Heinz Glade, Karl Manteuffel

Am Anfang stand der Abacus

Aus der Kulturgeschichte der Rechengeräte

1973 Urania-Verlag Leipzig, Jena, Berlin
MSB: Nr. 79
Abschrift und LaTex-Satz: 2021

Vorwort

Dieses Buch hat eine Vorgeschichte, die charakteristisch ist für Überlegungen, die von der modernen Wissenschaft und von der Technik ausgelöst werden können. Einem Schriftsteller erging es so, wie es nicht wenigen Menschen ergehen mag:
Es fiel ihm schwer, die Funktion, die Bestimmung und die Anwendung elektronischer Datenverarbeitungsanlagen zu übersehen. Um Klarheit zu gewinnen, beschäftigte er sich mit dem Computer etwas genauer, fand Interesse an der Sache und kam schließlich auf die Idee, das, was er erkundete, aufzuschreiben.

Der Deutsche Schriftstellerverband/DDR, der Kulturfonds der DDR und der Urania-Verlag unterstützten dieses allmählich reifende Vorhaben. Bei der Beratung des Exposés machte der Verlag den Schriftsteller mit einem Fachwissenschaftler bekannt, einem Mathematiker, dem die literarische Gestaltung dieses Themas ebenfalls am Herzen lag, nachdem er mit zahlreichen Vorträgen über die Entwicklung des Rechnens und der Rechenhilfsmittel hervorgetreten war. Aus dieser Begegnung wurde eine Zusammenarbeit, deren Ergebnis nun vorliegt.

Das Buch will und kann kein Fach- oder Lehrbuch sein. Es erfüllt seinen Zweck, wenn es denjenigen, die mit der elektronischen Datenverarbeitung zu tun haben und noch zu tun haben werden, eine Ergänzungslektüre bietet, und anderen Lesern, die zu dieser Thematik überhaupt keine Beziehung haben, einen ersten Überblick vermittelt und sie vielleicht anregt, sich intensiver mit den berührten Problemen zu beschäftigen.

Der Computer ist weder ein undurchschaubares technisches Monstrum noch ein von Laien nicht zu begreifendes Phänomen, sondern ein großartiges Gerät, das eine sich über Jahrtausende bis zur Gegenwart erstreckende kulturgeschichtliche Entwicklung krönt. Mit diesem Werden und Wachsen sind mannigfaltige andere rechnerische Hilfsmittel und so manche Erfinderschicksale verbunden.

Die Autoren hoffen, dass es ihnen gelungen ist, einen Teil der bewegten und bewegenden Ereignisse in einer Form darzustellen, die bildend und unterhaltsam zugleich ist.

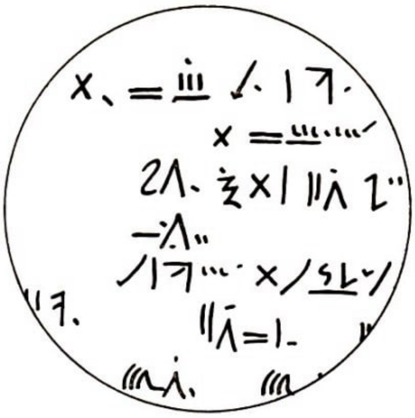
Magdeburg, im Oktober 1972

Heinz Glade Karl Manteuffel

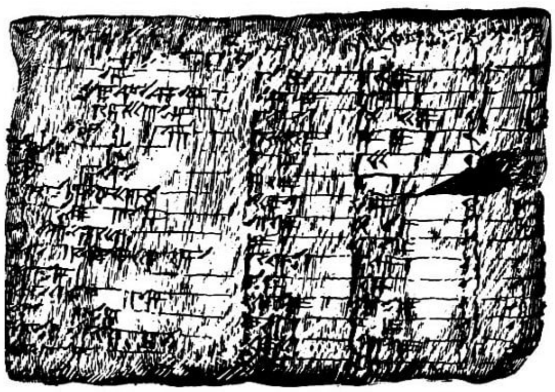
Inhaltsverzeichnis

1 Ein Streifzug durch Jahrtausende - Zahlen erzählen

Heinz Glade



1.1 Schlagzeilen



Die Computer machen Schlagzeilen. In fast allen Sprachen wird ihr Leistungsvermögen gerühmt; so manche Nachricht, die über sie an die Öffentlichkeit dringt, hat, zumindest für Laien, den Anstrich des Ungewöhnlichen, des Sensationellen.

Dies sind, wahllos und in kurzer Folge gesammelt, in fetten Lettern gedruckte Überschriften aus Zeitungen unserer Tage:
Computer steuert TU 144
Rechenmaschinen lenken Weltraumschiff
Computer als Grafiker für Briefmarken-Entwürfe
Elektronenrechner als Kassierer
Automaten warnen vor Hochwasser
Computer für die Meeresforschung
EDV in der Rinderzucht
Können Computer Diagnosen stellen?
Computer als Übersetzer
Menschen, Mond und Automaten
Keine Angst vor dem Computer!

So aufsehenerregend die Schlagzeilen wirken mögen, die Meldungen, denen sie vorangestellt sind, sind korrekt und sachlich, auch dann, wenn sie wie ein Wunder anmuten. Wissenschaft und Technik haben als Ergebnis menschlicher Schöpferkraft eine Gipfelhöhe erklommen, die tatsächliche Wunder, gäbe es sie, überragen würde.

In Kaliningrad ist eine elektronische Datenverarbeitungsanlage aus Minsk stationiert, die den Einsatz der sowjetischen Fischfangflottille in der Ostsee und im Atlantik steuert. Der Computer berechnet die Züge der Fischschwärme und wählt aus vielen möglichen Fangvarianten die günstigsten aus.Mit seiner Hilfe wird der Kurs der Schiffe schnell, sicher und rationell dirigiert.

Eine ähnliche Methode wendet die VVB Hochseefischerei der Deutschen Demokratischen Republik an. Die Rechenstation befindet sich in Rostock, die Flottenleitschiffe der Fangverbände verfügen über Kleinstrechner.
Die elektronische Datenfernübertragung gewährleistet eine zuverlässige Informationsübermittlung zwischen der Zentrale und den Fangplätzen und damit neben anderen Vorteilen die zweckmäßigste Standortverteilung der Trawler. Dieses moderne System, das Mitarbeiter des Instituts für Hochseefischerei, des VEB Kombinat Robotron, des Funkwerkes Berlin und des Funkamtes Rügen gemeinsam entwickelten, ist dem konventionellen Funkverkehr weit überlegen.

Ein Test mit dem sowjetischen Motorschiff "Nowomirgorod" (13650 tdw) hat gezeigt, dass Computer ein Beitrag sind, die Seeschifffahrt weiter zu revolutionieren. Bei dem Versuch steuerten die Automaten das Haupttriebwerk und die Hilfsmaschinen selbsttätig und überwachten dabei etwa 200 verschiedene Parameter.

Ein automatisches System zur Meeresforschung erprobte das Institut für Hydrophysik der Ukrainischen Akademie der Wissenschaften in Sewastopol. Automatisierte Bojen senden die Messwerte über Erdsatelliten an Rechenzentren der Küste, die bei Stürmen und anderen Gefahren veranlassen, dass die Bojen in Sicherheit gebracht werden.

Computer tragen auch dazu bei, Naturkatastrophen rechtzeitiger als bisher zu erkennen und die Präzision der mittelfristigen Wettervoraussage zu verbessern. Elektronenrechner vermögen es, Zehntausende meteorologischer Daten aus aller Welt schnellstens zu verarbeiten und dadurch einen Überblick zu gehen, dessen Umfang und dessen Genauigkeit sonst nicht zu erreichen wären.
Darüber hinaus ist in der UdSSR begonnen worden, einen Teil der etwa 11000 Wetterdienststellen zu automatisieren.

In vielen Bereichen erweist sich die enge Zusammenarbeit der sozialistischen Staaten als Vorzug. So überprüfen Experten aus der Volksrepublik Polen und der DDR gemeinsam die Verschmutzung der Weichsel und der Oder und bereiten Maßnahmen zur Gesundung der Natur und der Umwelt vor. Als Kontrollgeräte benutzen sie Rechenanlagen.

Beispiele aus vielen Fachgebieten zeugen davon, dass Computer mehr sind als nur Rechenmaschinen im engen Sinn. Mit nüchterner Sachlichkeit und Korrektheit demonstrieren sie das hohe wissenschaftliche und technische Niveau unserer Zeit.

Sachlichkeit und Korrektheit schließen freilich nicht aus, dass Computer zu Zwecken eingesetzt werden, die der Menschheit zum Schaden gereichen. Die USA schreckten, nach dem sie schon mehrere andere große Erfindungen unseres Jahrhunderts für Verderben und Vernichtung missbraucht hatten, nicht davor zurück, Massenmorde ihres imperialistischen Krieges in Vietnam mit Hilfe elektronischer Rechenanlagen zu planen und zu lenken.
Dass in jener Hemisphäre, in der das "Business" wie ein Götze angebetet wird, Computer zur Menschenverdummung und zum rigorosen Geldverdienen benutzt werden, bedarf keiner Frage.

Als der künstlich erzeugte Computer-Rummel seine ersten Wellen schlug, etablierte sich an den Champs-Elysées in Paris ein gewisser Roger Borthier zusammen mit seinem "technischen Astrologen" André Barbault und dem Rechenautomaten "Astroflash". Jedem Passanten, der sein Geburtsdatum und seinen Geburtsort verriet, versprechen die geschäftstüchtigen Herren ein lückenloses Horoskop für das nächste halbe Jahr.

"Astroflash" lieferte es innerhalb von zehn Minuten auf 16 Schreibmaschinenseiten gegen ein Honorar von zwanzig Francs. Für zehn Francs produzierte der Computer "nach Rücksprache mit den Sternen" ein "psychologisches Gutachten".
Monsieur Borthier brüstete sich, der Erfinder des Computer-Horoskops zu sein. Seine wahren Absichten enthüllte er, als er in einem Anflug redseliger Offenheit erklärte, sein "Astroflash" sei in der Lage, mit Leichtigkeit einen Markt von einer Milliarde Francs zu erobern.

Um Francs geht's in Paris, in Texas liebt man harte Dollars. Dort offerierte ein Versandhaus einen Haushalt-Mini-Computer, der imstande sein soll, für jeweils zwei Wochen einen lukullischen Speiseplan vorzubereiten und dabei auch das knappste Wirtschaftsgeld so zu berechnen, dass jede Komplikation vermieden wird.
Preis: Die Kleinigkeit von 10600 Dollar plus 1700 Dollar für das Spezialschreibgerät, das in eine verständliche Hausfrauen-Sprache überträgt, was der elektronische Küchenmeister austüftelt.

Schuld der Computer? Diese Frage zu bejahen wäre das gleiche, als würde man jegliche Schuld an jedem Verkehrsunfall auf das Fahrzeug abwälzen, den möglichen wirklichen Schuldigen aber, den Fahrer, von jeder Verantwortung von vornherein freisprechen.

Der sowjetische Professor S. L. Sobolew charakterisierte den Computer so: ein stupider Helfer ohne eigene Gedanken, jedoch mit außerordentlichen Fähigkeiten. Damit rückte der weltbekannte Wissenschaftler, unter dessen Leitung ein Forschungskollektiv der UdSSR die legendären Maya-Handschriften teilweise entschlüsselte, die Rolle der elektronischen Rechenautomaten ins rechte Licht - und mit ihr die Rolle des Menschen.

Um den Wert der Computer zu skizzieren, bedarf es des Computer-Rummels nicht. Ein Rechenexempel, keines der Simpelsten, aber auch keines der allerschwierigsten, genügt: Um ein System von 100 Gleichungen mit 100 Unbekannten zu lösen, hätte ein Mensch, mit Papier und Bleistift arbeitend, ca. 681500 Rechenoperationen zu bewältigen, er wäre damit fast fünf Jahre beschäftigt. Ein mittelschneller Elektronenrechner erledigt dieselbe Aufgabe in etwa zehn Minuten.

Beispiele dieser Art sind wohl am besten geeignet, den Computern Gerechtigkeit zuteil werden zu lassen. Ihr Einsatz erspart Mühe und Zeit. Was gestern noch als eine die Grenze des Phantastischen berührende sensationelle Überraschung betrachtet wurde, wird zum Alltäglichen. Und es können Aufgaben bearbeitet werden, deren Lösung früher überhaupt nicht möglich oder mit einem unzumutbaren Zeitaufwand verbunden gewesen wäre.

Am 24. September 1970 um 8.26 Uhr Moskauer Zeit landete in der Kasachischen SSR der Rückkehrbehälter der unbemannten sowjetischen automatischen Station Luna 16. In dem Container befanden sich Proben von Mondgestein, die ein von der Erde gesteuertes Bohraggregat am 21. September geborgen hatte.
Dieses zwölf Tage dauernde erfolgreiche Unternehmen, das die Welt in Atem hielt, leitete einen neuen Abschnitt der Raumforschung ein. Die dafür eingesetzten elektronischen Rechenanlagen bewährten sich hervorragend. Führende Wissenschaftler zahlreicher Staaten hoben übereinstimmend die mathematische Präzision hervor. Die englische Tageszeitung "Times" schrieb in ihrem Leitartikel:
"Jetzt hat die Genauigkeit, mit der die sowjetische Sonde zur Erde zurückgeholt wurde, gezeigt, dass ein hochentwickeltes System automatischer Kontrolle perfektioniert wurde."
Ohne Computer wäre es undenkbar, den Kosmos zu erobern.

Aber warum bestand noch vor wenigen Jahren eine sichtbare Scheu vor dem Computer, gab es ein in verschiedenen Abstufungen zu beobachtendes Misstrauen?

In dieser Haltung pflanzte sich - bestimmte politisch und ideologisch bedingte Erscheinungen in den USA und anderen kapitalistischen Staaten, über die noch zu sprechen sein wird, einmal ausgeklammert - die historische Kontinuität fort.
Vor 125 Jahren traten, hier allerdings von reaktionären Vorstellungen beeinflusst, nicht wenige Menschen gegen die Eisenbahn auf, vor 75 Jahren äußerten sie sich kritisch über die Kraftfahrzeuge, vor 50 Jahren richtete sich ihre Skepsis gegen das Flugzeug. Und nun kam manchem eben der Computer nicht geheuer vor. Die Macht der Gewohnheit, die Lenin als eine schlimme Macht bezeichnete, muss immer neu überwunden werden.

Die Geschichte ist ein Schlüssel, um in die Geheimnisse, das Wesen und die Bestimmung der elektronischen Rechenautomaten einzudringen; sie ermöglicht im Sinne des russischen Gelehrten M. W. Lomonossow, "weit auseinanderliegende Ideen in Zusammenhang zu bringen".

Auf die Entwicklungsgeschichte der Rechengeräte stößt man heute auch noch dort, wo man es gar nicht erwartet: in Spielwarengeschäften.
In ihnen präsentiert sich die Vergangenheit in Form von "Rechenmaschinen", die eigentlich keine Maschinen aber unter dieser Bezeichnung so populär sind, dass selbst Mathematiker und Experten der Rechentechnik die Unrichtigkeit als richtig akzeptieren. Die "Maschine" besteht aus einem viereckigen Rahmen, waagerecht sind Drähte angeordnet und auf den Drähten verschiebbare bunte Kugeln, die, werden sie schnell

hin- und herbewegt, kräftig rasseln.

Vielleicht ist das Kinderspielzeug gerade deswegen so beliebt.
Spielzeug? Jetzt ja, doch als der französische Artillerieoffizier und spätere berühmte Mathematiker Victor Poncelet (1788-1867), der an dem Feldzug von 1812 teilgenommen hatte, es aus Russland mitbrachte und in West- und Mitteleuropa einführte, hatte es, weil es das Rechnen enorm erleichterte, durchaus einen großen praktischen Nutzen.

Zugleich bereicherte Poncelet, ohne es zu ahnen, für mehrere europäische Völker die Kenntnis von der Kulturgeschichte des Rechnens in anschaulichen Weise.
Das Rechenbrett, das in Russland seine Aufmerksamkeit erregte, hat seinen Ursprung in dem römischen bzw. griechischen Abacus, dieser war das älteste Rechengerät der Welt und im alten Indien ebenso bekannt wie in China und Japan. Schon vor 2500 bis 3000 Jahren wurde er verwendet, verschwunden ist sein Prinzip noch immer nicht. So hat sich in der UdSSR die Stschoty behauptet, ein Handrechenapparat, der schneller und zuverlässiger ist als das schriftliche Rechnen.

Der Abacus war, seine Form und seinen Namen ändernd, als Rechenbrett in vielen Ländern verbreitet, und er hatte, wenngleich nicht in Gestalt von Geräten, Vorgänger. Es existierten mannigfache Hilfsmittel, mit denen ebenfalls gezählt und gerechnet wurde. Das konnten, je nachdem, was die Natur bot, Steine, Muscheln, Stäbchen und Obstkerne sein, oder extra angefertigte Tafeln, Knotenschnüre, Kerbhölzer und Kerbzettel.

Noch älter als der Abacus ist das Fingerrechnen. Aus primitiven Anfängen - mit den Fingern darstellbare Additionen niedriger Zahlen - kristallisierten sich Regeln und Systeme heraus, die Fehler und Irrtümer auf ein Mindestmaß beschränkten und über Jahrhunderte Bestand hatten.

Abacus-Nachkommen sind, Victor Poncelet sei Dank, heute in jedem Spielzeugladen zu kaufen und werden es, da ihr Absatz floriert, wohl auch künftig sein. Andere Zeugen der Geschichte des Rechnens zu entdecken ist nicht so leicht. Nachbildungen sind nur wenige vorhanden, die Originale werden, sorgsam geschützt, in Museen verschiedener Kontinente aufbewahrt.

Sie alle kennenzulernen, wäre eine lange und gewiss auch abenteuerliche Forschungsreise nötig. Und hätte man gar den Ehrgeiz, klassische Berechnungen, die irgendwann und irgendwo einmal gemacht worden sind, mit den damaligen Mitteln zu rekonstruieren und zu wiederholen, würde man bis ans Lebensende nur einen Bruchteil schaffen.
Ideen zur Meisterung rechnerischer Aufgaben haben die Menschen, nachdem die Zahlen entstanden waren, in jedem Land und in jeder Epoche gehabt.

Als Ausdruck des Lebens und seiner Notwendigkeiten, als Widerspiegelung des ökonomischen, technischen und geistigen Entwicklungsstandes wirkten das Rechnen und die Mathematik auf den Fortschritt ein und kennzeichneten die Kulturstufe der Völker.

Lang ist die Ahnenreihe des Computers. Sie beginnt mit der einfachen Reihung und Bündelung von Zahlen, setzt sich mit dem Fingerrechnen, dem Abacus (Rechnen auf den Linien), dem Rechentuch und dem Rechnen mit der Feder im Mittelalter fort, bezieht die Logarithmen und die Rechenschieber des 17. Jahrhunderts ein, erfasst die schwierigen, vielfach gescheiterten und doch nie aufgegebenen Experimente, mechanische Rechenmaschinen zu bauen, bemächtigt sich technischer Errungenschaften und der Rechenbücher, deren ältestes, das "Rechenbuch des Ahmes", um das Jahr 1700 v. u. Z. in Ägypten geschrieben wurde.

Die Amerikaner John Mauchley, John P. Eckert und Hermann H. Goldstine, die die erste elektronische Rechenanlage schufen, den 1946 in Betrieb genommenen ENIAC, haben Generationen von Vorläufern, die alle Pioniere gewesen sind:
Archimedes, Brahmagupta, al-Chwarismi, Leonardo Fibonacci, Luca Pacioli, Michael Stifel, Adam Ries, John Napier, William Oughtred, Wilhelm Schickardt, Blaise Pascal, Gottfried Wilhelm Leibniz, Charles Babbage, W. T. Odhner, Hermann Hollerith und viele andere.

Schon ein flüchtiger Blick in die Vergangenheit zeigt, wie unbegründet es ist, den Computer als ein Wunder zu verherrlichen oder als eine nicht mehr überschaubare phantastische Erfindung zu fürchten. Bei all seiner technischen Kompliziertheit, seiner mustergültigen Perfektion und seiner grandiosen Leistungsfähigkeit steht er nicht außerhalb dessen, was in Jahrtausenden heranreifte.

Die Sprache unterstreicht diesen Zusammenhang. "Computer" hat als Stammwort das lateinische Verbum computare (rechnen, anrechnen). In dem Begriff "Digitalrechner" (mit Zahlen operierende Rechenmaschine) steckt das lateinische Wort digitus (Finger),was die Verbindung zu einer ganz alten Rechenmethode andeutet, zum Fingerrechnen.

Das Stammbuch des Computers ist aufgeschlagen.

1.2 Geschichten aus Jahrtausenden

Sein Name ist Fano. Er trägt den Professorentitel, lebt in den USA und gefällt sich zuweilen darin, in jenem Teil des Erdballs herumzureisen, wo man seinen mit Heilslehren gekoppelten Hiobsbotschaften Gehör und Glauben schenkt.

Seine umstrittene Berühmtheit verdankt Mister Fano einer noch umstritteneren Behauptung, die sich, auf vorhandene Technik-Alpträume spekulierend und sie verstärkend, in gewissen Ländern wie ein Lauffeuer verbreitete: "The Computer may kill us !" ("Der Computer könnte uns umbringen !").

Fano sieht den einzigen Ausweg aus der drohenden Katastrophe darin, die menschlichen Fähigkeiten, das menschliche Bewusstsein, die menschliche Moral, die menschliche Intelligenz auf die Entwicklungsstufe des technischen Gehirns zu heben und solcherart den potentiellen Verantwortlichen für eine moderne Sintflut zu überlisten.
Diese Gedankengänge, die in der Computer-Angst nur eine spezielle Form des Computer-Rummels ausdrücken, könnten phantasiebegabte Literaten anregen, Satiren verschiedener Schattierungen zu schreiben. Das ist auch schon geschehen, doch viel mehr als ein ironischer Ulk kam nicht dabei heraus.

So konfus die Anschauungen Professor Fanos auch sind, er weiß oder spürt zumindest, dass die Welt, in der er zu Hause ist, sich keineswegs in dem intakten Zustand befindet, den zu preisen ihre Apologeten nicht müde werden. Computer verdrängen Menschen von ihrem Arbeitsplatz und erhöhen in Krisenzeiten die Arbeitslosigkeit. Computer vernichten Existenzgrundlagen und schüren die Furcht vor der Zukunft. Computer stellen, wie bei der US-Aggression in Vietnam, Mordpläne auf.
The Computer may kill us. Völlig aus der Luft gegriffen scheint die These nicht zu sein.

Nur: Mister Fano und seine Nacheiferer bemühen sich nicht, zu den Ursachen gewisser empörender und kritikwürdiger Tatsachen und Erscheinungen vorzustoßen. Ihre Angriffe richten sie ausschließlich gegen die Elektronengehirne. Die Computer-Stürmerei, die sie betreiben, ist ein Sturm im Wasserglas, denn trotz aller Skepsis, aller Abneigung und aller Vorbehalte akzeptieren sieden Computer und schrecken vor der zwar unsinnigen und aussichtslosen, aber konsequenten Forderung zurück, ihn abzuschaffen, und verdrehen in diesem Wirbel die Wahrheit.

Die hervorragenden Computer, über die die USA dank den Leistungen ihrer Wissenschaftler, Erfinder und Konstrukteure verfügen, bedeuten an sich keine Gefahr. Zur Gefahr werden sie erst unter der Regie derjenigen, die sie, über Leichen gehend, für ihre kapitalistischen Klasseninteressen missbrauchen, für ihre Jagd nach Profit, für ihre imperialistische Machtpolitik.

Über diese Aspekte, die einzig und allein im Wesen des kapitalistischen Gesellschaftssystems begründet liegen und nie und nimmer in technischen Errungenschaften, über die entscheidenden Dinge also schweigt sich Professor Fano aus. Alle Schuld an den gesellschaftlichen Widersprüchen bürdet er dem unschuldigen Computer auf und lenkt damit, was den tatsächlich Schuldigen nur recht sein kann, von den wirklichen Problemen ab.

Der Computer als Prügelknabe - das ist, dem technischen Stand entsprechend, eine neue Variante. Das Prinzip aber ist uralt. Verleumdungen und Schmähungen gegen die Rechenkunst und die Rechenkünstler hat es schon vor Jahrtausenden gegeben. Professor Fano führt - ein nicht sehr schmeichelhaftes Verdienst - eine negative historische Linie weiter.
Die Rechenleistungen, die einst die Inder vollbrachten, waren kulturgeschichtliche Taten, sie trugen entscheidend zur Entwicklung der Mathematik und zu ihrer Herausbildung als Wissenschaft bei.

Aus Dokumenten ist überliefert, dass in Indien schon vor dreitausend Jahren Zahlen der Größenordnung 10^5 bekannt waren und vor zweitausend Jahren mit Zahlen im Bereich bis 10^{17} operiert wurde. Ein Inder löste mit rechnerischen Mitteln die berühmt gewordene Aufgabe, wieviel Weizenkörner zusammenkämen, wenn man auf das erste Feld eines Schachbrettes ein Korn lege und auf jedes weitere Feld doppelt soviel Körner wie auf das vorangegangene.
Das Ergebnis lautete: $2^{64} - 1$, das ist eine zwanzigstellige Zahl..

Mit der Architektur und der Klarheit indischer Türme wurde die Rechenkunst verglichen.

Die Literatur sang ihr überschwänglich Hymnen, sachliche Einschätzungen priesen ihren Wert.
Im neunten Jahrhundert wurde geschrieben: "Das Rechnen ist bei allen Arbeiten nützlich, die mit weltlichen, kultischen oder anderen ähnlichen religiösen Dingen zusammenhängen."

Doch es wäre irrig, daraus ein gradliniges und konfliktloses Wachsen und Werden der indischen Rechenkunst abzuleiten. Um ihren hohen Stand zu erreichen, hatte sie mannigfaltige Hemmnisse und Widerstände subjektiven Charakters zu überwinden. Kennzeichnend dafür ist eine Legende aus der Frühzeit, die noch erzählt wurde, als sie längst zur Fama geworden war:
Priester warnten das Volk, über zwölf hinaus zu zählen. Solange die Menschen dieses Gebot befolgten, passierte ihnen nichts. Das Unglück brach herein, als ihnen eine ungewöhnlich gute Ernte beschert wurde. In ihrer Freude missachteten sie die priesterlichen Ratschläge und überschritten beim Getreidemessen die vorgegebene Zahl, zählten weiter als bis zwölf.
Für diese Sünde ereilte sie ein furchtbares Schicksal. Sie wurden von einem riesigen Tiger überfallen, getötet und gefressen.

Mit unmissverständlicher Strenge sprach sich der einflussreiche Bischof und Kirchenlehrer Augustinus (354-430), Verfasser der Schriften "Vom Gottesstaat" und "Bekenntnisse", gegen die Mathematik aus. Sein Urteil gewinnt noch an Gewicht, wenn man berücksichtigt, dass er sich auf anderen Gebieten dem Zwang bestimmter Notwendigkeiten beugte und zu undogmatischen Auffassungen, neigte. So riet er, das Gute nicht abzulehnen, auch wenn es von Heiden stamme.

Gegenüber der Mathematik aber zeigte sich Augustinus unnachgiebig. Er erklärte:
"Der gute Mensch soll sich hüten vor den Mathematikern und allen denen, die leere Vorhersagungen zu machen pflegen, schon gar dann, wenn diese Vorhersagungen zutreffen. Es besteht nämlich die Gefahr, dass die Mathematiker mit dem Teufel im Bunde den Geist trüben und den Menschen in die Bande der Hölle verstricken."

Die Intoleranz der katholischen Kirche gegen die mathematische Wissenschaft dauerte noch lange an. Zu spüren bekam sie auch der berühmte französische Mathematiker, Physiker und Philosoph René Descartes (1596-1650).
Der Gelehrte, ein gläubiger Christ, der in seinen Veröffentlichungen von sich aus Zurückhaltung übte, genoss zwar die Freundschaft bedeutender Persönlichkeiten, so der Königin Christine von Schweden, aber das bewahrte ihn nicht vor den Anfeindungen der Kirche, wobei sich hier die Protestanten nicht allzu groß von den Katholiken unterschieden. In Utrecht scheute man sich nicht, ihn als Atheist zu brandmarken.

Descartes ließ sich dadurch nicht beirren, doch er tat alles, um Zuspitzungen zu vermeiden. Einige seiner Bücher erschienen anonym, darunter sein Hauptwerk "Discours de la méthode" (Abhandlung von der Methode) im Jahre 1637 in Leyden.
Nur wenige Eingeweihte, die am Druck beteiligt waren, wussten, wer der Urheber war. Erst durch die Übersetzung aus der französischen Originalsprache ins Lateinische wurde das Geheimnis gelüftet.

Trotz der Klarheit, die in der Entwicklung der Rechenkunst eine vorherrschende Eigentümlichkeit war, erlagen in manchen Epochen manche Mathematiker der Versuchung zur metaphysischen Verklärung.

"Das Wesen aller Dinge ist die Zahl" - zugeschrieben wird dieser Satz Pythagoras von Samos (um 580 - 496 v. u. Z.). Aber so sicher ist das nicht, die Möglichkeit, dass der Ausspruch im pythagoreischen Bund von Schülern und Nachfolgern des griechischen Philosophen und Mathematikers geprägt wurde, ist nicht auszuschließen.

Dieser von Pythagoras selbst organisierte Geheimbund wies wesentliche Merkmale einer Sekte auf. Mit verschiedenartigen Riten, die in den Zusammenkünften gepflegt wurden und das persönliche Leben der Mitglieder formten, zollte er dem damals weit verbreiteten Mysterienkult Tribut, darin ähnelte er anderen Gruppen.
Die Besonderheit der Pythagoreer bestand in der idealistischen Interpretation der Mathematik.

Sie trennten die mathematische Theorie von der Praxis und der Realität und erblickten in der Beschäftigung mit den "wunderbaren Gesetzen der Zahlenwelt" eine Vorstufe zur Vereinigung mit dem Göttlichen. In dieser Betrachtungsweise dichteten sie den Zahlen göttliche Fähigkeiten an. Das Wesen der Welt bestehe in der Harmonie der Zahlen, behaupteten sie, und der Zehnzahl sagten sie nach, sie sei "... groß, alles vollendend, alles wirkend und Anfang und Führerin des göttlichen, himmlischen und menschlichen Lebens ...".

Die Zahlen bis 10 verbanden sie mit gegensätzlichen Eigenschaften wie Liebe und Hass, aus den Zahlen 1, 2, 3 und 5 stellten sie die Tetratyks dar, die "heilige Zehnzahl", "die Quelle und Wurzel der ewigen Natur".

Die pythagoreische Schule erwarb sich in anderer Hinsicht gewiss bleibende Verdienste, besonders in der bewusst vorgenommenen Abstraktion. Ihre idealistische Strömung aber löste, neben anderen Folgen, mystisch betonte irrationelle Zahlenspielereien und Zahlenspekulationen aus, die nicht geeignet waren, die praktische Bedeutung der Mathematik zu fördern.

Dem französischen Chevalier de Méré wird nachgesagt, er sei ein leidenschaftlicher Spieler gewesen. Doch diese Eigenschaft allein hätte nicht genügt, seinen Namen der Nachwelt zu erhalten, denn Menschen der begüterten Klassen, die das Glücksspiel mit Begeisterung betrieben und ihm sogar verfallen waren, gab es viele im Frankreich des 17. Jahrhunderts.
Was de Méré vor allen anderen auszeichnete, war seine unstillbare Neugier, das Zustandekommen von Gewinn und Verlust zu enträtseln. Da er dazu selbst nicht imstande war, beauftragte er mit dieser Aufgabe zwei Mathematiker - Blaise Pascal (1623-1662) und Pierre de Fermat (1601-1655).

Am Exempel des Würfelspiels ermittelten die beiden Gelehrten die gesetzmäßige Häufigkeit einer vorher festgelegten Gewinnzahl in Spielserien unterschiedlicher Bedingungen. Sie begründeten damit die Wahrscheinlichkeitsrechnung, mit der sich schon vor ihnen, gleichfalls durch Glücksspiele angeregt, der Italiener Geronimo Cardano (1501-1576) beschäftigt hatte.

Warnungen indischer Priester, über 12 hinaus zu zählen; Zahlenmystik der Pythagoreer; Predigten des Bischofs Augustinus, die Mathematik sei ein Teufelswerk; Verketzerung berühmter Mathematiker; Entdeckung der Wahrscheinlichkeitsrechnung durch die Untersuchung von Glücksspielen, die von dem amerikanischen Professor Fano geschürte Computer-Angst - die Kulturgeschichte des Rechnens ist reich an Legenden, Sagen, Episoden und Zwischenfällen.

Doch die Entwicklung von den primitivsten Anfängen bis zu den nur mit Hilfe leistungsfähiger Maschinen zu bewältigenden kompliziertesten mathematischen Operationen zeugt von der schöpferischen Kraft der menschlichen Arbeit, die hemmende Widerstände überwunden hat und überwinden wird.

"Die Begriffe von Zahl und Figur sind nirgends anders hergenommen, als aus der wirklichen Welt", schrieb Friedrich Engels. Und Karl Marx betonte, dass sich eine Wissenschaft eigentlich erst dann Wissenschaft nennen könne, wenn sie sich mathematischer Methoden bediene.

1.3 Zeiten ohne Zählen

Mit Hilfe des Computers umreißt der Mensch die Konturen des Rechnens in der zur Gegenwart werdenden Zukunft und steckt Weg und Richtung ab. Sich auszumalen, wie es werden wird, erfordert trotzdem viel Vorstellungskraft. Ungleich mehr Phantasie gehört jedoch dazu, sich jene Zeiten zu verdeutlichen, in denen die Menschen keine Zahlen kannten und nichts wussten vom Zählen und Rechnen. Die mühevollen und langwierigen Versuche, mechanische Rechenmaschinen zu bauen, muten uns Heutigen wie eine altersgraue geschichtliche Episode an.
Und der Autor des ersten Rechenbuches in deutscher Sprache, der spätmittelalterliche Rechenmeister Adam Ries (1492-1559), ist fast zu einer legendären Gestalt geworden.

Was gar vor dem Mittelalter liegt, verschwimmt zu einer um klaren blassen Ferne, in der das Gefühl für räumliche und zeitliche Maße verlorengeht. Länder und Kontinente rücken zusammen; Jahrtausende, als Begriff leicht ausgesprochen, schrumpfen auf Ereignisse und Taten, die das Wesen der Epochen bestimmten und die Entwicklung vorantrieben.

Ein wahrhaft epochaler Prozess ist die Herausbildung der Zahlen gewesen. Die in Grabmälern und Tempelruinen des Altertums gefundenen Dokumente mit den ältesten Zahlzeichen sind etwa sechstausend Jahre alt, sie reichen zurück bis in das Jahr 4000 vor unserer Zeitrechnung.
Die älteste bekannte ägyptische Zahlendarstellung in Hieroglyphen stammt ungefähr aus dem Jahre 3300 v. u. Z. Sie besagt, dass in einem Feldzug 120000 Gefangene gemacht sowie 400000 Rinder und 422000 Ziegen erbeutet würden. Ob diese An- gaben den Tatsachen entsprechen, ist allerdings fraglich; sie scheinen im Siegestaumel stark übertrieben werden zu sein.

Solche Auswüchse beeinträchtigen nicht die hervorragende Bedeutung, die die Zahlen in der Kulturgeschichte der Menschheit haben. Ihren hohen Rang bezeugen indirekt Sagen und Legenden,die schon früh aufkamen, oft variiert wurden und lange Bestand hatten.

Die Zahlen seien gleich dem Feuer ein Geschenk der Götter, hieß es darin. Andere Versionen behaupteten, Propheten und Helden hätten das Feuer und die Zahlen den Göttern entrissen.
So wundersam solche Erzählungen sein mögen - indem sie Feuer und Zahlen in einem Atemzug nennen, deuten sie den Wert an, der den Zahlen, dem Zählen und dem Rechnen beigemessen wurde.

Die Wirklichkeit kann mystische Sagengestalten wie Götter, Propheten und übermenschliche Helden freilich nicht akzeptieren.
"Wie alle anderen Wissenschaften ist die Mathematik aus den Bedürfnissen der Menschen hervorgegangen: aus der Messung von Land und Gefäßinhalt, aus Zeitrechnung und Mechanik."
Dieser Satz von Friedrich Engels gilt nicht nur für die Epochen, in denen das Zählen und Rechnen Eigenständigkeit erlangte, sondern auch für viel weiter zurückliegende Kulturstufen, in denen Zahlen überhaupt noch nicht existierten und erst allmählich geformt wurden.

Altertumsforschungen allein vermögen diesen lange Währenden Prozess nicht zu rekonstruieren. Dennoch ist der Ursprung des Zählens und Rechnens keineswegs ein Bereich der Phantasie oder gar der Spekulation.
Zuverlässige Anhaltspunkte, wie es begonnen hat, bieten Beobachtungen an der Verhaltensweise von Kleinkindern, sprachliche Überlieferungen und Berichte von Entdeckungsreisenden.
In der Entwicklung der Kinder widerspiegelt sich, wenn auch sehr gerafft und in groben Zügen, ein Teil der Menschheitsentwicklung. Ihr unbewusstes Gebaren drückt Stufen aus, die zu dem heutigen Zivilisations- und Leistungsstand führten.

Das trifft auch auf das Zählen zu. Den Unterschied zwischen einem und mehreren Gegenständen begreifen Kinder sehr schnell, noch bevor sie der Sprache mächtig sind - sie erlernen es im wahrsten Sinne des Wortes spielend. Was es dann mit der Zwei, eventuell mit der Drei und vielleicht sogar mit der Vier oder der Fünf auf sich hat, ist für sie schwerer zu verstehen, ist kompliziert, aber auch hier helfen Spiel, heimische Umgebung, Umgang mit anderen - allerdings bedarf es der Erfahrung einiger Jahre, bis zwischen eins, zwei, viele ; eins, zwei, drei, viele - eins, zwei, drei, vier, viele - usf. bewusst unterschieden werden kann.
Größere Zahlen erfassen Kinder vorerst kaum. Das in anderem Zusammenhang angewandte Sprichwort, jemand könne nicht bis drei zählen, hat zwar einen ironischen Beiklang, erinnert uns aber daran, dass einst, viele Jahrtausende ist es her, eins, zwei und viel die einzigen gebräuchlichen Zahlen gewesen sind.

In einem etwas fortgeschrittenen Alter des Kindes nehmen, wiederum analog der Entwicklung der Menschheit, die Fünf und die Zehn eine Schlüsselstellung ein, Zahlen, die

mit den Fingern leicht darstellbar sind und sich buchstäblich an den Fingern abzählen lassen.
In Kindergarten, Vorschule und in den ersten Schulklassen wird dann der Begriff "viele" weiter zurückgedrängt, die Kinder lernen immer mehr Zahlen kennen, sie erlernen Zählen und Rechnen. Dass sie in ihren ersten Lebens- und Schuljahren auf diese Weise eine enorme geistige Leistung vollbringen, wird noch sehr häufig unterschätzt.

Aber damit ist schon eine Entwicklung, ein Prozess angedeutet, für den in der Geschichte der Menschheit nicht nur Zehntausende, sondern Hunderttausende von Jahren zu veranschlagen sind, denn bevor man zum Zählen kam, wurde eben nur zwischen eins und viel, zwischen eins, zwei und viel usf. unterschieden.
Und selbst als man schon recht gut zählen und rechnen konnte, wurde z. B. die Null noch längst nicht als gleichberechtigte Zahl anerkannt; das geschah endgültig erst vor 400 Jahren.

Bestätigt wird diese Entwicklung durch sprachliche Formulierungen, die verblüffend klar und anschaulich sind. Für eins und zwei gab es wie für keine anderen Zahlen recht bildhafte und einprägsame Vergleiche, die immer das spezifische Wesen betonten, die Erstheit oder Einmaligkeit und die Paarigkeit.
Wörtliche Übersetzungen aus Ursprachen lauten für eins : Voran ; zuerst ; allein ; einer, der ohne andere; vorhanden ; der eine, der ist. Und für zwei: Hand, Auge, Flügel, nachfolgen, begleiten, den Stamm spalten.

Zahlwörter wurden in die Sprache übertragen, wobei die Häufung der niedrigsten und ältesten Zahlen, die meistens deklinierbar sind, augenscheinlich ist. Sie verbergen sich, nicht immer sofort erkennbar, u. a. in folgenden Begriffen:

Simpel (einfältig, einfach), Eimer (einhenkliges Tragegefäß), inzwischen (in der Mitte von zweien), Zwirn (zweidrähtiger Faden), Zwist (Doppelfaden oder Entzweiung), Zweifel (zweifach, zwiespältig), Zwielicht, Zwilling, Zwietracht, Diplom (zweifach gesiegelter Rechtsbrief), Duell (Zweikampf), Zwieback (zweifach gebacken), Dialog (Zwiegespräch).

Bei Insulanern im Stillen Ozean hat sich, durch den Entwicklungsstand bedingt, die dominierende Rolle der ersten beiden Zahlen bis heute erhalten. Eins heißt in der Stammessprache "ke-yap", zwei "pullet". Die Drei und die Vier werden durch Kombinationen gebildet: "ke-yap-pullet" bzw. "pullet-pullet". Damit endet die Zahlenreihe.
Was vier überschreitet, fällt unter die Sammelbezeichnung "viele".
Vier Zahlen genügen den Mikronesiern. Mit ihnen demonstrieren sie ungewollt die Anfänge des Zählens und Rechnens.

In Amerika leben Indianer, die allgemein bis drei, in Ausnahmefällen bis sechs zählen. Was über sechs hinausgeht, klassifizieren sie summarisch als "viel", und das ist ihrer Ansicht nach nicht wert, gezählt zu werden.
Andere Indianerstämme vertreten die Auffassung, gute und anständige Menschen hätten gar keine Gelegenheit, größere Zahlen zu gebrauchen; selbst kommen sie mit zehn Zahlen aus.

Einige Ethnologen lernten Völkerschaften kennen, die des Zählens und Rechnens unkundig waren. Diese Gruppen hatten aber ein untrügliches Unterscheidungsvermögen für Größen und Mengen. Ein Expeditionsbericht aus dem 18. Jahrhundert vermerkte, dass Eingeborene Südamerikas, die nie gezählt hatten, sofort aufmerksam wurden, wenn in ihrer riesigen Hundeschar, von der sie ständig umgeben waren, ein Tier fehlte.

Die Fähigkeit zum genauen Schätzen, die mit einem exakten Rechnen nichts zu tun hat, ist als Überbleibsel aus der Vorzeit noch jetzt verbreitet. Afrikanischen Hirten, bei denen das Zählen bis zehn selten ist, so sagt ein anderer Expeditionsbericht, fällt es auf den ersten Blick auf, wenn ihre vier- bis fünfhundertköpfigen Viehherden nicht mehr vollständig sind. Auf kleinen Inseln des Stillen Ozeans wird das Schätzen in einer Art Ausbildung systematisch geübt.

Bestrebungen von Forschungsreisenden, Ureinwohner zum Zählen und Rechnen in größeren Dimensionen anzuregen, scheiterten.
Ein Indianer lehnte es ab, den Satz "Der weiße Mann hat heute sechs Bären geschossen" zu übersetzen und rechtfertigte sich mit dem Argument, an einem Tag erlege niemand sechs Bären. In einer anderen Begegnung weigerten sich Südseeinsulaner, die Zahlenangabe "100 Schweine" zu akzeptieren. 100 Schweine gäbe es gar nicht, entgegneten sie.

Zähl- und Rechenversuche mit größeren Zahlen wären für sie unreal und sinnlos gewesen. Keine Notwendigkeit zwang sie, kein Bedürfnis spornte sie an, ihre Rechenkenntnisse zu vervollkommnen und zu erweitern.
Ein gegenteiliges Extrem entdeckten Forschungsexpeditionen vor etwa 50 Jahren unter den Eskimos an der Beringstraße. Obwohl die von Fischfang und Jagd bestimmten Lebensverhältnisse in der Arktis fast ebenso primitiv waren wie in abgeschiedenen Urwaldsiedlungen, zählten zehn- bis zwölfjährige Kinder, die keine Schule besucht hatten, mühelos über hundert hinaus, und die Erwachsenen bewältigten Rechenaufgaben, die schon einige Anforderungen verlangten.

Das mochte nach bisherigen Erfahrungen ungewöhnlich erscheinen, war es aber nicht. Der Schiffsverkehr und vor allem der Handel mit Pelzen und Fellen hatten bewirkt, dass sich die Eskimos wohl oder übel die Kunst des Rechnens in dem Maße aneignen mussten, wie es ihre Existenzgrundlage gebot. Hätten sie darauf verzichtet, wären sie den auf Profit bedachten raffinierten Händlern erbarmungslos ausgeliefert gewesen.
Der Zwang der Selbsterhaltung wurde - wie oft in der Geschichte der Menschheit und in ihrem Teilgebiet des Zählens und Rechnens - zur Triebkraft der Weiterentwicklung zum Höheren.

Die Anfänge des Zählens und Rechnens gehen noch manches Rätsel auf. Geklärt aber ist, dass der Gegensatz von Einheit und Vielheit am Beginn des mathematischen Werdens und Wachsens gestanden hat.
Aus diesem dialektischen Gegensatz entstand der Zahlbegriff, entstanden zuerst die natürlichen Zahlen eins, zwei, ...
Das Vorhandensein der Zahlwörter bedeutete keinesfalls das Vorhandensein von Ziffern, von geschriebenen Zahlen; erst seit wenigen tausend Jahren gibt es geschriebene Dar-

stellungen von Zahlen, gibt es eine eigene "Zahlenschrift". - Es ist schon so: Man kann sich kaum vorstellen, dass die Menschen vor nur wenigen Tausenden von Jahren weder rechnen noch zählen konnten!

1.4 Reihung, Bündelung, Körperzahlen

Die Möglichkeit, Zahlen durch Aneinanderreihen etwa von Strichen darzustellen und diese der besseren Übersichtlichkeit wegen gegebenenfalls zu bündeln, ist nicht nachträglich ausgedacht worden und erschöpft sich nicht darin, als theoretisches Anschauungsmodell zu dienen.
Im Gegenteil, die Methode ist uralt - sie zeichnete sich durch Variabilität aus, hatte einst großen praktischen Wert, war weit verbreitet und wird noch heute angewandt, ohne dass man sagen könnte, sie wäre ein Anachronismus.

Viele Kellner haben die Angewohnheit, Bierdeckel zu bestricheln, und kein Gast empfindet das als ungewöhnlich. Regeln gibt es für diese Gepflogenheit nicht, wohl aber gewisse Erfahrungsmerkmale. So ist es üblich, jedes servierte Glas Bier mit einem Strich und jeden Weinbrand mit einem Kreuz zu markieren.

Wächst die Zeche an, werden Striche und Kreuze manchmal zu Gruppen zusammengefasst, mathematisch ausgedrückt:
Die Rechnung wird durch eine Bündelung aufgegliedert und dadurch übersichtlicher gemacht. Dieses sichere und bewährte System ist allerdings nur brauchbar, wenn die Gäste stets die gleichen Getränkesorten bestellen, so dass sich der Preis nicht verändert.
Eine ähnliche Praxis wird auch beim Be- oder Entladen kleiner Posten von Stückgut und anderen gleichartigen Gütern geübt. Auf vier senkrechte Striche folgt ein fünfter waagerecht oder schräg, der damit fünf gleichartige Teile zusammenfasst.

Reihung und Bündelung bedürfen aber nicht unbedingt schriftlicher Notizen. Um zu kontrollieren, ob sie bei der Kohleneinkellerung die richtige Menge erhalten, legen manche Kunden für jeden ausgeschütteten Sack ein Brikett zur Seite und teilen diese Reihe bei größerer Anlieferung mitunter nach "runden" Zahlen ein, so nach fünf, zehn oder zwanzig Kohlensteinen. Das ist einfacher als eine ebenfalls mögliche "Strichliste". Doch wohl kaum jemand ist sich bewusst, dass er damit so zählt, wie schon in grauer Vorzeit gezählt wurde, als noch keine Zahlzeichen existierten.

Naturvölker, die auf der Stufe der Vorzeit stehengeblieben sind, gehen beim Zählen ähnlich vor. Sowohl in Australien als auch in Amerika leben Stämme, die senkrechte Striche als Zählmittel verwenden. Am afrikanischen Kongo und auf Sri Lanka ist dabei die Bündelung in Fünfergruppen gebräuchlich, jeweils vier senkrechte Striche werden durch einen waagerechten Querstrich verbunden.

In einigen Dschungelregionen werden geerntete Kokosnüsse gezählt, indem man jeder Nuss ein kleines Stäbchen zuordnet. Die Anzahl der Stäbchen gibt die Höhe des Ertrages an. Zahlwörter sind, zumal der Sinn für Größen und Mengen stark ausgeprägt ist, gar nicht erforderlich.
An Stelle der Kokosnüsse kann etwas anderes treten: verschiedene Früchte, Tiere, Ge-

genstände; die Stäbchen können gegen Kiesel, Muscheln, Kerne oder beliebige Dinge ausgewechselt werden. Das Prinzip wird dadurch nicht angetastet, ein Prinzip, das auf die Anfänge des Zählens und Rechnens hindeutet, auf jene Periode, da geschriebene Wörter und Zahlen noch unbekannt gewesen sind.

"Des Menschen größtes Verdienst bleibt wohl, wenn er die Umstände soviel als möglich bestimmt und sich sowenig als möglich von ihnen bestimmen lässt." Vielleicht scheint es vermessen, in diesem Zusammenhang Goethe zu zitieren. Und dennoch: Wie die schriftunkundigen Menschen die ihnen vom Leben gestellten rechnerischen Aufgaben bewältigten, ohne das Zählen und Rechnen im eigentlichen Sinne zu beherrschen, war durchaus eine kulturgeschichtliche Leistung.

Die Notwendigkeit, zählen und später rechnen zu müssen, entsprang den Erfordernissen des Alltags. Die Beute der Jagd, die Ernte, der Überblick über die Viehherden, die Herstellung von Geräten, die Abwicklung primitiver Tauschgeschäfte, die Orientierung in Raum und Zeit - das alles verlangte, um in geregelten Bahnen und nicht in einem chaotischen Durcheinander zu verlaufen, nach Ordnung und - damit nach einem Erfassen von Mengen und Größen.

Die Menschen halfen sich auf ihre Weise. Inselbewohner ritzten, hatten sie ein Tier erlegt, in ihre Jagdkeule eine Kerbe ein. Wenn sie durch die Häufung der Kerben die Übersicht verloren, gingen sie dazu über, jede zehnte Kerbe zu verlängern und dadurch hervorzuheben, sie bündelten.
Die Entwicklung des Haustierbestandes wurde durch Steine oder ähnliche Hilfsmittel gekennzeichnet und überwacht. Ein in der Sammlung vorhandener Stein entsprach einem in der Herde vorhandenen Tier. Bei Verlust eines Tieres durch Schlachtung, Tod oder Tausch wurde ein Stein entfernt, bei jeder Geburt und bei jeder Neuerwerbung ein Stein hinzugefügt.

