

Wilfried de Beauclair

**Rechnen mit Maschinen**

Eine Bildgeschichte der Rechentechnik

2. Auflage

Wilfried de Beauclair

# Rechnen mit Maschinen

Eine Bildgeschichte der  
Rechentechnik

2. Auflage

Mit einem Vorwort  
von W. Brauer und R. Vollmar

Mit 509 Abbildungen

Professor h.c. Dr.-Ing. WILFRIED DE BEAUCLAIR  
Birkenweg 25  
89134 Blaustein

Faksimile-Ausgabe

Reprint der 1. Auflage, erschienen im Vieweg Verlag, 1968

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek  
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar

ISBN 3-540-24179-5  
Springer Berlin Heidelberg New York

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer ist ein Unternehmen  
von Springer Science+Business Media  
[springer.de](http://springer.de)

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005

Printed in Germany

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Umschlaggestaltung: deblik, Berlin  
Herstellung: Pro Edit GmbH, Heidelberg  
Repro: Hippmann GbR, Nürnberg  
Druck: ABC-Druck GmbH, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem Papier 33/3142/Re – 5 4 3 2 1 0

# Vorwort

## zur Faksimile-Ausgabe

Diese "Bildgeschichte der Rechentechnik" wendet sich keineswegs nur an Hardware-Spezialisten oder Technikhistoriker, wie der Buchtitel auf den ersten Blick vermuten lässt, sondern kann allen Informatikern und sogar auch Computer-Laien etwas bieten. Allein durch die vielen Fotos von Computern, mechanischen Rechenmaschinen, Lochkartenmaschinen, Ein- und Ausgabegeräten und Bauelementen von Computern kann man Zugang zur Entwicklung des Computers gewinnen. Dieser Zugang wird noch erleichtert durch erläuternde Zwischentexte und Bildbeschriftungen. Insbesondere das letzte Drittel dieses Werkes ist eine Art Lehrbuch, in dem die technischen Konzepte und Komponenten von Computern nicht nur mittels Text, sondern vor allem anhand von vielen Zeichnungen, Auszügen aus Patentschriften und zahlreichen Fotos erklärt werden. Wer noch mehr wissen möchte, kann die vielen Literaturhinweise nutzen.

Für Laien wie für Hardware-Spezialisten ist es faszinierend zu sehen, wie außerordentlich viele unterschiedliche Ideen und Konstruktionen am Beginn der Computer-Entwicklung standen. Wilfried de Beauclair war zweifellos einer der wenigen Computer-Pioniere, die aufgrund ihrer Ausbildung und ihrer Mitwirkung in der Lage waren, diese große Vielfalt zu kennen; aber er machte sich auch die Mühe, Dokumente zu sammeln: Verkaufsprospekte, Firmendruckschriften, Publikationen, Originalabbildungen etc. Viele der frühen Entwicklungen (Konzepte, Bauelemente und Geräte), zu denen auch Kurioses gehörte, sind verschwunden. Dank dieses Buches kann manches davon wiederentdeckt und vielleicht sogar als Motivation bei neuen Vorhaben genutzt werden.

Für Technikhistoriker, aber auch für Laien ist dieses Buch dadurch besonders wertvoll, dass es sich keineswegs nur auf die frühe Computer-Entwicklung – bis zur Mitte der 1960er Jahre – in der Bundesrepublik Deutschland und in den USA beschränkt. Wilfried de Beauclair beschreibt auch sehr ausführlich, was in der UdSSR, in Japan, Großbritannien, Frankreich, in der Schweiz, den Niederlanden, Italien, Österreich, Schweden und der Tschechoslowakei, vor allem aber auch, was in der DDR geschah – und dabei handelt es sich um sehr bedeutende Entwicklungen. Speziell die Pionierarbeiten in der DDR sind in den alten Bundesländern – auch 15 Jahre nach der Wiedervereinigung – kaum bekannt. Wer kennt schon z.B. die OPREMA? De Beauclairs Darstellung ist fast lückenlos und zeigt sehr klar, dass es nicht nur einen einzigen Weg zu den heute technisch weitgehend homogenen Computern gab. Jüngere Leser werden bei der Lektüre diese Buches erstaunt bemerken, welche große Rolle die deutsche Wissenschaft und Industrie bei der Compu-

ter-Entwicklung zunächst gespielt hat, und sich fragen, warum und wieso diese Position verloren ging.

Es ist ungefähr 40 Jahre her, dass dieses Buch entstand; damals war die Pionierzeit des Computerbaus im wesentlichen vorüber. Die Softwarekrise begann – Ideen zum Software-Engineering wurden gesucht, das Studienfach Informatik wurde eingeführt. Für die Mehrzahl der heutigen Informatiker ist wegen der rasanten Entwicklung ihres Faches die Pionierzeit des Computerbaus zur fernen Geschichte geworden. Aber zu einer Geschichte, für die man sich immer mehr interessiert, wie z. B. die "Historischen Notizen" im Informatik-Spektrum belegen oder die recht zahlreichen Bücher zur Informatik-Geschichte im Springer-Verlag und anderen Verlagen sowie die regelmäßigen Symposien der Gesellschaft für Informatik zu geschichtlichen Themen. Dieses ganz der Hardware gewidmete Buch ist eine sehr wichtige Ergänzung zu den bisherigen Informatik-geschichtlichen Werken, die vor allem abstraktere Ideen und Konzepte sowie die Software behandelten.

Natürlich interessieren beim Umgang mit Geschichte nicht nur die Produkte, wie z.B. Geräte oder Bücher, aus vergangener Zeit, sondern auch die Menschen, die diese geschaffen haben. Wer also ist es z. B., der dieses Buch verfasst hat? Statt einer größeren Würdigung von Professor Dr.-Ing. Wilfried de Beauclair soll hier wenigstens eine Kurzbiographie stehen:

Wilfried de Beauclair wurde 1912 in Ascona/Schweiz als zweiter Sohn eines Darmstädter Künstlerehepaares geboren. Er begann 1930 das Studium des Maschinenbaus an der Technischen Hochschule (TH) Darmstadt, interessierte sich für Feinwerktechnik und entwarf als Assistent bei Professor Dr. Alwin Walther am Institut für Praktische Mathematik (IPM) mathematische Geräte und Anlagen zur instrumentellen Bearbeitung von numerisch schwer lösbaren Aufgaben, so für die mehrdimensionale Fouriersynthese, und entwickelte Integrieranlagen für Differentialgleichungen. 1945 wurde er an der TH Darmstadt zum Dr.-Ing. promoviert. Nach französischer Internierung, Lazarettzeit und langer Arbeitsunfähigkeit war er ab 1955 in dem Team, das bei der Standard Elektrik Lorenz AG (SEL) in Stuttgart den deutschen Computer ER 56 entwickelte. Ab 1960 leitete er am Posttechnischen Zentralamt in Darmstadt das Referat zur Computerisierung der Postscheck- und Postsparkassendienste, bis er 1976 als leitender Oberpostdirektor in den Ruhestand ging. Er ist Autor von über 250 Fachaufsätzen, Mitglied der Gesellschaft für Informatik sowie der Internationalen Informatik-Akademie und wurde von der Technischen Universität Moskau MIREA als zur Weltelite der Informatiker gehörend zum Professor ehrenhalber ernannt.

Wir freuen uns sehr für Herrn de Beauclair, dass diese Faksimile-Ausgabe realisiert werden kann und danken ihm ganz besonders, dass er sein letztes eigenes Original exemplar dafür dem Springer-Verlag zur Verfügung gestellt hat – denn selbst antiquarisch ist sein “Rechnen mit Maschinen” nicht mehr zu erhalten. Großer Dank gebührt der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Unterstützung des Vorhabens und noch mehr dem Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft für die großzügige Druckkostenbeihilfe, die es dem Springer-Verlag erlaubte, das Risiko einer Faksimile-Ausgabe dieses

großformatigen und gewichtigen Bildbandes zu übernehmen. Wir hoffen sehr, dass dieses Buch viele interessierte Leser findet und insbesondere auch für die Lehre der Informatik an Hochschulen verwendet wird.

Professor Dr. Dr. h. c. mult. WILFRIED BRAUER  
Technische Universität (TU) München

Professor Dr.-Ing. ROLAND VOLLMAR  
Universität Karlsruhe (TH)

# Rechnen mit Maschinen

Eine Bildgeschichte der Rechentechnik

Mit 565 Bildern



Friedr. Vieweg & Sohn · Braunschweig

1968

*Alle Rechte vorbehalten*

*© by Friedr. Vieweg & Sohn GmbH, Verlag, Braunschweig*

*Library of Congress Catalog Card No. 68—8374*

*Satz und Druck: Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig*

*Buchbinder: S. Büge, Celle*

*Schutzumschlaggestaltung und Layout des Textteils: Heinz Hübner, Braunschweig*

*Printed in Germany*

*Bestell-Nummer 8246*

## Geleitwort

Die Datenverarbeitungsanlagen gehören wohl zu denjenigen technischen Gebilden, die sich in der letzten Generation am auffälligsten entwickelt haben. Die einzelnen Schritte folgten sehr schnell aufeinander, und noch immer ist die Entwicklung in vollem Fluß. Gerade aus diesem Grund werden aber auch Anlagen und Bauweisen, die vor einigen Jahren modern waren, sehr bald zu historischen Konstruktionen. Selbst den an der Entwicklung eng Beteiligten geht der Kontakt mit den ersten Stadien dieser Technik bald verloren. Um so mehr ist es zu begrüßen, daß der Verfasser des vorliegenden Bandes mit emsigem Fleiß und großer Sachkenntnis ein umfassendes Bild der historischen Entwicklung der Rechentechnik gegeben hat. Er ist hierzu besonders berufen, da er selbst bereits vor und während des zweiten Weltkrieges am Institut für Praktische Mathematik in Darmstadt an den Problemen arbeitete und sich somit selbst zur Generation der Pioniere rechnen darf.

Gerade aus der Sicht des Pioniers selbst ist es ja besonders interessant, nach Jahren hinter den bislang geschlossenen Vorhang zu blicken und zu verfolgen, wie ähnliche Ideen an verschiedenen Stellen zu bemerkenswerten Lösungen führten.

Der Verfasser betont, daß er diesen Band als eine erste Ausgabe betrachtet und daß er es begrüßen würde, wenn ihm von recht vielen Beteiligten, insbesondere von der einschlägigen Industrie, noch ausführlicheres Bild- und Daten-Material zur Verfügung gestellt werden könnte, um die Darstellung möglichst zu vervollständigen.

*Konrad Zuse*

## Vorwort

In wenigen Arbeitsgebieten wird die technische Entwicklung heute so schnell vorwärtsgetrieben wie in dem der Rechentechnik; vieles was noch vor wenigen Jahren mit großer Kunst erdacht, entworfen und gebaut, mit Stolz gezeigt und mit bestem Erfolg in Betrieb genommen wurde, ist in kurzer Frist überholt, weggestellt und bald vergessen worden. Aber auch die ersten Ursprünge sind oftmals nicht mehr bekannt, weil sie lange zurückliegen und damals kein allgemeines Interesse fanden. Daher erscheint es nicht ungerechtfertigt, den historischen Werdegang der Rechentechnik festzuhalten und die wichtigsten Marksteine der Entwicklung im Bilde aufzuzeigen. Manches Meisterstück alter Handwerkskunst kann auch heute noch nur mit Bewunderung für die vielleicht intuitive schöpferische Leistung frühen Erfindergeistes angesehen werden, und wird immer ein Beispiel für glückliche Planung und Gestaltung im Rahmen der vorliegenden technischen Möglichkeiten bleiben; manches andere Gerät erläutert besser als lange Theorie die Grundprinzipien der technischen Realisierung abstrakter Rechengänge.

Die weiter zurückliegende und langsamere abgelaufene Historie der mechanischen Rechenmaschinen liegt dank der bereits erarbeiteten zusammenfassenden Berichte zum Teil klar im Licht der Geschichte, obgleich auch da noch offene Zusammenhänge zu verknüpfen bleiben; die Schnelligkeit und Vielschichtigkeit der Entwicklung in den letzten Jahren bringt jedoch mit sich, daß hier eine Darstellung der Geschehensfolge recht schwierig wird. Überdies bringt die weltweite Zusammenarbeit der Wissenschaftler und Konstrukteure und die frühzeitige Veröffentlichung ihrer Pläne, Arbeiten und Erfolge eine derart enge Vermaschung, daß oftmals keine eindeutige Entwicklungslinie mehr gefunden werden kann, und daß die vielen Einzelveröffentlichungen sich gelegentlich zu widersprechen scheinen. Es liegt aber nicht im Bestreben des Verfassers, den vielen bereits veröffentlichten Berichten über die Entwicklung der Rechentechnik eine weitere Zusammenstellung beizufügen; wer eingehende Unterrichtung sucht, findet sie in der Literatur, die bis 1966 in den „Titellisten“ (Titel von Veröffentlichungen über Analog- und Ziffernrechner und ihre Anwendungen, herausgegeben von der Deutschen

Forschungsgemeinschaft bei Franz Steiner Verlag, Wiesbaden) erschöpfend angeführt ist. Wichtiger erschien, eine Lücke im Schrifttum zu schließen und die Rechengerte und -anlagen und deren Bauelemente im Bilde zu zeigen, wozu nur wenig vermittelnder Text und erläuternde Unterschriften beizufügen wären.

