

## "GEDANKEN ZUR UNVERGANGENHEIT DES ANALOGCOMPUTERS"

I "THINK ANALOGUE!" Archäologie, Präsenz und Künftigkeiten des Analogcomputers

[= einleitende Gedanken zum gleichnamigen Workshop 12. - 14. April 2012, Humboldt-Universität zu Berlin, Medientheater]

### **Die Insistenz des Analogrechners**

Das Analogrechnen in seinen graphischen und maschinellen Formen stellt eine besondere Form operativer Mathematik dar - ein Wissen, das in der Epoche sogenannter digitaler Medien verlorenzugehen droht. Die elektronische Eskalation des Analogrechnens, der Analogcomputer, steht nicht auf dem Abstellgleis der Technikgeschichte, sondern er ist ein bleibendes Versprechen (aus) der Vergangenheit der Computerkultur. Nicht nur lebt er in Form seines Kernelements, des Operationsverstärkers, auch in digitalen Systemen partiell fort (Hybridsysteme); er birgt Potentiale, die der Aktualisierung harren und über Fragen technologischer Effizienz hinaus auch von grundsätzlichem Erkenntnisinteresse sind. Um dies zu erkennen tut eine Diskussion und Schärfung der damit verbundenen technischen und epistemologischen Begrifflichkeit not. Die "analoge" Denk-, Modellierungs- und Rechenweise ist nicht eindeutig der technischen Welt sogenannter Analogrechner zuzuordnen, sondern auch in der Welt des Digitalcomputers aufgehoben. Der Analogcomputer ist mehr als bloß eine exotische mathematische Maschine; seine vielfältigen Erscheinungsformen (bis hin zum musikalischen Synthesizer) verdienen explizit gemacht zu werden.

Der wissenschaftlich zu Unrecht "historisierte" Analogcomputer ist demgegenüber mehr als nur ein technikhistorisches "Zwischenspiel" des elektronischen Rechnens (frei nach Zielinski 1989). Die mit ihm verbundene technomathematische Denkweise unterscheidet sich signifikant von der algorithmischen Logik des Digitalcomputers.

Es ist keine Ironie der Mediengeschichte, daß unter Konzepten wie Quanten- und Neurocomputing Eigenschaften wieder einkehren, die klassischerweise mit dem Analogcomputer verbunden wurden. Zunächst tut dabei eine technische wie medientheoretische Diskussion der Begrifflichkeit not: Analogrechner? Analogcomputer? Mathematische Maschine?

Bislang läßt sich bestenfalls sehr eingeschränkt sagen, daß der Analogrechner als Modell in Digitalrechnern weiterlebt, da auch heutige Simulationssysteme zwar nach außen das gleiche mathematische Framework zur Verfügung stellen, nach innen jedoch quasi traditionell hauptsächlich sequenziell arbeiten; so läßt sich kaum ein auch nur annähernd großes Maß an feingranularer Parallelität erzielen. Heutige Prozessoren fordern kritische Zeit mit Speicherzugriffen für das Abarbeiten traditioneller Algorithmen. Dies legt nahe, den durch Analogcomputing vertrauten Schritt zu rekonfigurierbarer Hardware wieder zu wagen, die nicht durch einen Algorithmus, sondern durch ihre Struktur rechnet.

Es hat seine technischen Gründe, daß die in der heutigen Computerkultur verauten Praktiken der Modellierung und der Simulation in Echtzeit zunächst am Analogrechner entwickelt wurden - etwa in Form von Wetter-, Flug-, aber auch von Raketen- und Kernreaktorsimulatoren. Die Kernschmelzen des havarierten Reaktors im japanischen Fukushima sind seit März 2011 ein unerwarteter Anlaß, die Realitätsnähe solcher Simulationen von Krisen wieder zu thematisieren.

Auch als technische Realisierung ist der Analogrechner zwischenzeitlich nicht wirklich absolet geworden. Sein elektronisches Kernelement, der Operationsverstärker, ist etwa in der aktuellen Sensortechnik im Einsatz. Gegenstand des Workshops soll die Gegenwart und Zukunft des Analogrechners sein, und zwar in epistemologischer Hinsicht. Die Erinnerung an den Analogcomputer ist keine technikhistorische Nostalgie, sondern soll ausdrücklich als Archäologie betrieben werden, d. h. als Anamnese ursprünglicher Alternativen zur gängigen von-Neumann-Architektur des Computers. Zukunft liegt hier verborgen, und es gilt der medientheoretische Imperativ und das medienarchäologische Training, die Alternativen wachzuhalten.

Der Analogrechner steht nicht nur *in* der Zeit, sondern zeitigt seinerseits Zeitverhältnisse. Zeit ist damit ebenso Subjekt und Objekt des Analogrechners; eine Definition von 1973 hebt gegenüber dem Digitalrechner - damals noch vor der Epoche digitaler Signalverarbeitung (DSP) - als besonderes Feld der Überlegenheit des Analogrechners hervor: "Zum einen ermöglicht er die direkte Integration zeitabhängiger Funktionen, zum anderen erlaubt er eine schnelle Bearbeitung des Einflusses von Parameteränderungen auf das Verhalten der Lösung" <Bartram / Witfeld 1973: 7> - mithin also seine Echtzeitfähigkeit in der Simulation physikalischer Prozesse. Und "Analogrechner eignen sich vor allem für die Untersuchung des Zeitverhaltens endlicher Systeme, insbesondere für die Untersuchung der Schwingungen von Systemen mit endlich viele Freiheitsgraden" <ebd.>. Realzeitlich rasche Signalereignisse lassen sich zu analytischen Zwecken im Analogrechner ausgebremst darstellen; langzeitige Prozesse zu demgleichen Zweck stauchen (ultra- und subzeitkritisch). Von daher fügt sich das Thema in den Forschungsschwerpunkt "Zeitkritische Medienprozesse" am hiesigen Lehrstuhl Medientheorien.

Es besteht eine Korrelation zwischen Analogrechner und seinem technologischen Zwilling, dem akustischen Synthesizer. Im kulturellen Diskurs werden beide Apparaturen zumeist in völlig verschiedenen Kategorien wahrgenommen (Geschichte der mathematischen Maschinen einerseits, populäre elektronische Musik andererseits); aus medienarchäologischer Sicht (die auch die Sicht des Mediums selbst ist) aber gehören beide Schaltungen und Interfaces zusammen. In Form performativer und operativer Experimentalanordnungen läßt sich der Zusammenhang zwischen diesen beiden Wunderwerken von Elektronik (wieder) herstellen.

**Zur Rolle des Analogcomputers für die emergierende Kybernetik**

Kybernetik warnt vor einer Überschätzung des Digitalen.<sup>1</sup> - und wird von ihrem eigenen *re-entry* in den digitalen Maschine eingeholt. Erst die Verschmelzung von Analog- und Digitaltechnik zur hybriden Technik wird die volle Entwicklung kybernetischer Maschinen ermöglichen. Im lebendigen Organismus ist das längst geschehen"<sup>2</sup>, kulminierend in einer gewagten Interpretation der Dichotomie der Hemisphären des Gehirns: "The dominant hemisphere is operating primarily in the discrete switching mode while the minor hemisphere is operating primarily in a continuous dynamical mode."<sup>3</sup>

Auch analoger und digitaler Computer folgten nicht nacheinander auf der technikhistorischen Zeitleiste, sondern emergierten *gleichursprünglich* in originärer Bifurkation. Erst allmählich manifestierte sich im technischen und sprachlichen Gebrauch die Dichotomie zwischen kontinuierlicher und numerischer Rechnung respektive Darstellung. Gleich der Kybernetik als Methode von Medienwissenschaft ist die analoge Modellierung dynamischer Wirklichkeit damit nicht überwunden, sondern in Hegels Sinn *aufgehoben*: "[...] analog computes matured in parallel with digital computers, not before them. The heyday of analog computing was the 1950s and '60s and focused on real-time simulation. Indeed, the philosophy of analogs survives today - whenever we run a simulation on a digital computer, or compose thousands of bytes into an image, or move a joystick to control a vehicle (or drive a mouse, for that matter)." = Mindell 2004: 319

Tatächlich sah der Ingenieur Harld Hazen in seiner Dissertation *The Extension of Engineering Analysis through Reduction of Computational Limits by Mechanical Means* bereits 1931 im Analogrechner die künftige Alternative zur numerischen Rechenmaschine: "Where a physical problem is involved, models or analogies may replace the need for the solution of algebraic equations as such" <zitiert hier nach Mindell 2004: 163>. Rechner vom Typus Analogcomputer "will deal directly with the functions themselves" <zitiert ebd.>, geradezu immediat, zeitlich und epistemologisch *transitiv*. Der Analogcomputer verschränkt den elektrischen Signalfluß mit der mathematischen Operation, ohne die zeitdiskreten, am (Uhr-)Takt orientierten Datensynchronisationsprobleme wie im algorithmischen Computer.

Das Verhältnis von "analog" und "digital", an dem sich ganze Computerkulturen entzündeten, ist ein epistemologische Gretchenfrage der Kybernetik, die nicht aufhört, sich fortzuschreiben. Ein Vordenker dieser Konstellation war George Stibitz:

"For him, the important distinction was [...] between analog and numerical, as well as between continuous and discrete time. The key characteristic of numerical machines, Stibitz added, was that analog machines shared the same dynamics as the problems they represented, whereas digital computers did not. Indeed one advantage of numerical techniques was that they decoupled the structure of the computer from that of the calculation. Still, he acknowledges that even numerical algorithms had internal dynamics that could imitate analog feedback loops. Stibitz suggested that in the distinction between

---

1 Horst Völz, Ist Kybernetik nur noch Nostalgie?, in: Klaus Fuchs-Kittowski / Siegfried Pietrowski (Hg.), *Kybernetik und Interdisziplinarität in den Wissenschaften. Georg Klaus zum 90. Geburtstag*, Berlin (trafo) 2004, 73-81 (79); in diesem Sinne auch Helmar Frank, Was ist Kybernetik?, in: ders. (Hg.) 1970: 13-32 (14)

2 B. Rall, *Analog-Digital-Wandler*, in: Frank (Hg.) 1964, 184-191 (191)

3 Pattee 1974: 145

analog and "pulse", or numerical, computers, the latter be replaced with the term *digital*.<sup>4</sup>

## [Literatur]

Bernd Ulmann, Analogrechner: Wunderwerke der Technik - Grundlagen, Geschichte und Anwendung, München (Oldenbourg) 2010

Charles Care, Technology for Modelling Electrical Analogies, Engineering Practice, and the Development of Analogue Computing;

Andreas Böhn / Kurz Möser (Hg.), Techniknostalgie und Retrotechnologie, Karlsruhe (KIT Scientific Publishing) 2010

Horst Zuse, Die Feldrechenmaschine, in: MTW-Mitteilungen Nr. V/4, Jg. 1958, 213-220

Reiner Bartram / Hartmut Witfeld, Simulation von Schwingungssystemen auf dem Analogrechner, Fortschritt-Berichte der VDI Zeitschriften, Reihe 11 (Schwingungstechnik), Nr. 14, Oktober 1973

## **Renaissance: Die vergangene Zukunft des Analogcomputers**

[= Einleitung zum Workshop April 2012]

Ziel des medienarchäologischen Nachdenkens ist es, die in der technikhistorischen Vergangenheit des Analogcomputers geborgene Zukünftigkei zu entdecken. Als intuitive Denkweise mathematischer Operativität (als *diagrammatic reasoning* frei nach Charles Sanders Peirce) kehrt der Analogcomputer untot wieder ein in die Medienkultur.