In vervollkommneter Art spielten Steine im Rechnen noch sehr lange eine Rolle. Zur Zeit des Zaren Iwan IV., des "Schrecklichen", (1530-1584) trugen in Russland die Kanzleischreiber in einem Beutel Pflaumen- oder Kirschkerne bei sich, mit denen sie rechneten.

Außer Steinen, Stäbchen, Muscheln, Strichen und anderen Hilfsmitteln, mit denen sich neben dem Zählen einfache Rechenoperationen durchführen ließen, nahmen in der zählerischen Veranschaulichung urzeitlicher Epochen die menschlichen Gliedmaßen einen wichtigen Rang ein. Obwohl es sich noch nicht um das genau festgelegte perfektionierte Fingerrechnen handelte, erschlossen die "Körperzahlen" eine relativ umfangreiche Zahlen- und Zählskala.

Durch spätere Forschungen ist das rekonstruiert worden. An der Torresstraße zwischen Neuguinea und Australien begegneten Expeditionsreisende Insulanern, die in dieser Form 33 Zahlen abbildeten.
Ein Papuastamm kam bis 22, wobei folgendes System gültig war:

1 = rechter Kleinfinger,	9 = rechtes Ohr,	17 = linkes Handgelenk,
2 = rechter Ringfinger,	10 = rechtes Auge,	18 = linker Daumen,
3 = rechter Mittelfinger,	11 = linkes Auge,	19 = linker Zeigefinger,
4 = rechter Zeigefinger,	12 = Nase,	20 = linker Mittelfinger,
5 = rechter Daumen,	13 = Mund,	21 = linker Ringfinger,
6 = rechtes Handgelenk,	14 = linkes Ohr,	22 = linker Kleinfinger.
7 = rechter Ellenbogen,	15 = linke Schulter,	
8 = rechte Schulter,	16 = linker Ellenbogen,	

Manche Völker bezogen in die Körperzahlen auch die Zehen ein, so die Eskimos. Für die Zahlen 1 bis 10 benutzten sie die Finger, für die Zahlen 11 bis 20 die Zehen. Nachweisbar ist das in ihrer Sprache. 11 hieß "Es geht nach unten" (von den Fingern zu den Zehen), 16 "Es geht hinüber" (von einem Fuß zum anderen).

Eine Sonderstellung unter den Körperzahlen hatten fast überall die Finger, die sich zum Zählen geradezu anboten und zur Darstellung der wenigen benötigten Zahlen zunächst ausreichten. Kleinkinder demonstrieren diese Entwicklungsstufe noch jetzt, wenn sie, lernen sie zählen, unbewusst einen oder mehrere Finger strecken.
Der Ausdruck "An den Fingern abzählen" ist nicht zufällig zu einem geflügelten Wort geworden.

Linguistische Forschungen bestätigten die Bedeutung, die die Finger in der Frühzeit des Zählens und Rechnens gehabt haben. "Hand" und "fünf" wurden vielfach mit demselben Wort bezeichnet, desgleichen "beide Hände" und "zehn" und "ein Mensch" und "Zwanzig".
Diese Bedeutung wirkte entscheidend auf die weiteren Entwicklungsetappen des Rechnens ein.

Das Dezimalsystem hat die 10 (Anzahl der Finger) als Grundlage. Die Entstehung der römischen Zahlen spiegelt die Anlehnung an die Abbildung durch Finger wider, die I ohnehin, aber auch die V als Darstellung von vier Fingern mit abgespreiztem Daumen (eine Hand) und die X als Symbol für zwei Hände. Die später vorgenommene Eingliederung von Buchstaben (L, C, D, M) beeinträchtigt diesen Ursprung nicht.

Der Einfluss der Finger zeigte sich nicht zuletzt bei der Bündelung, die meist nach fünf, zehn oder zwanzig Einheiten erfolgte, nach Einschnitten, die durch die Finger und Hände vorgegeben waren und deswegen als natürlich betrachtet wurden.

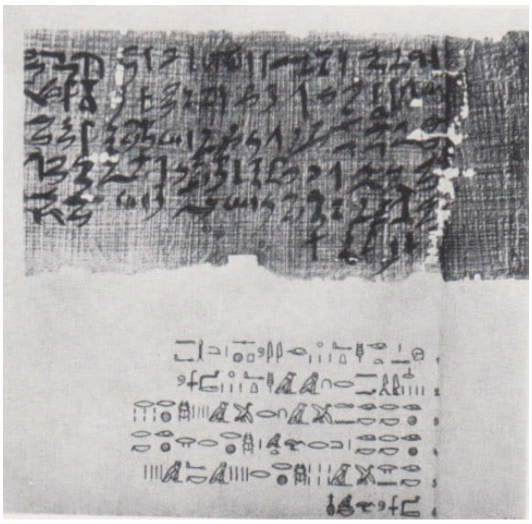
Charakteristisch für die Geschichte des Rechnens ist ihre Kontinuität. Die Rechenhilfsmittel sind so alt wie das Rechnen selbst; sie waren schon da, als sich das Rechnen noch auf ein einfaches Zählen beschränkte. Der Mensch bediente sich ihrer und meisterte mit ihnen die Aufgaben, die ihm die Umstände, Umwelt und Verhältnisse auferlegten.
Steine, Muscheln, Stäbchen, Striche, Finger in grauer Vorzeit; nach dem neuesten technischen und wissenschaftlichen Stand ausgerüstete Computer heute - der Gedanke, dass es zwischen ihnen auch nur die Spur einer Gemeinsamkeit gäbe, mutet absurd an.
Und doch ist der Unterschied, auf den Verwendungszweck reduziert, nur graduell.

1.5 Von Hieroglyphen zur Ziffernschrift

In den Jahren 1798/99 unternahm der französische General Napoleon Bonaparte, der spätere Kaiser Napoleon I., eine militärische Expedition nach Ägypten. Der Feldzug endete zwar mit einem Misserfolg, doch durch einen wertvollen Fund trug er - eine der Extravaganzen, die sich die Geschichte mitunter leistet - dazu bei, kulturhistorische Kenntnisse zu erweitern und zu vertiefen.

Als im westlichen Nildelta in der Nähe der Stadt Rosette Schanzen ausgehoben wurden, stieß man auf eine schwarze Granittafel, die neben einem griechischen Text unbekannte Zeichen enthielt.
Die Ausgrabung gab Rätsel auf. Wissenschaftler beschäftigten sich mit ihr. Sie ermittelten; dass es sich um einen gleichlautenden Erlass in hieroglyphischer, demotischer und griechischer Schrift handelte, verfasst von Priestern aus Memphis.

Dem englischen Physiker Thomas Young gelang es, die demotische Schrift zu deuten und zu lesen. 1822 entzifferte der französische Ägyptologe Jean Francois Champollion die noch wesentlich älteren ägyptischen Hieroglyphen. Weitere Forschungen ermöglichten es dann, über das System der hieroglyphischen, hieratischen und demotischen Darstellungen Klarheit zu gewinnen und so in verschollene Geheimnisse einzudringen, an denen die Mathematik wesentlichen Anteil hatte.



Aufgaben in demotischer Schrift mit Transkription in Hieroglyphen

Begünstigt wurden diese Arbeiten, die bei aller wissenschaftlichen Akribie nicht eines abenteuerlichen Zuges entbehrten, wenige Jahrzehnte danach durch neue Entdeckungen.

1858 fand der Engländer A. H. Rhind im ägyptischen Theben den nach ihm benannten Papyrus Rhind: zwei Stücke einer Papyrusrolle, die durch zwei weitere Fragmente ergänzt und zu dem nunmehr kompletten Werk vervollständigt wurden, zu einer der ältesten Sammlungen praktischer Rechenaufgaben, die in der Welt existieren: zum "Rechenbuch des Ahmes".

Die einleitenden Bemerkungen geben Aufschluss über die Entstehung dieses Buches:

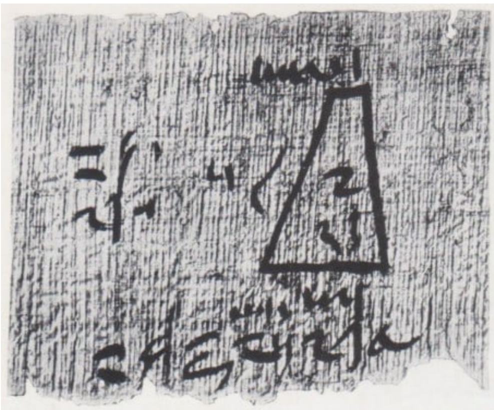
"Vorschrift zur Erreichung der Kenntnisse über jegliche dunkle Dinge ... jegliche Geheimnisse, die die Gegenstände beinhalten. Geschrieben wurde das Buch im Jahre 33 Mesori Tag ... zur Zeit des Königs RA-A-US des oberen und unteren Niltals, der das Leben gibt, nach den Vorbildern alter Schriften, die aus der Zeit des Königs (RA-EN-M) AT stammen. Der Schreiber Ahmes hat diese Kopie geschrieben."

Dieses Vorwort gestattet einige Rückschlüsse auf die damalige Situation der Mathematik, auf die lebenswichtige Rolle des Nils, auf noch ältere Papyri und nicht zuletzt auf das Alter des Papyrus Rhind.

Ahmes fertigte ihn auf einer 30 Zentimeter breiten Rolle aus gepresstem Halmmark der Papyrusstaude etwa im Jahre 1700 v. u. Z. an. Mit roter und schwarzer Tusche zeichnete er die Symbole der hieratischen Bilderschrift auf, deren Herkunft von den meist in Holz, Elfenbein, Stein und anderes hartes Material eingeritzten Hieroglyphen unverkennbar ist.
80 verschiedene Rechenexempel arithmetischen, algebraischen und geometrischen Charakters sind im Papyrus Rhind vereinigt. Mit Beispielen aus dem täglichen Leben und ausführlichen, exakten Lösungen widerspiegeln sie den hohen Stand der altägyptischen Mathematik und deren Bedeutung für die Nutzanwendung.

Ein anderes Dokument, noch älter als der Papyrus Rhind, bestätigt den untrennbaren Zusammenhang des Rechnens mit dem Leben: der Moskauer Papyrus, der im Jahre 1912 von einem Moskauer Museum erworben wurde und jetzt in der Hauptstadt der UdSSR aufbewahrt wird.

Das Niveau der ägyptischen Mathematik drückte den Entwicklungsstand der gesellschaftlichen Produktivkräfte aus. Die Menschen traten in allen Perioden mit schöpferischen Leistungen hervor und weckten mit der Erfüllung materieller Bedürfnisse geistige Bedürfnisse, die ihrerseits wieder in den Lebensstrom einflossen.



Berechnung eines Pyramidenstumpfes

Der Bau der Pyramiden und der Tempel, die Bewässerungskulturen, die Feldvermessung, die Haltung der Viehherden, die Be- und Verarbeitung verschiedener Materialien, die Anlage von Schiffs- und Wasserkanälen, der Verkehr von Flussschiffen mit Riemen und Rahsegeln, der Handel, die Berechnung der Steuern und der Vorratswirtschaft, die Aufstellung eines Kalenders, die Verabreichung von Arzneimitteln und die Meisterung vieler anderer alltäglicher Aufgaben führten zur Herausbildung und Beherrschung exakter rechnerisch-mathematischer Kenntnisse.

Auf den seit etwa 3500 v. u. Z. bekannten Papyri - in dieser Epoche erfolgte in Ägypten der Übergang von der Urgesellschaft zur Klassengesellschaft - wurde das geistige Gut aufgezeichnet. Im Jahre 240 v. u. Z. verfügte die Alexandrinische Bibliothek über 400000 Papyrusrollen.

Es wäre also falsch, die mathematischen Papyri - wie es lange getan wurde - als eine Art Lehr- und Übungsheft für Schüler zu bezeichnen. Als Anleitung zum Denken und Handeln waren sie Handbücher für den praktischen Gebrauch.

Gleich dem Inhalt - Berechnungen aus der Landwirtschaft, Berechnung von Flächen und Körpern, arithmetische und geometrische Reihen, lineare Gleichungen, Bruchrechnungen - zeigen auch die hieroglyphisch-hieratischen Zeichen den unmittelbaren Zusammenhang des Rechnens mit der Umwelt. Alle Symbole, die nach Zehnerpotenzen gegliedert sind und sich bis in den Bereich von 10^6 erstrecken, sind in ihrer konkreten Bildhaftigkeit der Natur und der Wirklichkeit entnommen worden.

Die Hieroglyphe für 1 - - mag ebenso einen Finger wie einen Strich darstellen.
Die Hieroglyphe für 10 -  - geht auf ein Hufeisen zurück.
Die Hieroglyphe für 100 -  - weist auf eine Messleine hin, die das Maß von 100 Einheiten gehabt haben wird.

Die Hieroglyphe für 1000 -  - erinnert, wenn auch stilisiert, an eine Lotosblume.

Die Hieroglyphe für 10000 -  - gibt nach neueren Forschungen einen Schilfkolben wieder, jene Pflanze, die besonders in der Nilniederung weit verbreitet war.

Die Hieroglyphe für 100000 -  - verkörpert einen Frosch, ein im Nilgebiet sehr häufiges Tier, das bei starker Vermehrung zur Plage wurde.

Die Hieroglyphe für 1000000 -  - schließlich war das Abbild des ägyptischen Gottes Heh, der der Legende nach das Himmelsgewölbe tragen soll.

Die einzelnen Hieroglyphen lassen verschiedene Deutungen zu.
Einig sind sich die Interpreten aber darin, dass die Zeichen keine Schöpfungen der Phantasie waren, sondern durchweg die Wiedergabe von Dingen und Erscheinungen des Lebens.
In den Hieroglyphen liegt eine schlichte und schöne Poesie.

Mit sieben verschiedenen Hieroglyphen waren die Ägypter in der Lage, jede Zahl bis 9999999 durch Bündelung dieser Hieroglyphen darzustellen. Sie schrieben die Einheiten derselben Potenz nebeneinander und unmittelbar dahinter die Einheiten der nächstniedrigeren Potenz.
So sah in hieroglyphischer Schreibweise die Zahl 4582731 aus:

Und so die Zahl 71928:

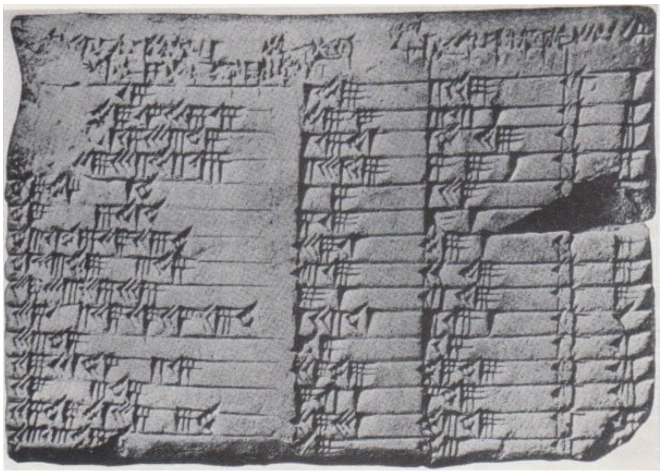
Zuerst, als sie nur mit niedrigen Zahlen rechneten, kamen die Ägypter mit weniger Hieroglyphen aus. So hatte das Zeichen für 10000, die Lotosblume, anfangs den Sinn von "sehr viel", "sehr groß". Dieser Begriff wurde im Laufe der Zeit auf die Hieroglyphen der nächsten Zehnerpotenzen übertragen. Das Anwachsen der Zahlengrößen war offensichtlich.

Die hieratische Schrift, in der der Moskauer Papyrus, der Papyrus Rhind und einige andere Fragmente geschrieben sind, und die demotische Schreibweise, die auf der Granittafel von Rosette enthalten ist, sind keine originalen Hieroglyphen mehr und haben dennoch das Prinzip hieroglyphischer Ausdrucksform. Diesen Wandel verursachte vor allem das schnelle Schreiben mit der Rohrfeder, das zu Abschleifungen führte. Völlig verdrängt wurde die ursprüngliche Gestalt der Hieroglyphen dadurch nicht, sie behauptete sich vorwiegend in kultischen Bereichen.

Abgelöst wurde die ägyptische Bilderschrift, die, Veränderungen unterworfen, über Jahrtausende auch in der Mathematik eine entscheidende Rolle gespielt hatte, erst durch die koptische Schrift.
Als Wissenschaftler, durch den Plattenfund bei Rosette aufmerksam geworden, darangingen, die Geheimnisse der ägyptischen Hieroglyphen zu enträtseln, rückte ein weiteres Gebiet in das Interessenfeld der Forschung: das von der Türkei beherrschte Zweistromland an Euphrat und Tigris, das längst versunkene sagenumwobene Babylonien.

Die Bestrebungen, in eine bewegte Geschichtsepoche des Altertums einzudringen, standen zwar im Schatten der expansiven Politik der europäischen Kolonialmächte, die auf die Eroberung strategisch wichtiger Gebiete abzielte; doch die Ergebnisse der von ihnen finanzierten wissenschaftlichen Unternehmen bereicherten die Kenntnisse über die kulturhistorische Vergangenheit der Menschheit.

Archäologische Expeditionen aus England, Frankreich, Deutschland, den USA und der Türkei gruben Reste altbabylonischer Kulturstätten aus und legten zahlreiche verschüttete Kulturdokumente frei, darunter die Ruinen von Sippar, die Tontafel-Bibliothek des Assurbanipal (668-626 v. u. Z.) und die Tempel von Nippur.



Zahlendarstellung in Keilschrift

Zu den aufgefundenen mathematischen Keilschrifttafeln und Zahlentabellen gehören die Täfelchen von Senkereh, die 1854 von dem Engländer W. K. Loftus ans Tageslicht befördert wurden. Sie enthalten unter anderem die Quadrate der ganzen Zahlen von 1 bis 60 und die Kuben von 1 bis 32 und sind die Zeugnisse, auf denen zuerst das babylonische Sexagesimalsystem mit der Grundzahl 60 erkannt wurde.

Die nach ihrer keilartigen Gestalt Keilschrift genannten Schriftzeichen stellten die Wissenschaft vor völlig neue Probleme, deren Lösung Jahrzehnte dauerte, dann aber den Zugang zur schriftlichen Ausdrucksweise und zur Sprache des sumerisch-babylonisch-assyrischen Kulturkreises ermöglichte und somit zu ökonomischen, gesellschaftlichen und kulturellen Verhältnissen, die nun über fünftausend Jahre zurücklagen.

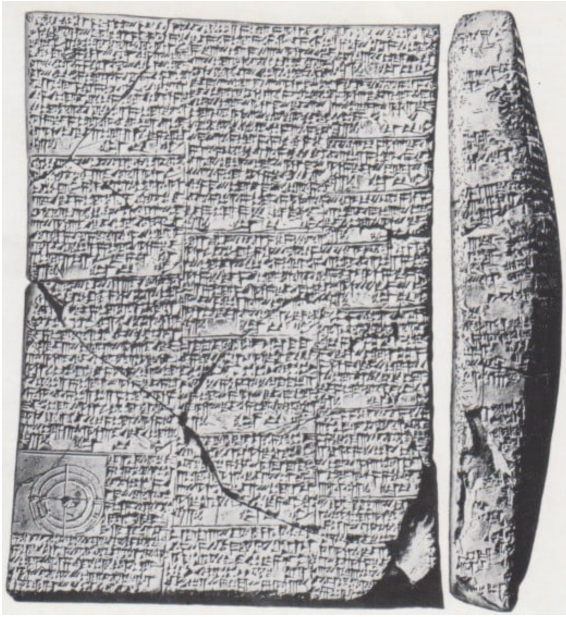
Im Jahre 1802 entzifferte der Göttinger Lehrer G. F. Grotefend einen Teil eines Keilschrifttextes aus den Ruinen von Persepolis.
Seine Nachfolger brachten endgültig Klarheit in das von dem Schleier des Gewesenen eingehüllte Dunkel, auch Klarheit in die babylonische Mathematik, deren Stand sehr hoch und deren Einfluss auf andere Kulturkreise beträchtlich war. Das Zählen und Rechnen machte in dieser etwa 2500 Jahre währenden ereignisreichen Epoche, durch Notwendigkeiten bedingt, eine stetige Entwicklung durch und mit ihm die Keilschrift-Zahlzeichen.

Tontäfelchen von Surupak

Keile sind die für Babylonien charakteristische Zahlendarstellung. Aber sie waren nicht der Anfang. Voraus gingen ihnen halbrunde und runde Zeichen, die durch schräges bzw. senkrechtes Ansetzen von Griffeln in weichen Ton eingedrückt und durch das Trocknen und Brennen der Tonplatten erhärtet wurden. Den Bedürfnissen entsprechend dominierten zuerst die Zeichen für die Einer und die Zehner: D = 1; O = 10.

Diese Methode ist durch ein auf fünftausend Jahre geschätztes Tontäfelchen überliefert, das, einer der ältesten Zeugen dieser Art, bei Surupak gefunden wurde.

An diesem Verfahren änderte sich bei der Keilschrift nur insofern etwas, als die Schreibkundigen später nicht mehr runde, sondern kantige Griffel benutzten. Vertikal stehende Keile 𒁹 und horizontal angeordnete Winkel 𒌋 prägten nun sowohl die Schrift als auch das Zahlenbild, wobei 𒁹 = 1 und 𒌋 = 10 galt.



Keilschrifttafel mit Flächeninhaltsberechnungen

Ausschnitt aus der Keilschrifttafel mit Flächeninhaltsberechnungen

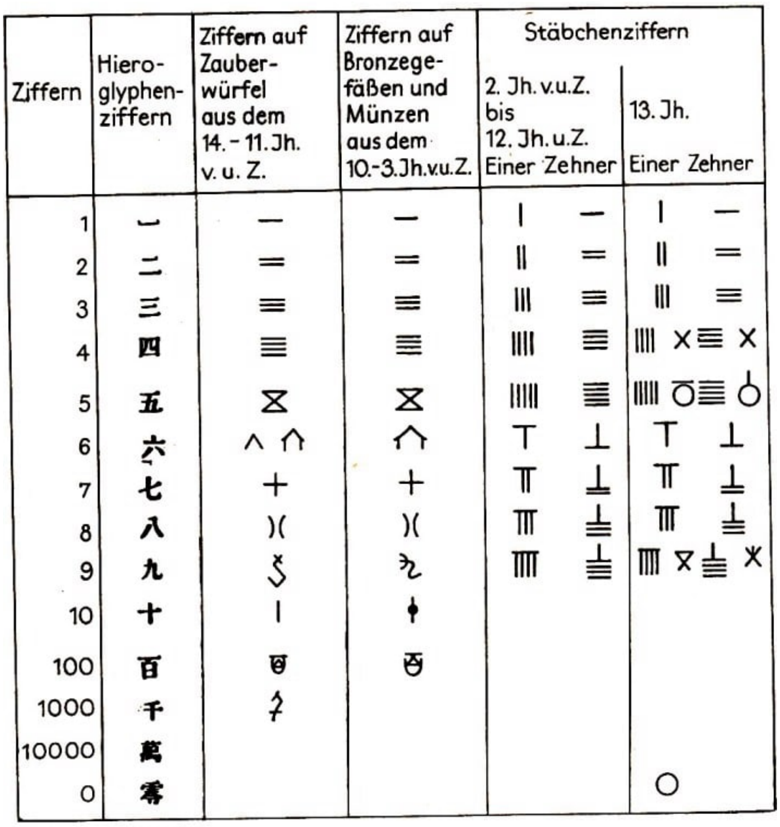
Durch geschickt bündelnde Gruppierung, bei der das höherwertige Symbol stets links rangierte, ließen sich mit nur zwei Zeichen relativ viele Zahlen schreiben. Die Aufgliederung in Zeilen ersparte Platz, förderte die Übersicht und wirkte darüber hinaus ästhetisch.

Auf die Dauer genügten zwei Zahlzeichen nicht mehr. Der für das Gedeihen des babylonischen Reiches unerlässliche Handel, die lebhafte Warenwirtschaft, das Vorausbestimmen der Dürre- und Überschwemmungsschäden, die Flächenvermessungen, die Anlage von Kanälen, Staubecken, Gräben und Gärten, der Ackerbau, die Errichtung prunkvoller Paläste und Tempel sowie prächtiger Städte, der Geldverkehr, astronomische Beobachtungen, die Festsetzung von Maß-, Längen-, Raum- und Gewichtseinheiten und viele andere im gesellschaftlichen und staatlichen Interesse notwendige Aufgaben zogen in der Mathematik einen immerwährenden Prozess der Vervollkommnung nach sich.

Ein auf der Grundzahl 60 basierendes, nach dem Positionsprinzip aufgebautes Zahlensystem bildete sich heraus, das Sexagesimalsystem, über das noch zu sprechen sein wird.

Die Keilschrift blieb, aber sie wandelte sich, wurde durch neue Zeichen und Zeichenkombinationen ergänzt und erreichte eine Perfektion, die auch durch eine gewisse Unübersichtlichkeit kaum beeinträchtigt wurde.

Die Zahlendarstellung in Keilschrift, die Tontafeln und die Zahlentabellen, die ihrem Wesen nach Rechenhilfsmittel waren, widerspiegeln die Kulturstufe der Völker Babyloniens. Die Funde im Zweistromland zwischen Euphrat und Tigris, die Jahrtausende in der Erde ruhten, geben Kunde von den mathematischen Fähigkeiten der Menschen in einer nun als grau bezeichneten Zeit.
Multiplikationstabellen und Tabellen der Reziproken, quadratische und kubische Gleichungen, Potenzen und Wurzeln, Subtraktions- und Additionszeichen, Zeit- und Winkeleinteilung und andere Maßsysteme, Brüche und Flächenpläne und nicht zuletzt viele praktische Berechnungen des Alltags - in filigran anmutender Keilschrift ist es aufgezeichnet, in Ton ist es gebrannt.



Hieroglyphen, Strichzeichen, Stäbchenziffern in China

Hieroglyphen gab es auch in China. Und es gibt sie noch. So finden sie neben arabischen Ziffern und lateinischen Buchstaben auf chinesischen und auch auf japanischen Briefmarken Verwendung - Ausdruck ostasiatischen Traditionsbewusstseins, ein Relikt aus der Frühzeit des Zählens und Rechnens.

Mit einer Einschränkung: Wohl eigneten sich die chinesischen Hieroglyphen mehr oder weniger gut zur Darstellung von Zahlen, doch zum Rechnen wurden sie nicht benutzt. Dafür dienten andere, vorwiegend aus Strichen und Strichkombinationen geformte Zahlensymbole, die seit dem 14. Jahrhundert v. u. Z. auf Zauberwürfeln, Münzen, Bronzegefäßen, Hausrat und anderen Gegenständen überliefert sind.
Noch vor der Zeitrechnung setzten sich dann die sogenannten Stäbchen- oder Bambusziffern durch, die gegenüber der bisherigen Schreibweise eine Vereinfachung bedeuteten.

Gerechnet wurde in Ostasien schon vor den erwähnten Daten. Seit Anfang des dritten Jahrtausends v. u. Z. nahmen die Chinesen astronomische Beobachtungen und Auswertungen vor, um das Jahr 2700 v. u. Z. zeichneten sie eine Sonnenfinsternis auf.

Dazu waren exakte Berechnungen ebenso nötig wie in den mythologisch beeinflussten magischen Quadraten, die in jeder Reihe, Spalte und Diagonale stets dieselbe Summe ergaben und, obwohl Zahlenspielerei und Beweis für einen Zahlenkult, rechnerisches Geschick verlangten. Das älteste chinesische magische Quadrat sah, in arabische Ziffern transkribiert, so aus:

4	9	2	
3	5	7	Summe der Zahlen in einer Zelle, Spalte oder Diagonalen jeweils 15
8	1	6	

Einen Einblick in älteste mathematische und naturphilosophische Spekulationen vermittelt das vermutlich um 1200 v. u. Z. geschriebene "Buch der Wandlungen" ("Yi King"), ein zu Weissagungszwecken verwendetes Kompendium der Kombinatorik.
Eine Sammlung der wichtigsten bis dahin bekannten mathematischen Erkenntnisse enthält das um das Jahr 200 v. u. Z. entstandene anonyme Buch "Neun Kapitel über die Kunst der Mathematik"; in ihm sind u. a. folgende Gebiete berücksichtigt: Berechnung von Dreieck, Trapez und Kreis; Verhältnisse und Proportionen; Regeldetri; Quadrat- und Kubikwurzeln; Volumenberechnungen; Bewegungsberechnungen; Auflösung einfacher Gleichungen; Auflösung linearer Gleichungssysteme; pythagoreisches Dreieck.

Mathematischer Unterricht wurde in China schon lange vor der Zeitrechnung erteilt. Die praktischen Aufgaben in der Astronomie, in der Landwirtschaft, im Deich-, Kanal- und Mauerbau, im Handel, im Handwerk und in der Finanzwirtschaft verlangten arithmetische und geometrische Kenntnisse.

Die altchinesischen Zahlzeichen des 14. bis 3. Jahrhunderts v. u. Z. erlaubten auch die Darstellung größerer Zahlen. Für 20, 30 und 40 existierten besondere Zeichen; ein Zwei-, Drei- und Vierzack; es war aber auch möglich, sie ähnlich wie 50, 60, 70 usw. durch den betreffenden Einer mit einem Strich darüber (Symbol für 10) abzubilden.
Sinnvolle Kombinationen waren die Grundlage dieses Zahlensystems, von dem später einige Elemente in die Darstellung mit Stäbchenziffern einflossen.

Komplizierter war die Schreibweise in Hieroglyphen, da nur für die Zahlen 1 bis 10 und für die Potenzen von 10 bis 10^4 Individualzeichen vorhanden waren. Deshalb mussten bei größeren Zahlen die Einerziffern durch das entsprechende Zeichen für die Zehnerpotenz ergänzt werden, denn nur dieses charakterisierte die Größenordnung und stufte damit ab.

Die Folge davon waren sowohl in der Schrift als auch in der Sprache Schwellen von einer Zehnerpotenz zur anderen. Zum Beispiel wurde die Zahl 9637 - in das uns gewohnte Bild übertragen - so dargestellt und gelesen:

$$9 \cdot 1000 \qquad 6 \cdot 100 \qquad 3 \cdot 10 \qquad 7 \cdot 1$$

(9 Tausender, 6 Hunderter, 3 Zehner, 7 Einer).

Der Dämmer, der in den Wäldern der mittelamerikanischen Halbinsel Yucatan liegt, hüllt auch die klassische Kultur der hier heimischen Maya-Indianer ein und verleiht ihr etwas Sagenhaftes. Die spanischen Eroberer stießen im 16. Jahrhundert auf starke Stadtstaaten und prächtig ausgestattete Tempel, in denen der Götterkult gepflegt wurde, sie fanden umfangreiche astronomische und mathematische Kenntnisse und phantastische Bilderschriften vor - aber der Höhepunkt der kulturellen Entwicklung war zu dieser Zeit überschritten.

Die Historie ordnet die Blüteperioden der Mayakultur dem sechsten und dem elften bis dreizehnten Jahrhundert zu. Schon sehr früh führten die Maya erstaunlich genaue Himmelsbeobachtungen durch und zeichneten ihre Ergebnisse auf. Einen hohen Stand erreichte auch ihre Kalenderberechnung, in der sie den Monat in 20 Tage und das Jahr in 18 Monate plus fünf Resttage unterteilten.

Über diese Tatsachen herrscht Klarheit. Dennoch bleiben in der Mayakultur Geheimnisse, die der Forschung ein weites Feld bieten. Um 1960 erzielte ein von Prof. Dr. S. L. Sobolew geleitetes Kollektiv sowjetischer Wissenschaftler neue Erfolge bei der schwierigen Entzifferung alter Maya-Handschriften. Das war nur möglich durch den Einsatz elektronischer Rechenautomaten, die hierbei eine ihrer ersten großen Bewährungsproben ablegten.

Damit schloss sich in gewissem Sinne ein Kreis. Mit Hilfe mathematischer Methoden wurden Rätsel gelöst, die lange als unlösbar gegolten hatten; die Mathematik hatte bei den Maya ein hohes Ansehen genossen.
Wann bei ihnen die Zahlzeichen aufkamen, ist nicht genau bestimmbar, die Vermutungen schwanken erheblich. Sicher aber ist, dass das Rechnen in engem Zusammenhang mit dem Kalender ausgeübt wurde, mit der Zeiteinteilung, deren Grundlage wiederum die Astronomie war.

20 Tage waren bei den Maya-Indianern ein Monat, und 20 war die Grundzahl und im Stellenwertsystem zugleich eine Einheit höheren Grades, ausgenommen die dritte Stufe, für die nicht, wie sonst üblich, 20, sondern 18 Einheiten der nächstniedrigeren, in diesem Fall der zweiten, Stufe herangezogen wurden; 18 deshalb, weil sich darin die Anzahl der Monate eines Jahres ausdrückte.

Die Anpassung des Zahlensystems an die Kalenderrechnung schlug sich auch in der Sprache nieder. Für "Tag" und "eins" hatten die Maya dieselbe Bezeichnung, nämlich "kin".
Die Sonderstellung, die die 20 bei den Maya hatte, rührt noch von einer anderen Eigenart her: Sie zählten ursprünglich mit den Fingern und mit den Zehen, ihre Körperzahlen gingen also bis 20.

20 war die Grundzahl, und zwanzig Zahlzeichen, die später auftretende Null einbegriffen, reichten in Verbindung mit dem Stellenwertsystem aus, die benötigten Zahlen darzustellen. Eine geschickte Reihung und Bündelung der als Symbole verwendeten Punkte und Striche vereinfachte die Übersicht:

1 = ·	2 = :	3 = ⋮	4 = ⁞	5 = ǀ
6 = ·ǀ	7 = :ǀ	8 = ⋮ǀ	9 = ⁞ǀ	10 = ǀǀ
11 = ·ǀǀ	12 = :ǀǀ	13 = ⋮ǀǀ	14 = ⁞ǀǀ	15 = ǀǀǀ
16 = ·ǀǀǀ	17 = :ǀǀǀ	18 = ⋮ǀǀǀ	19 = ⁞ǀǀǀ	0 =

Ab 20 $(1 \cdot 20)$ wurde im Stellenwertsystem die zweite Stufe benötigt, die mit der Darstellung der Zahl 359 endete. Ihr schloss sich ab 360 $(18 \cdot 20)$ die dritte Stufe an und dieser ab 7200 $(20 \cdot 360)$ die vierte Stufe.

Wenn also die Ziffer 3 in der vierten, dritten, zweiten, ersten Stufe steht, so entspricht sie den folgenden Zahlen in unserem Zehnersystem:

Vierte Stufe: ... $= 3 \cdot 20 \cdot 18 \cdot 20 = 3 \cdot 7200 = 21600$
Dritte Stufe: ... $= 3 \cdot 18 \cdot 20 = 3 \cdot 360 = 1080$
Zweite Stufe: ... $= 3 \cdot 20 = 60$
Erste Stufe: ... $= 3 \cdot 1 = 30$

Über die Rolle der Null, deren Wichtigkeit die Maya früher als andere Völker erkannten, wird noch gesondert zu berichten sein.

Mit wenigen Zeichen waren die Maya in der Lage, auf Denkmälern und Urkunden relativ große Zahlen abzubilden. Zu den überlieferten historischen Dokumenten, die von der hohen indianischen Kultur auf Yucatan zeugen, gehören die Blätter der 40 Bogen umfassenden Dresdener Maya-Handschrift.

Die Griechen bildeten ihre Zahlzeichen durch Buchstaben ab, aber sie sind nicht die ersten gewesen, die diese Methode anwandten. Eingeführt haben die Buchstabenschrift die an der syrischen Mittelmeerküste lebenden Phönizier, und das geschah etwa im 14. Jahrhundert vor der Zeitrechnung.
Funde auf Kreta und auf Inseln des Ägäischen Meeres zeugen davon, wie sich, durch Handel und Seefahrt begünstigt, die phönizische Kultur und damit die Zahlendarstellung ausbreitete.

Attische Tributliste von der Akropolis

Auf dieser Grundlage entwickelten die Griechen das attische oder herodianische Zahlensystem, das von dem byzantinischen Grammatiker Herodian (um 200) überliefert werden ist.

Zur Darstellung der Einer wurden Striche benutzt: |
Bei der 5 trat eine Bündelung ein, verkörpert durch den Buchstaben Π (pi), den Anfangsbuchstaben des Zahlwortes pente.
Dasselbe Prinzip galt für die dezimalen Stufen 10, 100, 1000 und 10000 - in jedem Fall war der griechische Anfangsbuchstabe des betreffenden Zahlwortes die Ziffernbezeichnung:

10 = Δ (deka) 100 = H (hekaton) 1000 = X (chilioi) 10000 = M (myrioi)

Besondere Symbole gab es für die Stufen von 5, also für 50, 500, 5000 und 50000. Hierbei wurden die Zeichen von 10,100, 1000 und 10000 nach der multiplikativen Methode mit dem vereinfachten Zeichen von 5 $\overline{|}$ kombiniert. So bedeutete:

$\overline{|\Delta} = 50$, $\overline{|H} = 500$, $\overline{|X} = 5000$, $\overline{|M} = 50000$

Mit insgesamt zehn Zahlzeichen bei nur sechs Grundformen ließen sich alle benötigten Zahlen schreiben. Das klingt einfach, war es aber nicht. Die notwendige Aufgliederung der Zahlen hatte eine lange Weitschweifigkeit zur Folge, die die Übersichtlichkeit erschwerte. Dieser Nachteil fiel allerdings nicht allzu stark ins Gewicht, denn mit den attischen Zahlen wurde in schriftlicher Form kaum gerechnet, diese Aufgabe erfüllte das Rechenbrett schneller und besser.

Trotzdem hatte das nach dem griechischen Land Attika benannte attische Zahlensystem relativ lange Bestand. Aus Inschriften geht hervor, dass es von etwa 550 bis etwa 100 v. u. Z. in Gebrauch war.
Unter der Regierung des Perikles, als Athen zum wirtschaftlichen, politischen und kulturellen Zentrum Griechenlands wurde, hatte es amtlichen Charakter, in dem attischen Zahlensystem wurden unter anderem Rechnungen des athenischen Staatshaushaltes ausgefertigt.

Athenische Münzen mit milesischen Zahlzeichen

Fast gleichaltrig mit der attischen Schreibweise war das aus der Stadt Milet stammende milesische Zahlensystem, aber es kam erst später zum Durchbruch. In diesem System dienten die Anfangsbuchstaben des griechischen Alphabets zugleich als Zahlen.

Die Zahlen 1 bis 9 waren die ersten neun Buchstaben des Alphabets (alpha bis theta), die Gruppe der nächsten neun Buchstaben (jota bis kappa) umfasste die vollen Zehner von 10 bis 90, die dritte Gruppe die vollen Hunderter von 100 bis 900.
Da das griechische Alphabet nur 24 Buchstaben hatte, für die Darstellung von 27 Zahlen aber 27 Buchstaben erforderlich waren, wurde es - und zwar für 6, 90 und 900 - durch drei alte semitische Buchstaben ergänzt. Geschrieben werden durften sowohl die

großen als auch die kleinen Buchstaben.

Zur Kennzeichnung des Tausenderbereiches, für den ja keine eigenen Buchstaben existierten, wurden die Zeichen der Einer links mit einem kommaähnlichen Strich versehen.

Zahlen größer als 10^4 wurden charakterisiert, indem man über das Zeichen M (Anfangsbuchstabe des Wortes Myrioi, Myriade) die Anzahl der Zehntausender setzte oder aber über diese Anzahl pro Buchstabe zwei Punkte. Die Schreibung noch höherer Zehnerpotenzen war willkürlich und dem persönlichen Ermessen überlassen.
Verwechslungen von Buchstaben und Zahlen wurden vermieden, weil die Zahlen am Schluss durch einen Strich kenntlich gemacht oder durch einen waagerechten Strich über den Buchstabenziffern hervorgehoben wurden.

Obwohl auch das milesische System recht schwerfällig war, behaupteten sich die Buchstabenzahlen über Jahrhunderte. Sie wurden, trotz abgewandelter Form deutlich zu erkennen, von den Goten übernommen und von den Griechen selbst in den vorderen Orient hineingetragen. Im byzantinischen Reich waren sie bis Mitte des 15. Jahrhunderts gebräuchlich, hier wurden sie erst während der osmanischen Herrschaft abgelöst.

Die Umständlichkeit der Zahlenschreibweise mag eine der Ursachen dafür gewesen sein, dass sich die Arithmetik in Griechenland nur zögernd und langsam entwickelte, doch entscheidend waren andere Gründe: die Vorliebe der Griechen für die Geometrie; der mystische Einfluss, den vor allem die pythagoreische Schule auf die Zahlen und damit auf das Rechnen ausübte; die idealistischen Bestrebungen, die mathematische Wissenschaft von dem praktischen Rechnen des Alltags zu scheiden.

Die Lehre Platons (427-347 v. u. Z.) empfahl der herrschenden Klasse, die Rechenkunst zu studieren "... um des Krieges willen und darum, dass die Seele selbst eine Erleichterung finde und von dem Werden hinweg zur Wahrheit und Wesenheit hinübergewendet werde", lehnte es aber strikt ab, das Rechnen in den Dienst des Kaufens und Verkaufens zu stellen "wie Handelsleute und Krämer es betreiben".

Die philosophisch untermauerte Trennung zwischen der "reinen" Mathematik und der profanierenden Praxis führte zwangsläufig zu einer Unterschätzung und Vernachlässigung der angewandten Rechenverfahren, mit denen Kaufleute, Seeleute, Landvermesser, Steuerbeamte und Angehörige anderer Berufe zu tun hatten. Zwischen dem praktischen Rechnen und dem hohen wissenschaftlichen Stand der Mathematik klaffte in Griechenland eine Lücke, die nur allmählich und im alten Hellas nie völlig geschlossen werden konnte.

Ähnlich wie die Griechen und zum Teil auch wie die Römer stellten die slawischen Völker ihre Zahlen in Buchstaben dar. Dabei waren Gemeinsamkeiten mit dem milesischen System besonders offensichtlich.

Hier wie dort wurden 27 Buchstaben verwendet, hier wie dort gab es eine Aufgliederung in drei Gruppen: für die Einer von 1 bis 9, für die Zehner von 10 bis 90 und für die vollen Hunderter von 100 bis 900. Die Anlehnung an das griechische Muster kam auch darin zum Ausdruck, dass aus dem slawischen Alphabet für Zahlen nur die Buchstaben ausgewählt wurden, deren Gestalt den griechischen Buchstaben verwandt war.

Ein besonderes Zeichen führten die Slawen für 1000 ein: $\neq$.
Um Buchstaben und Zahlen unterscheiden zu können, wurden die Zahlen mit einem sogenannten Titlo charakterisiert.

А҃	В҃	Г҃	Д҃	Є҃	Ѕ҃	З҃	И҃	Ѳ҃
1	2	3	4	5	6	7	8	9
І҃	К҃	Л҃	М҃	Н҃	Ѯ҃	Ѻ҃	П҃	Ч҃
10	20	30	40	50	60	70	80	90
Р҃	С҃	Т҃	Ѵ҃	Ф҃	Х҃	Ѱ҃	Ѿ҃	Ц҃
100	200	300	400	500	600	700	800	900

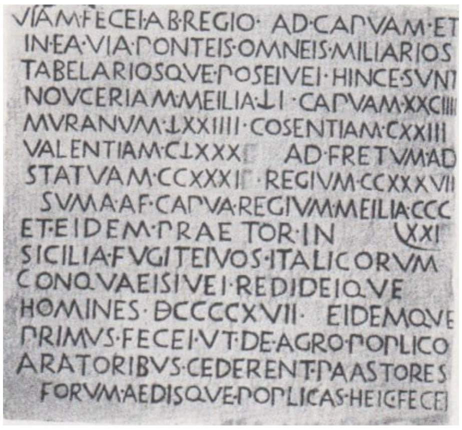
Slawische Zahlendarstellung

Die slawischen Zahlendarstellungcn eigneten sich auch zur Niederschrift großer Zahlen, wobei es sich als Vorteil erwies, dass sie häufig ein kurzes Schriftbild hatten. Nach der multiplikativen Methode hatten zwei Tausenderzeichen ($1000 \cdot 1000$) die Bedeutung eine Million.

Doch der Begriff "große Zahlen" war relativ und zeitbedingt, er wandelte sich mit der Entwicklung. Für 10000 gebrauchten die alten Slawen einst das Wort TbMa (tma - Unmenge, unendlich große Anzahl) im gleichen Sinne wie die Griechen myrio.
Später, im "System der großen slawischen Zahl" des 17. Jahrhunderts galt dasselbe Wort eine Million. Ihm folgten noch eine Reihe anderer Zahlwörter bis zu koloda (Klotz, Block), was der Zahl 10^{49} entsprach. Aber in dieser Epoche waren die slawischen Buchstabenzahlen praktisch schon von den arabischen Ziffern abgelöst worden.

Bei den Römern stand im Gegensatz zu den Griechen die praktische Anwendung des Rechnens im Vordergrund. Als sich die Antike dem Ende zuneigte, fiel die mathematische Entwicklung im Mittelmeerraum, durch ökonomische, soziale und ideologische Verhältnisse bedingt, von einem Extrem ins andere.
Vor allem die christliche Lehre brachte die Mathematik als angebliches Geistesprodukt heidnischer Philosophie in Misskredit. Die trotz Eigenwilligkeit großen Leistungen der griechischen Denker gerieten in Vergessenheit.
Chancen zur Erweiterung, Vervollkommnung und Anwendung hatten nur die Rechenmethoden, die unmittelbar der Ausweitung, der Erhaltung und schließlich der Verteidigung des römischen Imperiums dienten - so das Rechnen im Handel, in der Finanzwirtschaft, in der Landvermessung, in der Bautechnik und nicht zuletzt im Militärwesen.

Trotz dieser Tendenzen sind uns Heutigen von allen alten Zahlzeichen die römischen am vertrautesten. In geringem Umfang werden sie noch immer benutzt, die arabischen Ziffern haben sie nicht völlig verdrängt.



Römische Inschrift mit Zahlen

Aber die uns geläufigen Symbole sind in der Zahlendarstellung der Römer nicht der Anfang gewesen, sie haben Vorgänger gehabt, die denen anderer Völker ähnelten. Auf den Ursprung weisen die niedrigsten Zeichen hin; einfache senkrechte Striche und das Bündelungsprinzip: |, ||, |||, ...
Die Striche können durch Abbildung einer Zählstockkerbe oder eines Fingers entstanden sein. Auf den Zusammenhang mit dem Fingerrechnen deuten auch andere Zeichen hin. V gleicht, in vereinfachter Form, einer Hand mit abgespreiztem Daumen (fünf Finger), X (= 10) wären nach dieser Interpretation zwei Hände (zehn Finger).
Größere Zahlen wurden aus Strichen und Bogen kombiniert. Es bedeuteten:

 = 50
 = 100
 = 500
 oder ∞ (heutiges Zeichen für unendlich) = 1000
 = 10000
 = 100000
 = 1000000

Mit der Größe der Zahlen wuchsen auch in Rom die Abweichungen von dem Schreibschema, die Einheitlichkeit wurde recht großzügig und individuell gehandhabt.
Auf einer aus dem Jahre 132 v. u. Z. stammenden Tafel sind die alten Zeichen abgebildet. Die Tafel enthält Mitteilungen über verschiedene Bauwerke und Entfernungsangaben in Meilen mit den Zahlen 51, 84, 74, 123, 180, 231, 271.

Diese Zeichen wurden später - der Prozess dauerte bis ins Mittelalter - von Ziffern abgelöst, deren Herkunft von den Buchstaben wahrscheinlich ist. Zumindest wird angenommen, dass das Zeichen C von dem Zahlwort centum (hundert) und das Zeichen M von dem Zahlwort mille (tausend) herrührt.
Manche Zeichen wie I, V und X änderten sich geringfügig. Für größere Zahlen wurden neue Darstellungen eingeführt. Insgesamt existierten nun - und existieren noch - folgende Symbole:

$$I = 1,\ V = 5,\ X = 10,\ L = 50,\ C = 100,\ D = 500,\ M = 1000$$

Außerdem wurde zum Kennzeichnen der Tausender ein M verwendet. Es kam auch vor, dass man, um die Tausender zu charakterisieren, die Zahlen, die die Tausender angaben, überstrich:

$$112271 - CXIIMCCLXXI \qquad , \qquad 221000 - \overline{CCXXI}$$

Mit nur sieben Zeichen ließen sich alle Zahlen bis zu einer Million abbilden. Das war relativ einfach. Ein weiterer Vorteil war eine gewisse Beweglichkeit. Neben der Aneinanderreihung bedienten sich die Römer der subtraktiven Schreibweise, die es nach festgelegten Regeln erlaubte, eine kleinere Zahl vor die nächstfolgende größere zu setzen, wobei dann die kleinere von der größeren abgezogen werden musste. Dadurch wurde die sonst unvermeidliche Länge verkürzt:

$$XCVIII = 98, \qquad XLI = 41, \qquad IC = 99, \qquad IXL = 39$$

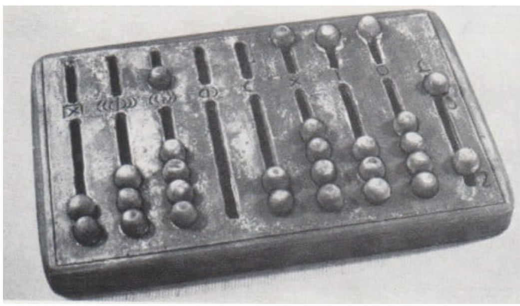
Die Anzahl der Zahlzeichen sagte aber, wie die Beispiele zeigen, nichts über die Größe der Zahlen aus. Eine größere Zahl konnte weniger Zeichen haben als eine kleinere:

$$2388 = MMCCCLXXXVIII \qquad , \qquad 3449 = MMMCDIL$$

Ein Vorteil dieses Zahlensystems war ohne Zweifel sein gut durchdachter Aufbau, der den ersten Eindruck der Kompliziertheit erheblich milderte. Wirklich kompliziert wurde es nur beim schriftlichen Rechnen. Die Länge der Zahlen und das Fehlen eines Stellenwertes bereiteten beträchtliche, ja unüberwindbare Schwierigkeiten.

Die Römer halfen sich auf ihre Art. Mit den Zeichen schrieben sie nur Zahlen auf. Das Rechnen selbst bewältigten sie mit natürlichen oder speziell angefertigten Hilfsmitteln: mit den Fingern und dem Rechenbrett (Abacus).

"Eine Mischung kostbarer Kristalle und gewöhnlicher Steine" - mit diesem Urteil umriss der arabische Historiker al-Biruni (973-1048) das Wesen der alten indischen Lehrschriften, in denen, zumeist in Versform gestaltet, außer den dominierenden astronomischen Abhandlungen auch Darlegungen über die Mathematik enthalten waren.



Römischer Handabacus

Heute, fast ein Jahrtausend nach al-Biruni, wissen wir, dass dieser Vergleich mit den kostbaren Kristallen durchaus zutreffend war.
Mit der endgültigen Herausbildung des dezimalen Zahlensystems mit Stellenwert und dem bewussten und planmäßigen Einsatz der Null vollbrachten die Inder eine Kulturtat,

die ihresgleichen sucht. Bis auf ganz wenige Ausnahmen rechnet die gesamte Menschheit nach dem Prinzip, das in dem exotischen Riesenreich zwischen dem Himalaja-Gebirge, dem Arabischen Meer und dem Golf von Bengalen entstanden ist.

