

Bertram, Günter

Article — Digitized Version

Das Arbeitsprinzip elektronischer Rechenmaschinen und ihre Beziehungen zur Automation

Wirtschaftsdienst

Suggested Citation: Bertram, Günter (1956) : Das Arbeitsprinzip elektronischer Rechenmaschinen und ihre Beziehungen zur Automation, Wirtschaftsdienst, ISSN 0043-6275, Verlag Weltarchiv, Hamburg, Vol. 36, Iss. 8, pp. 442-450

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/132327>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Das Arbeitsprinzip elektronischer Rechenmaschinen und ihre Beziehungen zur Automation

Dr. Günter Bertram, Hamburg

Wir haben es uns zur Aufgabe gestellt, den modernen Wirtschaftler mit der Problematik und den Grundlagen des technischen Fortschritts vertraut zu machen, der für die Gestaltung der künftigen Wirtschaft maßgebend sein wird. Das ist ein sehr schwieriges Unterfangen, weil die Spezialisierung der Wissenschaften heute dazu geführt hat, daß in den verschiedenen Wissenschaftszweigen Sprachen gesprochen werden, die für den Außenseiter nicht mehr verstehbar sind. Das ist noch nicht sehr lange so. Wir glauben aber, daß der Wirtschaftler den Mut haben muß, sich mit der Arbeitsweise der modernen technischen Apparatur vertraut zu machen, wenn er die Regie der Versorgung, was seine Aufgabe ist, in der Hand behalten will. Der Autor hat sich bemüht, die Arbeitsweise elektronischer Anlagen durch Analogien bildhaft verständlich zu machen. Deshalb wollen wir ihm auch konzедieren, daß er für mathematisch geschulte Leser über die Analogie hinaus die Grundzüge des mathematischen Formalismus darstellt, die der nur wirtschaftlich interessierte Leser überschlagen kann.

DIE ZWEITE INDUSTRIELLE REVOLUTION

Die Idee der Maschine zur Einsparung mechanisierbarer manueller Arbeit hat die erste industrielle Revolution heraufbeschworen. Die Idee zur Einsparung mathematisierbarer geistiger Arbeit ist im Begriff, eine zweite industrielle Revolution einzuleiten. Ihnen besonderen Stempel erhält sie noch durch die Erschließung der Atomenergie.

Noch erschüttern die weittragenden Konsequenzen der ersten Umwälzung, der „Mechanisierung“, das Gefüge unserer sozialen Gesellschaftsordnung, noch ist trotz vieler mehr oder minder sachlicher oder utopischer Versuche zur Extrapolierung der stürmischen Entwicklung in eine ungewisse Zukunft hinein nicht abzusehen, wann und in welcher Form es zu einer Konsolidierung der Verhältnisse kommen wird, da fasziniert bereits der neue Terminus „Automatisierung“ oder „Automation“, wie heute vorzugsweise gesagt wird, die Gemüter und stiftet neue Verwirrung.

Es ist äußerst schwer, bereits heute zu sagen, wohin uns die zweite industrielle Revolution führen wird und wie sich die damit verbundenen sozialen Probleme lösen lassen werden. Es sollen hier keine soziologischen Theorien aufgestellt und etwa Vorschläge zur Abwendung der Gefahren gemacht werden, die sich mit dieser unabwendbar zwangsläufigen Entwicklung verbinden. Es soll vielmehr über die bisherige Entwicklung der elektronischen Maschinen und ihre Beziehungen zum Problem der Automation wirtschaftlicher Betriebe berichtet werden.

Zunächst: Der Terminus „Automation“ faßt mehrere Teilentwicklungen zusammen; insbesondere wird darunter verstanden:

1. die Weiterentwicklung automatisch arbeitender Maschinen und die Vervollständigung der Fließbandtechnik,
2. der Ausbau der Regelungstechnik derart, daß Maschinen nicht nur arbeiten, sondern überdies ihre eigene Arbeit kontrollieren und den Ablauf des Fließbandes steuern,

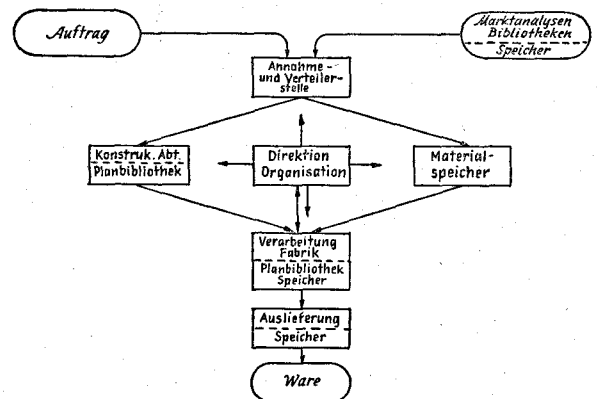
3. die zentrale Fabrikationslenkung durch Rechenautomaten, in denen möglichst selbständig Marktanalysenergebnisse verarbeitet werden.

Am Ende der Gesamtentwicklung steht als Ziel die vollautomatisierte Fabrik mit einigen wenigen Kontrollspezialisten als Personal und, wenn überhaupt, einem Minimum an Arbeitern.

DER ANALOGE AUFBAU VON FABRIKBETRIEB UND RECHENAUTOMAT

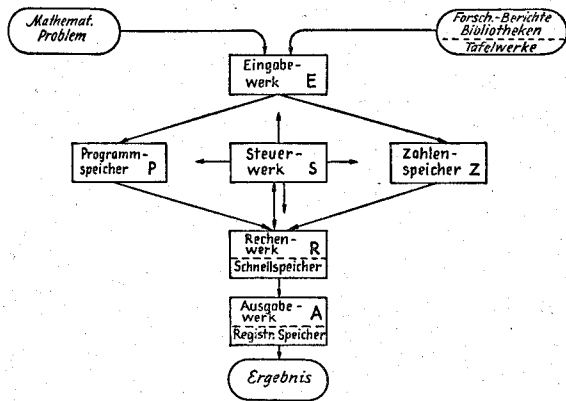
Aber nicht allein wegen des zu erwartenden verstärkten Einsatzes von Rechenautomaten als Hilfsgeräten in der Industrie dürfte für den Wirtschaftswissenschaftler und den Ingenieur das Studium dieser Maschinen von Wert sein, vielmehr auch deswegen, weil die Rechenautomaten bezüglich ihrer inneren Organisation als Modelle vollautomatisierter Betriebe anzusehen sind. Das sei erläutert an Hand zweier Block-schemata, durch die die Funktionsweisen eines Fabrikbetriebes einerseits und einer programmgesteuerten elektronischen Rechenmaschine andererseits einander gegenübergestellt werden.

Betrachten wir zunächst den Weg vom Auftrag an eine Fabrik bis zur Auslieferung der Ware:



Arbeitsschema einer Fabrik

Das Schema enthält nur die wichtigsten Teile. So wurden z. B. die Propaganda- und die Handelsabteilung fortgelassen, da sie für die Analogie unwesentlich sind. Wir vergleichen damit die Verarbeitung eines mathematischen Problems in einem elektronischen Rechenautomaten bis zur Ausgabe der Ergebnisse.



Arbeitschema eines elektronischen Rechenautomaten

Die Verbindungslinien symbolisieren nur die Einwirkungen der Teile aufeinander, nicht aber vorhandene Verbindungen. So wirkt z. B. in Wirklichkeit P auf R erst durch Vermittlung von S.

GESCHICHTE DER RECHENMASCHINEN

Unter den mathematischen Geräten sind zwei große Gruppen zu unterscheiden. Je nach der Art der Darstellung einer Zahl entweder als Ziffernfolge im „Schaufensterchen“ etwa des Ausgabewerkes oder als physikalische Größe, die auf einer Skala ablesbar ist, z. B. Länge oder Stromstärke, unterscheidet man:

1. (Diskret arbeitende) Digitale Maschinen,
2. (Kontinuierlich arbeitende) Analogiegeräte.