"Analog computers have a long history dating back to prehistory", heißt es auf der Webpage des virtuellen *Analog Computer Museum and History Center* von Doug Coward.<sup>5</sup> Diese Prähistorie ist nicht zeitlicher Natur. Es deutet auf eine andere Schichtung im Sinne einer Lage(rung) - auf strukturelle Alternativen. Seine Konkretionen "gelten <...> in einem <...> Modus, der auf anderer geschichtlicher Ebene angesiedelt zu sein scheint als auf jener der zeitlich aufeinander folgenden Erscheinungen"<sup>6</sup>.

Analogrechner wiederzuentdecken soll nicht auf Techniknostalgie reduziert werden - nicht als mediengeschichtliches Kuriosum oder als Sackgasse von

---

<sup>4</sup> Mindell 2004: 295. Siehe Robert Dennhardt, Die Flipflop-Legende und das Digitale. Eine Vorgeschichte des Digitalcomputers vom Unterbrecherkontakt zur Röhrenelektronik 1837-1945, Berlin (Kulturverlag Kadmos) 2009

<sup>5</sup> <http://dcoward.best.vwh.net>

<sup>6</sup> Rainer Bayreuther, Untersuchungen zur Rationalität der Musik in Mittelalter und Früher Neuzeit, 1. Bd.: Das platonistische Paradigma, Freiburg i. Br. / Berlin / Wien (Rombach) 2009, 95

*computing*, sondern als medienepistemologische Alternative. Der Analogcomputer weist nicht zurück, sondern voraus.

Analogcomputer sind nicht schlicht ein Zwischenkapitel der Rechnergeschichte, sondern eine erkenntniswissenschaftliche Alternative in der mathematischen Modellierung von Welt. Denn der Analogcomputer rechnet diagrammatisch, nicht algebraisch.

[Der Digitalrechner löst mit *numerischen* Verfahren solche mathematischen Aufgaben, deren Lösung sich in einzelne Schritte zerlegen läßt, welche die vier Grundrechenoperationen enthalten. "Im Gegensatz dazu werden bei allen analog arbeitenden Rechengeräten den Größen, mit denen gerechnet werden soll, physikalische Größen zugeordnet, die sich kontinuierlich ändern können"<sup>7</sup> - und das meint, mit der Physis selbst zu rechnen, mit *dieser* Welt und nicht in Form ihrer symbolischen Abstraktion.]

Soweit die medienarchäologische Perspektive. Aus technikhistorischer Sicht aber heißt es auf der Webseite des *Analog Computer Museum* weiter: "With the recent development of the microprocessor these computers and their technology has been discarded and is quickly being lost to history" <a.a.O.>. Doch der Analogcomputer ist nicht schlicht das, was durch den Digitalcomputer abgelöst wurde; dies wäre ein schlicht vulgäres Verständnis von Mediengeschichte - "Historie", wie sie Martin Heidegger in § 73 von *Sein und Zeit* kritisch kritisiert.

Mit Medienarchäologie kommt eine Sichtweise zum Zug, die verborgene Qualitäten reaktualisiert. Vannevar Bush, der einen Differential Analyzer realisierte und seinen Mitarbeiter Claude Shannon dazu brachte, eine mathematische Theorie des Analogcomputings zu verfassen<sup>8</sup>, sah seinerzeit den Analogrechner, der mit physikalischen Äquivalenten zu Zahlen operiert, nicht etwa als historischen Vorläufer (das entspricht der Ordnung der Technikgeschichte), sondern als leistungsstarke Alternative zur symbolischen, numerischen Rechenmaschine. In einem Text über "A Continuous Integrator" stellt Vannevar Bush (gemeinsam mit F. D. Gage und H. R. Steward) die medienhistorische vertraute Rangordnung von Analog- und Digitalcomputer buchstäblich vom Kopf auf die Füße:

"Business office practice has been revolutionized by the advent of computing machines. These deal almost entirely in terms of numbers, as indeed does the business man ... Applied physics, and in fact many other branches of science, frequently deal, however, with functions as a whole and usually resort to figures only as a rather laborious means of dealing with functions or the curves which represent them."<sup>9</sup>

Dieses Plädoyer ruft dazu auf, nicht numerisch, sondern buchstäblich funktional, d. h. im Medium der Funktionen selbst respektive deren physikalischen Äquivalenten (also mit der Welt selbst) zu rechnen. "Doing what

---

<sup>7</sup> Wolfgang Giloi / Rudolf Lauber, *Analogrechnen. Programmierung, Arbeitsweise und Anwendung des elektronischen Analogrechner*, Berlin / Göttingen / Heidelberg (Springer) 1963, 5

<sup>8</sup> xxx

<sup>9</sup> Vannevar Bush / F. D. Gage / H. R. Steward, *A Continuous Integrator*, in: *Journal of the Franklin Institute* Bd. 211 (1927), 575-615. Zitiert hier nach Mindell 2004: 138

comes naturally" heißt der Beitrag zum Analogcomputer im Buch *Natural Computing*: "The underlying physical device can be made to *embody* the same mathematical model as the system under study."<sup>10</sup>

Analogrechner ist so gesehen nicht eine vorgeschichtliche Sackgasse gegenüber dem Digitalcomputer, sondern seine originäre Alternative, mithin der Hinweis aus der Vergangenheit auf eine andere Zukunft des Computers.

Anders als in der Welt der kaufmännischen Büros, in denen seinerzeit die Datenverarbeitung auf Lochkartenbasis vorherrschte, lebten Bush und seine Mitarbeiter am Massachusetts Institute of Technology in einer Welt elektrischer Ströme. In den Worten von David Mindell, "the continuous nature of the machine was a decided innovation over the numerical methods of office machinery."<sup>11</sup>

["They aimed to build machines that worked smoothly <...>, without the messy discontinuities of numerical data" = ebd.]

Mindell akzentuiert in seinem Buch *Between Humans and Machine* nicht nur die prägende Rolle des Analogcomputer für die emergierende kybernetische Denkweise, die heute in den Neurowissenschaften wiederkehrt, sondern konfiguriert auch die übliche Mediengeschichte des Computers neu. Demzufolge sind "analoger" und "digitaler" Computer *gleichursprünglich*, als Phänomene einer originären Bifurkation.

[Gradually, researchers articulated the dichotomy between "continuous" representations and "numerical" or "arithmetic" ones. The terms *analog* and *digital* appeared nearly simultaneously, as NDRC members debated their relative merits, along with those of mechanical, elektromechanical, and electronic representation. <Mindell 2004: 318>]

"A complete history of analog computing has yet to be written, but it would show that analog computes matured in parallel with digital computers, not before them" <Mindell 2004: 319>.

Je nach gegebener Anwendung wurde das digitale für Fragen bevorzugt, welche numerische Genauigkeit erfordern, und bevorzugt analoge Schaltungen für unverzügliche Ergebnisausgabe.

[In dem von Helmar Frank herausgegebenen Sammelband *Kybernetische Maschinen* (1964, also zeitgleich zur Publikation von Marshall McLuhans *Understanding Media*) ist der Block unter dem vielsagenden Namen "Verarbeitung nichtdigitaler Signale" eine Steilvorlage für eine medientheoretische Reflexion des Analogrechnens. In seinem Beitrag definiert A. Kley den "Analogrechner" zunächst nicht als Vorgänger, sondern als ko-emergent mit dem Digitalcomputer:

---

10 Jonathan Mills, *Doing What Comes Naturally*, in: Dennis Shasha / Cathy Lazere, *Natural Computing. DNA, Quantum Bits, and the Future of Smart Machines*, New York / London (Norton) 2010, 193-212 (202)

11 David A. Mindell, *Between Humans and Machine. Feedback, Control, and Computing before Cybernetics*, Baltimore / London (Johns Hopkins University Press) 2004 [Erstausgabe 2002], 162

"Neben den Digitalrechnern haben sich in den letzten Jahren auch die Analogrechner zu äußerst nützlichen und zuverlässigen Instrumente der Lösung technischer und wissenschaftlicher Probleme entwickelt. Ihr Anwendungsgebiet ist im Vergleich zu den Digitalrechnern enger begrenzt, ihr Vorteil liegt jedoch in ihrer hohen Rechengeschwindigkeit und in der Anschaulichkeit der benutzten Lösungsmethode."<sup>12</sup>

Der Analogcomputer in seiner Eigenzeitlichkeit geht nicht schlicht in einer linearen Technikgeschichte auf, sondern insistiert in Form anderer Zeitfiguren, etwa der des Wiedereintritts oder gar der Rekursion. "The philosophy of analogs survives today - whenever we run a simulation on a digital computer, or compose thousands of bytes into an image, or move a joystick to control a vehicle (or drive a mouse, for that matter)" <Mindell 2004: 319>.

["Modern software packages for engineering simulation, for example, have menus of building blocks that resemble those in George Philbrick's analog computers, and even evoke the mechanical circuit elements of Bush's differential analyzer." <Mindell 2004: 319.>

[Das *re-entry* ist vertraut aus der Systemtheorie; für eine andere Konstellation, nämlich die Wiedereinkehr des multiplen altgriechischen Alphabets in der Epoche alphanumerischer Datenverarbeitung, hat Friedrich Kittler diese medienarchäologische, nicht-historische Zeitfigur mit der - den Informatikern vertrauten - Dynamik der Rekursion beschrieben.<sup>13</sup>]

Eine Renaissance der Modellierung im Sinne der Analogrechnung wird nicht mit analogelektronischen Mitteln, sondern "in einer digitalen Reinkarnation" (Ulmann) erfolgen, in Form eines Digital-Differential-Analysers, wie er bereits in den 1950er Jahren entwickelt wurde.

["Die Vorteile der Analogiebildung sind zu gross, um sie unbesehen gegen einen algorithmischen Ansatz einzutauschen, der stets mit Einschränkungen einhergeht, denen Analogrechner per se nicht unterliegen" <Ulmann>.]

[Gerade im Bereich der Lenkwaffensteuerung wird aktuell an einem solchen DDA gearbeitet.]

