Shintaro Miyazaki

Das Algo*rhythmische*. *Microsound* an der Schwelle zwischen Klang und Rhythmus

> A partir du moment où la possibilité nous est donnée d'incarner dans le réel ce 0 et ce 1, notation de la présence et de l'absence, de l'incarner sur un rhythme, une scansion fondamentale, quelque chose est passé dans le réel […].
>
> *Jacques Lacan (1955)*[1]

> Beneath the level of note lies the realm of microsound, of sound particles. […] Sounds may coalesce, evaporate, or mutate into other sounds.
>
> *Curtis Roads (2004)*[2]

Unterwegs zum Digitalen, nachdem Heideggers *Frage nach der Technik* erneut gestellt[3] und Medien als »Ort, wo sich Technologien, Operativität und kulturelle Semantik treffen«[4], bestimmt worden sind, lässt sich vorerst festhalten, dass technische Medien – zumal im digitalen Zeitalter – ein »Dazwischen« in Wahrnehmungs- und Übertragungsprozessen bilden.[5] Die Frage nach dem konstitutiven Ort der Medien zielt vor allem auf das *Prozessuale* der Übertragung (griech. *metaphorein*) hin. Medienprozesse im Digitalen *sind* nicht, sondern *ek-sistieren* nur in den polymorphen ›Metaphorizitäten‹ hör- und sehbarer Simulationsoberflächen.[6] Der Computer als Medium ek-sistiert – *ragt* gewissermaßen aus dem tiefen Untergrund der mikroskopisch kleinen elektronischen Schaltkreise *heraus*[7] –, indem es für eine bestimmte Zeit als Ton auf den Membranen der

---

1 Jacques Lacan: »Psychanalyse et cybernétique, ou de la nature du langage (XXIII)«, in: Jacques Alain Miller (Hrsg.): *Le séminaire de Jacques Lacan. – Le moi dans la théorie de Freud et dans la technique de la psychanalyse, 1954–1955*, Buch II, Paris 1978, S. 350 (Herv. S. M.).

2 Curtis Roads: *Microsound*, Cambridge, Massachusetts 2004 (2001), S. vii.

3 Georg Christoph Tholen: *Die Zäsur der Medien*, Frankfurt a. M. 2002, S. 169 ff.

4 Wolfgang Ernst: *Medienwissen(schaft) zeitkritisch – Ein Programm aus der Sophienstrasse – Antrittsvorlesung*, Berlin 2004, S. 6.

5 Georg Christoph Tholen: »Medium/Medien«, in: Alexander Roesler und Bernd Stiegler (Hrsg.): *Grundbegriffe der Medientheorie*, Paderborn 2005, S. 153.

6 Vgl. Tholen: Zäsur, S. 54.

7 Zum Begriff der Existenz beziehungsweise Ek-sistenz im Sinne des ›Aus-sich-Haltenden‹ oder ›Aus-sich-Herausstehenden‹ und demnach des ›Sich-Zeigens‹ vgl. Dieter Mersch: *Ereignis und Aura – Untersuchungen zu einer Ästhetik der Performativen*, Frankfurt a. M. 2002, S. 10.

Lautsprecher erklingt oder als Text oder Bild auf der Oberfläche des Bildschirms erscheint. Algo*rhythmische* Medienprozesse als Verknüpfung von Logik, Steuerung, Zeit, Materie und Physik sind für dieses »Anklingen«[8] verantwortlich.

1. Prélude

Im Folgenden wird der heuristisch entstandene Begriff des Algo*rhythmischen* näher bestimmt und seine Brauchbarkeit als medientheoretischer Neologismus herausgestellt. Das – in Anlehnung an Derridas *différance* – nur graphisch evidente Wortspiel ›Algo*rhythmus*‹ ist aus der Synthese der Begriffe ›Algorithmus‹ und ›Rhythmus‹ entstanden.[9] Der vorliegende Beitrag stellt den Versuch dar, einerseits Schall, Klang und Musik im technischen Medium des Digitalen zu denken und andererseits das ›Digitale‹ über diese Begriffe greifbar zu machen. Er versteht sich als ein weiterer Beitrag zur Verschränkung von Medientheorie und Klangwissenschaft (speziell einer Theorie des Sonischen), die im Vergleich zur inflationären Verknüpfung von Medientheorie und Kunst- bzw. Bildwissenschaft noch immer selten vollzogen wird. Im Zuge dieses Vorhabens wird neben der Festigung des Begriffs des Algo*rhythmischen* auf die konzeptuelle Differenz der musiktheoretischen Begriffe ›Rhythmus‹ und ›Takt‹ aufmerksam gemacht, die nun ein *re-entry* im medientheoretischen Diskurs erfahren. Der Begriff des ›Algo*rhythmischen*‹ ist, so die These, im Hinblick auf die Beschreibung digitaler Technologien in ihrer Zeitlichkeit präziser als diejenigen des ›Digitalen‹ oder des ›symbolisch-binären Codes‹, denn beide Konzepte vergessen das Zeitlich-Prozessuale beziehungsweise das Operativ-Performative medialer Prozesse.

2. Schnitt, Zäsur, Takt

Wird das, was im Computer geschieht, wirklich prozessual gedacht und der Ereignischarakter eines jeden Computerprozesses ernst genommen, dann setzt »jede materielle Transformation von Entropie in Information, von einer Million schlummernder Transistorzellen in elektrische Spannungsdifferenzen […] notwendig ein materielles Ereignis namens Reset

---

[8] Zum Begriff des ›Anklangs‹ vgl. Martin Heidegger; Friedrich-Wilhelm von Herrmann (Hrsg.): *Beiträge zur Philosophie (Vom Ereignis) (1936–1938)*, Frankfurt a. M. 1989.

[9] Für die Etymologie von Algorithmus gibt es mehrere Erklärungsweisen: Zunächst als Ableitung aus dem Namen des arabischen Mathematikers ›Al-Chwarizmi‹, der lateinisch ›Algoritmi‹ genannt wurde. Andere stellen die Nähe zum altgriechischen ›arithmos‹ (An-Zahl) fest, andere wiederum die Nähe zum altgriechischen ›rhythmós‹, was gemessene Bewegung oder Zeit, Maß oder Proportion bedeutete.

voraus«.[10] Das Drücken des Reset- oder Startknopfs ist also Ausgang und Ursprung eines jeden Computerprozesses, weil sonst gar nichts ins Laufen kommt.

