

STATIONEN IN DER ENTWICKLUNG MECHANISCHER UND ELEKTRONISCHER

RECHENHILFSMITTEL

H.K.Kaiser (TU WIEN)

Schon immer hat der Mensch versucht, Erleichterungen für die Bewältigung mühsamer Arbeiten zu finden. Eine dieser mühsamen Arbeiten ist das Rechnen. Zur besseren und rascheren Durchführung des Rechenvorganges wurden immer wieder Erfindungen gemacht. Zunächst bemühte man sich um eine geeignete Darstellung der Zahlen, um etwa große Zahlen möglichst effizient und ökonomisch anschreiben zu können, oder um die Grundrechenarten rasch ausführen zu können. In diese Entwicklungslinie gehört die Erfindung neuer Zahlensysteme, wie etwa die des dezimalen Zahlensystems (Indien, 6. - 8. Jahrhundert), oder die Entwicklung der Algorithmen für die Grundrechenarten in diesem System. Dabei erforderte die Multiplikation und die Division einen größeren Aufwand als die Addition und Subtraktion. Vor allem bei der Durchführung der umfangreichen Berechnungen in der Astronomie und im Vermessungswesen dauerte der Rechenvorgang häufig sehr lange. Zur Verkürzung der Rechenzeit erdachte man Methoden, um die Multiplikation und die Division auf die Addition und die Subtraktion zurückzuführen. Der erste Versuch in diese Richtung stammt von Johannes Werner (16. Jahrhundert), der die sogenannte prostapheiretische Methode ersann (Rückführung der Multiplikation auf die Addition und Subtraktion mittels der Sätzchen der trigonometrischen Winkelfunktionen). Diese Methode setzte sich wegen ihrer Kompliziertheit nicht durch. Ein Meilenstein bei der Erleichterung der Rechenvorgänge war die Erfindung der Logarithmen, die unabhängig voneinander vom Schotten John Napier und vom Schweizer Jost Bürgi in den ersten Jahren des 17. Jahrhunderts bewerkstelligt wurde. Zur Bedeutung der Erfindung der Logarithmen bemerkte der französische Mathematiker Pierre Simon Laplace: "Durch die Arbeits-

erleichterung infolge der Verwendung von Logarithmen wird das Leben der Astronomen verdoppelt."

Neben diesen "software-artigen" Behelfen verwendete man auch "hardware-artige" Hilfsmittel. Neben den Fingern (es wurden im Mittelalter sogar Manuskripte mit Anleitungen zum "Fingerrechnen" geschrieben) war es vor allem das Rechenbrett (Abakus) in seinen verschiedenen Ausprägungen, das man bis in unser Jahrhundert zur Erleichterung des Rechenvorganges einsetzte.

Wir wollen nun kurz die weitere Entwicklung der mechanischen und elektronischen Rechenhilfsmittel an Hand einiger wesentlicher Entwicklungsstationen beschreiben.

