Zeitschrift: Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG

Herausgeber: Eisenbibliothek

Band: 58 (1987)

Artikel: Die Entwicklung der logischen Basis der Computerwissenschaften

Autor: Zemanek, Heinz

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-378199

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 20.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Prof. Dr. Heinz Zemanek
Univ. Professor, IBM Fellow
Blutgasse 3
A-1010 Wien

Die Entwicklung der logischen Basis der Computerwissenschaften

Der Computer ist ein völlig logisches Gerät, ein ausschliesslich und perfekt logisches Gerät. Die logische Basis des Computers ist daher seine Basis schlechthin – dass er elektronisch arbeitet, ist fast Zufall, hydraulische oder gasdynamische Schaltkreise wären gleich akzeptabel – nur die Geschwindigkeit zeichnet die Elektronik aus und nur eine noch schnellere Technik könnte sie eines Tages ablösen – zum Beispiel eine Lichttechnik. Die Computerwissenschaften haben daher nicht nur die üblichen logischen Züge der Wissenschaften, sondern sie sind mit der zweckmässigen Anwendung logischer Beziehungen als Hauptgegenstand befasst. Das bedeutet eine vielschichtige Entwicklung logischer Aspekte und Strukturen, arg ineinander verflochten. Man kann nur markante Konturen (oder was man dafür hält) heraussuchen und beschreiben.

Eine logische Technik wird stets mit einer digitalen Technik verwandt sein, denn das Atom der Logik wird durch den Finger recht deutlich gemacht, indem man ihn ausstreckt oder nicht. Das ist zugleich auch die Brücke zum Zählen und zum dekadischen Zahlensystem. Mit der Logik allein betrachtet, erscheint die Zahl Zehn sehr willkürlich, man kann ebensogut Zwölf nehmen oder Zwanzig und jede andere; wenn die Logik einer Zahl den Vorzug zu geben hätte, dann wäre es die Zwei, das Binärsystem, wie es der Computer verwendet und das auch die Finger mit Vorteil beherrschen könnten. Wenn es aber nicht um das Zählen von Objekten geht, sondern um schwankende Grössen, dann ist die analoge Auffassung und Technik näherliegend als die digitale: die Wiedergabe oder Nachbildung einer Grösse durch eine andere, die Temperatur durch eine Quecksilbersäule, die schwankenden Sprechwellen durch den gleichgestaltigen Telephonstrom. Es hat eine grosse Zahl von Analogrechnern gegeben, aber der Computer hat sie letztlich alle überrundet, und der Computer moduliert nicht, er codiert, er drückt alles durch Ströme von Zeichen aus, die im Ruhezustand wohlausgerichtet dastehen wie in den Spalten einer Buchhaltung. Alles spielt sich in einem ausgelegten räumlichen oder zeitlichen Gitter ab, nichts darf von den Hundertern in die Tausender geraten; nicht nur, was für ein Zeichen es ist, hat Bedeutung, sondern auch wo es steht. Mit der Lupe betrachtet, ist alles als Null-Eins-Muster codiert, das ist für die Beherrschung der Logik wichtig, aber nach aussenhin kann man das binäre Wesen vergessen: der Computer ist ein logischer Zeichenersetzungsautomat, das Rechnen ist nur eine der unabschätzbar vielen Möglichkeiten. Information und Transformation sind mehr als eng verwandt, sie sind zwei Erscheinungsformen eines immateriellen Phänomens, das Geist und Natur verbindet. Daher verkettet auch der Computer Natur- und Geisteswissenschaften und wird sie wieder zusammenführen. Das ist aber ein anderes Thema[1].

Der Computer ist aber doch auch ein Triumph der Elektronik, denn sie hat das Kunststück fertiggebracht, ihre der Natur nach analogen Bauteile, die zwar zum Nichtlinearen neigen (und dann die ihnen anvertrauten Signale verzerren, statt sie getreu wiederzugeben), aber keineswegs Logik erwarten lassen. Da ist eine ganz eigenartige Trickologie eingesetzt worden, aber so erfolgreich, dass an den für die Arbeit entscheidenden Stellen ausschliesslich 0 und 1 Bedeutung haben, ja und nein, offen oder zu, vorhanden oder nicht. Etwas anderes als etwas Logisches kann im Computerschaltkreis überhaupt nicht passieren – oder es handelt sich um eine Fehlfunktion grober Natur, meist mit deutlich sichtbaren Folgen. Natürlich kann auch ein extrem logisches Werkzeug unlogisch verwendet

werden – ein Faktum, unter welchem Fachleute wie Laien, Entwickler wie Benützer arg leiden. Das ist getrennt zu betrachten. Der Computer als solcher betreibt Logik radikal und perfekt und universell. Und damit sind wir auch schon bei der Geschichte. Denn es war keineswegs Systematik, wissenschaftliches Vorherwissen von Beginn an, das Radikalität, Perfektion und Universalität zur Basis genommen hat. Vielmehr sind diese Eigenschaften Folgen einer historischen Entwicklung und sogar einer erstaunlichen Koinzidenz, die in den vierziger und fünfziger Jahren dieses Jahrhunderts die atemberaubende Entwicklung vom Zaun gebrochen hat, die wir erlebt haben und die noch einige Jahrzehnte weitergehen wird.

Der Computer ist nicht, wie man aus manchen Darstellungen entnehmen könnte, zur Zeit des Zweiten Weltkrieges vom Himmel gefallen. Es sind lediglich teils uralte Entwicklungen in Logik, Mathematik und Technik unter dem Druck der Kriegsnotwendigkeiten zusammengefasst worden und haben sich als gegenseitig befruchtend erwiesen. Wieviel Zufall war und wieviel aus innerer Gesetzmässigkeit erwuchs, werden erst spätere Technikhistoriker beurteilen können. So ist die Erfindung des Transistors im Jahre 1947 eine jener Koinzidenzen, die in ihrer Summe den Orkan entfachten, der nun als Computerentwicklung durch die Welt fegt. Man müsste aber die Geschichte der alten Automaten, der Rechenverfahren und der Rechengeräte, des Webstuhls und der Musikmaschinen, der Kybernetik und der Funkmess- oder Radartechnik vortragen – ein Teil davon erscheint in anderen Vorträgen –, und man müsste die Geschichte der beteiligten Mentalitäten hinnehmen, von der Renaissance über Aufklärung und Marxismus bis heute, um den Hintergrund für das auszumalen, was als logische Basis der Computerwissenschaften erscheint, ein Hintergrund, der die Technik hervorgerufen hat, aber auch von ihr geprägt ist.

Es ist ein ungeheures Spannungsfeld, das sich hier auftut, etwa von den ewigen, aber tautologischen Wahrheiten in den Grundverknüpfungen der Aussagenlogik, welche die Basis für das rationale Verhalten bilden, bis zu ihrer Verwendung im Computer als Mechanismen für die Verarbeitung der Information, die nicht wahr sein muss und schon gar nicht ewig. Es ist ein fesselndes Thema, das mir gestellt wurde, und das ich, um die Redezeit einzuhalten, auf eine sehr ausgewählte und knappe Form bringen musste. Ich werde nicht so sehr auf die historischen Abfolgen eingehen können, weil das Material viel zu umfangreich ist – im vergangenen Studienjahr ist mir eine Jahresvorlesung für die Geschichte der Informatik fast zu knapp geworden –, ich möchte eher etliche Gedankenkomplexe markieren, und am Ende werden Sie, meine Damen und Herren, vielleicht doch finden, dass hier eine historische Entwicklung gezeichnet wurde, auch ohne oder mit nur wenig Namen und Jahreszahlen, die im übrigen unschwer aus den Quellen zu holen sind, wenn man die Prospekte, Kulissen und Ströme recht erkannt hat.

