

Zum Begriff des Sonischen (Mit medienarchäologischem Ohr erhört/ vernommen)

Wolfgang Ernst, Deutschland

Definitionen von „Klang“

Klang und Medium

Thesen zur Skalierung von Akustik - Sonik - Musik

Technische und kulturelle Akustik im Widerstreit

Das Sonische als Funktion der Elektrotechnik

Unerhört: Sonische Speicher

Elektronische Analyse von Klangdaten (Meßmedien)

Akustik und Klang, zeitbasiert

Das Sonische und die Zeit

Das Sonische und die Zahl (*computing*)

Klanganalyse als Medientheorie (Gabor, Meyer-Eppler)

Quantentheorie des Sonischen

Definitionen von „Klang“

Das Sonische meint weder Ton noch Klang, sondern deren operatives Dazwischen. Das Sonische oszilliert zwischen dem Realen des Akustischen und dem Symbolischen des Klangs - ein dynamisches, operatives Dazwischen.

Am Anfang steht die Schwierigkeit, trifftig zwischen Akustik, Ton und Klang, und schließlich Musik zu differenzieren.

Klang (engl. „Sound“, „Tone“) findet sich definiert als „mehrdeutige Bezeichnung für verschiedene akustische und musikalische Phänomene“¹ - in der Tat also *zwischen* Physik und kultureller Semantik.

Der Musikbegriff steht und fällt mit kultureller Semantik, mit Fragen nach der Bedeutung. Demgegenüber ist Klang weitgehend asignifikant, aber Baustein für musikalische Signifikation, gleich den tönenden Buchstaben des Vokalalphabets.

Um mich hier nicht in einer musik- oder kulturwissenschaftlichen Frage zu verlieren, konzentriere ich mich auf darauf, was eine spezifisch medienarchäologische Perspektive dazu beizutragen hat - als techno-mathematische Engführung der Frage nach dem Sonischen.

Die Gretchenfrage lautet: Für welche klanglichen Ereignisse ist Musikwissenschaft zuständig, und für welche die Medienwissenschaft? Lautet die Arbeitsteilung hier Klang und Sonik (analog zu Bildwissenschaft im Unterscheid zu Kunstgeschichte, aber eben auch noch nicht Computervisualistik / Neuroinformatik)?

Eine mögliche Antwort - in begrifflicher Analogiebildung zur Elektronik (als Begriff für die Steuerbarkeit des freien Elektronenflusses) - Sonik als medientechnisch operationalisierte Form von Klang, als spezifische Eskalation einer allgemein sonischen Dimension in der Kultur. Es ist eine genuine Kompetenz der Medienkultur, Differenzen im Klang zu hören, die aber durch die Modi seiner Hervorbringung - also technische Medien - *gesteuert* sind.

Klang und Medium

Um bei der Analogie zur schriftlichen Kodierung des Akustischen zu bleiben: Klang ist komplex wie ein Wort, zusammengesetzt aus Einzeltönen. Für den Akustiker ist Klang „eine hörbare periodische Schwingung, die sich im Ggs. zum Ton, gemeint ist dann der Sinuston, aus mehreren Teilschwingungen zusammensetzt“². Damit kommt die frühe elektroakustische Musik (die zunächst einfache Schwingungen, reine Sinustöne oder sinuide Artikulationen produziert) vom Ton her.

Für den Transport von Schallwellen ist ein Medium erforderlich; Die *Encyclopaedia Britannica* (2003) definiert Sound als „Mechanical disturbance from a state of equilibrium that propagates through an elastic material medium“. Wellen breiten sich in gekoppelten Systemen (etwa Luftpartikel) per Übertragung des Impulses an Nachbarpartikeln aus.

Auf physikalischer Ebene ist Klang *kein* Medium; Medium ist hier (wie von Aristoteles in *Peri psyches* als „to metaxy“, als „Dazwischen“ beschrieben) vielmehr die Luft, in der sich Klang überträgt. Natürlicher oder kultureller Klang also ist *im* physikalischen Medium. Doch im Sinne der Definition von Fritz Heider (1926), demzufolge Medium alles ist, was als lose Kopplung zu einer festen informiert werden kann, ist Klang etwa Medium für Musik - ein relationaler Medienbegriff, nach zwei Seiten hin verschiebbar.³

Elektromagnetische Wellen aber setzen solch ein Feld selbst, behandelt also nicht das physikalisch schon Vorliegende, sondern erschaffen es nach eigenem medien- (und nicht schlicht kultur-)technischen Recht.

Ausdrücklich im Anschluß an eine Forderung der künstlerischen Avantgarde der Moderne, an Kunstwerken nur das Medienspezifische aufscheinen zu lassen, formulierte McLuhan 1964: das Medium sei die Botschaft. Die Abkehr der modernen Kunst von der Referentialität zeigt das jeweils eingesetzte Medium, das sich üblicherweise hinter der intendierten Mitteilung verbirgt, wie es ist: „Aus der Poesie sollte alles Narrative und Bildhafte entfernt werden, um den reinen Klang der Sprache hörbar zu machen; aus der Musik sollte alles Imitative und Melodisch-Narrative entfernt werden, um den reinen Klang hörbar zu machen.“⁴

Eine Theorie des „Sonischen“, wie sie Peter Wicke als Ebene zwischen elaborierter Musik und rein physikalischer Akustik entwickelt, meint auditive Wahrnehmung als schon determinierte, gefiltert durch kulturelle, negentropische Muster von Wahrnehmung, die „kulturelle Formatierung von Klang“.⁵ Sonik zieht - diesen Ansatz weitertreibend - den Kreis noch enger und meint die technologische Eskalation und Autonomisierung dieser Wahrnehmungssphäre: die Emanzipation von der kulturellen oder anthropologischen Bindung des Klangs, als gegenüber Stimme und Instrument klankkörperlos, ja mathematisch gewordener Klang - der dann umso emphatischer wiedereinkehrt.

Musikalische Theorie unterscheidet von alters her zwischen dem äußerlich Wahrnehmbaren und dem nur innerlich Einsichtigen. Dieses Innerliche ist keine metaphysische oder idealistische Kategorie, sondern einerseits eine Funktion kulturtechnischer Prägungen; andererseits gibt es eine innere Einsichtigkeit klangleicher Prozesse, die nur noch Meßmedien gegeben ist.

Der Begriff des „Sonischen“ unterläuft die (dualistische) Zweiteilung in eine „Theorie des Schönen“ (philosophische Ästhetik) und eine „Theorie der Wahrnehmung“ (*aisthesis*). In Differenz zur philosophischen Ästhetik ist das Sonische eindeutig auf der Seite des Aisthetischen anzusiedeln.

Diogenes von Seleukeia unterschied zwischen einer naturgegebenen und einer geschulten Wahrnehmungsfähigkeit, einer *autophyés aísthesis* und einer *epistemoniké aísthesis*⁶; es gibt eine asemantischen Wahrnehmung von Musik. Doch etwas Anderes meint mediengenerierte Sonik im engeren Sinne - der ganze Unterschied von Kulturtechniken und Technologien. Das medienarchäologische Ohr läßt sich nicht wahllos auf alles ein, was klingt, sondern hört verschärft (*akouein*): Wie funktioniert Klang aus und in techno-mathematischen Medien? Hier öffnet sich eine Differenz zwischen der sonischen Qualität des medieninduzierten Klangs und dem, was kulturell-diskursiv geprägt wurde. Mit dem techno-mathematischen Medienbegriff wird eine sonische Qualität faßbar, die komplexer ist als das rein akustische Material und die Mechanik der Instrumente. Das Sonische ist durch das akustische Material zwar vorgegeben, aber damit nicht hinreichend definiert. Dies meint noch nicht Musik, aber mehr als nur pure Physikalität.

Roland Barthes differenziert gegenüber dem manifesten Phäno-Gesang den latenten Geno-Gesang als den Raum, in dem die Bedeutungen aus dem Inneren der Sprache und in ihrer Materialität selbst hervorkeimen; „ein signifikantes Spiel, das nichts mit Kommunikation, Repräsentation (der Gefühle) und Ausdruck zu tun hat; es ist die Spitze (oder der Grund) der Produktion, wo die Melodie wirklich die Sprache bearbeitet - nicht das, was sie sagt, sondern die Wollust ihrer Ton-Signifikanten, ihrer Buchstaben.“⁷ Ebenso verhält es sich mit dem Sonischen: Es meint eine Ebene musischer Kulturtechniken, nicht reduziert auf die Medialität im Sinne des akustischen Kanals. Eine Kulturgeschichte des Sonischen aber, wenn sie in einem signaltechnischen Apriori verankert wird, ist nicht mehr Kulturwissenschaft, sondern Medien- als Signalanalyse. Der Begriff des Sonischen verhilft dazu, Musik nicht einseitig auf das Semiotische zu reduzieren. Mit Klang kann man mehr generieren als Musik oder Kommunikation. Einen Schritt dahin (und weiter) geht Jacques Attali, der Sonosphären unter dem Begriff analysiert, die sie unterlaufen: *Bruits*.⁸

Auf der Suche nach dem Dazwischen von Musik und Klang treffen wir auf das Sonische. Friedrich Kittlers erster Band der geplanten Reihe *Musik und Mathematik* (München 2006) sagt es: Es gibt nur eine Kultur, die Physik erfunden hat als das, was klingt: das Erbe Altgriechenlands. Klang ist in unseren Ohren also selbst kulturell spezifisch. Akustik meint physikalische Phänomene; die Filteraster des Akustischen aber sind kulturell. Das Sonische ist damit zwar ein dem naturwissenschaftlichen Ohr verpflichteter Begriff, aber mit historischem Index versehen.