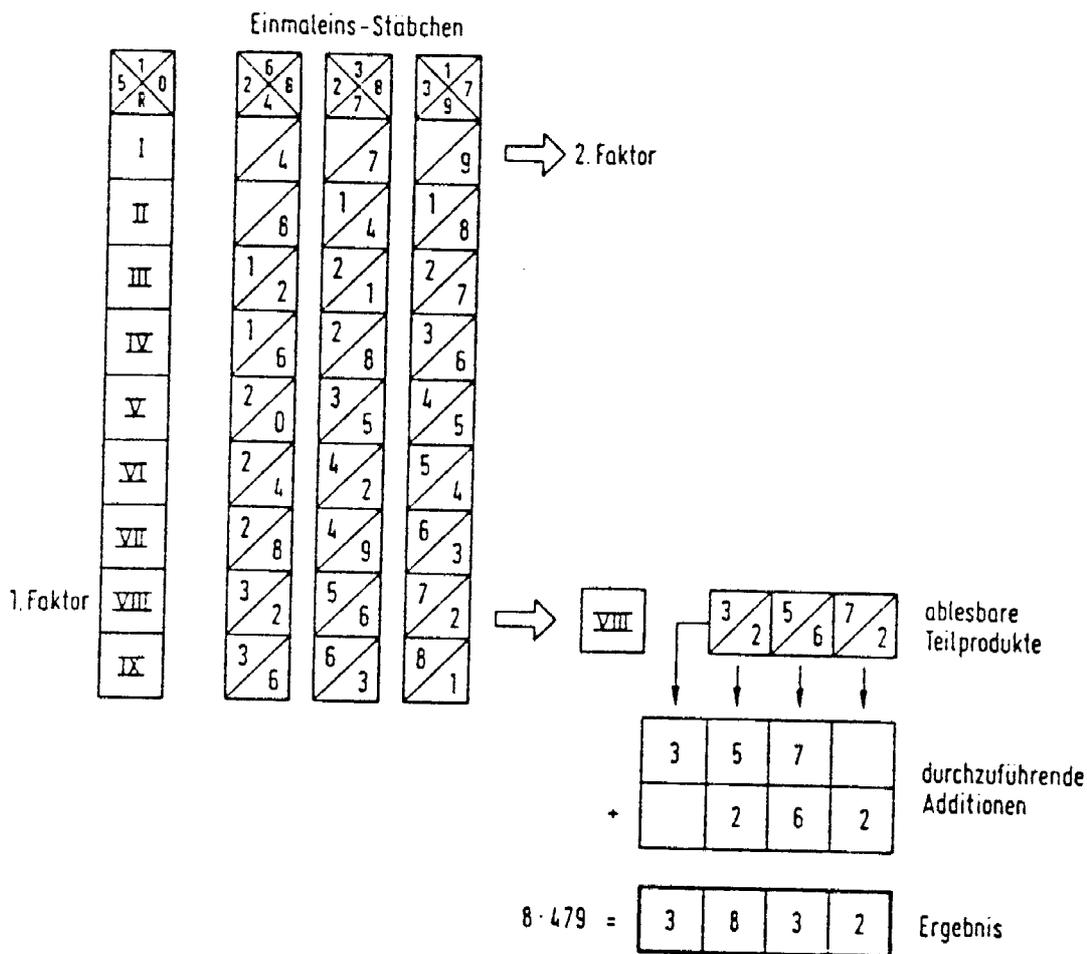
1. Mechanische Rechenmaschinen

Bald nach der Erfindung der Logarithmen kam man auf den Gedanken, die Multiplikation durch die Addition zweier logarithmischer Längenmaßstäbe zu ersetzen. Diese grundlegende Idee des Rechenschiebers stammte vom Engländer Edmund Gunter (1624). Zunächst wurden die Längen noch mit dem Zirkel abgenommen, aber schon um 1650 hatte sich die heutige Form mit beweglicher Zunge ausgebildet (William Oughtred). Diese Rechenschieber ermöglichten eine schnelle Durchführung der Rechenoperationen. Zur Erhöhung der Genauigkeit, stellte man immer längere Stäbe her (Rechenwalzen). Erst um 1970 wurde der Rechenschieber durch den Taschenrechner verdrängt.

Napier machte noch eine weitere Erfindung, die die Entwicklung der ersten Rechenmaschinen wesentlich beeinflusste. Er erfand nämlich die sogenannten Rechenstäbchen. Auf Holzstäbchen wurde das kleine Einmaleins für die Zahlen 1 bis 9 geschrieben. Das Ergebnis der Multiplikation einstelliger Faktoren konnte man so unmittelbar ablesen. Das Ergebnis von $4 \cdot 7$ steht in der vierten Zeile des Stäbchens für 7. Die Multiplikation mehrstelliger Faktoren wurde durch geschicktes Nebeneinanderlegen der Stäbchen für jeden Stellenwert und darauffolgendes Addieren der abgelesenen Teilprodukte durchgeführt.

Beispiel

Aufgabe: $8 \cdot 479 = ?$



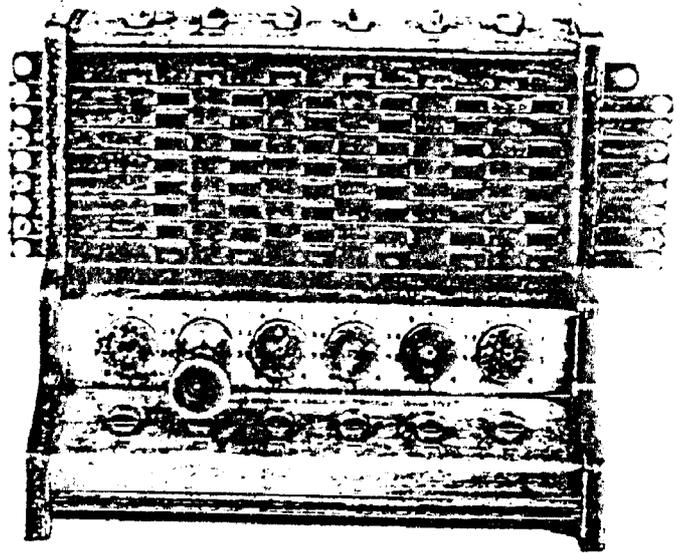
In diesem Beispiel sucht man die achte Zeile der ausgelegten Stäbchen für 4, 7 und 9 auf, liest die Teilprodukte ab und erhält das Ergebnis aus der im richtigen Stellenwert durchgeführten Addition.

Die erste Rechenmaschine, die diesen Namen auch verdient, wurde von Johannes Kepler in Zusammenarbeit mit Wilhelm Schickhard entwickelt. Wilhelm Schickhard (1592 - 1635) war Professor für biblische Sprachen an der Universität Tübingen. Nach dem Tod seines Lehrers Maestlin übernahm er auch den Lehrstuhl für Mathematik und Astronomie. Er galt als Universalgenie und großer Erfinder. 1617 traf er mit dem großen Astronomen und Mathematiker Johannes Kepler (1571 - 1630) zusammen. Die Anregung zur Konstruktion der Rechenmaschine, der sogenannten "Rechenuhr", empfing er aus seinem Briefwechsel mit Napier. Gemeinsam mit Kepler plante Schickhard die Rechenuhr. Das erste Exemplar der Maschine, das wahrscheinlich einwandfrei funktionierte, ging in den Kriegswirren des

30-jährigen Krieges verloren. Das zweite Exemplar wurde beim Mechanikus Johann Pfister in Auftrag gegeben und war für Kepler bestimmt. Es wurde jedoch kurz vor der Auslieferung durch einen Brand zerstört.

Einen Einblick in die Wirkungsweise der Maschine gewinnen wir aus einem Brief von Schickhard an Kepler vom 20.9.1623:

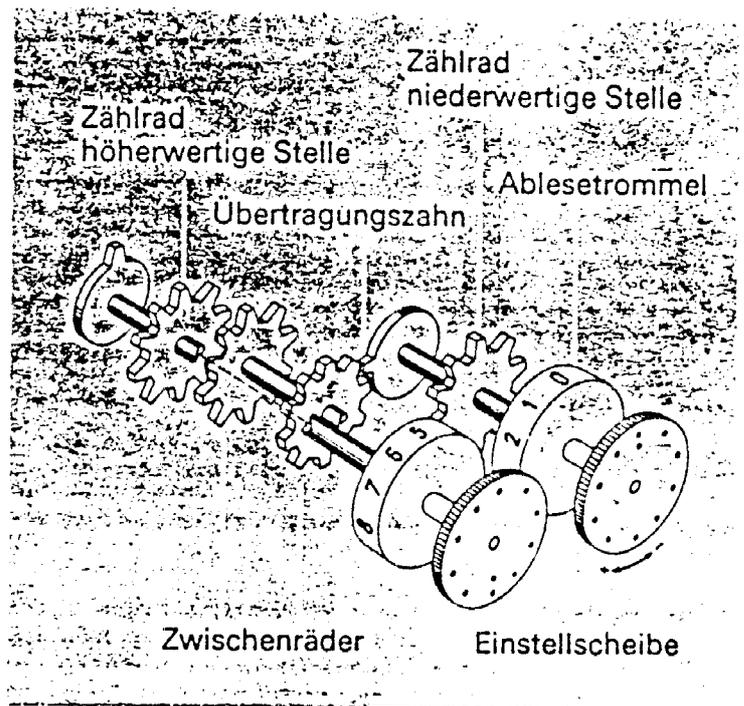
"Dasselbe, was Du auf rechnerischem Wege gemacht hast, habe ich kürzlich mechanisch versucht und eine aus 11 vollständigen und 6 verstümmelten Rädchen bestehende Maschine gebaut, welche gegebene Zahlen im Augenblick automatisch zusammenrechnet: addiert, subtrahiert, multipliziert und dividiert. Du würdest hell auflachen, wenn Du da wärest und sehen könntest, wie sie, so oft es über einen Zehner oder Hunderter wegeht, die Stellen zur Linken ganz von selbst erhöht oder ihnen beim Subtrahieren etwas wegnimmt."



