



Title: Rückblick und Ausblick Wiederentdeckung
verschütteter Ideen aus der Pionierzeit des
Computers
Author(s): Konrad Zuse
Date: 1975
Published by: Konrad Zuse Internet Archive
Source: Document - ZIA ID: 0612

The Konrad Zuse Internet Archive preserves and offers free access to the digitized original documents of Konrad Zuse's private papers and to other related sources.

The Konrad Zuse Internet Archive is a nonprofit service that helps scholars, researchers, students and other interested parties discover, use and build upon a wide range of content in a digital archive. For more information about the Konrad Zuse Internet Archive, please contact zusearchive@zib.de.

Your use of the Konrad Zuse Internet Archive indicates your acceptance of the Terms & Conditions of Use (<http://zuse.zib.de/tou>) including the following license agreement. If you do not accept the Terms & Conditions of Use you are not permitted to use the material.

This work by Konrad Zuse Internet Archive is licensed under a
Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License
(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>).
Based on a work at <http://zuse.zib.de>



Attribution (BY) - You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor (but not in any way that suggests that they endorse you or your use of the work). Attribute with "Konrad Zuse Internet Archive (<http://zuse.zib.de>)".

Noncommercial (NC) - You may not use this work for commercial purposes.

Share Alike (SA) - If you alter, transform, or build upon this work, you may distribute the resulting work only under the same or similar license to this one.

The usage of this document requires the consideration of possible third party copyrights, and might necessitate obtaining the consent of the copyright holder. The Konrad Zuse Internet Archive assumes no liability with respect to the rights of third parties. The Konrad Zuse Internet Archive is not responsible for the claims of any third party resulting from any infringement of copyright laws.

Rückblick und Ausblick*

Wiederentdeckung verschütteter Ideen aus der Pionierzeit des Computers

Konrad Zuse

Vortrag auf der Tagung
Workshop on Computer Architecture 22./23. Mai 1975
Erlangen

Werfen wir einen Blick zurück auf die Pionierzeit der Computerentwicklung, so muß man zunächst feststellen, daß es damals eine Trennung zwischen Hardware und Software im heutigen Sinne noch nicht gab. Das Wort „Computerarchitektur“ paßt in mancher Hinsicht besser auf die damalige Zeit als auf die heutige.

Zunächst stand die Lösung der konstruktiven Probleme im Vordergrund. Babbage war Mathematiker; aber er wurde zum Ingenieur, um seine Ideen konstruktiv verwirklichen zu können.

Auch die führenden Persönlichkeiten, die vor 30 bis 40 Jahren die ersten Computerentwicklungen in den USA durchführten, wie Aiken, Stibitz und andere waren nicht spezialisiert. Sie befaßten sich sowohl mit reiner Technologie als auch mit Schaltungstechnik und Programmierungsfragen.

Heute ist es schwierig, einen Computerfachmann zu finden, der die Voraussetzungen erfüllt, um die weite Spanne dieser Gebiete auch nur einigermaßen zu überblicken. Aber gerade das Thema dieser Tagung, die Computerarchitektur, sollte uns daran erinnern, daß ein Gesamtüberblick nötiger ist denn je, wenn wir die auf uns zukommenden Probleme lösen wollen.

Die folgenden Ausführungen erfolgen aus der Sicht meiner eigenen Entwicklungen. Es zeigt sich heute, daß manche alte Idee, die seinerzeit als noch nicht ausgereift beiseite gelegt wurde, wieder Bedeutung erlangen kann.

In der Architektur kennt man die verschiedenen Baustile. Sie basieren im allgemeinen auf der verfügbaren Bautechnik. Holz, Stein, Beton, Stahl und andere Baumaterialien haben ihre eigenen Baustile zur Folge.

*ZuP 035/052. ZIA 0612. Version 2. Durchgesehen von R. Rojas, L. Scharf, G. Wagner.

Ähnlich ist es auch bei den Computern. In bezug auf die Bauelemente führte der Weg von der Mechanik zur Elektromechanik über die Röhren und Transistoren zur heutigen integrierten Schaltungstechnik. Jede dieser Techniken hat ihren eigenen Baustil, der die Computerarchitektur beeinflusst.