Die einfachste digital arbeitende Maschine ist die Bürorechenmaschine, das einfachste Analogiegerät der Rechenschieber. Wengleich die Entwicklung der modernen Analogiegeräte zu außerordentlich leistungsfähigen Integrieranlagen geführt hat, soll hier allein von den genauer arbeitenden programmgesteuerten digitalen Maschinen die Rede sein.

Ihre Geschichte beginnt mit dem Bau einer Addiermaschine des achtzehnjährigen Blaise Pascal im Jahre 1641. Durch Erfindung der Staffelwalze, die noch heute in der „Mercedes-Euklid-Maschine“ verwendet wird, gelingt es Gottfried Wilhelm Leibniz, in den Jahren 1671—74 eine Maschine für die vier Grundoperationen: Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division zu bauen. Noch in den großen modernen Automaten werden nur diese vier arithmetischen Operationen ausgeführt. Alle anderen Rechenarten lassen sich aber (evtl. näherungsweise) auf diese vier zurückführen. Die Idee der Programmsteuerung stammt von Charles Babbage. Seine von 1834 an ausgearbeitete Planung einer Maschine, die: 1. die vier Grundoperationen ausführen, 2. Zahlen speichern, 3. ein gegebenes Rechenprogramm verfolgen können sollte, scheiterte jedoch an den nicht ausreichenden technischen Möglichkeiten seiner Zeit. An dem Aus-

bau dieser Ideen ist Lady Lovelace, eine Tochter Lord Byrons, beteiligt gewesen. Sie schreibt über die Maschine: „The machine has no pretensions to originate anything, it can only do what we know how to order it to perform.“

Erst in den ersten Kriegsjahren des zweiten Weltkrieges baute der deutsche Bauingenieur K. Zuse eine funktionsfähige elektro-mechanisch arbeitende Maschine. Eine Pionierleistung ersten Ranges war dann der Bau des vollständig elektronisch und daher sehr schnell arbeitenden ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer) im Jahre 1945 an der University of Pennsylvania von J. Presper Eckert, John Mauchly und Hermann H. Goldstine für Zwecke der amerikanischen Armee. Seither ist eine große Fülle von Maschinen in den verschiedensten Ländern entwickelt und durch zahlreiche neue Ideen verbessert worden. Insbesondere wurden die seit 1890 von Hermann Hollerith entwickelten Ideen für Lochkartenmaschinen verwertet. Unter der großen Zahl der Männer, die an diesen Entwicklungen praktisch und theoretisch beteiligt waren und sind, seien noch die Amerikaner H. H. Aiken, J. von Neumann, C. E. Shannon und N. Wiener genannt. In Deutschland sind einige Projekte in Arbeit, und einige Maschinen laufen bereits seit mehreren Jahren.

PRINZIP PROGRAMMGESTEUERTER MASCHINEN

In den folgenden Abschnitten gehen wir etwas näher auf Prinzipienfragen ein, wobei sich im Rahmen dieses Aufsatzes natürlich nicht mehr als ein sehr lückenhafter Eindruck vermitteln läßt.

Gleichwohl müssen wir dazu beim Leser gewisse mathematische und physikalische Grundkenntnisse voraussetzen. Damit die Lektüre dieses Aufsatzes für den Interessenten, der diese Voraussetzungen nicht oder nicht mehr mitbringt, nicht sinnlos wird, soll in diesem vorbereitenden Abschnitt versucht werden zu sagen, was die weiteren Ausführungen enthalten. Wer die Lektüre der kleingedruckten Teile scheut, der mag ohne allzu großen Verlust beim Abschnitt „Probleme für Rechenmaschinen“ weiterlesen.

Das Rechnen in elektronischen Maschinen geschieht mit elektrischen Impulsen. Sie übernehmen die Rolle, die beim Rechnen des Kindes an der Hand die Finger spielen; allerdings sind sie im Gegensatz zu den Fingern der Hand nicht räumlich fixiert, sondern sie laufen durch die Drähte in der Maschine, werden verschoben, gespeichert und gezählt. Auch die Befehle werden in Gestalt von Impulsfolgen realisiert. Man braucht dazu nur die denkbaren Befehle durchzumerieren und jeweils mit der Befehlsnummer zu operieren; natürlich in Verbindung mit Zusatzimpulsen, die Zahlen und Befehle unterscheiden.

Wie geht nun die Behandlung eines mathematischen Problems vor sich? Sehen wir uns dazu die Abbildung 2 an. Zunächst bereitet der Mathematiker das von dem Interessenten an ihn herangetragene Problem für die Maschine vor, d. h. er formuliert die Auf-

gabe so, daß sie programmiert werden kann. Er fertigt eine Liste von Befehlen und Anfangsdaten an und überträgt diese mit der Hand in Form von Lochkombinationen nach einem durch den Bau der Maschine gegebenen Chiffrierverfahren — ähnlich dem der Braille-Blindenschrift, allerdings mit Lochungen anstelle von Erhebungen — auf einen Lochstreifen. Das ist gewöhnlich der langwierigste Teil der Arbeit. Er macht ein Umdenken erforderlich, da der Programmierer das Problem "with the machine's-eye view" ansehen muß (Hartree).

Das Eingabewerk E nimmt den Lochstreifen auf und transportiert ihn zwischen elektrischen Gleitkontakten hindurch. Dabei werden die Zahlen und Befehle — heute zumeist von getrennten Lochstreifen — abgetastet, die Lochkombinationen werden in elektrische Impulsfolgen umgesetzt und die Befehle dem Programmspeicher P, die Anfangsdaten dem Zahlenspeicher Z zugeführt. Sie werden dort an wieder durch gewisse Impulskombinationen gekennzeichneten Stellen, den sogenannten Adressen, aufbewahrt, bis sie vom Steuerwerk S aufgerufen werden, wenn das Rechenwerk R sie im Zuge der Rechnung benötigt.

Die Speicherkapazitäten der Maschinen hängen von ihrem Zweck ab, z. B. davon, ob die Maschine für speziell kommerzielle oder allgemein wissenschaftliche Aufgaben eingesetzt werden soll. Sie sind daher außerordentlich verschieden und schwanken zwischen einigen zehn und einigen Millionen Zahlen.

Das heute zumeist verwendete Speicherprinzip ist das gleiche wie bei der Speicherung von Musik auf Magnetophonbändern, d. h. die Impulsfolgen werden zur Magnetisierung entsprechend ausgewählter Medien verwendet. Umgekehrt lassen sich die Magnetisierungszustände wieder induktiv in Impulsfolgen umsetzen und weiterleiten, wobei die Magnetisierung nach Wunsch gelöscht werden kann oder nicht.

Nach dem Einschalten liest die Maschine auf diese Weise den ersten Befehl ab, d. h. das Steuerwerk S entnimmt dem Programmspeicher P die Impulsfolgen und stellt automatisch die bestimmten zugehörigen Schaltungen in der Maschine her. Das Steuerwerk steuert also den gesamten Ablauf der Rechnung dadurch, daß es in den geeigneten Momenten für die vorgeschriebenen Impulsverschiebungen und Schaltungen in der Maschine sorgt.

Dazu muß zunächst der Befehl entziffert werden, d. h. die Impulsfolge muß dazu verwendet werden, im übertragenen Sinne „die Weichen richtig zu stellen“. Der Vorgang ist ähnlich dem der Auswahl eines Fernsprechteilnehmers auf Grund einer gewählten Fernsprechnummer. Die zugehörigen Auswahlrichtungen heißen bei elektrischen Relaismaschinen gewöhnlich „Relaispyramiden“ bzw. bei elektronischen Maschinen „Schaltmatrizen“. Sie sind der Kernbestandteil des Steuerwerks.