Auf Grund der gefundenen Zeichnungen, Beschreibungen und Briefe aus dem Nachlaß von Schickhard und Kepler wurde die Rechenuhr nachgebaut. Sie funktioniert einwandfrei. Exemplare der Rechenuhr befinden sich u.a. im Kepler-Museum in Weil der Stadt und in der Aula der Johannes-Kepler-Universität Linz.

Die Rechenuhr ist eine intelligente Verschmelzung der Rechenstäbchen Napiers mit einem Addierwerk. Sie ist zur Durchführung der vier Grundrechenarten für bis zu sechsstelligen Zahlen ausgelegt. Der obere Teil der Rechenuhr besteht aus einem Multiplizier- und Dividierwerk. Auf sechs Walzen wird jeweils das gesamte Einmaleins senkrecht nach unten aufgeschrieben. Jede Walze entspricht einer Dezimalstelle. Mittels horizontal beweglicher Schieber kann man die Teilprodukte mit dem am Schieber angebrachten Faktor direkt ablesen (siehe Rechenstäbchen).

Im unteren Teil befindet sich das Addierwerk. Es ist aus dekadischen Zählrädern mit je 10 Raststellungen für die Ziffern 1, 2, ..., 9, 0 aufgebaut. Die Summanden werden mit einem Stichel durch Verdrehen der Einstellscheiben an der Vorderseite eingestellt. Die Addition erfolgt durch Drehen im Uhrzeigersinn, die Subtraktion durch Drehen in entgegengesetzte Richtung. Bei einer vollen Umdrehung bewirkt ein Übertragungszahn die Übertra-



gung auf die nächsthöhere Dekade. Die Rechenuhr war also mit einer automatischen Zehnerübertragung ausgestattet. Die Arretierung der Räder wurde durch Rastfedern und Rastrollen erreicht.

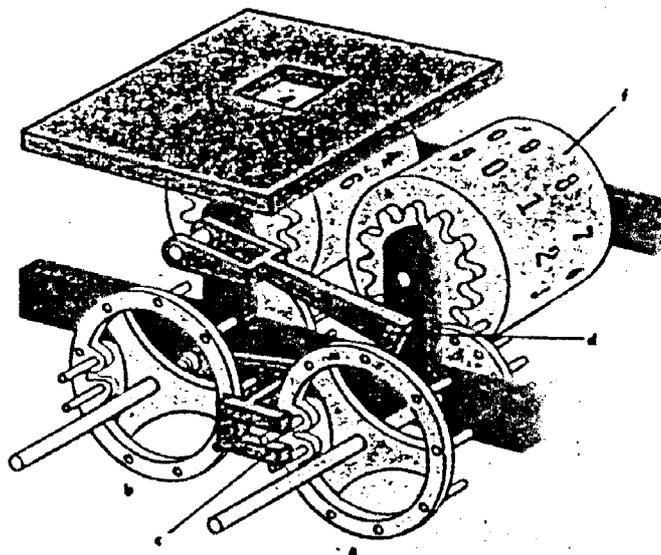
Am Sockel befand sich eine einfache Art der Datenspeicherung. Auf sechs Merkscheiben mit Anzeigefeldern konnte man Zwischenresultate speichern.

Die Multiplikation $2456 \cdot 4$ geht so vor sich: Zunächst stellt man die Zahl 2456 mittels Drehknöpfen an den Walzen ein. Die Teilprodukte zum Faktor 4 erhält man dann, wenn man den vierten Schieber nach links schiebt. Dadurch werden die Produktzahlen jeder Stelle sichtbar: 24 an der ersten Stelle, dann 20, 16 und 08. Nun werden diese Zahlen stellenrichtig im Addierwerk eingestellt, d.h. 4 am ersten Zählrad, 2 + 0 am zweiten, 6 + 2 am dritten, und 8 + 1 am vierten Rad. Das Ergebnis ist $9824 = 2456 \cdot 4$.

Die erste Rechenmaschine, die in größerer Stückzahl gebaut wurde, konstruierte Blaise Pascal (1623 - 1662). Seine Maschine konnte allerdings nur addieren und subtrahieren (durch Komplementbildung). Die Maschine entwickelte Pascal für seinen Vater, um dessen Rechenarbeit als Finanz-

verwalter zu erleichtern. Das Addierwerk besteht aus dekadischen Zählrädern. Der

Zählräder und Zehnerübertrag von Pascal.
 a - Einerrad
 b - Zehnerrad
 c - Klaue,
 d - Sperrklinke,
 e - Abdeckplatte,
 f - Zahlenwalze



Zehnerübertrag wird über eine Klaue samt Mitnehmstift erreicht. Ansonsten arbeitete das Addierwerk wie jenes von Schickhard.

Probleme gab es für Pascal auf dem Gebiet der Feinmechanik (diese Probleme durchziehen die Geschichte der mechanischen Rechenmaschinen wie ein roter Faden). So gab es Probleme mit der Verzahnung der Zählräder (die Zykloidenverzahnung wurde erst um 1650 erfunden).