Ich möchte meinen Vortrag in sieben Abschnitte gliedern:

1. Das Bit: die Basis der Logik und des Computers
2. Die Schaltwerklogik: Aussagenlogik in technischer Anwendung
3. Die Strukturlogik: logische Basis der Computer-Architektur
4. Programmierlogik: Reduktion mathematischer Konzepte auf computerbewältigbare Vorgänge
5. Die Prozesslogik: die beschränkte Omnipotenz des Algorithmus
6. Die Anwendungslogik: das logische Modell als Grundlage der Computer-Benützung
7. Kybernetik, Artificial Intelligence und Experten-Systeme: wie sich mathematische Logik und Sprachlogik gegenseitig helfen und behindern.

1. Das Bit

Die allgemeine Grundlage für die Logik, von der hier die Rede ist, bildet das Bit: die Entscheidung zwischen zwei Möglichkeiten, zwischen ja und nein, zwischen wahr und falsch, zwischen 0 und 1 – ohne eine dritte Möglichkeit zu erlauben. Diese Festlegung ist selbst die Folge einer langen Entwicklung, die man in einer Geschichte der Logik, der formalen Logik nachlesen muss, etwa bei Bochenski[2]. Es scheint ein langer Weg zu sein von den Syllogismen bis zur heutigen Aussagenlogik, und doch kann man keine scharfe Grenze ziehen zwischen Syllogismus-Maschinen und Maschinen für die Schaltalgebra der Computerschaltkreise, weil sie im Grunde das gleiche tun. Jedenfalls ist auf dem Bit die gesamte Logik der Informationsverarbeitung aufgebaut, restlos, mit einer Konsequenz, die es auf anderen menschlichen und technischen Betätigungsfeldern nicht gibt. Das Bit ist erstens das Atom der Informationsverarbeitung und der Logik – das einzige wirkliche Atom übrigens –, denn alle andern erweisen sich mit der Zeit doch als teilbar. Ein Bit ist nicht teilbar, sondern jeder Versuch, es zu zerlegen, resultiert in Vervielfachung; aus einem Bit werden zwei und mehr.

Das Atom Bit muss kein unsichtbar kleines Gebilde sein. Das klassische Eisenbahnsignal, die Unterscheidung zwischen «Halt» und «Frei» mitteilend, ist ein Beispiel für ein Atom ansehnlicher Grösse. Alles im Computer, Hardware wie Software, ist planmässig aus solchen Atomen kombiniert und jedes sitzt an quantisierten Stellen von Raum und Zeit, in Gitterpunkten. Zwar braucht es Übergänge, aber ihre Bedeutung ist ausgeschaltet. Hier ist noch einmal der Unterschied zwischen analog und digital zu erwähnen: in analogen Systemen gibt es das Gitter nicht, gibt es keine Quantisierung im physikalischen Effekt, in Raum und Zeit.

Das Bit ist die Masseinheit in der Informationsverarbeitung, nicht aber ein Mass für die Information. Messen lassen sich nur die Träger der Information, ihre Zeichen, nicht der Sinn. Aus diesem Grund sind die Computerwissenschaften nur zum Teil den Naturwissenschaften zuzurechnen, das Feld reicht tief in die Geisteswissenschaften hinüber, auch wenn das heute noch nicht so recht klar geworden ist. Das allgemeine Zeichen bietet natürlich eine Entscheidung zwischen mehr als zwei Möglichkeiten an; der Binärlogarithmus der Zahl der Möglichkeiten ist mit dem Entscheidungsgehalt identisch. Hingegen hat der Informationsgehalt statistischen Charakter, er drückt erteilte oder von der Häufigkeit abgeleitete Wahrscheinlichkeiten aus. Auch dieses Mass aber ist rein syntaktisch, es gelang nicht, es auf die Semantik anzuwenden; die Arbeit von Carnap und Bar-Hillel[3] darf als zurückgenommen gelten. Das ist nicht mehr als eine Andeutung, aber sie hat ihr Gewicht.

Der Computer führt das allgemeine Zeichen auf das Bit zurück; das Bit ist drittens daher das fundamentale Code-Element, die Basis der Verschlüsselung in der Informationsverarbeitung. Man darf an die Punkte und Striche des Morsealphabets denken, aber das Morsealphabet kommt nicht ohne den Zwischenraum aus. Die Morsezeichen sind dichter gepackt, aber der Zwischenraum ist der Preis für die Dichte (Bild 1). Hier wäre technisch auf den Unterschied zwischen Synchron- und Asynchronbetrieb einzugehen – aber das ginge zu weit. Der obere Teil von Bild 1 zeigt die Systematik einer reinen Bit-Verschlüsselung des Alphabets. Davon gibt es viele Varianten, für Ziffern, Zahlen, Buchstaben und viele andere Zeichen. Die zehn Ziffern verlangen einen 4-Bit-Code, die 26 Buchstaben brauchen mindestens 5 Bit, mit Ziffern und ein paar Satzzeichen werden es 6, mit Klein- und Grossbuchstaben 7 und bei weiteren Ansprüchen werden 8-Bit-Codes erforderlich.

«Am Anfang war das Wort» lässt sich bei diesen Betrachtungen an vielen

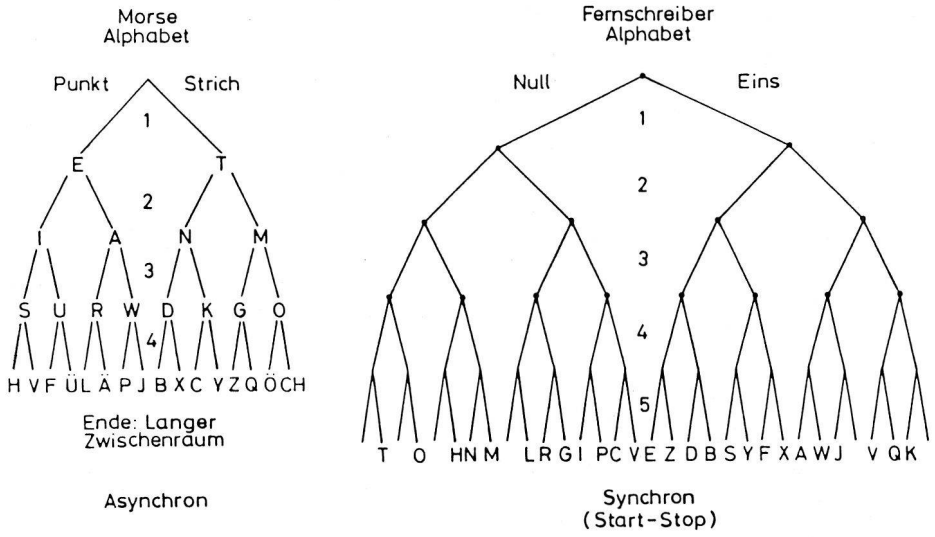


Bild 1.

Stellen sehr sinnvoll zitieren. Beim Computer war auch am Anfang das Wort, erst später kam das Byte. Das Wort ist eine Kette von Bits, hintereinander oder nebeneinander; es kann eine Zahl darstellen, einen Befehl oder einen Textteil; es war meist das Wort, das man mit einer Adresse versah und damit aufrufen und abspeichern konnte. Das Byte trat später hinzu, als Name für eine kleinere Gruppe von Bits, vier bis acht meist. Man erkennt, wie die Strukturierung von Ketten und Feldern vom Bit ausgeht; Verarbeitung und Speicherung sind in Bits organisiert, Raum und Zeit sind in Bits aufgeteilt, das gesamte Rohmaterial besteht aus Bits und nichts als Bits.

Das gleiche gilt für die Dynamik, für die Verarbeitung der in Bits vorbereiteten Information. Die Elektronik realisiert die Grundfunktionen der Aussagenlogik – Negation, Konjunktion und Disjunktion – sowie die Verschiebung um eine Taktzeit. Man könnte auch kompliziertere logische Funktionen direkt bauen, aber es ist ökonomischer, sie aus einfachen Funktionen aufzubauen. Man könnte mit einer einzigen Funktion, etwa einer negierten Konjunktion mit Zeitverschiebung auskommen, aber damit machte man sich das Leben schwer. Man begnügt sich, diese Möglichkeit bei theoretischen Überlegungen heranzuziehen.