Aus technikhistorischer Sicht mag der elektronische Analogcomputer ein bloßes "Zwischenspiel"<sup>14</sup> der Mediengeschichte gewesen sein. Aus medienarchäologischer Sicht aber kehrt der Gedanke, das "Think analogue!" als unvergangener wieder ein.

## II ZEITFALTEN. Die Unverzüglichkeit des Analogcomputers und ihre medienepistemologische Konsequenz, oder: das zeitliche Kriterium von Simulation

---

12 A. Kley, Analogrechner, in: Helmar Frank (Hg.), *Kybernetische Maschinen*, 1964, 174-182 (174)

13 Siehe Ana Ofak / Philipp v. Hilgers (Hg.), *Rekursionen xxx*, München (Fink) xxx

14 Ein Begriff von Siegfried Zielinski: ders., *Audiovisionen. Kino und Video als Zwischenspiele der Mediengeschichte*, Reinbek b. Hamburg (Rowohlt) 19xxx

[= Vortrag Workshop "*Think Analogue!*" *Archäologie, Gegenwart und Künftigkeiten des Analogcomputers*, Humboldt-Universität zu Berlin, Fachgebiet Medienwissenschaft, 11. - 13. April 2012]

### **[abstract]**

Eine unbezweifelbare Stärke des elektronischen Analogrechners lag in Zeiten, als röhrenbestückte Digitalcomputer noch nächtelang rechnen mußten, um komplexe numerische Prozesse zu rendern, im Zeitbereich selbst. Tatsächlich haben wir es im Vergleich von Analog- und Digitalcomputer mit der "Verzahnung verschiedener Temporalitäten" <Bayreuther 2009: 96> nicht nur im Sinne verschiedener Historizitäten zu tun, sondern ebenso mit konkreten Tempo-Realitäten. Echtzeitfähigkeit und beliebige Manipulation der Zeitachse (Verlangsamung, Beschleunigung) waren Tugenden, die als chronotechnische Handhabungen eine mathematische Figur von medienepistemologischer Dimension zeitigten: die Simulation als Form transitiver (und transienter) Weltmodellierung.

### **Diskretisierung der Zeit *versus* Differenzierung gegen die Zeit**

Dem Analogcomputer eignet eine dreifache Zeitlichkeit: einerseits die bestenfalls parahistorische Weise, wie sich der Analogcomputer der gängigen Technikgeschichtsschreibung fügt; zweitens die Echtzeittugenden des elektronischen Analogrechners als ein herausragende Qualität; schließlich Zeitfaltungen als Kriterium von Simulation gegenüber einer bloß funktionalen Emulation.

- Bernd Ulmann, *Analogrechner: Wunderwerke der Technik - Grundlagen, Geschichte und Anwendung*, München (Oldenbourg) 2010

[während Analogrechner ihrerseits anderen Einschränkungen unterliegen: Grenzen der Genauigkeit in der elektrophysikalischen Verschaltung der Rechenelemente]

Eine Form dieser Einschränkungen ist die strikte Sequentialität der Datenverarbeitung in der gängigen von-Neumann-Architektur: "one bit at a time"

[In der Turing-Maschine, "memory" is conceived of as 'a "tape" (the analogue of paper) running through it, and divided into sections (called 'squares') each capable of bearing a 'symbol'. At any moment there is just one square which is 'in the machine' (Turing 1937: 231)."<sup>15</sup> Das Quadratpapier für Rechenaufgaben wird damit linearisiert / verzeitlicht; es wechselt von der zweideimensionalen Raum- in die eindimensinale Zeitdimension, wie es Vilém Flusser für die Schrift als "Ikonoklasmus" der Bildwelten gedeutet hat. Strikte Sequentialität ist ebenso vertraut von der einkanaligen Bildsignalübertragung im Fernsehen.]

---

<sup>15</sup> Scott Dexter, *The Esthetics of Hidden Things*, in: David M. Berry (Hg.), *Understanding digital humanities*, Houndsville 2012, 134

Der Digitalrechner ist unhintergebar eine Maschine, die auf Zwischenspeicherung ihrer Rechenschritte (im Idealfall auf ein unendliches Band) angewiesen ist; dies ist die Natur des numerischen Rechnens. Gedächtnisoperationen bremsen die numerische Maschine aus.

"Während beim Digitalrechner die einzelnen Rechenschritte zeitlich nacheinander unter Speicherung von Zwischenergebnissen durchgeführt werden, arbeiten die Rechelemente des Analogrechners alle gleichzeitig (parallel)" <Kley 1964: 182>.

["The chief obstacle to speed in a digital computer is the need to fetch data from memory and store it back in memory after doing a fairly simple operation such as adding two numbers" <Mills 2010: 202>.]

### **[Operative Mikrozeit und die Wirklichkeitsvergessenheit des Digitalcomputers]**

Alan Turing zufolge erlaubt es der symbolverarbeitende Computer, Diskretheit aktiv in die (Rechen-)Zeit einzuführen - nachdem sie durch Uhrwerke bislang nur diskret gemessen wurde.

[Turing definiert in seinem Text über Acoustic Delay-Speicher für Digitalcomputer, daß sie erlauben, ganz in der Tradition getakteter Räderuhren diskrete Zeit in den Rechenprozeß einzuführen.]

Elektronisches Rechnen im digitalen Modus ist buchstäblich zeitkritisch; Zeit kommt hier zurück auf ihren etymologischen Ursinn: die "(Ab-)Teilung". Kritisch ist hier die Implosion der Zeit im Schnitt zwischen den Pegelzuständen Null und Eins: Schnitte im Mikrosenkundenbereich.

- gegenüber der weitgehenden Hardwarevergessenheit algorithmenfixierter Informatik die tatsächliche Ereignisebene des binär kodierten Computers, wo durch entsprechende Schaltungen aus einer sanften Schwingungen harte binäre Schnitte werden. Für die prozessierende Apparatur müssen zwei Signalpegel nur hinreichend unterscheidbar sein. Dieser Unterschied aber ist nicht absolut, sondern eingebettet in ein zeitliches Feld - die von Norbert Wiener so definierte *time of non-reality*: "Eine gewisse Zeit der Unwirklichkeit macht, wenn es genügend forciert wird, jedes Gerät digital", so Wiener <zitiert nach Pias 2004: 304f>. Wird nicht nur die symbolische Logik, sondern die physikalische Zeit der konkreten Implementierung berücksichtigt, erweist sich jedes digitale Gerät als Grenzfall des Analoggen. In dieser elektronischen Zeitfalte liegt ein dramatischer Moment geborgen, der vom Informationsbegriff zunächst zum Verschwinden gebracht wird.

["Diese diskret gemachte Zeit des Schaltwerks erlaubt dann allerdings Manipulationen am Realen, wie sie unterm Regime hergebrachter Künste nur am Symbolischen möglich waren" <Kittler 1990: 208>. "Digitalisierung ist <...> ein Kurzschluß, der unter Umgehung alles Imaginären <sc. der "Geschichte"> das Reale in seiner Kontingenz erstmals symbolischen

Prozeduren aufzutut<sup>16</sup> - worauf Historiographie in symbolischer Notation immer schon zielte, aber das Reale notwendig verfehlte, während erstmals der Phonograph unter Umgehung des phonetischen Alphabets das Stimmereignis als tatsächliches Signal aufzuzeichnen vermochte - als Anlogschrift des physikalischen Ereignisses selbst ("mediale Chronographie").]

## **Differentialrechnung gegen die Zeit: Der Analogcomputer als Meßgerät**

Wird durch Differentialgleichungen die Zeit gleich mit transformiert? Die Ableitung von Differentialgleichungen im Analogcomputer geschieht immer gegen eine Zeit, die auf der x-Achse als kontinuierliche sich entfaltet. Die Resultate gelten entsprechend für den zeitkontinuierlichen Bereich.<sup>17</sup>

Für Meßakte als dem "Feststellen funktionaler Zusammenhänge" <Schmidt xxx: 11> ist dies zentral; klassisches Meßgerät praktiziert "die zeitlichen Ableitungen von Meßgrößen"<sup>18</sup>. In der Kreiseltechnik beispielsweise kommt ein analoger Gerätetypus auf den Punkt, der die Zeit nicht diskret wie die getaktete Uhr mißt, sondern genuin differenziert.

[Die Erfordernisse der Regelungstechnik führten zwangsläufig zum Analogcomputer: "Es ist häufig nötig, die primären Meßgrößen verschiedener Art, z. B. Leistung, Frequenz, ihre Integrale und Ableitungen, auf die gleiche Größe, z. B. eine Spannung, zurückzuführen, um mit ihnen bequem Rechenoperationen verschiedener Art ausführen zu können, bevor sie auf den Regler wirken", heißt es hier weiter <Schmidt ebd.> - zeitgleich zu Helmut Hölzers Entwicklung des elektronischen Analogrechners zur Simulationen von Raketenflugbahnen in Peenemünde (wie schon die Kreiselsteuerung mit dem von ihm zum Zweck des Raketenfluges entwickelten eingebauten "Aggregats").]

Es gibt dementsprechend ein privilegiertes Verhältnis des Analogrechners zu dynamischen, also zeit- und damit welthaftigen Verhältnissen.

[„Differentialgleichungen betreffen das Verhältnis zwischen verschiedenen meßbaren physikalischen Größen und dem Maß ihrer Veränderung in Raum und Zeit. Diese physikalischen Größen können Ströme sein, Spannungen, die Rotationswinkel von Wellen oder Größen anderer Art.“<sup>19</sup>]

Die Erforschung komplexer, nonlinearer dynamischer Systeme, die externen Störungen ausgesetzt sind, gehören zu den bevorzugten Anwendungsgebieten des Analogcomputers; dies betrifft Ereignisse der chemischen Kinetik und der Elektronik (etwa der Schrot-Effekt in Elektronenröhren) ebenso wie

<sup>16</sup> Friedrich Kittler, Fiktion und Simulation, in: Peter Gente / Karlheinz Barck (Hg.), Aisthesis. Wahrnehmung heute, Leipzig (Reclam) 1990, 196-213 (208)

<sup>17</sup> Auf Elementarteilchenebene aber zerfällt dieser Bereich in diskrete Zustände. Was hier kontinuierlich erscheint, wird vom Gehirn durch Glättung nur vorgegaukelt. Medientheorie gerät hier an ihre Grenze (zur Quantenphysik).

<sup>18</sup> Hermann Schmidt, Denkschrift zur Gründung eines Institutes für Regelungstechnik, Berlin (VDI-Druck) 1941, 9

<sup>19</sup> Norbert Wiener, Mathematik -Mein Leben, Düsseldorf / Wien (Econ) 1962, 119

Erdbebenforschung. Solche vibrierenden Ereignisse lassen sich durch Differentialgleichungen mathematisch formulieren, deren unabhängige Variable die Zeit ist.