Der in diesem Buch in Bildern festgehaltene Geschichtsablauf behandelt vornehmlich die Rechentechnik und mündet erst zum Schluß in die Technik der Informationsverarbeitung ein, obschon erstere vom heutigen Standpunkt aus nur ein Teilgebiet der zweiten ist. Nun hat aber der Zwang zu Rechnen — eine mühsame und fehleranfällige aber keineswegs hochgeistige Routinetätigkeit — den Erfindergeist des Menschen viel früher und heftiger bedrängt als die heute gebieterisch werdende Notwendigkeit, auch andere „Datenverarbeitungs“-Aufgaben zu mechanisieren oder gar zu automatisieren. Dem gestiegenen Produktionseffekt in Werkstatt und Betrieb steht noch kein annähernd vergleichbarer Anstieg der Wirkungsgrade in Verwaltung und Behörde gegenüber, so daß heute gerade umgekehrt wie früher viel mehr Menschen „unproduktiv“ verwalten als „produktiv“ Werte schaffen. Nur die Technik der elektronischen Informationsverarbeitung kann zu einer Besserung dieses Verhältnisses verhelfen, natürlich nur in Verbindung mit einer automationsgerechten Umwertung der bisher als „geistige“ Arbeit unbegründet von jeder Rationalisierungsmaßnahme ausgeschlossenen Routinetätigkeiten. Da also die informationsverarbeitenden Anlagen bald sehr große Teilbereiche der menschlichen Arbeiten übernehmen werden und damit auch in den Blickwinkel der breiteren Öffentlichkeit treten werden, die sich mit der notwendig werdenden Ausrichtung auf automatisierte Abläufe vertraut machen muß — man denke an die Einführung der maschinell lesbaren Buchungszahlen auf Zahlungsbelegen und der Postleitzahlen für die Steuerung der Briefverteilmaschinen —, ist es nützlich, Entstehen und Anfangsgründe, Wachstum und Ausbreitung, und schließlich Stand und Realisierung der Rechen- und Datenverarbeitungstechnik zu kennen, um mit dem Sinn auch die Erscheinung und die kommende Entwicklung aus der Geschichte heraus zu verstehen und auch lenken zu können.

Der hiermit nach bestem, aber begrenzten Vermögen zusammengestellte Bildband zur Geschichte der Rechentechnik versucht, die wichtigsten Ergebnisse der Entwicklungsarbeiten wiederzugeben; daher wird mehr Wert gelegt auf die vielerlei Versuche zur Lösung der Aufgabe, mit technischen Mitteln zu rechnen und — neuerdings — Daten zu verarbeiten, als auf lückenloses Erwähnen und Abbilden aller ausgeführten Rechenanlagen. Die äußere Gestalt soll dabei zurücktreten gegenüber der inneren Ausführung, da sie ohnehin, heute mehr nach modischen als nach technischen Gesichtspunkten entworfen, keine wesentlichen Unterschiede mehr zeigt.

Die Abbildungen und Erläuterungen beziehen sich zumeist auf deutsche und amerikanische Arbeiten; auch der britische Beitrag ist seiner Bedeutung entsprechend und dank der vorhandenen Literatur ausführlich gewürdigt. Die Entwicklungen in anderen Ländern konnten leider nur weniger eingehend dargestellt werden, obschon in Frankreich und anderen, ebenfalls mathematisch-konstruktiv leistungsfähigen Ländern von Mitteleuropa bis Ostasien wesentliche Beiträge zur Entwicklung der Rechentechnik oder wenigstens interessante Ausführungen beigesteuert wurden. Es ist zu hoffen, daß die in diesem Punkt berechtigte Kritik an diesem Versuch zu einer umfassenden geschichtlichen Wiedergabe dazu führt, daß die wichtigsten Daten und Abbildungen für eine spätere Erweiterung des Buches zusammenfließen werden.

An dieser Stelle ist nicht Platz, alle die Freunde, Firmen und Institutionen einzeln aufzuführen, die es durch ihre dankenswerte Mithilfe ermöglichten, das Bildmaterial zu sammeln, aus dem das hier wiedergegebene ein zweckmäßig erscheinender Auszug ist. Grundstock der Arbeit war neben dem privaten Archiv des Verfassers, das auf die eigene Entwicklungstätigkeit seit dem Jahre 1939 zurückgeht, vor allem das Bildarchiv des Instituts für Praktische Mathematik der Technischen Hochschule Darmstadt, dessen Leiter, Herr Prof. Dr. h. c. Dr. A. Walther †, der nicht nur damals, sondern bis zu seinen letzten Tagen den Verfasser mit Anleitung, Rat und Hilfe unterstützte, und dem ganz besonderer Dank gilt. Dem Mitautor gebührt Dank vor allem dafür, dieses Archiv ausgewertet und viele Daten zusammengestellt zu haben. Weiteres Bildmaterial entstammt verschiedenen Museen und Sammlungen, so dem Brunsviga-Museum in Braunschweig und dem Deutschen Museum in München vor allem in bezug auf mechanische Rechenmaschinen, dem Science Museum in London und dem Technischen Museum in Wien in bezug auf frühe Rechenautomaten und Lochkartenmaschinen. Auch viele der Institute und Firmen, die in neuerer Zeit die Entwicklung elektromechanischer und elektronischer Rechenanlagen betrieben, haben ihrerseits in äußerst großzügiger und dankenswerter Weise interessante Fotos aus ihren Archiven beigesteuert.

Niemand kann wagen, ein derartiges Unterfangen lückenlos und fehlerfrei vollenden zu wollen; dies wäre wohl auch weniger sinnvoll als das Typische und Weiterführende deutlich zu machen. Selbst dies ist — zwar beabsichtigt und erstrebt —, sicherlich nicht erreicht worden. Deshalb sei zum Schluß die Bitte um Nachsicht und um Mitteilung des die Lücken schließenden Materials ausgesprochen.

*W. de Beauclair*

# Inhalt

<b>Einführung</b>	<b>1</b>	<b>6 Rechenautomaten in Röhrentechnik</b>	
		6.1 Entwicklungen in den USA	111
		6.2 Röhrenrechner in England	137
		6.3 Rechenautomaten in Röhrenbauweise in Deutschland	146
		6.4 Beispiele von Röhrenrechnern anderer europäischer Länder	155
		6.5 Röhrenrechner in der UdSSR	164
		6.6 Röhrenrechner in Japan	169
<b>Teil I Rechenmaschinen und Datenträger</b>		<b>7 Rechenanlagen in Halbleiter-Bauweise</b>	
<b>1 Die Entwicklung der mechanischen Rechenmaschinen</b>		7.1 Einige Beispiele von Rechen- und Datenverarbeitungsanlagen in Halbleiter-Bauweise	173
1.1 Das dezimale Zahlensystem als Voraussetzung	11	7.2 Sonderanlagen	191
1.2 Bauformen mechanischer Zähl- und Rechenwerke	12	7.3 Kleinrechner und miniaturisierte Bauformen	194
1.3 Anfänge zur Konzeption von Rechenautomaten	14		
<b>2 Die Lochkarte als Programm- und Datenspeicher – dritte Wurzel der Datenverarbeitungstechnik</b>		<b>Teil III Schaltelemente, Bauteile und periphere Geräte</b>	
2.1 Lochkarten zur Steuerung automatischer Abläufe	35	<b>8 Interne Bauelemente der Rechenanlagen</b>	
2.2 Die Lochkarte als Zähl- und Ziffernkarte	36	8.1 Schaltelemente der binären Rechentechnik	199
2.3 Entwicklung der Lochkarten-Statistik-Maschinen	37	8.1.1 Mechanische Schaltelemente	200
2.4 Ausführungsformen von Lochkarten	38	8.1.2 Elektromechanische Schaltelemente (Relais)	201
2.5 Rechenlocher und Lochkartenrechner	39	8.1.3 Elektronische Schaltelemente	203
		8.1.3.1 Röhren	203
<b>3 Der Lochstreifen als Datenträger</b>		8.1.3.2 Spezialröhren	205
3.1 Entwicklung in Telegraphen- und Fernschreibtechnik	57	8.1.3.3 Transistoren	208
3.2 Lochstreifengeräte zur Ein/Ausgabe von Daten	58	8.1.4 Magnetische Schaltelemente	210
		8.1.4.1 Ringkerne	210
		8.1.4.2 Mehrloch-Kerne	211
<b>Teil II Entwicklung von programmgesteuerten Rechenanlagen</b>		8.1.5 Parametron-Schaltung	212
<b>4 Rechenautomaten in elektromechanischer Bauweise</b>		8.1.6 Hydraulische und pneumatische Schaltelemente	213
4.1 Frühe Versuche und Spezialgeräte	65	8.1.6.1 Flüssigkeits-mechanische Schaltglieder	213
4.2 Elektromechanischer Rechenautomat Mark I	65	8.1.6.2 Flüssigkeits-dynamische Schaltglieder	216
4.3 Konzeption einer Rechenanlage in Darmstadt	66	8.2 Aufbau- und Verbindungstechnik	217
		8.2.1 Freie Verdrahtung aller Bauelemente	217
<b>5 Relaisrechner</b>		8.2.2 Baugruppen	220
5.1 Relais-technik und erste dezimale Rechenschaltungen	73	8.2.3 Mikro-Bausteine	224
5.2 Aufgabenstellung für technisch-wissenschaftliche Rechner	73	8.3 Speicherelemente und -baugruppen	226
5.3 Einführung von Dualzahlen und Gleitkommarechnung	74	8.3.1 Mechanische Speicherwerke	226
5.4 Konrad Zuse, Pionier programmgesteuerter Automaten	75	8.3.2 Bistabiler Multivibrator (Flip-Flop)	226
5.4.1 Mechanische Schaltgliedertechnik	75	8.3.2.1 Flip-Flop in Röhrenbauweise	227
5.4.2 Relaisrechner Z3, die erste programmierte Rechenanlage	76	8.3.2.2 Flip-Flop in Halbleiterbauweise	227
5.4.3 Spezialrechner	76	8.3.3 Laufzeitspeicher	228
5.4.4 Erste Versuche mit Röhrenschaltungen	81	8.3.3.1 Quecksilberspeicher	228
5.4.5 Plankalkül – die Lehre vom automatischen Rechnen	81	8.3.3.2 Nickelleitung als Ultraschall-Laufzeitspeicher	229
5.4.6 Weitere ZUSE-Relaisrechner nach 1945	81	8.3.4 Speicherung in Kathodenstrahlröhren	231
5.5 Relaisrechner in den USA		8.3.5 Magnetomotorische Speicher	233
5.5.1 Relaisrechner der Bell Telephone Laboratories	93	8.3.5.1 Magnetband-Speicher	234
5.5.2 Relaisrechner „Selective Sequence Controlled Computer“ SSSC oder Mark II	94	8.3.5.2 Magnettrommel-Speicher	238
5.5.3 Relaisrechner „Pluggable Sequence Relay Calculator“ PSRC	94	8.3.5.3 Speicher mit auswechselbaren flexiblen Magnetkarten	245
5.6 Weitere Relaisrechner		8.3.5.4 Magnetplatten-Speicher	247
5.6.1 In England	99	8.3.5.5 Magnetscheiben-Speicher mit flexibler Scheibe	249
5.6.2 In Holland	99	8.3.6 Matrizen-Speicher	250
5.6.3 In Österreich	100	8.3.6.1 Matrizen-Speicher mit Ferrit-Ringkernen	250
5.6.4 In der Tschechoslowakei	100	8.3.6.2 Matrizen-Speicher mit Ferritplatten	250
5.6.5 In Deutschland	100	8.3.6.3 Matrizen-Speicher mit dünnen magnetischen Schichten	250
5.6.6 In Japan	101	8.3.7 Kondensator-Speicher	254
5.6.7 In Schweden	108	8.3.8 Festwert-Speicher	254

## 9 Periphere Geräte der Rechenanlagen

9.1 Geräte zur Dateneingabe	257	9.2.5 Ergebnisdarstellung durch Anzeige- und Schreibgeräte	284
9.1.1 Tastenfelder zur Eingabe von Daten und Programmbefehlen	257	9.3 Programmierungsmittel	286
9.1.2 Lochstreifenleser	258	9.3.1 Tastaturen	287
9.1.3 Lochkartenleser	258	9.3.2 Verkörperung und Aufruf von Festprogrammen	287
9.1.4 Magnetband-Beschreiben	262	9.3.2.1 durch mechanische Steuerung	287
9.1.5 Eingabe durch Belegleser	262	9.3.2.2 Steckbare Schaltelemente und Stecktafeln	288
9.2 Geräte zur Ausgabe von Ergebnissen	269	9.3.2.3 Verkörperung von Festprogrammen durch Verdrahtung von Schaltelementen	288
9.2.1 Sichtanzeige	269	9.3.3 Lochkarten- und Lochstreifen-Programmierung	288
9.2.2 Lochstreifenstanzer	269	Verzeichnis der Rechenmaschinen und Rechenanlagen	301
9.2.3 Lochkartenstanzer	272	Verzeichnis der Erfinder, Erbauer und Autoren	305
9.2.4 Druckwerke	272	Verzeichnis der Bauelemente, Baugruppen und Periphergeräte	307
9.2.4.1 Einzelzeichendrucker	273	Verzeichnis der Hersteller-Firmen und Entwicklungs-Institute	310
9.2.4.2 Blockdruckwerke	276	Nachweis der Quellen zu den Abbildungen	313
9.2.4.3 Schnell- oder Zeilendrucker	276	Berichtigungen und Ergänzungen	313
9.2.4.4 Nichtmechanische Drucker	282		
9.2.4.5 Ausgabe in Mikrofilm	284		

# Einführung

## *Information und Informationsverarbeitung*

Informationen sind nicht nur die Mitteilungen der Presseagenturen, sondern in dem hier betrachteten Sinn alles, was dem Menschen Nachrichten über seine Umwelt vermittelt, in welcher Form das auch immer erfolge.

Biologisch gesehen sind also Informationen in allen Sinnesindrücken, vor allem in Sprache, Ton und Geste, enthalten. Im technischen Bereich sind sie gegeben durch analog-stetig oder auch diskret-inkremental dargestellte Meßwerte; sie können numerisch Zählwerte, Nummern und Beträge in einem der üblichen Zahlensysteme wiedergeben oder schließlich auch alphanumerische, also Text-Angaben enthalten.

Informationsverarbeitung betrifft daher im biologischen Bereich das Erfassen, im Gedächtnis behalten und Zusammenfassen von Sinneseindrücken, das (mehr oder weniger vernünftige, logische) Umsetzen in Verhaltensweisen, Bewegungsvorgänge oder andere Reaktionen, und das Weitergeben umgewerteter Eindrücke oder Gedächtnisinhalte als neue Information in Form von Sprache und Schrift. Technisch gesehen entsprechen diesen Funktionen das Eingeben, Speichern und logische Verknüpfen von Daten in einer programmgesteuerten Anlage, das Umsetzen nach arithmetischen oder logischen Vorschriften und das Ausgeben von Ergebnissen in Form von neuen Datenträgern, in Anzeigevorrichtungen oder direkt zur Steuerung von technischen Vorgängen.

Wegen dieser Parallelität von biologischen und technischen Möglichkeiten zur Nachrichtenverarbeitung hat sich zu Anfang der Entwicklung, im Stadium der ungehemmten Hoffnungsfreudigkeit an der Allmacht der Elektronenrechner, für diese der Werbenamen der „giant brains“ oder der „Elektronengehirne“ gebildet; bei näherer Kenntnis der engen Grenzen technischer Nachäffung biologischer Fähigkeiten ist diese Namensgebung erfreulicherweise wieder verschwunden.