Was wirklich geschah, ist nicht mit Gewissheit zu sagen. Die wenigen vorhandenen Dokumente geben keinen endgültigen Aufschluss.
Überhaupt sind die in Indien geborgenen Funde relativ jungen Datums, sie reichen im wesentlichen nur bis ins erste Jahrtausend vor der Zeitrechnung zurück. Als ältere indirekte Zeugen, die den Entwicklungsstand der Mathematik widerspiegeln, können allenfalls Inschriften und Münzen dienen.

Sicher aber ist, dass die Produktivkräfte in Indien schon während des Übergangs zur Klassengesellschaft (zuerst in Nordindien ab Mitte des zweiten Jahrtausends v. u. Z.) entwickelt gewesen sind. Werkzeuge und Waffen aus Kupfer und Bronze wurden bereits Ende des vierten Jahrtausends v. u. Z. angefertigt. Im dritten Jahrtausend v. u. Z. betrieb man im Gebiet des Indus Ackerbau mit künstlicher Bewässerung und übte zahlreiche Handwerke aus. Aus Ziegeln wurden Häuser und Städte errichtet. Der Handel erstreckte sich bis Mesopotamien.

Einen wesentlichen Fortschritt brachte die Verwendung des Eisens ab etwa 1000 v. u. Z. Um 300 v. u. Z. wurde bei Kutub eine 7,25 Meter hohe eiserne Säule aufgestellt, die bis heute nicht rostet. Eine andere Eisensäule, die 18 Meter hoch ist, stammt aus dem Jahre 90 v. u. Z.

In der Landwirtschaft ragte als Besonderheit das Zuckerrohr hervor. Zwei Feldherren, die 327 bis 325 v. u. Z. mit Alexander dem Großen nach Indien kamen, berichteten, dass dort "... ein Schilf Honig hervorbringen soll ohne Beihilfe von Bienen". Bald danach (um 300 v. u. Z.) wurde in Indien Zucker in fester Form produziert. Geerntet wurde auch Baumwolle. Herodot erwähnte diese Tatsache um 450 v. u. Z.
Großartige Baudenkmäler, Kunstwerke und wissenschaftliche, besonders astronomische Entdeckungen krönten die kulturellen Leistungen noch vor der im sechsten Jahrhundert beginnenden Formierung der indischen Feudalgesellschaft.

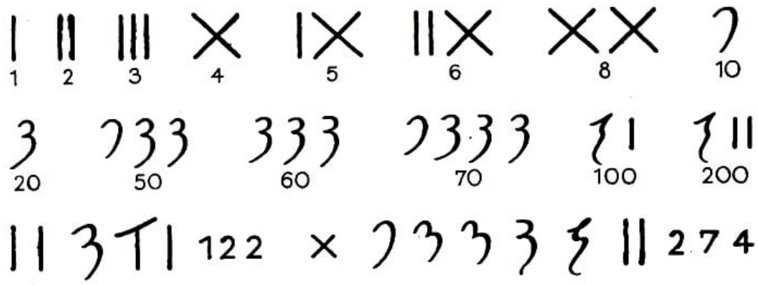
Kunst und Wissenschaft erlebten in Indien schon früh Blütezeiten, die denen anderer Völker ebenbürtig waren. Klar lässt sich der Prozess verfolgen, der von primitiven Anfängen des Zählens und Rechnens über gelegentliche Überspitzungen und Auswüchse mythologischen Charakters zum Höhepunkt führte: zum perfekten Positionssystem mit gleichberechtigter Eingliederung der Null.

Es gab Epochen, in denen die Inder wie viele andere Stämme und Völkerschaften die Zahlwörter durch Begriffe ausdrückten, die in einer bestimmten Anzahl vorhanden waren. Die Eins benannten sie mit "Erde"oder "Mond", die Zwei mit "Auge", die Drei mit "Eigenschaft" (in Indien wurden nämlich drei Charaktereigenschaften unterschieden), die 32 mit "Zähne".
So umständlich diese Ausdrucksweise, besonders bei größeren Zahlen und zusammengesetzten Zahlwörtern, auch gewesen sein mag, sie basierte auf einer natürlichen Grundlage und hatte einen poetischen Zug, der die nüchterne Sachlichkeit überdeckte, die

den Zahlen eigen ist.

Mit Hilfe von kompletten Wörtern oder schon von Silben wurden Zahlen interpretiert. Den wachsenden mathematischen Anforderungen entsprachen aber nur Zahlendarstellungen durch Symbole.
Unter den verschiedenen Systemen erlangten die Kharoschthi- und die Brahmi-Zahlenschrift die größte Bedeutung, bevor sie von der Stellenwertschrift mit der Null überflügelt wurden.

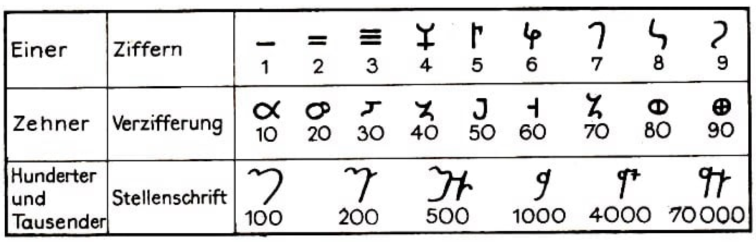
Bei den Kharoschthi-Zahlzeichen handelte es sich um ein positionsloses Dezimalsystem, in dem die Vier und die Zwanzig eine Sonderstellung beanspruchten. Symbole existierten für 1, 2, 3, 4, 10, 20 und 100. Aus ihnen wurden teils additiv, teils multiplikativ alle übrigen damals bekannten Zahlen zusammengefügt.



Zahlzeichen in Kharoschthi-Schrift

Mehr und länger verbreitet als die Kharoschthi-Zahlen waren die Brahmi-Ziffern. Inschriften in dieser Darstellung wurden in einer Höhle des Nana-Ghat-Hügels und in Höhlen bei Nasik entdeckt, wahrscheinlich stammen sie aus dem zweiten oder ersten Jahrhundert vor der Zeitrechnung.
In diesem System, das als der älteste Vorläufer unserer heutigen Ziffern angesehen wird, besaßen alle Einer, alle Zehner sowie hundert und tausend eigene Zeichen. Zahlen ohne eigenes Symbol wurden durch Zusatz von Strichen, durch Verschlingung der Zeichen oder durch additive Darstellung geschrieben.

Da die ersten neun Zeichen (1 bis 9) einen besonderen Rang hatten, trugen die Brahmi-Ziffern dazu bei, dem durch die Null vervollständigten dezimalen Stellenwertsystem den Weg zu ebnen.
Trotz der Überlegenheit des neuen Positionssystems bestanden die traditionsreichen Brahmi-Ziffern noch lange in Indien bis ins 15. Jahrhundert hinein, in Ceylon Sri Lanka sogar bis gegen Ende des 19. Jahrhunderts.



Brahmi-Ziffern

Eine besondere Vorliebe zeigten die Inder für große Zahlen. Schon Jahrhunderte vor der Zeitrechnung kannten sie Namen für Zahlen der Größenordnung bis 10^{53}. In der Sanskrit-Literatur waren Formulierungen wie diese nicht selten: "vierzig hundert tausend Myriaden zehn Millionen Abschnitte der Weltentstehung", "hunderte tausende Myriaden zehner Millionen Abschnitte des Bestehens der Welt", "zwanzig hundert tausender Myriaden zehner Millionen".

Für das Rechnen hatten solche unfassbaren Größen keinerlei Wert, sie betonten lediglich den Hang zur kultischen Vergötterung und förderten das Bewusstsein stolzer Erhabenheit. Später prägte sich diese Neigung in einer Legende aus, in der es realer und konkreter zuging.
Diese Sage berichtet: Als sich Sessa Elm Daher (Sissa Nassir), der Schöpfer des Schachspiels, von dem indischen Herrscher Shehrama eine Belohnung wünschen durfte, bat er, auf das erste Feld des Schachbretts ein Weizenkorn zu legen und dann auf jedem nächsten Feld die Körnerzahl gegenüber dem vorangegangenen zu verdoppeln.
Der Wunsch war unerfüllbar. Man errechnete, dass dazu $2^{64} - 1$ Körner erforderlich gewesen wären, etwa 838488366966 Kubikmeter Weizen.

Ein Kubikmeter Weizen wiegt im Durchschnitt ca. 0,765 Tonnen. Demnach hätte Shehrama mehr als 641 Milliarden Tonnen oder mehr als 641000 Millionen Tonnen Weizen benötigt, um die gewünschte Belohnung zu zahlen. Noch deutlicher wird das anhand der Weltweizenproduktion. Diese betrug

1910 ca. 103 Millionen Tonnen,
1930 ca. 130 Millionen Tonnen,
1960 ca. 249 Millionen Tonnen.

Demnach wäre die von Sessa Ebn Daher geforderte Weizenmenge sicherlich größer als die gesamte bisherige Weltweizenproduktion.

Ob kultische Übersteigerung oder exaktes Rechnen - das übersichtliche Stellenwertsystem mit der Null kam den Bedürfnissen der Inder entgegen, und es wurde den Anforderungen gerecht, die inzwischen an die Mathematik gestellt wurden.
Neu war das Prinzip dieses Systems allerdings nicht. Die Positionsschreibweise hatten schon vor den Indem die Babylonier und die Maya entwickelt, ebenso hatten sie Zeichen gehabt - einen doppelten Winkelkeil bzw. ein halbgeöffnetes Auge -, die als Symbole der Null gedeutet werden können. Doch das Verdienst, diese Ansätze vollendet zu haben, gebührt den Indern.

Die Frage, wann das dezimale Stellenwertsystem mit der Null in Indien auftauchte, ist nicht genau zu beantworten. Sicher ist nur, dass es im 7. Jahrhundert voll ausgebildet war. Davon zeugen die Rechenregeln des im Jahre 598 geborenen indischen Astronomen und Mathematikers Brahmagupta.
In ihnen sind Vorschriften vermerkt, wie mit der Null gerechnet werden muss; die Exempel berücksichtigen offensichtlich bewährte praktische Erfahrungen.

Brahmagupta verfasste seine Werke, wie allgemein üblich, in Versen, wobei er die Zahlwörter ausschrieb. Eine Aufgabe hatte z. B. folgende Form: "Aus einer Menge reiner

Lotosblumen wurden Schiwa der dritte, Wischnu der fünfte, der Sonne der sechste Teil als Opfer dargebracht, den vierten Teil erhielt Bhawani, und die übrigen sechs Blumen wurden dem ehrwürdigen Lehrer gegeben."

(Lösung: 120 Lotosblumen; Schiwa erhielt 40, Wischnu 24, die Sonne 20. Bhawani 30, der Lehrer 6 Lotosblumen.) Dadurch erklärt sich, dass das Nullzeichen erst auf jüngeren Dokumenten auftritt, so auf einer Kupferplatte des Jahres 738 und in einer Inschrift aus dem Jahre 876.

Auf diesen Funden hat die Null ein kreisförmiges Aussehen, das jedoch nicht ihre erste Gestalt war. Ursprünglich wurde sie als Punkt abgebildet. Diese Darstellung ist neben den Zahlen 1 bis 9 auf einer beschriebenen Baumrinde enthalten, die 1881 in dem nordwestindischen Dorf Bakskali entdeckt wurde.
Über die Entstehungszeit dieser Handschrift sind die Meinungen der Wissenschaftler geteilt. Einige Forscher datieren sie dem zweiten Jahrhundert, andere dem sechsten bis achten. Jahrhundert zu.

So sind dann nicht alle Rätsel gelöst, die uns die Null aufgibt. Unbestritten aber bleibt, dass das indische Ziffernsystem mit der Null zu den größten und bedeutendsten Kulturleistungen der Menschheit gehört, auch dann, wenn es nun längst als Selbstverständlichkeit betrachtet wird - oder vielleicht gerade darum ?

1.6 Von Indien nach Europa

Im Jahre 1299 wurde in Florenz ein Erlass herausgegeben, der zwar kein allzu großes Aufsehen erregte, aber recht drastisch bewies, mit welchen Schwierigkeiten es verbunden war, die aus Indien stammenden arabischen Ziffern in Europa durchzusetzen.
Die Verfügung verbot den Kaufleuten und Bankhäusern, in der Buchführung das mittlerweile schon jahrhundertealte, doch an der nördlichen Mittelmeerküste noch neue Zahlensystem anzuwenden.

Begründung: Die Null öffne den Betrügereien Tür und Tor, ihre Form verleite dazu, sie nach Bedarf in eine 6 oder eine 9 umzufälschen.

Dass in Florenz, neben Pisa, Mailand, Venedig und Genua damals im Handel, Handwerk und Manufakturwesen eine der herausragenden Städte auf der Appennin-Halbinsel, Unregelmäßigkeiten und Betrugsaffären vorkamen, wusste jeder. Doch die Hoffnung, mit den arabischen Ziffern und der Null auch unredliche Neigungen ausrotten zu können, war eine Utopie, die an den Realitäten vorbeiging.
Das Gerücht, man habe die neuen Zahlen nur deshalb verboten, weil die städtischen Beamten nicht fähig seien, sie zu lesen, verstummte nicht.

Im übrigen wurde auch in Florenz nichts so heiß gegessen wie es gekocht wurde. Nach der ersten Aufwallung beeilten sich die Betroffenen, wie früher römische Zahlzeichen zu schreiben, aber als sich die Wogen geglättet hatten, tauchten in den Abrechnungen die von der Obrigkeit in Acht und Bann getanen arabischen Ziffern bald wieder auf.
Der Zwischenfall von Florenz war schließlich nicht mehr als eine historische Episode,

eine Episode allerdings, die typisch war für den nicht enden wollenden Widerstand gegen ungewohnte Ziffern und ungewohntes Rechnen.

Arabisch war das Attribut der so heftig umstrittenen Ziffern, und arabisch war das Wort selbst. Es ging auf das arabische as-sifr zurück, das, getreu der Übersetzung aus dem Indischen, Leere bedeutete und die freie Stelle charakterisierte, an die im Positionssystem die Null trat.
Ursprünglich nur Name der Null, wurde das Wort Ziffer (lateinisch: cifra) später zum Sammelausdruck für alle zehn Zahlzeichen. Die Bezeichnung Null selbst leitet sich von dem lateinischen "nulla figura" (keine Gestalt, kein Symbol) ab und ist, an der Rolle der Null gemessen, eigentlich ein überholtes Rudiment.

Was die Inder ersonnen hatten, griffen die Araber auf und verbreiteten es weiter. Außerhalb des indischen Territoriums wurde das Stellenwertsystem mit der Null zuerst um das Jahr 650 in Mesopotamien bekannt, 662 erwähnte es der syrische Gelehrte Severus Sebakt, der in einem Kloster am Euphrat als Vorsteher amtierte.

Doch erst gut anderthalb Jahrhunderte danach gelang der entscheidende Durchbruch. Seinen Ausgang nahm er in Bagdad, das unter der Regierung der Kalifen al-Mansur, Harun al-Raschid und Abdullah al-Mamun der kulturelle Mittelpunkt der aufgeblühten und mächtigen arabischen Länder war.

Ideologische Grundlage des arabischen Großreiches war die islamische Religionslehre, die der um 570 in Mekka geborene und 632 in Medina gestorbene Mohammed ("Der Gepriesene"), ein ehemaliger Hirt und Kaufmann, als Vierzigjähriger mit missionarischem Eifer verkündet hatte.
Durch den Islam, der volkstümliche arabische, jüdische und christliche Elemente enthielt und rechtliche und politische Merkmale einschloss, wurde es möglich, die arabischen Stämme zu einigen und ihren Einfluss und ihre Macht weit über die Grenzen Arabiens hinaus auf ein riesiges Gebiet auszudehnen, das den Vorderen Orient, Teile Mittelasiens, Ägypten, Nordafrika und Spanien, umfasste. Was der Prophet Mohammed begonnen hatte, vollendeten die Kalifen.

Dieser Prozess hatte eine Neubelebung und Konzentration bedeutender wirtschaftlicher, technischer und kultureller Leistungen der Antike zur Folge. Beteiligt daran waren unter arabischer Obhut und Regie mehrere Völkerschaften - neben den Arabern Iraner, die Bewohner Mittelasiens und auch Angehörige christlicher Sekten.
Das Übersetzungsbüro in der von den Arabern im Jahre 762 gegründeten Stadt Bagdad wurde zur Vermittlungszentrale schöpferischer Werte.

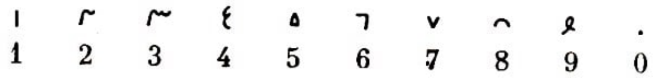
Südeuropa fand Anschluss an die arabisch-orientalischen Länder und ihre hochstehenden materiell-technischen und geistig-kulturellen Errungenschaften und bereicherte damit seine eigene Entwicklung. Das wirkte sich, neben anderen wissenschaftlichen Disziplinen, außerordentlich fördernd auf die Mathematik aus, auf Algebra, Arithmetik und nicht zuletzt auf die Verbreitung der indischen Ziffern.

Um sie bemühte sich besonders der in Bagdad ansässige persische Astronom und Mathematiker Mohammed ibn Musa al-Chwarismi.

Neben anderen wissenschaftlichen Werken schrieb er um das Jahr 820 ein Buch über das indische Rechnen, das in der ersten Hälfte des 12. Jahrhunderts unter dem Titel "Liber Algorithmi de numero Indorum" in lateinischer Sprache erschien.

Auf Mohammed ibn Musa al-Chwarismi ist übrigens der Begriff "Algorithmus" zurückzuführen. Ein Algorithmus ist eine Rechenvorschrift, bei der nach der Ausführung eines jeden Schrittes eindeutig feststeht, wie weiter zu verfahren ist, d. h. welche Regel anzuwenden ist oder ob man das Verfahren abzubrechen hat.
Dennoch drang das indische Rechnen im arabischen Raum nur langsam und allmählich vor. Es stieß auf den Widerstand des traditionellen Sexagesimalsystems und anderer eingebürgerter mathematischer Gewohnheiten. Das Zeichen der Null war mitunter da, verschwand und tauchte dann wieder auf. Von einer Stetigkeit und einer Einheitlichkeit konnte keine Rede sein.

Am Ende behielt die indische Rechenmethode die Oberhand, unterteilt in eine ostarabische und eine westarabische Variante, die sich bis heute bewahrt haben. Die Araber des Ostens nennen ihre Zahlenschrift nach wie vor indische Ziffern, während im westlichen Bereich - desgleichen in Europa - von arabischen Ziffern gesprochen wird. Dieser Gegensatz wird auch im Schriftbild betont.
Zwischen den westarabischen Ziffern und den bei uns verwendeten "arabischen Ziffern"bestehen aber auch Unterschiede; z. B. werden heute in Ägypten folgende Ziffern verwendet:



Der sprachliche Unterschied mag seine Ursache darin haben, dass bei den westarabischen Gobarziffern (Staubziffern, die auf ein mit Staub oder Sand bestreutes Rechenbrett geschrieben wurden) anfangs von dem indischen Original abgewichen wurde, indem man auf die Null verzichtete und den Stellenwert der Ziffern 1 bis 9 durch Überpunktung kennzeichnete. Behauptet hat sich diese Schreibweise allerdings nicht.
Auch die Gobarziffern wurden durch das Nullzeichen wieder komplettiert.

Die Existenz der Null hat - neben anderen Faktoren - auch in Europa die Verbreitung der indisch-arabischen Ziffern sehr erschwert. Dass eine 0 für sich allein nichts bedeutete und in Verbindung mit einer anderen, einer "normalen" Zahl deren Wert verzehnfachen sollte, schien gedanklich unfassbar und logisch widersprüchlich zu sein.
Dem Bestand der römischen Zahlensymbole drohte zunächst keine Gefahr, und endgültig entschieden war das Für und Wider erst im 16. Jahrhundert - sechshundert Jahre nach dem ersten Auftreten der arabischen Zahlzeichen im Abendland.

Das Nebeneinander und nicht selten das Gegeneinander des römischen und des arabischen Systems begann Mitte des 10. Jahrhunderts, als die arabischen Gobarziffern über das Mittelmeer nach Europa kamen. Im Jahre 976 fanden sie sich in etwas abgewandelter Form in einer spanischen Handschrift.

Doch mehr als die Schreiber bemächtigten sich ihrer die Abacisten, die "Brettrechner". Sie versahen die Rechensteine (apices) nach dem Beispiel des Gelehrten Gerbert

- später Bischof von Reims und Ravenna und schließlich Papst Sylvester II. - mit neun arabischen Ziffern unter Ausschluss der Null und ordneten sie in den Abacus-Spalten in den entsprechenden Stellenwert ein.

Eine geeignetere Grundlage erhielten die arabischen Ziffern in Europa in der zweiten Hälfte des 11. Jahrhunderts und im 12. Jahrhundert. Das wissenschaftliche Denken befreite sich, soweit es die gesellschaftlichen Verhältnisse gestatteten, von einengenden Fesseln. Schriften aus vergangenen Epochen und aus anderen Kontinenten wurden ins Lateinische übersetzt, die Berührung mit fremden Kulturen weitete den Blick. Dieser Aufschwung schuf auch für die Umstellung auf arabisches Rechnen mit der Null neue und günstigere Bedingungen.
Positiv machte sich ferner bemerkbar, dass nun auch in diesem Erdteil Papier zum Schreiben und schriftlichen Rechnen hergestellt wurde.

Im Jahre 1138 ließ der Normannenkönig Roger II. in Sizilien eine Münze mit arabischen Ziffern prägen. Verwendet wurden diese Zahlzeichen unter anderem auch 1143 in einer Wiener Algorithmen-Handschrift (Auszug aus dem übersetzten "Liber Algorithmi de numero Indorum" von al-Chwarismi) und 1167 in einer Regensburger Chronik. Aber das waren Ausnahmen und nicht die Regel.

Zu den Männern, die den Wert der indisch-arabischen Methode für das praktische Rechnen erkannten und sich trotz Rückschläge um ihre Verbreitung bemühten, gehörte der Sohn eines Kaufmanns aus Pisa namens Leonardo Fibonnacci. Nach gründlichen Studien, längerer Tätigkeit im Handel und mehreren Reisen in den Orient veröffentlichte er 1202, erst zweiunddreißigjährig, sein "Liber abaci" (Buch vom Abacus).
Der Titel war irreführend, denn über den Abacus hinaus beschäftigte sich das Werk mit dem gesamten Komplex der Arithmetik und Algebra der damaligen Zeit und plädierte besonders für die aus Arabien überlieferten Rechenverfahren.

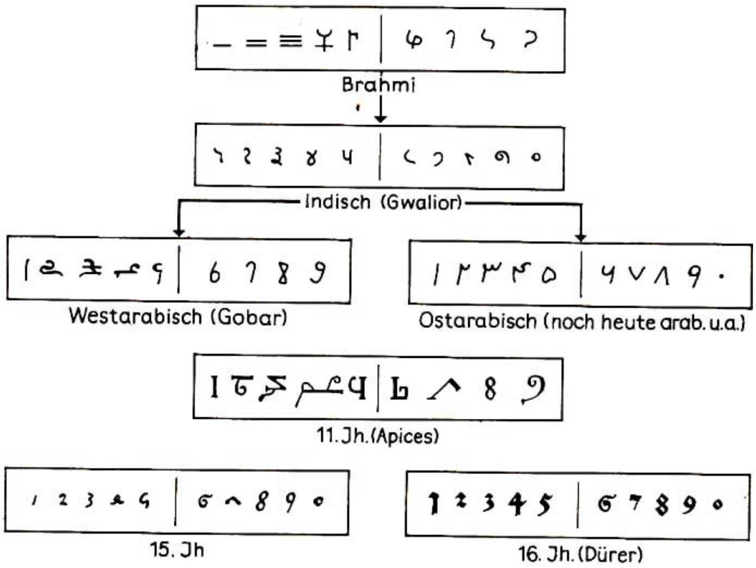
Leonardo schrieb: "Es gibt neun hinduistische Zeichen, das sind die 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1. Mit Hilfe dieser Zeichen und des Zeichens 0, das auf arabisch sifr' bedeutet, kann man jede beliebige Zahl aufschreiben."

Leonardos Ruhm war so groß, dass Kaiser Friedrich II., Herrscher des römisch-deutschen Reiches, zu einem mathematischen Turnier nach Pisa fuhr. Doch 1299, nur gut 50 Jahre nach Leonardo Fibonnaccis Tod, versuchte die Obrigkeit von Florenz, die arabischen Ziffern auszumerzen. In anderen Städten spielten sich ähnliche Ereignisse ab.

Fest verankert waren die Algorithmen genannten neuen Rechenverfahren vorerst nur bei den Gelehrten. Außerhalb der Studierstuben hemmten mannigfache Umstände ihr Vordringen: das Fingerrechnen, das Rechnen auf den Linien (Rechenbrett), die immer noch dominierenden römischen Zahlzeichen, die man in Deutschland gar nicht mehr als römisch empfand und als "Alte deutsche Zahlen" deklarierte.
Andere Schwierigkeiten erwuchsen aus den arabischen Ziffern selbst. Sie veränderten ihre Form ständig und waren dadurch schwer lesbar. Das Misstrauen gegenüber der Null dauerte an.

Noch im Jahre 1553 musste in einem polnischen Buch der Arithmetik, um jeden Irrtum

auszuschließen, über die Null erklärt werden: "Die zehnte Figur, die man Ziffer nennt, die selber nichts wiegt und nichts bedeutet, aber wenn sie den Platz bei den anderen hat, ihnen eine andere Bedeutung gibt, das ist die Null."
Und noch 1697 behauptete John Vallis (1616-1703, Professor der Mathematik in Oxford): "Null ist keine Zahl!"



Von der Brahmi-Schrift zur heutigen Ziffernschrift

Historische Daten bezeugen, wie langsam, zäh und unsystematisch sich die arabischen Ziffern in Europa ausbreiteten. In Deutschland sind sie nachgewiesen: ab 1371 vereinzelt auf Grabsteinen, seit Mitte des 15. Jahrhunderts an Denkmälern, Kirchen und Privathäusern, seit 1458 auf Münzen, seit Mitte des 16. Jahrhunderts in Protokollen und Rechnungen. Aber noch oft erfolgte, wie 1543 auf Bergbaurechnungen der Stadt Buchholz, eine Vermischung mit römischen Zahlzeichen.

Zum endgültigen Sieg verhalf dem Ziffernrechnen der mehr und mehr um sich greifende Buchdruck. Auch der deutsche Rechenmeister Adam Ries (1492-1559) hat, ohne andere Rechenarten zu vernachlässigen, viel dafür getan, dass das "Rechnen mit der Feder" und die nun schon fast tausend Jahre alten Ziffern indischen Ursprungs in Deutschland heimisch werden konnten.

1.7 Archimedes und andere

So vielfältig und verwirrend uns heute die Fülle der Zahlzeichen und die auf verschiedenen Grundzahlen basierenden Zahlensysteme des Altertums scheinen mögen - eine genauere Betrachtung führt zu der Erkenntnis, dass jedes Detail seinen Sinn und seine Bedeutung gehabt hat, gleich, ob es eine relativ kurze Zeit oder eine lange Periode gültig gewesen ist.

Allein die Tatsache, dass sich das international gebräuchliche Dezimalsystem mit der Null endgültig erst vor 400 Jahren durchsetzte und damit nur einen kulturhistorisch knappen Abschnitt bestimmt, deutet die große und reiche Tradition des Rechnens an, eine Tradition, die ihre entscheidenden Impulse und ihre vorwärts drängende Kraft aus den vom Leben diktierten Notwendigkeiten und aus den Beziehungen der kulturellen Errungenschaften der einzelnen Völker und Kulturkreise empfangen hat.

Die Menschen der Antike vollbrachten rechnerische Leistungen, die zwar nicht blasse Ehrfurcht, aber uneingeschränkte Anerkennung verdienen. Die überlieferten Beispiele - und das ist ja nur ein geringer Teil - umfassen Bände.
Von gelegentlichen Fehlern und mythologisch bedingten Irrtümern abgesehen, verblüfft ihre Exaktheit, die den modernen mathematischen Methoden kaum nachsteht.

Wie ein Wunder nicht nur der Baukunst, sondern auch der Rechenkunst des Altertums muten die ägyptischen Pyramiden an. Vermessungen der berühmten Cheopspyramide bei Giseh lösten im 19. Jahrhundert infolge der ermittelten Zahlenverhältnisse allerlei Spekulationen aus.
Das Verhältnis der Seite zur halben Höhe weist einen Näherungswert für π auf, der Gang zur ersten Pyramidenkammer hat einen Neigungswinkel, der der geographischen Breite des Standortes entspricht. Ob diese und andere Besonderheiten in einem Bauwerk, das um das Jahr 2900 v. u. Z. geschaffen wurde, Zufall oder Absicht sind, kann nicht mit Gewissheit gesagt werden.

Die Pyramiden im Lande des Nils sind einmalige und unersetzliche Zeugen für das Niveau der ägyptischen Mathematik. Im Moskauer Papyrus ist neben vielen anderen Aufgaben die Berechnung des Volumens eines Pyramidenstumpfes mit quadratischer Grund- und Schnittfläche vermerkt, die noch heute als genial zu bewerten ist.
Welche Überlegungen ihr zugrunde lagen, oh eventuell experimentelle Methoden benutzt worden sind - niemand weiß es. Klar aber ist, dass sie so gerechnet haben, als ob sie die Formel

$$V = \frac{h}{3}(a^2 + ab + b^2)$$

gekannt hätten - und das vor mehreren tausend Jahren. (a = Seitenlänge des Quadrates der Grundfläche, b = Seitenlänge des Quadrates der Schnittfläche.)

Der Praxis zugewandt war auch die Mathematik der Babylonier. Ihre Kalenderrechnung und ihre Einheiten an Maßen und Gewichten zeichneten sich durch Präzision und Zuverlässigkeit aus.
In der Kreisberechnung nahmen sie π mit 3 an, zwar eine Abweichung um 0,14159... und dennoch erstaunlich.

In den babylonischen Keilschrifttexten treten neben Bau- und Erbschaftsberechnungen häufig mathematische Exempel aus der Landwirtschaft auf, darunter Aufgaben aus dem Bewässerungs- und Kanalbau wie diese, die die Arbeitsdauer an einem bestimmten Objekt errechnen sollte (gis = Längenmaß, SAR : Raummaß):

"Ein kleiner Kanal, 6 gis seine Länge,
2 Ellen obere Weite, 1 Elle untere Weite,
$1\frac{1}{2}$ Ellen seine Tiefe,
$\frac{1}{3}$ SAR die Leistung,
18 Leute. Die Tage sind was? ...
11 Tage und ein 4tel sind die Tage."

Unabhängig vom Nutzeffekt bereitete es offensichtlich Freude, klare und übersichtliche Zahlengebäude zu errichten. Davon erzählt die Legende von Buddhas Brautwerbung um das Jahr 500 v. u. Z.

Um ein schönes indisches Mädchen als Frau zu bekommen, musste Buddha mit friedlichen Mitteln vier Rivalen aus dem Feld schlagen und zu diesem Zweck eine Mathematik-Prüfung ablegen. Die Probe bestand er glänzend. Er baute das System der natürlichen Zahlen bis etwa 10^{53} auf, was ihm den Sieg und damit die erwählte Gattin eintrug.

In diesem System spielte auch die Zahl

$$384000 \cdot 7^{10} = 2^7 \cdot 3 \cdot 7^{10} \cdot 10^3$$

eine Rolle. Die Sieben wurde als "heilige Zahl" betrachtet - in Indien, aber auch in Ägypten und Babylonien.

In Griechenland erbrachte der Mathematiker und Physiker Archimedes (um 287-212 v. u. Z.) den Nachweis, dass die größte mit einem Namen belegte Zahl $10000 = 10^4$ ("Myriade") bei weitem nicht die größte Zahl war. In seiner klassischen "Sandrechnung" beantwortete er die Frage, wieviel Sandkörner in eine Kugel von der Größe des Weltalls hineinpassen (als Radius galt die Entfernung Erde-Sonne).

Zunächst setzte Archimedes $10^4 \cdot 10^4 = 10^8 = a$, dann zählte er weiter

$$a+1, a+2, ..., a+a = 2a, ..., 3a, ..., 10^8 a = a^2, ...$$

bis schließlich

$$a^a = (10^8)^{(10^8)} = p$$

(a ist eine "Achtheit", p heißt "Periode").
Eine Periode p ist gewissermaßen die Einheit für den weiteren Aufbau, d. h.

$$p, p^2, ..., p^a = [(a)^{a^a}]...$$

Archimedes nahm an, dass $10^4 = 10000$ Sandkörner in ein Mohnkorn hineingehen und 40 Mohnkörner eine Fingerbreite ergeben.
Diese Überlegungen weiterführend, kam er zu dem Ergebnis, dass die Erde ca. 10^{51}, eine Kugel von der Größe des Weltalls aber weniger als 10^{64} Sandkörner enthalte.

Ein "arithmetisches Gedicht", das originell wirkt, aber nur den Gepflogenheiten am Ausgang der Antike angepasst war, zierte das Grabmal des griechischen Mathematikers Diophantos von Alexandria, der Arithmetik, Algebra und Zahlentheorie wesentlich bereichert hatte. Die Grabverse, die, als Gleichung verschlüsselt, wichtige Daten aus dem Leben des Gelehrten angaben, lauteten:

"Hier dies Grabmal deckt Diophantos. Schaut das Wunder!
Durch des Entschlafenen Kunst lehret sein Alter der Stein.
Knabe zu sein gewährte ihm Gott ein Sechstel des Lebens;
Noch ein Zwölftel dazu, sprosst auf der Wange der Bart;

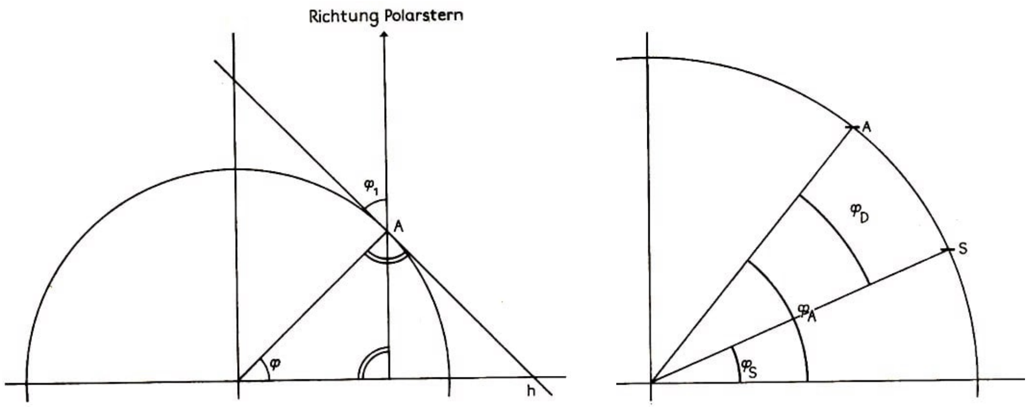
Dazu ein Siebentel noch, da schloss er das Bündnis der Ehe.
Nach fünf Jahren entsprang aus der Verbindung ein Sohn.
Wehe, das Kind, das vielgeliebte, die Hälfte der Jahre
Hatt' es des Vaters erreicht, als es dem Schicksal erlag.
Drauf vier Jahre hindurch durch der Größen Betrachtung den
Kummer (Von sich scheuchend auch er kam an das irdische Ziel.)"

Daraus folgt: Diophantos wurde 84 Jahre alt, seine Kindheit dauerte bis zu seinem 14. Lebensjahr, mit 21 Jahren fühlte er sich als Mann, mit 33 Jahren heiratete er, 38 Jahre war er, als sein Sohn geboren wurde und 80, als der Sohn, 42jährig, starb.

Trotz dieser Biographie sind die genauen Lebensdaten des Diophantos nicht überliefert. Die Geschichte ordnet ihn um das Jahr 250 unserer Zeitrechnung ein.

Zu den großartigsten mathematischen Leistungen der Antike gehört zweifellos die sogenannte Erdmessung des Eratosthenes (276 bis 194 v. u. Z.), der Vorsteher der Bibliothek in Alexandria war. Eratosthenes stammte aus der griechischen Stadt Kyrene in Nordafrika; er war bekannt als Philologe und Mathematiker und stand u. a. mit Archimedes in Briefwechsel.

Zur Geodäsie, Kartographie, zur Lehre von den Proportionen, zum Delischen Problem (Problem der Würfelverdopplung), zur Zahlentheorie lieferte Eratosthenes hervorragende Beiträge; er berechnete das Jahr zu 365,25 Tagen und führte sehr viele und genaue Flächenberechnungen aus.
Um den Erdumfang über beide Pole, also die Länge eines Groß- oder Längenkreises auf der Erdkugel zu berechnen, bestimmte er mit Hilfe der Polhöhe die geographischen Breiten von Alexandria und Syene (dem heutigen Assuan), die auf demselben Meridian liegen. Die Polhöhe φ_1 eines Ortes A ist gleich der geographischen Breite dieses Ortes. (Die Schenkel der Winkel φ und φ_1 stehen paarweise aufeinander senkrecht, daher ist $\varphi = \varphi_1$.)



Polhöhe und geographische Breite, Die Erdmessung des Eratosthenes

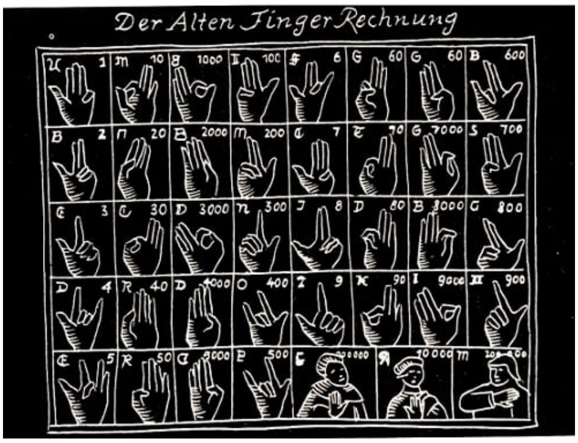
Als Differenz φ_D aus der geographischen Breite φ_A von Alexandria und der geographischen Breite φ_S von Syene (Assuan) ergab sich $\varphi_D = 7°12' = 7,2°$.

Die Entfernung beider Orte voneinander wurde mit etwas weniger als 5000 Stadien ermittelt. (1 Stadion ist ein altes griechisches Längenmaß; es entspricht einer Länge zwischen 164 m und 193 m, je nachdem, ob man nach der attischen, griechisch-römischen, altgriechischen oder olympischen Längeneinheit rechnet.)

Daraus konnte Eratosthenes die Länge eines Großkreises zu etwa 39600 km bestimmen; der Königsberger Astronom und Mathematiker Fr. W. Bessel (1784-1846) gab 1841 den Wert von 40003 km an, gegenwärtig gilt als genauer Wert 40009,150 km. Das Ergebnis des Eratosthenes - vor mehr als 2000 Jahren errechnet - nötigt uns zu Recht Bewunderung und Anerkennung ab.

2 Hilfsmittel zum Zählen und Rechnen

2.1 Fingerfertigkeiten



In den Werken des römischen Dichters Decimus Junius Juvenalis (etwa 60-140) gibt es eine Szene, in der von einem Greis gesagt wird, er brauche, um seine Jahre zu zählen, die rechte Hand.
Das ist nicht, wie man bei dem Verfasser vermuten könnte, ironisch-satirisch gemeint, und es ist auch kein poetisches Bild. Die Formulierung drückt aus, dass der Mann älter als hundert Jahre ist; sie beruht, durch und durch realistisch, auf der damals üblichen Gewohnheit der Römer, die Zahlen von 1 bis 99 mit der linken und die Zahlen von 100 bis 10000 mit der rechten Hand darzustellen.

Diese Gepflogenheit war so verbreitet, dass sie für würdig befunden wurde, in die Literatur einzugehen - nicht nur bei Juvenalis, sondern auch bei anderen griechischen und römischen Autoren wie Herodot (etwa 484-425 v. u. Z.), Ovid (43 v. u. Z. - 17 n. u. Z.) und Plinius (23-79).

Weitere Beweise dafür, dass das Fingerrechnen einmal eine wichtige Rolle gespielt hat, liefert die Sprache. Die Einer und die Ziffern heißen im Englischen "digits" und im Französischen "doigts". Beide Begriffe sind ebenso von dem lateinischen Wort digitus (Finger) abgeleitet wie die Bezeichnung "Digitalrechner" für den elektronischen Ziffernrechenautomaten.
Im Deutschen erinnert die Redewendung "An den Fingern abzählen" an das Fingerrechnen, das zu den ersten und populärsten Rechenhilfsmitteln gehörte und noch heute in einigen Ländern des Orients ausgeübt wird.

Obwohl mit ihnen verwandt und aus ihnen erwachsen, hatte das Fingerrechnen mit den Körperzahlen des Anfangs außer dem Prinzip nichts mehr gemein. Es erreichte im Laufe der Zeit eine Perfektion, die neben dem Verständnis für die Zahlen viel Geschick und Fingerfertigkeit verlangte, denn zu den einfach wiederzugebenden Einem gesellten sich nach und nach die Zehner, Hunderter und Tausender.
Diese Ausweitung war aber notwendig. Ohne sie wäre es, als die schriftlichen Zahlzeichen noch nicht allgemein geläufig waren, unmöglich gewesen, größere Mengen zu erfassen; ohne sie hätten sich die Kaufleute und Händler der verschiedenen Völkerschaf-

ten nicht verständigen können. Die Fingerzahlen dienten zur Veranschaulichung, und sie waren als Zeichensprache eine Art gestischer Dolmetscher.

Trotz der Klarheit, die über die allmähliche Vervollkommnung des Fingerrechnens besteht, lässt sich der Prozess ihres Werdens nicht genau zurückverfolgen. Schriftliche Aufzeichnungen aus den ersten Epochen existieren nicht, die angewandten Praktiken vererbten sich nur durch praktischen Gebrauch von einer Generation auf die andere.
Sicher ist aber, dass das Fingerrechnen in Rom seine höchste Stufe erklomm, sich großer Beliebtheit erfreute und von hier aus in andere Länder vordrang. Der erste Gelehrte, der sich um eine Niederschrift bemühte, war der englische Benediktinermönch Beda Venerabilis (673-735).

Hauptsächlich Kirchenlehrer und Historiker, führte Beda unter dem Begriff "Nach Christi Geburt" die Zeitrechnung in die Geschichtsschreibung ein. Auch mit der Mathematik beschäftigte er sich in erster Linie aus historischem Interesse. Seine vollständige Erklärung der Fingerzählweise war Bestandteil seines Buches "Über die Zeitrechnung" ("De temporum ratione").

Ohne Beda, der von sich meinte, seine liebsten Tätigkeiten seien Lernen, Lehren und Schreiben, wäre das Fingerrechnen als mathematische und damit auch kulturhistorische Kategorie heute vielleicht schon verschollen, denn alle späteren Veröffentlichungen griffen auf seine Darlegungen zurück.
Einige der Regeln, die Bode sammelte und ordnete, lauteten:

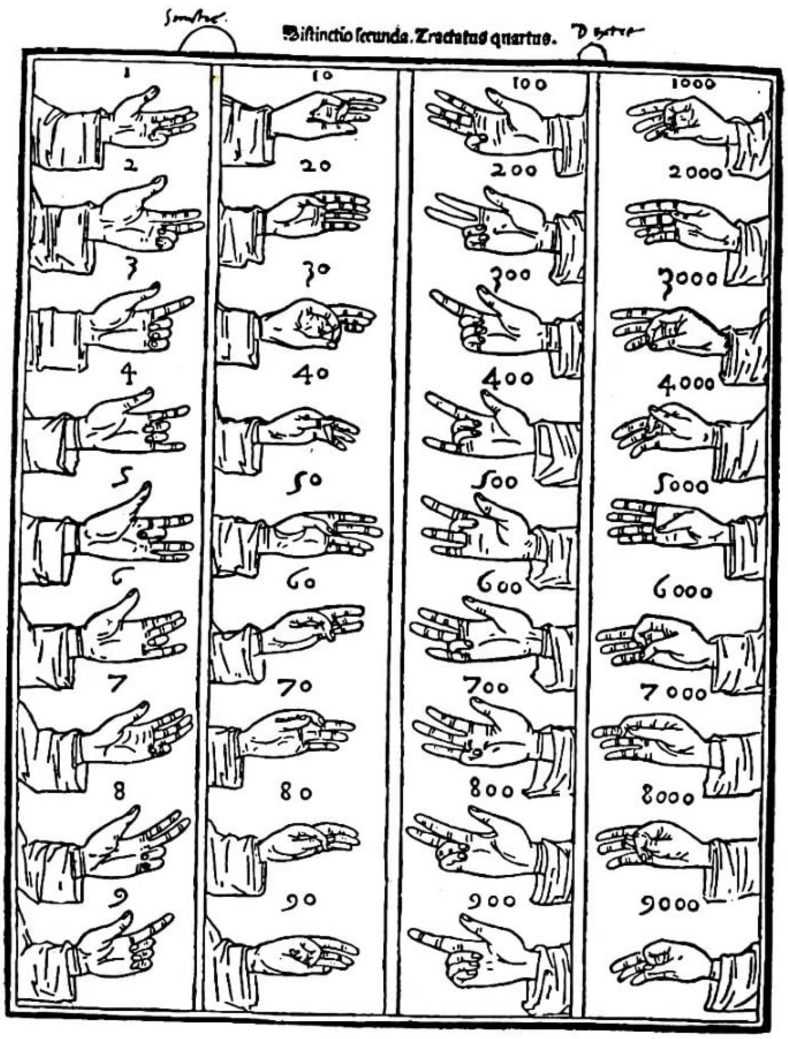
"Sagst du eins, so musst du an der linken Hand den Kleinfinger beugen und sein Endglied auf die Handfläche legen.
Bei zwei musst du den Ringfinger danebenlegen.
Bei drei entsprechend den Mittelfinger.
Bei vier musst du den Kleinfinger wieder aufrichten.
Bei fünf ebenso den Ringfinger.
Bei sechs musst du wohl den Mittelfinger strecken, aber dann den Ringfinger allein wieder auf die Handfläche beugen.
Bei sieben strecke alle Finger und beuge nur den kleinen Finger über die Handwurzel.
Bei acht lege den Ringfinger daneben.
Bei neun lege den Mittelfinger daneben.

Für die neun Einer genügten nach Beda der Kleinfinger, der Ringfinger und der Mittelfinger der linken Hand. Voraussetzung dazu war eine große Variationsfähigkeit, die auch für die Zehner, Hunderter und Tausender galt.
Für die Zehner wurden der Zeigefinger und der Daumen der linken Hand herangezogen, für die Hunderter der Daumen und der Zeigefinger der rechten Hand und für die Tausender der Mittelfinger, der Ringfinger und der Kleinfinger der rechten Hand.

In Verbindung mit vorgeschriebenen Gesten und mit der Stellenordnung konnten mit nur zehn Fingern, mit zwei Händen, alle Zahlen bis 10000 gezeigt werden und außerdem durch verschiedene Armhaltungen die Zahlen bis zu einer Million. Fast wie ein artistischer Zaubertrick mutet das heute an, und doch ist es im Mittelalter alltägliche

Wirklichkeit gewesen.

Einheitlich waren die Zahlendarstellungen durch Finger, Hände und Arme allerdings nicht überall. Die Unterschiede betrafen vor allem größere Zahlen. Abweichende Eigenarten traten zum Beispiel in Spanien auf.
Beeinträchtigt wurde die außerordentlich große Verbreitung des Fingerrechnens dadurch nicht. Es behauptete sich sehr lange neben dem Rechenbrett und dem Rechnen mit den arabischen Ziffern.



Fingerzahlen nach Luca Pacioli

Leonardo Fibonacci von Pisa schätzte es im 12. und 13. Jahrhundert besonders als Hilfe für das Rechnen im Stellenwertsystem. Der italienische Mönch, Universitätslehrer und Mathematiker Luca Pacioli (vermutlich 1445-1514), ein Freund Leonardo da Vincis, berücksichtigte es in seinem 1494 in Venedig erschienenen Hauptwerk "Summa de arithmetica, geometrica, proportioni et proportionalita" ("Summe der Kenntnisse über Arithmetik, Geometrie, Verhältnisse und Proportionalität"), das den Rang einer mathematischen Enzyklopädie hatte.

In den Hintergrund gedrängt wurden die Fingerzahlen erst durch den Sieg des schriftlichen Rechnens mit den arabischen Ziffern. Eine Publikation von 1740, betitelt "Theatrum arithmetica - geometricum", hob sie als Merkwürdigkeit hervor.

Aber das war kein gerechtes Urteil. Die Fingerzahlen und das Fingerrechnen sind nie eine Merkwürdigkeit gewesen, sondern immer ein gut funktionierendes und bewährtes Rechenhilfsmittel und damit ein Beitrag zur ökonomischen und geistigen Entwicklung.

2.2 Kerbhölzer

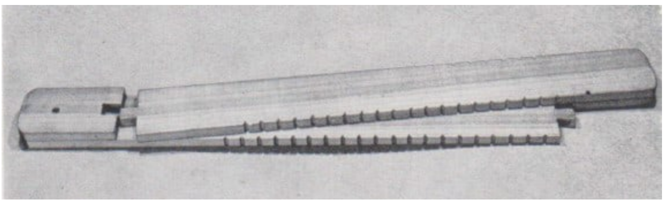
Etwas auf dem Kerbholz zu haben ist nach heutigen Moralbegriffen ein Makel. Ein Hauch von Ehrenrührigkeit haftet dieser Redewendung an, sie zielt ins Kriminelle.

So wandeln sich Begriffe. Einst, als die schriftlichen Zahlzeichen und das Rechnen noch nicht Allgemeingut des Volkes waren, wurden auf Kerbhölzern in einfacher, leicht verständlicher und sicherer Form Guthaben und Schulden notiert. Von Schulden blieb nur Schuld übrig, das Kerbholz wird, ausgesprochen oder nicht, mit Fragen des Rechts und Unrechts, mit der Justiz in Verbindung gebracht.
Hier schließt sich, trotz gedanklicher Abschweifungen von dem ursprünglichen Zweck des Kerbholzes als Zählhilfsmittel, der Kreis wieder. Denn tatsächlich hat das Kerbholz vor den Gerichten einmal juristische Beweiskraft gehabt.

Doch diese Verwendung, dem Charakter nach eine Nebenverwendung oder eine Begleiterscheinung, hatte das Kerbholz nur in einem relativ kurzen Abschnitt seines Daseins. Seine Anfänge reichen bis in die Steinzeit zurück. Bei Ausgrabungen sind Knochen gefunden werden, die systematisch angeordnete Einritzungen aufwiesen. Vielleicht zählten so die urzeitlichen Jäger ihre Beute.

Prinzipiell unterschieden sich die Kerbhölzer nicht von den "Kerbknochen". Erweitert und vervollkommnet wurden nur die Kerbmethoden, wobei die Gesetze der Reihung und der Bündelung dieselbe Gültigkeit hatten wie bei anderen Zähl- und Rechenarten.

