42 Elektronische Musik 31

2. KAPITEL: TECHNIK DER ELEKTRONISCHEN MUSIK

- 2.1 ALLGEMEINES 34
- 2.2 DER SINUSTON 35
 - 2.21 Hörempfindung und Signal 35

- 2.22 Maßeinheiten des elektrischen Signales 36
- 2.23 Elektrisches Signal, Schall und Hörempfindung 36
- 2.24 Der menschliche Hörbereich 37
- 2.25 Vom Sinuston zum Klang 40
- 2.3 DER KLANG 43
 - 2.31 Akkord, Klang und Sinuston 43
 - 2.32 Der harmonische Klang und sein Aufbau aus Sinustönen 45
 - 2.33 Die Schwebung 48
 - 2.34 Schwebungsfrequenz und Hörempfindung 51
 - 2.35 Rauhe Klänge, geräuschhafte Klänge und Geräusche 54
- 2.4 DAS WEISSE RAUSCHEN 58
 - 2.41 Hörempfindung und Signal 58
 - 2.42 Das farbige Rauschen 58
- 2.5 DER KNACK 61
 - 2.51 Hörempfindung und Signal 61
 - 2.52 Impuls und Sinusschwingung (Signale und Hörempfindung) 64
- 2.6 DIE MODULATION 68
 - 2.61 Der Begriff der Modulation in der elektronischen Musik 68
 - 2.62 Das Einschwingen 69
 - 2.63 Der Nachhall 71
 - 2.631 Der künstlich erzeugte Nachhall 73
 - 2.632 Das künstliche Echo durch Iteration 73
 - 2.64 Spektralmodulation mittels Frequenzumsetzung 74
 - 2.65 Frequenzumsetzer in Verbindung mit Iteration 76
 - 2.66 Der Vocoder 77
- 2.7 SPEICHERUNG UND AUTOMATISCHE STEUERUNG 79
 - 2.71 Die Tonband-Speicherung 79
 - 2.72 Vorübergehende und endgültige Speicherung 79
 - 2.73 Speicherung auf Lochstreifen und automatische Steuerung 85
 - 2.74 Die Partitur 88

- 2.8 DIE WIEDERGABE 93
 - 2.81 Die mehrkanalige Wiedergabe 93
 - 2.82 Räumliche Anordnung der Schallquellen 95
 - 2.83 Die Klangwanderung 97
- 2.9 DER ELEKTRONISCHE SIGNALGEBER 99
 - 2.91 Elektronische und Tonbandmusik 99
 - 2.92 Sensibilisierung des elektronischen Signalgebers 104
 - 2.93 Elektronischer Signalgeber und Computer 106
 - 2.94 Elektronischer Signalgeber und Interpret 107
 - 2.95 Elektronischer Signalgeber, Computer und Interpret 110
- 3. KAPITEL: DIE MENSCHLICHE STIMME ALS MASS DER ELEKTRONISCHEN MUSIK
- 3.1 ALLGEMEINES 114
 - 3.11 Das Beobachten von menschlichen Stimm- und Sprechsignalen 115
- 3.2 SIGNALE MIT HARMONISCHEM SPEKTRUM 116
 - 3.21 Die Signale der Laute m, l, n und ng 116
 - 3.22 Die Signale der Vokale u, o, ɔ, a und ihre Formanten 116
 - 3.23 Abhängigkeit der Vokalklangfarbe von der Grundtonhöhe 122
 - 3.24 Die Sprechtonhöhe 124
 - 3.25 Vom Umfang der Sprechtonhöhe 127
 - 3.26 Die Signale der Vokale ö, ü, ä, e, i und ihre Formanten 128
- 3.3 STIMME UND OHR 131
 - 3.31 Sinusschwingung und Vokalfarben-Empfindung 131
 - 3.32 Stimme und Ohr – Sender und Empfänger 134
 - 3.33 Signalregelung durch Rückkopplung 136
 - 3.34 Signal und Information 138

- 3.35 Die Vokalise und der Übergang harmonischer in geräuschhafte Klänge und Geräusche 141
- 3.4 SIGNALE MIT GERÄUSCHSPEKTRUM 144
- 3.41 Die Signale der stimmlosen Laute s, sch, ach, ich und f 144
- 3.42 Die Signale des Atemhauches und der stimmhaften Laute s, sch, j, ch und w 148
- 3.5 KURZGERÄUSCHE, GERÄUSCHE, KLÄNGE UND INFORMATION 151
- 3.51 Die Laute p, t, k, b, d, g, r und die Anwendung von Sprechsignalen 151
- 3.52 Logisierung und Emotionalisierung 154

4. KAPITEL: FOLGERUNGEN UND AUSBLICK

- 4.1 SPRACHE UND MUSIK 162
- 4.2 ZUR SPRACHE DER INSTRUMENTALMUSIK 168
- 4.3 ZUR SPRACHE DER ELEKTRONISCHEN MUSIK 182
- 4.4 PROBLEME EINER ZUKÜNFTIGEN MUSIK 189


ANHANG

- EINE WERKBESCHREIBUNG 200
- INTERNATIONALE LISTE VON WERKEN EXPERIMENTELLER MUSIK 207

REGISTER

- NAMENVERZEICHNIS 240
- SACHVERZEICHNIS 245

Verwendete Abkürzungen und ihre Bedeutung:

- f = Frequenz allgemein
- Hz = Hertz, Anzahl Schwingungen pro Sekunde
- B = Frequenzband
- FM = Frequenzmodulation
- A = Amplitude allgemein
- db = Dezibel
- μ b = Mikrobar, Maßeinheit für den Schalldruck
- AM = Amplitudenmodulation
- t = Zeit allgemein
- T = Periodenzeit, Verzögerungszeit, begrenzte Zeit
- Δ t = Zeitintervall
- φ = Phase, Phasenwinkel
- V = Verstärker
- LS = Lautsprecher
- SG = Sinusgenerator
- IG = Impulsgenerator
- ReG = Rechteckgenerator
- RG = Generator für weißes Rauschen
- e9 = Tonbandmaschine
- \approx = Aufnahme
-  = Wiedergabe
- N = Hallgitter
- RM = Ringmodulator, Frequenzumsetzer
- M = Mischstufe
- LS = Lautsprecher
- F = Filter
- > = größer als
- < = kleiner als
- ⌋ = impliziert

1. Kapitel

VORAUSSETZUNGEN

Vergleichstabelle für dekadische und duale Zahlen:

Dezimal	Dual
00	00000
$10^0 = 01$	00001 = 2^0
02	00010 = 2^1
03	00011
04	00100 = 2^2
05	00101
06	00110
07	00111
08	01000 = 2^3
09	01001
$10^1 = 10$	01010
11	01011
12	01100
13	01101
14	01110
15	01111
16	10000 = 2^4
.	.
.	.
.	.

1.1 Die synthetische Klangerzeugung



1.11 Klangerzeugung durch Synthese von Elementarsignalen

Die Fähigkeit des menschlichen Ohrs, komplexe Schallreize in ihre einfachsten Teile aufzulösen, ist bereits 1843 vom großen Physiker *Georg Simon Ohm* entdeckt worden. Wenige Jahre später ist es dem als Arzt, Physiker und Physiologen gleichermaßen bedeutenden *Hermann von Helmholtz* gelungen, durch das Zusammenklängen ausgewählter Stimmgabeln künstlich Klänge von verschiedener Klangfarbe zu erzeugen. Damit war ein Verfahren gefunden, das als *Klangsynthese* seither immer weiter ausgebaut und zu großer Vollkommenheit gebracht worden ist. Vom Kristall des Glockenspiels, dem Rauschen der Orgel, vom süßen Schlag der Nachtigall bis zum Brausen, Tosen, Rascheln, Wispern, Wimmern, Brummen, Surren, Pfeifen, Quietschen, Kreischen und Knallen gibt es in der vielfältigen Welt des Hörbaren keine Erscheinung, die man heute nicht künstlich zu erzeugen vermöchte. Allerdings werden nicht mehr die einfachen mechanischen Schwingungen von Stimmgabeln benutzt, sondern die heutige Klangsynthese bedient sich elektrischer Sinusschwingungen und Impulse. Diese werden *Elementarsignale* genannt und können beliebig zusammengesetzt, verstärkt und mittels Lautsprecher in Schall verwandelt werden.

1.12 Klangerzeugung durch Analyse von Rauschen

Akustische Erscheinungen lassen sich gesamthaft nicht nur durch Synthese von Elementarsignalen, sondern auch durch

Analyse künstlich gewinnen. Schon vor vielen Jahren stieß die Nachrichtentechnik, deren stürmische Entwicklung Größe und Gestalt unserer Welt zu verwandeln im Begriff ist, auf die Erscheinung des *Rauschens*, das unvermeidlich auftritt, wann und wo immer Signale an einen Empfänger übertragen werden (Abb. 1.1).

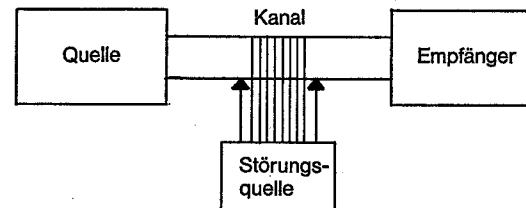


Abb. 1.1 Schema eines Übertragungssystems. Die Übertragung erfolgt durch eine Kette (Kaskade) hintereinander geschalteter Übertragungssysteme. Eine Quelle produziert ein Signal bzw. eine Signalfolge, die über einen Kanal zum Empfänger gelangt. Im Kanal erfahren die übertragenen Signale Störungen (Rauschen), so daß die übermittelte Information am Ausgang derjenigen am Eingang nicht gleich zu sein braucht.

Ob Menschen am Kaminfeuer plaudern, im Freien sich unterhalten oder Ferngespräche führen, ob sie sich im Konzertsaal, über Funk oder Fernsehen Musik anhören, immer geschieht es auf dem Hintergrund von Störgeräuschen. Im Bestreben, dieses unvermeidlich vorhandene Rauschen möglichst gering zu halten, hat die Nachrichtentechnik längst erreicht, was für den im Lärm allmählich erstickenden menschlichen Alltag dringend einer Lösung harret; es sind Verfahren gefunden worden, die das Rauschen in jedem beliebigen Grad abzubauen gestatten. Damit ist gleichzeitig ein Mittel gegeben, das erlaubt, aus vollkommenem Rauschen jedes beliebige akustische Signal durch Analyse zu gewinnen.

1.13 Musikalische Auswertung der synthetischen Klangerzeugung

Bereits im Jahr 1906, zu einer Zeit also, da wohl der Phonograph, aber weder die Elektronenröhre noch der Lautsprecher bekannt waren, hat der Amerikaner *Th. Cahill* der erstaunten Öffentlichkeit eine pfeifenlose mechanisch-elektrische Orgel vorgeführt und mit ihr über eine Fernsprechleitung Konzerte übertragen. Mit diesem Instrument, das 200 Tonnen wog und den Anblick eines mittleren Maschinenhauses geboten haben soll, konnten durch rotierende Profilscheiben elektrische Sinussignale erzeugt und zu vielerlei Klängen zusammengesetzt werden. Vom visionären Komponisten *Feruccio Busoni* freudig begrüßt, war damit eine Entwicklung eingeleitet, die weit über das hinausgeführt hat, was mit elektrischen Tonabnehmern versehene Musikinstrumente wie der längst schon wieder vergessene *Neo-Bechstein-Flügel* oder die siegreiche elektrische Gitarre später zu erreichen vermocht haben. Denn während diese Instrumente – in den dreißiger Jahren gab es auch elektrisch modifizierte Geigen und Violoncelli – nur die bescheidene Möglichkeit bieten, ihre bereits festgelegten, vom elektrischen Tonabnehmer dem Lautsprecher zugeführten Klänge zu verstärken und deren Dauer etwas zu dehnen, war es dem Cahillschen *Dynamophon* Jahre vorher schon möglich, beliebige Schwingungsformen in Klänge zu verwandeln und der Musik damit Klangräume zu erschließen, die den herkömmlichen mechanischen Musikinstrumenten auch bei elektrischer Verstärkung immer verschlossen bleiben werden.

Ein ebenso erfolgreicher wie technisch und musikalisch unbefriedigender Nachkomme der Cahillschen Erfindung, die *Hammond-Orgel*, ist heute allgemein bekannt und wird irrtümlicherweise oft mit elektronischer Musik zusammengebracht. Eine Fülle von weit interessanteren Neuschöpfungen dagegen, so die *Lichtton-Orgel* von *E. Welte* und Instrumente, deren Klänge vollelektrisch mittels Generatoren erzeugt werden (z.B. die *Baldwin-Orgel* und das *Trautonium*), sind so gut

wie unbekannt geblieben oder, wie die *Ondes Martenot*, dem Musikfreund doch nur vom Hörensagen oder aus den Partituren von *Arthur Honegger* und *Olivier Messien* bekannt. Und doch wurden gerade mit diesem und ähnlichen Instrumenten Wege beschritten, die zu einer vielversprechenden Veränderung der Spielweise geführt haben. War den Manualen und Pedalen der herkömmlichen Tasteninstrumente die Aufgabe zugefallen, Muskelkraft mechanisch zu übertragen, so blieben jetzt bloß mehr elektrische Kontakte zu schließen und Schaltknöpfe zu drehen, was mit Bandmanualen und Seilzügen erreicht werden konnte. Der Russe *L.S. Theremin* entwickelte sogar ein von RCA in New York hergestelltes *Aetherophon*, das er mit einer *Spielantenne* ausgerüstet hat, zu der die Hand des Interpreten für eine gleitende Beeinflussung der Tonhöhe bloß ihre Stellung wechselt (1920).

Diese ganze Entwicklung ist als die natürliche elektrische Fortsetzung des ehemals mechanischen Instrumentenbaus anzusehen. Trotzdem hat sie die Kunstmusik, von wenigen Ausnahmen abgesehen, in keiner Weise zu beeinflussen vermocht. So merkwürdig dies ist, so unwiderlegbar ist auch die Tatsache, daß die Musik von der tiefgreifenden Strukturwandlung des Musiklebens im 20. Jahrhundert, von der in den nächsten Abschnitten die Rede sein soll, ebenso wenig Notiz genommen hat. *Erst der völlige Verzicht auf das Musikinstrument, ein totaler Neubeginn also, hat zu jener fruchtbaren Entwicklung geführt, die als elektronische Musik innerhalb weniger Jahre weltbekannt geworden ist, die junge Komponistengeneration in ihren Bann gezogen und das gesamte Musikschaffen unserer Gegenwart entscheidend beeinflusst hat.* Möglich war diese Entwicklung durch das Magnettonband geworden, das die schwerfällige Speicherungstechnik der Schallplatten-Matrize durch ein weit eleganteres Verfahren ersetzt.

1.2 Der Einbruch der Elektroakustik in die Musik des 20. Jahrhunderts

Unter dem Einfluß der Elektroakustik hat sich im 20. Jahrhundert eine tiefgreifende Wandlung der gesamten Struktur des Musiklebens vollzogen. Elektronenröhre, Mikrophon, Schallplatte und Magnettonband haben die Überwindung von Distanz und Zeit ermöglicht. Die Bindungen an Ort und Zeit sind auch für die Musik gefallen, und die Kommunikationskette, die Komponisten, Interpreten und Zuhörer verbindet, ist eine völlig andere geworden. Die Entstehung der elektronischen Musik, aber auch viele Erscheinungen der zeitgenössischen Musik und der Kunst überhaupt bis zum Happening, können nur auf dem Hintergrund dieser völlig veränderten Situation verstanden werden.

1.21 Von der Aufführung zur Reportage

Ohne die doppelte Fähigkeit, akustische Signale nicht nur ausstrahlen, sondern auch empfangen zu können, wäre es den Menschen nicht möglich, miteinander Gespräche zu führen oder gemeinsam zu musizieren. Die Kommunikationskette, die solcherart vereinte Menschen miteinander verbindet, ist immer *zweiwegig*. Die Zweiwegigkeit (two way) ist auch da noch vorhanden, wo Menschen sich darauf beschränken, dem Spiel anderer zuzuhören, wie es im Schauspiel und im Konzert geschieht. Denn ohne selber weder sprechend noch musizierend in das Spiel einzugreifen, geht das Publikum mit, reagiert es, antwortet es. Vom Spieler wird diese Antwort wahrgenommen, und sie beeinflusst seinen Vortrag. Dieses einmalige,

stets unwiederholbare Wechselspiel ist die Natur der Aufführung. Zu allen Zeiten war es, um einer Aufführung beizuwohnen, unumgänglich, *HIER* und *JETZT* zu sein. Die Gebundenheit an Ort und Zeit war charakteristisch für die Aufführung, die sich stets nur im Schoß einer Gemeinde von gleichorts und gleichzeitig anwesenden Menschen ereignete. Heute aber können Aufführungen übertragen werden; *die Bindung an den Ort ist gefallen, die Distanz überwunden*. Menschen in aller Welt lauschen zur selben Stunde den Klängen einer Aufführung, die meilenweit entfernt Künstler und herbeigeeiltes Publikum verbindet. Wie den Zuhörer im Saal, so schlägt dieselbe Musik auch am Lautsprecher lauschende Menschen in aller Welt in ihren Bann und zwingt sie mitzugehen, zu reagieren, zu antworten. Aber ihre Antwort wird nicht gehört.

Das System der Fernübertragung, das sich zwischen Künstler und Zuhörer geschoben hat, ist wohl fähig, die Signale des Interpreten dem Hörer zuzutragen, aber dessen Antwort in den Konzertsaal zurückzubringen vermag es nicht. Zwar gibt es Fernübertragungssysteme, die wie das Telefon Rede und Gegenrede erlauben, aber die von Rundfunk und Fernsehen verwendeten Systeme sind grundsätzlich *einwegig* (one way) (Abb. 1.2).

Weder am Lautsprecher noch am Bildschirm ist es dem Menschen deshalb möglich, am Wechselspiel einer Aufführung teilzuhaben. Was er miterlebt, ist nicht die Aufführung, sondern eine *Reportage* derselben. Diese ist heute allerdings von einer Aktualität, wie es Reportagen niemals zuvor haben sein können, da Erzählungen von Augenzeugen und Boten, Briefe, Photos und Nachrichten aller Art zeitlich stets mindestens um soviel hinter dem Geschehnis zurückbleiben mußten, als es Zeit für die Überwindung der Distanz brauchte. Die heutige Reportage aber kann Schritt halten mit dem Ereignis, sie vermag mit ihm synchron zu gehen, da es möglich geworden ist, Distanzen nachrichtentechnisch so gut wie trägeheitslos zu überwinden.

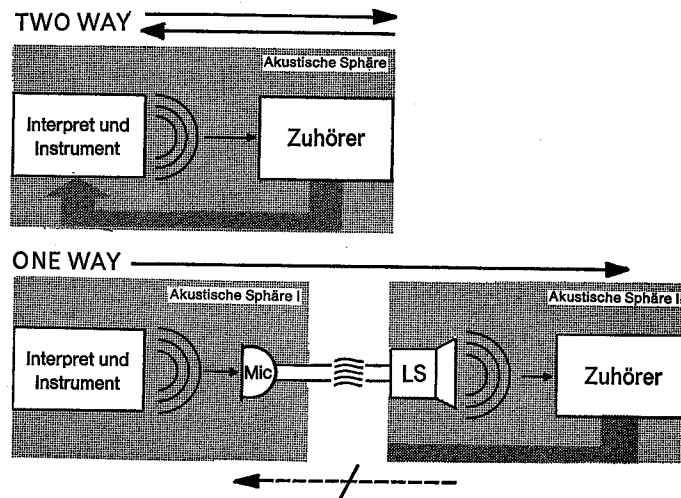


Abb. 1.2 Überwindung der Distanz durch Fernübertragung. Das zweiwegige Übertragungssystem (oben) ist die Voraussetzung für jede Aufführung. Im Saal ist diese Voraussetzung gegeben. Durch die Rundfunk- und Fernsehübertragung (unten) wird diese Voraussetzung zerstört, denn beide Medien benutzen ein einwegiges Übertragungssystem.

1.22 Von der Aufführung zur Reproduktion und zur simulierten Aufführung

Schon längst ehe es den Phonographen, die Schallplatte und das Magnettonband gegeben hat, konnte Musik nicht nur durch das menschliche Gedächtnis, sondern auch graphisch gespeichert werden. Ja ohne Notenschrift hätte die Entwicklung der europäischen Musik nicht jenen Verlauf nehmen können, welcher inzwischen Geschichte geworden ist. Musik konnte also zwar seit Jahrhunderten gespeichert werden, aber die musikalische Aufführung entzog sich der Speicherung hartnäckig; sie blieb flüchtig und zeitgebunden. Heute aber kann die Zeit überwunden und durch die Mittel der Schallplatte

und des Magnettonbands auch die flüchtige Aufführung gespeichert und aus dem Speicher reproduziert werden. Allerdings hat dies eine Veränderung der Kommunikationskette, die die Spieler und Zuhörer verbindet, zur Folge, wie sie gleichermaßen auch durch die einwegige Fernübertragung verursacht wird. Denn von der Zweiwegigkeit der Aufführung bleibt auch jetzt bloß mehr ein einziger Weg übrig, auf dem zwar dem Hörer über alle zeitliche Bindung hinweg die Signale der Aufführung zugetragen, seine Antwort aber nicht wieder zurückgebracht werden kann (Abb. 1.3).

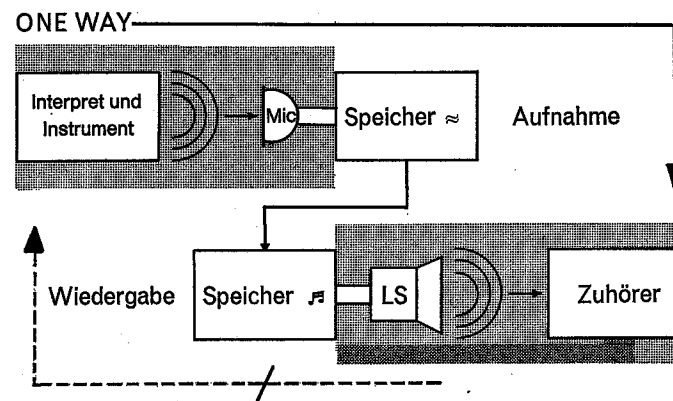


Abb. 1.3 Überwindung der Zeit durch Speicherung. Auch die Speicherung mittels Schallplatte und Tonband zerstört das zweiwegige Übertragungssystem jeder Aufführung. Das Übertragungssystem mittels Speicherung ist einwegig.

Was Schallplatte und Tonband vermitteln, ist also nicht die Aufführung, sondern im besten Fall eine *Reproduktion* derselben (Live-Aufnahme). Tatsächlich wird aber für die Herstellung von Schallplatten und Rundfunk-Tonbandaufnahmen nur selten von einer wirklichen Aufführung ausgegangen; denn die elektroakustische Aufnahme erheischt Voraussetzungen, wie sie die Konzertaufführung niemals zu bieten vermag:

ausgesuchte Mikrofonakustik, keine Saalgeräusche, kein Fehlerrisiko bzw. die Möglichkeit, Werkteile mehrmals zu wiederholen usw. Es wird deshalb nicht von einer Live-, sondern von einer gestellten Aufnahme ausgegangen, bei der diese Bedingungen restlos erfüllt sind und deren Aufgabe es ist, eine funkgerechte Bandspeicherung des Werks zu erzielen. Durch Schnitt, Verhallung und Montage wird das gespeicherte Werk schließlich in eine Form gebracht, die zwar seine Ausführung vor dem Schallplatten- und Tonbandkonsumenten *simuliert*, mit dieser in Wirklichkeit aber nichts zu tun hat. Das Verfahren ist auch von Rundfunk und Fernsehen übernommen und mit der Fernübertragung kombiniert worden.

1.3 Die Strukturwandlung im Musikleben des 20. Jahrhunderts und ihre Folgen

Auch im optischen Bereich hat sich eine ähnliche Entwicklung vollzogen, die sich in den Medien des Tonfilms und des Fernsehens, wie ich bereits angedeutet habe, mit der elektroakustischen Entwicklung überschneidet. Die Photographie, in ihren Anfängen von keinem Geringeren als dem großen Maler *Ingres* heftig angegriffen (später bemerkte er allerdings: *c'est admirable, mais il ne faut pas le dire...*), hatte die technische Speicherung des Bildes gebracht. Mit der Fähigkeit des Films, bewegte Bilder zu speichern, und mit der Möglichkeit, diese durch Fernsehen zu übertragen, hat auch die photoelektrische Entwicklung nicht nur den ganzen Erdball mit einem engmaschigen, heute unentbehrlichen Kommunikationsnetz umspinnen, sondern auch zu künstlerischen Leistungen geführt, die aus dem Kunstleben nicht mehr wegzudenken sind. Aber beiderorts, im akustischen wie im optischen Bereich, stellt die stürmisch voraneilende Technik den Künstler vor Probleme, deren eines sich *Ingres* bereits um die Mitte des letzten Jahrhunderts klar bewußt gewesen zu sein scheint: *Maintenant, on veut mêler l'industrie à l'art. L'industrie, nous n'en voulons pas. Qu'elle reste à sa place et ne vienne pas s'établir sur les marches de notre école d'Apollon...*

1.31 Industrialisierung der Musik

Erfreulicherweise kann heute eine ungleich größere Anzahl von Menschen mit den Schätzen der Kunst bekannt gemacht werden, als es jemals in der Geschichte möglich war; aber diese

Errungenschaft fordert ihren Preis. Aufs Ganze gesehen schließt der heutige Mensch nicht mehr im Konzertsaal und im Theater Bekanntschaft mit den Kunstwerken der Vergangenheit und Gegenwart, sondern diese Begegnung kommt durch die Vermittlung von Schallplatte, Tonband, Film, Funk und Fernsehen zustande. Der Zuhörer, im Konzertsaal und Theater einst teilhabend am Wechselspiel der Aufführung, ist heute in zunehmendem Maß auf Reportage und Reproduktion angewiesen. Seine Antwort, im Saal Bestandteil des Geschehens und mitbestimmend für dessen unvorhersehbaren Verlauf, erreicht am Lautsprecher weder den Autor noch seine Interpreten in unmittelbarer Weise, sondern sie ist mittelbar auf den Zuspruch oder die Ablehnung beschränkt, die der Hörer einem Angebot von Schallplatten, Tonfilmen und von durch Funk und Fernsehen offerierten Programmen entgegenbringt. Das Ja und Nein von Millionen ist heute zum entscheidenden Faktor im Kräftespiel eines Kulturlebens geworden, in das sich – allgemeine Erscheinung unserer Zeit – Großverteiler eingeschaltet und die modernen Mittel von Marktforschung und Werbung eingeführt haben (Abb.1.4).

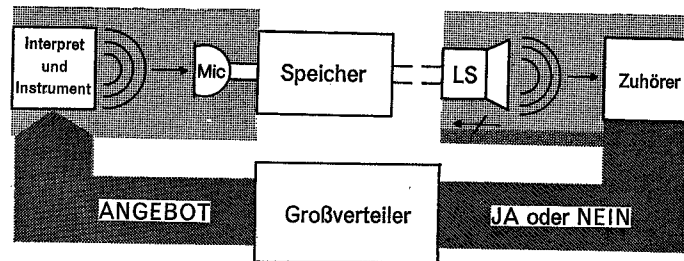


Abb. 1.4 Die technische Überwindung von Distanz und Zeit hat eine grundsätzlich veränderte Situation geschaffen. Ein durch den Interpreten vermitteltes reiches Angebot wird vom Hörer am Lautsprecher angenommen oder verworfen. Das Ja und Nein von Millionen wirkt regelnd ein auf die Gestaltung des Angebots durch den Großverteiler.

Es läßt sich einwenden, Herzstück des Musiklebens sei trotz ihrer numerischen Unterlegenheit auch heute die üppiger als jemals blühende Konzertaufführung; alles übrige sei bloß dazugekommen, sei akzessorisch. Dem aufmerksamen Beobachter wird es jedoch nicht entgehen, daß auch die musikalische Aufführung nicht unberührt geblieben ist von der durch die Elektroakustik geschaffenen neuen Situation. Jede Konzertaufführung hat heute den Vergleich mit der Schallplatte zu bestehen, obwohl Aufführung und Reproduktion unter völlig verschiedenen Umständen zustande kommen und nicht miteinander verglichen werden können. Dabei paßt sich nicht etwa die Schallplatte dem Konzert, sondern es paßt sich dieses der zahlenmäßig überlegenen Schallplatte an, was eine zunehmende Perfektion der Konzertaufführung zur Folge hat, die deren spontane Einmaligkeit gefährdet. Aber auch der Zuhörer ist nicht derselbe geblieben; vom Lautsprecher beeinflusst hat er die Gewohnheit angenommen, sich nicht so sehr als Mitglied in eine Hörergemeinde einzugliedern und am Wechselspiel der Aufführung aktiv teilzunehmen, als vielmehr verschiedene Ausführungen ihm bereits bekannter Werke miteinander zu vergleichen. Er reist deshalb besonders gern von einer Festspielaufführung zur anderen und zieht auch Reportage und Reproduktion zum Vergleich heran. Ausschließlich am Lautsprecher geschult aber verschmäht es der Zuhörer überhaupt, an Ort und Zeit der Aufführung gebunden zu sein. Er zieht es vor, aus einem reichhaltigen Angebot von Reproduktionen in sehr individueller Weise für jedes seiner Bedürfnisse eine ihm persönlich zusagende Musik auszuwählen und sich selber am Lautsprecher vorzuspielen. Dies ist die neue Spielart der Aktivität des heutigen Zuhörers. Sie kompensiert den Verlust seines Mitwirkens in der Gemeinde, seines Teilhabens am Wagnis der Aufführung und wird zweifellos die Struktur der zukünftigen Musik entscheidend beeinflussen (vgl. auch S. 98, 108 und 197)¹.

¹ Mit derselben Strukturwandlung hat sich auch die heutige Kirche auseinanderzusetzen.

1.32 Seiner Natur widersprechende Verwendung des Musikinstruments

Für das Verständnis der gewaltigen Strukturwandlung im Musikleben des 20. Jahrhunderts ist es wertvoll, sich den Begriff der *Rückkopplung* (*feedback*) anzueignen, der von den Nachrichtentechnikern ausgebildet und dessen allgemeine Anwendbarkeit von der Kybernetik am Beispiel des Thermostaten, der die Temperatur eines Raumes regelt, aufgezeigt worden ist. Die zum Regelzentrum zurückgeleitete Information zielt dahin, der Abweichung der Regelgröße vom Sollwert entgegenzuwirken, aber sie kann auf sehr verschiedene Weise von dieser Abweichung abhängen (*Wiener*). Was ich als Antwort des Zuhörers bezeichnet habe, ist die Rückführung einer Information vom Empfänger an die Quelle bzw. den Interpreten. Die rückgeführte Information ist von jener Information abhängig, welche dem Zuhörer zugeführt wird und greift ihrerseits regelnd in die Produktion der Informationsquelle bzw. in den Vortrag des Interpreten ein. *Auch die musikalische Aufführung bildet also eine Rückkopplungskette*. Eine vergleichende Betrachtung der Abbildungen 1.2, 1.3 und 1.4 zeigt, daß der Einbruch der Elektroakustik in die Musik eine Zerstörung bzw. völlige Wandlung ihrer Rückkopplungssysteme nach sich gezogen hat.

Dringt man tiefer in das Wesen der Musik ein, so zeigt sich, daß nicht nur das Verhältnis von Spieler und Zuhörer durch eine Rückkopplungskette gekennzeichnet ist, sondern daß eine solche auch am Anfang aller musikalischen Betätigung des Menschen überhaupt steht. Der Interpret hört sein eigenes Spiel und vergleicht es mit seiner Vorstellung. Dies allein befähigt ihn, in jedem Augenblick sein Musizieren so zu regeln, daß es seiner Vorstellung auch tatsächlich entspricht. Auf eine derartige Rückkopplungskette hin ist jedes herkömmliche Musikinstrument konzipiert. Nirgends findet sich – um ein sehr einfaches Beispiel herauszugreifen – an der Geige, der

Flöte oder gar am hochmechanisierten Flügel eine Anzeige für den Bogen-, Atem- und Fingerdruck, dessen das Instrument bedarf, um einen Mezzoforte-Ton zu erzeugen. Einzig die Rückführung zum Ohr des Spielers, der den erklingenden Ton mit seiner Vorstellung vergleicht und regelnd mit dieser in Einklang bringt, vermag dem Ton seinen Sollwert zu geben. Aber auch wo das Instrument – wie etwa die Orgel – dem Spieler in großer Zahl bereits festgelegte Werte aller Art offeriert (Lautstärken-, Tonhöhen-, Klangfarbenwerte), bleibt nicht nur die Zeitdauer, sondern ist vor allem auch das Zusammenwirken aller Komponenten zu regeln.

Durch das Verfahren der Tonbandspeicherung wird die jeder Aufführung eigene Rückkopplungskette völlig verändert. Es wird nicht das Schallsignal seines Spiels, das der Interpret im Aufnahmestudio hört, sondern ein ihm entsprechendes, vom Mikrophon abgegebenes elektrisches Signal gespeichert. Durch den Lautsprecher in Schall zurückverwandelt, erreicht dieses schließlich das Ohr des Tonmeisters im Regieraum. Zwar weiß der Interpret aus Erfahrung, wie er vor dem Mikrophon zu spielen hat (er muß es allerdings erlernen), aber er kann das klangliche Endergebnis nicht während des Spiels, sondern erst dann hören und beurteilen, wenn er das Tonband nach getaner Aufnahme zur Kontrolle abhört. Die Regelung durch den Interpreten erfolgt jetzt also nicht während seines Spiels, sondern im Nachhinein durch sukzessives Vergleichen mehrerer Aufnahmeversionen mit der Vorstellung, die sich der Interpret vom Werk gebildet hat (Abb.1.5).

Aber selbst wenn eine Aufnahme endlich gelungen ist, entzieht sich dem Interpreten gleichwohl die Kontrolle ihrer Wiedergabe, die jeder Hörer schließlich auf seine eigene Weise und nach den Möglichkeiten seiner eigenen Apparatur vornimmt. Hinzu kommt die Veränderung, welche die Aufnahme durch Montage, durch Überspielen auf Tonbandkopien und Schallplatten und durch die Kaskade der Fernübertragungssysteme zu erleiden hat. Keine dieser Prozeduren ist von der

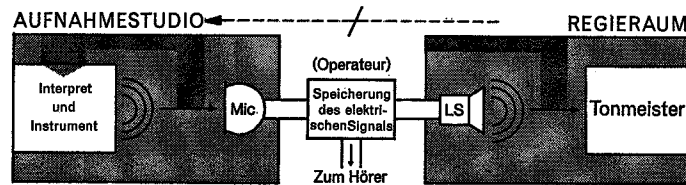


Abb. 1.5 Schema einer Musikaufnahme.

Natur der herkömmlichen Instrumente vorgesehen, denn jedes Musikinstrument ist auf das eine Ziel hin konzipiert: im Konzertsaal gespielt und gehört zu werden. Das herkömmliche Musikinstrument lebt für die Aufführung.

1.4 Die Antwort des Komponisten: experimental music

In der Strukturwandlung, die sich im Musikleben des 20. Jahrhunderts vollzogen hat, spiegelt sich eine gewaltige Umschichtung der menschlichen Gesellschaft, die auch die Stellung des Komponisten zu seinem Hörer grundsätzlich verändert. *Lully*, *Couperin le Grand* und *Haydn* haben sich mit ihrer Musik an eine geschlossene Gesellschaft gewandt; noch *Wagner* konnte in Bayreuth eine Gemeinde Gleichgesinnter um sich versammeln, und auch der großen Ära *Diaghilew* ist dies ein wohl letztes Mal geglückt. An wen aber wendet sich der heutige Komponist?

Ist bereits diese Frage vom Komponisten der pluralistischen Gesellschaft nur schwer zu beantworten, so ist es eine andere Frage nicht minder: wo begegnet er seinem Zuhörer? Frage über Frage, denn schwierig ist heute auch das Verhältnis des Komponisten zur Tradition geworden. In demselben Augenblick, da ihm in Form von Urtexteditionen und wissenschaftlich-historischen Schallplattenaufnahmen nie zuvor gekannte Mittel zur Erschließung der Vergangenheit zu Gebot stehen, nagt am Komponisten der Zweifel, ob es denn sinnvoll sein könne, das Ererbte unter völlig veränderten Umständen weiterzuführen?

Eine erdrückende Fülle von Problemen bildet den Hintergrund für das vielfältige Suchen, das nach dem Zweiten Weltkrieg und seiner endgültigen Liquidation des untergegangenen 19. Jahrhunderts auf der ganzen Welt eingesetzt hat und unter den Sammelbegriff *experimental music* gestellt worden ist.

1.41 *Musique concrète und Tape music*¹

Am 3. Oktober 1948 ist in Paris der französische Komponist Pierre Schaeffer erstmals mit Werken der *musique concrète* vor die Öffentlichkeit getreten, deren Klänge ihre Herkunft nicht Musikinstrumenten verdanken, sondern aus der Montage von auf Tonband gespeicherten Klang- und Geräuschphänomenen, gleichgültig welcher Art, gewonnen sind: Etude aux chemins de fer, Etude aux casseroles, Etude aux tourniquets. Material dieser Musik ist die ganze Vielfalt des Schallenden, dem sie variierend und modifizierend neue Gestalt verleiht (Stuckenschmidt). «Konkret» ist ihre Substanz, die Ergebnisse aber, aus Technik gewonnen und der gestaltenden Willkür künstlerischer Phantasie unterworfen, eröffnen auch der Musik Dimensionen, wie sie dem Schauspiel durch den Film erschlossen worden sind. Pierre Schaeffer hat seinen Weg konsequent weiterverfolgt und 1950 in Pierre Henry einen Weggenossen gefunden. Seinen groupes de recherches musicales du Service de la recherche de la R. T. F. (heute O.R.T.F.) sind bahnbrechende Vorarbeiten für die wenig später sich manifestierende elektronische Musik zu verdanken.

In den Vereinigten Staaten, wo durch das Wirken des hervorragenden Edgard Varèse der Boden vorbereitet worden ist, hat sich im Jahr 1951 der Erfinder des «präparierten Klaviers» John Cage mit einer Gruppe von Musikern und Ingenieuren zusammengetan, um Musik direkt auf Tonband herzustellen; auf diese Weise produzierte er Werke von Christian Wolff, Morton Feldmann, Earle Brown und auch eigene (Mitteilung der Edition Peters). Ein Jahr danach sind am Electronic Music Center of Columbia and Princeton Universities Tonbandexperimente von

¹ Im folgenden soll kein geschichtlicher Überblick über dieses Schaffen versucht werden. Wo Komponisten namentlich genannt sind, ist es nach der mir verfügbaren Chronologie der komponierten Werke und ohne Wertung geschehen. Im übrigen sei der Leser auf die Werkliste im Anhang dieses Buches verwiesen.

Vladimir Ussachevsky und Otto Luening öffentlich aufgeführt worden, denen später Computerversuche im University of Illinois Experimental Music Studio (Urbana) gefolgt sind (vgl. Fußnote Seite 106). Damit hat die amerikanische Schule vor allem jener Komponisten, denen parallel mit der europäischen «seriellen» Musik die Ausbildung des musikalischen «Indeterminismus» zu verdanken ist, den Anstoß zu einer sehr vielseitigen Entwicklung gegeben, die unter dem schlichten Namen tape music bekannt geworden ist.

1.42 *Elektronische Musik*

Im Rahmen des vom Centre de documentation de musique internationale mit dem NWDR in Köln veranstalteten Neuen Musikfest 1953 hat der deutsche Komponist und Gründer des Studios für elektronische Musik am Westdeutschen Rundfunk Köln, Herbert Eimert, die Öffentlichkeit mit elektronischer Musik bekannt gemacht, deren Klänge durch Verwendung elektronischer Verfahren produziert und verarbeitet werden. Dieser Entwicklung, unter deren Wegbereitern vor allem die bedeutenden Wissenschaftler Werner Meyer-Eppler und Fritz Winckel genannt werden müssen, haben sich noch im selben Jahr die jungen Komponisten Karlheinz Stockhausen und Karel Goeyvaerts, im darauffolgenden Jahr Paul Grelinger, Giseler Klebe, Gottfried Michael Koenig und Altmeister Ernst Krenek angeschlossen. Seither sind in vielen Ländern auf der ganzen Welt Studios für elektronische Musik gegründet worden, unter denen ich die bereits 1954/55 eingerichteten Institutionen in Brüssel (Henry Pousseur), Tokyo (Toshiro Mayuzumi und M. Moroi) und Mailand (Luciano Berio und Bruno Maderna) erwähne. Der Ausstrahlung des Mailänder Studios hat das Centre de recherches sonores de la Radio Suisse Romande in Genf seine Gründung zu verdanken (André Zumbach), dem ich selber seit Jahren eng verbunden bin. Seine erste Begegnung mit elektronischer Musik schildert der

Musikschriftsteller H.H. Stuckenschmidt mit folgenden Worten: Es war, als stiegen aus dem Reich des Mineralischen tönende Projektile empor in die Menschenwelt. Metalle schienen zu singen, technische Formen, wie die Spirale, zu Klang zu werden. Eine ganze Kettenreaktion von ineinanderschießenden Sinneseindrücken war entfesselt, eine drohende Über- oder Unterwelt der Assoziationen zog in eiliger panoramischer Vision vorbei.

2. Kapitel

TECHNIK DER ELEKTRONISCHEN MUSIK



2.1 Allgemeines

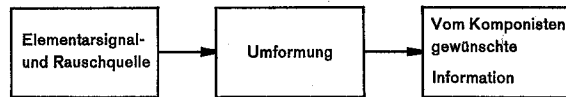


Abb. 2.1 Produktion elektronischer Musik.

Die Klangwerdung einer elektronischen Komposition besteht in einem *Umformungsprozeß*, der die *Technik der elektronischen Musik* genannt wird. Die Umformung wird im Studio für elektronische Musik vorgenommen und geschieht in einer Übertragungskaskade, an deren Anfang Quellen für Elementarsignale und Rauschen und an deren Ende das klanggewordene Werk stehen. Die technische Aufgabe besteht also darin, dasjenige Verfahren zu finden, mit dessen Hilfe die gewünschte Umformung des eingegebenen Signals erreicht werden kann. Die Beurteilung, ob die am Ausgang erhaltene Information der Vorstellung des Komponisten auch tatsächlich entspricht, kann ausschließlich auf Grund eines Vergleichs der beiden Größen erfolgen. Sie geschieht also notwendigerweise immer durch den Komponisten selber. Intensität seiner Vorstellung und schärfste Urteilsfähigkeit seines Ohres bilden daher die erste Voraussetzung für die Inanspruchnahme der elektronischen Technik im Dienste der musikalischen Komposition.

2.2 Der Sinuston

2.2.1 Hörempfindung und Signal

Der Sinuston hat wohl Lautheit und Tonhöhe, sonst aber keinerlei Eigenschaften, die ihn anziehend und für die Musik besonders geeignet erscheinen ließen. Er ist stationär und annäherungsweise einem sehr einförmig geblasenen, faden Flötenton oder dem monoton und leise hing gesprochenen Sprachlaut m vergleichbar. Trotzdem sind Sinustöne für den Komponisten von unschätzbarem Wert. Denn aus ihnen läßt sich das ganze Reich der akustischen Erscheinungen aufbauen.

Die Empfindung des Sinustones wird erregt durch das Signal der periodischen Sinusschwingung. Diese, auch harmonische Schwingung genannt, kann als zeitliche Ableitung der fortlaufenden Schwingung eines Pendels aufgefaßt werden (Abb. 2.2). Ihr Verlauf ist charakterisiert durch die Amplitude A und die Frequenz f , die den Kehrwert der Periodenzeit T darstellt ($f = \frac{1}{T}$). Diese beiden Größen sind meßbar.

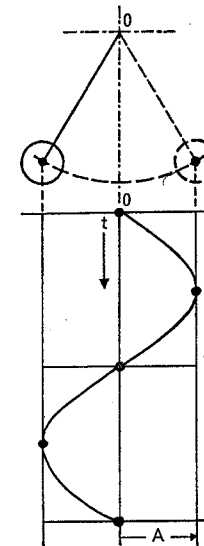


Abb. 2.2 Ableitung der periodischen Sinusschwingung von der fortlaufenden, ungedämpften Schwingung des Pendels.

2.22 Maßeinheiten des elektrischen Signales

Im Bereich elektronischer Musik ist der Komponist gezwungen, seine Klangvorstellungen durch die meßbaren Größen des elektrischen Signales auszudrücken. Deshalb ist es wichtig, die verwendeten Maßeinheiten zu kennen. Die Einheit der Frequenz wird *Hertz* (Hz) genannt und entspricht einer Schwingung pro Sekunde (oft auch als cps = cycles per second ausgedrückt). Die Amplitude könnte in *Volt* gemessen werden, da sie der Spannung des elektrischen Signales entspricht. Aus praktischen Gründen wird sie aber in Zahlenwerten von 0 bis $-\infty$ Dezibel (db) ausgedrückt, die einem bestimmten elektrischen Spannungspegel entsprechen (0 db entspricht dabei jener Spannung, welche die maximale Amplitude des Signales ohne Verzerrung gewährleistet). Amplitude und Frequenz eines Sinussignals können graphisch durch eine Spektrallinie dargestellt werden, womit das Signal hinlänglich charakterisiert ist (Abb. 2.3).

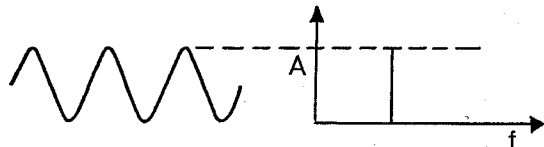
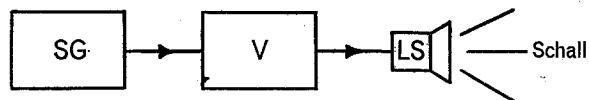


Abb. 2.3 Darstellung der periodischen Sinusschwingung (links) mittels einer Spektrallinie (rechts). Dargestellt nach F. Winckel.

2.23 Elektrisches Signal, Schall und Hörempfindung

Blockschema:



Elektrische Sinusschwingungen werden durch *Sinusgeneratoren* (SG) erzeugt. Es sind dies Signalquellen (RC-Generato-

ren und Schwebungssummer), welche elektrische Wechselspannungen von veränderbarer und genau bekannter Amplitude und Frequenz liefern. Um vom menschlichen Ohr gehört werden zu können, müssen die von den Quellen abgegebenen elektrischen Signale in Luftdruckschwankungen verwandelt werden. Dies geschieht mittels Verstärker (V) und Lautsprecher (LS), und die erzeugten Schwankungen des Luftdruckes nennt man *Schall*. Erreicht ein Schallsignal das menschliche Ohr, so wird es empfangen, in ein elektrisches Signal umgewandelt und erregt eine Hörempfindung. Allerdings geschieht dies nur dann, wenn Amplitude und Frequenz des Signales Werte haben, die im Bereich der Empfindlichkeit des Ohres liegen. Denn wie jeder Empfänger, so hat auch das menschliche Ohr seine eigene Charakteristik. Mein Hund vermag sehr hohe Töne zu hören, die in meinem eigenen Ohr keinerlei Empfindung erregen; sein Ohr nimmt leiseste Geräusche wahr, die mir völlig entgehen. Derartige Signale liegen außerhalb des Empfindlichkeitsbereiches meines eigenen menschlichen Ohres. Welches aber sind die Grenzen dieses Bereiches?

2.24 Der menschliche Hörbereich

Indem man Signale mit immer wieder veränderten Amplituden und Frequenzen versuchsweise dem Ohr zuführt und beobachtet, ob, wann und wie sich eine Hörempfindung einstellt, ist es möglich, den menschlichen Hörbereich experimentell abzutasten und auf Zusammenhänge zwischen Signal und erregter Empfindung hin zu untersuchen.

Derartige Versuche zeigen zunächst jenen einfachen Zusammenhang, wonach eine Veränderung der Amplitude des Signales als Veränderung der *Lautheit*, eine Veränderung der Frequenz desselben als solche der *Tonhöhe* empfunden wird. Es offenbart sich aber, daß für die menschliche Hörempfindung

Lautheit und Tonhöhe voneinander nicht unabhängig, sondern eng miteinander verknüpft sind. Ein Sinussignal beispielsweise, das bei einer Frequenz von 1000 Hz gerade noch gehört werden kann, erregt bei 150 Hz und unveränderter Amplitude keinerlei Empfindung mehr; bei einer Frequenz von 2000 Hz dagegen wird das Signal trotz unveränderter Amplitude lauter gehört als bei 1000 Hz. Zwischen Amplitude und Frequenz des Signals einerseits und erregter Lautheits- und Tonhöhen-Empfindung andererseits besteht also kein linearer Zusammenhang. Um die offenbar komplexeren Beziehungen zu erforschen, wird von einem Signal mit konstanter, willkürlich festgesetzter Frequenz von 1000 Hz ausgegangen und für dieses eine Lautstärkenskala festgelegt, deren Maßeinheit man *Phon* nennt. Dabei entsprechen 0 Phon jenem minimalen Schalldruck ($2 \cdot 10^{-4} \mu\text{b}$), welcher gerade noch ausreicht, um im menschlichen Ohr eine Hörempfindung zu erregen (Hörschwelle). Dieser Schalldruck $\times 10$ ist gleich 20 Phon, $\times 10^2$ gleich 40 Phon, $\times 10^3$, 10^4 , 10^5 und 10^6 gleich 60, 80, 100 und 120 Phon. Damit ist die Schmerzschwelle des Ohres erreicht, jenseits welcher es für den Menschen keine Hörempfindung mehr gibt (Abb. 2.4).

Die Phonskala ist für ein Signal mit konstanter Frequenz von 1000 Hz definiert. Durch Vergleiche ist es jedoch möglich, innerhalb des ganzen menschlichen Hörbereiches von etwa 20 bis 20 000 Hz festzustellen, bei welchem Schalldruck Signale mit beliebiger Frequenz im menschlichen Ohr Empfindungen gleicher Lautheit erregen. Das Ergebnis dieser vergleichenden Messungen ist durch *Kurven gleicher Lautheit* darstellbar, welche die Zusammenhänge zwischen Signal und erregter Hörempfindung veranschaulichen.

Für die praktische Arbeit ist der Gebrauch einer absoluten Maßeinheit wenig vorteilhaft. Weit geeigneter als die Phonskala ist eine Maßeinheit, welche nicht absolute Amplituden, sondern das gegenseitige Verhältnis zweier Amplituden wiedergibt. Diesem Zweck dient das Maß *Dezibel* (db, Abb. 2.4).

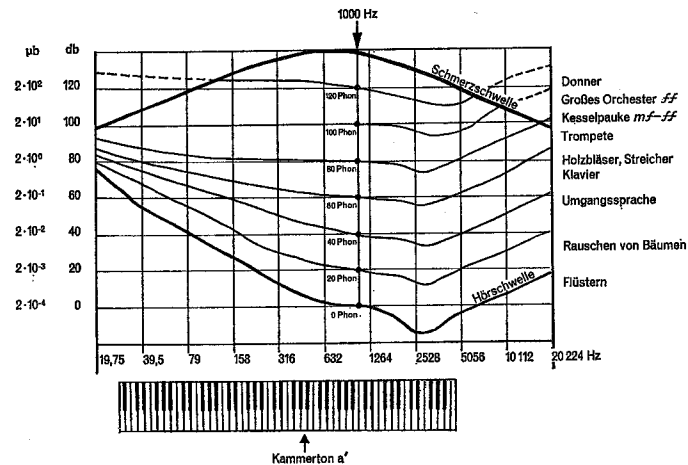


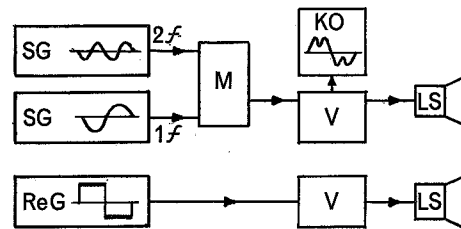
Abb. 2.4 Darstellung des menschlichen Hörbereiches. Auf der horizontalen Skala ist die Frequenz, auf der vertikalen die Amplitude des Signales aufgezeichnet. Die Kurven gleicher Lautheit veranschaulichen die erregte Hörempfindung und zeigen, daß zwischen Amplitude und Frequenz des Signales einerseits und Lautheit und Tonhöhe der erregten menschlichen Hörempfindung andererseits kein linearer Zusammenhang besteht (Meßwerte nach Fletcher und Munson).

Abgeleitet von jenem Maß, welches nach dem Erfinder des Telefons den Namen *Bel* trägt, drückt das Maß Dezibel ($1/10$ Bel) das gegenseitige Verhältnis zweier elektrischer Spannungen aus. Ebenso gut können aber auch Druckverhältnisse dargestellt werden. Einem Schalldruckverhältnis von 1:1 entsprechen 0 db, einem solchen von 1:10 20 db, Schalldruckverhältnissen von 1:10², 1:10³, 1:10⁴ usw. entsprechen 40, 60, 80 db usw. Für ein Signal mit der Frequenz von 1000 Hz entspricht also die Dezibelskala derjenigen des Phons (vgl. Abb. 2.4). Im Studio für elektronische Musik stellt jedoch die Amplitude des Signales stets eine elektrische Spannung dar. Die relative Maßeinheit 1 Dezibel wird deshalb so verwendet, daß bei willkürlicher Festlegung von 0 db einer Verminde-

rung der elektrischen Spannung um die Hälfte etwa 6 db, einer ebensolchen um das Dreifache etwa 10 db entsprechen. Die vom Musiker durch die Bezeichnungen *ff*, *f*, *mf*, *p* und *pp* ausgedrückten Lautheitsbeziehungen lassen sich, da sie gradweise ungefähr einem Amplitudenverhältnis von 2:1 entsprechen, im Studio für elektronische Musik durch die Dezibelskala 0, -6, -12, -18 und -24 db ausdrücken. Darüber hinaus erlaubt diese Skala Feinmessungen, welche die üblichen musikalischen Lautstärkebezeichnungen nicht auszudrücken vermöchten.

2.25 Vom Sinuston zum Klang

Blockscheema:



Sinusschwingungen können zu periodischen Schwingungen jeder beliebigen Kurvenform zusammengesetzt werden, denn jede zusammengesetzte Schwingung läßt sich in eine Anzahl sinusförmiger Schwingungen auflösen (Fourier-Reihentheorie). Abb. 2.5 vermag dies zu erläutern. Sie zeigt die Kurven zweier Sinusschwingungen, welche zeichnerisch so addiert, daß vom positiven Amplitudenbetrag der negative abgezogen wird, den Kurvenlauf einer nichtharmonischen periodischen Schwingung ergeben.

Aus Sinusschwingungen läßt sich demnach jedes denkbare zusammengesetzte Signal gewinnen. Dies kann erreicht werden, indem man elektrische Sinusschwingungen in einer Mischstufe (M) zusammenführt und das Ergebnis auf dem

Bildschirm eines Kathodenstrahl-Oszillographen (KO) nachprüft. Würden beispielsweise sehr viele Sinusschwingungen zusammengeführt, deren Frequenzen im gegenseitigen Ver-

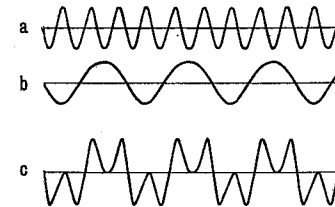


Abb. 2.5 zeigt das Zustandekommen einer nichtharmonischen (zusammengesetzten) periodischen Schwingung (c) aus zwei periodischen Sinusschwingungen (a und b). Dieser Vorgang wird Interferenz genannt.

hältnis von ungeraden ganzen Zahlen stehen und deren Amplituden im selben Verhältnis abnehmen ($1:3:5:7:9:\dots:n$), so ergäbe dies eine zusammengesetzte Schwingung, die sich zunehmend der Form eines Rechteck-Signals annäherte und bei dem Wert $n = \infty$ eine ideale Rechteckschwingung bilden müßte (Abb. 2.6).

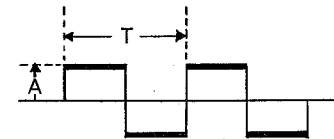


Abb. 2.6 Rechteckschwingung. In der Praxis kann diese Schwingung einem Rechteckgenerator (ReG) entnommen werden.

So wie die einzelne Sinusschwingung durch eine Spektrallinie dargestellt werden kann, so läßt sich auch jede zusammengesetzte periodische Schwingung durch eine Vielzahl von Spektrallinien wiedergeben und in ihren Amplituden-Frequenz-Verhältnissen charakterisieren. Diese Darstellung nennt

man das *Spektrum* einer Schwingung. Abbildung 2.7 zeigt das Spektrum einer Rechteckschwingung.

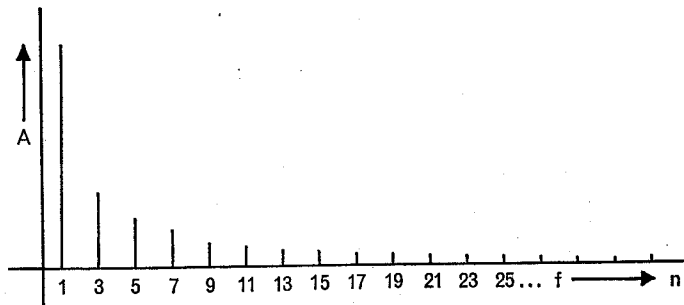


Abb. 2.7 Spektrum einer periodischen, d.h. zeitsymmetrischen Rechteckschwingung. Diese Schwingung setzt sich aus einer Vielzahl von Sinusschwingungen zusammen, deren Frequenzen das gegenseitige Verhältnis ungerader ganzer Zahlen $1:3:5:7:9:11:\dots:n$ aufweisen und deren Amplituden in demselben Verhältnis abnehmen.

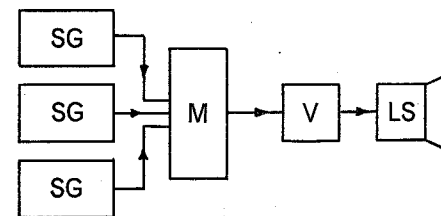
Der Anblick des Spektrums der Rechteckschwingung könnte leicht den Eindruck erwecken, als müßte sich ein derartiges Signal dem Ohr als eine Vielzahl von gleichzeitig erklingenden Sinustönen darbieten. Dies ist jedoch nicht der Fall. Ein dem *Rechteckgenerator* (ReG) entnommenes und mittels Lautsprecher in Schall umgewandeltes elektrisches Rechteck-Signal erscheint dem Hörer vielmehr als klarinettenartiger Klang von näseld-hohler Färbung. Was dem einzelnen Sinuston abgeht, tritt bei der Zusammensetzung von Sinustönen zum Klang in Erscheinung: die *Klangfarbe*.

2.3 Der Klang

Zwischen den Spektren zusammengesetzter Schwingungen und den von ihnen erregten Klangfarben-Empfindungen können Zusammenhänge beobachtet und geordnet werden. Die Art und Weise, wie dies geschieht, ist freilich zweckgebunden. Der Techniker wird nach den meßbaren Eigenschaften des physikalischen Signales, der Musiker dagegen nach der Hörempfindung fragen. Im Bereich elektronischer Musik aber ist es unerlässlich, nach beiden Seiten zugleich zu blicken. Nur indem der Komponist nach Hörempfindung *und* Signal fragt, wird er allmählich in die Technik der elektronischen Musik eindringen, sich Wissen und Erfahrung aneignen und seine musikalischen Ideen schließlich aus jenem Material formen können, mit welchem er arbeitet.

2.31 Akkord, Klang und Sinuston

Blockschema:



Der Klang wird oft mit dem Akkord verwechselt. Und doch ist beides nicht dasselbe. Denn dieser bezeichnet das gleichzeitige Erklingen wenigstens dreier Töne oder Klänge unter-

schiedlicher Tonhöhe, jener aber einen einzelnen «Ton» von ganz bestimmter Klangfarbe. Wehmütige Klänge sind es, die der Postillion seinem Horn entlockt. Drei Jäger aber vereinigen die Klänge ihrer Hörner zu munteren Akkorden.

Auch drei Sinustöne verschiedener Tonhöhe können zu einem allerdings recht mageren Akkord vereinigt werden, wenn man ihnen allen gleiche Lautheit gibt. Verringert man allmählich die Lautheit zweier dieser Töne, beispielsweise der oberen, so vermag das Ohr bald nur noch den unteren Ton allein zu hören. Diesem aber eignet jetzt eine Klangfarbe, die er dann wieder verliert, wenn die übrigen beiden Töne ganz unterdrückt werden. Der Akkord ist also übergegangen zum Klang, um schließlich zum Sinuston zu veröden (Abb. 2.8).

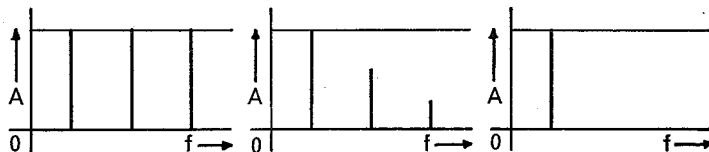
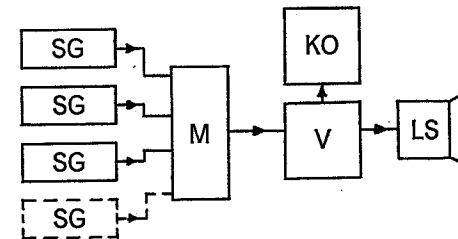


Abb. 2.8 zeigt die Spektren eines aus drei Sinustönen gebildeten Akkordes (links), der durch Verringerung der Amplituden zweier Sinustöne in einen Klang (Mitte) und schließlich in einen einzigen Sinuston übergeführt wird (rechts).

Bei welchen gegenseitigen Lautheitsverhältnissen der Akkord zum Klang wird, ist nicht leicht zu sagen. Der Übergang ist fließend und hängt nicht nur von der relativen Lautheit der Teiltöne, sondern auch davon ab, worauf der Hörer seine Aufmerksamkeit richtet. Der tiefe Klang einer einzigen Klarinette vermag drohende Düsternis zu malen. Und doch zerfällt gerade der Klarinettenklang bei analysierendem Hinhören sehr leicht in einen Akkord aus Grundton, zweitem und viertem Oberton (vgl. Abb. 2.9). Mit der Klangfarbe ist es nicht anders als mit dem Akkord, der seinerseits ja auch bald als Gestalt, bald als Zusammenklang verstanden wird.

2.32 Der harmonische Klang und sein Aufbau aus Sinustönen

Blockschema:



Den Klängen vieler Musikinstrumente liegen Spektren zugrunde, deren Frequenzen im gegenseitigen Verhältnis kleiner ganzer Zahlen stehen. Ein derartiges Verhältnis wird harmonisch genannt; deshalb spricht man vom harmonischen Spektrum und nennt dessen Teilfrequenzen kurz die Harmonischen (Ordnungszahl der Oberschwingungen bzw. Obertöne $+1 =$ Ordnungszahl der Harmonischen) (Abb. 2.9).