Die traditionellen Rechenmaschinen dienten fast ausschließlich numerischen Rechnungen im Dezimalsystem. Sie benutzten als Bauelemente Ziffernräder, Zählwerke usw. Die Entwicklung von Babbage war noch voll auf diesen Baustil eingestellt.

Einen wesentlichen Schritt bedeutete die Erkenntnis, daß grundsätzlich alle Rechenoperationen auf Operationen zwischen Ja-Nein-Werten zurückgeführt werden können. Damit wurde das Relais zum elementaren Baustein des Computers; aber überschlägige Ermittlungen ergaben bald, daß viele Tausend solcher Relais erforderlich sind, um einen brauchbaren Computer zu bauen. Zumindest für die Speicher mußte eine räumlich konzentrierte und preiswerte Lösung gefunden werden. Daraus entstand zunächst die Idee der mechanischen Schaltgliedtechnik. Diese Technologie ist heute historisch; jedoch können wir rückblickend einige wesentliche Charakteristika herausheben, die heute für ganz andere moderne Technologien wieder Bedeutung erlangen können. Das mechanische Schaltglied simulierte mit Hilfe von verschiebbaren Blechen, verbindenden Stiften und Hebeln die Arbeitsweise der elektromechanischen Relais. Es bot diesem gegenüber seinerzeit den Vorteil einer kompakteren Bauweise. Allerdings hatte es dafür den Nachteil, daß nicht nur die logische Schaltung als solche entwickelt werden mußte, sondern auch die topologische bzw. räumliche Anordnung der Schaltelemente untereinander. Dabei spielen die Nachbarschaftsbeziehungen der einzelnen Glieder eine wichtige Rolle. Übertragungen über größere Entfernungen führen zu komplizierten Hebelkonstruktionen und haben natürliche Grenzen.

Heute haben wir eine ähnliche Situation bei der integrierten Schaltungstechnik. Die Tendenz, möglichst komplette Rechenwerke auf einem einzelnen Chip unterzubringen, führt zu räumlich gedrängten Anordnungen, bei denen die logisch miteinander verknüpften Schaltelemente möglichst auch räumlich unmittelbar benachbart sein sollten. Verbindungen von Chip zu Chip sind relativ aufwendig und müssen nach Möglichkeit vermieden werden. Auch die Übertragungen über größere Entfernungen werden kritisch, da bei den hohen Frequenzen die Lichtgeschwindigkeit bereits ins Spiel kommt. Sollte man da nicht einmal die alten Konstruktionszeichnungen der aus mechanischen Schaltgliedern aufgebauten Rechenwerke wieder aus der Schublade hervorholen, um sie in moderner Technologie wieder aufleben zu lassen?

Aufgrund der langsamen Arbeitsweise der mechanischen Schaltglieder kamen nur parallel arbeitende Rechenwerke in Frage. Ja, es entstand darüber hinaus der Gedanke einer Superparallelität. Es war bezeichnend, daß selbst um das Jahr 1950 herum eine Lochkartenfirma noch kein volles Vertrauen zu den damals bereits in Entwicklung befindlichen Elektronischen Computern hatte. Man wollte

ein zweites Pferd im Stalle haben und beauftragte uns mit der Entwicklung eines in mechanischer Schaltgliedtechnik arbeitenden Rechenlochers. Wir entwickelten eine Konstruktion mit einer Serie von hintereinander geschalteten Addierwerken, durch die die einer Lochkarte zugeordneten Operationen hintereinander weg hindurch liefen. Dabei wurde die Serie der Rechenwerke simultan durch die Operationen für mehrere Lochkarten belegt. Dieses Verfahren entsprach genau dem heutigen Pipelining.

Seinerzeit hatten wir im Sinn, mit Hilfe dieser gleichzeitig arbeitenden Addierwerke die im Verhältnis zu elektronischen Lösungen langsame Arbeitsweise der mechanischen Schaltgliedtechnik zu kompensieren und so zu annehmbaren Zeiten zu kommen. Inzwischen sind einerseits die Forderungen an die Leistungsfähigkeit von Computern enorm gestiegen und andererseits haben wir in der integrierten Schaltungstechnik eine Technologie zur Verfügung, welche die Konzentration zahlreicher Schaltelemente auf kleinem Raum erlaubt, wobei die räumliche Anordnung dem logischen Zusammenspiel möglichst weitgehend entsprechen soll. Also auch hier kann eine alte bereits fast vergessene Idee in modernem Gewand wieder Bedeutung erlangen.