Nachdem die richtige „Weichenstellung“ für den Strom vorliegt, holt die Maschine z. B. die beiden ersten Zahlen aus dem Speicher, um sie zu multiplizieren oder eine andere Operation mit ihnen auszu-

führen. Das Ergebnis geht entweder wieder in den Speicher, oder es wird weiter verarbeitet. Je nach Befehlsgebung wiederholen sich dann ähnliche Vorgänge. Im folgenden Abschnitt wird beschrieben, wie man das „dezimale“ Rechnen ersetzen kann durch „duales“ Rechnen und wie sich dann Multiplikationen auf Additionen zurückführen lassen. Ferner lassen sich alle anderen Rechenprozesse wie Divisionen, Wurzelziehen, Integrationen usw. durch sogenannte „Iterationsverfahren“ auf Multiplikationen und Additionen zurückführen, so daß es im Grunde genügt, wenn die Maschine addieren kann. Ihre Leistungsfähigkeit erlangt sie erst durch die große Geschwindigkeit, mit der sie große Mengen von Zahlen und Zwischenergebnissen in variierter Folge verarbeitet. Die Stockholmer Maschine „Besk“ z. B. führt etwa 10 000 Operationen pro Sekunde aus.

Der Abschnitt über das Rechenwerk gliedert sich in zwei Teile, da die Struktur des Addierwerks davon abhängt, ob eine sogenannte „parallel arbeitende“ oder eine „in Serie arbeitende“ Maschine vorliegt. Der Unterschied wird später besprochen.

Bei dem Parallel-Typ sieht man für jede Summandenstelle eine gesonderte Teilschaltung vor. In dem Abschnitt über das Rechenwerk wird gezeigt, daß man bei der Konstruktion dieser Addierschaltung für eine Stelle systematisch vorgehen kann, indem man eine „Schaltalgebra“ benutzt. Das ist folgendermaßen zu verstehen: Es wird ein mathematischer Formalismus entwickelt für das Rechnen mit Ziffern im Dualsystem. Dafür werden 3 Operationen erklärt (Negation, Disjunktion, Konjunktion genannt), deren Wirkungen auf die Ziffernvariablen sich schalttechnisch nachkonstruieren lassen. Die zugehörigen Elementarschaltungen werden angegeben und erklärt. Anschließend sucht man die Addition auszudrücken durch diese drei Operationen — wir zerlegen die Addition gewissermaßen in Elementarbestandteile —, die Art ihrer Verknüpfung legt dann auch eine bestimmte Zusammenschaltung der Elementarschaltungen fest. Man geht diesen Weg zur Gewinnung von Addierschaltungen wegen seiner Verallgemeinerungsfähigkeit auf andere Operationen. Für den Serientyp erläutern wir eine aus sogenannten „Flip-Flop-Schaltungen“ als Elementen bestehende Zählschaltung, die sich natürlich auch zum Addieren oder Speichern verwenden läßt.

Nach durchgeführter Rechnung im Rechenwerk R gehen die Ergebnisse zum Ausgabewerk A. Dieses setzt die Impulsfolgen in Dezimalzahlen um und schreibt sie z. B. mit einer Schreibmaschine vom Fernschreibertyp automatisch aus.

Bevor wir zur Besprechung der Realisierungsmöglichkeiten einzelner Bauelemente übergehen, soll noch einiges zu den verwendeten Zahlensystemen gesagt werden.

DAS BINÄRE ODER DUALE ZAHLENSYSTEM

Wir sind vermutlich durch die Zehnzahl unserer Finger und Zehen daran gewöhnt, dekadisch, d. h. mit 10 Grundzahlen 0÷9 zu rechnen. Mit Rücksicht auf

diese Gewohnheit wird man von einer Maschine verlangen müssen, daß das Eingabewerk und das Ausgabewerk nur dekadische Zahlen aufnehmen bzw. abgeben. Innerhalb der Maschine ist man indessen nicht an das dekadische System gebunden, allerdings ist bei einem Systemwechsel am Eingang und Ausgang eine Umrechnung erforderlich.

Wollte man auch in der Maschine dekadisch rechnen, dann könnte man etwa daran denken, Impulse mit 10 verschiedenen Amplituden zu benutzen, man könnte aber auch etwa jede Ziffer durch eine Folge von 10 Impulsen darstellen, von denen jedoch einer entweder größer ist als die anderen oder ganz ausgelassen wird an einer Stelle, die die Größe der darzustellenden Ziffer charakterisiert. Diese beiden hier angedeuteten Möglichkeiten bringen aber große technische Schwierigkeiten mit sich; deshalb ist man in den meisten Maschinen heute dazu übergegangen, jedenfalls im Innern der Maschine mit sogenannten dualen Zahlen im reinen Dualsystem (Binärsystem) oder mit geeigneten Modifikationen zu arbeiten.

Darunter versteht man die alleinige Verwendung der beiden Zahlzeichen 0 und 1 für das Zählen, aber unter Ausnutzung des Stellenwertprinzips. Es hat sich eingebürgert, bei der Verwendung des Dualsystems für das Zahlreiben 1 ein großes L zu schreiben. Während man im dekadischen System nur die Koeffizienten einer Kombination von Zehner-Potenzen anschreibt, z. B. $12,5 = 1 \cdot 10^1 + 2 \cdot 10^0 + 5 \cdot 10^{-1}$, wird im Dualsystem die gleiche Zahl so geschrieben, daß nur die Koeffizienten einer Kombination von Zweier-Potenzen aufgezeichnet werden, also im Beispiel LLOO, L = $1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 + 1 : 2^{-1}$. Die Folge der natürlichen Zahlen lautet dann also nicht 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, ..., sondern O, L, LO, LL, LOO, LOL, LLO, LLL, LOOO, LOOL, LOLO, LOLL, ... Die Multiplikation $6 \cdot 3 = 18$ sieht dual so aus:

$$\begin{array}{r} \text{LLO} \cdot \text{LL} \\ \text{LLO} \\ \text{LLO} \\ \hline \text{LOOLO} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{r} \text{LLO} \cdot \text{LL} \\ \text{LLO} \\ \text{LLO} \\ \hline \text{LOOLO} \end{array}} \right\} +$$

Offenbar besteht sie einfach aus Stellenverschiebungen — sogenannten „Schiftungen“ — und Additionen des Multiplikators. Schiftung um eine Stelle nach links ist dual aber einfach eine Multiplikation mit $2 = \text{LO}$ bzw. also wieder Addition der gleichen Zahl. (Man beachte, daß an die Stelle der gewohnten „Zehnerübertragung“ eine „Zweierübertragung“ tritt.) Bei dieser Art der Zahlendarstellung besteht zwar jede Zahl aus beinahe viermal so vielen Ziffern wie beim dekadischen System, aber jede einzelne Stelle kann nur einen von zwei Werten haben.

Zur Charakterisierung dieser beiden möglichen Werte lassen sich dann außerordentlich viele physikalische Effekte nutzbar machen. So ist es möglich, das Vorhandensein eines Impulses in einem bestimmten Moment zu identifizieren mit der Zahl L und das Ausbleiben mit der Zahl O. In ähnlicher Weise kann man das Ein- oder Ausgeschaltetsein eines Stromkreises,

den Wechsel zwischen zwei Spannungen, Magnetisierungs-, Ladungs-, Ionisierungs-, Leitfähigkeitseffekte u. a. heranziehen, sofern sie nur eine einfache ja-nein-Alternative zu beschreiben erlauben. Besonders eignen sich dazu auch die beiden möglichen Stellungen eines Relais oder eines einfachen Kipp-Schalters. Man wird beide allerdings wegen der höheren Arbeitgeschwindigkeit elektronisch gestalten. Ein Kipp-schalter aus Elektronenröhren heißt „Flip-Flop“.