Die außerordentlich große Verbreitung der Kerbhölzer erklärt sich nicht nur durch das gesellschaftlich bedingte Bildungsgefälle von den Gelehrten zu den einfachen Bürgern und Bauern, sondern auch durch materielle Bedingungen. Pergament stand nicht jedermann zur Verfügung, Papier wurde in Spanien erst seit 1154, in Italien seit 1270 und in Deutschland seit 1390 hergestellt und auch das zunächst nur in geringen Mengen und zu einem teuren Preis.



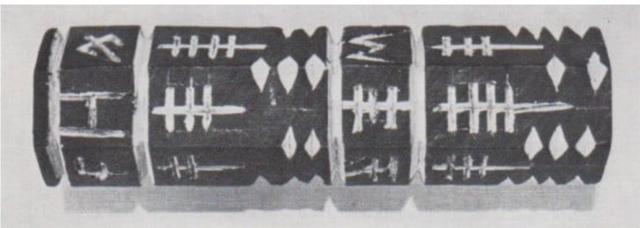
Zweiteiliges Kerbholz

Zählen und rechnen aber musste praktisch jeder und zwar so, dass es dauerhaft war und nicht, wie beim Fingerrechnen, für den Augenblick bestimmt. Geeignetes "Schreibmaterial" gab es in der Natur in Hülle und Fülle: Holz.
Und ein "Schreibgerät" hatte man auch: das Messer. Eingeritzte und eingeschnittene Kerben dienten als leicht lesbare "Schrift", als Ziffern.

Von der Bedeutung der Kerbhölzer zeugen nicht zuletzt sprachliche Wendungen. Das Wort "schreiben"- griechisch: skariphaomai, lateinisch: scribere, althochdeutsch: scriban - hat seinen Ursprung in "graben, ritzen", also in der Holzbearbeitung.
"Schneiden" heißt auf italienisch "tagliare", auf französisch "tailler". Die sprachliche Abkunft der Tätigkeitswörter von der Bezeichnung des Kerbholzes ist offensichtlich - römisch: "talea", italienisch: "taglia", französisch: "taille", spanisch: "talla", englisch: "tally". Aus "tally" wurde im Englischen "tailage" und "tallage" (Steuer). Bei dem Wert, den das Kerbholz einmal gerade in England gehabt hat, ist das nicht verwunderlich.

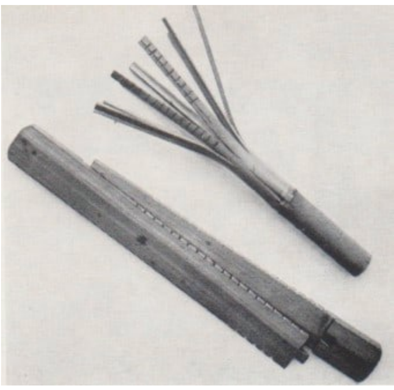
Auch das Wort "Codex" (Handschrift, Gesetzbuch) hängt mit der handwerklichen Technik zusammen, Buchstaben und Ziffern in Holz zu schneiden. "Caudex" war der lateinische Name für Holzklotz, und "Codex" nannten die Römer gebündelte Holztäfelchen, in die sie ihre Einnahmen und Ausgaben eintragen. "Imputare" hatte bei ihnen den Sinn von "einschneiden", daraus wurde "computare"(rechnen).

Von den römischen Holztäfelchen und den über ganz Europa verbreiteten Kerbhölzern führt sowohl eine sprachliche als auch eine mathematische Linie zu den heutigen Computern.
Computer ist bei der Vielfalt der elektronischen Rechenautomaten nur ein Sammelbegriff. Aber das waren die Kerbhölzer auch. Der jeweiligen Verwendung angepasst, gab es verschiedene Arten.



Kerbholz eines Hirten

Zum Registrieren von Zahlen, die Erträge, Arbeitsleistungen, Zeitspannen, Schulden, Guthaben usw. ausdrücken sollten, kam man mit einem einfachen Zählstock aus. Aneinandergereiht und gegebenenfalls gebündelt, spiegelten die Einkerbungen die entsprechenden Summen wider.



Zählstock aus Bambus

Statt schriftlicher Notizen fertigten manche Händler und Handwerker für ihre Kunden Zählstöcke an, aus denen sie genau ersahen, wer ihnen und wem sie noch etwas zu zahlen hatten.

Rechnungen erübrigten sich, die Buchführung bestand aus dem Einritzen.

Viele Gerichte akzeptierten, wurden sich die Partner nicht einig, die gekerbten Zählstöcke als Beweismittel. Im fränkischen und alemannischen Volksrecht war es üblich, dass bei Geldgeschäften der Schuldner dem Gläubiger einen Zählstock überreichte, den er mit dem Schuldbetrag und seinem Hauswappen signiert hatte. Sobald die Schulden getilgt waren, verbrannte der Gläubiger das Kerbholz oder schabte es glatt, bis die Kerben verschwunden waren.

Eine Besonderheit waren die Milchstäbchen im Gebiet des Tavetschtales in der Schweiz. Die etwa 20 Zentimeter langen, fünf- bis achteckigen rot gefärbten Stäbe vermittelten allen Dorfbewohnern einen Überblick über den Milchertrag und die aus Milch hergestellten Erzeugnisse jedes Hofes. Kerben ersetzten die Buchhaltung und waren die Grundlage der Abrechnung.
Dieses Kerbholzsystern, in dem jeder Bauer seinen nur in der Gesamtheit gültigen eigenen Stock besaß, funktionierte so perfekt, dass Betrügereien ausgeschlossen waren und die Bezahlung leistungsgerecht erfolgte - und das ohne einen einzigen Federstrich.

In einer kleinen Gemeinschaft wie der eines schweizerischen Dorfes mochten einfache Zählstöcke genügen, für Geschäfte größeren Umfanges waren sie weniger geeignet. So bürgerten sich schon früh Doppelhölzer ein. Das waren in der Länge gespaltene Kerbhölzer, bei denen beide Teile gleichzeitig eingekerbt wurden. Jeder Partner erhielt einen Teil, den er bis zur Abrechnung aufbewahrte.

Das Prinzip der Doppelhölzer wurde bald, vom 10. Jahrhundert an, auf schriftliche Urkunden übertragen: auf Kerbzettel, Kerbbriefe, Spaltzettel, Spanzettel. Der Dokumententext wurde zweimal auf dasselbe Blatt geschrieben und der freie Zwischenraum in der Mitte mit Buchstaben ausgefüllt. Dann schnitt man das Blatt wellen- oder zackenförmig so auseinander, dass die Buchstaben zerteilt wurden.
Bei weiteren Verhandlungen oder bei Komplikationen wiesen sich die Vertragspartner aus, indem sie ihre Urkunden aneinanderlegten. Wenn sich die Buchstaben richtig zusammenfügten, waren die Unterlagen echt.

Höchst amtlichen Charakter hatten die Doppelhölzer in England.
Die englische Staatskasse benutzte "exchequer tallies" bereits im 12. Jahrhundert für das offizielle Rechnungswesen, mit ihnen ergänzte und kontrollierte sie die schriftlichen Buchungen.
Jeder, der beim Schatzamt etwas einzahlte, lieferte zusammen mit dem Geld die mit seinem Namen versehene Hälfte eines tallies ab, während die andere Hälfte als Quittung in seinem Besitz blieb.

Im 14. Jahrhundert kamen raffinierte Höflinge und Finanzbeamte auf die Idee, den Gläubigern des Hofes statt Geld Kerbhölzer auszuhändigen. Auf diese Weise befriedigten sie Ansprüche an die Kämmerei und trieben indirekt zugleich Steuern ein, denn jeder, der vom Schatzamt mit tallies abgespeist wurde, trachtete danach, die hölzernen "Wechsel" in klingende Münze umzuwandeln.
Und das konnte er nur bei denen, die dem Staat gegenüber finanzielle Verpflichtungen

hatten. Das war ein spitzfindiger bargeldloser Zahlungsverkehr, ermöglicht durch Kerbhölzer.

Dass die Kämmerer dadurch mit beträchtlichen Holzmengen zu tun hatten, nahmen sie wohl oder übel in Kauf. Die tallies türmten sich zu Stapeln. Bei einer Liquidierung alter Schuldverpflichtungen im 17. Jahrhundert, als auf dem Hof die Kerbhölzer verbrannt wurden, griff das Riesenfeuer auf die Gebäude über.
Die Doppelhölzer überdauerten so manche Epoche. Im Code civile, dem 1804 herausgegebenen Rechtsbuch Napoleons, heißt es:

"Die Kerbhölzer, die mit dem Hauptholz übereinstimmen, sind rechtsgültig zwischen Personen, die auf diese Weise die gemachten oder erhaltenen Lieferungen einzeln zu bestätigen pflegen."

Das englische Schatzamt schaffte die tallies erst im Jahre 1826 ab, nachdem sie fast 700 Jahre in Gebrauch waren.
Mit der amtlichen Bestätigung des Kerbholzes wurden in England im 12. Jahrhundert einheitliche Kerbschnitte eingeführt. Die Schatzkammer hatte einen eigenen Kerbmeister.
Die Vorschriften für die Einkerbungen, die nach Größenordnung angebracht wurden, lauteten:

Für 1000 Pfund Sterling ist die Kerbe so breit, wie eine Hand dick ist, sie wird oben aufgekerbt.
Für 100 Pfund Sterling ist sie daumendick, nicht gewinkelt wie die 1000-Kerbe, sondern gebogen; sie wird unten eingeschnitten, der Kopf des Holzes zeigt nach oben.
Für 20 Pfund Sterling ist sie kleinstfingerdick.
Für 1 Pfund Sterling hat sie die Breite eines reifen Gerstenkorns.
Für 1 Schilling ist sie kleiner, aber immer noch so, dass eine Kerbe entsteht
Für 1 Pence ist sie ein Schnitt, ohne dass Holz herausfällt.

In England waren die Regeln besonders streng, doch gewisse Gepflogenheiten bildeten sich bei den Handhabung der Kerbhölzer überall heraus. So gab es Kerben, Schnitte, Halbkerben, Halbschnitte, Kantenkerben, Kantenschnitte, Seitenkerben, Rundkerben und Schrägkerben.

Auch Kerben in Gestalt von X und V tauchten auf. Römische Zahlzeichen auf Kerbhölzern? Wohl kaum, denn die römischen Zeichen L, C und M wurden als Kerben nicht gefunden.
Möglicherweise wurde aber die römische Zahlenschrift bei den Zeichen I, V und X von den Kerbhölzern beeinflusst. X stellte auf den Kerbhölzern meistens eine Zehnerbündelung dar.

Die durch das Kerbholz entstandene Ritz- und Schnittschrift hat das Abbildungsmaterial überlebt. Als das Kerbholz verschwand, entwickelte sie sich durch das Schreiben der Kerben zur Zahlschrift. Aus ihr gingen die sogenannten Bauernzahlen hervor, die, der Name sagt es aus, ihren Anwendungsbereich vorwiegend auf dem Lande hatten. Mit diesen Zahlzeichen wurde noch ziemlich lange gerechnet, in der Almwirtschaft des

Schweizer Kantons Uri bis Mitte des 19. Jahrhunderts.

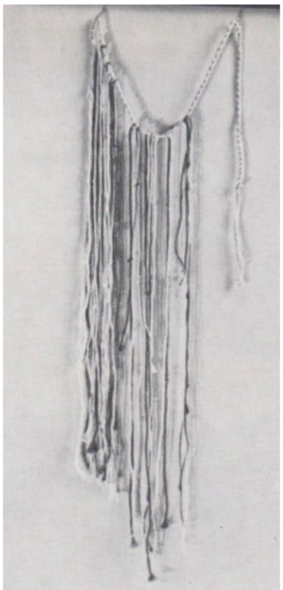
Besonders deutlich wurde die Herkunft vom Kerbholz in der Zählung am Strich. Bei dieser Methode zeichnete man eine senkrechte Linie auf Papier und versah sie, in Fünfergruppen eingeteilt, abwechselnd links und rechts mit kurzen Querstrichen.

2.3 Knoten

Der persische König Dareios I. (521-485 v. u. Z.) befand sich mehr auf kriegerischen Unternehmungen als in seiner Residenz. Das ist historisch verbürgt.
Die Art und Weise, wie er seine Vertrauten über die voraussichtliche Dauer seiner Feldzüge informiert haben soll, aber muss der Sage zugeordnet werden.

Als Dareios einmal mit seinem Heer ausrückte, übergab er den Zurückgebliebenen - so wird berichtet - eine sechzigmal verknotete Schnur und befahl ihnen, täglich einen Knoten zu öffnen und auf ihn zu warten, bis der letzte Knoten, der sechzigste, gelöst sei.

Ob sich die Begebenheit so abgespielt hat oder nicht - die Erzählung kündet davon, dass schon in früher Zeit Knoten verwendet werden sind, um Zahlen darzustellen. Bestätigt wird diese Tatsache durch Zeugnisse aus China, wo Knotenschnüre im 6. Jahrhundert v. u. Z. in Gebrauch waren.



Peruanische Knotenschnur

Diese Zählmethode war auf der ganzen Welt verbreitet, von den ostasiatischen Riukiu-Inseln zwischen Taiwan und Kyushu bis zu den Weiten Südamerikas. Gewiss nicht als kostbarste Trophäe, aber als wertvolles kulturhistorisches Dokument brachten die Mannen des wegen seiner Grausamkeit gefürchteten spanischen Konquistadors Francisco Pizarro, der 1541 von ehemaligen Freunden ermordet wurde, von der brutalen Eroberung des Inkareiches exotisch anmutende Knotenschnüre mit, die in der Landessprache "quipu" genannt wurden.
Die Knotenschnüre hatten als Hilfsmittel zum Zählen die gleiche Aufgabe wie die Kerbhölzer, unterschieden sich aber von diesen dadurch, dass sich aus ihnen keine Zahlschrift entwickeln konnte.

Diese Einschränkung ist keineswegs eine Abwertung, denn Variationsmöglichkeiten boten auch die Knotenschnüre, und die Menschen haben genug Ideen gehabt, sich ihrer zu bedienen.

Die einfache Zählschnur, bei der ein Knoten an den anderen gereiht wurde, ergänzten sie durch mannigfaltige komplizierte Formen und handwerkliche Techniken. Die Knoten reichten vom gewöhnlichen Einzelknoten bis zum neunfach geschlungenen Knoten.
Die Bewohner der Riukiu-Inseln flochten aus Stroh und Binsengras Zöpfe, aus denen sie einzelne Halme herausragen ließen. Jeder dieser Halme verkörperte eine spezielle

Zahleneinheit, so dass mit ihnen eine Stellenordnung aufgebaut wurde. Ein Knoten verfünffachte die jeweilige Zahlbedeutung des Halmes.
Am vollkommensten war das Zählen mit Knoten in Peru, es wurde dem hohen kulturellen Stand gerecht.

Die Inkas gingen nach einem präzisen System vor. An einer Haupt- oder Kopfleine befestigten sie verschiedenfarbige Schnüre, die Quipus, die sie dann einknoteten. Eine Schnur hatte im Höchstfall zehn Knoten. Die unterschiedlich geknüpften Knoten besaßen Stellenwert.
Am Ende der Schnur rangierten die Einer, ihnen schlossen sich nach einem freigelassenen Stück die anders geschlungenen Zehner an, denen, wiederum nach deutlichem Abstand, die Hunderter folgten usw.
Da eine Schnur oft nicht ausreichte, um eine Zahl darzustellen, wurden mehrere Schnüre zu Gruppen vereinigt. Es gab auch Schnüre, von denen kurze Nebenschnüre abzweigten.

Die Quipus nahmen bei den Inkas einen bedeutenden Platz ein, sie wurden auch für amtliche Zwecke benutzt. Mit ihnen war man ohne schriftliche Äußerungen in der Lage, wichtige Größen zu veranschaulichen, so die Zahl der Krieger, die Höhe des Goldschatzes und den Vorrat an Getreide.
Als praktisches Zählhilfsmittel hielten sich die Knotenschnüre sehr lange. Bei einigen Naturvölkern existieren sie jetzt noch.

In Süddeutschland waren bis in unser Jahrhundert hinein die Müllerknoten ein Begriff. Menge und Art des an die Bäckereien gelieferten Mehls notierten die Müller nicht schriftlich, sondern durch Knoten bzw. Schleifen in einer Sackschnur. Seit Generationen übliche Regeln vermieden Verwechslungen, bestimmte Knotenformen entsprachen bestimmten Zahlen.
Um sich daran zu erinnern, brauchten sich die Müller nicht erst einen Knoten ins Taschentuch zu knüpfen.

2.4 Der Abacus und seine Nachfolger

Die Erfindung des Rechenbrettes wurde im Mittelalter dem griechischen Mathematiker Pythagoras (um 580-496 v. u. Z.) zugeschrieben. Aber das war ein Irrtum.
Den Abacus, das bedeutendste Rechenhilfsmittel der Menschheit in der Antike und den ihr folgenden Epochen, gab es Jahrtausende früher. Seinen Ursprung hatte er offensichtlich nicht in Griechenland.

Der griechische Geschichtsschreiber Herodot (um 484-425 v. u. Z.), der seine Schriften auf Grund eigener Erlebnisse und Beobachtungen verfasste, schilderte, wie er mit dem ägyptischen Abacus bekannt wurde, er betonte, dass dort "das Rechnen mit Steinchen durch Verschieben von links nach rechts mit der Hand" sehr verbreitet war.
In diesem Zusammenhang machte Herodot auf den Unterschied zu den Hellenen aufmerksam, die "die Hand von rechts nach links führten".

Früh schon wurde das Rechenbrett in der schöngeistigen Literatur erwähnt. Das spiegelte seine Popularität wider und zugleich seine Problematik. In seiner Komödie "Die

Wespen" gestaltete der griechische Dichter Aristophanes (445-386 z. u. Z.) eine Szene, in der er dafür plädierte, für athenische Staatsrechnungen nicht das umständliche Verfahren mit den Rechensteinen (mit dem Abacus), sondern die Finger zu benutzen.

Ältester vorhandener Zeuge für die Existenz des Abacus ist die Salaminische Tafel, die im Jahre 1846 bei Ausgrabungen auf der Insel Salamis entdeckt wurde. Die jetzt im Nationalmuseum Athen aufbewahrte Tafel besteht aus weißem Marmor und ist 1,50 Meter lang und 0,75 Meter breit, Rechenrubriken, attische Zahlzeichen und Münzsymbole sind in sie eingemeißelt.
Das Alter dieses wertvollen Fundes konnte nicht genau bestimmt werden. Wahrscheinlich stammt die Rechentafel aus dem 4. Jahrhundert vor unserer Zeitrechnung.

Ein anderes Originaldokument ist die Dariusvase aus der Apulien-Landschaft im Südosten Italiens, heute Besitz des Nationalmuseums Neapel. Auch sie dürfte im 4. Jahrhundert vor unserer Zeitrechnung angefertigt worden sein.
Auf der Dariusvase ist ein persischer Schatzmeister abgebildet, der am Rechenbrett arbeitet, während sich ihm Tributpflichtige nähern, um Steuern zu entrichten.

Ägypten, Griechenland, Persien, Rom - die Überlieferungen beweisen die große Ausbreitung des Rechenbrettes. Verwendet wurde es, wenngleich zu unterschiedlichen Zeiten, auch fern von den Gebieten um das Mittelmeer, so in China, in Japan, in Indien und in mehreren europäischen Ländern. In vervollkommneter Form ist es in einigen Staaten noch heute in Gebrauch.

Die Bedeutung, die das Rechenbrett einmal gehabt hat, zeigt sich nicht zuletzt in der Sprache. "Kalkulation" geht auf das altrömische "calculi" (Bezeichnung für die Rechensteine) zurück, der volkstümliche Ausdruck "Penunzen" auf den Namen der Metallrechenmarken, der wiederum mit "psephizein" (griechisch: rechnen) und "psephos" (griechisch: Rechenstein) verwandt ist.
Bank im Sinne von Geldinstitut erinnert an die Rechenbänke der Kaufleute, die Redewendung vom "grünen Tisch" an das grüne Rechentuch, das im späteren Mittelalter auf den Tischen der Rechenmeister ausgelegt wurde.

Als Darstellungsmittel wurde in dem sich über Jahrhunderte erstreckenden Anfangsstadium des Rechenbrettes Material verwendet, das die Natur darbot oder das sich ohne Mühe für diesen Zweck bearbeiten ließ.
Die Ägypter, Griechen und Römer benutzten Steinchen und Kiesel, die Inder Muscheln, die Kauri genannt wurden, die Chinesen Holzstäbchen. Unentbehrlich war zeitweise auch feiner Sand. In ihn wurden die Abgrenzungslinien eingezeichnet und die Steine gebettet, vor allem aber später die Ziffern geschrieben, von den Indern zuerst, dann von den Westarabern und schließlich von den Europäern.

In seiner Urform bestand der Abacus aus einem tafelartigen Brett, eingeteilt in mehrere senkrecht verlaufende Spalten. Je eine Spalte nahm, entweder rechts (Griechenland) oder links (Ägypten) beginnend, die Einer, Zehner, Hunderter, Tausender, Zehntausender, Hunderttausender und Millionen auf. Damit war es möglich, jede beliebige Zahl dieser Bereiche darzustellen und durch Hinzufügen, Wegnehmen und Verschieben von

Rechensteinen auch zu rechnen.

Die Rechenbretter hatten eine respektable Größe, besonders in China, wo die Stäbchen 15 Zentimeter lang waren.

Das Rechnen auf dem Abacus war praktisch, und es genoss ein hohes Ansehen. Für die Tafeln wurden auch wertvolle Materialien eingesetzt, in Griechenland u. a. weißer Marmor. In China wichen die hölzernen Stäbchen Rechenstäbchen aus Gusseisen. Wohlhabende legten sich Elfenbeinstäbchen zu und betonten damit ihr soziales Prestige.
Rechenmeister, die mit dem Abacus geschickt und schnell umzugehen vermochten, waren geachtete Persönlichkeiten, sie wurden für würdig befunden, auf Kunstgegenständen, wie auf der Dariusvase, abgebildet zu werden.

In Rom, dem antiken Zentrum dieses Rechenverfahrens, löste ein kleiner leichter Abacus die primitiven und plumpen Modelle des Anfangs ab; er war so gebaut, dass er durchaus als Rechengerät, bezeichnet werden konnte.

Der Handabacus, von dem ein erhalten gebliebenes Exemplar in einem Pariser Museum ausgestellt ist, trug seinen Namen zu Recht.
Er passte in eine Hand hinein, seine Bedienung bereitete bei einiger Übung keine Schwierigkeiten. In Rillen bewegten sich verschiebbare Kugelknöpfe. Die Rubriken für die Einer, Zehner usw. bis zum Bereich der Million waren mit römischen Ziffern markiert. Im oberen Drittel wies jede Rille eine Unterbrechung auf.
Dadurch kam man mit weniger Kugeln aus, als sonst benötigt worden wären, denn eine Kugel im oberen Rillenabschnitt hatte den Wert von fünf Kugeln im unteren Rillenteil.
Zusätzlich war das Instrument mit Rillen für Gewichtseinheiten ausgestattet, mit einer vollständigen für Unzen und einer dreigeteilten für 1/24, 1/48 und 1/144 Ass (1 Ass = 12 Unzen).

Mit seiner Größe und seiner einfachen Handhabung eignete sich dieser Abacus gut für den täglichen Gebrauch. Er drückte neben der praktischen Veranlagung der Römer eine ökonomische Notwendigkeit aus und ersparte schriftliche Rechenoperationen, deren Ausdehnung durch die römische Zahlschrift ohnehin Grenzen gesetzt waren.

Eine neue und höhere Stufe schien der Abacus durch eine Entwicklung zu erreichen, die Ende des 10. Jahrhunderts durch den Gelehrten Gerbert eingeleitet wurde. Aber bald wurde klar, dass diese Bestrebungen nicht mehr waren als ein kulturgeschichtliches Intermezzo.
Gerbert führte Rechensteine (Apices) ein, die mit Zahlzeichen, wahrscheinlich mit den gerade nach Europa gekommenen Gobarziffern, versehen waren, und verfasste ein Buch über den Abacus. Spätere Abhandlungen griffen mehr oder weniger auf Gerbert zurück.

Von der Einfachheit, die einst ein Vorzug des Rechenbrettes gewesen war, war nun nicht mehr viel übrig. Nach einer Beschreibung von Bernelius gliederte sich der Abacus im 11. Jahrhundert in 30 Spalten. In der Regel bildeten je drei Spalten zusammen neun Gruppen, die restlichen drei waren für Brüche reserviert.

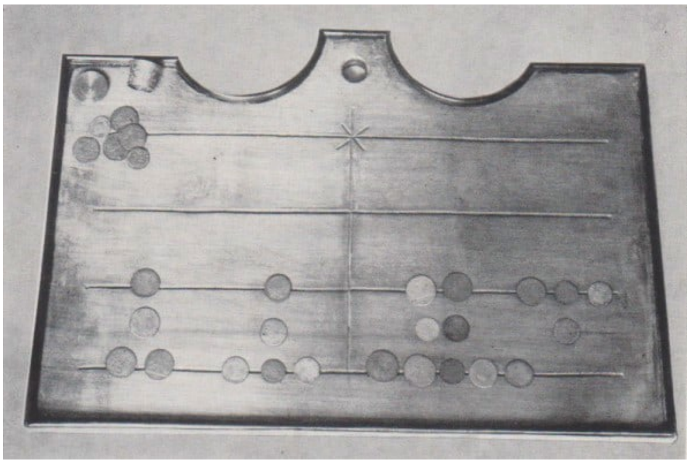
Der entscheidende Unterschied zum Rechenbrett der Antike bestand darin, dass die

Einheiten der jeweiligen Zehnerpotenzen nicht mehr durch eine bestimmte Anzahl von Steinen oder Kugeln dargestellt Wurden, sondern durch nur eine Rechenmarke, die das entsprechende Ziffernsymbol trug.
Das Beherrschen der Schriftzeichen und des Einmaleins war Voraussetzung, um das Rechnen auf diesem Abacus meistern zu können; ein bloßes Hinzufügen und Wegnehmen von Rechensteinen genügte nicht mehr.

Gerberts Nacheiferer bemühten sich zwar, die von ihnen angewandten komplizierten Rechenoperationen schriftlich zu erläutern, doch sie fanden damit kein großes Echo. Das Rechenbrett dieser Periode erhielt den Namen Klosterabacus - und das war zutreffend. Über die Mauern der Klöster drang das neue Abacus-Rechnen kaum hinaus, in den Klöstern wurde es gelehrt, in den Klöstern wurden die Gedanken darüber zu Pergament gebracht - kluge Gedanken, und dennoch von geringem praktischen Wert.

Eine gewisse Bedeutung hat der Klosterabacus trotz seiner begrenzten Verbreitung gehabt. Seine Anhänger, die Abacisten, sagten von ihm, er sei für die Musik, die Astronomie, die Geodäsie und das Studium antiker Schriftsteller von großem Vorteil. Das mittelalterliche Rechenbrett mit den Apices schlug eine Brücke von dem alten Abacus zu den im 13. Jahrhundert aufkommenden modernen Formen des Rechnens auf den Linien.

Der genaue Zeitpunkt, an dem sich das Rechnen auf den Linien durchzusetzen begann, ist nicht bekannt. In mathematischen Werken wurde es erst vom ausgehenden 15. Jahrhundert an erwähnt.

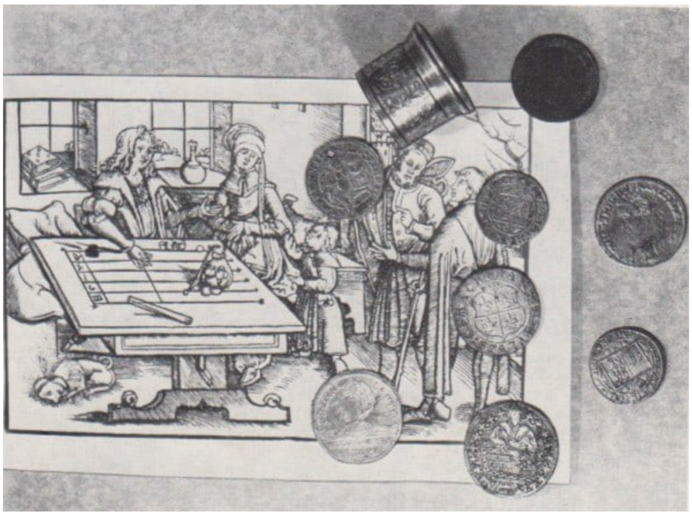


Rechenbrett mit Rechenpfennigen

Aber das besagt nicht allzuviel, denn die mathematischen Schriften wurden damals von Männern verfasst, die mit der Praxis wenig Berührung hatten. Für die als profan geltenden Rechenmethoden der Kaufleute, Handwerker und städtischen Kämmerer interessierten sie sich kaum. So ist es denkbar, dass das Rechnen auf den Linien, das auch Schreib- und Leseunkundige beherrschen konnten, längst gebräuchlich war, bevor es von den Gelehrten akzeptiert wurde.

Diese Annahme wird durch erhalten gebliebene Marken erhärtet, die in Frankreich schon Mitte des 13. Jahrhunderts, in Belgien Ende des 13. Jahrhunderts und in Deutschland

Ende des 14. Jahrhunderts existierten - Marken, die, ebenso wie einst Steinchen, Muscheln, Stäbchen, Kugelknöpfe und Apices, für dieses Rechenverfahren ein unabdingbares Requisit waren.



Büchse mit Rechenpfennigen

Die Namen der Rechenmarken zeigen, dass das Rechnen auf den Linien weit verbreitet war. Sie hießen jetons (französisch), counters (englisch), Rechenpfennige (deutsch) und penjasi (russisch). Ihre allgemeine Bedeutung spiegelte sich auch in der Kunst wider.
So kontrollierte der Titelheld der Komödie "Der eingebildete Kranke" von Moliére (1622-1673) die Rechnung des Apothekers mit Hilfe von Rechenmarken, die er über den Tisch schob.

Die Bezeichnung Rechnen auf den Linien machte den wesentlichsten äußerlichen Unterschied dieses Rechenverfahrens gegenüber dem Rechenbrett deutlich.
Auf dem ältesten Abacus und auf dem Klosterabacus hatte man in Spalten gerechnet, also zwischen den Linien. Jetzt waren die Linien selbst Trägen der Rechenmarken, ähnlich wie die Rillen auf dem römischen Handabacus. Aber im Gegensatz zu diesem verliefen sie nicht Vertikal, sondern horizontal wie die Zeilen eines Buches.

Die Linien staffelten sich von unten nach oben, von der kleinsten Einheit (Einer) zur größten. Auf eine Linie wurden höchstens vier Marken gelegt. Eine Marke zwischen zwei Linien hatte den halben Wert der über ihr liegenden Linie. Dadurch wurden nach dem gleichen Prinzip, das, etwas abgewandelt, schon für den Handabacus gegolten hatte, Rechenmarken gespart.
Zur Aufnahme der Summanden, Faktoren, Dividenden usw. sowie des Ergebnisses waren besondere Spalten vorhanden.

Großen Aufwand erforderte das Linienrechnen nicht, spezielle Rechentische und Rechentafeln, die es auch gab, waren nicht in jedem Fall notwendig. Rechentücher und, wie in England, Rechenleder mit aufgestickten oder aufgekreideten Linien reichten aus. Sie ließen sich bequem zusammenrollen und als Handgepäck leicht transportieren.

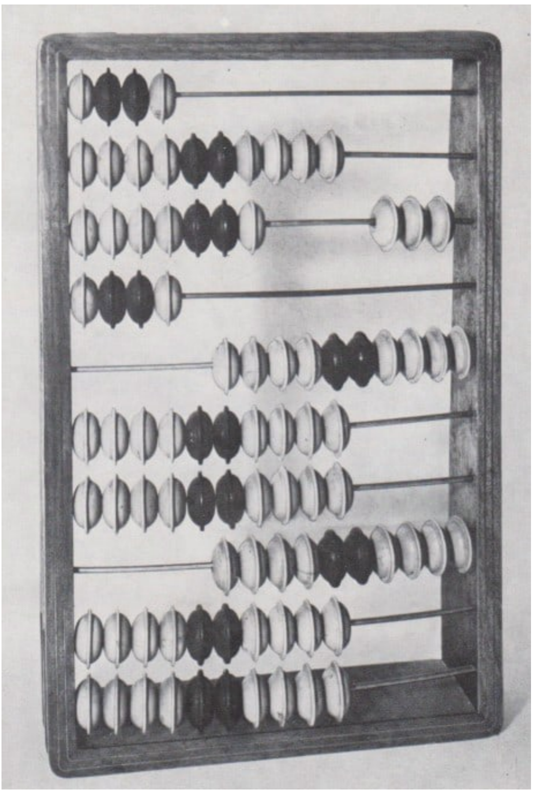
Mehr Kult wurde mit den Rechenmarken getrieben, die sich, über den eigentlichen Zweck hinaus, durch kunstvolle Prägungen auszeichneten. Begehrt waren vor allem

Marken aus Nürnberg, die Werkstätten der fränkischen Stadt versorgten in- und ausländische Geldinstitute, Handelshäuser, Kaufleute und Zünfte mit Rechenpfennigen.

Durch seine Volkstümlichkeit, die auf der schnellen Erlernbarkeit und vielleicht auch auf der ins Spielerische gehenden Form basierte, behauptete sich das Rechnen auf den Linien lange, es verzögerte sogar den Durchbruch des schriftlichen Rechnens mit arabischen Ziffern.
Die deutschen Rechenmeister Michael Stifel (etwa 1486-1567) und Adam Ries (1492-1559) schätzten den Rechentisch und das Rechentuch sehr, Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) rechnete lieber "auf den Linien" als "mit der Feder".

Noch im Jahre 1707 erschien in Frankfurt an der Oder ein Rechenbuch, das das Rechnen auf den Linien erläuterte. Im Bergbau des Oberharzes war dieses Verfahren bis weit ins 18. Jahrhundert hinein üblich.
Auch nach Osteuropa drang das Rechnen auf den Linien vor, erreichte hier aber nicht die Volkstümlichkeit, die es in anderen Ländern hatte. In Russland stießen die Penjasi (geprägte Rechenmarken) auf die Konkurrenz der Kostotschki (Rechenkerne) und waren ihnen schließlich unterlegen. An der Wende vom 16. zum 17. Jahrhundert wurde das Rechnen auf den Linien von den Rechenkästen überflügelt.

Dieses Gerät bestand aus zwei Holzkästen, die durch Trennbretter in vier Felder aufgeteilt und von 14 Fäden oder Metalldrähten durchzogen waren. In jedem Feld trugen die oberen zehn Drähte je neun Scheiben, die restlichen vier Drähte waren zum Rechnen mit Brüchen und Gewichtseinheiten bestimmt und hatten eine bis vier Scheiben.

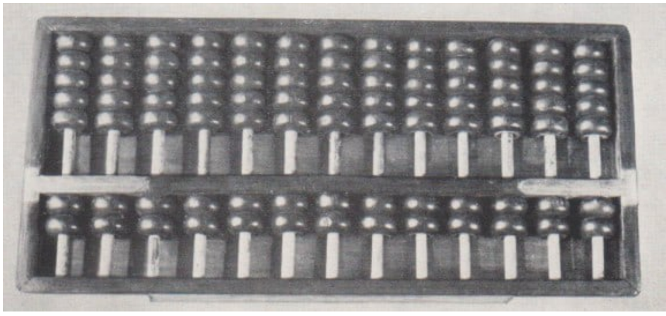


Russisches Rechenbrett

Obwohl das Rechnen in den Fächern ziemlich umständlich war, kamen die Kaufleute, Landvermesser, Verwalter und Kanzleibeamten gut mit ihm zurecht. Es eignete sich für alle vier Grundrechenarten mit ganzen Zahlen und mit Brüchen.

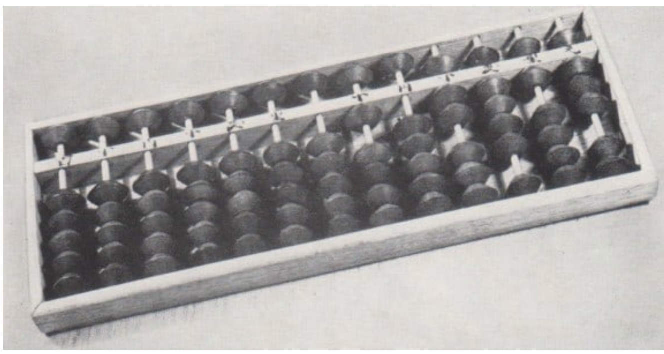
Rechenkästen wurden in Russland in veränderter Form beibehalten. Die Zahl der Felder verringerte sich von vier auf zwei und schließlich auf eins, die der Drähte von 14 auf 10. Diese Beschränkung gestattete es, verschiedene Modelle herzustellen: Rechengitter, Rechenschatullen, große Handelsrechenbretter, zierliche Handrechenbrettchen.

Die plumpen Rechenkästen wurden zur Stschoty, deren Gestalt von dem jeweiligen Zweck abhing. Oft wurde sie mit kunsthandwerklichem Geschick aus wertvollem Material gefertigt - aus edlen Hölzern, Elfenbein, silbernen Beschlägen. Weißgemusterte schwarze und rote Glasperlen, die als Rechenkugeln dienten, galten als vornehm.
Den Ehrgeiz, eine Stschoty zu besitzen, hatten viele Menschen.
Rechengeräte aus Fichtenholz wurden als Massenartikel angeboten. Ausländische Reisende waren davon überrascht. Ein Urteil dänischer Besucher lautete: "Alle Russen, bis zum ärmsten Bauern hinunter, sind in der Rechenkunst sehr erfahren. Sie verwenden Rechentafeln."



Chinesisches Rechenbrett

Kein Wunder, dass der napoleonische Artillerieoffizier und Mathematiker Victor Poncelet auf die russischen Rechenbretter aufmerksam wurde und sie von Moskau nach Paris mitbrachte.
Obwohl auch hier benutzt, erlangte die Stschoty in West- und Mitteleuropa nicht die Popularität wie in ihrem Stammland. In der UdSSR wird sie heute noch gebraucht, besonders im handlichen Taschenformat.



Japanisches Rechenbrett

Eine noch ältere Tradition haben die Rechenkästen in China und Japan, wo sie Suanpan bzw. Soroban heißen. Vor einigen Jahren erklärte ein japanischer Wissenschaftler: "Unser Soroban übertrifft trotz seines Alters die modernen Rechenmaschinen durch leichte

Bedienung, einfache Konstruktion und geringen Preis."

Das klingt angesichts der Computer fast wie ein Requiem auf ein Rechengerät, das es in seiner Urform schon lange vor unserer Zeitrechnung gegeben hat. Aber ein Requiem ist nicht am Platze. Der vervollkommnete Abacus hat sich, wenn auch nur in Überbleibseln, bis auf den heutigen Tag behauptet, und man kann nicht einmal sagen, dass das ein Anachronismus wäre.

2.5 Rechenbücher

Das Haus, in dem das erste Rechenbuch von Adam Ries gedruckt wurde, ist noch erhalten. Es steht in Erfurt.
Der spätmittelalterliche Rechenmeister kam im Jahre 1518, ein Jahr nach dem Thesenanschlag Luthers an die Wittenberger Schlosskirche, in die thüringische Stadt, die von ihrem Ruf, ein Zentrum des Humanismus zu, sein, nichts eingebüßt hatte.
Hinter dem Sechsundzwanzigjährigen lagen gerade die Lehr- und Wanderjahre; die Eindrücke, die er durch den Aufenthalt in verschiedenen Rechenschulen gewonnen hatte, hafteten noch frisch in seinem Gedächtnis.

1518 schrieb Ries sein erstes Büchlein "Rechenung auff der Linihen", der Erfurter Mathes Maler druckte es. Auch sein 1522 vollendetes zweites Buch, betitelt "Rechenung auf der Linihen und federn", erschien in Erfurt. Es hatte die, für damalige Verhältnisse enorm hohe Auflage von über hundert Exemplaren.

Die von Ries angegebenen Rechenverfahren wurden in Deutschland zweihundert Jahre lang gelehrt, und gar so veraltet sind sie auch heute noch nicht. Die Redensart "Nach Adam Riese" ist zu einem geflügelten Wort geworden.

Warum Riese und nicht, wie es richtig wäre, Ries? Daran hat der Autor, zum Teil jedenfalls, selber schuld. Auf den Titelseiten seiner Bücher legte er auf die korrekte Namensschreibung offenbar wenig Wert. "Durch Adam Riesen" hieß es dort und dann wieder "Durch Adam Risen" oder "Durch Adam Rysen".

Wie dem auch sei, im Unterbewusstsein verbindet sich mit allen Schreibweisen der Begriff Riese.

Und ein Riese ist Adam Ries, der Mann mit dem wallenden Bart, den forschend blickenden Augen und der nachdenklich gekrausten Stirn, auf seine Art, durch seine Leistungen tatsächlich gewesen.
Als Verfasser von Rechenbüchern war Adam Ries, absolut betrachtet, durchaus kein Pionier. Die Antike und das Mittelalter hinterließen dem aufstrebenden Bürgertum der Reformation und der Renaissance eine reiche Tradition mathematischer Schriften, die zum Teil noch gar nicht wiederentdeckt worden waren.

Die altchinesischen Pergamente und die altägyptischen Papyri gehörten dazu, die babylonischen Tontafeln, die Sammlungen aus Griechenland, die Aufzeichnungen aus Rom, die Texte der Maya, die Werke aus Italien. Und mit ihnen verbanden sich bedeutende Namen wie Ahmes, Pythagoras, Archimedes, Diophant, Brahmagupta, al-Chwarismi, Beda Venerabilis, Gerbert, Leonardo Fibonacci ...

Rechenung auff der Linien vnd Federn/ Auff allerley handtierung/ Gemacht durch Adam Rysen.

Zum andern mal corrigirt vnd gemehret.

Der ware Proceß vn̄ fürgist weg Visier vnd Wechselrüt zu machen auß dem Quadrat/ Durch die Arithmetic vnd Geometri. Von Erhardo Helm/ Mathematico zu Franckfurt/ beschriben.

Zu Francfurt, Bei Christian Egenolph.

Adam Risen.

Vihekauff.

Item/ einer hat 100. fl. dafür wil er 100. haupt Vihes kauffen / nemlich / Ochsen/ Schwein/ Kälber/ vnd Geissen/ kost ein Ochs 4 fl. ein Schwein anderthalben fl. ein Kalb einen halben fl. vnd ein Geiß ein ort von einem fl. wie viel sol er jeglicher haben für die 100. fl? Machs nach den vorigen/ mach eines jeglichen kosten zu örtern/ deßgleichen die 100. fl. vnd setz als dann also:

16 15
6 5
100 400
2 1
1

Multi-

Titelblatt zu Adam Ries, Rechnung auf den Linien; Rechenaufgabe von Adam Ries

Unmittelbar vor Adam Ries und zu seinen Lebzeiten (1492-1559) kamen als Ergebnis der Kunst des Buchdrucks zahlreiche andere Rechenbücher heraus, darunter diese:

1483 das Bamberger Rechenbuch von dem Nürnberger Rechenmeister Ulrich Wagner, das Jakob Peetzensteiner im Format 9 mal 9 Zentimeter druckte. Ein gut erhaltenes Exemplar befindet sich in der Bibliothek der Zwickauer Ratsschule.
1489 in Leipzig das Rechenbuch "Behende und hubsche Rechnung auff allen kauffmannschaft" von Widmann von Eger, der 1486 an der Leipziger Universität mathematische Vorlesungen eingeführt hatte.
1491 das Buch "De Arithmtetica" von Philippo Calandri.
1494 das Buch "Summa de Arithmetica, Geometrica, Proportioni et Proportionaliata" von Luca Pacioli.
1514 die Rechenbücher des Oppenheimer Stadtschreibers Jacob Kübel.
1530 das "Exempelbüchlein" des Wiener Gelehrten Christoph Rudolff.
1531 das "Visierbüchlein" von Johann Frey.
1538 die erste polnische Arithmetik von dem Pfarrer Tomasz Klos und 1553 die zweite polnische Arithmetik von Bernard Woiewodka.
1543 das Rechenbuch "The Grounds of Arts" von dem englischen Mediziner und Mathematiker Robert Recorde.
1544 die "Arithmetica integra" von Michael Stifel.
1545 die "Ars magna" von Geronimo Cardano.

1556 das Buch "General Trattado di numeri et di misuri" von Nicolo Tartaglia.

Aber alle diese, zum Teil auf einem hohen wissenschaftlichen Rang stehenden Bücher haben die Bedeutung des Adam Ries nicht zu schmälern vermocht. Manche Namen drangen ins Volk überhaupt nicht vor oder wurden schnell vergessen. Den Rechenmeister Ries aber kannten viele.

Adam Ries arbeitete in der Stille. Sein Leben war kein wechselvolles Auf und Ab, von dramatischen Zuspitzungen blieb es trotz mancher Probleme verschont.
Einigen seiner Zeitgenossen und Fachkollegen erging es anders. Die Bewegtheit des 16. Jahrhunderts griff in ihr persönliches Schicksal ein.

Der aus dem württembergischen Eßlingen stammende Michael Stifel (1487-1567), einer der bedeutendsten Arithmetiker dieser Epoche, war in seiner Jugend Augustinermönch gewesen. Von Luthers Lehre beeindruckt, kehrte er der klösterlichen Scholastik den Rücken, reiste nach Wittenberg, dem Zentrum der Reformation, wurde, von Luther unterstützt, vorübergehend Hauslehrer und Pfarrer.

Seiner Natur nach war Michael Stifel durch und durch Mathematiker. Irrwege blieben ihm nicht erspart. Mystische Zahlenspielereien und die Prophezeiung eines Weltuntergangs ließen an der sachlichen Ernsthaftigkeit seiner Bemühungen Zweifel aufkommen. Aus eigener Erkenntnis und eigenem Antrieb wandte sich Stifel tiefgründigen Studien zu. Über die wesentlichen mathematischen Bestrebungen gut informiert, gelang es ihm, Klarheit in die vielen arithmetischen Einzelregeln zu bringen und einen Überblick herzustellen.

Der Durchbruch der negativen Zahlen in Europa und die Anwendung des numerischen Radizierens bis zur 7. Wurzel sind ihm zu verdanken. Seine bedeutendste Leistung, die im Hauptwerk "Arithmetica integra" enthalten ist, darf man in der Konzipierung der Logarithmen sehen. Durch Vergleich der Reihen

$$1 = a^0, a = a^1, a^2, a^3, ... \qquad \text{und} \qquad 0, 1, 2, 3, ...$$

stellte er fest, dass z. B. der Addition der Größen der zweiten Reihe die Multiplikation der Größen der ersten Reihe entspricht. Wenn also zwei Zahlen Z_1 und Z_2 als Potenzen von a ($a > 0$, $a \neq 1$) dargestellt werden, z. B. $Z_1 = a^{n_1}, Z_2 = a^{n_2}$, dann ist ihr Produkt:

$$Z_1 \cdot Z_2 = a^{n_1} \cdot a^{n_2} = a^{n_1+n_2}$$

d. h. man braucht nur mit den Exponenten (dieser Begriff wurde von Stifel eingeführt) zu rechnen.
Sei nun $a = 2$, dann ist $16 = 2^4$, $32 = 2^5$; bildet man die Summe der Exponenten $4 + 5 = 9$, dann ist 9 der Exponent des Produktes, d. h. $16 \cdot 32 = 2^9$. Übrigens setzte er die Untersuchung der beiden Reihen nach links fort, er beschäftigte sich also mit

$$\frac{1}{a^3} = a^{-3}, \frac{1}{a^2} = a^{-2}, \frac{1}{a} = a^{-1}, 1, a, a^2 ... \qquad \text{bzw.} \qquad -3, -2, -1, 0, 1, 2, ...$$

Das Vorwort zu Stifels "Arithmetica integra" verfasste Luthers Mitstreiter Melanchthon, der als Förderer des Schulwesens und Herausgeber pädagogischer Schriften die mathematischen Arbeiten Michael Stifels hoch einschätzte.

Skandalumwittert war das Leben des Venezianers Geronimo Cardano (1501-1576). Das Schwanken zwischen dem Realismus des exakten Forschens in Mathematik und Medizin und pseudowissenschaftlichen Irrungen in Astrologie und Kurpfuscherei formte seine Entwicklung; Genialität, Ehrgeiz und dumpfer Aberglaube prägten seinen Charakter.
So wäre er auch gewesen, wenn er den schweren persönlichen Schlag - sein ältester Sohn wurde als Gattenmörder zum Tode verurteilt - nicht erlitten hätte.

Sich auch mit fremden Federn zu schmücken, machte Cardano wenig aus. Übel spielte er dem Lehrer und Rechenmeister Nicolo Fontana (1500-1557) genannt Nicole Tartaglia ("Stotterer"), aus Brescia mit. Tartaglia lebte in Venedig und war in der Mathematik Autodidakt.
Er hatte, unabhängig von Magister Scipione del Ferro (um 1465-1526) die Formel für die algebraische Auflösung der allgemeinen Gleichung dritten Grades gefunden und hütete sein Geheimnis für eigene Veröffentlichungen, die er vorbereitete. Lediglich die Ergebnisse seiner Untersuchungen teilte er in einem Vortrag mit.

Cardano, der trotz aller Anstrengungen die Ableitungen der Formeln nicht entdecken konnte, bedrängte den zurückhaltenden Tartaglia, bis dieser ihm endlich das Rätsel offenbarte, doch nicht, ohne Cardano die Zusicherung abzufordern, strengstes Stillschweigen zu bewahren.

Sechs Jahre danach, 1545, gab Cardano in seinem Buch "Ars magna de rebus algebrailis" die Formeln und deren Herleitungen preis. Nicolo Tartaglia empörte sich zu Recht, der heftige Streit dauerte bis zu Tartaglias Tod im Jahre 1557. Und dann ging die Lösung als "Cardanische Formel", unter falscher Bezeichnung also, endgültig in die Mathematik ein.
Übrigens musste hier mit den komplexen Zahlen gerechnet werden, jenen "fiktiven" (eingebildeten) Zahlen, unter denen man sich nichts vorstellen, aber mit denen man eben rechnen konnte.

Ein Horoskop, das er sich in jüngeren Jahren gestellt hatte, verhieß Cardano, er werde als Fünfundsiebzigjähriger sterben. Als er an dem prophezeiten Datum des Jahres 1576 noch bei bester Gesundheit war, verübte er Selbstmord.

Was Adam Ries von den meisten Rechenmeistern seiner Zeit unterschied, was ihn aus ihren Reihen heraushob, war sein stetes Trachten und Streben, die Rechenkunst "dem gemeynen mann nutzlich" zu machen.
Das war unter den Verhältnissen des 16. Jahrhunderts recht schwierig. Das Rechnen galt nach mittelalterlicher Auffassung einmal als ein Privileg der Gelehrten und zum anderen, mit entsprechender Abstufung, als ureigene Angelegenheit der Kaufleute. Die werktätigen Schichten waren von ihm offiziell so gut wie ausgeschlossen. Diese gesellschaftliche Barriere musste erst durchbrochen werden.