Musik, als eine klangvermittelte Kulturtechnik gelesen, stößt uns zunächst auf historische Filtervorgänge. Ein Ton mit der Frequenz von 440 Herz ist ein akustisches, kein musikalisches Ereignis; es macht den Ton A (und fungiert gleichzeitig als Kammerton, als medienakustischer Standard zur Stimmung von Instrumenten). Tatsächlich passiert hier ein Strom physikalischer Materie, doch 440 Hz existieren nicht natürlich, sondern sie sind eine technische Abstraktion und sind als Kammerton A immer schon ein diskursiv diskretisiertes Ereignis.

Eine Frequenz von 1960 ist etwas anderes als eine Frequenz 1990, kulturell vernommen. Das Sonische meint die historisierten Formen / Operatoren des Akustischen (Martin Carlé). Eine Geschichte des Klangs als Medium von Musik zielt auf ein dazwischenliegendes Niveau: nicht die reine Physikalität des Akustischen, aber auch nicht die Hochkultur von Musik.

Thesen zur Skalierung von Akustik - Sonik - Musik

Vorgeschlagen sei - als heuristisches Modell, nicht als Behauptung - eine analytische Schichtung, also künstliche Trennung der Ebenen Akustik - Klang - Musik, vergleichbar dem sogenannten OSI-Modell für die Analyse des Internet: Die unterste Ebene ist die physikalisch-materielle, dann die (topo-)logische (mathematische Graphen), schließlich die diskursive („Kommunikation“).

Akustik, Klang, Schall und Musik sind allesamt Spezifikationen von periodischen Frequenzereignissen: Oszillationen, Ausschnitte aus dem Wellenspektrum, deren Distinktion nur aus anthropologischer Sicht als das, was die menschlichen Sinne adressiert, Sinn macht. Kultur informiert das Spektrum des Hörbaren als dessen Ausschnitt (Sprache, Musik). Die für effektive Datenübertragung notwendige Kompression von Audio im MP3-Format funktioniert dementsprechend auf Basis der Fourier-Analyse; die Zerlegung von Tönen in Einzelschwingungen erlaubt die Eliminierung der nicht-hörrelevanten Schwingungen. Die menschliche Wahrnehmung gilt hier als Maß der Filterung: „perceptual coding“. Diese Möglichkeit einer Fusion von physiologischer Akustik und Informationstheorie erinnert jedoch unter der Hand daran, daß der Mensch nicht notwendig im Zentrum der Sonosphäre steht; längst vermögen techno-mathematische Apparate zu erhören, was unseren Ohren entgeht. Dieses Unerhörte meint Sonik im Unterschied zum kulturanthropologischen Begriff von Klang, und Klangkultur weiß darum. Ein poetisches Mythologem erinnert daran: unmenschliche Sirenen, die dennoch das Süßeste an der menschlichen Stimme zu singen vermögen. Unter dem Titel „Sirenen-gesang“ berichtet ein anonym Text aus der Zwischenkriegszeit:

Bei dieser Überschrift werden unsere Leser wohl zunächst an das denken, was Homer in seiner Odyssee erzählt [...]. Der Physiker versteht aber unter einer Sirene und ihrem Gesang etwas akustisch besonders Einfaches und deshalb für Studien sehr Geeignetes: liefert doch die Sirene wirkliche Töne fast ohne alle Obertöne, während bei allen Musikinstrumenten den Tönen Obertöne beigemischt sind, demnach nicht Töne, sondern Klänge entstehen. Töne ohne Obertöne sind für das musikalische Ohr wie Speisen ohne Würze für die Zunge; aber akustisch einfacher sind sie als Klänge. [...] Das ist dann der Sirenen-gesang der Physik.⁹

So begreift die Wissenschaft das, was durch den Gehörsinn vermittelt wird, nüchtern als Schall: die physikalischen Vorgänge, die der Erregung des Gehörsinnes zugrunde liegen. Mit der subjektiven Erscheinung, der Schallempfindung, beschäftigt sich die Psychologie; mit den physikalischen Vorgängen die Akustik. Dazwischen steht die Physiologie, „die uns berichtet, wie die physikalische Einwirkung auf das Ohr zur Erregung dieses Sinnesorganes führt und wie die Fortleitung der Erregung ins Zentralnervensystem geschieht“¹⁰.

Medienarchäologie ist in der Lage, zu diesem Begriff klanglicher Erscheinungen auf der Ebene ihrer Technifizierung (der Sonik) beizutragen. Endet diese Kompetenz am komplexen Begriff der Musik?

Musik ist weitaus schwieriger zu greifen und zu orten als Klang. Der unendliche Diskurs, ob die Aufführung oder die Partitur oder das mentale Konzept der Komponisten oder Klangkünstler als das oder ein Werk an sich anzusehen ist, zeigt an, dass Musik medial nicht fixierbar ist.¹¹

Technische und kulturelle Akustik im Widerstreit

Medienarchäologie verhilft auf dem Weg zu einer *klangtechnisch* und *klangmathematisch* adäquaten Ästhetik, wie sie von der wissenschaftlichen und epistemologischen Analyse (einer der ersten Mediamatiker des Klangs war Jean-Baptiste Fourier) zur Synthese führt: digitale Audioproduktion. Es ist ein Gesetz technologischer Medien, daß sie zumeist als Meßinstrumente physiologischer Prozesse entwickelt wurden (Léon Scotts „Phonautograph“ zur Stimmaufzeichnung mittels des rußgeschwärzten Kymographen, auf das sich Helmholtz’ *Lehre von den Tonempfindungen* ausdrücklich beruft), worauf dann der Umschlag zur Darstellung, zur massenhaften Reproduktion erfolgt (Edisons Phonograph, Berliners Grammo-phon) - wie auch die Hertzschen Funken zum Radio übersprangen und die bewegungsmessende Chronophotographie zur Filmprojektion 1895.

Erich Moritz von Hornbostel sei hier ein Kronzeuge des medienarchäologischen Arguments. Hornbostel hatte 1911 „Über ein akustisches Kriterium für Kulturzusammenhänge“ geschrieben.¹² Als Chemiker hat er den naturwissenschaftlichen Blick, dem die medienarchäologische Ästhetik (zwischen Natur- und Geisteswissenschaften) nahesteht. Buchstäblich „Medium“ seiner Erkenntnis ist der Phonograph; sein Verfahren zur subsemantischen Analyse von Weltmusik ist ein mathematisches. In Anlehnung an die Untersuchungen orientalischer Meßinstrumente „mit exakten physikalischen Methoden“ durch Alexander J. Ellis in den 1880er Jahren („Er bestimmte die Schwingungszahlen der Töne, berechnete die Intervalle in dem von ihm erdachten Centmaß, verglich und diskutierte die gefundenen Leitern“) bedient sich auch v. Hornbostel eines numerischen, mathematischer Verfahrens¹³:

Mit der medientechnischen Zäsur, die die Einführung des Phonographen darstellt, wird die ästhetische Theoriebildung im Medium der Sprache ergänzt durch tonometrische und frequenzanalytische Messungen. Hermeneutische Neugier wird verdrängt durch den Blick in die Cent-Tafel. Diese Tafel gestattet die Zuordnung von absoluten Schwingungszahlen zu Intervallverhältnissen auf der Grundlage logarithmischer Berechnungen. [...] Mit der neuen Medienpraxis entstehen Arbeits- und Archivierformen, die der traditionellen Musikwissenschaft fremd sind. Jenseits einer schrift- und notentextfixierten Philologie wird Musik als etwas in erster Linien Klingendes rehabilitiert. Die aus der Fremde eingesandten Aufnahmen sind scheinbar autorenlose Schallaufzeichnungen¹⁴

- mag diese Fremde nun räumlich oder zeitlich sein. Wenn zwischen verschiedenen Musikulturen nicht nur die Intervalle und ihre Ordnung, sondern auch die absoluten Tonhöhen übereinstimmen, dann wird für von Hornbostel „die Annahme eines historischen Zusammenhanges unabweislich. Denn die absolute Tonhöhe ist musikalisch vollkommen belanglos, die Leiter ändert sich nicht, wenn alle Schwingungszahlen proportional verändert werden, es besteht weder ein physiologischer oder psychologischer noch ein physikalischer oder technischer Grund dafür, irgendeine bestimmte Tonhöhe zu bevorzugen“¹⁵. Am Ende gehen die semantischen, gestalthaften Potentiale sinnlicher Klangwahrnehmung über das hinaus, was Medien messend zu erfassen vermögen:

Die Klangfarben, Ausdrucksnuancen, melodischen Linien und nicht zuletzt die Konsonanzwahrnehmung, die musikalischen Gebärden und musikalischen Vibrationen auf der Hautoberfläche erweisen sich als kulturell geprägte, für den Umgang mit Musik wesentliche Phänomene, die durch die neuen Medien zwar wiedergegeben, nicht jedoch in einer medieneigenen Form als solche identifiziert werden können. Welche Konstellationen als konsonant, welcher Ton als Bezugston einer melodischen Phrase in Frage kommen, geben weder der Phonograph noch die Cent-Tafel als unmittelbar ohrenfällig bzw. visuelle, medial herausgehobene Charakteristika preis.¹⁶

Das Sonische als Funktion der Elektrotechnik

Erinnern wir an die grundverschiedene Genese kultureller Musikinstrumente und elektronischer Musik. Kulturelle Musikinstrumente wurden ausdrücklich zum Zweck der Ausweitung menschlicher musikalischer Artikulationen entwickelt oder ge- und erfunden, als „Prothesen“ im Sinne der Medientheorie McLuhans. Anders die elektronische Musik: deren Instrumente waren zumeist „simply the curious byproducts of other research into electrical phenomena“¹⁷.