Es zeigt sich, daß bei Verwendung des Dualsystems der Aufwand an Röhren im Rechenwerk kleiner ist als beim Dezimalsystem. Noch günstiger wäre das Rechnen im triadischen System, wie man nachweisen kann, d. h. die Verwendung von drei Grundzahlen 0, 1 und 2 oder $-1, 0$ und $+1$. Allerdings wäre der wenig geringere Aufwand durch eine größere Störanfälligkeit zu erkaufen, jedenfalls gilt das für den augenblicklichen Stand der Dinge. Die künftige Entwicklung läßt sich noch nicht übersehen. Große Maschinen arbeiten heute mit 12stelligen Dezimalzahlen, d. h. mit 40 Dualstellen (auch „Bits“ genannt). Die Darstellung negativer Zahlen geschieht entweder dadurch, daß man besondere Vorzeichenstellen vorsieht, oder aber man benutzt an ihrer Stelle das Komplement zu $99 \dots 9$, z. B. $+ 99 \dots 9786$ für $-00 \dots 0213$. Um Doppeldeutigkeiten zu vermeiden, darf man dann allerdings nur positive Zahlen bis $+ 50 \dots 0$ verarbeiten.

Dezimalbrüche werden entweder durch ein festes oder durch ein im Zuge der Rechnung bewegliches Komma dargestellt. Die zweite Möglichkeit erfordert naturgemäß mehr Aufwand. Das bewegliche Komma ist aber vor allem deshalb bequemer, weil das feste Komma eine Beschränkung aller vorkommenden Zahlen etwa auf den Raum zwischen 0 und 1 verlangt. Es ist nicht immer leicht, diese Bedingung durch einen passenden Rechenansatz einzuhalten.

Das Verarbeiten von durch Buchstaben gekennzeichneten Parametern in der Rechnung ist einstweilen kaum möglich.

Das Eingabewerk

Die in Gestalt von Lochkombinationen oder heute vorzugsweise in Form von Magnetisierungszonen auf einem Magnetophonband eingegebenen und als Impulsfolgen weiterverarbeiteten Befehle lösen in der Maschine durch Schaltungskombinationen Teilvorgänge aus, die sich in ihrer Gesamtheit zu dem durch das Programm beschriebenen Gesamtvorgang zusammensetzen. Anstelle von Lochstreifen (Papierbänder mit 4 oder mehr „Spuren“ nebeneinander) finden auch Lochkarten (mit 10×80 oder mehr zur Lochung vorgesehenen Punkten) Verwendung. Die Lochkombinationen werden durch Gleitkontakte abgetastet.

Eine stark vereinfachte Befehlsliste möge einen Einblick in die Fähigkeiten der Maschine geben: Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division, Kehrwertbildung, Stellenverschiebung nach links oder rechts um eine oder mehrere Stellen, Übertragungen von Zahlen von einem Maschinenteil zum anderen, Änderung der Kommastellung, der Adressenzahl usw., Übergang auf Unterprogramme, die in die Maschine fest eingebaut sind, Rückkehr zum Hauptprogramm — beides kann „bedingt“ oder „unbedingt“ geschehen (s. u.) —, Verwendung von fest in die Maschine eingebauten Tabellen usw., damit können jeweils Löschungsbeefehle gekoppelt sein, Maschine stop usw. Die Zahl der ausführbaren Befehle

schwankt von Maschine zu Maschine sehr stark, vielleicht zwischen 10 und 300 Befehlen.

Besonders bemerkenswert sind die Sprung- und Entscheidungsbefehle; ihre Verwendung ist der wesentliche Grund dafür, daß man heute das Programm gewöhnlich erst vom Lochstreifen aus in den Programmspeicher einführt und nicht direkt verarbeitet. Wo dieser scheinbare Umweg dennoch vermieden wird, spricht man von bandgesteuerten Maschinen. Mit Rücksicht auf die langen Programmierungs- und die kurzen Rechenzeiten sind insbesondere diejenigen Verfahren für Rechenmaschinen geeignet, die durch wenige einfache Operationen vielleicht zunächst nur grobe Näherungswerte liefern, die sich ihrerseits dann aber durch wiederholte Durchführung des gleichen Programms schrittweise verbessern lassen, selbst dann, wenn diese schrittweisen Verbesserungen nur sehr langsam zum Endwert führen. Solche Verfahren bezeichnet man als „Iterationsverfahren“. Die dauernde Wiederholung des gleichen Programms wird bei der Maschine erreicht durch einen „Sprungbefehl“; er sorgt dafür, daß das Programm bis zu einer bestimmten Stelle eingesteuert wird. Bei bandgesteuerten Maschinen klebt man zur Erreichung dieses Zieles vielfach einfach den Lochstreifen mit beiden Enden zu einem Ring zusammen, der die Maschine dann mehrfach durchläuft. Man spricht in diesem Falle von einem „zyklischen Programm“.

Schließlich ist es noch möglich, die Maschine bei Durchführung eines Iterationsprozesses selbst entscheiden zu lassen, ob eine vorgegebene Toleranz (z. B. für den Betrag der Iterationsschritt-Korrektur) bereits unterschritten wurde oder nicht. Im ersten Falle wird die Maschine das Hauptprogramm weiterverfolgen, während im zweiten Falle erneut das Iterations-Teilprogramm durchlaufen wird. Man spricht in diesem Falle von „Entscheidungsbefehlen“ oder von „bedingten Sprungbefehlen“.

Je nach dem durch die technische Gestaltung bedingten Charakter der Befehle unterscheidet man Ein-, Zwei-, Drei- und Vieradressenmaschinen. Jeder Befehl besteht aus dem Adressenteil und dem Operationsteil. Bei Einadressenmaschinen gibt die Adresse nur die Speicherzelle an, aus der eine Zahl genommen werden oder — eine andere Operation — wo sie hingebacht werden soll. Bei Zweiadressenmaschinen (z. B. Eniac) gibt jeder Befehl an, woher eine Zahl genommen und wohin sie gebracht werden soll. Bei der Dreiadressenbefehlsgebung werden zunächst zwei Zahlen aufgerufen, die zum Zwecke einer gewissen Operation dem Rechenwerk zuzuführen sind, und das Ergebnis soll an eine vorgeschriebene dritte Adresse gehen. Vieradressenmaschinen geben schließlich überdies noch an, welcher Speicherzelle der nachfolgende Befehl zu entnehmen ist.

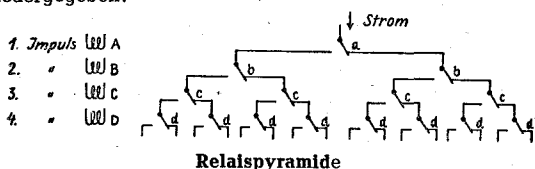
Programmteile, die in der Maschine vorgesehen sind und deren Ablauf durch einen einzigen Befehl ausgelöst wird, z. B. für das Radizieren, bezeichnet man als „Unterprogramme“. Zuweilen werden sogar Multiplikation und Division nicht direkt im Rechenwerk, sondern iterativ auf Grund eines Unterprogramms ausgeführt.

Für die Konstruktion gibt es noch in anderer Hinsicht zwei grundsätzlich verschiedene Lösungswege. Man kann entweder vorsehen, daß die Stellen einer Zahl bzw. die entsprechenden Impulse an einer Elektrode in zeitlicher Folge abgreifbar sind oder aber daß alle Stellen gleichzeitig räumlich nebeneinander erfaßt werden können. Im ersten Fall spricht man von einer Serienmaschine, im zweiten Falle von einer Parallelmachine; letztere sind zwar schneller, aber auch teurer. Der Einbau von Sondervorrichtungen wie etwa stets verfügbaren Funktionstabellen oder einer Vorrichtung zur Erzeugung zufälliger Zahlenfolgen für statistische Zwecke ist eine Frage des zulässigen Aufwandes.

Das Steuerwerk

Das Steuerwerk oder Leitwerk hat die Aufgabe, die Impulsfolgen in Schaltkombinationen umzusetzen. Eine Folge von 4 vorhandenen oder fehlenden Impulsen beispielsweise kann $2^4=16$ verschiedene Schaltmöglichkeiten charakterisieren. Die Ansteuerung einer bestimmten Operation geschieht mittels einer „Relaispyramide“ oder „Schaltmatrix“.

Der Einfachheit halber sei das Prinzip einer Relaispyramide wiedergegeben:



Bei Stromfluß betätigt Spule A den Kontakt a, analog Spule B die Kontakte b usw.