Erschwerend kam hinzu, dass die römischen Zahlzeichen das Ausbreiten der arabischen Ziffern und damit das schriftliche Rechnen außerordentlich hemmten. In der "Schreckensberger Bergordnung" befahl Herzog Georg ausdrücklich, im Rechnungswesen "deutsche tzalen" zu verwenden - gemeint waren die römischen.

Das brachte auch für Ries Konflikte mit sich. Als Rechenlehrer setzte er sich in seiner Schule und in seinen Büchern konsequent für das schriftliche Rechnen mit arabischen Ziffern ein - als Bergbeamer in Annaberg war er gezwungen, die Rechnungen in römischen Zeichen auszuführen.

Adam Ries war klug genug, an die Bedingungen, wie sie waren, anzuknüpfen und nichts zu überstürzen. Es zeugt von seinem psychologischen und pädagogischen Geschick, dass er sein erstes Buch (1518) dem im Volk beliebtesten Rechenverfahren widmete, dem Rechnen auf den Linien, und erst danach mit "Rechenung auff der Linihen und feder" (1522) auch das schriftliche Rechnen propagierte.

Dieses zweite Rechenbuch wurde schnell populär. Dennoch blieb der Erfolg Adam Ries nicht sogleich treu. Sein 1524 fertiges Manuskript "Coss" (Gleichungslehre) ist aus Gründen, für die er selber nicht verantwortlich war, nie erschienen.
Sein Buch "Rechenung nach der lenge, auf den Linihen und Feder" (nach der Länge = ausführliches Rechnen) lag wegen der hohen Herstellungskosten lange in der Schublade, bevor es Jakob Bärwald in Leipzig im Jahre 1550 endlich druckte.

In der langen Pause verfasste Ries 1536 sein "Gerechnet Büchlein", in dem er für die Bäcker das von der Höhe des jeweiligen Getreidepreises abhängige Gewicht des Brotes und anderer Backwaren angab. Als "Backordnung" war diese Tabelle vielerorts in Gebrauch.
Überhaupt richtete Adam Ries sein Augenmerk ausschließlich auf die rechnerische Praxis der einfachen Leute. So behandelte er u. a. mit dem "Vihekauff" auch Rechenprobleme der Bauern.

Ries schrieb in deutscher Sprache, gestaltete seine Exempel leicht verständlich und weckte mit ihnen die Freude am Lernen. Michael Stifel hielt viele Beispiele für so anschaulich, dass er sie in seine eigene "Arithmetic" eingliederte.
Die Rechenbücher von Adam Ries sind volkstümliche Schulbücher gewesen und darüber hinaus viel benutzte Hilfsmittel für das praktische Rechnen.

2.6 Die Logarithmen

In der Epoche des keimenden und schließlich wachsenden Frühkapitalismus häuften sich die Entdeckungen und Erfindungen auf allen Gebieten. Die Entdeckung der Erde trat in ein neues Stadium.
Ein Anlass dazu war die Eroberung Konstantinopels durch die Türken im Jahre 1453, durch die der Handel mit Persien, Indien und China erheblich erschwert wurde. Da die herrschende Klasse der mächtigsten Staaten Europas auf die aus dem Osten importierten Waren, vor allem auf die Luxusartikel, nicht verzichten wollte, verlangte sie von den Seefahrern, neue Verbindungswege zu erschließen.

1492 landete Christoph Kolumbus, der Indien gesucht hatte, in Amerika. 1497/98 fand Vasco da Gama den Seeweg nach Indien. 1513 drang Balboa in den Stillen Ozean vor. 1519 umsegelte Fernäo de Magalhaes zum ersten Mal die Erde.
Um 1550 waren die Umrisse der Kontinente im wesentlichen bekannt, weitere Expedi-

tionen erkundeten die Nordküsten Asiens und Amerikas. 1648 fuhr Semjon Iwanowitsch Deshnjow um das Nordostkap Asiens und bewies damit, dass Asien und Amerika im Norden keine zusammenhängende Fläche bilden.

Ähnliche Mühe wandten die Astronomen auf, um die Geheimnisse des Weltalls zu enträtseln. 1471 baute Johannes Müller, genannt Regiomontanus (1436-1476) in Nürnberg die erste deutsche Sternwarte.
Nicolaus Copernicus (1473-1543) erkannte, dass die Planeten um die Sonne kreisen und begründete das nach ihm benannte Weltsystem. Tycho de Brahe (1546-1601) beobachtete die Wandelsterne und schuf dadurch die Grundlagen für die Arbeiten Johannes Keplers (1571-1630), der die drei Gesetze für die Planetenbewegungen aufstellte. Galileo Galilei (1564-1642) demonstrierte durch seine Forschungsergebnisse die Richtigkeit des kopernikanischen Systems.

Als Folge der geographischen Entdeckungen nahm der Handel einen enormen Aufschwung. Die Ausbeutung der neuen Kolonien belebte, so fragwürdig und anfechtbar die Motive und Methoden auch waren, die Wirtschaft Europas in einem ungeahnten Maße und beschleunigte die frühkapitalistische Entwicklung.
Das alles hatte Auswirkungen auch auf die Mathematik. Rechenmethoden, die bisher ausgereicht hatten, genügten nicht mehr, sie waren zu schwerfällig, zu ungenau und zu langsam geworden; Die Seefahrer, die Kaufleute, die Astronomen, die Wissenschaftler anderer Disziplinen, die Landvermesser, die Angehörigen vieler Berufe brauchten nun Rechenverfahren, die Zeit ersparten, sich leicht anwenden ließen und präzise Resultate lieferten.

Der schottische Mathematiker John Napier (1550-1617) hat später in Worte gekleidet, worum es in diesem Prozess ging: "Ich bemühte mich, soviel ich konnte und vermochte, die Rechnungen von Schwierigkeiten und Eintönigkeiten frei zu machen, die viele Menschen vom Studium der Mathematik fernhalten."

Ein Mittel, das praktische Rechnen zu vereinfachen und zu erleichtern, wären die Logarithmen, deren Benennung auf die griechischen Wörter "logas" (Verhältnis) und "arithmos" (Zahl) zurück geht. Was ein Logarithmus ist, lässt sich so definieren:

Der Logarithmus einer Zahl a ist der Exponent n, mit dem eine bestimmte Basis b potenziert werden muss, um die Zahl a zu erhalten.
Das Logarithmieren (Aufsuchen des Logarithmus einer Zahl) ist nach dem Radizieren die zweite Umkehrung des Potenzierens, dabei wird zu dem gegebenen Potenzwert und der gegebenen Basis der Exponent gesucht (n = Logarithmus, b = Basis, a = Numerus):

$$a = b^n, n = \log_b a \qquad (n \text{ ist der Logarithmus von } a \text{ zur Basis } b)$$

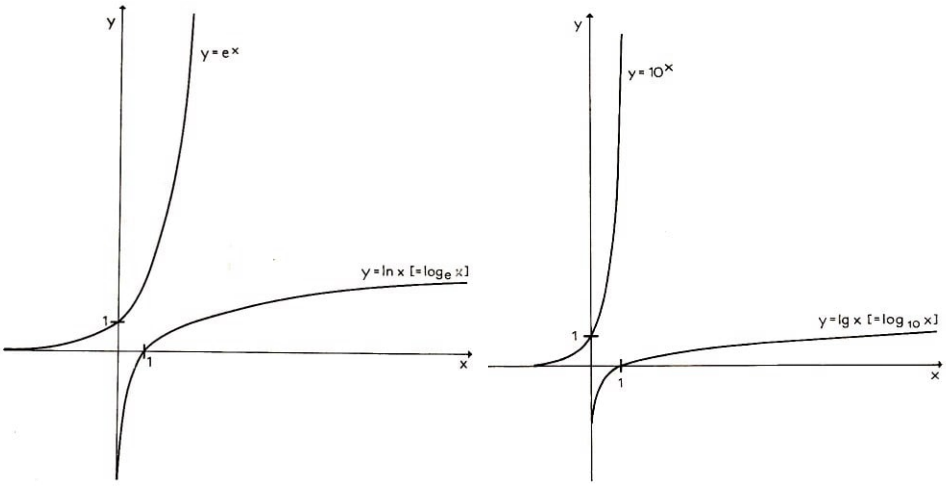
Daraus folgt: $b^{\log_b a} = a$ und $\log_b(b^a) = a$.
Nach diesen Identitäten ist zum Beispiel $\log_5 125 = 3$, denn es gilt $5^3 = 125$ oder $\log_3 81 = 4$, denn es gilt $3^4 = 81$, ferner $\log_2 8 = \log_2 2^3 = 3$ oder $\log_{10} 10000 = \log_{10} 10^4 = 4$.

Alle Logarithmen, die dieselbe Basis haben, werden als Logarithmen desselben Systems bezeichnet. Als Basis eignen sich alle positiven Zahlen außer 1. Durchgesetzt haben sich das von Briggs begründete dekadische Logarithmensystem mit der Basis 10 für das praktische Rechnen und die natürlichen Logarithmen mit der Basis

$$e = 2,718281828459...$$

v.a. für die wissenschaftlichen Untersuchungen.

Beim praktischen Rechnen führen die Logarithmen - und eben darin besteht ihre Bedeutung - das Multiplizieren, Dividieren, Potenzieren und Radizieren auf die nächstniedere Rechenstufe zurück, so die Multiplikation und die Division auf die Addition und die Subtraktion und das Potenzieren und Radizieren auf das Multiplizieren und Dividieren.



Die Funktionen $y = e^x$ und $y = 10^x$ und ihre Umkehrfunktion

Als einer der ersten Mathematiker wurde Michael Stifel auf diese Gesetzmäßigkeiten aufmerksam. In seinem Buch "Arithmetica integra" (1544) stellte er einer arithmetischen Reihe eine geometrische Reihe gegenüber, wobei er ältere Beispiele dieser Art (u. a. von Luca Pacioli) durch die Hinzunahme einiger negativer Zahlen erweiterte. Die beiden Reihen von Stifel lauteten:

-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	2	4	8	16	32	64

In der oberen Reihe stehen die Logarithmen zur Basis 2. Dessen war sich Stifel nicht voll bewusst. Er ahnte aber das Kommende und schrieb: "Man könnte geradezu ein ganzes neues Buch über die Wunder der Zahlen schreiben, aber ich muss mir das versagen und mit geschlossenen Augen scheiden."

Trotz dieser leichten Resignation gab Stifel für die Reihen Regeln an:
"1. Addition in der arithmetischen Reihe entspricht Multiplikation in der geometrischen ...
2. Subtraktion in der arithmetischen entspricht in der geometrischen Division ...
3. Der einfachen Multiplikation in der arithmetischen entspricht Multiplikation in sich (Potenzieren) in der geometrischen ...
4. Division in der arithmetischen Reihe entspricht Wurzelziehen in der geometrischen, so ist dem Halbieren das Quadratwurzelziehen zugeordnet ..."

Die Gegenüberstellung der Reihen wurde zum Ausgangspunkt der Logarithmentafeln. Aber bis zu ihrem Erscheinen musste noch ein weiter Weg zurückgelegt werden, für den das Bemühen, die Rechner zu entlasten, das charakteristische Merkmal blieb.

Für das Prinzip, die Multiplikation auf die Addition, also auf die nächst niedere Rechenstufe zurückzuführen, traten nach Michael Stifel auch die dänischen Mathematiker Wittich und Christoph Clavius ein.
Der Holländer Simon Stevin (1548-1620) war Ingenieur und Kaufmann. Verdienste erwarb er sich durch die Einführung der Dezimalbrüche. Für seinen praktischen Sinn sprach der Vorschlag, ein international gültiges Gewichts-, Maß- und Münzsystem zu schaffen, das dezimal gestaffelt sein sollte.

Nicht zuletzt beschäftigte sich Stevin, einem zur Notwendigkeit gewordenen Bedürfnis der Wirtschaft folgend, mit der Aufstellung von Tabellen zur Berechnung von Zinseszinsen. An die Ergebnisse, die er dabei erreichte, knüpfte Jost Bürgi (1552-1632) an und brachte sie zum Abschluss.

Bürgi, gebürtiger Schweizer, lebte als Mechaniker in Kassel am Hofe des Landgrafen von Hessen, wo er seinen Schwager Benjamin Bramer beim Bau vermessungstechnischer Geräte unterstützte.
Außerdem arbeitete er an der Vollendung der Stevinschen Zahlentabellen.

Diese Tabellen veröffentlichte Bürgi im Jahre 1620 in Prag, wo er in hohem Alter als Hofuhrmacher tätig war, unter dem Titel "Arithmetische und Geometrische Progress-Tabulen sambt gründtlichem unterricht, wie solche nützlich in allerley Rechnungen zu gebrauchen und verstanden werden sollen".
An den praktischen Gebrauch dachte Bürgi, nicht an theoretische Abhandlungen.

Nach Stifel, Wittich, Clavius und Stevin wurde der Mechaniker, Jost Bürgi zu einem der Wegbereiter der Logarithmentafeln. Seine runden "Progress-Tabulen" enthielten - umgekehrt wie bei den jetzigen Tafeln - als rote Eingangszahlen die Logarithmen und als schwarze Zahlen die Numeri. Dadurch hatten sie den Charakter von "Antilogarithmentafeln".

Zu den Gelehrten, die Bürgi in seinen Tabellenberechnungen ermunterten, gehörte Johannes Kepler (1571-1630). Das beweist, wie dringend rechnerische Hilfsmittel benötigt wurden. Dennoch konnte sich Bürgi lange nicht entschließen, mit seinen Tafeln an die Öffentlichkeit zu treten. Seine Bescheidenheit trug mit dazu bei, dass die in Schottland und England entwickelten Logarithmentafeln und die Namen ihrer Schöpfer mehr beachtet wurden als seine Leistungen.

Im Jahre 1614 kam das Werk "Mirifici logarithmorum canonis descriptio" von dem schottischen Adligen John Napier Lord of Merchiston (1550-1617) heraus. Napier, der sich auch Neper nannte, hatte Theologie studiert und sich mit Energie und Eifer an der Diskussion religiöser und politischer Themen beteiligt.
Daneben galt sein Interesse landwirtschaftlichen und technischen Problemen. Sogar die Konstruktion eines Unterwasserbootes soll er in Angriff genommen haben.
Alle diese Ambitionen wurden dann aber durch die etwa zwanzigjährige Arbeit an den

Logarithmen völlig in den Hintergrund gedrängt. Napier selbst hat sich dazu geäußert:

"Weil die Berechnung dieser Tabelle, die unter Mithilfe vieler Rechner hätte vollendet werden müssen, nur von einer Person durchgeführt wurde, ist es nicht verwunderlich, wenn sich in sie viele Fehler eingeschlichen haben. Geschah dies nun infolge Übermüdung des Rechners oder aus Nachlässigkeit des Setzers - ich bitte für die Fehler bei dem geneigten Leser um Entschuldigung.
Wenn ich jedoch sehe, dass von den Gelehrten der Nutzen dieser Erfindung angenommen ist, dann gebe ich vielleicht in kurzer Zeit eine Erläuterung der Rechenmethode, wie sich dieses Werk verbessern lässt, damit es durch die Arbeit vieler Rechner in aller Welt mit einer größeren Genauigkeit erscheinen kann, als es auf Grund der Arbeit eines einzelnen möglich ist. Nichts pflegt am Anfang vollkommen zu sein."

Vollkommen waren Napiers Tabellen tatsächlich nicht. Die Werte, die er angab, waren ebenso wie die von Bürgi nur angenähert. Die Absicht, dekadische Logarithmentafeln (mit der Basis 10) zu berechnen, konnte John Napier nicht mehr verwirklichen. Er starb 1617 in Edinburgh.

Sein wissenschaftliches Erbe übernahm der Londoner Mathematiker Henry Briggs (1556-1630), ein Verehrer Napiers, der aber trotz aller begeisterten Bewunderung nie in die Rolle eines Epigonen geriet. Briggs schrieb:

"Durch seine neuen und wunderbaren Logarithmen zwang mich Napier, mit Kopf und Händen zu arbeiten. Kein Buch von Napier hat mir mehr gefallen und größere Überraschungen in mir hervorgerufen als dieses. Ich hoffe, ihn im Sommer zu sehen."

Dieser Wunsch wurde wahr. Briggs besuchte Napier im Sommer 1616. Was er bei seinem Eintreffen sagte, ist überliefert:

"Ich unternahm diese lange Reise, um Sie zu sehen und zu erfahren, welche scharfsinnigen Mittel Sie zu dem Gedanken führten, eine solch hervorragende Unterstützung der Astronomen zu schaffen, wie sie Ihre Logarithmen darstellen. Trotzdem erwecken Sie, der Sie so gut über die Logarithmen Bescheid wissen, einen dermaßen einfachen Eindruck, dass ich jetzt sehr erstaunt hin, dass nicht schon früher jemand die Logarithmen fand."

Bei diesem Besuch schlug Briggs vor, als Grundlage der Logarithmen das Zehnersystem zu benutzen. Napier stimmte zu.
Henry Briggs realisierte diese Idee nach Napiers Tod selbständig.
1624 lagen in seiner "Arithmetica logarithmica" vierzehnstellige Logarithmen der Zahlen von 1 bis 20000 und 90000 bis 100000 vor. Die noch fehlenden Logarithmen berechneten dann die niederländischen Feldmesser Ezechiel de Decker und Adrian Vlacq. 1627, mitten im Dreißigjährigen Krieg, waren die Tafeln der Zehnerlogarithmen vollendet.

Als damals bestes Hilfsmittel des numerischen Rechnens wurden die Mühe und Zeit ersparenden Logarithmentafeln begeistert aufgenommen. Der Astronom Johannes Kepler verfolgte ihren Entstehungsprozess mit großer Anteilnahme. Seinen anspornenden Beifall schenkte er allen, die sich dieser Aufgabe unterzogen.

Würdigende Anerkennung wurden den Logarithmen noch zuteil, als das Rechnen mit ihnen schon zur Selbstverständlichkeit geworden war, davon zeugen zwei Urteile aus dem 18. Jahrhundert.

Der französische Mathematiker und Astronom Marquis Pierre-Simon de Laplace (1749-1827): "Die Erfindung der Logarithmen kürzt monatelang währende Berechnungen bis auf einige Tage ab und verdoppelt dadurch sozusagen das Leben der Rechner."
Der Dichter Novalis (1772-1801): "Was der Mathematik die Logarithmen sind, ist die Mathematik den anderen Wissenschaften."

2.7 Rechenschieber

Bei allen Vorzügen, die sie aufzuweisen hatten, waren die Logarithmentafeln nicht der Weisheit letzter Schluss. Das schien auch John Napier zu spüren. Neben der Logarithmenberechnung entwickelte der talentierte Konstrukteur Rechenstäbe mit dem kleinen Einmaleins.
Zu seinen Lebzeiten wurden diese Napierschen Rechenstäbchen nicht sonderlich beachtet, doch später, als der Bau von mechanischen Rechenmaschinen aktuell wurde, sollten sie noch eine Rolle spielen.

Vorerst aber bereicherten Rechenschieber die Auswahl der vorhandenen Rechenhilfsmittel. Sie verbanden die Vorteile der Logarithmen mit einer leichten Handhabung, die in manchen Fällen zweckmäßiger war als das Ablesen aus der Logarithmentafel.
Dass die Versuche ausschließlich in England angestellt wurden, war nicht verwunderlich. In dem ökonomisch am weitesten vorangeschrittenen Land wurden Rechengeräte notwendiger gebraucht als anderswo.

Am Gresham College in London, wo Henry Briggs unterrichtete, wirkte als Professor für Astronomie Edmund Gunter (1561-1626). Von den Arbeiten des Mathematikers angeregt, benutzte er eine logarithmisch eingeteilte Rechenskala. Für die Rechenoperationen nahm er zum Abgreifen der Längen einen Zirkel zu Hilfe.

Gunter, der durch die Herausgabe von Tafeln für die Logarithmen der Sinus- und Cosinusfunktionen für die Basis 10 hervortrat, legte zwar nicht den ersten Rechenschieber vor, aber er entdeckte das Prinzip.
Der Landpfarrer William Oughtred (1574-1660) führte gradlinig und kreisförmig aneinandergleitende logarithmische Skalen ein, die den Zirkel erübrigten. Wann das geschah, ist nicht genau bekannt. Möglicherweise sind die Experimente im Jahre 1621 gelungen. Oughtred selbst beschrieb seine Instrumente erst 1632/33. Zwei Jahre vorher hatte sein Schüler Richard Delamain das kreisförmige Rechenrad erläutert und für sich in Anspruch genommen, dessen Erfinder zu sein.

Den Streit klären und entscheiden zu wollen wäre praktisch bedeutungslos, denn es blieb nicht bei Oughtreds bzw. Delamains Modellen. Mitte des 17. Jahrhunderts vervollständigten Seth Partridge und Edmund Wingate den geraden Rechenschieber, der sich zunächst über das runde Rechenrad behauptet hatte, durch eine gleitende Zunge. Im 19. Jahrhundert erhielt der Rechenschieber mit dem Läufer seine endgültige Form.

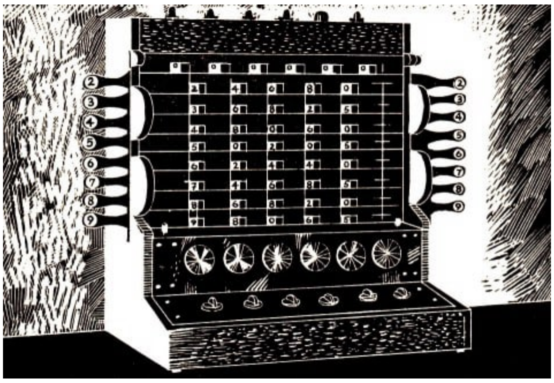
Die Verbesserungen und Spezialisierungen für verschiedene Bedürfnisse, die nach und nach vorgenommen wurden, änderten an dem Prinzip nichts mehr. Der Rechenschieber hatte seine Bewährungsprobe bestanden. Schon im 18. Jahrhundert war er ein weit verbreitetes Hilfsmittel für die rechnerische Praxis. Seine Handlichkeit und seine mit logarithmischen Zahlenreihen beschrifteten Skalen gestatteten ein schnelles mechanisches Multiplizieren, Dividieren, Potenzieren (Quadrieren) und Radizieren (Quadratwurzelziehen).

Beim Rechenschieber werden mathematische Größen durch physikalische Größen (nämlich durch Längen) dargestellt; beide Systeme - das mathematische und das physikalische - werden durch die gleichen analytischen Beziehungen charakterisiert, sie sind (einander) analog.
Der Rechenschieber ist also ein Analogrechner, denn die Multiplikation zweier Zahlen z. B. wird wegen der logarithmisch eingeteilten Skalen auf die Addition von zwei Exponenten zurückgeführt, die nun ihrerseits durch die Addition von Längen, die hier die analogen physikalischen Größen darstellen, realisiert wird. Übrigens ist die Rechnung beendet, wenn der Einstellungsprozess beendet ist, d. h., der Rechenprozess ist mit der Einstellung der Ausgangswerte gekoppelt.

Es deutete sich beim Rechenschieber, der noch heute unentbehrlich ist, an, was dann in immer stärkerem Maße zu einem elementaren Grundsatz für die Entwicklung, Konstruktion und Herstellung von Rechengeräten wurde: das verschmelzende Ineinanderwirken von Mathematik und Technik.

3 Mathematiker - Mechaniker - Maschinen

3.1 Illusionen und Realitäten



Die Partie fand im Pariser Tuilerien-Palast statt. im ehemaligen Schluss der französischen Könige, das die revolutionären Bürger am 10. August 1792 erstürmt hatten. Dieses Ereignis, durch das die Suspension Ludwigs XVI. und die Berufung des Nationalkonvents erzwungen wurden waren, war nun Historie.

Es ging wieder friedlich und ruhig zu in den prächtigen Sälen. Kein Geringerer als Napoleon I. hatte Platz genommen. Er saß, sich einer seiner Lieblingsbeschäftigungen hingebend, hinter einem Schachbrett. Ihm gegenüber, als Gegner, agierte eine fast lebensgroße Puppe. Mit eckigen Bewegungen schob sie die Figuren über die Felder, aber jeder ihrer Züge war sinnvoll und wohlüberlegt.

Etwas Gespenstisches hatte diese Szene an sich und zugleich etwas Großartiges. Eine Maschine, ein totes Gebilde aus blutleeren Hebeln, Walzen und Zahnrädern, spielte Schach gegen einen Menschen, gegen den Imperator, dem nachgesagt wurde, er beherrsche diese Kunst hervorragend.

Der Kampf dauerte lange. Strategische Manöver, von beiden Seiten geschickt eingefädelt, sorgten für Spannung. Napoleon war anzusehen, wie sehr er sich konzentrierte. Doch trotz aller Anstrengungen musste er eine bittere Niederlage einstecken. Eine Puppe besiegte den Kaiser.
Das war ungeheuerlich und unfassbar. Wenn es überhaupt einen Trost gab, dann nur den, dass die Puppe bis auf ganz wenige Ausnahmen bisher jeden Partner geschlagen hatte.

Die mysteriösen Fähigkeiten der Schachmaschine galten als unerklärlich, bis das Geheimnis durch einen an sich bedauerlichen Zwischenfall gelüftet wurde. Während eines Schachwettkampfes in Philadelphia brach ein Feuer aus. In dem Durcheinander geriet die sonst so stoische Puppe in panische Verwirrung. Eine Klappe schlug auf, Mechanismen wurden sichtbar, ein zwergengroßer Mensch kroch heraus ins Freie und flüchtete vor den um sich greifenden Flammen.

Nun war es nicht mehr schwierig, das Rätsel vollends zu lösen. Ein ungarischer Mechaniker namens Farkas Kempelen hatte den Schachautomaten, der gar kein Automat war, im Jahre 1796 gebaut und einen Liliputaner engagiert, einen perfekten Schachexperten,

der, im Inneren verborgen, das Spiel beobachtete, jeden Zug sorgfältig plante und ihn ausführte, indem er die Technik bediente.
Niemand schöpfte Verdacht, bis der grandiose Bluff in Philadelphia platzte.

Nur ein Bluff? Nur ein genialer Trick? Nein, Kempelens Modell war mehr. Es eilte in der Idee den mathematischen und technischen Möglichkeiten um 175 Jahre voraus, und es befriedigte den schon damals bewusst oder unbewusst vorhandenen Wunsch, menschliche Tätigkeiten in einem gewissen Umfang durch Maschinen zu ersetzen. In der Epoche, da sich, ein ökonomisches und technisches Bedürfnis erfüllend, Maschinen durchzusetzen begannen, gab es auch Erscheinungen spontaner Maschinenstürmerei.

Einer der größten Erfinder dieser Zeit hat das am eigenen Leibe erfahren: James Watt (1736-1819). In Glasgow arbeitete er an einer Dampfmaschine. Die Zunft der Blechschmiede, die noch in rückständigen Auffassungen verhaftet war, lief dagegen Sturm und ließ nichts unversucht, um eine Anordnung zu erzwingen, die Watt die Experimente verbieten sollte.
Das es nicht dazu kam, verhinderte nur ein glücklicher Umstand. Als Universitätsmechaniker befand sich James Watt auf einem Gelände, auf das die ihm missgünstige Zunft keinen Einfluss hatte. In den Räumen der Universität konnte kein Außenstehender ihn und seine Pläne behelligen.

Schlimmer war es William Lee ergangen. Der englische Geistliche, der im Jahre 1589 den Strumpfwirkerstuhl erfunden hatte, sah sich derartig harten und bedrohenden Anfeindungen ausgesetzt, dass er sich entschließen musste, sein Heimatland zu verlassen.

Über den Bandwebstuhl, mit dessen Einführung sich Ende des 16. Jahrhunderts eine Produktionsumwälzung anbahnte, empörten sich die Zünfte in mehreren Staaten so lange, bis sie Verbotserlasse erreichten. Spektakuläre Gerichtsprozesse gegen diejenigen, die den in Grund und Boden verdammten Stuhl trotzdem anschafften und benutzten, waren besonders in Frankreich an der Tagesordnung.
Von Angriffen dieser Massivität blieben die Rechenmaschinen und ihre Schöpfer verschont. Dennoch war der Prozess ihrer Entwicklung reich an Spannungen, Enttäuschungen, Konflikten, Fehlschlägen und ungelösten Problemen. Trotz der Stille, in der er sich vollzog, entbehrte er nicht dramatischer und tragischer Momente.

"Die Natur baut keine Maschinen, Lokomotiven, keine Eisenbahnen ... etc. Sie sind Produkte der menschlichen Industrie, natürliches Material, verwandelt in Organe des menschlichen Willens über die Natur oder seiner Betätigung in der Natur. Sie sind von der menschlichen Hand geschaffene Organe des menschlichen Hirns, vergegenständlichte Wissenskraft."

Dieses Wort von Karl Marx galt auch für die Rechenmaschinen, die auf die Produktion in Manufakturen und Industrie nicht unmittelbar einwirkten und sie nicht direkt veränderten.
Mechanische Maschinen zum Rechnen zu schaffen - diesem Ziel widmeten zahlreiche Wissenschaftler, Konstrukteure und Mechaniker von Schickardt über Pascal und Leibniz bis zu Babbage ihre Ideen und ihre Kraft. Vorbilder, auf die sie hätten zurückgreifen

können, existierten nicht.
Das einzige vergleichbare Modell als Zählwerk war die Uhr, die seit Peter Henlein (1480-1542) eine stetige Vervollkommnung durchmachte. Aber sie hatte andere Aufgaben und funktionierte nach anderen Prinzipien.
So kam es, dass die der Mechanik zugeordnete Rechenmaschine von jüngeren Erfindungen auf diesem Gebiet überflügelt wurde, vor allem von der Schreibmaschine und der Nähmaschine.

Die Rechenmaschine entwickelte sich unter anderen Bedingungen.
Ein größerer und schließlich großer Bedarf für sie wuchs in der bürgerlichen industriellen Revolution erst allmählich heran, die gesellschaftlichen Verhältnisse und unzulängliche technische Voraussetzungen beeinträchtigten das Tempo, zwischen Ideen und konstruktiven Möglichkeiten klafften Lücken.
Noch im 19. Jahrhundert waren Bestrebungen zu beobachten, bewährte alte Rechenhilfsmittel so zu verbessern, dass sie den gestiegenen Anforderungen gerecht wurden.

Um das Jahr 1830 wartete der russische General Swobodski mit einem Rechengerät auf, das er "Aggregat" nannte. In ihm fügte er 12 bis 30 Rechenbretter in einem großen Rahmen zusammen. Eine Gutachterkommission hob hervor, dass dieses Mammutrechenbrett die Arbeitsgeschwindigkeit verfünffachte bis versechsfachte.
Geräte wie dieses waren keine Illusion, sie beruhten auf Realitäten. Mit dem traditionellen Rechenbrett wurde in Russland auch noch nach Swobodski experimentiert.
Die Zukunft gehörte nicht der Verfeinerung und der Erweiterung alter Methoden. Neue Ideen mussten entstehen, neue technische Möglichkeiten entwickelt werden, um grundsätzliche Veränderungen und viele andere Verbesserungen zu schaffen.

3.2 Wilhelm Schickardt

Sein Name war kaum bekannt, er wurde nur im Zusammenhang mit einem speziellen Verfahren der Landvermessung, dem Rückwärtseinschneiden, erwähnt, verschollen war sein übriges Werk.

Vor wenigen Jahren erst wurde im Nachlass des Astronomen Johannes Kepler ein Brief gefunden, der die skizzenartige Federzeichnung einer Rechenmaschine enthält.
Datiert war dieser Brief am 25. Februar 1624, geschrieben hatte ihn der Universitätsprofessor Wilhelm Schickardt aus Tübingen.

Der Inhalt wird Kepler enttäuscht haben. Schickardt, der Konstrukteur, berichtete ihm, dass die abgebildete Rechenmaschine nach dem vorbereiteten Muster gebaut, aber leider durch ein Feuer vernichtet worden wäre.
Bestimmt gewesen war die nun zerstörte Maschine für Johannes Kepler, den mit Wilhelm Schickardt eine Duzfreundschaft verband.

Wie das Verhältnis zwischen den Gelehrten zustande gekommen war, lässt sich nur ahnen. Vielleicht war, von beruflichen Gemeinsamkeiten abgesehen, die Stadt Tübingen ein Bindeglied.

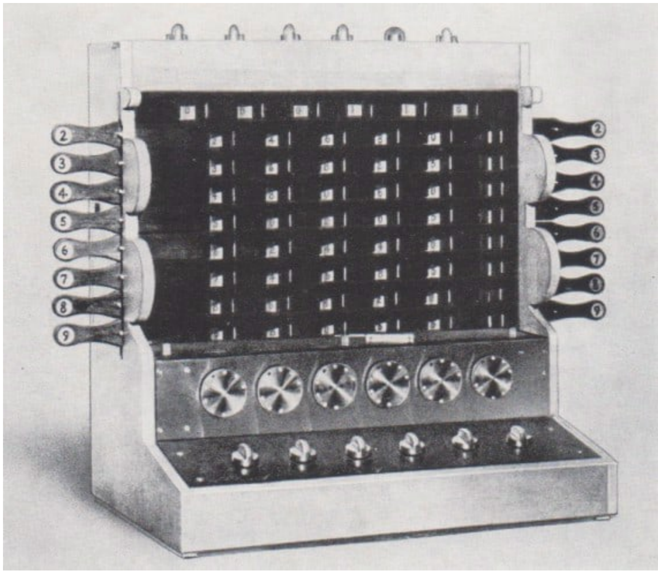
An derselben Universität, an der Schickardt (1592-1635) wirkte, hatte der 21 Jahre ältere Kepler (1571-1630) lutherische Theologie, Mathematik und Astronomie studiert.

In seine württembergische Heimat kehrte Kepler von den fernen Städten, in denen er arbeitete (u. a. in Graz, Prag und Linz), nur noch besuchsweise zurück, und nicht immer war der Anlass dazu erfreulich. Zweimal reiste er in seinen Geburtsort Weil, um seine als Hexe beschuldigte Mutter zu verteidigen und vor der Folter zu bewahren.

Welcher der beiden Freunde der berühmtere war, ist keine Frage - Kepler. Als 1624 der Zwischenfall mit der Rechenmaschine passierte, genoss er hohes wissenschaftliches Ansehen - durch die noch von Spekulationen beeinflusste Schrift "Mysterium cosmographicum" ("Geheimnis der Weltbeschreibung"), die Berechnungen der Bahn des Planeten Mars, das Buch "Die neue Astronomie ursächlich begründet oder die Physik des Himmels" mit dem ersten und zweiten Keplerschen Gesetz, die Vertiefung der Lehre Galileis, die Konstruktion eines astronomischen Fernrohrs, die Untersuchungen über die Strahlenoptik, das Werk "Die Weltharmonie" mit dem dritten Keplerschen Gesetz, das Lehrbuch der Copernicanischen Astronomie.

Um 1620 wandte sich Kepler der Berechnung neuer astronomischer Tafeln und Jahrbücher zu und nahm damit ein rechnerisches Mammutpensum auf sich. Die Schickardtsche Rechenmaschine sollte ihm dabei eine Hilfe sein. Fest steht, dass Schickardt an dieser Aufgabe sehr intensiv gearbeitet hat, um Kepler zu unterstützen.
Das geht aus einem Brief hervor, den Schickardt am 20. September 1623 an den Freund schrieb. Darin hieß es:

"Dasselbe, was Du rechnerisch gemacht hast, habe ich in letzter Zeit auf mechanischem Wege versucht und eine aus elf vollständigen und sechs verstümmelten Rädchen bestehende Maschine konstruiert, welche gegebene Zahlen augenblicklich automatisch zusammenrechnet: addiert, subtrahiert, multipliziert und dividiert."



Modell der von Schickardt gebauten Rechenmaschine

Knapp fünf Monate nach dieser Ankündigung war die Maschine fertig. Leider fiel sie einem Brand zum Opfer.

Wie Schickardts Bemühungen ausliefen, weiß niemand. Es wird vermutet, dass er insgesamt drei Maschinen baute. Erhalten geblieben ist keine. Ob eine der Schickardtschen Maschinen von Kepler benutzt worden ist, kann nicht gesagt werden.

Konstruktive Einzelheiten sind in einer Modellzeichnung vermerkt, die nach dem Schreiben an Kepler von 1624 in der Stuttgarter Staatsbibliothek entdeckt wurde.
Demnach war die Maschine mit einem sechsstelligen dezimalen Addierwerk mit Zehnerübertragung und mit einem Multiplizierwerk ausgerüstet. Verwendet wurden, unter anderem die Napierschen Rechenstäbchen. Als technischer Mangel wird die unpräzise Verzahnung bezeichnet.

Nach diesem Entwurf, der Schickardts eigene Handschrift verrät, hat der Tübinger Mechaniker Pfister für das Tübinger Museum die Rechenmaschine rekonstruiert und dem Original nachgebaut.
Damit erfuhren die Leistungen eines Pioniers der mechanischen Rechenmaschinen die Würdigung, die sie verdient haben. Wilhelm Schickardt ist der Vergessenheit entrissen.

3.3 Blaise Pascal

Die Wiederentdeckung der Arbeiten Wilhelm Schickardts brachte einen anderen Erfinder postum um den Ruhm, die erste mechanische Rechenmaschine konstruiert und gebaut zu haben - Blaise Pascal (1623-1662).

Diese Tatsache verringert die Verdienste Pascals in keiner Weise.

Erstens war seine Additions- und Subtraktionsmaschine von 1641 ungeachtet der Experimente Schickardts eine Pioniertat; zweitens hat er sich als Mathematiker und als Philosoph noch durch andere Leistungen einen Namen gemacht - durch seine Arbeiten in der Wahrscheinlichkeitsrechnung, die er zusammen mit Pierre de Fermat begründete, durch Untersuchungen in der Geometrie, der Kombinatorik, der Differential- und Integralrechnung, durch seine Gegnerschaft zu den Jesuiten als streitbarer Wortführer des Jansenismus.

Der Satz von Pascal, die Pascalsche Gerade, das Pascalsche Dreieck und das Pascalsche Sechseck sind in der Mathematik zu Begriffen geworden.

Blaise Pascal entsprach weitgehend dem Bildungsideal, das der englische Philosoph und Staatsmann Francis Bacon (1561-1626) der aufkommenden bürgerlichen Klasse auf den Weg gegeben hatte:

"Geschichte macht weise, Poesie geistreich, Mathematik scharfsinnig, Naturwissenschaft gründlich, Sittenlehre ernst, Logik und Rhetorik fähig zu disputieren."

Daran änderte auch der Mystizismus nichts, dem Pascal trotz besserer Einsichten am Ende verfiel.
Pascals kurzes Leben war ungewöhnlich. Reich an Höhen und Tiefen, in Spannung gehalten von glänzenden Talentbeweisen und anspornenden Widersprüchen, pendelnd zwischen banger Ungewissheit und berauschenden Erfolgen berührte es über das Maß

des Durchschnitts hinaus Pole der Gegensätzlichkeiten und gewann gerade dadurch seine Impulse und seine Kraft.

Der junge Blaise, der in der behüteten Atmosphäre eines gepflegten Beamtenhauses aufwuchs, soll keine Schule besucht und alle Grundkenntnisse von seinem Vater und dessen Freunden gelernt haben. Denkbar ist das; bei den Pascals verkehrten Gelehrte, die ihre Arbeiten zur Diskussion stellten und wissenschaftliche Themen aller Art erörterten. Es wird sogar gesagt, dass dieser Salon eine der Wurzeln der im Jahre 1635 gegründeten Académie Francaise gewesen sei.

Blaises Lieblingsfach war von Anfang an die Mathematik. Die Neigung zu ihr übersteigerte das Kind so stark, dass der um Vielseitigkeit bemühte Vater besorgt wurde und die Aufmerksamkeit des Sohnes auf alte Sprachen lenkte. Doch Blaises Hauptinteresse galt nach wie vor der Geometrie und der Arithmetik und, mit etwas Abstand, der Physik.

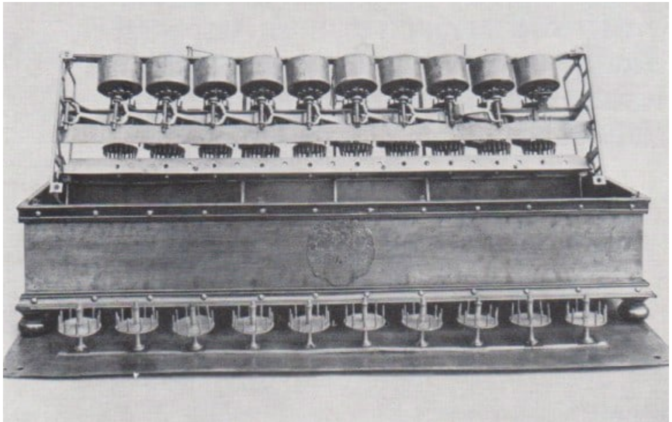
Zwölf Jahre war er alt, als er die Gäste der Familie mit seinen ersten eigenen Abhandlungen überraschte, mit einem Aufsatz über die Entstehung von Tönen beim Anschlagen einer Schüssel und mit Dreiecksberechnungen, mit denen er, ohne es zu ahnen, zu den Theoremen Euklids vorstieß.
Bald danach begeisterte er sich für die neuen geometrischen Lehren, die Girard Desargues (1593-1662) auf der Basis der Zentralprojektion entwickelt hatte. Als Sechzehnjähriger verfasste er eine Schrift über Kegelschnitte nach projektiven Methoden, die Aufsehen erregte. Es tauchte sogar der Verdacht auf, die Darstellung sei das geistige Gut des Vaters.

Aber das konnte kaum sein. Der alte Pascal befand sich zu dieser Zeit weitab von Paris irgendwo in der Provinz. Er war in eine Finanzaffäre verwickelt gewesen, der königliche Minister Kardinal Richelieu hatte befohlen, ihn als Opponent der Regierung zu verhaften. Pascal hatte davon erfahren und war geflüchtet.
Durch einen glücklichen Zufall erhielt er Freiheit und Ehre zurück.

Am 3. April 1639 besuchte Richelieu, der mächtigste Mann Frankreichs, in Paris eine Aufführung des Schauspiels "Tyrannische Liebe" von Madeleine de Scudéry. Unter den Mitwirkenden ragte eine überaus hübsche blutjunge Komödiantin hervor. Von ihr entzückt, ließ Richelieu es sich nicht nehmen, sie nach der Vorstellung zu beglückwünschen. Das Mädchen nutzte die Gelegenheit, Gnade für ihren Vater zu erflehen, der, wie sie beteuerte, unschuldig in der Verbannung schmachte.
Richelieu erfüllte ihren Wunsch. Pascal durfte unbehelligt nach Hause zurückkehren. Den Großmut des Ministers verdankte er dem Eingreifen der Schauspielerin, die seine Tochter war, Blaises Schwester.

An dem Bleiben des widerspenstigen Beamten in der Hauptstadt war Richelieu jedoch wenig gelegen. Er vermittelte ihm einen Verwaltungsposten in Rouen, der zwar einträglich war, aber ziemlich beschwerlich und eintönig. Pascal musste unablässig rechnen, er rechnete tagsüber und nicht selten bis in die Nacht hinein.
Das brachte Blaise, den Sohn, auf den Gedanken, eine Rechenmaschine zu bauen.

1641, als Achtzehnjähriger, hatte er das erste Modell fertig. Es funktionierte, doch die Bedienung erforderte überdurchschnittliche Kenntnisse, nicht nur arithmetische, sondern auch technische.
Ein Betrachter schilderte diese Maschine so:



Rechenmaschine von Pascal

"Sie sieht aus wie ein Messingkasten von 36 Zentimeter Länge, 13 Zentimeter Breite und 8 Zentimeter Höhe. Ihre Größe entspricht also angenähert der eines Handschuhkastens. Man kann die Maschine leicht unter dem Arm tragen. Sie ist eine achtstellige Addiermaschine. Die hinteren zwei Stellen waren für das damalige Kleingeld bestimmt, die restlichen sechs für das vollwertige Goldgeld, rechts beginnend mit den Einem und links endend mit den Hunderttausendern.

Jedes einzelne Außenrad der Maschine dreht man in Abhängigkeit vom jeweiligen Stellenwert der zu addierenden Zahl um so viele Zähne, wie die Ziffer an der entsprechenden Stelle angibt. Die Räder drehen eine Ziffernscheibe, die sich im Innern der Maschine befindet. Das Ergebnis kann an einem Fenster abgelesen werden."

Kurz, nach der letzten Jahrhundertwende berichtete eine französische Zeitschrift:

"Es existieren mehr als 50 Exemplare von Pascals Maschine ...
Alle diese Maschinen sind verschieden, sowohl hinsichtlich des Materials als auch hinsichtlich der Formen und der von den Einzelteilen ausgeführten Bewegungen. Für die Fertigung dieser Maschinen wurden Holz, Elfenbein, Eisen und Kupfer verwendet, wobei die Maschinen entweder gänzlich aus einem Material oder aus einer Kombination der obengenannten Materialien bestanden."

Diese Meldung bestätigte, dass Blaise Pascal an seiner Addiermaschine, die er "Pascaline" nannte, unbeirrt weitergearbeitet hat.
Wie froh wäre er gewesen, hätte er die Unzulänglichkeiten, die der Technik insgesamt noch anhafteten, beseitigen können. Aber dazu war er nicht imstande. Es gelang ihm nur, die vorhandenen Möglichkeiten bis zum äußersten auszuschöpfen - und das war viel.

Aus der intensiven Beschäftigung mit der Mechanik zog Pascal Schlüsse, die über den Zweck der Erfindung hinausgingen. Er erkannte, dass nicht nur körperliche, sondern auch geistige menschliche Arbeit bis zu einem gewissen Grade durch eine Maschine

ersetzbar ist und kam zu dem zwar unkorrekten, aber für seine Zeit bemerkenswerten Ergebnis, dass der Verstand des Menschen automatisch arbeite und das Denken einem mechanischen Ablauf ähnlich sei.
Bemerkenswert deshalb, weil sich Pascal damit gegen die Gültigkeit der These von der unbedingten Abhängigkeit des menschlichen Geistes von einer göttlichen Allmacht wandte - im 17. Jahrhundert eine kühne Behauptung.

Ein Mathematiker unterstrich diese Auffassung, äußerte sich aber auch kritisch über das Leistungsvermögen der Rechenmaschine:

"Man muss den Gedanken Pascals, besonders für seine Zeit, außerordentlich mutig nennen, weil er darauf hinauslief, gewisse Gedächtnis- und Denktätigkeiten durch mechanische Vorrichtungen zu ersetzen. Aber die kühne Idee Pascals ist durch seine Maschine bei weitem noch nicht realisiert. Der langsame Gang des von Pascal erdachten Mechanismus ist offensichtlich."

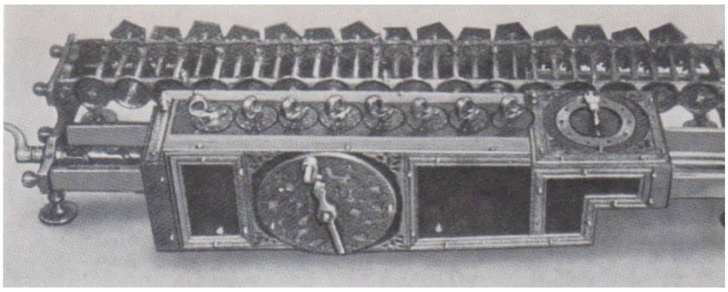
Blaise Pascal wurde berühmt. Im Jahre 1649 wurde ihm ein königliches Privileg zur Herstellung von Rechenmaschinen verliehen.
Eine "Pascaline" schenkte er der Pariser Akademie. Seine Erfindung führte er, so am luxemburgischen Hof, erlauchten Zuschauern vor. Es war schon eine Sensation, dass statt Menschen Räder rechneten. Legenden wurden über Pascal erzählt, Hymnen priesen seine Kunst und feierten ihn als "Frankreichs Archimedes".

Die Versuche, Pascals Addiermaschine nachzubauen, sind mehr oder weniger gescheitert. Ein Engländer namens Morland soll es um das Jahr 1660 geschafft und das mechanische Gerät auf alle vier Grundrechenarten erweitert haben.
Mehrere von Blaise Pascal gebaute Rechenmaschinen sind noch erhalten. Ein Originalmodell befindet sich im Mathematisch-Physikalischen Salon des Dresdner Zwingers.

3.4 Gottfried Wilhelm Leibniz

Im Jahre 1673 führte der deutsche Gelehrte Gottfried Wilhelm Freiherr von Leibniz (1646-1716) bei der Royal Society in London eine von ihm entwickelte Rechenmaschine vor, die für alle vier Grundrechenarten geeignet war. Sie addierte, subtrahierte, multiplizierte und dividierte.
Die Erfindung machte Eindruck. Leibniz wurde die Mitgliedschaft der Britischen Akademie der Wissenschaften verliehen.
Unabhängig von dieser Ehrung äußerten sich berühmte Wissenschaftler lobend über das Gerät. Der niederländische Physiker Christian Huygens sagte: "Mit der Maschine von Leibniz kann jeder Schüler die schwierigsten Berechnungen durchführen."

Ob das wörtlich gemeint war oder mehr die sich abzeichnenden Möglichkeiten andeutete, ist heute umstritten. Allgemein wird angenommen, dass die ersten Rechenmaschinen von Leibniz noch keine genauen Ergebnisse lieferten. Spätere Modelle sollen voll funktionstüchtig gewesen sein.



Rechenmaschine von Leibniz

Bei dieser Frage geht es nicht um die Fähigkeiten des Konstrukteurs, sondern einzig und allein um technische Probleme. Die Präzision der mechanischen Teile ließ zu wünschen übrig. Die Ursache dafür waren die Beschaffenheit und die Verarbeitung des Materials. Damit mussten sich die Erfinder, nicht nur die der Rechenmaschinen, wohl oder übel abfinden.
Als Leibniz in London vor die Öffentlichkeit trat, war er erst 27 Jahre alt. Seine Reise hatte eine Vorgeschichte.

Leibniz studierte zunächst Jura, wandte sich aber bald der Mathematik zu und wurde so mit den Arbeiten Pascals vertraut, auch mit dessen Addiermaschine. Sie nur zu vervollkommnen, kam ihm nicht in den Sinn. Er strebte eine Lösung an, die neben der Addition und der Subtraktion (Zwei-Spezies-Maschine) auch die Multiplikation und die Division gestattete (Vier-Spezies-Maschine). 1672 arbeitete er dazu die theoretischen Grundlagen aus und nahm sofort die praktische Verwirklichung in Angriff.

Zufrieden war Leibniz mit dem Erreichten nie - trotz der Anerkennungen, die ihm zuteil wurden. Es heißt, dass er für die Verbesserungen seiner Rechenmaschinen 24000 Taler ausgegeben habe. Er sicherte sich die Mithilfe des damals bekannten Pariser Mechanikers Olivier. Die meisten Maschinen wurden mit Unterstützung des Professors Wanger und des Mechanikers Lewin in Helmstedt gebaut.
Eins dieser Modelle, das jetzt in Hannover aufbewahrt wird, gibt Aufschluss über technische Einzelheiten.