### Speicherkapazitäten

Babbage plante	1000 Zahlen zu 50 Stellen
ZUSE Z 4	64 Zahlen zu 32 Bits
ENIAC	72 Zahlen
Magnettrommel	$5 \cdot 10^5$ bis $36 \cdot 10^6$ Bits
Magnetband	$10^8$ Bits
optische Festspeicher	$10^9$ Bits
Gehirn etwa	$10^{12}$ Bits

Immerhin ergeben sich aus der überaus fruchtbaren Arbeit von Nachrichtentechnikern, Biologen und Physiologen sehr zukunftssträchtige Ergebnisse, welche sicherlich manche heute noch unübersteigbare Grenze verschieben oder einebnen; der Mensch wird auf viele seiner Routinen (wie Rechnen zu können) weniger stolz sein und sie gern den Maschinen überlassen, falls er dafür seine spezifisch humanen und unnachahmlichen Fähigkeiten intensiver zu entfalten Zeit oder Auftrag hat und gelehrt wird, sie zu nutzen.

Der Wert moderner Informationsverarbeitungsanlagen bekundet sich darin, daß sie die ihnen eingegebenen Daten nach

den vorgedachten und eingespeicherten Programmvorschriften mit äußerster Sicherheit und Schnelligkeit verarbeiten; der Arbeitstakt digitaler Anlagen liegt bei einigen Hunderttausenden von Operationen je Sekunde und steigert sich noch weiter. Daher sind sie unübertreffbar für alle Routineaufgaben wie z. B. für das Buchen von Mengen oder Geldwerten, beim Auswerten großer Datenmengen zur medizinischen Diagnose und zur Dokumentation, zur Errechnung von Bahnpunkten nach vorgegebenen mathematischen Formeln auch für die Stetigbahn-Steuerung von Werkzeugmaschinen, und für viele andere Anwendungen.

Die zu verarbeitenden Daten werden den Anlagen entweder direkt — so zur analogen und digitalen Prozeßsteuerung — von den Meßinstrumenten und anderen Informationsquellen geliefert und sogleich umgesetzt oder sie werden zeitlich unabhängig in „Datenträger“ eingespeichert, die der Anlage übermittelt und von ihr ausgewertet werden. Solche Datenträger sind heute vorwiegend die Lochkarte und der Lochstreifen, die numerische und alphanumerische Informationen als Lochcode tragen, und die maschinell lesbaren Belege, deren Zifferntypen abgetastet werden.

### *Zur Genealogie der Rechenanlagen*

In kaum einem anderen Fachgebiet der Technik schreitet die Entwicklung so rasch voran wie in dem der elektronischen Datenverarbeitung; der bereits erreichte Stand ist trotz der kurzen Entwicklungszeit von etwa 20 Jahren überraschend hoch: es ist, als müsse hier vieles nachgeholt werden, was lange vernachlässigt und übersehen wurde. Tatsächlich haben die rechnenden Mathematiker sich viel zu lange Zeit hindurch mit Papier und Bleistift begnügen, haben sich Rechenordrucke und Tabellen anfertigen müssen, um den Gang der einzelnen Rechenschritte bei wiederholten Durchläufen schematisieren zu können: die Rechenmaschinen konnten ja nur die einfachsten arithmetischen Operationen ausführen und bestenfalls mit einem Zweit-Zählwerk Zwischenergebnisse speichern oder aufsummieren. Dann aber entstanden unter dem Druck militärischer Aufgaben die programmierten und daher viele Rechenoperationen in schnellem Fluß selbsttätig abspulenden Rechenautomaten, und die Rechenverfahren konnten endlich auf dieses neue Hilfsmittel ausgerichtet werden. Mathematik und Technik befruchteten sich gegenseitig — schon immer, aber neuerdings besonders erfolgreich — und führten einander weiter zu immer leistungsfähigeren Verfahren und Maschinen, ohne die viele der heutigen technischen Großtaten nicht hätten entstehen können. So waren beispielsweise noch um 1938 viele Rechnermonate an Arbeit

nötig, um eine statisch vielfach unbestimmte Konstruktion für die Halle eines geplanten Bahnhofs zu berechnen, also ein Gleichungssystem mit etwa 30 Unbekannten nach numerischen Rechenverfahren, selbst mit Hilfe damals modernster Rechenmaschinen, aufzulösen. Heute benötigt ein gar nicht extrem schneller Elektronenrechner vielleicht 10 Minuten dafür. Diese häufige Aufgabe hat also ihre Schrecken verloren, so daß selbst mehrere Konstruktionsformen probeweise durchgerechnet werden können. Mathematische Vorausrechnung ersetzt die früher übliche Erprobung von Musterkonstruktionen, weil Versuche oft viel zu teuer und zeitraubend wären; mathematisch-statistische Überwachung und Programmsteuerung der Produktion ermöglicht hohe Sicherheit, Zuverlässigkeit und Ausbeute; Versuchsauswertung und Datenverarbeitung mit elektronischen Anlagen holen aus einem kurzen Versuch und vielen Meßwerten alles Verfügbare an Erkenntnissen heraus. Ohne die modernen leistungsfähigen Rechenanlagen wäre vieles Erreichte ein Wunschtraum technischer Phantasie geblieben. Es erscheint daher nicht unbillig, die Entwicklungsgeschichte dieser Rechentechnik und die Wechselwirkungen von mathematischen und instrumentellen Fortschritten aufeinander in kurzen Zügen vor Augen zu führen.

## Die Wurzeln

Die heutigen elektronischen Rechen- und Datenverarbeitungsanlagen erwuchsen aus der Arbeit und den Erkenntnissen von Wissenschaftlern und Konstrukteuren der verschiedensten Fachrichtungen. Die Wurzeln reichen, etwas grob dargestellt und doch recht aufschlußreich, bis in die Zeit des beginnenden Welthandels, des Ausbaus der zentralen Staatsgewalt und des naturwissenschaftlichen Strebens — also bis zurück in die Wende vom Mittelalter zur Neuzeit, bis ins 16. Jahrhundert.

(1) Erste Voraussetzung für einfaches Rechnen — ob mit Papier und Bleistift oder mit Maschinen — ist ein geeignetes Zahlensystem. Mit den alten römischen Zahlzeichen geht es nicht. Man benutzte sie auch nur zum Aufschreiben; zum Rechnen diente der „Abakus“ oder in den Sand geritzte Rechenlinien und Markiersteinchen. Erst die Ziffer „Null“ und die Stellenwertigkeit des indisch-arabischen Zahlensystems erlauben ein streng systematisches Aufschreiben und Rechnen mit Ziffern nach leichten Regeln, erlauben auch ein gleichartiges Zuordnen von 10 Zähnen eines Ziffernrades zu den 10 Ziffern und eine Zehnerübertragung auf die nächst höhere Stelle beim Durchgang von 9 nach 0 beim Addieren. Die neuen Ziffern fanden ab 1202 ihren Weg über das arabisch beherrschte Spanien nach Mitteleuropa und wurden hier sehr langsam aufgenommen; noch 1518 muß Adam Riese für die neue Schreibart werben.

(2) Der Tübinger Professor Wilhelm Schickard fand 1623 bis 1624 als erster das Konstruktionsprinzip Ziffernrad und Zehnerübertragung; er ließ ein Rechengerät bauen, das in dieser Art zum Addieren und Subtrahieren brauchbar war, durch eingebaute drehbare Anzeigewerke für die Teilprodukte des kleinen Einmaleins nach Art der vorher erfundenen Napierischen Rechenstäbchen aber auch zum Multiplizieren dienen konnte. Erst um 1672 entwickelte G. W. Leibniz jedoch den verschieblichen Schlitten zum stellengerechten Zuordnen des Resultatwerks gegenüber dem Einstellwerk und die Staffelwalze als Steuerorgan zum Eindrehen von einstellbar vielen Ziffern-Zähnen in das eigentliche Zählwerk mit Zehnerübertragung und damit die Grundform der mechanischen Rechenmaschine, die bis heute ihre Gültigkeit behält. Er erkannte aber auch das duale Zahlensystem mit den Binär-Ziffern 0 und 1 als besonders einfach: dieses wird heute bei elektronischen Rechenmaschinen fast ausschließlich benutzt.

Sir Francis Bacon beschreibt bereits 1623 die binäre Verschlüsselung von Buchstaben durch einen fünfstelligen dualen Code, den er in seiner Jugend erfunden habe.

Nach Leibniz wurden noch mehrere Grundgetriebe für mehrfache Addition erfunden: vom Sprossenrad, das Poleni in Padua um 1678 erfand, bis zum Proportionalhebelgetriebe und Schaltklinkenwerk, die anfangs dieses Jahrhunderts von Christel Hamann in Berlin eingeführt wurden. Das alte Grundprinzip der Zehnerübertragung, die stellenweise von rechts nach links durch die Resultatwerk-Stellen hindurchwandert, ist bis heute beibehalten worden, obgleich diese primitive Form sowohl Stellenzahl wie Arbeitsgeschwindigkeit der Rechenmaschine begrenzt. Eine in allen Ziffernstellen gleichzeitig wirkende Schaltung war jedoch in seltenen Ausnahmefällen durchaus lange erprobt und gebaut worden, so von dem genialen Babbage (1833) als erstem, dann in der berühmten Lochkarten-Tabelliermaschine D 11 der deutschen Hollerith-Gesellschaft (1936), der ersten mit Stecktafel-Programm.

(3) Dritte Wurzel der modernen Rechenanlagen ist die Idee der Programmsteuerung. Falcon (1725–28) und Vaucanson (1741) bauten für das Anheben der Kettfäden eines Webstuhles einen ersten Programmspeicher in Gestalt einer umlaufenden Blechwalze mit Lochungen (wie bei den Glockenspielen), um das gewünschte Muster selbsttätig wiederholen zu können. J. M. Jacquard vervollkommnete (1804-08) diese Erfindung mit größtem Erfolg zu einem Lochbandprogramm aus Kartonkarten — eine Bauform, die bis in die jüngste Zeit bei Musikautomaten, den Orchestrions der Jahrmärkte, verwendet wurde. Hieraus entstand das breite Programmband des elektrischen Klaviers, der pneumatischen Schreibautomaten und (ab 1882) auch wohl die Lochkarte, wobei in allen Fällen jedes Loch seine direkte Zuordnung zu einem Ton, Buchstaben oder Ziffernwert hat. Aus Lochkarten- und Rechenmaschinen entstanden dann in den dreißiger Jahren unseres Jahrhunderts die mechanischen Tabelliermaschinen und Lochkartenrechner, die bereits einzelne Züge der selbsttätigen Rechenanlagen vorwegnehmen.

Charles Babbage in London faßt — wohl unbewußt — alle diese bisher einzeln wachsenden Konstruktionsideen zu einer genialen Kombination zusammen: er will 1833 den perfekten Rechenautomaten, die „analytical engine“ bauen. Er war damit in Gedanken und Konstruktion seiner Zeit weit voraus; und es erging ihm wie seinerzeit schon Leibniz: die ungenügenden mechanischen Fertigungstechniken verhinderten, daß seine Pläne und Versuche ausreiften, die Maschine arbeitsfähig wurde. Trotzdem ist seine geniale Idee ein Markstein der Entwicklung, denn sie nimmt alles vorweg, was erst rund hundert Jahre später mit vervollkommenen Mitteln realisiert werden konnte und auch erst dann einem wirklichen Bedürf-

nis entsprach. Er konzipiert eine mechanische Rechenmaschine sehr hoher Stellenzahl (daher zwangsläufig mit Simultan-Zehnerschaltung ausgerüstet), eine Lochkarten- bzw. Lochband-Steuerung und -Zifferneingabe, ein großes Speicherwerk (für 1000 Zahlen zu 50 Stellen) für Zwischenergebnisse und als Ausgabewerk ein Druckwerk, das die Ergebnisse auch in Kartonmatern prägen soll, um sie ohne weiteres Umsetzen ausgießen zu können.

Babbage wurde damals verlacht, vergessen; seine Pläne fristeten ein unbeachtetes Zitatendasein in historischen Kapiteln der Fachbücher. Die späteren Erfinder moderner Konstruktionen sahen sich zumeist erst nachträglich durch seine frühen Erkenntnisse bestätigt.

Für seine Zählkarte wählte Dr. Hermann Hollerith die Größe der damaligen 20-Dollarnote, deren Ablagekästen ungeändert Verwendung finden sollten. Sie wurde 1890 zur Erleichterung der Volkszählungen in den USA eingesetzt. Daher wurde zuerst nichts als die Antwort auf die Zählfragen in direktem Schlüssel eingelocht; erst später wurde eine dezimale Ziffernlochung eingebracht. Neben und nach Hollerith bauten Pierce, Gore, Powers u. a. in den USA ähnliche Maschinen; die Wiener k. k. statistische Zentralkommission entwickelte in Europa eigene Konstruktionen, die sich ab 1890 bestens bewährten und bald auch im Ausland (Rußland) eingesetzt wurden.