Die Leistungsfähigkeit von Analogcomputern steht und fällt also mit der Zeitachse; sie sind nicht mehr und nicht weniger „in der Lage, Veränderungen zu beschreiben, die in der Zeit ablaufen“ <Rieger 2003: 51> - dies aber immerhin fast unverzüglich. Darin entfaltet sich die Definition von Zeit selbst.

[Für die Lösung gewöhnlicher Differentialgleichungen eignet sich der Analogcomputer mit der Zeit als einziger Variable; kommen hingegen weitere Variablen hinzu, ist der Übergang zu partiellen Differentialgleichungen vonnöten. Dies bildete die längste Zeit die Grenzen der Leistungsfähigkeit von Analogcomputern. Demgegenüber wurde inzwischen auch die Lösung partieller Differentialgleichungen durch Analogcomputern ermöglicht.<sup>20]</sup>

### **Parallelverschaltungen: die Zeitweise des Analogcomputers**

Elektronische Analogrechner sind derart konfiguriert, daß für jede mathematische Aufgabe (etwa die Integration) eine eigene Baugruppe vorhanden ist. Diese können beliebig verkoppelt werden und erlauben auf der Basis der Geschwindigkeit von Strom (als Spannung) eine Parallel"verarbeitung" des mathematischen Problems - die bei genauerer Begriffsverwendung tatsächlich eine synchrone *Zustandsdarstellung* ist.

In der Parallelverarbeitung liegt eine epistemologische Tugend des Analogcomputers hinsichtlich dynamischer *mathesis*: elektronische Analogrechner "erforderten vom Anfang an das Denken in parallel ablaufenden Prozessen"<sup>21</sup>. Der Analogcomputer evoziert in dieser Hinsicht einen "Denkvorlauf" (Günther Schwarze). Insofern ist die Wirkung des Analogcomputers nicht auf die unmittelbaren Resultate beschränkte, sondern ebenso eine mittelbare - auf epistemologischer (Zwischen-)Ebene. In dieser Hinsicht steht der Analogcomputer der Denkweise des menschlichen Gehirns näher als der serielle arbeitende, algorithmische Rechner

### **Eine Stärke des Analogrechners: die weltzeitanaloge Simulation**

Eine spezifische Fähigkeit des Analogrechners lag in der "'direkten Simulierung' unter möglichst weitgehender Vermeidung der Mathematik" <Wolfgang Giloi / Lauber 1963, VII>.

---

20 Dazu der Beitrag von xxx Mills, xxx, in: xxx, Natural Computing, xxx

21 Gunter Schwarze (seinerzeit Professor für Systemanalyse an der Humboldt-Universität zu Berlin) in seiner Rede zur Enthüllung einer Gedenktafel für Dr.-Ing. Helmut Hoelzer auf der Halbinsel Peenemünde (Typoskript Berlin, den 25. Oktober 1995)

Im Analogrechner geschieht die Simulation von Weltvorgängen mit (gleichen oder strukturanalogen) physikalischen Mitteln, also der Welt selbst, nicht in Form abstrahierter notationeller Symbole; beispielhaft dafür steht die prinzipielle Analysierbarkeit mechanischer Pendelvorgänge durch den elektronischen Schwingkreis.

Der Analogrechner erweist sich als medienepistemisches Ding, wenn es um die nicht-numerische Erkenntnis von Zeitweisen geht. Als Simulator physikalischer Vorgänge (etwa Flugzeugbewegungen oder Kernreaktorsteuerung) kann er einen zeitkritischen "Erkenntniswert vermitteln, da das Eindringen in die Verhaltensweise der Anlage in diesen Fällen wichtiger ist als die Ermittlung einer ganz bestimmten Lösung".<sup>22</sup>

Diese Verhaltensweisen sind Zeitobjekte. Simulation und Zeit sind eng miteinander verknüpft. "The heyday of analog computing [was the 1950s and '60s and] focused on real-time simulation" <Mindell 2004: 319>.

Eine Stärke des Analogcomputers lag also in der Echtzeitverarbeitung, bis daß nun die Philosophie der digitalen Signalverarbeitung diesem Echtzeitfenster selbst nahekommt.

Ein Vorteil von Analogrechnern gegenüber Digitalrechnern war und ist ihre prinzipbedingt hohe Ausführungsparallelität. Dies führt zu einer gegenüber algorithmisch programmierten Maschinen deutlich größeren Rechenleistung im Zeitbereich, mithin zu Echtzeitfähigkeit [die jedoch meist um den Preis einer geringen Rechengenauigkeit, die im besten Fall bei ca. 0,01 Prozent liegt, erkauft

[Der "bias" (Arbeitsstrom) stellt die Bedingung für Echtzeitverarbeitung dar.]

Echtzeit ist zum einen zugleich Bedingung und Kriterium zeitgetreuer Simulation. Zum anderen liegt der zeitkritische Erkenntnisvorteil von Simulationen "in ihren Extrapolationsmöglichkeiten für Bereiche, die zu klein oder zu groß sind, zu schnell oder langsam ablaufen"<sup>23</sup>, als daß sie von naturmenschlicher Wahrnehmung erfaßt oder gar erkannt werden könnte.

Der Analogcomputer ist *simulativ* nicht nur hinsichtlich des analogisierten Vorgangs als solchem, sondern vor allem zeit-proportional zum abzubildenden, real-physikalischen System. Die Simulation im Digitalcomputer ist zwar auch zeitkritisch, aber im zeitdiskreten Sinne: "eben nicht analog zur realen Physik, sondern bloß zum Takt des Prozessors".<sup>24</sup>

[Anders als die durch den Analogcomputer zur Abbildung gebrachten physikalischen Prozesse handelt es sich in der symbolverarbeitenden Maschine um Zeichen, nicht primär um Signale; wir erkennen dies daran, daß "die

---

22 Wolfgang Giloi, Simulation und Analyse stochastischer Vorgänge, München / Wien (Oldenbourg) 1967, 5

23 Gabriele Gramelsberger, Im Zeichen der Wissenschaften, in: Gernot Grube / Werner Kogge / Sybille Krämer (Hg.), Schrift. Kulturtechnik zwischen Auge, Hand und Maschine, München (Fink) 2005, xxx-xxx (448f)

24 E-mail Stefan Höltgen, 24. Februar 2012

Zeichen, die auf dem Bildschirm zu sehen sind, wie alle Zeichen in der digitalen Welt, arbiträr sind"<sup>25</sup>.]

Analogcomputer sind zu High Fidelity im Zeitbereich fähig, buchstäblich zeitanalog: "Ein Analogcomputer befolgt in seinem physikalischen Verhalten über der Zeit die Gesetze des von ihm analog dargestellten Systems. Ist dieses auch ein physikalisches System mit der Zeit als unabhängiger Variablen, so kann man dafür die Berechnung die Zeitskala dehnen oder raffen. Einen Echtzeitrechner erhält man, wenn die Maschinenzeit gleich der Zeit des berechneten Problems wird. In diesem Falle stellt der Analogrechner einen Simulator dar, der sich zwischen seine Ein- und Ausgängen so verhält, wie das von ihm simulierte System. [Man kann an den Ein- und Ausgängen Umsetzer anbringen, so daß dort die gleichen physikalischen Größen wie im simulierten System auftreten" = E. Kettel, Übersicht über die Technik der elektronischen Analogrechner, in: Telefunken-Zeitung Jg. 30 (Juni 1957) Heft 116, 129-135 (130)

Im Dazwischen von Ein- und Ausgang liegt - räumlich wie zeitlich - der mediale Kanal als das aristotelische *to metaxy*.

Analogcomputer sind (anders als analog/digital-Umsetzer) mit der physikalischen, also verzeitlichten Welt selbst kompatibel; er wird in der zeitlichen Dimension Teil des Systems, das er zugleich abschnittsweise simuliert. Der Analogrechner verhält sich als Zeitmaschine transitiv gegenüber der zu berechnenden Weltzeit.

Der Analogcomputer betreibt buchstäblich Zeitrechnung: nicht im Sinne einer Uhr, sondern deshalb, weil in ihm die unabhängige Variable die Zeit ist, konkret: seine Maschinenzeit. Das wichtigste Element des Analogrechners, der Integrator, wird "zeitlich gesteuert <...>, und sein jeweiliger Zustand bestimmt den Zustand des gesamten Rechners" <Kley 1964: 176>. Zustand ist hier ganz anders gemeint als bei Turing, der für seinen Rechner die Devise vorgibt "Treat time as discrete". Der Integrator vermag je nach Schalter-Stellungen den jeweils zuletzt angenommenen Analogwert *diskret* zu speichern (und damit zu integrieren) - eine paradoxe Verkehrung gegenüber der von-Neumann-Architektur des Computers

Differentialrechnung in der Zeit: "Computers used to solve problems of this type are commonly called simulators, since often the passage of time in the computer solution is proportional to time in the system under study, and thus the system under study is 'simulated' by the computer."<sup>26</sup>

Helmut Hölzlers Analogcomputer auf elektronischer Basis (noch ohne Operationsverstärker) resultierte im Kontext eines Echtzeitproblems: die speziellen Steuerungsaufgaben des Aggregat 4 auf Peenemünde (das eingebaute "Mischgerät") und deren Simulation auf dem Boden (tatsächlich

---

25 Stefan Höltgen ebd. Zum Begriff des "operativen Zeichens" siehe Trogemann (Hg.) 2010, Undinglichkeit, xxx

26 Harold K. Skramstad, Combined Analog-Digital Techniques in Simulation, in: Advances in Computers, Bd. 3 (1962), 275-298 (275)

dann realisiert durch den Analogcomputer an Bord der Apollo 11-Mondlandung).

So scheint die besondere Eigenschaft des Analogcomputers auf: einmal kann er einen physikalischen Vorgang in mathematischer Analogie simulieren, ebenso kann er aber Teil des tatsächlichen Systems sein und in Echtzeit die Lage nicht nur simulieren, sondern darin selbst analytisch tätig werden.

[Echtzeitprogrammierung heute heißt "live coding" (Julian Rohrhuber)]

Der Analogcomputer steht in seinen zwei Verkörperungen zugleich in einem transitiven und intransitiven Verhältnis zu der zu berechnenden Welt. Er ist buchstäblich von dieser Welt: einerseits ihrer selbst teilhaftig (aus deren Materialität er besteht) und zugleich deren Beobachter- respektive Meßinstanz. Dies betrifft besonders den Zeitbereich: Der Analogcomputer simuliert nicht nur Weltzeit, sondern partizipiert an ihr selbst.

"Gegensatzbegriff zur Echtzeit ist <...> nicht historische Zeit, sondern bloß eine Simulationszeit, bei der es entweder unmöglich oder unnötig wird, mit der Geschwindigkeit des Simulierten mitzuhalten."<sup>27</sup> Die scheinbare Differenz zwischen historischer Zeit (Aufschub) und elektronischer Zeit (Echtzeit) faltet sich ineins.