Von Pascal unterschied sich Leibniz nicht nur durch die Ausdehnung des mechanischen Rechnens auf alle vier Grundrechenarten, sondern auch durch das technische Prinzip. Er rüstete seine Rechenmaschinen mit Staffelwalzen aus, die als Übertragungselement dienten und auf einer, Hälfte mit Zähnen verschiedener Abmessungen versehen waren. Jede Walze war mit einem Zahnrad des achtstelligen Einstellwerkes verbunden. Beim Eingehen einer bestimmten Ziffer rückte das Zahnrad in Achsenrichtung bis an die Stelle, an der die Walze die entsprechende Anzahl Zähne hatte. Abgelesen wurden die Ergebnisse auf einem sechzehnstelligen Zählwerk. Eine Handkurbel ermöglichte das Drehen der Zahnräder des Einstellwerkes.

Diese Vollkommenheit hatte die Rechenmaschine, die Leibniz 1673 in London vorführte, noch nicht. Dennoch war sein Aufenthalt in der britischen Hauptstadt, den er nicht zuletzt seiner Bekanntschaft mit dem Sekretär der Royal Society verdankte, von besonderer Bedeutung. Bei ihm wurde über die Zukunft der Vier-Spezies- Maschine entschieden, und bei ihm stieß er auf Schriften - u. a. auf die "Lectiones geometricae" von Isaac Barrow und die "Logarithmotechnia" von Nikolaus Merkator -, die seine mathematischen Arbeiten befruchteten.

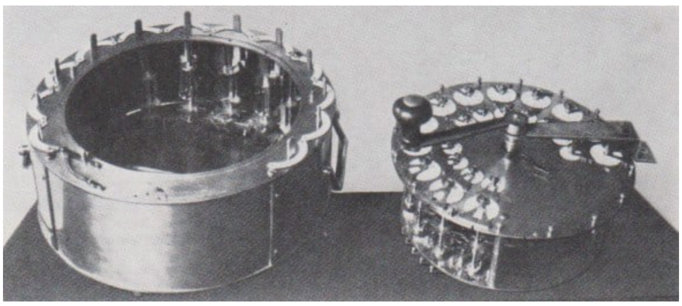
Trotz seiner Betätigung in vielen Bereichen - in der Philosophie, der Physik, der Rechts-, Sprach- und Geschichtswissenschaft und der Diplomatie - räumte Leibniz der Mathematik eine Sonderstellung ein. Unabhängig von Newton und von einem anderen Ausgangspunkt her schuf er die Differential- und Integralrechnung. Große Anstrengungen widmete er der Ausbildung und Vervollständigung der mathematischen Zeichen- und Begriffssprache.
Seine Erkenntnisse vom Wert des Dualsystems flossen mit in das mathematische und technische Fundament der heutigen elektronischen Rechenautomaten ein.

Dass ein Universalgelehrter wie Leibniz bemüht war, das mechanische Rechnen voranzutreiben, spricht für die Erwartungen, die er an die Rechenmaschine knüpfte. Leibniz sah die Wissenschaft nie als Selbstzweck an. Davon zeugen viele eigene Aussprüche.
Er sagte: "Sooft ich etwas Neues lerne, so überlege ich sogleich, ob nicht etwas für das Leben daraus geschöpft werden könne."
"... menschliches Wissen dem Leben nützlich" zu machen war ein Grundsatz, von dem er nicht abwich.

Im Jahre 1700 begründete Gottfried Wilhelm Leibniz - einer der Männer, die nach den Worten von Friedrich Engels mitten in der Zeitbewegung, im praktischen Kampf lebten und webten, für den Fortschritt Partei ergriffen und damit einer neuen Gesellschaft den Boden vorbereiteten - in Berlin die Akademie der Wissenschaften.
In seiner Denkschrift zu dieser "Societa scientiarum et artium" forderte er eine enge Verbindung von Theorie und Praxis, lehnte "bloße Curiosität oder Wissenbegierde und unfruchtbare Experimente" ab und verlangte, das Werk samt der Wissenschaft von Anfang an auf den Nutzen zu richten.

3.5 Von Ph. M. Hahn bis Charles Thomas

Nach Leibniz rissen die Versuche, Rechenmaschinen zu bauen, jäh ab. Im Jahre 1709 bastelte ein Marchese Giovanni Poleni aus Padua an einer Sprossenradmaschine, kam aber damit nicht sonderlich zurecht. So endete die erste Etappe der Bemühungen, das aufwendige Rechnen zu mechanisieren, ziemlich sang- und klanglos.



Rechenmaschine von Hahn, von Schuster zwischen 1789 und 1792 gebaut

Neu belebt wurden diese Absichten und Pläne erst wieder um 1820 von dem Franzosen Charles Thomas. Die lange Pause unterbrach nur der württembergische Pfarrer Philipp

Matthäus Hahn (1739-1790), der mit dem Schweizer Mechaniker J. Ch. Schuster zusammenarbeitete und um 1775 mit einer Rechenmaschine hervortrat.

Seine Vier-Spezies-Maschine war nach dem Leibnizschen Vorbild mit Staffelwalzen ausgestattet. Mit der Handkurbel, die oben aus einer senkrechten Zylindertrommel herausragte, ähnelte sie einer Kaffeemühle. Die Deckplatte der Dose trug runde Ziffernplättchen, Stifte stellten die Verbindung zu dem Mechanismus her. Die Kurbel setzte die Walzen in Bewegung.

Eingerichtet war die Maschine für die vier Grundrechenarten bis zu einem zehnstelligen Endergebnis. Sie soll brauchbar gewesen sein, wurde aber nur in wenigen Exemplaren angefertigt.
In Deutschland war der territorialstaatliche Absolutismus des achtzehnten Jahrhunderts für Erfindungen im allgemeinen und für die Vervollkommnung der Rechenmaschine im besonderen ein denkbar ungeeigneter Nährboden.

Vor allem in Brandenburg-Preußen wurde die gesamte Wirtschaft den militärisch-staatlichen Interessen untergeordnet, und diese Interessen bestimmten ausschließlich die reaktionären und militaristischen Junker.

Ökonomische Grundlage blieb die auf Gütern und Leibeigenschaft basierende Landwirtschaft. Die wenigen Manufakturen dienten vorwiegend der persönlichen Bereicherung der Landesfürsten.
Eine sichere Existenz hatten nur die Gewerbezweige, die das Heer versorgten, der Kriegsrüstung nutzten und für den Adel Luxusartikel herstellten. Die feudalen Fesseln hemmten sowohl die Durchsetzung kapitalistischer Produktionsverhältnisse als auch die zügige Entwicklung von Wissenschaft und Technik.

Auf Frankreich lastete eine finanzielle Not katastrophalen Ausmaßes - Erbe des prunksüchtigen "Sonnenkönigs" Ludwig XIV.
Währungsspekulationen und schließlich als Folge des Siebenjährigen Krieges (1756-1763) der Niedergang als See- und Kolonialmacht erschütterten das Wirtschaftsleben.
Die Krise des feudalabsolutistischen Systems behinderte die freie Entfaltung schöpferischer Bestrebungen, bevor dann die bürgerlichen Kräfte erstarkten und in der Großen Französischen Revolution die alte gesellschaftliche Ordnung stürzten.

Günstiger war die Lage in England. Hier machte die industrielle Revolution schon seit Mitte des achtzehnten Jahrhunderts spürbare Fortschritte, die besonders in der Baumwollindustrie, der Metallurgie, im Maschinenbau und im Verkehrswesen sichtbar wurden. Doch die Erfindungen konzentrierten sich zunächst auf die materielle Produktion. Hilfsmittel wie Rechenmaschinen wurden dafür nicht so dringend benötigt und standen nicht im Vordergrund.
Aus mathematischer Sicht betrachtet war die Stagnation eigentlich verwunderlich, denn das 18. Jahrhundert und die erste Hälfte des 19. Jahrhunderts haben zahlreiche bedeutende Mathematiker hervorgebracht. die diese Wissenschaft durch grundlegende Erkenntnisse bereicherten.

Zu ihnen gehörten u. a. Johann Bernoulli (1667-1748), David Bernoulli (1700-1782), Leonhard Euler (1707-1783), Brook Taylor (1685-1731), Moreau Maupertuis (1698-1759), Johann Heinrich Lambert (1728-1777), Joseph-Louis Lagrange (1736-1813), Gaspard Monge (1746-1818), Adrian-Marie Legendre (1752-1833), Jean Baptiste Joseph de Fourier (1768-1830), Janos Bolyai (1802-1860), Nikolai Iwanowitsch Lobatschewski (1792-1856), Carl Friedrich Gauß (1777-1855), Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846), Augustin-Louis Cauchy (1789-1857), Jakob Steiner (1796-1863), Niels Henrik Abel (1802-1829), Peter Gustav Lejeune Dirichlet (1805-1859), Evariste Galois (1811-1832), Pafnuti Lwowitsch Tschebyschew (1821-1894), Bernhard Riemann (1826-1866), Leopold Kronecker (1823-1891), Karl Weierstraß (1815-1897).

Die Mathematik durchbrach einengende Grenzen, drang zu neuen Theorien vor und eroberte sich neue Anwendungsgebiete.
Das alles war mehr oder weniger mit der Ausführung von komplizierten und langwierigen Rechenoperationen verbunden, die geistige Kraft und viel Zeit kosteten. Ein Beispiel dafür führte Leonhard Euler in seinem Vorwort zur "Theorie des Mondes" an:

"Sooft ich auch im Verlaufe von 40 Jahren versuchte, eine Theorie des Mondes zu entwickeln und auf der Grundlage des Gravitationsgesetzes seine Bewegung zu bestimmen, so entstanden doch immer wieder solche Schwierigkeiten, dass ich die Arbeit und die weiteren Untersuchungen abbrechen musste.
Eine genaue und vollkommene Kenntnis der Mondbewegung, auf deren Grundlage es möglich wäre, astronomische Tabellen aufzustellen, die am genauesten mit der Wahrheit übereinstimmen, ist mit solchen Schwierigkeiten verbunden, dass es die Kraft des menschlichen Geistes überschreitet ... Zweifelsohne führt die Hauptschwierigkeit auf die Lösung der bekannten Aufgabe des Dreikörperproblems."

Euler, der ein ausgezeichneter, disziplinierter und äußerst schneller Rechner war, hat diese Aufgabe schließlich näherungsweise gelöst. Aber mit welchem Einsatz! Seine Berechnungen füllten etwa 500 großformatige Papierbogen.

Rechenmaschine von Thomas

Die vorhandenen Tabellen und Rechenschieber entsprachen, so nützlich sie waren, nicht mehr den Bedürfnissen und Anforderungen der Wissenschaft. Und eine geeignete Rechenmaschine, die den Gelehrten die beschwerlichen Routinearbeiten hätte erleichtern können, existierte noch nicht.

Charles Xavier Thomas (1785-1870), der sich auch Carl Thomas und nach seiner ostfranzösischen Heimatstadt Colmar Thomas aus Colmar nannte, dachte nicht im entferntesten an die Belange der Mathematik und der anderen Wissenschaften, als er daranging, eine Rechenmaschinenproduktion großen Stils aufzuziehen.
Er war Gründer und Chef zweier Versicherungsgesellschaften in Paris und beschäftigte eine große Anzahl Rechner. Der Lohn, den er ihnen zahlen musste, schmälerte seinen Profit.

Nicht gewillt, diesen, wie er meinte, finanziellen Verlust länger hinzunehmen, entschloss er sich, einen Teil der Rechner durch Rechenmaschinen zu ersetzen. Kapitalistische Anschauungen und Grundsätze waren die Triebfeder seines Handelns. Er rechnete aus Berechnung, ohne Rücksicht darauf, dass viele seiner Büroangestellten dadurch ihren Arbeitsplatz verloren.

Die Vorgänge in den Pariser Versicherungshäusern waren ein Beispiel dafür, wie im Kapitalismus der technische Fortschritt stets zu Lasten der elementaren Lebensinteressen der werktätigen Menschen vorangetrieben wird. Diese für die kapitalistische Produktionsweise charakteristische Erscheinung hat den arbeitenden Klassen, trotz mancher erkämpfter sozialer Fortschritte, bis auf den heutigen Tag immer wieder eine kaum fassbare Fülle von Elend, Not und sozialer Ausweglosigkeit gebracht.
Diese Feststellung ändert jedoch nichts daran, dass die Rechenmaschinen des Charles Thomas unbeschadet der sozialen Folgen durchaus eine bedeutende Errungenschaft darstellten. Sie übertrumpften alle bisherigen Modelle und bewährten sich gut.

Mit den Staffelwalzen war das von Leibniz erfundene Konstruktionsprinzip noch zu erkennen, aber die Präzision und damit die Funktions- und Leistungsfähigkeit unterschied sich von den Exponaten des 17. Jahrhunderts erheblich. Das erste Arithmometer von Thomas vom Jahre 1820 multiplizierte zwei achtstellige Zahlen in 18 Sekunden, für die Division einer sechzehnstelligen Zahl durch eine achtstellige Zahl brauchte es 24 Sekunden. Durch weitere technische Verbesserungen wurde das Fassungsvermögen der Maschine ständig erweitert und ihre Rechengeschwindigkeit erhöht.

Arithmometer produzierte Charles Thomas über den eigenen Bedarf hinaus fabrikmäßig. Die jährliche Fertigungszahl steigerte sich von 15 auf 100. Insgesamt wurden in seinen Werkstätten etwa 1500 Rechenmaschinen gebaut.

3.6 Charles Babbage

War Charles Babbage wirklich der "fool" (Narr), als der er in der englischen Öffentlichkeit verspottet wurde?
Hatte er tatsächlich die "fooly" (Narrheit) im Sinn, die man ihm nachsagte? Zugegeben: Mit zunehmendem Alter überschritt seine störrische Eigenbrötelei, von dauernden Fehlschlägen geschürt, manchmal die Grenzen des Erträglichen. In seiner "fooly" steckten Ideen, die erst viel später, Mitte des 20. Jahrhunderts, technisch realisiert wurden.

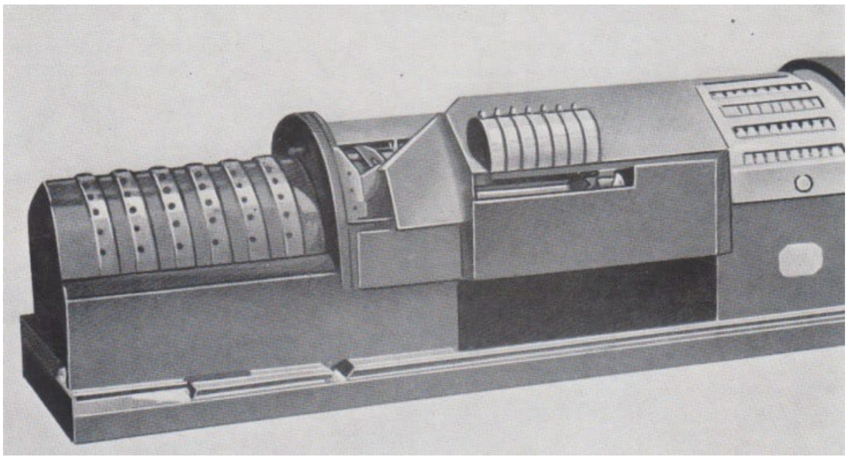
Begonnen hatte er sein gescheitertes Lebenswerk mit Energie und Zuversicht. Charles Babbage (1792-1871), Sohn eines Bankiers, war Ingenieur und als Dekan und Inhaber des Lehrstuhls für Mathematik an der Universität Cambridge ein Nachfolger Newtons. Zu dem Projekt, eine programmgesteuerte Rechenmaschine zu bauen, kam er durch seine Unzufriedenheit mit den Logarithmentafeln. Sie enthielten Fehler, Babbage wollte sie neu herausgeben.

Bei diesen Untersuchungen stieß er auf die programmierten Rechenpläne des Franzosen Gaspard C. F. Prony (1755-1839), die die Rechenoperationen so vereinfachten, dass sie statt von Mathematikern von Hilfskräften ausgeführt werden konnten.
Das mathematische Prinzip der Abarbeitung eines Programms hatte der französische Seidenweber Joseph Marie Jacquard (1752-1834) nach Vorarbeiten von B. Bouchon, M. Falcon und Vaucanson auf die Technik übertragen und den von Edmund Cartwright im Jahre 1785 erfundenen Webstuhl mit einer Steueranlage ausgerüstet, die den zu webenden Stoff nach einem vorbereiteten Programm mit einem Muster versah.

Zu diesem Zweck verwendete Jacquard verschieden gelochte Karten. Scharfspitzige Nadeln tasteten die Karten ab, die Lochung steuerte die Arbeitsgänge des Webstuhls, die Codierung auf den Karten verwandelte sich in die gewünschte Musterung.
Die von Jacquard im Jahre 1805 eingeführte Steuerungsmethode wurde bald populär. Es zeigte sich, dass Lochkarten und Lochstreifen sich nicht nur für Maschinen eigneten, sondern auch für Geräte, die nicht der Produktion dienten, so für Telegrafeneinrichtungen und Musikapparate.

Eine Rechenmaschine, die durch Lochkarten so gesteuert wird, dass sie selbsttätig rechnet - dieser Gedanke ließ Charles Babbage, nachdem er alle Unterlagen geprüft und alle Möglichkeiten erwogen hatte, sein Leben lang nicht mehr los.
Die Chancen, ihn zu verwirklichen, schienen zunächst günstig. Im Jahre 1822 baute er ein Anschauungsmodell und erläuterte es in der Royal Society, wo 150 Jahre zuvor, 1673 mit Leibniz, die erfolgreiche Premiere einer anderen Rechenmaschine stattgefunden hatte.

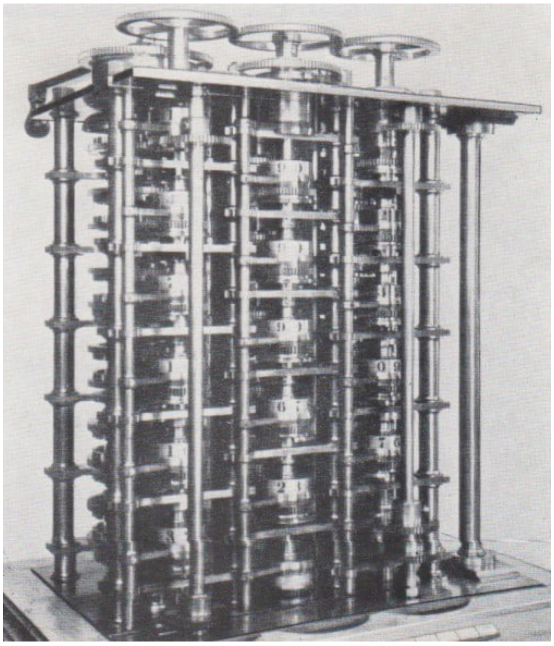
Babbage hatte Fürsprecher und Mitstreiter. In der höchsten wissenschaftlichen Institution Englands war man von seinem Vorhaben sehr angetan. Das drückte sich neben ermutigenden Urteilen vor allem in der finanziellen Unterstützung aus, die ihm ohne Zögern zugebilligt wurde.
Aller materiellen Sorgen ledig, widmete sich Babbage nun ganz der Konstruktion seiner "Difference Engine". Diese "Differenzmaschine" sollte vorbereitete Rechenoperationen mechanisch, ohne menschliches Eingreifen, mit Hilfe gestanzter Karten bewältigen. Die Idee nahm Gestalt an, doch Babbage gelang es nicht, die Maschine zur ersehnten vollen Funktionstüchtigkeit zu bringen.
Fast zwei Jahrzehnte plagte sich Babbage, er unterbrach die Versuche und begann sie von neuem. In der Royal Society schwand das Interesse, die Zuschüsse versiegten.



Difference Engine von Babbage

Als gescheiterter Erfinder stand der Universitätsprofessor allein da.
Gescheitert? Mochte ganz England es meinen, Babbage glaubte an seine Fähigkeiten und an sein Ziel, das er sich selbst gestellt hatte. Er verzichtete auf die "Difference Engine" und vertiefte sich mit Verbissenheit in eine noch schwierigere Aufgabe:
die Entwicklung einer "Analytical Engine", einer "analytischen Maschine", die in ihrer Konzeption den Rechenautomaten des 20. Jahrhunderts ähnelte.

Babbage gliederte sie in drei Hauptteile - in einen aus Zählwerken bestehenden Speicher zur Aufnahme der Zahlen, in die "Fabrik" zur Ausführung der Rechenoperationen und in einen Mechanismus, der die Operationen zu regeln und die Rechenergebnisse anzuzeigen hatte. Zur Steuerung waren wiederum Lochkarten vorgesehen.
Die Vorstellungen, die Babbage von seiner "Analytical Engine" hatte, waren recht konkret. Den Speicher berechnete er für eine Aufnahme von 1000 fünfzigstelligen Zahlen. Pro Minute schwebten ihm theoretisch folgende Rechenoperationen vor: 60 Additionen oder eine Multiplikation von zwei fünfzigstelligen Zahlen oder eine Division einer hundertstelligen Zahl durch eine fünfzigstellige Zahl.



Analytical Engine von Babbage

In seinem Eifer ging Babbage so weit, dass er schon die Einsatzgebiete seines Rechenautomaten bestimmte: die Berechnung neuer mathematischer und ozeanologischer Tabellen, die Berichtigung der Logarithmentafeln, die Überprüfung astronomischer Daten, statistische Erhebungen.

Doch was nützte all die kühne Phantasie, wenn die praktischen Voraussetzungen zur Realisierung fehlten. Die mechanischen Elemente, die Babbage zur Verfügung hatte, waren zu primitiv, um die Maschine zum Leben zu erwecken.

So trat ein, was Babbage hartnäckig leugnete: Er war gescheitert.
Lady Lovelace, Tochter des Dichters George Gordon Byron, schrieb für eine Anthologie unter dem Titel "Analytische Maschinen von Babbage" einen begeisterten Essay, der aber keinen Leser zu begeistern vermochte.
England lachte über Charles Babbage und verspottete ihn als "fool". Die Gelehrten mieden ihn, Bürger seines Standes wandten sich von ihm ab.

Das ertrug Babbage nicht. Durch seine Erfindung hatte er alles gewinnen wollen und alles verloren - sein Ansehen, seinen Ruf, seine physische und psychische Kraft, sein Privatvermögen von 250000 Pfund Sterling. Verbitterung und Einsamkeit überschatteten seine letzten Lebensjahre. Seinen Tod nahm niemand zur Kenntnis.

Ohne nennenswerten Erfolg experimentierte sein Sohn mit der "Analytical Engine" noch etwas weiter. Ende des 19. Jahrhunderts beschäftigte sich, gleichfalls ohne Ergebnis, der Franzose Léon Bollée mit einem Rechenautomaten.

Und dennoch: Trotz aller Fehlschläge, die der Erfinder gehabt hat, ist es falsch, von "Babbages fool" zu sprechen. Die der Zeit vorauseilenden Ideen von Charles Babbage sind in den Computern doch noch Wirklichkeit geworden - fast ein Jahrhundert nach ihm wurde die programmgesteuerte Rechenmaschine gebaut.

3.7 Rechnende Räder

Im Jahre 1845 veröffentlichte der Russe F. Slonimski unter dem Titel "Beschreibung eines neuen Recheninstruments" in Petersburg ein Buch, in dem er eine von ihm erfundene Rechenmaschine erläuterte. Diese Maschine sollte in der Lage sein, mit siebenstelligen Zahlen zu operieren und sogar das Radizieren zu bewältigen. Die Konstruktion rief zunächst Aufsehen hervor, erwies sich dann aber für den praktischen Gebrauch als ungeeignet.

Ein ähnliches Schicksal erlitt das "Rechenbrett mit mechanisierter Multiplikation und Division", für das ein Rechnungsführer namens F. W. Jeserski 1872 ein Patent zuerkannt bekommen hatte.
An den zahlreichen Versuchen, das Rechnen zu mechanisieren, beteiligte sich auch der russische Mathematiker Wiktor Jakowlewitsch Bunjakowski (1804-1889), der 1839 ein "Lexikon der reinen und angewandten Mathematik" herausgegeben hatte. Er baute einen für mehrfache Addition und Subtraktion bestimmten "Selbstrechner", den er mit Ziffernrädern ausstattete. Später kündigte Bunjakowski ein Rechenbrett mit automati-

scher Zehnerübertragung an.

Von diesem Projekt hat man nichts mehr gehört. Sicher aber ist, dass Bunjakowski, der an der Petersburger Universität Mathematik lehrte, mit seinen Gedanken über Rechenmaschinen einen seiner jüngeren Kollegen und Freunde beeinflusst hat - Pafnuti Lwowitsch Tschebyschew (1821-1894).

Tschebyschew war ein vielseitiger Gelehrter. Er begründete in Petersburg eine "Mathematische Schule", arbeitete auf dem Gebiet der Integralrechnung und der Wahrscheinlichkeitsrechnung, beschäftigte sich mit den Primzahlen und der Theorie der Kongruenzen und gab Regeln zur Berechnung des Schiffsraumes an. Über die Mathematik hinaus interessierte er sich für physikalische und technische Probleme, mit denen er sich nicht nur im Studierzimmer, sondern oft in den Produktionsstätten vertraut machte. Als geschickter Bastler stellte er allerlei Experimente an.

Bei seinen Fähigkeiten und seiner Freundschaft mit W. J. Bunjakowski war seine Hinwendung zu den Rechenmaschinen nur eine Frage der Zeit. Tschebyschew überstürzte nichts, Ideen und Pläne ließ er reifen. Diese Auffassung bewahrte ihn vor Fehlschlägen. Das Arithmometer, mit dem er im Jahre 1878 hervortrat, war bis in alle Einzelheiten durchkonstruiert und voll funktionstüchtig.

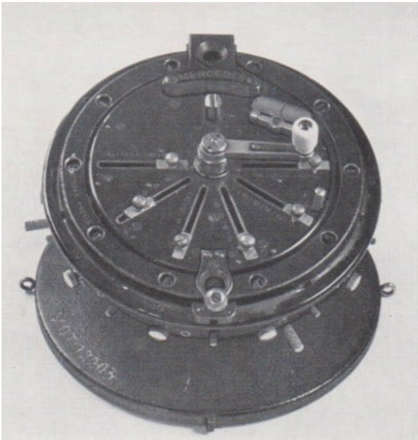
Diese Präzision überraschte bei einem Erfinder seines Wesens nicht. Was die Spezialisten erstaunte, war das technische Prinzip.
Tschebyschew begnügte sich nicht mit der bisher üblichen Zehnerübertragung von einer Stufe zur anderen, er gestaltete die Übertragung gleitend. Ermöglicht wurde das durch die Kopplung der Ziffernräder im Rechenwerk. Wenn sich zum Beispiel das Zahnrad der Einergruppe einmal drehte, führte das Zahnrad der Zehnergruppe eine Zehntel Umdrehung aus. Dadurch wurden Sprünge vermieden.
Zehn Ziffernräder gewährleisteten Rechenoperationen bis zu einem Endresultat von 9999999999.

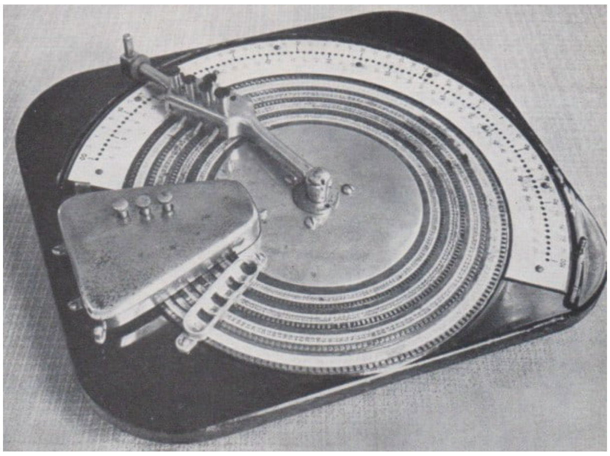
Tschebyschew hatte nicht den Ehrgeiz, andere Konstrukteure unbedingt zu überflügeln. Mit seiner ersten Maschine von 1878 konnte man nur addieren und subtrahieren. Zur Multiplikation und Division vervollkommnete er sie erst nach und nach.

Im ökonomisch rückständigen zaristischen Russland sah Tschebyschew offenbar nur geringe Chancen für die industrielle Fertigung seiner Maschine. Das erste Modell schickte er nach Frankreich, wo es bei Wissenschaftlern und Ingenieuren, die auf diesem Gebiet arbeiteten, sofort Aufmerksamkeit erregte. Besonders Léon Bollée, der selbst Versuche unternahm, sorgte dafür, dass das Arithmometer aus Petersburg gebührend gewürdigt und popularisiert wurde.

Bollée war es auch, der die Streitfrage entschied, wer das System der gleitenden Zehnerübertragung, das dann in Rechenmaschinen verschiedener Typen angewandt wurde, zuerst erfunden habe, Tschebyschew oder der deutsche Mathematik- und Astronomieprofessor Selling aus Würzburg.
Beide Wissenschaftler strebten, unabhängig voneinander, dasselbe an und kamen zu ganz ähnlichen Lösungen - Tschebyschew erreichte das Ziel als erster.

Die Bestrebungen, Rechenmaschinen zu bauen, konzentrierten sich in Russland in Petersburg. Hier entwickelte kurz vor Tschebyschew der aus Schweden stammende Ingenieur W. T. Odhner (1845-1905) ebenfalls ein Arithmometer, das sich von dem Entwurf des Mathematikprofessors durch eine ganz andere Konstruktion und Arbeitsweise unterschied.





Rechenmaschinen "Mercedes"und "Summus"

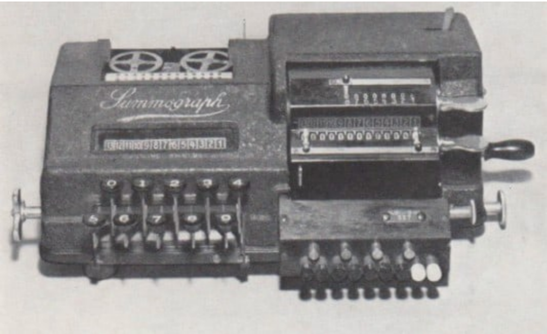
Es handelte sich um eine Sprossenradmaschine, bei der durch das Einstellen der Ziffern bestimmt wurde, wieviel der herausrückbaren Zähne des Odhnerschen Zahnrades für die Rechenoperation in Aktion zu treten hatten. Dieses Prinzip garantierte Einfachheit und Zuverlässigkeit.

Das Rechnen mit diesem Arithmometer beschrieb eine Enzyklopädie von 1890:

"Zu addieren seien die Zahlen 75384, 6278, und 9507. Zunächst bringt man die Kurbel in die Anfangsstellung, so dass an jedem Fenster eine 0 erscheint. Dann stellt man mit den Hebeln die Zahl 75384 ein und dreht die Kurbel einmal in Plusrichtung durch.
Dasselbe geschieht mit der Zahl 6278, nur dass die Kurbel jetzt zweimal in der gleichen Richtung gedreht wird. Schließlich folgt die Zahl 9507, und die Kurbel ist noch einmal zu betätigen. Jetzt kann man an den Fenstern die gesuchte Summe ablesen - die Zahl 97447.
Die Angabe der Kurbelumdrehungen erscheint in den kleinen Fenstern, also 4.

Es sei nun die Zahl 49563 mit 24 zu multiplizieren. Weil jede Multiplikation als wiederholte Addition aufgefasst werden kann, lässt sich diese Aufgabe dadurch lösen, dass man die Zahl 49563 genau 24 mal addiert.
Dies geht so vor sich, dass man zunächst die Zahl 49563 einstellt und dann 24 Kurbelumdrehungen in Plusrichtung ausführt. Durch Verschieben des Kastens (beweglicher Teil des Arithmometers) lässt sich die Zahl der Umdrehungen auf $2 + 4 = 6$ beschränken. Nach vier Umdrehungen wird der Kasten um eine Stelle nach rechts verschoben, und danach werden noch zwei weitere Umdrehungen vollzogen. Dabei zeigen die großen Fenster das Resultat - 1189512 - und die kleinen den Multiplikator - 24 - an.

Man kann leicht erraten, dass bei der Subtraktion die Kurbel in umgekehrter Richtung - also in Minusrichtung - gedreht werden muss. Die Division ist eine wiederholte Subtraktion, die sich ähnlich abkürzen lässt wie die oben beschriebene Multiplikation."



Rechenmaschine "Summograph", Montagesaal für Bürorechenmaschinen

Odhner hat das Arithmometer von Charles Thomas gekannt, es aber nicht als Vorbild betrachtet. Er schlug eigene Wege ein, erfand das für seine Maschine typische Sprossenrad und baute ein völlig neuartiges Modell.

Die Versuche kosteten viel Geld. Odhner war gezwungen, das Nutzungsrecht an die in Petersburg ansässige deutsche Firma Königsberger & Co. abzutreten, die die Rechenmaschinen sowohl in Russland als auch im Ausland verkaufte und ein gutes Geschäft damit machte.
Später lösten die Partner den Vertrag wieder. Odhner richtete sich eine eigene Werkstatt ein und verbesserte sein Arithmometer, ohne das Grundprinzip zu verändern. Die kapitalistische Konjunktur nutzend, verfügte er Ende des 19. Jahrhunderts über eine Fabrik mit über 200 Arbeitern, in der Rechenmaschinen serienweise produziert wurden.

Auf der Weltausstellung des Jahres 1900 in Paris und auf einer Ausstellung im Jahre 1903 in Chikago wurde das von W. T. Odhner erfundene Arithmometer mit einer Goldmedaille ausgezeichnet.

3.8 Hermann Hollerith

Die pfälzische Stadt Speyer hatte nach den revolutionären Ereignissen von 1848/49 keinen Platz mehr für den Demokraten und Gymnasialprofessor Hollerith. Er war nicht bereit, die Ziele zu vergessen oder gar zu verraten, für die er während der Revolution eingetreten war, und sich den Forderungen der wiedererstarkten Reaktion stillschweigend anzupassen. So zwangen ihn die politischen Verhältnisse, seine Heimat zu verlassen und nach Amerika auszuwandern.

Für seinen im Jahre 1860 geborenen Sohn Hermann wurden die USA zur Heimat. Hier fand die industrielle Revolution ihren Abschluss. Die Rohstofferzeugung und die Maschinenbauproduktion erhöhten sich beträchtlich und drangen in der Weltstatistik zur Spitze vor.
Das waren für einen begabten jungen Ingenieur günstige Voraussetzungen. Trotzdem wäre Hermann Hollerith unbekannt geblieben, hätte er sich nicht durch eine bedeutende Erfindung einen Namen gemacht: die Lochkartentechnik.

Erfindung? Gebührte dieser Ruhm nicht dem französischen Seidenweber Jacquard, der als erster einen Webstuhl mit einer Lochkartensteuerung ausgerüstet hatte? Und hatte

nicht der englische Mathematikprofessor Babbage lange vor dem Deutschamerikaner Hermann Hollerith mit Lochkarten als Zahlenträger experimentiert ?
Das stimmte. Und dennoch ermöglichte erst Hollerith dieser Technik den entscheidenden Durchbruch zu einer breiten Anwendung.

Das ärgste Hemmnis für die Lochkarten war die rein mechanische Arbeitsweise gewesen. Diesen Nachteil merzte Hermann Hollerith aus, indem er sich der Schwachstromtechnik bediente und seine Konstruktion auf eine elektromechanische Grundlage stellte.

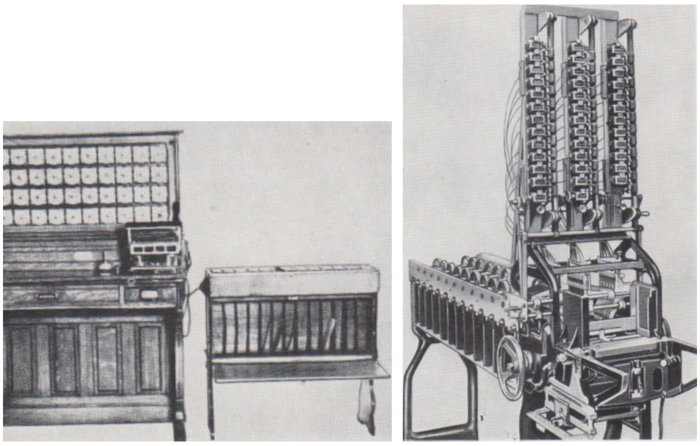
Jacquard-Webstuhl

Er ersetzte die Spitzen, die die Lochkarten abtasteten, durch elastische Bürsten aus dünnen Drähten. Sobald Löcher an den Bürsten entlangglitten, wurden Stromkreise geschlossen. Elektrische Impulse übertrugen die auf den Lochkarten codierten Zahlen auf die Zahnräder des Rechenwerks.

Die Rechenoperationen, die nach dieser Methode durchführbar waren, bestanden in Additionen, im Summieren und im Registrieren von Zahlen. Für die Auswertung der amerikanischen Volkszählung im Jahre 1890 war das ideal. Das Zusammenfassen der Einzelergebnisse aus allen Teilen des riesigen Landes hatte früher sieben Jahre in Anspruch genommen, mit Hilfe der Lochkartenmaschinen des Ingenieurs Hollerith dauerte es nur noch ein Jahr und war außerdem billiger.
Die enorme Zeitverkürzung ließ nicht nur in den USA aufhorchen. Die Kunde von dem elektromechanischen Lochkarten-Verfahren verbreitete sich schnell. Der Erfolg spornte den Erfinder an, sich neuen Konstruktionen zuzuwenden.

Die von Hermann Hollerith entworfenen und gebauten Tabellier- und Sortiermaschinen waren keine Rechenmaschinen im bisherigen Sinne. Mit ihrer sperrig-eckigen Unförmigkeit hatten sie mit den vergleichsweise handlichen Modellen der Staffelwalzen- und der Sprossenrad-Typen nichts gemein.

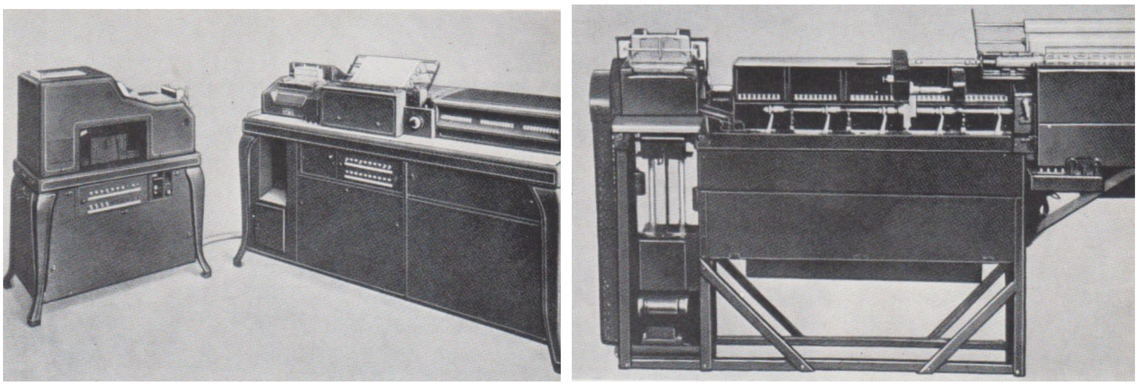
Die Lochkarten- und die Elektrotechnik, die für sie, durch Zahnräder und andere mechanische Bauteile komplettiert, die entscheidenden Komponenten waren, bedingten diese spezielle Struktur.
Nur in Verbindung mit der Elektrizität konnten die Lochkarten für die Rechentechnik voll genutzt werden. Deshalb geriet auch ein anderer Erfinder namens Powers, dessen Verfahren auf rein mechanischen Prinzipien beruhte, in Holleriths Schatten.



Hollerith Sortier- und Tabelliermaschine

Hermann Hollerith starb 1929. Einen Teil des Siegeszuges des nach ihm benannten. Systems und der von ihm geschaffenen Maschinen erlebte er noch mit.
Lochkartenmaschinen verschiedener Art - darunter Addiermaschinen, Sortiermaschinen, Tabelliermaschinen, Kartendoppler und Rechenlocher - wurden nach und nach für die Wirtschaft und Verwaltung unentbehrlich. Technische Vervollkommnungen steigerten ihre Leistung und ihre Arbeitsgeschwindigkeit immer mehr.

Durch ihre vielseitige Verwendbarkeit und durch die Möglichkeit, manuelle und geistige Arbeitsgänge zu mechanisieren, wuchsen die Lochkartenmaschinen über ihre ursprüngliche Aufgabe, zu zählen und zu rechnen, allmählich hinaus, sie bekamen auf ihren Anwendungsgebieten einen fast universellen Charakter.



Tabelliermaschine mit Blockdruckwerk

Die Bedeutung der Lochkarte, des aus ihr hervorgegangenen Lochstreifens und der Lochkartenmaschinen wird durch die Tatsache unterstrichen, dass sie durch die elektronischen Rechenautomaten, die die Rechentechnik revolutionierten, keineswegs überflüssig wurden. Sie bewahrten, teilweise auf elektronischer Basis, ihre Eigenständigkeit und bereicherten gleichzeitig die Computertechnik.

Lochkarten und Lochstreifen bewährten und bewähren sich als Informationsträger im Ein- und Ausgabewerk elektronischer Datenverarbeitungsanlagen. Lochkartenmaschinen lassen sich durch kleinere Elektronenrechner so ergänzen und kombinieren, dass sie mit diesen eine Einheit bilden, deren Leistungsfähigkeit auch höheren Ansprüchen gerecht wird.

Primitiv anmutende und doch schon gut funktionierende handwerklich gefertigte Lochkartenmaschinen aus der Zeit vor der letzten Jahrhundertwende und ihre industriell produzierten hochleistungsfähigen sachlich-formschönen Nachfolger der Gegenwart - das ist ein Unterschied wie zwischen altertümlichen Kutschautomobilen und modernen Limousinen und trotzdem nur Anfang und derzeitiger Endpunkt eines Entwicklungsprozesses.

Hermann Hollerith legte mit seinen zwischen 1882 und 1890 entstandenen ersten Sortier- und Tabelliermaschinen den Grundstein dazu. Die Bewegung, die seine Erfindung auslöste, und die rechentechnische Umwälzung, zu der sie beitrug, hat er in seinen kühnsten Träumen nicht ahnen können.

3.9 Erfüllte Hoffnungen

Kepler, Euler und viele andere Mathematiker und Astronomen haben sich, über endlose Zahlenkolonnen gebeugt, vorgestellt, wie erleichternd es wäre, hätten sie ein Gerät, das ihnen das aufwendige und ermüdende Rechnen abnehmen würde.
Um dieses Bedürfnis zu befriedigen, versuchte Wilhelm Schickardt schon im Jahre 1623, eine Rechenmaschine zu bauen. An weiteren Experimenten hat es nicht gefehlt. Gelöst wurden die Probleme aber erst im 19. Jahrhundert. Und erst etwa 300 Jahre nach Schickardt stand ein ausreichendes Angebot an Rechenmaschinen verschiedener Typen zur Verfügung.

300 Jahre - eine lange Zeit. Verglichen mit dem früheren Entwicklungstempo des Zählens und Rechnens, als sich die Prozesse des Werdens und Wachsens über viele Jahrhunderte und manchmal über Jahrtausende erstreckt hatten, aber nur eine kurze Etappe. Der größer werdende Bedarf und der technische Fortschritt regten den menschlichen Geist an, etwas Neues zu schaffen.

Bewährte technische Prinzipien überdauerten die letzte Jahrhundertwende: das Staffelwalzensystem, das Sprossenradsystem, das Lochkartensystem. Dazu kamen das Proportionshebelsystem und das Schaltklinkensystem.

Das waren die schalttechnischen Grundlagen der Rechenmaschinen. Durch die Vielzahl der Typen - insgesamt einige hundert - und die industrielle Serienfertigung wurden die Konstrukteure nun anonym. Zu erfinden im Sinne einer Neuschöpfung brauchten sie nichts mehr, sie hatten nur die Aufgabe, die vorhandenen Modelle zu verbessern und dem technischen Stand anzupassen.
Wenig war das allerdings nicht. Der Elektromotor ersetzte die Handkurbel, die Tastatur die Einstellhebel. Zusatzgeräte konnten anmontiert und in die Maschine eingegliedert werden.

Die technische Vervollständigung führte, in den kapitalistischen Ländern eng mit Werbe- und Verkaufsinteressen verbunden, zu der unkorrekten Behauptung, Rechenmaschinen dieser Art - sowohl - Addiermaschinen (Zwei-Spezies-Maschinen) als auch Multipliziermaschinen (Vier-Spezies-Maschinen) arbeiteten automatisch. So absolut traf das nicht zu.

Trotz weitgehender Mechanisierung war der Rechenablauf nicht völlig automatisiert. Selbsttätig erledigten die Maschinen nur die arithmetischen Rechenoperationen. In alles andere griff manuell und geistig der Mensch ein.

Der menschliche Rechner drückte die Ausgangszahlen in die Tastatur, betätigte Hebel zur Auslösung der Rechenoperation, notierte Zwischenergebnisse, entschied gegebenenfalls über die günstigste Lösungsvariante und hielt schließlich das Endresultat fest, wobei er ohne Papier und Bleistift nicht auskam.
Diese Bedingungen kennzeichneten die Möglichkeiten der mechanischen Rechenmaschinen, aber auch ihre Grenzen. Irrtümer und Fehler waren nicht auszuschließen, die Rechengeschwindigkeit hing nicht allein von der technischen Beschaffenheit ab, sondern in hohem Maße von den Fähigkeiten und Fertigkeiten desjenigen, der die Maschine bediente.
Verändern ließ sich die Reihenfolge des Rechenablaufs an den Tischrechenmaschinen nicht, sie war so perfekt, dass ihr Schema auf die programmgesteuerten Rechenautomaten übertragen wurde.

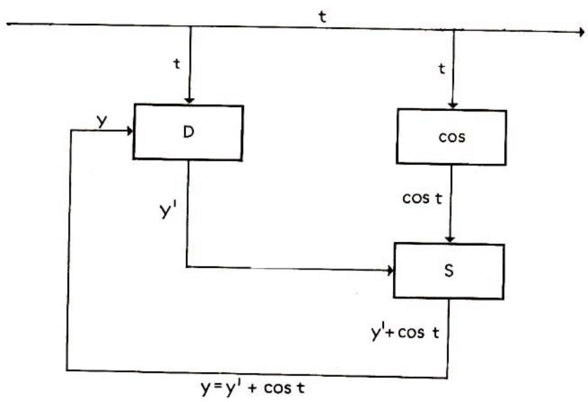
Für Ziffernrechenautomaten waren im ersten Drittel des 20. Jahrhunderts noch keine Voraussetzungen vorhanden. Die Erfinder beschäftigten sich vorwiegend mit einer anderen Gruppe von mathematischen Geräten, die nicht unmittelbar zu den Ahnen des Computers gehören: mit Analogrechengeräten, bei denen - wie beim Rechenschieber - die auftretenden mathematischen Größen durch ihnen analoge physikalische Größen dargestellt werden.
Diese Rechner verarbeiten, im Gegensatz zu den Digitalrechnern, keine diskreten Zahlen, sondern stetig veränderliche Größen. Daher werden bei den Analogrechnern nicht wie bei den Digitalrechnern alle Rechenoperationen auf die vier Grundrechenarten zurückgeführt, sondern neben Bauteilen, die als Summatoren und Multiplikatoren arbeiten, gibt es auch solche, die Funktionen erzeugen oder transformieren und Differentiationen oder Integrationen direkt ausführen können.
Das Ergebnis erhält man in Form eines Funktionsbildes, das z. B. durch ein Schreibgerät oder auf einem Oszillographen aufgezeichnet wird.

Man unterscheidet zwischen mechanischen bzw. elektromechanischen und elektronischen Analogrechengeräten, je nachdem von welcher Art die physikalischen Größen sind, mit deren Hilfe die auftretenden mathematischen Größen dargestellt und verarbeitet werden. Es ist keinesfalls so, dass etwa die mechanischen Geräte überholt sind; noch heute werden Linear-Planimeter (erfunden 1812) und Polarplanimeter (erfunden 1854) zur Integration, also zur Bestimmung der Maßzahlen von Flächen, eingesetzt.
Natürlich verfügen große Integrieranlagen (sog. Differentialanalysatoren) über elektrische Antriebe und über elektrische Bauteile.

Im Jahre 1876 fand William Thomson (Lord Kelvin of Largs, 1824-1907) das sog. Rückkopplungsprinzip; durch Zusammenschalten von verschiedenen Bauteilen zu einem System werden Relationen bzw. Abhängigkeiten zwischen Eingangsdaten und Ausgabewerten erkennbar.
Am Beispiel des Systems Mühlsteine-Korn lässt sich das Rückkopplungsprinzip folgen-

dermaßen erklären:

Die Anzahl der Umdrehungen der Mühlsteine wird geringer, wenn zuviel Korn einfließt; wird der Kornstrom geringer, so erhöht sich die Drehzahl der Mühlsteine. Schließlich spielen sich Kornstrom und Drehzahl der Mühlsteine aufeinander ein, d. h., schließlich erfolgt ein kontinuierlicher Zufluss des Korns bei gleichbleibender der Steine.
Oder denken wir an den Fliehkraftregler der Dampfmaschine von James Watt; bei zunehmender Dampfzufuhr erhöht sich die Drehgeschwindigkeit des Reglers, wodurch ein Überlaufventil geöffnet wird, durch das der überschüssige Dampf entweicht. Dadurch verringert sich die Drehgeschwindigkeit des Fliehkraftreglers, das Überlaufventil schließt sich wieder.



Die Differentialgleichung $y = y' + \cos t$

Betrachten wir ein Beispiel: Es sei die Differentialgleichung $y = y' + \cos t$ zu lösen (y und y' sind Funktionen von t). Wir brauchen einen Differentiationsblock D (zur Differentiation von y), einen Block zur Erzeugung der trigonometrischen Funktion $\cos t$ und einen Summator S. Wir erhalten das abgebildete Schema.
Wir haben ein in sich geschlossenes System; die Kurve der Spannungsänderungen beim Ausgang des Summators S gibt die Lösung der Differentialgleichung an.

Lord Kelvin erlebte nicht mehr, dass seiner großartigen Idee die ihr zukommende Anerkennung gezollt wurde.
In Deutschland wartete Udo Knorr im Jahre 1914 mit einem mechanischen Differentialanalysator auf, der sich zur Lösung von Bewegungs-Differentialgleichungen eignete. Verwendet wurde das Gerät u. a. zum Aufstellen von Fahrplänen der Eisenbahn.
Etwa gleichzeitig, vor dem ersten Weltkrieg, traten in Petersburg das Akademiemitglied A. N. Krylow (1863-1945) und der Mechaniker R. M. Wetzer mit mechanischen Addier-, Multiplizier- und Integrationsgetrieben hervor (1912).

Eine Neubelebung erfuhren diese Bestrebungen um 1925 durch Vannevar Bush in den USA. Seine Analogierechenmaschine (1931 vollendet) auf mechanischer Basis bedeutete gegenüber früheren Modellen einen Fortschritt.
Gemeinsam mit Caldwell vollendete er während des zweiten Weltkrieges ein weiteres Gerät, das u. a. 18 Integratoren, mehrere tausend Röhren und Relais und fast 150 Elektromotoren enthielt. In der UdSSR wurden die Entwicklungen ebenfalls fortgesetzt, hier sind die Namen I. S. Bruk (der sich später der Konstruktion von digitalen Kleinrechnern zuwandte - es seien die Rechner M 2 und M 3 erwähnt) und W. S. Lukjanow zu nennen.