In der Theogonie des Hesiod,[11] welche als Ur-Metaphysik der griechisch-abendländischen Kultur gilt, entstehen Sein und Nichtsein, An- und Abwesenheit, beziehungsweise das Binäre durch die Figur der Teilung und folglich durch Diskretisierung: »Seinskonstitution ist ursprünglich Trennung, Scheidung der Seinsbereiche, […] Trennung von Sein und Nichtsein.«[12] Daraus lässt sich folgern, dass Information im Sinne der Differenz von Null und Eins eine ursprüngliche Einheit gewesen sein müsste, die durch einen gewaltsamen Kraftakt, welcher sich der Entropie mit Energieeinwirkung entgegensetzt, getrennt und in diesem Sinne diskretisiert wurde. Zugespitzt formuliert könnte behauptet werden, dass schon hier in der griechischen Mythologie im Sinne einer Proto-Metaphysik die Figur des Diskreten und somit ein Aspekt der Digitalisierung auftaucht: Die Entstehung der Welt im abendländischen Denken, wie vielleicht auch in anderen Kulturen, ist digital-binär. Nach dem Setzen eines Schnitts, der ›Thesis‹ im wörtlichen Sinne, kann aus den durch Scheidung entstandenen, nun diskreten Teilen eine neue Welt *syn-thetisiert*, d. h. zusammen-gesetzt werden.[13]

Weiterhin scheint es im Nachdenken über ›zei(*t*)-kritische Medie[n]‹ angebracht, der etymologischen Bedeutung von Zeit mehr Resonanz zu geben. Das deutsche Wort ›Zeit‹ ist auf das althochdeutsche ›zit‹ mit der indogermanischen Wurzel ›di‹ zurückführbar, was ›teilen‹ oder ›zerschneiden‹ bedeutet. Auch das lateinische Wort ›tempus‹ lässt sich etymologisch von ›abschneiden‹ (griech. *themnein*) herleiten. In diesem Sinne bezeichnet Zeit »so etwas wie einen Schnitt in ein Kontinuum«[14]. Zeit hat folglich einen tiefgreifenden Konnex mit der Figur der Trennung und des Schnitts. Ohne Schnitt keine Zeit und ohne Zeit keine Welt – der Kreis schließt sich.

Sein und Zeit sind beide mit der Figur der Zäsur verknüpft, doch ein Element fehlt noch: Die ›musica‹, deren wichtigste Konzepte neben der Zahl und dem Ton, Takt und Rhythmus sind. Sie wird 1321 von Johannes de Muris als Relation von Zahl und Ton definiert.[15] In der mittelalterlichen

---

10 Friedrich Kittler: Kap. Es gibt keine Software, in: Draculas Vermächtnis – Technische Schriften, Leipzig 1993, S. 231.

11 Hesiodus (ca. 700 v. Chr.): Theogonie. Werke und Tage, hrsg. v. Albert von Schirnding, München 1991.

12 Vgl. Emil Angehrn: »Ursprung und Gestalt«, in: *Dialektischer Negativismus – Michael Theunissen zum 60. Geburtstag*, Frankfurt a. M. 1992, S. 167.

13 Vgl. dazu Wolfgang Ernst/Friedrich Kittler (Hrsg.): *Die Geburt des Vokalalphabets aus dem Geist der Poesie. Schrift, Zahl und Ton im Medienverbund*, München 2006.

14 Hans Michael Baumgartner: »Zeit und Zeiterfahrung«, in: Hans Michael Baumgartner (Hrsg.): *Zeitbegriffe und Zeiterfahrung*, Freiburg/München 1994, S. 190.

15 »Musica est de numero relato ad sonos.« Vgl. Johannes de Muris: Notitia artis musicae – Corpus. Zum Begriff Musica im Mittelalter vgl. Max Haas: *Musikalisches Denken im Mittelalter – Eine Einführung*, Bern 2005.

Musiktheorie wird sie nach antikem Vorbild innerhalb der vier mathematischen (Arithmetik, Geometrie, Musik und Astronomie) und den drei sprachlichen (Grammatik, Dialektik und Rhetorik) Künsten verortet und wird im späten Mittelalter oft als »scientia media« bezeichnet.[16] Diese grundsätzlich mediale Struktur von Musik in ihrer kulturhistorischen Verflechtung mit Mathematik, Physik (später Akustik) und Philosophie besteht schon seit der Antike (prominent bei den Pythagoreern[17]) und ermöglicht im polysemischen Begriff des Algo*rhythmischen* einen medientheoretischen Zugang zu zeit*kritischen* Prozessen, die im Vergleich zu zeit*basierten* Prozessen im Digitalen erst recht virulent werden. Darin liegt: Die Welt des Digitalen geschieht durch *Taktung* und der Computer steht in der Tradition der Musik, was im Folgenden gezeigt werden soll.[18]

Das Akustische scheint durch seinen existenziellen Konnex mit der Zeit einen besseren Zugang zum Digitalen zu bieten als das Visuelle, denn Bilder sind – anders als Töne – statisch und aprozessual. »Unerbittlich ist der Computer in der uns vorliegenden Von-Neumann-Architektur dem Takt der Zeit unterworfen.«[19] Speicherung, Verarbeitung und Übertragung im und durch den Computer sind Prozesse, die über die Haupttaktung der CPU geschehen. Eine andere Art von Taktung geschieht bei der Analog/Digital-Wandlung, durch die Reales zu Symbolischem wird. Das analoge Signal wird in Folgen diskreter, digital-binärer Werte zerstückelt, zerteilt, quantisiert, will heißen: symbolisch verzeichnet und entzeitlicht.

Das »Rauschen des Realen«[20] ist spätestens seit der Epochenschwelle um 1877 – seit der Erfindung des Phonographen also – in technischen Medien domestiziert worden und dadurch im Bereich des Analogen auch

---

16 Erstmals taucht der Begriff 1256 bei Thomas von Aquin (1224–1274) in einem Kommentar zu »Institutio musica« von Boethius (ca. 500) auf. Bemerkenswert ist, dass die bildenden Künste im Mittelalter zu den ›artes mechanicae‹, die gegenüber den ›septem artes liberales‹ (sieben freien Künsten) als niedriger stehend angesehen wurden.

17 Friedrich Kittler: *Musik und Mathematik – Band 1. Hellas. Teil 1: Aphrodite*, München 2006.

18 Die in der Geschichte der westeuropäischen Musik implementierten Proto-Digitalisierungstendenzen kommen um 1300 mit der Einführung der Mensuralnotation, die gleichzeitig Tonhöhe *und* -dauer fixieren kann, vollständig zum Vorschein. Die durch Franco von Köln um 1280 eingeführte Mensuralnotation wird 1321 durch Johannes de Muris ausgeweitet und sowohl musiktheoretisch gefestigt als auch mathematisch neu begründet. Sie entsteht im Zeitalter einer über Arabien erfolgten erneuten Aristoteles-Rezeption, bei der Aspekte von Zeit, Bewegung und Prozessualität im Allgemeinen wichtig werden. Etwa zur selben Zeit werden pikanterweise die indisch-arabischen Ziffern durch den Mathematiker Al-Chwarizmi von Arabien über Spanien und Italien nach Mitteleuropa eingeführt. Vgl. hierzu Bernhard Siegert: *Passage des Digitalen*, Berlin 2003, S. 55 ff; Sybille Krämer: *Symbolische Maschinen – die Idee der Formalisierung in geschichtlichem Abriss*, Darmstadt 1988, S. 50 ff; Haas: Musikalisches Denken, S. 81.