Ein neuer Begriff von Klang emergierte „from the attempt to produce a sound which does not belong to any aesthetic order, out of presumably ‘pure’ sinusoidal waves“¹⁸.

Klang ist - im Unterschied zur rein physiologischen Akustik - immer auch schon kognitiv *informiert*, wie es Mersennes experimentale Agenda manifestiert: „raison“ (als Begriff oszillierend zwischen mathematischer Frequenzangabe von Schwingungen und Verstand) greift korrigierend und supplementierend ein, wo „expérience“ an ihre Grenzen stößt - am Beispiel schwingender Saiten.

Die Erforschung der Töne ist in der post-pythagoräischen Epoche des Abendlands (die durch Boethius' Werk *de musica* zugespitzt und dem Mittelalter autoritativ vorgegeben wurde) zwar immer noch von der Frage nach harmonischen, ganzzahligen Proportionen (*ratio*) dominiert, verschiebt sich aber seit Mersenne (dessen maßgebliches Buch pikanterweise noch *Harmonie universelle* lautet) von der Vermessung der Saitenlängen des Monochords zur Untersuchung ihrer dynamischen Verhältnisse, nämlich Schwingungen. So lassen sich die gleichen Frequenzen, die Töne hervorbringen, auch zur Zeitmessung verwenden lassen: je nachdem, wie oft "cette chorde bat l'air dans le temps' une seconde minute"¹⁹. Die Saite zählt nun als dynamisches Medium, also im Vollzug; das und der experimentelle Moment (Methode und Zeitkritik) konvergieren. „Nicht der Verweis auf hehre pythagoreische Traditionen“ bildet den Anfang von Mersennes Untersuchung, „sondern die gezielte Einstimmung auf technische Fragen“²⁰ - eine theoretische Einstimmung, wie sie von den Vibrationen der Saite buchstäblich *induziert* wird. Damit verschiebt sich die Frage nach der Musik auf das Sonische (*le son*) - eine mehr als metonymische Verschiebung.

Das medienepistemisch Aufregende an dem von Friedrich Trautwein entwickelten Trautonium, für das Komponisten wie Paul Hindemith, aber auch Richard Strauss komponierten:

This keyboard instrument [...] was one of the first instruments to use a neon-tube oscillator and its unique sound could be selectively filtered during performance. Its resonance filters could emphasize specific overtone regions. The instrument was developed in conjunction with the Hochschule für Music in Berlin where a research program for compositional manipulation of phonograph recordings had been founded two years earlier in 1928. [...] The German experiments in phonograph manipulation constitute one of the first attempts at organizing sound electronically / that was not based upon an instrumental model.²¹

Dementsprechend wäre auch eine Medientheorie dieser elektronischen „Musik“ von diesem Moment und diesen Momenten her zu denken (und nicht vom globalen Horizont einer Kulturgeschichte der Musik und Technik her), in medienarchäologischer Perspektive, d. h. von Seiten der elektrotechnischen Komponenten dieses Geräts.

Ein Protagonist der elektronischen Musik, Pierre Schaeffer (der mit der Manipulation von Schallplatten begann vor-elektronisch), stellt die Gretchenfrage:

Photography [...] has completely upset painting, just as the recording of sound is about to upset music. [...] For all that, traditional music is not denied; any more than the theatre is supplanted by the cinema. Something new is added, a new art of sound. Am I wrong in still calling it music?²²

Schon Meyer-Epplers Buchtitel machte es deutlich: Elektrische Klangerzeugung bewegt sich im *Zwischenraum* von elektronischer Akustik einerseits und emphatischer Musik andererseits. In der Sprache der Programmierung ist Klang schlicht eine Datenbank fixierter Frequenzen, also Sinustonoszillatoren. An die Stelle von menschlichen und instrumentellen Klangkörpern, mit denen sich Musik- und Kulturwissenschaft befaßt, treten klanggenerierende Medien, die nicht mehr mit Hohlraumresonanzen operieren und damit die anthropologische These von Medien als Prothesen des Menschen unterlaufen.

Sonik (im Unterschied zum allgemein Sonischen oder gar der Sonosphäre) bezeichnet das Sonische als exklusives Produkt des elektro-akustischen Raums, etwa die Optimierung der Klangwirkung durch Beifügung der Suboktavitöne zu den Grundtönen: Untertöne, „die elektrisch auf sehr elegante Weise entstehen, für die es jedoch unter den mechanischen Instrumenten kein Analogon gibt“²³ - aber seit Oskar Salas *Trautonium* bis hin zu Gerhard Steinke's *Subharchord*, dem ersten Synthesizer der DDR. So werden selbst Glockentöne, d. h. das unheimliche Reich der Unharmonischen, erstmals elektronisch reproduzierbar.²⁴

Unerhört: Sonische Speicher

Die Medien zur Speicherung und zur Bearbeitung von Klang waren nicht notwendig „klangfremd“²⁵, sondern - wie das altgriechische *Vokalalphabet* - immer auch der Versuch, auch Schrift *grammophon* zu machen - von der musikalischen Notation Guido von Arezzos bis hin zum Magnetophon. Notenschrift entwickelte sich zunächst auf der als Linie abstrahierten Saite, worauf (wie in der *Musica enchiridias* im 9. Jh.) das qualitative Klangereignis in der Zeit, d. h. als Folge eingetragen wird²⁶ - als Klang der Einzeilen-Abtastung.²⁷ Doch blieb die alphabetische oder musikalische Notation des Gesangs unumgebar eine symbolische, eine Abstraktion, die nur als Code sich dem Klang erschließt. Dann die phonographische Aufnahme: das Reale der Stimme, aber als Mechanik noch am Ende der Schriftkultur. Erst die Aufzeichnung im elektromagnetischen Feld macht die Signale der elektronischen Analyse von Klangdaten durch andere elektromagnetische Meßmedien zugänglich (hier schließt sich eine Welt zum autopoietischen System, in dem Medien mit Medien kommunizieren - eine Akustik zweiter Ordnung). Eine fortwährende Eskalation ist die Digitalisierung dieser Elektronik, *computing*.

Dezidiert techno-mathematische (als operative Verschärfung der techno-logischen) Medien stehen dem zeitkritischen Wesen des Akustischen deshalb näher als die musikalische Notation, weil sie auch im anaesthetischen Feld zu operieren vermögen und am Klang das „wahrnehmen“, was gerade nicht hörbar ist. Genau dies war die Funktion „sonischer“ Verzögerungsspeicher in frühen Computern.

Auf der Ars Electronica in Linz, September 2006, war ein Medienkunstwerk ausgestellt, das die frühen akustischen Verzögerungsspeicher des Computers als ästhetisches und aisthetisches, d. h. tatsächlich nicht nur seh- und lesbares, sondern auch hörbares Objekt erfahren läßt - ein konkreter medienarchäologischer Sonik-Einsatz, ein *re-entry* des Sonischen durch Sonifizierung. Die Installation *Hello, World!* (2004/05) von Yunchul Kim (www.khm.de/~tre) auf der Ars Electronica zeigte einen buchstäblichen „closed circuit“, doch nicht als Videoinstallation, sondern als Computer. Im Zentrum ein 246m langes Kupferrohr, in dem Daten als akustische Signale zirkulierten:

*Zeichen aus dem Rechner werden als modulierte Wellen in das Röhrensystem geleitet, temporär gespeichert und am Ende mit einer Zeitverzögerung von 0,8 Sekunden von einem Mikrofon aufgenommen, decodiert und wieder an den Computer bzw. an einen Monitor geleitet. Der Kreislauf beginnt von Neuem, angereichert mit Klängen der Installationsumgebung*²⁸

- hier der ganze Unterschied zur autopoietischen Akustik in der rein technischen *delay line*.

Sonifizierung ist der aktiv gewendet Begriff von Sonik als Operation, die genuin erst im elektronischen Raum (und nicht schon im „Klang“raum von Kulturtechniken) möglich ist. Der Witz daran ist, daß die Akustik hier nicht als Hörbares, sondern als Laufzeit die entscheidende Rolle spielt.

Akustik diesseits der Hörbarkeit, nicht an menschliche Ohren adressiert: Im Verzögerungsspeicher formieren sich Bit-Ketten (als „Worte“ etwa) zum quasi-Klang. Damit wird der Stellenwert des Menschen in der Sonosphäre neu positioniert: nur noch am Rande, nicht mehr im Zentrum (denn dieser Anthropozentrismus wäre die kulturelle / kulturwissenschaftliche Sicht).

Elektronische Analyse von Klangdaten (Meßmedien)

Physikalische Akustik und Phonetik beschreiben nicht schlicht das, was da ist, sondern ihre Meßmedien bringen es als tönende Form erst hervor, bis hin zum modellierenden Simulation der Hörorgane selbst: „The functioning of the ear was recreated in laboratories: sounds were synthesized and new sound sources invented. All of this caused sound to be heard in new ways.“²⁹ Sonik - in zeitkritischer Hinsicht - meint Klang als Echtzeitsimulation seiner selbst, bis hin zur Audifikation als „un-natürlichen“ Handhabbarmachung von Akustik, simulierter Klang.