Die komplizierteren Teile und Funktionen des Computers werden also aus den Grundfunktionen zusammengesetzt oder sie sind zumindestens einer solchen Zusammensetzung äquivalent. Während der Verarbeitung werden die Signale – wir sagten ja: Folgen von Null- oder Eins-Signalen – abgeschwächt und leicht verformt. Bevor sie in Gefahr geraten, Falsches auszusagen, muss man sie wiederherstellen, regenerieren, das heisst auf die ursprüngliche Amplitude und Form bringen und in die Gitterpunkte, aus denen sie vielleicht herausgewandert sind. All dies geschieht unter Wahrung der logischen Ordnung und kann daher für die Betrachtung der logischen Abläufe ignoriert werden. Es gilt ohne kleinste oder seltenste Ausnahme, dass im Computer nichts geschieht und nichts geschehen kann, was nicht logische Bitverarbeitung wäre, oder, wenn man es nicht auf der Bit-Ebene, sondern auf der Zeichenebene ausdrückt: der Computer tut nichts als logische Zeichenersetzung. Alles, was geschehen soll, muss zuerst auf logische Zeichenersetzung zurückgeführt werden. Diesen Kernsatz muss man bei allem, was ich noch zu sagen habe, und bei allem, was über den Computer gesagt wird, im Gedächtnis behalten. Es ist die Basis der Informationsverarbeitung.

2. Die Schaltwerklogik: Aussagenlogik in technischer Verwendung

Die Bits, ob sie nun eine Zahl ausdrücken oder ein Zeichen oder einen Befehl, werden im Computer logisch verarbeitet, das heisst, es werden elektronische Funktionsblöcke entworfen, bei denen eine bestimmte Bitkombination am Eingang einer bestimmten Bitkombination am Ausgang entspricht. Der Zusammenhang wird durch eine logische Funktion beschrieben und durch die entsprechende Technik kostengünstig realisiert. Vorläufer benutzten mechanische Elemente, die Computer selbst begannen mit Relaistechnik, dann kamen die Röhrenmaschinen, die Anlagen mit Einzeltransistoren und dann die integrierte Technik, wo auf einem sogenannten Chip immer mehr Funktionen untergebracht werden können, heute sind es schon tausende auf einem Quadratzentimeter. Logische und technische Entwicklung gingen hier Hand in Hand, das heisst, sie gingen nicht, sie rasten exponentiell. Alle 20 Jahre werden Schnelligkeit, Dichte, Preis und Verlässlichkeit um einen Faktor 1000 verbessert, eine ungeheuerliche Entwicklung, mit der kein anderes Feld konkurrieren kann. Zweimal 20 Jahre mit einer Gesamtverbesserung von einer Million sind hinter uns, in der dritten stecken wir, und eine vierte mag kommen, wenn wir die Elektronik durch Lichttechnik zu ersetzen vermögen (die Elektronik wird über die Femtosekunde, d.h. 10^{-15} s, nicht hinauskommen).

Dazu vielleicht ein paar Jahreszahlen. Die Eisenbahnsignaltechnik verwendet in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts mechanische Logik komplizierterer Art und beginnt eine zugehörige Algebra vorauszuahnen. Etwas später folgt das Relais mit seinen für die Logik geeigneten Kontakten, dessen Technik um 1930 gereift vorliegt, nur teilweise digital, mit analogen Tricks vermischt. Und zur gleichen Zeit macht die Logik, durch Jahrhunderte mit Syllogismen beschäftigt, einen Wandel zum Algebraischen durch, der in den Arbeiten von *George Boole* 1847 und 1854[4] deutlich wird. Mit *Frege* beginnt 1879 die Metamathematik, die mit der Encyclopedia Mathematica von *Whitehead* und *Russel* 1910 ihren ersten Höhepunkt erreicht[5]. Die Mathematik ist auf die Logik zurückgeführt, und sobald der Computer die Logik aufs flexibelste beherrscht, hat er die Universalität der Mathematik zu eigen.

Im gleichen Jahr 1910 stellt der russische Mathematiker *P. Ehrenfest* bei der Besprechung eines Logikwerkes von *L. Couturat* die Äquivalenz von Aussagenlogik und Schaltalgebra fest und gibt die Telephonzentrale als praktisches Beispiel an, ein Fall von unglaublicher Voraussicht. Die Praktiker aber lesen diese russische Buchbesprechung natürlich nicht, sondern sie erfinden die Aussagenlogik in Form der Kontaktalgebra neu. In Japan, den USA, in der Sowjetunion und in Österreich werden in den dreissiger Jahren die ersten Veröffentlichungen geschrieben. Aber erst die zweite Arbeit von *C.E. Shannon*, dem Schöpfer der Informationstheorie, über die Schaltalgebra im Jahre 1950 bringt den Durchbruch – von da an werden Computerschaltkreise mit ihr systematisch beschrieben und vereinfacht, und allmählich wissen alle Ingenieure, dass sie Aussagenlogik betreiben. Hätte man in der sogenannten «Neuen Mathematik» die Aussagenlogik als Schaltalgebra und weniger als Mengenlehre betrieben, wäre sie vielleicht erfolgreicher und nützlicher geworden.

Grundsätzlich geht man so vor, dass man eine mathematische Funktion auf ihre logische Basis zurückführt und diese als Schaltung realisiert, zum Beispiel die Addition als Addierwerk. Philosophisch ist zu beachten, dass nicht das volle Konzept der Addition elektronisch ausgebildet wird, sondern nur eine Reduktion, auf eine bestimmte Stellenzahl zum Beispiel. Im Grunde kann der Computer nicht immer oder nicht alles addieren; manches kann man mit besonderen Programmen in den Griff bekommen, manchmal lassen sich Unzulänglichkeiten nicht vermeiden.

Mit der Lupe betrachtet, kommen immer Bits zum Vorschein, aber nicht immer mathematische Allgemeinheit. Schon an dieser Stelle erweist sich der Computer als Modell, welches nicht alles wiedergibt, was dem mathematischen Geist zugänglich oder gar selbstverständlich ist – trotz der Universalität der Logik. Hastige Schlüsse ohne tiefe Kenntnis der Modelleigenschaften sind schon in der Mathematik nicht zu empfehlen – bei Anwendungen erst recht nicht. Mit der Entwicklung der Logik muss auch die Entwicklung der Erkenntnis der Grenzen betrieben werden, und darüber setzen sich die Praktiker nur allzu gerne hinweg. Über die Feinheiten an den «Rändern» könnte man ganze Kongresse abhalten, aber es geht so auch. Nur knirscht es gelegentlich.

So viel über den Aufbau von unten her. Nun aber blicken wir einmal von oben her auf die Struktur des Computers.

3. Die Strukturlogik: logische Basis der Computer-Architektur

Wenn man einen Computer entwerfen will, wird man ganz von selbst auf eine Fünfteilung der Gesamtanlage verfallen: zwischen Eingabe und Ausgabe muss es ein Rechenwerk, ein Speicherwerk und ein Befehlswerk geben, denn die für die Berechnung erforderlichen Werte müssen im Speicher aufgehoben werden und zwischen Speicher und Rechenwerk hin- und hertransportiert werden, und dieser Verkehr wird vom Befehlswerk aus gesteuert. Der österreich-ungarisch-amerikanische Mathematiker *John von Neumann* hat dazu noch einen Gedanken allgemein bekannt gemacht, die Idee nämlich, dass Daten und Programm – das ist hier zunächst einfach die Folge der einzelnen Instruktionen, in einem späteren Abschnitt wird das Konzept zu erweitern sein – von gleicher Informationsnatur und Verschlüsselung sind und daher im gleichen, möglichst grossen Speicher aufbewahrt werden können, was überdies ermöglicht, das Programm wie die Daten der Verarbeitung zu unterwerfen, sogar durch sich selbst, wenn man das versteht. Daraus ergibt sich eine höhere Abstraktion und eine höhere Flexibilität. Obwohl das Prinzip auch von anderen, zugleich und auch schon früher, benützt wurde, bürgerte sich der Ausdruck «John-von-Neumann-Maschine» ein, und bald begann man die Unterschiede zu dieser Grundstruktur, oder, wie man heute eleganter sagt, zu dieser Art der Computer-Architektur, zu übertreiben. So fehlt der Architektur der frühen *Zuse*-Geräte die Programmspeicherung im Hauptspeicher, der schon für die Daten zu klein war. Das Programm läuft auf einem getrennten Kanal in das Befehlswerk. Eine vernünftige praktische Anordnung, der Technik angemessen. Aus den theoretischen Gedankengängen *Zuses*, in seinem «Plankalkül»[6] zusammengefasst, geht hervor, dass er sich der Äquivalenz von Daten und Programm völlig bewusst war.