Ein Zwischenstadium zur Elektronik stellten die in elektromechanischer Technologie gebauten Relaisrechenmaschinen dar. Das Relais forderte geradezu zur Entwicklung der Schaltalgebra heraus. Der Formalismus der Aussagenlogik konnte hier wahre Triumphe feiern. Sobald man sich an den Gedanken gewöhnt hatte, daß Rechenmaschinen nicht auf kleine Tischgeräte beschränkt zu bleiben brauchen, sondern auch ganze Räume mit Relaisschranken ausfüllen können, war der Weg frei für beliebig komplizierte Schaltungen, bei denen die logisch-rechnerischen Zusammenhänge weitgehend durch Hardware realisiert waren. Es entstanden so die Geräte mit vollausgebaute Gleitkommaarithmetik für Dezimal- und Binärzahlssysteme, in denen auch viele Sonderfälle berücksichtigt werden könnten (Geräte Z3, Z4 und andere).

Diese hochgezüchtete Schaltungstechnik wurde zunächst nicht unmittelbar fortgesetzt, als die elektronischen Technologien langsam ausreifen und zuverlässige elektronische Computer gebaut werden konnten.

Zwar planten Schreyer und ich seinerzeit noch eine direkte Abbildung der Relaischaltungen auf entsprechenden Röhrenschaltungen. Die Aufgabe der Entwicklung der dazu erforderlichen elementaren Bausteine wurde von Schreyer auch gelöst. Allerdings kam es nicht zum Bau eines vollständigen Computers.

Die spätere Entwicklung zeigte dann auch, daß jede Technologie ihre eigene Computerarchitektur nach sich zieht. Die systematische Übertragung der Relaischaltungen auf Röhrenschaltungen wäre sehr aufwendig gewesen.

Die sehr schnelle Arbeitsweise der elektronischen Schaltungen führte zunächst zu einer Entwicklung, die der Superparallelität der mit mechanischen Schaltglie-

dern gebauten Geräte (Pipelining) entgegenlief. Das bei Relaismaschinen noch parallel ausgeführte Addierwerk, bei dem jeder Binärstelle eigene Schaltglieder zugeordnet sind, konnte auf das Serienaddierwerk zusammengezogen werden. Dabei laufen die einer Zahl zugeordneten Ziffern nacheinander durch ein einstelliges Addierwerk hindurch. Das hatte weitere Konsequenzen in bezug auf die Übertragungen, die nun auch nur jeweils über einen einzelnen Draht laufen konnten. Dadurch konnte der an sich wesentlich höhere Aufwand der elektronischen Bauelemente wieder kompensiert werden.

Nach diesem Prinzip entstanden dann auch zunächst einige nach dem Serienprinzip arbeitenden Speicher. Eine Zeitlang war der Trommelspeicher der ideale und wirtschaftliche Speicher für Computer mittlerer Leistungsfähigkeit. So beeinflusste auch hier die Technologie in entscheidender Weise die Computerarchitektur.

Später entstanden dann zunächst Speicher, die wieder parallel arbeiteten, entsprechend den mechanischen Speichern aus der Pionierzeit und den Relaispeichern mit zahlreichen Relais. Von diesen Technologien errang die Ferritkern-Technik die größte Bedeutung. Die hochgezüchtete Schaltungstechnik der Relaisgeräte wurde zunächst aufgegeben und es wurden die entsprechenden Aufgaben durch Programme gelöst. Es entstanden so Maschinen vom Typ Z22, deren Vorteil darin bestand, daß der Benutzer sich seinen eigenen Befehlscode aufbauen konnte und durch flexible Programmierung die Leistung gegenüber den Relaismaschinen auch in logischer Hinsicht noch erheblich steigern konnte.