19 Wolfgang Ernst: »Signal versus Zeichen? – Zeit, Medium, Maschine«, in: Klaus Fuchs-Kittowski/Siegfried Piotrowski (Hrsg.): *Kybernetik und Interdisziplinarität in den Wissenschaften – Georg Klaus zum 90. Geburtstag*, Berlin 2004, S. 323.

20 Friedrich Kittler: »Real Time Analysis – Time Axis Manipulation«, in: Georg Christoph Tholen/Michael O. Scholl (Hrsg.): *Zeit-Zeichen – Aufschübe und Interfrenzen zwischen Endzeit und Echtzeit*, Weinheim 1990, S. 365.

manipulierbar geworden. Die prinzipielle Offenheit gegenüber dem Realen, seiner Kontingenz und Komplexität, war die erstaunliche Innovation der Analogmedien, die den Medienumbruch im Aufschreibesystem des ausgehenden 19. Jahrhunderts bewirkten. Die Analogisierung, das heißt die technische Aufzeichnung von physikalisch-realen Klängen, schließt an eine durch die Einführung der Mensuralnotation (um 1300) *proto*-digitale Notenschrift an, welche beide durch die A/D-Wandlung zu einer *Spurschrift* des Akustischen zusammenkommen. Diese Spurschrift im Digitalen, die »Signatur des neuen Medienzeitalters«[21], ermöglicht nicht nur eine zeitbasierte *Time Axis Manipulation*, sondern seit der Einführung leistungsstarker Mikroprozessoren auch *Real Time Analysis* und ›Echtzeit‹-Manipulation, denn nun ist die Spur des Realen durch Digitalisierung an sich wieder kodier-, beschreib- und verarbeitbar geworden. »Diese diskret gemachte Zeit […] erlaubt […] Manipulationen am Realen, wie sie [vorher] nur am Symbolischen möglich waren.«[22]

Deshalb wird die Spur des Schalls der Analogmedien wiederum zur Schrift, zur Spurschrift. Die diskreten Elemente dieser Spurschrift sind nicht mehr, wie bei der Notenschrift, relative Einzeltöne oder -dauern, sondern Abtastwerte oder Samples, kleinste »Zeit-Zeichen«[23], die entstehen, indem das analoge Signal 44.100 Mal pro Sekunde in seiner Amplitude gemessen und dadurch zu einem binären Datenstring *zer-taktet* wird.[24] Aus der kinetischen Energie des Schalls wird elektrische Energie, welche durch die A/D-Umwandlung zu einer Datenfolge wird.[25] Der binäre Datenstring als Repräsentation von maschinellen Schaltzuständen ist aber zugleich semantisch absolut sinnlos. Der digitale Code wird vorerst operativ verarbeitet und erst in der *Aisthesis* oder im Fall des Klangs in der *Akroasis*[26] performativ wirksam. Um diesen Zusammenhang zu erfahren, genügt es, Audiodateien lediglich mit einem sogenannten Hex-Editor zu öffnen:

---

21 Frank Hartmann: »Instant awareness. Eine medientheoretische Exploration mit McLuhan«, in: Marcus S. Kleiner/Achim Szepanski (Hrsg.): *Soundcultures – über elektronische und digitale Musik*, Frankfurt a. M. 2003, 45.

22 Friedrich Kittler: »Fiktion und Simulation«, in: ARS ELECTRONICA (Hrsg.): *Philosophien der neuen Technologie*, Berlin 1989, S. 57–80, hier S. 74.

23 Georg Christoph Tholen/Michael O. Scholl: »Einleitung: Temporale Zäsuren«, in: dies. (Hrsg.): *Zeit-Zeichen – Aufschübe und Interferenzen zwischen Endzeit und Echtzeit*, Weinheim 1990.

24 Die höchste für das menschliche Ohr hörbare Frequenz liegt bekanntlich im Bereich von 20.000 Hz. Das berühmte, im Jahre 1928 publizierte Sampling-Theorem von Harry Nyquist besagt, dass der Wert der Abtast- bzw. Samplingfrequenz mindestens doppelt so groß sein muss wie die höchste im Eingangssignal vorhandene Frequenz, um es verlustfrei ins Digitale übertragen zu können. Vgl. in: Curtis Roads: *Computer Music Tutorial*, Cambridge/Massachusetts 1996, S. 30.

25 Vgl. Wolfgang Ernst: »Den A/D-Umbruch aktiv denken – medienarchäologisch, kulturtechnisch«, in: Jens Schröter/Alexander Böhnke (Hrsg.): *Analog/Digital – Opposition oder Kontinuum. Zur Theorie und Geschichte einer Unterscheidung*, Bielefeld 2004, S. 56.

26 Akroasis = Anhörung.

52 49 46 46 90 56 00 00 57 41 56 45 66 6D 74 20 10 00 00 00 01 00 02 00 44 AC 00 00 10 B1 02 00 04 00 10 00 73 6D 70 6C 3C 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 3C 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 01 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 FF FF FF FF FF FF FF FF 00 00 00 00 00 00 00 00 **64 61 74 61** 28 56 00 00 B8 19 B8 19 D0 00 D0 00 10 CA 10 CA A3 01 A3 01 94 35 94 35 8D 2E 8D 2E EE 2E EE 2E 61 2E 61 2E 4B FE 4B FE 94 CD 94 CD FE D2 FE D2 C7 D3 C7 D3 56 D3 56 D3 8C D4 8C D4 4B D4 4B D4 43 D5 43 D5 34 D5 34 D5 BF 01 BF 01 22 2E 22 2E 70 29 70 29 7D 28 7D 28 15 29 15 29 D0 27 D0 27 2E 28 2E 28 2E 27 2E 27 53 27 53 27 85 26 85 26 84 26 84 26 73 FE 73 FE 6F D6 6F D6 B3 DA B3 DA 86 DB 86 DB 03 DB 03 DB 23 DC 23 DC D3 DB D3 DB 92 01 92 01 C9 26 C9 26 FB 22 FB 22 0E 22 0E 22 A9 22 A9 22 …

Dieser Ausschnitt aus dem Anfang einer Audiodatei besteht aus einer Symbolkette mit hexadezimalen Zahlenwerten.[27] Ein erster, klar definierter Abschnitt wird als ›Header‹[28] bezeichnet: Die ersten zwölf Hexadezimalwerte bestimmen das Dateiformat, im obigen Fall ›.wav‹. Nachfolgend werden verschiedene Parameter wie die Samplingfrequenz beziehungsweise Abtastrate, die Anzahl der Kanäle (z. B. Stereo = 2) und die Bitauflösung pro Sample definiert. Die vier Hexadezimalwerte 64 61 74 61 bezeichnen schließlich, dass von jener Stelle an die sequenziell angeordneten Rohdaten, also das eigentliche digitale Signal, folgen.