(4) Bald nach Babbages vergeblicher Bemühung öffnete sich jedoch ein neuer Weg, der schließlich zum Ziel führen sollte; die Elektromechanik der Telegraphentechnik begann ihre Versuche. Gauß und Weber benutzten 1833 den elektrischen Strom und einen Fünfer-Code zur Übertragung von Signalen und legten die erste Telegraphenleitung im kleinen, um die bis dahin einzig bekannte Nachrichtenverbindung durch Semaphore – optische Signalgeber ähnlich den heute noch verwendeten Eisenbahnsignalen – zu ersetzen. Für die Morsetelegraphie wurde (um 1870) der Lochstreifen mit 2 Spuren (für Punkte und Striche) ausgebildet; später (ab 1878) bauten Baudot, Krum und Kleinschmidt den Springschreiber mit einem binären 5-Impuls-Code und dem 5-Spur-Lochstreifen, der als Telegraphenalphabet CCITT Nr. 2 von Murray bis heute in der Fernschreibtechnik weltweit einheitlich eingeführt ist. Es entstehen die Relais, Schrittschaltwerke und Wähler. Die Elektromechanik ist somit die vierte Wurzel für die Entwicklung von Rechenanlagen: samt einigen Vorstößen zu speziellen Geräten entwarf Konrad Zuse ab 1935 als erster ein programmgesteuertes Rechenggerät; 1941 wurde das Modell Z 3 wirklich arbeitsfähig und in Betrieb gesetzt. Es besaß ein Speicherwerk für 64 Zahlen, ein binäres Rechenwerk in Relaischnik (2000 Relais) und arbeitete intern in rein dualem Zahlensystem mit Gleitkomma, d. h. in halblogarithmischer Rechenweise mit abgespaltener Dezimalpotenz, wie es dem Ingenieur vom Rechenschieber her geläufig ist und

womit alle Sorgen um ausreichende Stellenzahlen des Rechners unnötig werden. Er entwickelte auch für sich eine Logik für Relaischaltungen, seinen „Aussagekalkül“; Shestakov und Shannon veröffentlichten 1938 ihre diesbezüglichen Arbeiten. Zuse ist damit unbestreitbar der Pionier auf dem Gebiet des programmgesteuerten Rechnens; andere Relaisrechner wurden zwar auch ab 1940 in den USA fertiggestellt (von Stibitz und Williams bei Bell Telephone Labs.), aber es waren Spezialrechner für die Feuerleit-Ballistik, die erst einige Jahre später variabel programmgesteuert ausgebaut wurden. Ebenso ist der berühmte große „Automatic Sequence Controlled Computer“ ASCC oder Mark I von H. A. Aiken in der Harvard Universität, der aus dezimal arbeitenden Lochkartenmaschinen-Baugruppen, Lochbandgeräten und anderen mechanischen Einrichtungen zusammengebaut war, zwar äußerst leistungsfähig, aber doch durch die Stecktafeln der einzelnen Baugruppen nur beschränkt programmierbar gewesen.

Zuse ließ wie erwähnt als erster seine Rechengeräte im dualen Zahlensystem arbeiten. Leibniz kannte dieses schon, und war von dessen Einfachheit begeistert; dabei wird diese Zählweise mit nur den Ziffern 0 und 1 erst wirklich wertvoll für die Anwendung aller der Bauweisen von Rechengeräten, deren Schaltorgane per se nur zwei unterscheidbare Zustände oder Lagen einnehmen können – so besonders in der Elektrotechnik, wo Schalter, Relaiskontakte oder Schaltrohren nur entweder stromsperrend oder -leitend sein können. Aber auch bei mechanischer Bauweise ist es einfacher, einen Riegel etwa nur nach links oder rechts zu schieben als ihn in eine von 10 definierten Stellungen zu bringen. Zuse baute zunächst solche mechanischen Verriegelungen, die sehr kleine Abmessungen der Geräte erlauben; aber die für das erforderliche variable Zusammenwirken verschiedener Baugruppen einer größeren Anlage erforderlichen Übertragungen der Schaltbewegungen sind mechanisch kaum zu bewältigen. Er ging daher bei der Z 3 zur Relaischnik über, die durch ihre flexiblen Leitungen den Zusammenbau und die Steuerung erleichtert, behielt aber das raumsparende mechanische Speicherwerk zunächst noch bei, bis es später durch einen Ferritkernspeicher ersetzt wurde.

Etwa gleichzeitig mit Zuse wiesen Valtat (1936) und Couffignal (1938) in Paris auf die Vorteile der Dualtechnik für ein einfaches Rechenwerk hin; andererseits macht sie natürlich ein Umrechnen der notwendigerweise dezimal eingetasteten Zahlen in Dualzahlen erforderlich und fügt so den eigentlichen Rechenschritten einige weitere hinzu. Daher wird sie heute nur noch dort verwendet, wo – wie bei wissenschaftlichen Berechnungsaufgaben – mit relativ wenigen Eingabezahlen viele Rechenabläufe vorzunehmen sind, nicht dagegen bei den mehr kaufmännisch orientierten Datenverarbeitungsanlagen, die sehr viele und schnelle Ein/Ausgabe-Operationen nötig machen.

Mit den binären Ziffern 0 und 1 kann außer dem rein dualen System auch ein dezimales in dualen Code aufgebaut werden; jeder Dezimalziffer ist dabei eine Gruppe von 4 Binärstellen zugeordnet. Beispielsweise ist die Dezimalziffer 6 im bcd-Code als 0110 verschlüsselt. Diese stellenweise Umrechnung ist einfacher als die in rein duale Zahlen, und so arbeiten heute die Mehrzahl der Elektronenrechner in einem der binären Codes für Dezimalziffern.

Einen anderen Vorschlag machte Phillips (um 1936) in London: er propagierte das Rechnen im binären Oktalsystem, d. h. mit den dual verschlüsselten Ziffern 0 bis 7, deren dreistellige Dualcodegruppen leicht zu lernen sind. Der Verzicht auf das Dezimalsystem, auf die Ziffern 8 und 9, schien für nur intern zu verwendende Zahlenergebnisse (wie für wissenschaftliche oder versicherungsmathematische Tabellen) einem nichtdezimal zu denken gewohnten Briten nicht schwerwiegend. Tatsächlich arbeiten einige britische Rechenanlagen in Oktalsystem auch in der Ein/Ausgabe.

Neben binären Schaltelementen sind natürlich auch dreiwertige, ternäre denkbar, z. B. solche, die links, Mitte und rechts, oder positiv, 0 und negativ unterscheiden können. Obschon derartige Schaltungen recht plausibel erscheinen, haben sie sich in der Praxis trotz einiger Versuche nicht einführen können.

Mit Zuses Relaisrechner Z 3 ist eigentlich die hier kurz dargestellte Genealogie der Rechenautomaten in der heutigen Generation angelangt; was seitdem folgte, waren im Grunde nur technische Vervollkommnung und Anwendungen neuerer Bauelemente statt der Relais für das hierin realisierte und weiterhin gültige Prinzip eines programmgesteuerten Rechenautomaten. Immerhin kann auch die weitere Entwicklung in einige markante Schritte unterteilt werden: der erste Schritt oder die 5. Wurzel ist die Technik der Elektronenröhre. 1910 entwickelte R. von Lieben das Steuergitter zwischen Anode und Kathode, 1913 Langmuir die Hochvakuum-Verstärkeröhre.

(5) Die elektronischen Bauelemente der inzwischen herangereiften Nachrichtentechnik boten die Möglichkeit, die Schaltzeiten der Elementarvorgänge beim Rechnen gegenüber der elektromechanischen Bauweise maßgeblich zu verringern. Eccles und Jordan entwickelten bereits 1919 das bistabile Flipflop, das zum Aufbau binärer Rechenschaltungen und Zähler prädestiniert ist; es wurde ab 1944 zum Grundbaustein der neuen elektronischen Rechenanlagen. Der erste Großrechner war der „Electronic Numerical Integrator And Computer“ ENIAC von Eckert und Mauchly; hierin wurden aus Flipflops zehnstellige Ringzähler zusammengestellt und

zum dezimalen Zählen verwendet in genauer Analogie zum zehnstelligen Ziffernrad der mechanischen Rechenmaschinen. Bald wurde auch in den USA die vorteilhaftere binär-dezimal verschlüsselte Rechenweise erkannt und realisiert, ferner — nach Anregung seitens John von Neumann — das intern gespeicherte Programm und der elektronische Zahlenspeicher in Form der Kathodenröhre, des Ultraschall-Umlaufspeichers oder endlich der Ferritringkern-Matrix. Befruchtet wurde diese Technik durch die rasche Entwicklung der englischen Radar- und Ultrakurzwellentechnik; es entstanden in rascher Folge mehrere sehr umfangreiche und leistungsfähige Rechenanlagen der „ersten Generation“ zumeist für militärische Zwecke; die große Zahl von Röhren in solchen Anlagen ließen sie jedoch äußerst aufwendig, stör anfällig und von hohem Stromverbrauch sein. Trotzdem waren die 1951 in Dienst gestellten ersten UNIVAC I beim Bureau of Census 10 Jahre lang ununterbrochen in Betrieb!

Um 1948 wurde das alte Prinzip der magnetischen Speicherung von Tonfrequenzen auf Stahldraht auf die Impulsspeicherung mittels Magnetband (wie schon Tauschek und Dirks vorgeschlagen hatten) und Ferritschichten übertragen; die Magnetspeichertrommel wurde 1947 von Billing in Göttingen und Booth in England unabhängig voneinander konzipiert und fand als erstes sicheres (auch bei Stromausfall bleibendes) und relativ schnelles Speicherwerk bald allgemein Verwendung.

(6) Der nächste Schritt zur Technik der „zweiten Generation“ von Rechenanlagen ergab sich durch die Entwicklung der Halbleiter-Bauweise. Logische Schaltkreise mit Germanium-Dioden wurden um 1948 von Page entwickelt; 1949–1950 begann man, die Anzahl der Röhren durch Mitverwendung von Dioden drastisch zu verringern. Transistoren wurden 1948 bekannt, aber erst 1955 mit konstanten Eigenschaften in Serie hergestellt und verwendbar. 1958 fand Esaki die Tunnel diode, die trotz einiger Vorteile noch nicht breiteren Eingang gefunden hat (Ausnahme: NEAC-L2 der Nippon Electric Co., 1964). Die Halbleiter-Technik bot die Möglichkeit, die noch sehr großen Rechenanlagen auf einen Bruchteil des Raumbedarfs zu verkleinern; die Wärmeentwicklung und die daher erforderlichen Kühlgebläse — die zwangsläufig mindestens ebensoviel Leistung verbrauchten wie die Tausende von Röhren — entfielen, und die — anfangs etwas überschätzte — Lebensdauer der Halbleiter-Schaltelemente ließ einen wartungsfreien sozusagen ewigen Betrieb erwarten.

Nach einigen Versuchen — der TRADIC der BELL Laboratories war einer der ersten transistorisierten Rechenautomaten, der „Leprechaun“ von aufsehenerregend geringen Abmessungen — war im Jahr 1956 die Wende, mit der fast sämtliche alten Hersteller von Röhrenrechnern und viele neue auf die Konstruktion von transistorisierten Rechnern übergingen.

In diesem Jahr begannen auch die deutschen Firmen ihre Entwicklungen nachdem vorher allein einige Hochschulinstitute mit dem Bau von Versuchsanlagen beschäftigt waren und einen Stamm von fachkundigen Wissenschaftlern herangezogen hatten.

Seitdem entstand eine lange Reihe von immer leistungsfähigeren Rechenanlagen in Halbleiterbauweise mit meist Ferritringkernmatrix- und Magnetband-Speichern. Die mechanischen Ein/Ausgabegeräte wurden ebenso weiter entwickelt und den höheren Geschwindigkeiten der Rechner angepaßt: vor allem die schnellen Zeilendrucker — meist mit umlaufender Typentrommel und mit fliegendem Abdruck durch

im rechten Augenblick magnetisch angeschlagene Hämmerchen — wurden zu erstaunlichen Leistungen gebracht (heute 22 Zeilen/s beim Ketten-Drucker IBM 1403).

Lichtelektrische Lochkartenleser mit bis zu 50 Karten/s und Lochstreifenleser für bis zu 1200 Zeichen/s dienen der Eingabe; zur Eingabe der Buchungszahlen aus maschinenlesbar beschrifteten Einzelbelegen für deren direkte Verarbeitung in Elektronenrechnern dienen magnetische und lichtelektrische Ziffernleser, die gleichzeitig die gelesenen Belege in mehrere Sortierfächer verteilen und mit hohen Geschwindigkeiten (bis 98 000 Belege/Stunde, d. h. etwa 400 000 Ziffern/Stunde) arbeiten können.

### *Die geistigen Väter der modernen Rechentechnik*

Die Wurzeln der Entwicklung sind sehr viel einfacher darzustellen als der spätere Fortschritt zur heutigen Vielfalt, da sich die Ideen oft überschneiden, Pläne früh veröffentlicht und dann an anderem Ort schneller ausgeführt werden, Entwicklungsstellen von Großfirmen übernommen werden. Es läßt sich daher weiterhin keine klare Linie in der „Genealogie“ der Rechenanlagen aufzeigen, nur einige wichtige Schritte und die geistigen Väter seien im Folgenden genannt.

Zuse führt sein grundlegendes Prinzip des Dualsystems mit Gleitkomma von der ersten arbeitsfähigen Konzeption Z 3 folgerichtig weiter zur Z 4, die noch vor Kriegsende fertiggestellt und vorgeführt werden konnte. Die Maschine mit Lochstreifenlesern und -stanzern war bis 1959 im Betrieb; sie wurde mit Ferritkernspeicher an Stelle des mechanischen Speichers ausgerüstet und diente dank ihrer vorbildlichen logischen Gestaltung als Leitbild für die Entwicklung eines Elektronenrechners der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich „ERMETH“. Jetzt ist sie dem Deutschen Museum in München übereignet.

Mehrere Relaisrechner-Typen, die besonders für geodätische und optische Berechnung gedacht waren, wurden nach dem Krieg noch gebaut und eingesetzt; sie arbeiten teils mit festem Programm für spezielle Aufgaben, sind aber auch mit Lochstreifenprogrammierung universell verwendbar (Z 5 . . . Z 11). Die logische Grundstruktur wurde beibehalten auch bei den nun folgenden Entwicklungen von Röhrenrechnern, die durch Gedanken von Fromme und van der Poel befruchtet werden. Die Struktur der Mikrobefehle erlaubt sehr variable Programmierung, durch welche die Modelle Z 22 und auch die neuen Transistorenrechner Z 23, Z 25 und Z 31 charak-

terisiert sind. Ähnliches Prinzip verwirklichen die Rechner „Zebra“ der Firma Standard Telephones and Cables (STC) und „X 1“ von Electrológica, von denen der letztere als Transistorrechner und heute in schnellerer Grundfrequenz als Modell „X 8“ den europäischen Verhältnissen besonders gut angepaßt ist. Eckert und Mauchly bauen nach ihrem ersten Röhrenrechner ENIAC den BINAC und entwerfen schließlich die UNIVAC-Reihe; dann übernimmt die Firma Remington Rand auch diesen Entwicklungsbetrieb und bringt den UNIVAC in Serie auf den Markt. Es entstehen zwei Versionen, deren eine als FILE-Computer die Richtung zur datenverarbeitenden Anlage mit Betonung der Speicher und Ein/Ausgabevorrichtung präjudiziert.