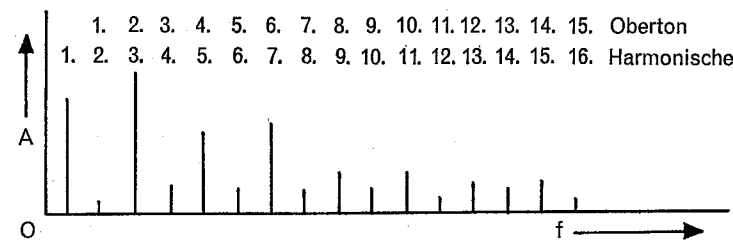


Abb. 2.9 zeigt das Spektrum des tiefsten Tones einer B-Klarinette (etwa 147 Hz). Die Harmonischen 3, 5 und 7 können von bloßem Ohr aus dem Grundton deutlich herausgehört werden (Amplituden logarithmisch gemessen).

Auch die Klangempfindung, welche das Signal mit harmonischem Spektrum erregt, nennt man eine harmonische. Man spricht vom *harmonischen Klang*, könnte die Empfindung aber ebenso gut als rein, klar oder ruhend beschreiben.

Um harmonische Klänge aus Sinustönen zusammenzusetzen, bedarf es in erster Linie sehr reiner harmonischer Frequenzverhältnisse. Von bloßem Ohr können zwar Sinustöne im Einklang und in der Oktave sehr genau aufeinander eingestimmt werden, weil Schwebungen auftreten und sich dann verlieren bzw. äußerst langsam werden, wenn das reine Intervall erreicht wird (vgl. Seite 48). Für weitere harmonische Frequenzverhältnisse aber reicht das Ohr nicht aus. Es müssen Hilfsmittel herangezogen werden. Der Technik stehen quartzgenaue Generatoren und Frequenzzähler mit digitaler Ablesung zu Gebot. Der Komponist hat derartiges meist nicht zu seiner Verfügung. Er behilft sich mit bescheidenen Mitteln und kommt trotzdem zu guten Resultaten. Zwei elektrische Sinusschwingungen können äußerst genau in harmonischen Frequenzverhältnissen aufeinander abgestimmt werden, indem die eine an den vertikalen und die andere an den horizontalen Eingang eines Kathodenstrahl-Oszillographen (KO) gelegt wird. Auf dem Bildschirm entstehen die für Verhältnisse kleiner ganzer Zahlen charakteristischen *Lissajous-Figuren* (Abb. 2.10).

Lissajous-Figuren geben keinen Aufschluß über die absoluten Werte der Frequenzen, sondern nur über deren gegenseitiges Verhältnis. Gerade aber das ist für den Aufbau harmonischer Spektren von entscheidender Bedeutung. Sind die Frequenzen der Sinusschwingungen einmal auf die harmonischen Verhältnisse $1:2:3:4:5:\dots n$ genau abgestimmt (wobei je nach Bedürfnis bis zur 16. Harmonischen und weiter, niemals aber über den Hörbereich hinaus gegangen wird), so läßt sich durch Veränderung der Amplitude der einzelnen Harmonischen *jede aus diesen Teilschwingungen denkbare Zusammensetzung eines harmonischen Spektrums synthetisch herstellen* und auf die erregte Klangempfindung hin untersuchen. Aus diesem Reichtum greife ich drei harmonische Spektren heraus, deren Klangfarbe ich beim Leser als vertraut voraussetzen kann: Die Spektren *hohler, klarinettenartiger Klänge* sind durch das Fehlen der Harmonischen gerader Ordnungszahl, insbesondere der zweiten

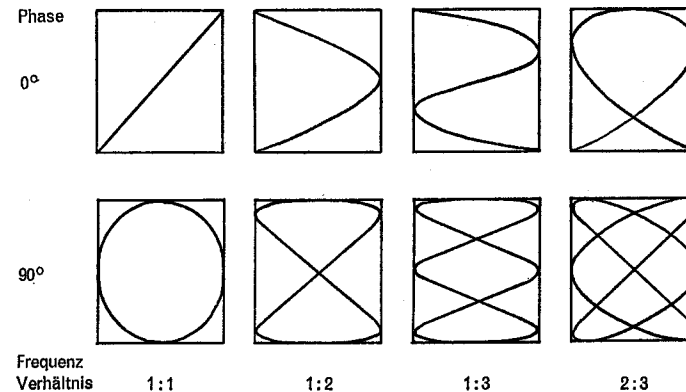


Abb. 2.10 Lissajous-Figuren zeigen auf dem Bildschirm eines Kathodenstrahl-Oszillographen das Verhältnis der Frequenzen zweier Sinusschwingungen. Die harmonischen Frequenz-Verhältnisse 1:2, 2:3, 3:4, 4:5, 5:6 usw. entsprechen den reinen musikalischen Intervallen der Oktave, Quinte, Quarte, großen und kleinen Terz usw. (Phase siehe Seiten 50/51).

Harmonischen, gekennzeichnet (vgl. Abb. 2.9). Spektren, deren 5. Harmonische amplitudenstark hervortritt, haben *hornartigen* Klang, während Spektren mit charakteristischer 7. Harmonischer klanglich dem Charakter von *Zungenpfeifen* nahekommen. Alle diese Spektren enthalten die erste Harmonische, und sie hat stets die größte relative Amplitude. Vom Ohr wird sie am lautesten gehört und bestimmt deshalb die Tonhöhe aller dieser Klänge, während die übrigen Harmonischen dem Klang seine charakteristische Färbung geben. Fehlt jedoch die 1. Harmonische in einem Spektrum und gibt man der 2. Harmonischen dafür die größte, der dritten die zweitgrößte Amplitude, so produziert das Ohr eine «subjektive» (besser: aurale) 1. Harmonische und hört einen Klang, dessen Tonhöhe wiederum der ersten (im Signal nicht vorhandenen!) Harmonischen entspricht. Diese Erscheinung des *Differenztones* haben sich die Orgelbauer für die Erzeugung sehr tiefer Klänge zunutze ge-

macht, die sonst nur mit wahren Monstren von Orgelpfeifen hervorgebracht werden könnten («akustische» Register). Eine besondere Gruppe von harmonischen Klängen läßt sich gewinnen durch Spektren mit subharmonischen Frequenzverhältnissen $1:1/2:1/3:1/4:1/5$ und nach der Tiefe hin steil abnehmenden Amplituden. Die Tonhöhe derartiger Klänge wird durch den höchsten Teilton bestimmt, und sie haben die Klangfarbe von Glockenspielen. Durch Erweiterung des Spektrums, besonders durch die ungeraden Teilschwingungen $1/7:1/9:1/11$, nimmt der Klang die Farbe von Metallplatten, Gongs und dergleichen an (Abb. 2.10).

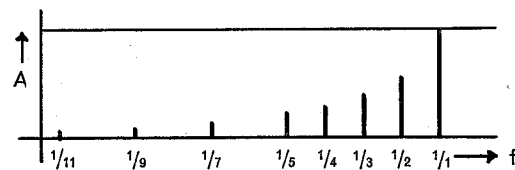


Abb. 2.11 Spektrum eines subharmonischen Klanges. Derartige Klänge haben etwas Kristallines an sich und erwecken, kurzzeitig und mit künstlichem Nachhall verwendet, den Eindruck von Glockenspielen.

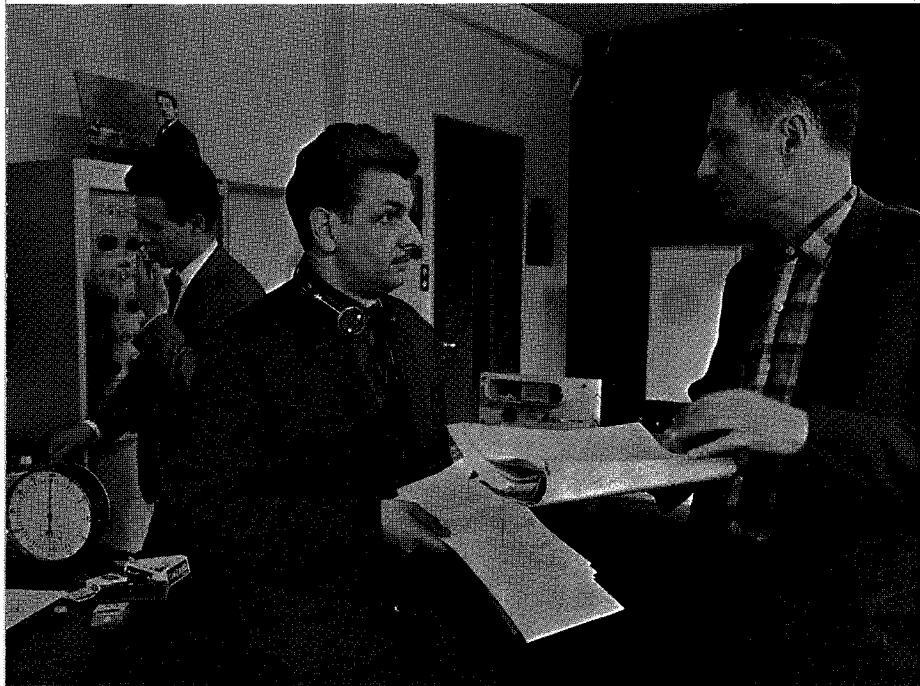
Wie verschiedenartig harmonische Klänge auch gefärbt sein mögen, so ist doch allen harmonischen Spektren ihr Aufbau aus harmonischen Teilfrequenzen gemeinsam. Auch eine weitere Eigenschaft kennzeichnet sie alle: die Konstanz ihrer Amplituden-Frequenz-Verhältnisse im zeitlichen Ablauf. Harmonische Klänge sind ihrem Wesen nach zeitlos, stationär. Sie sind akustische Tonhöhen- und Farbzustände von ewig schöner Langeweile und werden vom Ohr recht bald vergessen.

2.33 Die Schwebung

Auch der Sinuston ist zeitlos. Von konstanter Lautheit und Tonhöhe, bleibt er im zeitlichen Ablauf unverändert. Wird ihm aber



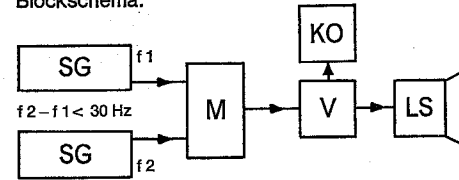
1 Der Komponist und sein technischer Mitarbeiter bei der Realisierung elektronischer Musik. Werner Kaegi (rechts am Impulsgenerator) und Claude Gygi im Centre de recherches sonores de la Radio Suisse Romande, Genf.



2 (oben) Elektronische Musik für den Konzertsaal: Letzte Vorbereitungen für die Uraufführung von Werner Kaegis Werk «Mystic Puzzle II», das elektronische und instrumentale Musik verbindet. Rechts der Komponist, links der Tonmeister an seinem Instrument (Bandmaschine STUDER J-37 und Mischpult), im Hintergrund Mitglieder des Orchesters (Groupe des Dix de la Radio Suisse Romande).

3 (unten) Elektronische Musik für den Rundfunk: V.r.n.l. Regisseur Roland Sassi, Komponist Werner Kaegi und Ingenieur Claude Gygi im Vierspurstudio des Centre de recherches sonores, Genf, bei der Vorbereitung einer Hörspielmusik.

Blockschema:



ein zweiter Sinuston beinahe im Einklang beigesellt, so verwandelt sich das Bild. Jetzt hört das Ohr nicht zwei, sondern einen einzigen Ton, dessen Lautheit im zeitlichen Ablauf periodisch schwankt. Der Ton verliert seine Zuständigkeit, wird lauter, dann wieder leiser (und verschwindet unter Umständen ganz), um von neuem anzuschwellen und den Vorgang periodisch zu wiederholen. Dasselbe läßt sich bei Klängen beobachten. Der Klang einer Klarinette zeigt periodische Lautheitsschwankungen, sobald eine zweite Klarinette (nicht ganz) im Einklang mit einstimmt.

Das Signal, welches eine derartige Empfindung auslöst, ist dasjenige einer zusammengesetzten periodischen Schwingung. Aber im Gegensatz zu bisher betrachteten Schwingungen dieser Art, deren Amplituden immer konstant blieben, weist die vorliegende Schwingung eine periodische Veränderung ihrer Amplitude auf. Der Leser kann sich diese Erscheinung leicht erklären, wenn er sich seiner kindlichen Schaukelkünste erinnert oder sich zwei gleichzeitig schwingende Pendel vorzustellen versucht (Abb. 2.12, vgl. auch Abb. 2.2).

Sind die Pendel von gleicher Länge, so schwingen sie beide – unabhängig von der Amplitude ihres Ausschlags – mit derselben Periodenzeit bzw. Frequenz. Daher bleibt, auch wenn die Schwingungen beider Pendel gegeneinander verschoben sind, diese Verschiebung immer konstant. Sobald dagegen eines der Pendel um ein wenig verlängert oder verkürzt wird, ändert sich dies. Da jetzt die Periodenzeiten bzw. Frequenzen beider Pendel einander nicht mehr gleich sind, verschieben sich ihre Schwingungen allmählich gegeneinander, und es kommt zu

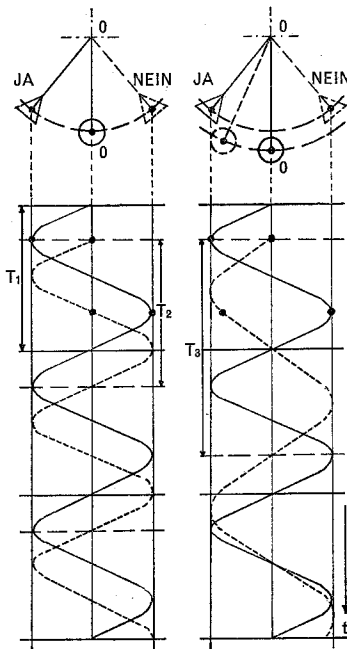


Abb. 2.12 Zwei Pendel gleicher Länge schwingen mit derselben Periodenzeit bzw. Frequenz ($T_1 = T_2$); auch wenn ihre Schwingungen gegeneinander verschoben sind, bleibt daher die Verschiebung immer dieselbe (links). Zwei Pendel ungleicher Länge dagegen schwingen nicht mit derselben Periodenzeit bzw. Frequenz ($T_1 \neq T_2$); daher verschieben sich die Phasen ihrer Schwingungen (rechts).

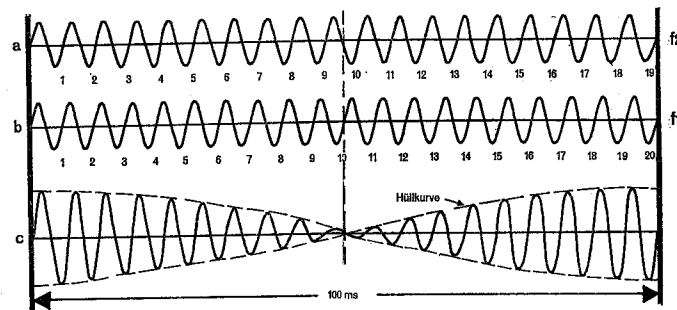


Abb. 2.13 Zustandekommen einer Schwebung (c) durch allmähliche Phasenverschiebung zweier überlagerter Sinusschwingungen verschiedener Frequenz (a und b). Im Augenblick völliger Phasengleichheit beider Sinusschwingungen erreicht die Hüllkurve der Schwebung ihre maximale (links und rechts) und bei entgegengesetzter Phase ihre minimale Amplitude (Mitte). Vgl. Photo 23.

einer periodischen Verschiebung ihrer *Phasen*. Werden die Amplituden zweier derartiger Schwingungen laufend addiert, so ergibt dies für die zusammengesetzte Schwingung eine periodische Veränderung ihrer Amplitude, die *Schwebung* genannt wird (Abb. 2.13).

Obiger Darstellung ist zu entnehmen, daß f_1 in $1/10$ Sekunde 20 Perioden und f_2 19 Perioden aufweisen, während die Amplitudenmodulation der Schwebung in derselben Zeit eine einzige Periode ausmacht. Umgerechnet auf 1 Sekunde ergibt dies die Werte $f_1 = 200$ Hz, $f_2 = 190$ Hz und f_{sch} (Schwebungsfrequenz = Anzahl der Schwebungsperioden pro Sekunde) = 10 Hz. Die Frequenz der Schwebung ist also gleich der Differenz der Frequenzen beider Grundschwingungen ($f_1 - f_2 = f_{sch}$).

2.34 Schwebungsfrequenz und Hörempfindung

Schwebungen können nur gehört werden, wenn *beide* Grundschwingungen *gleichzeitig* auf ein oder beide Ohren des Hörers einwirken. Dann aber durchläuft die Schwebung bei zunehmender Schwebungsfrequenz bzw. Entfernung beider Sinustöne aus dem Einklang drei Empfindungsbereiche, die zwar nicht streng gegeneinander abgegrenzt, wohl aber deutlich voneinander unterscheidbar sind.

1. Sind die Tonhöhen beider Sinustöne genau dieselben, so hört das Ohr einen einzigen Sinuston von konstanter Lautheit und Tonhöhe. Bei der geringsten Abweichung aber beginnt die Lautheit periodisch ab- und wieder zuzunehmen, was bei ungefähr zwei bis drei Schwebungsperioden in der Sekunde am deutlichsten zu hören ist. Bei einiger Aufmerksamkeit ist zu erkennen, daß sich auch die Tonhöhe periodisch ändert. Beim Leiserwerden ist der höhere, beim Lauterwerden der tiefere Ton zu hören.

2. Ungefähr bei sechs bis sieben Perioden pro Sekunde vermag das Ohr weder die Zu- und Abnahme der Lautheit noch die

$f_1:f_2$	1:1	15:16	7:8	5:6	4:5	3:4
Intervall	Einkl.	kleine Sek.	große Sek.	kleine Terz	große Terz	Quart
f_2	840	896	960	1008	1050	1120
f_1	840	840	840	840	840	840
f_{sch}	0	56	120	168	210	280
Lautheit		R	R			
Empfindung			Differenztöne sehr laut hörbar			
Tonhöhe		gl	gl	gl	gl	gl
f_2	420	448	480	504	525	560
f_1	420	420	420	420	420	420
f_{sch}	0	28	60	84	105	140
Lautheit		St	R	R		
Empfindung			Differenzton hörbar			
Tonhöhe		gl	gl	gl	gl	gl
f_2	210	224	240	252	262,5	280
f_1	210	210	210	210	210	210
f_{sch}	0	14	30	42	52,5	70
Lautheit		St	St → R	R	R	R
Empfindung						
Tonhöhe		?	gl	gl	gl	gl
f_2	105	112	120	126	131,25	140
f_1	105	105	105	105	105	105
f_{sch}	0	7	15	21	26,25	35
Lautheit		Schw	St	St	R	R
Empfindung						
Tonhöhe		nacheinander	?	gl	gl	gl

→ Aufmerksamkeit gerichtet auf die zeitliche Folge von Stößen.

← Aufmerksamkeit gerichtet auf Unterscheidung der Tonhöhen.

Abb. 2.14 Plan der durch Schwebungen in verschiedenen Tonhöhen-

beiden alternierenden Tonhöhen zu unterscheiden, sondern es hört die Schwebungsperioden jetzt als eine Folge von Stößen. (Bei derselben Frequenz wird auch das wobbeln genannte Steigen und Fallen der Tonhöhe einer periodischen Frequenzmodulation nicht mehr einzeln gehört, sondern als Vibrato empfunden. Schwebung und Vibrato sind deshalb gehörmäßig oft schwer auseinanderzuhalten.)

3. Bei zunehmend wachsender Schwebungsfrequenz vermag das Ohr schließlich auch die Stöße nicht mehr einzeln zu unterscheiden, und übrig bleibt eine Empfindung, die man als *Rauheit* beschreiben kann.

Was aber ist mit der Tonhöhe geschehen? Beim Übergang zum Stoß verschwindet die Empfindung des zeitlichen Nacheinanders zweier verschiedener Tonhöhen. Vorherrschend ist jetzt die Wahrnehmung der Stoßfolge, aus der sich erst allmählich die Empfindung der Gleichzeitigkeit zweier Töne von verschiedener Tonhöhe herauslöst. Bei welchem musikalischen Intervall dies geschieht, hängt von der absoluten Tonhöhe ab: in hoher und mittlerer Lage bereits lange bevor die kleine Sekunde, in tiefer Lage aber unter Umständen erst dann, wenn die kleine Terz erreicht ist (Abb. 2.14).

Auch bei der Schwebung ist die Hörempfindung in hohem Maße abhängig von der Art und Weise, wie gehört wird. Beim Auseinanderstreben beider Sinustöne ist das Ohr auf die Wahrnehmung der Stöße gerichtet und bemerkt erst erstaunlich spät das gleichzeitige Erklängen zweier verschiedener Töne. Beim Zusammenstreben aber folgt das Ohr den Tonhöhen beider Sinustöne und nimmt die Stöße verspätet wahr. In gleicher Weise lenken in hoher Lage laut hörbare Differenztöne das Ohr von der Wahrnehmung der Rauheit ab.

lagen erregten Hörempfindung. Es bedeutet: Schw = periodisches Schwanken der Lautheit, St = Folge von Stößen, R = Rauheit, gl = beide Tonhöhen gleichzeitig hörbar, nacheinander = beide Tonhöhen abwechselnd nacheinander hörbar. Zahlen in Hz.

2.35 Rauhe Klänge, geräuschhafte Klänge und Geräusche

Für den Aufbau von Klängen und Geräuschen aus Sinustönen sind Schwebungen von entscheidendem Einfluß. *Rauheit* zwischen amplitudenstarken Teiltönen irgendeines Klanges trübt diesen wie der Hauch den Spiegel. Auch harmonische Klänge machen davon keine Ausnahme. Um dies zu hören, braucht man bloß einem Sinuston von beispielsweise 210 Hz einen zweiten mit der Frequenz 252 Hz leise beizufügen (Verhältnis 5:6, kleine Terz). Der Ton nimmt eine rauhe Färbung an und wird zum *rauen Klang*. Ganz allgemein werden harmonische Klänge um so rauher, je weiter ihr Spektrum sich entfernt vom Frequenzverhältnis *kleiner* ganzer Zahlen (vgl. Seite 76 oben). *Stöße und Schwankungen* von Lautheit und Tonhöhe zwischen seinen Teiltönen durchbeben einen Klang und geben ihm eine periodische Veränderung im zeitlichen Ablauf, die um so vielgestaltiger wird, je zahlreicher und dichter man die Sinustöne zusammensetzt. In wachsender Zahl entstehen Schwebungen, die einander gegenseitig beeinflussen. Am Signal mehrerer Sinusschwingungen gleicher Amplituden und verschiedener Frequenzen, die enger als etwa 30 Hz beieinanderliegen, läßt sich dieser Sachverhalt darstellen. Sind die *Frequenzabstände einander alle gleich*, so sind es auch die Frequenzen der Schwebungen zwischen je zwei benachbarten Sinusschwingungen, und es entsteht ein Signal mit periodisch modulierter Amplitude von derselben Modulationsfrequenz, wie die Teilschwebungen sie aufweisen (Abb. 2.15a, b und d). Auch zwischen den nicht-benachbarten Teilschwingungen entstehen Schwebungen, deren Frequenzen aber stets ganzzahlige Vielfache der Schwebungsfrequenz zwischen den benachbarten Teiltönen sind (Abb. 2.15c) und daher die Amplituden-Modulation des Signales zwar differenzieren, aber selbst bei Verschiebungen der Phase niemals dessen periodischen Ablauf in Frage stellen. Derartige Signale erregen die Empfindung eines *rhythmisch gegliederten Klanges* (Meyer-Eppler).

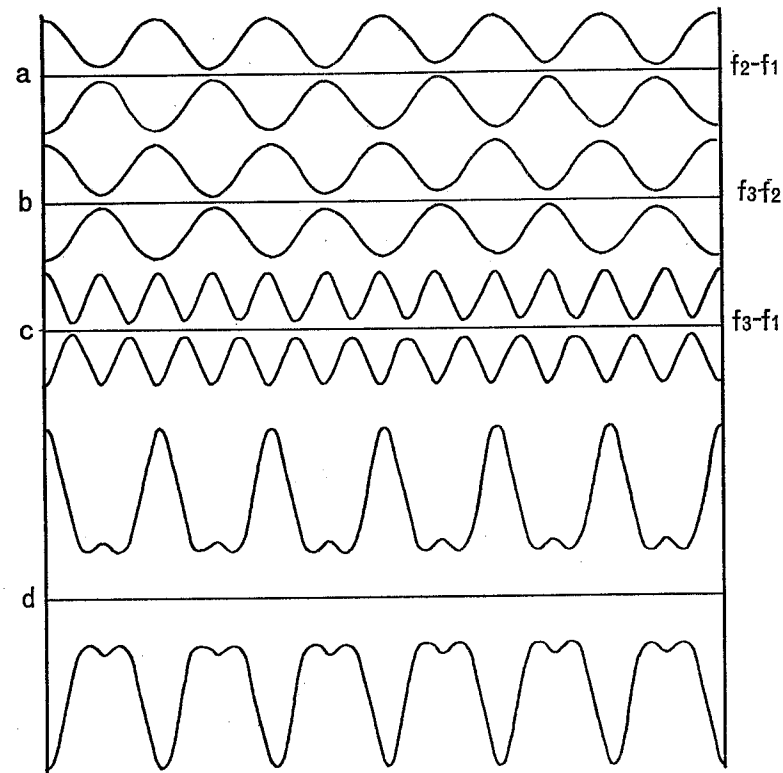


Abb. 2.15 Überlagerung dreier Schwebungen (a, b, c), die durch das Zusammenwirken von Sinusschwingungen mit *gleichen* Frequenz-Abständen zustande kommen. Es entsteht eine periodische Schwebung (d), welche die Empfindung eines rhythmisch gegliederten Klanges erregt. Vgl. Photo 24.

Ganz andere Verhältnisse entstehen, wenn Sinustöne mit *ungleichen Frequenzabständen* kleiner als 30 Hz zusammengesetzt werden. Es entstehen gleichzeitig Schwebungen mit ungleichen Schwebungsfrequenzen, die bereits dann, wenn sie in harmonischem Verhältnis zueinander stehen, ein Signal mit sehr komplexen Amplituden-Modulations-Perioden ergeben, bei irrationalen Schwebungsfrequenz-Verhältnissen aber die Periodizität der Amplituden-Modulation völlig zerstören (Abb. 2.16).

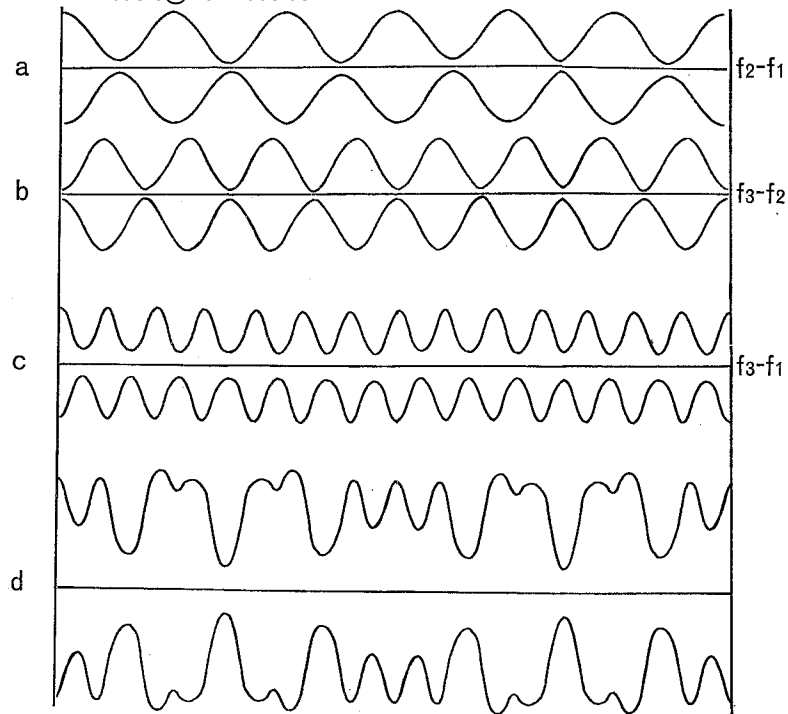


Abb. 2.16 Überlagerung dreier Schwebungen (a, b, c), die durch das Zusammenwirken von Sinusschwingungen mit *ungleichen* Frequenz-Abständen zustande kommen. Es entsteht eine Schwebung mit entweder sehr komplexer (d) oder gänzlich ohne Periodenbildung. Derartige Schwebungen erregen die Empfindung eines geräuschhaften Klanges oder Geräusches. Vgl. Photo 25.

Derartige Signale erregen die Empfindung eines *geräuschhaften Klanges*, der um so mehr dem *Geräusch* zustrebt, je dichter das Spektrum mit Sinustönen ausgefüllt wird. Musikalisch ist die reiche Modulation geräuschhafter Klänge von hohem Wert; ihr verdanken chorisch besetzte Instrumental- und Vokalgruppen Weichheit und schimmernden Glanz. Finden sich Sinustöne wie sirrende und brummende Insektengruppen in wachsender Zahl zu immer größeren Schwärmen

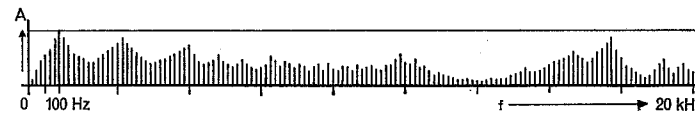


Abb. 2.17 Spektrum eines summenden Geräusches. Es ist über den ganzen Hörbereich (etwa 16–20 000 Hz) hin dicht mit Sinustönen besetzt. Die Tonhöhe eines derartigen Geräusches wird bestimmt durch Häufung von Teiltönen mit stärkster relativer Amplitude (ungefähr bei 100 Hz im obigen Beispiel).

zusammen, so werden die Modulationen des Signales zusehends reicher und sein Frequenzband breiter und breiter (Abb. 2.17). Erreicht wird schließlich jener Grad, bei welchem das Frequenzband den ganzen menschlichen Hörbereich überdeckt und die Modulation der Amplituden-Frequenz-Verhältnisse im zeitlichen Ablauf nach rein statistischen Gesetzen geschieht. Damit ist der Vorgang zum Zustand geworden, und die integrale Synthese aller hörbaren Sinusschwingungen bildet jenes Signal, welches die Empfindung des *weißen Rauschens* erregt.

2.4 Das weiße Rauschen

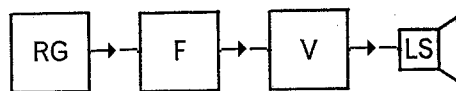
2.41 Hörempfindung und Signal

Weißes Rauschen klingt wie der Wasserfall, dessen immerwährendes, monotones Rauschen die Anwohner längst vergessen haben. Es ist eine akustische Urschubstanz, die den ganzen menschlichen Hörbereich gleichmäßig ausfüllt.

Die Empfindung des weißen Rauschens wird durch Gaußsches Rauschen erregt. Darunter ist jenes physikalische Signal zu verstehen, dessen Spektrum sich in seinen Amplituden-Frequenz-Verhältnissen im zeitlichen Ablauf ständig nach vollkommen statistischen Gesetzen verändert. Es wird erzeugt mittels eines *Generators für Gaußsches (weißes) Rauschen (RG)*.

2.42 Das farbige Rauschen

Blockschema:



Gleich wie aus dem Sinuston durch Synthese die gesamte Klangwelt aufgebaut werden kann, so läßt sich das weiße Rauschen durch Analyse abbauen bis zum Sinuston. Der Abbau geschieht mittels elektrischer *Filter (F)*, deren Wirkung durchaus mit derjenigen von optischen Filtern verglichen werden kann. Wie das weiße Rauschen den ganzen Hörbereich, so überdeckt das weiße Licht den ganzen Sehbereich des Menschen. Aus

allen Frequenzen, die das weiße Licht ausmachen, greift das optische Filter einen Teil heraus, welchem für sich allein eine für den ausgefilterten Bereich charakteristische Farbe zukommt. Den entsprechenden Vorgang führt das elektrische Filter aus. Es ist fähig, aus dem weißen Rauschen ein Frequenzband herauszugreifen und damit das «farblose» weiße Rauschen in ein Geräusch überzuführen, dem eine für den ausgefilterten Frequenzbereich charakteristische Farbe zukommt. Ein solches Geräusch wird farbig genannt, und man spricht vom *farbigen Rauschen*. Cinellen unterschiedlicher Größe vermögen in mannigfaltiger Weise farbiges Rauschen hervorzubringen, und auch die stimmlosen Sprachlaute f, ch, s oder sch sind uns wohlvertraute Beispiele dafür (vgl. Abb. 3.20 und 3.21).

Mit geeigneten Filtern ist es nicht nur möglich, weißes zu farbigem Rauschen jeder gewünschten Art abzubauen, sondern es können auch Klänge herausgefiltert und diese zum Sinuston eingengt werden. Der Sinuston kann demnach als frequenzmäßige Kompression des weißen Rauschens verstanden werden (Abb. 2.18).

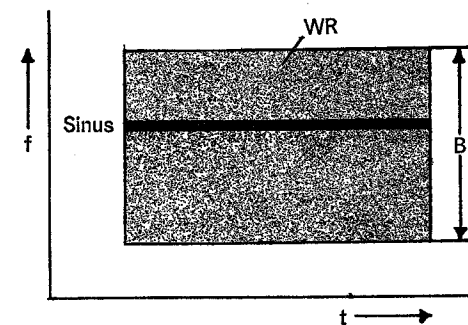


Abb. 2.18 Zusammenhang zwischen Sinuston und weißem Rauschen (dargestellt nach Meyer-Eppler).

Man kann sich nun allerdings fragen, weshalb denn der Komponist mittels Klangsynthese aus Sinustönen mühsam aufbaut,

was er viel rascher und eleganter durch Geräuschanalyse erreichen kann? Die Entscheidung darüber, welchem Verfahren der Vorzug zu geben sei, ist abhängig von der Konzeption eines musikalischen Werkes. Geht es dem Komponisten um das Zusammenspiel definierter diskreter Größen, dann wird er vom Sinuston ausgehen wollen. Begreift er sein Werk jedoch als eine aus statistischen Raten gebildete Ordnung, dann sind weißes Rauschen und Filter die Mittel seiner Wahl.

2.5 Der Knack

2.51 Hörempfindung und Signal

Blockschema:



Wird die Zeitdauer eines Sinustones zunehmend verkürzt, so verliert sich allmählich die Tonhöhenempfindung, und der Ton wird als sehr kurzes Geräusch gehört. Der Übergang ist zwar fließend, aber für Sinustöne zwischen 200 und 6000 Hz etwa durch die Zeitdauer von 20 bzw. 10 Millisekunden ($1 \text{ ms} = 1/1000 \text{ s}$) begrenzt. Bei 20 ms Dauer beginnt die Tonhöhe bei gleichbleibender Frequenz und Amplitude des Signales für das Ohr zu «sinken» und der Ton einem Geräusch ähnlich zu werden, bei 10 ms Dauer ist die Empfindung für die diskrete Tonhöhe völlig verschwunden und der Ton zum *Kurzgeräusch* geworden. Bei weiterer Verkürzung nimmt die Lautheit unterhalb 1 ms plötzlich rapid ab, und bald wird keine Empfindung mehr erregt.

Das physikalische Elementarsignal, welches die Empfindung des Kurzgeräusches erregt, nennt man den *Impuls*. Dieser ist definiert durch die Amplitude A, die Verzögerungszeit T und durch die Anstiegs- und Abfallzeit bzw. Steilheit seiner Flanken (Abb. 2.19 a und b). Hat der Impuls Rechteckform, so nennt man die erregte Hörempfindung einen *Knack*.

Im Gegensatz zur zeitlosen periodischen Sinusschwingung stellt das Impulssignal einen einmaligen Energiestoß von sehr

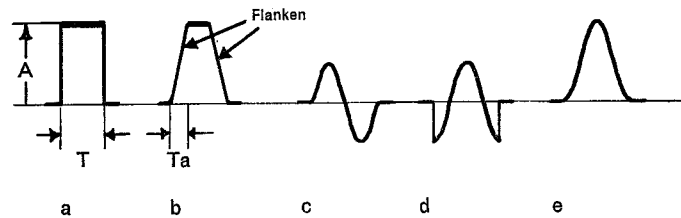


Abb. 2.19 Impulse. a) Rechteckimpuls (A = Amplitude, T = Verzögerungszeit). b) Rechteckimpuls mit Anstiegszeit $T_a > 0$. c) Impuls, dessen Kurve eine einzige Periode einer Sinusschwingung darstellt. Dieses Signal kann mittels eines Tone-burst-Generators erzeugt werden. d) Dasselbe Signal nach Verschiebung der Phase. e) Sinusförmiger, aus Signal d) gewonnener Impuls (sogenannter Sine-squared-pulse, dargestellt nach J. K. Skilling).

kurzer zeitlicher Dauer dar. Dies hat zur Folge, daß im menschlichen Ohr selbst dann keine eindeutige Tonhöhenempfindung erregt wird, wenn das Impulssignal sinusförmigen Verlauf hat und also einen kurzen zeitlichen Ausschnitt aus einer periodischen Sinusschwingung darstellt (vgl. Abb. 2.19 c, d, e). Denn zur Beurteilung diskreter Tonhöhen bedarf das menschliche Ohr einer minimalen Zeitdauer, welche für ein Signal von 1000 Hz ungefähr bei 12 ms liegt (Abb. 2.20).

Unterhalb dieser zeitlichen Grenze kann im menschlichen Ohr ausschließlich die Empfindung eines Kurzgeräusches erregt werden. Allerdings erfahren wir alle täglich, daß kurze Schallstöße von unserem Ohr sehr wohl differenziert und voneinander unterschieden werden können. Den fernen Schuß eines Gewehres unterscheiden wir leicht vom Klicken eines Schalters, das Aufschlagen des fallenden Bleistiftes vom Kurzgeräusch des tropfenden Wassers. Den einfachen Schlag der Baskentrommel wird der Musiker niemals mit jenem einer Militärtrommel verwechseln, und im sprachlichen Umgang werfen wir die Laute p, t und k nicht oft durcheinander. Das Spektrum jedes dieser explosiven Kurzgeräusche unterscheidet sich von demjenigen aller andern. Zwar ist die Verzögerungs-

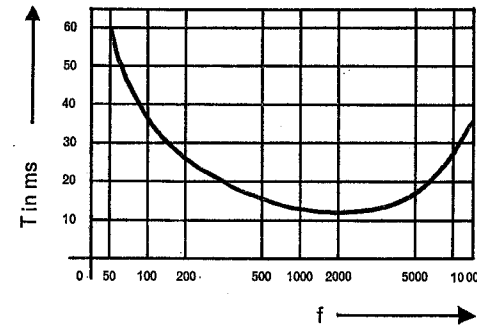


Abb. 2.20 Kurve der erforderlichen Minimalzeit zur Erregung einer diskreten Tonhöhenempfindung im menschlichen Ohr. Für ein Sinussignal von 1000 Hz liegt dieser Zeitwert etwa bei 12 ms; es braucht also ungefähr 12 Perioden, damit ein Sinussignal mit der Frequenz $f = 1000$ Hz vom Ohr als Tonhöhe erfaßt werden kann. 3 bis 4 Perioden sind notwendig für ein Signal von 200 Hz, ungefähr 250 für ein solches von 10 kHz (Darstellung nach Stevens und Davis).

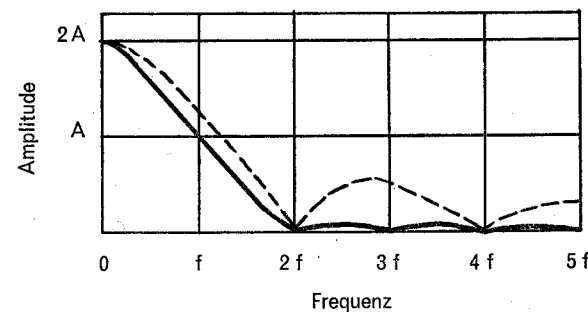
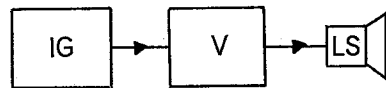


Abb. 2.21 Frequenzinhalt der Impulse. Ein sinusförmiger Impuls weist beinahe keinen Oberwellengehalt auf (schwarze Kurve). Ein Rechteckimpuls zeigt einen Oberwellengehalt, welcher demjenigen der periodischen Rechteckschwingung entspricht (das heißt ungerade Harmonische, gestrichelte Kurve). Der Frequenzinhalt von Impulsen hängt ganz allgemein ab von der Flankensteilheit (Darstellung nach J.K. Skilling). Vgl. auch Abb. 2.6 und 2.7.

zeit derartiger Impulse meist durch natürlichen Nachhall verlängert und dem Ohr damit eine zusätzliche Zeitdauer zur Beurteilung des Signals gegeben; aber auch bei Versuchen mit elektrischen Impulsen und möglichst geringer Nachhalldauer zeigt sich, daß dem menschlichen Ohr Unterschiede zwischen Signalen mit verschiedenen Spektren keineswegs entgehen. Ein sinusförmiger Impuls erregt eine andere Hörempfindung als der Dreieck- oder der Rechteckimpuls (Abb. 2.21). Dieser Rest menschlicher Fähigkeit, Tonhöhen wahrzunehmen, verschwindet allmählich bei Verkürzung der Verzögerungszeit eines Impulssignales. Das Ohr ist bald keiner Unterscheidung und wenig unterhalb 1 ms überhaupt keiner Hörempfindung mehr fähig.

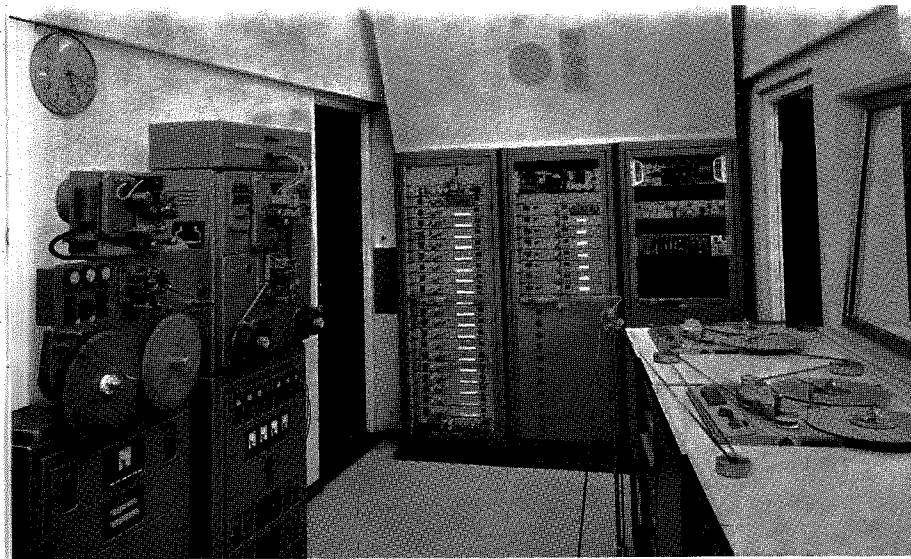
2.52 Impuls und Sinusschwingung (Signale und Hörempfindung)

Blockschema:



Elektrische Impulse können durch Impulsgeneratoren (IG) erzeugt werden. Derartige Geräte vermögen Impulssignale zu liefern, deren Verzögerungszeit von 1 s bis zur unvorstellbar kurzen Dauer von $\frac{1}{1\,000\,000\,000}$ s regelbar ist (Nanosekunde, ns¹). Während heute zur Erzeugung von Sinusschwingungen quartzgenaue Generatoren gebaut werden, welche Signale von immer größerer Frequenzstabilität anstreben, ist die moderne Impulstechnik auf stetige Verkürzung der Verzögerungszeit des Rechtecksignals gerichtet. Angestrebt werden zwei Grenz-

¹ Vorsilben vor Maßeinheiten bedeuten folgende Faktoren: Tera (T) = 10^{12} , Giga (G) = 10^9 , Mega (M) = 10^6 , Kilo (k) = 10^3 , Hekto (h) = 10^2 , Dekka (D) = 10^1 , Dezi (d) = 10^{-1} , Centi (c) = 10^{-2} , Milli (m) = 10^{-3} , Mikro (μ) = 10^{-6} , Nano (n) = 10^{-9} , Pico (p) = 10^{-12} .

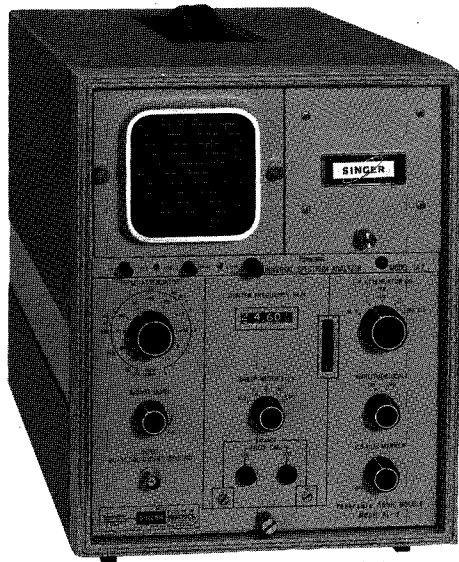


4 (oben) Maschinenraum (Studio für elektronische Musik, München). Im Hintergrund Siemens-Vocoder.

5 (unten) Regieraum (Studio für elektronische Musik, München).



6 Sinusgenerator
(Philips PM 5100)



7 Spektral-Analysator
(Singer TA-2 mit Einschub AL-2)



8 Impulsgenerator
(Philips GM 2314)

werte: die zeitlose (unendlich lang dauernde) Frequenz einerseits und die frequenzlose (zum weißen Rauschen gewordene) Zeitdauer andererseits. Blickt man in umgekehrter Richtung, so erhebt sich allerdings folgende Frage: wo liegt der Punkt, bei welchem die Signale eines sehr langzeitigen Impulses in eine Schwingung bzw. einer sehr kurzzeitigen Schwingung in den Impuls übergehen? Obwohl beide Begriffe durch Arbeitsdefinitionen umgrenzt sind, gibt es keine klare Trennung zwischen Impuls und Schwingung. Beide sind sie Element zweier verschiedener Weisen der Anschauung, welche in der Wellen- und in der Quantentheorie ihre gültige Ausprägung gefunden haben. Der Impuls kann als Schwingung von extrem kurzer Dauer, die Schwingung als Pulsfolge aufgefaßt werden (vgl. Abb. 2.19 c, d, e und Abb. 2.22 a).

Auch für den Komponisten ist dieser Sachverhalt von erster Wichtigkeit. Die von einer Sinusschwingung erregte Tonhöhenempfindung verwandelt sich bei fortschreitender Verkürzung der Signalzeitdauer nacheinander in die Empfindungen eines geräuschhaften Klanges, eines Geräusches und schließlich eines Kurzgeräusches (oder Knackes), das bei genauem Hinhören als sehr schnelle Folge zweier kurzer Stöße erkannt werden kann (Ein/Aus). Die Tonhöhenempfindung ist also übergegangen in die Wahrnehmung eines zeitlichen Ablaufes. Ähnliches konnte bereits an der Schwebung beobachtet werden (vgl. Seite 53, Übergang der Tonhöhenwahrnehmung in eine solche der Stoßfolge). Werden umgekehrt Impulse zu periodischen Pulsfolgen vereinigt, wozu Impulsgeneratoren in repetierendem Betrieb fähig sind, so erregen derartige Signale bei zunehmender Pulsfrequenz vorerst die Empfindung von Stoßfolgen und schließlich von Tonhöhen, deren Klang von der Form bzw. dem Frequenzinhalt der Impulse bestimmt ist. Das Ohr ist also von der Wahrnehmung eines zeitlichen Ablaufes übergegangen zur Tonhöhenempfindung (Abb. 2.22). Impulsgeneratoren können demnach als Klangquellen verwendet und aus diesen Klängen die Gesamtheit aller akustischen Er-

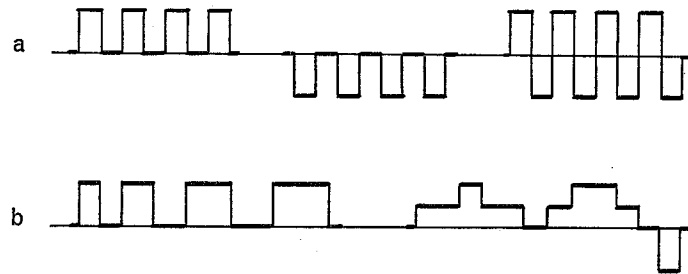


Abb. 2.22 Pulsfolgen. a) Zeitsymmetrische bzw. periodische Pulsfolgen positiv (links), negativ (Mitte) und symmetrisch (rechts). Die Anzahl der Impulse pro Sekunde wird Pulsfrequenz genannt. Je nach Frequenzinhalt der Impulse und Pulsfrequenz können derartige Signale die Empfindung von Tönen und Klängen erregen. b) Nicht zeitsymmetrische Pulsfolgen (links) und komplexe Pulsfolgen (rechts).

scheinungen aufgebaut werden. Besonders reizvoll sind die Möglichkeiten nicht zeitsymmetrischer Pulsfolgen, welche bei geschickter Verwendung zu akustischen Gebilden führen, die zwischen erregter Tonhöhen- und Zeitwahrnehmung oszillieren. Werden sehr dichte und unregelmäßige Folgen aus Rechteckimpulsen unregelmäßig verschiedener Amplituden gebildet, so entsteht das weiße Rauschen, was der aus einem einzelnen Händeklatschen anschwellende Applaus veranschau-

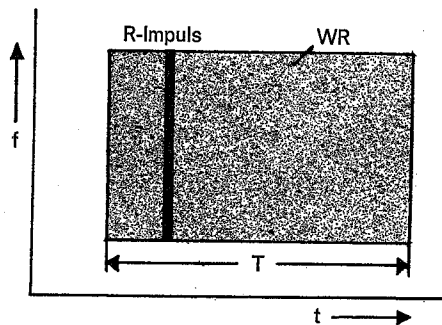


Abb. 2.23 Zusammenhang zwischen Impuls und weißem Rauschen (dargestellt nach Meyer-Eppler, vgl. Abb. 2.18).

lichen mag. Der Impuls kann demnach als zeitliche Kompression des weißen Rauschens verstanden werden (Abb. 2.23, vgl. auch Abb. 2.18).

2.6 Die Modulation

2.61 Der Begriff der Modulation in der elektronischen Musik

Unter Modulation ist der Musiker jenen Vorgang zu verstehen gewohnt, welcher von einer festgelegten Tonart in eine neu festzulegende hinüberführt. Modulation meint also Veränderung. Auch im Bereich der elektronischen Musik begreift der Komponist die Modulation als Veränderung, aber der Begriff ist sehr viel weiter gefaßt. Unter Modulation ist *jegliche Veränderung der Eigenschaften eines Signales im zeitlichen Ablauf* zu verstehen. So habe ich in den vorausgegangenen Abschnitten Veränderungen von Amplitude oder Frequenz eines Signales stets als Amplituden- bzw. Frequenzmodulation bezeichnet (Abb. 2.24).

Wann immer ein Signal aus dem quasi-stationären Zustand völliger Veränderungslosigkeit innerhalb des zeitlichen Ablaufes heraustritt, ist es *moduliert*. Und dies heißt für den Komponisten: die erregte Hörempfindung hat an musikalischem Wert gewonnen. Quasi-stationäre Sinustöne, harmonische Klänge und Pulsfolgen, aber auch das weiße Rauschen sind musikalisch wertlos, weil un- oder statistisch gleichförmig moduliert. Es sind Zustände, die im Augenblick ihres Eintretens zwar Empfindung zu erregen vermögen, dann aber vergessen werden wie die gleichförmige Drehbewegung unserer Erde. Nur *Zustandsänderung erregt Empfindung*, und wie die Erddrehung, die wir erst dann zu spüren vermöchten, wenn sie eines Tages plötzlich beschleunigt oder gebremst würde, so tritt uns das akustische Signal erst dann ins Bewußtsein, wenn ihm Modulation zukommt. Schwebung und Vibrato

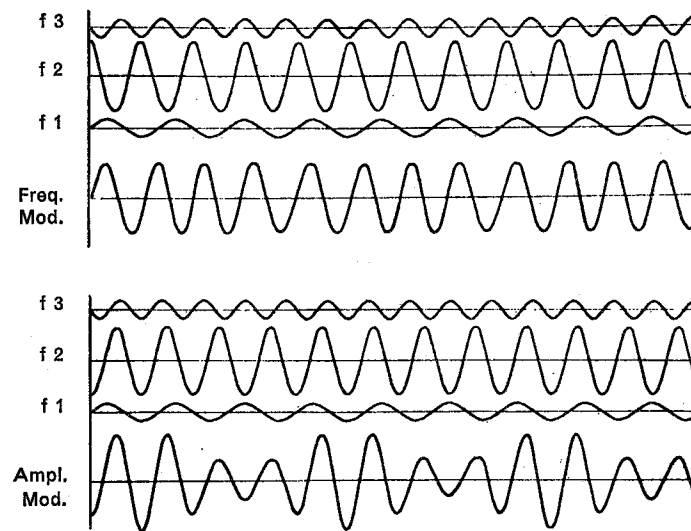
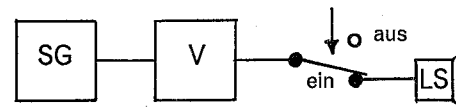


Abb. 2.24 zeigt, wie durch Überlagerung dreier Sinusschwingungen, f_3 , f_2 und f_1 (10:8:6), bei verschiedenen Phasenverhältnissen entweder eine Frequenz- oder eine Amplitudenmodulation entsteht (nach Stevens und Davis).

modulieren Sinussignal und Pulsfolge, Ausfilterung das weiße Rauschen. Aber auch das einfache Ein- und Aussetzen eines Signales muß als Modulation verstanden werden.

2.62 Das Einschwingen

Blockschema:



Zwischen NICHTS und den gewünschten Werten eines Signales (Soll-Amplitude, Soll-Frequenz und Soll-Spektrum) liegt der

Vorgang einer Zustandsänderung, und dieser beansprucht eine endliche Zeitdauer. Erst danach stellt sich der eingeschwungene Zustand ein. Dieser Vorgang wird das *Einschwingen* genannt (Abb. 2.25).

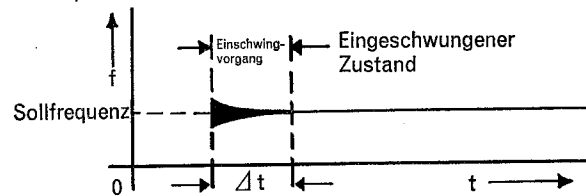


Abb. 2.25 Einschwingvorgang eines Sinustones. Durch das Einsetzen ergibt sich ein Geräuschspektrum, das erst allmählich zur Soll-Frequenz des eingeschwungenen Zustandes abklingt.

Zwar sind die Einschwingvorgänge elektrischer Signale sehr kurz, und deshalb können ihre komplexen Modulationen, so weit ich sie nicht bereits dargestellt habe, vernachlässigt werden. Aber die Trägheit der Wandler- und Übertragungssysteme (Lautsprecher, Luft, menschliches Ohr) beeinflusst den Vorgang des Einschwingens in der Regel so sehr, daß einem plötzlich mit voller Lautstärke einsetzenden Ton oder Klang gehörmäßig ein kurzer Knall voranzugehen scheint. Dieser Knall, der an ein dem Ton oder Klang voraneilendes p, t oder k erinnert, wird um so deutlicher gehört, je größere Steilheit die Anstiegsflanke des einsetzenden Signales aufweist. Wird die Steilheit verringert, und setzt der Ton oder Klang also nicht sogleich mit voller, sondern mit allmählich wachsender Lautheit ein (rinforzando, wie die Musiker sagen), so wird auch der Knall weicher; er gleicht jetzt den Lauten b, d oder g und wird bei immer sanfterem Einsatz zu einem w. Schließlich verschwindet er ganz. Jetzt erst ist jener sanfte Einschwingvorgang erreicht, welchen die Sänger den freien weichen Einsatz nennen. Für den Klang ist der Einschwingvorgang also von entscheidender Bedeutung. Durch ihn wird der Charakter der Musikinstrumente weitgehend bestimmt. Durch seine bewußte Ge-

staltung vermögen die Künstler den Klängen ihrer Instrumente und Stimmen feinste Differenzierung zu geben, die vom Hörer um so stärker empfunden wird, als sein Ohr für den Eintritt eines Klanges weit empfindlicher ist als für dessen unmoduliertes Fortklingen (Abb. 2.26).

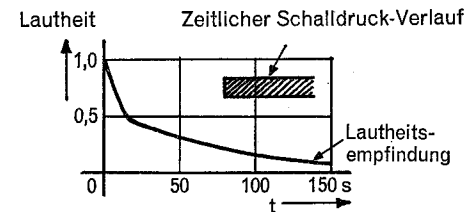


Abb. 2.26 Abnahme der Lautheitsempfindung bei Einwirken eines unmodulierten Sinustones auf das menschliche Ohr während einer Zeitdauer von 150 s. Schraffiert ist die zeitliche Konstanz des Schalldrucks angedeutet (Darstellung nach F. Winkel).

Weder Instrument noch Interpret formen im Studio für elektronische Musik die Einschwingvorgänge der Klänge. Der Komponist selbst hat sich ihrer anzunehmen und sie nach seinem Willen zu gestalten. Und dies ist, trotz allfälliger technischer Hilfsmittel, eine sehr schwierige Aufgabe, deren Lösung oft genug über das Gelingen oder Nichtgelingen einer elektronischen Komposition entscheidet.

2.63 Der Nachhall

Blockschema:



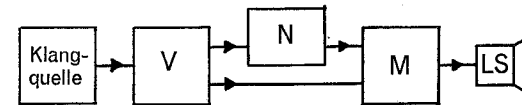
Auch das Aussetzen eines Klanges ist als Modulation zu betrachten. Sängern und Instrumentalisten ist meist kaum bewußt, daß

Stimme und Musikinstrumente das Aussetzen der Klänge in der Regel ohne Zutun in einer Weise modulieren, daß weder jähes Abbrechen noch allzu langes Nachklingen das Musizieren beeinträchtigt. Um sich dies vor Augen zu halten, braucht man sich bloß das mechanisch überaus feine und komplizierte Dämpfungssystem eines Flügels genauer zu beschen. Es dämpft die schwingende Saite nicht abrupt, sondern sehr weich. Dadurch setzt der Klang zwar im gewünschten Augenblick aus, aber ein Knall oder Geräusch (ap, at, ak; ab, ad, ag), welches wie beim abrupten Einsetzen auch die unvermeidliche Folge allzu plötzlichen Aussetzens wäre, wird vermieden. Höchstens ist ein sehr weiches nachschlagendes w zu hören (aw). Will aber der Pianist seinem Instrument einen weitausschwingenden, langsam sich verlierenden Klang entlocken (perdendosi), dann hebt er durch Pedaldruck rechts die Wirkung aller Dämpfer auf und erreicht damit zweierlei: eine Amplituden-Modulation durch die natürliche, sehr langsame Dämpfung der schwingenden Saite und eine Bereicherung der Klangfarbe durch das leise Mitschwingen aller jener Saiten, deren Frequenzen in harmonischer Beziehung zur Tonhöhe der klingenden Saite stehen. Die Modulation des Aussetzens eines Klanges wird nicht einzig durch Spieler und Instrument beeinflusst; auch der Raum spielt eine Rolle. Einmal ausgesandt, wird der Klang in mannigfaltigster Weise reflektiert und mischt sich zum *Nachhall*, der ein feines Gespinst von vielfältig überlagertem Echo darstellt und Grund dafür ist, daß bestimmte Konzertsäle und Opernhäuser von den Musikern wegen ihrer Akustik hoch gepriesen, andere dagegen tunlichst gemieden werden.

Das Ausschwingen eines elektronisch erzeugten Signals wird durch kein Instrument ohne Zutun musikalisch geregelt und durch keinen Raum zurückgeworfen. Sein Nachhall muß vom Komponisten selber geregelt werden. Dies kann mittels künstlicher Verhallung geschehen. Zwei Verfahren werden dabei angewendet. Es sind dies der künstlich durch das Hallgitter erzeugte Nachhall und das Echo durch Iteration.

2.631 Der künstlich erzeugte Nachhall

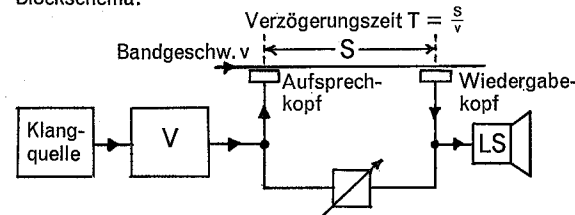
Blockschema:



Künstlicher Nachhall kann durch eine Einrichtung erzeugt werden, welche aus einem *Hallgitter* (N) aus Streckmetall, einem elektrodynamischen Antriebssystem und einem piezoelektrischen Abtaster besteht. Das Antriebssystem regt das Gitter zu Schwingungen an, deren Dämpfung sehr gering ist. Der Abtaster verwandelt diese in elektrische Schwingungen zurück. Der verhallte Klang kann zum unverhallten in jedem Grad hinzugemischt werden, was gehörmäßig einer Regelung der Nachhalldauer entspricht.

2.632 Das künstliche Echo durch Iteration

Blockschema:



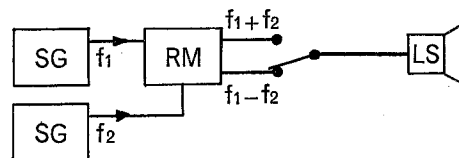
Zur Erzeugung künstlichen Echos durch Iteration wird eine *Tonbandmaschine* mit getrenntem Aufsprech- und Wiedergabekopf verwendet. Ein Klang wird über den Aufsprechkopf auf Band aufgenommen, nach einer Verzögerungszeit vom Wiedergabekopf abgenommen und über einen Verstärker dem Aufsprechkopf wieder zugeführt. Die Verzögerungszeit zwischen Primärklang und Echo wird bestimmt durch Bandgeschwindigkeit und Abstand zwischen Aufsprech- und Wieder-

gabekopf. Dieser Rückkopplungsvorgang läßt sich mehrmals wiederholen, allerdings mit Qualitätsverminderung für jeden weiteren Durchlauf. Die Verhallung hat den Charakter eines Flatterechos oder, bei Verlängerung der Verzögerungszeit, von kanonartig einander überlagerten Echos.

Es sei nicht verschwiegen, daß auch das wohl etwas materialfremde Mittel der in jedem Rundfunkstudio vorhandenen Echokammer zur Verhallung verwendet wird.