Im Header ist also festgelegt, wie schnell (Abtastrate), genau (Bits per Sample), in welcher Aufteilung (Anzahl der Audiokanäle) die Datei über den D/A-Wandler ausgegeben und also in die Zeit gestellt werden soll. Fasst man einen ›Algorithmus‹ als eine Entscheidungsprozedur und Handlungsanweisung auf, die aus einer endlichen Kette von eindeutig bestimmbaren Elementaranweisungen besteht[29], dann können sowohl Audiodateien als auch Partituren, endliche Symbolketten mit Aufführungsanweisungen für die Produktion von Klangereignissen, als Grundbausteine für Algo*rhythmen* bezeichnet werden. Als zeitseriell auszuführende Symbolkette, die in analoge Spannungsverläufe umgesetzt und später, in Schallwellen umgewandelt, zu einer Folge von Klangereignissen wird, ist der oben dargestellte Datenstring eine Ansammlung von Parametern und demnach eine Art *Futter* für die Algorithmen der Audioverarbeitung.

Gleichzeitig ist die digitale Spurschrift eine maschinelle Musiknotation mit einer Operativität in »Mikrosekunden*rhythmen*«[30]. Der Takt des Algo*rhythmischen* wird durch den Takt der CPU vorbestimmt, erscheint aber auch in der gleichmäßigen, durch die Samplingfrequenz definierten Ausführung als mikrosekundengenaue Spielanweisung, um einen Klang

---

27 In einer Hexadezimalzahl werden 4 Binärzahlen zusammengefasst. Zwei Hexadezimalpaare stellen hier also einen Abtastwert mit 4 · 4 = 16 bit dar. Folglich sind bei einer Bitauflösung von 16 bit immer zwei Samples pro Kanal (2 · 4 = 8 Paare) nacheinander gespeichert.

28 Vgl. Günter Born: *Dateiformate – Die Referenz*, Bonn 2001, S. 1500.

29 Vgl. Peter Weibel: *Die Algorithmische Revolution*, Karlsruhe (ZKM) 2004, S. 1.

30 Kittler: Real Time Analysis – Time Axis Manipulation, S. 269.

zu erzeugen – daher spricht man von einem Takt, aber nicht zwingend von einem *Rhythmus*. Zu dieser Unterscheidung später mehr.

Die Spurschrift im digitalen Klangmedium gleicht der Stiftwalze einer ultraschnellen helvetischen Walzspieldose, über deren Vorläufer schon im 3. Vorchristlichen Jahrhundert berichtet wird.[31] Nicht nur die Information, sondern auch das Funktionsprinzip eines mechanischen Musikinstruments wie der Walzspieldose ist im heutigen Computer implementiert. Ein solcher Apparat besteht aus einem *klangerzeugenden Teil*, einem *Datenträger* und einem *Antrieb* und entspricht der heutigen Soundkarte, der Audiodatei bzw. dem Prozessor. Der Datenstring eines Soundfiles lässt sich zudem als Erweiterung und Fortführung der herkömmlichen Musiknotation im Digitalen vergleichen: »Digitale Audiosignale [bilden], pointiert gesagt, eine technische Partitur zur ›Aufführung‹ der Schallereignisse einer konkreten Aufführung.«[32] Was im Header-Abschnitt steht, korrespondiert mit den Spielanweisungen am Anfang eines musikalischen Werks: So finden sich dort Informationen betreffend der Art und Weise, wie die vorliegenden Daten prozessiert werden *sollten*. Das Tempo ist demnach vergleichbar mit der Angabe der Samplingfrequenz, die für das zeit-korrekte Abspielen des Soundfiles wichtig ist. Sonst erklingt der gespeicherte Klangverlauf in einem anderen Frequenzbereich beziehungsweise einer anderen Tonlage. Die Anzahl der Stimmen und der Notenlinien sagt etwas über die Informationsdichte beziehungsweise die Bit-Tiefe des Dokuments aus.

Sowohl bei Musiknoten als auch bei Datenstrings einer Audiodatei besteht Interpretationsfreiheit; zumindest dann, wenn die Audiostrings nicht bloß gemäß der vorhandenen Anweisungen verzeitlicht werden, sondern mithilfe anderer Algorithmen der Audioverarbeitung verändert, manipuliert, gestaltet werden. Der Komponist klassischer oder populärer Musik, verstanden als »Programmierer« des Algo*rhythmus* eines Musikstücks, versucht meist, möglichst genaue Anweisungen für die perfekte Ausführung seiner Komposition zu notieren, um die Aufführung aber den Interpreten überlassen.

Im Digitalen jedoch vermischen sich die Möglichkeiten und Praxen von Komposition und Aufführung. Weil die Daten einer bestimmten Datei zunächst nur symbolisch und das heißt: »entzeitlicht« vorliegen, können vormals reale Sounds nach der Digitalisierung intermedial zu Zahlenreihen, Bildern oder allen möglichen anderen sinnlich erfahrbahren Outputs prozessiert werden. Dementsprechend kann eine Audiodatei beispielsweise auch als Bild interpretiert werden. Deshalb kann *digitaler Klang* als solcher nicht ek-sistieren. Kommt er zur Ek-sistenz, ist er bereits zu einem physikalischen Phänomen geworden. Das Klangsignal in seiner

---

[31] Jürgen Hocker: »Mechanische Musikinstrumente«, in: Ludwig Finscher (Hrsg.): *Die Musik in Geschichte und Gegenwart, Sachteil*, Bd. 5, Kassel 1996, S. 1710–1742.

[32] Rolf Grossmann: »Signal, Material, Sampling – Zur ästhetischen Aneignung medientechnischer Übertragung«, in: Sabine Sanio/Christian Scheib (Hrsg.): *Übertragung – Transfer – Metapher – Kulturtechniken, ihre Visionen und Obsessionen*, Bielefeld 2004, S. 99.

digitalen Form Information ist daher nicht sinnlich, aber dafür algorithmisch zugänglich.

Der Datenstring eines Soundfiles als Kette von rein stellenwertigen Zuständen ist der symbolische Anteil des Algo*rhythmischen*. Der Spannungsverlauf, der durch Schallwandler zu Klang wird, ist der reale Anteil. Das Algo*rhythmische* aber bewegt sich so verstanden im *Dazwischen* von rein Symbolischem und rein Realem – es oszilliert. Oder anders formuliert: »Es blinzelt.«[33] Erst in dieser Operation, im Vollzug und der sich anschließenden Akroasis, erklingt und ek-sistiert das vormals digitale Signal, realisiert sich also das Symbolische im Realen. Jede Ek-stase, jede Skansion im Mikrosekunden*rhythmus* bildet somit »das ›dritte‹ Moment: die Artikulation, die selbst weder offen noch geschlossen ist, sondern die Eröffnung dieser rein stellenwertigen Zustände gestattet«.[34]