Durch die Impulse werden zeilenweise nacheinander die Relais betätigt bzw. nicht betätigt. Der Strom fließt dadurch auf einem von 16 möglichen, durch die Impulsfolge festgelegten Wegen in eine für jede Operation gesondert vorhandene Schaltung hinein, um alsdann gewisse Schaltrelais zu öffnen bzw. zu schließen. Ein Befehl der Stockholmer Maschine „Besk“ z. B. wird aus 20 vorhandenen oder fehlenden Impulsen aufgebaut, davon sind 12 für $2^{12}=4096$ Adressen und 8 für $2^8=256$ Operationen vorgesehen. In modernen Maschinen bevorzugt man eine Befehlsentschlüsselung auf statischem Wege mit Schaltmatrizen, in denen in großer Zahl Germaniumdioden Verwendung finden. Gekoppelt damit arbeiten gewöhnlich ein Befehlszähler und Kontrollanlagen. Wir können hier aber nicht weiter darauf eingehen.

Das Rechenwerk

Das in Serie oder parallel arbeitende Rechenwerk führt im allgemeinen nur Additionen aus. Alle anderen Operationen, d. h. Subtraktionen, Multiplikationen, Divisionen, Wurzelziehen, Integrationen usw. werden auf Additionen zurückgeführt und zumeist nach eingebauten Programmen iterativ vorgenommen.

Denkt man sich das Rechnen im Dualsystem zerlegt in seine Elementarbestandteile, so stellt man fest, daß jeweils die Aufgabe vorliegt, aus gewissen Kombinationen von Nullen und Einsen gewisse Kombinationen von Nullen und Einsen zu erzeugen. Betrachten wir als Beispiel die Addition zweier Dualzahlen und greifen wir zwei übereinanderstehende Ziffern heraus, dann sind aus den beiden übereinanderstehenden Ziffern x und y und evtl. einem Übertrag u ein Summenwert s und evtl. ein neuer Übertrag v zu bilden:

Beispiel:
$$\begin{array}{r} LLO \\ LL \\ \hline LOOL \end{array} +$$
 Schema:
$$\begin{array}{r} \dots x \\ \dots y \\ \dots u \\ \hline \dots s \\ \dots v \end{array} +$$

Für u, x und y sind die Kombinationen denkbar, die das folgende Schema in den ersten drei Zeilen enthält. s und v sind dann zwangsläufig:

u	0	0	0	0	L	L	L	L
x	0	0	L	L	0	0	L	L
y	0	L	0	L	0	L	0	L
s	0	L	L	0	L	0	0	L
v	0	0	0	L	0	L	L	L

Schema für duale Stellenaddition

Wir betrachten zunächst nur die beiden Variablen x und y. Beide können allein die Werte 0 oder L=1 annehmen. Im Aussagenkalkül der mathematischen Logik bezeichnet man x und y als „Aussagenvariable“, der Wert 1 (dort schreibt man 1 statt L) wird gedeutet als „richtige Aussage“, der Wert 0 als „falsche Aussage“. 0 und 1 heißen „Wahrheitswerte“. Dann läßt sich im Rahmen der theoretischen Logik zeigen, daß alle denkbaren Aussagenverbindungen kombinierbar sind aus nur drei Grundverknüpfungen, nämlich *)

*) Streng genommen genügt sogar eine — gleichfalls schalttechnisch nachbildbare — „Relation“, der „Scheffersche Strich“ $x/y = (1-x)(1-y)$, damit ist nämlich $\bar{x} = x/x$, $x\bar{y} = x/y_{x/y}$ und $x\bar{y} = \bar{x}/y/y$. Man arbeitet jedoch aus Gründen der Aufwandverringerung gewöhnlich mit 3 oder mehr Grundrelationen.

- 1) der Negation: $\bar{x} = 1 - x$ (sie ist richtig, wenn x falsch ist und umgekehrt)
- 2) der Disjunktion: $x \vee y = x + y - xy = 1 - \bar{x} \cdot \bar{y}$ (sie ist nur falsch, wenn x und y falsch sind, sonst immer richtig; v ist die Abkürzung für das lateinische „vel“ = nicht ausschließendes „oder“)
- 3) der Konjunktion: $x \& y = xy$ (sie ist nur richtig, wenn x und y richtig sind, sonst immer falsch; & steht als Abkürzung für „und“)

Der Querstrich, das v und das & sind aufzufassen als Abkürzungen für die rechts neben dem Gleichheitszeichen stehenden Verknüpfungen. Die erste Grundverknüpfung enthält nur eine Aussagenvariable, die beiden anderen dagegen je zwei. Die nachstehenden 3 Tabellen zeigen, in welcher Weise durch diese Grundverknüpfungen Wahrheitswerte einander zugeordnet werden:

x	0	1
\bar{x}	1	0

Negation

x	0	0	1	1
y	0	1	0	1
$x \vee y$	0	1	1	1

Disjunktion

x	0	0	1	1
y	0	1	0	1
$x \& y$	0	0	0	1

Konjunktion

Zuordnung der Wahrheitswerte

Mit diesen logischen Grundfunktionen läßt sich algebraisch rechnen. Dabei ist zu beachten, daß n-te Potenzen jeweils ersetzbar sind durch erste Potenzen, z. B. $x^3 = x$, da die Variablen nur 0 oder 1 sein können. Für den eingerahmten Teil der Additionstabelle Abb. 5 beispielsweise findet man:

$$s = x + y - 2xy = (1 - \bar{x}\bar{y}) \cdot (1 - xy) = (x \vee y) \& \overline{(x \& y)}$$

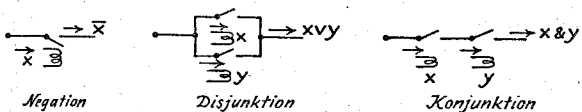
$$v = x \cdot y = x \& y$$

(Um das Prinzip deutlicher hervortreten zu lassen, beschränken wir uns auf die Fälle, in denen der ankommende Übertrag u den Wert 0 hat. Die zugehörigen parallel arbeitenden unvollständigen Addierschaltungen bezeichnet man als „Halbaddierer“.)

Damit ist die Zurückführung der Summe s und des weitergehenden Übertrages v auf die drei Grundverknüpfungen Negation, Disjunktion und Konjunktion geleistet. In ähnlicher Weise lassen sich s und v auch bilden, wenn der ankommende Übertrag u mit verarbeitet wird. Analog laufen die Überlegungen bei anderen Funktionen.

Da man nun die drei logischen Grundoperationen leicht durch Schaltungen realisieren kann, muß deren Kombination auf Grund der obigen Überlegungen auch z. B. die Aufstellung von Schaltungen zur Ermittlung von s und v erlauben. In der hier angedeuteten Weise hat C. E. Shannon von 1938 an die dem Logiker geläufige Boole'sche Algebra (1847) dazu verwendet, um verschiedenartige algebraische Operationen in Schaltungen umzusetzen. H. H. Aiken hat sogar eine „Minimizing“ genannte Methode zur schaltalgebraischen Gewinnung optimal einfacher Schaltungen entwickelt.

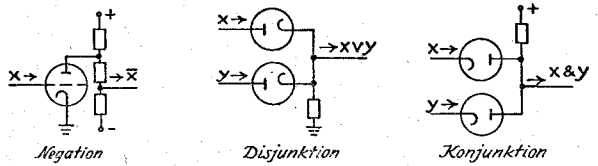
Aus der großen Fülle der in der Literatur angegebenen Verwirklichungsmöglichkeiten für Schaltungen, welche unsere drei logischen Grundverknüpfungen nachkonstruieren, greifen wir zunächst die Realisierungen durch elektromechanische Relais heraus:



Realisierungen durch elektromechanische Relais

In der Negationsschaltung fließt der jeweilige, die Ziffer \bar{x} darstellende Strom — kurz: der Strom \bar{x} —, wenn der Strom x in der Relaispule nicht fließt und umgekehrt. In der Disjunktionsschaltung fließt der Strom $x \vee y$, wenn entweder x oder y oder beide Ströme fließen. In der Konjunktionsschaltung schließlich fließt der Strom $x \& y$ nur dann, wenn x und y beide fließen.