2.64 Spektralmodulation mittels Frequenzumsetzung

Blockschema:



Eine wertvolle Art der Modulation bietet dem Komponisten der *Frequenzumsetzer* oder *Ringmodulator* (in Partituren oft als RM gekennzeichnet). Durch dieses Gerät läßt sich die Frequenz f_1 eines Primärtones um eine Zusatzfrequenz f_2 so «verschieben», daß sowohl die Summe $f_1 + f_2$ als auch der absolute Betrag der Differenz beider Frequenzen $f_1 - f_2$ entstehen. Eine konstante Primärfrequenz von beispielsweise $f_1 = 800$ Hz ergibt bei einer von 0 bis 800 Hz anwachsenden Zusatzfrequenz f_2 zwei auseinanderstrebende Töne, welche alle möglichen Intervallverhältnisse gleitend durchlaufen (Abb. 2.27).

f_1	800	800	800	800	800	800 Hz
f_2	0	50	100	200	400	800 Hz
$f_1 + f_2$	0	850	900	1000	1200	1600 Hz
$f_1 - f_2$	0	750	700	600	400	0 Hz

Abb. 2.27 Frequenzumsetzung. Eine Primärfrequenz f_1 wird um die Zusatzfrequenz f_2 verschoben, so daß sich Summe und Differenz beider Frequenzen ergeben.

Dasselbe gilt, wenn der Primärton f_1 durch einen Primärklang ersetzt wird. Jeder seiner Teiltöne wird um den gleichen zugesetzten Betrag f_2 verschoben. Zur Veranschaulichung denken wir uns einen Primärklang mit den harmonischen Frequenzverhältnissen 1:2:3 der Teiltöne, beispielsweise wiederum 800 Hz mit den Obertönen 1600 Hz (Oktave) und 2400 Hz (Duodezime). Wird eine von 0 bis 800 Hz anwachsende Frequenz f_2 zugesetzt, so ergeben sich diesmal zwei auseinanderstrebende Klänge, welche dieselben gegenseitigen Intervall-Verhältnisse gleitend durchlaufen wie im vorigen Beispiel (Abb. 2.28). Allerdings ändert sich das Spektrum der beiden auseinanderstrebenden Klänge fortlaufend, was leicht an den die Frequenzspektren beider Klänge charakterisierenden Verhältniszahlen abgelesen werden kann (Abb. 2.28 rechts neben der Frequenzangabe).

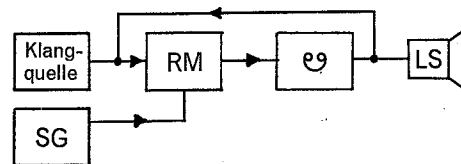
	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz
Primär- Klang	2400 3	2400 3	2400 3	2400 3	2400 3	2400 3	2400 3
	1600 2	1600 2	1600 2	1600 2	1600 2	1600 2	1600 2
	800 1	800 1	800 1	800 1	800 1	800 1	800 1
f_2	0	11	50	100	200	400	800
Primärklang + f_2							
		2411	2450 77	2500 25	2600 13	2800 7	3200 4
		1611	1650 33	1700 17	1800 9	2000 5	2400 3
		811	850 17	900 9	1000 5	1200 3	1600 2
	0						
	0						
	0	2389	2350 47	2300 23	2200 11	2000 5	1600 2
		1589	1550 31	1500 15	1400 7	1200 3	800 1
		789	750 15	700 7	600 3	400 1	0
Primärklang - f_2							

Abb. 2.28 Umsetzung eines Primärklanges um die Zusatzfrequenz f_2 . Nimmt die Zusatzfrequenz nacheinander verschiedene Werte an, so ergibt sich eine Spektralmodulation.

Es liegt also nicht nur eine Frequenz-, sondern auch eine *Spektralmodulation* vor, welche sich dem Ohr als Klangfarben-Veränderung darbietet. Im gezeigten Beispiel durchläuft jeder der beiden Klänge Stadien, in denen sein Frequenzspektrum bald Verhältnisse kleiner ganzer Zahlen (z. B. 3:5:7), bald aber auch Verhältnisse größerer ganzer Zahlen (z. B. 17:33:77) aufweist. Jene Verhältnisse ergeben harmonische, diese aber Klänge, welche sich vom harmonischen Klang entfernen. Daß zwischen den angegebenen Werten eine Vielzahl von irrationalen Teilfrequenz-Verhältnissen entsteht, habe ich durch den Wert $f_2 = 11$ Hz angedeutet. Das Mittel des Frequenzumsetzers erlaubt also genau definierte, kontinuierliche Übergänge von harmonischen zu rauhen und geräuschhaften Klängen und umgekehrt. Selbstverständlich kann es sich beim Primärklang auch um ein reich moduliertes und unter Umständen nicht diskret, sondern nurmehr mittels statistischer Raten definiertes Klangereignis handeln. Um eine geeignete Zusatzfrequenz verschoben, können derartige Gebilde zu klanglich äußerst reizvollen Wirkungen führen.

2.65 Frequenzumsetzer in Verbindung mit Iteration

Blockschema:

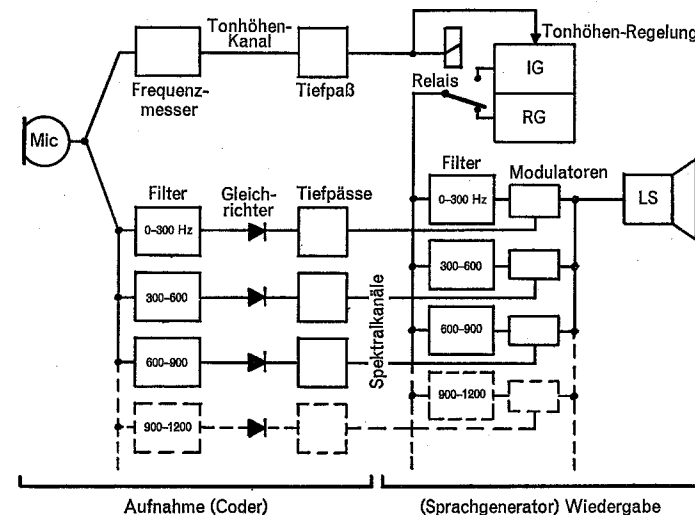


Der Frequenzumsetzer kann mit der Iteration in Verbindung gebracht werden. Dazu wird ein Primärton oder -klang durch die Zusatzfrequenz f_2 verschoben und das Ergebnis dem Aufsprechkopf einer Tonbandmaschine zugeführt, von wo es mit Zeitverzögerung über den Wiedergabekopf wieder dem Frequenzumsetzer als Primärklang zugeführt und erneut um die

Zusatzfrequenz f_2 verschoben an die Tonbandmaschine weitergeleitet wird usw. Der Klang entfernt sich von Durchgang zu Durchgang zunehmend von seinem Ausgangsspektrum, das immer dichter und schließlich zum Rauschspektrum wird. Durch eine Primärfrequenz einmal in Gang gebracht, läuft ein derartiger Modulationsvorgang selbsttätig ab. Allerdings kann sein Verlauf durch Impulse, die dem jeweiligen Primärklang nach Wahl beigemischt werden, auch willkürlich gelenkt werden. Rückkopplungssysteme dieser Art eignen sich nach meiner eigenen Erfahrung vorzüglich für den Brückenschlag zwischen elektronischer und vokaler bzw. instrumentaler Musik. Auch musikalische Organismen, welche infolge Rückkopplung empfindlich sind auf die Reaktion des Zuhörers, kann ich mir sehr wohl vorstellen, obwohl ich in dieser Richtung über vorbereitende Arbeiten bisher noch nicht hinausgelangt bin.

2.66 Der Vocoder

Blockschema:



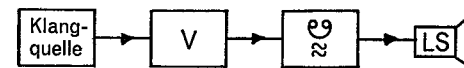
Vocoder wird ein Gerät genannt, das jedes beliebige Schallsignal aufnehmen, codieren und wieder in ein dem ursprünglichen entsprechendes Signal zurückverwandeln kann. Da bei der Codierung das Spektrum des aufgenommenen Signales in einzelne Frequenzbereiche zerlegt und diese in getrennten Kanälen dem Wiedergabeteil zugeführt werden, gibt der Vocoder dem Komponisten *die Möglichkeit, ausgewählte Frequenzbereiche eines Signales einzeln zu modulieren*, während Modulationen, wie ich sie bis dahin gezeigt habe, das gesamte Spektrum des Signales erfassen.

Der Vocoder besteht aus zwei Teilen: dem Aufnahmeteil, *Coder* genannt (weil er das Signal in eine Gruppe von Gleichströmen codiert) und dem Wiedergabeteil, ursprünglich *Voder* genannt (*Voice Operation Demonstrator*, weil er als mittels dieser Gleichströme steuerbarer Sprachgenerator ausgebildet ist). Ursprünglich zum Zweck gebaut, durch das Mittel der Frequenzband-Aufteilung eine Mehrzahl von Nachrichten gleichzeitig über eine einzige Leitung zu übertragen, hat der Vocoder heute in dieser Hinsicht an Bedeutung verloren, da man von der Frequenzband-Aufteilung mehr und mehr zur Aufteilung in zeitliche Abstände übergegangen ist (Pulsmodulation, Zeitmultiplex-Verfahren). Für die Sprachsynthese, besonders aber für die Verschmelzung zweier Klänge (z.B. Sprache und Musik, Sprache und Geräusch, Musik und Musik) in einen neuen dritten Klang, dem Eigenschaften der beiden Grundklänge zukommen, ist der Vocoder für den Komponisten von großem Interesse (vgl. Photo 4).

2.7 Speicherung und automatische Steuerung

2.71 Die Tonbandspeicherung

Blockschema:



Elektronische Musik kann sowohl während ihrer Produktion als auch zur Aufbewahrung des fertigen Werks auf Tonband gespeichert werden. Ich unterscheide deshalb zwischen *vorübergehender* und *endgültiger Speicherung*. Das Verfahren entspricht in beiden Fällen der heute allgemein bekannten Tonband-Aufnahmetechnik, weshalb sich eine weitere Beschreibung erübrigt. Immerhin sei betont, daß beste Aufnahmequalität unabdingbare Voraussetzung für das Gelingen eines elektronischen Werkes darstellt. Gearbeitet wird auf Studio-Bandmaschinen mit der Bandgeschwindigkeit von 38 cm/s (eventuell auch 19 oder 76 cm/s). Die Maschinen werden entsprechend der Konzeption des musikalischen Werkes in ein-, zwei- und vierspüriger Ausführung eingesetzt. Zur Überwachung kann die Aufzeichnung jeder Spur einzeln abgehört werden.

2.72 Vorübergehende und endgültige Speicherung

Die Speicherung nicht vollausgearbeiteter Teile eines musikalischen Werkes während seiner Produktion nenne ich *vorübergehend*. Sie ist als Notbehelf zu betrachten. Denn daß und wie

oft vorübergehende Speicherung angewandt werden muß, hängt nicht vom Werk ab, sondern ist einzig bestimmt von der technischen Ausrüstung des Studios, in dem gearbeitet wird. Generell aber soll die Anzahl sukzessiver Kopien möglichst klein gehalten werden, weil sich mit jeder Kopie der Abstand zwischen Bandrauschen und Aufnahmepegel verringert. Ein sehr einfaches Modellbeispiel möge die Anwendung der Tonbandspeicherung demonstrieren und dem Leser zugleich einen Einblick in die Realisierung eines elektronischen Werks vermitteln. Daß in Wirklichkeit die Verhältnisse weit verwickelter sind, versteht sich von selbst (vgl. die Werkbeschreibung im Anhang Seite 200). Das Modellbeispiel habe eine Dauer von 28 Sekunden und zeige folgenden Verlauf (Abb. 2.29):

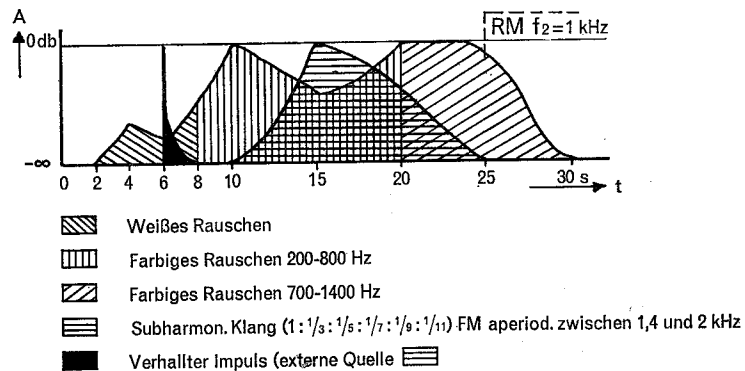
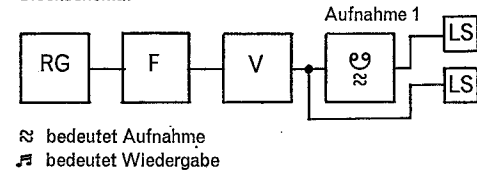


Abb. 2.29 Einfaches Modellbeispiel einer elektronischen Komposition (vgl. auch Abb. 2.34, 2.35 und 2.36).

Die Vielfalt der Operationen, welche bereits dieses einfache Beispiel verlangt, ist von Hand nicht gleichzeitig ausführbar. Deshalb muß in Etappen gearbeitet werden.

1. Etappe

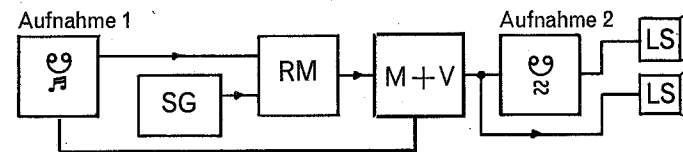
Blockschema:



Das Werk läßt sich in drei Teile gliedern, die aus weißem Rauschen geformt werden können: 6 Sekunden weißes Rauschen (von 2 bis 8), 12 Sekunden farbiges Rauschen mittels Filter aus weißem Rauschen (von 8 bis 20) und 10 Sekunden farbiges Rauschen 700–1400 Hz ebenso (von 20 bis 30). *Aufnahme 1* enthält also die drei Rauschspektren in gewünschter zeitlicher Dauer und Anordnung und mit gewünschtem Spektrum. Die Amplitude ist stets auf 0 db angesteuert (Abb. 2.30a).

2. Etappe

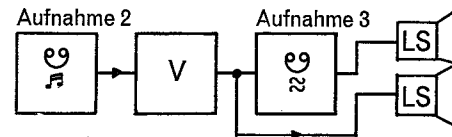
Blockschema:



Das farbiges Rauschen des dritten Teiles (20 bis 30) muß ab 25 als Primärfrequenz durch den Frequenzumsetzer geschickt und um die Zusatzfrequenz $f_2 = 1$ kHz verschoben werden. *Aufnahme 2* besteht aus der von 25 bis 30 modifizierten (RM) Kopie von Aufnahme 1 und ist wiederum auf 0 db angesteuert (Abb. 2.30b).

3. Etappe

Blockschema:



Der Amplitudenverlauf wird geregelt (Abb. 2.30c).
Aufnahme 3 besteht aus der amplitudengeregelten Kopie von *Aufnahme 2*. Damit ist die *erste Schicht* des Werkes ausgerollt.

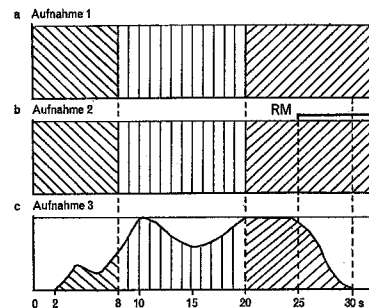
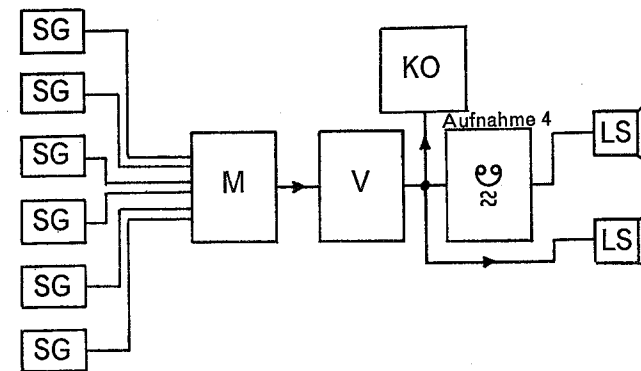


Abb. 2.30 Tonbandaufnahme 1, 2 und 3 zur Herstellung des Modellbeispiels.

4. Etappe

Es sind nun der Impuls bei 6 und der subharmonische Klang von 10 bis 25 zu formen (vgl. Abb. 2.29). Beiden Elementen liegt dasselbe Spektrum zugrunde. Dieses setzt sich aus sechs Teiltönen zusammen. Sind ebenso viele Sinusgeneratoren vorhanden, so kann der gewünschte Klang in einem einzigen Arbeitsgang geformt werden, andernfalls auch hier in Etappen vorgegangen werden muß (z.B. $2 \times$ je 3 Teiltöne, $3 \times$ je 2 Teiltöne).

Blockschema:



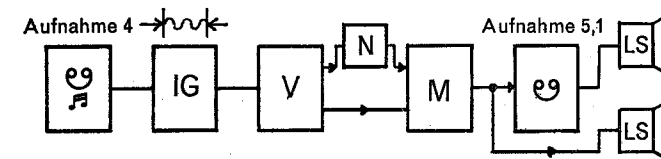
Aufnahme 4 enthält den aus sechs Teiltönen in den gewünschten Amplituden-Frequenz-Verhältnissen zusammengesetzten Klang. Da dieser in seiner endgültigen Fassung mit aperiodischer Frequenzmodulation innerhalb der Grenzen von 1400 bzw. 2000 Hz erscheinen soll, habe ich ihn jetzt auf einen mittleren Frequenzwert von 1600 Hz festgelegt. Amplitude stets auf 0 db ausgeregt (Abb. 2.31a).

5. Etappe

Ausgehend von *Aufnahme 4* können sowohl der Impuls (bei 6) als auch der frequenzmodulierte Klang (von 10 bis 25) geformt werden.

Etappe 5.1

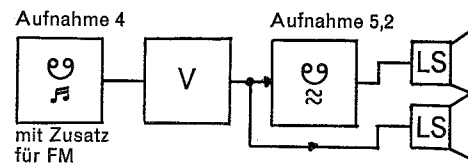
Blockschema:



Aufnahme 4 wird als externe Quelle einem Impulsgenerator zugeführt, der dem Signal die gewünschte kurze Zeitdauer gibt. Danach durchläuft das Signal eine Verhallenrichtung. *Aufnahme 5.1* enthält den Impuls in gewünschter Form (Abb. 2.31b).

Etappe 5.2

Blockschema:



Noch einmal wird von Aufnahme 4 ausgegangen. Die Wiedergabemaschine wird durch ein Gerät ergänzt, welches eine aperiodische Frequenzmodulation erlaubt (z.B. durch Veränderung der Bandgeschwindigkeit). Um eine weitere Kopie zu vermeiden, wird sogleich der definitive Amplitudenverlauf angesteuert. *Aufnahme 5.2* enthält den subharmonischen Klang in der gewünschten Frequenz- und Amplituden-Modulation

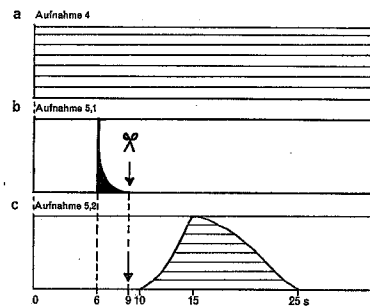
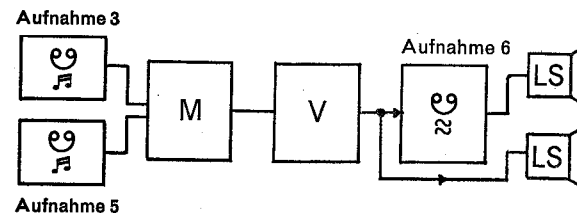


Abb. 2.31 Tonbandaufnahme 4, 5.1 und 5.2 zur Herstellung des Modellbeispieles. Aufnahmen 5.1 und 5.2 werden geschnitten und aneinandergeklebt.

(Abb. 2.31c). Mittels *Bandschnitt* können die beiden Aufnahmen 5.1 und 5.2 in gewünschtem Abstand und Reihenfolge aneinandergefügt werden (*Montage*). Damit ist auch die *zweite Schicht* des Werkes ausgearbeitet.

6. Etappe

Blockschema:



Zur Vollendung des Werkes werden Schichten 1 und 2 bzw. Aufnahmen 3 und 5 (5.1 und 5.2) mit den gewünschten gegenseitigen Amplitudenverhältnissen synchron zusammenkopiert. Zwecks genauer *Synchronisation* wird der Zeitpunkt 0 bei beiden Aufnahmen mit einer optischen oder akustischen Marke versehen (Vorlaufband, Impuls usw.). *Aufnahme 6* enthält das Werk in seiner endgültigen Form (vgl. Abb. 2.29) und ist deshalb als endgültige Speicherung anzusehen. Das mit Aufnahme 6 bespielte Band wird das Originalband genannt.

2.73 Speicherung auf Lochstreifen und automatische Steuerung

Durch eine geeignete Steueranlage kann die Realisierung eines Werkes vereinfacht werden. Frequenz, Amplitude, Spektrum und Zeitdauer eines akustischen Signales sind auch im Fluß des zeitlichen Ablaufes definierte Größen (Parameter) und können als solche codiert und auf *Lochstreifen* gespeichert werden. Mittels eines *Lochstreifenlesers* lassen sich jene Geräte, welche

Frequenz, Amplitude und Spektrum formen, im gewünschten Augenblick für die vorgesehene Zeitdauer automatisch ansteuern (Abb. 2.32).

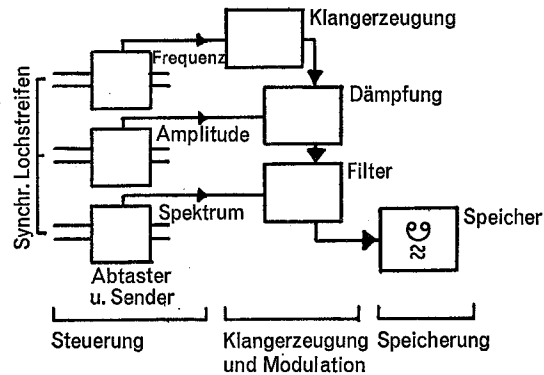


Abb. 2.32 Schema einer automatischen Steueranlage, welche mit Lochstreifen arbeitet. Dieser wird mittels eines mechanischen oder optischen Lochstreifenlesers gelesen, der die Parameter Amplitude, Frequenz und Spektrum des gewünschten Signales laufend steuert. (Vgl. Abb. 4.9).

Mit Hilfe einer derartigen Steueranlage ließe sich auch unser Modellbeispiel viel einfacher realisieren. Der Arbeitsprozeß würde bloßmehr 3 Etappen umfassen und wäre nun folgender:

1. *Etappe.* Codieren und Lochen der Steuerbefehle für Schicht 1 und 2.

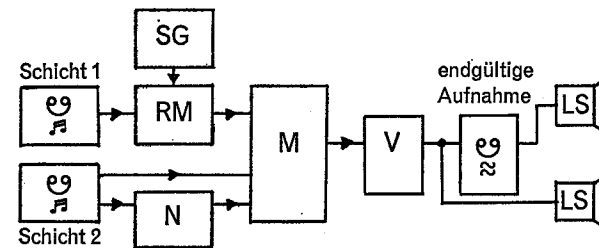
2. *Etappe.* Es werden nacheinander zwei den vorherigen Aufnahmen 3 und 5 (5.1 und 5.2) entsprechende Schichten mit automatischer Steuerung einzeln auf Band aufgenommen (vgl. Abb. 2.30 c und 2.31 b, c).

Schicht 1 enthält das Rauschen in der gewünschten zeitlichen Anordnung, Amplituden- und Frequenzmodulation, jedoch ohne Frequenzumsetzung.

Schicht 2 enthält Impuls und subharmonischen Klang in der gewünschten zeitlichen Anordnung, Amplituden- und Frequenz-Modulation, jedoch ohne Nachhall. Beide Aufnahmen tragen eine Nullmarke.

3. Etappe

Blockschema:



Schichten 1 und 2 werden synchron zusammen kopiert. Im selben Arbeitsgang wird Schicht 1 von 25 bis 30 mittels Frequenzumsetzer um f_2 verschoben, ebenso durchläuft Schicht 2 bei 6 eine Verhaleinrichtung. Die Aufnahme enthält nun das Werk in seiner endgültigen Gestalt (vgl. Abb. 2.29) und speichert es endgültig (Originalband).

Durch entsprechende Erweiterung der automatischen Steuerung muß es möglich sein, die Realisation eines elektronischen Werkes auf nur zwei Etappen zusammenzudrängen. Die vorübergehende Tonbandspeicherung wird durch den Lochstreifen-Speicher ersetzt, und das Tonband übernimmt nur noch die endgültige Speicherung des Werkes. Die erste Etappe einer derartigen Werkrealisierung umfaßt Programmierung, Codieren und Lochen des Lochstreifens, die zweite Etappe dagegen die endgültige Tonbandaufnahme.

Die Speicherung auf Lochstreifen bringt gegenüber der Tonband-Aufzeichnung allerdings eine Quantisierung des aufgezeichneten Signales mit sich. Sein zeitlicher Verlauf wird ähn-

lich demjenigen einer Bewegung auf den einzelnen Bilderchen eines Filmes in eine Folge von Schritten aufgelöst (Abb. 2.33).

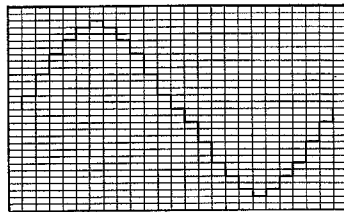


Abb. 2.33 Amplituden-Quantisierung eines Sinus-Signales, d.h. Darstellung desselben durch beliebig gewählte Stufen, wobei kleinere als die gewählten Stufen als unbedeutend angesehen und nicht dargestellt bzw. übertragen werden.

Der Raster dieser Auflösung ist bei automatischen Steuerungssystemen jedoch so fein gewählt, daß die Quantisierung ohne Einfluß auf die Hörempfindung bleibt, so wie ja auch die Bildfolge eines Films bei genügender Laufgeschwindigkeit für das Auge zum Kontinuum wird. (Das Siemens-Steuer-System im Studio für elektronische Musik München beispielsweise erlaubt 400 Veränderungen der Tonhöhe, Klangfarbe und Lautstärke in der Sekunde).

2.74 Die Partitur

Im Bereich der elektronischen Musik kommt der Partitur nicht jene zentrale Bedeutung zu, welche sie für die traditionelle Musik besitzt. Vokal- und Instrumentalwerke werden in Partituren gespeichert, und aus Partituren werden sie zum Leben der musikalischen Aufführung erweckt. Die Speicherung vermittelt graphischer Aufzeichnung ist für diese Musik unerlässlich und bestimmt sie so sehr, daß selbst ihre kompositorische Konzeption weit stärker von der Notenschrift be-

einflußt wird, als man dies gemeinhin zuzugeben bereit ist. Allerdings sind diese Dinge durch den Einbruch der Tonbandaufzeichnung in Fluß geraten, und ein rückläufiger Einfluß des Tonbands auf die kompositorische Konzeption der zeitgenössischen Instrumentalmusik zeichnet sich deutlich ab.

Die natürliche Speicherung der elektronischen Musik dagegen ist nicht die Partitur, sondern die Aufzeichnung auf Tonband oder Lochstreifen. Wenn die Komponisten dennoch auch für ihre elektronische Musik Partituren schreiben, so tun sie dies keineswegs, um ihre Musik zu speichern. Derartige Partituren sind vielmehr Pläne, die Anweisungen enthalten, wie bei der Realisierung des Werks gearbeitet werden soll, oder Rapporte, die Auskunft geben, wie gearbeitet worden ist (vgl. Abb. 2.34).

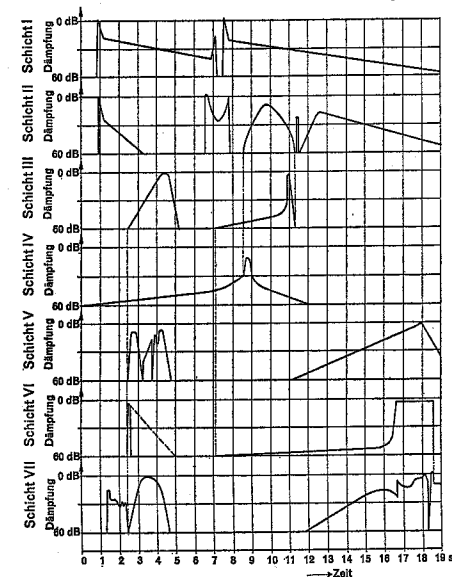


Abb. 2.34 Ausschnitt aus dem Plan zur Synchronisierung der Klangabläufe aus der *Komposition für elektronische Klänge Nr. 2* von Josef Anton Riedl (1963 und 1965).

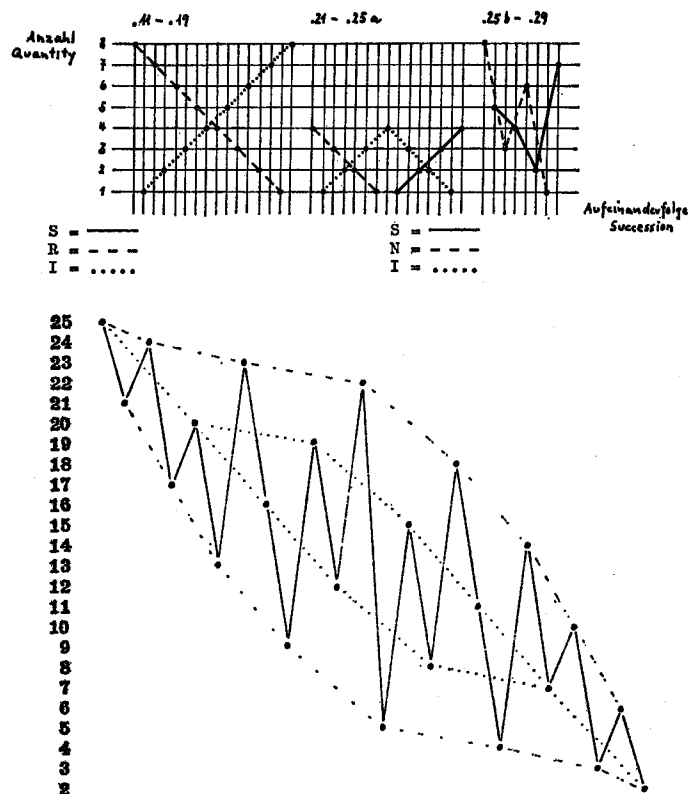


Abb. 2.35 Zwei Diagramme aus der Partitur zu *Essay, Composition für elektronische Klänge* (1957) von Gottfried Michael Koenig (UE 12885).

Die Wandlung, welche die graphische Speicherung im Bereich der elektronischen Musik erfahren hat, zeigt sich an dieser Partitur sehr eindrücklich: sie besteht in einem Kommentar, der in Worten eine eingehende technische Arbeitsanweisung gibt. Einige wenige Diagramme, von denen hier zwei abgebildet sind, erläutern den Text dieser Anweisung. Oben: *Diagramm für Klangfarbenverteilung* auf gegebene Zeit/Frequenz-Struktur. S = Sinuston, R = gefiltertes Rauschen, I = gefilterter Impuls. Von links nach rechts zu lesen: 8 Rauschen, 1 Impuls, 7 Rauschen, 2 Impulse usw. Die Figuren links und Mitte zeigen Übergänge (Rauschen → Impuls; Rauschen → Impuls → Sinuston). Die Figur rechts zeigt eine Kombination (Sinuston + Rauschen) durch serielle Verteilung. Unten: *Diagramm für Tonhöhenverteilung* auf gegebene Zeitstruktur. Die Tonhöhen sind nach aufsteigenden Frequenzen geordnet (2 bis 25). Die Punkte der «Blattform» (von links nach rechts) geben die Reihenfolge der Tonhöhen an: richtungsbestimmt (von oben nach unten), symmetrisch.

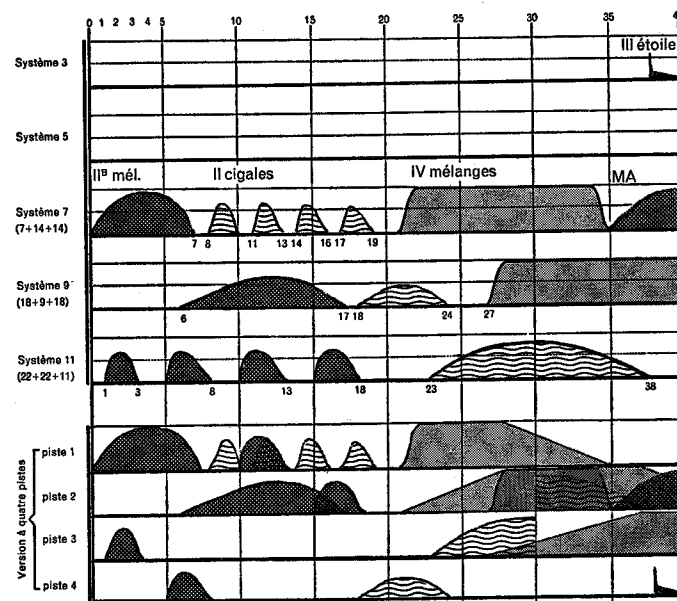


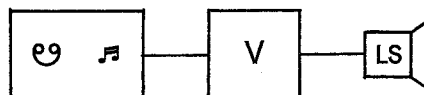
Abb. 2.36 Anfang der Partitur zu *Eclipses, musique électronique pour quatre colonnes sonores* von Werner Kaegi (1964). Die vorliegende Partitur stellt von oben nach unten horizontal in 5 Amplituden-Zeit-Ebenen die 5 Klangsysteme (Systèmes) der Komposition dar, durch deren gegenseitiges zeitliches Verhältnis die gegenseitigen Frequenzverhältnisse festgelegt sind. Die Spektren der einzelnen Elemente sind durch Symbole (z.B. II cigales) und spezielle Modulationen durch Abkürzungen gekennzeichnet (z.B. MA = Modulateur en anneau, Frequenzumsetzer). Die unteren vier Kolonnen zeigen die endgültige Verteilung der Systeme auf die vier Bandspuren bzw. Lautsprecher (version à quatre pistes). Vgl. Anhang Seite 200.

Partituren elektronischer Musik werden deshalb meistens erst nach der Realisierung des Werks anhand von Arbeitsskizzen angefertigt. Der Unterschied zwischen traditionellen Partituren und denjenigen der elektronischen Musik besteht also in der Verschiedenheit ihrer Funktion und niemals in ihrer unter-

schiedlichen Form der Darstellung. Im übrigen wird die Notation der elektronischen Musik, obwohl Anregungen für ein sehr schönes Verfahren gemacht worden sind (Eimert, Enkel und Stockhausen), von den Komponisten sehr individuell gehandhabt (vgl. Abb. 2.35 und 2.36).

2.8 Die Wiedergabe

Blockschema:



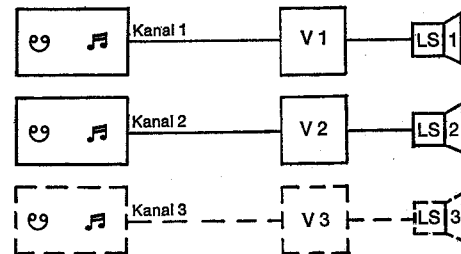
Elektronische Musik bedarf zu ihrer Wiedergabe immer der Verstärkung und des Lautsprechers, ob sie im Konzertsaal, in speziell für sie geeigneten Räumen oder mittels Funk und Fernsehen übertragen wird; denn ihre elektrischen Signale müssen in Schall umgewandelt werden.

Da Lautsprecher an jedem beliebigen Ort aufgestellt werden können, kennt die Wiedergabe elektronischer Musik keine Bindung an traditionell festgelegte Anordnungen der Schallquellen, wie die Instrumentalmusik sie dem Komponisten durch die angestammten Sitzordnungen des Sinfonie- und Theaterorchesters und der verschiedenen Kammermusikformationen auferlegt. Im Bereich der elektronischen Musik ist es einzig und allein am Komponisten, die Anordnung der Schallquellen zu bestimmen. Ihre Wahl liegt ausschließlich und für jedes Werk in seinem Kompetenzbereich, und deshalb gehört die Anordnung der Schallquellen mit zur Struktur einer jeden elektronischen Komposition.

2.81 Die mehrkanalige Wiedergabe

Die Wiedergabe kann in ein- oder mehrkanaliger Weise erfolgen, je nachdem ein oder mehrere Speicher durch getrennte

Blockschema:

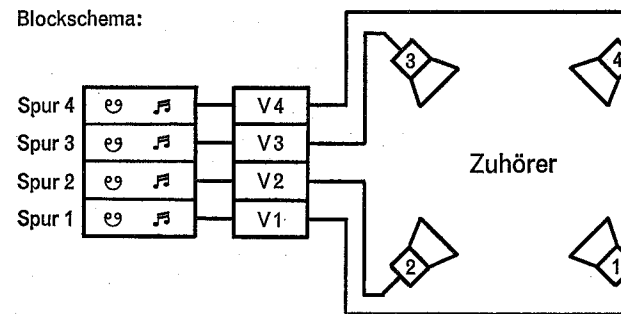


Kanäle mit ebenso vielen Lautsprechern verbunden werden. Für die elektronische Musik scheidet jedoch die einkanalige Wiedergabe von vornherein aus, weil sie den Komponisten eines wertvollen Gestaltungsmittels beraubt: der Strukturierung des *Tonorts*. Denn es mögen noch so viele Lautsprecher an einen einzigen Wiedergabekanal gehängt werden, die Tonorte der von ihnen wiedergegebenen Schallsignale bleiben immer dieselben und von Struktur kann nicht die Rede sein. Leider arbeiten sowohl der Rundfunk als auch das Fernsehen wie zu Pionierzeiten auch heute noch vorwiegend einkanalig (was sich mindestens für den Rundfunk in keiner Weise rechtfertigt!), so daß jedes elektronische Werk durch die Funk- und Fernsehübertragung eine einschneidende Veränderung erfährt. Erst die Verwendung von mindestens zwei oder mehr Wiedergabekanälen und ebenso vielen Lautsprechern erlaubt es dem Komponisten, den Signalen seines Werks nicht nur ganz bestimmte Amplituden, Frequenzen, Zeitdauern und Spektren, sondern willkürlich auch ganz bestimmte Tonorte zuzuweisen. Die Zuordnung muß freilich bereits durch die Struktur des Werks gegeben und bei der Realisierung berücksichtigt worden sein. Einem unerfahrenen Komponisten beispielsweise, der sein Werk auf einem einzigen Tonband gespeichert hätte und nachträglich eine Strukturierung der Tonorte versuchen wollte, wäre auch mit einem mehrkanaligen Wiedergabesystem nicht

geholfen. Er könnte sein Glück bestenfalls mit einer Mischstufe versuchen, die ihm jeden seiner Wiedergabekanäle wahlweise zu öffnen und zu schließen gestattete und die er für die Wiedergabe seines Werks während dessen voller Dauer aufmerksam bedienen müßte. Für sehr einfache Tonort-Strukturen möchte dies vielleicht angehen, für komplexe Strukturen dagegen wäre es ein aussichtsloses Unterfangen. In Wirklichkeit wird so verfahren, daß jedem Tonort bereits bei der Speicherung des Werks ein ganz bestimmter Speicher zugeordnet wird und alle Signale gemäß den ihnen zugedachten Tonorten auf die jeweiligen Speicher verteilt werden (vgl. Abb. 2.36). Dies kann mit *mehrspurigen* Tonbandmaschinen geschehen. Derartige Geräte sind nun allerdings meistens auf vier, eventuell sechs Spuren beschränkt, was die Anzahl der dem Komponisten zu Verfügung stehenden Tonorte auf vier, eventuell sechs begrenzt. Die Beschränkung ist jedoch eine völlig willkürliche, zudem könnte die Zahl durch gleichzeitige Verwendung mehrerer synchron laufender Tonbandmaschinen erhöht werden.

2.82 Räumliche Anordnung der Schallquellen

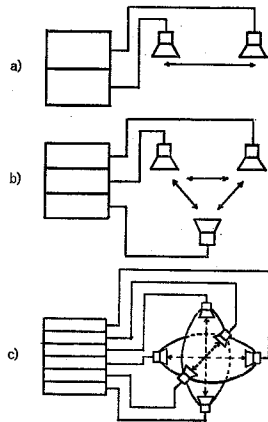
Blockschema:



Der Schall breitet sich räumlich aus; jedes akustische Geschehen ist daher ein räumliches. Die künstliche Anordnung der Schall-

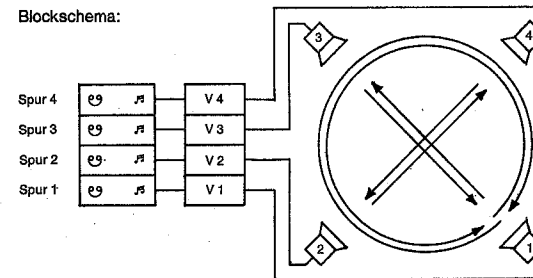
quellen dagegen geschieht nicht immer räumlich. In der traditionellen Musik stehen sich Solist, Kammermusikensemble, Orchester und Zuhörer in der Regel auf dieselbe Weise gegenüber wie der sprechende und der zuhörende Mensch: von Angesicht zu Angesicht. Die Schallquellen befinden sich daher, ob punktförmig (ein Musiker), auf einer Strecke (mehrere Musiker nebeneinander) oder in der Ebene (Orchester) angeordnet, ausnahmslos *vor* dem Zuhörer, das heißt in dessen Blickfeld. Eine derartige Anordnung der Schallquellen ist allerdings nur solange sinnvoll, als mit dem Schallsignal auch die Geste seiner Produktion verbunden und für den Zuhörer sichtbar ist. Bereits bei der Orgel kann aber davon keine Rede mehr sein; die Aufstellung ihrer Schallquellen – oft im Rücken des Zuhörers – geschieht deshalb so, daß der Schall sich im Raum möglichst diffus ausbreitet und durch mannigfaltige Reflektion den Zuhörer ebenso richtungslos bzw. vielsinnig umflutet wie sein eigenes Spiegelbild den Besucher im magischen Spiegelkabinett. Dieselbe Vielsinnigkeit wird auch für die Wiedergabe elektronischer Musik angestrebt, was sich infolge der örtlichen Ungebundenheit ihrer Schallquellen weit leichter und umfassender durchführen läßt, als es jemals zuvor möglich war. Für die zweidimensionale Wiedergabe genügen bereits drei bis vier Schallquellen (links-rechts-vorn-hinten), für die dreidimensionale Wiedergabe fünf bis sechs (links-rechts-vorn-hinten-oben-unten) (vgl. Abb. 2.37).

Abb. 2.37 Wiedergabesysteme elektronischer Musik. a) 2-kanalige Wiedergabe, eindimensional, b) 3-kanalige Wiedergabe, zweidimensional, c) 6-kanalige Wiedergabe, dreidimensional. In b) und c) wird der Zuhörer von den Klangquellen umschlossen; damit ist das «Guckkastenprinzip» aufgegeben.



Ziel der elektronischen Musik ist jedoch ihre Wiedergabe durch eine möglichst große Zahl von Schallquellen oder gar durch ein Schallquellen-Kontinuum, das den Zuhörer kugelförmig umgibt (Stockhausen). Durch das Zusammenwirken von räumlicher Anordnung der Schallquellen und einer Vielzahl von getrennten Wiedergabekanälen kann ein Wiedergabesystem aufgebaut werden, das dem Komponisten die willkürliche Zuordnung eines (oder mehrerer) Tonorte für jedes seiner Signale und damit eine umgreifende Strukturierung des Tonorts ermöglicht (vgl. Abb. 4.10).

2.83 Die Klangwanderung



Durch *sukzessives* Zuordnen zweier oder mehrerer benachbarter Tonorte ist es möglich, ein Schallsignal wandern zu lassen; ein Verfahren, das die herkömmliche Kunstmusik, vom agierenden Bühnensänger abgesehen, nicht kennt. Ein derartiges *Wandern des Schallsignals* muß von der Struktur des Werks vorgesehen und bei dessen Speicherung durch überlappende, nacheinander auf verschiedene Tonbandspuren übergehende Aufnahme des Signals berücksichtigt werden (vgl. Abb. 2.38). Da es sich im Grunde darum handelt, äquivalente Signale sukzessive aus verschiedenen, einander benachbarten Lautsprechern erklingen zu lassen und damit den Eindruck der Bewegung eines einzigen Signales zu erzeugen, kann dies

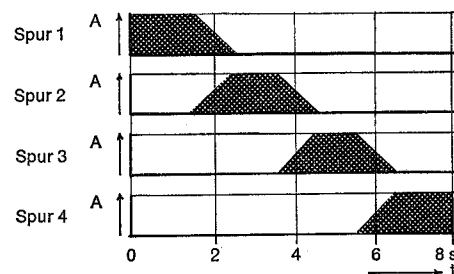


Abb. 2.38 Klangwanderung durch überlappende, nacheinander auf verschiedene Tonbandspuren übergende Aufnahme. Vgl. auch Abb. 2.36 unten.

um so besser geschehen, je mehr Schallquellen benützt werden. Auch hier wäre in letzter Konsequenz das kugelförmige Lautsprecher-Kontinuum anzustreben, da es ohne Einschränkung jede denkbare Klangwanderung zu ermöglichen vermöchte. Der technisch sehr aufwendigen Lösung eines solchen Verfahrens ist ein sehr viel einfacheres Vorgehen gegenüber gestellt worden. Es besteht darin, mehrere Schichten einer elektronischen Komposition durch getrennte Kanäle synchron auf ruhende, in verschiedenen Räumen platzierte Schallquellen zu verteilen, während es dem Zuhörer überlassen bleibt, diese Räume nach Belieben zu durchschreiten (Stockhausen, vgl. Abb. 2.39).

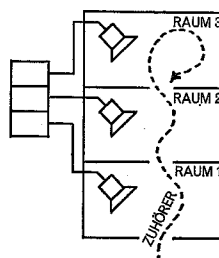


Abb. 2.39 Wiedergabesystem, bei welchem der Zuhörer mehrere schichtweise sonorierte Räume nach freiem Ermessen durchschreitet. Vgl. auch Seite 108.

2.9 Der elektronische Signalgeber

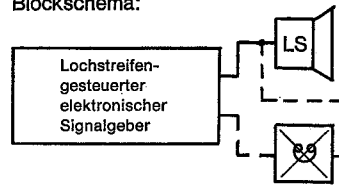
Klangquellen, Modulatoren, Speicher- und Wiedergabesystem können zu einem Signalgeber vereinigt werden, dessen Möglichkeiten frei sind von jener Beschränkung, welcher alle herkömmlichen Musikinstrumente ausnahmslos unterliegen. Denn diese vermögen aus dem weiten Feld der akustischen Erscheinungen immer nur Teile herauszugreifen; jener neuartige Signalgeber aber, von welchem jetzt die Rede ist, erfährt potentiell die Gesamtheit aller akustischen Signale. Was die Entwicklung des Sinfonieorchesters vergeblich zu erreichen suchte und wovon die Komponisten noch vor zwanzig Jahren bloß zu träumen wagten, im Studio für elektronische Musik steht es zu Verfügung: ein akustisches Kontinuum.

Die oft gestellte Frage, ob ein derartiger Signalgeber im eigentlichen Sinn als Musikinstrument angesprochen werden kann, ist pragmatisch durch die elektronischen Schöpfungen zahlreicher Komponisten längst beantwortet worden. Trotzdem scheint es mir von Wert, bei dieser Frage zu verweilen und dem Leser Überlegungen anzuvertrauen, wie sie ähnlich wohl jeder Komponist anstellt, wenn er ins Land der elektronischen Musik vorstößt.

2.91 Elektronische und Tonbandmusik

Die Häufigkeit, mit der die Technik der Tonbandaufzeichnung für die Realisierung elektronischer Musik herangezogen wird, erweckt sehr leicht den Eindruck, es sei elektronische Musik notwendigerweise immer Bandmusik. Das ist nicht der Fall.

Blockschema:



Ich habe bereits darauf hingewiesen, daß die vorübergehende Tonbandspeicherung durch die Speicherung auf Lochstreifen ersetzt und die Realisierung elektronischer Musik damit auf die beiden Etappen des Programmierens, Codierens und Lochens einerseits und der endgültigen Tonbandaufzeichnung andererseits zusammengedrängt werden kann. Aber auch die endgültige Tonbandaufnahme kann unterbleiben (vgl. Abb. 2.40 und Abb. 2.32). Zwar ist sie unter Umständen sehr nützlich; dann etwa, wenn ein elektronisches Werk über Funk oder Fernsehen gesendet oder auf Platten vervielfältigt werden soll,

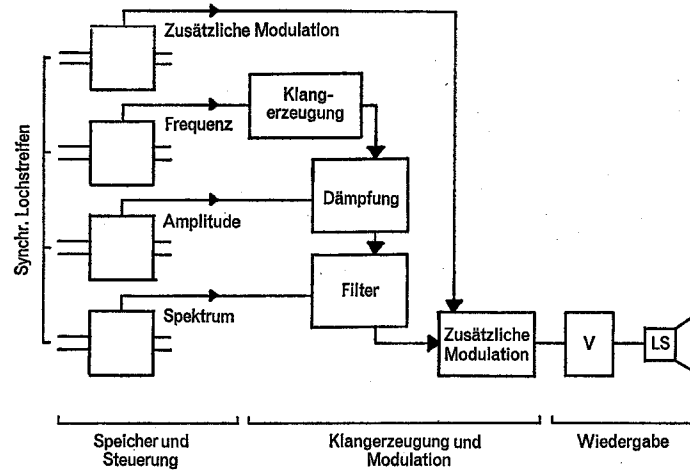


Abb. 2.40 Schema eines mittels Lochstreifen gesteuerten elektronischen Signalgebers, der auf die Tonbandspeicherung verzichtet. Das musikalische Werk wird ausschließlich vom Lochstreifen gespeichert. (Vgl. Abb. 2.32).

wozu man sich heute ganz allgemein der Tonbandaufzeichnung zu bedienen pflegt. Für die elektronische Musik aber stellt die Bandaufzeichnung ebensowenig eine innere Notwendigkeit dar wie für irgendeine andere Art von Musik.

Wie das instrumentale Werk in der Partitur, so ist das elektronische Werk auf Lochstreifen speicherbar, und beide Werke können nach Belieben aus ihren Speichern hervorgeholt und in Klang verwandelt werden, falls die geeigneten Instrumente zu Verfügung stehen. Was aber ist unter geeigneten Instrumenten zu verstehen?

Der Leser möge versuchen, sich irgendein herkömmliches Musikinstrument, beispielsweise die Orgel, und einen Signalgeber elektronischer Musik vorzustellen und beide in jenem Augenblick miteinander zu vergleichen, da weder Organist noch Bedienungsequipe des elektronischen Signalgebers anwesend sind. Worin unterscheiden sich die beiden Instrumente voneinander wesentlich? Beide sind sie im Augenblick zwar stumm, aber sie repräsentieren dennoch Möglichkeiten des Erklings, so wie auch die verlassenen Kontrabässe, Pauken, Glockenspiele und Harfen des Sinfonieorchesters nach einer Aufführung, wenn die Lüster gelöscht und die Musiker über alle Berge sind, zwar stumm bleiben, aber dennoch die Möglichkeit in sich bergen, erklingen zu können. Für die herkömmlichen Instrumente ist diese Möglichkeit von Fall zu Fall eine andere; die Gesamtheit aller akustischen Signale, die zum Beispiel der Kontrabaß zu produzieren vermag, ist eine andere als diejenige der Harfe. Noch bevor ein herkömmliches Instrument vom Musiker gespielt wird, schneidet seine Natur aus der Gesamtheit aller möglichen Signale nach ihrer Weise bereits einen ganz bestimmten Teil heraus, und dieser Teil ist es, durch den jedes dieser Instrumente sich von allen seinen Geschwistern wesentlich unterscheidet. Das herkömmliche Musikinstrument speichert also in sich bereits ein Programm. Dies ist seine Natur. Auch die Orgel speichert ein Programm, ein sehr umfassendes sogar. Der Signalgeber der elektronischen Musik dagegen, so

wie ich ihn bis jetzt beschrieben habe, speichert in sich noch kein Programm, denn seine Natur ist die Gesamtheit aller möglichen akustischen Signale.

Was aber, wenn der Organist zu seiner Orgel, die Bedienungsequipe zu ihrem Signalgeber stößt? Auch der Musiker bringt ein Programm mit sich, denn er hat sein Instrument auf eine Weise spielen gelernt, die nicht nur von der individuellen Begabung des Einzelnen, sondern in weit höherem Maße auch von einer reichen Tradition bestimmt wird, deren letzte Ursprünge wohl bis ins Dunkel der Vorgeschichte hinaufreichen. Nicht nur die herkömmlichen Musikinstrumente, sondern auch ihre Spieler sind programmiert, d.h. das Feld der Möglichkeiten, innerhalb welchem ihr spontanes Können sich ereignen wird, ist bereits abgesteckt. Noch bevor der erste Ton eines musikalischen Instrumentalwerkes erklingen ist, durchzieht bereits ein selektives Netz von durch Instrument und Spieler beigebrachten Programmen das Feld aller akustischen Möglichkeiten und schneidet eine ganz bestimmte Anzahl von Möglichkeiten heraus, innerhalb welcher die vom Komponisten gestiftete Ordnung des Werkes und seiner Aufführung liegen wird.

Anders stehen die Dinge für die Bedienungsmannschaft des elektronischen Signalgebers. Auch ihre Mitglieder sind zwar – wie jeder Mensch überhaupt – auf irgendeine Weise programmiert; aber jene musikalische Art von Programmen, von der im Augenblick die Rede ist, steckt in keinem der technischen Mitarbeiter. Wenn überhaupt, so können derartige Programme also einzig im Lochstreifen gespeichert sein, mittels welchem der Signalgeber automatisch gesteuert werden soll¹.

¹ Es soll allerdings nicht verschwiegen werden, daß der erfahrene Komponist sich in Fragen der Lautsprecherplatzierung, der absoluten Lautstärke, der spektralen Balance und dergleichen von seinem technischen Mitarbeiter willig beraten läßt, da dieser meist mit reicherer Erfahrung und Tradition in derlei Dingen ausgerüstet, d.h. programmiert ist als er selber.

Ohne Zweifel speichert der Lochstreifen in codierter Form das Werk des Komponisten, jenes äußerst spezifizierte und komplexe Programm also, das auch die Partitur der Instrumentalmusik auf ihre Weise enthält. Speichert der Lochstreifen aber zugleich auch jene zusätzlichen Programme, welche im Bereich der instrumentalen Musik von Instrumenten und Interpreten beige-steuert werden und mit deren zusätzlicher Wirkung der Komponist stets (und oft auch *à contre cœur*) zu rechnen hat? Indem er die Realisation seines Werks als sein eigener Interpret an die Hand genommen hat, muß der Komponist etwas Derartiges im Lochstreifen investiert haben, denn auch er ist in musikalischer Hinsicht durch Erziehung, Unterweisung, durch Vorbilder und ungeschriebene Traditionen selbst dann noch programmiert, wenn er dies gar nicht zu sein wünscht. Ob er sich ihrer bewußt wird oder nicht, derartige Programme leiten ihn und schneiden aus der Gesamtheit aller möglichen akustischen Signale selektive Ordnungen heraus, noch ehe der Komponist seine Vorstellungen geklärt und mit der Realisierung seines Werkes begonnen hat. Kompositionssysteme etwa, die er sich «zum Hausgebrauch» zurechtgelegt hat oder die – oft sehr dogmatisch – von ganzen Schulen vertreten werden, aber auch «bloße» Neigungen und Vorlieben ganz persönlicher Art, wie sie die individuelle Sprache jedes Komponisten kennzeichnen, sind derartige Programme; Stecken und Stab des einsamen Wanderers, der die Geborgenheit der großen Tradition unserer europäischen Instrumentalmusik verlassen und sich nach neuen Kontinenten aufgemacht hat. Man muß sich nun allerdings vor Augen halten, daß die Geschichte der elektronischen Musik erst knappe zwanzig Jahre umfaßt. Die Verlassenheit des auf sich selbst Gestellten, welche den Komponisten elektronischer Musik heute noch charakterisiert, wird in Zukunft allmählich weichen. Im Studio läßt sich beobachten, daß jeder Komponist ganz unbewußt gewisse Signalfolgen häufiger anzuwenden liebt als andere. Auch ist jetzt schon gewiß, daß derartige Häufigkeiten oft ganzen

Gruppen von Komponisten gemeinsam sind, ohne daß doch ein enger persönlicher Zusammenhang die einzelnen Künstler verbände. Es ist wahrscheinlich, daß diese Entwicklung anhalten und sich allmählich ein immer größerer Schatz von feststehenden Mustern (patterns) herauskristallisieren wird. *Auch die elektronische Musik wird in wachsender Zahl ausbilden, was man für die traditionelle Musik einst »Figuren und Oerter« (topi) genannt hat: Programme.*

2.92 Sensibilisierung des elektronischen Signalgebers

Wie Organist und Orgel, so können auch Bedienungsequipe und lochstreifengesteuerter elektronischer Signalgeber ein musikalisches Werk zum Erklängen bringen. Und doch besteht ein prinzipieller Unterschied zwischen zwei derartigen Ereignissen. Das durch den Organisten und sein Instrument repräsentierte Wiedergabesystem ist rückgekoppelt, das elektronische ist es noch nicht (vgl. Abb. 2.41).

Was immer während der Wiedergabe sich ereignen mag, sei es als Folge der aufgeführten Musik oder zufällig, es wird vom Organisten registriert, ausgewertet und spiegelt sich in irgendeiner Weise in seinem Spiel wider. Raumakustik, Stimmung, Reaktion der Hörer, Einwirken von Störungsquellen, kurzum die Summe aller erfassbaren und unerfassbaren momentanen Ereignisse ist mitbeteiligt an der Gestaltung der Wiedergabe und erhebt sie zur unwiederholbaren Einmaligkeit. Der automatische Signalgeber dagegen ist zunächst einzig durch den Lochstreifen steuerbar und entzieht sich weiterer Beeinflussung. Zwar werden auch seine akustischen Signale durch momentane Einflüsse wie Nachhall usw. moduliert und mit Störsignalen untermengt sein, aber der elektronische Signalgeber wird derartiges zunächst weder registrieren noch auswerten können. Nur schattenhaft repräsentiert seine starre Wiedergabe die unwiederholbare Einmaligkeit, das HIER und

JETZT des gegenwärtigen Ereignisses, denn sie ist in unvergleichbar höherem Maße geprägt von jener Einmaligkeit, mit welcher sich EINST während der Studioarbeiten die Realisierung des Werks durch den Komponisten vollzogen hat. Ohne Rückkopplung vermag daher auch der automatisch gesteuerte elektronische Signalgeber niemals über ein Resultat hinauszugelangen, das bereits mit der Tonbandaufzeichnung erreicht ist. Gelingt es jedoch, das System der Rückkopplung nutzbar zu machen und mit seiner Hilfe den elektronischen Signalgeber zu immer größerer Empfindlichkeit für momentane Einflüsse auszubauen, so kann die Starrheit seiner Wiedergabe überwunden werden. Dazu genügt ein bloßes Registrieren dieser Einflüsse, wie es technisch mittels rückgekoppelter Mikrophone zu erlangen wäre, noch keineswegs; es bedarf auch der Auswertung der rückgeführten Signale. Eine solche kann für den elektronischen Signalgeber mit mannigfaltigen Mitteln erreicht werden, die jedoch alle auf einer der drei folgenden Grundmöglichkeiten beruhen: Auswertung der

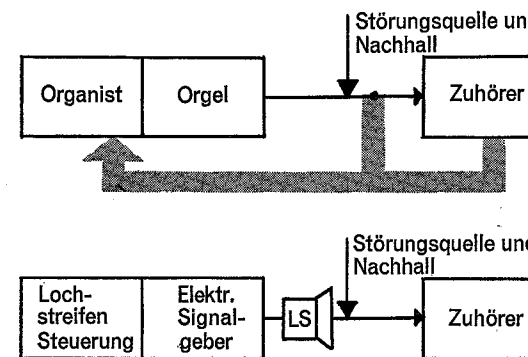
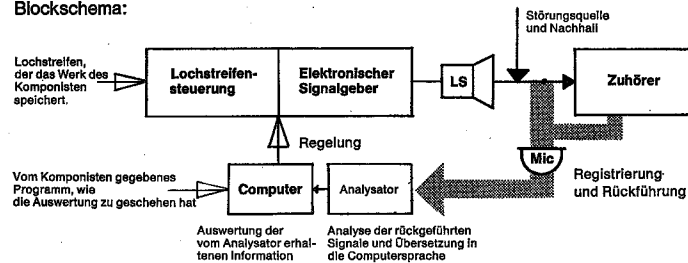


Abb. 2.41 Schema der Wiedergabe eines musikalischen Werkes durch Organist und Orgel (oben) und durch den mittels Lochstreifen gesteuerten elektronischen Signalgeber (unten). Das Spiel des Organisten wird während des Vortrags durch vielerlei momentane Einflüsse laufend geregelt, während die Wiedergabe durch den elektronischen Signalgeber starr abläuft. Im einen Fall liegt eine Rückkopplung vor, im anderen fehlt sie.

laufend rückgeführten Signale mit Hilfe des Computers, Auswertung derselben mit Hilfe des menschlichen Interpreten (wie dies beim Orgelbeispiel durch den Organisten geschieht), oder durch die Zusammenarbeit beider.

2.93 Elektronischer Signalgeber und Computer

Blockschema:



Das Heranziehen des Computers für musikalische Zwecke, wie es jetzt beschrieben werden soll, darf keineswegs mit «Computermusik» verwechselt werden¹. Denn es geht hier nicht darum, dem Computer die Rolle des Komponisten zuzuordnen, sondern einzig um den Ausbau bzw. die Sensibilisierung des elektronischen Signalgebers, dessen Aufgabe es weiterhin bleiben wird, das Werk eines Komponisten «aufzuführen».