Der heutige Stand der integrierten Schaltungstechnik erlaubt es wieder, arithmetische Rechenwerke mit voller Gleitkommalogik aufzubauen. Die Hardware übernimmt wieder Aufgaben, die gewissermaßen in der Zwischenzeit durch Programmierung gelöst werden mußten. Damit zeigt sich eine gewisse Verwandtschaft der modernen Computerkonstruktion mit denjenigen aus der Pionierzeit.

Typisch für die Entwicklung der Computerarchitektur ist auch die Idee des zellularen Automaten.

Der Gedanke, viele parallele Rechenwerke gitterartig zusammenzustellen und so einen zellularen Automaten aufzubauen, ist an sich trivial. Numerische Methoden zur Lösung partieller Differentialgleichungen, die mit gitterartig angeordneten Feldwerten arbeiten, gab es schon vor der Entwicklung von Computern im heutigen Sinne. Allerdings war es damals außerordentlich aufwendig, solche Rechnungen durchzuführen. Es wäre aber in den Anfängen der Computerentwicklung absurd gewesen, zellulare Automaten konstruktiv direkt zu verwirklichen. Man mußte froh sein, wenn man einzelne Rechenwerke zuverlässig und wirtschaftlich bauen konnte.

Sobald die elektronischen Rechengeräte Anfang der fünfziger Jahre bekannt wurden, trat selbstverständlich auch bei den Meteorologen der Gedanke auf, sie für die Vorausberechnung des Wetters einzusetzen. Trotz ihrer gegenüber der tra-

ditionellen Rechentechnik verhältnismäßig hohen Geschwindigkeit, reichten die damaligen Computer aber hierfür noch nicht aus. Das Wetter entwickelte sich schneller als die Computer es vorausberechnen konnten.

In dieser Situation entstand als ein Kompromiss die Idee der Feldrechenmaschine. Zu jener Zeit war der Trommelspeicher der einzige zuverlässige und wirtschaftliche Speicher ausreichender Kapazität. Es lag also nahe, ihn möglichst direkt im Sinne eines zellularen Automaten einzusetzen. Mehrere parallele Spuren auf einer Trommel können dabei zu einem Feld zusammengefaßt werden, welches in einem einzigen Trommelumlauf bearbeitet werden kann. So konnten auch zwei solcher Felder in einem Arbeitsgang in ihren sämtlichen Feldwerten addiert werden. Ähnlich pauschale Informationsverarbeitungsprozesse konnten für die Multiplikation, Verschiebungen usw. entwickelt werden.

Diese Feldrechenmaschine ist in verschiedenen Patentanmeldungen beschrieben worden. Sie blieb jedoch eine Idee auf dem Papier. Der Grund lag in der Tragik, der eine jede technische Entwicklung ausgeliefert ist. Die gute Idee wird durch die bessere verdrängt.

Die Feldrechenmaschine war der Technologie der Jahre um 1956 angepaßt. Zu jener Zeit wäre sie vernünftig und wirtschaftlich gewesen. Die allgemeine Computerentwicklung machte aber weiterhin erhebliche Fortschritte. Die Geschwindigkeit der Rechenwerke wurde erheblich gesteigert und Ferritkernspeicher großer Kapazität konnten wirtschaftlich gebaut werden. Damit wurde es möglich, mit schnellen universellen Computern auch ohne besondere konstruktive Maßnahmen, partielle Differentialgleichungen zu lösen. Die Wetterrechnung konnte routinemäßig in Angriff genommen werden.

Inzwischen ist die Technologie nun noch weiter fortgeschritten. Die ursprüngliche Idee des zellularen Automaten ist heute keine Utopie mehr. Neue Technologien erlauben es also, auch hier alte Ideen aus der Schublade hervorzuholen. Gerade für die Verwirklichung des zellularen Automaten bieten sich eine Fülle von Möglichkeiten an. Es geht dabei nicht nur darum, ein Werkzeug zur Lösung partieller Differentialgleichungen zu schaffen, sondern die Idee des zellularen Automaten kann auch die Basis für grundsätzlich neue Theorien bieten. Eine Digitalisierung des Raumes kann auch in der theoretischen Physik neue Wege weisen (Rechnender Raum).