Aiken baut nach seinem großen Rechner aus IBM-Maschinenteilen weitere Modelle in Relais-technik und auch mit Röhren und befruchtet damit auch die Entwicklung des DERA an der Technischen Hochschule Darmstadt, von dem aus wiederum durch Übergang der Entwicklungskräfte der Transistorrechner ER 56 von SEL inspiriert wird, der schon sehr frühzeitig große Variabilität der Ein/Ausgabe-Operationen durch einen elektronischen Koordinatenschalter für die Datenkanäle erreicht.

John von Neumann plante wie erwähnt als erster in den USA die Verwendung des Binärcode-Systems und eines intern gespeicherten Programms; der nach seinen Plänen entworfene EDVAC wird jedoch erst später (1952) fertig als der hiernach ausgerichtete EDSAC von Wilkes und Hartree in Cambridge (1959). Beide Rechner und auch der SEAC des Nat. Bureau of Standards (1950) werden mit Ultraschall-Umlauf-Speichern in Form von Quecksilber-Verzögerungsleitungen nach Wilkes (1948 ausgearbeitet) gebaut. Neumann

plant im MANIAC (1952) des IAS auch die Kathodenstrahl-speicher, die von Williams in Manchester (1947) und Forrester entwickelt wurden, und schließlich beim schnellen WHIRLWIND (mit 5 Mikrosekunden Operationstakt) den ersten Magnetkernspeicher. Die Großrechenanlage NORC von IBM hat beispielsweise 264 Kathodenstrahlröhren als Schnellspeicher für 3600 Wörter zu je 66 Bits mit 8  $\mu$ s Operationstakt; sie sind sämtlich synchron geschaltet und speichern je 900 Bits.

Billing und Biermann bauten ab 1948 beim Max-Planck-Institut in Göttingen drei Magnettrommel-Versuchsrechner wachsender Größe. Die Trommel war als zuverlässiges und preiswertes Speichergerät, das auch bei Stromausfall seinen Dateninhalt bewahrt, von großem Wert auch als Arbeitsspeicher besonders bei kleinen und vergleichsweise langsamen Rechnern, die in vielen Typen für einfache wissenschaftliche Berechnungen für die Buchungs- und Abrechnungszwecke gebaut werden. IBM hatte daher mit seinem Magnettrommelrechner 650 einen sensationellen Erfolg. Als moderne Abwandlung tritt die Folienscheibe statt der Trommel als Magnetschichtträger in den Vordergrund; sie gewährleistet ohne große Fertigungsgenauigkeiten minimalen Luftspalt zwischen Magnetköpfen und Schicht. Die Großtrommel und der Plattenspeicher für Kapazitäten bis zu 4 Mio Zeichen werden für wahlfreien Zugriff zu gespeicherten Daten besonders für Buchungsaufgaben wertvoll; neuere Konstruktionen erlauben leichtes Auswechseln der Speicherplatten (IBM 1311) oder von Magnetkarten-Magazinen (NCR-CRAM u. a.). Forrester vom Massachusetts Institute of Technology (MIT) hatte 1950 die Idee, mit zwei halbstarken Strömen im sich rechtwinklig kreuzenden Drahtgitter den Speicherort eines Bits einer Magnetkern-Matrix zu kennzeichnen; die Ring-

kerne selbst waren erst aus dünnem Blech gewickelt, dann aus Ferritmaterial in Sinterverfahren hergestellt; E. v. Albers-Schönberg hat dieses erst bei der Vacuumschmelze Hanau, ab 1948 bei General Ceramics entwickelt. Magnetkernspeicher werden bald als eigentliche Rechen- oder Arbeitsspeicher und als Puffer eingesetzt, weil sie schnellen wahlfreien Zugriff erlauben.

Aus diesem Stand der Technik führt ab 1962 der Weg weiter durch die Entwicklung der Mikromodul- und Dünnschicht-technik, welche die bisher aus einzelnen Schaltelementen zusammengebauten Schaltungen durch Aufdampfen von Halbleiter-, Isolations-, leitenden und magnetischen Metallfilmen im Vacuum hergestellt, wodurch viele verschiedene Elemente in einem winzig kleinen Bauteil zusammengefaßt werden. Ein Muster eines in dieser Technik aufgebauten Rechners wiegt nur 9,7 kg und ist nicht größer als ein Rundfunkempfänger. Seit etwa 1965 arbeiten bereits die ersten Rechenanlagen dieser sogenannten „dritten Generation“; bei ihnen bestehen zum Teil wenigstens die Speicher aus derartigen Dünnschichtelementen, zum anderen Teil die Schaltelemente aus integrierten Mikromodulbausteinen. Sie haben wiederum stark verringerte Abmessungen und auch kürzere Schaltzeiten (einige Nanosekunden). Daher lassen sich die Rechenschritte in immer höherem Maß zusammendrängen und mehrere Programme gleichzeitig ineinandergeschachtelt abspielen, weil die Folgegeschwindigkeit der zu einem Programm gehörenden Arbeitsgänge durch die Ein/Ausgabe-Operationen begrenzt ist. Diese Bemerkung führt dazu, neben der Genealogie der Rechenanlagen, der „hardware“, auf den späteren Seiten auch die parallel laufende Entwicklung der mathematischen Hilfsmittel der modernen Rechen-technik zu betrachten.

### *Die künftigen Möglichkeiten*

Es wird an vielen Forschungsstellen auch an anderen als elektronischen Entwicklungen für logische Schaltelemente gearbeitet:

Die bereits bald erreichte Grenze der Arbeitsgeschwindigkeit (Grenzfrequenz für Transistoren ca. 100 MHz) wegen der Leitungslängen in normal verdrahteten Rechnern führt dazu, optische Mittel auszunutzen, also Lichtstrahlen als Leiter zu verwenden und Fototransistoren als Schaltmittel.

Die Empfindlichkeit der elektronischen Elemente gegen Ionisation, Strahlung und Temperaturextreme, was sie störungsanfällig und für ballistisch-militärische Zwecke schlecht einsetzbar sein läßt, begründet Forschungsarbeiten an pneumatisch-

hydraulischen Logikelementen, wobei störungsdynamische Effekte und kleine Steuerkolbensätze verwendet werden können. Die Firma IBM führte als Demonstrationsmodell kürzlich eine derart gesteuerte Lochstreifenschreibmaschine vor, bei welcher der Leser, die Decodierlogik und die Tastenbetätigung rein pneumatisch arbeiten; Remington Rand UNIVAC zeigte ein komplettes pneumatisches Rechner-Modell.

Das sehr raumsparend zu bauende mechanische Schalt- und Speicherprinzip aus Zuses ersten Rechnern dürfte daher auch wieder aufgegriffen werden, wenn, für begrenzte Zwecke, der Nachteil schwierigen Zusammenbaus größerer Anlagen nicht spürbar wird.

## *Wechselwirkung von Rechenkunst und -maschine*

Es war zu Beginn bereits darauf hingewiesen worden, daß sich die Technik und die Kunst des Rechnens gegenseitig befruchteten; bessere Hilfsmittel ermöglichen bessere Verfahren, und mathematische Aufgaben neuer Konzeption verlangen gebieterisch und schließlich immer erfolgreich nach entsprechenden instrumentellen Lösungswegen. Die Programmierungsverfahren, die „software“, sind mindestens ebenso bedeutsam für

eine rationelle Anwendung der Datenverarbeitungsanlagen wie deren technische Ausführung, und nicht unbegründet hat bisher die Regel gegolten, daß ein neues Anwendungsgebiet eines Rechners in der Praxis ebensoviel Kosten für die Ausarbeitung von Arbeitsverfahren und Organisationsform und für die Programmierung erforderte wie für die Anschaffung des Rechners selbst.

### *Warum wollte man denn soviel rechnen?*

Zuerst, bei der Pionierarbeit Schickards, war es das Bestreben, der neuen Astronomie für ihre unendlich vielen Rechnungen (nie zuvor erschien es notwendig, zur Naturerkenntnis rechnen zu müssen!) ein brauchbares Rechengerät beizugeben. Kepler, der damals mühsam seine „Rudolfinischen Tafeln“ aufstellte, versuchte es mit den kurz zuvor erfundenen Logarithmen; Schickard schreibt ihm „dasselbe, was Du rechnerisch gemacht hast, habe ich in letzter Zeit auf mechanischem Wege versucht . . .“.

Nach der Barockzeit, da mehr die Kunstfertigkeit der Automaten als das Rechenergebnis interessierte, war es die Umstellung aller regionalen Maße und Einheiten auf das metrische System, die nach einem Rechenhilfsmittel zur Aufstellung der Umrechnungs-Tafeln verlangte. Die erste industrielle Herstellung von Rechenmaschinen wurde von einem Bankier und Versicherungskaufmann, Fr. X. Thomas aus Colmar, ab 1824 in die Wege geleitet. Die neuen Statistikmaschinen fanden schnell ihren Weg auch in die Haushäuser und Wirtschaftsbetriebe, um die gleichartigen Abläufe der Rechnungsführung zu erleichtern. Hiermit begann übrigens eine prinzipiell neue Arbeitsweise: die einzelnen Aufträge wurden nicht mehr wie beim manuellen Buchen in der Reihenfolge ihres Eintreffens vollständig bearbeitet und zu Ende geführt, sondern sie wurden gestapelt, bis die verschiedenen Arbeitsgänge dann an allen Aufträgen abschnittsweise nacheinander erledigt werden können. Damit ließ sich zwar das Buchungsgeschäft rationalisieren, aber es ist immer nur zu gewissen Zeitabschnitten, etwa erst abends oder zu Monatsende, abgeschlossen; zwischendurch ist keine Auskunft über den Stand des Betriebes zu erhalten. Dieses „OFF LINE“-

Verfahren, das also stapelweise arbeitet, läßt sich erst neuerdings wieder zum alten „ON LINE“-Verfahren zurückführen, seitdem es Datenspeicher mit großer Kapazität gibt, die wahlfreien Zugriff zu jeder Speicherstelle erlauben, z. B. in Gestalt von Magnet-Scheiben und Magnet-Karten, beide auch mit auswechselbaren Magazinen.

Daß die Lochkartenrechner auch für wissenschaftliche Berechnungen brauchbar wurden, trat erst zögernd ins Bewußtsein; es gibt jedoch eine Reihe von mathematischen Aufgaben, die sich recht gut mit den Mitteln dieser Maschinen lösen ließen.

Der Bedarf an beträchtlich größeren Rechenleistungen ergab sich außer für die stets wiederkehrenden Routinearbeiten der Statik auch im Flugzeugbau und besonders für die Ermittlung von Schußtafeln der Ballistik wegen der großen Reichweite der Artillerie und vor allem der Fernraketen. Hierfür wurden während des Krieges die großen Rechenanlagen in den USA gebaut. Sie wurden später nur zögernd für andere wissenschaftliche und gar für kaufmännische Berechnungen eingesetzt. Hierfür waren sie allerdings auch erst wirklich geeignet, als ihre Zuverlässigkeit soweit gestiegen war, daß die stets unter Zeitdruck stehenden Buchungsaufgaben verläßlich termingemäß zu bearbeiten waren. Vor allem für die Lagerhaltung und Platzreservierungsaufgaben wurden sie zuerst eingesetzt, weil hier ihre Eignung zum Tragen kam, über Fernübertragung mittels Fernschreiberanlagen einlaufende Nachrichten zu verarbeiten. Nachfolgende Tabelle zeigt den Stand der Anwendung und der Herstellung von Rechenanlagen in Europa um 1962, als die unempfindliche und zuverlässige Halbleiter-Bauweise die ersten Röhrenrechner verdrängt hatte.

Rechenanlagen in Europa (Stand Juni 1962)	in Betrieb	Rechen- zentren	Her- steller	Typen
Großbritannien	400	56	8	40
Bundesrepublik Deutschland	450	32	6	9
Italien	240	19	2	3
Frankreich	210	20	4	14
Benelux-Länder	120	20	2	3
Schweiz	110	11	—	—
Skandinavien	85	16	2	4
alle anderen	80	14	—	—
	<hr/> 1695			

(nach Instr. Practice, Dez. 1962)

### Die Rechenabläufe werden programmiert

Schon Babbage mußte die Rechengänge „programmieren“, und seine Mitarbeiterin, Lady Lovelace, die Tochter Lord Byrons, dürfte als erste Programmiererin zu feiern sein.

Die Programmierung der Rechenanlagen entwickelte sich naturgemäß mit der technischen Verfeinerung. Die ersten Rechner arbeiteten i. A. mit dem vom schriftlichen Rechen-schemata her gebräuchlichen 3-Adreß-Befehl: zwei Faktoren werden aus ihren Speicherplätzen abgerufen, miteinander gemäß dem Operationsbefehl verknüpft und an eine dritte Adresse zurückgespeichert. So war z. B. der mit einer Lochkarte je Befehl programmierte IBM-Rechner CPC (Card Programmed Calculator) entworfen. Wenn nur je eine Adresse und ein Operationsbefehl in einem Programmabschnitt auszuführen sind, wird die Liste der Programmbefehle selbst zwar länger, weil jede arithmetische Operation meist drei Schritte erfordert, die technische Durchführung wird jedoch wesentlich einfacher. Dieses „Ein-Adreß-Verfahren“ wird heute am meisten angewendet.

Höchste Verfeinerung in der Programmieretechnik war die Modifikation der Adresse in einem normalen oder speziellen (von v. Neumann als „B-Register“ eingeführten) Rechenwerk, das die Rechnung mit laufenden Indizes erleichterte. Extreme dieses Verfahrens sind sozusagen die Mikrobefehle (1951 von Wilkes entwickelt), die aus einzelnen variablen Bits aufgebaut sind, von denen jedes eine bestimmte Maschinenfunktion steuert, wie es als Besonderheit der ZUSE-Rechner erwähnt wurde. Wilkes u. a. bauen das (ebenfalls schon bei Zuses Z 4 vorhandene) Prinzip der Unterprogramme aus und erarbeiten zum EDSAC und ILLIAC allgemein verwendbare „Programm-bibliotheken“.

Grace Hopper u. a. begannen 1952-54, die immer komplizierter werdenden Programmiervorschriften dadurch zu verfeinern, daß übergeordnete Befehle aus möglichst sinnfälligen Wörtern in die Anlage eingelesen werden können und

diese intern erst die zugeordnete Folge von einzelnen Maschinenbefehlen aus einem Speicher abrufen und zur Wirkung bringen können. Erstes Beispiel: Hoppers A-2-Compiler zum UNIVAC.