Umgekehrt haben die häufig und seit vielen Jahren vorgeschlagenen «Nicht-John-von-Neumann-Architekturen» meist keineswegs völlig anderen Charakter, sondern entweder Vervielfachungen gewisser Teile oder besondere Tricks eingebaut; sie sind allesamt nur Fortentwicklungen des ursprünglichen Konzepts.

Der Datenverkehr findet auf Verbindungswegen statt, wie wir sagten, vom Programm befohlen. Bei komplizierteren Architekturen spricht man gerne vom «Bus», womit eine Art Hauptkabel gemeint ist, welches alle Teile verbindet. Die mit der Computertechnik so nahe verwandte Nachrichtentechnik erlaubt die Überbrückung kleiner und grosser Entfernungen, und es entstehen feste oder schaltbare Netzwerke von Computerteilen oder auch von ganzen Computern, Netze, die dem Telephon-Wählnetz nicht nur ähnlich sind, sondern dieses kann auch mitverwendet werden. Information gestattet ungeheure Flexibilität, mehr, als man zu

Komprimierte Geschichte des Computers

1822
Babbage beginnt mit dem Bau der Differenzenmaschine.

1833
Babbage beginnt mit dem Bau der Analytischen Maschine; die Idee des programmgesteuerten Rechenautomaten ist geboren.

1841
Lady Lovelace, die Tochter Lord Byrons, interessiert sich für die Maschinen von Babbage; sie wird zur ersten Programmiererin.

1847
Boole veröffentlicht ein Buch über die Abbildung von logischen Beziehungen auf gewöhnliche algebraische Formeln (The Mathematical Analysis of Logic).

1871
Babbage stirbt verbittert; seine Idee war der Zeit zu weit voraus.

1879
Frege analysiert in seinem Buch über Begriffsschrift logische Schlussmethoden in der Mathematik.

1882
Hollerith beginnt seine Arbeiten: die Lochkartenmaschine wird geboren.

1890
Holleriths Maschinen werden für die Auswertung der amerikanischen Volkszählung von 1890 benutzt.
Auch das Wiener Statistische Zentralamt beschliesst, Lochkartenmaschinen anzuwenden. Schäffler führt Hollerithmaschinen nach Österreich ein und die Volkszählung von 1890 wird erfolgreich damit ausgewertet.

1895
Schäffler erhält ein Patent auf das Programmieren mit Hilfe von Telephonschnüren; die russische Volkszählung wird mit seinen Maschinen ausgewertet.

1903
Russel und Whitehead untersuchen die logischen Grundlagen der Mathematik (Principia Mathematica).

1907
Torres y Quevedo schlägt eine formale Sprache für die Beschreibung von Rechenmaschinen vor.

1914
Watson tritt in die Hollerithmaschinen-Firma ein.

1919
Eccles und Jordan erfinden den Multivibrator.

1920
Torres y Quevedo koppelt eine Schreibmaschine, eine Rechenmaschine und einen mechanischen Speicher zusammen und schlägt einen Teilnehmer-Betrieb vor.

Komprimierte Geschichte des Computers (Fortsetzung)

1924
Watson ändert den Namen seiner Firma auf International Business Maschines (IBM) um.

1928
Comrie verwendet kommerzielle Lochkartenmaschinen für eine wissenschaftliche Berechnung (die Monddaten für den Nautischen Almanach).

1928
Hilbert und Ackermann veröffentlichen das Buch Grundzüge der theoretischen Logik.

1928
Pfleumer (Dresden) erhält Patent über Magnetbandspeicher.

1931
Voltat schlägt die Verwendung des Binärsystems für Rechenmaschinen vor.

1933
Tauschek meldet ein Patent über zylindrische elektromagnetische Speicher an.

1935
Die Ideen von Babbage werden – im Zeitalter der Elektrotechnik – wieder aufgenommen, zum Beispiel durch Zuse in Berlin.

1936
Couffignal weist auf die Vorteile der Dualtechnik für ein einfaches Rechenwerk hin.

1936
Turing untersucht die Berechenbarkeit von Zahlen mit Hilfe eines abstrakten Automaten (Turing-Maschine).

1937
Aiken beginnt seinen ersten Relais-Computer.

1938
Shannon veröffentlicht eine Arbeit über Schaltalgebra. (A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits.)

1938
Zuse stellt ein funktionsfähiges Modell mit einem mechanischen Speicherwerk fertig.

1940
Stibitz baut ein Relais-Rechengerät für komplexe Zahlen.

1941
Zuse stellt die erste voll arbeitsfähige programmgesteuerte Rechenanlage fertig, die Z3.

1943
Vater und Sohn Dirks entwickeln den Magnettrommelspeicher.

1944
Die IBM baut eine Relais-Rechenmaschine.
Aiken vollendet seine Mark I.

beherrschen versteht. Man darf nicht glauben, dass Universalität und Flexibilität das Leben immer erleichtern – mitunter geht man darin unerwartet unter.

Das Wort Architektur wird recht freizügig verwendet, aber schliesslich kann man ja auch vom missgestaltetsten Haus behaupten, es hätte eine Architektur. Die architektonische Qualität, die Zweckmässigkeit, Übersichtlichkeit und Schönheit der Gestaltung, das Wohlverhalten und die Vertrautheit der guten Architektur ist eine besondere Kunst, die weitaus stärkere Förderung haben sollte. Hier kann die Informationsverarbeitung auf *Vitruvius* zurückgreifen und sein Gedankengut und seine Ausbildungsforderungen auf den Computer übersetzen[7]. Damit freilich wächst der Entwurf über die rein logische Dimension hinaus und wird – genau wie die Informatik als Ganzes – auch Geisteswissenschaft und Kunst. Das ist die wahrscheinlich faszinierendste Entwicklung der Logik in ihrer bisherigen Geschichte.

4. Programmierlogik: Reduktion mathematischer Konzepte auf computerbewältigbare Prozesse

Der Computer kann als riesige, aus Halbleitern gestaltete Formel gesehen werden, als umschaltbare Formel mit vielen Möglichkeiten. Im Computer-Jargon nennt man das die Hardware. Animiert wird die Hardware von der Software, vom Programm. Schon das einfache Addierwerk verlangt ja in der Automation die Zuführung der Eingangswerte und die Ablage des Resultats. Bei der Programmierung in der Maschinensprache drücken das der Befehl aus, die Kombination von Instruktion und Adresse. Es ist zu erkennen, dass das mathematische Konzept der Addition mit der Organisation des Datentransports verknüpft ist – und diese Verknüpfung ist ein Grundzug der logischen Entwicklung durch die Informatik. Man könnte auch sagen, dass der Mathematik etwas angetan wird: sie muss sich mit der Organisation von Prozessen vermengen lassen, und ich bin nicht sicher, dass dies gut tut und langfristig so bleiben wird.