[Neben der Lösung dynamischer Prozesse, also solcher Vorgänge, die durch eine Differentialgleichung beschreibbar sind - also die Welt der operativen Medien (technische Systeme), aber ebenso des dynamischen Verhaltens von biologischen und ökonomischen Systemen, chemischen Prozessen etc. - ist ein privilegiertes Anwendungsgebiet des Analogrechners die Verwendung als Simulator: "Dabei werden Teile eines Systems, z. B. einer umfangreichen Regelanlage, durch einen Analogrechner und Wandler zur Anpassung der elektrischen Größen des Rechners an die pyhsikalischen Größen des jeweiligen Systems ersetzt. Der Simulator, bestehend aus Analogrechner und Wandler, entspricht in seinem äußeren Verhalten genau dem zu simulierenden Originalteil" <Kley 1964: 181>]

Der Analogrechner wird der realen Welt ganz anders implementiert als die symbolische Maschine. Wenn Mathematik solchermaßen in der Welt ist, ist sie auch in der Zeit: "Bei der Simulation muß der Rechner in Echtzeit, d. h. ohne Zeittransformation <...> arbeiten", wenn er zusammen mit Originalteilen betrieben wird <Kley 1964: 181>. Wegen dieser Forderung schied bei vielen Simulationsaufgaben die Verwendung eines Digitalrechners im Simulator aus <Kley ebd.> - bis daß Signalprozessoren in Digitalrechnern heute gerade dies leisten und damit dem Analogcomputer nacheifern (um nicht zu schreiben: emulieren).

[Klassische Anwendungen des Analogrechners waren Flugsimulatoren, oder die Simulation einer ferngelenkten Rakete - der medienarchäologische Anlaß zum bereits erwähnten Bau des ersten elektronischen Analogrechners durch Helmut Hölzer in Peenemünde.]

---

27 Friedrich Kittler, Realtime Analysis and Time Axis Manipulation, in: ders., Draculas Vermächtnis. Technische Schriften, Leipzig (Reclam) 1993, 182-207 (201)

Damit zum Hybridrechner, also der optimalen Kombination von genauestem Zählen (Präzision) und Echtzeitsignalverhalten. So werden etwa "mit einem Radarsystem gemessene Positionsdaten an eine Zentrale gegeben, wo aus diesen Daten in einem Digitalrechner mit hoher Präzision Korrektursignale berechnet werden, die wieder per Funk an die Rakete übermittelt werden und entsprechende Kursänderungen bewirken. Bei der Entwicklung solcher Systeme bedient man sich aus Kostengründen vorteilhaft der Simulationstechnik. Die Rakete mit ihren flugdynamischen Eigenschaften und Steuereinrichtungen wird dabei mit einem Analogrechner in Echtzeit simuliert" <Kley 1964: 182>.

So sind Analog- und Digitalrechner miteinander verschaltet, medienarchäologisch abgründig [*mise-en-abîme*], aller linearen Mediengeschichte zum Trotz.

Der Analogcomputer ist damit in zwei Hinsichten eine Provokation der linearen historischen Zeit. Einerseits läßt er sich zwar technikgeschichtlich, nicht aber medienepistemologisch historisieren, wie die Formen seines partiellen Fortlebens und gar seiner künftigen Wiedereinkehr als Modell in anderem technischen oder physikalischen Gewand andeutet.

Zum Anderen aber lag seine Stärke gegenüber dem Digitalcomputer lange Zeit in seiner Eigenschaft als Zeitmaschine, die erst im wahren Sinne (nämlich zeitkritisch) die Simulation welthaftiger Vorgänge ermöglichte.

Der Brockhaus *Naturwissenschaft und Technik* definiert Simulation als "die modellhafte Darstellung oder Nachbildung bestimmter Aspekte eines vorhandenen oder zu entwickelnden kybernet. Systems oder Prozesses <...>, insbesondere auch seines Zeitverhaltens."

["Die Simulation erlaubt Untersuchungen oder Manipulationen, deren Durchführung am eigentl. System zu gefährlich, zu teuer oder unmöglich ist.].<sup>28</sup>

[Der Ingenieur Harald Hazen sah in seiner Dissertation *The Extension of Engineering Analysis through Reduction of Computatinal Limits by Mechanical Means* 1931 im Analogrechner die künftige Alternative zur numerischen Rechenmaschine: "Where a physical problem is involved, models or analogies may replace the need for the solution of algebraic equations as such" <zitiert hier nach Mindell 2004: 163>. Rechner vom Typus Analogcomputer "will deal directly with the functions themselves" <zitiert ebd.>, geradezu immediat, zeitlich und epistemologisch *transitiv*.]

[Auch die englischsprachige Wikipedia erinnert daran:

"The term *real-time* derives from its use in early simulation. While current usage implies that a computation that is "fast enough" is real-time, originally it referred to a simulation that proceeded at a rate that matched that of the real process it was simulating. Analog computers, especially, were often capable of simulating much *faster* than real-time, a situation that could be just as dangerous as a slow simulation if it were not also recognized and accounted for.<sup>29</sup>]

28 xxx. Siehe auch Inge Hinterwaldner, Simulationsmodelle. Zur Verhaltensbestimmung von Modellierung und Bildgebung in interaktiven Echtzeitsimulationen, in: Ingeborg Reichele / Steffen Siegel / Achim Spelten (Hg.), Visuelle Modelle, München (Fink) 2008, 301-316

29 [http://en.wikipedia.org/wiki/Real-time\\_computing](http://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_computing)

[Nachdem 1948 die Firma Reeves den ersten vollelektronischen Allzweck-Analogcomputer auf den Markt gebracht hatte (der R E A C), kam er Mitte der 1950er Jahre im Projekt Cyclone zum umfassenden Einsatz - flankiert vom Digitalrechner:

"At Project Cyclone digital computers were, from time to time, used to verify the accuracy of results from the analog computer. In a typical application, such as the simulation of a guided missile in three dimensions, the average runtime for a single solution on the analog computer facility was approximately one minute. The check solution by numerical methods on an IBM CPC (Card Programmed Calculator) took 75 hours to run <...>."<sup>30]</sup>

Ein Erfolgsgeheimnis des Analogrechners ist seine Funktionsfähigkeit als "intuitive Schnittstelle" in der Modellierung physikalischer und anderer Prozesse, wie es heute als Digital Signal Processing für alternative Interfaces aktueller Computer wiederentdeckt wird. Diese Funktion basiert vor allem auf einem kritischen *Zeitverhalten*, nämlich der Echtzeit in der Interaktion (Simultaneität der Prozesse *versus* Sequentialität), welches ihm einen ausgezeichneten medienepistemologischen Status (weit über sein Dasein als Zwischenkapitel der Computergeschichte hinaus) verleiht - ein transitives Verhältnis zwischen Modellierung und Ergebnis.

Ein medientheoretisches Plädoyer: Der Simulationsbegriff soll den zeitkritischen Aspekt notwendig mit einbeziehen. So die *IEEE Standard Definitions of Terms for Analog Computers*: "In a more restricted definition, a simulator is a device used to interact with, or to train, a human operator in the performance of a given task"<sup>31</sup> - also in zeitlich unmittelbarer (Rück-)Kopplung. Wer am Analogcomputer arbeitet, erfährt es als Unmittelbarkeit, also als temporaler Kurzschluß der Zeiten von rechnender und berechneter Welt:

"Da die ihn interessierenden Größen oder Parameter alle unmittelbar zugänglich sind und ihre Veränderung sich unmittelbar in der Lösung auswirkt, erhält er vor allem auch ein Gespür und einen Einblick in die Struktur und Arbeitsweise des zu untersuchenden Systems <...>."<sup>32</sup>

Auf dieses Zeitgespür hat J. C. R. Licklider insbesondere hingewiesen.<sup>33</sup>

Der Begriff der Simulation hängt also an dem der Echtzeit - wobei Echtzeit im aktuellen Sinne das numerisch gerechnete Zeitfenster namens Gegenwartsmoment meint, während diese Rechtzeitigkeit im Analogcomputer auf purer Stromspannung basiert.

---

30 James S. Small, *General-Purpose Electronic Analog Computing: 1945-1965*, in: *IEEE Annals of the History of Computing*, Vol. 15, No. 2, 1993, 11 (unter Bezug auf: A. Karen / B. Loveman, *Large-Problem Solutions at Project Cyclone*, in: *Instruments and Automation*, Vol. 29, Jan. 1956, 78-83

31 ANSI/IEEE Std 165-1977, reaffirmed 1984

32 Wolfgang Giloi / R. Herschel, *Rechenanleitung für Analogrechner*, hg. v. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft AEG-Telefunken, Fachbereich Anlagen Informationstechnik, Konstanz o. J., 12f (13)

33 J. C. R. Licklider, *Interactive Dynamic Modeling*, in: *Prospects for Simulation and Simulators of Dynamic Systems*, hg. v. George Shapiro / Milron Rogers, New York / London 1967, 281-289

## Von der Simulation zur Emulation dynamischer Welten: Die Einholung des Analogrechners in den algorithmischen Raum

Lange Zeit konnte der Digitalcomputer in der Simulation von Prozessen mit dem Analogcomputer nur in "non-time-critical applications" <Small 2001: 167> rivalisieren. Dieser Vorsprung des Analogcomputers scheint mit digitaler Signalverarbeitung inzwischen eingeholt: "Signale, die wie die musikalischen nur Variablen der Zeit sind" - also der Gegenstand elektronischer Synthesizer -, "erlauben schon den Mikroprozessoren von heute Entzeitanalysen und Echtzeitsynthesen, also Simulationen" <Kittler 1990: 212>

Das technikhistorisch gefaßte Verhältnis von Analog- und Digitalcomputer kehrt sich um, seitdem digitale Systeme Analogrechner ihrerseits durch Digital Signal Processing simulieren - ein Dementi linearer Mediengeschichten. Es bedeutet eine medienzeitliche Kehre, wenn Analogcomputer in Programmen wie MIMIC digital emuliert werden.

Was heißt es nun, wenn der elektronische Analogcomputer selbst zum Gegenstand einer Modellierung im Digitalcomputer wird? Gilt es hier, auch seine physikalischen (und damit grenzwertigen) Eigenschaften mit abzubilden, ihn also nicht schlicht funktional (durch DSP) zu emulieren, sondern zu simulieren? Läßt sich die Schwäche des Analogcomputers, seine begrenzte Genauigkeit, mit der Turing-Maschine überhaupt simulieren - oder nur annähern? Oder wird diese Differenz im Sinne des *limes* in der Differentialrechnung aufgehoben?

Früher galt einmal: „Teilsysteme mit Eigenfrequenzen über 1 Hz müssen analog simuliert werden. Teilsysteme mit Eigenfrequenzen unter 1 Hz dürfen digital simuliert werden.“<sup>34</sup> Diese zeitkritische Grenze ist heute - seit Entwicklung des Abtasttheorems von Nyquist / Shannon - von realer Signalverarbeitung längst eingeholt.