Im Prinzip die gleichen Wirkungen erzielt man mit den folgenden Trioden- bzw. Dioden-Schaltungen:

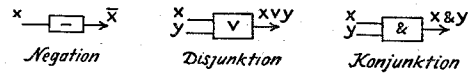


Realisierungen durch elektronische Röhrenschaltungen

Man ordne etwa den Zahlen 0 und 1 die Spannungspegel -20 Volt bzw +20 Volt zu. Ein negatives Potential x am Gitter der Negations-Triode bedingt ein positives Potential am rechten Abgriff und umgekehrt.

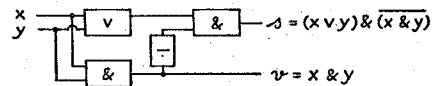
In den Diodenschaltungen denke man sich beispielsweise Null durch 0 Volt und 1 durch +20 Volt wiedergegeben. Die Dioden haben Gleichrichterwirkung. Liegen in der Disjunktionsschaltung an den Eingängen für x oder y oder an beiden positive Potentiale, dann läßt sich rechts ein gleich hohes Potential abgreifen, sind dagegen x und y negativ, dann gilt dasselbe für $x \vee y$.

Liegen im zweiten Falle in der Konjunktionsschaltung an x oder y oder an beiden negative Potentiale, dann ist rechts ein negatives Potential abgreifbar; nur wenn x und y positives Potential besitzen, dann ist auch $x \& y$ relativ positiv. Durch den Zusammenbau derartiger Grundschaltungen, die wir kurz durch



Symbole

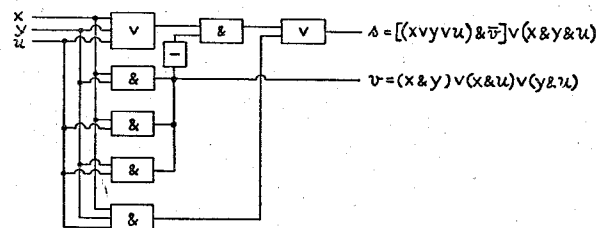
symbolisch darstellen wollen, unabhängig davon, ob die Realisierung mit Relais oder mit Röhren geschieht, können wir nunmehr auf Grund des obigen schaltungslogischen Resultats einen Halbaddierer konstruieren:



Halbaddierer

Während die Anzugszeiten elektromechanischer Relais in der Größenordnung einiger Millisekunden liegen, arbeiten Röhrenschaltungen praktisch trägheitslos. Überdies sind sie erheblich weniger Abnutzungserscheinungen unterworfen.

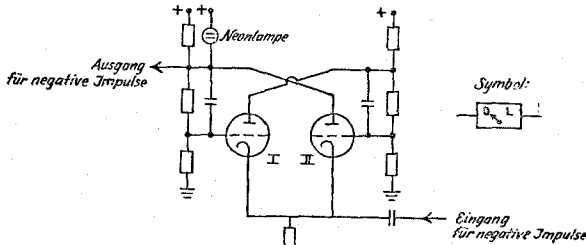
In ähnlicher Weise läßt sich z. B. eine vollständige Addierschaltung für Parallelbetrieb gewinnen. Wir übergehen hier die Herleitung und geben nur das Resultat an.



Vollständige Addierschaltung

Eine weitere wichtige Grundschaltung ist die im Jahre 1919 von Eccles und Jordan veröffentlichte „Flip-Flop-Schaltung“. Sie findet als Element von Zählschaltungen, Addierschaltungen und Speichern in Serienmaschinen Verwendung. Sie besteht im einfachsten Falle aus zwei Trioden, deren Anoden jeweils an das Gitter der anderen Röhre angeschlossen sind. Sie besitzt, ähnlich wie ein Kippschalter, zwei stabile Zustände, die dadurch charakterisiert sind, daß entweder die eine oder die andere Röhre stromführend ist. Ein Zustand werde mit 0, der andere mit L=1 identifiziert. Nehmen wir

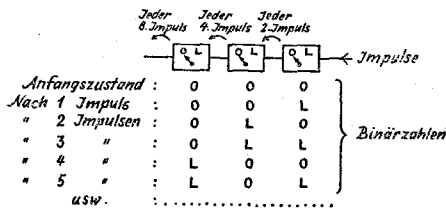
an, die Röhre I sei stromführend, die Röhre II gesperrt. Ein einkommender negativer Impuls erniedrigt das Kathodenpotential der Röhre II unter ihr Gitterpotential. Dadurch beginnt sie zu leiten, ihr Anodenstrom verursacht eine Herabsetzung des Gitterpotentials an der Röhre I, deren Anodenstrom absinkt. Dadurch wiederum steigt das Potential am Gitter der Röhre II an, der Anodenstrom wird vergrößert, die Sperrung der Röhre I vergrößert usw. bis zur Sättigung des Stromflusses in der zweiten Röhre und zur Sperrung der ersten Röhre. Ein neuer Impuls wirft die Schaltung abermals um usw. Der jeweilige Zustand der Schaltung läßt sich an Neonlampen ablesen.



Flip-Flop-Schaltung

Vielfach werden die beiden Trioden zu einer Doppeltriode zusammengefaßt. In anderen Flip-Flop-Schaltungen verwendet man Pentoden, und zuweilen werden sie nicht über die Kathoden, sondern über die Gitter durch Impulse angesteuert.

Durch Hintereinanderschaltung mehrerer Flip-Flops in der folgenden Weise erreicht man nun, daß jeder einkommende negative Impuls die Schaltung der ersten Doppeltriode von einem stabilen Zustand in den anderen wirft (angedeutet durch den Zeiger auf dem Symbol, der entweder auf 0 oder L steht); nur jeder zweite Impuls aber bewirkt einen abgehenden negativen Impuls, der seinerseits die nachfolgende Röhre umwirft, so daß jeder vierte Impuls an die dritte geht usw.



Binärzählwerk

Damit ist die Zweierübertragung realisiert, und man hat ein Binärzählwerk.

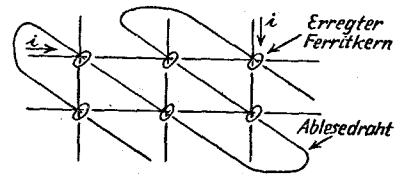
Wie die Schiftung zu geschehen hat, wurde schon früher angedeutet. Soll das Ergebnis z. B. um eine Stelle nach links gerückt werden, dann ist einfach die gleiche Zahl erneut zu addieren.

Das Speicherwerk

Beim Bau des Speicherwerkes der Maschine kann man sich einer großen Zahl verschiedener physikalischer Prinzipien bedienen. Der heute wohl am meisten verwendete Typus ist der „Magnetrommelspeicher“. Er besteht aus einer zylindrischen Trommel von 10÷40 cm Durchmesser und 15÷50 cm Länge, deren Oberfläche mit einer dünnen magnetisierbaren Schicht bedeckt ist und die mit 3000÷15 000 Umdrehungen pro Minute rotiert. Über der Schicht, die in eine große Zahl von ringförmigen „Spuren“ aufgeteilt ist, sind einige hundert „Magnetköpfe“ angebracht, deren Magnetisierungszustand dipolartig durch stromdurchflossene Spulen gesteuert und umgesteuert werden kann. Positive oder negative Impulse von wenigen Mikrosekunden Dauer verursachen, ähnlich wie beim Magnetophonband, verschiedenartige Magnetisierungszonen in der Trommeloberfläche.