Im folgenden Beispiel wird die Methode der Komplementzahl für die Subtraktion beschrieben:

Beispiel

Subtraktion

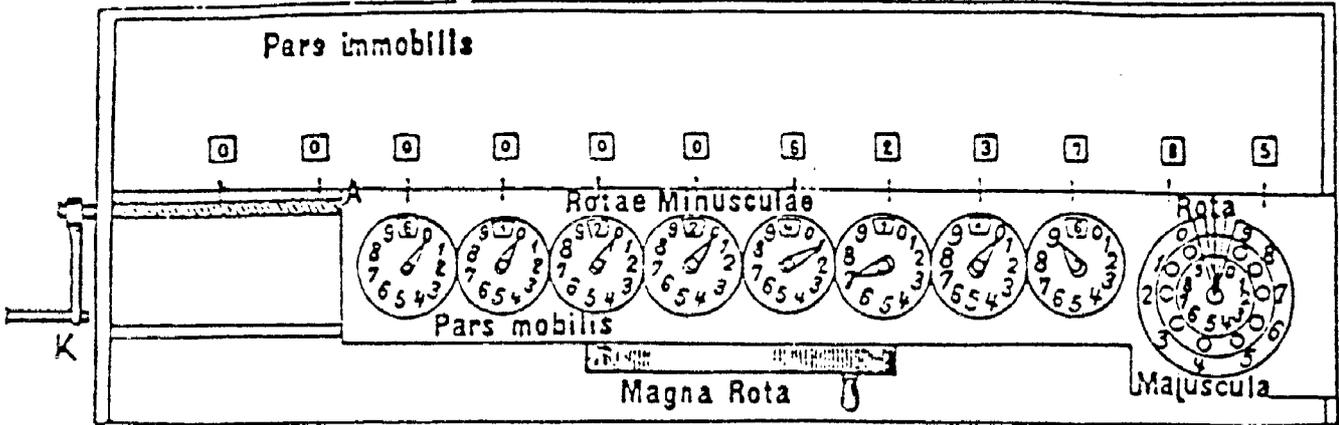
52318	Minuend
- 04932	Subtrahend
<u>47386</u>	Differenz

Addition

Die Komplementzahl von 04932 ist 95067

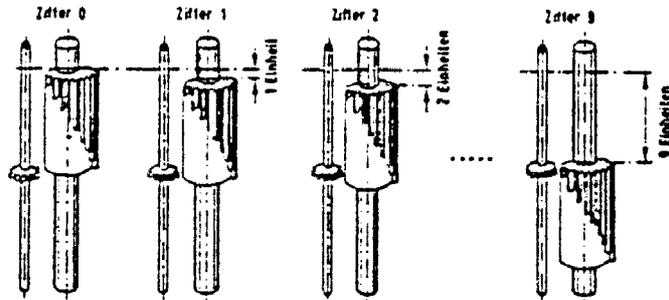
52318	Minuend
+ 95067	Komplement
<u>147385</u>	
+ 1	Erhöhung der geringsten Stelle um 1
<u>147386</u>	
<u>47386</u>	Abtrennen der höchsten Stelle: Differenz

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 - 1716) entwarf 1672 eine völlig neue Rechenmaschine für die vier Grundrechenarten. Er hatte die Idee, die Multiplikation durch die mehrfache Addition zu ersetzen. Dadurch machte er die Rechenstäbchen überflüssig (diese Idee kam noch bei den mechanischen Rechenmaschinen des 20. Jahrhunderts zur Anwendung). Die Maschine besteht aus einem festen zwölfstelligen Resultatwerk und einem beweglichen achtstelligen Einstellwerk. Neben den 8 Einstellrädern ist ein größeres Rad angebracht, das als Umdrehungsanzeiger für die Multiplikation bzw. als Quotientenanzeiger für die Division fungiert. Zur Berechnung des Produkts wird der Multiplikand an den Einstellrädern eingestellt, die niedrigste Ziffer des Multiplikators am Umdrehungs-



zähler. Dann dreht man das Haupttriebrad so lange, bis der Umdrehungs-
zähler den Anschlag erreicht. Der Multiplikand wird dadurch entsprechend
oft in das Resultatwerk übertragen. Dann verschiebt man das Einstell-

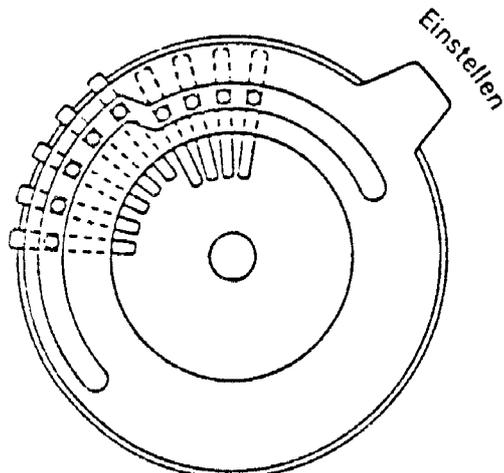
werk um eine Stelle nach links
und wiederholt den Vorgang mit
der nächsten Ziffer des Multi-
plikators. Zur Einstellung der
Ziffern erdachte Leibniz die
sogenannte Staffelwalze (neben-



stehende Abbildung zeigt das Zusammenwirken von Staffelwalze und Zahn-
rad bei verschiedenen Ziffern). Daher nennt man seine Maschine auch
Staffelwalzenmaschine. Auch Leibniz hatte Probleme mit der Feinmechanik,
vor allem bei der Zehnerübertragung, wodurch bei der Benützung der
Maschine immer wieder Fehler auftraten.

Daher konzentrierten sich die weiteren Bemühungen zunächst auf eine Ver-
besserung des Zehnerübertrags.