Um dies zu erläutern, möchte ich zu einem der Väter der Mathematik zurückkehren, zu dem noch wenig bekannten Muchammad ibn Musa al-Chorezmi, von dem der Name Algorithmus hergeleitet ist und der das erste Lehrbuch der Algebra geschrieben hat. Im zweiten Hauptabschnitt, der von der Geschäftsrechnung handelt, geht es um die Proportion. So einfach war damals noch die Handelsrechnung. Die Proportion lautet äusserst elegant: «Verkaufsmenge zu Verkaufspreis verhält sich wie Einheitsmenge zu Einheitspreis».

Ich verwende absichtlich keine Formel, sondern Worte, denn vor 1200 Jahren war die Mathematik nicht formal, sondern in Worten, in Prosa. Die Proportion ist klar und übersichtlich, man braucht sie nicht zu begründen. Will man sie aber benützen, zum Beispiel um einen Verkaufspreis zu errechnen, muss man sie umformen und ein Produkt (Verkaufsmenge mal Einheitspreis) durch die dritte Grösse (Einheitsmenge) dividieren. Die praktische Formel ist nicht mehr so elegant wie die Proportion, und al- Chorezmi gibt sofort Beispiele steigender Schwierigkeit, um seinen Leser gut einzuführen. Das entsprechende Computerprogramm ist natürlich nicht die Proportion, sondern die Auswertungsformel, und in der Maschinensprache muss man auch die Speicherzellen, wo Angaben, Zwischenergebnisse und Resultate unterzubringen sind, überlegen und hinschreiben. Es ist noch mehr Organisationsarbeit.

Diese möchte man sich naturgemäss möglichst ersparen, und so begann man, Formelübersetzer zu entwerfen: Programme, denen man die Formel, freilich die Auswertungsformel und nicht die Proportion, vorlegt, und die dann die Organisationsarbeit automatisch erledigen. Das war der erste

Schritt zu Programmiersprachen, und der Name FORTRAN speichert noch das ursprüngliche Konzept, die FORmula TRANslation. Programmiersprachen formulieren den gesamten Berechnungsprozess, den Algorithmus, auf den wir im nächsten Abschnitt genauer zu sprechen kommen, und dieses Konzept ist im Namen ALGOL gespeichert: ALGOrithmic Language. Zur Formelübersetzung treten dabei weitere Organisationskonzepte; es seien die drei wichtigsten kurz angedeutet.

Erstens wird eine zeitliche Abfolge zugrundegelegt; rechts vom Gleichheitszeichen stehen die Eingangswerte, das Vorher, und links das Ergebnis, das Nachher. Daher schreibt man auch nicht mehr =, sondern =:, zum Beispiel n =: n + 1, und das heisst, dass das neue «n» um eins grösser ist als das alte. Die Schreibweise gestaltet eine Dynamik, die der Automat dann ausführt. Ein zweites Konzept ist der bedingte Befehl, der nur ausgeführt wird, wenn eine gegebene Bedingung erfüllt ist; wenn nicht, geschieht etwas anderes. An solchen Stellen steht der Prozess vor einer Gabelung, so dass eine Vielzahl von Wegen möglich wird, je nach Bedingungen, die auch vom Prozess selbst, von seinen Zwischenergebnissen abhängig sein können. Auch Schleifen sind möglich, der Prozess kann an markierte Stellen vor- oder zurückspringen und aus Schleifen ausbrechen.

Wieder ist für den Automaten ungeheure Flexibilität gewonnen, es kann sehr viel mehr mit weniger Arbeit bewältigt werden, aber die früher so elegante mathematische Formulierung ist mit organisatorischem Beiwerk belastet, das sehr oft die Eigenschaften des Computers stärker vorweist als die Eigenschaften der benützten mathematischen Relation.

Das ist kein Zufall. In der Computeranwendung hat sich immer mehr herausgestellt, dass die mathematischen Probleme, von ausgezeichneten Mathematikern vorgedacht und vorformuliert, harmlos sind gegen die Organisationsprobleme, denen die gute Theorie abgeht: die Organisationstheorie ist noch nicht besonders entwickelt; sie mag vielleicht eines Tages zu einem Sondergebiet der Logik werden. Es gibt übrigens eine Organisationslehre, die sich Logistik nennt und vom militärischen Nachschub herkommt (heute auf allgemeine Versorgungsprobleme erweitert); der Name kommt aber nicht von Logik, sondern vom französischen Wort *loger*, unterbringen. Sie ist vorderhand mehr Lehre als Theorie. Da gibt es noch viel zu tun.

Mathematische Prozesse haben hingegen eine gute theoretische Grundlage, die Theorie der Algorithmen, die der Metamathematik ebenso dient wie der Computerpraxis.

5. Die Prozesslogik: die beschränkte Omnipotenz des Algorithmus

Der Algorithmus gehört heute wieder zum Vokabular der mittleren Bildung. Vor vierhundert Jahren war er als Algorismus ein Name für das Kompendium des Rechenhandwerks, von Rechenmeistern wie Adam Riese unterrichtet. Dann geriet der Name in Vergessenheit, der Prozess aber nicht. Denn wenn der ältere Volksschüler zwei mehrstellige Zahlen zu multiplizieren vermag, dann kann er das, weil er den einschlägigen Algorithmus eingetrichtert erhielt – bald wird er sich allerdings dem Taschenrechner ausliefern und auswendigen Vorgängen mit ebensoviel Erstaunen wie Misstrauen begegnen. Auch dies ist eine logische Entwicklung, allerdings nicht zur Legalisierung der Faulheit. Wer das glaubt, wird ein böses Erwachen erleben. Dem Werkzeug muss der Mensch seit eh und je voraussein, und für Taschenrechner und Computer ist das nicht weniger richtig, nur schwerer.

Der Name Algorithmus kommt von al-Chorezmi, der das erste und erfolg-

Komprimierte Geschichte des Computers (Fortsetzung)

1945
Zuse stellt die universelle Rechenanlage Z4 fertig, die von 1950 bis 1955 an der ETH in Zürich und dann bis 1959 in St. Louis bei Basel arbeitet.
Eckert, Mauchly und von Neumann entwickeln das bis heute gültige Konzept des Computers; das Programm wird im Hauptspeicher untergebracht und dadurch zur bearbeitbaren Information.

1946
Eckert und Mauchly stellen den ersten Röhren-Computer fertig, die ENIAC, eine Art Nachbildung einer Zahnrad-Rechenmaschine, mit über 18 000 Röhren und 200 kW Energieverbrauch; sie arbeitet bis 1955.

1947
Bardeen und Brattain entwickeln den Transistor.

1947
In USA beginnt die Entwicklung des Computers WHIRLWIND. Gruppen in Manchester und in Oxford sowie am National Physical Laboratory bei London arbeiten an Computern.

1948
IBM baut den Computer SSEC mit 12 500 Röhren und 21 400 Relais; sie liefert den elektronischen Rechenlocher IBM 604.

1949
Anfang der Computerentwicklung an Hochschulen in Deutschland (Göttingen, Darmstadt, München, Dresden).

1950
Aiken verwendet zum ersten Mal Magnetbandspeicher (Computer Mark III).

1951
Der erste industriell gefertigte Computer UNIVAC wird von der Firma Remington-Rand ausgeliefert.

1951
Forrester publiziert über Ferritkernspeicher und das Koinzidenzstrom-Prinzip.

1952
IBM baut den Defense Calculator, der als IBM 701 zum Stammvater der Reihe 700 wird.

1955
NORC, die schnellste Rechenmaschine dieser Zeit, wird fertiggestellt.
In Wien beginnt die Planung für den Transistor-Rechenautomaten Mailüfterl.
Erste internationale Rechenmaschinentagung der GAMM in Darmstadt.

1957
Die Programmierungssprache FORTRAN wird auf einer amerikanischen Tagung vorgestellt.

Komprimierte Geschichte des Computers (Fortsetzung)

1958
Siemens liefert serienmässig den Transistor-Computer 2002 aus.
IBM bringt den Transistor-Computer 7070 heraus.
Das ACM-GAMM-Komitee für die Programmierungssprache ALGOL tritt das erste Mal zusammen.