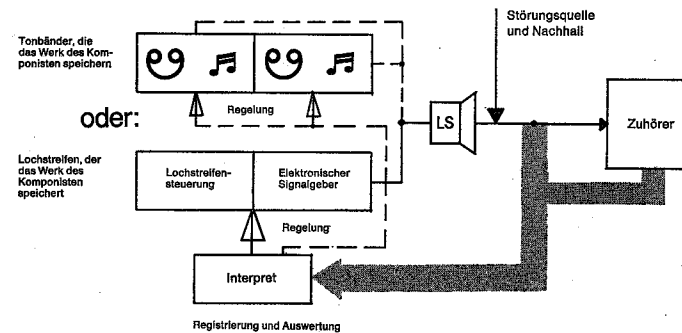
Jeder Leser kennt die Musikerpraxis, wonach das Tempo eines Werks bei dessen Aufführung den Bedingungen des jeweiligen Raumes angepaßt wird. In einem Kirchenraum mit seinem langen Nachhall werden dieselben Werke langsamer vorgetragen, als es im Konzertsaal geschieht. Ähnliches unternimmt jeder Interpret u. a. auch in Hinsicht auf Klangfarbe und Arti-

¹ Interessante Versuche, den Computer komponieren zu lassen, haben L.A.Hiller und L.M.Isaacson im Computer Laboratorium der University of Illinois unternommen (Illiac Suite für Streichquartett) und in ihrem Buch «Experimental Music» beschrieben. Vgl. Werkliste.

kulation seines Vortrags, indem er diese den veränderten Raumbedingungen laufend anpaßt. Dasselbe kann auch der elektronische Signalgeber tun, wenn ihm der mit einem Analysator gekoppelte Computer beigegeben und dessen Fähigkeit zugeführt wird, komplexe Informationen nach komplexen Programmen beinahe trägeheitslos auszuwerten. Durch fortschreitende Verfeinerung der Zusammenarbeit mit dem Computer kann schließlich die Sensibilität des elektronischen Signalgebers auf ein äußerstes Maß an Spontaneität gesteigert werden. Ich verfüge allerdings im Augenblick über keinerlei Erfahrungen, die mich zu entscheiden berechtigten, ob der auf die beschriebene Weise sensibilisierte elektronische Signalgeber unter den Händen eines feinfühligten Komponisten jemals zu einem Gleichgewicht von Programm und Spontaneität vorzustoßen vermag, wie es Voraussetzung für jede gelungene Aufführung ist und also auch von der *vollautomatischen Aufführung* erreicht werden müßte.

2.94 Elektronischer Signalgeber und Interpret

Blockschema:



Wertvoller als die Mithilfe des Computers ist für den Komponisten diejenige des Menschen. Denn dort, wo seine Natur und

das ihm eingegebene Programm dem Computer unüberwindliche Grenzen setzen, vermag der Mensch mit überraschendem Einfallsreichtum Zusammenhänge herauszugreifen und ebenso behend wie sinnvoll auszuwerten.

Die Möglichkeiten, den Menschen in die Kommunikationskette, welche Komponisten und Zuhörer elektronischer Musik miteinander verbindet, aktiv einzugliedern, sind mannigfaltig. Eine einfache Möglichkeit besteht im Spezialfall, den *Zuhörer* selbst mit der Auswertung der registrierten Signale zu betrauen und ihm die Freiheit aktiven Eingreifens in das akustische Geschehen zu geben. Dies kann zum Beispiel durch völlige Ungebundenheit des Zuhörers an einen festen Ort erreicht werden (vgl. Abb. 2.39). Eine andere Möglichkeit dieser speziellen Art besteht im Verfahren des Komponisten, sein Werk in Schichten auf eine Vielzahl von gleichzeitig abzuspielenden Tonbändern zu verteilen und deren Synchronisation dem Belieben des Zuhörers zu überlassen. In beiden Fällen wird die Wiedergabe des gespeicherten Werks einmalig, unwiederholbar sein (vgl. Werkbeschreibung im Anhang). Ob dabei der lochstreifengesteuerte Signalgeber selbst oder einfachheitshalber das bespielte Tonband Verwendung findet, ist unerheblich. Denn so angewendet, sprengt auch die Tonbandaufnahme den Rahmen des bloß Reproduzierbaren und wird zum lebendigen Bestandteil der musikalischen Aufführung.

Ein beinahe unüberschaubares Feld von faszinierenden Möglichkeiten erschließt sich dem Komponisten, wenn er den *Interpreten* mit der Regelung des musikalischen Geschehens betraut. Zwei von mir selbst in Studio und Konzertsaal erprobte Beispiele mögen illustrieren, wie dies geschehen kann (Abb. 2.42 a und b). Es zeigt sich dabei, daß neben Orchester und Instrumentalsolisten unter Umständen auch der Tonmeister in die Reihe der Interpreten aufrückt und in den Konzertsaal Einzug hält (vgl. Photo 2 und Abb. 2.42a). Welcher Art die Lösung des Komponisten immer sei, im Gefolge einer Disposition, die den menschlichen Interpreten in das Geschehen

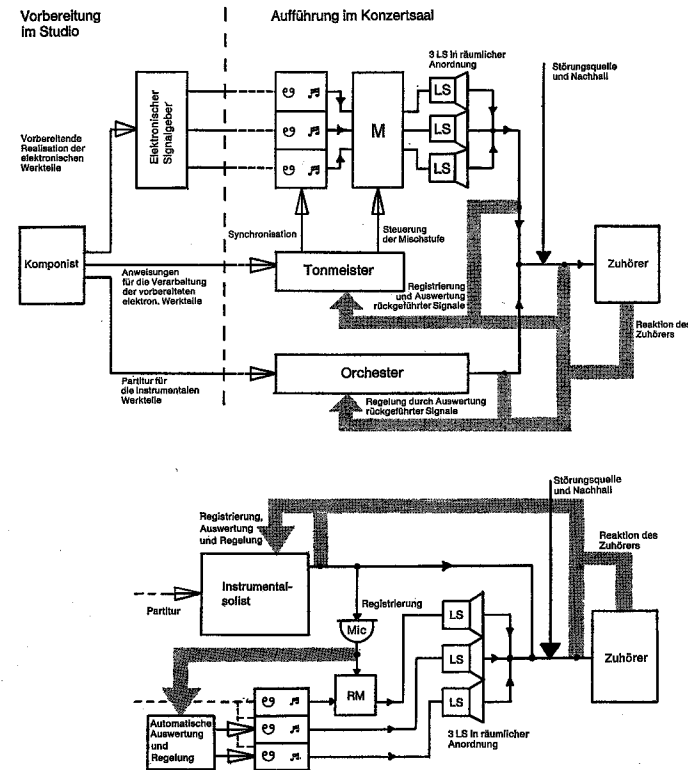
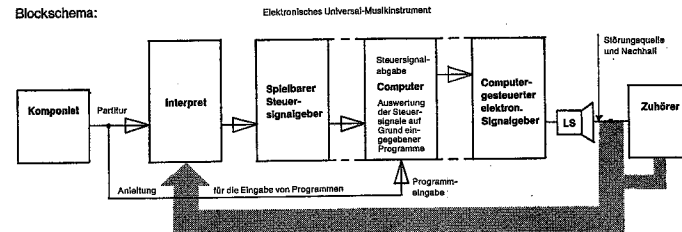


Abb. 2.42 a und b. Beispiele für das Zusammenwirken von Interpret und elektronischem Signalgeber. Durch ein vielfältig rückgekoppeltes Regelungssystem (Regelkreis) wird nicht nur das Zusammenwirken ermöglicht, sondern es werden auch momentane Einflüsse laufend in das akustische Geschehen der Aufführung miteinbezogen. a) *Mystic Puzzle II pour musique électronique et ensemble de jazz* von Werner Kaegi (1966), b) *Mystic Puzzle III pour saxophone solo et musique électronique* von Werner Kaegi (1966/67).

miteinbezieht, wird stets die einmalige, unwiederholbare Aufführung stehen.

2.95 Elektronischer Signalgeber, Computer und Interpret



Die zukunftsreichste aller Möglichkeiten erblicke ich im Verfahren, sowohl den Interpreten als auch den Computer in die Kommunikationskette einzugliedern, welche Komponisten und Zuhörer verbindet. Denn durch die Zusammenarbeit von Interpret und Computer kann der elektronische Signalgeber zu einem Instrument ausgebaut werden, das wie jedes herkömmliche Musikinstrument spielbar ist, dessen akustische Möglichkeiten jedoch keiner Beschränkung unterliegen. Ein derartiges Universal-Musikinstrument wird sich zusammensetzen aus dem Steuersignalgeber, der vom Interpreten gespielt wird, dem Computer, der die empfangenen Steuersignale gemäß eingegebenen Programmen auswertet (und damit die Spielbarkeit des Instruments erleichtert), und dem elektroakustischen Signalgeber, an den die ausgewerteten Steuersignale abgegeben werden. Wie dies im einzelnen geschieht, wird die Zusammenarbeit von Komponisten, Interpreten und Instrumentenbauer allmählich zu klären haben. Im Augenblick stellt ein derartiges Musikinstrument zwar bloß die denkbare Folge meiner Überlegungen dar; aber ich zweifle nicht, daß bereits die Musiker der allernächsten Zukunft über es werden verfügen können.

Am Modell des elektronischen Universal-Musikinstrumentes läßt sich eine Frage erörtern, die wie keine andere auf die spezifischen Probleme hinweist, denen sich der Komponist elektronischer Musik gegenübergestellt sieht. Die Frage lautet: Wer bestimmt über die Programme, die dem Computer ein-

zugeben sind, und welcher Art werden sie sein? Ich habe bereits darauf hingewiesen, daß die elektronische Musik mit fortschreitender Entwicklung ganz von selbst in wachsender Zahl eine bestimmte Klasse von Programmen ausbilden wird. Es kann daher angenommen werden, daß derartige Programme in Zukunft nicht vom Komponisten selber für jede seiner Kompositionen im vollen Umfang neu festzulegen sind, sondern daß dereinst aus einem allmählich angereicherten Fundus eine Klasse von sehr allgemeinen Programmen ausgesondert werden kann, die geeignet ist, dem elektronischen Musikinstrument eine Art von Grundprogramm zu geben. Minimalaufgabe dieses Grundprogramms wird es sein, dem Komponisten eine selektive Ordnung anzubieten, die aus der Gesamtheit aller möglichen bereits jene akustischen Signale herausgreift, welche dem Zustandekommen der Kommunikation zwischen Komponisten und Zuhörer förderlich sind.

Vorderhand aber gibt es derartiges nur in flüchtigen Ansätzen. Mit jeder neuen elektronischen Komposition steht der Komponist von neuem der verwirrenden Fülle aller akustischen Möglichkeiten gegenüber, und jedesmal hat sich seine Kraft, selektive Ordnungen aus dem Nichts zu erschaffen, neu zu bewahren. Jener traditionsverankerten Programme entbehrend, welche im Bereich der instrumentalen Musik sowohl vom Interpreten als auch vom Instrument beigebracht werden, hat der Komponist elektronischer Musik auch diese selber zu erschaffen. Komponieren verlangt von ihm vorderhand also nichts weniger, als Instrumentenbauer, Interpret und Komponist in einem zu sein. Was wird den Komponisten bei dieser großen Aufgabe leiten, was ihn lenken können im unüberschaubaren Meer der Möglichkeiten?

3. Kapitel

DIE MENSCHLICHE STIMME ALS MASS DER ELEKTRONISCHEN MUSIK

3.1 Allgemeines

In seinem Stimm- und Sprechorgan steht dem Menschen ein Signalgeber zur Verfügung, der den ganzen Reichtum menschlicher Emotionen und Gedanken in akustische Signale zu verwandeln vermag. Diese sind selbst in ihrer rudimentärsten Form niemals nur Folge irgendeines beliebigen Vorgangs wie das Fahrgeräusch eines Automobils oder das Vielerlei von Klängen und Geräuschen, wie sie der Mensch durch seine täglichen Verrichtungen selber pausenlos erzeugt, sondern stets Träger einer Nachricht. Mit seinem Hupsignal benachrichtigt der Automobilist den Fußgänger, mit seinem Schreien der Säugling die Mutter. Wer derartige Signale aktiv aussendet, ob Mensch oder Tier und mit welchen Mitteln es auch geschieht, der tut es immer so, daß die ausgesendeten Signale von jenem Ohr, an welches sie gerichtet sind, empfangen und in Empfindungen verwandelt werden, die seiner Absicht entsprechen. Die Fähigkeit des Menschen, mit seinem Mitmenschen akustisch zu kommunizieren, ist von außerordentlicher Vielfalt und reicht vom emotionalen Schrei bis zum logischen Satz. Akustische Mittel vom harmonischen Klang bis zum farbigen Rauschen werden zu diesem Zweck aus der Gesamtheit der Klangwelt ausgewählt und in reichster Modulation erfolgreich eingesetzt. Die Beobachtung dieser Auswahl vermag dem Komponisten Hinweise zu geben für die Beschaffenheit jener Auswahl, welche er aus dem bereitgestellten Kontinuum der elektroakustischen Klangwelt zu treffen hat, um elektronische Musik komponieren zu können. Denn auch Musik ist an den Menschen gerichtete Nachricht.

3.11 Das Beobachten von menschlichen Stimm- und Sprechsignalen

Blockschema:



Akustische Signale können durch ein Mikrophon (Mic) in elektrische Signale umgewandelt und mittels eines *Spektral-Analysators* (SP) optisch auf ihre spektrale Zusammensetzung hin untersucht werden. Auf diese Weise lassen sich auch die menschlichen Stimm- und Sprechsignale beobachten (vgl. Photos). Ihre Beobachtung ist allerdings durch den Umstand erschwert, daß schon die einfachsten unter diesen Signalen reich moduliert und in ihrem zeitlichen Ablauf daher steter Veränderung unterworfen sind.

Im folgenden stütze ich mich auf eigene Beobachtungen, die ich im Umgang mit der menschlichen Stimme während vieler Jahre anstellen konnte, sowie auf meine sprachsynthetischen Arbeiten im Centre de recherches sonores de la Radio Suisse Romande, Genève 1964/65, insbesondere aber auf die Ergebnisse von Messungen, die ich im November 1965 in Zürich an einer größeren Anzahl von menschlichen Stimmen vorgenommen habe¹.

¹ Der dabei verwendete Spektral-Analysator Singer Modell TA 2 mit Einschub Modell AL-2 wurde mir freundlicherweise durch die Firma Jacques Baerlocher in Zürich zu Verfügung gestellt. Die Amplituden wurden stets logarithmisch gemessen. (Vgl. Photo 7.)

3.2 Signale mit harmonischem Spektrum

3.21 Die Signale der Laute m, l, n und ng

Den Sinuston habe ich mit dem monoton und leise hing gesprochenen Sprachlaut m verglichen. Sein Spektrum charakterisiert diesen Laut allerdings nicht als Sinuston, sondern als sehr rudimentären harmonischen Klang. Neben der dominierenden ersten Harmonischen enthält sein Spektrum mit geringer Amplitude auch die Harmonischen 2, 3 und 12. Ähnliche, wenn auch etwas reichere Verhältnisse zeigen die Spektren der Laute l, n und ng (Abb. 3.1).

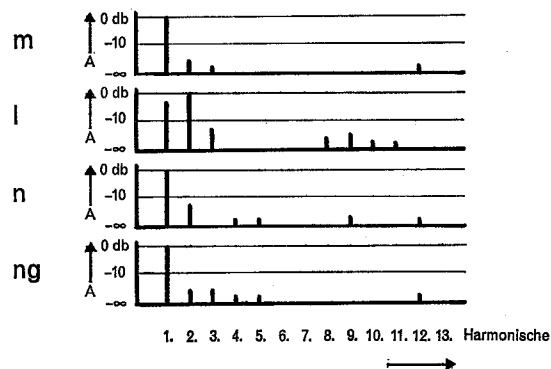


Abb. 3.1 Die harmonischen Spektren der Sprechlaute m, l, n und ng.

3.22 Die Signale der Vokale u, o, ɔ, a und ihre Formanten

Auch die Vokale sind durch harmonische Spektren charakterisiert, und auf Anhieb ist kein prinzipieller Unterschied zwi-

schen ihren Spektren und denjenigen der Laute m, l, n und ng zu erkennen. Sowohl diese als auch jene sind harmonische Klänge unterschiedlicher Klangfarbe. Allerdings scheinen sich die Vokale insofern zu einer Gruppe zusammenzuschließen, als ihre Spektren durch eine für die Vokalreihe u, o, ɔ, a, ö, ü, ä, e, i wachsende Anzahl von harmonischen Teiltönen charakterisiert sind (Abb. 3.2, vgl. auch Photos 9–14).

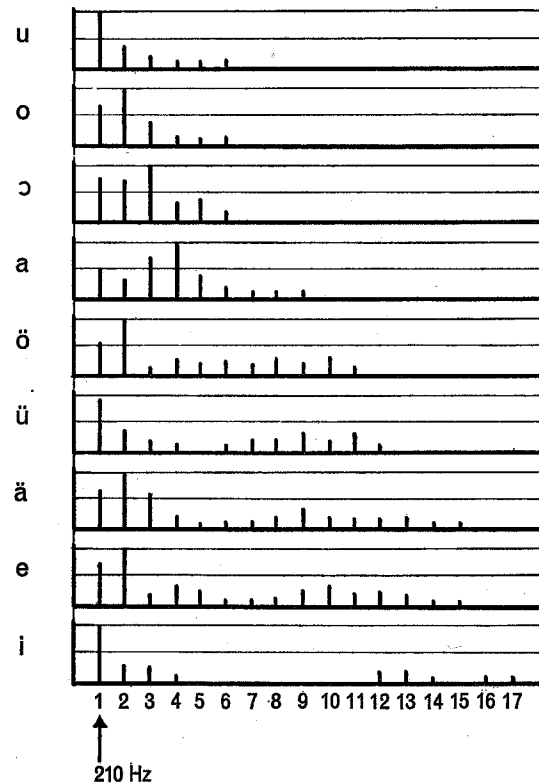


Abb. 3.2 Die harmonischen Spektren der Vokale u, o, ɔ, a, ö, ü, ä, e und i, von einer weiblichen Stimme ungefähr auf der Sprechtonhöhe as (etwa 210 Hz) gesprochen. Vgl. auch Photos 9–14.

Etwas Bemerkenswertes zeigt der Vergleich von Messungen an einem und demselben, jedoch von Stimmen unterschiedlichen Charakters gesprochenen Vokal. Die o-Vokalspektren einer Frauen-, einer Mädchen- und einer Kleinkinderstimme beispielsweise sind einander sehr ähnlich; von einer Männerstimme gesprochen, zeigt derselbe Vokal dagegen ein ganz anderes Spektrum¹. Gemeinsam aber ist allen Spektren eine Harmonische mit stärkster Amplitude in einem absoluten Frequenzbereich von etwa 420 bis 480 Hz (Abb. 3.3, 2. Harmonische bei Frauen- und Kinderstimmen, 3. Harmonische bei Männerstimme).

Nach meinen bisherigen Darlegungen sind für die Farbe eines

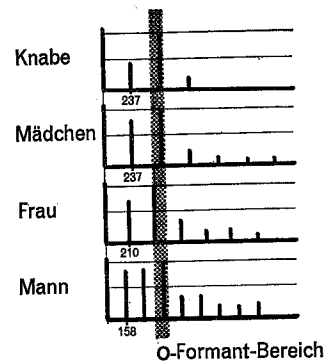


Abb. 3.3 Das harmonische Spektrum des Vokales o zeigt verschiedene Amplituden-Frequenz-Verhältnisse, je nachdem ob der Vokal von einem Mann, einer Frau, einem 8-jährigen Mädchen oder einem 4-jährigen Knaben gesprochen wird. Gemeinsam ist jedoch allen diesen Spektren ein o-Formant im absoluten Frequenzbereich zwischen etwa 420 und 480 Hz. Die Zahlenangaben unterhalb der ersten Harmonischen bedeuten im folgenden stets die Grundtonhöhe in Hz.

¹ Im weiteren werden die Stimmen folgender vier Versuchspersonen verglichen: Mann (39 Jahre, Muttersprache Schweizerdeutsch), Frau (37, Hochdeutsch), Mädchen (9, Schweizerdeutsch), Knabe (4, Schweizerdeutsch). Alle Versuchspersonen haben die Tonhöhe bzw. Sprechlage immer frei gewählt; sie wurden getrennt voneinander und mehrmals an verschiedenen Tagen untersucht.

harmonischen Klanges die *relativen* Amplituden-Frequenz-Verhältnisse seiner Teiltöne bestimmend. So sind etwa Klänge von klarinettenartig-hohler Farbe ganz allgemein durch Spektren mit ungeraden Harmonischen charakterisiert (vgl. S. 46). Demnach müßte auch der Klang des geschlossenen Vokales o ganz allgemein durch die relativen Amplituden-Frequenz-Verhältnisse seiner Teiltöne charakterisiert sein, denn trotz individueller Farbschattierungen erkennen wir ihn allemal als o, ob dieser Laut von einem Mann, einer Frau oder einem Kind ausgesprochen wird. Die Messungen zeigen jedoch einen anderen Sachverhalt, der sich auch bei den übrigen Vokalen wiederfindet: *Jedes Vokalspektrum ist durch Harmonische ausgezeichnet, die entsprechend der Farbe des Vokals in einem ganz bestimmten absoluten Frequenzbereich mit starker Amplitude erscheinen.* Diese absoluten Frequenzbereiche werden *Formantbereiche*, die in sie fallenden amplitudenstarken Harmonischen *Formanten* genannt.

Der Vergleich von vier Spektren eines sehr dunklen, gegen das offene o hin getönten a-Vokals (weiterhin durch die Schreibung ɔ gekennzeichnet) zeigt folgendes Ergebnis (Abb. 3.4):

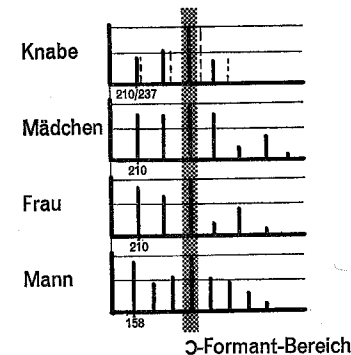


Abb. 3.4 Das harmonische Spektrum des Vokales ɔ (sehr dunkler, gegen das offene o getönter a-Vokal). Es ist gekennzeichnet durch einen ɔ-Formanten im absoluten Frequenzbereich von etwa 600 bis 650 Hz.

Ihre relativen Amplituden-Frequenz-Verhältnisse sind zwar sehr verschieden, gemeinsam ist allen vier Spektren aber ein Formant im absoluten Frequenzbereich von etwa 600 bis 650 Hz. Die beiden Kinder haben ihre Sprechlage etwas nach der Tiefe hin verschoben (von 237 nach 210 Hz), und zwar das Mädchen unmittelbar bei jedem Versuch, der vierjährige Benjamin dagegen immer erst nach längerem Hin und Her und vielen Beteuerungen, daß die Sache nicht recht gelingen wolle. Die Nöte des kleinen Sprechers vermehren sich bei seinen Versuchen mit dem Vokal u. Allen Bemühungen zum Trotz bringt er nur einen o-Klang zustande, in welchem als leise Ahnung ein beinahe unhörbares u mitschwingt (Abb. 3.5). Die zweite Harmonische seines Klanges liegt mit starker Amplitude im Formantbereich des o-Vokals, die erste Harmonische ist dagegen schwach.

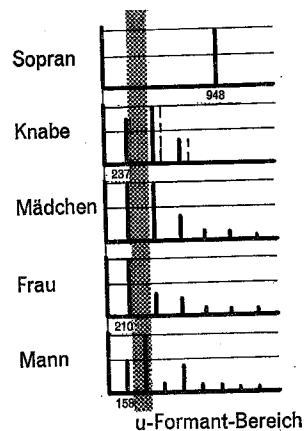


Abb. 3.5 Das harmonische Spektrum des Vokales u ist gekennzeichnet durch einen u-Formanten im absoluten Frequenzbereich zwischen etwa 200 und 400 Hz. Einer Sopranstimme kann es deshalb auf dem Ton b" (etwa 948 Hz) nicht gelingen, den Vokal u zu singen (oben).

Ähnliche Verhältnisse zeigt das Spektrum der Mädchenstimme. Doch die Färbung des u-Klanges gelingt hier durch kräftiges

Hochstellen der Amplitude der ersten Harmonischen, welche in jenen absoluten Frequenzbereich von ungefähr 200 bis 400 Hz fällt, innerhalb welchem auch die Männer- und die Frauenstimme für den u-Vokal ihre Harmonische mit stärkster Amplitude platzieren (Abb. 3.5).

In Schwierigkeiten mit dem u gerät nicht nur mein Benjamin, sondern auch eine Sängerin, der ich diesen Vokal auf der Tonhöhe b" (etwa 948 Hz) abverlange. Trotz heißer Bemühungen will nicht gelingen, was nicht gelingen kann. Anstelle des Vokales u erklingt ein reines a, denn bereits die erste Harmonische des Sopranklanges liegt um mehr als eine Oktave über dem u-Formant-Bereich und ist, wie Abb. 3.6 zeigt, in den Formant-Bereich des a-Vokals geraten¹ (vgl. Photos 15–22).

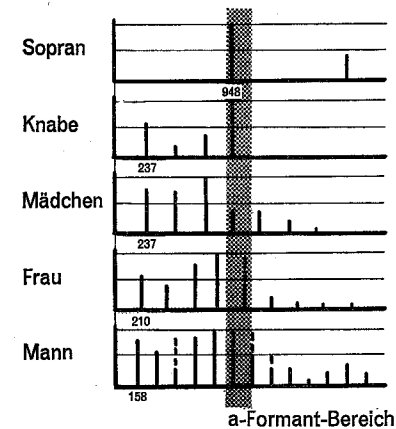


Abb. 3.6 Das harmonische Spektrum des Vokales a ist charakterisiert durch einen a-Formanten im absoluten Frequenzbereich zwischen etwa 900 und 1000 Hz. Auch einer Sopranstimme gelingt es also in jeder Lage sehr leicht, den Vokal a zu singen.

¹ Der Versuch wurde mit 5 verschiedenen Sopranstimmen vorgenommen (Muttersprachen: Schweizerdeutsch 1, Hochdeutsch 2, Englisch 1, Französisch 1). Von der Mädchenstimme war kein reines a zu erhalten, sondern stets nur ein ɔ, was sich im Spektrum Abb. 3.6 zeigt.

3.23 Abhängigkeit der Vokalklangfarbe von der Grundtonhöhe

Der erfolglose Versuch der Sopranstimme, in großer Höhe den Vokal u zu singen, weist darauf hin, daß zwischen der Tonhöhe eines Klanges und seiner Fähigkeit (resp. Unfähigkeit) verschiedene Vokalklangfarben anzunehmen, ein enger

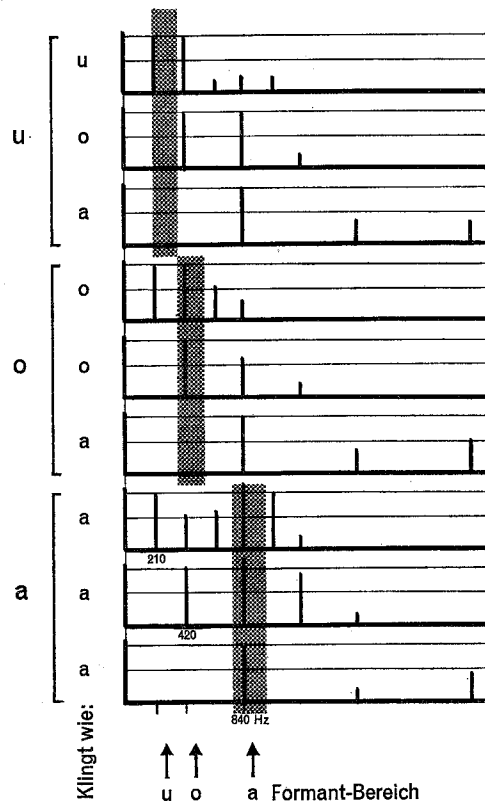


Abb. 3.7 Abhängigkeit der Vokalklangfarben von der Grundtonhöhe. Von einer Sopranstimme gesungen, erklingt der Vokal u auf den drei Tonhöhen as, as' und as'' (etwa 210, 420 und 840 Hz) nacheinander als u, o und a (oben). Der Vokal o erklingt nacheinander als o, o und a (Mitte). Einzig der Vokal a behält seine Farbe in allen drei Höhenlagen (unten).

Zusammenhang besteht. Abbildung 3.7 zeigt die Spektren der Vokale u, o und a, welche von einer Sopranstimme nacheinander je in tiefer, mittlerer und hoher Lage gesungen werden (210, 420 und 840 Hz, was ungefähr den Tönen as, as' und as'' entspricht).

Das Klangergebnis ist vorauszusehen: der von der Sängerin anvisierte Vokal u erklingt in tiefer Lage zwar als u, in mittlerer Lage aber als o und in der Höhe als a. Der anvisierte Vokal o erklingt zweimal als o, in der hohen Lage dagegen wiederum als a. Einzig der Vokal a erscheint in allen Lagen klanglich in der beabsichtigten Farbe. Um alle Vokalfarben u, o, o und a annehmen zu können, darf also der Grundton resp. die erste Harmonische eines Klanges nicht höher liegen als der Bereich des u-Formanten. Unter den Sängern wird ein Baß in jeder Lage stets alle vier Vokale u, o, o und a bilden können, ein Tenor dagegen mit zunehmender Höhe des Vokales u verlustig gehen. Altstimmen verlieren in der Höhe die Fähigkeit, u- und o-Klangfarben zu bilden, während Soprane sich meist in Höhen tummeln, die ihnen nurmehr a-Vokale in verschiedensten Schattierungen vom sehr offenen o bis zum penetrant hellen a erlauben (Abb. 3.8). Die weiteren Vokale ö, ü, ä, e und i dagegen sind, wie ich noch zeigen werde, mit Einschränkungen allen Stimmen in jeder Lage zugänglich, da deren Formantbereiche in Höhen

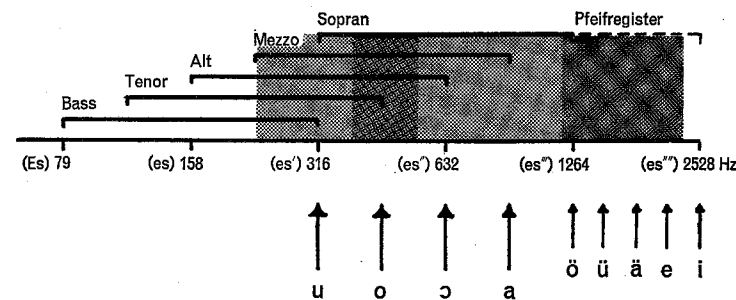


Abb. 3.8 Vokalformantbereiche und ungefährer Tonhöhenumfang der menschlichen Gesangstimmen.

liegen, welche zwar der ersten Harmonischen des menschlichen Stimmklanges verschlossen bleiben, aber von ihren übrigen Harmonischen erreicht werden können (vgl. Seite 130).

3.24 Die Sprechtonhöhe

Soll die menschliche Stimme als Klangquelle von harmonischen Sprachlauten eingesetzt werden, so muß sie sich auf eine Sprechtonhöhe festlegen, die ihr äußerst rasch und mühelos die Platzierung ihrer Harmonischen mit starker relativer Amplitude in alle gewünschten Formantbereiche erlaubt. *Diese Sprechtonhöhe kann nur im oder unterhalb, nicht aber oberhalb des u-Formantbereiches liegen.* Die gezeigten Versuche weisen darauf hin, daß die männliche Stimme in normaler Sprechlage die erste Harmonische ihres Stimmklanges stets auf eine Tonhöhe ansetzt, welche ungefähr eine Oktave unter dem u-Formantbereich bei etwa 158 Hz (ungefähr beim Ton es) liegt. In dieser Lage fallen die 2. Harmonische in den u-Formantbereich, die 3. Harmonische in den Bereich des o-Formanten und die 4. und 5. bzw. 6. und 7. Harmonische in die Formantbereiche des ɔ bzw.

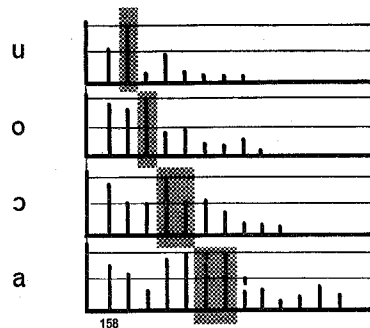


Abb. 3.9 Wechsel der Vokalklangfarbe. Durch Amplitudenmodulation der harmonischen Teiltöne kann die männliche Stimme ohne Veränderung des Grundtones bequem von einer Vokalfarbe in jede andere übergehen.

a. Durch einfache Amplituden-Modulation der harmonischen Teiltöne (bzw. durch Spektral-Modulation) kann also die männliche Stimme ohne Veränderung des Grundtons mühelos von einer Vokal-Klangfarbe in alle anderen übergehen (Abb. 3.9, vgl. auch 3.13).

Die normale Sprechlage der weiblichen Stimme ist, wie die Versuche zeigen, um ungefähr eine Quarte höher bei etwa 210 Hz (ungefähr beim Ton as) zu finden. Die erste Harmonische ihres Sprechklanges liegt damit am untern Rande des u-Formantbereiches, die 2. Harmonische im Bereich des o-Formanten und die 3., 4. und 5. Harmonische fallen in jenen Formantbereich, welcher Klänge vom dunklen bis zum hellen a umfaßt (Abb. 3.10). Auch die weibliche Stimme kann also auf ihrer normalen Sprechtonhöhe durch bloße Amplituden-Modulation ihrer Teiltöne mühelos von einer Vokal-Klangfarbe zur anderen übergehen. Allerdings wird sie, wenn immer ein u-Klang unerwünscht ist, die Amplitude der 1. Harmonischen bzw. den Grundton ihres Stimmklanges stark dämpfen, ein Vorgehen, zu welchem die männliche Stimme keinen Anlaß

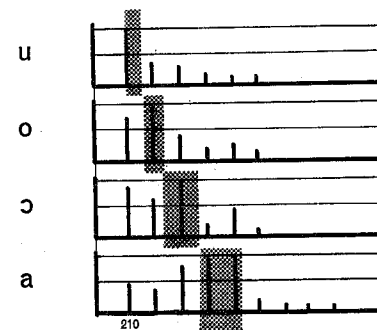


Abb. 3.10 Auch der weiblichen Stimme ist der Wechsel von einer Vokalfarbe in jede andere durch einfache Amplitudenmodulation der Teiltöne ohne Veränderung des Grundtones leicht möglich. Ein Vergleich mit Abb. 3.9 zeigt, daß die Spektren der weiblichen von den entsprechenden der männlichen Stimme zwar verschieden sind, die Formanten aber in dieselben absoluten Frequenzbereiche fallen.

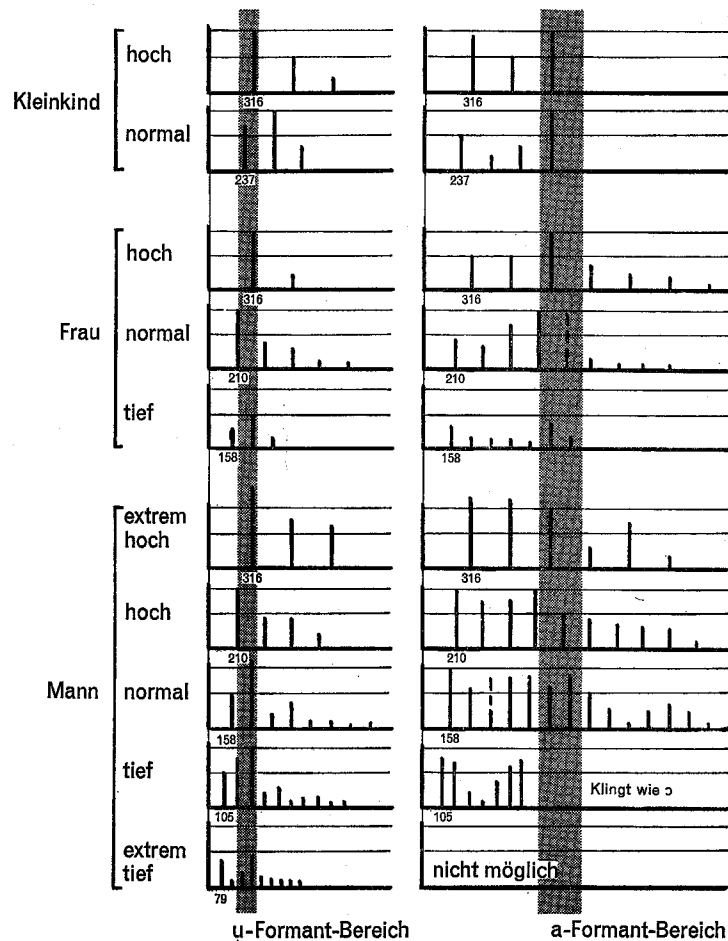


Abb. 3.11 Die Spektren der Vokale u (links) und a (rechts) von einer Männer-, einer Frauen- und einer Kleinkinderstimme auf verschiedenen Tonhöhen gesprochen. Trotz völliger Verschiedenheit fällt bei allen Spektren der charakteristische Formant in einen festgelegten absoluten Frequenzbereich.

hat (vgl. Photos 9–14). Deshalb scheint der Klang der weiblichen von der männlichen Stimme viel weiter nach der Höhe hin abzuliegen, als die Grundtöne beider Stimmklänge dies in Wirklichkeit tun.

Der Klang der kindlichen Stimme ist zwar ärmer an Teiltönen, ihre normale Sprechtonhöhe entspricht aber durchaus derjenigen einer weiblichen Stimme. Kleinkinderstimmen dagegen mögen etwas höher bei etwa 237 Hz (ungefähr beim Ton b) liegen, was ihnen folgende Ausgangslage gibt: 1. Harmonische im u-Formantbereich, 2. Harmonische im Bereich des o-Formanten, 3. bzw. 4. Harmonische im Formantbereich des o bzw. a (vgl. Abb. 3.11). Auch in dieser Lage ist durch bloße Amplitudenmodulation der Teiltöne ein Übergang vom u zum o zum o bzw. a möglich.

3.25 Vom Umfang der Sprechtonhöhe

Ein gesunder Mensch spricht niemals monoton auf einer einzigen Sprechtonhöhe, sondern diese wird bald nach oben, bald nach unten reich moduliert. Daß eine derartige Modulation in der Höhe sinnvollerweise den u-Formantbereich nicht überschreitet, habe ich bereits gezeigt. Aber auch nach der Tiefe hin findet die Sprechtonhöhe ihre natürliche Begrenzung. Denn bei zunehmender Verschiebung des Grundtones nach unten kämen nacheinander zuerst die 2., dann die 3. Harmonische des Stimmklanges unterhalb den u-Formantbereich zu liegen und verlören damit ihre Bedeutung für die Gestaltung der Vokal-Klangfarbe. Wohl aus diesem Grunde unterschreitet die menschliche Sprechstimme kaum jene Lage, bei der die 3. (immer sehr starke) Harmonische ihres Klanges mitten im u-Bereich liegt, was bei einer Grundtonhöhe von etwa 105 Hz (ungefähr as) der Fall ist. Diese Tiefe wird jedoch nur von der männlichen Sprechstimme erreicht, während die weibliche Sprechstimme dort ihre unterste Grenze findet, wo die 2. Harmonische ihres

Klanges mitten im u-Bereich liegt. Dies ist bei einem Grundton von etwa 158 Hz (ungefähr es) der Fall (Abb. 3.12).

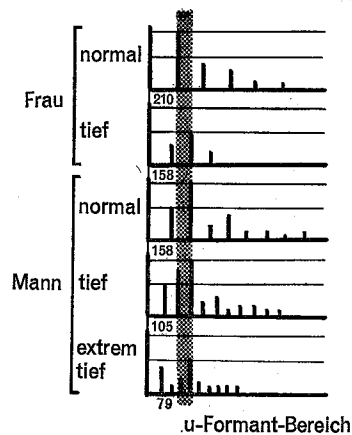
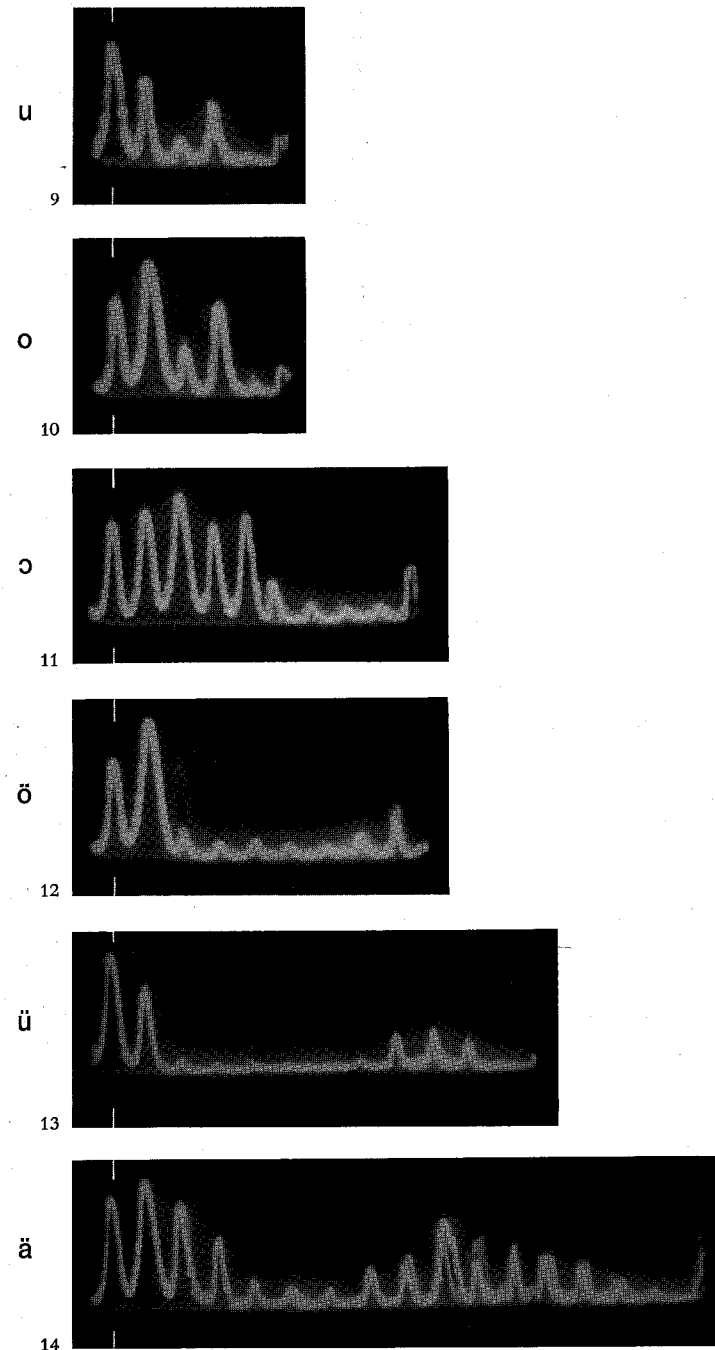


Abb. 3.12 Die normale Sprechtonhöhe der männlichen Stimme liegt ungefähr beim Ton es (etwa 158 Hz), diejenige der weiblichen Stimme beim Ton as (etwa 210 Hz).

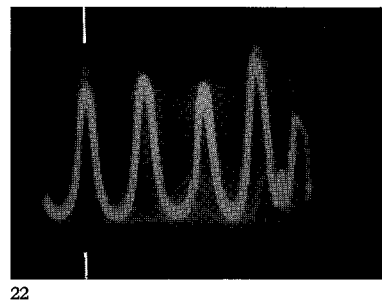
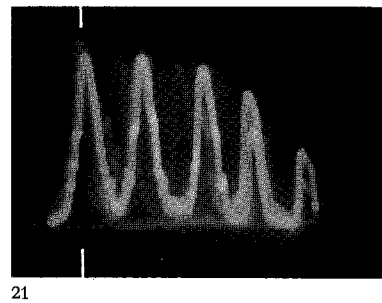
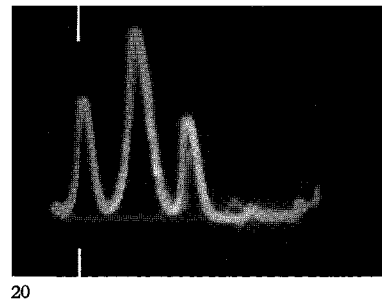
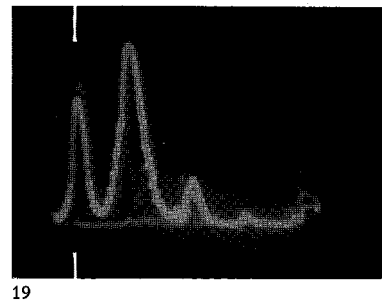
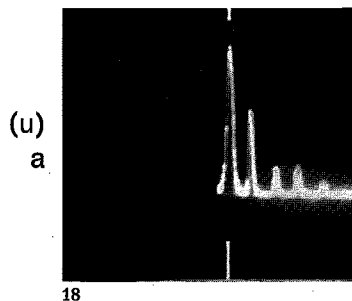
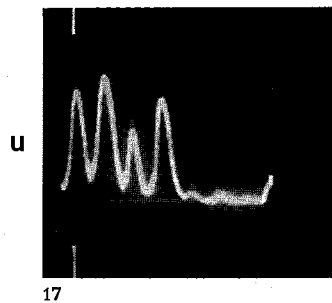
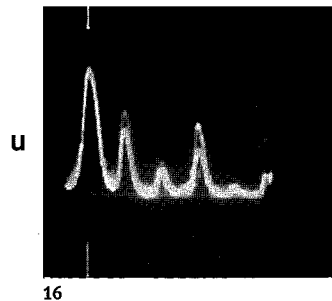
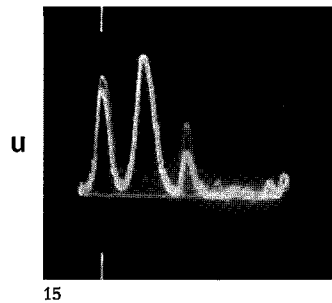
Der gesamte Umfang der Sprechtonhöhe der männlichen Stimme liegt ungefähr in einem Frequenzbereich von 105 bis 210 Hz, derjenige der Frauen- und Kinderstimme in einem solchen von 158 bis 316 Hz (vgl. Abb. 3.11).

3.26 Die Signale der Vokale ö, ü, ä, e, i und ihre Formanten

Auch von einem anderen Gesichtspunkt aus erscheint die Begrenzung der menschlichen Sprechtonhöhe nach der Tiefe hin sinnvoll und ökonomisch. Die Beobachtung jener Stimm-signale, welche die Klangfarben-Empfindung der Vokale ö, ü, ä, e und i erregen, zeigt Spektren, deren Anzahl harmonischer Teilfrequenzen sehr groß ist und bis in den Frequenzbereich um 1264 Hz und darüber hinaus reicht (vgl. Abb. 3.2). Je tiefer



9-14 Spektren von Vokalen einer Frauenstimme auf dem Bildschirm des Spektral-Analysators (Grundton immer etwa 210 Hz).



aber die erste Harmonische eines Klanges liegt, desto kleiner wird der absolute Differenzbetrag der Frequenzen zwischen den Harmonischen ganz allgemein. So beträgt er für einen Klang, dessen 1. Harmonische bei 158 Hz liegt, 158 Hz; für einen Klang dagegen, der um eine Oktave tiefer bei 79 Hz läge, würde der Differenzbetrag bloß 79 Hz ausmachen (vgl. Abb. 3.12). Daraus folgt, daß eine Stimme, welcher die Aufgabe zufällt, alle Vokal-Klangfarben annehmen zu können, um so reicher an harmonischen Teiltönen sein muß, je tiefer ihr Grundton liegt. Eine Sprechstimme mit dem Grundton 158 Hz (normale männliche Sprechlage) liegt bereits mit ihrer 8. Harmonischen bei 1264 Hz (ö-Formantbereich). Ihre 10. Harmonische liegt bei 1580 Hz (ü-Formantbereich), die 12. Harmonische bei 1896 Hz (ä-Formantbereich), die 14. Harmonische bei 2212 Hz (e-Formantbereich), und mit ihrer 16. Harmonischen erreicht sie 2528 Hz (i-Formantbereich) (Abb. 3.13). Der weiblichen und kindlichen Stimme gelingt dasselbe mit Harmonischen, deren Ordnungszahlen niedriger sind; eine Stimme aber, deren Grundton um eine Oktave tiefer bei 79 Hz (ungefähr Es) läge, vermöchte dasselbe, wenn überhaupt, erst mit den Harmonischen der Ordnungszahlen 16–32 zu erreichen.

Abb. 3.13 zeigt aber, daß es den vier Stimmen bereits in der günstigen Position ihrer normalen Sprechlage nicht leicht gelingt, die Amplitude ihrer harmonischen Teiltöne höherer Ordnungszahlen für die Produktion der Klangfarben ö, ü, ä, e und i ebenso wunschgemäß zu modulieren, wie sie dies bei den Teiltönen niedriger Ordnungszahlen für die Klangfarben der Vokale u, o, ɔ und a mit unfehlbarer Sicherheit zu tun vermögen. Zur eindeutigen Abgrenzung der durch Teiltöne höherer Ordnungszahlen charakterisierten Vokale ö, ü, ä, e und i zieht die Stimme deshalb die Formanten der Vokale u, o und ɔ (evtl. auch a) heran. Der ö-Formant wird durch den o-Formanten, der ü-Formant durch den u-Formanten und der ä-Formant durch die drei Formanten des u, o und ɔ unterstützt. Durch vom a-Bereich gegen den u-Bereich hin fortschreitende Dämp-

15–18 Spektren des Vokals u; von oben nach unten: Kind (Grundton etwa 237 Hz), Frau (etwa 210 Hz), Mann (etwa 158 Hz), Sopran (etwa 948 Hz).
19–22 Spektren von Vokalen einer Kinderstimme (Grundton immer etwa 237 Hz).

fung der Formanten u, o und ɔ werden die Formanten der Vokale e und i sekundiert (vgl. Photos 12, 13 und 14).

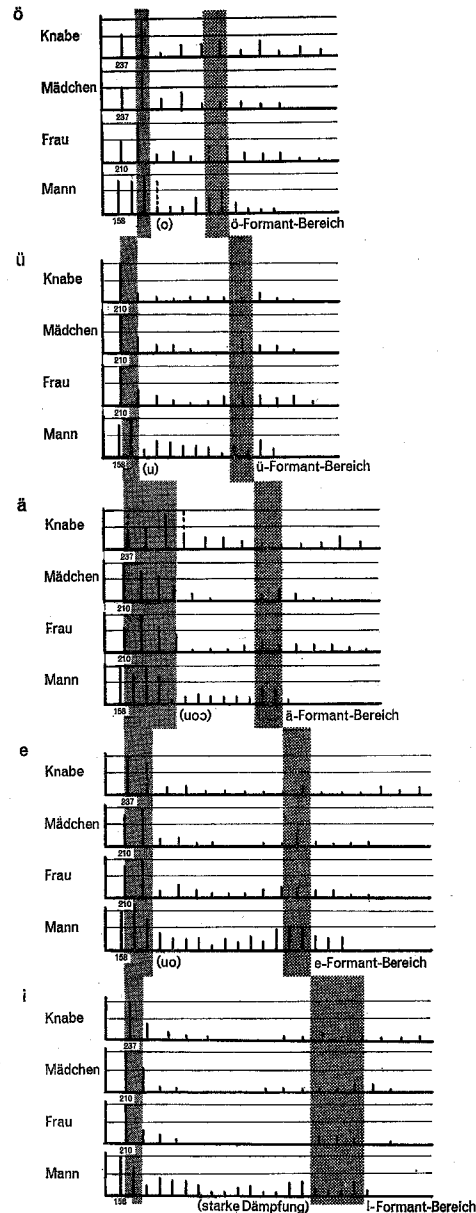


Abb. 3.13 Die Spektren der Vokale ö, ü, ä, e und i. Da den Stimmen die Lokalisation der Formanten nicht mit derselben Eindeutigkeit gelingt wie bei den Vokalen u, o, ɔ und a, werden die Formanten der letzteren zusätzlich beigezogen: für ö der o-Formant, für ü der u-Formant, für ä die drei Formanten u, o und ɔ (eventuell auch a), für e die beiden Formanten u und o. Das i dagegen wird charakterisiert durch starke Dämpfung der Harmonischen unterhalb etwa 2400 Hz.

3.3 Stimme und Ohr

3.31 Sinusschwingung und Vokalfarben-Empfindung

Meine Darlegungen haben gezeigt, daß Vokalspektren durch Formanten charakterisiert sind, die je nach der erregten Klangfarbe in ganz bestimmten absoluten Frequenzbereichen auftreten (Abb. 3.14).

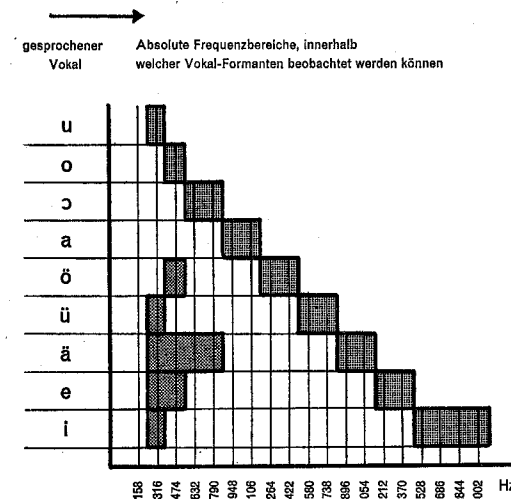


Abb. 3.14 zeigt die absoluten Frequenzbereiche, innerhalb welcher die für die Vokalfarben charakteristischen Formanten der menschlichen Stimmsignale beobachtet werden können.

Es liegt daher nahe, anzunehmen, daß die Klangfarbenempfindung im menschlichen Ohr an absolute Frequenzbereiche

gebunden ist. Diese Annahme kann nachgeprüft werden, indem man aus den harmonischen Stimmsignalen die Sinusschwingungen der Formanten herausfiltert, dem Ohr gesondert zuführt und nach der erregten Klangempfindung fragt. Viel einfacher kann aber vorgegangen werden, wenn man dem Ohr in Schall verwandelte elektrische Sinusschwingungen zuführt, deren Frequenzen denjenigen der einzelnen Formanten entsprechen. Das Resultat derartiger Hörversuche steht in glattem Widerspruch zur bislang verwendeten Arbeitsdefinition, wonach Sinustöne ohne Klangfarbe sind. *Denn jetzt wird offenbar, daß Sinusschwingungen in einem Frequenzbereich von ungefähr 200 bis 4000 Hz bei wachsender Frequenz im menschlichen Ohr Empfindungen erregen, die sich durch ihre Farben deutlich voneinander unterscheiden. Diese Farben bilden eine Reihe, die nichts anderes ist als die Vokalreihe u, o, ɔ, a, ö, ü, ä, e, i (Abb. 3.15).*

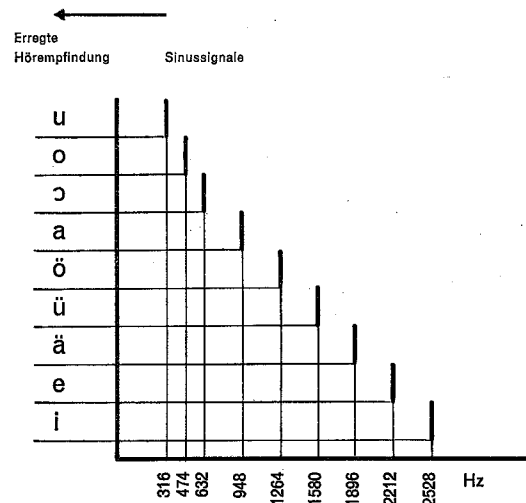


Abb. 3.15 zeigt die Hörempfindung, welche durch Sinussignale verschiedener Frequenzen im menschlichen Ohr erregt werden. Sinustöne sind also nicht farblos, sondern erregen die Empfindung der Vokalklangfarben.

Zwischen den reinen Vokalfarben finden sich bei allmählich veränderter Frequenz des Signales fließende Übergänge. Ganz sachte nur geht das u in ein geschlossenes o über, das immer mehr dem offenen ɔ zustrebt und schließlich nicht mehr unterschieden werden kann von einem sehr dunklen a. Dieses hellt sich auf, erreicht das «klassische» a und strebt mit stets zunehmender Helligkeit dem ö zu, das über ü, ä und e ins spitze i sich verwandelt. Die ganze Farbreihe ist umrahmt von den Bereichen der Vokale u und i, die ungefähr eine Quinte nach der Tiefe bzw. Höhe hin gut hörbar sind und sich danach allmählich verlieren. Außerhalb gibt es nur Dunkel, das nach der Tiefe zunehmend dem Schnarren und der Vibration, und Hell, das nach der Höhe zunehmend dem Pfeifen und der Schmerzempfindung zustrebt. Bei kurzer Tondauer (> 20 ms) werden die Vokalfarben sehr deutlich wahrgenommen, während sie dem Ohr bei verlängerter Zeitdauer zunehmend entgleiten¹.

Das Paradox dieser Erscheinung kann durch die Feinstruktur des menschlichen Ohres erklärt werden, die Erscheinung selber aber ist hinzunehmen als natürliche Gegebenheit. Das Signal der Sinusschwingung erleidet im mechanischen System des Ohres zwischen Trommelfell und Basilarmembran eine Veränderung, die es in ein harmonisches Spektrum verwandelt (Klirrfaktor des Ohres). *Jedem gesendeten Signal einer Sinusschwingung entspricht im Ohr das aufgenommene Signal einer aus harmonischen Teilschwingungen zusammengesetzten Schwingung, welche die Empfindung eines Klanges auslöst.* Dieser Sachverhalt ist leicht nachzuprüfen, wenn man das Ohr durch ein Sinussignal erregt und die im Ohr entstehenden harmonischen Teilschwingungen durch ein zweites Sinussignal der Reihe nach zum Schweben bringt. Weshalb aber kommen nicht nur eine einzige, sondern viele verschiedene Klangfarben zustande? Das Ohr ist ein nichtlinear-asymmetrischer Empfänger. Deshalb verändern sich mit der Frequenz des umgewandelten Signales auch die Amplituden der einzelnen Harmonischen seines

¹ Bereits Helmholtz hat die Vokalfarben eingehend beobachtet.

Spektrums, und gehört werden die verschiedenen Klangfarben dunkel, u, o, ɔ, a, ö, ü, ä, e, i und hell mit ihren vielfältigen Übergängen. Ich vermute, daß die Tonhöhen-Unterscheidung überhaupt als eine Unterscheidung der Klangfarbe aufgefaßt werden muß.

3.32 Stimme und Ohr – Sender und Empfänger

Aus den Spektren der menschlichen Stimmsignale kann auf die Struktur des menschlichen Ohrs geschlossen werden, denn Stimme und Ohr müssen aufeinander abgestimmt sein wie Sender und Empfänger. Da die Vokale harmonische Spektren aufweisen und, wie ich gezeigt habe, ihre verschiedenen Farben durch an absolute Formantbereiche gebundene Veränderungen der Amplituden-Verhältnisse unter den Teiltönen dieser Spektren charakterisiert sind, muß angenommen werden, daß auch die absoluten Frequenzen, bei denen das Ohr harmonische Schwingungen in die Empfindungen von reinen Vokalfarben umwandelt, eine harmonische Reihe bilden. Dies ist tatsächlich der Fall (Abb. 3.16).

Hörempfindung	Sensitivitätsfunktion																			
	u	o	ɔ	a		ö		ü		ä		e		i						
Frequenz des Sinussignales	158	316	474		632	790	948	1106	1264	1422	1580	1738	1896	2054	2212	2370	2528	2686	2844	3002
Verhältnis dekadisch dargestellt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
	2 ⁰	2 ¹			2 ²			2 ³									2 ⁴			
binär dargestellt	1	10	11		100	101	110	111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111	10000	10001	10010	10011

Abb. 3.16 Die Frequenzen, bei welchen Sinussignale im menschlichen Ohr die Reihe der Vokalfarben optimal erregen, stehen zueinander und zur normalen männlichen Sprechtonhöhe in einem harmonischen Verhältnis.

Die Frequenzen, bei welchen Sinussignale im Ohr die Empfindungen reiner Vokalfarben optimal erregen, stehen zueinander und zur normalen männlichen Sprechtonhöhe in einem harmonischen Verhältnis. Sie bilden eine harmonische Reihe, in der von der Hörempfindung her betrachtet die Oktavgliederung $1:2:4:8:16 = 2^0:2^1:2^2:2^3:2^4$ zu erkennen ist: Männliche Sprechtonhöhe, u-o-Bereich, ɔ-a-Bereich, ö-ü-ä-e-Bereich und i-Bereich. Durch Erweiterung dieser binären Gliederung über den ganzen Hörbereich und darüber hinaus entschleiern sich Zusammenhänge, die ich in einer Übersicht zwar vorlege, aber im Augenblick nicht weiter ausführe (Abb. 3.17).

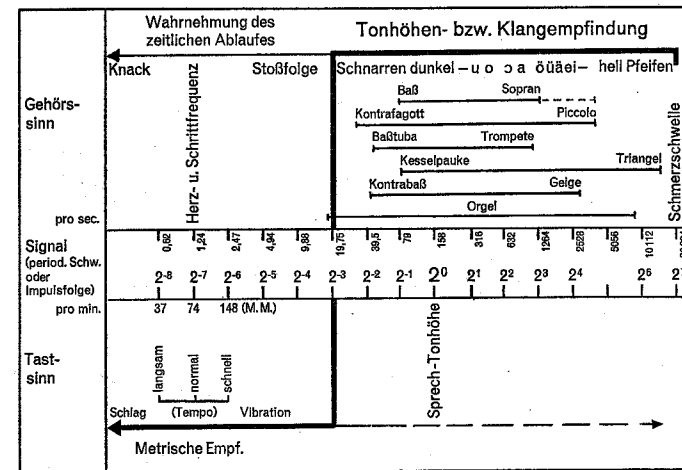


Abb. 3.17 Zusammenhang zwischen den menschlichen Hör- und Tastempfindungen, welche durch zeitsymmetrische (periodische) Signale erregt werden. In der Mitte horizontal sind sowohl die absoluten Frequenzen der Signale in Hz (und in Anzahl Schlägen pro Minute = M. Metronom) als auch deren Verhältnis zueinander und zur normalen männlichen Sprechtonhöhe aufgeführt ($2^0 = 158$ Hz). Rechts in der oberen Hälfte als Vergleich der Tonhöhenumfang der menschlichen Gesangsstimmen und der Instrumentengruppen des klassischen Sinfonieorchesters (Holz-, Blechbläser, Schlag-, Streichinstrumente und Orgel).

Es wäre reizvoll, auch die Beziehungen zwischen Schalldruck bzw. Lautstärke eines Signales und erregter Lautheitsempfindung und die Frequenzabhängigkeit dieser Beziehung in analoger Weise darzustellen, statt sie durch willkürlichen Bezug auf eine Frequenz von 1000 Hz und dekadische Darstellung (10^0 , 10^1 , 10^2 usw.) zu verunklären, wie dies üblicherweise geschieht. Die mir zur Verfügung stehende Zeit sowohl als auch der Umfang dieses Buches zwingen mich, es vorderhand bei einer bloßen Anregung bewenden zu lassen.

3.33 Signalregelung durch Rückkopplung

Menschliche Stimme und menschliches Ohr bilden ein sehr kompliziertes Sender-Empfänger-Paar. Denn während die Farbempfindungen des Ohrs an absolute Frequenzen gebunden sind, ist die Sprechtonhöhe der Stimme nicht nur reich frequenzmoduliert, sondern auch für Mann und Frau bzw. Kind verschieden. Daher kann die menschliche Stimme keineswegs über einen Schatz von spektral starr festgelegten Vokalsignalen verfügen, sondern es muß jedes Signal im Augenblick seines Gebrauchs in Funktion zur Sprechtonhöhe neu geformt werden. Dieser Vorgang setzt ein sehr empfindliches Regelungssystem voraus, das durch Rückkopplung ermöglicht wird und folgenderweise arbeitet: *die Stimme produziert ein annäherungsweise richtiges Signal; dieses wird vom eigenen Ohr des Sprechenden aufgenommen, überprüft und auf Grund der Abweichung zwischen erregter und vorgestellter Klangempfindung so lange geregelt, bis beide Werte einander gleich sind* (Abb. 3.18).