Der Italiener Giovanni Polenus
entwarf 1709 die sogenannte
Sprossenradmaschine, die bereits
mit Gewichtsantrieb arbeitete.
Das Sprossenrad (nebenstehende
Abbildung zeigt das Prinzip des
Sprossenrades) ist ein Zahnrad
mit beweglichen Zähnen, die sich



durch Drehen einer Kurvenscheibe nacheinander herausschieben lassen, d.h. man kann die einzelnen Ziffern durch Winkeldrehung einstellen. Jedoch auch für dieses Prinzip war die Feinmechanik damals noch nicht weit genug entwickelt. Die Maschine konnte von Polenus nie zu fehlerfreiem Funktionieren gebracht werden. Dies gelang erst 1727 dem Wiener Antonius Braun, der eine einwandfrei funktionierende Sprossenradmaschine baute (ein Modell steht im Technischen Museum Wien).

In den Jahren 1770 bis 1774 baute der Württemberger Matthäus Hahn die erste fehlerfrei arbeitende Staffelwalzenmaschine.

Ein wesentliches Element der modernen Rechenautomaten ist die Programmsteuerung. Wir wollen nun kurz auf die historische Entwicklung dieses Konzepts eingehen.

2. Die Entwicklung der Programmsteuerung

Bereits in der Antike wurden Automaten zu verschiedenen Zwecken erdacht. So konstruierte beispielsweise Heron einen automatischen Türöffner. Diese Automaten verwendeten mechanische, hydraulische oder pneumatische Übertragungsglieder, die nach einem fest vorgegebenen Ablaufprogramm verkettet wurden. Wichtige Erkenntnisse brachten die astronomischen Uhren und die im 18. Jahrhundert so beliebten Androiden, Spieldosen und Musikautomaten. Der eigentliche Durchbruch für die Programmsteuerung war jedoch die Erfindung der Lochkarte. Im Jahre 1728 baute der französische Mechaniker Falcon eine Steuerung für Webstühle, wobei er Holzbrettchen mit Löchern an bestimmten Stellen verwendete. Diese Löcher dienten zur Auslösung der Steuerfunktionen. Die Idee setzte sich durch und 1805 baute Joseph Jacquard den nach ihm benannten programmgesteuerten Webstuhl. Als Speichermedium für die Information zur Steuerung der Programmabläufe verwendete er gelochte Karten aus Karton. Als Begründer der maschinellen Datenverarbeitung wird üblicherweise der Amerikaner Hermann Hollerith angesehen. Er war Mitarbeiter bei der Auswertung der Daten der amerikanischen

Volkszählung 1880. Um von der manuellen Auswertung wegzukommen und diese langwierige Aufgabe Maschinen übertragen zu können, lochte er die Daten der Erhebung in einer Art Symbolschrift auf Karten. Ausgewertet wurden die Karten, indem man sie in einen Kontaktapparat einlegte, der über Fühler bei jedem vorhandenen Loch einen Stromkreis schloß, zu einem Zählwerk führte oder die Klappen eines Sortierwerkes öffnete. Die amerikanische Volkszählung im Jahre 1890 benützte Holleriths Ideen mit Erfolg. Eine Abart der Maschinen Holleriths baute 1890 Otto Schöffler in Wien, um die Volkszählung in Österreich zu bewältigen. 1910 wurden die Lochkartenmaschinen auch in Deutschland verwendet.

3. Rechenautomaten mit Programmsteuerung

Im 18. und 19. Jahrhundert verwendeten die Mathematiker Tafelwerke zu den verschiedensten Zwecken (Multiplikationstabellen, Sinustabellen, Logarithmentabellen, Tabellen für die Luftdichte als Funktion der Meereshöhe zu bestimmter Zeit, Tabellen für die Gravitationskonstanten an verschiedenen Punkten der Erde usw.). Der Mensch macht jedoch Fehler bei der Berechnung mathematischer Tafeln. Immer wieder mußten Fehlerlisten zu den vorhandenen Tafeln publiziert werden. Es lag also ein Bedürfnis nach Überprüfung der Richtigkeit solcher Tafeln vor. Als Beispiel betrachten wir die Berechnung einer Tafel für die Werte von $N^2 + N + 41$ für $N \in \mathbb{N}_0$ (das Beispiel stammt von Charles Babbage):

N	$N^2 + N + 41$	D_1	D_2
0	41		
1	43	2	
2	47	4	2
3	53	6	2
4	61	8	2
5	71	10	2
6	83	12	2
7	97	14	2
8	113	16	2
9	131	18	2

Die Spalte D_1 wird durch die Differenzen aufeinanderfolgender Werte in der Spalte $N^2 + N + 41$ gebildet, in D_2 stehen die Differenzen aufeinanderfolgender Werte in D_1 .

Die Fortsetzung der Tafel erreicht man nun ohne Multiplikation. Für $N = 10$ nimmt man die Eintragung für D_2 in der darüberstehenden Zeile für $N = 9$, addiert sie zur Eintragung in D_1 : $18 + 2 = 20$, und addiert das Ergebnis zur Eintragung in der Spalte $N^2 + N + 41$. Man erhält $131 + 20 = 151$, also den Wert von $N^2 + N + 41$ für $N = 10$. Dieser Vorgang läßt sich leicht maschinell durchführen.

Die Wichtigkeit solcher Tafeln liegt in der Tatsache, daß jede stetige Funktion auf einem abgeschlossenen Intervall durch Polynome beliebig genau approximiert werden kann (Approximationssatz von Weierstraß). Und die Werte jedes Polynoms $f(x)$ können auf analoge Weise aus Differenzentafeln berechnet werden. Hat f den Grad n , so ist die n -te Differenz D_n konstant.