3. Takt versus Rhythmus

Es ist Zeit zu fragen, denn das »Fragen ist die Frömmigkeit des Denkens«[35]. In diesem Sinne: Was ist das – das Algo*rhythmische*? Diese Frage erzeugt eine metonymische *différance*-Bewegung zur Frage nach dem Rhythmusbegriff. Ungefähr vom 5. Jahrhundert v. Chr. an bezeichnete der Begriff ›*harmonia*‹ die Ordnung der Töne oder der Zahlenverhältnisse, ›*rhythmos*‹ hingegen bezeichnete die Ordnung der Bewegung oder der Zeit: »Der ›Rhythmus‹ ist ein ästhetisches Phänomen«[36] und muss – zugespitzt gedacht – in einem wesentlichen Unterschied zum ›Takt‹, der sich auch nur im Operativen vollziehen könnte, definiert werden. Georg Wilhelm Friedrich Hegel unterscheidet in seinen *Vorlesungen über die Ästhetik* zwischen ›Zeitmaß‹, ›Takt‹ und ›*Rhythmus*‹: Takt und Zeitmaß fallen im Digitalen in den »Zeit-Zeichen« – den Samples im signalverarbeitungstechnischen Sinne – zusammen, denn der Takt ist die »gleichförmige Wiederholung derselben Zeiteinheit«. Erst der *Rhythmus* aber bringt die Musik zur »Belebung«.[37] Passt sich der Rhythmus dem Takt an, dann wird er als monoton und leblos bezeichnet. Jacques Lacan beschreibt den ›Rhythmus‹ 1955 als Verkörperung der Notation von 0 und 1 im Übergang vom Symbolisch-Digitalen in das Physikalisch-Analog-Reale.[38]

---

33 Siegert: Passagen, S. 10.

34 Tholen: Zäsur der Medien, S. 188.

35 Martin Heidegger: »Die Frage nach der Technik«, in: *Vorträge und Aufsätze*, Gesamtausgabe Bd. 7, Frankfurt a. M. 2000 (1953), S. 36–40.

36 Wilhelm Seidel: »Rhythmus, Metrum, Takt«, in: Ludwig Finscher (Hrsg.): *MGG – Die Musik in Geschichte und Gegenwart*, Band 8 – Sachteil, Kassel 1998, S. 260.

37 Georg Wilhelm Friedrich Hegel: *Vorlesungen über die Ästhetik. Dritter Teil. Das System der einzelnen Künste*, Werke Bd. 15, Frankfurt a. M. 1993 (1832–1845), S. 163 ff.

38 Vgl. Jacques Lacan/Jacques-Alain Miller (Hrsg.): »Psychoanalyse und Kybernetik oder Von der Natur der Sprache«, in: *Das Ich in der Theorie Freuds und in der Technik der Psychoanalyse. Das Seminar von Jacques Lacan Buch II* (1954–1955), Weinheim 1991, S. 385.

So verstanden lässt sich Takt als Begriff eher mit dem Operativen und Rhythmus eher mit dem Begriff des Performativen und Akroatischen in Verbindung bringen. Denn wenn der Takt der Musik zu schnell für das Ohr wird, wird er zu einem Ton, zum Klang. Dazwischen befindet sich die operative Domäne der Mikro*rhythmen.* Mit der Einführung digitaler Audiosignalverarbeitung in Echtzeit werden genau in diesem Zwischenbereich der anthropologischen Wahrnehmung von Klang, *Rhythmus* und Takt – im Bereich von *Microsound* nämlich – zeitkritische Medienprozesse und Manipulationen am Realen, wie sie bisher nur am Symbolischen, das heißt auch im Fiktionalen möglich waren, virulent (Abb. 1).

Zeitkritische Medien bzw. Algo*ryhthmen* operieren im hier dargestellten Fall unterhalb der anthropologischen Wahrnehmungsschwelle. Dies geschieht auch bei zeitbasierten Medienprozessen. Genuin zeitkritische Medienprozesse übertragen und erzeugen aber nicht nur Ton- und Bildsignale, sondern verarbeiten beziehungsweise manipulieren diese. Sie werden

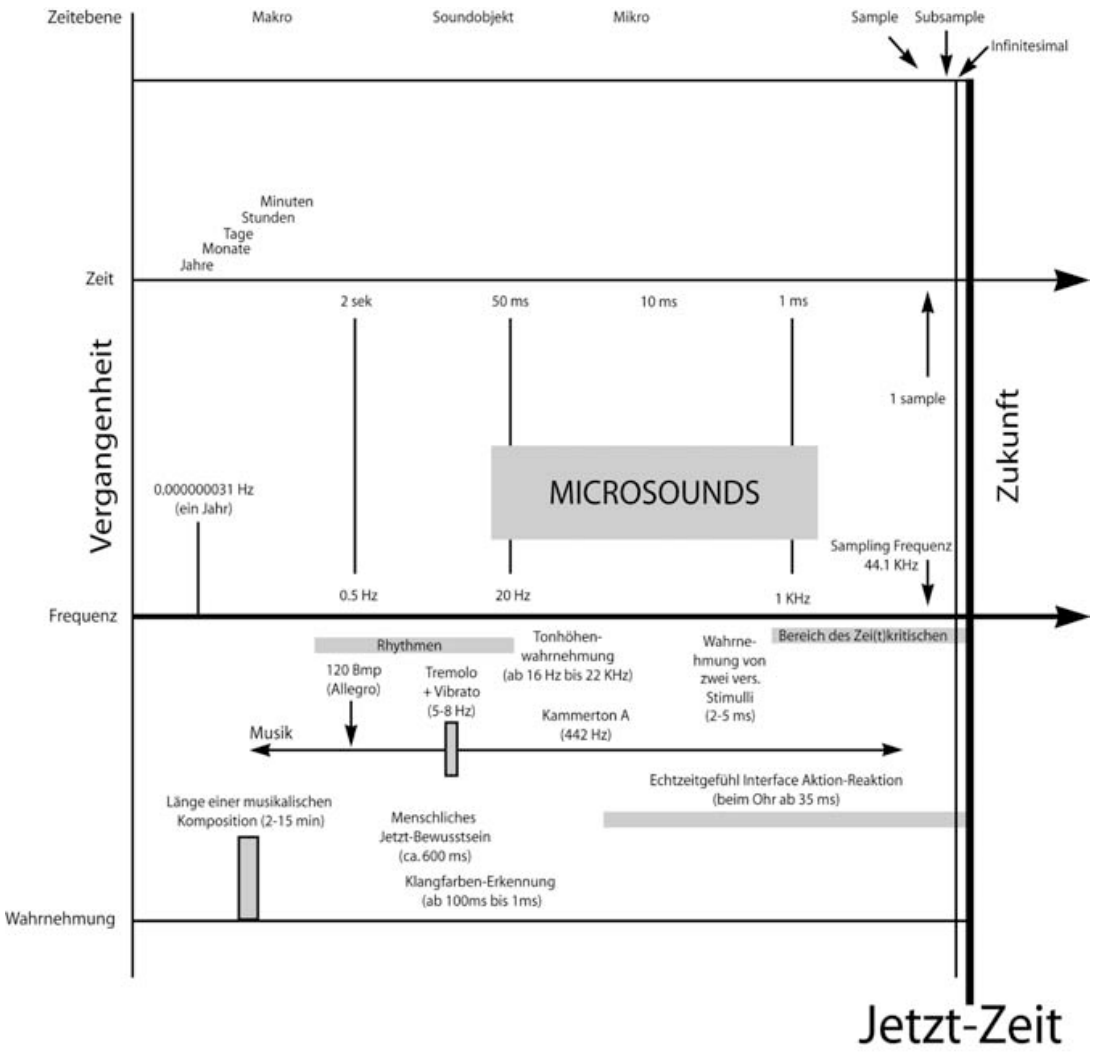

Abb. 1: Größenordnungen *algorhythmischer* Makro- und Mikrozeit.