Die akustische Physiologie des 19. Jahrhundert ist eine Funktion ihrer Meßmedien - technische Apparaturen, die dann später als kommerzielle Zweitverwendung in Massenmedien umschlagen, wie der Phonautograph Léon Scotts zu Edisons Phonograph und Berliner Grammophon. Technische Medien des Klangs erschließen ihn als neues Feld der Analyse (Sonik):

The „méthode graphique” or the „phonautograph” allowed repeated access to their recordings of fleeting sound events. Ensembles of sirens, resonators, the harmonium and tuning forks enabled the arbitrary production of well-defined sound. With the use of the phonograph and gramophone, sound became independent of its original context. The media technologies of recording transmission and transformation made a new phenomenality of sound audible. In sound there were tones and clangs, signals and noise, information and distortion, and the vibration of a sounding body was only one form of energy among others.³⁰

Sonik ist Effekt ihrer Meß- und Aufzeichnungsmedien. Physik beschreibt das, was akustisch da ist - bzw. durch Beschreibung, also Messung bringt sie das Akustische in dieser Aisthesis erst hervor.

Schon für Meyer-Eppler gibt es „keinen qualitativen Unterscheid zwischen gestalteten, sprich: komponierten, Mikroklangformen, etwa dem klanglichen Ausgangsmaterial, und komponierten Makroklangformen, also dem resultierenden Klangganzen.“³¹ Auch die von Curtis Roads definierten *Microsounds* operieren auf der (zeitkritischen, archäologischen) Ebene akustischer Medien, ganz so, wie Vokalanalysen die kleinste Einheit des Alphabetes (die Buchstaben) unterlaufen: „Beneath the level of note lies the realm of microsound, of sound particles. Microsonic particles remained invisible for centuries“³²; erst Meßmedien brachten dieses Niveau zutage - eine veritable Medienarchäologie von Sound.

Medien kommen hier als Meß- und als Speichermedien ins Spiel; das Sonische kann immer nur gekoppelt an die Medien seiner Aufzeichnung erforscht werden - ganz praktisch (als Bedingung für Analyse, ganz so, wie auch Filmwissenschaft ohne Videorekorder kaum denkbar wäre).³³

Klang ist asemantisch. Die sonische Ebene ist der Steuerung durch die dramaturgische Semantik und narrative Interpretation nur ansatzweise unterworfen; hier liegt die Stärke der Klangaufzeichnungsapparaturen, in ihrer sonischen Indifferenz der sogenannten „Musik“ gegenüber.

Das altgriechische Vokalalphabet holte einst auf der subsemantischen Ebene schierer Buchstäblichkeit zwar nicht die individuelle Musikalität der Gesänge Homers, aber den Klang von menschlicher Stimme überhaupt in die Schrift - symbolisch, nicht real (Phonographie als Kulturtechnik). Erst der technisch-mechanische Phonograph erwies sich als das Organ, das der diskursiven Suggestion des Sonischen zu widerstehen vermag, mithin mit dem distanten medienarchäologischen Ohr begabt ist, denn der Phonograph „hört eben nicht wie Ohren, die darauf dressiert sind, aus Geräuschen immer gleich Stimmen, Wörter, Töne herauszufiltern; er verzeichnet akustische Ereignisse als solche“³⁴. Medienarchäologische Klangwahrnehmung mit dem Phonographen: Waren Vokalalphabet und musikalische Notenschrift noch „kalte“ Medien im Sinne McLuhans, bedeutet der Phonograph eine Aufheizung von „Intervallen zu Frequenzen, von einer Logik zu einer Physik der Klänge“³⁵ - und damit eine Sprengung der (wahrnehmungsphysiologischen) Begrenzung des Hörens durch das Sonische.

Akustik und Klang, zeitbasiert

Differenzieren wir in der Frage nach der Zeit zwischen Akustik und Klang einerseits und Musik andererseits. Akustik *ist* zeitbasiert. „Als temporales Geschehen ist M. ein Medium, das, im einmaligen Erklingen sich erschöpfend, weder ausgestellt oder gespeichert, noch auf andere Weise bewahrt werden kann; es sei denn in der Erinnerung des Zuhörers“³⁶ - oder auf Magnetband.

In dem Sinne schon Nicole Oresme, Bischof und Gelehrter der Spätscholastik:

*Wenn ein Lebewesen existieren würde, das nicht die Fähigkeit des Kurzzeitgedächtnisses (retentiva) besäße und nicht fühlen könnte außer in der Gegenwart, dann wäre es nicht in der Lage den sonus wahrzunehmen. Denn da der sonus wie die Bewegung eine res successiva ist, muss er auf irgendeine Weise aus der Vergangenheit rekonstruiert oder zusammengesetzt werden.*³⁷

Kommentiert Taschow, daß es sich bei der Periodizität von Schwingungsvorgängen, generell: der Zeitlichkeit des Schalls „um eine prozesshafte Erscheinung“ handelt³⁸.

Soundxchange: Im Rahmen des gleichnamigen Soundforums 2002 an der Berliner Universität der Künste erinnerte der Komponist Konrad Rennert am 15. November daran unter dem Titel „Ein Klang, einmal geschehen - nicht wieder gutzumachen.“

*Musizieren begibt sich nur mit akustischer Materie, Schall und Klang und ihrer Erzeugung im nacheinander. Ob Dissonanz oder Konsonanz, [...] Töne müssen in Höhenlagen sukzessiv dargeboten werden [...]. Dank ihrer Eindringlichkeit [...] und Voluminosität [...] besitzen Töne Impulswert und lassen sich rhythmisch gliedern. Mit Farben und optischen Figuren, rein als solchen, geht das nicht. Sie haben - als „ebene“ Qualitäten (eine Formulierung E. Herings) von sich aus keinen Zeitbezug. Der muß ihnen von außen kommen und irgendwie szenisch motiviert sein*³⁹

- Lessing 1766 pur.

Im Weltbild des Ohres (also besser: im akustischen Weltgehör) „überwiegen, im Gegensatz zum optischen Gebiet, diejenigen akustischen Wahrnehmungen, die uns von Veränderungen Kunde geben, so beträchtlich diejenigen, die auf unverändert Fortdauerndes hinweisen, daß die Hörkunst viel ausschließlicher das dramatische Geschehen kann als die Augenkunst“⁴⁰ - ganz im Sinne Lessings:

*Klangwahrnehmung überhaupt ist immer nur innerhalb eines Zeitablaufs möglich. Für das Auge existiert in jedem Zeitaugenblick ein reiches in drei Raumdimensionen erstrecktes Bild. Daher gibt es auch zeitlose Augenkünste: Malerei und Plastik (neben zeithaften wie Theater, Film, Tanz). Hingegen ist die Vorstellung von einer zeitlosen akustischen Wahrnehmung sinnlos*⁴¹

- das wäre Stille. „Zum Charakter des Hörbaren gehört die Erstreckung in der Zeit, und daher haben alle Ohrenkünste (Musik, Rundfunk, Theater, Tonfilm usw.) Zeitcharakter“⁴².

Die Erkundung der Materialbedingungen des Radios beginnt Rudolf Arnheim mit der Analyse des *akustischen Weltbildes*: Das „Weltbild des Ohres“ vermittelt vor allem die Klangäußerungen von Tätigkeiten, von Dingen in Bewegung; Klangwahrnehmung ist immer nur innerhalb eines Zeitablaufs möglich; die Schwingungen, die unser Ohr wahrnimmt, unterscheiden sich in Bezug auf gleichbleibende oder wechselnde Tonhöhe sowie Vokalcharakter; eingeschränkt können auch Raumabstände und Raumbeschaffenheit gehört werden.

Das Sonische und die Zeit

Klänge haben „stets eine indexikalische Wirkungskomponente“⁴³ - indexikalisch im Sinne von Charles Sanders Peirce, d. h. mit physiologisch durchschlagendem Bezug zu unseren Sinneskanälen, im Unterschied zu einer elaborierten, primär erst auf kognitiver Ebene zustandekommenden „Musik“ (nicht zu verwechselt mit der altgriechischen *mousiké*). Die Interferenzen zwischen dieser indexikalischen und imaginären Dimension erforscht von Helmholtz 1863 in seiner *Lehre von den Tonempfindungen*.

Die spezifische Wirkungskomponente von Klang aber ist seine „temporal indexicality“, denn analog zu dem von Barthes für die Photographie definierten *punctum* besticht er als fortwährendes, geradezu Bergsonsches *momentum* durch seinen durchschlagenden Bezug auf die Zeitlichkeit des Hörenden.

Die Flüchtigkeit von Klang macht ihn zum privilegierten Mahnmal des Zusammenhangs von Sein und Zeit. „Zum Charakter des Klangs gehört die Erstreckung in der Zeit, das Er- und Verklingen.“ Der Ton ist G. W. F. Hegel zufolge „die erfüllte Äußerung der sich kundgebenden Innerlichkeit.“⁴⁴ Hegels *Ästhetik*: „So ist der Ton eine Äußerlichkeit, welche sich in ihrem Entstehen durch ihr Dasein selbst wieder nichtet und an sich selbst verschwindet.“⁴⁵ Das Tönende macht Zeit medial im Sinne des physikalischen Medienbegriffs erfahrbar und auf musikdramaturgischer Ebene auch manipulierbar; doch erst medientechnisch, als Sonik, wird diese Zeitlichkeit bis an die Grenze des Unerhörten auf ihrer elementarsten, kleinsten zeitkritischen Ebene steuerbar.