Damit kommen wir aber wieder zurück zur Pionierzeit, als Hardware und Software noch in den Köpfen einzelner Pioniere Platz fanden. Gerade der zellulare Automat kann nur zu Erfolgen führen, wenn die technologischen Möglichkeiten sich eng an die logischen Konzepte anpassen und umgekehrt.

Ein Blick sei noch auf das Gebiet der algorithmischen Sprachen geworfen. Die ersten Computer der Pionierzeit, also diejenigen, die etwa 1945 zur Verfügung standen, benötigten noch keine komplizierte Programmierungstechnik. Eine be-

sondere Situation ergab sich für die deutsche Entwicklung: nach 1945 waren wir zunächst abgeschnitten von der übrigen Welt. An eine Hardwareentwicklung war auf Jahre hinaus nicht zu denken. Diese Isolierung erlaubte und ermöglichte es nun aber, die Aufmerksamkeit voll auf die Theorie zu konzentrieren. So hatte ich selbst Gelegenheit, in einem kleinen abgelegenen Alpendorf, die wohl erste algorithmische Sprache für Computer, den Plankalkül, zu schreiben. Diese Arbeit blieb zunächst in der Schublade liegen. Auch als später in den Jahren zwischen 1950 und 1960 die Entwicklung von Programmiersprachen aktuell wurde, ging man andere Wege. Die ersten Programmiersprachen waren notgedrungen der damaligen Computertechnologie angepaßt, während der Plankalkül von vornherein die volle Breite der rechnerischen Möglichkeiten zu erfassen suchte.

Die weitere Entwicklung auf dem Gebiete der Programmiersprachen ist leider nicht mehr glücklich gelaufen. Wir können heute von einer ausgesprochenen Softwarekrise sprechen. Ein babylonisches Sprachwirrwarr ist kennzeichnend für die bestehende Situation. Um hier einigermaßen Ordnung zu schaffen, gehen neue Bemühungen in Richtung eines strukturierten Programmierens. Holt man nun den Plankalkül aus seiner Schublade, so zeigt sich, daß er von der Basis her im Sinne des strukturierten Programmierens aufgebaut ist. Er verfügt u.a. über folgende grundsätzliche und einfache Konzepte:

1. Aufbau aller Datenstrukturen vom Bit her.
2. Einführung des Randauszugs und damit der streng modularen Struktur der Programme und Unterprogramme.
3. Einführung des Funktionsprinzips für die Resultate von Unterprogrammen.

Hinzu kommt das Arbeiten mit den logischen Operatoren des Prädikatenkalküls.

Der Plankalkül wurde als eine rein logische algorithmische Sprache konzipiert, d.h. er enthält keine Elemente, die unmittelbar auf die Implementation Rücksicht nehmen, wie Ein- und Ausgabeanweisungen, Speicherplatzreservierungen usw. Er ist jedoch implementationsnahe.

Heute stehen wir am Übergang zu neuen unkonventionellen Computerarchitekturen. Eine Reihe von Aufgaben, die bisher der Programmierung, den Compilern, den Betriebssystemen und den Laufzeitsystemen überlassen bleiben mußten, können in Zukunft weitgehend durch Hardware gelöst werden. Das kann eine Entlastung der Programmiersprachen zur Folge haben. Vielleicht sind wir nicht mehr weit davon entfernt, Computer mehr oder weniger direkt durch logische algorithmische Sprachen, wie den Plankalkül, zu steuern.

Die logischen Operationen des Prädikatenkalküls sind gut geeignet, um Programme für Rechenmaschinen mit assoziativen Speichern zu schreiben. Auch dabei

können alte Gedanken aus der Pionierzeit der Computerentwicklung wieder Bedeutung erlangen.

Wer sich all dies in Ruhe durch den Kopf gehen läßt, der erkennt, daß die Entwicklung des Computers noch lange nicht in ruhiges Fahrwasser kommen wird. Wir stehen vielleicht gerade heute am Anfang einer grundsätzlich neuen Epoche, in der Hardware und Software wieder in guter Harmonie neue Lösungsmöglichkeiten erschließen.

Hünfeld, den 25. April 1975
K. Zuse