in Mikrosekundenintervallen getaktet, aber gleichzeitig auch algo*rhythmisiert*, mit Verweisen auf die Zeit außerhalb der Maschine versehen, so dass sie in der Aisthesis beziehungsweise Akroasis wirksam werden können. Zeitkritische Signalverarbeitungsprozesse sind auf *kritische* Weise auf die Leistung beziehungsweise Performanz und die Operativität der Hardware angewiesen, damit sie in der Zeit, zumal in ›Echtzeit‹ bzw. »Jetzt-Zeit«[39], prozessiert werden können.

Das Echtzeitgefühl ist abhängig von den zeitlichen Wahrnehmungsschwellen der jeweiligen Sinne. Beim menschlichen Gehör liegt sie ungefähr im Bereich von 35 ms. Als ›Echtzeitverarbeitung‹ werden Klangmanipulationsprozesse bezeichnet, die innerhalb dieser Zeitspanne ausgeführt und also *rechtzeitig* fertig werden.[40] Das *Kritische* am Zeitkritischen zeigt sich daher besonders anhand der Momente der *Hervorbringung* und der *Ekstasis*, die das ›Sich-Zeigen‹ des jeweiligen Basismediums in der Materialität der Interfaces zwischen dem Digitalen und dem Realen ermöglichen. Kommt es hierbei aufgrund mangelhafter Rechenleistung oder sonstiger Probleme zu Verzögerungen, können die Ton- bzw. Bildsignale nicht in Echtzeit, nicht rechtzeitig in die zeitliche Eksistenz gebracht werden, so dass es zu Störungen kommt. Daher gilt: »Echtzeit ist radikal zeitkritisch.«[41]

Echtzeitprozesse werden zu wichtigen Faktoren, um musikalische Interpretation auch im Digitalen zu ermöglichen, weil nur diese die unmittelbaren Interaktionen am Klang erlauben, die in der Musik essenziell sind.

Wichtig scheint mir auch der Hinweis zu sein, dass zeitkritische Medienprozesse sowohl im Analogen als auch im Digitalen möglich sind. Dennoch sind diese Prozesse erst im Digitalen, verstärkt seit Ende der neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts, auf emphatische Weise wirksam geworden. Erst mit der Einführung »nativer«, in Echtzeit operierender Audiosignalverarbeitungs- Software – darunter etwa die Programme *Max/MSP*, *SuperCollider* oder *Ableton Live* – wurden zeitkritische Medienprozesse, die auch ästhetisch bzw. phänomenal unmittelbar wirksam werden, einer breiten Masse zugänglich und brachten so »medieninduzierte Veränderungen in der Zeitkultur«[42] elektronischen Musizierens mit sich.

4. *Realtime-Audio-DSP* und *Microsound*

Audiosignalverarbeitung in Echtzeit (*realtime-audio-DSP*) bedeutet Signalverarbeitung im Bereich der Akroasis und referiert grundsätzlich auf die mediale Verarbeitung von Zeichen und Codes, wobei Signale einerseits

---

39 Martin Heidegger: *Sein und Zeit*, 17. Auflage. Tübingen 1993 (1927), S. 421.

40 Zu den Begriffen ›Echtzeit‹ und ›Rechtzeitigkeit‹ vgl. insbesondere auch die Beiträge von Maarten Bullynck und Julian Rohrhuber in diesem Band.

41 Wolfgang Ernst: »Zeit und Code«, in: Daniel Tyradellis/Burkhardt Wolf (Hrsg.): *Die Szene der Gewalt – Bilder, Codes und Materialitäten*, Frankfurt a. M. 2007, S. 181.

42 Ernst: Signal versus Zeichen, S. 324.

die Zeichen an sich, andererseits aber auch nur Träger von Zeichen bilden können: »Signale lassen sich definieren als (physikalische) Schwingungen bzw. Wellen, die Träger von Information sind.«[43] In den Verfahren der digitalen Signalverarbeitung werden nun alle vormals analogen Medientechniken der Speicherung, Übertragung und Verarbeitung von Signalen – darunter auch die analoge Technik der elektronischen Klanganalyse und -synthese – auf einem einzigen Computersystem simulier- und ausführbar. Computermusik in Echtzeit bzw. »Signalmusik MK II«[44] baut auf den im analogen Bereich entwickelten Klangsyntheseverfahren der elektronischen Musik auf.

Die momentan avanciertesten Tendenzen liegen im Bereich der Granularsynthese (*Microsound*[45]) und der Physical-Modeling-Synthese. Gerade die zeitkritischen Klang*metaphorisierungen*[46] von *Microsound* bieten hervorragende Beispiele für die Forschungsperspektive des vorliegenden Bandes. Denn bei dieser Syntheseform werden neuartige Klänge mittels mirkotemporaler Klangpartikel, den sogenannten ›*grains*‹, re-synthetisiert, demäß des Diktums: » [D]as kalkulatorische Denken [kann] die Welt nicht nur in Partikel zersetzen (analysieren), sondern diese auch wieder zusammensetzen (synthetisieren).«[47] Nur dass hier keine Materie-, sondern Zeit-Partikel zum Einsatz kommen. Diese auf Demokrit rekurrierende Vorstellung, dass jeder Klang in diskrete Klangpartikel aufgelöst werden kann – wie auch die Idee der Quantitas, das heißt des Digitalen und der Trennung bzw. Teilung an sich –, wurde, wie Curtis Roads in seinem Buch *Microsounds* dargestellt hat, historisch mehrfach re-formuliert.[48]

Die Genese von Dennis Gabors Theorie der ›akustischen Quanten‹ (*acoustic quanta*), die eine wesentliche theoretische Voraussetzung für die mikrotemporale Klangsynthese bildet, fällt in die Entstehungszeit der ersten Computer und der Digital-Analog-Differenz. Im Rahmen einer Informationstheorie formulierte Gabor 1946[49] die kritische Abhängigkeit von Zeit-und Frequenzauflösung in Abwandlung der Heisenberg'schen ›Unschärferelation‹[50] und entwarf auf dieser Grundlage zugleich die Möglichkeit, Klänge auf mikrotemporaler Ebene in Serien akustischer ›Quanten‹ bzw. Signalpartikel und dazwischen liegender Pausen aufzulösen,

---

43 Ulrich Karrenberg: *Signale, Prozesse, Systeme – Eine multimediale und interaktive Einführung in die Signalverarbeitung*, Berlin 2005, S. 24; außerdem: Ernst: Signal versus Zeichen.