Als Musik ist tönende Zeit *organisiert*; so überspielt die musikalische Komposition gerade den klanglichen Appell von Zeit als Vergänglichkeit der Hörenden negentropisch durch Entgegensetzen einer bewußten anderen Zeitlichkeit namens Dramaturgie. Ihre Handlungsorientiertheit ist eine performative (in Theater, Tanz, Ritus), doch die Operativität von medientechnisch beherrschten Klangereignissen liegt unterhalb der dramatischen, narrativ konfigurierten Handlungsschwelle. Ihre affektive Wirkung operiert über die Strukturierung der Zeitachse t und die Perioden T , jedoch nicht auf dramatischer, sondern mikrozeitlicher Ebene. Mit elektroakustischen Medien löst sich Klang von der (sichtbaren) performativen Bewegung; die Bewegung wird dann in der Eskalation zur Computermusik endgültig ins Algor(h)ithmische verlagert - ein mathematischer Begriff von Bewegung. Werner Meyer-Eppler beschreibt in seinem Buch von 1949 *Elektrische Klangerzeugung. Elektronische Musik und synthetische Sprache* die neue Möglichkeit zur kompositorischen Musikgestaltung „unmittelbar auf Magnetband“⁴⁶ - also immediat zum Medium, unter Umgehung aller kulturellen Performanz. Als akustische Technologie aber wird diese Zeit aktiv: Tonbandspuren und Rap-Musik zeitigen „time-tracks“.⁴⁷

Es bedarf einer Hermeneutik des Sonischen, um etwa die zeitkritische, neuronal rückgekoppelte Körperlichkeit der und des Beats zu fassen (Sebastian Klotz).

Mit der nachrichtentheoretischen Mathematisierung solcher Prozesse erschließt sich von Neuem (eher denn rekursiv) der in Altgriechenland entdeckt Zusammenhang von Musik und Mathematik. Das Arabische hat im Unterschied zum Abendland für Musik keine Schreibpraxis entwickelt. Die Ebene des Notationellen ist nur möglich auf einer Ebene, in der das Diskrete schon eingeschrieben ist - also als sonische Analyse, nicht als Klangphänomen, das sich zumeist kontinuierlich gibt. Im mathematischen Zugang stellt sich die Frage nach dem Wissenssystem, das im Sonischen wirkt - Akusmatik in diesem Sinn. Mit Shannon läßt sich Klang schließlich als Informationsstrom in der Zeit fassen. Der medienanalytische Blick auf das Sonische entdeckt Klangereignisse als dynamische Konfigurationen.

Gegenüber Klangbegriffen, die vormals weitgehend invariant gegenüber der Zeit als Parameter blieben (auch die Fourier-Analyse), entdeckten erst die Physiologie des 19. Jahrhunderts gerade an kleinsten zeitlichen Momenten wie dem Anklang und dem Verklingen die wesentlich temporale Natur des Klangs.

„Es gibt eine nicht-arbiträre Verbindung zwischen dem Zeitverhalten hochtechnischer Medien und dem musikalischer Prozesse für eine Theorie des Sonischen. Wenn man das subliminale, anaesthetische Feld konkret über das Zeitverhalten hochtechnischer Medien untersucht, dann erweist es sich nicht einfach als das Nicht-Sinnliche, sondern als eines, das entscheidende Funktion für die Wahrnehmung ausübt, auch wenn es selbst den Sinnen nicht direkt zugänglich ist“ (Jens Gerrit Papenburg).

Philip Glass formulierte (gerade in Parallele zu Gilles Deleuzes Begriff von *Differenz und Wiederholung*) 1974 das Wesen der Repetitive bzw. Minimal Music: „So bleibt zu hoffen, daß man dann in der Lage sein wird, das ‚Jetzt‘ der Musik wahrzunehmen, frei von jeder dramatischen Struktur, als ein reines Medium des Klangs.“⁴⁸ Genau dies geschieht in techno-populären Artikulationen von Klang in Form von Samples und Loops.

Es ist die *wissenschaftliche*, im epistemologischen Sinne wissenwollende Erforschung des Wesens des Klangs, die konstitutiv war für den abendländischen Begriffs von Zeit (bis hin zu Nicole von Oresmes spätscholastischer Erforschung des *sonus*, der ihn zum Begriff von Beschleunigung und zur graphischen Definition des Parameters t führte). Sonik aber geht darüber hinaus, indem sie auch die darunterliegenden Zeitreihen auf Signalebene analysiert.

Manche Nervenzellen „feuern“ in regelmäßigen Zeitabständen, oszillieren also in einer bestimmten Frequenz; hier stellt sich das Problem aller Netzwerke:

Für komplexe Wahrnehmungsinhalte und Denkprozesse muss aber die Aktivität vieler Nervenzellen integriert werden. Ein mögliches Lösungsmodell dieses [...] `Bindungsproblems´ basiert auf die Synchronisation der Oszillationen. Die Synchronisation würde dann bestimmen, welche Nervenzellen als zusammengehörig erkannt und welche Teilinformationen integriert werden. [...] Ein Beispiel aus der Musik für solches Wechselspiel zwischen Synchronizität und Asynchronizität findet sich in der `phasing´-Technik, wie sie Steve Reich etwa in seinem Werk `piano phase´ von 1967 angewendet hat⁴⁹

- womit erneut die privilegierte Nähe zwischen akustisch-sonischen, neuroinformatischen und zeitkritischen Medienprozessen angesprochen ist. Ist diese Nähe eine medientheoretische Metapher oder tatsächlich? Ungeklärt ist bislang, „ob allerdings diese Verbindung zwischen musikalischem und neuronalem Rhythmus über die metaphorische Ebene hinausgehen und ob tatsächlich bestimmte Gesetzmäßigkeiten der Musik auf physikalischen Konstanten der Nervenzellenaktivität beruhen“⁵⁰.

Raumakustische Wahrnehmung ist selbst eine Funktion zeitkritischer Signalverarbeitung (Axel Volmar), und „die Gestalt im Raume ist nichts, als die Klangfigur dieses Tons.“⁵¹

Das Sonische und die Zahl (*computing*)

Die *schwingenden* (und nicht nur klingenden) Saiten sind das, was Mersennes genuin mediale Erkundung von Pythagoras unterscheidet, der in Harmonien verfangen blieb und damit zwar Mathematik für Musik entdeckt, aber damit die Aufmerksamkeit auf zeitkritische Prozesse verbaut.

Sonik ist nicht nur eine Frage aktueller Klangmedienkultur, sondern ebenso ein epistemologisches Argument, denn hier scheiden sich Analyse und Synthese. Eine Rekonstruktion der altgriechischen Musiknotation läßt sich zwar mit klassischen wissenschaftlichen Mitteln der Forschung leisten, doch nur durch ein computerimplementiertes Programm (SuperCollider) wirklich zum Klingeln bringen (Programm Carlé) - als Sinustöne, die dann von realen Sängern in menschliche Töne weiterentwickelt werden können. Tobias Perlick meinte, um sich auf die Tonalität altgriechisch einlassen zu können, mußte er sein musikalisches Unterbewußtsein auswechseln, gut formuliert. Mit Mitteln des Computers an die Klänge in Euripides´ Tragödien: das ist genuine Medienarchäologie, denn sowohl der Computer als auch die altgriechische Musik teilen den Begriff der Mathematik. Gewissermaßen steht der Computer der Antike hier näher als unsere Ohren.

Ist der Computer hier Medienarchäologe des Akustischen, des Klanglichen oder der Musik?

Die (antike) Verflechtung von Musik & Mathematik ist im Mittelalter nicht vergessen: Johannes de Muris definiert 1321 in seiner *Notitia artis musicae*: „musica est de numera relato ad sonos“⁵².

Aristoteles entdeckte explizit den Zusammenhang von Zahl und Bewegung („arithmos“ und „kinesis“). Zeit liegt in der Sukzession, in der Zählung: Die Seele, so Euler,

[...] bekommt eben dadurch auch den Begriff des Successiven, in so ferne sie andre und andre Eindrücke hintereinander empfindet, und daraus entspringet die Idee von der Dauer und der Zeit: sie bemerkt die Verschiedenheit ihrer Empfindungen, die eine auf die andre folgen, und fängt an sie zu zählen, ob gleich dieses Zählen aus Mangel der Zeichen oder Namen, die zu Bemerkung der Zahlen gehören, eben nicht weit gehen kann.⁵³

Seit Pythagoras gilt Musik als tönende Mathematik⁵⁴, und gleich Thomas von Aquin interessiert sich Nicole Oresme für die Nahtstelle von Mathematik und Natur; seine *Quaestiones super geometriam Euclidis* weisen auf die „mathematica media“⁵⁵. Bei Oresme finden wir (eher im Sinne der *arché* denn des kulturhistorischen Archivs) „erstmal“ das Indiz für eine bewußte Quantifizierung, also Digitalisierung musik-zeitlicher Vorgänge; die „Abstraktion einer

zeitlich-sukzessiven Qualität als geometrische und somit statische Figur⁵⁶. Als Fourier-Transformation begegnet uns später die Umwandlung einer Zeitfunktion oder Folge von Signalen in ein Spektrum wieder. Dahinter steht eine gewisse Medialität von Theorie selbst, nämlich die Bevorzugung des Auges als buchstäblich „theoretisches“ Organ gegenüber dem Ohr, denn Spektraldarstellung ist *anschaulicher* als die Darstellung im Zeitbereich - ein Darstellungsproblem. Alexander Puschkin hat es einmal so formuliert: „Die Töne tötend. Zerlegt ich die Musik wie eine Leiche Und prüfte Harmonie an Algebra.“⁵⁷

Das Sonische ist von den Techniken seiner Hervorbringungen nicht zu trennen (Peter Wicke). Sonik meint in ihrer letztendlichen Form die differente Klanghervorbringung durch den Computer. Klang(medien)kunst ist damit auf dem Vormarsch; auf den Begriff gebracht hieß dies in Berlin etwa *Sonic Arts Lounge*⁵⁸. Doch auch hier wird zumeist deren Möglichkeitsbedingung akusmatisch im Verborgenen (um nicht zu schreiben: in der Stille) gehalten. Die Klanginstallation *SoundBits01* von Robin Minard im (entleerten) *Hallenbad* Oderberger Straße in Berlin machte einst den wasserlosen Raum zum *Hallbad* und erinnerte schon im Titel daran, daß Bits und Bytes an sich indifferent ihrer Übersetzung in Töne oder Bilde sind; erst menschliche Sinne, die keine Zahlenkolonnen begreifen, verlangen nach Interfaces oder Interears (also deren Sonifizierung).