Das Programm wird dadurch oft recht einfach und schnell aufzustellen, der Bedarf an Speicherkapazität steigt jedoch stark an, und die Rechnerleistung sinkt durch die jeweils eingeschobenen Umschlüsselungsarbeiten. Wer große Aufgaben bis ins Detail bei minimalem Zeitaufwand lösen will, wird auch heute noch gezwungen, weitgehend in echter Maschinensprache zu programmieren. Trotzdem finden verständlicherweise diese Bestrebungen größte Aufnahme; nachdem fast jeder Hersteller zuerst seine eigene Programm-sprache entworfen hatte, zwingt heute die entstandene Vielzahl und der Wunsch, die Programme auf verschiedenen Maschinentypen verarbeiten zu lassen, zu einer Vereinheitlichung. Die problemorientierten Programmierverfahren ALGOL und COBOL werden bereits international angewendet, ebenso einige andere für spezielle Aufgaben, z. B. APT und AUTOPROMT als Programme zur Errechnung von Steuer-Magnetbändern für automatisierte Werkzeugmaschinen.

Daß die datenverarbeitenden programmgesteuerten Rechenanlagen programmiert werden müssen, zwingt dazu, die zu automatisierenden Abläufe aus Wissenschaft, Wirtschaft oder Produktion zuvor bis ins einzelne zu untersuchen und zu durchschauen: das ist in vielen Fällen schon ein recht beachtlicher Teilerfolg. Die erforschten Gesetzmäßigkeiten dann zu formulieren, in geregelten Ablauf zu bringen und diesen einzuhalten, bringt zuerst manche Anstrengung, doch bietet sich allein hierdurch die Möglichkeit, den Menschen anschließend für menschenwürdigere als Routinearbeit frei zu machen; mit der so erreichbaren Ordnung in äußeren Dingen könnten dann auch die wesentlicheren inneren Probleme geordnet werden.

*Literatur:*

- Aufnahme und Verarbeitung von Nachrichten durch Organismen.*  
Herausgeb. Nachrichtentechn. Ges., Verlag S. Hirzel, Stuttgart,  
1961
- Steinbuch, K.: *Taschenbuch der Nachrichtenverarbeitung.* Springer  
Verlag 1967, 2. Aufl. (zahlreiche Literaturangaben)
- Berlin, M. B.: *How did Computers happen.* *Computer & Auto-*  
*mation* 11 (April 1962) 4, S. 12–15
- Sewell, Astrahan, Patterson and Pyne: *The Evolution of Computing*  
*Machines and Systems.* *Proc. IRE* 50 (May 1962) 5, S. 1039–1058  
(142 Literaturangaben)
- Murray, F. J.: *Mathematical Machines, Vol. I, Digital Computers.*  
Columbia Univ. Press, New York, 1961
- Morrison, Ph. und E.: *Charles Babbage and his Calculating Ma-*  
*chines: Selected Writings.* Dover Publ. Inc., New York, 1962, 400 S.
- Heath: *Pioneers of Binary Coding.* *J. Inst. Electr. Engineers, Lon-*  
*don,* 7 (1961) 81, S. 539–541
- Alexander, W.: *The Ternary Computer.* *Electronics & Power* 10  
(1964) 2, S. 36–39, 5 B, 1 Tab.
- Coste, L. E.: *Rechenverfahren für Digitalrechnergerät.* *Deutsche*  
*Patent-Auslegeschrift* 1116 445 (42 m 14), *Priorität Frankreich*  
vom 27. 12. 58.

# Geschichte der Rechentechnik

## Teil I Rechenmaschinen und Datenträger

### 1 Die Entwicklung der mechanischen Rechenmaschinen

Der Beginn des über das primitive Abzählen hinausreichenden Rechnens weist auf die Wendemarke von der rein anschauenden und sich zur qualitativen Bewertung steigernden Naturbetrachtung zum quantitativen Erfassen der Umwelt, das ganz auf Maß und Zahl begründet ist und sich zum wirtschaftlichen Handeln und zum analytischen Durchdringen ausbildet. Wohl sind hohe Kulturen und Geisteswissenschaften, nicht aber moderne Volkswirtschaft und Naturwissenschaften ohne hohe Fertigkeit im Rechnen denkbar. Es ist daher zwangsläufige Folge, daß die heutige Zeit die stärkste Blüte

der Rechentechnik sieht, da das formelmäßige Beherrschen der Natur auf einen Gipfel zustrebt. Mögen die „Giant Brains“, die Rechenanlagen, bald so leistungsfähig werden, daß sie dem Menschen diese einseitige Zuwendung zu einer – wie sich durch die Möglichkeit des mechanischen Rechnens zeigt – rein technischen und durchaus nicht spezifisch humanen Beschäftigung ganz abnehmen können und ihm die Muße zurückgeben, sich wieder den wesentlicheren qualitativen Fragen hinzugeben!

#### 1.1 Das dezimale Zahlensystem als Voraussetzung

Über lange Jahrtausende hinweg begnügte sich der Mensch mit den naturgegebenen Rechen- und Zählhilfsmitteln, den Fingern, um kleine Zahlen bis zu einigen zehn Einheiten zu zählen und additiv oder subtraktiv zu verknüpfen. Wird schließlich, zuerst natürlich bei den staatlichen Schatzmeistern, größere Zählkapazität notwendig, so werden andere Zählelemente, Steinchen oder Perlen, Knoten oder später besondere Münzen (Rechenpfennige) den Zählklassen zugeordnet. Schon früh zeichnet man dazu Linien oder Felder in den Sand oder meißelt sie in die Tischplatte fest ein (Muster: Marmortafel aus Salamis von rd. 400 v. Chr., 1886 entdeckt, 150 x 75 cm groß; Nachbildung im Brunsviga-Museum), bezeichnet diese mit den Zahlworten und legt die Zählelemente in richtiger Anzahl auf die richtigen Linien; Addieren und Subtrahieren ist ein einfaches Umordnen und Verschieben auf andere Linien (Abb. 1-3/1.1.).

Das römische Rechensystem ist zwar im Gegensatz zu den meisten altzeitlichen dezimal, kennt aber nur die Zahlzeichen für die Dezimalstufen I, X, C, M usw. (und zur Ersparnis von Zählelementen auch die Halbwerte V, L, D, ist also „biquinär“) aber kein Zeichen für jeden der 10 Ziffernwerte (ist also nicht denär), keine Stellenwertigkeit und nicht die dazu notwendige Null als eigenes Zahlzeichen. Jedes Rechnen ist daher ein Abzählen der in erforderlicher Anzahl zusammengestellten Zahlzeichen oder stellvertretender Zählelemente, beispielsweise eben der Rechenpfennige.

Ein erster Ansatz zu instrumentellem Rechnen ergibt sich durch die auch auf alte Zeiten zurückzuführende Erfindung des *Abakus* (Abb. 4/1.1), bei dem die als Zählelemente die-

nenden, sonst lose aufgelegten Perlen oder Schieber auf Drähten oder in Schlitzen verschiebbar, aber unverlierbar eingesetzt sind. Dieses erste und überaus brauchbare tragbare Rechenhilfsmittel ist als „*Suanpan*“ oder „*Soroban*“ in Ostasien seit etwa 1100 v. Chr., als „*Stschoty*“ in Rußland verbreitet und noch heute in Gebrauch (Abb. 5/1.1).

Wer heute versucht, in römischer Schreibweise notierte Zahlen ohne die Hilfsmittel des Rechenbrettes oder des Abakus zu addieren oder gar zu multiplizieren, wird einsehen, daß der Fortschritt der Rechenkunst unabdingbar mit der Einführung des Stellenwertes und der verschiedenen Ziffernbilder samt der Null verknüpft ist, durch die erst die mehrfache Aneinanderreihung von gleichen Zählelementen innerhalb einer Dekade zu vermeiden ist. Bemerkenswerterweise bleibt jedoch das alte additive Prinzip für die mechanische Rechentechnik weiterhin erhalten, und auch die biquinäre Darstellung der zehn Ziffern, die der Abakus vorweggenommen hat, ist bei Lochkarten und Elektroanlagen heute noch in Gebrauch.

Erst in der Zeit um 1500 n. Chr. wurde das in Indien entstandene und von den Arabern nach Spanien gebrachte Ziffernsystem mit dezimalem Stellenwert im Abendland gebräuchlich; es hat sich von hier aus über die ganze Welt verbreitet und wurde zur fast überall gültigen Schreibweise – neben den chinesischen Wortsymbolen ein Beispiel, wie sich Sprachenverschiedenheiten durch einheitliche Schriftbilder überwinden lassen. Es ist auch Grundvoraussetzung und sozusagen erste Wurzel für die heutige Rechentechnik.

Die zehn Ziffern der „arabischen“ Schreibweise, die je nach ihrer Position für alle Zehnerpotenzen gültig sind, ermöglichen erstmals, das  $1 \times 1$  schriftlich in allen Dekaden gleichartig darzustellen. Somit können später die 10 Zähne eines Zählrades an Stelle der Rechenpfennige treten, und jede Position dieses Zählrades kann mit der zugehörigen Ziffer bezeichnet werden. Der erste Schritt ist jedoch, das Multiplizieren zu erleichtern, indem das  $1 \times 1$  auf den Umfang von *Rechenstäbchen* (Abb. 6/1.1) aufgezeichnet wird; Lord Napier

of Merchiston (1550–1617) lehrte, wie durch richtiges Aneinanderfügen der einzelnen Stäbchen — eines für jede Dekade — das Teilprodukt einfach abzulesen ist; hierbei sind nur noch die jeweils benachbarten Ziffern im Kopf zu addieren. Ein nur kleiner, von einigen Gelehrten fast gleichzeitig erkannter Gedankenschritt führt dazu, diese Rechenstäbchen als zehnsseitige Walzen in einem Rahmen drehbar zu lagern, und nur die eine durch den Multiplikator definierte Zeile durch verstellbare Fenster sichtbar werden zu lassen.

## 1.2 Bauformen mechanischer Zähl- und Rechenwerke

Diese Anordnung der Multiplikationstabelle wird von W. Schickard (Abb. 7/1.2) (1623) ausgebaut durch eine neue Konstruktion: das Addierwerk mit Zählrädern mit 10 Zähnen und mit Zehnerübertragung durch Zahnräder zum Zusammenzählen der einzeln abgelesenen Teilprodukte. Damit ist die Grundlage gelegt zum mechanischen Rechenwerk, dessen weitere Konstruktion bis auf den heutigen Tag auf diesem zehnstelligen Zahnrad zum Zählen im dezimalen System beruht, bei dem nach jeder vollen Umdrehung eines Ziffernrades das nächste um eine Stelle weitergedreht wird (Abb. 8/1.2). Schickard gibt auch noch eine Reihe von Ziffernscheiben zum Einstellen bzw. Notieren der einzelnen Faktoren- bzw. Quotienten-Stellen hinzu (Abb. 9/1.2).

Die historische Bedeutung dieser frühen Erfindung wurde erst 1957 von B. von Freytag-Löringhoff erkannt; ein nach den Originalskizzen konstruiertes Modell beweist (Abb. 10/1.2), daß hier ein durchaus brauchbares Hilfsmittel zur Vierspezies-Rechnung entstanden war.

Die Relativbewegung zwischen einem Einstell- und einem Ergebniswerk, durch welche die Teilprodukte stellenrichtig aufsummiert werden könnten, findet man an Schickards Gerät noch nicht; ebensowenig natürlich — weil dazu nicht erforderlich — an der einfachen Addiermaschine, die der im Entstehungsjahr des Schickardschen Gerätes geborene Blaise Pascal (Abb. 11/1.2) 1640–42 entwickelt und 1645 endgültig fertiggestellt hatte.

Sein Vater war Steuerintendant, und der junge Pascal entwirft ihm diese Maschine zur Erleichterung seiner täglichen Arbeit. Daher hat diese Maschine auch nicht-dezimale Ziffernräder für die in 20 und 12 Bruchteile unterteilte Geldeinheit der damaligen französischen Währung (Abb. 12/1.2).

Es war dem Genie Leibniz (Abb. 13/1.2) vorbehalten, diese Voraussetzung für eine vollwertige Vierspezies-Rechenmaschine — nämlich den verschieblichen Zählwerkschlitten — zu erkennen und zu konstruieren und dabei gleichzeitig die Fortschaltung eines Ziffernrades (Abb. 14/1.2) um eine einstellbare Anzahl von Positionen durch das Zusammenspiel einer Zahnwalze mit staffelförmig von 0–9 zunehmender

Zähnezahl, „Staffelwalze“, mit einem verschieblichen Abgriffszahnrad (Abb. 15/1.2) zu realisieren (Abb. 16/1.2).

Diese unter Aufwand hoher Kosten und jahrelanger Bemühungen gebaute Maschine kam wegen der noch nicht genügenden feinmechanischen Kunstfertigkeit niemals zur Betriebsreife, enthält jedoch bereits alle notwendigen Bauelemente; eines der Originale wurde 1894 vom bekannten Rechenmaschinen-Konstrukteur Burkhard zu einwandfreiem Arbeiten gebracht. Leibniz erkannte auch die Eignung des *dualen Zahlensystems* mit nur den beiden Binär-Ziffern 0 und 1 zur Darstellung aller Zahlen und er war hoch erfreut, als seine Erkenntnis eine uralte chinesische Dual-Notierung, die dem Kaiser Fohi (2600 v. Chr.) zugeschrieben wird, zu enträtseln half (Abb. 17/1.2).

Ein zweites Prinzip zur wahlweisen Fortschaltung von Zählrädern um 1 bis 9 Zähne wurde von Joh. Poleni in Padua um 1709 erfunden: das „Sprossenrad“ (Abb. 18/1.2). In der heutigen Ausführung lassen sich die radial verschieblich gelagerten Speichen eines Rades durch eine auf die Ziffernwerte verstellbare Leitkurve nach außen verschieben, so daß mehr oder weniger Speichen in ein Abgriff-Zahnrad eingreifen können (Abb. 19/1.2).

Vorteil des Prinzips ist, daß kein platzraubendes achsiales Verschieben von Staffelwalze oder Abgriffrad erforderlich ist; nachteilig ist jedoch, daß die Einstellgriffe der Leitkurven mit umlaufen und daher nicht griffbequem groß ausgeführt werden können.