Mit Digital Signal Processing haben nun die algebraischen Berechnungen eine Hochgeschwindigkeit erreicht, welche ihrerseits die Simulation dynamischer Systeme zu leisten vermag.

Einst kam Digitaltechnik "als Schock über Analogmedien, Differentialgleichungen und Stetigkeiten"<sup>35</sup>. Nun werden Analogrechnerschaltungen im Digitalcomputer selbst nachgebildet, in Form algorithmischer Verfahren der Simulation von Analogrechnern auf digitalen Allzweckrechenanlagen.<sup>36</sup> Der Analogcomputer, dessen Stärke auf dem Gebiet der Simulation welthaftiger Vorgänge lag, wird damit selbst zum Gegenstand einer Simulation - eine zeitliche Einfaltung des technischen Gestells, die mit medienarchäologischem Zeitbewußtsein ein erstaunliches Wunder darstellt, während sie technikhistorisch verarmt.

---

34 Achim Sydow, Elektronisches Hybridrechnen, Berlin (VEB Verlag Technik) 1971

35 Friedrich Kittler, Die Nacht der Substanz, Bern (Benteli) 1989, 31

36 Siehe Diss. Ulmann 2008: 215ff

### III "SPIELEN MIT PHYSIK"

[Eröffnung der gleichnamigen Ausstellung im Computerspielmuseum Berlin, 18. Juli 2012]

#### **Das Signallabor zu Gast im Computermuseum**

Im Berliner Pergamon-Museum wird antike Zivilisation präsentiert, und man kann zwischen den Monumenten wandeln. Aber das Museum kann diese Zeit nicht wiederauferstehen lassen. Anders ist die archäologische Lage in der operativen Medienanalyse; die ebenso technisch, mathematisch wie erkenntniswissenschaftlich orientierte Medienwissenschaft an der Humboldt-Universität verfügt daher über drei Einrichtungen, die sich von den üblichen Unterrichtsräumen unterscheiden: der Medienarchäologische Fundus, der wissenswerte Artefakte aus der Vergangenheit medienrelevanter Technologien hortet, um sie nachvollziehbar zu machen; zweitens das Medientheater, ein dreidimensionaler Großraum samt Szene, der Medientheorie mit Mitteln der Dramaturgie erforscht und in dem Medien selbst die Hauptdarsteller sind, und schließlich das Signallabor, in dem signal- und symbolverarbeitende Medien, d. h. frühe analoge wie digitale Computersysteme, ebenso erforscht wie gelehrt werden - etwa in Form eines Kurses in hardware-nahem Assembler, aber eben auch in Form des Patchens eines Programms für Analogcomputer. Mit einem Produkt dieser Steckkunst ist das Signallabor zu Gast im Computerspielmuseum Berlin.

Friedrich Kittler hat auf der Tagung *The end(s) of the Museum*; Vortrag zu Perspektiven des Museums aus medienwissenschaftlicher Sicht gehalten: Real existierende Museen sollten nicht nur materieller Kultur und bildender Künste zwecks nutzerfreundlicher Information "virtualisieren", d. h. im Internet zugänglich machen, sondern verschärft an jene bewahrenswerten Objekte zu denken, welche die Gegenwartskultur bestimmen: Computerhardware und -software. "Ganz wie Besucher bislang das Labyrinth der Galerien und Säle als Allegorie eines museologischen Plans durchihren dürfen oder müssen, würden sie in computersimulierten Virtual Realities das Labyrinth der Siliziumarchitektur selber durchirren. Damit aber fände das Museum auch unter hochtechnischen Bedingungen zu jener Autoreferenz, die unter Bedingungen der Gutenberggalaxis als Zusammenspiel von Exponaten und Katalogen so leicht zu haben war."<sup>37</sup> Diese Vision ist in beiden Varianten im Berliner Computerspielmuseum Wirklichkeit geworden - die zwei Körper der Computerkultur

#### **"Spiel mit Physik"**

Mit einer Sonderausstellung widmete sich das Berliner Computerspielmuseum dem *Spiel mit Physik*. Unter "Physik" wird in digitalen Computerspielen zumeist

---

<sup>37</sup> Friedrich Kittler, Museen an der digitalen Grenze, in: Philine Helas / Maren Polte / Claudia Rückert / Bettina Uppenkamp (Hg.), *Bild/Geschichte*. Festschrift für Horst Bredekamp, Berlin (Akademie Verlag) 2007, 109-118

jene algorithmische *engine* verstanden, welche physikalische Parameter wie die Schwerkraft in der Bewegung von Figuren *simuliert* (etwa Lara Crofts unwahrscheinliche Sprünge, die in der realen Verfilmung so schwierig nachzuvollziehen waren). Demgegenüber basierten die ersten Computerspiele, gerade weil sie in elektronischen Analogcomputern implementiert waren, auf Elektrophysik selbst. Denn Analogcomputer berechnen Weltverhältnisse nicht symbolisch, sondern mit Mitteln der physikalischen Welt selbst. Gegenüber der Hardwarevergessenheit hochvirtueller Spielwelten der Gegenwart lohnt die medienarchäologische Erinnerung daran nicht nur aus Gründen der Nostalgie. Was aber heißt Erinnerung im Fall hochtechnischer Medien? Medien entbergen ihr Wesen erst im Vollzug. Neben dem "algorithmischen Zeichen" (Frieder Nake) gibt es die Echtzeit des Analogcomputers; wahres "Medientheater"

## **Spiel mit der Zeit**

Die von-Neumann-Architektur des Computers, also das Prinzip der Speicherprogrammierbarkeit, war bekanntlich ein direktes Resultat der Notwendigkeit, den zeitkritischen Zündmechanismus von Wasserstoffbomben als Simulation zu berechnen. Pikanterweise stammt auch der Analogrechner Telefunken RA 742 - die hiesige Basis für die Implementierung von *Tennis für Drei* - aus der inzwischen stillgelegten Kernreaktoranlage der TU Berlin. Bevor Studierende an den tatsächlichen Versuchsreaktor durften, simulierten sie kritische Kettenreaktionen zunächst anhand des sogenannten Reaktorsimulators. Die Ein- und Ausgabeperipherie bestand dabei aus einem Verbund aus Steuertisch - gleich einer Computerspielkonsole - und einer analogrechnergesteuerten Meßgerätewand zu Ablesen der Signalverläufe; den Kern der Simulation bildete ein Analogcomputer. Dieser Analogcomputer Telefunken RA 742 hat inzwischen seine Heimstatt im Signallabor des Fachgebiets Medienwissenschaft der Humboldt-Universität gefunden. Im Frühjahr 2012 wurde auf diesem "Tisch"(analog)rechner eine Urszene aller physikalisch-analogen Computerspiele, nämlich *Tennis for Two*, in einer aktualisierten Variante gesteckt; im Rahmen des Workshops *Think Analogue!* im April 2012 kam es damit zu einem buchstäblich medienarchäologischen *re-enactment* des gleichnamigen Spiels. Anders als in einer bloß funktionalen Emulation (im Reich der binär-diskreten symbolverarbeitenden Maschinen) wird hier das authentische Zeitverhalten des Computerspiels selbst nach- und mitvollziehbar.

## IV PRINZIP ANALOGRECHNER

### **Prinzip Analogrechner (nach von Neumann)**

Die aktuelle Transformation der Computerarchitektur (jenseits der strikten Serialität der Symbolverarbeitung in der von-Neumann-Architektur) resoniert mit Aspekten dessen, was (erst nach dem Siegeszug des Digitalcomputers überhaupt) "Analog"rechnen hieß: der Trend zur Parallelverarbeitung. Seitdem scheinen alle Signalflüsse auf binäre Datenverarbeitung abbildbar zu sein.

Analogcomputer sind - im Gegensatz zur universellen Turing-Maschine - als Spezialrechner stark. In Analogcomputern ist jede mathematische Operation durch eine eigenständige technische Einheit realisiert - als physikalische Verkörperung eines mathematischen Verhältnisses (implizite, d. h. nicht-symbolisch formulierte Mathematik). Dies war die Möglichkeitsbedingung für Parallelverarbeitung (so wie Fernsehbildübertragung alternativ auch einmal in parallelen Kanälen für jeden Bildpunkt gedacht war), mithin die Lösung von Echtzeitproblemen.

„Man kann eine Rechenmaschine auf dem Prinzip aufbauen, Zahlen durch bestimmte physikalische Größen darzustellen. Als solche Größen können wir z. B. die Stärke eines elektrischen Stromes, die Höhe eines elektrischen Potentials oder die Anzahl der Bogengrade verwenden, um die eine Scheibe gedreht wird (evtl. in Verbindung mit der Anzahl der vollen Umdrehungen der Scheibe) etc. Man kann dann Operationen wie Addition, Multiplikation und Integration so ausführen, daß man verschiedene natürliche Prozesse findet, die diese Größen in der gewünschten Weise steuern. Ströme mag man multiplizieren, indem man sie den beiden Magneten eines Dynamometers zuführt, wodurch man eine Drehung erzeugt. Diese Drehung kann dann durch Verknüpfung mit einem Regulierwiderstand in einen elektrischen Widerstand umgewandelt werden; und schließlich kann man den Widerstand in einen Strom umwandeln, indem man ihn an zwei Quellen festen (aber verschiedenen) Potentials schaltet. Das ganze Aggregat wird so zu einem »schwarzen Kasten«, dem man zwei Ströme zuführt und der einen Strom erzeugt, der gleich dem Produkt der beiden Ströme ist.“<sup>38</sup>

[Also kann man auch mit einer Waschmaschinentrommel, angetrieben durch den Transmissionsriemen eines an das Wechselstromnetz angeschlossenen Elektromotors, rechnen.]

„Die kritische Frage jedes Analogverfahrens ist also diese: Wie groß sind die unkontrollierbaren Schwankungen des Mechanismus, die das »Rauschen« ergeben, im Verhältnis zu den signifikanten »Signalen«, die die Zahlen ausdrücken, mit denen der Rechner arbeitet? Die Brauchbarkeit jedes Analogverfahrens hängt davon ab, wie niedrig der »Rauschpegel«, also die relative Stärke der unkontrollierbaren Schwankungen, gehalten werden kann. Es gibt, anders gesagt, keinen Analogrechner, der wirklich das Produkt zweier Zahlen bildet. Er bildet vielmehr das Produkt plus einer kleinen, aber unbekanntem Größe, welche das »weiße Rauschen« (random noise) repräsentiert, das vom Mechanismus und den beteiligten physikalischen Prozessen herrührt“ <ebd.>.