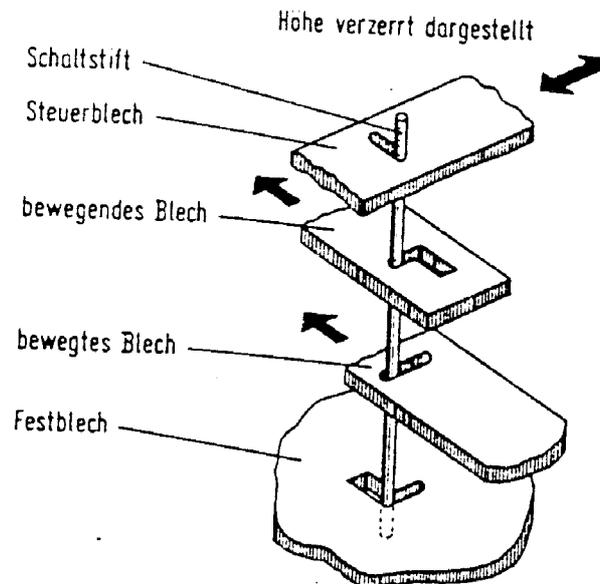
Die Idee zur mechanischen Ausführung dieser Rechnungen hatte der englische Mathematiker Charles Babbage (1792 - 1871), als er mit der Überprüfung fehlerhafter Logarithmentafeln beschäftigt war. Er konstruierte eine Maschine nach dem Differenzenprinzip, die sogenannte "Difference Engine". 1822 entstand ein Modell für zwei Differenzen und 8 Dezimalstellen. Eine Maschine für sieben Differenzen und 20 Dezimalstellen wurde wegen Problemen mit der Feinmechanik nie vollständig fertiggestellt. Die Maschine führte also genau ein Programm (externe Steuerung) durch. Zwar war das Programm relativ komplex, aber es handelte sich doch nur um die Automatisierung eines speziellen Prozesses. 1833 entwarf Babbage das erste Konzept eines digitalen Rechenautomaten, die sogenannte "Analytical Engine". Das Projekt verschlang Unsummen, wurde aber nie fertig. Vom Plan her war es jedoch sehr nahe an den modernen Geräten unseres Jahrhunderts, wie etwa dem MARK I. Diese problemlösende Rechenmaschine sah bereits alle modernen Funktions-

gruppen vor. Babbage plante eine arithmetische Recheneinheit (mill), die mit dekadischen Zählrädern bestückt war, einen Zahlenspeicher (store) für 1000 Zahlen zu je 50 Stellen, eine Steuereinheit zur Steuerung des Programmablaufes, der Rechenoperationen und des Datentransports (mittels Lochkarten) und die Ein- und Ausgabe von Daten (Resultatdrucker und Kartenlocher). Sogar bedingte Verzweigungen waren vorgesehen. Bei Probeläufen benötigte die Maschine für die Addition zweier Zahlen jeweils eine Sekunde, für die Multiplikation einer 50-stelligen Zahl mit einer 50-stelligen Zahl eine Minute, für die Division einer 100-stelligen Zahl durch eine 50-stellige Zahl ebenfalls eine Minute.

Das Projekt trieb Babbage in den finanziellen Ruin. Seine Ideen gerieten in Vergessenheit. 100 Jahre später beschäftigte man sich wieder mit ähnlichen Projekten, und zwar unabhängig voneinander in Deutschland und in den USA.

In Deutschland war der Pionier auf dem Gebiet der Rechenautomaten Konrad Zuse (geboren 1910). In wesentlichen Zügen glich sein Plan eines programmgesteuerten Rechenautomaten aus dem Jahr 1934 der Grundstruktur der Analytical Engine von Charles Babbage (diese kannte Zuse jedoch nicht). Es gab ein Ein- und Ausgabewerk, eine Speichereinheit, ein Plansteuerwerk und ein Rechenwerk. Natürlich wurde der Rechengvorgang wie bei Babbage in einzelne Programmschritte zerlegt. Jedoch hatte Zuse einige wesentliche neue Ideen. Er stellte die Zahlen und die Operationsbefehle in rein dualer Form dar unter Verwendung bistabiler Schaltelemente (also von Elementen mit zwei Stellungen: "0" und "1"). Er fügte die Gleitkommadarstellung der Zahlen in sein Konzept ein und er benützte das Rechnen im "Aussagenkalkül" mit den logischen Grundoperationen "und", "oder" und "Negation". Zuse bemerkte, daß sich alle Zahlenrechnungen mit den drei logischen Grundoperationen ausführen lassen. Dementsprechend konstruierte er ein bistabiles mechanisches Schaltelement zur Ausführung der logischen Operationen

(siehe nebenstehende Abbildung). Zuse arbeitete in seiner Wohnung in Berlin und mußte die erforderlichen Bleche selbst aussägen. Infolge der unvollkommenen technischen Fertigung war die Maschine (Z1) zunächst nur in einzelnen Teilen funktionsfähig. Der Ausbruch des zweiten Weltkrieges verhinderte den Abschluß der Arbeiten an einem verbesserten Gerät



Prinzip des mechanischen Schaltgliedes

(Z2), in dem die bistabilen Grundelemente durch elektromagnetische Bauteile ersetzt wurden. 1940 begann Zuse die Arbeit am Z3 im Auftrag der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt. Im Jahr 1941 wurde der Relaisrechner fertiggestellt. Der Z3 war der erste programmgesteuerte Rechenautomat, der voll funktionsfähig war. Rechenwerk und Speicher bestanden aus etwa 2600 Fernmelderelais. Der Speicher bot 64 Zahlen zu je 22 Dualstellen (rund 7 Dezimalstellen) Platz. Die Zahlen wurden über eine Tastatur eingegeben, die Ausgabe erfolgte über ein Lampenfeld. Das Rechenprogramm enthielt keine bedingten Befehle, lief also nach einem starren Programm ab. Das Programm wurde achtspurig in Kinofilmstreifen gestanzt. Der Z3 konnte die vier Grundrechenarten ausführen. Daneben konnte er Wurzelziehen (über ein fest eingebautes Unterprogramm). In der Sekunde konnten 10 bis 20 arithmetische Operationen durchgeführt werden, eine Multiplikation dauerte knapp 5 Sekunden. Nach dem Krieg konnte Zuse seine Ideen in einer eigenen Firma kommerziell auswerten.