Setzen wir Sonik mit der Entwicklung elektronischer Musikinstrumente an, die sich fundamental von klassischen kulturellen Instrumenten unterscheiden und eher als Nebenprodukte einer Beschäftigung mit dem elektromagnetischen Feld entwickelt wurden. Folgen zwei Phasen: die Epoche „analoger“ Synthesizer, wo also das Klangereignis analog zur Volt-Spannung der elektrischen Medien, die Klang erzeugen, sich verhalten. Folgt dann die Eskalation der Computermusik, erst die *Illiad Suite* (Hiller), als algorithmische Komposition, und später dann die Produktion der Klänge selbst aus dem Computer: Hier wird die Zahl, die Mathematik operativ, und hier kommen mathematische Formeln und Funktionen ins Spiel. „There´s a big difference in whether you deal with linear versus exponential functions of the control level“⁵⁹ - die ganze Differenz zu Moogs Synthesizer. Mit der Mathematik halten stochastische akustische Ereignisse Einzug in die „Musik“ - so bei Yannis Xenakis.

Parallel dazu die Rolle der Speichermöglichkeiten auf Magnettonband, resultierend in speziellen „music for tape“-Kompositionen. Invers wandert das Magnetband dann als Datenspeicher in Computer und erschließt damit der Sonik eine neue Option; im speicherprogrammierbaren Computer treten *realtime performances* an die Stelle aufgezeichneter Musik „on tape“ - ein anderes akustisches Zeitregime. „I will define live electronic music as that in which electronic sound generation, processing and control predominantly occurs in realtime during a performance in front of an audience.“⁶⁰

Klanganalyse als Medientheorie (Gabor, Meyer-Eppler)

Um ein Minimum an Mathematik kommen wir nicht umhin, wenn Medientheorie und Klanganalyse konvergieren. Interpolieren wir hier einen in diesem Zusammenhang wirklich klingenden Namen, Werner Meyer-Eppler. Neben den üblichen Verdächtigen einer nachrichtentechnisch und mathematisch informierten Kommunikations- als Medientheorie (Claude Shannon, Norbert Wiener) kommt er ins Spiel, wenn es um die dezidiert akustische und sonische Applikation dieser Theorien geht. Als Dozent für experimentelle Physik teilte Meyer-Eppler die Hinwendung zu akustischen Prozessen aus naturwissenschaftlicher Perspektive mit prominenten Kollegen wie Hermann von Helmholtz, Sigmund Exner sowie Erich Moritz von Hornbostel. 1955 hält er unter dem Titel *Metamorphose der Klangelemente* einen Vortrag, der die mathematische Theorie der Kommunikation auf elektronische Musik „wie überhaupt jedes akustische Geschehen“⁶¹ anwendet. Dieses sich-Einlassen auf Shannons Mathematik bedeutet zugleich eine radikale Abwendung von den „analogen“ Vorstellungen und (Meß)Medien der Musik. „Nicht der kontinuierliche Schwingungsverlauf, das Oszillogramm, ist deshalb das angemessenste Beschreibungsmittel, sondern das diskontinuierliche Schema, die Matrix.“⁶² Gemeint ist hier sehr konkret das Zeit-Frequenz-Spektrum nach Gabor - eine zweidimensionale, diskontinuierliche Matrix, die Meyer-Eppler nicht nur zur Analyse von Klangereignissen, sondern zugleich auch als Partitur und Baumaterial für elektronische Kompositionen in *Mosaiktechnik* empfiehlt.

Dem Sampling-Theorems zufolge läßt sich jeder Schwingungsvorgang, insofern er von begrenzter Dauer ist, stets durch eine endliche Zahl von reellen oder komplexen Amplitudenwerten „völlig eindeutig darstellen“⁶³ - ein neuer Begriff von (*high*) *fidelity*, von „Treue“, geboren aus der Medienästhetik selbst, insofern sie eine techno-mathematische ist. Friedrich Kittler schreibt es gleich zu Beginn seines Werks *Aphrodite*: „Wir möchten euch Musik und Mathematik erzählen: das Schönste nach der Liebe, das Schwerste nach der Treue.“⁶⁴

Es kommt nicht von ungefähr, daß diese Sicht der Musik vor allem von Physikern, Mathematikern, Kybernetikern (heute sagen wir: Informatiker), getragen wurde. Die mathematisch-naturwissenschaftliche Antwort auf die Frage nach der Musik lautet eindeutig: Klang; diesem Appell des Sonischen schließt sich Medienarchäologie an.

Quantentheorie des Sonischen

Denis Gabor präzisiert die Fourier-Analyse, die ihrerseits schon eine Algebraisierung von Wellenphänomenen ist, in Richtung Wavelets und wählt den Begriff der „acoustic Quanta“, um Wellenmechanik zu illustrieren: „Acoustical phenomena are discussed by mathematical methods closely related to those of quantum theory.“⁶⁵ Gabor holt im Namen der „subjective acoustics“ die Zeit zurück in die Klanganalyse, welche Fourier durch seine Transformation vom Zeit- und den Frequenzbereich extrapoliert hatte. Zunächst referiert Gabor die durch von Helmholtz entwickelte Theorie des Hörens, demzufolge das hörende Ohr rechnet, weil es Klang analysiert:

*The ear analyses the sound into its spectral components, and our sensations are made up of the Fourier components, or rather of their absolute values. But Fourier analysis is a timeless description in terms of exactly periodic waves of infinite duration. On the other hand, it is our most elementary experience that sound has a time pattern as well as a frequency pattern. [...] Let us therefore consider both time and frequency as co-ordinates of sound.*⁶⁶

Es folgt ein Verweis auf die analytische Verwendung der „`sound spectrography` developed by the Bell Telephone Laboratories during the War“⁶⁷; der Kriegsbezug des Sonischen lag konkret in der Herausforderung, Piloten(tele)kommunikation auch in lärmenden Flugzeugen noch aufrechterhalten zu können - „communication in the presence of noise“ (Claude Shannon).

Nun die entscheidende Differenz in der Klangwahrnehmung zwischen Mensch und Medium; erneut kommt die Rolle der Meßinstrumente in Quantenanalyse ins Spiel: „There is an important difference between an acoustical quantum as registered by a physical measuring instrument, and as registered by the ear“.⁶⁸ Gabor beschreibt „the two mechanisms of hearing“ - einmal die Ohren als Resonatoren, dann der „almost certainly non-mechanical“ Mechanismus „one might be tempted to locate it in the brain“⁶⁹, als neuronale oder besser neuroinformatische Funktion (insofern die Wahrnehmung selbst rechnet, also Information verarbeitet). Hier erfolgt der Sprung vom Akustischen und Sonischen zur musikalischen Semantik: „We begin to perceive a sound as `musical` just at the point where the second mechanism takes over. Speech would be perfectly intelligible by the first mechanism alone.“⁷⁰