## **Die kybernetische Epistemologie des Analogrechners (OP)**

Es fällt sofort ins Auge, daß den von Helmar Frank 1964 herausgegebenen Band *Kybernetische Maschinen* das Photo eines klassischen Analogcomputers zielt. Die Frage nach der Aktualität des Analogcomputers ist eng mit dem

<sup>38</sup> John von Neumann, Allgemeine und logische Theorie der Automaten, in: Kursbuch 8 (1967); Nachdruck von »The General and Logical Theory of Automata«, veröffentlicht 1951 in einem Symposium der Hixon Foundation »Celebration Mechanisms in Behavior« Druck: John Wiley&Sons, New York)

kybernetischen Denken verknüpft. In den Beiträgen wird das Analoge (als das "Nicht-Digitale") gleichberechtigt neben dem numerischen Rechner behandelt. Im Rahmen der Medienarchäologie ist es von größtem methodischen Interesse, an diese Gleichrangigkeit beider techno-mathematischen Zugangsweisen im Diskurs der Kybernetik zu erinnern.

Es ist ein Kernanliegen der medienarchäologischen Wissens, das Erbe der Kybernetik nicht schlicht wissenschaftsgeschichtliche zu historisieren, sondern in seiner medienarchäologischen Aktualität weiterzuführen; in dem Zusammenhang soll der Analogcomputer kein Zwischenspiel der Rechengeschichte sein, sondern als alternative Form der mathematischen Modellierung re-aktualisiert werden.

Die Anfänge der Kybernetik sind mit dem Kernelement des Analogrechners, dem Operationserstärker, im Konstrukt des Feedback wesentlich verknüpft. Durch Rückkopplung wird ein Output dem Eingang als Input wieder zugeführt (und sei es unter verkehrten Vorzeichen zum Ausgleich). Norbert Wiener hat dieses Element als den entscheidenden Schritt des elektronischen Analogrechners über die Elektromechanik von Vannevar Bushs Differential Analyzer hinaus definiert. Ziel war "to gear it to the high speed of electrical circuits instead of to the much lower one of mechanical shafts and integrators"<sup>39</sup>.

In (Elektro-)Physik implementierte Mathematik ist - anders als die rein symbolische Notation - anfällig für die Eigentümlichkeiten und Eigenzeiten eben jener Physik. Die jeweils zur Realisierung mathematischer Funktionen verfügbaren Einheiten - etwa die Integratoren - müssen im Analogcomputer "so verkoppelt werden können, wie man sie als mathematische Operationen benötigte. Während es innerhalb der Mathematik dabei gar keine Probleme gibt, mußten ja die technischen Rechengrößen - es waren im Regelfall Spannungen oder besser Spannungsverläufe - verkoppelt werden. Und beim Zuführen von Spannungen zu einem Gerät gelten die physikalisch-technischen Grundgesetze - bekannt nach Kirchhoff als Maschensatz und Knotensatz. Diese erzeugen sogenannte Rückwirkungen, die so klein gehalten werden müssen, daß sie im mathematischen Sinne vernachlässigbar sind. Das war möglich unter Verwendung der elektronische Verstärkertechnik"<sup>40</sup> - im damaligen Fall (Helmut Hoelzer) zunächst Elektronenröhren.

## **Die Zukunft liegt im Hybrid: Analogcomputing und Neurobiologie**

Der Analogcomputer weist nicht zurück, sondern voraus. Von Interesse ist hier Hava T. Siegelmanns Buch *Neural Networks and Analog Computing - Beyond the Turing Limit*.

---

<sup>39</sup> Norbert Wiener, *I am a Mathematician. The Later Life of a Prodigy*, Doubleday, Garden City, New York 1956, 190 (zitiert in: Masani 1990, 168 f.)

<sup>40</sup> Gunter Schwarze (seinerzeit Professor für Systemanalyse an der Humboldt-Universität zu Berlin) in seiner Rede zur Enthüllung einer Gedenktafel für Dr.-Ing. Helmut Hoelzer auf der Halbinsel Peenemünde (Typoskript Berlin, den 25. Oktober 1995)

John von Neumann höchstselbst kritisierte ein neurologisches Modell, das biologische Funktionen auf binäre Gatter und Operationen (im Sinne von McCulloch / Pitts) reduziert; vielmehr handelt es sich um analog/digital-Hybride.

Spiegelneuronen vollziehen eine "constant mental simulation of perceived action" (Rolf Inge Godoy) - und damit genau das, was Modellierung am Analogcomputer bedeutet.

"Für die Zukunft wird <...> ein verstärkter Einsatz von hybriden Computersystemen für biologisch-medizinische Zwecke prognostiziert (Gillois <sic> 1970). Einer der Gründe dafür mag sein, daß die Natur, die den besten aller existierenden Computer, das menschliche Gehirn, hervorgebracht hat, selbst eine hybride Form der Datenverarbeitung benutzt."<sup>41</sup>

In der Lesart John von Neumanns ist das Gehirn des Menschen als zugleich mit Anteilen des Digital- und des Analogcomputers ausgestattet. Sein notorische Beitrag zum Thema computer/brain stellt auch aus heutiger Sicht noch einen wesentlichen Referenztext dar, weil er den Unterschied von numerischer und neuronaler Signalverarbeitung zum Einen im zeitkritischen Bereich aufdeckt und zweitens das menschliche Gehirn als das beschreibt, was in der Medienarchäologie der "Hybridcomputer" ist, also die Kombination aus Analog- und Digitalcomputer, wobei die Stärken beider Systeme gegen ihre gegenseitigen Schwäche ausgespielt werden - etwa durch den beliebig hinter alle Kommastellen präzisen, aber rechenzeitaufwändigen Digitalcomputer die begrenzte Genauigkeit analogrechnerischer Ergebnisse, die dafür aber unverzüglich geliefert werden können.

## **Analogcomputer und -synthesizer: Ein anderes Verhältnis von Musik & Mathematik**

Im elektroakustischen Synthesizer entbirgt sich der Kehrwert der Zeitlichkeit des Tons: seine mathematischen Bemessung als Frequenz (die aristotelische Definition von Zeit als Maßzahl einer Bewegung zwischen dem Früheren und Späteren). Es war diese mathematische Ästhetik, mit der Karlheinz Stockhausen seine ersten elektronischen Kompositionen unternahm: entweder als Addition von reinen Sinustönen zu stationären Klängen, oder aber auch subtraktiv durch Zerlegung des weißen Rauschens in farbiges Rauschen unter Anlegung von Filtern.<sup>42</sup> Die medienarchäologische Ästhetik früher elektronischer Musik tritt das Erbe der Helmholtzschen *Lehre von den Tonempfindungen* (1863) an.

Der Dokumentarfilm *Die vergangene Zukunft des Klangs* erinnert an Oskar Sala; analog sollte ein Film über Analogcomputer „die vergangene Zukunft des Computers“ behandeln. Tatsächlich teilt der Analogcomputer mit dem

---

41 Wolfgang A. Knorre, *Analogcomputer in Biologie und Medizin*, Jena (VEB Gustav Fischer) 1971, 25

42 Karlheinz Stockhausen, *Elektronische Studien I und II* (1953/54), in: ders., *Texte zu eigenen Werken, zur Kunst Anderer, Aktuelles*, hg. v. Dieter Schnebel, Köln (DuMont Schauberg) 1964, 22

Synthesizer nicht nur die konkrete Elektronik, sondern auch deren operative (eher affektive denn kognitive) Handhabung.

Die Sprache der Musikelektronik ist durchwirkt von in- und expliziter Mathematik. So definiert sich etwa der Ringmodulator als Modul in Synthesizern als Mischgerät zweier beliebiger Klangquellen (im einfachsten Falle Sinustöne), die entweder addiert oder subtrahiert werden und damit eine Frequenzverschiebung vornehmen.<sup>43</sup> Das Ohr vernimmt am Ende Rechenergebnisse. "Der R. ist ein Spannungsmultiplizierer" <ebd., 264> und damit ein Analogcomputer.

---

Der modulare Synthesizer beruht auf der "komplexe<n> Verdrahtung unterschiedlichster spannungskontrollierter Module, die sich wechselseitig beeinflussen"<sup>44</sup>. Trennt oder verbindet das Algorithmische Analogcomputer und Analogsynthesizer?

"Eine solche individuelle Urverdrahtung, der Entwurf eines Netzwerks mit genauer Festlegung des Signalflusses und der Signalgrößen, ist gewissermaßen der Algorithmus, um eine Komposition automatisch zu generieren. Mit dem Terminus Algorithmus werden meist Computerprogramme und somit Digitaltechnik assoziiert. Doch so wie das Arbeiten mit einem Rechenschieber ein analoges algorithmisches Rechnen ist, wurden bereits 1930 analoge Computer gebaut, deren Rechenschritte und Ergebnisse auf unterschiedlichen Spannungspotentialen basieren."<sup>45</sup>

## **Der Analogcomputer als Synthesizer**

Was bedeutet es in medienepistemologischer Hinsicht, wenn die gleiche elektrotechnische Schaltung einmal zu „rechnen“ vermag, und (alternativ) Töne, mithin Musik generiert (der Operationsverstärker und der Oszillator im Analogcomputer und im Synthesizer)? Eine Gleichursprünglichkeit von Zahl und Musik in der Schwingung, oder eine Gleichursprünglichkeit von Schwingung und Mathematik in der Zahl?

[Martin Heidegger bezeichnet das „Mitsein“ und das „In-der-Welt-Sein“ als „gleichursprünglicher“ Seinscharakter des Daseins.<sup>46</sup>]

Das ehemalige Siemens-Studio für elektronische Musik (jetzt positioniert im Deutsches Museum, München) erzeugt u. a. ein Frequenzvibrato durch Multiplikation des Tones – ein implizites Rechnen, ohne Zahlen verarbeiten zu wollen. Tatsächlich, Synthesizer "can <...> be viewed as a form of analog computer; their technology was originally based on electronic analog computer technology."<sup>47</sup>

---

43 Bernd Enders, *Lexikon Musikelektronik*, 3. Aufl. Mainz (Schott) 1997, 263f

44 Martin Supper, Gibt es kybernetische Musik? Das Beispiel Roland Kayn und Peter Vogel, in: Esselborn (Hg.), 2009, 200-204 (202)

45 Supper 2009: 202, unter Bezug auf das CEMS System (Coordinated Electronic Music Studio, realisiert durch Robert Moog an der State University of New York, Albany, 1969)

46 Martin Heidegger, *Prolegomena zur Geschichte des Zeitbegriffs* (Marburger Vorlesung SS 1925) = GA Bd. 20, Frankfurt/M. (Vittorio Klostermann) 3. Aufl. 1994, 328

47 [http://en.wikipedia.org/wiki/Analog\\_computer](http://en.wikipedia.org/wiki/Analog_computer) (Stand 29. April 2007)

Die tatsächliche Erfahrung mit dem Maxi-Moog ist Gold im Sinne von Hardware wert, weil sie in dieser materiellen, geradezu elektrotechnischen Form nicht durch eine der vielen Software-Emulationen von Synthesizern ersetzbar ist.