In den USA wurde der erste Rechenautomat von Howard H. Aiken entworfen und ab 1939 in Zusammenarbeit mit IBM gebaut. 1944 war der MARK I fertig. Das Gerät war ein elektromechanischer Rechner, hatte gewaltige Ausmaße (15 m lang, 2,5 m hoch) und ähnelte im Konzept den Plänen von

Babbage und Zuse (die Aiken aber nicht kannte). Das Rechenwerk und der Zahlenspeicher waren noch dekadisch aufgebaut, enthielt 72 Addierzähler zu je 23 Dezimalstellen und konnte in 0,3 Sekunden addieren, sowie zwei zehnstellige Zahlen in rund 6 Sekunden multiplizieren und in etwa 11 Sekunden dividieren. Die Eingabe erfolgte über Lochstreifen und Lochkartenleser, die Ausgabe über Kartenlocher und eine elektrische Schreibmaschine. Das Rechenprogramm war auf einem 24-spurigen Lochstreifen dual codiert. Es gab noch keine bedingten Programmbefehle.

In der Folge machte man sich beim Bau von Rechenautomaten eine Erfindung von Robert von Lieben (1906) zu Nutze, nämlich die Elektronenröhre. Zur ersten Computergeneration zählt man alle Rechenautomaten, in denen Elektronenröhren verwendet wurden. Durch die Ersetzung der Relais durch Elektronenröhren (Vermeidung beweglicher Teile) erreichte man eine wesentlich höhere Rechengeschwindigkeit. Die Idee zum Bau eines Rechenautomaten mit Elektronenröhren hatte in Deutschland Helmut Schreyer, der ab 1937 mit Zuse zusammenarbeitete. 1943 wurde die Erfindung eines volleelektronischen Speicher- und Rechenwerkes unter Verwendung von Glimmröhren von Schreyer patentiert. Die deutschen Behörden versagten dem Projekt eines elektronischen Rechners jedoch die Unterstützung. So wurde der erste volleelektronische Großrechner, der sogenannte ENIAC, 1945 in den USA von J.P. Eckert und J.W. Mauchly gebaut. Das Gerät zeichnete sich durch eine 2000-fache Rechengeschwindigkeit gegenüber den elektromagnetischen Relaisrechnern aus. Später wurde bekannt, daß John V. Atanasoff bereits 1942 eine Rechenanlage in Röhrentechnik fertiggestellt hatte, was zu einem heftigen Patentstreit führte.

Nun setzte eine rasante Entwicklung ein. Aiken baute 1951 seinen MARK III in Röhrentechnik. Als bemerkenswerte Neuerung brachte dieses Modell (aufgebaut aus 2000 Relais, etwa 5000 Elektronenröhren und 1300 Dioden) die Daten- und Programmeingabe mittels Magnetband. Als Speicher diente ein großes Magnettrommelwerk (4200 Speicherplätze) und

zur Ausgabe benützte man eine magnetbandgesteuerte Schreibmaschine. Der wesentliche Entwicklungssprung zur EDV-Anlage modernen Typs ist der Übergang vom starren, extern gespeicherten Programm zum flexiblen, intern gespeicherten Programm. Diese Idee und die jüngste Entwicklung wollen wir zum Abschluß noch kurz beschreiben.

4. EDV-Anlagen

Die bisher verwendeten Programme für die Rechenautomaten führten die Befehle in einer starren Folge aus. Die flexible Speicherprogrammierung, bei der der Automat selbsttätig Entscheidungen treffen kann, wurde 1944 von John von Neumann (1903 - 1957) bei der Konstruktion des Rechenautomaten EDVAC verwirklicht. John von Neumann codierte den Programmablauf wie die zu verarbeitenden Daten und speicherte sie in der Maschine. Das Programm bestand aus einer Folge von Einzelbefehlen und enthielt bedingte Befehle, die Rückwärts- und Vorwärtsverzweigungen ermöglichten. Jeder Programmbefehl mit Operations- und Adreßteil kann von der Maschine selbst wie jeder andere Operand geändert werden.

Die weitere Entwicklung der Computer (so wollen wir die Konzeption dieser Datenverarbeitungsanlagen nennen) schritt nun stürmisch voran. Sie ist geprägt durch technologische Fortschritte, vor allem beim Bedienungskomfort, bei der Leistungsfähigkeit bezüglich Speicherplatz und Rechengeschwindigkeit, und sie zeichnet sich durch eine fortschreitende Miniaturisierung aus. Wir beschränken uns hier auf die Nennung der einzelnen weiteren Entwicklungsphasen. 1955 wurde die zweite Computergeneration entwickelt, indem man die Elektronenröhren durch Transistoren ersetzte. Der erste Transistorrechner war der TRADIC, gebaut in den Bell Telephone Laboratories. Ab 1962 kam die dritte Computergeneration auf den Markt, bei deren Bau Transistoren in Salzkorngröße verwendet wurden und das Prinzip der Modulbauweise eingeführt wurde. 1968 verwendete man erstmals integrierte Schaltkreise in der Computertechnik (vierte Computergeneration).

1967 wurde der erste elektronische Taschenrechner gebaut, seit 1973 wird dieses nützliche Hilfsmittel in Serie erzeugt.

Natürlich sind die Computer in ihren Anfängen ein Kind der Mathematik gewesen und wurden in erster Linie zur Bewältigung mathematischer Probleme konzipiert. Mittlerweile hat sich rund um den Computer eine eigene Wissenschaft aufgebaut, nämlich die Informatik. Heute beeinflussen einander Mathematik und Informatik wechselseitig. So sind beispielsweise unter dem Einfluß der Informatik neue Gebiete der Mathematik entstanden, oder haben einen großen Aufschwung erlebt. Es trifft dies vor allem auf die Numerische Mathematik und die verschiedenen Gebiete der Diskreten Mathematik zu.

So hat sich der Computer zu einem technischen Hilfsmittel entwickelt, das starken Einfluß auf unser Leben, auf unsere Gesellschaft nimmt. Damit tun sich neben der Weiterentwicklung des Gerätes neue Probleme auf, die wir in der Zukunft zu lösen haben.