1959
Die amerikanische Regierung initiiert ein Komitee für die Entwicklung der kommerziellen Programmierungssprache COBOL.
Angeregt von der UNESCO findet in Paris der erste internationale Computer-Kongress (ICIP) statt.

1960
IFIP (International Federation for Information Processing) wird als Dachvereinigung der Computer-Gesellschaften gegründet.

1962
Der erste IFIP-Kongress findet in München statt.

1964
IBM stellt das System /360 vor, und die Programmierungssprache PL/I wird entworfen.

1966
In Wien wird die erste Fassung einer formalen Definition der Programmierungssprache PL/I fertiggestellt.

1968
Eine Arbeitsgruppe der IFIP schliesst die Programmierungssprache ALGOL 68 ab.

reiche Lehrbuch über die Algorithmen zur Rechnung im indischen Stellenwertsystem verfasste und diesem damit zuerst im Kalifenreich und später auf der ganzen Welt zum Durchbruch verhalf. Streng logisch gesprochen ist der Algorithmus eine Rechenvorschrift, die – ohne Fehler angewendet – nach endlich vielen Schritten mit Sicherheit zum korrekten Resultat führt, und zwar für eine potentiell auch unendliche Zahl von Anwendungsfällen. Der Algorithmus ist also allmächtig für seinen Zweck und – das muss gleich hinzugesagt werden – für den vorgesehenen Bereich. Für den Rechenautomaten ist der Algorithmus eine unumgängliche Arbeitsvoraussetzung, denn es sieht ja niemand zu, was geschieht – auch nicht der Computer selbst, das vergessen manche Leute. Der Computer prozessiert blind, er kann aus den Algorithmen nicht heraus. Der Allmächtigkeit des Algorithmus muss aber die Allwissenheit des Verfassers, des Programmierers vorausgehen – nur für den vorgesehenen Bereich, aber das ist schwierig genug. Bei einer quadratischen Gleichung mag man ja alle denkbaren Fälle voraussehen können, in vielen andern Fällen ergibt sich hier ein zentrales Risiko der Computeranwendung: hat man wirklich alles Erforderliche vorausgesehen? Und wie ist es mit den Ausnahmen? Man hat es beim Computer ja nicht nur mit Mathematik zu tun, wo Ausnahmen eher selten sind (z.B. die Division durch null), sondern auch mit höchst menschlichen Situationen, wo die unvorhergesehene Ausnahme geradezu typisch ist. Wie wird man mit ihr fertig?

Auch hier hat man eine Stelle vor sich, wo die formale Logik plötzlich wieder nach der informalen Logik ruft, die so sehr vernachlässigt worden ist, nach der Sprachlogik, die von der Sprachverlotterung angerostet ist. Der Computer wird hier Fragen turbulent machen, welche die technisierte Welt vergessen oder hinuntergespielt hat.

Man braucht aber gar nicht auf so universale Fragen überzugehen. Schon in den unmittelbarsten Computeranwendungen zeigt sich, dass die formale Korrektheit des als Programm formulierten Algorithmus nur einem Teil der Erfordernisse gerecht wird – der Computer im wirklichen Leben gleicht der eingekleideten Aufgabe im Mathematik-Unterricht: das richtige Rechnen ist nur der eine Teil, die in Prosa erzählte Frage in das rechte mathematische Gewand zu kleiden, die Prosa in Formalität umzuwandeln, ist der andere Teil, und dort spürt jeder Schüler die Unsicherheit, auch wenn er die formalen Prozesse beherrscht. Der Übergang von der informalen Realität zur formalen Welt des Computers und auch der Weg zurück, die Einbettung der formalen Ergebnisse und Leistungen in die imperfekten Zustände des täglichen Lebens, sind Aufgaben, die über die Beherrschung der Logik weit hinausgehen, und zu deren Bewältigung wir immer weniger lernen, im Elternhaus wie in den vielen Schulen. Das Gerät bleibt in dieser Hinsicht mehr als kühl. Es ist schon der Mensch, der die Wahrheit erkennen, die Warnsignale geben und für Abhilfe sorgen muss. Automation ist in keiner Hinsicht eine Gewerbeberechtigung für das Liegen auf der faulen Haut.

Aber kehren wir zu den technischen Fragen zurück – betrachten wir noch rasch das Wesen der Computeranwendung, einen weiteren Aspekt der Logik, die mit dem Computer auf so vielfältige Weise verbunden ist.

6. Die Anwendungslogik: das logische Modell als Grundlage der Computer-Benützung

Man muss es ständig wiederholen: der Computer ist nur des Logischen fähig, weil alle seine Seiten, Schaltkreise wie Programme, Eingabe wie Ausgabe, nur auf der Basis der Aussagenlogik funktionieren. Geht man mit logisch klaren, mit gesäuberten und geordneten Konzepten auf den Computer, dann wird man lediglich technische Schwierigkeiten haben, es mag zu langsam gehen, es mag der Speicherraum zu knapp sein und

was sonst an solchen Schwierigkeiten auftreten; sie sind zahlreich genug. Logik, Mathematik, aber auch Buchhaltung und Physik waren für den Computer gut vorbereitet, sie hatten die Sicherheit im Umgang mit formalen Methoden, schon ehe der Computer sich als Werkzeug anbot. Gewiss nicht in allen Fragen – ein Teil dessen, was nun vorgebracht wird, gilt auch für die genannten Gebiete. Anwendungsfelder, die extreme Schwierigkeiten machen, seien für den Schlussabschnitt aufgehoben – wir wenden uns einem mittleren Gebiet zu und nehmen den technischen Entwurf und die technische Fertigung als Beispiel. Dort hat sich der Computer bei vielen Aufgaben bestens bewährt, man käme ohne Computer nicht mehr aus, man verlässt sich auf ihn und er macht relativ wenig Kummer. Das sind jene Aufgaben, wo die formale Behandlung seit langem eingerichtet ist, Berechnungen und Listenführungen, wo Logik und Mathematik schon lange in Verwendung standen.

Schon wenn es aber auf Organisationsaufgaben komplizierter Art hinausläuft, die bisher informal, aus der Einsicht und aus der Erfahrung der Mitarbeiter heraus bewältigt wurden, dann wird der Übergang auf den Computer mitunter recht schwierig. Man weiss zunächst gar nicht, wie man es anpacken soll.

Der allgemeine Schlüssel in solchen Situationen ist das Modell: man muss sich eine Modellvorstellung des Vorgangs machen, und das heisst zuerst eine radikale Vereinfachung, eine Zurückführung auf das Wesentliche, ein Weglassen von zunächst Nebensächlichem und Unbedeutendem. Wie bei der Modelleisenbahn nimmt man einen kleineren (in anderen Fällen kann es auch ein grösserer sein) Massstab, falsche Materialien und selbst Proportionen, wenn die Hauptabsicht dadurch nicht gestört wird. Auch das Papiermodell ist eine gute Vorstellung oder die Gedankenmaschine – die reine Funktion, von der Wahl der technischen Ausführungsart noch völlig unabhängig. Schon bei diesen Versuchen wird sich eine neue Vorstellung von der Aufgabe, von den nächsten Schritten ergeben.

Für den Computer muss das Modell formal sein. Was bisher vielleicht rein intuitiv, ganz ohne Nachdenken vor sich ging, muss nun in klare Teilfunktionen zerlegt, zu einer Gesamtfunktion zusammengesetzt werden. Es geht um eine Art Metalogik, die in keinem Lehrbuch steht, die man oft auch nachher nicht richtig beschreiben kann. Aber plötzlich steht der erste Entwurf des Modells auf dem Papier und man beginnt, weitere Einzelheiten einzufügen, das Modell der Wirklichkeit wieder näher zu bringen. Mehr will ich dazu nicht sagen; man muss erleben, wie die Klarheit allmählich, mitunter auch ruckweise, steigt und Sicherheit gibt. Ich wollte nur auf diesen Prozess besonders hinweisen. Er ist charakteristisch für den Ingenieurberuf, und beim Computer wird die Logik expliziter, bewusster, die Vorstellungen werden abstrakter, was für vieles nützlich, für manches aber auch bedenklich werden kann.