Die nicht zum richtigen Funktionieren gebrachte und daher von Poleni selbst wieder zerstörte Maschine war mit Gewichtsaufzug geplant, wie bei den damals in Blüte stehenden Konstruktionen von großen Turm- und astronomischen Uhren. (Eine Rekonstruktion (Abb. 20/1.2) steht bei IBM-Italia.) Vermutlich in Kenntnis dieser Konstruktion baute der vorher in Mailand arbeitende Antoni Braun, kaiserlicher mathematischer Instrumentenmacher in Wien, um 1726 eine sehr sorgfältig ausgearbeitete Rechenmaschine mit konzentrisch um die Staffelwalze angeordneten Zählrädern. Dies dürfte

wohl die erste wirklich funktionsfähige Vierspezies-Rechenmaschine gewesen sein. Sie steht im Original im Technischen Museum, Wien (Abb. 21-23/1.2).

Der auch als Begründer der schwäbischen Waagenindustrie bekannte Pfarrer Ph. Matthäus *Hahn* (Abb. 24/1.2) in Echterdingen bei Stuttgart benutzte ab 1770 die von Leibniz angegebene Staffelwalze als Multiplizierwerk, vereinfachte dessen Konstruktion jedoch beträchtlich durch ebenfalls konzentrische Anordnung von Einstell- und Ergebniswerken. Sein Schwager Schuster in Ansbach baute im Laufe der Jahre (bis 1820) eine größere Anzahl dieser Maschinen (Abb. 25/1.2).

J. H. *Müller* in Darmstadt konstruierte 1783–84 unabhängig von ihm eine Maschine (Abb. 26/1.2) nach gleichem Prinzip (sie ist im Original in Darmstadt erhalten) und fügte eine Reihe von weiteren nützlichen Konstruktionseinzelheiten hinzu. Er mutet fast modern an mit seinen Versuchen, um wieviel schneller man mit der Maschine rechnet, und mit seinen Feststellungen, daß man die Rechenmaschine auch für die Leibnizschen Dualzahlen einrichten könne, daß man konstante Differenzen selbsttätig aufaddieren und die Ergebnisse selbsttätig und fehlerfrei ausdrucken könne: das sind die ersten Hinweise auf die Vorteile automatischen Rechnens. Die umfangreichen Berechnungsaufgaben, die um die Jahrhundertwende wegen der Einführung der neuen dezimalen Maß- und Gewichtssysteme (das 1791 vorgeschlagene Meter wird 1837 in Frankreich gesetzlich eingeführt) und der beginnenden Industrialisierung erforderlich wurden, begünstigten die serienmäßige Herstellung von Rechenmaschinen. 1818–1824 nimmt Chr. X. *Thomas* in Paris die Fabrikation einer Staffelwalzenmaschine Arithmomètre auf (Abb. 27/1.2). Bis 1878 waren etwa 1500 dieser Maschinen verkauft. Später übernimmt die von A. *Burkhardt* begründete Rechenmaschinen-Industrie in Glashütte (Sachsen) die Führung. Heute noch arbeiten mehrere Fabrikate nach dem Leibnizschen Staffelwalzen-Prinzip (Bäuerle „*Peerless*“, Pöthig „*Archimedes*“ u. a.). Auch die einfache Hahnsche Form mit kreisförmiger Anordnung von Einstell- und Ergebniswerk wird 1885 von J. *Edmonson*, dann, 1908, von Chr. *Hamann* (1870–1948) erneut zum Leben erweckt und von letzterem in der „*Gauß*“-Maschine mit einer zentralen Staffelscheibe als Schaltgetriebe vereinfacht (Abb. 28/1.2); heute ist dieses Prinzip die Konstruktionsgrundlage für die kleine Rechenmaschine „*Curta*“ (Abb. 29 und 30/1.2) mit zentraler Staffelwalze.

Das Sprossenrad – das auch bereits von Leibniz erwogen worden war – wird ebenfalls weiterentwickelt; *Roth* ab 1841 und W. T. *Odhner* ab 1874, dann die Firma *Trinks-Brunsviga* (Abb. 31/1.2) u. a. bauen damit handbetriebene Vierspezies-Maschinen, die weite Verbreitung finden. In den USA beginnt *Baldwin* 1875 die Produktion, und auch die „*Marchant*“ (Abb. 32/1.2) ist damit ausgerüstet, die 1915 einen elektrischen Antrieb erhielt. 1921 wurde für diese Maschine ein neues Prinzip gefunden, welches höhere Umlaufgeschwindigkeit (bis 1500 U/min gegen sonst rd. 400 U/min) erlaubt,

und bei dem die Einstellhebel nicht mit umlaufen, was das Bedienen erleichtert. Zum gleichen Zweck entwickelte Chr. *Hamann* (Berlin) sein formschlüssiges *Schaltklinkenverfahren* (Abb. 33/1.2) das sich bis heute in den „*Hamann*“-Maschinen (mit verkürzter Multiplikation) bewährt. Bereits um 1905 hatte er das *Proportionalhebel*-Getriebe der „*Mercedes-Euklid*“ erfunden (Abb. 34/1.2); dieses eignete sich besonders gut für die Einstellung mittels Tastatur, und vermeidet durch sinusförmige Schaltbewegungen mit Eingriff der Abgriffzahnräder im Ruhezustand des Getriebes die bisher unvermeidbaren, bei schnellem motorischen Antrieb aber sehr ungünstigen stoßartigen Beanspruchungen und das Überschleudern der plötzlich freigegebenen Ziffernrollen. Diese Maschine erhielt eine eigene Tastatur zur Eingabe eines Multiplikators, wonach die wiederholte stellengerechte Addition des Multiplikanden selbsttätig gesteuert abläuft. Die Multiplikation wird immer noch als wiederholte Addition ausgeführt; einige Maschinen rechnen jedoch „verkürzt“, d. h. bei Faktoren über 5 arbeiten sie (z. B. mit dem Komplement) subtraktiv und addieren in der nächsthöheren Dezimalstelle einmal mehr.

$12345 \cdot 7$	$12345 \cdot 7$
+ 12345	– 12345
+ 12345	– 12345
+ 12345	– 12345
+ 12345	+ 123450
+ 12345	= 86415
+ 12345	
+ 12345	
= 86415	

Ersparnis: 3 Rechenschritte.

Trotz dieses an sich unbeholfenen Multiplizierverfahrens haben sich reine Multiplikationsmaschinen (Abb. 35/1.2) mit eingebautem „Einmaleins-Körper“ (1886 *Selling*, 1888 *Büttner*, 1889 *Léon Bollée*) verständlicherweise nicht durchsetzen können, obschon die „*Millionaire*“ von *Steiger* und *Egli* in Zürich ab 1892 bis 1920 in mehreren Exemplaren gebaut wurde.

Die Divison wird durch wiederholtes Subtrahieren des Divisors in jeder Dezimalstelle ausgeführt, solange, bis ein Zehnerübertrag in der höchsten Rechenwerkstelle angibt, daß einmal zu oft subtrahiert wurde, daraufhin wird einmal zurückaddiert. Die dazu nötigen Steuervorgänge sind von der Zehnerübertragung der höchsten Stelle einfach abzuleiten. Eine der ersten selbsttätig dividierenden Maschinen war die „*Madas*“ (1908), nachdem das Prinzip von Alexander *Rechnitzer* in seiner „*Autarith*“ um 1902 entwickelt worden war (US Pat. 809 075 und 1.292 513).

Die Konstruktionsprinzipien mechanischer Rechenmaschinen sind damit ausgeschöpft; die weiteren Arbeiten betreffen im wesentlichen lediglich fertigungstechnische Vervollkommnung, Ausbau zu höheren Leistungen, zu besserer Bedienbarkeit, und gefälliger Formgebung.

Schließlich werden die bisher getrennten Entwicklungen von Vierspezies-Rechenmaschinen und nur saldierenden, aber schreibenden Buchungsmaschinen zusammengefaßt in den sog. Fakturiermaschinen. Hier sind anfangs mechanische Rechenmaschinen zur Multiplikation fest eingebaut (Abb. 36/1.2) oder mechanisch (Abb. 37/1.2) bzw. elektrisch (Abb. 39/1.2) angeschlossen an eine Schreib- oder Buchungsmaschine. Nach dem ersten Versuch des Spaniers *Torres y Quevedo* in Madrid (1910) zum elektrischen Verkoppeln von Schreib- und Rechenmaschinen, vorgeführt in Paris 1920, baute *Boutet* um 1928 die „*Synchron-Madas*“ aus einer Underwood-Buchungsmaschine, einer *Madas*-Vierspezies-Rechenmaschine und einem anschließbaren Powers-Kartenlocher. Die Operationen werden meistens durch versetzbare mechanische Reiter einer Steuerbrücke (s. Abb. 4 u. 5/9.3) angesteuert, wodurch bereits eine gewisse Automatisierung des Fakturierens ermöglicht wurde.

Als Beispiele für moderne mechanische Rechenmaschinen seien die kleine „*Alpina*“ (Abb. 38/1.2) und die Volltastatur-Maschine *Bauerle*-„*Badenia*“ genannt, die auch, durch elektrische Verkoppelung mit einer *Siemag*-Schreibmaschine (Abb. 39/1.2) als „*Multiquick*“, die Ergebnisse selbsttätig auf ein Formblatt niederschreibt. Der „*Ultra*“-Rechenautomat der Firma *Oerlikon* (Abb. 40/1.2) ist, im Gegensatz zu den bisher erwähnten Maschinen, mit Zehnertastatur und mit einem eingebauten Druckwerk für Registrierstreifen ausgerüstet; er ist ein Beispiel von vielen dafür, wie sich neuerdings die Vierspezies-Maschinen nach Aufbau und Konstruktion an die einen eigenen Entwicklungsgang durchlaufenden Addiermaschinen anlehnen.

Immer bleibt naturgemäß das zehnerwertige Zählelement in Form des Zahn- und Ziffernrades das Grundbauelement der Konstruktion. An Stelle des insgesamt gegenüber dem Einstellwerk verschieblichen Rechenwerkes tritt hier der zwi-

schen diesen beiden vermittelnde verschiebbliche kleine Stift- oder Übertragungsschlitten, so daß beide Werke ortsfest bleiben und die dezimale Stellen-Fortschaltung schneller und stoßfreier vor sich gehen kann. Leistungsfähigere Maschinen ermöglichen oft Rückübertragung des Ergebnisses in das Einstellwerk und erhalten z. T. zu dem Rechenwerk noch ein zweites Speicherwerk; eine Buchungs- und Statistikmaschine „*LogAbax*“ (Abb. 41/1.2) erhält sogar 198 mechanisch-dezimale, beliebig anrufbare Speicherwerke (Abb. 42/1.2).

Ein grundsätzlich neuartiger, flexiblerer Aufbau der Vierspezies-Maschinen ist jedoch nur in Versuchskonstruktionen (z. B. von *Ferd. Hecht*) entwickelt und nicht realisiert worden; auch die an sich bekannte Simultan-Zehnerschaltung hat die schrittweise von Stelle zu Stelle fortschreitende noch nicht allgemein abgelöst. Immerhin bilden die mechanischen Rechenmaschinen mit dezimalem Schaltgetriebe heute einen markanten Abschluß einer langen Entwicklung, die aus genialen Anfängen zu zuverlässigen und nützlichen Konstruktionen geführt hat. Ihre Rechengeschwindigkeit ist so hoch, wie es bei der rein mechanischen Arbeitsweise möglich und gleichzeitig der Bedienung von Hand angepaßt ist. Sie werden – wenigstens in den einfacheren Typen – so lange noch Verwendung finden, wie sich handbediente Rechenmaschinen von langer Lebensdauer und geringem Wartungsbedarf elektronisch nicht ebenso zweckmäßig und preiswert bauen lassen. Als Beispiele für den ersten Schritt der sich anbahnenden Entwicklung sei – im Vorgriff auf spätere Abschnitte – auf die vornehmlich mit Kaltkathodenröhren ausgerüstete „*Anita*“ (Abb. 43/1.2) (1960) hingewiesen, der 1964 die erste voll mit Transistoren ausgerüstete Tischrechenmaschine *IME 84* (*Edison*) mit Zehnertastatur und weitere Modelle (*FRIDEN 130*, *Wanderer-Conti* (mit Druckwerk), ferner *LOCIT-1* von *Wang Labs.*, *ALAS* von *Elektronska Industrija*, *Nisch* und *COMPET/Sharp* von *Hayakawa Electric*, *Osaka*) u. a. nachfolgen.

### 1.3 Anfänge zur Konzeption von Rechenautomaten

Das Berechnen und Drucken von „geometrischen Progressionen“ (Parabeln höherer Ordnung) mittels konstanter Differenzen wurde bereits von *J. H. Müller* (Abb. 26/1.2) selbsttätig zu erledigen vorgeschlagen. *Charles Babbage* entwarf 1823 eine solche „*Differenzenmaschine*“ (Abb. 44/1.3). Sie sollte Funktionen mit konstanter fünfter Differenz schrittweise aufrechnen und die Ergebnisse ausdrucken. 1823 wurde ein Modell zu bauen begonnen, das 44 Rechenschritte je Minute ausführen sollte. 1829 häuften sich die finanziellen Schwierigkeiten; schließlich geriet 1837 die Arbeit ins Stocken und mußte 1842 endgültig beendet werden. Kein Wunder, daß dies so mißriet: *Babbage* mußte erst die Vorrichtungen und

Werkzeugmaschinen entwerfen, die derart präzise Verzahnungen und Maschinenteile herzustellen vermochten.

Nach *Babbages* Vorbild bauten später *Donkin* in England und *Georg* und *Edvard Scheutz* (Vater und Sohn) in Schweden eine *Differenzenmaschine* (Abb. 45/1.3), die erwartungsgemäß arbeitete und im *Dudley-Observatorium* in *Albany* verwendet wurde. Diese Maschine druckte tatsächlich die Ergebniszahlen, d. h. vielmehr sie prägte die Ziffern durch Stempel in Pappmatern als Gußform für den Druckstock (Abb. 46/1.3), ebenso die *Differenzenmaschine* von *Wiberg* (Goldmedaille der Weltausstellung Paris 1855), mit der 1875 eine *Logarithmentafel* erstellt wurde.