Lukjanow hat sich besonders um Entwicklung und Anwendung von Hydrointegratoren verdient gemacht. Bei den Hydrointegratoren werden Flüssigkeiten als Materialien für die Modellierung verwendet.

In der BRD und der DDR wurden verschiedene mechanische Integrieranlagen entwickelt. Hier sind hervorzuheben: die Anlage IPM-Ott (gemeinsame Entwicklung des Institutes für praktische Mathematik in Darmstadt und der Firma Ott unter Leitung von Alwin Walther, Professor und Direktor des IPM) und die Entwicklung des Institutes für angewandte Mathematik der Friedrich-Schiller-Universität Jena (unter Leitung von Prof. Dr. Weinel).

Auch hier führte die Entwicklung zu den elektronischen Analogrechengeräten; diese sind schneller als die mechanischen bzw. elektromechanischen Geräte, doch ist ihre Genauigkeit geringer. An Hochschul- und Akademie-Instituten und in der Industrie vieler Länder wurden derartige Anlagen entwickelt.
In der DDR waren es u. a. die Technische Hochschule Ilmenau, die Technische Hochschule Dresden, das Institut für Regelungstechnik Berlin und der VEB Rechenelektronik Glashütte, die sich mit Erfolg um die Entwicklung elektronischer Analogrechner bemühten.

Nach diesen Zwischenbemerkungen über Analogrechner wollen wir uns wieder den Digitalrechnern zuwenden.

Jahrhundertealte Hoffnungen waren mit den mechanischen Tischrechenmaschinen erfüllt worden. Sie standen am Ende einer langen Entwicklung, krönten die geistigen und handwerklichen Anstrengungen berühmter Wissenschaftler und unbekannt gebliebener Mechaniker, schlossen Teilerfolge, Wünsche, Zweifel und Fehlschläge ein.

Was erreichbar war, schien erreicht zu sein. Doch die Anforderungen an das Rechnen stiegen weiter. Die Forschung, die Technik und die Industrie benötigten, um den Aufgaben der Zukunft gewachsen zu sein, Rechenmaschinen, die die zu bewältigenden Rechenoperationen in einem minimalen Zeitaufwand erledigten.

Das waren Vorstellungen, die scheinbar die Grenze des Utopischen berührten. Aber es gab Erfinder, für die sie, je länger sie sich mit den Problemen beschäftigten, zur Realität wurden. In ihren Ideen reiften Rechenautomaten heran, die, von Menschen gelenkt, den gesamten Rechenprozess selbständig und noch schneller durchführen sollten.

4 Rechnende Automaten

4.1 Überrundete Zeit

Kommt die mit bunten Kugeln bestückte gute alte Spielzeug-Rechenmaschine, die ihre Existenz in Mittel- und Westeuropa dem französischen Mathematiker Victor Poncelet verdankt, allmählich nun doch aus der Mode? Es sieht so aus, jedenfalls in den höheren Altersklassen.
Aber endgültig besiegelt ist das Schicksal des mit Drähten bespannten Rahmens, der so sehr an das Rechenbrett erinnert, keineswegs. Die Kinder besonders des Vorschulalters werden weiter mit diesem Gerät herumrasseln. Die älteren schenkten ihm sowieso nur noch wenig Beachtung, ihr letztes Interesse daran schwand in dem Augenblick, als der Spielzeugcomputer da war.

Computer als Spielzeug - das ist mehr als nur eine gewöhnliche Angebotsbereicherung. Es zeigt, dass die elektronischen Rechenautomaten allgemein Anerkennung gefunden haben und populär geworden sind. Erfindungen, die in der Spielwarenindustrie wiederkehren, sind auch von Laien akzeptiert. So war es bei der Dampfmaschine, bei der Eisenbahn, beim Automobil, beim Flugzeug, und jetzt ist es so beim Computer.

Der Spielzeugcomputer der Deutschen Demokratischen Republik stammt aus dem thüringischen Sonneberg und heißt "PIKO dat". Als Lernmaschine und Rechenautomat verwendbar, errang er schnell die Sympathie nicht nur der Kinder. Seine Handhabung erfordert von der Montage über das Verdrahten und das Prüfen bis zum Einsatz einige technische und theoretische Voraussetzungen, sie regt dazu an, sich Kenntnisse anzueignen, die mancher sonst erst später erwerben würde.
Diese Mühe, die bei dem immer vorhandenen Spieleffekt nicht als Belastung oder gar als Anstrengung empfunden wird, lohnt "PIKO dat", der äußerlich einem modernen Tischrechner ähnelt, recht vielfältig. Für die Rechentechnik gibt es einfache Programme in dezimaler und dualer Zahlendarstellung. In fasslicher Weise werden logische Entscheidungen und Operationen in den vier Grundrechenarten demonstriert.

Aber "PIKO dat" kann noch mehr. Er bewährt sich als Stellwerk einer Modelleisenbahn, kontrolliert die Bestandteile angegebener chemischer Verbindungen, veranschaulicht physikalische Gesetzmäßigkeiten und überwacht als Dispatcherzentrale eine aus einem elektronischen Modellbaukasten gebastelte Maschinenfließstraße. Als Lernmaschine testet er wie ein Quizmeister, doch unbeeinflusst von jeder Subjektivität, das

Wissen auf verschiedenen Gebieten; als Unterhaltungspartner liefert er Ideen für allerlei Spiele und regt knoblerische Fähigkeiten an.

Wer mit dem "PIKO dat" umzugehen versteht, darf von sich sagen, von den Elementarbegriffen der Kybernetik und der Datenverarbeitung und von den Funktionsprinzipien eines elektronischen Rechenautomaten eine Ahnung zu haben.
Das ist für den Anfang - und ein Spielzeug ist immer ein Anfang - nicht wenig. "PIKO dat" verkörpert, der historischen Linie folgend, eine höhere Stufe der Rechenhilfsmittel, aber er ist kein Konkurrent des Kugelrechengerätes, das fälschlicherweise Maschine genannt wird, und wird es nicht völlig verdrängen.

So ist denn die Befürchtung, ein traditionelles Spielzeug würde aussterben, unbegründet. Bedeutung hat dieser Aspekt aber insofern, als sich hierin die Technik und das der Technik nachgebildete Spielzeug unterscheiden. Veralteten Rechenautomaten, die, wesentlich jünger als das Rechenbrett, einmal einen hohen Rang gehabt haben, trauert niemand nach. Sie sind von der Entwicklung überholt worden.

Die ZUSE Z3, der ASCC (MARK I), die ZUSE Z4, der ENIAC, der EDSAC und andere Rechenautomaten, die im und kurz nach dem zweiten Weltkrieg entstanden, gelten längst als Veteranen und werden teilweise in Museen bestaunt, wobei zwei entgegengesetzte Extreme die meiste Verwunderung hervorrufen:
die kolossalen Ausmaße und die - nach heutigem Niveau - langsame, ja kriechende Operationsgeschwindigkeit. Den Besuchern ist zumute, als besichtigten sie ein technisches Kulturdenkmal wie etwa eine Wattsche Dampfmaschine.

Dieser Vergleich ist, so überspitzt er auch zu sein scheint, erklärlich. Im menschlichen Gedächtnis haften noch historische Daten, aus denen hervorgeht, welche Zeit benötigt wurde, bis eine Erfindung technisch ausgereift war. Die Entwicklung des Telefons nahm 56 Jahre in Anspruch, die des Elektromotors 65 Jahre. Das 20. Jahrhundert setzt da neue Maßstäbe - der Kernreaktor war in zehn Jahren, die Sonnenbatterie in zwei Jahren funktionsfähig.

Das enorm gesteigerte Entwicklungstempo bestimmen die Computer mit und liefern vielfach dessen Grundlage. In nicht mehr als einem Vierteljahrhundert traten sie in drei verschiedenen Generationen auf, das Werden weiterer Generationen zeichnet sich in deutlichen Konturen bereits ab.
Dieser Aufschwung führt selbst sachlich denkende Menschen zuweilen in Versuchung, an ein "Wunder der Technik" zu glauben; aber die Besinnung auf die Geschichte, die bei oberflächlicher Betrachtung leicht Zerrbilder vermittelt, holt sie in die Wirklichkeit zurück.

Leonhard Euler (1707-1783) wäre, als er sich mit der Bewegung des Mondes beschäftigte, glücklich gewesen, hätte er eine einfache mechanische Rechenmaschine besessen. Die Forscher der Gegenwart begnügen sich mit den Eulerschen Berechnungen nicht mehr.
Sie erobern den von der Erde 385000 Kilometer entfernten Himmelskörper selbst - mit den phantastisch-realen Mondmobilen vom Typ Lunochod, mit automatischen Statio-

nen, mit Raumschiffen. Und dazu brauchen sie neben anderen technischen Ausrüstungen Rechenautomaten, die imstande sind, jede einzelne Phase der Programme sicher und präzise zu steuern.

Die Computer sind für die Wissenschaftler im letzten Drittel unseres Jahrhunderts nichts anderes als das, was vor zweihundert Jahren für Euler eine Handrechenmaschine gewesen wäre: ein Werkzeug in der Hand und für das Hirn des Menschen. Geändert haben sich nur die wissenschaftlichen Aufgaben und mit ihnen die Hilfsmittel.

Doch der Einsatz der Computer erschöpft sich nicht in außergewöhnlichen Unternehmen. Sie haben ihren Platz auch und vor allem im Alltag - in der Industrie, in Versicherungen, im Handel, in Banken, in Verwaltungen, in Hochschulen und Universitäten, in Kundendienstrechenzentren, im Verkehrswesen. Elektronische Rechenanlagen lösen bisher ungelöste mathematische, naturwissenschaftliche und technische Probleme, ersetzen langwierige und kostspielige Versuchsreihen, steuern und regeln Produktionsprozesse.

Die Inder, die Griechen und andere Kulturvölker waren einst stolz darauf, mit großen Zahlen zu rechnen. Das können die Computer unvergleichlich besser und schneller. Ihre Rechengeschwindigkeit verkürzt sich auf zeitliche Bruchteile, die jenseits des Vorstellungsvermögens liegen. In technischen Details arbeiten die Konstrukteure mit Zeitintervallen, die eine ganz neue Skala erschließen, mit Mikrosekunden (Millionstel Sekunden) und Nanosekunden (Milliardstel Sekunden):

1 s = 1000 ms = 1000000 μs = 1000000000 ns, d. h.
1 ms = 10^{-3} s, 1 μs = 10^{-6} s, 1 ns = 10^{-9} s.

Ohne elektronische Rechenmaschinen ist die moderne Welt nicht mehr denkbar. Selbst Schulen - so die Heinrich-Hertz-Oberschule in der Hauptstadt der DDR, Berlin, eine Spezialschule für Mathematik - verfügen schon über Rechenstationen, die mit Geräten verschiedener Typen ausgestattet sind. An der Computermesse im Sommer 1969 in Moskau, die eine der größten ihrer Art war, beteiligten sich 600 Firmen aus 24 Ländern. Ein gutes Jahr danach wurden die Besucher der Moskauer Ausstellung "Schaffen der Jugend"von einem sprechenden Roboter begrüßt.

Sind Tatsachen wie diese eine Hymne auf Computer? Nein, wenn sie etwas preisen, dann nur die Leistungen der Menschen, die Computer entwickeln, bauen und beherrschen.

4.2 Die Ahnen

Die Entwicklung und Erprobung der ersten Großrechenmaschinen auf elektromechanischer und schließlich auf elektronischer Grundlage hätte ein Ereignis sein müssen. Mit ihnen begann in der Geschichte der Rechenhilfsmittel eine neue Ära.
Doch von der Spannung, die sonst von epochalen Erfindungen ausstrahlt, war kaum etwas zu spüren. Die Berichte, die aus dieser Periode überliefert sind, begnügen sich mit der Aufzählung der notwendigsten zeitlichen und technischen Daten.

Die der Ruhe vor dem Sturm vergleichbare Gelassenheit trügt. Wenn so wenig über die

Versuche an die Öffentlichkeit drang, dann deshalb, weil die kapitalistischen Konzerne danach trachteten, ihre Pläne und Projekte vor den Augen und Ohren der Konkurrenz zu hüten und bald danach der zweite Weltkrieg die Geheimhaltungsbestimmungen noch erheblich verschärfte.
Das Schweigen war kein Beweis dafür, dass nichts geschah, um alte Ideen in die Tat umzusetzen. Die beiden Rechenmaschinenmodelle von Charles Babbage, die im Science Museum in South Kensington bei London von den nicht realisierbaren Vorstellungen eines Phantasten zu künden schienen, wurden mehr beachtet, als man glaubte. In Stockholm gelang es, sie nach den Entwürfen des unglücklichen Erfinders nachzubauen und ihre Funktionsfähigkeit zu demonstrieren.

Unabhängig davon beschäftigten sich einige Wissenschaftler mit der Aufgabe, das maschinelle Rechnen, das durch die Mechanik, die Elektronik und die Lochkartentechnik schon einen relativ hohen Stand erreicht hatte, weiter zu vervollkommnen.

In Frankreich arbeitete der im Jahre 1902 geborene Mathematiker Louis Couffignal, der Dozent an einer Seefahrtsschule war Und 1939 im Pascal-Forschungsinstitut Paris ein Laboratorium für mechanisches Rechnen gründete, intensiv an theoretischen und praktischen Fragen von Rechenautomaten. 1936 wurde ihm ein Weltpatent für eine Rechenmaschine verliehen, von der man dann allerdings nichts mehr hörte.
Das bedeutete nicht, dass er gescheitert war.

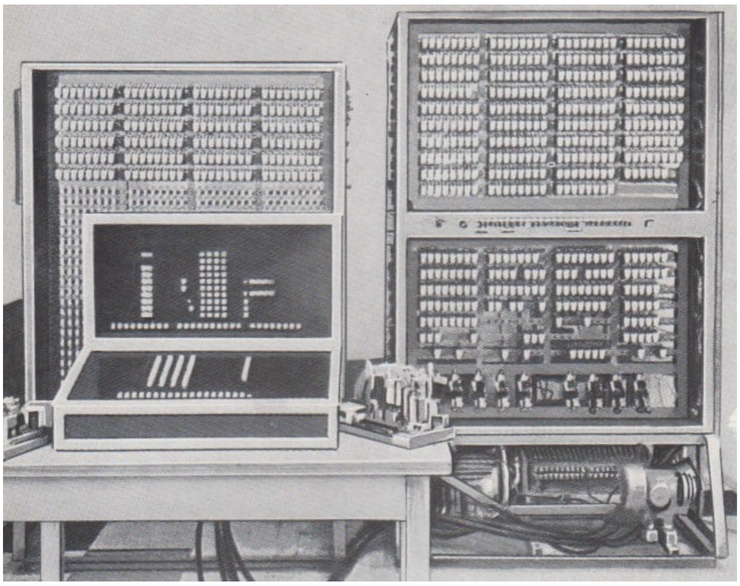
Couffignal trat besonders nach 1945 mit wissenschaftlichen Veröffentlichungen und eigenen Konstruktionen hervor und wurde Präsident der Internationalen Assoziation für Kybernetik. Er war einer der Wegbereiter der Computer.

Theoretische Erkenntnisse steuerte auch der englische Mathematiker A. M. Turing bei. Er wartete 1936 mit dem Modell einer nach ihm benannten Maschine auf, wobei er nicht den Ehrgeiz hatte, selbst ein Rechengerät zu schaffen. Turing nahm die Tätigkeit eines menschlichen Rechners als Ausgangsbasis und leitete daraus in seinem Modellschema die Funktionsprinzipien eines Rechenautomaten ab. Die technische Verwirklichung überließ er Ingenieuren.

Dramatische Züge hatten die Bestrebungen, programmgesteuerte Rechenautomaten zu bauen, teilweise in Deutschland: Aber das wurde erst später bekannt und ist im direkten wie im indirekten Sinn ein Kapitel für sich.

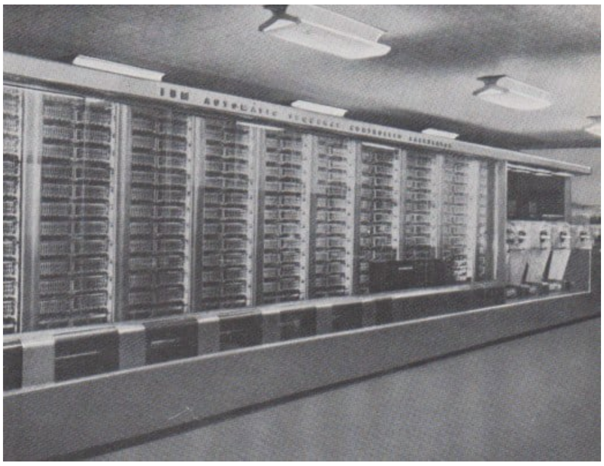
Die Geburtsstunde der Computer-Ahnen schlug eigentlich 1941 mit der Vollendung des ZUSE Z 3, des ersten programmgesteuerten Digitalrechners, über den noch besonders berichtet wird.

Der 7. August des Jahres 1944 war am Computation Laboratory der Harvard University Cambridge im US-Staat Massachusetts ein bedeutender Tag:
Der "Automatic Sequence Controlled Computer" (ASCC) - meistens MARK I genannt - war betriebsfähig. Über sechs Jahre hatte der amerikanische Mathematiker und Physiker Howard H. Aiken an diesem Projekt gearbeitet und dabei große Summen verbraucht, die vom IBM-Konzern (International Business Mashines) mit sicherer Witterung für künftige Geschäfte und Profite investiert worden waren.



Relais-Rechenanlage Z 3

MARK I war mit herkömmlichen Bauelementen ausgerüstet und hatte als Schaltorgane elektromechanische Relais. Erstaunen rief er vor allem durch seine Riesenhaftigkeit hervor. Er war 16 Meter lang und zweieinhalb Meter hoch. Seine mächtige schrankwandähnliche Vorderseite füllten die Schalter des Eingabewerkes, die Zähler des Rechenwerkes und die Lochstreifenabtaster des Kommandowerkes aus.



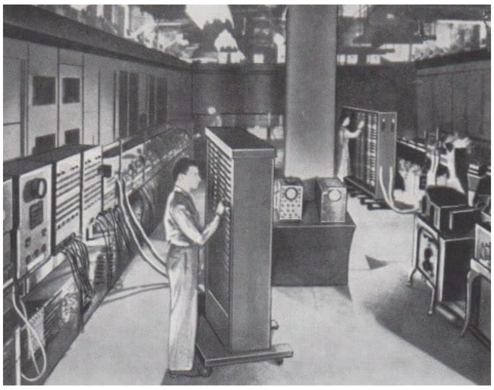
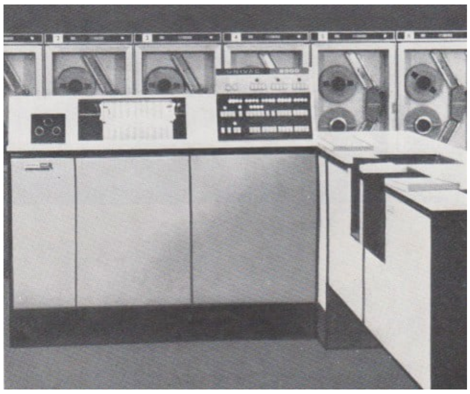
Elektronenrechenanlage MARK I

MARK I hatte keine Programmsteuerung. In seinem Innern wenden sich rund 1000 Kilometer Drähte, die an etwa zwei Millionen Kontaktpunkten die Teile miteinander verbanden. Das Steuerpult hatte fast 1500 Schalter in 60 Reihen.

Eine komplizierte Addition bewältigte die Mammutanlage in 0,3 Sekunden, eine Multiplikation durchschnittlich in sechs und eine Division in 20 Sekunden. Die Rechengeschwindigkeit wurde als schnell gerühmt.
Den MARK I setzte der Stab der amerikanischen Kriegsflotte für das Berechnen ballistischer Spezialaufgaben ein. Der Konstrukteur Howard H. Aiken ging daran, sein erstes Modell zu verbessern. Er brachte den elektromechanischen Rechenautomaten MARK II heraus.

Um die Entwicklung von Relaismaschinen bemühten sich auch die Bell-Telephone-Laboratories in New York. Nach kleineren Spezialgeräten für Schussbahnberechnungen stellten sie Ende des zweiten Weltkrieges zwei Universalrechner her, die aber dann durch elektronische Automaten bald überholt wurden.

Der erste elektronische Rechenautomat entstand an der Moore School of Electrical Engineering der Universität von Pennsylvanien: der heute fast legendäre ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer). Die Amerikaner John P. Eckert, John Mauchley und Hermann H. Goldstine waren seine Schöpfer. 1943 begannen sie mit der Konstruktion, 1946 war die ursprünglich ebenfalls zur Berechnung von Geschossbahnen bestimmte Anlage einsatzbereit.

Elektronenrechenanlagen ENIAC und UNIVAC 9300

Von Aikens MARK-Typen unterschied sich der ENIAC durch die erstmalige Ausrüstung mit Elektronenröhren, in der Größe aber war er ihnen ähnlich. Auf 40 Grundbrettern montiert, beanspruchte er eine Fläche von 12 mal 6 Quadratmetern. Er war aus etwa 500000 Einzelteilen zusammengesetzt, darunter 18000 Elektronenröhren, 1500 elektromechanische Relais, 10000 Kondensatoren und 6000 Schalter. 175 Kilowatt betrug sein Strombedarf, 30 Tonnen sein Gewicht.

In der Operationsgeschwindigkeit war der ENIAC dem MARK - und darin, nicht in Äußerlichkeiten, zeigte sich der technische Fortschritt - wesentlich überlegen. 0,2 Millisekunden brauchte er für die Addition und 2,8 Millisekunden für die Multiplikation.

Dem ENIAC folgten andere Rechenautomaten, die sich an seine Konstruktionsprinzipien anlehnten. John P. Eckert und John Mauchley, geistige Väter des ersten elektronischen Digitalcomputers, traten in den Remington Rand-Konzern ein, wo sie sich um die Entwicklung der UNIVAC-Reihe verdient machten.

Die Computer der ersten Generation mit Elektronenröhren als Merkmal erregten, nachdem der Bann der Ruhe und Geheimhaltung erst einmal gebrochen war, beträchtliches Aufsehen. Beeindruckend waren ihre Ausmaße, die neben den technischen Voraussetzungen durch die zum Riesenhaften tendierende ursprüngliche Konzeption bedingt waren; und faszinierend war das von einem unrhythmisch-rhythmischen Summen und Ticken untermalte geheimnisvolle Aufflackern unzähliger Lämpchen an kalten Metallwänden.
Der Traum vom "Wunder der Technik" erhielt neue Nahrung. Illusionäre Übertreibungen gaukelten - dieses irreführende Schlagwort kam nun auf - "Elektronengehirne" von

den Dimensionen eines Wolkenkratzers vor.

Nur die Technik ging diesen irrealen Weg nicht mit. Sie kehrte sich vom Gigantischen ab und suchte auf dem Fundament mathematischer Lösungen und neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse nach Möglichkeiten, die Größe der Computer zu reduzieren und zugleich ihre Leistungen zu steigern. Ein bedeutender Schritt dazu war die Umstellung vom Dezimalsystem auf das Dualsystem, ein Schritt, den Zuse bereits in der Z 3 (1941) verwirklicht hatte.

Der amerikanische Rechenautomat EDVAC von 1952 hatte nur noch etwa 3000 Elektronenröhren, ein Sechstel der Röhrenbestückung des ENIAC, und zeichnete sich durch leichtere Bedienung und höhere Operationsgeschwindigkeit aus.
Den Computern der ersten Generation ist, so bahnbrechend sie auch gewirkt hatten, kein langes Leben beschieden gewesen. Nachdem feststand, dass ihr Leistungsvermögen begrenzt war, erhielten sie in Fachkreisen den Beinamen "Langsamläufer". In einem Kolloquium der Technischen Hochschule "Otto von Guericke" Magdeburg im Jahre 1964 erklärte der norwegische Professor Dr. W. Homberg:

"Die Wartung der Röhrenmaschinen ist so teuer, dass niemand sie haben will, auch nicht die technischen Schulen. Die Prinzipien lehrt man besser an einfachen Modellen, die Ingenieurstudenten sollen das heute und morgen Neue lernen und nicht das Veraltete."

Der Übergang zu neuen technischen Konzeptionen vollzog sich zwar nicht reibungslos, doch ohne schwerwiegende Probleme. In Konflikte gerieten zahlreiche amerikanische Wissenschaftler und Techniker, die in der Entwicklung elektronischer Rechenanlagen die meisten Erfahrungen hatten, durch die vorrangige Verwendung der Computer für militärische Zwecke. Die Forschungen finanzierte, teils unmittelbar, teils mittelbar über Universitäten und Industriekonzerne, meistens das Pentagon, das US-Kriegsministerium.

Es kam zu Protesten, denen sich der berühmte Mathematiker Norbert Wiener, Begründer der modernen Kybernetik, anschloss.
Im Jahre 1947 weigerte er sich, an einer vom Oberkommando der US-Navy veranstalteten Konferenz über Elektronenrechner teilzunehmen. Seine Ablehnung begründete er mit der Befürchtung, dass "... die von den Wissenschaftlern gemachten Entdeckungen und Erfindungen in die Hände von Leuten fielen, denen man am wenigsten trauen kann".

Mit ihrer Sorge haben Wiener und seine verantwortungsbewussten Gesinnungsfreunde leider recht behalten. Spätestens seit der amerikanischen Aggression in Vietnam weiß die Welt, wie sehr die USA eine der größten technischen Errungenschaften missbrauchen.

4.3 Geniale Erfinder oder »klar erkennbare Schwindler«?

In Deutschland musste es sich der Mann, der sich als erster dem Bau programmgesteuerter Rechenmaschinen zuwandte, gefallen lassen, als ein "a priori klar erkennbarer

Schwindler" beschimpft zu werden. Ausgesprochen wurde diese Beleidigung nach Darstellung eines Zeugen von "prominenter Seite" und "Vertretern der höchsten Zweifler". Die Angriffe galten dem Berliner Diplomingenieur Konrad Zuse, dessen Pionierrolle erst bekannt wurde, als die Computer aus dem Entwicklungsstadium des Anfangs schon heraus waren. Aber sie richteten sich nicht nur gegen ihn. Den Widerstand der Behörden bekam auch der junge Konstrukteur Helmut Schreyer zu spüren, dessen Versuche als "völlig unreal und unwichtig" bezeichnet wurden.

Tatsachen wie diese widerspiegeln die Überheblichkeit und die Kurzsichtigkeit der faschistischen Machthaber gegenüber der Wissenschaft. Alle Arbeiten, die nach ihrer Meinung nicht unmittelbar dem von ihnen vorbereiteten und ausgelösten Aggressionskrieg dienten, erklärten sie als nebensächlich, behinderten oder unterbrachen sie.

Konrad Zuse und Helmut Schreyer wussten nicht, was sich jenseits des Atlantischen Ozeans auf dem Gebiet der Rechenmaschinen anbahnte. Doch andere große Entdeckungen und Erfindungen ihrer Epoche regten sie an in dem Willen, sich zu behaupten und durchzusetzen: die künstliche Erzeugung radioaktiver Stoffe, die Spaltung des Uranatoms, der Farbtonfilm, die Fernsehexperimente, die Erprobung des Düsenmotors und des Hubschraubers, die Fabrikation des Bunakautschuks und der synthetischen Fasern Perlon und Nylon.

Konrad Zuse, im Jahre 1910 als Sohn einer Beamtenfamilie in Berlin geboren, erwarb an der Technischen Hochschule seiner Heimatstadt das Diplom eines Bauingenieurs. Seine erste Anstellung fand er als Statiker in der Flugzeugindustrie.

Diese Tätigkeit verlangte von ihm Stunde für Stunde, Tag für Tag, Woche für Woche, Monat für Monat ein zwar notwendiges, aber ungemein monotones und ermüdendes Rechenpensum. Das Empfinden, das er manchmal schon als Student gehabt hatte, verstärkte sich: Zuse wurde von dem Gefühl gepeinigt, Sklave der Zahlen und Gleichungen zu sein. Der Schematismus der Berechnungen lähmte seine schöpferische Kraft.

Ähnlich war es lange vor ihm vielen Mathematikern und Astronomen ergangen, und ähnlich wie bei ihnen nahm der Gedanke, den menschlichen Geist von der Bürde des Rechnens zu befreien, Gestalt an: ein Rechenautomat, der die vielen Zahlen und Formeln selbsttätig und schnell verarbeiten konnte und besser sein musste als die herkömmlichen Rechenmaschinen.
Unter dieser besonderen Konstellation begann der Weg Konrad Zuses, und er verfolgte ihn hartnäckig und entschlossen.
Von seiner Idee besessen, sattelte er als Sechsundzwanzigjähriger um. Aus dem Baustatiker wurde der selbständige Konstrukteur Zuse.

Ein Zimmer in der Wohnung der Eltern war seine Werkstatt. Handwerkszeug schaffte er sich, mit jeder Mark geizend, nach und nach an. Berlin war erfüllt vom Trubel der vom Faschismus überschatteten Olympischen Spiele des Jahres 1936. Unberührt von dieser Turbulenz vergrub sich Zuse in seine Pläne.
Konrad Zuses Werkstatt war Studierstube, Konstruktionsbüro, Versuchslaboratorium, Materiallager und Bastelraum in einem. Neben dem Dampfheizungskörper quetschte

sich das auf einer sperrigen Staffelei ruhende Reißbrett. Drahtrollen und Zeichengeräte hingen darüber.
Auf zusammengeschobenen Tischen stapelten sich, einen Bücherschrank verdeckend, kastenähnliche Gebilde, die halbfertigen Aquarien oder Vogelvolieren vergleichbar gewesen wären, hätten ihr Inneres nicht allerlei Metallteile ausgefüllt, manche exakt ausgerichtet wie die Front einer militärischen Formation, andere offenbar wahllos hineinmontiert.

Neben der Tür baumelte eine Weltkarte der HAPAG, der Hamburg-Amerika-Schifffahrtslinie. Sie kündete von der Weite des Erdballs und betonte gerade dadurch die drangvolle Enge, die etwas von dem Idyll der Experimentierkammer eines Mechanikers des 19. Jahrhunderts an sich hatte.

Die für, einen Konstrukteur denkbar ungünstigen Bedingungen schreckten Konrad Zuse nicht ab, mit Zuversicht und Energie sein Ziel anzusteuern. Noch im Jahre 1936 reichte er drei Patentanmeldungen mit folgenden Themen ein: "Verfahren zur selbsttätigen Durchführung von Rechnungen", "Mechanisches Schaltglied", "Rechenmaschine im Dualsystem, bei der die Verschlüsselung in der Maschine selbst durchgeführt wird". Weitere Patente folgten im Sommer 1937: "Mechanisches Verteilerschaltglied" und "Aus mechanischen Schaltgliedern aufgebautes Speicherwerk"

Theoretische Überlegungen übertrug Zuse in die Praxis. Unter Verzicht auf elektromechanische Relais, die sich in der Nachrichtentechnik bereits bewährt hatten, konzentrierte er sich auf rein mechanische Schaltglieder. Sie waren nach seiner Ansicht für eine Rechenmaschine durch die billige Ausführung, die Kleinheit und die höhere Betriebssicherheit geeigneter.
Diese Relais sägte er aus dünnen Blechen aus und baute sie zu Speicherwerken und Rechenwerken zusammen. Einige frühere Studienfreunde, die ihn ernst nahmen, halfen ihm dabei.

Die manuelle Anfertigung der Modelle kostete Geduld und Zeit. Nach einem Jahr hatte Konrad Zuse das Speicherwerk für 64 Zahlen vollendet, nach einem weiteren Jahr das Rechenwerk und bald danach das komplette Gerät, das er Rechenanlage Zuse Z 1 nannte. Eine Tastatur zur Zahleneingabe, ein mit Glühlampen ausgerüstetes Anzeigewerk, ein Leitwerk, ein Speicherwerk, ein duales Wählwerk, zwei Rechenwerke und mehrere Hilfseinrichtungen sollten die Funktionsfähigkeit der Z 1 garantieren.

Aber dieser nur in den kühnsten Träumen erhoffte volle Erfolg blieb dem Erfinder versagt, als er seine Rechenanlage im Jahre 1938 einem vertrauten kleinen Kreis vorführte. Das Prinzip war zwar richtig, doch die Beschaffenheit der mechanischen Elemente, die, durch die primitive Herstellung bedingt, nicht genau genug waren, ließen ein reibungsloses Ineinanderwirken noch nicht zu.
Das war zu erwarten gewesen. Zuse hielt sich nicht damit auf, an dem Probemodell herumzuflicken. Die größten Mängel hatte das Rechenwerk. Er konstruierte es um und wechselte die mechanischen Relais gegen elektromechanische Relais aus, die er aus alten Beständen der Berliner Post billig einkaufte.

Helmut Schreyer, der sich auf seine Dissertation vorbereitete und an der Sache sehr interessiert war, unterstützte ihn, die in der Grundkonzeption unveränderte Z 1 in die Rechenanlage Zuse Z 2 umzuwandeln.
Die Z 2 bestand 1939 mit einfachen Programmen ihre ersten Funktionsproben. Zuse kam nicht dazu, sie zu vervollkommnen. Er wurde zum Kriegsdienst eingezogen.

Mit dem unfreiwilligen Abbruch der Versuche endete vorerst die kurze Zusammenarbeit zwischen Konrad Zuse und Helmut Schreyer, die unter günstigeren Umständen vielleicht reiche Früchte getragen hätte.

Schreyer promovierte mit einer Forschungsarbeit über elektronische Schaltungen. Seine Entwicklungen machten Fortschritte, eine Modellschaltung mit etwa 100 Elektronenröhren brachte ihn dem Vorhaben näher, eine mit 1500 Röhren ausgestattete elektronische Rechenmaschine zu bauen.
Dieses Projekt wurde von den staatlichen Behörden, die von der Materie nichts verstanden, ignoriert und als unreal und unwichtig abgelehnt. Statt der Genehmigung, seine Experimente fortzusetzen, erhielt Schreyer, der den Absichten der Amerikaner Eckert, Mauchley und Goldstine ebenso vorausgeeilt war wie Zuse den Plänen Aikens, den Einberufungsbefehl. Sein wertvolles Modell ging in den Kriegswirren verloren.

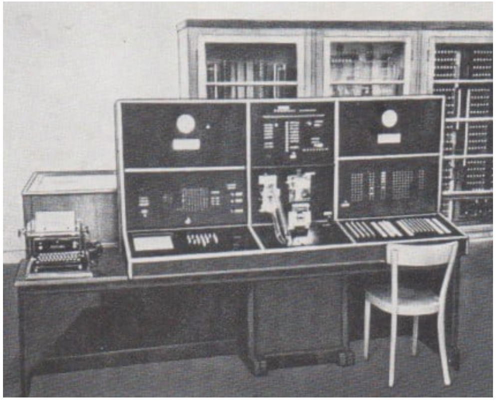
Den zweiten Weltkrieg hat Helmut Schreyer überlebt. 1949 wanderte er nach Brasilien aus. In Rio de Janeiro wurde er Professor. Seine Vorlesungen und Lehrbücher haben die elektronische Schalttechnik und elektronische Rechenmaschinen zum Inhalt. Er sagt von sich selbst, dass er seinem alten Arbeits- und Interessengebiet, wenn auch nur auf theoretischer Basis, treu geblieben sei.
Auf Konrad Zuse waren mehrere einflussreiche Wissenschaftler aufmerksam geworden. Es gelang ihnen, den Forscher vom Militärdienst zu befreien. Vorübergehend war er gezwungen, wieder als Statiker zu arbeiten, konnte dann aber in Berlin eine eigene kleine Firma gründen, die Zuse-Apparatebau, in der er, an frühere Konstruktionen anknüpfend, die Rechenanlage Zuse Z 3 entwickelte.

Dieser programmgesteuerte Rechenautomat verfügte über 2600 mechanische Relais. Allein 600 Relais hatte das Rechenwerk, der Relaisspeicher fasste 64 Zahlen zu 22 Dualstellen (eine 22stellige Dualzahl entspricht einer siebenstelligen Dezimalzahl). Aus einem achtspurigen Lochstreifen wurde das Rechenprogramm abgetastet.

Eine Schaltwalze steuerte die Relais stromlos. Die Rechengeschwindigkeit betrug 15 bis 20 Additionen in einer Sekunde und eine Multiplikation in vier bis fünf Sekunden; sie war schneller als die des späteren amerikanischen Gerätes MARK I.
Erprobt wurde die Z 3 erstmalig im Jahre 1941. Die Wissenschaftler, die an dieser Premiere teilnahmen, waren beeindruckt. In einem ihrer Urteile hoben sie das fast ehrfürchtige Staunen hervor, das sie empfanden, als die Maschine nach Eingabe der Koeffizienten selbsttätig ein System von drei Gleichungen mit drei Unbekannten auflöste und das Ergebnis mit leuchtenden Ziffernlämpchen anzeigte.

Die Z 3 hat in wissenschaftlichen Instituten gearbeitet. Konrad Zuse meldete neue Patente an: "Verfahren zur Abtastung von Oberflächen und Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens", "Verfahren zur Multiplikation von Zahlen", "Vorrichtung zum Ableiten von Resultatsangaben mittels Grundoperationen des Aussagekalkül".

Seine von der nazistischen Führungsspitze gestützten Widersacher beharrten aber auf ihrem Standpunkt, er sei ein "klar erkennbarer Schwindler", und sie waren es wohl auch, die die Veröffentlichung seiner wissenschaftlichen Abhandlungen, darunter eine Schrift über die Theorie der angewandten Logistik, hintertrieben.



Relais-Rechenanlage Z 4

Ausbooten konnten sie Konrad Zuse nun allerdings nicht mehr. Neben einigen kleineren Spezialrechengeräten konstruierte der mathematisch geschulte Erfinder nach der Z 3 die Rechenanlage Z 4, die die Leistungsfähigkeit ihrer Vorgängerin noch übertreffen sollte.
Die angloamerikanischen Luftangriffe auf Berlin häuften sich: Zuses Produktionsstätte und die Z 3 wurden 1944 zerstört, von allen Rechenmaschinen und Konstruktionsunterlagen nur die unvollendete Z 4 gerettet.

Das war Glück im Unglück. Notdürftig fertiggestellt, wurde die Z 4 von einem Auslagerungstransport auf den anderen geschickt. In Göttingen führte Konrad Zuse sie wenigen Eingeweihten vor und beeilte sich dann, sie in einem allgäuischen Dorf vor den anrückenden Truppen der westlichen Alliierten zu verbergen.
Nach dem Krieg eröffnete Konrad Zuse in Bayern ein Ingenieurbüro und später in Hessen einen kleinen Betrieb. Die Z 4 schien vergessen zu sein. Wissenschaftler des Instituts für Angewandte Mathematik der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich entdeckten sie wieder und mieteten sie für ihre Arbeiten an, nachdem die Transportschäden mühevoll repariert worden waren. In ihrer Einschätzung hieß es:

"Es war sofort zu sehen, dass hier in höchst origineller und von der übrigen Welt unabhängiger Weise die Idee der Programmsteuerung entwickelt werden war und Gestalt angenommen hatte. In technologischer Hinsicht benutzte zwar das Gerät nicht die schnellen elektronischen Schaltungen der Amerikaner, aber seine logische Konstruktion wies bereits alle wesentlichen Punkte auf, die wir an unseren heutigen Maschinen kennen.
Ein neues Zeitalter der Mathematik war angebrochen, und wir entschlossen uns an der ETH Zürich, das Gerät durch Zuse herrichten zu lassen und zu mieten, und wir haben bei den Arbeiten mit dieser Maschine einige Jahre der schönsten wissenschaftlichen

Tätigkeit erlebt."

Nach dem Einsatz in Zürich von 1950 bis 1955 versah die Z 4 von 1955 bis 1959 in einem französischen Laboratorium ihren Dienst. Jetzt steht sie im Deutschen Museum München - ein Veteran unter den ersten programmgesteuerten Rechenautomaten und Zeuge aus einer bewegten Zeit, in der es Erfindungen dieser Art in Deutschland schwer hatten, sich zu behaupten.
Konrad Zuse, einer der Pioniere der modernen Rechentechnik, ging seinen Weg, nur einer unter vielen, konsequent weiter. Ab 1956 stellte er seine Konstruktionen auf die elektronische Basis um, zunächst auf Röhrenschaltungen und dann, sich dem international abzeichnenden Trend anpassend, auf die Halbleitertechnik.

Viele Patente und Veröffentlichungen von grundsätzlicher Bedeutung tragen den Namen Konrad Zuses, die Serie der Computer mit der Typenbezeichnung "Z" spiegelt die Entwicklung der modernen Digitalrechner von den Anfängen bis zum derzeitigen Stand der Technik wider. Seine Ausbildungsstätte verlieh Zuse die Würde eines Doktor-Ingenieur ehrenhalber, die TH Darmstadt ernannte ihn zum Honorarprofessor.
Nach mehr als 30 Jahren harten Kampfes und oft bitterer Zeiten wurde Konrad Zuse die verdiente Anerkennung zuteil. Durch seine Leistungen triumphierte er über die Verleumdungen derjenigen, die ihn einst als Schwindler diffamiert hatten.

4.4 Siegeszug um die Welt

Nach vorsichtigen Schätzungen waren im Jahre 1956, ein Jahrzehnt nach der ENIAC-Premiere, in den USA über 3000 elektronische Rechenmaschinen der verschiedensten Typen in Betrieb.
Die Computer hatten sich endgültig durchgesetzt. Die amerikanischen Konzerne, die je nach Größe und Macht den kapitalistischen Konkurrenzkampf diktierten oder ihm ausgeliefert waren, kalkulierten nach kalten, geschäftsmäßigen Prinzipien. So teuer die Anschaffungs- bzw. Mietkosten für die Rechenautomaten auch waren, die Investitionen zahlten sich für die Monopole aus.

Die Rechenkosten sanken auf ein Minimum, sie betrugen bei einer Million Einzelmultiplikationen von zwei zehnstelligen Dezimalzahlen für einen menschlichen Rechner mit einer Tischrechenmaschine etwa 30000 Dollar, für einen leistungsfähigen Computer dagegen nur noch. drei Dollar. Auf menschliche und soziale Probleme, die in diesem Zusammenhang aufbrachen, nahmen die Manager der US-Monopole keine Rücksicht.

Das waren Auswirkungen der gesellschaftlichen Verhältnisse und keinesfalls des technischen Fortschritts. Der Siegeszug der Computer erfasste den gesamten Erdball. Elektronische Digitalrechner wurden in fast allen Industrieländern entwickelt, gebaut und angewendet. Das traf für die sozialistischen Staaten ebenso zu wie für die kapitalistischen Länder.

Der technische Vorsprung, den die USA zunächst besaßen, erklärt sich aus der Tatsache, dass sie von den Zerstörungen des zweiten Weltkrieges nicht betroffen waren. Durch die gesteigerte Rüstungsproduktion hatte sich ihr industrielles und wissenschaftliches Po-

tential sogar bedeutend vergrößert. Nach dem Kriege schwand dieser Vorsprung immer mehr und wurde schließlich aufgeholt.
Als erstes sozialistisches Land gewann die UdSSR Anschluss und rückte in eine der führenden Positionen auf. Die ursprüngliche Tendenz, Riesenanlagen herzustellen, wich mit neuen technischen Möglichkeiten kleineren Dimensionen, die in dem europäischen Anfangsstadium schon Konrad Zuse und Helmut Schreyer vorgeschwebt hatten.

Nach einer inoffiziellen Statistik gab es im Jahre 1970 insgesamt 111600 in Serienbauweise hergestellte elektronische Digitalrechenautomaten. Sowohl in der Produktion als auch in der Anwendung nimmt die UdSSR einen führenden Platz ein. In ihrem neuen Fünfjahrplan (1971 bis 1975) will die Sowjetunion in ihrer Volkswirtschaft über 4000 weitere Rechenzentren und rund 1000 automatische informationsverarbeitende Systeme für technologische Prozesse einrichten.

Die schnelle und massenhafte Ausbreitung der Computer hat ihre Ursache in objektiven Notwendigkeiten. Die Entwicklung in vielen wissenschaftlichen, technischen und wirtschaftlichen Bereichen erfordert, soll sie nicht stagnieren, Lösungen, die geeignet sind, herangereifte Aufgaben der Gegenwart und sich abzeichnende Projekte der Zukunft zu meistern.
Was Friedrich Engels von Zahl und Figur gesagt hatte, trifft auch auf die Computer zu: Sie haben ihren Ursprung in der wirklichen Welt, in dem vorwärtsdrängenden Leben, in den Bedürfnissen der Menschheit.

Das beweisen allein schon einige epochale Ereignisse der letzten Jahrzehnte - darunter die von der UdSSR eingeleitete friedliche Nutzung der Kernenergie, die Mechanisierung und Automatisierung in der Industrie, die Eroberung der Höhen des Kosmos und der Tiefen der Ozeane. Ohne direkt in Erscheinung zu treten fördern die Computer diese und viele andere Prozesse und machen oft vage Vorstellungen erst zur Realität.

Eine entscheidende Rolle beim Bau, beim Einsatz und bei der Durchsetzung elektronischer Rechenautomaten spielte die Wissenschaft. Sie behauptete sich gegenüber der zunächst reservierten und abwartenden Haltung vieler westeuropäischer Konzerne und trat, wie der sowjetische Professor S. Lebedew berichtete, der Auffassung, die Rechenautomaten hätten in kurzer Frist alle Aufgaben gelöst und wären dann überflüssig, energisch und erfolgreich entgegen.
In zahlreichen Ländern nahmen Universitäten und Hochschulen die Konstruktion von Rechenmaschinen zuerst in Angriff und wurden dadurch zu Pionieren.

Hervorragende Gelehrte und Forscher bereicherten die Computertechnik durch neue theoretische Erkenntnisse. In den USA widmete sich diesem Gebiet der aus Budapest stammende Mathematiker John von Neumann, der sich bis dahin vorwiegend mit der modernen Funktionsanalysis, der Theorie der Spiele und der Gruppentheorie beschäftigt hatte. Bald nach dem Kriege schlug er für die Rechenautomaten eine interne Programmsteuerung vor. Seine Ideen bestimmten die Konstruktionsprinzipien der Computer und damit ihre Leistungsfähigkeit in einem hohen Maße mit. Als John von Neumann im Jahre 1957 starb, verlor die Welt einen Wissenschaftler, der sich um die elektronischen Rechenanlagen bleibende Verdienste erworben hatte.

Der amerikanische Mathematiker Norbert Wiener arbeitete, von Claude Shannon unterstützt, an der Theorie mathematischer Maschinen. Als einer der ersten protestierte er gegen den zu erwartenden Missbrauch der neuen Erfindungen durch die US-Militärs.

Im Jahre 1948 veröffentlichte Wiener als Vierundfünfzigjähriger sein berühmt gewordenes Buch "Cybernetics or Control and Communication in the Man und the Mashine" (Regelung und Nachrichtenübertragung im Lebewesen und in der Maschine), mit dem er die moderne Kybernetik mitbegründete, eine Querschnittswissenschaft, die auf zahlreiche naturwissenschaftliche und technische Einzelwissenschaften Einfluss ausübt, die ihrerseits wiederum die Kybernetik beeinflussen.
Mit der Kybernetik wurde das Eindringen mathematischer Methoden in die Einzelwissenschaften erheblich beschleunigt. Die Computer haben daran, ob direkt oder indirekt, einen großen Anteil.

Norbert Wiener entdeckte und formulierte Gesetzmäßigkeiten, denen die Übertragung und Bearbeitung von Informationen in lebenden und toten Systemen unterliegt. Das war neu. Alt aber war das Wort, das er anwandte.
Kybernetik bedeutete im alten Griechenland Steuermannskunst, und von Kybernetik sprach der französische Mathematiker und Physiker André Marie Ampére (1775-1836), als er versuchte, alle bekannten Wissenschaften zu erfassen und zu ordnen. Unter Kybernetik verstand er damals die Methoden zur Lenkung der Gesellschaft.

Die inhaltliche Wandlung, Vervollkommnung und Erweiterung, die der Begriff Kybernetik durch Norbert Wiener erfuhr, widerspiegelte den hohen Stand, den die Wissenschaft erklommen hatte. Zugleich aber wurden damit die Wurzeln angedeutet, die tief in die Kulturgeschichte zurückreichen.
Das Neue verhehlte seine Herkunft nicht. Alte Entdeckungen und Vorstellungen wurden erst jetzt verwirklicht. Das traf u. a. zu auf das Dualsystem, die Pläne des Charles Babbage und die Gedanken des englischen Mathematikers George Boole (1815-1864).

Boole, Sohn eines Händlers und seit 1849 Professor am Queens College in Irland, schuf eine nach ihm benannte Algebra, die logische Gesetzmäßigkeiten in einer Rechenvorschriften ähnlichen mathematischen Sprache ausdrückte. Dadurch geriet er in den Ruf, ein "reiner" Mathematiker zu sein. Der Boolschen Algebra wurde mit einer gewissen Hochachtung nachgesagt, sie sei für den praktischen Gebrauch ungeeignet.
Die maschinelle Rechentechnik bewies das Gegenteil. Auf George Boole geht die Schaltalgebra zurück, die für die Rechenautomaten eine logische und konstruktive Basis ist.

In den Computern vereinigen sich viele Ideen und Erfindungen aus verschiedenen Epochen. Durch die Typen ihrer ersten Generation, die unmittelbaren Nachfolger des ENIAC, erlangten die Elektronenröhren eine Bedeutung, die sich ihre Schöpfer wohl nie hatten träumen lassen.

Die Tatsache, dass die Röhren dann von Halbleitern verdrängt wurden, ändert daran nichts; sie beweist nur, wie sehr die Konstrukteure der Rechenautomaten darauf bedacht waren, sich die neuesten technischen Errungenschaften zunutze zu machen.
So eine Errungenschaft waren die Transistoren. 1948, als die Röhrencomputer schon

existierten, erfanden die amerikanischen Physiker John Bardeen (geb. 1908), Walter H. Brattain (geb. 1902) und William Shockley (geb. 1910) zunächst den Spitzen-Transistor, der später durch den Flächen-Transistor ersetzt wurde. Für diese Leistung wurden sie 1956 mit dem Nobelpreis ausgezeichnet.