Erst auf diese Weise erhält jedes Signal nicht nur sein richtiges Spektrum, sondern auch jene unendlich differenzierte und zielgerichtete Modulation, welche auch im fremden Ohr nicht bloß näherungsweise, sondern haargenau die beabsichtigte Empfindung erregt. Ohne dieses rückgekoppelte Regelungssystem wäre es dem Menschen unmöglich, zu jener emotional-

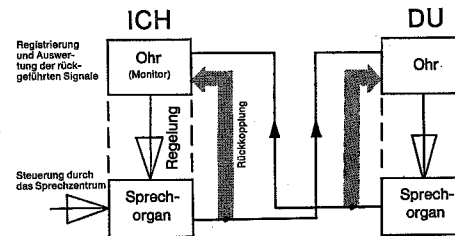


Abb. 3.18 Die Rückkopplung Stimme-eigenes Ohr ermöglicht ein fortwährendes, äußerst präzises Abstimmen der Signale des beweglichen Senders Stimme auf den starren Empfänger Ohr. Ist dieses Regelungssystem zerstört, so gelingt die reine Lautung der Vokale nicht mehr.

len Feinheit der akustischen Kommunikation vorzustoßen, deren er fähig ist. Über sehr zufällig durch das Auf und Zu seines Mundes gefärbte Laute wie das a des schreienden Säuglings, dunkles hu-ho und helles hä-he-hi wäre er nicht hinausgekommen. Jeder Leser weiß ja, daß gehörlos geborene Menschen zwar das Sprechen zu erlernen vermögen, daß ihnen aber niemals eine reine Lautung der Vokale gelingt. Diese Fähigkeit verlieren nach kürzester Zeit auch Menschen, die des Gehörs verlustig gehen. Ihre Stimme ist zwar intakt und wäre an sich fähig, mit jedem gesunden fremden Ohr ein Sender-Empfänger-Paar zu bilden, aber es fehlt dem Sender das Feinregulierungssystem, ohne das er seine Vokalsignale spektral nicht in Funktion zur Sprechtonhöhe abzustimmen vermag.

Im Zusammenspiel mit seinem Gedächtnis befähigt das rückgekoppelte Regelungssystem den Menschen, Gehörtes aufzunehmen, zu speichern, es nachahmend auf Ähnlichkeit und Wirkung zu prüfen und damit spontan einen Schatz von Klangvorstellungen aufzubauen, der je nach Umständen im Laufe des Lebens wieder verödet oder immer reicher wird. Auf diese Weise erwirbt sich der junge Mensch im Umgang mit seinen Mitmenschen – großen und kleinen – die Fähigkeit der akustischen Verständigung, zu der vor allem seine Muttersprache

zählt, die freilich später durch die Gewohnheit des Lesens und Schreibens einem Grad der Abstraktion zustrebt, der sie von der akustischen Mitteilung emotioneller Information mehr und mehr entfremdet. Der Farbenreichtum der Vokale, in jeder *gesprochenen Sprache* durch Modulation von Tonhöhe, Lautheit, Farbe und zeitlicher Dauer tausendfach nuanciert, schrumpft in der *Schrift* zu wenigen Klassenzeichen zusammen. Allerdings genügt dieser Rumpfbestand den Anforderungen einer vorwiegend aufs Logische ausgerichteten Mitteilung, und je mehr diese dem rein Logischen zustrebt, desto überflüssiger wird auch jeder Restbestand emotioneller Mitteilung. Für das gängige Verständnis des geschriebenen Satzes: Auf Blitz folgt Donner ist es gleichgültig, ob der Schreibende die Worte Blitz als Blütz, Bletz, Blietz, Bltz, folgt als fulgt, foolgt, falgt und Donner als Dunner usf. auszusprechen pflegt. Für das völlig aufs Logische gerichtete Verständnis genügt sogar der «Satz»: $x \supset y$.

3.34 Signal und Information

Das geschriebene Wort ist weitgehend immun gegen die zeitliche Flüchtigkeit, der akustische Signale stets ausgesetzt sind. Über weite Zeiträume hatte die Schrift für den Menschen deshalb den Wert eines Lautzeichen-Speichers. Heute hat sich das grundlegend verändert. Elektromagnetische Speicher haben längst diese Aufgabe übernommen und sind der Schrift weit überlegen an Feinheit der Aufzeichnung. Die elektromagnetische Aufzeichnung vermag Lautsignale in elektrische Signale zu verwandeln und zu speichern, die in viel reicherer Beziehung den Eigenschaften der aufgenommenen Schallsignale entsprechen, als Schriftzeichen es je zu tun vermöchten. Die vielfältige Modulation von Frequenz, Amplitude, Spektrum und Zeitdauer des Schallsignales eines gesprochenen Vokales beispielsweise findet im elektrischen Signal ihre analoge Entsprechung, im optischen Signal des Schriftzeichens dagegen

schrumpft sie zu einem einzigen, verallgemeinerten Vokalklassenzeichen zusammen und verliert sich¹. Das Schriftzeichen enthält also weit weniger Information als das elektrische Signal. Darin ist dieses jenem überlegen. Geht es aber bloß um die eindeutige Übermittlung z. B. der Information: «die Klasse aller Vokale o» und nicht: «ein einzelner Wert dieser Klasse», so genügt das Schriftzeichen vollauf, ja es ist in diesem Falle dem informationsreicheren elektrischen Signal an Eindeutigkeit weit überlegen. Der Wert eines Signales ist also nicht nur abhängig von der Menge seines Informationsgehaltes, sondern auch vom Zweck, den es als Nachrichtenübermittler zu erfüllen hat.

Auch an den menschlichen Sprech- und Stimmsignalen und ihrer Verwendung läßt sich dieser Sachverhalt beobachten. Harmonische Signale werden dann in großer Zahl eingesetzt, wenn es vorwiegend um die Übermittlung *emotionaler* Information geht. Es wird vokalreich und melodios gesprochen, und sowohl Modulation als auch Zeitdauer der Vokale streben der Vokalise zu, aus der in ihrer reinsten Ausprägung der letzte Rest logischer Information entschwinden ist (kein «Text» mehr!). Umgekehrt aber vergrößert sich der Anteil der Geräusch- und Impulssignale (Reibe- und Plosivlaute) in jenem Augenblick, wo der Zweck der Mitteilung auf die logische

¹ Es muß also sehr genau unterschieden werden zwischen gesprochener und geschriebener Sprache. Im Altertum konnte Geschriebenes nur verstanden werden, wenn es *laut* gelesen wurde, und bis ins Mittelalter haben die Menschen beim Lesen den Text wenigstens leise mitgesprochen; das gespeicherte Wort wurde also immer in Klang umgewandelt und als solcher aufgenommen. Heute wird dies nicht mehr getan; daher werden mehr und mehr bloß Klassenmerkmale aufgenommen, was zur Folge hat, daß die Schrift in unsern Tagen einerseits ihre Bedeutung als allgemeiner Informationsträger wieder an das gesprochene Wort und das Bild zu verlieren im Begriff ist (Television, Bildbände, Comic strips, Illustrierte usw.) und sich andererseits zur Formelsprache entwickelt (mathematische, logistische Schrift usw.). Ihre reinsten Ausprägung findet die Schrift heute m.E. in der gedruckten Schaltung.

Information verlagert wird. Die melodiosen Vokale verlieren an Wert, und ihre Modulation und Zeitdauer beginnen zu schrumpfen. Die Sprechweise wird stoß- und geräuschreich. Künstlich kann dieser Vorgang weitergetrieben werden, wenn man das komplexe Signal eines gesprochenen Satzes in ein entsprechendes elektrisches Signal umwandelt und dieses beschneidet. Übrig bleibt eine Folge von Rechteck-Signalen, die nach Rückverwandlung in Schallsignale im menschlichen Ohr Empfindungen erregt, welche vom Empfänger als die durch den Satz übermittelte logische Information verstanden werden (Abb. 3.19).

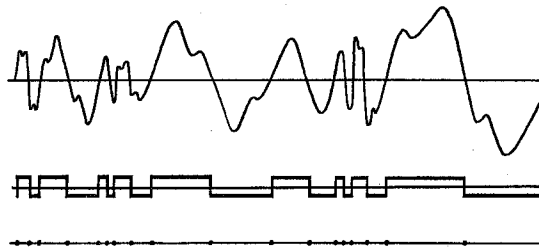


Abb. 3.19 Schematisierte Kurve eines Sprechsignales (oben) und dieselbe Kurve nach Amplitudenbeschneidung mittels eines Schmitt-Triggers (Mitte). Erhalten bleibt die zeitliche Ordnung der Nulldurchgänge (unten).

Zwar hat auch eine derartige Signalfolge einen Oberwellengehalt, aber ihre Amplituden-Frequenz-Verhältnisse entsprechen nicht mehr denjenigen des Sprechsignales, sondern sind einzig durch die Form des elektrischen Rechteck-Signales gegeben (vgl. Seiten 41 und 42). Wenn also die *logische* Information des gesprochenen Satzes auch im entsprechenden Rechteck-Signal noch enthalten ist, so steckt sie nicht in dessen Spektrum, sondern *sie liegt in der zeitlich asymmetrischen Anordnung der Nulldurchgänge*, welche durch die Beschneidung keineswegs gestört worden ist (Abb. 3.19 unten). Wird auch diese zeitliche Asymmetrie gestört, und beispielsweise in den Spezialfall einer

zeitsymmetrischen Folge bzw. in eine periodische Rechteck-Schwingung übergeführt, so schlägt die Zeitempfindung in eine solche der Tonhöhe um, und es wird ein unmodulierter Klang gehört, der nurmehr die binäre Information ETWAS (Klang) oder NICHTS (nicht Klang) enthält.

3.35 Die Vokalise und der Übergang harmonischer in geräuschhafte Klänge und Geräusche

Modulationslose Klänge benützt die menschliche Stimme niemals, ja sie ist außerstande, solche überhaupt hervorzubringen. Auch langgezogene Vokalklänge bleiben durch die Länge des menschlichen Atems begrenzt, und minimalste Schwankungen von Lautheit, Tonhöhe und Farbe widerspiegeln unablässig den leisen Wellenschlag wechselnder menschlicher Emotionen. (Menschliche Stimm- und Sprechsignale enthalten also stets mehr als die Information 1 oder 0.) Reichmodulierte Träger emotioneller Information sind die langgezogenen harmonischen Klänge kindlicher Gefühlsäußerungen von der Art: m-m-m (feiner Pudding!), u-u-u (tut das weh!), o-o-o (wie schön), a-a-a (so groß!), hi-i-i (du Dummer!) und dergleichen mehr. Derartige Signale vermögen im Empfänger spontan entsprechende Gefühle auszulösen und finden sich auch in der Sprache des Erwachsenen. *Die emotionelle Information steckt in der Modulation des mittels Rückkopplung genau auf das menschliche Ohr abgestimmten Spektrums dieser Signale und ist um so reicher, je vielfältiger das Signal moduliert wird.*

In der gemischt emotionell-logischen Umgangssprache des Menschen sind harmonische Signale zwar meist nur von relativ kurzer Zeitdauer (1 Phonem = etwa 50 ms). Allerdings ist es erstaunlich, wie zielstrebig und reich sie dennoch geformt werden. In schnellgesprochenen Wörtern überragt die Amplitude der Vokalformanten bei weitem diejenige des Grundtones, und der Vokal wird buchstäblich auf der Tonhöhe des Formanten

angestimmt (vgl. Photo 20). Danach erst wechseln die Amplitudenverhältnisse zugunsten der ersten Harmonischen, und die Stimme kehrt flüchtig zum Grundton zurück. *Ist die Mitteilung aber ganz aufs Emotionelle gerichtet, so sprengt die Stimme die Fesseln kurzzeitiger Begrenzung* und entströmt dem Mund in langgehaltenen, reichmodulierten harmonischen Klängen. Kinder im Vorschulalter sind Meister der spontanen Melodie, die unter dem Ansturm der Krämerlogik unserer «erwachsenen» Welt allerdings bald verkümmert und nur von wenigen Gesegneten entweder in spätere Jahre hinübergerettet oder mit unendlichem Fleiß neu erlernt wird. An der Kunst dieser Meister, seien es Kinder, südspanische Flamenco-Sänger oder italienische Primadonnen der Belcanto-Koloratur, läßt sich erkennen daß Modulationen von Lautheit und Tonhöhe auch bei reichster Verwendung von Vibrato, schleifendem Tonhöhenwechsel, Schwellen und Verhauchen allein nicht ausreichen zur Belebung des melodisch gehaltenen Klanges. Vor allem in hohen Lagen, zu denen sich die vom Wort befreite Stimme besonders gerne aufschwingt, wechseln Triller- und Portato-Ketten in glitzernder Folge und wehren der trüben Langeweile, die im gehaltenen Klang lauert und jede Stimme bedroht. Der Fluß dieser Vokalisieren ist nicht monotonen Legato, sondern schimmernde Perlenkette unzähliger, an der Schnur der Portato-Bindung aufgereihter, reichmodulierter Kurztöne (vgl. Photo 27). Das fortwährend erneute Einschwingen dieser Töne, das sich nahtlos an das Ausschwingen jedes vorangehenden Tones anschmiegt, bewahrt die Stimme vor dem eingeschwungenen Zustand, dem sie zustrebt, ohne sie aber in eine Folge von Stößen aufzulösen. Die Trägheit der Stimme wird überwunden durch immer neue Modulationen von Amplitude, Frequenz und Spektrum, die dem Signal um so mehr emotionelle Information zuführen, je asymmetrischer sich ihr zeitlicher Ablauf ereignet. Denn es darf nicht vergessen werden, daß auch Modulationen, sobald sie streng periodischen das heißt zeitsymmetrischen Verlauf annehmen, eingeschwungene Zu-

stände darstellen und bloß mehr die binäre Information ETWAS oder NICHTS enthalten. Nur Zustandsänderung erregt Empfindung, und nur das *nichtzeitsymmetrisch* modulierte Signal ist Träger einer Information, deren Gehalt über das bloße ETWAS oder NICHTS hinaus reicht. Durch die zeitlich asymmetrischen Modulationen leicht hingeworfener, aus dem Kehlkopf «geschüttelter» Triller-Kurztöne, um die sich das seidene Band der Portato-Bindung schlingt, erreicht die Vokalise einen Reichtum, der sie dem geräuschhaften Klang, ja dem farbigen Rauschen entgegenführt und vom Zuhörer als *berauschend* empfunden wird¹. Würde künstlich der zeitliche Ablauf derart engverschlunger Kurztöne immer mehr komprimiert, so erhöhte sich zwar der emotionelle Informationsgehalt zunehmend, aber die Hörempfindung ginge von reiner Tonhöhen-Empfindung über in die oszillierende Wahrnehmung von bald der verschwimmenden Tonhöhe, bald dem zeitlichen Übergang eines stets sich wandelnden farbigen Rauschens. Bei statistisch völlig gleichmäßiger Verteilung der Gesamtheit aller Modulationen aber schrumpfte der Informationsgehalt zum bloßen 1 oder 0. Das weiße Rauschen wäre erreicht.

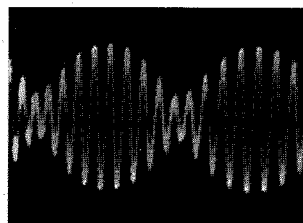
¹ Von den Alten wurden Triller und Verzierungen aller Art sinnvollerweise durch Zeichen dargestellt, welche im Gegensatz zur rationalen Notenschrift das Irrationale zeitlicher Asymmetrie zum Ausdruck brachten. Es ist unsinnig, diese Symbole als Abkürzungen der rationalen Notenschrift aufzufassen oder gar in diese zurück übersetzen zu wollen.

3.4 Signale mit Geräuschspektrum

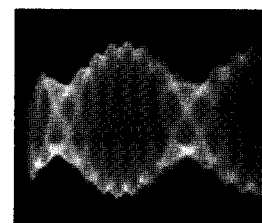
3.41 Die Signale der stimmlosen Laute s, sch, ach, ich und f

Ich habe gezeigt, wie der Mensch zum Zweck der Informationsübermittlung harmonische Stimmsignale durch Modulation bis ins farbige Rauschen überzuführen versteht. Farbige Geräusche vermag der Mensch aber auch unmittelbar durch vielfältige Arten der Reibung seines Atems an den Sprechorganen hervorzubringen. Beinahe unentwegt durchziehen solche Geräusche seine akustischen Äußerungen und werden vom Menschen absichtlich und unabsichtlich mit Erfindungsgabe und Treffsicherheit zur Informationsübermittlung eingesetzt. Um so erstaunlicher ist die geringe Anzahl von farbigen Geräuschen, welche die menschliche Sprache zur Bildung ihrer Signale benützt. Diese Anzahl geht über die folgenden, von der deutschen Sprache eingesetzten Geräuschlaute ganz allgemein nicht weit hinaus: f (Fisch / Vogel, mittels Reibung des Atems zwischen Unterlippe und Oberzähnen erzeugtes Geräusch), s (Baß, zwischen Zungenspitze und Oberzähnen), sch (Rauschen, zwischen Zungenspitze und hartem Gaumen), (i-)ch (Licht, zwischen Zungenrücken und hartem Gaumen), (a-)ch (Nacht, zwischen Zungenrücken und weichem Gaumen).

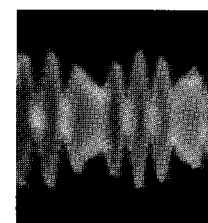
Dieser verhältnismäßig kleine Schatz an sprachlichen Geräuschsignalen erregt im Ohr Empfindungen, die der Mensch auch bei größten individuellen Abweichungen der Aussprache in Klassen zusammenfaßt (auch ein gelispeltes s wird als s empfunden usw.). Die Beurteilung der Geräusche geschieht nach Tonhöhen, die vom Ohr freilich nur nach statistischen Häufungen der Amplituden-Frequenz-Verteilung abgeschätzt werden können. Die



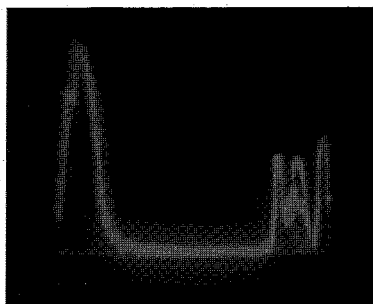
23



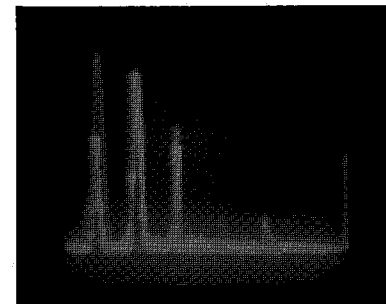
24



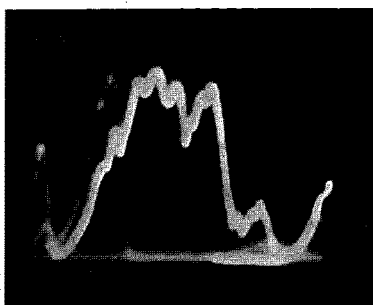
25



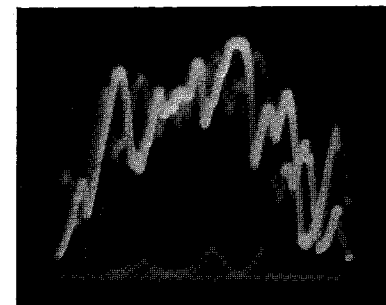
26



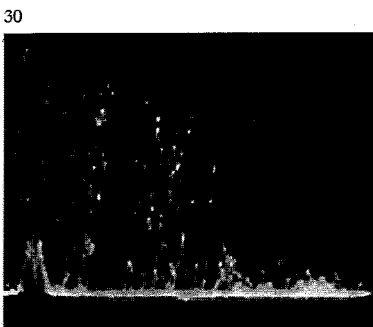
27



28



29



30

23–25 Schwebungen (auf dem Bildschirm eines KO).

26/27 Hoher Sopranant legato (links) und portato (rechts).

28/29 Amplituden- und Frequenzmodulation gehaltener, hoher Soprantöne.

30 Statistische Spektral-Aufnahme des Plosivlautes t.



31, 32 Während der Aufführung.

Spektren des Geräuschsignales *s* meiner erwachsenen Versuchspersonen beispielsweise sind charakterisiert durch ein Geräuschband, das ungefähr von 120 Hz bis 20 kHz reicht, sich also ungefähr von der tiefsten Sprechlage bis zur Hörgrenze erstreckt. Die Häufungen der Amplituden-Frequenz-Verteilungen beider Signale zeigen individuelle Abweichungen, wie sie in den Spektren der beiden Signale des Lautes *sch* noch stärker hervortreten (Abb. 3.20). Wird aber an diese Spektren der

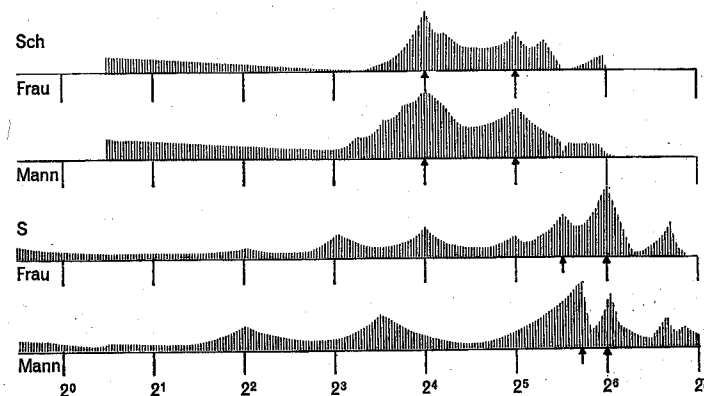


Abb. 3.20 Die Spektren der Geräuschlaute *sch* und *s*, je von einer Frau und einem Manne gesprochen. Die beiden *sch*-Spektren zeigen charakteristische Häufungen der Amplituden-Frequenz-Verhältnisse in den Oktavbereichen 2⁴ und 2⁵, diejenigen des Lautes *s* in den Oktavbereichen 2⁵ und 2⁶ (2⁰ = 158 Hz).

Maßstab der Vokalfarben-Empfindung des menschlichen Ohres angelegt (was das Ohr selbst ja auch tut), so zeigt sich Gemeinsames und Unterschiedliches dieser Signale sehr deutlich (158 Hz = 2⁰). Die Spektren der beiden *s*-Signale sind charakterisiert durch eine Frequenz-Amplituden-Verteilung mit starker Häufung in den Oktavbereichen 2⁵ und 2⁶, diejenigen der beiden *sch*-Signale dagegen durch solche in den Oktavbereichen 2⁴ und 2⁵. Eine ebenso eindeutige Charakteristik zeigen die Spektren der Signale (a-)ch, (i-)ch und f trotz individueller

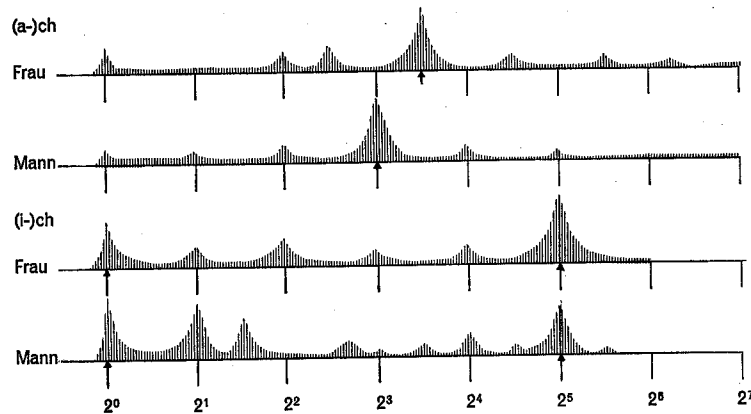


Abb. 3.21 Die Spektren der Geräuschlaute (a-)ch und (i-)ch, je von einer Frau und einem Manne gesprochen. Die beiden Spektren zeigen charakteristische Häufungen der Amplituden-Frequenz-Verteilung in den Oktavbereichen 2^3 bzw. 2^0 und 2^5 ($2^0 = 158 \text{ Hz}$).

Abweichungen (Abb. 3.21 und 3.25). Die beiden (a-)ch-Signale sind charakterisiert durch eine Häufung im Bereich 2^3 , die beiden (i-)ch-Signale durch ebensolche in den Bereichen 2^0 und 2^5 und die beiden f-Signale durch Häufungen in den Bereichen 2^3 und 2^4 (Abb. 3.22 und 3.25).

	2^0	2^1	2^2	2^3	2^4	2^5	2^6
s							
sch							
ach							
ich							
f							

Abb. 3.22 Die Geräuschlaute s, sch, (i-) ch, (a-) ch und f können charakterisiert werden durch jene Oktavbereiche, in welche die charakteristischen Häufungen der Amplituden-Frequenz-Verteilung dieser Signale fallen ($2^0 = 158 \text{ Hz}$).

Es ist denkbar, daß Signale, welche Empfindungen auslösen, die der Mensch in Klassen mit den Merkmalzeichen s, sch, (a-)ch, (i-)ch und f zusammenfaßt, ihrerseits nach Klassen geordnet werden können, deren Merkmale jene Oktavbereiche sind, in welche die charakteristischen Häufungen der Amplituden-Frequenz-Verteilung dieser Signale fallen. Mittels Dualzahlen (vgl. Seite 12) ließen sich meine in den Abb. 3.20, 3.21 und 3.25 vorgelegten Messungen an Geräuschsignalen demnach sehr klar und einfach darstellen und sowohl Einzelfall als auch Klassenzugehörigkeit zum Ausdruck bringen (Abb. 3.23).

Signal s

a	b
100000	($=2^5$)
110000	
	111000
1000000	($=2^6$)
1110000	1000000
	1110000
	1111000

Signal f

a	b
1100	($=2^3$)
	($=2^4$)
10100	1100
11000	10000
	11000

Signal sch

a	b
10000	($=2^4$)
10100	
100000	($=2^5$)
101000	100000
	110100

Signal (a-) ch

a	b
1011	($=2^3$)
	1000

Signal (i-) ch

a	b
1	($=2^0$)
100000	($=2^5$)
	100000

Abb. 3.23 Darstellung der Geräuschlaute s, sch, (i-) ch, (a-) ch und f durch Dualzahlen (vgl. Abb.3.16). Die beiden Kolonnen a und b bedeuten für jeden Laut seine Aussprache durch eine weibliche bzw. männliche Versuchsperson. Vgl. auch Abb.3.16 und 3.22.

3.42 Die Signale des Atemhauches und der stimmhaften Laute s, sch, j, ch und w

Beweger aller menschlichen Stimm- und Sprechsignale ist der Atem. Aber er ist nicht nur dies, sondern auch akustisches Signal, das die Empfindung des Atemhauches h erregt. Das Spektrum dieses Signales ist charakterisiert durch ein Geräuschband, dessen Häufungen der Amplituden-Frequenz-Verteilung eine harmonische Reihe mit maximalen Amplituden im Bereich der Harmonischen 4 (bei 2^0), 6 (zwischen 2^2 und 2^3) und 8 (bei 2^3) bilden (Abb. 3.24).

h (Atemhauch)

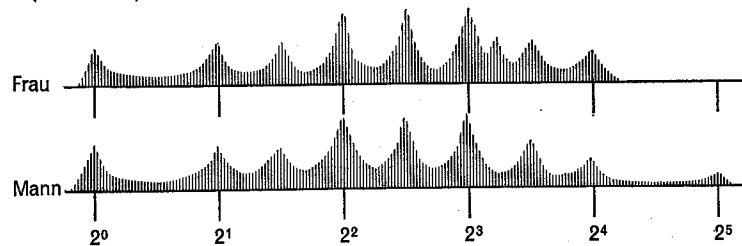


Abb. 3.24 Spektrum des Lautes h bzw. des menschlichen Atemhauches bei weit geöffnetem Mund. Deutlich sind die Formanten α , a und δ zu erkennen. Die Hörempfindung ist derjenigen eines geflüsterten a-Vokals mit Aspiration eng verwandt ($2^0 = 158$ Hz).

Da der Grundton dieser harmonischen Reihe demjenigen der normalen männlichen Sprechtonhöhe entspricht und für den Atemhauch der männlichen und der weiblichen Versuchsperson derselbe ist, kann in beiden Fällen eine geräuschhafte Mischung von a - und δ -Vokalfarben gehört werden. Der menschliche Respirationstrakt scheint also im Gegensatz zum Stimmorgan für beide Geschlechter in gleicher Weise auf das Ohr abgestimmt zu sein (vgl. Abb. 3.16). Durch mittels Rückkopplung gesteuerte Modulation ist es möglich, das Spektrum des Hauchsignales zu verändern, und der Atemhauch kann nacheinander die ganze

Reihe der Vokalfarben annehmen (geflüsterte Vokale). Werden Mischfarben, wie beispielsweise der französische en-Laut, angestrebt, so kann dies notwendigerweise nur durch Mitwirken einer Frequenzmodulation des Grundtones erreicht werden. Die Veränderung der Grundton-Höhe innerhalb enger Grenzen ist denn in diesem Fall auch deutlich zu hören.

Die harmonische Reihe des Atemsignales ist auch in den Spektren der Geräuschlaute s, sch, (i-)ch, (a-)ch und f stark ausgeprägt. Ja, durch selektive Dämpfung der Amplituden ihrer Harmonischen wird ein sehr genaues Abstimmen der Spektren dieser Geräuschklassen auf die Tonhöhen- bzw. Klangfarben-Empfindung des Ohres überhaupt erst möglich (vgl. Abb. 3.20, 3.21 und 3.25).

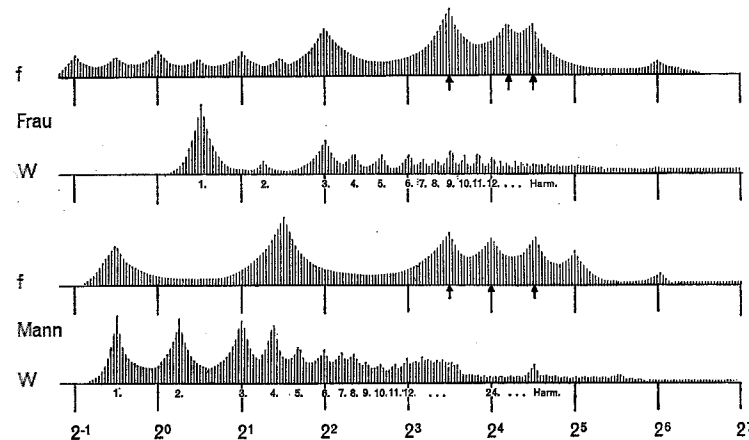


Abb. 3.25 Spektren des Geräuschlautes f, der durch Stimmhaftigkeit zum Laut w übergeführt werden kann. Die beiden Spektren des Lautes f sind gekennzeichnet durch Häufungen der Amplituden-Frequenz-Verteilung in den Oktavbereichen 2^3 und 2^4 ($2^0 = 158$ Hz). Für den Laut w legen die weiblichen Versuchspersonen den Grundton ihres Stimmklanges ungefähr auf den Ton as' (210 Hz), die männlichen eine Oktave tiefer ungefähr auf den Ton as (105 Hz) fest. Die Reihe der harmonischen Teiltöne des Stimmklanges ist in beiden Spektren des Lautes w deutlich erkennbar.

Den Geräuschlauten ist aber nicht nur der geräuschhafte harmonische Klang des Atems beigemischt, sondern sie können auch mit dem Stimmklang verbunden werden. Aus den *stimmlosen* Geräuschen s, sch, (i-)ch, (a-)ch und f werden durch dieses Verfahren der Reihe nach die *stimmhaften* Laute s (Gesang), sch (Genie), j (ja), ch (norddeutsch: sachen für sagen) und w (Waldhorn, Vibraphon).

Die Spektren derartiger Laute sind charakterisiert durch typische Häufungen im Geräuschband einerseits und die harmonische Reihe des jeweils gewählten Sprechstimmklanges andererseits (Abb. 3.25).

3.5 Kurzgeräusche, Geräusche, Klänge und Information

3.51 Die Laute p, t, k, b, d, g, r und die Anwendung von Sprechsignalen

Eine Betrachtung der vom Menschen zum Zweck akustischer Informationsübermittlung ausgesandten Signale hat gezeigt, daß die *logische* Information in der asymmetrischen Ordnung der Nulldurchgänge, die *emotionelle* Information im Spektrum dieser Signale enthalten ist. Je nach Zielsetzung werden die Signale vom Menschen so eingesetzt, daß die Aufmerksamkeit des Ohres entweder stärker auf die Wahrnehmung des zeitlichen Ablaufes oder auf diejenige der Tonhöhen resp. des Klanges gerichtet ist, was die extremen Beispiele einer zeitlich asymmetrischen Impulsfolge und eines aperiodisch leicht frequenzmodulierten gehaltenen Sinustones veranschaulichen mögen. Bei näherem Zusehen wird allerdings offenbar, daß nicht jedes menschliche Lautsignal willkürlich vorwiegend bald auf die eine, bald auf die andere Weise eingesetzt werden kann, sondern daß die verschiedenen Lautgruppen hierzu unterschiedliche Eignung aufweisen (Abb. 3.26). Wohl kann das harmonische Signal eines Vokales vorzüglich auf reine Klangwahrnehmung hin verwendet werden, und auch mit Geräuschlauten ist dies begrenzt möglich. Die Plosivlaute p, t und k jedoch sind für eine derartige Verwendung wenig geeignet. Es sind dies Kurzgeräusche, die das Ohr zwar nach Tonhöhen bzw. Helligkeiten als p, t und k auseinanderzuhalten vermag, aber weder an ihrem Einschwingvorgang, der stets beim Nullwert eines völligen Atemverschlusses beginnt, noch an ihrer sehr kurzen Zeitdauer kann viel verändert werden. Hervorstechende Eigenschaft

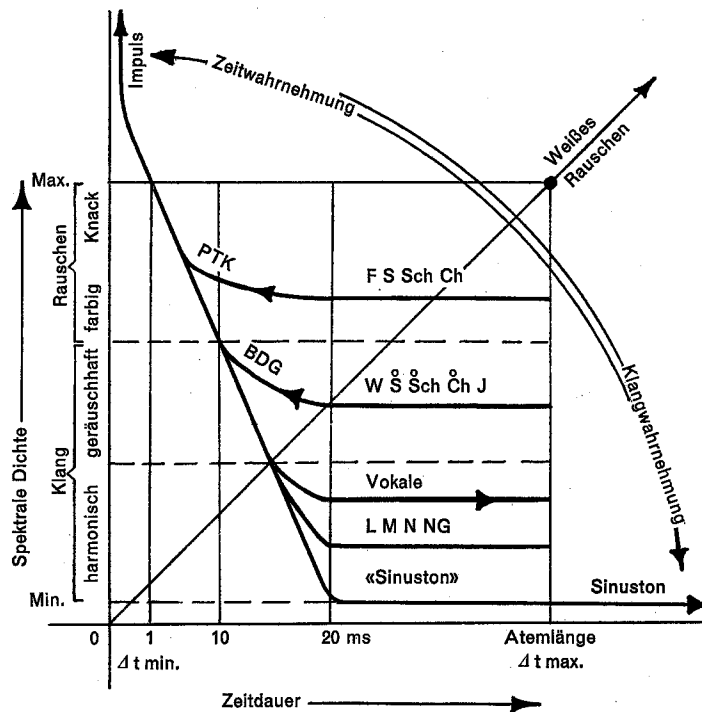


Abb. 3.26 Die menschlichen Sprechsignale und ihre Verwendbarkeit zur Erregung unterschiedlicher Hörempfindungen im menschlichen Ohr. Vokale beispielsweise sind an langzeitige Verwendung gebunden, da sonst ihr harmonischer zum geräuschhaften Klang oder gar zum Geräusch und Knack wird (o über Buchstaben = stimmhaft).

dieser verhältnismäßig starren Lautsignale sind nicht ihr Spektrum, sondern die Nulldurchgänge, und jedes dieser Signale lenkt die Aufmerksamkeit des Ohres in erster Linie auf die Wahrnehmung des zeitlichen Ablaufes. Kurzgeräusche zerhacken den Fluß der Rede und unterteilen ihn zeitlich selbst dann noch, wenn sie mit dem Stimmklang gekoppelt als stimmhafte Plosivlaute b, d und g erscheinen. Sie werden deshalb vom Menschen besonders zur Übermittlung logischer

Information eingesetzt (Kleist: ...dergestalt, daß zwar... Weitere Beispiele siehe Seite 156, vgl. auch Photo 30).

Auch Pulsfolgen wie das Zungen- und Zäpfchen-r, die Geräuschlaute s, sch, (i-)ch, (a-)ch und f und ihre stimmhaften Varianten werden gerne stoßweise eingesetzt, tragen auf diese Weise bei zur zeitlichen Gliederung der Mitteilung und lenken das Ohr auf die Wahrnehmung des zeitlichen Ablaufes. Aber einer Verlängerung der Zeitdauer, besonders der stimmhaften unter diesen Lauten, steht nichts im Wege, und so können sie ebenso gut in verhältnismäßig melodischer Weise eingesetzt werden, die das Ohr zur Wahrnehmung des Klanges einläßt (Cl. Brentano: Singt ein Lied so süß gelinde / wie die Quellen auf den Kiesel / wie die Bienen um die Linde / summen, murmeln, flüstern, rieseln). Wie das Beispiel zeigt, sind auch die harmonischen Sprechsignale l, m, n und ng nach beiden Richtungen hin verwendbar. Sie werden durch teilweisen Verschuß gebildet und verursachen zwar bei sehr abruptem Übergang in Vokale heftige Stöße, die sich aber um so mehr verlieren, je sanfter der Übergang geschieht. Es muß jedoch betont werden, daß alle diese Vorgänge äußerst komplex und verwickelt sind und im Bereich der menschlichen Stimme die eine Art der Informationsübermittlung nicht ohne die andere sein kann. Zwar geben Plosivlaute, stoßartig verwendete Pulsfolgen, Geräusche und harmonische Klänge dem Fluß der Rede zeitliche Gliederung und dienen somit einerseits der Übermittlung logischer Information, aber gerade an der melodischen Gesangsstimme kann beobachtet werden, wie sehr andererseits ein vorausgehender Plosivlaut die Leuchtkraft des Vokales erhöht, sein Spektrum bereichert und damit den Gehalt an emotioneller Information vermehrt. Dieselbe Wirkung zeigt bei richtiger Verwendung auch der dramatische Sprengeneinsatz, der dem Ausbruch der Desdemona: *Ah! Emilia, Emilia...* die Farbe angstvoller Verzweiflung, dem Schrei der Hexe von Endor: *Ah! Tu m'as trompée, tu es Saül!* den Ausdruck hellodernder Empörung zu geben vermag (Abb. 3.27, vgl. auch Photo 28 u. 29).



Abb. 3.27 Giuseppe Verdi: Otello, 4. Akt 1. Szene (oben); Arthur Honegger: Le roi David, No 12 Incantation (unten).

Vokal und stimmloser Plosivlaut sind Grenzfälle menschlicher Mitteilung, der eine dem abstrakten, zeitlosen Sinuston zustrebend und auf die Erregung reiner Tonhöhen-Empfindung, der andere dem abstrakten, tonhöhenlosen Impuls zustrebend und auf die Erregung reiner Zeitempfindung gerichtet. Sinnvoll aber sind nicht Teile, sondern nur die Ganzheit einer menschlichen Mitteilung, und diese ist Ergebnis vielfältigster Wirkungen der Teile untereinander.

3.52 Logisierung und Emotionalisierung

Es wäre verlockend, den subtilen Vorgängen nachzuspüren, welche die lautlichen Mitteilungen des Menschen wie ein feinmaschig gesponnenes Netz durchziehen. Unsere Fähigkeit auf-

zuzeigen, durch Lautsignale wie Sang, Pfiff, Brumm und dergleichen mehr im Mitmenschen jene Tonhöhen- bzw. Klangfarben-Empfindungen zu erregen, welche das Bezeichnete in uns selber auslöst. Darauf hinzuweisen, wie der Dichter Stimmung zu zaubern versteht (Abb. 3.28): *O le frère et frais murmure! Cela gazouille et susure...* und der kongeniale Komponist die emotionelle Information durch eine sanft aufgelockerte, liegende Harmonie unterstützt, zu leiser Bewegung übergeht, die Gesangsstimme zum innigen *Cela* sich aufschwingen und die Musik umschlagen läßt in den beschleunigten, dem Logischen zustrebenden Zeitablauf des geräuschhaften: (*cela*) *ressemble au cri doux que l'herbe agitée expire-tu dirais...*

Ich will mich indessen auf einige Hinweise beschränken, die für unseren Gegenstand von ganz besonderem Interesse sind. In seinem *Bettelweib von Locarno* erreicht Heinrich von Kleist durch bewußt, ja beinahe gewalttätig zerhacktes Erzählen einer zu heftiger Erregung hindrängenden Fabel eine übergeordnete



Abb. 3.28 Paul Verlaine: «C'est l'extase langoureuse». Komponiert von Claude Debussy (Ariettes oubliées, 1888).

Logisierung der Mitteilung, die im Hörer ein flackerndes Hin und Her zwischen bald aufs Klangliche, bald aufs Zeitliche gerichteter Wahrnehmung zu kaum erträglicher Spannung emporetreibt.

Die Marquise, am andern Morgen, da er herunter kam, fragte ihn, wie die Untersuchung abgelaufen, und da er sich mit scheuen und ungewissen Blicken umsah und, nachdem er die Tür verriegelt, versicherte, daß es mit dem Spuk seine Richtigkeit habe, so erschrak sie, wie sie in ihrem Leben nicht getan, und bat ihn, bevor er die Sache verlauten ließe, sie noch einmal in ihrer Gesellschaft einer kaltblütigen Prüfung zu unterwerfen. Sie hörten aber samt einem treuen Bedienten, den sie mitgenommen hatten, in der Tat in der nächsten Nacht dasselbe unbegreifliche gespensterartige Geräusch, und nur der dringende Wunsch, das Schloß, es koste, was es wolle, los zu werden, vermochte sie, das Entsetzen, das sie ergriff, in Gegenwart ihres Dieners zu unterdrücken und dem Vorfall irgendeine gleichgültige und zufällige Ursache, die sich entdecken lassen müsse, unterzuschieben. Am Abend des dritten Tages, da beide, um der Sache auf den Grund zu kommen, mit Herzklopfen wieder die Treppe zu dem Fremdenzimmer bestiegen, fand sich zufällig der Haushund, den man von der Kette losgelassen hatte, vor der Tür desselben ein, dergestalt, daß beide, ohne sich bestimmt zu erklären, vielleicht in der unwillkürlichen Absicht, außer sich selbst noch etwas Drittes, Lebendiges bei sich zu haben, den Hund mit sich in das Zimmer nahmen. Das Ehepaar, zwei Lichter auf dem Tisch, die Marquise unausgezogen, der Marchese Degen und Pistolen, die er aus dem Schrank genommen, neben sich, setzten sich gegen elf Uhr jeder auf sein Bett, und während sie sich mit Gesprächen, so gut sie vermögen, zu unterhalten suchten, legt sich der Hund, Kopf und Beine zusammengekauert, in der Mitte des Zimmers nieder und schläft ein. Drauf, in dem Augenblick der Mitternacht, läßt sich das entsetzliche Geräusch wieder hören; jemand, den kein Mensch mit Augen sehen kann, hebt sich auf Krücken im Zimmerwinkel empor; man hört das Stroh, das unter ihm rauscht; und mit dem ersten Schritt: tapp! tapp! erwacht der Hund, hebt sich plötzlich, die Ohren spitzend, vom Boden empor, und knurrend und bellend, grad als ob ein Mensch auf ihn eingeschritten käme, rückwärts gegen den Ofen weicht er aus. Bei diesem Anblick stürzt die Marquise mit sträubenden Haaren aus dem Zimmer; und während der Marchese, der den Degen ergriffen: «Wer da?» ruft und, da ihm niemand antwortet, gleich einem Rasenden nach allen Richtungen die Luft durchhaut, läßt sie anspannen, entschlossen,

augenblicklich nach der Stadt abzufahren. Aber ehe sie noch nach Zusammenraffung einiger Sachen aus dem Tore herausgerasselt, sieht sie schon das Schloß ringsum in Flammen aufgehen.

(Aus der Erzählung: Das Bettelweib von Locarno von H. v. Kleist)

Im Gegensatz dazu weiß *Georg Büchner* in seinem Lustspiel *Leonce und Lena* durch träg sich dahinschleppende, stockend kurzatmige Ratlosigkeit eine scheinbare Logisierung zu erzeugen, die, armselig genug, immer wieder erschläft zur dürftig-emotionalen Information monoton hingeleierte Gefühle. Mit sicherem Instinkt erreicht der Dichter damit die Wirkung sinnlos-hintergründiger Komik.

PETER. Ja, wenn aber der Prinz nicht kommt und die Prinzessin auch nicht?

PRÄSIDENT. Ja, wenn der Prinz nicht kommt und die Prinzessin auch nicht – dann – dann –

PETER. Dann, dann?

PRÄSIDENT. Dann können sie sich eben nicht heiraten.

PETER. Halt, ist der Schluß logisch? Wenn – dann –. Richtig! Aber mein Wort, mein königliches Wort!

PRÄSIDENT. Tröste Eure Majestät sich mit anderen Majestäten. Ein königliches Wort ist ein Ding – ein Ding – ein Ding –, das nichts ist.

PETER (zu den Dienern). Seht ihr noch nichts?

DIE DIENER. Eure Majestät, nichts, gar nichts.

PETER. Und ich hatte beschlossen, mich so zu freuen! Grade mit dem Glockenschlag zwölf wollte ich anfangen und wollte mich freuen volle zwölf Stunden – ich werde ganz melancholisch.

PRÄSIDENT. Alle Untertanen werden aufgefordert, die Gefühle Ihrer Majestät zu teilen.

ZEREMONIENMEISTER. Denjenigen, welche kein Schnupftuch bei sich haben, ist das Weinen jedoch Anstandes halber untersagt.

(Aus: *Leonce und Lena* von G. Büchner, 3. Akt 3. Szene)

Es ist aufschlußreich, diesen Beispielen lebendiger Sprache Sätze gegenüberzustellen, wie sie ähnlich in behördlichen Bekanntmachungen, Wegleitungen, Vernehmlassungen, Statuten usw. auf der ganzen Welt zu finden sind:

Die Anmeldung für Eingliederungsmaßnahmen (...) hat vor deren Durchführung zu erfolgen. Die Kosten für Eingliederungsmaßnahmen, die aus wichtigen Gründen vor der Beschlußfassung der ...-Kommission durchgeführt werden mußten, übernimmt die Versicherung nur, sofern die Anmeldung innert sechs Monaten seit Beginn der Durchführung eingereicht wurde.

(Aus: Wissenswertes über die AHV, Ausgabe 1964)

Die Schriftsprache hat sich endgültig von der Lautsprache gelöst. Es wird nicht Logisierung durch zeitliche Gliederung angestrebt, sondern Sätze werden in abstrakte Substantive zusammengezogen und codifiziert. Durch derartige Codewörter (z. B. Eingliederungsmaßnahmen), deren Sinn sich trotz ihrer Herleitung bald nur noch dem Eingeweihten entschlüsselt, wird die zeitliche Gliederung, welche den codifizierten Sätzen zukäme und sich dem Ohr als logische Information darböte, aufgehoben. Deshalb sind Codewörter und ihre Häufung akustisch unmittelbar unverständlich und erregen bloß die zeitliche Empfindung gleichförmigen Schnarrens. (Die Aufschlüsselung geschieht via Definitionen).

Amtlich schnarrend ist auch die Stimme des Greifs, wenn er in *Goethes Faust* (II, 2. Akt Klass. Walpurgisnacht) Mephistopheles' Ausruf: Glück zu! den schönen Fraun, den klugen Greisen! mit den Worten zurückweist:

(GREIF schnarrend)

Nicht Greisen! Greifen! – Niemand hört es gern,
Daß man ihn Greis nennt. Jedem Worte klingt
Der Ursprung nach, wo es sich her bedingt:
Grau, grämlich, griesgram, greulich, Gräber, grimmig,
Etymologisch gleicherweise stimmig,
Verstimmen uns.

Die lehrhaft würdevolle Gleichförmigkeit dieser Rede ist jedoch nicht durch Codifizierung, sondern durch Periodisierung des zeitlichen Ablaufes erreicht. Dieses als *Metrik* bekannte Verfahren bringt übergeordnete, periodisch sich wiederholende Zeit-

symmetrien in den asymmetrischen Zeitablauf einer Mitteilung. Die Periodisierung geschieht in der deutschen Sprache durch Amplitudenmodulation (Druckakzent), während sie in der antiken Poesie mittels Frequenzmodulation hervorgerufen worden ist (Heben und Senken des Sprechtones). Die logische Information bleibt zwar erhalten, aber der Hörer wird von der Wahrnehmung des zeitlichen Ablaufes weitgehend abgelenkt durch eine Periodik, deren Frequenz nicht im Audiobereich, sondern in demjenigen der *taktilen Empfindungen* liegt (Oktavbereiche 2^{-6} bis 2^{-8} , vgl. Abb. 3.17):

Kinderlied

(den kleinen Kindern in die Hand gepatscht)

Patsche, patsche, Küchelchen,
Mir und dir ein Krügelchen,
Mir und dir ein Tellerchen,
Mir und dir ein Hellerchen,
Sind wir zwei Gesellerchen.

(Aus: Des Knaben Wunderhorn)

Die Wirkungsweise derartiger, mit der körperlichen Bewegungsmotorik des Menschen innig verbundenen metrischen Periodisierungen ist zwar verschieden, je nachdem sie durch Amplituden- oder Frequenz-Modulation geschieht. Aber stets geht mit dem Metrum, aus welchem Grunde und auf welche Weise es immer zustande kommt, eine übergeordnete Emotionalisierung der Mitteilung Hand in Hand. In die Zwangsjacke empfindungsleerer Metrik eingespannt, wird die Sprache zwar zur Klappermühle und zum Geleier von der Stange gekaufter Gefühlsduselei. Vom Wellenschlag echten Metrums getragen aber erhebt sie sich als Poesie zur Kündlerin urtümlicher Emotionen und weitgespannter Stimmungen, deren Bogen die Prosa niemals nachzuzeichnen vermag:

EMPEDOKLES

Das Leben suchst du, suchst, und es quillt und glänzt
Ein göttlich Feuer tief aus der Erde dir,
Und du in schauerndem Verlangen
Wirfst dich hinab, in des Aetna Flammen.

So schmelzt' im Weine Perlen der Übermut
Der Königin; und mochte sie doch! hättest du
Nur deinen Reichtum nicht, o Dichter,
Hin in den gärenden Kelch geopfert!

Doch heilig bist du mir, wie der Erde Macht,
Die dich hinwegnahm, kühner Getöteter!
Und folgen möcht ich in die Tiefe,
Hielte die Liebe mich nicht, dem Helden.

(Hölderlin)

4. Kapitel

FOLGERUNGEN UND AUSBLICK

4.1 Sprache und Musik

Viele Probleme, vom wissenschaftlichen, politischen und wirtschaftlichen bis zu jenen gewaltigen Problemkreisen, welche heute über Nationen und Kontinente hinweg zu Schicksalsfragen der gesamten Menschheit geworden sind, können nur unter Beihilfe von elektronischen Rechenmaschinen gelöst werden. Um den Einsatz solcher Maschinen zu ermöglichen, mußten Sprachen ausgebildet werden, die im Gegensatz zu den natürlichen Sprachen der Menschen nicht regional und mehrdeutig, sondern weltumspannend sind und die Fähigkeit besitzen, Probleme eindeutig zu beschreiben. Schon 1911–13 haben *Whitehead* und *Russel* gezeigt, daß sich große Teile der Logik und Mathematik durch eine formalisierte Sprache darstellen lassen. Mit ALGOL 60 ist es schließlich gelungen, eine problemorientierte formalisierte Sprache zu finden, durch die sich Probleme eindeutig darstellen und in die jeweilige Maschinensprache jedes Computers übersetzen lassen (vgl. Abb.4.1). Weit über die Studierstube von Linguisten und Phonetikern hinaus ist also die Sprachforschung heute in den Mittelpunkt von Wissenschaft und Technik gerückt.

Was Wissenschaft und Technik dabei unter Sprache verstehen, liegt allerdings weit ab vom Interesse, das der Musiker der menschlichen Sprache entgegenbringt. Ich habe gezeigt, daß bereits mit dem Übergang von der gesprochenen zur geschriebenen Sprache jedes durch seine spezifischen Modulationen von Amplitude, Frequenz, Spektrum und Zeitdauer charakterisierte Lautsignal eines Satzes in ein Klassenzeichen verwandelt wird, was mit einem Verlust an emotionaler Information verbunden ist. Werden in einem weiteren Schritt nun auch die den

```

begin comment PROGRAMM 2;
  integer n, i, a, b, umdr; real omegakwadr, theta, T;
  n:= read; a:= read; b:= read;
  begin real array I[0:n-1], C[1:n-1];
    for i:= 1 step 1 until n-1 do C[i] := read;
    for i:= 0 step 1 until n-1 do I[i] := read;
    NLCR; print(n); print(a); print(b);
    NLCR; print(I[0]);
    NLCR; for i:= 1 step 1 until n-1 do
      begin print(I[i]); print(C[i]); NLCR end;
    for umdr:= 0 step a until b do
      begin omegakwadr := (1.04719755110-1 * umdr) ↑ 2;
        theta:= 1; T:= I[0] * omegakwadr;
        for i:= 1 step 1 until n-1 do
          begin theta:= theta - T/C[i];
            T:= T + I[i] * theta * omegakwadr
          end;
        NLCR; print(umdr); print(T)
      end
    end
  end
end

```

Abb. 4.1 Beschreibung eines Problems mit Hilfe der formalisierten Sprache ALGOL 60. Ein derartiges Programm kann in die jeweilige Maschinensprache jedes Computers übersetzt werden. (Zitiert nach J.A. Zonneveld.)

einzelnen Wörtern zukommenden Bedeutungen aus dem Satz ausgeklammert, so bleibt schließlich nur die Natur des Satzes bzw. seine Möglichkeit übrig, logische Strukturen darzustellen. Aus dem Satz: Auf Blitz folgt Donner, wird nacheinander: Auf Blitz folgt x, und: Auf y folgt x, bzw.: y hat die Eigenschaft $y \supset x$. Hört man dagegen denselben Satz etwa von einem Menschen gesprochen, der eben erst der Gefahr eines heftigen Gewitters entronnen ist, so klingen Töne auf, die Schrecken und Gewalt des Erlebten ahnen lassen. Der Satz ist jetzt in die Domäne der Musik eingetreten, wo er sich vom *Rezitativen* bis zum *Ariosen* steigern und schließlich zu

DESDEMONA

(ad Emilia)
parlante

nò, cantava una can. zone: la canzon del Salice. = Mi di.scio.gli le

dolce

marcato *cres. e stringendo*

chiome. = lo questa se - ra hò la memoria pie - na di

p cres. e stringendo

MÉLISANDE 1^{er} Mouvt

GOLAUD

Oh! oh! loin d'i... loin... loin...

Où è .tes-vous né - e?

Abb. 4.2 Übergang von der Sprache zur Musik. (Oben) Giuseppe Verdi: Otello (1887) 4. Akt 1. Szene. (Unten) Claude Debussy: Pelléas et Mélisande (1902) 1. Akt 1. Szene.

einem akustischen Geschehen auswachsen kann, dessen reiche Modulationen von Lautheit, Tonhöhe und Farbe vollständig von der durch das Erlebnis ausgelösten Emotion bestimmt sind (vgl. Abb. 4.2).

Es darf nun allerdings nicht übersehen werden, daß, wo immer musikalisches Eigenleben beginnt und sich auf sich selbst besinnt, logische Strukturen in großer Zahl in die Musik ein-

strömen. Am Instrumentenbau sind bereits von der Antike Systeme entwickelt und von der europäischen Musik übernommen worden, die Tonhöhenverhältnisse durch rationale Zahlenverhältnisse darstellen. Die alten *Pythagoreer*, denen eine systematische Beobachtung des Zusammenhangs von Saitenlänge und Tonhöhe zu verdanken ist, waren des Glaubens, daß die gesamte Welt durch Verhältnisse ganzer kleiner Zahlen strukturiert und deshalb nach den Gesetzen harmonischer Klänge geordnet sei. Nach einer mittelalterlichen Auslegung dieser Auffassung war also Musik nicht an die sinnliche Wahrnehmung durch das menschliche Ohr gebunden, sondern sie wurde als logische Struktur begriffen, die den Lauf der Gestirne lenkt und das Geschick der Menschen bestimmt; hörbare Musik dagegen war bloß ein winzig kleiner Ausschnitt aus dieser umfassenden Weltkonzeption. Reste einer solchen Auffassung sind für das Musikdenken des Westens bis heute signifikant geblieben.

Gefördert durch die Erfordernisse der in Frankreich erblühenden Mehrstimmigkeit und ihrer schriftlichen Fixierung hat die Musik des Hochmittelalters auch ihre Zeitdauerverhältnisse – ehemals durch die Metrik der sog. *Modi* geregelt – in einem System rationaler Zahlenverhältnisse zu erfassen begonnen (*Mensuralnotation*), und in der Neuzeit ist schließlich die bereits bestehende rationale Ordnung der Tonhöhen in ein Frequenzsystem höherer Rechenart übergeführt worden (*gleichschwebende Temperatur*)¹.

Auch Lautheit und Klangfarbe haben im Bau von Instrumenten, aber auch in der Formierung fester Instrumentalensembles bis zum Sinfonieorchester eine logische Strukturierung erhalten; einer systematischen Darstellung dieser Parameter mittels

¹ Für die Oktave wird gesetzt: $1:2 = 1:\sqrt[12]{2^{12}}$. Jeder Halbtonschritt der chromatischen Tonleiter wird als $\sqrt[12]{2^1}$ definiert, was als Oktavunterteilung die Reihe $\sqrt[12]{2^1} : \sqrt[12]{2^2} : \sqrt[12]{2^3} : \dots : \sqrt[12]{2^{12}}$ ergibt.

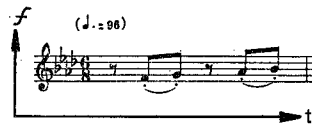


Abb. 4.3 Darstellung der beiden Parameter Frequenz und Zeitdauer durch die konventionelle Notenschrift. Die Darstellung ist diskontinuierlich, d.h. in Stufen aufgeteilt. Einheit der Frequenz ist der Halbton bzw. $\frac{12}{21}$, Einheit der Zeitdauer die Zählzeit bzw. deren rationale Unterteilung.

rationaler Zahlenverhältnisse widersetzten sich dagegen nicht nur die beiden Parameter selber durch ihre Komplexität, sondern vor allem auch die ausschließlich an Tonhöhe und Zeit orientierte Darstellungsform der Notenschrift (Abb. 4.3). Es blieb bei den wenigen Zeichen *pp*, *p*, *mp*, *mf*, *f*, *ff* und einigen Hinweisen (z.B. *con tutta forza*) für die unterschiedlichen Lautheitsgrade und bei Angabe der Instrumente und vielerlei Spielanweisungen für die Klangfarbe (z.B. für das Einschwingen *sf*, *rfz*, *fp*, *sfz*). Der Tonort schließlich versteckt sich in herkömmlichen Partituren hinter Werktiteln (z.B. Oratorium, Kammermusik, Cassation) oder findet überhaupt keine Erwähnung¹. Obwohl das Bild der traditionellen Notenschrift Tonhöhe und Zeitdauer durch Linien und Noten eindeutig in den Vordergrund rückt, darf nicht geschlossen werden, Lautheit, Klangfarbe und Tonort der dargestellten Musik seien logisch nur schwach oder überhaupt nicht strukturiert. Auch hinter den dünnen Buchstaben- und Wortsymbolen der Notenschrift (z.B. *ff*, *pp*, *tutti*, *divisi*, *oboi*, *timpani*) verstecken sich, via traditionsgebundene Definitionen auffindbar, logische Strukturen, deren Zahl Legion ist: Programme der einzelnen Instrumente und ihres Zusammenspiels in festgelegten Gruppen, Sitzordnungen, Aufführungspraxen und vieles mehr. Wem es Mühe bereitet, sich den gewaltigen logischen Bau, der sich

¹ Für die Vokalpartien der Oper ist das anders. Durch den Text wird ihr Spektrum, durch die Handlung ihr Tonort definiert.

hinter den graphischen Zeichen der traditionellen Musik verbirgt, in seinen vollen Ausmaßen vorzustellen, der möge sich Spieltisch und Inneres einer großen Orgel genau besehen; er wird die mechanisch-maschinelle Übersetzung dessen finden, wovon ich eben gesprochen habe.

4.2 Zur Sprache der Instrumentalmusik

Jedes Werk elektronischer Musik hat – wenigstens heute noch – damit zu rechnen, vom Hörer mit instrumentaler Musik verglichen zu werden. Ich will deshalb, ehe von der Sprache der elektronischen Musik die Rede sei, kurz nach derjenigen der Instrumentalmusik fragen.

Wohl jeder meiner Leser hat erfahren, daß die Rede eines Menschen, dessen fremdländische Sprache er nicht kennt, in ihm dennoch Zuneigung, Liebe, Abneigung, Kälte, Zorn, Verwirrung oder vielerlei ähnliche Emotionen zu erregen vermag. Aus einer derartigen Rede ist oft mehr Information über den fremden Sprecher zu schöpfen, als es möglich wäre, wenn seine (z.B. täuschende) Rede in allen Teilen verstanden würde. Ergibt sich mit dem fremden Gegenüber, das seinerseits die Sprache des Partners nicht kennt, ein Gespräch, so gründet es sich teils auf ein sich anbahnendes gegenseitiges Verstehen intuitiver Art, teils wird es unterstützt durch Deuten auf gemeinte Gegenstände und Illustrationen von Zusammenhängen, welche die bedeuteten Gegenstände miteinander verknüpfen (selbst am Telefon, wo es gar nichts hilft, wird mit dem Zeigefinger gedeutet und gestikuliert). Allmählich gelingt es beiden Partnern, einen gemeinsamen Vorrat von einfachen Signalen (*Namen*) mit fixierten *Bedeutungen* aufzubauen. Je größer dieser gemeinsame Vorrat, in desto reicheren Maße wird die gegenseitige Unterhaltung informativ, d.h. desto mehr Ungewißheit wird beseitigt. Aber selbst wenn zwei Menschen dieselbe Muttersprache sprechen und also über einen denkbar großen gemeinsamen Vorrat an einfachen Signalen verfügen, ist die Bedeutung dieser Signale nicht eindeutig fixiert. Mein Sohn

verbindet das akustische Signal «Haus» mit einer anderen, seiner eigenen Erfahrung entsprechenden Klasse von Sätzen, als ich selber dies tue; aber beide Klassen überschneiden sich z.B. in jenem Bereich, welcher Sätze enthält, die vom Haus handeln, das wir gemeinsam bewohnen. In der relativen Vieldeutigkeit der Bedeutung liegt der Grund, weshalb natürliche Sprachen auch bei strengster Straffung ihrer logischen Präzision nicht ausreichen für eine (möglichst) eindeutige wissenschaftliche oder technische Problembeschreibung, sondern in problemorientierte Fachsprachen übergeführt werden müssen, deren Signalbedeutungen durch Angabe einer endlichen Anzahl von willkürlich festgelegten Sätzen erläutert werden. Eine derartige Sprache, ALGOL 60 zum Beispiel, kann von Eingeweihten auf der ganzen Welt mit weitgehender Eindeutigkeit verstanden werden.