Was Babbage damals unter Aufwand von 17 000 Pfund wegen der Unvollkommenheit der technischen Möglichkeiten nicht erreichte, kann etwa 100 Jahre später mit marktüblichen Buchungsmaschinen leicht realisiert werden: die „*National 3000*“ hat 6 beliebig aufrufbare Speicherwerke, ein Druckwerk und Springwagen; das Institut für Praktische Mathematik der Technischen Hochschule Darmstadt baute 1943 dazu Programmsteuerwerke zum fortlaufenden Aufruf der Addier- und Speicherwerkstasten vermittels aufgesetzter Magnete und errechnete damit vollselbsttätig Zwischenwerte zu weitmaschig berechneten Funktionstafeln durch bereichsweise konstante fünfte Differenzen (siehe Abschnitt 4.1).

Eine kleine spezielle Zweifach-Addiermaschine mit Druckwerk für das Berechnen von Funktionswerten nach konstanter zweiter Differenz wurde von Chr. Hamann (Abb. 47/1.3) bereits 1912 gebaut.

Babbage war durch seinen Mißerfolg keineswegs entmutigt; er wandte sich 1833 einem weit größeren und vollends unerfüllbaren Projekt zu: dem „*analytischen Rechenautomaten*“ (Abb. 48/1.3). Dieser sollte nicht nur eine bestimmte mathematische Aufgabe, eben die fortlaufende Addition, bearbeiten, sondern für jede Rechenaufgabe geeignet sein, deren Rechenablauf explizit festgelegt werden kann.

Seine technische Intuition fand damals die heute in Elektronenrechnern als erforderlich realisierten Baugruppen:

das Rechenwerk mit dezimalen Zählern und Schaltgetrieben zur Steuerung des Weiterrechnens in Abhängigkeit vom jeweiligen Rechenergebnis,

den Speicher (für tausend 50stellige Zahlen),

das Eingabewerk für Zahlen und Rechenvorschriften (er plante die Verwendung von Lochkarten),

das Druckwerk mit Prüfung der Richtigkeit des Ziffernsatzes.

An diesen Konstruktionsplänen ist — neben dem Mut, sie mit den damaligen Mitteln in rein mechanischer Bauweise realisieren zu wollen — vor allem bemerkenswert, daß bereits die Simultan-Zehnerschaltung für alle Stellen des Zählwerks vorgesehen war, um bei dessen hohen Stellenzahlen den gewünschten schnellen Rechentakt überhaupt zu ermöglichen. Sie wurde später in Lochkarten-Tabelliermaschinen, aber bis heute normalerweise nicht in Vierspezies-Rechenmaschinen eingebaut, obwohl durch den schrittweisen Zehnerübertrag die Arbeitsgeschwindigkeit wie auch die Stellenzahl des Rechenwerks begrenzt wird.

Durch die Konzeption der „*analytical engine*“ erweist sich Charles Babbage als geistiger Vater aller späteren Rechenautomaten, obzwar diese oft ohne genaue Kenntnis seiner Gedanken entwickelt wurden, und wenn auch die Verwirklichung seiner genialen Idee ebenfalls unvollendet blieb, als er 1871 starb. Sein Sohn H. P. Babbage baute später die wesentlichen Teile des Modells weiter und berechnete zur Demonstration der Brauchbarkeit eine Tafel der Vielfachen von  $\pi$ . Diese Modelle und Rekonstruktionen stehen heute im Science-Museum in London; Babbage wurde — schon zu seinen Lebzeiten — als „*crackpot*“, als Narr angesehen und fand nur noch knappe Erwähnung in Fachbüchern und Lexika. Für programmgesteuerte Rechenanlagen bestand über Jahrzehnte hinweg keine Verwendung, und selbst die umfangreichen Aufgaben der statistischen Erfassung und des kaufmännischen Rechnens ließen sich mit einfacheren Mitteln bearbeiten. Erst fast hundert Jahre später, in unseren Tagen, findet Charles Babbage die Anerkennung für seine Leistung, deren er selbst so sicher war. Er schreibt 1864:

“Half a century may probably elapse before . . . any man shall succeed in really constructing an engine embodying in itself the whole of the executive department of mathematical analysis . . . I have no fear of leaving my reputation in his charge . . . able to appreciate the nature of my efforts and the value of their results.”

#### Literatur:

Chase, G. C.: *History of Mechanical Computing Machinery*. Proc. ACM, May 1952.

Couffignal, L.: *Les machines à calculer, leurs principes et leur évolution*. Gauthier-Villars Paris 1933.

Czapla, V.: *Entwicklung und Ursprung von mathematischen Maschinen von alters her bis zum zweiten Weltkrieg*. In: *Acta Historiae Rerum Naturalium*, No. 6, Tschechoslowak. Akad. Wiss. Favier, J. und R. Thomelin: *La mécanographie, machines à calculer etc*. Les éditions de Montligeon 1963.

Galle, A.: *Mathematische Instrumente*. Teubner Verlag Leipzig 1912.

Martin, E.: *Die Rechenmaschinen und ihre Entwicklungsgeschichte*. Verlag Joh. Meyer, Pappenheim 1952.

Meyer zur Capellen, W.: *Mathematische Instrumente*. Akadem. Verlagsges. Leipzig 1944.

Willers, Fr. A.: *Mathematische Instrumente*. Verlag R. Oldenbourg 1943.



Abb. 1/1.1

Das Rechenhilfsmittel bis zum hohen Mittelalter: Rechenbrett zum Rechnen auf den Linien. Der Kaufmann legt Rechnung auf seiner Bank mit Rechenpfennigen; der Betrag von 3161 wird gerade zum Kummer des Kunden um 10 erhöht.

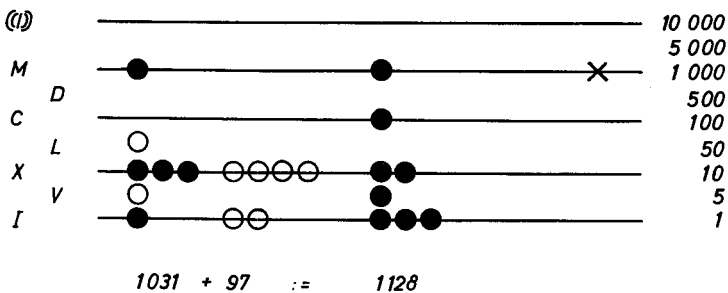


Abb. 2/1.1

Arbeitsweise des Rechnens auf den Linien: wenn 5 Rechenpfennige auf einer Linie zusammenkommen, wird stattdessen einer in den anschließenden Zwischenraum gelegt. Die Linie für die Tausender wird stets mit einem Kreuz bezeichnet.

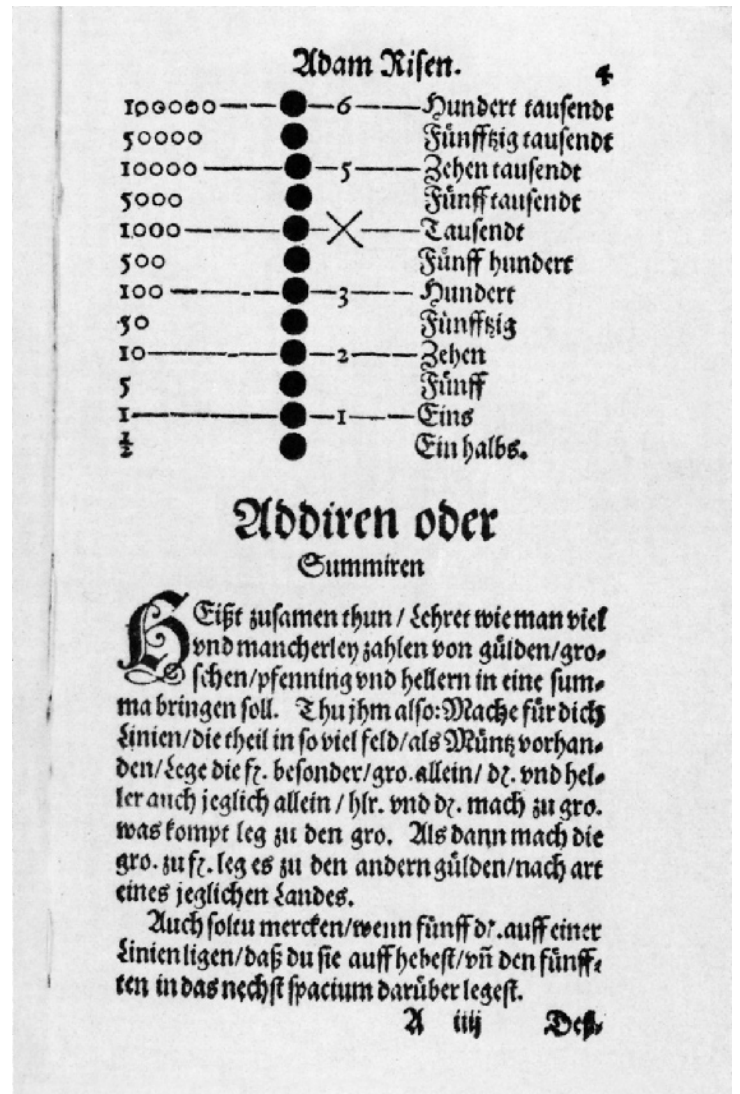


Abb. 3/1.1

Seite 4 aus Adams Rieses Lehrbuch „Das Rechnen auf den Linien“, Annaberg 1574, in welchem neben diesem an kein spezielles Ziffernsystem gebundenem Hilfsverfahren auch das neuzeitliche Rechnen mit „arabischen“ Ziffern gelehrt wird.

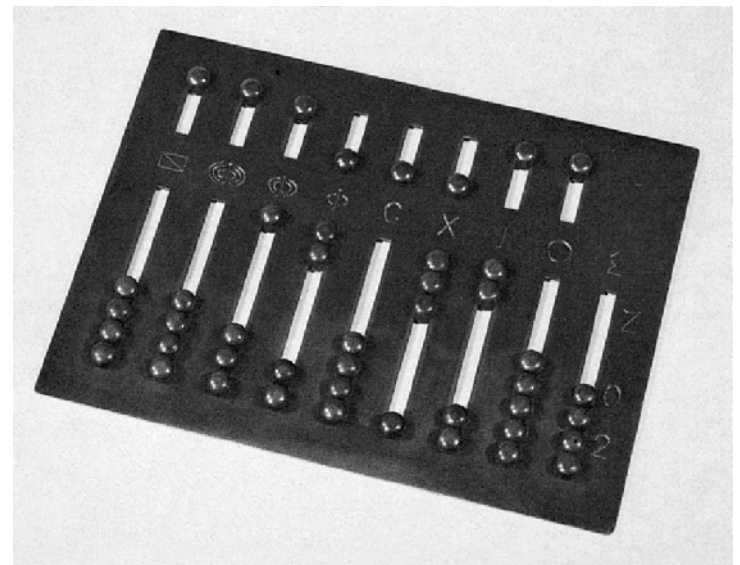


Abb. 4/1.1

Römischer Abakus. Originalgröße 9 x 12 cm. Nachbildung eines in der Bibliothèque Nationale, Paris, befindlichen Originals.





Abb. 7/1.2

Wilhelm Schickart (1592–1632), (meist Schickard geschrieben), der Erfinder der ersten Vierspezies-Rechenmaschine. Professor der biblischen Sprachen und der Astronomie in Tübingen. Er hält ein Modell zur Demonstration der Umlaufbewegungen von Sonne, Mond und Erde in der Hand; damit wird sein Fachgebiet und seine enge Freundschaft mit Kepler gekennzeichnet.

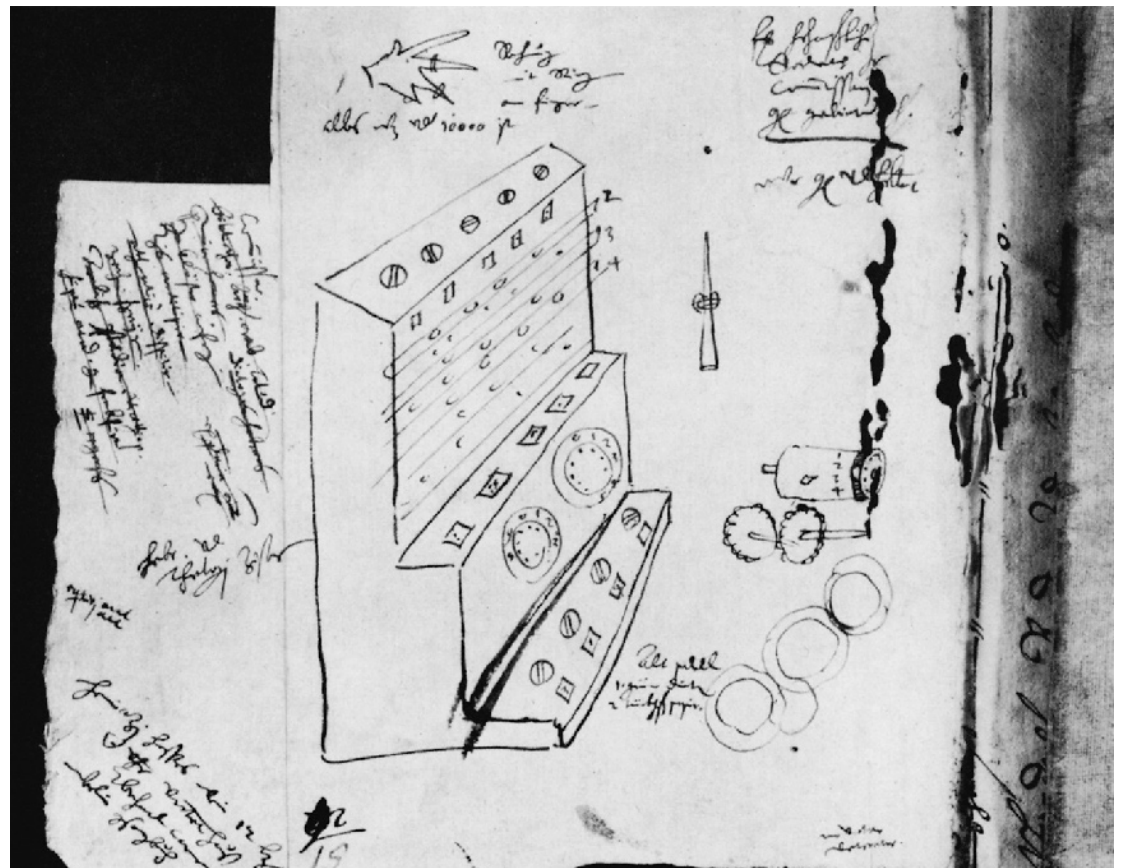


Abb. 8/1.2

Skizze zur Konstruktion seiner Rechenmaschine in Schickards Notizbuch.