Literatur

- 1 Kurt Ganzhorn - Wolfgang Walter: Die geschichtliche Entwicklung der Datenverarbeitung.
IBM Deutschland, Stuttgart 1975.
- 2 Hermann H. Goldstine: The Computer from Pascal to von Neumann.
Princeton University Press, Princeton 1972.
- 3 Hans Kaiser - Wilfried Nöbauer: Geschichte der Mathematik für den Schulunterricht.
Hölder- Pichler-Tempsky, Wien 1984.
- 4 Edgar P. Vorndran: Entwicklungsgeschichte des Computers.
VDE-Verlag, Berlin 1982.
- 5 Konrad Zuse: Der Computer - Mein Lebenswerk.
Springerverlag, Berlin 1984.

ANHANG: ZEITTAFEL

ZAHLZEICHEN, ZAHLENSYSTEME, ALGORITHMEN FÜR DIE
GRUNDRECHENARTEN

Um 3500 v.Chr.	Erste Zahlensysteme (Ägypten, Babylon)
Um 700 n.Chr.	Anleitung zum Fingerrechnen (Beda Venerabilis)
6.-8.Jhdt.	Dezimales Zahlensystem (Indien)
Um 830	Al Khwarizmi (Arithmetik)
16.Jhdt.	Rechenmeister verbreiten Algorithmen für die Grundrechenarten
1514	Prostaphairetische Methode (Johannes Werner)
17.Jhdt.	John Napier (Logarithmen) Jost Bürgi (Progreßtabellen) Henry Briggs (Logarithmentafeln zur Basis 10)
1679	Gottfried Wilhelm Leibniz (Dualsystem)

RECHENHILFSMITTEL

Um 400 v.Chr.	Rechentisch (frühester Bildnachweis: Dariusvase)
Um 300 v.Chr.	Römischer Handabakus
Bis in Neuzeit	Ausbildung verschiedener Versionen der Abakus bzw. des Rechenbretts: Marmorabakus (Salamis, 4.Jhdt.v.Chr. ?) Suan-pan (China, 12.Jhdt.) Soroban (Japan) Stschoty (Rußland) Staubbretter (Orient) Linienabakus - "Rechnen auf den Linien" (Europa)
Um 1600	Napier erfindet Rechenstäbchen
1610	Edmund Gunter (logarithmische Rechenstäbchen)
1622	William Oughtred (Rechenschieber)

MECHANISCHE RECHENMASCHINEN

- 1623 Wilhelm Schickard (Konstruktion einer Rechenuhr mit Zählrad und automatischem Zehnerübertrag)
- 1642 Blaise Pascal (Rechenmaschine für Addition und Subtraktion)
- 1673 Gottfried Wilhelm Leibniz (Staffelwalzenmaschine)
- 1709 Johannes Polenius (Entwurf einer Sprossenradmaschine)
- 1727 Antonius Braun (funktionsfähige Sprossenradmaschine)
- 1774 Philipp Matthäus Hahn (Staffelwalzenmaschine, wurde in größerer Stückzahl hergestellt)
- 1821 Charles Xavier Thomas (serienmäßige Fabrikation mechanischer Rechenmaschinen in Paris)
- 1878 Arthur Burkhardt (Fabrik für mechanische Rechenmaschinen in Deutschland).

PROGRAMMSTEUERUNGEN

- Um 62 n.Ch. Heron von Alexandria (automatischer Türöffner)
- 14.Jhdt. Astronomische Uhren
- 18./19.Jhdt. Androiden, Spieldosen, Musikautomaten
- 1728 Falcon baut Webstuhl, gesteuert von Holzbrettchen mit Lochkombinationen
- 1805 Joseph-Marie Jacquard stellt einen von einem Lochkartenprogramm gesteuerten automatischen Webstuhl her.
- 1886 Hermann Hollerith entwickelt elektromechanische Sortier- und Zählmaschine zur Auswertung von Lochkarten (verwendet bei 11. amerikanischer Volkszählung 1890)
- 1890 Otto Schäffler (Lochkartenmaschinen in Österreich)

1910 Lochkartenmaschinen werden in Deutschland verwendet.

RECHENAUTOMATEN MIT PROGRAMMSTEUERUNG

1823 Charles Babbage: Differenzenmaschine

1833 Charles Babbage: Analytical engine

1936/38 Konrad Zuse: programmgesteuerte mechanische Rechenanlage (Z1)

1939 Konrad Zuse: Z2 (mit Relais-Rechenwerk)

1941 Konrad Zuse: Z3 (erster programmgesteuerter Rechenautomat, der voll funktionierte)

1942 John v. Atanasoff: Rechenanlage in Röhrentechnik

1943 Helmut Schreyer: Vollelektronisches Speicher- und Rechenwerk (Glimmröhren)

1944 Howard H. Aiken: MARK I

1945 J. P. Eckert und J. W. Mauchy: ENIAC

1947 Mark II (Relais-Technik)

1951 Mark III (Röhrentechnik, Magnetband)

EDV-ANLAGEN

1944 John von Neumann. Konzeption des ersten speicherprogrammierten Rechenautomaten (EDVAC), wird 1952 in Betrieb genommen

1946/49 Maurice v. Wilkens (EDSAC, Manchester)

1955 Zweite Computergeneration (Elektronenröhre durch Transistor ersetzt). Erster Transistorrechner: TRADIC (J. H. Felkner bei Bell Telephone Laboratories).

1962 Dritte Computergeneration (Transistoren in Salzkorngröße) - Miniaturisierung, Modulbauweise.

- 1967 Norman Kitz: erster elektronischer Taschenrechner
- 1968 Vierte Computergeneration (integrierte Schaltkreise)
- 1973 Serienfertigung elektronischer Taschenrechner

Ausschnitt aus der
Dariusvase.
Links der
Schatzmeister vor
dem Rechentisch
mit Rechensteinen



Anschrift des Verfassers:
Dr. Hans Kaiser, Institut für Algebra
und Diskrete Mathematik, TU Wien
Wiedner Hauptstraße 8 - 10
1040 Wien