Auch die Musik wird oft eine weltweit verständliche Sprache genannt. Ob mit Recht oder nicht, so ist doch immerhin nicht zu leugnen, daß seine Sinfonien zu Haydns Lebzeiten in England ebenso großen Nachhall gefunden haben wie in Wien, während die Dramen *Shakespeares* erst der genialen Übersetzung durch *Tieck* und *Schlegel* bedurften, um sich auf der deutschsprachigen Bühne einbürgern zu können. Ob allerdings die Sinfonien Haydns wie die Sprache ALGOL 60 nur von Eingeweihten rund um den ganzen Erdball oder wie die zärtlichen Lieder, mit denen Mütter ihre Kinder in den Schlaf singen, ausnahmslos von der gesamten Menschheit verstanden werden, ist nicht leicht zu entscheiden. Für Haydn liegt die Wahrheit wohl in der Mitte: sein Werk enthält vieles, das wie Klang und Rhythmus der fremdländischen Rede intuitivem Verstehen sich unmittelbar eröffnet, aber auch ebenso vieles, das nur dem Eingeweihten sich preisgibt. Wie aber kommuniziert der Eingeweihte mit dem Komponisten Joseph Haydn; sind ihm die Bedeutungen der Signale Haydnscher Musik bekannt?

Auf der Musikschule lernt jeder angehende Musiker Harmonie- und Formenlehre, und der Fortgeschrittene wendet sich dem

Studium des Kontrapunkts zu. Seit Beginn des 19. Jahrhunderts, da die Vorkenntnisse von den Komponisten selber geübte Lehrtätigkeit fast ausschließlich an sie übergegangen war, haben Theorielehrer den musikalischen Nachwuchs theoretisch unterwiesen, die Materie geordnet und in Lehrwerken zusammengefaßt. Die Literatur, in der Musikgelehrte den Stoff vertieft und Schriftsteller ihn auch einem breiten Publikum nahegebracht haben, ist umfangreich und wird noch heute mit großer Intensität erweitert¹. Einführungen und Werkanalysen erreichen den Freund klassischer Musik in Studienpartituren, in Büchern, Zeitschriften, Programmheften und selbst auf Schallplatten und deren Schutzhüllen.

Was wird gelehrt? In groben Zügen dies: Der Ton ist durch eine Tonhöhe definiert und läßt sich mit einem zweiten von nicht derselben Tonhöhe im zeitlichen Miteinander zu einem harmonischen, im zeitlichen Nacheinander zu einem melodischen Intervall vereinen. Das Intervall ist als kleinste Einheit der Musik zu betrachten. In Form melodischer Halb- und Ganztonschritte bildet es die *Dur- und die Molltonleiter*, in Form harmonischer Terzintervalle die *Akkorde*. Aus Tonleiter und Akkord können alle melodischen und harmonischen Bildungen der Musik verstanden und auf sie zurückgeführt werden. Aber diese beiden Grundeinheiten sind auch eng miteinander verknüpft, denn jeder Ton einer Melodie ist als Ton eines Akkords (oder als von einem solchen abgeleitet) und jeder Ton eines Akkords als Ton einer Leiter (oder als von einem solchen abgeleitet) zu betrachten; zudem besitzt jeder Akkord einen Grundton, der als Stufe einer Tonleiter (oder als deren Ableitung)

¹ Die Harmonielehre in ihrer klassischen Form ist durch den französischen Komponisten J. Ph. Rameau (*Traité de l'harmonie réduite à ses principes naturels* 1722) begründet worden. In unserem Jahrhundert haben selbst Arnold Schönberg (Harmonielehre 1911) und Paul Hindemith (Traditional Harmony I und II 1943 bzw. 1948) die Mühe nicht gescheut, den Stoff der traditionellen Harmonielehre darzustellen. In seiner Harmonielehre äußert Schönberg den inzwischen berühmt und fruchtbar gewordenen Gedanken einer Klangfarbenmelodie.

aufzufassen ist. Zwischen den Akkorden einer harmonischen Folge besteht daher ein Netz von verwandtschaftlichen Beziehungen, durch das ihr Verlauf geregelt und die Struktur der Musik bestimmt ist. Die einzelnen Töne eines Akkordes können nun allerdings umspielt werden, so daß jeder Stimme eines musikalischen Verlaufs eine gewisse individuelle Bewegungsfreiheit zukommt. Macht nur eine einzige – meist die oberste – Stimme von dieser Freiheit Gebrauch, so liegt eine *harmonisierte Melodie*, geschieht es in allen Stimmen zugleich, so liegt ein *kontrapunktischer Satz* vor, der teilweise speziellen Regeln folgt und imitatorisches Gepräge annehmen kann. Nachzutragen ist, daß die Bedeutung eines Akkordes oder Melodietons im Netz der gegenseitigen Beziehungen nicht nur durch seine verwandtschaftliche Relation geregelt, sondern auch durch seine zeitliche Dauer und seine Stellung im Takt bestimmt ist. Sowohl die harmonisierte Melodie als auch der kontrapunktische Satz können instrumentiert und mit Dynamik versehen werden.

Auffallend an einem derartigen *Modell* der Musik ist die Tatsache, daß es nur Frequenz und Zeitdauer in seinen Bau miteinbezieht, die übrigen Parameter dagegen unberücksichtigt läßt. Zwar wird von Tonverbindungen gesprochen, in Wirklichkeit aber sind Verbindungen von Noten gemeint; denn vom akustischen Signal berücksichtigt das Modell nur jene Bestimmungsstücke, welche auch das graphische Signal augenfällig aufweist: seine Frequenz und seine Dauer (vgl. Abb. 4.3). Da sie in der Notenschrift nicht zur Darstellung gelangt, bleibt auch die Modulation der Frequenz eines «Tones» unberücksichtigt, obwohl doch gerade sie von entscheidender Bedeutung für die Hörempfindung ist¹. Von der Tatsache, daß Terzintervalle je nach ihren absoluten Frequenzwerten unter Umständen die Empfindung der Rauheit erregen (vgl. Seite 54), wird keine Notiz genommen; denn das Modell zielt dahin, den Aufbau

¹ Man könnte sagen, der Raster sei zu grob gewählt, um auch diese Modulation darstellen zu können (vgl. Seite 88).

einer bestimmten Klasse von durch Frequenz und eventuell Zeitdauer definierten Akkorden einheitlich zu erklären und Unterklassen dieser Klassen logisch miteinander zu verknüpfen. Aufgebaut wird ein universales System von Bezügen (die funktionelle Harmonik), das zur logischen Klärung des gesamten Ablaufs von Musikstücken herangezogen wird und aus dem sich «Formbegriffe» deduzieren lassen.

Von derselben die Zahl der Parameter auf Frequenz und Zeit einschränkenden Art sind die Voraussetzungen, mit denen diese «Formbegriffe» auch melodisch gestützt werden. Motive und Themen werden als in ihren relativen Frequenz- und Zeitdauerhältnissen definierte Folgen von Noten aufgefaßt; da es sich jetzt um die Aneinanderreihung von nach Frequenz und Zeitdauer gebildeten Klassenzeichen handelt, können Motive und Themen willkürlich mit Amplituden und Spektren in Verbindung gebracht bzw. transponiert¹, dynamisiert und orchestriert werden, ohne daß dadurch die musikalische «Form», wie sie das Modell begreift, auch nur im geringsten tangiert würde. Eine derartige an Frequenz und Zeitdauer orientierte «Form» läßt sich durch allgemeine Zahlensymbole nach Art algebraischer Formeln darstellen (z. B. Liedform $a b a$, einfache Rondoform $a b a c$ usw.).

Durch die Formel $a b a$ soll ausgesagt sein, daß, falls eine Liedform vorliegt, ein Glied a von einem Glied b und dieses wiederum von einem a gefolgt wird. Durch die Verwendung zweier verschiedener Buchstaben a und b soll ferner ausgesagt sein, daß, was auf a folgt, nicht äquivalent a ist, daß diesem Glied jedoch ein dem ersten äquivalentes folgt. Ein Hörer, der mit dem oben besprochenen Modell vertraut und durch Hinweise (z. B. durch den Werktitel: Lied ohne Worte) auf die Fährte gelenkt worden ist, wird beim Anhören der Musik versuchen, ein erstes in sich geschlossenes «Formglied» (ein a im Sinne seines Modells) zu erkennen; dabei wird er sich denken, daß diesem ersten «Formglied» ein anderes, deutlich vom ersten

¹ Durch die Transposition wird die Klangfarbe verändert.

sich abhebendes (ein b im Sinne seines Modells) werde folgen müssen usw. Trifft dies dann tatsächlich zu, so ist sein Vergnügen groß; sein Modell – so wird er sagen – ist ein richtiges, und er hat die Musik richtig verstanden. Wer dagegen niemals Harmonie- und Formenlehre studiert hat und also nicht über das obige Modell verfügt, der wird zwar von sich behaupten, er verstehe nichts von Musik, sei völlig ungebildet; bei etwas weniger Unvoreingenommenheit aber wäre es auch ihm möglich gewesen, beim Anhören derselben Musik zu erkennen, daß vielleicht Dunklem Helles und diesem wieder Dunkles, Langsamem Schnelles und diesem wieder Langsames gefolgt ist und seine Seele durch die Sprache der Musik den Umschlag von lastender Düsternis in freudige Erregung und das Zurücksinken in erneute Düsternis erlebt hat. Denn auch dem musikalisch «Ungebildeten» hätte ein passendes Modell zur Verfügung gestanden, das er in Sätzen wie: Auf Regen folgt Sonnenschein, dann wieder Regen, und ähnlichen Sätzen schon x-mal durchgespielt hat. *Die Strukturen der Musik können von jedem Menschen erkannt werden, sofern sie auch logische sind. Mit welcher Differenzierung dies geschieht, hängt jedoch von der Geübtheit seines Geistes bzw. von Anzahl und Art der bereits durchgespielten Modelle ab, über die der einzelne Mensch verfügt¹.*

Was nun die Bedeutungen der musikalischen Signale anbelangt, so ist zwar unbestreitbar, daß dem menschlichen Geist die Fähigkeit zukommt, durch Abstraktion «Sätze» zu bilden (z. B. aus dem Satz: Auf Regen folgt Sonnenschein, den variablen «Satz»: x impliziert y), deren einfachen Signalen keine Bedeutungen zukommen, und die Strukturen dieser variablen «Sätze» in anderen Zusammenhängen wiederzuerkennen (z. B. im Satz: Auf Blitz folgt Donner oder in einem Musikstück. Mathematiker lieben deshalb Bachs Musik oft ganz besonders!); aber es muß beachtet werden, daß die klingende Musik (und alles

¹ Es ist jedoch anzunehmen, daß der Musik auch Strukturen zukommen, die nicht auch logisch sind. Über sie läßt sich freilich nichts sagen; sie sind mystischer Art.

sinnlich Wahrnehmbare überhaupt) dem Menschen niemals abstrakte Strukturen anbietet, sondern einfache Signale in bestimmten Konfigurationen. Den einfachen Signalen kommen in diesem Zusammenhang immer Bedeutungen zu, und aus ihren Konfigurationen vermag der Mensch Strukturen herauszulösen. Die Bedeutungen der einfachen Signale aber können nicht definiert werden, sondern die Musik ZEIGT sie. Die einfachen oder Ursignale der Musik sind etwas Mystisches¹. Wer demnach die musikalische Sprache eines Komponisten verstehen will, der muß in sie hineinwachsen wie das Kind in seine Muttersprache. Es kann dies nur durch unablässige Anwendung dieser Sprache geschehen. Aber selbst dann werden die Bedeutungen ihrer Ursignale nicht eindeutig fixierte sein, was sich an den unterschiedlichen, einander völlig widersprechenden Deutungen zeigt, welche die Musik des göttlichen Mozart im Lauf der Geschichte erfahren hat.

*

In der Instrumentalmusik des 19. und frühen 20. Jahrhunderts hat sich eine Entwicklung vollzogen, die gerne als Hinwendung zum Koloristischen bezeichnet wird (Abb.4.4). Lautheit und Klangfarbe, in Bachs Orchester wie die Gärten barocker Schlösser in Terrassen geordnet, streben bereits bei den *Mannheimern* einem dynamischen und farblichen Kontinuum zu, das schließlich im Sinfonieorchester vom wispernden Pianissimo bis zum machtvoll-ekstatischen Fortissimo reicht und in unge-

¹ Die Bedeutungen von Ursignalen können durch Erläuterungen erklärt werden. Erläuterungen sind Sätze, welche die Ursignale enthalten. Sie können also nur verstanden werden, wenn die Bedeutungen dieser Signale bereits bekannt sind (Wittgenstein). Verwendet die Musik nicht einfache, sondern durch einfache Signale definierte Signale, so ist sie vom logischen Standpunkt als nicht vollständig analysiert zu betrachten. Vermag sie in diesem Fall die Bedeutungen dieser einfachen Signale nicht selber zu zeigen, so handelt es sich um Programmmusik (z.B. wenn in einer Szenen- oder Filmmusik die Bedeutungen ihrer einfachen Signale ausschließlich vom Bild, nicht aber von der Musik selber gezeigt werden können).

40

(*) Glissez en effleurant la corde du côté du chevalet D. & F. 7128

Abb. 4.4 Auflösung einer liegenden Harmonie in Farbwerte. Maurice Ravel: Rhapsodie espagnole (1907) 4. Satz.

zählten Farbnancen schillert. Was bereits mit dem Übergang vom Cembalo zum Piano forte angekündigt und in der Musik des genialen C.M. von Weber kühn vorweggenommen wird,

tritt im Werk *Richard Wagners* klar zutage: der mächtig aufkeimenden Neigung zum musikalischen Kontinuum fügen sich Dynamik und Farbe der Instrumentalmusik weitaus williger als Tonhöhe und Zeitdauer. Denn selbst in den fließenden Übergängen des *Portamento* und *Rubato* vermögen Tonhöhe und Zeitdauer ihre starr in Stufen gegliederte rationale Ordnung doch nur um ein wenig zu lockern; Dynamik und Farbe des Orchesters dagegen gewinnen durch die seit Mozart heiß geliebte Klarinette, durch das Waldhorn, von Weber gleich zu vieren ins Orchester eingeführt, durch Harfen, Baßklarinette, Tuben und vielerlei weitere Instrumente eine katzenhafte Schmiegsamkeit, die Harmonie und Melodie mit fließenden Wechseln völlig durchdringt. Die Auflösung des farblich unverwechselbaren Tristan-Akkords ist nicht graduell Fortschreiten von Akkord zu Akkord, sondern ein Fließen von wechselnder Farbe und Dynamik, das selbst die an Stufen gebundene Ordnung von Tonhöhe und Zeit aufzuheben scheint (Abb. 4.5)¹. Aufschlußreich ist das Tempo, das Wagner für den Beginn seines Tristan-Vorspiels vorschreibt. Jedem meiner Leser ist bekannt, daß die Regelmäßigkeit des Schritts durch sehr langsames Gehen in Frage gestellt wird. Wagner hat nun das Tempo so langsam gewählt, daß die Zeitsymmetrie des metrischen Pulses und mit ihr die von der Notenschrift dargestellte rationale Zeitordnung ins Schwanken gerät, so daß die Zeitdauerwerte der klingenden Musik nicht mehr starr an diese Ordnung gebunden sind, sondern elastisch moduliert werden können ($\text{♩} = \text{etwas langsamer als } 2^{-8}$, vgl. Abb. 3.17)². Auf eine die-

¹ Das Neue an Wagners Leitmotiv ist nicht seine Frequenz-Zeitordnung, sondern seine fließende Modulationsfähigkeit von Dynamik und Klangfarbe. *Richard Strauß* (*Berlioz-Strauß*, Instrumentationslehre) hat in treffenden Bemerkungen wiederholt auf diesen Umstand hingewiesen.

² Wenn die Frequenz der metrischen Pulseinheit die Extremwerte 2^{-6} und 2^{-8} über- bzw. unterschreitet, dann wird vom Hörer automatisch auf eine Pulseinheit umgestellt, die zweimal langsamer bzw. schneller ist, was man als «Oktavtransposition» auffassen kann (z.B. 4 Hz wird

Erster Aufzug.

Richard Wagner.

Einleitung.
Langsam und schmachkend.

Langsam und schmachkend.

Abb. 4.5 Hinwendung der Instrumentalmusik zum Kontinuum. Richard Wagner: *Tristan und Isolde* (1857–59), Einleitung zum 1. Aufzug.

als $\frac{1}{2} \times 2$ Hz bzw. 0,4 Hz als $2 \times 0,8$ Hz aufgefaßt). Wagner vereitelt aber auch diese seiner Absicht zuwiderlaufende Möglichkeit durch Dreierunterteilung ($\frac{6}{8} = \frac{3}{8} + \frac{3}{8}$).

Abb. 4.6 shows a musical score for Igor Stravinsky's 'Le sacre du printemps' (1913), measures 168-169. The score is for a full orchestra and includes parts for woodwinds, strings, and percussion. The notation is complex, featuring many accidentals and dynamic markings like 'f marc.' and 'poco sf'.

Abb. 4.6 Rhythmisierung des Metrums durch Verwendung eines sehr feinen Zeitrasters. Igor Stravinsky: Le sacre du printemps (1913). MM $\text{♩} = 126$.

sem Verfahren entgegengesetzte Weise hat Igor Stravinsky die rational-diskontinuierliche Zeitordnung der Instrumentalmusik zu durchbrechen versucht; er wählt als Pulseinheit einen schnellen Achtel (oft sogar Sechzehntel) und schafft sich damit einen sehr feinen Zeitraster, der eine für das menschliche Ohr beinahe kontinuierliche Modulation des zeitlichen Ablaufs gestattet (Abb. 4.6, MM $\text{♩} = 126$). Da es für ein solches Verfahren einer großen Regelmäßigkeit des metrischen Pulses bedarf, hat Stravinsky lange Zeit die Maschine (*Pianola*, *Pleyela* usw.) als musikalischer Interpret vorgeschwebt.

Es ist klar, daß keine dieser dem Kontinuum zustrebenden Erscheinungen in ein musikalisches Modell eingebaut werden kann, wie ich es oben beschrieben habe; denn ein solches ist ausschließlich an einem Frequenz-Zeit-Diskontinuum orientiert. Wer daher, an klassischer Harmonie- und Formenlehre geschult, ein solches Modell in Anwendung bringt, dem müssen Dynamik und Klangfarbe notwendigerweise als von außen an die Musik herangetragenenes Beiwerk erscheinen (Kolorierung); im selben Licht sieht er jedes Bestreben, das dahin zielt, nicht nur Dynamik und Farbe, sondern auch Tonhöhe und Zeit in ein Kontinuum überzuführen (z.B. *glissandi*, *portamenti*, *agogische* Vorschriften). Dies um so mehr, als auch die konventionelle Notenschrift nur dürftig anzudeuten vermag, was einzig durch Funktionskurven darstellbar ist (Abb. 4.7).

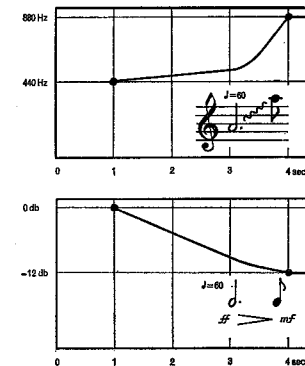


Abb. 4.7 Die konventionelle Notenschrift ist allmählich mit Zeichen durchsetzt worden, welche wenigstens andeutungsweise ein Kontinuum zur Darstellung bringen sollen. Oben: Frequenz, unten: Amplitude.

MEINER TOCHTER CHRISTINE

Aufführungsdauer: vorabsehen

I

Ruhig schreitend (♩ = ca 50)

ANTON WEBERN, OP. 21

Copyright 1929 by Universal Edition
Universal Edition Nr. 12198

Abb. 4.8 Anton Webern: Symphonie op. 21 (1928).

Wo aber, wie es bereits in der Musik des frühen Strawinsky geschieht, durch Auftürmen komplexer Akkordsäulen die instrumentale Klangfarbe kontinuierlich bis ins Geräusch übergeführt oder gar das Gefüge der Harmonik wie bei *Anton Webern* völlig in «punktuelle» Farbwerte aufgelöst wird, versagt ein solches Modell gänzlich (Abb. 4.8). Es stellt sich hindernd zwischen Komponist und Zuhörer und verunmöglicht die Verständigung, obwohl doch jede neue musikalische Sprache vom Hörer durch unermüdliches Anwenden erlernt werden könnte¹.

¹ Um Mißverständnisse zu vermeiden, muß gesagt sein, daß derselbe Sachverhalt im Grunde auch dann vorliegt, wenn ein «fortschrittlicher» Hörer das konventionelle Modell der Zwölftonmusik in Anwendung bringt; denn auch ein solches ist ausschließlich am frequenzzeitlichen Diskontinuum orientiert. (Damit soll freilich nichts über die klingende Musik Schönbergs ausgesagt sein.)

4.3 Zur Sprache der elektronischen Musik

Zum erstenmal einer elektronischen Komposition gegenübergestellt, reagiert beinahe jeder musikgewandte Hörer auf dieselbe Weise: er fragt nach dem metrischen Puls, nach Motiven, Themen und Formen.

Ein durchlaufendes Metrum ist in der elektronischen Musik nicht zu finden, denn es besteht für ein solches keine Notwendigkeit. Wenn mehrere Menschen gemeinsam manuelle Arbeit verrichten, z.B. im selben Boot miteinander rudern, so tun sie dies im Takt; es verbindet sie ein gemeinsames Zeitmaß, das mit dem Bewegungsablauf der Arbeit in Einklang steht und die Betätigung aller Beteiligten synchronisiert. Dasselbe tun auch die Instrumentalmusiker, wenn sie gemeinsam musizieren; da jedoch der Bewegungsablauf ihrer manuellen Betätigung nicht immer für alle Spieler derselbe ist (verschiedene Instrumente, verschiedene Noten), einigen die Musiker sich zur Synchronisierung ihrer verschiedenen Teile auf einen gemeinsamen *metrischen Puls*, der ursprünglich mit dem Fuß gestampft oder mittels eines senkrecht gehaltenen Stockes laut hörbar auf den Boden geklopft worden ist. Eines derartigen körpergebundenen Mittels zur Organisation ihres zeitlichen Ablaufs bedarf die elektronische Musik nicht; sie gestaltet ihren Ablauf durch in Tonbandlängen oder in Anzahl von Zeichen des Lochbandstreifens übersetzte Zeitwerte, deren Einheit für das Tonband die Sekunde (bzw. 38 cm), für den Lochstreifen die auf die Lesegeschwindigkeit bezogene Dichte des Lochrasters darstellt (vgl. Abb.4.9). Die elektronische Musik ist daher wohl fähig, ihrem Verlauf einen hörbaren metrischen Puls zu geben, aber sie ist nicht untrennbar an einen solchen gebunden. Da der Komponist

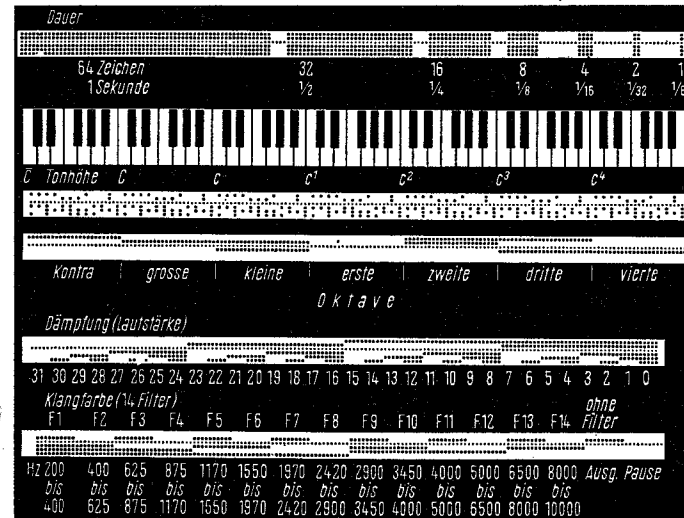


Abb. 4.9 Codierung der Parameter Zeitdauer, Frequenz, Amplitude und Spektrum auf Lochstreifen. Der waagrecht gleichmäßig durchgehende Lochabstand bildet im Verhältnis zur Lesegeschwindigkeit den «metrischen Puls» bzw. die in ein Längenmaß umgewandelte Zeiteinheit (dargestellt nach Informationsbericht Siemens-Studio, München 1962).

elektronischer Musik seiner als technischen Organisationsmittels nicht bedarf, bringt er den metrischen Puls nur dann ins Spiel, wenn er ihn wie der Dichter als Gestaltungsmittel einzusetzen beabsichtigt (vgl. Seite 158 unten).

Von dieser Möglichkeit hat die elektronische Musik freilich bis jetzt wenig Gebrauch gemacht. Ihre Komponisten zeigen jene Reserve gegen das Metrische, welche bereits in der Instrumentalmusik der vergangenen 150 Jahre als wachsende Abneigung gegen alles Zeitsymmetrische zu verzeichnen ist und im freiwilligen Verzicht der Bühnensprache, der Lyrik und sogar des Balletts auf die Metrik ihr Gegenstück findet¹.

¹ Fußnote siehe Seite 184.

Da sie also ein durchgehendes Metrum nicht kennt, sind in der elektronischen Musik auch «formale» Elemente wie die 2-Takt-Periode und ihre Ausweitung zum musikalischen Satz nicht anzutreffen; denn derartige Perioden sind Ordnungen des metrischen Pulses und finden sich in der instrumentalen Kunstmusik überall dort, wo diese ihren engen Zusammenhang mit den körpergebundenen metrischen Ordnungen des Tanzes nicht verleugnet². Ebenso wenig finden sich *Motive* und *Themen* in der elektronischen Musik, soweit solche mit Takt und Periode verknüpft sind oder als rein frequenz-zeitdefinierte Gebilde verstanden werden. Aus ihrer Absenz kann nun freilich nicht geschlossen werden, es mangle der elektronischen Musik an Gestalten und «Form». Nicht nur die Strichzeichnung, sondern auch das ausschließlich von seinen Farben lebende Gemälde vermag «Formen» darzustellen, denn seine einfachen Signale bilden Konfigurationen. Auch die einfachen Signale der elektronischen Musik bilden Konfigurationen mannigfaltigster Art.

★

¹ Für den reitenden, in höfischem Tanz und Zeremoniell verankerten, an Tages- und Jahreszeiten gebundenen Menschen des Ancien régime waren der metrische Puls und seine periodische Ordnung in Takten ein natürliches Abbild seiner Lebensordnung. Der heutige Mensch dagegen, in seinem Leben von Tages- und Jahreszeiten unabhängig, hastig die todbringende Straße überquerend, beschleunigend und bremsend auf Gummirädern sich durch den dichten Verkehr würgend und mit gewaltigem Schub in die Lüfte sich emporschwingend, kennt das Metrum vorzugsweise als ihm auferlegten Zwang (Stundenplan seiner Arbeitswoche, monatliche Fälligkeiten, jährliche Steuerverpflichtung, Fußmarsch im Militärdienst usw.), als Machtmittel politischer und kommerzieller Verführung und Gleichschaltung (Marschmusik, auf ihn niedertropfende gelenkte Information und Propaganda) oder als Droge, die einer Vielzahl von Vereinsamten das Gefühl der Gemeinschaft gibt (Beatmusik, Schlager usw.).

² Die Dichtung spricht vom Versfuß.

Der Wunsch, seine musikalischen Schöpfungen der zeitlichen Flüchtigkeit zu entziehen, zwingt den Komponisten unweigerlich zur Angabe von Manipulationsanweisungen und Parameterwerten, gleichviel ob er sich mechanischer oder elektronischer Mittel zur Klangerzeugung bedient. Entweder schreibt der Komponist eine Folge von graphischen Signalen nieder, die seine Vorstellung abbildet und vom Interpreten jederzeit in akustische Signale umgesetzt werden kann, oder er gibt seinem technischen Mitarbeiter in Form von Prinzipschaltplänen und Parameterwerten an, wie eine Folge von elektrischen Signalen beschaffen sein muß, um nach ihrer Umwandlung durch den Lautsprecher ein Klangbild zu erregen, das seiner musikalischen Vorstellung entspricht¹.

In der Instrumentalmusik ist das gegenseitige Verhältnis der Parameterwerte durch die Natur der Musikinstrumente bereits weitgehend programmiert (vgl. Seite 101); in der elektronischen Musik dagegen kann jede denkbare Ordnung der Parameterwerte realisiert, d.h. einem elektrischen Signal willkürlich Frequenz, Amplitude, Spektrum, Zeitdauer und Ort zugeordnet werden. Die elektronische Musik ist also vorderhand zwar ungleich viel ärmer an eingespielten Programmen als die traditionsreichere Instrumentalmusik, aber sie vermag die Parameterwerte ihrer Signale völlig ungebunden zu ordnen und ihre Angaben sehr präzise zu formulieren. Aus diesen Gründen erliegt der Komponist elektronischer Musik sehr leicht der Versuchung, seine Klangvorstellung durch willkürliche Verknüpfung meßbarer Parameterwerte logisch zu durchdringen und auf diese Weise seinem musikalischen Werk eine Ordnung geben zu wollen. So ist etwa auf die Möglichkeit hingewiesen worden (Stockhausen), einem rationalen Frequenzverhältnis a:b dieselben Verhältnisse aller übrigen Parameterwerte zuzu-

¹ Eine Ausnahme würde nur jener Komponist bilden, der sich als sein eigener Interpret ohne Niederschrift entweder ausschließlich auf sein Gedächtnis verließ oder sich unmittelbar dem Tonbandspeicher anvertraute.

ordnen; einem Frequenzverhältnis von 1:3 wären demnach die relativen Amplitudenwerte 0 und etwa -10 db, die Zeitdauer verhältnisse ♩ und ♪ sowie Spektren zuzuordnen, deren

ersten Frequenzen aufzuweisen hätte, die zu denjenigen des zweiten Spektrums im Verhältnis 1:3 stünden; durch entsprechende Winkelverhältnisse ließen sich unter Verwendung einer kreisrund oder schraubenförmig disponierten Mehrzahl von Schallquellen auch die Tonorte entsprechend organisieren (Abb. 4.10).

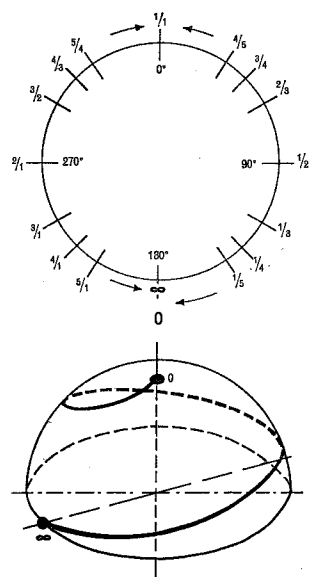


Abb. 4.10 Organisation der Tonorte bzw. Schallquellen in der Ebene (oben) und im Raum (unten).

Mit einer solchen Ordnung, die in mannigfaltiger Weise modifiziert und sehr viel interessanter gestaltet werden könnte, ist eine Spielregel gegeben, die aussagt, wie sich die Parameterwerte zu verhalten haben. Sie sagt aus, daß die Werte der Amplitude, des Spektrums und der Zeitdauer eines Signals von der Frequenz $3f$ dreimal größer bzw. kleiner zu sein haben als diejenigen eines Signals von der Frequenz $1f$; über die absoluten Parameterwerte dieser Signale schweigt sie sich dagegen aus. Aber selbst wenn absolute Werte festgelegt würden (z.B. 1000 Hz, 40 Phon, Rechteckspektrum, 1 Sekunde, 0°), so vermöchte die Spielregel nichts auszusagen über die vom Signal erregte Hörempfindung. Ist diese aber bekannt (und sie zeigt sich ja), so kann mit Hilfe dieser Spielregel zwar auf die Para-

meterwerte aller übrigen Signale, nicht aber notwendigerweise auf die von den Signalen erregte Hörempfindung geschlossen werden. Denn elektrische Signale lassen sich wohl mehr oder weniger eindeutig durch voneinander unabhängige Parameter definieren, für die Hörempfindung dagegen sind Tonhöhe, Lautheit, Klangfarbe und Zeitdauer eng ineinander verschlungen und oft gar nicht voneinander gesondert zu unterscheiden (bei Verkürzung unter den Zeitwert von 20 ms wird das harmonische Spektrum zum Geräusch; die Wahrnehmung ist bald mehr auf die Klangfarbe, bald mehr auf den zeitlichen Ablauf von Stößen gerichtet; Tonhöhe und Klangfarbe hängen innig miteinander zusammen usw.). Von einer *Signalordnung* kann daher nicht ohne weiteres auf eine Ordnung der erregten Empfindung geschlossen werden. Andererseits besteht jedoch kein Zweifel, daß der menschliche Geist auch in der Musik Strukturen zu erkennen vermag; diese Strukturen sind daher auch logische. Es kann also durchaus sinnvoll sein, einer musikalischen Komposition eine Signalordnung bzw. eine logische Struktur zugrunde zu legen, falls sie dem wachen Geist des geübten Hörers durch das Werk auch tatsächlich erkennbar gemacht wird. Da dies jedoch nur durch eine Konfiguration einfacher akustischer Signale geschehen kann, muß diese Struktur vom Hörer aus der erregten Hörempfindung herausgelöst werden können. *Eine musikalische Sprache läßt sich daher nicht wie die Tautologien der Mathematik durch den Aufbau eines Netzes von logischen Beziehungen, sondern ausschließlich auf empirischem Weg durch die Wahrnehmung dessen, was sich akustisch zeigt, ausbilden.* Ihr Ausbau ist an die unablässige Anwendung dieser Sprache gebunden.

Durch fortgesetztes Anwenden einer ursprünglich wohl sehr einfachen Tonsprache haben zahllose Musikergenerationen während Jahrtausenden die vielfältigen Zusammenhänge beobachtet, die Signal und Hörempfindung verbinden. Die Ergebnisse solcher rastlosen Tätigkeit sind laufend ausgewertet und in Programmen gespeichert worden. Dieser Programme

hat sich die elektronische Musik weitgehend begeben, indem sie, die mechanischen mit elektrischen Mitteln der Klangerzeugung vertauschend, auf das herkömmliche Musikinstrument und die Form seiner Sprache verzichtet. Gewonnen aber hat sie die Form des akustischen Kontinuums, die vom Sinfonieorchester zwar angestrebt, aber niemals voll erreicht worden ist. Entgegen weitverbreiteten Zweifeln, ob es der elektronischen Musik jemals gelingen könne, sich im weiten Feld ihrer eigenen Möglichkeiten zurechtzufinden, da in der Klangfarben-erzeugung jedes Regulativ fehle (Blacher), haben ihre Komponisten einen totalen Neuaufbau der Musik gewagt¹. Die erste Etappe dieses Aufbaus ist gelungen, und inzwischen hat sich gezeigt, daß die Form eines Regulativs im menschlichen Ohr gegeben war, noch längst bevor die erste Komposition elektronischer Musik erklingen ist. Wie anders wäre es denn der menschlichen Stimme möglich, ihre weit ins akustische Kontinuum ausgreifenden distinkten Signale zu bilden?

¹ Prof. Boris Blacher, einst entschiedener Gegner, hat sich inzwischen zum fruchtbaren Schöpfer elektronischer Musik gewandelt (vgl. Werkliste).

4.4 Probleme einer zukünftigen Musik

Im alten Rom hat sich die Orgel als Zirkusinstrument großer Beliebtheit erfreut; es wurden Wettkämpfe mit Wasserorgeln veranstaltet, und nach dem Organistenlorbeer soll es selbst Kaiser Nero gelüftet haben. Achthundert Jahre später – ihre heidnische Vergangenheit war inzwischen etwas in Vergessenheit geraten – hielt die Orgel Einzug in die Kirche des christlichen Abendlandes; erst beinahe unbemerkt, dann im Siegeslauf, der die Orgel zur Würde einer Königin über alle Musikinstrumente emportragen und zum Inbegriff geistlicher Musik machen sollte. Wie läßt sich höchste Wertschätzung für ein Instrument erklären, dessen Vettern sich noch heute auf Jahrmärkten und Tanzdielen herumtreiben?

Von einer mit 26 Bälgen und 400 Pfeifen ausgerüsteten Orgel, mit der vor beinahe tausend Jahren die umgebaute Kathedrale von Winchester eingeweiht worden ist (980), wird berichtet, ihr Ton sei einem Donnergebrüll ähnlich und in der ganzen Stadt zu hören. Mit ähnlichen Worten schildert Johannes (*Offenbarung*) die Stimme des Engels, dessen Kleid eine Wolke, dessen Kopfschmuck ein Regenbogen, dessen Angesicht die Sonne und dessen Füße Feuersäulen gewesen sind: er rief mit lauter Stimme, wie ein Löwe brüllt. Und als er rief, redeten die sieben Donner ihre Stimmen... Später berichtet Johannes von einer Stimme wie das Rauschen vieler Wasser und wie das Rollen eines lauten Donners. Eine Stimme, die zu ihm redet, ist wie die einer Posaune, und die sieben Engel sind Posaunenengel. Mit der Posaune mächtiger Stimme wird zum Jüngsten Gericht geblasen, und die Bibel nennt den Jüngsten Tag auch kurz den Tag der Posaune (*Zephanja*). Der menschlichen Vorstellung

vom Großen, Erhabenen, vom Übermenschlichen und Schicksalshaften kommt die Orgel wie kein anderes Musikinstrument entgegen. Stimmgewaltiger als selbst die mächtige Posaune überschreiten Kraft und Länge ihres Atems menschliches Maß. *Wie der elektronische Signalgeber, so vermag auch die Orgel einer Musik Gestalt zu geben, deren Gestus weder vom menschlichen Arm und Atem begrenzt noch vom Bild ihrer Hervorbringung durch mechanische menschliche Arbeit belastet ist*¹. Die in sie investierte hydraulische, pneumatische und mechanische Technik hat die Orgel sowohl in den Augen des heidnischen Tyrannen als auch in jenen der westlichen Christenheit über alle anderen Musikinstrumente emporgehoben, weil sie ihr die Kraft verlieh, menschliche Grenzen zu sprengen. Wenn diese Kraft in unserem Jahrhundert durch die Elektroakustik eine gewaltige Steigerung erfahren hat (die Schallquelle des Amerikaners Prof. I. Rudnick erreichte 175 db, und heute werden für militärische Zwecke 200 db überschritten), so ist darin die Fortsetzung einer längst bekannten Entwicklung zu erblicken; neu ist bloß die Tatsache, daß elektroakustisches Material (Mikrophon, Verstärker, Lautsprecher usw.) heute wohlfeil gekauft und daher von jedem Menschen eigenmächtig eingesetzt werden kann. Wenn heute zudem ein Druck auf den Knopf genügt, um Musik aus dem Äther einzufangen oder aus dem Speicher hervorzuholen, ohne daß damit die Tätigkeit ihrer Hervorbringung sichtbar verbunden wäre, so ist auch dieser Zaubertrick von jedermann zu jeder Zeit und allerorten ausführbar. Die weltweite Verbreitung dieser Möglichkeiten wirft fraglos Probleme auf, mit denen sich eine zukünftige Musik schicksalhaft wird auseinandersetzen müssen. *Diese Auseinandersetzung wird nicht auf die elektronische Musik beschränkt sein, sondern sich auf alle Musikgattungen der Zukunft ausweiten*, und es läßt sich voraussehen, daß die instrumentale Musik weit stärker als die elektronische und das Musikgut der Vergangenheit besonders hart von dieser

¹ Das ebenso stimmgewaltige Sinfonieorchester ist dazu nur dann fähig, wenn es (z. B. im Graben) dem Blick des Zuhörers entzogen ist.

Auseinandersetzung betroffen sein wird. Wie die instrumentale, so hat auch die elektronische Musik ihren Gestus, denn sie ist von des Menschen Geist und Hand erschaffen¹. Während jedoch der Gestus der elektronischen Musik im Medium der Elektroakustik geboren und gewachsen ist und also durch deren Speicher, Verstärker und Lautsprecher keinerlei Veränderung zu erleiden hat, liegen die Dinge für die instrumentale Musik weit weniger günstig. Zwar hat sich auch die Instrumentalmusik in radiophonen Konzeptionen längst den veränderten Umständen angepaßt; die Folge ist aber ein Gestus, der denjenigen der Aufführung vortäuscht, in Wirklichkeit von ihm jedoch grundverschieden ist (z. B. *Playback*-Aufnahme). Das kann nicht ohne tiefgreifende Rückwirkung auf die instrumentale Musik der Zukunft sein. Der Hörer am Lautsprecher verbindet seinerseits das Gehörte mit dem Bild der Hervorbringung, das er sich im Konzertsaal angeeignet hat. Was aber, wenn er über eine solche Erfahrung nicht verfügt oder diese Erfahrung einer kommenden Generation nicht mehr zu Gebot stehen wird? Gewiß werden auch in Zukunft Menschen den Konzertsaal aufsuchen; wie groß wird jedoch ihre Zahl sein gemessen an jenen Ungezählten, welche nur noch der Lautsprecher erreicht? Es läßt sich einwenden, daß die im Fernsehen längst eingebürgerten Verfahren der Bildaufzeichnung und optischen Fernübertragung einspringen und die Hi-Fi-Anlagen unserer Söhne mit *Video*-Zusätzen ausgerüstet sein werden. Was wird man auf diesen Bildschirmen zeigen wollen: das wirkliche Bild, das die Musiker bei der Tonaufnahme bieten oder das simulierte Bild einer Konzertaufführung? Wird hemdärmlich unter Mikrophongalgen und in

¹ Der Einwand, es mangle der elektronischen Musik der menschliche Gestus, kann stillschweigend übergangen werden. Er wird von Leuten erhoben, die auch die Dampfmaschine unserer Großväter verklären und ihrem Schnauben und bewegten Gestänge jenen menschlichen Gestus zuerkennen, den sie elektrischen und elektronischen Systemen absprechen. In Bälde werden dieselben Leute das klappernde Relais und die glimmende Elektronenröhre mit einer humanen Aura umgeben und gegen den Transistor ausspielen.

radiophonischer Aufstellung oder im Frack und in der Sitzordnung des Konzertsaalpodiums gespielt? Werden die Musiker auf diesem Bild für das Mikrophon oder für das Publikum im Saal musizieren? Oder wird überhaupt ein ganz anderes Bild gezeigt¹? Es ist wahrscheinlich, daß in Zukunft die instrumentale Komposition allmählich mit den Mitteln der Elektroakustik und der Bildprojektion (*visible music*) verwachsen und eine saubere Trennlinie zwischen synthetisch hervorgebrachten und instrumentalen Klängen sich immer mehr verwischen wird. Die elektronische Musik wird nicht mehr unterscheiden zwischen instrumentalen und synthetischen Quellen, und elektronische Modulationsverfahren werden die Instrumentalmusik mehr und mehr durchdringen. Ansätze für eine solche Entwicklung zeigen sich schon jetzt in großer Zahl.

★

Das Musikschaffen nach dem Zweiten Weltkrieg ist gekennzeichnet durch ein ausgeprägtes Bestreben der Komponisten, die Parameter Amplitude, Frequenz, Zeitdauer, Spektrum und Tonort einheitlich zu organisieren (vgl. S. 185/186). Tendenzen dieser Art haben sich nicht nur in der elektronischen, sondern gleichermaßen auch in der instrumentalen Musik manifestiert (serielle Musik); sie schienen sich zunächst allerdings mit elektronischen Mitteln besonders vollendet realisieren zu lassen. Seit Ende der fünfziger Jahre wird unter dem Einfluß des amerikanischen Indeterminismus auch in umgekehrter Richtung gesucht (Boulez), und durch systematisches Erfassen von Zufallsgrößen in ihrer zeitlichen Entwicklung ist die *stochastische* Kompositionsweise ausgebildet worden (vgl. S. 60). Auch sie findet ihre Anwendung im instrumentalen ebenso gut wie im elektronischen Bereich, und desgleichen ist der Gedanke, den Computer für kombinatorisch-selektive Aufgaben der musikalischen

¹ Der Komponist *Mauricio Kagel* beschäftigt sich intensiv und vielseitig mit dieser Frage und hat sehr interessante Lösungen vorgelegt (z. B. die Fernsehfassung von «Match», WDR).

Komposition heranzuziehen, in beiden Domänen verfolgt worden (*Xenakis, Hiller, Takahashi*). Gemeinsam ist solchen Bestrebungen, so gegensätzlich sie anmuten mögen, die Tatsache, daß sie alle auf die Anreicherung von logischen Strukturen in der Signalebene konzentriert sind. Wieweit derartige logische Investitionen von der Signalebene auf die Ebene der erregten Empfindung hinüberzuwirken vermögen, kann sich nur an den komponierten Werken selber allmählich erweisen (vgl. S. 187).

Auf eines läßt sich hingegen bereits im Augenblick hinweisen. Die Intensität, mit der die Komponisten ihre Werke kommentieren, legt die Vermutung nahe, es sei der Autor in Sorge, vom Zuhörer nicht richtig verstanden zu werden, und er glaube, mit Erläuterungen zum Verständnis des *Sinnes* seiner Musik beitragen zu können, da ja das Werk über sich selber nichts auszusagen vermag. In seiner Vorlesung «Unbestimmtheit» (1958) erzählt John Cage folgende kleine Geschichte:

Einst, als wir zu mehreren nach Boston fuhren, hielten wir an einer Raststätte, um zu lunchen. Einem Eckfenster nahe stand ein Tisch, von dem wir hinausschauen konnten und einen kleinen See sahen. Menschen schwammen darin und tauchten. Es gab besondere Vorrichtungen, um ins Wasser zu rutschen. Im Restaurant stand ein Musikautomat. Irgendwer warf einen Groschen ein.

Ich bemerkte, daß die Musik, die einsetzte, die Schwimmer begleitete, obschon jene sie nicht vernahmen.

Der Sinn dieser Geschichte wird nicht durch den geschilderten Sachverhalt (Schwimmer-Musikbox), sondern durch die Interpretation des Beobachters ausgedrückt (Ich bemerkte, daß die Musik... die Schwimmer begleitete...). In gleicher Weise gibt jeder Komponist zwar seiner Musik einen Sinn, aber die Signale, mit denen er seine Zuhörer erreicht, drücken diesen Sinn nicht aus. Signale haben keinen Sinn, sondern nur die Möglichkeit, einen solchen auszudrücken. Erst der Zuhörer vermag – wenn überhaupt – ihnen wieder Sinn zu geben; günstigenfalls einen Sinn, der sich weitgehend mit jenem Sinn deckt, den der Komponist seiner Musik gegeben hat, ungünstigenfalls einen Sinn,

der von jenem stark abweicht. Der Sinn, den Mozart in die Streichquartette seines älteren Kollegen Haydn zu legen vermocht hat, deckt sich mit jenem des Autors weitgehend, während verständnislose Zeitgenossen in die Kammermusik Mozarts einen Sinn gelegt haben, der von jenem des Komponisten stark abgewichen sein muß¹. Auf abweichende Sinngebung sind Urteile wie dasjenige über den jungen *Beethoven* zurückzuführen, den seine Zeitgenossen zunächst als vergrößerten Haydn verstanden haben usw.

Wenn Signale ihren Sinn auszudrücken vermöchten, so wären unterschiedliche Interpretationen, wie sie verschiedene Berichtserstattungen über ein und denselben Sachverhalt oft zeigen, nicht denkbar:

zm. Am 9. Mai fand das 4. «Musica viva»-Konzert der Tonhalle-gesellschaft² statt, das in seiner Bedeutung von der kulturell interessierten Öffentlichkeit kaum richtig erkannt worden ist. Obwohl zwei Uraufführungen... angekündigt waren und als Gastdirigent Bruno Maderna nach Zürich gekommen war, war die Zuhörerschaft enttäuschend gering... Neue Zürcher Zeitung (3) vom 12. Mai 1967

ohr. Was man am 9. Mai..., plakatiert als «Musica viva»², zu hören bekam, ist... keine Musik, sondern eine der unerfreulichen Zeiter-scheinungen, die heute auf allen Gebieten der Kunst sich breitmachen und im Grunde mit Kunst nichts zu tun haben... Nur der «Komponist» und sein Verleger haben den Erfolg zu verzeichnen, daß diese Pseudo-Uraufführungen überhaupt stattfinden. Vor wieviel Zuhörern? Auch dies ist gleichgültig, da ja die Publicity ein so lautes Gegacker über diese faulen Ton-Eier veranstaltet, daß man meinen könnte, es sei wirklich etwas gewesen... Tat vom 13. Mai 1967

¹ Ich denke an die *Russischen Streichquartette* von Joseph Haydn und die sogenannten *Haydn-Quartette* von Mozart. Die Partituren letzterer Werke wurden z. B. aus Italien an den deutschen Verleger zurückge-sandt, weil man dort glaubte, sie seien falsch graviert worden. In Wien zerriß der Prinz *Krazalkowicz* wutentbrannt die Noten, als seine Musi-ker ihm bewiesen, daß sie Mozarts Quartette richtig gespielt hatten.

² 20. Sinfoniekonzert der Tonhalle-gesellschaft Zürich, Saison 1966/67. Dirigent: Bruno Maderna. Es wurde gespielt: Webern, Sechs Or-chesterstücke op. 6; Wytenbach, Klavierkonzert; Kaegi, Voce magna ad Dominum clamo; Maderna, Dimensione II.

Wer sich vergegenwärtigt, wie erstaunlich es eigentlich ist, daß unter den Menschen Sinnzusammenhänge überhaupt ausgetauscht werden können, der wird darauf kommen müssen, daß bei solchen Vorgängen nicht die ausgetauschten Signale allein, sondern etwas außerhalb dieser Liegendes mit im Spiel sein muß. Dieses andere ist im vielerlei von Bezügen zu suchen, in denen sich das menschliche Denken vollzieht, und das von Sprache, Tradition, Milieu, Erziehung, Zeitgeist und unzähligen anderen Faktoren geformt und für jeden Menschen individuell gefärbt ist. Wer immer den Konzertsaal aufsucht, der trägt in sich bereits ein Netz von Beziehungen, in das er die Signale des aufgeführten Werks stellen und von dem aus er sie interpretieren bzw. ihnen einen Sinn geben wird¹. In je höherem Maße dieses Beziehungsnetz des Hörers mit jenem des Komponisten übereinstimmt, desto wahrscheinlicher ist auch die Übereinstimmung des Sinnes am Anfang und Ende der Kommunikationskette, die Komponist und Hörer verbindet, weil in zunehmender Zahl äquivalente Voraussetzungen beide Teile bei der Sinngebung leiten (Bach und Friedrich der Große, Haydn und die beiden Fürsten Esterházy usw.). Zwar ist der regelmäßige Besucher klassisch-romantischer Sinfoniekonzerte anderen (möglicherweise via eigenen Großvater von Johannes Brahms persönlich ererbten) Spielregeln verpflichtet als der Liebhaber historisierender barocker Kammerkonzerte, der Freund der Donaueschinger Musiktage oder das Publikum intimer oder großaufgezogener Jazzveranstaltungen; man benimmt sich anders, man hört anders, man steht auf anderem Fuß mit dem Komponisten. Aber

¹ Ist der Sinn einmal festgelegt, so sind es auch die Bedeutungen der einzelnen Signale (vgl. S. 174). Das menschliche Denken probiert an Signalkonfigurationen verschiedene Sinne aus, legt sich auf einen möglichen Sinn fest und schließt von diesem auf die Bedeutungen der einzelnen Signale. Der Mensch schließt also vom Sinn des Ganzen auf die Bedeutungen der Teile und nicht umgekehrt, wie es etwa der Computer tut, der infolgedessen eine unvergleichlich größere Zahl von möglichen Kombinationen durchzuspielen und sinnlose unter diesen auszusondern nicht die Fähigkeit hat (vgl. S. 108 oben).

man hat verbindliche Spielregeln und nimmt teil am Wagnis der Aufführung, das, wenn der Funke zündet, auch die heute übliche Vielzahl von heterogensten Besuchern in eine einzige Zuhörergemeinde zu verwandeln vermag, weil dieselbe Sinngebung alle ihre Glieder verbindet.

Am Lautsprecher finden sich völlig veränderte Verhältnisse (vgl. S. 18ff.). Das Wagnis der Aufführung entfällt, und der logische Bau der Musik, der Autor und Hörer gemeinsam umgreift, ist ein anderer geworden. Die fehlenden Sinn-Hinweise, welche der Konzertsaal einer ihm speziell zgedachten Musik zu geben vermag, werden am Lautsprecher durch Erläuterungen, historische und strukturelle Kommentare aller Art ersetzt, die dem Hörer ihrerseits ein Beziehungsnetz liefern, an dem er die empfangenen Signale sinnvoll zu orientieren versucht. Die Perfektion der technischen Mittel und der überwältigende Zuspruch, den ihre weltweite Anwendung in Platte, Tonband, Funk und Fernsehen findet, lassen in den Hintergrund treten, daß es sich jetzt am Lautsprecher, obwohl die Signale vielleicht dieselben geblieben sind wie im Konzertsaal, um eine andere Musik handelt. Der Glanz technischer Perfektion läßt die Ahnung nicht aufkeimen, es könnte vielleicht einmal die Zeit gekommen sein, wo zwar alle Biblio-Diskotheken angefüllt sind mit den Schätzen der Tonkunst auf Mikrofilm und Tonträger, aber nur noch wenige sich finden, die den gestapelten Signalen Sinn zu geben vermögen, weil wir allzulange bedenkenlos Mozarts Musik als Klanghintergrund für unseren Alltag hingenommen haben. Auch die Frage, ob denn eine zukünftige, lautsprechergewohnte Zuhörerschaft überhaupt noch «auszu-knobeln sich bemüht, was da von einem Künstler mit Tönen gesagt wird» (Cage), ist bisher nur von wenigen gestellt worden. Ich glaube zu Unrecht. Denn diese Frage ist von brennender Aktualität, weil wir alle ausnahmslos einer Lebensform zusteuern, in der die Nachrichtentechnik das Vakuum ausfüllt, mit dem der Verlust dörflicher und kleinstädtischer Gemeinschaft den modernen Menschen umgeben hat. Auf der Straße

kennt er kaum jemanden, aber in seinen vier Wänden hat der heutige Mensch die grandiose Möglichkeit, telephonisch mit wem immer es ihn gelüstet in Verbindung zu treten. Funk und Fernsehen sind in aller Welt für ihn auf der Jagd nach Aktuellem und apportieren die Beute, und Künstler, Geistliche und Lehrer bemühen sich zu ihm in sein Haus. Aufdringlicher als ihm lieb ist. So beginnt er denn auszuwählen und die angebotene Information wohldosiert in sein Leben einzubauen. Jetzt entsteht seine ganz persönliche, ureigene Welt; zusammengestoppelt aus Konfektionsware zwar, aber zu einem neuen Ganzen verbunden durch den Sinn, den er, und nur er allein, den Dingen gegeben hat.

Wird die Musik in dieser Welt nicht eine andere, eine neue sein?

Worüber in musikalischen Dingen gesprochen werden kann, darüber habe ich mit aller mir möglichen Präzision zu sprechen versucht. Worüber sich hingegen nicht reden läßt, darüber habe ich zu schweigen mich bemüht. Und das ist mir schwer gefallen. Denn es betraf den größeren Teil meines Gegenstandes.

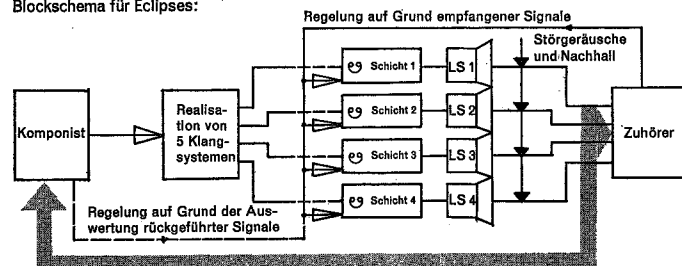
ANHANG

Eine Werkbeschreibung

ECLIPSES

Elektronische Musik für vier Lautsprecher von Werner Kaegi (1964)¹.

Blockschema für Eclipses:



1.1 ECLIPSES ist ein Werk, das, obwohl auf Magnettonband fixiert, in immer neuen Erscheinungsformen aufgeführt werden kann.

1.2 Es liegen vor:

- eine Partitur und Detailpläne (vgl. Abb. 2.36),
- vier Tonbänder 38 cm/s Vollspur, welche über vier getrennte Kanäle und ebenso viele räumlich aufgestellte Lautsprecher abzuspielen sind;
- eine von mir und meinem technischen Mitarbeiter Claude Gygi am 29. Februar 1964 synchronisierte vierspürige Version (Studer einzoll 38 cm/s) von achteinhalb Minuten Dauer,

¹ Dem Leser sei u.a. auch das Studium der Partitur zu *Essay von Gottfried Michael Koenig* (Universal-Edition 12885) und die Werkanalyse zu *Gesang der Jünglinge von Karlheinz Stockhausen* (die Reihe 6, Universal-Edition) empfohlen.

welche allerdings nichts anderes darstellt als eine von vielen Erscheinungsformen meines Werks¹.

1.3 Das Werk ist nicht für die Rundfunkübertragung, sondern für den Saal konzipiert. Es ist vorgesehen, daß die vier Vollspurbänder 38 cm/s auf vier Bandmaschinen gleichzeitig abgespielt werden, wobei der Start jeder Maschine *willkürlich* zu bestimmen ist. Es kann dies durch den Zuhörer geschehen. Die Dauer des Werkes kann frei gewählt werden, soll jedoch 55 s nicht unterschreiten².

2.1 *Anlaß* zur Komposition von ECLIPSES bildete ein von Radio-Genève an mich ergangener Auftrag, ein elektronisches Werk zu schaffen, das sich auf das Grundmaterial meiner elektronischen Musik *SUISSE VIGILANTE* für die Schweizerische Landesausstellung 1964 in Lausanne stützen sollte.

2.2 Die Konzeption des Werkes ist durch die Umstände im großen ganzen bereits gegeben; denn sie ist bestimmt durch

- a) die Struktur des Grundmaterials,
- b) die Dauer, während welcher mir die Studios zu Verfügung standen (16., 17., 18. und 29. Februar 1964) und
- c) die technischen Einrichtungen, welche mir damals zu Gebot standen.

Im weiteren ist die Konzeption bestimmt durch meine vorausgehenden elektronischen Arbeiten, die dabei gemachten Erfahrungen und Entdeckungen. Insbesondere durch das Auffinden einer Möglichkeit, streng definierte Strukturierungen in die Produktion von Zufallsergebnissen umschlagen zu lassen.

2.3 Aus diesen Voraussetzungen läßt sich ein Raster von Möglichkeiten bilden, den ich als *Form* des Werkes begreifen will. Man suche deshalb in meinem Werk keine traditionellen

¹ Diese vierspürige Version liegt zudem in einer einspurigen Kopie vor, welche alle vier Spuren in eine einzige zusammenfaßt und daher für die einkanale Funkübertragung geeignet ist, obwohl dabei natürlich die räumliche Komponente der Komposition und die Vielfalt ihrer möglichen Erscheinungsformen verlorengehen.

² Vgl. Ziff. 4.8.

«musikalischen Formen», welche dieses seiner Natur nach nicht aufweisen kann.

2.4 Die verwendeten *Elemente* sind ausschließlich aus reinen Sinustönen zusammengesetzt. Absichtlich wurde der Weg vom Sinuston zu stets komplexeren Klanggebilden bis hinüber zum Geräusch beschritten¹. Der umgekehrte Weg, Geräusche durch Ausfilterung Klängen anzunähern, wurde nicht beschritten². Ein Nebeneinander von durch Synthese gewonnenen Klängen und durch Analyse gewonnenen Geräuschen wurde von vornherein ausgeschlossen.

3.0 Es wurden *vier verschiedene Grundelemente* verwendet, welche im folgenden Elemente 1, 2, 3 und 4 genannt seien.

3.1 *Element 1* baut sich auf die subharmonischen Frequenzverhältnisse 1:1/3:1/5 auf.

Frequenzen (in Hz):

Element 1 a) 2250 + 750 + 450

Element 1 b) 750 + 250 + 150

Element 1 c) 450 + 150 + 90 (mal 2 = 900 + 300 + 180)³

Da die drei Versionen in verschiedene Formantbereiche fallen, sind sie von unterschiedlicher Klangfarbe.

Dauer:

a) 2 sec bezogen auf 400 Hz (72 cm Modulation + 4 cm Pause)

b) 1 sec bezogen auf 400 Hz (36 cm Modulation + 2 cm Pause)

Dadurch wird unterschiedliche Modulation erreicht, die durch unterschiedliches Einschwingen (Steilheit des Bandschnitts) noch unterstützt wird.

¹ Schon längere Zeit hatte ich mich mit der Herstellung sehr dichter «Frequenzteppiche» (tapis) abgegeben, und diese gaben mir den ersten inneren Anstoß für ECLIPSES (Verdunkelungen durch fortschreitende Frequenzsynthese und Überschneidungen verschiedener Teppiche).

² Dieser Weg hätte keinen ebenso exakten Rahmen für den Aufbau der Systeme (siehe Ziff. 4.1) abgegeben. Immerhin wäre auch auf dieser Basis das Auffinden einer Lösung reizvoll gewesen.

³ Das Verhältnis 1:2 bzw. 2:1 wird nicht strukturell, sondern nur als Oktavversetzung mit proportionaler Zeitdaueränderung benutzt. Allerdings wirkt sich dies auf die Klangfarbe aus.

Amplitudenverhältnisse der Harmonischen des Spektrums:

0 db / Reizschwelle bei Hinzufügen / Reizschwelle dto. Elemente 1a + 1b + 1c erweitert durch obere und untere Oktave des Klangs; daraus abgeleitet folgende Transpositionen (50 gleich original) für beide Zeitdauervarianten a) und b): 50 51 53 54, 5 56 57, 5 59 51 63, 5 65

3.2 *Element 2* baut sich auf die harmonischen Frequenzverhältnisse 1:(2):3:5:7 auf.

Frequenz: 400 + (800) + 1200 + 2000 + 2800

Dauer:

a) 4 sec bezogen auf 400 Hz (76 cm Modulation + 76 cm Pause)

b) 2 sec bezogen auf 400 Hz (38 cm Modulation + 38 cm Pause)

Amplitudenverhältnisse der 5 Harmonischen des Spektrums: 400 0 db, die übrigen Harmonischen sukzessive mit Reizschwelle hinzugefügt.