Endnoten

1. Bernd Enders, Lexikon Musikelektronik, 3. Aufl. Mainz (Schott) 1997, S. 141
2. Enders 1997, S. 141
3. Fritz Heider, Ding und Medium, hrsg. und mit einem Vorwort versehen von Dirk Baecker, Berlin (Kadmos) 2005.
4. Boris Groys, Unter Verdacht. Eine Phänomenologie der Medien, Carl Hanser Verlag 2000, S. 95
5. Am 11. Februar 2003 war Peter Wicke am Standort Sophienstraße der Humboldt-Universität zu Gast am Lehrstuhl Ästhetik und Geschichte der Medien. Sein Beitrag war Musik in medienarchäologisch gestimmten Ohren: „Klang als Medium“; einige der folgenden Thesen greifen Argumente der angeregten damaligen Diskussion auf.
6. Philodem, *De musica* IV,1, zitiert nach nach: Michael Franz, Von Gorgias bis Lukrez. Antike Ästhetik und Poetik als vergleichende Zeichentheorie, Berlin (Akademie Verlag) 1999, S. 393
7. Roland Barthes, Die Rauheit der Stimme, in: Karlheinz Barck et al. (Hg.), *Aisthesis. Wahrnehmung heute*, Leipzig (Reclam) 1990, S. 299-309 (302)
8. Jacques Attali, *Noise. The Political Economy of Music*, übers. v. B. Massumi, Minneapolis/London (University of Minnesota Press) 2002 (1977)
9. In: *Das Neue Universum*, 49. Jg. (1929), Stuttgart/Berlin/Leipzig (Dt. Verlagsges.), S. 401
10. Ferdinand Scheminzky, *Die Welt des Schalles*, 2. ergänzte Aufl. Salzburg (Das Bergland) 1943, S. 17
11. Thesenpapier *Auf dem Weg zu einer musikadäquaten Medienästhetik*, verfaßt von Elena Ungeheuer / Christa Brüstle als Diskussionsvorlage für das Ring-Colloquium „Medienästhetik“ an der Technischen Universität Berlin, Wintersemester 2006/07, Datum 20. September 2006
12. In: *Zeitschrift für Ethnologie* 43 (1911), 601-615. Wiederabdruck in: Christian Kaden (Hg.), *Tonart und Ethos. Aufsätze zur Musikethnologie und Musikpsychologie*, Wilhelmshaven (Noetzel) 1986, S. 207-227
13. Erich Moritz von Hornbostel, Die Maßnorm als kulturgeschichtliches Forschungsmittel, in: Wilhelm Koppers (Hg.), *Festschrift P. W. Schmidt*, Wien (Mechitharisten-Congregations-Buchdruckerei) 1928, S. 303-321 (303)
14. Sebastian Klotz, Hornbostels Nadelkurven, in: ders. (Hg.), „Vom tönenden Wirbel menschlichen Tuns“, Berlin (Schibri) 1998, S. 191-209 (193 u. 195)
15. v. Hornbostel 1928, S. 304
16. Klotz 1998, S. 201
17. David Dunn, A History of Electronic Music Pioneers, in: ders. / Peter Weibel (Hg.), *Eigenwelt der Apparatewelt*, Ausstellungskatalog Linz (Ars Electronica) 1992, S. 21 ff. (23)
18. Exposé zum Workshop *Sounds of Science / Schall im Labor (1800-1930)*, Workshop am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte (Berlin), 5.-7. Oktober 2006, <http://www.mpiwg-berlin.mpg.de/workshops/en/Sounds-of-Science.html> (letzter Zugriff 15.02.2008)
19. Marin Mersenne, *Harmonie universelle. Contenant la théorie et la pratique de la musique*, Paris 1963 (Nachdruck Paris 1686), 227
20. Sebastian Klotz, *Vibration und Vernunft. Zur experimentellen Agenda in Marin Mersennes Harmonie universelle* (Paris, 1636), in: Helmar Schramm / Ludger Schwarte / Jan Lazardzig (Hg.), *Spektakuläre Experimente. Praktiken der Evidenzproduktion im 17. Jahrhundert*, Berlin / New York (de Gruyter) 2006, S. 279-293 (281)
21. Dunn 1992, S. 26 f.
22. Pierre Schaeffer, zitiert in: David Dunn, „A History of Electronic Music Pioneers“, in: dem von ihm herausgegebenen Ausstellungskatalog mit dem bezeichnenden Titel *Eigenwelt der Apparatewelt*, Linz (Ars Electronica) 1992, S. 21-(31)

23. F. Winkel, Farbiges Spiel auf elektrischen Instrumenten, in: Funk-Technik Nr. 5/1951, S. 126-127 (126). Siehe auch ders. (Hg.), Klangstruktur der Musik. Neue Erkenntnisse musik-elektronischer Forschung, Berlin (Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik) 1955; darin u. a. W. Meyer-Eppler, „Elektronische Musik“, S. 133-158
24. Siehe Hans-Jochen Schulze, „Im Reich der Unharmonischen - Metalsoundgeneratoren für viele Anwendungsfälle“, in: Klaus Schlenzig / Wolfgang Stammer (Hg.), Elektronikmagazin 1, Berlin (Militärverlag) 1989, S. 98-110
25. Thesenpapier Ungeheuer / Brüstle 2006
26. Ulrich Taschow, Nicole Oresme und der Frühling der Moderne. Die Ursprünge unserer modernen quantitativ-metrischen Weltaneignungsstrategien und neuzeitlichen Bewußtseins- und Wissenschaftskultur, Halle (Avox) 2003, Bd. I, S. 89
27. Eine Anspielung auf Bill Viola, Der Klang der Ein-Zeilen-Abtastung, in: Theaterschrift 4: The Inner Side of Silence, Brüssel (September 1993), S. 16-54
28. Begleitblatt zur Installation
29. Exposé zum Workshop Sounds of Science / Schall im Labor (1800-1930), 2006
30. Exposé Workshop Sounds of Science
31. Elena Ungeheuer, Wie die elektronische Musik „erfunden“ wurde ... Quellenstudie zu Werner Meyer-Epplers Entwurf zwischen 1949 und 1953, Mainz et al. (Schott) 1992, S. 79
32. Curtis Roads, Microsound, Cambridge, Mass. 2004, S. vii
33. Siehe Heinz Hiebler, Der Sound zwischen technischen Möglichkeiten und kulturellen Ansprüchen. Eine Medienkulturgeschichte der Tonträger, in: Harro Segeberg / Frank Schätzlein (Hg.), Sound. Zur Technologie und Ästhetik des Akustischen in den Medien, Marburg 2005, S. 206-228
34. Friedrich Kittler, Grammophon - Film - Typewriter, Berlin (Brinkmann und Bose) 1986, S. 39
35. Ebd., S. 41
36. Christian Bielefeldt, Eintrag „Musik“, in: Nicolas Pethes / Jens Ruchatz (Hg.), Gedächtnis und Erinnerung. Ein interdisziplinäres Lexikon, Reinbek bei Hamburg (rowohlt) 2001, S. 389-391 (389)
37. Nicole Oresme, Quaestiones de anima, zitiert nach: Taschow 2003, Bd. II: S. 673
38. Taschow 2003: Bd. II, S. 674
39. Helmuth Plessner, Gesammelte Schriften III. Anthropologie der Sinne, Frankfurt a. M. (Suhrkamp) 1970/1980: S. 348
40. Rudolf Arnheim, Das Weltbild des Ohres, in: ders., Rundfunk als Hörkunst und weitere Aufsätze zum Hörfunk [*Radio, London 1936], Frankfurt/M. (Suhrkamp) 2001, S. 18-(19)
41. Ebd.
42. Ebd.
43. Christa Brüstle, Thesenpapier zum Kolloquium *Medien, die wir meinen* (am Lehrstuhl Medientheorien der Humboldt-Universität zu Berlin), November 2006
44. G. W. F. Hegel, Enzyklopädie (1830), § 459; dazu Jürgen Trabant, Vom Ohr zur Stimme. Bemerkungen zum Phonozentrismus zwischen 1770 und 1830, in: Hans Ulrich Gumbrecht / Karl Ludwig Pfeiffer (Hg.), Materialität der Kommunikation, Frankfurt/M. 1988, S. 63-79 (64 f.)
45. Georg Wilhelm Friedrich Hegel, Vorlesungen über die Ästhetik III, in: Werke 15, Frankfurt/M. 1970, S. 134 f.
46. Eintrag „Studio für elektronische Musik“ [sc. seit Oktober 1951 im damaligen NWDR, mit Werner Meyer-Eppler, Robert Beyer, Fritz Enkel und Herbert Eimert], in: Wikipedia, Zugriff November 2006
47. Dazu die Dissertation von Jan Hein Hoogstad, Time Tracks, Diss. Universität Utrecht, Philosophische Fakultät, 2005.

48. Zitiert nach Programmheft der Aufführung der Berliner Kammeroper von *In the Penal Colony*, Musik Philip Glass, Hebbel-Theater Berlin, November 2002, S. 7
 49. David Linden, Das Spiel der „Brain Players. Rhythmen im Gehirn“, in: Junge Akademie Magazin (Berlin) No. 4 (2006), S. 16 f. (17)
 50. Ebd.
 51. Johannes W. Ritter, Fragmente aus dem Nachlasse eines jungen Physikers. Ein Taschenbuch für Freunde der Natur, Heidelberg (Mohr & Zimmer) 1810; Nachdruck Hanau (Müller & Kiepenheuer) 1984, S. 275
 52. Hg. v. Ulrich Michels, American Institute of Musicology, 1972, S. 49
 53. Leonard Euler, Briefe an eine deutsche Prinzessin über verschiedene Gegenstände aus der Physik und Philosophie, Nachdruck der Ausgabe Leipzig u. a. 1769-1773, Braunschweig (Vieweg) 1986, 95. Brief, 107. Siehe auch ders., *Dissertatio physica de sono*, 1727
 54. Siehe Andreas Jaschinski et al., Artikel „Musik und Mathematik“, in: *Die Musik in Geschichte und Gegenwart*, hg. v. Ludwig Finscher, Sachteil 6, Kassel u. a. (Bärenreiter / Metzler) 1997, S. 790-799
 55. Zitiert nach: Taschow 2003 (Bd. I), S. 61
 56. Taschow 2003, Bd. I, S. 87
 57. A. Puschkin, Mozart und Salieri, zitiert als Motto in: J. J. Barabasch, Algebra und Harmonie, in: „Kontext“. Sowjetische Beiträge zur Methodendiskussion in der Literaturwissenschaft, hg. v. Rosemarie Lenzer / Pjotr Palijewski, Berlin (Akademie) 1977, S. 15-94 (15)
 58. Im Rahmen der *März Musik* 2003, als künstlerische Antwort auf Techno-Musik.
 59. Don Buchla, zitiert nach Dunn 1992, S. 41
 60. Dunn 1992, S. 48
 61. Zitiert aus dem Vortragstyposkript nach: Ungeheuer 1992, S. 217
 62. Zitiert ebd.
 63. Werner Meyer-Eppler, Elektronische Musik, in: F. Winckel (Hg.) 1955, S. 133-158 (150)
 64. Friedrich Kittler, *Aphrodite. Musik und Mathematik* Bd. I/1, München (Fink) 2006, S. 12
 65. Denis Gabor, Acoustical Quanta and the Theory of Hearing, in: *Nature* Nr. 4044 (Mai 1947), S. 591-594 (591)
 66. Ebd., S. 591
 67. Ebd., S. 592
 68. Ebd., S. 593
 69. Ebd.
 70. Ebd.
-