44 Vgl. Martin Carlé: *Signalmusik MK II – Eine zeitkritische Archäologie des Technosystems QRT*, Berlin 2006.

45 Vgl. Roads: Microsound.

46 Zum Begriff der Metaphorologie vgl. Tholen: Zäsur der Medien, S. 19 ff.

47 Vilém Flusser: »Digitaler Schein«, in: Florian Rötzer (Hrsg.): *Digitaler Schein – Ästhetik der elektronischen Medien*, Frankfurt a. M. 1991, S. 154.

48 Vgl. zu Demokrit: Roads: Microsound, S. 51.

49 Dennis Gabor: »Acoustical Quanta and the theory of hearing«, in: *Nature*, Jg. 159, Nr. 4044, 1947, S. 591–594.

50 Zu den zeitkritischen Implikationen der ›Unschärferelation‹ zwischen Quantenmechanik und moderner Dramatik vgl. den Beitrag von Alexander Firyn in diesem Band.

die jedoch allesamt zu kurz sind, um als einzelne Klangereignisse wahrgenommen zu werden.

Microsound bewegt sich damit im Grenzbereich zwischen *Rhythmus*, Tonhöhen- und Klangfarbenempfindung. Wie bereits erwähnt, gibt es zwischen der anthropologischen Wahrnehmung von Rhythmus und Tonhöhe ein Kontinuum: Werden die Zeitintervalle zwischen den *Grains* hinreichend verkleinert, sind diese nicht mehr als *zeitliche* Pausen wahrnehmbar, sondern wirken sich auf die Empfindung der *spektralen* Klangfarben aus (vgl. Abb. 1). Unter dem Einfluss von Werner Meyer-Eppler[51], der das Konzept der Gabor'schen Theorie der akustischen Quanten für die Verwendung in der Kompositionspraxis fruchtbar machte, entwickelten ab den 50er Jahren u. a. die Komponisten Iannis Xenakis und Karlheinz Stockhausen granulare Kompositionsweisen[52] und beeinflussten später weitere zeitgenössische Komponisten. Zu diesen zählt auch der Computermusiker Curtis Roads, der den Begriff ›*Microsound*‹ prägte und als Pionier der digitalen zeitkritischen Klangsynthese gilt.[53]

> To *granulate* means to segment a sound signal into tiny grains. […] The sound may be further modified after this segmentation. The granulation algorithm then reassembles the grains in a new time order and microrhythm. The precise manner in which this occurs varies from program to program.[54]

Die zeitkritische Klangmanipulation, das heißt die Metaphorisierung des Algo*rhythmischen* als operativer Vollzug im Bereich der Granularsynthese,[55] ist eine Kombination von Klangsynthese und -analyse. Diese kann in zwei Modi vollzogen werden: Erstens als Granulation eines in Echtzeit analysierten Klanges; zweitens als nonlineare Fragmentarisierung einer gespeicherten Audiodatei.

Granulare Operationen vollziehen sich streng genommen nur im Zeitbereich.

Durch die Granularsynthese lassen sich Zeit und Frequenz in einem eingeschränkten Bereich jedoch als unabhängige Parameter behandeln. Dies ermöglicht neue Möglichkeiten in Bezug auf Operationen der Zeitdehnung (*time-stretching*) und der Transposition (*pitch-shifting*). Das Besondere des granularen Verfahrens liegt darin, dass eine Audiodatei schneller oder langsamer abgespielt werden kann, *ohne* dass dabei eine Veränderung in der Tonhöhe beziehungsweise des Frequenzspektrums wahrnehmbar

---

51 Werner Meyer-Eppler (1913–1960) war der Hauptwegbereiter der elektronischen Musik der Kölner Schule. Vgl. dazu: Elena Ungeheuer: *Wie die elektronische Musik ›erfunden‹ wurde …: Quellenstudie zu Werner Meyer-Epplers Entwurf zwischen 1949 und 1953*, Mainz 1992.

52 Roads: Microsound, S. 84.

53 Brigitte Robindoré: »Forays into Uncharted Territories – An Interview with Curtis Roads«, in: *Computer Music Journal*, Jg. 29, Nr. 1, 2005, S. 11–20.

54 Roads: Microsound, S. 187 f.

55 Echtzeit-Granulation wurde erstmals Mitte der 80er Jahren von Barry Truax implementiert. Vgl. Roads: Microsound, S. 190.

wird (*time-stretching*). Umgekehrt können Frequenzen verändert beziehungsweise Signale in ihrer Tonhöhe transponiert werden, ohne dass deren zeitliche Struktur verändert wird (*pitch-shifting*).

Ein weiteres Beispiel stellt die Zusammenführung von zwei unterschiedlichen Klangquellen mittels des sogenannte *Morphings* dar: Durch die digitale Granulation können nun die *grains* von zwei unterschiedlichen Audiodateien zusammengeschmolzen werden.[56]

Granulare Operationen vollziehen nicht nur Manipulationen an der Zeitachse, etwa durch Änderungen der Abspielgeschwindigkeit und -richtung, sondern am gespeicherten Zeitverlauf als solchem: Granularsynthese bedeutet Resynthese von Zeitstrukturen. Durch den Zugriff auf individuelle *grains* können zudem Parameter wie Tonhöhe, Lautstärke und Dauer jedes einzelnen Klangpartikels sowie dessen räumliche Verteilung festgelegt werden. Innerhalb eines Stereo-Systems bedeutet dies, dass beispielsweise die räumliche Wahrnehmung jedes *grains* zwischen linkem und rechtem Kanal positioniert werden kann. Darüber hinaus kann die Dichte der *grains* pro Sekunde kontrolliert werden. Die Dichte der Klangpartikel bildet ein Schlüsselkonzept, weil sie die Klangeigenschaften der Algo*rhythmen* bestimmt. Die *grain*-Dichte bestimmt, ob ein Klang als leer, schütter, gurgelnd, blubbernd oder kontinuierlich empfunden wird. Noch bildhafter könnte man sagen: Aus Staub wird Staub und dazwischen liegt ein ganzes Klanguniversum. Die völlig neuartigen Klangtexturen, Klangwolken und Klangmorphologien, deren Eigenschaften in Echtzeit kontrollierbar sind, verdanken sich wesentlich den in Bezug auf die akustische Wahrnehmung *zeitkritischen*, im Hinblick auf die Samplesströme *nonlinearen* Neuordnungen der gespeicherten Audiodateien.