Wahrscheinlich arbeitet unser Gehirn auch sehr stark mit Modellvorstellungen, aber wir wissen nur wenig über die zugrundeliegenden Mechanismen und ihre Zusammenarbeit mit dem Geist. Über die Logik im Nervennetzwerk und über die Analogien und Unterschiede zwischen Computer und Gehirn wäre viel zu sagen, die Forschungen auf beiden Gebieten haben sich gegenseitig sehr befruchtet, aber eigentlich kann man kaum von logischen Entwicklungen sprechen, die von einem Gebiet auf das andere ausgelöst wurden. Für physiologische Zusammenhänge haben sich Modellvorstellungen allerdings sehr gut bewährt, hier war auch die Befruchtung sehr stark und geht intensiv weiter.

Die technische Modellvorstellung ist aber wichtig für die Einleitung zum letzten Abschnitt, der sich mit Extremfällen der Computeranwendung, aber auch des Computerdenkens beschäftigen soll.

7. Kybernetik, Artificial Intelligence und Expertensysteme: wie sich mathematische Logik und Sprachlogik gegenseitig helfen und behindern.

Die Kybernetik wurde von *Norbert Wiener* als Metawissenschaft konzipiert, zur Heraushebung des Gemeinsamen und zur gegenseitigen Befruchtung von Gebieten, die vorwiegend mit Information zu tun haben, aber zunächst weit auseinanderliegend aussehen; der Untertitel seines Buches[8] lautet: 'Regelung und Kommunikation im Organismus' und in der Maschine. Das Buch wurde zu einem Erfolg, der Norbert Wiener sehr überraschte – es war ein Thema, das in der Luft lag, ein Buch, nach welchem viele Wissenschaftler griffen – fast ebenso viele legten es auch enttäuscht wieder aus der Hand. Das Buch half nicht viel, aber der Gedanke begann Früchte zu bringen.

Zuerst eine kurze Bemerkung über die Regelung. Um einen Überblick über das logische Geschehen im Computer zu bewahren, darf man sich nicht zu stark an die logischen Einzelheiten klammern, sondern man muss auch die weiteren Räume im Auge haben, Räume, die nicht unbedingt logisch-digitalen Charakter haben. Schliesslich ist ja auch der Raum nicht gequantelt –, der Versuch des Computer-Pioniers Konrad Zuse unter dem Namen «Rechnender Raum» ein digitales Modell von Raum und Zeit aufzustellen, ist von der Physik bisher nur mit grösster Reserve aufgenommen worden. Auch das Gehirn – das muss immer wieder betont werden – ist zwar nach einem Ja-Nein-Verfahren, nicht aber digital organisiert (die Nervenimpulse kommen in analogen Abständen und nicht im Takt, es ist ihre Häufigkeit, welche die Intensität eines Sinneseindrucks wiedergibt und weiterleitet). Wie auf einem solchen System eine digitale Denkweise entsteht, ist eine kurze Frage mit einer sehr langen Antwort, und vielleicht wissen wir noch gar nicht, wie lange diese Antwort werden wird.

Der Computer wäre ein völlig unzulängliches Modell und erlaubte uns nur völlig unzulängliche Modelle, könnte man über unsere Beherrschung der gebrochenen Zahlen nicht mit Näherungen arbeiten, die präziser werden können, als die Natur es für die Abbildung verlangt. Trotzdem ist das Verhältnis zwischen analog und digital noch an vielen Stellen offen.

Als Beispiel für ein Konzept analogen Charakters, das untrennbar mit dem Computer verbunden ist (und umgekehrt einen intensiven Gebrauch vom Computer macht), ist das Gebiet von Regelung und Steuerung und die Regelschleife im besonderen. Es geht dabei um den automatischen Eingriff zwischen Ursache und Wirkung, indem der Ist-Wert an der Wirkungsstelle gemessen und mit einem Soll-Wert verglichen wird, und aus dem Unterschied ein Korrektursignal entsteht, welches den Unterschied auf null bringt, also den Ist-Wert auf den Soll-Wert bringt. Die Automatik des Eisschranks ist ein verkürztes Beispiel, der Fliehkraftregler der Dampfmaschine nach Watt ist ein Modellfall und die vielen Regelungsschleifen im Organismus oder in einem Wirtschaftssystem sind extra kompliziert. Sie bilden das Hauptthema der Kybernetik.

Man hat sich viel zu Spektakuläres versprochen von der Kybernetik und damit immer wieder Enttäuschungen ausgelöst. Aber Regelung und Informationsverarbeitung sind ein unerschöpfliches Thema für interfakultative Gespräche. Mit ihnen begann die Kybernetik in Boston und in Mexico City, sie waren der nützlichste Beitrag der aufsteigenden Kybernetik und sie setzen sich heute fort, wo es den erleichternden Namen nicht mehr braucht. Die Überschätzung ist vergangen, aber die Kybernetik hat viel Neues und viel Nützliches hervorgebracht, das später, im fortgeschrittenen Zustand, keine Spur mehr von der Kybernetik mit sich führt.

Hatte die Kybernetik Analogien zwischen Physiologie und Technik zum

Ziel, so ist die Artificial Intelligence auf die Nachahmung von Denkprozessen aus, auf die Simulation intelligenten Verhaltens. Allgemeine Problemlösung, Schachspielen und automatisches Finden von Beweisen in der Geometrie umreissen die Themenstellung. Lernte man vom Schachspiel den Unterschied zwischen der Erfassung aller logischer Möglichkeiten und einer zum Erfolg führenden Taktik und Strategie, so brachte die Technik der Datenbasen und ihrer Benützung die Verallgemeinerung auf das logische Modell des Experten, der Wissen und Verfahren vorrätig hat und sie auf ein vorgelegtes Problem auf optimale Weise anwendet. Man spricht von Expertensystemen und von wissenbasierter Informationsverarbeitung.

Hier wird ein Unfug sichtbar, den man durch logische Verwendung von Begriffsnamen anstellen kann, und logische Verwendung soll hier heissen, dass der Name des Begriffes für jenen Unterbegriff angewendet wird, der sich für die logische Verknüpfung durch Computerprogramme eignet. Das ist deswegen ein Unfug, weil nicht nur der Aussenstehende, der vielleicht naive Benützer dazu verleitet wird, den reduzierten Begriff, den computercodierten und computergespeicherten Unterbegriff für das Ganze zu halten, sondern auch die Wissenden, die Proponenten dieser Arbeitsrichtungen fallen ihrer eigenen Sprachverkürzung zum Opfer und verwechseln die Ebenen. So wird man etwa bei einem wissensbasierten System – schon sprachlich verdächtig – leicht der Meinung verfallen, die im Computer bereitgestellten Daten und Prozeduren seien dem Wissen und dem Verstand des Experten gleichzusetzen. Auf eine Direktbeschuldigung hin wird das natürlich geleugnet, aber im Zuge ihrer Äusserungen passiert die Gleichsetzung dennoch.

Gewiss gibt es Experten, die über das Niveau des Computers nicht hinausreichen – besonders die selbsternannten Experten – aber als echten Fachmann darf man doch denjenigen definieren, der in bestimmten Situationen etwas anderes, ja das Gegenteil dessen veranlasst, was die Auswertung der gespeicherten Daten empfehlen würde. Weil der echte Experte eben Geist hat, weil er Routinen nicht nur benützt, sondern zugleich auch über ihnen steht.

Das alles hat viel mit Logik zu tun, mit dem Unterschied zwischen jener Logik, die innerhalb eines konstituierten Systems für fehlerfreie Ableitungen sorgt, und jener Logik, welche die Verwendung der formalen Logik überwacht.

