

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

[Bezogen auf Vortrag auf dem 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.

Eine Form der Einschränkungen für Digitalcomputer ist die strikte Sequentialität der Datenverarbeitung in der gängigen von-Neumann-Architektur: "one bit at a time". Analogrechner unterliegen ihrerseits Einschränkungen gegenüber ihrem digitalen Anderen: die Grenzen der Genauigkeit in der elektrophysikalischen Verschaltung der Rechenelemente.¹

[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)."² Das Quadratpapier für Rechenaufgaben wird damit linearisiert / verzeitlicht; es wechselt von der zweideimensionalen Raum- in die eindimensionale 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.]

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

2 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 Rechenelemente 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 Analogen. 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 aufzutut³ - 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.⁴

Für Meßakte als dem "Feststellen funktionaler Zusammenhänge" <Schmidt xxx: 11> ist dies zentral; klassisches Meßgerät praktiziert "die zeitlichen Ableitungen von Meßgrößen"⁵. 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.“⁶]

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

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

4 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).

5 Hermann Schmidt, Denkschrift zur Gründung eines Institutes für Regelungstechnik, Berlin (VDI-Druck) 1941, 9

6 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.^{7]}

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"⁸. 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 weltzeitanalogue Simulation

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

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

⁷ Dazu der Beitrag von xxx Mills, xxx, in: xxx, Natural Computing, xxx

⁸ 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)

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".⁹

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

[Das "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 Extrapolationsmöglichkeit für Bereiche, die zu klein oder zu groß sind, zu schnell oder langsam ablaufen"¹⁰, 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".¹¹

[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 Zeichen, die auf dem Bildschirm zu sehen sind, wie alle Zeichen in der digitalen Welt, arbiträr sind"¹².]

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

10 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)

11 E-mail Stefan Höltgen, 24. Februar 2012

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

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."¹³

Helmut Hölzers 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 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

¹³ Harold K. Skramstad, Combined Analog-Digital Techniques in Simulation, in: *Advances in Computers*, Bd. 3 (1962), 275-298 (275)

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."¹⁴ 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 physikalischen 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.]

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

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

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.].¹⁵

[Der Ingenieur Harald Hazen sah in seiner Dissertation *The Extension of Engineering Analysis through Reduction of Computational 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.¹⁶]

[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:

15 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

16 http://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_computing

"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 <...>."^{17]}

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"¹⁸ - 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 <...>."¹⁹

Auf dieses Zeitgespür hat J. C. R. Licklider insbesondere hingewiesen.²⁰

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.

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

¹⁷ 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

¹⁸ ANSI / IEEE Std 165-1977, reaffirmed 1984

¹⁹ Wolfgang Giloi / R. Herschel, *Rechenanleitung für Analogrechner*, hg. v. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft AEG-Telefunken, Fachbereich Anlagen Informationstechnik, Konstanz o. J., 12f (13)

²⁰ 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

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.“²¹ 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"²². Nun werden Analogrechnerschaltungen im Digitalcomputer selbst nachgebildet, in Form algorithmischer Verfahren der Simulation von Analogrechnern auf digitalen Allzweckrechenanlagen.²³ 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.

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

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

23 Siehe Diss. Ulmann 2008: 215ff