5. Coda

Der Begriff ›*Microsound*‹ markiert einen Kernbereich für den Versuch, zeitkritische Medienprozesse und die chronologistischen Strategien digitaler Medien aus einer Perspektive des Hörens zu analysieren. Die Beschäftigung mit granularer Audioverarbeitung führte mitten in den Bereich des Algo*rhythmischen*, der zwischen dem Symbolisch-Binären und dem Physikalisch-Realen oszilliert. Es konnte plausibel gemacht werden, dass die Welt des Digitalen zwar durch Taktung organisiert ist, dass diese sich aber gleichzeitig derart schnell vollziehen, so dass Medienprozesse wie *Realtime-Audio-DSP* möglich werden, die wiederum zeitkritisch manipulierbare Algo*rhythmen* in Echtzeit hervorzubringen vermögen. Es gibt im medienarchäologischen Sinne eine Aisthesis, die »im Unterschied zu aller Ästhetik zeitkritisch«[57] ist.

---

[56] Zu den verschiedenen Verfahren vgl. ebd., S. 187 ff.

[57] Ernst: Zeit und Code, S. 185.

Im Digitalen wird nicht nur die Synchronisation als Kulturtechnik im Sinne von *Takt* virulent, sondern darüber hinaus auch neue Möglichkeiten der zeitkritischen Algo*rhythmisierung*, die auf diesen aufbauen. Ohne Operativität keine Performativität; ohne Takt kein Rhythmus. Der Klang der Granularsynthese, der algo*rhythmisierte Microsound*, bewegt und belebt den monotonen Takt des Computers. Takt und Rhythmus sind so verstanden zwei wichtige und gleichwertige We(i)sen des Digitalen.

Die Verschränkung einer Theorie des Sonischen mit einer Theorie der Medien ermöglichte nicht nur eine detaillierte prozessorientierte Beschreibung digitaler Audiotechnologie, sondern entfaltete zudem den Neologismus des Algo*rhythmischen*. In weiteren Arbeiten zum Algo*rhythmischen* wäre eine Re-synthese der Sinnesdaten von Ohr und Auge denkbar, da sich der Anwendungsbereich digitaler Signalverarbeitung nicht allein auf die Akroasis beschränkt, sondern von dieser ausgehend auch auf die visuelle Aisthesis erweiterbar ist. Die Stärke des ›Algo*rhythmischen*‹ ist hierbei seine Universalität. Durch seine bewusste Polysemie ermöglicht der Begriff Rekonfigurationen sowohl im Bereich des Ohres als auch des Auges, denn der *Rhythmus* als zeitkritisches ästhetisches Phänomen beschränkt sich nicht nur auf das Ohr als sinnliche Adresse: »Das Sein / spricht / überall und stets / durch / alle / Sprachen / hindurch.«[58]

[58] Jacques Derrida, der Martin Heidegger zitiert: Jacques Derrida: »Die différance«, in: *Randgänge der Philosophie*, Wien 1988 (1972), S. 52.

Axel Volmar (Hg.)

Zeitkritische Medien

Mit Beiträgen von

Karl Ernst von Baer, Peter Berz, Annette Bitsch,
Maarten Bullynck, Wolfgang Ernst,
Alexander Firyn, Sebastian Gießmann, Götz Großklaus,
Philipp von Hilgers, Kilian Hirt, Friedrich Kittler,
Shintaro Miyazaki, Ana Ofak, Jens Gerrit Papenburg, Claus Pias,
Stefan Rieger, Julian Rohrhuber, Christoph Rosol, Jens Schröter,
Christina Vagt, Axel Volmar und Christof Windgätter

Kulturverlag Kadmos Berlin

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter http://dnb.ddb.de abrufbar

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.
Copyright © 2009,
Kulturverlag Kadmos Berlin. Wolfram Burckhardt
Alle Rechte vorbehalten
Internet: www.kv-kadmos.com
Mitarbeit: Isabell Schrickel und Anja Arnautovic
Umschlaggestaltung: Jana Vogel
Gestaltung und Satz: kaleidogramm, Berlin
Druck: Difo-Druck, Bamberg
Printed in Germany
ISBN (10-stellig) 3-86599-064-8
ISBN (13-stellig) 978-3-86599-064-6

Inhalt

Axel Volmar
Zeitkritische Medien im Kontext von Wahrnehmung, Kommunikation und Ästhetik.
Eine Einleitung. 9

Wolfgang Ernst
Die Frage nach dem Zeitkritischen 27

I.
Intervall und Wirklichkeit – mikrotemporale Mediendramaturgien

Karl Ernst von Baer
Welche Auffassung der lebenden Natur ist die richtige? und wie ist diese Auffassung auf die Entomologie anzuwenden? 45

Stefan Rieger
Der dritte Ort des Wissens.
Das Gedankenexperiment und die kybernetischen Grundlagen des Erhabenen 61

Christof Windgätter
ZeitSchriften.
Von einer Revolution der Experimentalkultur im 19. Jahrhundert 81

Christina Vagt
Zeitkritische Bilder.
Bergsons Bildphilosophie zwischen Topologie und Fernsehen 105

Peter Berz
Bitmapped Graphics. 127

Friedrich Kittler
Blitz und Serie – Ereignis und Donner 155

Jens Schröter
A momentary flash.
Kurze Anmerkung zu sehr kurzen Lichtblitzen 167

II.
Temporale Architekturen, Rechtzeitigkeit und die Chronologistik der Kommunikation

Maarten Bullynck
Rechnen mit der Zeit, Rechnen gegen die Zeit.
F.X. von Zachs »Archiv der Beobachtungen« und
C.F. Gauß' Rechnung per rückkehrender Post (1800–1802) 177

Julian Rohrhuber
Das Rechtzeitige.
Doppelte Extension und formales Experiment 195

Kilian Hirt/Axel Volmar
Kanalarbeit.
Das Übertragungsproblem in der Geschichte der Kommunikationstechnik und die Entstehung der Signalverarbeitung 213

Sebastian Gießmann
Netzwerk-Zeit, Zeit der Netzwerke.
Fragmente zur Datenökonomie um 1960 239

Christoph Rosol
Kollisionen.
RFID und die zeitliche Logistik der Signale 255

Claus Pias
Time of Non-Reality.
Miszellen zum Thema Zeit und Auflösung 267

III.
Zeitkritische Medienkultur zwischen Kunst und Wissenschaft

Götz Großklaus
Zur Mediengeschichte der Bilder.
Wandel der raumzeitlichen Entwürfe 283

Alexander Firyn
Gegen die Zeit 299

Annette Bitsch
Zeit und Gedächtnis im techno-medialen Weltzeitalter.
Jacques Lacans Theorie mit Chris Markers »Sans Soleil« 307

Ana Ofak
Rechnen mit Licht. 331

Philipp von Hilgers
Im Spiegelstadium.
Carsten Höller als Bildner retinaler Kunststücke 345

Jens Gerrit Papenburg
Hörgeräte.
Zur Psychomathematik des akroamatischen Leibniz 367

Shintaro Miyazaki
Das Algo*rhythmische*.
Microsound an der Schwelle zwischen Klang und Rhythmus 383