Auf diese Weise lassen sich 10÷35 Impulse pro mm, d. h. etwa 50 000 zehnstellige Dezimalzahlen in Dualform aufzeichnen. Die Ablesung geschieht mit den gleichen Magnetköpfen in Form von durch die Magnetisierungszonen induzierten Spannungen. Ähnlich arbeiten Speicher mit Magnetophonbändern. Auf diesen lassen sich sogar bis zu 500 000 zehnstellige Dezimalzahlen speichern. Beide Speicherarten besitzen jedoch trotz ihrer großen Kapazität zwei Nachteile: Erstens sind sie mechanisch empfindlich, und zweitens sind die Suchzeiten zu lang. Sie liegen gewöhnlich in der Größenordnung von einigen Millisekunden.

Eine Speicherart, die diese beiden Nachteile nicht aufweist, sind die immer mehr aufkommenden „Ferritkern-Speicher“. In ihnen dient zur Aufnahme jeweils einer Dualziffer ein ringförmiger Ferritkern von etwa 3 mm Durchmesser. Das Material ist ausgezeichnet durch eine beinahe rechteckige Hysteresis-Schleife. Die Kerne werden auf Zeilen- und Spaltendrähten so aufgereiht, daß die Drähte die Kernebenen unter einem Winkel von 45° durchstoßen. Die auf diese Weise gitterförmig zu sogenannten „Matrizen“ angeordneten Ringkerne besitzen Abstände von etwa 1 cm.



Ferritkernspeicher

Während ein Strom i , der nur durch einen der Drähte fließt, die Magnetisierungszustände der durchflossenen Ringkerne unverändert läßt, verursacht eine Kombination je eines entsprechenden Stromes durch einen horizontalen und einen vertikalen Draht eine Ummagnetisierung des Kernes im Kreuzpunkt der beiden Ströme. Ein weiterer, durch alle Ringkerne gemeinsam gezogener Draht dient zur Ablesung. Dazu schickt man — genau wie bei der Eingabe — einen Strom durch einen horizontalen und einen zweiten durch einen vertikalen Draht, wodurch der Magnetisierungszustand des Ringes in dem Kreuzpunkt der beiden Drähte entweder umschlägt oder nicht. Dadurch wird im Ablesedraht entweder eine Spannung induziert oder nicht. Die beiden möglichen Fälle identifiziert man wieder mit L bzw. 0. Durch Zusatzschaltungen kann man erreichen, daß die entnommene Zahl im Speicher regeneriert wird, sofern das nötig ist.

Derartige Speicher sind naturgemäß mechanisch weniger empfindlich, und die Suchzeiten betragen nur wenige Mikrosekunden. Viele Maschinen haben heute einen langsamen Magnetrommelspeicher von großer Kapazität und einen Ferritkern-Schnellspeicher von geringerer Kapazität nebeneinander.

Das Ausgabewerk

Bevor die Rechenergebnisse zur Ausgabe gelangen, werden sie erst wieder in das Dezimalsystem übertragen. Dazu kann man z. B. sogenannte Flip-Flop-Ringschaltungen verwenden. Die Ausgabe der Zahlen geschieht mit elektrischen Schreibmaschinen, die in der Lage sind, 10÷15 Ziffern pro Sekunde zu drucken. Zuweilen verwendet man auch elektrisch arbeitende Lochstanzer, die bis zu 60 Ziffern pro Sekunde ausgeben können. Das ist sehr langsam, wenn man zum Vergleich bedenkt, daß die modernen Maschinen (Norc) bis zu 15 000 Elementaroperationen pro Sekunde ausführen. Die Impulsfrequenzen schwanken zwischen einigen 100 und einigen 1000 kHz.

PROBLEME UND ANWENDUNGSGEBIETE FÜR RECHENMASCHINEN

Die durch elektronische Rechenanlagen bearbeitbaren Probleme können den verschiedensten Gebieten entstammen. Wir nennen einige Beispiele:

Eine Aufgabe, die z. B. für die Landwirtschaft und die Seefahrt von größter Wichtigkeit ist, ist die genaue und langfristige Wettervorhersage. Man ermittelt dazu in einem bestimmten Zeitpunkt in Wetterstationen für ein größeres Gebiet, z. B. für ein Achtel der Erdoberfläche, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Temperatur und weitere meteorologische Daten und errechnet die Ausgleichsvorgänge durch Integration der partiellen Differentialgleichungen der Aero- und Hydrodynamik. In Schweden hat man auf diese Weise bisher gute Wettervorhersagen für mehrere Tage innerhalb weniger Stunden erhalten. Man hofft jedoch, im Laufe der Zeit eine zuverlässige Wettervorhersage für 30 Tage oder mehr geben zu können.

Weitere Aufgaben sind die Ermittlung von Querschwingungen von Schiffen, von Flatterschwingungen für Flugzeugtragflächen, die Durchrechnung von bei Überschallgeschwindigkeit auftretenden Effekten, die Durchrechnung von Raketenbahnen, von Bauingenieursproblemen beim Bau von Brücken und Stauwerken, die rechnerische Verfolgung von Flutwellen zum Zwecke von Vorhersagen, die rechnerische Lösung elektrotechnischer Schaltprobleme sowie die Durchrechnung verschiedenartigster Probleme der Atomphysik, der Astronomie, der Optik und anderer Teilgebiete der Physik. Die Leistungsfähigkeit der elektronischen Rechenmaschinen geht zum Beispiel daraus hervor, daß zur Lösung des oben beschriebenen Problems der Wettervorhersage mit Tischrechenmaschinen 50 Rechner etwa 1 Jahr arbeiten müßten. Neben rein mathematischen und statistischen Problemen interessieren auch verkehrstechnische, maschinenbautechnische, biologische und medizinische Probleme, deren Bearbeitung wegen des zu großen Aufwandes bisher nicht in Angriff genommen werden konnte.

Diese Liste ließe sich beliebig verlängern. Von besonderem Interesse sind noch volkswirtschaftliche Probleme. So könnte man beispielsweise fragen, welche Konjunkturschwankungen eine bestimmte Heraufsetzung des Butterpreises für andere Sektoren der Lebensmittelindustrie zur Folge haben würde. In Amerika hat man auch militärisch-strategische Fragen behandelt. Ferner sind Spezialmaschinen eingesetzt worden für umfangreiche Lohnabrechnungen und sogar für die Übersetzung russischer Texte ins Englische. Obwohl dabei sogar grammatische Regeln verarbeitet werden können, dürfen einstweilen keine allzu großen Ansprüche an die literarische Qualität der Übersetzungen gestellt werden. In Amerika verwendet man gewisse Analogiegeräte zur Flugsimulation für die gefahrlose Ausbildung von Flugschülern. Das sind Geräte, in denen Flugbahnen von Flugzeugen künstlich nachgebildet werden und in denen die richtigen und falschen Reaktionen der Flugschüler kontrolliert werden können. Man kann ferner Maschinen als Spielpartner für gewisse Spiele verwenden, man kann sie überprüfen lassen, ob gewisse große Zahlen Primzahlen sind oder nicht, sie können

automatisch den Wochentag für ein gegebenes Datum berechnen, Reaktionszeiten bei psychologischen Prüfungen testen und vieles andere mehr.

