

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

[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

Der Analogcomputer konfrontiert uns mit einer dreifachen 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 betont die Vorteile der Analogiebildung als zu bestechend, "um sie unbesehen gegen einen algorithmischen Ansatz einzutauschen, der stets mit Einschränkungen einhergeht, denen Analogrechner per se nicht unterliegen". Eine Form dieser Einschränkungen ist die strikte Sequentialität der Datenverarbeitung in der gängigen von-Neumann-Architektur: "one bit at a time".

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>.

Differentialrechnung gegen die Zeit: Der Analogcomputer als Meßgerät

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.¹

Für Meßakte als dem "Feststellen funktionaler Zusammenhänge" <Schmidt 1941: 11> ist dies zentral; klassisches Meßgerät praktiziert "die zeitlichen Ableitungen von Meßgrößen"². In der Kreiseltechnik beispielsweise kommt ein analoger Gerätetypus auf den Punkt, der die Zeit nicht diskret wie die getaktete Uhr mißt, sondern genuin differenziert.

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

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 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.

Eine Stärke des Analogrechners: die weltzeitanaloge Simulation

Im Bemühen um eine epistemologische Wieder-Entdeckung des Analogcomputers entdecken wir vor allem die Fähigkeit des Analogrechners „zur `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 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".³ 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

1 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).

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

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

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.

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"⁴, 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 zeitproportional 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".⁵

Der Analogcomputer ist zu High Fidelity im Zeitbereich fähig, buchstäblich "zeitanalog". Der Analogcomputer ist daher (anders als im Falle von analog/digital-Umsetzern) 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.

Helmut Hölzer entwickelte den ersten europäischen Analogcomputer auf elektronischer Basis [wenngleich noch ohne Operationsverstärker] bekanntlich im Kontext eines solchen Echtzeitproblems: die speziellen Steuerungsaufgaben des Aggregat 4 auf Peenemünde (das eingebaute "Mischgerät") und deren Simulation auf dem Boden.

Hier 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.

Der Analogcomputer steht also 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.

Der Analogrechner wird also der realen Welt ganz anders implementiert als die symbolische Maschine. Wenn Mathematik solchermaßen in der Welt ist, ist sie auch in der Zeit (mit einem Gruß an Martin Heidegger):

"Bei der Simulation muß der Rechner in Echtzeit, d. h. ohne

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

5 E-mail Stefan Hölzgen, 24. Februar 2012

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).

Damit kommen wir 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 Simulationslstechnik. 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 in also 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."

Ein Erfolgsgeheimnis des Analogrechners war 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.

Der Simulationsbegriff soll also - so mein medientheoretisches Plädoyer - den zeitkritischen Aspekt notwendig mit einbeziehen. Zitieren wir 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"⁶ - 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 <...>."⁷ Auf dieses Zeitgespür hat J. C. R. Licklider insbesondere hingewiesen.⁸

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 basierte.

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

6 ANSI / IEEE Std 165-1977, reaffirmed 1984

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

8 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

unter 1 Hz dürfen digital simuliert werden."⁹ 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"¹⁰. Nun werden Analogrechnerschaltungen im Digitalcomputer selbst nachgebildet, in Form algorithmischer Verfahren der Simulation von Analogrechnern auf digitalen Allzweckrechenanlagen.¹¹ Der Analogcomputer, dessen Stärke auf dem Gebiet der Simulation welthafter 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.

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

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

11 Siehe Diss. Ulmann 2008: 215ff