Das Ganze erweitert durch obere und untere Oktave des Klangs. Daraus abgeleitet die folgenden Transpositionen (50 gleich original) für beide Zeitdauervarianten a) und b):

50 48, 5 47 45, 75 44, 5 43 42 41 40

3.3 *Element 3* baut sich auf die Frequenzverhältnisse

1:1/3:1/5:1/7:1/9:1/11 auf (orgues).

Frequenzen (in Hz)¹:

2250 + 750 + 450 + 322 + 250 + 204

750 + 250 + 150 + 107 + 83,5 + 68

900 + 300 + 180 + 128 + 100 + 82

Dauer: wie 3.1

Amplitude: wie 3.1

Dasselbe mit Impuls und Echo (Vénus)

3.4 *Element 4* baut sich auf folgende eng benachbarte Frequenzen auf (in Hz):

385 392,5 400 407,5 415

Die Frequenzen wurden zufällig miteinander zum Schweben gebracht, so daß sich immer veränderte Schwebungsfrequenzen ergeben.

¹ Vgl. Ziff. 3.1 betr. Formantbereiche und Modulation.

Daraus abgeleitet (50 gleich original) die Transpositionen:

33,5 34,57 35,9 37 38 39 40 41 42 43,25 44,5 45 47 48,5 50
52,5 53 54,5 56 57,5 59 61,75 63,5.

Diese 23 Versionen wurden zu fünf Gruppen zusammengefaßt¹:

mélange 1 33,5 34,75 35,9 63,5 61,75
mélange 2 37 38 56 57,5 59
mélange 3 39 40 41 53 54,5
mélange 4 42 43,25 48,5 50 52,5
mélange 5 44,5 45 47

3.5 Die Elemente zerfallen demnach in zwei Gruppen:

organisierte Elemente: 1, 2 und 3

durch Zufall gebildetes Element: 4

4.1 Das Werk setzt sich aus fünf Systemen zusammen, deren Zeitstrukturen und Gesamtlängen zueinander in den Verhältnissen 3:5:7:9:11 stehen und also die Frequenzstrukturen der Elemente 1, 2 und 3 widerspiegeln. Ich nenne die fünf Systeme deshalb System 3, 5, 7, 9 und 11.

4.2 Die Synchronisation dieser fünf Systeme führt zu stets neuen ekliptischen Überschneidungen und spiegelt das Element 4 wider, dessen fünf engbenachbarte Frequenzen sich zu stets neuen Schwebungsverhältnissen vereinigen².

4.3 Die Gestalt des Werks ist aus der Struktur seiner Grundelemente entwickelt worden. Sie realisiert, wie auch immer die fünf Systeme synchronisiert sein mögen, eine jener Möglichkeiten, welche der durch die Struktur der Elemente gegebene Raster enthält³.

4.4 Analog den Elementen sind auch die fünf Systeme in zwei Gruppen aufgeteilt⁴:

¹ Diese Zusammenfassungen sind rein praktischer Natur, da in der Regel Bandmaschinen nicht in unbeschränkter Zahl zur Verfügung stehen. So mußten wir uns hier auf die im Augenblick verfügbaren sechs Maschinen (fünf für Wiedergabe, eine für Aufnahme) beschränken.

² Vgl. Ziff. 3.4.

³ Vgl. Ziff. 2.3.

⁴ Vgl. Ziff. 3.5.

organisierte Systeme: 7, 9 und 11

durch Zufall gebildete Systeme: 3 und 5

4.5 Die organisierten Systeme 7, 9 und 11 enthalten je die Elemente 1, 2 und 4 in derselben Anordnung, jedoch zeitlich verschieden aufgeteilt¹. Diese Anordnung der Elemente bildet für jedes System eine Grundsequenz von 35 bzw. 45 bzw. 55 sec Dauer.

4.51 Die Wiederholungen der Grundsequenzen von Systemen 7, 9 und 11 sind hauptsächlich variiert durch kommutative Vertauschung, Oktavtransposition, RM und Impuls. Die Anzahl der Wiederholungen blieb aus zeitlichen Gründen² auf 6 bzw. 5 bzw. 4 beschränkt, könnte jedoch im Prinzip bis auf maximal 1485 bzw. 1155 bzw. 945 erhöht und nach Gutdünken variiert werden.

4.6 Die Systeme 3 und 5 enthalten die Elemente 3 und 4 in verschiedenen Erscheinungsformen. Die Ausgestaltung beider Grundsequenzen ist zufällig, die Variierung ihrer Wiederholungen durch RM und Weglassen gebildet.

4.61 Die Anzahl der ausgearbeiteten Wiederholungen von Systemen 3 und 5 blieb in unserer Fassung abgestimmt auf die ausgearbeitete Anzahl der Wiederholungen der organisierten Systeme, hätte aber selbstverständlich auch auf deren prinzipielle Maximalanzahl abgestimmt werden können.

4.7 Für die Synchronisation aller Systeme ergibt sich eine mögliche Minimal- und Maximaldauer von 55 sec (längste Grundsequenz!) bzw. etwa 14½ Stunden.

4.8 Jeder beliebige Ausschnitt aus der Maximaldauer des Werks gibt einen Aspekt des ganzen Werks, sofern er die Dauer von 55 sec nicht unterschreitet.

5.1 ECLIPSES ist als Raum-Musik konzipiert. Die optimale Wiedergabe des Werks verlangt vier Lautsprecher in ebener Kreislaufstellung (0 / 90 / 180 / und 270 Grad).

5.2 Der Hörer befindet sich im Kreiszentrum. Dies nicht nur

¹ 1/5 + 2/5 + 2/5 bzw. 2/5 + 1/5 + 2/5 bzw. 2/5 + 2/5 + 1/5.

² Vgl. Ziff. 2.22.

aus raumakustischen Gründen, sondern auch weil er *als System 1*, um welches die Klänge der übrigen Systeme kreisen, in die *Konzeption des Werks* mit einbezogen worden ist.

5.3 Für die Verteilung der fünf Systeme auf die vier Bänder (bzw. Lautsprecher) ist folgende Disposition gewählt worden (Band 1, 2, 3 und 4 im Uhrzeigersinn den Lautsprechern zugeordnet):

System	Grundsequenz		1. Wiederholung	
	Element	Band	Element	Band
7	1	1	1	2
	2	1	2	2
	4	1 → 2	4	2 → 3
9	1	2	1	3
	2	4	2	1
	4	2 → 3	4	3 → 4
11	1	3 → 4 → 1 → 2	2	4 → 1
	2	3 → 2	2	4 → 3
	4	3 → 4	4	4 → 1

Die Verteilung von Systemen 3 und 5 auf die 4 Bänder erfolgte zufällig. Eine Ausnahme bildet das Element 4 ohne Ableitungen, das stets diagonal angeordnet ist (Band 1 → 3 bzw. 2 → 4 resp. umgekehrt).

5.4 In der von mir ausgearbeiteten Vierspurversion ergibt sich damit für die Elemente 1 und 4 in den Systemen 7, 9 und 11 ein Kreisen mit verschiedenen Umlaufzeiten im Uhrzeigersinn, für Element 2 im Gegenuhrzeigersinn. Ähnliches ergibt sich auch für jede andere Synchronisation.

5.5 Die Klangwanderungen sind trotz Wiederholung der Grundsequenzen der einzelnen Systeme, infolge ihrer allmählichen zeitlichen Verschiebung gegeneinander, stetiger Veränderung unterworfen.

INTERNATIONALE LISTE VON WERKEN EXPERIMENTELLER MUSIK

Diese Liste wurde zur Hauptsache auf Grund persönlicher Mitteilungen der aufgeführten Studios erstellt. Mein Dank für ihre Hilfe gilt Mrs. *Edward O. Kurtz* (New York), der Leitung der *RAI* (Roma) und den Herren *Prof. Gustav Ciamaga* (Toronto), *Prof. Dr. Herbert Eimert* (Köln), *Lucien Goethals* (Gent), *Hans Harder* (Zürich), *Prof. Lejaren A. Hiller* (Urbana), *Reijo Jyrkiäinen* (Helsinki), *Gottfried Michael Koenig* (Utrecht), *Jozef Patkowski* (Warszawa), *Josef Anton Riedl* (München), *Wilhelm Schlüter* (Darmstadt), *Hervé Thys* (Bruxelles), *Wataru Uenami* (Tokyo), *Knut Wiggen* (Stockholm), *Prof. Dr. Fritz Winckel* (Berlin), *André Zumbach* (Genève). Im übrigen sei auf das *Répertoire international des musiques expérimentales* verwiesen, dessen Neuausgabe vom Service de la Recherche de l'O.R.T.F. für das Jahr 1967 vorbereitet wird.

BELGIEN

Studio de Musique électronique de Bruxelles

a) autonome Musik

Pousseur H.	Etude pour Rimes II	1958
Pousseur H.	Rimes pour différentes sources sonores, pour 3 groupes orchestraux et bandes	1958/59
Pousseur H.	Deux poèmes de Henri Michaux	1959
Pousseur H.	Electre	1959/60
Behrman	Etude	1959/60
Souffriau A.	Diastasis	1961
Küpper L.	Sons électroniques (Etude)	1961
Mangs	Essais (utilisés dans «Koralrevet»)	1961
Pousseur H.	Trois visages de Liège	1961
Souffriau A.	Evocations spatiales No 1	1962
Küpper L.	Electrosens	1963
Souffriau A.	Béatrice	1963
Pousseur H.	Votre Faust (aussi à l'IPEM)	1965/66
Bartholomée P.	Cantate aux alentours (pour instruments et bandes sonores)	1966

b) angewandte Musik

Pousseur H.	Liège cité ardente (Film)	1958
Pousseur H.	Sémaphore (Sonorisation)	1958
Pousseur H.	Préhistoire du cinéma (Film)	1959
Souffriau A.	Les voix du Soleil (Film)	1959
Souffriau A.	Face à Face (extraits, Ballet)	1959
Souffriau A.	Plein Sud (Film)	1960
Souffriau A.	Trois Etranges Suggestions (Ballet)	1960
Pousseur H.	Interlude pour les «Contes d'Hoffmann» (Opéra)	1961
Pousseur H.	Les Perses (Théâtre)	1961
Pousseur H.	Prospective (Radio)	1961
Küpper L.	Interlude pour la T.V.	1962

Instituut voor Psychoakoestiek en Elektronische Muziek, Rijks-universiteit Gent (IPeM)

a) autonome Musik für Tonband

Beyst E.	Prysis (vierspurig)	1965
Beyst E.	Spasis	1965
Buckinx B. u.		
Loose M.	Studie	1965
Debras L.	Studie I	1964
Debras L.	Studie II	1964
Debras L.	Klankstructuren (vierspurig)	1964
De Meester L.	Incantations (vierspurig mit Text)	1958-1962
De Meester L.	Proloog	1963
De Meester L.	Ringvariaties	1963
De Meester L.	Marlborough s'en va-t-en guerre	1963
De Meester L.	Images	1964
De Meester L.	Thema en Variaties	1965
De Meester L.	Organon (m. Text von P. De Vree)	1965
De Meester L.	Nocturne Malgache (m. Text von I. Isou)	1965
Gazelle D.	Studie I	1963
Goethals L.	Studie I	1962
Goethals L.	Studie II	1962
Goethals L.	Studie III	1962
Goethals L.	Studie IV	1962
Goethals L.	Studie V (vierspurig)	1963
Goethals L.	Cadenza uit «Dialogos» (vierspurig)	1963
Goethals L.	Elektronische partij uit «Endormie I»	1964
Goethals L.	Contrapuntos (vierspurig) Mobiel	1966
Lachenmann H.	Scenario (vierspurig)	1965
Meyer-Tormin W.	Studie I über farbiges Rauschen	1964
Meyer-Tormin W.	Studie II über farbiges Rauschen	1964
Meyer-Tormin W.	Studie I Atmende Fläche	1964
Meyer-Tormin W.	Studie II Atmende Fläche	1964
Groep «Spectra»	Spectrum 64	1964
Van Soens R.	Stochastics (stereo)	1965
Van Weerst E.	Sybaritmen	1963
Van Weerst E.	Hygiene (vierspurig)	1964
Van Weerst E.	Monochroom	1965

b) autonome Musik für Tonband und Instrumente oder menschliche Stimme

De Meester L.	Polonaise	1962
De Meester L.	Melopee	1962
De Meester L.	Geologie	1962
De Meester L.	Bedreigde Stad	1962
De Meester L.	De Sirenen (Rezitor und Tonband, Text von P. Van Ostayen)	1962
De Meester L.	Essay over het onderontwikkeld woord (Kroniek van een Anachronisme)	1962
De Meester L.	De bekende soldaat	1962
De Meester L.	Uiterst vriendelijk licht (Rezitor und Tonband, Text von S. Polet)	1964

Gazelle D.	Stochas (Instrumente und Tonband)	1964
Goethals L.	Vijf orkestgroepen en geluidsband (Orchester und Tonband vierspurig)	1963
Goethals L.	Endormie I (Instrumente und Tonband)	1964
Goethals L.	Cellotape (Piano, Cello, Kontaktmikrofon, Modulator und Tonband) vierspurig	1965
Goethals L.	Sinfonia en gris mayor (Zwei Orchester, Schlagwerk und Tonband vierspurig)	1965
Goeyvaerts K.	Stuk voor piano (Piano und Tonband)	1964
Pousseur H.	Votre Faust (Elektronische Teile aus der Oper)	1965/66
Rosseau N.	De Twee-Weertij-Klokhuisruimte (Gesang und Tonband)	1964

c) angewandte Musik

Bartholomée P.	Les Etrusques (Film)	1964
Boesmans Ph.	Adorable Vampire (Hörspiel)	1964
Defossez R.	Le Pêcheur et son Ame (Hörspiel)	1965
De Meester L.	Sieraden der Diepte (Film)	1962
De Meester L.	Katten in de Buurt (Film)	1962
De Meester L.	Don Juan (Ballett)	1962
De Meester L.	Polyester (Musik für eine Plastik)	1962
De Meester L.	Escorial (Fernsehspiel)	1963
De Meester L.	De Vertraagde film (Bühnenmusik)	1963
De Meester L.	Les Géants de la Montagne (Bühnenmusik)	1963
De Meester L.	De Vrouw in de Ochtend (Bühnenmusik)	1963
De Meester L.	Magie Rouge (Bühnenmusik)	1963
De Meester L.	De Koenig die Sterft (Bühnenmusik)	1963
De Meester L.	Elektron (Ballett)	1963
De Meester L.	Kreet en Kennis (Film)	1964
De Meester L.	Le Drame du Fukuryu Maru (Bühnenmusik)	1964
De Meester L.	De Gecroonde Leersse (Fernsehspiel)	1964
De Meester L.	Duel met de Tanker (Film)	1964
De Meester L.	Netsuke (Film)	1964
De Meester L.	Snecken (Film)	1965
De Meester L.	De Menschwording (Fernsehspiel)	1965
De Meester L.	Moordenaar Gods (Fernsehspiel)	1965
De Meester L.	Oscar of de Wet op de Zwaartekracht (Hörspiel)	1965
De Meester L.	Trijntje Cornelis (Bühnenmusik)	1965
De Meester L.	De Zoemende Muzikant (Hörspiel)	1966
De Meester L.	De Huisbewaarder (Bühnenmusik)	1966
De Meester L.	Twee Engelen op Bezoek (Bühnenmusik)	1966
De Meester L.	Op het Einde van de Regenboog (Hörspiel)	1966
De Meester L.	Het Systeem Fabrizio (Bühnenmusik)	1966
De Meester L.	Thyestes (Bühnenmusik)	1966
De Meester L. u.		
Goethals L.	Biedermann en de Brandstichters (Bühnenmusik)	1965
Goethals L.	Les Poissons (Film)	1963
Goethals L.	Reinaert de Vos (Freilichtspiel)	1963
Goethals L.	Het Glapion Effect (Bühnenmusik)	1963
Goethals L.	Het Huilen verieren zu niet (Bühnenmusik)	1964
Groep «Spectra»	Patent 2003 (Ballett)	1964
Vande Woestyne D.	Les Céphalopodes (Film)	1962
Van Weerst E.	Cybernetica (Film)	1964

CANADA

The Electronic Music Studio at the University of Toronto, Toronto, Ontario (UTEMS)¹

a) autonome Musik

Schaeffer M.	Etude op. 1 No 1	1959
Schaeffer M.	White noise etude	1959
Schaeffer M.	Bell etude in the form of a passacaglia (2 track)	1960
Schaeffer M.	Bridge No. 1 (two versions, 1 and 2 track)	1960
Schaeffer M.	Dance 4:3 (2 track)	1960
Schaeffer M.	Psalm XXIII	1960
Schaeffer M.	Allegro for tape recorder	1961
Schaeffer M.	Etude with voices	1961
Schaeffer M.	Haiku No. 1 (version 1, male voice)	1961
Schaeffer M., Walter A. u. Olnick H.	Project A	1961
Schaeffer M.	Voices and bells	1961
Aitken	Soliloquy (2 track)	1962
Schaeffer M.	Haiku No. 1 (version 2, female voice, 2 track)	1962
Schaeffer M.	Haiku No. 2 (2 track)	1962
Schaeffer M.	Haiku No. 3 (2 track)	1962
Schaeffer M.	New Intruder, Suite (2 track)	1962
Aitken	Composition for flute and tape recorder (2 track)	1963
Aitken	Noesis (2 + 2 track)	1963
Lilburn	Four studies (2 track)	1963
Schaeffer M.	Lament from Jephtha (2 track)	1963
Aitken	Suite from music for Hamlet (2 track)	1964
Avni	Study for the «Tower of Babel» (2 track)	1964
Glasgow	Chimes (2 track)	1964
Gnazzo	Music for two pianos and electronic sounds (2 track)	1964
Hassell	Sequence arrangement No. 1 (2 track)	1964
Henry O.	Praeludium (2 track)	1964
Henry O.	Three humors (2 track)	1964
Henry O.	Variations (2 track)	1964
Ivey	Enter three witches (2 track)	1964
Pedersen	The lone tree (2 track)	1964
Robb	Montage (2 track)	1964
Robb	Pleasant obsession (2 track)	1964
Robb	Torontoniana (2 track)	1964
Robinson	Transpositions (2 track)	1964
Rusling	Composition No. 1	1964
Beckwith	Electronic composition No. 1 (2 track)	1965
Beckwith	Electronic composition No. 2 (2 track)	1965
Beckwith	Electronic composition No. 3 (2 track)	1965
Charpentier	December 17th (2 track)	1965
Ciamaga	One part invention (2 track)	1965
Ciamaga	Two part invention (2 track)	1965

¹ Two studios, one didactic and the second creative and practical.

Cross	Three etudes for Hugh Le Caine (2 track)	1965
Guthro	Opus 3 (2 + 2 track)	1965
Lawryshyn	Fugue for harpsichord, cats and clarinet (2 track)	1965
Mather	Etude un (2 track)	1965
Mills-Cockell	Gamelon (2 track)	1965
Mills-Cockell	Ganges (2 track)	1965
Olejar	Incommunicado (2 track)	1965
Pedersen	Mel scale canon	1965
Pedersen	Pictures from the old testament (2 track)	1965
Southam	Electronic study No. 1 (2 track)	1965
Williams	Two electronic studies (2 track)	1965
Charpentier	AJA (2 track)	1966
Charpentier	Alchemy (2 track)	1966
Cherney	Death of a tragedy (2 track)	1966
Cherney	Doshchik (2 track)	1966
Cherney	Night music (2 track)	1966
Cherney	Intitled (Jan. 1966, 2 track)	1966
Cherney	Intitled (Feb. 1966, 2 track)	1966
Ciamaga	Two part invention No. 2 (2 track)	1966
Ciamaga	Scherzo (new version, 2 track)	1966
Mather	Etude 4 (2 track)	1966
Mills-Cockell	Cartoon (2 track)	1966
Mills-Cockell	Dialogue (2 track)	1966
Mills-Cockell	Fragment for two pianos and stereo magnetic tape	1966
Mills-Cockell	Imitation (2 + 2 track)	1966
Mills-Cockell	Soft-cell (2 track)	1966
Robb	Little suite (2 track)	1966
Southam	Sonosphere (2 track)	1966
Williams	Cacophony (2 track)	1966
Williams	Driversion (2 track)	1966
Williams	Electronic Study No. 3 (2 track)	1966
Williams	Here and there (2 track)	1966
Williams	Mood (2 track)	1966
Williams	This and that (2 track)	1966
Lawryshyn	Gestures (2 track)	1966
Lawryshyn	Electronic poem (2 track)	1966
Tahourdin	Rondo (2 track)	1966
Tahourdin	Passacaglia (2 track)	1967
Ciamaga	Two part invention No. 3 (2 track)	1967
Beecroft	Two went to sleep (4 and 2 track)	1967
Rusling	Composition 67-1 (2 track)	1967

b) angewandte Musik

Schaeffer M.	Many faces of man (ballet)	1959
Schaeffer M., Walter A. u. Olnick H.	Summer idyll (TV)	1960
Walter A. u. Olnick H.	Indian ballet	1960
Applebaum u. Schaeffer	The mask (film)	1961
Schaeffer M.	New Intruder (film)	1962

Schaeffer M., Walter A. u. Olnick H.	Project TV	1962
Schaeffer M.	The smile (film)	1962
Schaeffer M., Walter A. u. Olnick H.	Electronic dance («Becoming», ballet)	1963
Pottebaum	How the animals got their names (film)	1964
Ciamaga u. Cross	Phone-Phugue (TV film)	1965
Cross	Video II (B) (TV special technique)	1965
Gnazzo	Music for one or more dancers (dance)	1965
Gnazzo	Space and motion study for dancer No. 2 (dance)	1965
Gnazzo	Space and motion study for dancer No. 3 (dance)	1965
Olejar	Dance from the Noh (ballet)	1965
Somers	The gift (TV)	1965
Ciamaga	Mosaic (film)	1966
Applebaum u. Ciamaga	«Ottawa, 1967 (provisional title, electronic sections, outdoor theatre)	1966
Gnazzo u. Ciamaga	«Margaree» (TV film)	1966

PS: *Other composers* who have worked or experimented in the studio include: Samuel Dolin, R. Murray Schaefer, Pauline Oliveros and Ivan Tcherepnin. *Other tapes* realized at the studio and found in the UTEMS library include: a) experiments with the Hamograph, Multitrack recorder and Serial Sound Structure Generator. b) Sound records of recent experiments with hybrid computers. c) Various «effects» etc. for radio, television and theatre.

DÄNEMARK

Laboratoire du son de la Radio danoise, Copenhagen et Studios privés

a) autonome Musik

Pede E. M.	Symphonie magnétique	1959
Pede E. M.	Glasperlenspiel I-II	
Plaetner J.	Cantate électronique	
Plaetner J.	Elementi	
Plaetner J.	Continuo	

b) angewandte Musik

Pede E. M.	Musique pour la petite sirène	
Pede E. M.	Syv cirkler (pour les programmes Vortex, San Francisco)	
Plaetner J.	Opéra électronique: Ophélie retrouvée	

DEUTSCHLAND

Studio für elektronische Musik, Südwestfunk Baden-Baden

Boulez P.	Poésie pour pouvoir	1958
Boulez P.	Das kalte Licht ¹	1958
Boulez P.	Von den unglücklichen Lebensbedingungen der Thunfische ¹	1958

Arbeitskreis für Elektronische Musik an der Technischen Universität Berlin

a) autonome Musik (sämtliche Titel in 4-Spur-Technik)

Thürichen W.	Musik auf Pauken (Weltausstellung Brüssel)	1958
Krenek E.	Studie für serielle Musik	1962
AEMB ²	Multiple Perspektiven für Original-Klavier und drei Klangstrahler	1962
AEMB	Glissierende Deviationen	1962
AEMB	Negro Spiritual	1962
AEMB	Persischer Sinnspruch (Elektronische Studie zur Sprachverformung)	1963
AEMB	Der Astronaut (Raumstudie)	1963
AEMB	Spacio vocale e instrumentale	1963
AEMB	Skalen 2:3:4 (Vierteltonstudie)	1964
AEMB	«Morsezeichen» (Gratulation für U. Tuchel zum 60. Geburtstag)	1964
AEMB	«Wasser» – Klavierstudie für einen Film von E. Reinboth (Interferenzen)	1965
Hartig H. F.	«Wohin» – Oratorium für Orchester und elektronischen Chor auf Band	1965
AEMB	Elektronische Impulsketten	1966
AEMB	Elektronische Teile der Blacher-Oper «Zwischenfälle bei einer Notlandung» als Konzertbearbeitung	1966/67
Shinohara M., Winckel F., u. Rüfer R.	Konsonantische Musikstudie	1967
AEMB	Orbiter Lunar III	1967

b) angewandte Musik

Schröpfer W.	«Musique concrète» (Film)	1955
Schröpfer W.	«Mechanisches Theater» (Surrealistisches Marionettenspiel von H. Kramer)	1955

¹ Im *Répertoire international des musiques expérimentales* von 1962 aufgeführt, auf meine persönliche Rückfrage von der Musikabteilung des Südwestfunks jedoch nicht bestätigt.

² AEMB = Arbeitskreis für Elektronische Musik an der Technischen Universität Berlin (Prof. Boris Blacher, Prof. Dr. Fritz Winckel, Dipl.-Ing. Manfred Krause, Tonmeister Rüdiger Rüfer).

Grübnau L.	Die Welt von morgen (Film)	1958
AEMB	Elektronische Musik zu «Androklos und der Löwe» (Shaw)	1962
Winckel F. u. Krause M.	Fernsehfilm über elektronische Musik (NDR Hamburg)	1963
Winckel F. u. Krause E.	Film und Schallplatte (Herzschall) zusammen mit K. Holldack	1966
Blacher B.	Oper «Zwischenfälle bei einer Notlandung». Elektronik: AEMB	1965/66
Haubenstock-Ramati R.	Oper «Amerika». Montage in 4-Spur-Technik: F. Winckel	1966

Studio für elektronische Musik des Westdeutschen Rundfunks Köln¹

a) autonome Musik

Eimert H. u. Beyer R.	Klangstudie I und II	1953
Eimert H. u. Beyer R.	Klang im unbegrenzten Raum	1953
Eimert H. u. Beyer R.	Ostinate Figuren und Rhythmen	1953
Heiss H.	Elektronische Studie	1953
Eimert H.	Glockenspiel	1953/54
Eimert H.	Etüde über Tongemische	1953/54
Eimert H.	Fünf Stücke	1953/54
Eimert H.	Selektion	1953/54
Goeysvaerts K.	2 Kompositionen	1953/54
Stockhausen K.	Studie I	1953/54
Stockhausen K.	Studie II	1953/54
Gredinger P.	Formanten I und II	1954
Klebe G.	Interferenzen	1954
Koenig G.M.	Klangfiguren I und II	1954
Krenek E.	Spiritus Intelligentiae Sanctus	1954
Heiss H.	Elektronisches Diskontinuum	1954
Heiss H.	Elektronisches Diskontinuum mit Schlagzeug	1954
Pousseur H.	Seismogramme I und II	1954/55
Hambraeus B.	Doppelohr II	1956
Heiss H.	Elektronische Komposition I	1956
Stockhausen K.	Gesang der Jünglinge	1956
Evangelisti F.	Incontri di fasce sonore	1957
Brun H.	Anepigraphie	1958
Koenig G.M.	Essay	1958
Nilson B.	Audiogramme	1958
Kagel M.	Transicion I	1958/59
Stockhausen K.	Kontakte	1959/60
Koenig G.M.	Terminus I	1962/63
Boehmer K.	Position (mit Instrumenten und Vokalklangen)	1962/63
Eimert H.	Epitaph	1962/63
Fritsch J.G.	Fabula rasa (für 4 Lautsprecher)	1962/63

¹ Liste nicht vollständig.

von Biel M.	Fassung (für 5 Lautsprecher)
Stockhausen K. ¹	Microphonie II (Chor und Orgel, Ringmodulation)

Studio für elektronische Musik an der Staatlichen Hochschule für Musik, Köln

a) autonome Musik

Zimmermann B. A.	Tratto (für vier Lautsprechergruppen)	1967
------------------	---------------------------------------	------

b) angewandte Musik

Zimmermann B. A.	Elektronischer Teil der Oper «Die Soldaten»	1965
------------------	---	------

Studio für elektronische Komposition Hermann Heiss, Darmstadt²

a) autonome Musik

Heiss H.	Essay I	1957
Heiss H.	Essay II	1958
Heiss H.	Elektronische Komposition II «Laut und Stille»	1959
Heiss H.	Studie 59 (zu AS 60)	1959
Heiss H.	Elektronische Komposition III «AS 60»	1960
Heiss H.	Variante AS 60	1960
Heiss H.	Elektronische Komposition IV	1961
Heiss H.	Zuordnung zwei	1961
Heiss H.	Zuordnung drei «LTM 61» (Licht, Tanz und Musik)	1961
Heiss H.	Proportionen	1961
Heiss H.	Logatome (Bandkomposition für Sprecher, Instrumente und elektronische Klänge)	1961
Heiss H.	LTM 62 (Licht, Tanz und Musik)	1962
Heiss H.	Zuordnung vier	1963
Heiss H.	Zuordnung vier (variabel für 4 Magnetophone)	1963
Heiss H.	Präludium «Ananke»	1964
Heiss H.	Missa (für Alt, Tenor, gemischten Chor und elektronisches Tonband)	1964
Heiss H.	Variable Musik für 4 Magnetophone	1966
Heiss H.	Salutatio (Worte aus «Hyperion» von Hölderlin) für eine Singstimme, eine Sprechstimme und elektronisches Tonband	1966

¹ Folgende Werke von K. Stockhausen sind in andern Studios ausgearbeitet worden: *Microphonie I* in Brüssel, *Mixtur* in Hamburg, *Telemusik* in Tokyo.

² Der gesamte Nachlaß an Tonbändern des 1966 verstorbenen Komponisten Hermann Heiss ist vom Internationalen Musikinstitut Darmstadt übernommen worden, das in Kürze ein endgültiges Verzeichnis des «Hermann-Heiss-Archivs» herausbringen wird.

b) angewandte Musik

Heiss H.	Der Feind des Präsidenten (Hörspielmusik)	1957
Heiss H.	Undine (Bühnenmusik)	1957
Heiss H.	Die Tat (Bühnenmusik)	1958
Heiss H.	Die Troerinnen (Bühnenmusik)	1960
Heiss H.	Lemuren	1960
Heiss H.	Zikaden	1960
Heiss H.	Ferne Trommeln – ferne Glocken	1960
Heiss H.	Meteore	1960
Heiss H.	Battements	1960
Heiss H.	Monophon	1960
Heiss H.	Die Fliegen (Bühnenmusik)	1961
Heiss H.	Die Tat (Ballett)	1961
Heiss H.	Peitschenmusik	1961
Heiss H.	Gespensische Visionen	1962
Heiss H.	Resonanzen	1962
Heiss H.	Diableries	1962
Heiss H.	Aniara (Oper)	1963
Heiss H.	Große Paukenmaschine	1963
Heiss H.	Eisenhütte	1963

c) nachgelassene Werke (Gebrauchsmusiken)

Heiss H.	Stimmen der Nacht
Heiss H.	Fantastischer Auftakt
Heiss H.	Marche drôlatique
Heiss H.	Schmiedehammer
Heiss H.	Safari
Heiss H.	Montagehalle
Heiss H.	Vier Einspielmusiken:
	Ghostcastle
	Streitgespräch
	Hart und zart
	Maschinenraum
Heiss H.	Fünfzehn Einspielmusiken:
	Idiome
	Regenpfeifer
	Konglomerat
	Zartes Raunen
	Gemiesl
	Klanggewebe
	Grotesker Auftakt
	Heiteres Getön
	Warten (Tiefes Tönen)
	Zerschneiden
	Unheimlich Getier
	Clownerie
	Zykaden
	Meteore
	Tanztrommel (Tanzrhythmen)

d) nachgelassene Musiken für Bühne, Funk, Fernsehen und Film

Heiss H.	ABC (Tardieu)
----------	---------------

Heiss H.	Die Hochzeit (Brecht)
Heiss H.	Vorsätzlich (Aktinson)
Heiss H.	Filmmusik für Industrie-Film

N.B. Folgende Werke von H. Heiss sind im Studio des Hessischen Rundfunks Frankfurt ausgearbeitet worden: *Pausezeichen des Hessischen Rundfunks* (1954) und: *«Die glorreiche Unterlassung des Fliegerhauptmanns K.»*, Funkballade für Sänger, Sprecher, gemischten Chor, Sprechchor, Instrumental-Ensemble und radiogene Mittel (elektronische Klänge und Phonomontage 1956).

Studio für elektronische Musik München (Geschwister-Scholl-Stiftung)

a) autonome Musik

Riedl J. A.	Folge von vier Studien für elektronische Klänge	1959–1962
Hanisch E.	Das neue Paradies	1959
Hashagen K.	Der Bau des Tempels	1960
Brün H.	Klänge unterwegs	1961
Kagel M.	Antithese, Komposition für elektronische und öffentliche Klänge	1962
Hambraeus B.	Rota II, Komposition für elektronische, Glocken- und Orgelklänge	1963
Riedl J. A.	3 Stücke aus der Musik zu Leonce und Lena	1963
Riedl J. A.	Komposition für elektronische Klänge Nr. 2	1963 u. 1965
Cage J. u. Kagel M.	Imaginary Landscape Nr. 3	(1942) 1965
Kelemen M.	2 Stücke aus der Musik zu Judith	1966

b) angewandte Musik

Riedl J. A.	Impulse unserer Zeit (Film)	1959
Riedl J. A.	Stunde X (Film)	1959
Riedl J. A.	Kains Bruder ist umsonst gestorben (Hörspiel-musik)	1959
Riedl J. A.	Yokatan (Film)	1960
Killmayer W.	Medea (Hörspielmusik)	1960
Riedl J. A.	Kommunikation (Film)	1961
von Cramer H.	Das große Ebenbild (Hörspielmusik)	1962
Riedl J. A.	Der Hausmeister (Bühnenmusik)	1962
Riedl J. A.	Geschwindigkeit (Film)	1963
Killmayer W.	Die Nashörner (Film)	1963
Kagel M.	Spiel für einen Darsteller mit elektronischen und öffentlichen Klängen (Antithese, Fernsehen)	1963
Pörtner P.	Schallstudie I (Hörspielmusik)	1963
Riedl J. A.	Leonce und Lena (Fernsehen)	1964
Barbaud P.	Der Damm (Film)	1964
Riedl J. A.	Grenzen (Film)	1964
Bialas G.	Es regnet in mein Haus (Hörspielmusik)	1964
Riedl J. A.	Das Spiel (Bühnenmusik)	1964
Pörtner P.	Schallstudie II (Hörspielmusik)	1965
Kelemen M.	Judith (Fernsehen)	1966
Riedl J. A.	Thunder over Mexico (Film)	1966
Riedl J. A.	Autoportrait (Film)	1966

ENGLAND

Electronic Music Studio, Royal College of Music, London

Das Studio ist in Vorbereitung und soll 1967 eröffnet werden (Persönliche Mitteilung von Prof. Dr. H. Eimert).

FINNLAND

Electronic Music Studio of the Finnish Broadcasting Company Oy.
Yleisradio Ab. Helsinki

a) autonome Musik

Johansson B.	Kolme elektronista harjoittelmaa (Three Electronic Etudes)	1960
Jyrkiäinen R.	Sounds 1 (Concrete Music)	1963
Jyrkiäinen R.	Sounds 2 (Concrete Music)	1963
Jyrkiäinen R.	Idiopostic 1 (Electronic Music)	1963
Kuusisto I.	Ritmo acustico (Concrete Music)	1963
Salmenhaara	Konsertto kahdelle sooloviululle ja kaiuttimille (Concerto for two Solo Violins and Loudspeakers)	1963
Salmenhaara	Pan ja Kaiku (Pan and the Echo) for Percussion and Loudspeakers	1963
Donner H. O.	For Emmy 2 (Electronic Music, realised in Bilthoven)	1963
Jörns H.	Dresden, am 13. Februar 1945 (Electronic Music)	1964
Jörns H.	«Eli, Eli lama asaphani» für Horn, Violoncello, Klavier und Tonband (Concrete Music and instruments)	1964
Rautavaara	Ludus verbalis (for mixed chorus)	1964
Jörns H.	Illness and Death (Electronic Music)	1964
Helistö P.	Pianonvirtittäjän vapaa-aija (Freeday of a piano tuner, Concrete Music)	1966
Jyrkiäinen R.	Idiopostic 2 (Electronic Music, a new version of Idiopostic 1, stereophonic tape)	1966

b) angewandte Musik

Meriläinen U.	Eros and Psyche (Incidental music for the play)	1964
Kuusisto I.	Tarvo 1754 (film)	1964
Rydman K.	Kitta i Lappland (film)	1964
Jyrkiäinen R.	Sounds 3 (Concrete Music for an exhibition, 2 track)	1966

FRANKREICH

Groupes de Recherches musicales du Service de la Recherche de l'O.R.T.F., Paris¹

a) autonome Musik

Schaeffer P.	Etude aux chemins de fer	1948
Schaeffer P.	Etude aux casseroles	1948
Schaeffer P.	Etude aux tourniquets	1948
Schaeffer P.	Etude violette	1948
Schaeffer P.	Etude pathétique	1948
Schaeffer P.	Etude au piano	1948
Schaeffer P.	Concertino diapason	1948
Schaeffer P.	Variations sur une flûte mexicaine	1949
Schaeffer P.	Suite pour 14 instruments	1949
Henry P.	Musique sans titre	1950
Henry P.	Le microphone bien tempéré	1950
Schaeffer P. u. Henry P.	Concerto des ambiguïtés	1950
Schaeffer P. u. Henry P.	Bidule en UT	1950
Schaeffer P.	L'Oiseau RAI	1950
Schaeffer P.	Symphonie pour un homme seul	1950
Henry P.	Vocalises	1951
Hodeir A.	Jazz et jazz	1951
Schaeffer P.	Toute la lyre	1951
Boulez P.	Etudes I et II	1952
Henry P.	Antiphonie	1952
Messiaen O.	Timbres-durée	1952
Rollin M.	Motet	1952
Barraque	Etude	1953
Henry P.	Le voile d'Orphée (opéra vers. concr.)	1953
Philippot M.	Etude I	1953
Schaeffer P. u. Henry P.	Orphée (opéra)	1954
Varèse E.	Déserts (1e version ² mus. concr. et orch.)	1954
Arthuys P.	Boite à musique	1955
Arthuys P.	La crabe qui jouait avec la mer	1955
Arthuys P.	Ils le livrèrent à Ponce Pilate	1956
Arthuys P.	Etude chinoise	1956
Haubenstock- Ramati R.	Passacaille	1956
Philippot M.	Etude II	1956
Arthuys P.	Nature morte à la guitare	1957
Haubenstock- Ramati R.	Chants et prismes	1957

¹ Für Werke, welche nach 1961 entstanden sind, sei auf die Neuausgabe des *Répertoire international des musiques expérimentales* verwiesen.

² 2e version voir The Electronic Music Center of Columbia and Princetown Universities.

Haubenstock-		
Ramati R.	Exergue pour une symphonie	1957
Haubenstock-		
Ramati R.	L'amen de verre	1957
Henry P.	Haut voltage	1957
Malec I.	Mavena	1957
Sauguet H.	Aspect sentimental	1957
Ferrari L.	Etude floue	1958
Ferrari L.	Etude aux accidents	1958
Ferrari L.	Etude aux sons tendus	1958
Schaeffer P. u.		
Ferrari L.	Continuo	1958
Schaeffer P.	Etude aux allures	1958
Schaeffer P.	Etude aux sons animés	1958
Xenakis I.	Concret PH	1958
Xenakis I.	Diamorphoses	1958
Boucourechliov	Texte II 1ère version	1959
Boucourechliov	Texte II 2e version	1959
Ferrari I.	Visage V.	1959
Mache F.B.	Prélude	1959
Philippot M.	Ambiance I et II	1959
Schaeffer P.	Simultané Camerounais	1959
Schaeffer P.	Etude aux objets	1959
Chamass M.	Etude I	1960
Ferrari L.	Tête et queue du dragon	1960
Mache F.B.	Volume	1960
Philippot M.	Maldoror	1960
Vandelle R.	Crucifixion	1960
Xenakis I.	Analogique B, Analogique A+B	1960
Ballif C.	Etude	1961
Bayle F.	Tremplins	1961
Canton E.	Etude	1961
Carson P.	Etude	1961
Clouzot O.	Etude	1961
Gauthier S.	Etude	1961
Hidalgo	Etude	1961
Malec I.	Etude	1961
Parmegiani B.	Etude	1961
Perrini L.	Etude	1961
De Raulin B.	Etude	1961
Vandelle R.	Etude	1961
Bayle F.	Lignes et points	1961
Ferrari L.	Tautologos I et II	1961
Marie J.-E.	Images Thanatiques	1961

b) angewandte Musik

Henry P.	La grande et la petite manœuvre	1950
Schaeffer P.	La course au Kilocycle (Hörspiel)	1950
Schaeffer P.	Masquerage (Film)	1952
Henry P.	Astrologie (Film)	1953
Henry P.	Art populaire mexicain (Film)	1953
Henry P.	Leonard da Vinci (Film)	1953

Henry P.	Les fils de l'eau (Film)	1953
Henry P.	Art Précolombien (Film)	1953
Arthuys P.	Mississippi (Bühnenmusik)	1955
Henry P.	Le musée d'or de Bogota (Film)	1955
Henry P.	L'amour des 4 colonels (Bühnenmusik)	1955
Arthuys P.	Le voyageur (Film)	1956
Schaeffer P.	Fer chaud (Film)	1956
Schaeffer P. u.		
Henry P.	Sahara d'aujourd'hui (Film)	1957
Boucourechliov A.	Tic-tac (Film)	1959
Ferrari L.	Passage (Ballettmusik)	1959
Mache F.B.	Caustiques (Film)	1959
Schaeffer P.	Musique de scène pour Phèdre	1959
Schaeffer P.	Nocturne aux chemins de fer (Mime)	1959
Carson P.	Biedermann und die Brandstifter (Bühnenmusik)	1960
Chamass M.	Egypte, ô Egypte (Film)	1960
Mache F.B.	Conte (Film)	1960
Parmegiani B.	Jour de mes années (Film)	1960
Parmegiani B.	Patamorphoses (Television)	1960
Parmegiani B.	Steinberg (Film)	1960
Parmegiani B.	Indicatif France I (O. R. T. F.)	1960
Xenakis I.	Vasarely (Film)	1960
Xenakis I.	Orient-Occident (Film)	1960
Bayle F.	Llanto (Ballettmusik)	1961
Bayle F.	Lignes et points (Film)	1961
Canton E.	Impression des Andes (Film)	1961
Canton E.	Sensemaya (Ballettmusik)	1961
Canton E.	Friction 60 (Film)	1961
Canton E.	Douce Amère (Film)	1961
Canton E.	Les maladies mentales (Film)	1961
Canton E.	Axel (Bühnenmusik)	1961
Carson P.	Danse II (Film)	1961
Carson P.	Les dents du singe (Film)	1961
Carson P.	Exposition de Stuyvesant (Sonorisation)	1961
Chamass M.	Rimoiros (Film)	1961
Chamass M.	Rémanences (Film)	1961
Malec I.	Structures (Film)	1961
Malec I.	Reflets (Film)	1961
Parmegiani B.	Guerre et poésie (Bühnenmusik)	1961
Parmegiani B.	Le repos du guerrier (Bühnenmusik)	1961
Parmegiani B.	Rhinomorphoses (Film)	1961
Parmegiani B.	Balcon sur le rêve (Radio)	1961
Parmegiani B.	Danse I (Film)	1961
Parmegiani B.	La France déjeune (Film)	1961
Parmegiani B.	Marché Magique	1961
Parmegiani B.	Die Ehe des Herrn Mississippi (Bühnenmusik)	1961
Parmegiani B.	Martien 0001 (Film)	1961
Parmegiani B.	Sonorisation pour spectacle (Musée Grévin)	1961

Studio APSOME Paris¹

a) autonome Musik

Henry P.	Coexistence	1958
Henry P.	Composition i Ovalisée	1959
Henry P.	Le livre des Mutations	1960
Baronnet J. u.		
Dufrene F.	U 47	1960
Dufrene F.	Anti-Etude	1960
Henry P.	Entité	1961
Henry P.	La Noire à soixante I	1961
Henry P.	Fluide et Mobilité d'un Larsen	1962
Henry P.	La Noire à soixante II	1962
Baronnet J.	Sonate	1962
Dufrene F.	Granulométrie	1962

b) angewandte Musik

Henry P.	Orphée (Ballettmusik)	1958
Henry P.	Signes (Ballettmusik)	1960
Henry P.	Investigations	1960
Henry P.	Le voyage (Ballettmusik)	1962
Henry P.	L'Apocalypse (spectacle)	1962
Henry P.	Le livre des Morts Tibétains (spectacle)	1962
Henry P.	Bronze (Film)	
Henry P.	Faciès (Film)	
Henry P.	L'Ondomane (Film)	
Henry P.	Les Ailes du Clémenceau (Film)	
Henry P.	16 dessins animés de Siné	
Henry P.	Maléfices (Film)	

ITALIEN

Studio di Fonologia di Milano della RAI

autonome und angewandte Musik

Berio Luciano u.		
Maderna Bruno	Ritratto di città (documentario radiofonico)	1 ^a 1955
Berio Luciano	Mutazioni	1 1955
Maderna Bruno	Sequenze e strutture	1 1955
Boucurechliev A.	Etude I	2 1956
Maderna Bruno	Notturmo	1 1956
Berio Luciano	Perspectives	2 1957
Maderna Bruno	Syntaxis	2 1957
Pousseur Henri	Scambi Io versione	2 1957
Pousseur Henri	Scambi Ilo versione	2 1957
Pousseur Henri	Scambi versione Luciano Berio	2 1957

¹ Für Werke, welche nach 1962 entstanden sind, sei auf die Neuausgabe des *Répertoire international des musiques expérimentales* verwiesen.

² Anzahl der Spuren.

Wilkinson Marc	Improvisation K	1 ^a 1957
Berio Luciano	Thema (Omaggio a Joyce)	2 1958
Boucurechliev A.	Texte I	2 1958
Maderna Bruno	Continuo	1 1958
Maderna Bruno	Musica su due dimensioni (per flauto e nastro)	2 1958
Cage John	Fontana Mix (per voce e nastro)	2 1959
Dianda Hilda	Dos estudios en contrastos	2 1959
Hambraeus Bengt	Costellazione (per organo e nastro)	2 1959
Zumbach André	Etude	1 1959
Berio Luciano	Momenti	4 1960
Berio Luciano	Differences (per 5 strumenti e nastro)	2 1960
Bucchi Valentino	Girotondo	1 1960
Castiglioni N.	Divertimento	4 1960
Clementi Aldo	Collage 2	4 1960
Dall'Oglio Renzo u.		
Zuccheri Marino	Plastico	2 1960
Maderna Bruno	Invenzioni su una voce	2 1960
Nono Luigi	Omaggio a Vedova	4 1960
Donatoni Franco	Quartetto 3o	4 1961
Maderna Bruno	Serenata III	4 1961
Marinuzzi Gino	Traiettorie	4 1961
Paccagnini Angelo	Sequenze e strutture	4 1961
Sifonia Firmino	Canoni	4 1961
Togni Camillo	Recitativo	4 1961
Vlad Roman	Ricerche elettronico	4 1961
Balestrini	Un istante con figure	1 1962
Berio Luciano	Visage (racconto radiofonico)	4 1962
Grossi Pietro	Progetto 2 e 3	2 1962
Maderna Bruno	Le rire	2 1962
Redner Henry	Piece in two	2 1962
Wilks John	Fiesta	2 1962
Angelini Louis	Derivazioni n. 5	2 1963
Arrigo Girolamo	2 studios	2 1963
Berio Luciano	Esposizione I	4 1963
Canton Edgardo	Etude	2 1963
Ceely Robert	Strati	1 1963
Morthenson Jan. W.	Chains-mairrors	1 1963
Winsor Philip R.	Sound Study n. 2	1 1963
Canton Edgardo	Tout finit pour tomber dans le même trou	2 1964
Maderna Bruno	Hyperion	1964
Manzoni Giacomo	Studio 3	1 1964
Nono Luigi	La fabbrica illuminata (per voce e nastro)	4 1964
Toffoletti Massimo	Expert I	1 1964
Hassell Jon	Music for vibraphones	2 1965
Liberovici Sergio	Un fucile, un bidone e la vita	2 1965
Nono Luigi	Die Ermittlung	1 1965
Nono Luigi	Ricorda cosa ti hanno fatto ad Auschwitz	1 1966
Nono Luigi	A floresta è jovem e cheade vida (per voci, clari- netto, lastro di bronzo e nastro)	1 1966
Tcherepnin Serge	At bach and piece de fond	1966
Zuccheri Marino	Parete 67	2 1967

¹ Anzahl der Spuren.

JAPAN

NHK Electronic Music Studio, Nippon Hosokyo, Tokyo¹

a) autonome Musik

Mitglieder des Studios	Experimentalmusik	1954
Mayuzumi T.	a) Music for sine waves selected on a ratio principle of prime numbers	
	b) Music for modulated waves selected on a ratio principle of prime numbers	
	c) Invention for square waves and sawtooth waves	1955
Mayuzumi T. u. Moroi M.	Variations on the numerical principle of seven	1956
Mayuzumi T.	Aoi-no-Ue	1957
Matsushita S.	The black Monastery	1959
Moroi M.	Pythagorean Stars	1959
Miyoshi A.	Ondine	1959
Moroi M.	A red cocoon	1960
Mitglieder des Studios	Electronic music for stereophonic broadcast	1960
Irino	Waves and a flute	1960
Moroi M.	A long, long way ahead	1960

b) angewandte Musik

Moroi M.	Background music (3 Werke)	1961
----------	----------------------------	------

NIEDERLANDE

Studio Elektronische Muziek der Rijksuniversiteit te Utrecht (STEM) und verschiedene andere Studios (PHILIPS: Studio in Eindhoven, das heute nicht mehr besteht; N.R.U.: Nederlands Radio Unie, Rundfunk-Union, in der holländische Programmgesellschaften wie AVRO, N.C.R.V., VARA zusammengeschlossen sind; TH DELFT: Technische Hochschule Delft, wo zeitweise ein Studio bestand; BRUYNEL: Privatstudio des Komponisten Ton Bruynel in Utrecht; RAAIJMAKERS-BOERMAN: Privatstudio der Komponisten Dick Raaijmakers und Jan Boerman in Den Haag).

a) autonome Musik

Badings H.	Oreste (Funkoper)	AVRO	1954
Badings H.	Elektronische Sonatine	AVRO	1954
Kox H.	Three pieces for electronic organ	NRU	1954
de Leeuw T.	Job (Funk-Oratorium)	NRU	1956
Raaijmakers D.	Song of the second moon	PHILIPS	1957
Badings H.	Op het tweede gehoor	NCRV	1957
Badings H.	Electronic music	PHILIPS	1957

¹ Da die neue Werkliste dieses Studios erst nach Redaktionsschluss eingetroffen ist, findet sie sich als Nachtrag auf Seite 236. Die folgenden Angaben dagegen sind dem *Répertoire international des musiques expérimentales* (1962) entnommen.

Varèse E.	Poème électronique	PHILIPS	1958
Righarts	Jan Klaassen	TH DELFT	1958
Kooy V.D.	Klankstudie	TH DELFT	1958
Raaijmakers D.	Colonel Bogey	PHILIPS	1958
Badings H.	De Hoerschelp	NCRV	1958
Dissevelt	II. Syncopation	PHILIPS	1958
Maarn A.V.	De rijke man en de arme Lazarus	TH DELFT	1959
Badings H.	Capriccio (f. Violine u. 2 Klangspuren)	PHILIPS	1959
Badings H.	Elektromagnetische Klangfiguren	PHILIPS	1959
Dissevelt	III. Drifting	PHILIPS	1959
Dissevelt	IV. Vibration	PHILIPS	1959
Raaijmakers D.	Tweeklank	PHILIPS	1959
de Leeuw T.	Antiphonie (für Blasquintett und 4 Klangspuren)	PHILIPS	1960
Raaijmakers D.	Pianoforte	PHILIPS	1960
Raaijmakers D.	Tune	PHILIPS	1960
Spek J.	Impulsen	TH DELFT	1960
Dissevelt	Music for Tape and Orchestra	STEM	1961
Kox H.	Herakles	STEM	1961
Boerman J.	Etude sonore	TH DELFT	1961
Boerman J.	Alchemie	TH DELFT	1961
Bruynel T.	Music for piano and two soundtracks	BRUYNEL	1961
Bruynel T.	Reflexen	BRUYNEL/STEM	1961
Raaijmakers D.	3 Plastieken	STEM	1961
Bruynel T.	Resonance I	BRUYNEL	1962
Badings H.	3 Lucebert-songs	STEM	1963
Bruynel T.	Collage Resonance II	BRUYNEL	1963
Badings H.	Konzert für Bläser und elektronische Begleitung	STEM	1964
Badings H.	Toccata I	STEM	1964
Badings H.	Toccata II	STEM	1964
Bruynel T.	Relief für Orgel und elektronische Klänge	BRUYNEL/STEM	1964
Kox H.	Cyclophonie für Klavier und elektronische Musik	STEM	1964
Barlow W.	Quintet	STEM	1965
Raaijmakers D.	Aioon	RAAIJMAKERS-BOERMAN	1964
Bruynel T.	Mobile	BRUYNEL	1965
Eisma W. u. du Bois R.	Cooperational Applications für Violine, Klavier und Tonband	STEM	1965
Giltay B.	Phonolieten	STEM	1965
Gorter K.	K 45	STEM	1965
de Marez Oyens T.	Etude II	STEM	1965
McKenzie G.	Luminations	STEM	1965
Ponse L.	Etude I	STEM	1965
Schat P.	De Aleph	STEM	1965
Boerman J.	De Zee	RAAIJMAKERS-BOERMAN	1966
Bruynel T.	Milieu april '66	BRUYNEL	1966
Giltay B.	Polychromie	STEM	1966
Gorter K.	VG 56	STEM	1966
Halfter C.	Lineas y puntos (für elektronische Klänge und 16 Blasinstrumente)	STEM	1966

Pongracz Z.	Phonothese	STEM	1966
Ponse L.	Nacht	STEM	1966
Riehn R.	Gesänge des Maldoror	STEM	1966
Shinohara M.	Visions	STEM	1966
Shinohara M.	Mémoires	STEM	1966
Zupko R.	Transients	STEM	1966
Zupko R.	Metacycles	STEM	1966
Stiblj M.	Rainbow	STEM	1967
Koenig G.M.	Terminus II	STEM	1967
Boehmer K.	Aspekt	STEM	1967

b) angewandte Musik

Badings H.	De Gravin Catalene (Hörspiel)	KRO	1952
Badings H.	De Nacht voor Morgen (Fernsehen)	AVRO	1956
Badings H.	Kain und Abel (Ballettmusik)	PHILIPS	1956
Badings H.	De Vliegende Hollander (Film)	VARA	1957
Badings H.	Variations électroniques (Film)	PHILIPS	1957
Badings H.	Asterion (Oper)	SAUK	1959
Hall v.	De Kale Zangeres	TH DELFT	1957
Badings H.	Geluid der werkelijkheid (Bühnenmusik)	PHILIPS	1958
Badings H.	Mens en Machine in Eindhoven	PHILIPS	1958
Mogg W.	Musik zu Macbeth	TH DELFT	1958
Gelder v.	Glas (Film)	TH DELFT	1958
Badings H.	Tune	NCRV	1958
Masseus	Paléontologie (Film)	TH DELFT	1958
Dissevelt	Tune	VARA	1958
Lilien	Nr. 1508 individualist	TH DELFT	1958
Badings H.	Electronic Ballet-Music II	PHILIPS	1959
Badings H.	Salto Mortale (Fernsehoper)	PHILIPS	1959
Badings H.	De Spreekkeel (Hörspiel)	PHILIPS	1959
Badings H.	Die Frau von Andros (Ballett)	PHILIPS	1959
de Leeuw T.	J. B. (Bühnenmusik)	Brandon	1959
Badings H.	Pauzeteken	PHILIPS	1959
Raaijmakers D.	Achter de schermen (Film)	PHILIPS	1960
Raaijmakers D.	Het stenen bruidsbed	PHILIPS	1960
Badings H.	Musik für die Oper «Martin Korda» (3. Akt, 1. Szene)	PHILIPS	1960
Raaijmakers D.	Mouvements	PHILIPS	1960
Raaijmakers D.	Filmmusik	STEM	1961
Kagel M.	Tremens (Bühnenmusik)	STEM	1966
de Leeuw T.	Syntaxie (Radiophonische Musik)	STEM	1966

POLEN

Studio Eksperymentalne, Polskie Radio, Warszawa

a) autonome Musik

Kotonski W.	Etiuda (mus. concrète)	1960
Dobrowolski A.	Passacaglia	1960

Penderecki K.	Psalmus (mus. concrète)	1961
Wiszniewski Z.	Db, Hz, S (Elektronische Musik)	1962
Wiszniewski Z.	3 Postludia elektroniczne	1962
Dobrowolski A.	Muzyka na tasme magnetofonowa Nr. 1 (Musik für Tonband)	1962
Kotonski W.	Mikrostruktury (mus. concrète)	1963
Wiszniewski Z.	Burlesque (Elektronische Musik)	1963
Sikerski T.	Echa II (Klavier und Tonband)	1963
Sikerski T.	Antyfony (Sopran, Klavier, Schlagzeug, Harfe und Tonband)	1963
Penderecki K.	Brygada smierei (Rezitator und Tonband)	1963
Dobrowolski A.	Muzyka ma eboj i tasme magnetofonowa (Oboe und Tonband)	1965
Rudnik E.	Collage	1965
Rudnik E.	Korzen	1965
Schäffer B.	Symfonia (Elektronische Musik)	1966
Schäffer B.	Assemblage I, II, III	1966
Mache F.B.	Nuit blanche (Rezitator und Tonband)	1966
Maddox A.	Hi-Lo Joy Honk	1967

b) angewandte Musik

Kotonski W.	Albo rybka / C'est le poisson (Film)	1958
Wiszniewski Z.	Orphée (Fernsehspiel)	1958
Markowski A.	Spacerek staromijeski / Une promenade de vieille ville de Varsovie (Film)	1958
Markowski A.	Milezaea gwiazda (Film)	1959
Kotonski W.	Nosorozoe / Rhinocéros (Bühnenmusik)	1960
Kotonski W.	Newy Janke Muzykant / Jeannot le musicien (Film)	1960
Penderecki K.	Koncert wawelski / Les cloches du Château de Wawee (Film)	1960
Penderecki K.	Basyлизek (Film)	1961
Markowski A.	Nosorozoe (Bühnenmusik)	1961
Kotonski W.	Ladacznicza z zasadami / La putain respectueuse (Bühnenmusik)	1961
Penderecki K.	Seyzeryk / Monsieur Canif (Film)	1961
Markowski A.	Igraszki / Plaisanteries (Film)	1961
Wiszniewski Z.	Wielka gra w Elzenberg (Hörspiel)	1962
Wiszniewski Z.	Szachy (Hörspiel)	1962
Patkowski J.		
Szifirski K. u.	Dwudziestolecie PPR (Film)	1962
Rudnik E.		
Kotonski W.	Litera / La lettre (Film)	1962
Kotonski W.	Labirynt (Film)	1962
Markowski A.	Materia (Film)	1962
Patkowski J.		
Szifirski K. u.	Nad Tatrami (Film)	1963
Mazurek B.		
Markowski A.	Diably / Les Diables (Film)	1963
Kotonski W.	Fetel / Le fauteuil (Film)	1963
Markowski A.	Mete-gaz (Film)	1963
Patkowski J. u.		
Szifirski K.	Pejedynek / Le duel (Film)	1963

Rudnik E.	Docent Hammler (Film)	1964
Patkowski J. u.		
Szlifirski K.	Rezmowa /Une conversation (Film)	1964
Turski Z. u.		
Mazurek B.	Makbet (Bühnenmusik)	1964
Wiszniewski Z.	Praca (Hörspiel)	1964
Patkowski J. u.		
Szlifirski K.	Swiatle i dzwiek / Le son et la lumière (Film)	1964
Penderecki K.	Malerze gdanscy / Les peintres de Gdansk (Film)	1964
Penderecki K.	Kemu bije dzwony / For whom the bell tolls (Bühnenmusik)	1964
Penderecki K.	Slodkie rytmy / Doux rythmes (Film)	1965
Rudnik E.	Allegro vivace (Film)	1965
Patkowski J. u.		
Szlifirski K.	Sposob bycia (Film)	1965
Rudnik E.	Legendy Zodiaku (Bühnenmusik)	1965
Rudnik E.	Wykres / Le diagramme (Film)	1966
Rudnik E.	Pozegnanie z Maria (Fernsehspiel)	1966
Rudnik E.	00173 (Film)	1966
Patkowski J. u.		
Szlifirski K.	Niebo bez slonca (Film)	1966

SCHWEDEN

Sveriges Radio, Stockholm

a) autonome Musik

Lundblad Rune	Manens död (Konsert)	1 ¹ 1954
Hambraeus Bengt	Doppelrohr II (Konsert)	1 1955
Lundblad Rune	Fragment 0 (Konsert)	1 1955
Lundblad Rune	Fragment 1 (Konsert)	1 1955
Lundblad Rune	Fragment 2 (Konsert)	1 1956
Lundblad Rune	Satellit 60 (Konsert)	1 1956/57
Nilsson Bo	Würfelspiel (Konsert)	4 1957
Nilsson Bo	Zellen (Konsert)	4 1958
Hambraeus Bengt	Konstellationer II (Konsert)	2 1959
Hambraeus Bengt	Visioner över en svensk folkvisa (Konsert)	1 1959
Lundblad Rune	Sfär (Konsert)	1 1959
Nilsson Bo	Und die Zeiger seiner Augen wurden langsam zurückgedreht (Konsert)	4 1959
Lundsten Ralph	Främmande Planet (Konsert)	2 1960
Lundsten Ralph	Kosmisk meditation (Konsert)	2 1961
Nilsson Bo	Entree för ork. o band (Konsert)	4 1962/63
Lundsten Ralph	Dröm (Konsert)	2 1962
Lundsten Ralph	Kontrast (Konsert)	2 1963
Lundsten Ralph	Trancenden't (Konsert)	2 1963
Naumann Siegfried	Il Cantico del Sole (Konsert)	2 1963
Lundsten Ralph	Atomskymning (Konsert)	2 1964
Lundsten Ralph	Gryning (Konsert)	2 1964

¹ Anzahl der Spuren.