Im Rahmen der Untersuchungen der von Norbert Wiener begründeten Kybernetik ist man der Frage nachgegangen, in welchem Umfange die technischen Rückkoppelungsvorgänge in Schaltsystemen ein Analogon besitzen in gewissen Vorgängen, die sich in den Nervenbahnen von Lebewesen abspielen. Man hat die Frage zu beantworten versucht, in welchem Umfange Maschinen werten und lernen können und wo überhaupt die Grenzen von Maschinen liegen. Bei der Durchrechnung von Iterationsprozessen ist, wie schon oben gesagt wurde, die Maschine durchaus in der Lage, selbst je nach dem Ausfall eines bestimmten Zwischenergebnisses auf Grund von Entscheidungsbefehlen eines von verschiedenen Unterprogrammen auszuwählen, allerdings eben nur im Rahmen der von Menschenhand eingebauten Möglichkeiten, nicht aber nach freiem Willen. Auch sehr elementare Lernvorgänge lassen sich nachkonstruieren, etwa in folgender Weise: Man veranlaßt die Maschine dazu, wiederholt eine unlösbare Aufgabe in Angriff zu nehmen. Jeder negative Erfolg wird dazu benutzt, einen Kondensator mit einer gewissen Ladung zu beschicken. Wenn die Spannung am Kondensator eine bestimmte Größe überschreitet, wird dadurch die Reaktion der Maschine geändert, beispielsweise in dem Sinne, daß die Maschine streikt. Zur Kennzeichnung der Grenzen, die der Maschine gesetzt sind, sei ein Ausspruch von Blaise Pascal wiedergegeben, der ebensogut von einem Rechenmaschinenkonstrukteur unserer Zeit stammen könnte: „Die Rechenmaschine bringt Wirkungen zustande, die dem Denken näher kommen als alles, was die Tiere tun. Aber sie vollbringt nichts, was zu der Behauptung veranlassen könnte, sie habe Willenskräfte wie die Tiere.“

Doch wenn auch die Leistungen der modernen Großrechenanlagen schon heute einigermaßen erstaunlich sind, und wenn auch der Umfang des Einsatzes in den kommenden Jahrzehnten ständig anwachsen wird, so hüte man sich vor utopischen Vorstellungen. Für Rechenmaschinen gilt übertragen, was Lichtenberg von anspruchsvollen Büchern sagt: „...wenn ein Affe hineinsieht, kann kein Apostel heraus schauen!“ Schon Pascals Addiermaschine ist zu ihrer Zeit überschätzt worden, wie aus einem Brief seiner Schwester Gilberte hervorgeht. Sie schreibt: „Dieses Werk wurde als Naturwunder angesehen, weil dadurch eine Wissenschaft, die ganz und gar im Geiste wohnt, in eine Maschine eingefangen wurde, und weil damit die Mittel gefunden waren, alle Operationen dieser Wissenschaft mit absoluter Sicherheit auszuführen, ohne die Vernunft zu benötigen.“

Während der Eniac noch mit 18 000 Röhren und einer Leistungsaufnahme von 200 Kilowatt arbeitete, haben moderne Maschinen bei gleicher Leistungsfähigkeit nur noch einige hundert bis etwa tausend Röhren, sie nehmen größenordnungsmäßig 10÷20 Kilowatt Leistung auf.

Durch den verstärkten Einsatz von Transistoren und den Ausbau der Ferritkern-technik hofft man im Laufe der Zeit auch noch die letzten mechanischen Bauelemente aus den Maschinen verbannen, die Röhrenzahlen weiter herabdrücken und die Leistungsaufnahme abermals um eine Zehnerpotenz erniedrigen zu können. Damit wird sich auch eine Verkleinerung und Verbilligung der Maschinen ergeben.

Die Baupreise schwanken heute noch zwischen einigen Hunderttausend und einigen Millionen Mark, und die Bauzeiten belaufen sich auf Jahre. Die Mieten betragen einige hundert Mark pro Stunde.

Während der Eniac noch vornehmlich durch Röhrenausfälle in 30% der Arbeitszeit nicht einsatzfähig war, betragen die Ausfälle an den moderneren Maschinen nur noch wenige Prozent der Arbeitszeit.

Zur Erhöhung der Arbeitssicherheit gibt es eine große Zahl von Kontrollmöglichkeiten. Einzelne Maschinen haben zwei getrennt arbeitende Werke, die nur solange weiterarbeiten, wie gleiche Zwischenergebnisse vorhanden sind, und die Störungen durch das Aufleuchten von Kontrolllampen melden.

In anderen Maschinen verwendet man Ziffern-Codes mit konstanter Quersumme, die fortlaufend kontrolliert wird. Gehen Impulse verloren, oder kommen durch Selbsterregung Impulse hinzu, dann meldet sich die Maschine. Ferner kann man innerhalb der Maschine in regelmäßigen Zeitabständen Kontrolltests durchführen. Zuweilen ist es möglich, die Probleme wieder bis zu den Anfangsdaten zurückzurechnen. Die Stockholmer Maschine Besk meldet bei automa-

tisch eingeschalteten Röhren-Prüfungen selbsttätig defekte Röhren an. Gegen die durch das Bedienungs-personal veranlaßten Eingabe- oder Programmierfehler allerdings kann auch die Maschine nichts machen. Deshalb sammelt man gesicherte Programme oder Programmteile in Programmbibliotheken.

Es wird zweckmäßig sein, an geeigneten Stellen Rechenzentren einzurichten, in denen Fachpersonal eingesandte Aufgaben bearbeitet. Betriebe, für die sich die Aufstellung einer eigenen Rechenanlage nicht lohnt, werden aber doch vielleicht entsprechend ausgebildete Mathematiker als Programmierer anstellen und sich ein Programmiergerät zulegen. Es gibt sogar schon Methoden, mit denen man die langwierigen Programmierarbeiten von der Maschine selbst durchführen lassen kann.

Die künftige Entwicklung wird eine tiefgreifende Umgestaltung der Vorbildung des Betriebspersonals sowie der Fabrikationsmethoden erfordern.

Man wird die mathematischen Methoden und die Fertigungsmethoden den neuartigen Bedingungen anpassen müssen, die sich durch die Automation und den verstärkten Einsatz elektronischer Maschinen für Industrie und Wirtschaft ergeben, beispielsweise dadurch — wie das in Amerika bereits geschieht —, daß man die Verdrahtungen in Rundfunkgeräten nicht lötet, sondern auf Isolatorplatten drückt.

Wenn es gelingt, der schwierigen sozialen Probleme Herr zu werden, die sich mit der neuen Entwicklung verbinden, dann wäre es denkbar, daß sie sich zum Segen für die Menschheit auswirkt.

Summary: The Working Principle of Electronic Computers and their Relations to Automation. After giving a historical account of the development of calculating machines, the article explains the working principles of programme-controlled electronic computers: it sets out the physical phenomena underlying the technical operation of the machines as well as the principles on which the intellectual work to be performed by them is transformed into mathematical formulae. Examples are then given of the applications which have as yet been found for the use of electronic computers. The limits set to these modern machines are characterized by the author with a quotation from the pen of the French thinker Blaise Pascal: "The calculating machine performs work which more approximates thinking than anything animals can do. But it performs nothing substantiating the claim that it has will power such as animals have."

Résumé: Machines à calcul électroniques: Principes de travail et rapports avec l'automatisme. Après un précis historique sur le développement des machines à calcul, l'auteur explique le principe de travail de machines à calcul électroniques guidées selon programmation. Cela veut dire qu'il nous renseigne sur les conditions physiques du fonctionnement technique ainsi que sur les principes suivis pour mathématiser le travail de raisonnement créateur à fournir par les machines. Ensuite l'auteur délimite à l'aide de quelques exemples les secteurs d'activité déjà en état de profiter de l'emploi de machines à calcul électroniques. Afin de caractériser les limites de capacité de ces instruments modernes, l'auteur cite une sentence du philosophe français Blaise Pascal, disant à peu près: La machine à calcul produit des effets plus proche à la pensée humaine que tout comportement des animaux. Pourtant elle ne produit rien pour nous faire prétendre qu'elle possède des forces de volonté comme les possèdent les animaux.

Resumen: El principio de trabajo de las máquinas de calcular electrónicas y sus conexiones con la automatización. Después de un resumen histórico del desarrollo de la máquina de calcular, se explican los principios de trabajo de las máquinas de calcular electrónicas gobernadas metódicamente, a saber tanto las condiciones físicas para la función técnica de las máquinas como los principios según los cuales el trabajo espiritual realizado por ellas es matematizado. A continuación se dan ejemplos de los campos de aplicación que han sido abiertos para el empleo de máquinas de calcular electrónicas. El autor caracteriza los límites de tales máquinas modernas con las palabras del filósofo francés Blaise Pascal: „La máquina de calcular realiza efectos que están más cerca a la acción de pensar que todo lo que hacen los animales. Pero la máquina no hace nada que podría causar la afirmación que tenga fuerzas de voluntad como los animales.“