Literatur

- Hebbel-Theater Berlin, Programmheft der Aufführung der Berliner Kammeroper von *In the Penal Colony*, Musik Philip Glass, 2002.
- Das Neue Universum, 49. Jg. (1929), Stuttgart/Berlin/Leipzig (Dt. Verlagsges.).
- Exposé zum Workshop *Sounds of Science / Schall im Labor (1800-1930)*, Workshop am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte (Berlin), 5.-7. Oktober 2006, <http://www.mpiwg-berlin.mpg.de/workshops/en/Sounds-of-Science.html> (letzter Zugriff 15.02.2008)
- Arnheim, Rudolf, *Rundfunk als Hörkunst und weitere Aufsätze zum Hörfunk* [*Radio, London 1936], Frankfurt/M. (Suhrkamp) 2001
- Attali, Jacques, *Noise. The Political Economy of Music*, übers. v. B. Massumi, Minneapolis/ London (University of Minnesota Press) 2002
- Barabasch, J. J., *Algebra und Harmonie*, in: „Kontext“. Sowjetische Beiträge zur Methodendiskussion in der Literaturwissenschaft, hg. v. Rosemarie Lenzer / Pjotr Palijewski, Berlin (Akademie) 1977, S. 15-94
- Barthes, Roland, *Die Rauheit der Stimme*, in: Karlheinz Barck et al. (Hg.), *Aisthesis. Wahrnehmung heute*, Leipzig (Reclam) 1990, S. 299-309
- Bielefeldt, Christian, Eintrag „Musik“, in: Nicolas Pethes / Jens Ruchatz (Hg.), *Gedächtnis und Erinnerung. Ein interdisziplinäres Lexikon*, Reinbek bei Hamburg (rowohlt) 2001, S. 389-391
- Brüstle, Christa, *Thesenpapier zum Kolloquium Medien, die wir meinen* (am Lehrstuhl Medientheorien der Humboldt-Universität zu Berlin), November 2006
- Dunn, David / Peter Weibel (Hg.), *Eigenwelt der Apparatewelt*, Ausstellungskatalog Linz (Ars Electronica) 1992
- Enders, Bernd, *Lexikon Musikelektronik*, 3. Aufl. Mainz (Schott) 1997
- Euler, Leonard, *Briefe an eine deutsche Prinzessin über verschiedene Gegenstände aus der Physik und Philosophie*, Nachdruck der Ausgabe Leipzig u. a. 1769-1773, Braunschweig (Vieweg) 1986
- Euler, Leonard, *Dissertatio physica de sono*, 1727
- Franz, Michael, *Von Gorgias bis Lukrez. Antike Ästhetik und Poetik als vergleichende Zeichentheorie*, Berlin (Akademie Verlag) 1999
- Gabor, Denis, *Acoustical Quanta and the Theory of Hearing*, in: *Nature* Nr. 4044 (Mai 1947), S. 591-594
- Groys, Boris, *Unter Verdacht. Eine Phänomenologie der Medien*, Carl Hanser Verlag 2000
- Hegel, Georg Wilhelm Friedrich, *Enzyklopädie*, 1830
- Hegel, Georg Wilhelm Friedrich, *Vorlesungen über die Ästhetik III*, in: *Werke* 15, Frankfurt/M. 1970
- Heider, Fritz, *Ding und Medium*, hrsg. und mit einem Vorwort versehen von Dirk Baecker, Berlin (Kadmos) 2005
- Hiebler, Heinz, *Der Sound zwischen technischen Möglichkeiten und kulturellen Ansprüchen. Eine Medienkulturgeschichte der Tonträger*, in: Harro Segeberg / Frank Schätzlein (Hg.), *Sound. Zur Technologie und Ästhetik des Akustischen in den Medien*, Marburg 2005, S. 206-228
- Hoogstad, Jan Hein, *Time Tracks*, Diss. Universität Utrecht, Philosophische Fakultät, 2005
- Hornbostel, Erich Moritz von, *Über ein akustisches Kriterium für Kulturzusammenhänge*, in: *Zeitschrift für Ethnologie* 43 (1911), 601-615 (Wiederabdruck in: Christian Kaden (Hg.), *Tonart und Ethos. Aufsätze zur Musikethnologie und Musikpsychologie*, Wilhelmshaven (Noetzel) 1986, S. 207-227)
- Hornbostel, Erich Moritz von, *Die Maßnorm als kulturgeschichtliches Forschungsmittel*, in: Wilhelm Koppers (Hg.), *Festschrift P. W. Schmidt*, Wien (Mechitharisten-Congregations-Buchdruckerei) 1928, S. 303-321

- Kim, Yunchul, Begleitheft zur Installation *Hello, World!* (2004/05), (www.khm.de/~tre)
- Kittler, Friedrich, Grammophon – Film – Typewriter, Berlin (Brinkmann und Bose) 1986
- Kittler, Friedrich, Aphrodite. Musik und Mathematik Bd. I/1, München (Fink) 2006
- Klotz, Sebastian, Vibration und Vernunft. Zur experimentellen Agenda in Marin Mersennes *Harmonie universelle* (Paris, 1636), in: Helmar Schramm / Ludger Schwarte / Jan Lazardzig (Hg.), *Spektakuläre Experimente. Praktiken der Evidenzproduktion im 17. Jahrhundert*, Berlin / New York (de Gruyter) 2006, S. 279-293
- Klotz, Sebastian, Hornbostels Nadelkurven, in: ders. (Hg.), „Vom tönenden Wirbel menschlichen Tuns“, Berlin (Schibri) 1998, S. 191-209
- Linden, David, Das Spiel der „Brain Players. Rhythmen im Gehirn“, in: *Junge Akademie Magazin* (Berlin) No. 4 (2006), S. 16 f.
- Mersenne, Marin, *Harmonie universelle, contenant la théorie et la pratique de la musique*, Paris 1963 (Faksimile: Paris, Centre National de la Recherche Scientifique, 1986)
- Meyer-Eppler, Werner, Elektronische Musik, in: F. Winckel (Hg.), *Klangstruktur der Musik. Neue Erkenntnisse musik-elektronischer Forschung*, Berlin (Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik) 1955, S. 133-158
- Jaschinski, Andreas et al., Artikel „Musik und Mathematik“, in: *Die Musik in Geschichte und Gegenwart*, hg. v. Ludwig Finscher, Sachteil 6, Kassel u. a. (Bärenreiter / Metzler) 1997, S. 790-799
- Muris, Johannes de, *Notitia artis musicae*, hg. v. Ulrich Michels, American Institute of Musicology, 1972
- Plessner, Helmuth, *Gesammelte Schriften III. Anthropologie der Sinne*, Frankfurt a. M. (Suhrkamp) 1970/1980
- Roads, Curtis, *Microsound*, Cambridge, Mass. 2004
- Ritter, Johannes W., *Fragmente aus dem Nachlasse eines jungen Physikers. Ein Taschenbuch für Freunde der Natur*, Heidelberg (Mohr & Zimmer) 1810; Nachdruck Hanau (Müller & Kiepenheuer) 1984
- Scheminzky, Ferdinand, *Die Welt des Schalles*, 2. ergänzte Aufl. Salzburg (Das Bergland) 1943
- Schulze, Hans-Jochen, Im Reich der Unharmonischen - Metalsoundgeneratoren für viele Anwendungsfälle, in: Klaus Schlenzig / Wolfgang Stammer (Hg.), *Elektronikmagazin 1*, Berlin (Militärverlag) 1989, S. 98-110
- Taschow, Ulrich, Nicole Oresme und der Frühling der Moderne. Die Ursprünge unserer modernen quantitativ-metrischen Weltaneignungsstrategien und neuzeitlichen Bewußtseins- und Wissenschaftskultur, 2 Bände, Halle (Avox) 2003
- Trabant, Jürgen, Vom Ohr zur Stimme. Bemerkungen zum Phonozentrismus zwischen 1770 und 1830, in: Hans Ulrich Gumbrecht / Karl Ludwig Pfeiffer (Hg.), *Materialität der Kommunikation*, Frankfurt/M. 1988, S. 63-79
- Ungeheuer, Elena, Wie die elektronische Musik „erfunden“ wurde ... Quellenstudie zu Werner Meyer-Epplers Entwurf zwischen 1949 und 1953, Mainz et al. (Schott) 1992
- Ungeheuer, Elena / Brüstle, Christa, Auf dem Weg zu einer musikadäquaten Medienästhetik, Diskussionsvorlage für das Ring-Colloquium „Medienästhetik“ an der Technischen Universität Berlin, Wintersemester 2006/07, Datum: 20. September 2006
- Viola, Bill Der Klang der Ein-Zeilen-Abtastung, in: *Theaterschrift 4: The Inner Side of Silence*, Brüssel (September 1993)
- Winckel, F., Farbiges Spiel auf elektrischen Instrumenten, in: *Funk-Technik* Nr. 5/1951, S. 126-127
- Winckel, F. (Hg.), *Klangstruktur der Musik. Neue Erkenntnisse musik-elektronischer Forschung*, Berlin (Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik) 1955