Rabe Folke	20th Century Jazz Tribute (Konsert)	1 ¹ 1964
Rabe Folke	Les fleurs africaines (Konsert)	1 1964
Rabe Folke	Elmus (Konsert)	1 1964
Hambraeus Bengt	Tetragon (Konsert)	4 1965
Nilsson Leo	Skorpionen (Konsert)	1 1965
Rabe Folke	ARG-NY 3/5/65 4-5 PM (Konsert)	1 1965
Rabe Folke u.		
Subotnik Morton	Fresno Drone (Konsert)	1 1965
Lundsten Ralph u.		
Nilsson Leo	Jo (Konsert)	1 1966
Lundsten Ralph u.		
Nilsson Leo	Nä (Konsert)	1 1966
Lundsten Ralph u.		
Nilsson Leo	Oj (Konsert)	1 1966
Lundsten Ralph u.		
Nilsson Leo	Visions of the flying saucers (Konsert)	1 1966
Mellnäs Arne	Intensity 6.5 (Konsert)	1 1966
Mellnäs Arne	??	1966
Nilsson Leo	Aurora (Konsert)	1 1966

b) angewandte Musik

Hambraeus Bengt	Framtiden (Indicatif)	1 1957
Hambraeus Bengt	Tidsspegel (Radio)	1 1957/58
Hambraeus Bengt	Reaktion (Radio/Indicatif)	1 1958
Blomdahl Karl-		
Birger	Mima-banden ur «Aniara» (Opera)	1 oder 2 1959
Hambraeus Bengt	Paussignal för TV (Indicatif)	1 1959
Werle Lars Johan	ur «Drömmen om Thérèse» (Opera)	2 1964
Hambraeus Bengt	Till Damaskus (Teater)	1 1965
Hambraeus Bengt	Klassiskt spel (Ballet)	2 1965
Nilsson Leo	Kalejdoskop (Bakgrund)	4/2/1 1965
Lundsten Ralph u.		
Nilsson Leo	Aloha Arita (Bakgrund)	4/2/1 1965
Rabe Folke	Mannen som övergav bilar (Film)	1 1965
Blomdahl Karl-		
Birger	Altisonans (Film)	1 oder 4 1966
Lundsten Ralph	EMS nr 1 (Film)	1 1966
Nilsson Leo	Skulpturmusik	1 1966
Welin Karl-Eric	Minos palats	4 1966

SCHWEIZ

Centre de Recherches sonores de la Radio Suisse Romande, Genève

a) autonome Musik für Tonband

Zumbach A.	Le Temps (poème radiophonique)	1962
Wildberger J.	Musique expérimentale pour «Epitaphe pour Evariste Gallois»	1963

¹ Anzahl der Spuren.

Kaegi W.	Eclipses, musique électronique pour quatre colonnes sonores (quatre pistes)	1964
Kaegi W.	Entretien No 1 (musique électronique, moniste)	1965
Kaegi W.	Suisse vigilante (version radiophonique, moniste)	1965
Kaegi W.	Version radiophonique de Mystic Puzzle II (stéréo)	1966

b) autonome Musik für Tonband und Instrumente oder menschliche Stimme

Kaegi W.	Mystic Puzzle II pour musique électronique et ensemble de jazz (bande sonore à quatre pistes, bande sonore stéréo et 13 instruments)	1966
Kaegi W.	Partition pour musique électronique, chœur mixte, narrateur et instruments (en préparation)	1967

c) angewandte Musik

Christen A.	Mus. de film avec essais sur instruments	1951
Sassi R.	Décor sonore pour La Vérité garantie	1956
Zumbach A.	Décor sonore pour Le porche du silence	1957
Sassi R.	Mus. pour Le Navigateur	1958
Zumbach A.	Musique pour C'est arrivé l'année prochaine	1958
Sassi R.	Musique pour L'œuf de Klein	1959
Sassi R.	Musique pour Qui peut remplacer l'homme	1959
Zumbach A.	Musique pour Le balcon du ciel	1959
Sassi R.	Musique pour Qu'était-ce	1960
Sassi R.	Musique pour Le mort n'avait pas de clé	1960
Sassi R.	Musique pour Les cierges de St-Laurent	1960
Sassi R.	Musique pour Gabriel Cousin	1960
Sassi R.	Musique pour Marc Alyn	1960
Sassi R.	Musique pour Ceux d'Argos	1960
Zumbach A.	Musique pour L'entreprise de la Vega	1960
Zumbach A.	Musique pour Le pendu insolite	1960
Zumbach A.	Musique pour Fond 31	1960
Sassi R.	Quatre en 1	1961
Zumbach A. u. Schneeberger	J'ai vu Dieu face à face	1961
Schulé B. u. Zumbach A.	La dernière étape (film)	1963
Zumbach A.	Cent ans d'histoire (pièce radiophonique)	1963
Zumbach A.	Nuit sur Ajax (pièce radiophonique)	1963
Kaegi W.	Suisse vigilante (musique électronique Expo 64 Lausanne)	1963/64
Zumbach A.	Expo 64 (film propagande)	1964
Zumbach A.	Le monde de l'image (film, Expo 64 Lausanne)	1964
Kaegi W.	L'art de la table (Indicatif, Expo 64 Lausanne)	1964
Kaegi W.	Flüsterbogen (Sonorisation, Expo 64 Lausanne)	1964
Kaegi W.	La porte noire (pièce radiophonique)	1964
Kaegi W.	Zéa (pièce radiophonique)	1965
Zumbach A.	Quelques-uns parmi d'autres (film)	1965
Zumbach A.	La ponctualité (film)	1966
Zumbach A.	Un lion vous attend (pièce radiophonique)	1966
Kaegi W.	Mystic Puzzle II (Télévision)	1966
Kaegi W.	Was ist elektronische Musik (film pour la Télévision Suisse)	1967

Im Studio Zürich der SRG wurden ferner folgende experimentelle Werke geschaffen:

Liebermann R., (von Ballmoos F., Pauli H., Harder H., Gutmann R.)	Sinfonie «Les Echanges» (Komposition für mittels Lochstreifen angesteuerte Büromaschinen, Autohupen, Eisenbahnglocken usw. Expo 64 Lausanne)	1964
Huber K. u. Harder H.	Askese (für Flöte, Sprechstimme und Tonband 1-spurig)	1966

VEREINIGTE STAATEN

The Electronic Music Center of Columbia and Princeton Universities, New York NY (CEPMC)

a) autonome Musik

Ussachewsky V.	Experiments: Transpositions, Reverberations, Composition	1952
Luening O.	Fantasy in Space	1952
Luening O.	Invention	1952
Luening O.	Low Speed	1952
Ussachewsky V.	Sonic Contours	1952
Ussachewsky V.	Underwater Valse	1952
Luening O. u. Ussachewsky V.	Rhapsodic variations for tape recorder and orchestra	1954
Luening O. u. Ussachewsky V.	Of Identity	1954
Ussachewsky V.	A poem in cycles and bells	1954
Ussachewsky V.	Piece for tape recorder	1956
Ussachewsky V.	Metamorphosis	1957
Ussachewsky V.	Studies in sound	1958
Luening O.	Dynamophonic suite	1958
Toyama M.	Waka (for voice and electronically modified piano sounds)	1959
Arel B.	Electronic Music No. 1	1960
El-Dabh H. u. Luening O.	Electronic Fanfare (for percussion, recorder and electronic sound)	1960
El-Dabh H. u. Luening O.	Diffusion of Bells	1960
Luening O. u. Ussachewsky V.	Concerted Piece for Tape Recorder and Orchestra (commissioned by Leonard Bernstein)	1960
Powell M.	Electronic Setting	1960
Smith W. O.	Improvisation for Clarinet and Recorded Clarinet	1960
Ussachewsky V.	De Forrest Murmurs	1960
Wuorinen Ch.	Consort from Voice and Instruments	1960
Arel B.	Stereo Electronic Music No. 1	1961
Arel B.	Music for a Sacred Service: Prelude and Postlude	1961
Arel B.	Short Study	1961
Arel B.	Dramatic Fragment: The Scapegoat	1961

Babbitt M.	Composition for Synthesizer	1961
Babbitt M.	Vision and Prayer	1961
Davidovsky M.	Electronic Study No. 1	1961
El-Dabh H.	Leilya and the Poet	1961
Luening O.	Gargoyles (for violin solo and synthesized sound)	1961
Luening O.	A Day In The Country	1961
Luening O.	Study in Synthesized Sounds	1961
Ussachewsky V.	Creation: Prologue (for four choruses and electronic accompaniment)	1961
Wuorinen Ch.	Symphonia Sacra	1961
Arel B.	Music for String Quartet and Electronic Sound (complete revision of tape part only)	1962
Davidovsky M.	Electronic Study No. 2	1962
Luening O.	Sonority Canon	1962
Luening O.	Synthesis for Orchestra and Tape	1962
Varèse E.	Deserts (for chamber orchestra and organized sound). Revision of the electronically organised sound parts	1962
Whittenberg Ch.	Electronic Study No. 2 with Contrabass	1962
Carlos W.	Dialogues for Piano and Two Loudspeakers	1963
Davidovsky M.	Synchronisms No.1 (for flute and electronic sound)	1963
Finney R.L.	Three Pieces for Strings, Winds, Percussion and Tape Recorder	1963
Mac Innes D.	Intersections for Tape Recorder and Orchestra	1963
Avni T.	Vocalise	1964
Babbitt M.	Ensembles for Synthesizer	1964
Babbitt M.	Philomel (for soprano, recorded and transformed soprano and synthesized accompaniment (text by J.Hollander)	1964
Carlos W.	Variations for Flute and Electronic Sound	1964
Davidovsky M.	Synchronisms No.2 (for chamber ensemble and electronic sound)	1964
Davidovsky M.	Contrastes (for string orchestra and electronic sound)	1964
Lewin-Richter A.	Electronic Study No. 1	1964
Mimaroglu I.	Bowery Bum (Visual Study No. 3)	1964
Mimaroglu I.	Four the News (Visual Study No. 1)	1964
Mimaroglu I.	Green on a Black (Visual Study No. 2)	1964
Mimaroglu I.	Intermezzo	1964
Mimaroglu I.	Le Tombeau d'Edgar Poe	1964
Davidovsky M.	Synchronisms No.3 (for cello and electronic sound)	1965
Lewin-Richter A.	Electronic Study No. 2	1965
Luening O.	Suite from Theatre Piece No.II (revised)	1965
Mimaroglu I.	Agony (Visual Study No. 4)	1965
Mimaroglu I.	Anacolutha	1965
Mimaroglu I.	Transitive I	1965
Ussachewsky V.	Of Wood and Brass	1965
Wuorinen Ch.	Orchestral and Electronic Exchanges	1965
Davidovsky M.	Electronic Study No. 3	1966
Appleton J.	Columbia Etude No. 1	1966

Appleton J.	Georgianna's Fancy (4 tracks)	1966
Druckmann J.	Animus I (4 tracks)	1966
Ezaki K.	Electronic Music 225	1966
Ezaki K.	Electronic Music 313	1966
Ezaki K.	Electronic Music 402	1966
Ezaki K.	Fantasy	1966
Ezaki K.	Gagaku	1966
Ezaki K.	Meiso No. 1	1966
Ezaki K.	Meiso No. 2	1966
Ezaki K.	Metamorphism of One Short Attack	1966
Ezaki K.	Study for Orchestra, Voices and Electronic Sound	1966
Ezaki K.	Subway in New York	1966
Friedman G.	Suite from Macbeth	1966
Friedman G.	Music for Art	1966
Ghent E.	Hex, An Ellipsis for Trumpet, Instruments and Tape	1966
Lanza A.	Exercises I	1966
Lanza A.	Interferences	1966
Lanza A.	Plectros II	1966
Mimaroglu I.	Prelude No. 1	1966
Mimaroglu I.	Transitive II	1966
Mimaroglu I.	White Cochatoo	1966
Shields A.	Magikos	1966
Shields A.	Walking on the Surface of the Sun	1966

b) angewandte Musik

Ussachewsky V.	Short electronic sequence (film score)	1954
Luening O. u.		
Ussachewsky V.	Carlsbad Caverns (Radio)	1955
Luening O. u.		
Ussachewsky V.	King Lear (incidental music for the play)	1956
Luening O. u.		
Ussachewsky V.	Suite «King Lear»	1956
Luening O.	Theatre Piece No.II (for tape, piano, narrator, percussion and wind instruments)	1956
Luening O. u.		
Ussachewsky V.	Film score (TV)	1957
Luening O. u.		
Ussachewsky V.	Back to Methuselah (incidental music for the play)	1958
Luening O. u.		
Ussachewsky V.	Ulysses in Hight Town (incidental music for the play)	1958
Ussachewsky V.	The Boy who Saw Through (film score)	1959
Nikolais A. u.		
Seawright J.	Facets (for a ballet by M. Louis)	1962
Ussachewsky V.	No Exit (film score)	1962
Nikolais A. u.		
Seawright J.	Imago (ballet music)	1963
Luening O.	Introduction to Electronic Music for Primary Schools (Part of the recorded series <i>Making Music Your Own</i>)	1965
Nikolais A. u.		
Seawright J.	Galaxy (ballet music)	1965

Friedman G.	Score for «Dream»	1966
Mimaroglu I.	Sodom et Gomorrhe (music for Giraudoux's play)	1966
Shields A.	Icarus (incidental music for 4-H Club, 2 plays by S. Shepard)	1966
Winkler P.	Agamemnon (incidental music for the play)	1966

University of Illinois Experimental Music Studio, Urbana

a) autonome Musik

Hiller L. u. Isaacson L.	Illiac Suite for String Quartet (Computer Music)	1957
Shallenberg R. u. Hoffmann J.	Three Electronic Studies	1959
Sigurdbjornson Th.	Leikar No. 3 (Electronic Music)	1961
Tenney J.	Collage No. 1 (Concrete Music)	1961
Ward-Steinman D.	Piano Collage (Concrete Music)	1961
Wilson G.	Inchoate Study (Electronic Music)	1962
Turner Th.	Music for Electrophones (Electronic Music)	1962
Sandusky K.	Loop Study (Electronic Music)	1962
Hiller L.	Amplification, an Overture for Tape Recorder and Theatre Band (Electronic Music monaural tape with instruments)	1962
Hiller L.	Seven Electronic Studies (Stereophonic tape)	1963
Andrus D.	Electronic Study (Stereophonic tape)	1963
Baker R.	CSK-1 Study (Computer Music, stereophonic tape)	1963
Hiller L. u. Baker R.	Computer Cantata (Computer Music, stereophonic tape with voice and chamber ensemble)	1963
Hamm Ch.	Canto (Electronic Music, tape with speaker, soprano and chamber ensemble)	1963
Gaburo K.	Antiphone IIIa ¹ (Electronic Music, stereophonic tape and mixed chorus)	1963
Gaburo K.	Antiphone III ¹ (Electronic Music, stereophonic tape and 16-part chorus)	1964
Brün H.	Futility 1964 (Electronic Music, stereophonic tape)	1964
Hiller L.	Machine Music for Piano, Percussion and Tape (Electronic Music, stereophonic tape with instruments)	1964
Lavy B.	Gnomes (Electronic Music, stereophonic tape)	1964
Lin E.	Shomyo, for Violin, Percussion and Tape (Electronic Music, stereophonic tape with instruments)	1964
Reid R.	Construction and Improvisation (Electronic Music, stereophonic tape)	1964
Fuller R.	Composition for Two Percussionists and Tape (Electronic Music, stereophonic tape with instruments)	1964
Martirano S.	Underworld (Electronic Music, stereophonic tape with voices and instruments)	1965
Gaburo K.	Lemon Drops (Electronic Music, stereophonic tape)	1965

¹ Partially prepared at the *Electronic Music Studio at Yale University, New Haven, Conn.*

Brün H.	Sonoriferous Loops (Computer Music, stereophonic tape with instruments)	1965
Neuhaus M.	Realization of «27'10» by John Cage (Concrete Music, stereophonic Tape with percussion)	1965
Powell M. u. Lewis J.	Tape Piece Using Trombons Sounds (Concrete Music, stereophonic tape)	1965
Bastin E.	Ghost Sonata (Electronic Music)	1965
Mayhew Th.	Linear Impressions (Electronic Music, stereophonic tape)	1965
Myhill J.	Scherzo a Tre Voce (Computer Music)	1965
Ezaki K.	Electronic-Composition No. 1	1966
Grossman G.	First Sound Piece (Electronic Music)	1966
Gaburo K.	For Harry (Concrete Music, stereophonic tape)	1966
Hiller L.	A Triptych for Hieronymus (Electronic Music, stereophonic with projections, dancers, actors and orchestra)	1966
Hiller L.	Suite for Two Pianos and Tape (taken from the above. Electronic Music, stereophonic tape with instruments)	1966
Grossman G.	Four Studies for Illiac II (Computer Music, stereophonic tape)	1966
Brün H.	Non-Sequitur VI (Computer Music, stereophonic tape with instruments)	1966
Winsor Ph.	Sound Study III (Electronic Music, stereophonic tape)	1966
Chegwidden L.	Retrograde Spiral Study (Electronic Music, stereophonic tape)	1966
Hiller L.	Algorithms I (Computer Music, stereophonic tape plus instruments)	1967

b) angewandte Musik

Hiller L.	Electronic Music for «Blue is the Antecedent of It» (theater)	1959
Hiller L.	Electronic Music for «Cuthbert Bound» (theater)	1960
Tenney J.	Three Improvisations for «Medea» (Concrete Music for theater)	1960
Hiller L.	«Nightmare Music» for Time of the Heathen (Electronic Music for a film)	1961
Andrus D.	Incidental Music for «Macbeth» (Concrete Music)	1964
Gaburo K.	Hydrogen Jukebox (Electronic-Concrete Music for theater)	1965

PS: Vgl. auch *Technical Report No. 11* dieses Studios (vorläufiges Komponistenverzeichnis, zusammengestellt von Sven H. Hansell, Februar 1966).

Studio für elektronische Musik an der Brandeis University Mass.

Krenek E.	Quintona	1965
-----------	----------	------

Nachtrag:

JAPAN (neue Liste 1967)

NHK Electronic Music Studio, Nippon Hoso Kyokai, Tokyo

a) autonome Musik

Studio member	Experimental Music	1954
Mayuzumi T.	Music on Sine waves	
	Music on modulated waves with a ratio of primal number	
	Invention on square waves and saw tooth waves	1 ¹ 1955
Shibata M.	Music concreto for Stereophonic Broadcasting	2 1955
Moroi M. and Mayuzumi T.	Variation on numeral principle of «7» (first work of NHK electronic Music studio)	1 1956
Mayuzumi T.	«AOI NO UE» (based on a NO-PLAY)	1 1957
Matsushita S.	A black Monastery (Narration chorus, percussion ensemble and electronic sounds)	1 1959
Moroi M.	Stars of Pythagorus (Narration, chamber orchestra, chorus and electronic sounds)	1 1959
Miyoshi A.	Ondine (dialogue, orchestra, chorus and electronic sounds)	2 1959
Mayuzumi T.	Campanology (concrete music)	1 1959
Moroi M.	A Red Cocoon (monologue, chorus, chamber orchestra and electronic sounds)	1 1960
Irino Y.	Waves and A Flute (dialogue, chorus, full orchestra and electronic sounds)	1 1960
Moroi T.	Variete	1 1962
Takahashi Y.	Phongène (composed on the method of Stochastic; four fragments with electronic sounds, three fragments for instruments)	1 1962
Ichiyanagi T.	Parallel Music (four human voices and electronic music)	1 1962
Takemitsu T.	Arc (orchestra work. Composer makes a tape of electronic music and when the performance is held, the tape should be played)	2 1963
Ichiyanagi T.	Invitation for the dark (music mostly constructed with Japanese traditional instruments)	1 1964
Yuasa J.	Projection esemplastic (music built with only white noise. Cutting the band of noise or changing this band by special equipment this piece has some special space effect)	1 1964
Matsudaira Y.	Trangent '64 (music built with a method of destroying white noise and square waves)	1 1964
Miho K.	Divertimento (Instrumental work with electronic sound as some effects)	1 1964
Moroi M.	«KUSABIRA»-Mashroom- (electronic sounds added to «KYOGEN» to make effect of «enormous mash-room»)	2 1964
Ichiyanagi T.	«Kû» «Vacant»	1 1965
Mayuzumi T.	Three Hymns for the Tape	1 1965

¹ Anzahl der Spuren.

Moroi M.	PAETON (orchestra, dialogue, chorus and electronic sounds)	2 ¹ 1965
Ishi-i M.	HAMON - Ripples - (for Stringquartet and electronic sounds)	2 1965
Stockhausen K.	Telemusic 1	5 1966
Stockhausen K.	Solo for melodie instrument (composed for the melodie instrument. Picking up the sound of this instrument and guiding to delay-system and playing back to five speakers to make poliphony by one player)	2 1967
Yuasa J.	«IKON» on the source of white noise	5 1967
Mayuzumi T.	Campanology for «Multi Piano» (prepared piano, sounds picked up directly from the strings and leaded to electronic equipment. Composer intend a live performance of electronic music)	2 1967
b) angewandte Musik		
Moroi T.	Program theme music (radio or TV)	1 1956/57
Moroi T.	Along the long, long street (radio)	2 1961
Moroi T.	YAMAMBA (Opera with solo-dance and electronic music)	5 1961
Mayuzumi T.	Olympic Campanology (composed for 1964 Olympiad Tokyo)	4 1964

¹ Anzahl der Spuren.

REGISTER

Namenverzeichnis

Aitken 210
Andrus D. 234, 235
Angelini L. 223
Applebaum 212
Appleton J. 232, 233
APSOME, Studio 222
Arel B. 231, 232
Arrigo G. 223
Arthuys P. 219, 221
Avni T. 210, 232
AVRO, Programmgesellschaft 224

Babbitt M. 232
Bach J.S. 173, 174, 195
Badings H. 224, 225, 226
Baker R. 234
Balestrini 223
Ballif C. 220
Ballmoos F. von 231
Barbaud P. 217
Barlow W. 225
Baronnet J. 222
Barraque 219
Bartholomée P. 207, 209
Bastin E. 235
Bayle F. 220, 221
Beckwith 210, 211
Beecroft 211
Beethoven L. v. 194
Behrman 207
Berio L. 31, 222, 223
Berlioz H. 176
Beyst E. 207, 209
Bialas G. 217
Biel M. von 215
Blacher B. 188, 213, 214
Blomdahl K. 229
Boehmer K. 214
Boerman J. 224, 225
Boesmans Ph. 209
Boucoucheliev A. 220, 221, 222, 223
Boulez P. 192, 213, 219

Brahms J. 195
Brentano Cl. von 153
Brown E. 30
Brün H. 217, 234, 235
Bruynel T. 224, 225
Bucchi V. 223
Büchner Georg 157
Buckinx B. 208
Busoni F. 16

Cage J. 30, 193, 196, 217, 223
Cahill Th. 16
Canton E. 220, 221, 223
Carlos W. 232
Carson P. 220, 221
Castiglioni N. 223
Ceely R. 223
Chamass M. 220, 221
Charpentier 211
Chegwidien L. 235
Cherney 211
Christen A. 230
Ciamaga G. 210, 211, 212
Clementi A. 223
Clouzot O. 220
Couperin le Grand 29
CPEMC, Studio 30, 231
Cramer H. von 217
Cross 211, 212

Dall'Olio R. 223
Davidowsky M. 232
Davis H. 63, 69
Debras L. 208
Debussy Cl. 155, 164
Defossez R. 208, 209
de Leeuw T. 224, 225, 226
De Meester L. 208, 209
De Raulin B. 220
Diaghilew S. 29
Dianda H. 223
Dissevelt 225, 226

Dobrowolski A. 226, 227
Dolin S. 212
Donatoni F. 223
Donner H.O. 218
Druckmann J. 233
du Bois R. 225
Dufrene F. 222

Eimert H. 31, 92, 214
Eisma W. 225
El-Dabh H. 231, 232
Enkel F. 92
Evangelisti F. 214
Ezaki K. 233, 235

Feldmann M. 30
Ferrari L. 220, 221
Finney R.L. 232
Fletcher H. 39
Fourier J.B. 40
Friedman G. 233, 234
Fritsch J.G. 215
Fuller R. 234

Gaburo K. 234, 235
Gauthier S. 220
Gazelle D. 208, 209
Gelder von 226
Ghent E. 233
Giltay B. 225
Glasgow 210
Gnazzo 210, 212
Goethals L. 208, 209
Goethe J.W. von 158
Goeyvaerts K. 31, 209, 214
Gorter K. 225
Gredinger P. 31, 214
Groep «Spectra» 209
Grossi P. 223
Grossman G. 235
Grübner L. 214
Guthro 211
Gutmann R. 231
Gygi Cl. 200

Halffter C. 225
Hall von 226
Hambracus B. 214, 217, 223, 228, 229
Hamm Ch. 234
Hanisch E. 217
Harder H. 231
Hartig H.F. 213

Hashagen K. 217
Hassell J. 210, 223
Haubenstein-Ramati 214, 219, 220
Haydn Jos. 29, 169, 194, 195
Heiss H. 214, 215, 216, 217
Helistö P. 218
Helmholtz H. von 14, 133
Henry O. 210
Henry Pierre 30, 219, 220, 221, 222
Hertz H. 36
Hidalgo 220
Hiller L. 106, 193, 234, 235
Hindemith Paul 170
Hodeir A. 219
Hoffmann J. 234
Hölderlin Fried. 160
Honegger Arth. 17
Huber Kl. 231

Ichyanagi T. 236
Ingres J. Aug. 23
I.P.E.M., Studio 208
Irino Y. 224, 236
Isaacson L. 106, 234
Ish-i M. 237
Ivey 210

Johansson B. 218
Jörns H. 218
Jyrkiäinen R. 218

Kaegi W. 91, 109, 200, 230
Kagel M. 192, 214, 217, 226
Kelemen M. 217
Killmayer W. 217
Klebe G. 31, 214
Kleist Hch. von 153, 155, 157
Koenig G.M. 31, 90, 214, 226
Kooy V.D. 225
Kotonski W. 226, 227
Kox H. 224, 225
Krause E. 214
Krause M. 213, 214
Krenck E. 31, 213, 214, 235
Küpper L. 207
Kuusisto I. 218

Lachenmann H. 208
Lanza A. 233
Lavy B. 234
Lawryshyn 211
Lewin-Richter A. 232

Lewis J. 235
Liberovici S. 223
Liebermann R. 231
Lilburn 210
Lin E. 234
Loose M. 208
Luening O. 31, 231, 232, 233
Lully J.B. 29
Lundblad R. 228
Lundsten R. 228, 229

Maarn A.V. 225
Mache F.B. 220, 221, 227
MacInnes D. 232
Maderia B. 31, 194, 222, 223
Maddox A. 227
Malec I. 220, 221
Mangs 207
Manzoni G. 223
Marez Oyens T. de 225
Marie J.-E. 220
Marinuzzi G. 223
Markowski A. 227
Martirano S. 234
Masseus 226
Mather 211
Matsudaira Y. 236
Matsushita S. 224, 236
Mayuzumi T. 31, 224, 236, 237
Mayhew Th. 235
Mazurek B. 227, 228
Mellnäs A. 229
Meriläinen U. 218
Messien Oliv. 17
Meyer-Eppler W. 31, 54, 59, 66
Meyer-Tormin W. 208
Miho K. 236
Mills-Cockell 211
Mimaroglu I. 232, 233, 234
Miyoshi A. 224, 236
Mogg W. 226
Moroi M. 31, 224, 236, 237
Morthenson J.W. 223
Mozart 174, 176, 193, 194, 196
Munson W.A. 39
Myhill J. 235

Naumann S. 228
N.C.R.V., Programmgesellschaft 224
Neuhaus M. 235
NHK, Studio 31, 224, 236
Nikolais A. 233

Nilsson Bo 214, 228
Nilsson L. 229
Nono L. 223
N.R.U., Nederlands Radio Unie 224

Ohm G.S. 14
Olejar 211, 212
Oliveros P. 212
Olnick H. 210, 211, 212
O.R.T.F. 30, 219

Paccagnini A. 223
Parmegiani B. 220, 221
Patkowski J. 227, 228
Pauli H. 231
Pede E.M. 212
Pedersen 210, 211
Penderecki K. 227, 228
Perrini L. 220
Philippot M. 219, 220
Plaetner J. 212
Pongracz Z. 226
Ponse L. 225
Pottebaum 212
Pousseur H. 31, 207, 209, 214, 222
Powell M. 231, 235
Pythagoreer 165

Raaijmakers D. 224, 225, 226
Rabe F. 229
RAI, Studio 31, 222
Rameau J.Ph. 170
Rautavaara 218
Ravel M. 175
Redner H. 223
Reid R. 234
Riedl J.A. 89, 217
Riehn R. 226
Righarts 225
Robb 210
Robinson 210
Rollin M. 219
Rousseau N. 209
Rudnick I. 190
Rudnik E. 227, 228
Rüfer R. 213
Rusling 210, 211
Russel Bertr. 162
Rydman K. 218

Salmenhaara 218
Sandusky K. 234

Sassi R. 230
Sauguet H. 220
Schaefer R.M. 212
Schaeffer M. 210, 211, 212
Schaeffer Pierre 30, 219, 220, 221
Schäffer B. 227
Schat P. 225
Schlegel, Gebrüder 169
Schneeberger 230
Schönberg A. 170, 181
Schröpper W. 213
Schulé B. 230
Seawright J. 233
Shakespeare William 169
Shallenberg R. 234
Shibata M. 236
Shields A. 233, 234
Shinohara M. 213, 226
Sifonia F. 223
Sigurdbiornson Th. 234
Sikerski T. 227
Skilling J.K. 62, 63
Smith W.O. 231
Somers 212
Souffriau A. 207
Southam 211
Spek J. 225
STEM, Studio 224
Stevens S. Smith 63, 69
Stiblj M. 226
Stockhausen K. 31, 92, 97, 98, 185, 214, 215, 237
Strauss Rich. 176
Strawinsky Igor 178, 179, 181
Stuckenschmidt H.H. 30, 32
Studio für elektronische Musik
- Berlin 213
- Brüssel 31, 207
- Darmstadt 215
- Den Haag 224
- Genf 31, 115, 229
- Gent (IPEM) 208
- Helsinki 218
- Köln (WDR) 31, 214
- Köln 215
(Staatliche Hochschule für Musik)
- Kopenhagen 212
- London 218
- Mailand 31, 222
- München 88, 217
- New York (CPEMC) 30, 231
- Paris (APSOME) 222

- Paris (ORTF) 30, 219
- Stockholm 228
- Tokyo 31, 224, 236
- Toronto (UTEMS) 210
- Urbana, Illinois 31, 106, 234
- Utrecht (STEM) 224
- Utrecht (BRUYNEL) 224
- Warschau 226
Subotnik M. 229
Szlifirski K. 227, 228

Tahourdin 211
Takahashi Y. 193, 236
Takemitsu T. 236
Tcherepnin I. 212
Tcherepnin S. 223
Tenney J. 234, 235
Thärichen W. 213
Theremin L.S. 17
Tieck Ludw. 169
Toffoletti M. 223
Togni C. 223
Toyama M. 231
Turner Th. 234
Turski Z. 228

Ussachewsky V. 31, 231, 232, 233
UTEMS, Studio 210

Vandelle R. 220
Van de Woestyne D. 209
Van Soens R. 208
Van Weerst E. 208, 209
VARA, Programmgesellschaft 224
Varèse E. 30, 219, 225, 232
Verdi Gius. 154, 164
Verlaine P. 155
Vlad R. 223

Wagner Rich. 29, 176, 177
Walter A. 210, 211, 212
Ward-Steinman D. 234
Weber C.M. von 175, 176
Webern A. 180, 181
WDR, Studio 31, 214
Welin K.-E. 229
Welte E. 16
Werle L.J. 229
Whitehead A.N. 162
Whittenberg Ch. 232
Wiener Norb. 26
Wildberger J. 229

Wilks J. 223
 Wilkinson M. 223
 Williams 211
 Wilson G. 234
 Winckel F. 31, 36, 71, 213, 214
 Winkler P. 234
 Winsor Ph. 235
 Winsor Ph. R. 223
 Wiszniewski Z. 227, 228
 Wittgenstein Ludw. 174
 Wolff Chr. 30

Wuorinen Ch. 231, 232

Xenakis I. 193, 220, 221

Yuasa J. 236, 237

Zimmermann B.A. 215

Zonneveld J.A. 163

Zuccheri M. 223

Zumbach A. 31, 223, 229, 230

Zupko R. 226

Sachverzeichnis

- Abfallzeit 61
- Abtaster 73
- , Lochstreifenleser 85f.
- , Tonabnehmer 16
- Aetherophon 17
- Agogik 179
- Akkord 43f., 170ff., 176, 181
- Akustik 72
- , akustisches Register 48
- , Elektro- 18, 23, 25
- , Mikrophon- 22
- , Raum- 104
- ALGOL 162f., 169
- Amplitude 35ff., passim
- Amplituden | beschneidung 140
- modulation 51, 54, 68f., 72, 84, 87, 124f., 159
- quantisierung 88
- verhältnisse 40, 85, 134, 142
- verlauf 82, 84, vgl. Hüllkurve
- Zeit-Ebene 91
- Analyse 15, 58
- , Geräusch- 60
- , Werk- 170
- Arioso 163
- Aspiration 148
- Asymmetrie 140, 143
- , asymmetrische Anordnung der Nulldurchgänge 140
- , nicht zeitsymmetrische Pulsfolgen 66
- , nicht zeitsymmetrisch modulierte Signal 143
- Atem 141, 148ff.
- Audiobereich 159, vgl. Hörbereich
- Aufführung 19ff., 25ff., 102, 106 108f.
- , simulierte 22
- , vollautomatische 107
- Aufnahme 27f., 81, 83ff., 97, vgl. Tonbandaufzeichnung
- , gestellte 22
- , Live- 21f.
- , pegel 80
- , Playback- 191
- Aufsprechkopf 73, 76
- Aufzeichnung, elektromagn. 138
- Autor 24
- Baldwin-Organ 16
- Ballett 183
- Band siehe Tonband
- geschwindigkeit 73, 79, 84, vgl. Laufgeschwindigkeit
- manual 17
- maschine siehe Tonbandmaschine
- montage 22, 27, 30, 85
- musik 99, vgl. Tape music
- rauschen 80
- schnitt 22, 85
- spur 79, 95, 97f.
- Basilmembran 133
- Beatmusik 184
- Bedeutung 168f., 173f., 195
- Belcanto 142
- Bewegungsmotorik 159
- Bild 190ff.
- binäre Gliederung 135
- Information 141, 143
- Bühnensänger 97
- Cassation 166
- Chorische Besetzung 56
- Cembalo 175
- Cinelle 59
- Coder 78, vgl. Vocoder
- Codewörter 158
- Codieren 85ff., 100
- Codierung 183
- Codifizieren 158
- Computer 32, 106f., 110, 162f., 192, 195
- musik 106
- , Rechenmaschine 162

Continuum siehe Kontinuum
cps 36, vgl. Hertz

Dämpfer 72
Dämpfung 36, 149
Dezibel 36, 38 ff.
Differenzton 47, 52 f.
Diskontinuum 179, 181
Distanz, Überwindung der 19 f.
Druckakzent 159
Dualzahlen 147, vgl. 12
Dynamik 171 f., 176, 179
Dynamophon, Cahillsches 16

Echo 72 ff., vgl. Nachhall
– kammer 74
Einheit siehe Maßeinheit
– der Frequenz 36, 166
– der Zeitdauer 166, 182 f.
Einsatz 70
–, freier 70
–, Spreng- 153
Einsetzen 69 f., 71
Einschwingen 69 ff., 151, 166
Elektro | akustik 18 ff., 190, 192
– akustische Musikinstrumente
siehe Musikinstrumente
Elektronenröhre 16, 18
Elektronische Musik passim
Elementarsignal 14, 34, 61
Emotion 141 f., 159, 164, 168
Emotionalisierung 154, 159
emotionelle Information 138 f.,
141 f., 151, 153, 155, 157, 162
Empfindung 45, 52 f., 56, 61 f., 66,
68, 132, 148
–, Hör- 35 ff., 43, 51 ff., 58, 61, 68,
88, 132, 135, 143, 148, 171, 186 f.
–, Klang- 45, 132, 135 f., 152
–, Schmerz- 133
–, Tast-, taktile 135, 159
–, Zeit-, zeitliche 141, 154, 158
«ETWAS oder NICHTS» 141, 143
Experimental music 29, vgl. 207

Farbe siehe Klangfarbe
Feedback 26, vgl. Rückkopplung
Fern | sehen 19, 23 f., 93 f., 100
– übertragung 19 ff., 27
Figuren (topi) 104, vgl. Programm
Film 23 f., 30, 88
– musik 174

Filter 58 ff., 69, 81, 86, 100
Flanken 61 ff.
– steilheit 61, 63
Flöte 27, 35
Flügel 27, 72
–, Neo-Bechstein- 16
–, Pianoforte 175
–, präpariertes Klavier 30
Folge von Stößen 53, vgl. Pulsfolge
und Stoßfolge
Formant 118–132, 141, 148
– bereich 118–130, 134
Form, musikalische 172 ff., 182, 184
Formenlehre 169
Fourier-Reihentheorie 40
Frequenz 35 ff., passim
– Amplituden-Verteilung 144 ff.
– band 57, 59
– bereich, absoluter 118 ff., 131 ff.
– einheit 36, 166
– inhalt von Impulsen 63 ff.
– modulation 53, 68 f., 76, 83 f., 86,
87, 136, 149, 159
– umsetzer, -umsetzung 74 ff., 81,
87, 91, vgl. Ringmodulator
– verhältnis, harmonisches 45 ff., 75
– verhältnis, subharmonisches 48
– verhältnis, rationales 185
– verhältnis, irrationales 76
– zähler 46
Frequenz-Zeitordnung 171 ff.
Funk siehe Rundfunk
Funktionskurve 179

Gaußsches Rauschen 58
Geige 26
–, elektr. modifizierte 16
Generator 16
– für weißes Rauschen 58
–, Impuls- 64 f.
–, Rechteck- 41 f.
–, Sinus- 36
–, Sprach- 78
–, Tone-burst- 62
Geräusch 56, 61 ff., 72, 78, 114, 144 ff.,
vgl. Rauschen
– analyse 15, 60
– band 145, 148, 150
–, farbiges 58 ff., 143 ff.
–, Kurz- 61 ff., 143 ff.
– laut 144 ff.
– signal 139 ff.

– spektrum 57, 70, 144 ff.
–, Stör- 15
–, summendes 57
Gestalt 44, 184
Gustus 190 f.
Gitarre, elektr. 16
Glissando 179
Glockenspiel, synthetisches 48
Gong, synthetischer 48
Großverteiler 24
Guckkastenprinzip 96

Hall siehe Nachhall
– gitter 73
–, Verhallung 22, 84, 87
Hammond-Orgel 16
Happening 18
Harfe 101, 176
Harmonie 155, 175 f.
– lehre 169 ff., 179
Harmonik 181
–, funktionelle 172
Harmonische 45 ff., passim
– Frequenzverhältnisse 45 ff., 75
– Klänge 45 ff., 54, 76, 114, 116 ff.,
142, 150, 152 f., 165

Helligkeit 151
–, Hell und Dunkel 133 ff.
Hertz 36, passim
«HIER und JETZT» 19 f., 105
Hochmittelalter, Musikauffassung
des 165
Hör | bereich, menschl. 37 ff., 46
– empfindung 35 ff., 43, 51 ff., 58, 61,
68, 88, 132, 135, 143, 148, 171, 186 f.
– grenze 145, vgl. 39 und 135
– schwelle 38 f.
Hörer 24, 29, 71, 104, 172, 181, 196,
vgl. Zuhörer
Horn | artiger Klang 47
–, Wald- 44, 150, 179
Hüllkurve 50, vgl. Amplituden-
verlauf

Impuls 14, 61 ff., 77, 82 ff., 90,
139 f., 154, vgl. Kurzgeräusch
und Knack
–, Dreieck- 64
– folge (Pulsfolge) 65 f., 68 f., 151, 153
–, Frequenzinhalt des 63
–, gefilterter 90
– generator 64 f.

–, Rechteck- 62 ff.
–, sinusförmiger 62 f.
–, verhallter 80
Indeterminismus 31, 192
Industrialisierung 24
Information 15, 26, 34, 138 ff.,
151 ff., 168, 197
–, binäre 141, 143
–, emotionelle 138 f., 141 f., 151,
153, 155, 157, 162
–, logische 139 f., 151, 153, 158 f.
Instrument siehe Musikinstrument
Instrumental | ensemble 96, 145
– ist (–musiker, –solist) 71, 96, 108 f.,
182
– musik (–werk) 88 f., 93, 111, 168 ff.
183 ff.
Instrumentationslehre (–mentieren)
171, 176
Instrumentenbau (–er) 17, 110, 165
Interferenz 41
Interpret 20 f., 24, 26, 71, 103,
106 ff., 179, 185
Intervall 46 f., 52 f., 74 f., 170
Iteration 73 f., 76

Kammermusik 166, 194
Kanal 15, 78, 94 f., 98
–, mehrkanaliges Wiedergabesystem
94
Kaskade siehe Kommunikationskette
Kathodenstrahl-Oszillograph 46 f.
Klang 40 ff., passim
–, geräuschhafter 54, 56, 65, 76,
143, 152
–, harmonischer 45 ff., 54, 76, 114,
116 ff., 142, 150, 152 f., 165
–, hornartiger 47
–, klarinettenartiger 42, 46
–, rauher 54, 76
–, rhythmisch gegliederter 54 f.
–, subharmonischer 48, 80, 82, 84, 87
–, Stimm- 124, 127, 149 f., 152
Klang | bild 185
– empfindung 45, 132, 135 f., 152,
vgl. Klangfarbenempfindung
Klangerzeugung 14, 185, 188,
vgl. Klangfarbenerzeugung
–, synthetische 14, 16
Klangfarben 42, passim, vgl.
Vokalfarbe
– empfindung 43, 128, 131, 149,

155, vgl. Klangempfindung und Vokalfarbenempfindung
 -erzeugung 46ff., 188, vgl. Klang-
 erzeugung
 -melodie 170
 Klangquelle 99, vgl. Schallquelle
 -, Impulsgenerator 65
 -, Rauschgenerator 59
 -, Sinusgenerator 36f.
 -, Stimme 124
 Klang | synthese 14, 40ff., 59
 -vorstellung 185, vgl. Vorstellung
 -wahrnehmung 151f., vgl. Klang-
 empfindung
 -wanderung 97
 Klarinette 44f., 49, 176
 -, Baß- 176
 Klasse 139
 -, merkmale 139
 -, Merkmalzeichen 147
 -, Klassenzeichen 138
 Klavier, präpariertes 30, vgl. Flügel
 Klirrfaktor des Ohres 133
 Knack 61ff., 65, 152
 Knall 62, 72
 Koloristik (Kolorierung) 174, 179
 Kommunikations | kette (-kaskade)
 18ff., 34, 108ff., 195
 Komponist 29, 34, 36, 43, 60, 65,
 68, 93, 99, 103, 107ff., 114, 181f.,
 185, 188, 193, 195
 Kompression des weißen Rauschens
 59, 67
 Konfiguration 174, 184, 187
 Konkrete Musik 30
 Kontinuum 88, 99, 114, 174f., 177,
 179, 188
 -, Lautsprecher- 98
 -, Schallquellen- 97
 Kontrapunkt 170
 -, Kontrapunktischer Satz 171
 Konzert 18, 25, vgl. Aufführung
 -aufführung 21, 25, 191
 -saal 19, 24, 28, 72, 93, 108, 191
 Kopie (Tonband-) 27, 80ff.
 Kurven | gleicher Lautheit 38
 -, Funktions- 179
 Kybernetik 26, vgl. Steuerung
 Laufgeschwindigkeit (Band-) 79, 88
 -, FM durch Änderung der Band-
 laufgeschwindigkeit 84

-, Lesegeschwindigkeit 182f.
 Laut passim
 Laut | heit (-heitsempfindung) 35ff.,
 44, 48f., 51f., 54, 61, 70f., 136,
 138, 141f., 164, 171, 187
 -heitsbeziehungen 40
 -heitsgrade 166
 -, Plosiv- 139, 151ff.
 -, Reibe- 139, 144
 -, signal 138, 151f., 155, 162, vgl.
 Stimmsignal
 -sprecher 16, 19, 24f., 37, 70,
 92ff., 190f., 196
 -sprecherplatzierung 93ff., 102, 186
 -stärke 27, 38, 40, 70, 88, 102, 136,
 vgl. Amplitude
 -zeichen (-signal) 138, 162
 -zeichenspeicher 138
 Lesen 139
 -, Lesegeschwindigkeit 182f.
 -, Lochstreifenleser 85f.
 Lissajous-Figuren 47
 Logik 162, vgl. Mathematik und
 Sprache
 -, formalisierte Sprache 162f., 169
 -, Klasse 139
 -, Klassenmerkmal 139
 -, Klassenzeichen 138
 -, logischer Bau 166
 -, logische Information 140, 151,
 155, 158, vgl. 138
 -, logische Klärung 172, vgl. 174
 Anmerkung
 -, logische Struktur 163ff., 173, 185,
 187, 193
 -, Logisierung 154ff.
 -, Netz von log. Beziehungen 187, 195
 -, nichtlogische Strukturen 173,
 vgl. Mystisches
 -, Tautologie 187
 -, variabler Satz 173, vgl. 138, 163
 Luftdruckschwankungen 37,
 vgl. Schall
 Lyrik 183, vgl. 153 und 155ff.
 Magnettonband 17f., 20f., vgl.
 Tonband
 Manual 17, vgl. spielbarer elektron.
 Signalgeber 110
 Maschine 162, 179
 -, Band- siehe Tonband-
 -, Maschinensprache 162f.

-, Rechen- 162, vgl. Computer
 Maßeinheiten des elektr. Signals
 36ff., vgl. Einheit
 Mathematik 162, 187, vgl. Logik
 -, Darstellung musikal. Formen nach
 Art algebraischer Formeln 172
 -, definierte diskrete Größen 60
 -, Funktionskurven 179
 -, Fourier-Reihentheorie 40
 -, harmonische Reihe 134
 -, harmonisches Verhältnis 45ff.,
 passim
 -, irrationales Verhältnis 76
 -, Parameter 85, 165f., 171f., 183,
 185ff.
 -, statistische Häufungen (Raten) 60,
 144
 -, stochastisch 192
 Marktforschung 24
 Mehrstimmigkeit 165
 Melodie 170, 176
 -, harmonisierte 171
 -ton 171
 Mensuralnotation 165
 Merkmalzeichen für Geräusch-
 klassen 147
 Metrik 158f., 165, 183f.
 -, metrische Empfindung 135, vgl.
 Zeitempfindung
 -, metrischer Puls 182f.
 -, Metronom 135, vgl. 182f. (Loch-
 streifen)
 -, Metrum 159, 178, 182ff.
 -, Zweitakt-Periode 184
 Mikrophon 20, 115, 190, 192
 -akustik 22
 -, rückgekoppeltes 105f., 109
 Mischstufe 40, 95, passim
 Modell (musik. Denkmodell) 171ff.,
 179, 181
 Modi 165
 Modulation 68f., passim
 -, Amplituden- 51, 54, 68f., 72, 84,
 87, 124f., 159
 -, Frequenz- 53, 68f., 76, 83f., 87,
 136, 149, 159
 -, Puls- 78
 -, Spektral- 74f.
 Modulatoren 99, vgl. 73-78
 -, Ringmodulator siehe Frequenz-
 umsetzer
 Montage (Band-) 22, 27, 30, 85

Motiv 182, 184
 Musik passim
 -, Band- 99, vgl. Tape music
 -, elektronische passim
 -, experimentelle 29
 -, instrumentale 111, 184,
 vgl. Instrumental-
 -, konkrete 30
 -, Raum- 205, vgl. 95
 -, serielle 192
 -, stochastische 192
 -, visible music 192
 -, Vokal- 56, 88, vgl. 142, 163f., 166
 Musikinstrument 16f., 20f., 26ff.,
 70ff., 99, 101ff., 110, 166, 168ff.,
 185, 188
 -, elektroakustisches 16f.
 -, elektron. Universal- 110f.
 Musique concrète 30
 Mystisches 173f.
 Nachhall 64, 71f., 104ff.
 -, Echo 72ff.
 -, Iteration 73, 76
 -, Hallgitter 73
 -, Verhallung 22, 84, 87
 Nachrichtentechnik 15, 26
 Neo-Bechstein-Flügel 16
 Notenschrift 88, 143, 166, 171, 179,
 vgl. Speicherung
 Nulldurchgang 140, 151f.
 Nullmarke 85, 87
 Oberwellengehalt 63, 140
 Obertöne 45, vgl. Harmonische
 Oktave 46f., 75, 121, 124, 129, 149, 165
 Oktav | bereiche, typische der
 Geräuschlaute 145ff.
 -gliederung der Vokalfarben 135
 -transposition, metrische 176
 -unterteilung 165
 Ondes Martenot 17
 One way 20f.
 Operateur 28
 Oper 166
 -, Bühnensänger 97
 Oratorium 166
 Orchester 93, 96, 99, 101, 108f.,
 135, 164, 174ff., 188, 190
 Ordnung 102f., 111, 140, 176, 185f.
 -, Anordnung der Schallquellen 93,
 96f.

- , asymmetrische, der Nulldurchgänge 140, 151
- , aus statistischen Raten gebildete 60
- des metrischen Pulses 184
- der Parameterwerte 185
- , rationale, der Tonhöhen 165, 176
- , Signal- 187, vgl. 193
- , Sitzordnungen 93, 166
- Ordnungszahl der Harmonischen 45f., 129
- Orgel 14, 16, 47f., 96, 101ff., 167, 189f.
- , Baldwin- 16
- , Cahillsche 16
- , Hammond- 16
- , Lichtton- 16
- , Theremin- 16
- , Trautonium 16
- Ort, Bindung an Ort und Zeit 18f., 25
- , Oerter (topi) 104, vgl. Programm
- , Ton- 94f., 97, 166, 186
- Parameter 85, 165f., 171f., 183, 185ff., vgl. Amplitude, Frequenz, Klangfarbe, Zeitdauer, Tonort
- Partitur 74, 88ff., 101, 103, 170, vgl. Speicher
- Patterns, feststehende Muster 104, vgl. Programm
- Pedal 17, 12
- Pendel, mathematisches 35, 49f.
- Perdendosi 72
- Periode (cycle) 35, 51, 55, vgl. Zeitsymmetrie
- , metrische Periodisierung 158f.
- , Periodenzeit 35, 49f.
- , periodische Schwingung 35, passim
- , Schwebungs- 51
- Phase 47, 50f.
- , Phasenverschiebung 50, 54
- Phon 38, 186
- Phonem 141
- Phonograph 16, 20
- Pianoforte 175, vgl. Klavier und Flügel
- Pianola 179
- Platte siehe Schallplatte
- Playback 191
- Pleyela 179
- Poesie 159
- Portamento 176, 179
- Portatobindung 142f.
- Posaune 189f.
- Profilscheiben, rotierende 16
- Programm 24, 101ff., 108, 110f., 166, 185, 187
- , Grund- 111
- musik 174
- , Programmieren (–ung) 87, 100
- Prosa 159
- Publikum 18f., 170, 195, vgl. Hörer und Zuhörer
- Puls, metrischer 179, 182f.
- Puls | einheit, metrische 176
- folge 65f., 68f., 151, 153, vgl. Stoßfolge und Zeitempfindung
- frequenz 66
- modulation 78
- Quantentheorie 65
- Quantisierung 87f.
- Quarte 47, 125
- Quelle 15, 26, 34, 36f., 84
- , Elementarsignal- 34
- , Generator für weißes Rauschen 58
- , Impulsgenerator 64
- , Informations- 26
- , Sinusgenerator 36
- , Schall- 93, 95ff., 186
- , Störungs- (Rausch-) 15, 105ff.
- Quinte 47, 133
- Radio siehe Rundfunk
- Raten, statistische 60
- Rationale Zahlenverhältnisse siehe Zahlenverhältnisse
- Rauheit 52ff., 171
- , rauher Klang 54, 76
- Raummusik
- Räumliche Anordnung der Schallquellen 95f.
- Rauschen 14, 34, 86, 90, vgl. Geräusch
- , farbiges 58ff., 80, 114, 143ff.
- , weißes 57ff., 66ff., 80, 143
- Rausch | analyse 15, vgl. 58ff.
- , generator siehe Gen. für weißes Rauschen
- RC-Generator 36
- Rechenmaschine, elektron. 162, vgl. Computer
- Rechteck | generator 41f.

- schwingung (–signal) 41f., 63, 140f.
- Regel | größe 26, vgl. Sollwert
- kreis (–system) 109, 136f., vgl. Steuerung
- Register, akustisches 48
- , Pfeif- 123
- Regulativ zur Erzeugung von Klangfarben 188 und Kap. 3
- Reihen, harmonische 134, 148ff.
- theorie (Fourier) 40
- Reportage 18, 24f.
- Reproduktion 20f., 24f.
- Respirationstrakt, menschl. 148
- Rezitativ 163
- Rhythmus 169, 178
- Rinforzando 70, 166
- Ringmodulator 74, vgl. Frequenzumsetzer
- Rubato 176
- Rückkopplung 26f., 74, 77, 105, 136f., 141, 148
- Rundfunk 19ff., 24, 93f.
- Schall 27, 37, 95f., 132
- druck 38ff., 71, 136
- platte 17f., 20, 22, 24f., 27, 29, 100, 170
- quelle 93, 95ff., 186, 190
- signal 27, 37, 78, 94, 96f., 138, 140
- Schauspiel 18, 30
- Schicht 82, 84, 87, 89, 98
- Schlager 184
- Schmerzschwelle 38f., 135
- Schmitt-Trigger 140
- Schrift 138f., vgl. Speicherung
- , logistische und mathematische 139
- , Noten- 88, 143, 166, 171, 179
- Schwebungen 46, 48, 50ff., 65, 68f.
- , Überlagerung von 54f.
- Schwebungs | frequenz 51ff., 193
- perioden 51, 53
- summer 37
- Schwingung 35f., 42, 50f., 65, 73
- , elektrische 37, 132
- , Grund- 51
- , harmonische 35, 134
- , Interferenz 41
- , mechanische 14
- , nichtharmonische periodische 40
- , periodische 40f., 49
- , Rechteck- 41f., 63, 141
- , Sinus- 14, 35, 40f., 46, 61, 64, 132
- , Teil- 46, 48, 54, 133
- , zusammengesetzte 41, 43
- Sekunde (musikal.) 52f.
- Sekunde (zeitl.) passim, vgl. Einheit
- Sender und Empfänger 134, 136f.
- Signal passim
- ebene 193
- , einfaches 168, 173f., 187
- , Elementar- 14, 34, 61
- geber 99ff., 108ff.
- , graphisches 185, vgl. 138ff. und Schrift
- ordnung 187
- , Schall- 27, 37, 78, 94, 96f., 138, 140
- , Stimm- 115, 128, 130, 132, 134, 139, 141, 144, 148
- Sinfonieorchester siehe Orchester
- Sinn 193ff.
- Sinusgenerator 63f.
- Sinusschwingungen 14, 35ff., passim
- , Zusammensetzen von 40ff.
- Sinuston 35f., 132f., passim
- Solist 96, vgl. Instrumentalist
- Sollwert 27, 70
- Spannung (elektr. Wechsel-) 36f., 40
- Speicherung 17, 20f., 23, 79ff., 85ff., 138f., 162
- , elektromagnet. Aufzeichnung 138
- , graphische 20, 88ff., 138f., vgl. Schrift
- , Lochstreifen- 85ff., 89, 100ff., 104ff., 108, 182f.
- , Schallplatte 17f., 20, 22, 24f., 27, 29, 100, 170
- , Tonband- 17, 21f., 27f., 30, 79ff., 87, 89, 93ff., 99ff., 108, 138f., 182f.
- Spektral-Analysator 115
- Spektral | linie 36, 41
- modulation 74ff., 125
- Spektrum 42, passim
- Spiel | antenne 17
- barer elektron. Signalgeber 110
- Sprache 78, 139, 162
- , Bühnen- 183
- der elektron. Musik 182ff.

- der Instrumentalmusik 168ff.
- formalisierte 162f., 169
- geschriebene 138f., 158, 162
- Maschinen- 162f.
- menschliche Kap. 3, vgl. Logik
- Mutter- 137, 168, 174
- natürliche 162, 169
- Sprach | generator 77f.
- laut siehe Stimmsignal
- Sprech | organ 114, 137, 144
- signal 115, 139ff., 148, 151f., vgl. Stimmsignal
- Sprechtonhöhe 124f., 134ff., 148
- Umfang der 128
- Sprengsatz 153
- Spur siehe Tonbandspur
- mehrspurige Tonbandmaschinen 95, vgl. 79 und 97f.
- Statistische Raten 60, 76, vgl. stochastische Musik und 56ff.
- Steuerung 86, 106ff., 137, vgl. Regelkreis
- automatische 85ff., 100, 105
- Kybernetik 26
- Lochstreifen- 100, 105ff.
- Siemens-Steuersystem 88
- Steuer | befehl 86
- signalgeber 110
- Stimme 114ff., passim
- Stimm | gabel 14
- haftigkeit 149
- klang 124, 127, 149, 150, 152
- organ 114, 148
- Stimmsignal 115, 128, 130, 132, 134, 139, 144, 148
- mit harm. Spektrum 116ff.
- mit Geräuschktrum 144ff.
- Stimmung 104
- Einstimmen 46
- gleichschwebende Temperatur 165
- Stochastische Musik 192
- Störgeräusch 15
- Stoß 52, 53f., 65
- folge 52ff., 65
- Energie- 61
- Struktur 18, 173f., 187
- logische 163ff., 173, 187, 193, vgl. Signalordnung
- nichtlogische 173
- wandlung 18, 23, 26, 29
- Studio für elektron. Musik 34, passim, vgl. Namenverzeichnis

- Synchronisation 85, 89, 108, 182
- Synthese 58
- Klang- 14, 59
- Sprach- 78, 115
- synthetische Klangerzeugung 16
- von Elementarsignalen 14, vgl. 40ff.
- Synthesizer 232
- Takt 171, 182, 184, vgl. Metrik
- taktile Empfindung (Tastempf.) 135, 159
- Zweitakt-Periode 184
- Tanz 184
- Ballett 183
- Tape music 30f.
- Tasteninstrumente 17
- Tautologie 187
- Technik 23, 46, 190
- der elektron. Musik 34ff.
- Nachrichten- 15, 26
- technischer Mitarbeiter 102
- Tonbandaufnahme- 79
- Television siehe Fernsehen
- Tempo 179
- Terz 47, 53f., 170f.
- Theater 24
- Thema 182, 184
- Ton 44, 49, 51, 61, 70, 102, 123, 163, 170f.
- Differenz- 47, 52f.
- Grund- 44f., 118, 123f., 127ff., 141f., 148f., 170
- Halb- 165f.
- Kurz- 142f.
- Ober- 75
- Primär- 74, 76
- Sinus- 35, 40, 42ff., 48f., 51, 53ff., 58, 61, 70f., 90, 116, 132, 151, 154
- Teil- 44, 48, 54, 75, 82f., 117, 119, 124f., 127, 129, 134, 149
- Tonabnehmer, elektr. 16
- Tonband 17f., 20f., 24, 27, 30, 79, 87f., 94, 107f., 182, 190
- aufnahmetechnik 79
- aufzeichnung (-aufnahme) 87f., 99ff., 105, 108, vgl. Speicherung
- experiment 30
- konsument 22
- kopie 27, 80ff.
- länge 182

- maschine 73, 76f., 95
- musik 99, vgl. Tape music
- speicher 185, vgl. Speicherung
- spur 79, 95, 97f.
- Tondauer 133, vgl. 61 und Zeitdauer
- Tonhöhe 17, 37, 39, 44, 47f., 51ff., 61ff., 72, 88, 118, 122, 124, 126, 138, 141ff., 149, 151, 154, 164ff., 170, 176, 179, 187
- Sprech- 124f., 134ff., 148
- Tonhöhen | empfindung 61ff., 143, 155
- lagen 52
- rationale Ordnung der 165
- umfang der menschl. Gesangstimmen 123
- unterscheidung 134
- wahrnehmung 65
- Ton | leiter 165, 170
- meister 27, 108
- ort 94f., 97, 166, 186
- sprache 187
- Topi 104, vgl. Programm
- Transistor 191
- Transposition 172
- Oktäv- 176
- Trautonium 191
- Trommel 62
- fell 133
- Tuba 176
- Two way 18, 20f.
- Übertragungssystem 15
- einwegiges 19ff.
- Fern- 19
- zweiwegiges 20
- Umformung 34
- Universal-Musikinstrument, elektron. 110
- Ursubstanz, akustische 58
- Ursignal 174
- Urtextedition 29
- Verhallenrichtung 84, 87
- Echokammer 74
- Iteration 73
- Hallgitter 73
- Verhauchen 142
- Verstärker 37, 93, passim
- Verzögerungszeit 61, 64, 73f.
- Vibrato 53, 68, 142
- Vibration 133

- Video 191
- Violine siehe Geige
- Violoncello, elektr. modifiziertes 16
- Visible music 192
- Vocoder 77f.
- Voder 78
- Vokal 116ff., 122f., 126, 128ff., 133f., 137ff., 141, 148f., 151ff.
- farbe (-klangfarbe) 119, 122ff., 127, 129, 132, 134f., 148f.
- farbenempfindung 131, 145
- formant 116, 118ff., 124f., 128f., 132, 141, 148
- formantbereich 119, 121, 123f., 127, 129f., 134
- ise 139, 141ff.
- klassenzeichen 139
- reihe 117, 132
- spektren 117-130
- signal 136, vgl. Vokalspektren
- Volt 36
- Vorlaufband 85
- Vorstellung 26f., 34
- Waldhorn 44, 150, 179
- hornartiger Klang 47
- Wandern des Schallsignals 97
- Weißes Rauschen 57ff., 66ff., 80, 143
- Wellentheorie 65
- Werbung 24
- Wiedergabe 93, 97, 104f., 108
- einkanalige 94
- kanal 95, 97
- kopf 73, 76
- maschine 84, vgl. Tonbandmaschine
- mehrkanalige 93
- system 96f., 104
- Wobbeln 53
- Zeit 18ff., 24f.
- Abfall- 61
- ablauf 65, 155, 159, 182
- Anstieg- 61f.
- Bindung an Ort und Zeit 18
- dauer 61ff., 141, 152
- dauerverhältnis 165, 172, 186
- einheit 166, 182f., vgl. Einheit
- empfindung 141, 154, 158, vgl. -wahrnehmung
- maß 182
- ordnung, rationale 176

- , Perioden- 35, 49f.
- raster 178f.
- symmetrie 159, 176, 183
- , Übergang der Tonhöhenempfindung in Zeitwahrnehmung 65, vgl. 53, 141, 143, 151ff.
- , Überwindung der Zeit 20ff.
- , Verzögerungs- 61f., 64, 73f.
- wahrnehmung 65f., 151f., vgl. Stoßfolge, Pulsfolge
- , Zähl- 166
- Zufall 192, 201
- Zuhörer 18f., 26, 29, 96ff., 105f., 108, 110f., vgl. Publikum
- Zungenpfeifen 47
- Zustandsänderung 68
- Zweiwegigkeit 18, 21
- Zweitaktperiode 184
- Zwölftonmusik 181