Und damit sind wir bei einem fundamentalen Computerproblem, nämlich bei der Beurteilung formaler Prozesse, die der Computer fehlerlos und unermüdlich beherrscht, aber eben nicht zu beurteilen vermag. Der Computer ist ein formales Gebilde, das formale Prozesse abzuwickeln gestattet, und als solcher von einer Nützlichkeit, die von keinem anderen technischen Gebilde übertroffen wird. Auch die Arbeit auf den Gebieten der Kybernetik, der Artificial Intelligence und der Expertensysteme hat ungeheuren Nutzen in viele Richtungen – falsche Namen oder irreführende Namen verhindern das ja nicht, und schliesslich sind intelligente Experten am Werk, da muss ja etwas herauskommen – aber man darf das Gefühl und die Bewertung des Kontextes nicht verlieren.

Kein Formalismus hat Sinn in sich selbst, er bekommt ihn erst durch die Einbettung in die Wirklichkeit, aber solche Überlegungen führen hinüber in die Philosophie und gehören nicht zu meinem heutigen Thema, das ja historisch aufzufassen mir aufgetragen war. Daher darf ich mit einem quasi schelmischen Blick darauf verweisen, dass die äussersten Schalen der Informationsverarbeitung, wie sie durch Artificial Intelligence und Expertensysteme charakterisiert sind, Zukunft oder höchstens Gegenwart unseres Fachgebietes sind und sich daher der historischen Betrachtung

Literatur

1 Heinz ZEMANEK, Wird der Computer die Technik vermenschlichen? Ein Beitrag zum 100. Geburtstag des ÖVE (Österreichischer Verband für Elektrotechnik).-
E & M (Wien) 100 (1983) 11, 448–458

2 I. M. BOCHENSKI, A History of Formal Logic.-
Univ. of Notre Dame Press, Notre Dame IN 1961; XXII + 567pp. Übersetzung der deutschen Ausgabe:
J.M. BOCHENSKI, Formale Logik.-
Verlag Karl Alber, Freiburg/München 1956

3 Y. BAR-HILLEL, R. CARNAP, Semantic Information.
London Information Theory Symposium 1953; 503–512

4 George BOOLE, The mathematical analysis of logic being an essay towards a calculus of deductive reasoning.-
Macmillan, Barclay & Macmillan, London 1847; 82pp.
REPRINT Basil Blackwell, Oxford 1965.
George BOOLE, An investigation of the laws of thought.- (1854)
REPRINT Dover Publications, New York; XVIII + 424pp.

5 N. WHITEHEAD, B. RUSSELL, Principia Mathematica
Cambridge University Press, 1913

6 Konrad ZUSE, Der Plankalkül.-
Berichte der Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung (GMD) No. 63, Bonn 1972; 285pp.

7 Heinz ZEMANEK, Abstract Architecture – General Concepts for System Design.-
In: Abstract Software Specification. Copenhagen Winterschool Proceedings (D. Björner, Ed.)
Springer Lecture Notes in Computer Science, Vol. 85 (1980) 554–563

8 Norbert WIENER, Kybernetik

Einige weitere Literatur

Heinz Zemanek, Philosophie der Informationsverarbeitung.-
Nachr. Techn. ZS 26 (1973) 8, 384–389

Heinz Zemanek, Konstruierte und natürliche Welt.
Formale Strukturen in Technik, Kunst und Gesellschaft.-
E & M (Wien) 91 (1974) 533–538

Heinz Zemanek, Entwurf und Verantwortung.-
IBM Nachrichten 28 (1978) No. 241, 173–182

Heinz Zemanek, Über die Grenzen der Einsicht im Computerwesen.-
GI Informatik-Fachberichte No. 78 (W.Brauer, Ed.)
Springer, Heidelberg 1984, 1–25

entziehen – wie fesselnd immer die zugehörigen logischen Aspekte sein mögen.

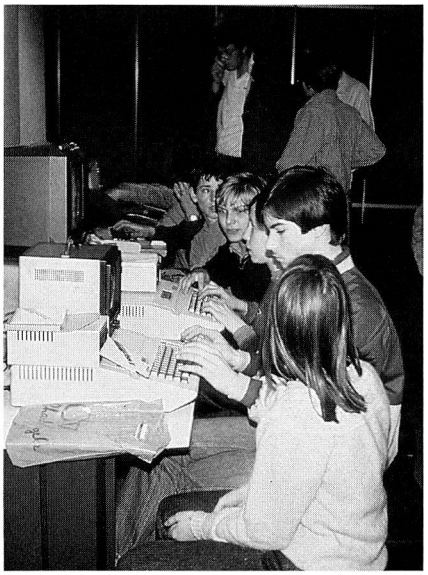
Andererseits ist es der Sinn der historischen Betrachtung, gewisse Schlüsse für und auf die Zukunft zu ziehen. Dafür aber hoffe ich einige Gedanken und einiges Material geliefert zu haben.

Dr. Simon Aegerter
Direktor
Technorama der Schweiz
Technoramastrasse 1
CH-8404 Winterthur

Der Computer im Bildungswesen

1. Der Computer ist nicht eine Modeerscheinung

Im Technorama der Schweiz gibt es im Sektor Automatik eine Abteilung, die aus einer Anzahl von Personal- und Homecomputern besteht. Diese Abteilung ist immer besetzt! Computer üben gerade auf die Jungen eine unheimliche Faszination aus. Ist diese Faszination zu vergleichen mit der Begeisterung für Modetrends wie Rollschuhe, Walkmen, Rubik-Würfel?



Nein, die Computer sind da, um zu bleiben. Sie sind ein Teil der 3. Industriellen Revolution, deren Zeitgenossen wir sind. Die Jungen, die jetzt mit Computern spielen, werden diese beinahe unausweichlich als Teil ihres Berufslebens wieder antreffen. Sind sie darauf vorbereitet? Was tut die Schule, um sie vorzubereiten? Lernen sie den Umgang mit Computern in der Schule, und vor allem: lernen sie, sich in der Welt zurechtfinden, die von den Computern geprägt wird?

Man hört heute viel davon, wie die Computer in unser Leben eindringen werden, wie sie Arbeitsplätze und Berufsbilder verändern, Berufe aussterben und neue Berufe entstehen lassen werden. Das ist alles falsch; die Computer sind da, Berufe sind verschwunden und neue Berufe sind schon entstanden.

Vor 500 Jahren erfand Gutenberg den Satz. Heute sind die letzten Jünger Gutenbergs am Aussterben. Der Schriftsetzer ist ein Computeroperateur geworden.

Die Buchhalter, nicht gerade als Revolutionäre bekannt, haben sich an den Computer gewöhnt, ebenso wie die Architekten und Konstrukteure. Der Abschied von der Schreibmaschine ist in vielen Büros bereits gefeiert, und wer führt noch Adresskarteien von Hand?

Wenn die heutigen Schüler ins Berufsleben treten werden, wird die Berufswelt völlig anders aussehen, als sich die Verfasser von Lehrplänen das vorgestellt haben. Sie konnten sie ja gar nicht kennen; diese Berufswelt ist lange nach den Lehrplänen entstanden. Wenn die Schule also ihren Auftrag, auf das Leben vorzubereiten, erfüllen will, muss etwas geschehen, und zwar ausnahmsweise ein bisschen plötzlich.

Die Schule ist – und das ist meistens gut so – eine konservative Institution. Sie lässt sich nicht von Modetrends ins Bockshorn jagen. Neue Mathematik, Sprachlabor und audiovisuelle Unterrichtshilfen brauchten Jahrzehnte, um sich – wenigstens teilweise – durchzusetzen. Ich erinnere mich aus meiner Schulzeit an den Kampf um den Kugelschreiber. Ich weiss gar nicht, wie er schliesslich ausgegangen ist.

So ist es denn nicht erstaunlich, wenn sich die Schule mit dem Computer schwer tut. Wie soll der Computerunterricht ins Curriculum eingebaut werden? Was ist überhaupt «Computerunterricht»? Welches ist die Zielsetzung? Wer kann den Unterricht erteilen? Und woher nimmt man die Geräte – und welche?