War das Keyboard ein allzugroßes Zugeständnis an die Musiker und hat mithin den Charakter der Stellknöpfe freier Parameter nicht eher vermischt? Synthesizer-Töne sind wirkliche Meßtöne, und das Interface (keyboard) vernebelt dies. Herr Steinke, der in Berlin-Adlershof im ehemaligen DDR-Studio für experimentelle Musik in den 70er Jahren das „Subharchord“ baute, erzählt immer wieder gerne, daß es die Komponisten waren, die auf einer nachträglichen Ergänzung des keyboards beharrten.

### **Der Radioempfänger als impliziter Analogrechner (Wadley Loop)**

Es gibt eine Vielzahl unbeabsichtigter, impliziter Formen von Analogrechnung, etwa die spezielle Kurzwellenradio-Schaltung, der Wadley Loop als Alternative zum Überlagerungsempfänger, entwickelt von Trevor Wadley in den 1940er Jahren zunächst zu Zwecken der Frequenz*messung*. Sie dient der Vermeidung jener Drift, die (meßtechnisch) die allmähliche Verschiebung eines Meßgeräts um seinen Nullpunkt meint, was besonders im Hochfrequenzbereich gravierend wird:

In a traditional superheterodyne radio receiver, most oscillator drift and instability occurs in the first frequency converter stage, because it is tunable and operating at a high frequency. <...> Unlike drift-reducing techniques (such as crystal control or frequency synthesis), the Wadley Loop does not attempt to stabilize the oscillator. Instead, it cancels the drift mathematically.<sup>48</sup>

Das System operiert also als quasi-Analogrechner. Dies geschieht durch folgenden Operation:

- (1) combining the first oscillator with the received signal in a frequency mixer to translate it to an intermediate frequency that is above the receiver's tuning range,
- (2) mixing the same oscillator with a comb of harmonics from a crystal scillator <ebd.>

Es handelt sich mithin um Rundfunk im mathematischen Fließgleichgewicht.

### **Implizite Mathematik: Modellhaft rechnen**

Mathematik wird durch Rechenmaschinen radikal verzeitlicht; ihr operativer Vollzug wird nicht mehr allein durch Menschen in Kopplung an Papier und Bleistift, sondern durch die Apparatur selbst geleistet.

"Ein Analogrechner liegt vor, wenn man zur Lösung eines mathematischen Problems ein analoges physikalisches System aufbaut und die Lösung des

---

48 [http://en.wikipedia.org/wiki/Wadley\\_Lop](http://en.wikipedia.org/wiki/Wadley_Lop); Zugriff August 2008

Problems *durch ein physikalisches Experiment* <italics W. E.> gewinnt, nämlich durch die Messung des Zustandes oder des zeitlichen Ablaufes der physikalischen Größen des aufgebauten Systems."<sup>49</sup>

In der analogtechnischen Maschinerie aber "wird <...> gar nicht im eigentlichen Sinne 'gerechnet', sondern die Lösung durch Aufbauen eines Analogons, eines Modells erzeugt."<sup>50</sup>

"Man hat weniger eine Rechenmaschine vor sich, als vielmehr ein Modell zum Experimentieren. Der Ingenieur kann bei der Untersuchung in den ihm geläufigen Begriffen denken. Er erhält die Lösung in anschaulicher, graphischer Darstellung."<sup>51</sup>

Ein erfahrener Anwender von Analogrechnern "ist oftmals bereits vor der Analogrechnung in der Lage, qualitative Aussagen über das Verhalten des Modells zu machen"<sup>52</sup> - ein Triumph der intuitiven, modellierenden, diagrammatisch-kognitiven Mathematik.

Bleibt das "symbol grounding"-Problem: Wie gelingt es dem Digitalcomputer, das Symbolischem im Realen zu implementieren? Indem dabei die Eigenwilligkeit der wirklichen Welt elektronischer Bauteile in Kauf genommen wird. Jedes binäre Signal verrät an seiner Flanke, daß es (im Sinne Fouriers) die Superposition harmonischer Schwingungen ist. So erscheint das Digitale als Extremwert des Analogens.<sup>53</sup>

## **Diagramm versus Algebra?**

"Ikonisch" im Sinne der Visualisierung einer Abstraktion, stellt ein Diagramm nicht die physikalisch-geometrischen Eigenschaften eines Objekts dar, sondern seine strukturellen und relationalen Eigenschaften. Damit ist der Analogcomputer eine diagrammatische Maschine.

Eine logische Schlußfolgerung läßt sich dermaßen modellieren; Charles S. Peirce erklärt den Syllogismus als eine Form von *diagrammatic reasoning*: "<...> deduction consists in constructing an icon or diagram the relations of whose parts shall present a complete analogy with those of the parts of the object of reasoning, of exereimenting upon this image in the imagination, and of observing the result so as to discover unnoticed and hidden realtions among the parts."<sup>54</sup> Dieser (mentale) Vollzugscharakter korreliert mit der Eigenschaft

---

49 E. Kettel, Übersicht über die Technik der elektronischen Analogrechner, in: Telefunken-Zeitung Jg. 30 (Juni 1957) Heft 116, 129-135 (129)

50 Wolfgang Giloi / R. Herschel, Rechenanleitung für Analogrechner, hg. v. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft AEG-Telefunken, Fachbereich Anlagen Informationstechnik, Konstanz o. J., 12f

51 Wolfgang Giloi / R. Herschel, Rechenanleitung für Analogrechner, hg. v. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft AEG-Telefunken, Fachbereich Anlagen Informationstechnik, Konstanz o. J., 12f (13)

52 Achim Sydow, Elektronisches Analogrechnen, 3., neuverfaßte Aufl. Berlin (VEB Verl. Technik) 1971, 10

53 Dazu Bernhard Siegert, Passage des Digitalen; ferner Wendy Hui Kyong Chun, Programmed vision. Software and Memory, Cambridge, Mass. / London (MIT Press) 2011, 143-152

54 Charles Sanders Peirce, On the Algebra of Logic. A Contribution to the Philosophy of Notation [\*1885], in: Collected Papers of Charles Sanders

eines operativen Mediums; sobald der Betrachter ein Diagramm erfaßt, wird der dargestellte Prozeß in ihm kognitiv in Funktion versetzt.<sup>55</sup>

Es gibt zwei Weisen, diagrammatisch Mathematik zu treiben: einmal algebraisch (Formeln), einmal elektrotechnisch (Schaltpläne). Aufgrund eines Schaltplans kann eine Analogcomputer-Anordnung (etwa gedämpfte Schwingung) erzeugt werden; der Schaltplan selbst ist die mathematische "Formel". Ganz anders der Digitalrechner: Ihm werden algebraische Formeln eingegeben. In beiden (isomorphen) Fällen bleibt die eigentliche "mathematische" Operation opak.

Die Analogie beim "Analogrechner" - der besser Analogierechner hieße - wird über eine gemeinsame mathematische Analyse zweier Systeme mit Hilfe einer Differentialgleichung hergestellt - oder ist sie naturweltlich im Sinne von Pythagoras' These "Die Welt ist Zahl" gegeben (die Frage der *mimesis*)?

Heinrich Hertz beschreibt das *me/diagrammatical reasoning*: "Wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußeren Gegenstände, und zwar machen wir sie von solcher Art, daß die denknotwendigen Folgen der Bilder stets wieder die Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände. Damit diese Forderung überhaupt erfüllbar sei, müssen gewisse Übereinstimmungen vorhanden sein zwischen der Natur und unserem Geiste."<sup>56</sup>

## **Eine implizit mathematische Medienphysik**

Der Analogrechner simuliert nicht nur dynamische Vorgänge; er simuliert Mathematik selbst. Alternativ zum Rechnen mit Zahlen (Digitalcomputer) rechnet der Analogcomputer etwa mit Kurven als Funktionsgebern (per Kathodenstrahlröhre). Ein anderes Rechnen: Gleichungssysteme werden gesteckt; dann werden jeweils Parameterwerte an Drehknöpfen geändert.

Die Grundlage des Analogcomputers ist der Akt der Messung; dagegen basiert der Digitalcomputer auf Numerik.

Die Methode der direkten Analogie stellt eine Form impliziter Mathematik dar; demgegenüber geschieht die indirekte Analogie durch einen Dreischritt: erst die Analyse des Phänomens in mathematischen Begriffen, die dann äquivalent etwa durch elektronische Bauteile realisiert werden.<sup>57</sup>

---

Peirce, Bd. III (C.P. 3.359-3.403), Cambridge, Mass. (Harvard University Press) 1933/1961, 182

55 Dazu Michael May, Diagrammatic reasoning and levels of schematization, *online xxx*

56 Heinrich Hertz, <Mechanik>, zitiert nach: Rüdiger Inhetveen, Bilder und Zeichen in der Mathematik, in: Peter Bernhard / Volker Peckhaus (Hg.), Methodisches Denken im Kontext. Festschrift für Christian Thiel, Paderborn (mentis) 2008, 404-424 (404)

57 Siehe Small 2001: 30 f.

Ingenieure bevorzugen die intuitive Modellierung eines Systems (stetige Quantitäten), im Unterschied zur mathematischen Analyse (numerische Ergebnisse).<sup>58</sup> Physikalische Wahrheit trifft auf mathematische Folgerichtigkeit.

### **Mit Unschärfe rechnen**

Analogrechnen gewährt dem Stochastischen und Kontingenten Raum <Small 2001: 237>; dem gegenüber steht die digitale Präzision. Der Digitalcomputer erlaubt die exakte Reproduktion des Rechengvorgangs, während sie beim Analogcomputer (bedingt durch Unschärfen durch Drift u. a.) variiert <Small 2001: 258>.

John von Neumann beurteilt das Wesen von Analogrechnern aus der Perspektive der mathematischen Theorie der Kommunikation, nämlich den Störpegelabstand (*signal-to-noise ratio*); daraus resultiert „die kritische Frage jedes Analogverfahrens“ <ebd.>:

"Wie groß sind die unkontrollierbaren Schwankungen des Mechanismus, die das "Rauschen" ergeben, im Verhältnis zu den signifikanten "Signalen", die die Zahlen ausdrücken, mit denen der Rechner arbeitet? <...> Es gibt <...> keinen Analogrechner, der wirklich das Produkt zweier Zahlen bildet. Er bildet vielmehr das Produkt plus einer kleinen, aber unbekanntes Größe, welche das "weiße Rauschen" (random noise) repräsentiert, das vom Mechanismus und den beteiligten physikalischen Prozessen herrührt"<sup>59</sup>

- und damit die Welthaftigkeit des Analogrechners (eine Welt der Signale) begründet, der gegenüber alle Digitalrechnung symbol- und modellhaft bleibt.

---

58 Siehe Small 2011: 236 f. u. 251

59 John von Neumann, Allgemeine und logische Theorie der Automaten, in: Kursbuch 8 (März 1967), 139-175 (145)