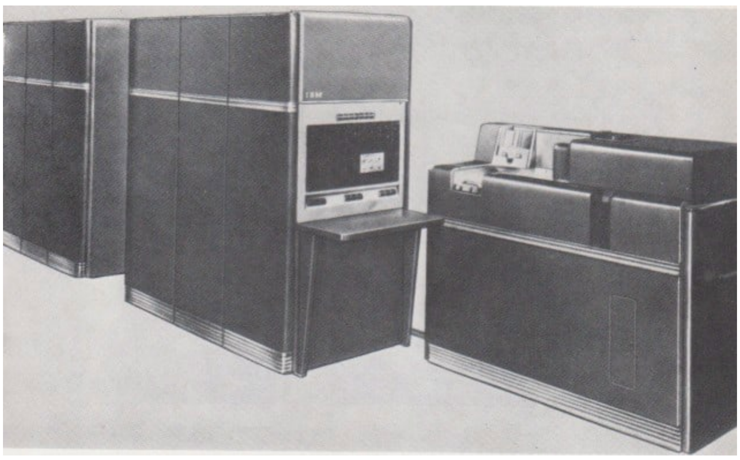
Durch die Halbleiter wurde Mitte bis Ende der fünfziger Jahre die zweite Computer-Generation geboren. Sie hat gegenüber der ersten viele Vorteile.
Transistoren sind unvergleichlich kleiner als kolbenförmige Röhren. Sie Verbrauchen erheblich weniger Energie, erübrigen die Kühlung, haben etwa die siebenfache Lebensdauer, erhöhen die Operationsgeschwindigkeit enorm und ragen durch eine noch größere Zuverlässigkeit hervor.
Die ersten Erfahrungen ergaben, dass etwa von 1000 Transistoren nach 10000 Betriebsstunden nur ein einziger ausfiel. Bei den Röhrenmaschinen dagegen musste nach 10000 Betriebsstunden die gesamte Röhrengarnitur (mehrere tausend, manchmal weit über 10000 Elektronenröhren) ausgewechselt werden.

Der amerikanische IBM-Konzern rüstete einen seiner Computer von Elektronenröhren auf Transistoren um. Das neue Modell kam mit der Hälfte des Platzes aus und mit fünf Prozent der Energie. Trotzdem steigerte es die Leistung um ein vielfaches.

Zusammen mit dem Einsatz von Halbleitern wurden noch andere Erfindungen und technische Neuerungen als Bauelemente für die Computer genutzt, darunter Ferritkerne, Tunneldioden, Optotronen, Kryotronen, Parametronen, Technotronen, Magnetschichtspeicher, Magnetschichtkernspeicher, Dünnschichtspeicher.

Damit machten alle Hauptwerke der digitalen Rechenautomaten - das Eingabewerk, das Speicherwerk, das Leitwerk, das Rechenwerk und das Kommandowerk - eine Verjüngungskur durch.
Einzelbeispiele demonstrieren, wie die Leistungen durch die Verwendung neuer Bauelemente verbessert wurden.

Da ist die Schaltzeit. Sie beträgt beim Zählrad 0,1 Sekunden $= 10^{-1}$ s, beim Relais 0,01 Sekunden $= 10^{-2}$ s, bei der Elektronenröhre und beim Ferritkern 0,00001 bis 0,000001 Sekunden $= 10^{-5}$ bis 10^{-6} s, beim Transistor 10^{-6} bis 10^{-7} s, bei der Tunneldiode $^{-7}$ bis $^{-8}$ s.

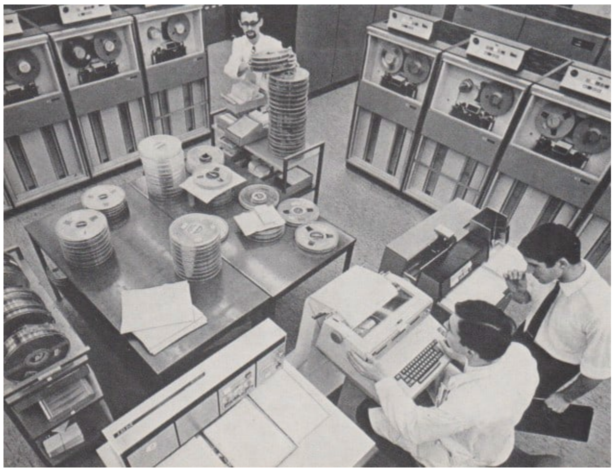


Magnettrommelrechner IBM 650

Waren die ersten Zuse-Rechenautomaten in der Lage, 64 Dualzahlen zu speichern, so können moderne Speicher 10^4 bis 10^6 und mehr Informationen aufnehmen. Die Zugriffszeit (das Zeitintervall, das vergeht, bis das gespeicherte Zahlenmaterial verarbeitet werden kann) beläuft sich bei schnellen Maschinen auf $3 \cdot 10^{-7}$ Sekunden, das sind 3 Zehnmillionstel Sekunden oder 0,3 Mikrosekunden oder 300 Nanosekunden.

Die Entwicklung der Eingabe- und Ausgabemedien passte sich diesem Aufschwung an. In der Eingabegeschwindigkeit bringt es die elektrische Schreibmaschine auf 2, die Lochkarte auf 2000, der Lochstreifen auf 2000 und das Magnetband auf 80000 Zeichen pro Sekunde. Als Ausgabegeschwindigkeit schafft die elektrische Schreibmaschine 15, der Lochstreifen 300, die Lochkarte 1000 und das Magnetband 80000 Zeichen pro Sekunde.

Die Operationsgeschwindigkeit ist für elektronische Rechenautomaten zwar ein wichtiges, aber nicht das einzige Leistungskriterium. Darin gleichen sie den Kraftfahrzeugen, die ja auch nicht ausschließlich nach der Höchstgeschwindigkeit beurteilt werden. Bei den Computern sind letztlich Reichhaltigkeit, Vielseitigkeit und harmonisches Ineinanderwirken der einzelnen Teile ausschlaggebend - Eigenschaften, die sich u. a. auch auf die Operationsgeschwindigkeit auswirken. Einen direkten Leistungsvergleich von zwei Digitalrechnern führt man am besten durch, indem man von beiden dieselbe Aufgabe lösen lässt.

Rechenanlage IBM 7644, Großrechenanlage IBM 360/65

Computer ist nicht gleich Computer. In den Hauptrichtungen erfolgten Spezialisierungen für wissenschaftlich-technische Berechnungen, für ökonomisch-kommerzielle Berechnungen und im kleineren Maße für die Lösung logischer Aufgaben.

Die voneinander abweichenden Anforderungen verlangten Differenzierungen im technischen Aufbau und im Leistungsvermögen. Die Auswahl an Bauelementen erlaubte es, ein den verschiedenen Zwecken und Ansprüchen gerecht werdendes Computer-Sortiment zu schaffen - vom digitalen Kleinstrechner über den digitalen Kleinrechner, den langsamen Digitalrechner und den mittelschnellen Digitalrechner bis zum Hochleistungsrechner.

Begriffe wie langsam und schnell sind in diesem Zusammenhang allerdings relativ, mit dem Computer wurden da ganz neue Maßstäbe gesetzt. Eine Grobübersicht deutet es an.

An tausend (10^3) Rechenoperationen mit acht- bis zehnstelligen Zahlen arbeitet ein menschlicher Rechner mit einer Tischrechenmaschine einen Tag. Dasselbe Pensum erledigt ein digitaler Kleinrechner (20 Operationen pro Sekunde) in 50 Sekunden, ein langsamer Digitalrechner (200 Operationen pro Sekunde) in 5 Sekunden und ein mittelschneller Digitalrechner (2000 Operationen pro Sekunde) in einer halben Sekunde.

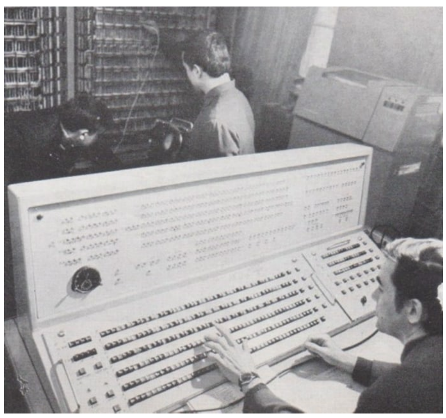
Sinnvoll eingesetzt, ist jeder Computer ein großartiges Werkzeug im Dienste des Menschen.

Die Frage, wieviel Fehler einem Computer unterlaufen, ist 30 alt wie die Rechenautomaten selbst. Ihr Sinn aber wandelte sich. Zuerst wurde sie von Skeptikern gestellt, die den Maschinen nicht allzuviel zutrauten; später, als sich der Pessimismus als unbegründet erwiesen hatte, galt sie, neben anderen Gesichtspunkten, als ein Zuverlässigkeitsmerkmal: Je weniger Fehler ein Computer macht, desto höher ist seine Qualität einzuschätzen.

Als Vergleich dienen die Fehlleistungen des Menschen. Einem geübten Rechner passiert in etwa 100 Operationen ein Fehler. Die maschinellen Anlagen schon der ersten Generation waren da weitaus sicherer. Bei manchen Typen schlich sich ein Fehler auf 10 Millionen Operationen ein, bei anderen auf 100 Millionen Operationen.
Dabei handelte es sich um statistische Angaben, nicht um den absoluten Nachweis fehlerhafter Rechnungen, denn in der Praxis werden Fehler, vielfach von der Maschine selbst, bemerkt, signalisiert und korrigiert.

Die Anerkennung, eine der zuverlässigsten Rechenmaschinen zu sein, wurde nach internationalen Urteilen der sowjetischen BESM 2 zuteil. Sie bewältigte im Durchschnitt eine Milliarde Rechenoperationen fehlerfrei.

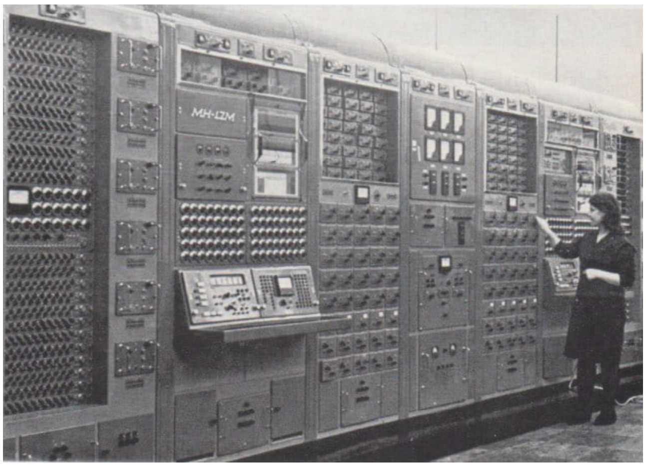
Die BESM gehörte zu den Wegbereitern der elektronischen Rechenanlagen in der UdSSR, war aber nicht die älteste. Noch vor ihr erschien die von einem Kollektiv des Mathematischen Instituts der Akademie der Wissenschaften der Ukrainischen SSR unter Leitung von S. A. Lebedew konstruierte MESM (Kleine Elektronische Rechenmaschine), die im Jahre 1951 u. a. für Berechnungen an der Hochspannungsleitung Kuibyschew-Moskau verwendet wurde.

Elektronenrechenanlage BESM 1 und BESM 4

Lebedew setzte seine Forschungsarbeiten gemeinsam mit anderen Wissenschaftlern, Ingenieuren und Technologen am Institut für Feinmechanik und Rechentechnik der Akademie der Wissenschaften der UdSSR in Moskau fort. 1953 schuf er, zunächst als Versuchsmodell, die Schnelle Elektronische Rechenmaschine, die BESM.

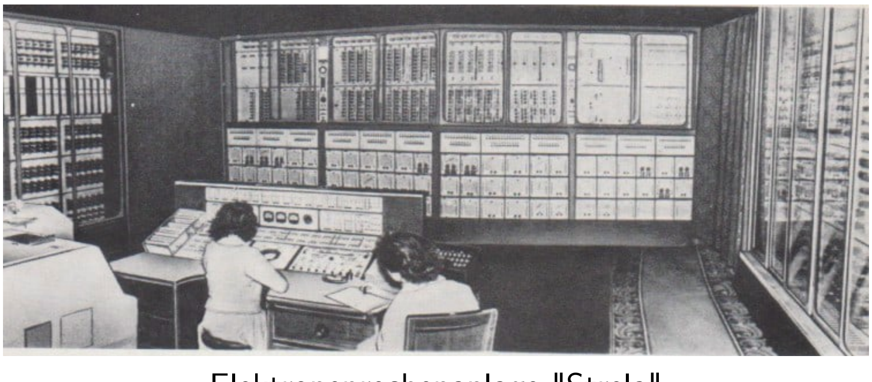
Die BESM war, durch die damaligen technischen Möglichkeiten bedingt, mit etwa 5000 Elektronenröhren noch ein ziemlicher Koloss. Getestet wurde sie unter harten Bedingungen im Dauerbetrieb.



Analogrechenanaloge MN-17 M

Dabei zeigte sich neben ihrer geringen Störanfälligkeit ein weiterer Vorteil, der die Präzision der Konstruktion und Verarbeitung offenbarte: Für die Wartung genügten pro Woche vier bis fünf Stunden vorbeugender Kontrolle. Die BESM 1, die 8000 bis 10000 arithmetische Operationen pro Sekunde ausführte, wurde für die sowjetischen Digitalrechner zu einem Prototyp und in den nächsten Jahren laufend verbessert.

Zunächst dominierte in der Sowjetunion, wie überall auf der Welt, die Röhrentechnik, so auch bei den inzwischen berühmt gewordenen "Strela"- und "Ural"-Serien.



Elektronenrechenanlage "Strela"

Doch das ist nun Geschichte. Die elektronischen Datenverarbeitungsanlagen Ural 14 und Ural 16 sind volltransistorisiert und technisch der zweiten Computergeneration zuzuordnen, aber in ihrer logisch-programmiertechnischen Konzeption stoßen sie bereits zu der dritten Generation vor.

Die Großrechenmaschine BESM 6 kann mehrere voneinander unabhängige Aufgaben gleichzeitig lösen und dadurch ihre Arbeitsgeschwindigkeit auf eine Million arithmetischer Operationen pro Sekunde steigern. Dazu schrieben die sowjetischen Wissenschaftler W. Gluschkow, M. Lawrentjew und G. Martschuk in einem von der Moskauer "Iswestija" im November 1969 veröffentlichten Artikel:

"In der Regel muss man zur Lösung einer Aufgabe zunächst alle benötigten Informationen in den Speicher der Maschine eingeben, danach erfolgt die eigentliche Rechnung, und schließlich werden die Ergebnisse von der Maschine in Form von Tabellen, graphischen Darstellungen usw. ausgegeben. Leider arbeiten aber die Ein- und Ausgabevorrichtungen um das Tausendfache langsamer als die elektronischen Baugruppen der Maschine.

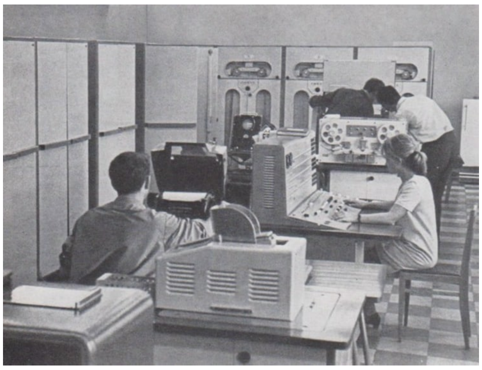

Elektronenrechenanlage BESM 6

Die Idee der Multiprogrammierung besteht nun gerade darin, dass diese 'langsamen' Operationen nicht die Arbeit der gesamten Anlage hemmen. Während die Dateneingabe für die eine Aufgabe erfolgt, kann ja eine andere schon gelöst werden, und für eine dritte Aufgabe werden die erhaltenen Ergebnisse ausgedruckt. Auf diese Weise ist es möglich, alle Einrichtungen - sowohl die schnellen als auch die langsamen - voll auszulasten.
Das Prinzip der Parallelität der in der Maschine ablaufenden Prozesse ist in allen Arbeitsstufen der BESM 6 durchgesetzt. In der Steuereinheit zum Beispiel werden gleichzeitig mehrere Befehle abgearbeitet, parallel arbeitet das Rechenwerk, und wiederum zur selben Zeit werden Ergebnisse vorausgegangener Operationen im Speicher festgehalten. Die komplizierten Probleme der Organisation der Maschinenstruktur fanden in der BESM 6 eine gelungene Lösung. Das erlaubte, viele Ausrüstungen einzusparen und die Maschine billiger herzustellen.

Um die äußerlich einfach scheinende Aufgabe der Multiprogrammierung zu realisieren, sind im Speicher der Maschine alle Aufgaben unterzubringen, für die sie irgend etwas erledigt, der Lösungsablauf jeder dieser Aufgaben ist gegen mögliche Fehler der Nachbaraufgaben zu schützen, und schließlich sind den Aufgaben die erforderlichen Aggregate zuzuordnen.
All das besorgt ein spezielles Dispatcherprogramm. Gleichzeitig steuert das Dispatcherprogramm die Ein- und Ausgabevorrichtungen, die Magnetband- und Trommelspeicher, ermittelt es die Rechenzeit für eine Aufgabe und führt viele andere Funktionen aus. Die Schaffung des Dispatcherprogramms war ein wesentlicher Beitrag zur Theorie und Praxis der Systemprogrammierung.

Die umfangreiche Programmbibliothek für am häufigsten anzutreffende Berechnungsmethoden, die der Maschine beigegeben wird, spart viel Zeit für die Vorbereitung und Programmierung der unterschiedlichsten Aufgaben.

Die BESM 6 ist eine Maschine hoher Leistung, mit der die Hauptrechenzentren der UdSSR ausgestattet werden. Ihre Ausarbeitung und Einführung sind eine wichtige Etappe in der Entwicklung der sowjetischen Rechentechnik und ein großer Beitrag zur Theorie der Rechenmaschinen.

Elektronenrechenanlage Minsk 2 und 22

Aufsehen erregte auch der im Verhältnis zur BESM 6 kleine Universalrechner Minsk 32, der im Ordshonikidse-Werk der bjelorussischen Hauptstadt entwickelt wurde. Seine Leistung - 30000 Operationen pro Sekunde - übertrifft die des letzten Modells dieser Serie (Minsk 22) um das fünf- bis sechsfache, sein Arbeitsspeicher hat die achtfache Kapazität, die Speicher fassen insgesamt 65536 Siebenunddreißigstellige Zahlen.
An den Minsk 32, der sowohl für das duale als auch für das dezimale Zahlensystem geeignet ist, lassen sich 136 Zusatzgeräte anschließen.

Wenig später bestand im Institut für Kybernetik der Ukrainischen Akademie der Wissenschaften in Kiew eine Kleinrechenmaschine ihre Bewährungsprobe, die bereits die dritte Computer-Generation repräsentiert: die MIR 2.
Prof. Dr. Wiktor Michailowitsch Gluschkow, der im Jahre 1923 geborene Direktor dieses Instituts und einer der führenden sowjetischen Spezialisten für elektronische Rechenmaschinen, teilte der Presse Einzelheiten über die Neuentwicklung mit:

Als erster Kleinrechner ist MIR 2 mit einer elektronischen Tafel gekoppelt, auf der der Mensch der Maschine mit Hilfe eines Lichtstiftes vorschreibt, was sie zu berechnen hat. Wenn der Ingenieur - MIR 2 ist vorwiegend für ingenieurtechnische Zwecke bestimmt - einzelne Elemente einer Formel unterstreicht, rechnet die Maschine diese Gruppe nochmals durch und sucht nach neuen Lösungsvarianten. Dadurch erübrigt sich das bei Großrechenanlagen notwendige Übertragen der Aufgabe in die Maschinensprache, das Programmieren wird beschleunigt. Die Beziehungen zwischen Mensch und Maschine treten in ein neues Stadium.
Zu den Besonderheiten des Kleinrechners MIR 2 äußerte sich in einem Interview mit der Berliner Tageszeitung "Tribüne", Organ des Bundesvorstandes des FDGB, auch der stellvertretende Institutsdirektor Prof. Dr. Wladimir Michalewitsch. Er sagte unter anderem:

"MIR 1 und MIR 2 sind Maschinen mit struktureller Interpretation algorithmischer Sprachen. Keine Angst, ich werde es gleich in 'menschlicher' Sprache erklären.
Will der Mensch mit einer Rechenmaschine in Verbindung treten, so kann er das nicht, genauer: noch nicht, in der Sprache tun, in der er gewöhnlich seine Gedanken darlegt. Er muss seine Sprache umformen. Dabei ergibt sich ein Widerspruch:
Ist das Vokabular zu reichhaltig, fällt es der Maschine schwer, die Entschlüsselung vorzunehmen; ist es zu begrenzt, ergibt sich die gleiche Schwierigkeit.

Man muss also eine Sprache finden, die man selbst sprechen, womit man aber auch die Maschine 'füttern' kann. Dafür ließe sich ein Übersetzungsprogramm anfertigen. Das ist aber sehr langwierig, teuer und erfordert einen großen Rechenautomaten.
Der erfolgversprechendere Weg ist der, dass man der Maschine eine solche innere Struktur, eine solche 'Logik' schafft, dass sie mit deren Hilfe die Eingaben ohne Übersetzerprogramm entschlüsseln kann. Damit, wie das zu verwirklichen ist, beschäftigt man sich überall in der Welt. Uns ist es mit MIR 1 und MIR 2 gelungen, auf diesem Gebiet einen wesentlichen Schritt voranzukommen.

Allgemein erweitert sich die Kommunikation Mensch-Maschine.
Mittels einer Spezialvorrichtung ist es möglich zu verfolgen, was in den Speichern der Maschine vorgeht. Man kann auf die Lösung der Aufgaben Einfluss nehmen, gewissermaßen kleine 'Dispute' mit der Maschine führen. Darüber hinaus kann die MIR 2 nicht nur mit Zahlen, sondern auch mit Formeln operieren und diese umwandeln. Damit leistet sie eine Arbeit, zu der sonst nur hochqualifizierte Mathematiker und Forscher imstande sind.

Gewöhnlich werden die verschiedenen Generationen dieser Anlagen nach den physikalisch-technischen Prinzipien ihrer Herstellung unterschieden. Das heißt, die erste Generation arbeitete mit Röhren, die zweite mit Transistoren, die dritte mit integrierten Schaltkreisen.
Wir glauben allerdings, dass hier nicht der wichtigste Unterschied liegt. Der Fortschritt auf diesem Gebiet hängt unseres Erachtens von der Nutzmöglichkeit der Rechner, von der Möglichkeit, ihre 'Denkfähigkeit' zu erhöhen, ab. Die Maschinen der dritten Generation sind vor allem in automatisierten Systemen der Datenverarbeitung und der Planung und Leitung eingesetzt. Die Anforderungen auf diesen Gebieten machen die Entwicklung von Anlagen der vierten Generation zu einer unbedingten Notwendigkeit.

Die erste Forderung, die selbstverständlich schon an die Anlagen der dritten Generation gestellt wird und die wir schon in unserer MIR-Serie zu erfüllen versuchen, ist die weitere Verbesserung der Kommunikation Mensch-Maschine. Das betrifft die Möglichkeit, visuelle und akustische Informationen ein- und wiederzugeben. Der Rechner entschlüsselt also sozusagen die menschliche Stimme und gibt die Lösungen akustisch wieder."

4.5 Vom D 1 zum R 40

Als Konrad Zuse im Frühling des Jahres 1945 in die Einöde eines allgäuischen Gebirgsdorfes flüchtete und dort seinen Rechenautomaten Z 4 verbarg, handelte er instinktiv. Er kannte die westalliierten Truppen, die Deutschland bis zur Elbe besetzten, nicht, doch er befürchtete, dass es unter ihnen Männer gehen könnte, die sich Erfindungen als Kriegsbeute besonderer Art aneignen würden.

Zuse blieb verschont, aber speziell in den Gebieten, die sie nach internationalen Abkommen bald wieder zu verlassen hatten, nahmen die Amerikaner an wissenschaftlichen und technischen Forschungsmaterialien alles mit, was ihnen in die Hände fiel.
Ihr Vorgehen beschränkte sich nicht auf zufällige Einzelaktionen. Es war vorbereitet wie ein Feldzug und wurde von einem Kommandostab geleitet und gelenkt. "Field Information Agency Technical" hieß die Zentrale, die praktische Arbeit besorgten "Screening teams", zusammengesetzt aus Fachleuten in Offiziersuniform, die Waffen trugen, aber auf das Schießen gar keinen Wert legten. "We take the brain", lautete ihr Wahlspruch, "Wir nehmen das Gehirn".

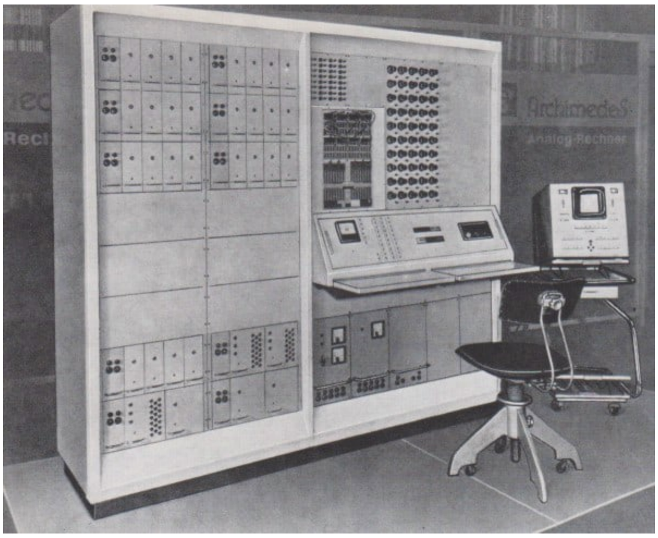
Was das zu bedeuten hatte, bekamen neben vielen anderen wissenschaftlichen Instituten und Produktionsbetrieben in dem nur für kurze Zeit okkupierten Operationsraum östlich der Linie Fulda-Göttingen-Salzgitter-Wolfsburg-Lüneburg-Lübeck die Universität und das Zeiss-Werk in Jena zu spüren. Patente, Pläne, Entwürfe, Zeichnungen, Forschungsdokumente, Literatur und Spezialmaschinen wurden nach kurzer sachkundiger Sichtung verladen und in Richtung Westen abtransportiert.

In den USA werden die Konzernbosse über die Meldungen ihrer Abgesandten sehr befriedigt gewesen sein. Der Trip nach Jena hatte sich gelohnt. Dass mit Zeiss nun ein Werk daniederlag, das in zwei Weltkriegen eine unrühmliche Rolle gespielt hatte, interessierte sie weniger. Wichtiger waren die Ausschaltung eines Konkurrenten, die Konfiskation seines geistigen Gutes und die Verhinderung seines Wiederauferstehens in absehbarer Zeit.

Diese Rechnung ging nicht auf. In zerstörten und ausgeraubten Hallen und Laboratorien beginnend, entwickelte sich die im Jahre 1846 als Atelier für Mechanik gegründete Produktions- und Forschungsstätte unter neuen gesellschaftlichen Bedingungen zu einem der größten und leistungsfähigsten feinmechanisch-optisch-elektronischen Kombinate der Welt. Zu seinem Fertigungsprogramm gehörten schon in der ersten Periode des Wiederaufbaus moderne Rechenmaschinen.

Die erste elektronische Rechenmaschine der Deutschen Demokratischen Republik entstand in ihrer am meisten zerstörten Stadt: in Dresden.
An ihrer Technischen Hochschule (jetzt Technische Universität) wandte sich ein von Prof. Dr. N. J . Lehmann geleitetes Kollektiv schon bald nach Gründung der DDR der Entwicklung eines Digitalrechners zu.
Dieses Projekt zeichnete sich von vornherein durch eine Besonderheit aus: Es sollte ein kleines Gerät werden. Damit folgten die Forscher und Konstrukteure der von Zuse und Schreyer angedeuteten Linie und grenzten sich von der aus den USA nach Europa transferierten Tendenz ab, Computer-Riesen zu bauen.

Wissenschaftler bahnten der neuen Rechentechnik auch in der DDR den Weg, doch sie stießen nicht, wie in der BRD, auf das Desinteresse der Industrie. Das volkseigene Funkwerk Dresden unterstützte die Mitarbeiter der TH bei den experimentellen Versuchen.



Elektronenrechenanlage D 1

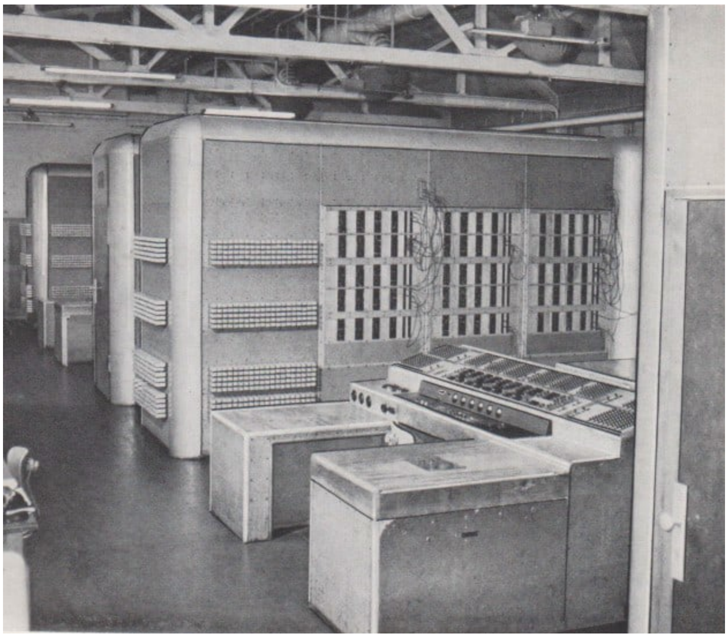
Das Ergebnis der gemeinsamen Anstrengungen war der im Jahre 1956 einsatzfähige D 1, ein mit 760 Elektronenröhren, 1000 Selen-Gleichrichtern und 100 Relais ausgerüsteter Ziffernrechner, der pro Sekunde 100 Rechenoperationen durchführte.

Über seinen praktischen Wert hinaus war der D 1 eine gute Basis für Weiterentwicklungen. Schon ein Jahr später folgte der wesentlich leistungsstärkere D 2, der 1400 Röhren, 2000 Dioden und 100 Relais hatte. Mit 1000 Rechenoperationen pro Sekunde rückte er in die Gruppe der mittelschnellen Rechenautomaten auf.
Über die Modelle D 3 und D 4 wurde die Reihe bis zu dem transistorisierten Kleinrechner D 4a fortgesetzt, der nicht größer als ein Fernsehapparat ist und eine Arbeitsgeschwindigkeit von 50 Operationen pro Sekunde hat.

Die erste Großrechenanlage der DDR war die OPREMA aus Jena. Ihr Name - Abkürzung für Optik-Rechenmaschine - weist auf ihren Ursprung, ihre Entstehung und ihre Verwendung hin.
Das als SAG- und schließlich als volkseigener Betrieb wiedererstarkte Carl-Zeiss-Werk brauchte für seine Produktion, vor allem für die komplizierten Berechnungen von Linsensystemen, unbedingt einen leistungsfähigen Rechenautomaten. Die gewachsenen und weiter wachsenden Aufgaben erforderten eine Rationalisierung, die mit dem Einsatz menschlicher Rechner allein nicht mehr zu bewältigen war. Das uralte Problem, notwendige Rechenprozesse zu vereinfachen, zu erleichtern und zu beschleunigen, tauchte in einer neuen Variation wieder auf.

In dieser Situation ging ein Kollektiv des Werkes unter Leitung der später zu Professoren ernannten Wissenschaftler Dr. Kämmerer und Dr. Kortum daran, selbst ein Gerät zu entwickeln. Das Risiko, das dieses Projekt barg, wurde nur dadurch etwas gemildert, dass die Gruppe überflüssige Experimente vermied und sich, keine Stufe überspringend, auf die wissenschaftlichen Grundlagen orientierte, für die von anderen Gebieten her die meisten Erfahrungen vorlagen: auf elektromechanische Relais. Sie knüpfte, wenn mich nur indirekt, an die gelungenen Versuche Konrad Zuses und Howard H. Aikens an.

Überholt war dieses Prinzip trotz der mit Elektronenröhren ausgerüsteten Computer keineswegs. Auch Zuse hielt technisch noch an Relais fest, seine Z 11 wurde nach zweijähriger Erprobung von 1956 bis 1960 gefertigt.



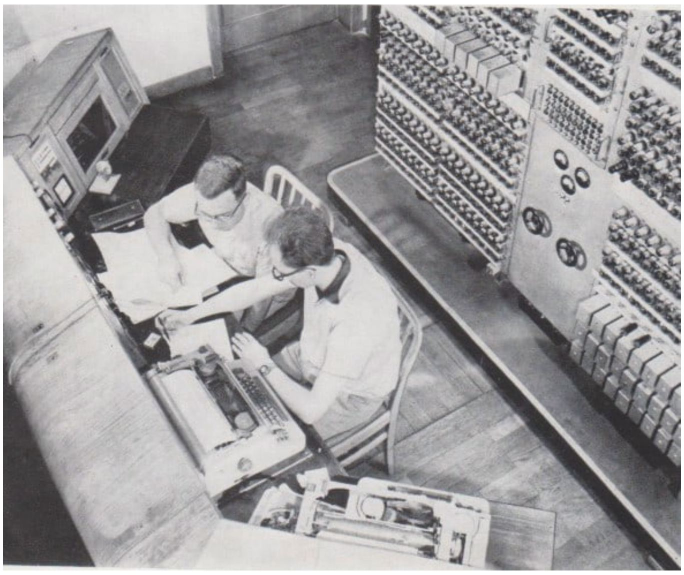
Relais-Rechenanlage OPREMA

Das Jenaer Vorhaben endete erfolgreich. Im Jahre 1955 brachte der VEB Carl Zeiss für den eigenen Gebrauch als Zwillingsanlage die QPREMA heraus, ausgestattet mit 17000 polarisierten Relais, 90000 Selen-Gleichrichtern und 500 Kilometern Leitungsmaterial. Mit etwa 40 Watt hatte sie einen geringen Energiebedarf. Besondere Impulsverfahren bewirkten, dass die Relais nur in spannungsfreiem Zustand geschaltet wurden, dadurch erhöhte sich ihre Lebensdauer.

Obwohl die OPREMA mit 100 Rechenoperationen pro Minute noch ein typischer "Langsamläufer" war, ersetzte sie 120 qualifizierte menschliche Optikrechner. Das allein schon war bei dem Arbeitskräftemangel ein erheblicher Vorteil.
Auf Optikrechnungen spezialisiert, konnte die OPREMA aber auch für andere Zwecke genutzt werden, darunter für die Berechnung von kritischen Drehzahlen, zur Lösung von Schwingungs- und Festigkeitsproblemen, für kernphysikalische Untersuchungen und für Funktionsberechnungen.

Ab 1956 entwickelte das Jenenser Kollektiv den Ziffernrechenautomaten ZRA 1 (Zeiss-Rechenautomat), der im Jahre 1961 voll betriebsbereit war.
Welche Probleme zu überwinden waren, umriss einer der Konstrukteure mit folgenden Worten:

"Da die Elektronenröhre ein Unsicherheitsfaktor im Rechenbetrieb ist, wir aber andererseits noch nicht genügend Material auf dem Gebiete der Transistoren vorfanden, entschlossen wir uns, ein gerade in letzter Zeit sich immer mehr in den Vordergrund drängendes Bauelement zu benutzen: den Ferritkern ...



Elektronenrechenanlage ZRA 1

Wir benutzten diese Kerne im Rechenwerk, im Steuer- und im Leitwerk, für die Schnellspeicherung sowie für alle anderen Register ...
Die einzelnen Stromkreise werden entkoppelt durch Germanium-Dioden. Zum Transport der Information von einem Kern zum nächsten benötigen wir Elektronenröhren."

So schlug denn der ZRA 1 in Konzeption und Ausführung mit 770 als Treiber und Verstärker dienenden Röhren, 12000 Germanium-Dioden und 8500 Ferritkernen eine Brücke von der ersten zur zweiten Computer-Generation. Er erreichte als langsamer Digitalrechner eine Arbeitsgeschwindigkeit von 150 bis 170 Operationen pro Sekunde, die sich durch geschickte Programmierung bedeutend steigern ließ. Die technische Flexibilität erlaubte es, zwei verschiedene Befehle gleichzeitig zu verarbeiten.

Serienmäßig hergestellt, wurde der ZRA 1 in Rechenzentren der DDR und der CSSR eingesetzt. Er bewährte sich in mannigfaltigen wissenschaftlichen, ökonomischen und technischen Berechnungen, darunter bei geologischen Erkundungen, in der Getriebeproduktion, im Stahlbau, bei Lohnabrechnungen und bei der Ausarbeitung logischer Pläne.

Elektronischer Analogrechner EAR

Etwa 500 Rechenstationen gab es im Jahre 1970 in der Deutschen Demokratischen Republik. Ihre materiell-technische Basis besteht neben Automaten aus der UdSSR und einigen aus dem kapitalistischen Ausland importierten Rechenmaschinen vorwiegend aus Anlagen des VEB Robotron.

Elektronen-Lochkartenrechner R 100

Als zweite Computer-Generation hat die Robotron-Serie mit Ausnahme des Robotron ASM 18 (380 Elektronenröhren, Zusatzgerät für Tabelliermaschinen) Transistoren als Bauelemente. Das gilt sowohl für den Lochkartenrechner R 100, der eine Arbeitsgeschwindigkeit von 140 Operationen pro Sekunde hat, als auch für den R 300, der zu den elektronischen Datenverarbeitungsanlagen gehört, die das Fundament des maschinellen Rechnens in der DDR sind.

Nachdem Baukastenprinzip aufgebaut, fällt der R 300 besonders wegen seiner Flexibilität auf. Hohe Speicherkapazität verbindet sich mit Schnelligkeit, das Ineinanderwirken der Einzelgeräte ermöglicht ein zügiges Verarbeiten von Daten. Zusatz- und Ergänzungsgeräte gewährleisten den Einsatz sowohl im ökonomischen als auch im wissenschaftlich-technischen Bereich.
Mit dem R 300 wurde in der Deutschen Demokratischen Republik der Durchbruch der elektronischen Datenverarbeitung vollzogen und deren Fundierung endgültig gesichert. Die Entwicklung in Forschung, Konstruktion und Anwendung digitaler Rechenautomaten schreitet konsequent und zielgerichtet voran.

Auf der Leipziger Frühjahrsmesse 1969 gab es eine Premiere besonderer Art. Zusammen mit einem numerisch gesteuerten Werkzeugbearbeitungszentrum wurde die Daten-Fernübertragungsanlage DFB 550, eine Entwicklung des Instituts für elektronische Datenverarbeitung Dresden und des VEB Rafena-Werke Radeberg, zum ersten Mal der Öffentlichkeit vorgestellt.

Die DFB 550 bestand die Probe hervorragend. An das Fernsprechnetz angeschlossen, schlug sie über 2000 Kilometer eine Datenbrücke von Leipzig nach Moskau, übermittelte per Lochstreifen ein Quellenprogramm an das Rechenzentrum des dortigen Wissenschaftlichen Forschungsinstituts für Werkzeugmaschinen und empfing aus der sowjetischen Hauptstadt die von einem Großcomputer errechneten Steuerimpulse für die automatische Fertigung von Einzelteilen durch das numerisch gesteuerte Bearbeitungszentrum des Werkzeugmaschinenkombinats Gera, Werk Saalfeld, das in der Messehalle aufgebaut war.

Das alles vollzog sich in höchster Präzision und in einer Zeitspanne von Sekunden.

Die Daten-Fernübertragungsanlage, die zwanzigmal schneller ist als der beste Fernschreiber, ermöglichte zusammen mit der Operationsgeschwindigkeit des sowjetischen Elektronenrechners dieses den Zuschauern unwahrscheinlich anmutende Tempo.

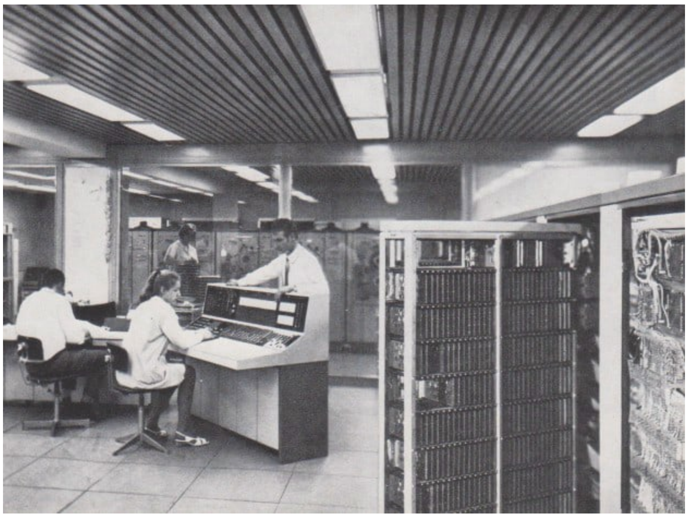
An diesem ersten Märzsonntag des Jahres 1969 wurde zur Gewissheit, dass der internationale Austausch von Daten, Programmen, wissenschaftlichen Berechnungen und anderen Informationen unter den im Rat für Gegenseitige Wirtschaftshilfe (RGW) vereinten sozialistischen Staaten in eine Phase eingetreten ist, die für die wissenschaftliche und produktionstechnische Kooperation ganz neue Perspektiven eröffnet.

Ein Jahr danach, auf der Frühjahrsmesse 1970, erlebte die von Fachleuten aus aller Welt stark beachtete Premiere mit einer Demonstration aus der industriellen Praxis eine erfolgreiche Fortsetzung. Diesmal wurde in die Daten-Fernübertragung Leipzig-Moskau die Rechenstation des Großforschungszentrums im Werkzeugmaschinenkombinat "Fritz Heckert" in Karl-Marx-Stadt einbezogen.
Das vorgeführte Beispiel ging von der Annahme aus, ein Kunde habe einen Spindelkasten bestellt, eine wichtige Baueinheit eines Werkzeugmaschinensystems. Bis zur Realisierung dieses Auftrages wurden folgende Etappen zurückgelegt:

Übermittlung der vorgegebenen technischen Parameter von Leipzig an das Forschungsinstitut für Werkzeugmaschinen in Moskau - Auswahl möglicher Konstruktionsvarianten durch eine Rechenanlage "Minsk 22" - Übermittlung dieser Angaben nach Leipzig - mit Hilfe des Lochstreifens Anfertigung einer Konstruktionszeichnung durch den in Leipzig stationierten sowjetischen Zeichenautomaten "Itekan 2" - Änderungen der Konstruktionszeichnung durch Konstrukteure entsprechend den speziellen Kundenwünschen, der zur Verfügung stehenden Technologie und anderen Faktoren - Übermittlung dieses Ergebnisses nach Moskau - Optimierung der vorliegenden Daten und Umwandlung in exakte Fertigungsunterlagen durch einen Großrechner - Übermittlung des Bearbeitungsprogramms über Leipzig nach Karl-Marx-Stadt - Bestimmung der optimalen technologischen Variante durch die elektronische Datenverarbeitungsanlage Robotron 300 - Übermittlung nach Leipzig - Fertigung des Spindelkastens im numerisch gesteuerten Hochgenauigkeitsbearbeitungszentrum vom WMW-Kombinat "Fritz Heckert".

Trotz der zu bewältigenden Entfernungen sind die Vorteile des automatisierten Systems mit Computern, Lochstreifen und Daten-Fernübertragung außerordentlich groß. Bei dem demonstrierten Spindelkasten-Beispiel verringert sich die Konstruktionszeit um etwa 95 Prozent, die Kosten sinken um 75 Prozent. Bei der technologischen Bearbeitung beträgt die Zeitersparnis ebenfalls 95 Prozent und der finanzielle Gewinn 55 Prozent. Die neuartige Fertigung beansprucht nur 30 Prozent der früheren Produktionszeit und nur 40 Prozent der Kosten.

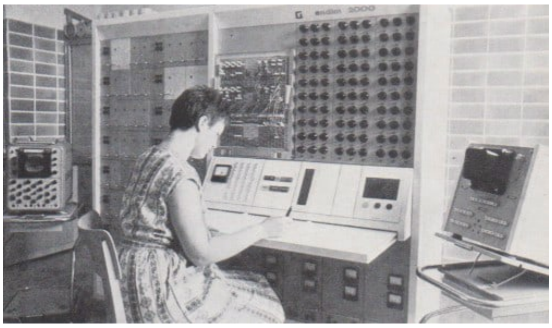
In der Daten-Fernübertragung hat auch der R 300 seinen Platz.
Er erfüllte seine Aufgaben in dem Dreieck Moskau-Leipzig-Karl-Marx-Stadt, und er bewährte sich in einer anderen Systemautomatisierung, die ebenfalls auf der Messe gezeigt wurde. Durch Zusatzgeräte ergänzt und mit einer außerhalb des Messegeländes installierten Großrechenanlage BESM 6 verbunden, bewies der R 300 seine Zuverlässigkeit und seine vielseitigen Einsatzmöglichkeiten.



Elektronenrechenanlage R 300

Die Daten-Fernübertragung - ob durch die DFE 550 oder auf kürzeren Strecken durch Fernschreiber - vereinigt Computer verschiedener Typen zu einem Computer-Ensemble und potenziert ihr Leistungsvermögen. Über technische und ökonomische Vorzüge hinaus kennzeichnet diese Maßnahme die Gemeinsamkeit der sozialistischen Länder auch auf diesem Gebiet.

Dieses Miteinander im RGW wird für die elektronische Datenverarbeitung in der Deutschen Demokratischen Republik auch in Zukunft ein festes und sicheres Fundament sein.
Jetzt schon ist jeder dritte Wissenschaftler der Welt in einem RGW-Land tätig. Nationale Forschungs- und Entwicklungsprogramme werden koordiniert und auf den Nutzen für alle Mitgliedsstaaten abgestimmt. Im Herbst 1971 hatten 700 Forschungs- und Projektierungseinrichtungen der UdSSR Kontakt mit 870 Instituten in den übrigen sozialistischen Ländern.
Die Zusammenarbeit erstreckte sich auf 1700 Probleme und Themen, die auch und nicht zuletzt die elektronische Datenverarbeitung erfassten.

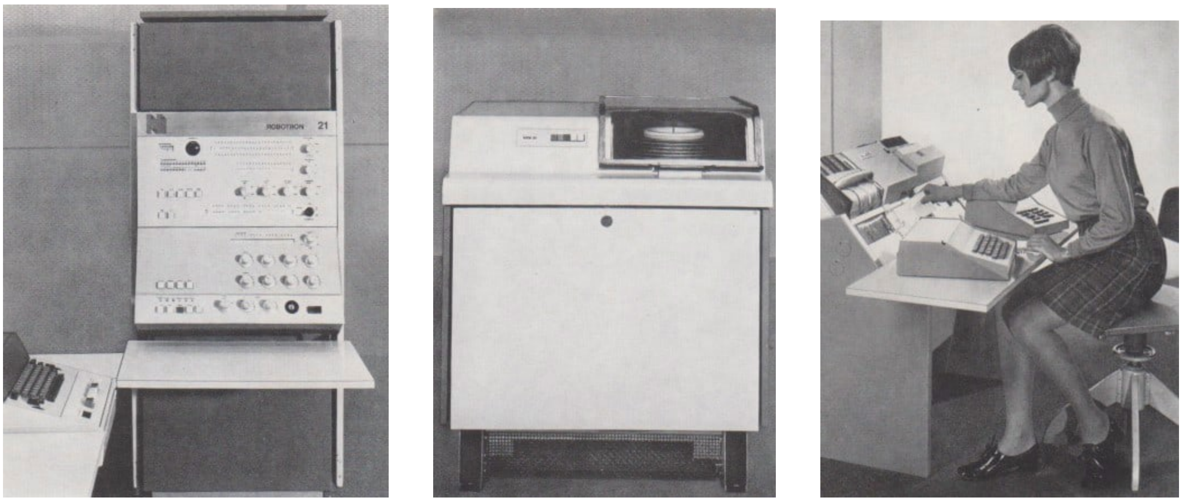


Elektronischer Analogrechner endim 2000

In der elektronischen Datenverarbeitung führte die sozialistische ökonomische Integration zur Schaffung des Einheitlichen Systems der elektronischen Rechentechnik (ESER). (In den anderen sozialistischen Ländern des RGW sind dafür entsprechende Bezeichnungen üblich, z. B. RJAD in der UdSSR und RIAD in der Volksrepublik Bulgarien.) Dadurch gelang es, Erfolge der wissenschaftlich-technischen Revolution in diesem Bereich organisch mit den Vorzügen des sozialistischen Wirtschaftssystems zu vereinigen.

Dem Konkurrenzkampf kapitalistischer Konzerne wurde eine von gemeinsamen Überlegungen und Bemühungen getragene Entwicklung innerhalb des RGW gegenübergestellt,

Hinter dem nüchternen Begriff ESER verbirgt sich der hohe Stand der kollektiven Bestrebungen der RGW-Partner; in ihm drückt sich aus, wie durch das Ineinanderwirken ökonomischer, wissenschaftlicher, technischer und gesellschaftlicher Potenzen neue Möglichkeiten erschlossen werden können, die ihrerseits mithelfen, das Wachstumstempo des Sozialismus zu beschleunigen.
ESER beruht auf einer in sich abgestuften Typenreihe von EDV- Systemen und hat mehrere Merkmale, darunter die einheitliche Grundkonzeption, die Programm- und Datenkompatibilität (Kompatibilität = Normverträglichkeit) der einzelnen EDV-Anlagen, das Standardanschlussbild ESER, das den Anschluss gleicher peripherer Geräte an Zentraleinheiten mit unterschiedlichen Leistungsparametern gestattet, und einheitliche Betriebssysteme. Daraus ergibt sich eine universelle Anwendungsskala, in der spezifische Projekte und Programme den verschiedensten Einsatzfällen gerecht werden.



Zentraleinheit des R 21, Wechselplattenspeicher und Kartenlocher Soemtron 415

Zu dem Einheitlichen System elektronischer Rechentechnik der sozialistischen Länder steuerte der VEB Kombinat Robotron Dresden als erstes Modell der DDR die EDV-Anlage Robotron 21 (R 21) bei, die auf der Leipziger Frühjahrsmesse 1972 Premiere hatte und bei der Vorführung mit peripheren Geräten aus anderen RGW-Staaten, u.a. mit einem Lochkartenleser aus der UdSSR und einem Lochbandgerät aus der Volksrepublik Bulgarien, gekoppelt war.

Der R 21 gehört der dritten Generation elektronischer Rechenautomaten an und zeichnet sich neben kurzen Operationszeiten, einer großen Kapazität des Hauptspeichers und anderen günstigen technischen Komponenten durch Vielseitigkeit aus. Mit der Zentraleinheit lassen sich in flexibler Form periphere Geräte der eigenen Produktion (darunter Abfrageeinheit, Paralleldrucker, Magnetspeichergerät, Wechselplattenspeicher und Bildschirmeinheit, Lochband- und Lochkartenstation) und über das ESER-Standardanschlussbild auch andere ESER-Anlagen kombinieren. Diese Variabilität erlaubt es, den R 21 für die Lösung von Problemen unterschiedlichen Charakters einzusetzen, er eignet sich für technisch-ökonomische Berechnungen ebenso wie für Aufgaben des wissenschaftlich-technischen Sektors.

Rationelle Verarbeitungsmethoden wie die Multiprogrammierung, die Stapelverarbeitung und die Parallelarbeit von Zentraleinheit und Ein- und Ausgabeeinheiten sowie problem- und sachgebietsorientierte Programmiersysteme und verfahrensorientierte Programmpakete gewährleisten einen hohen Auslastungsgrad des R 21.
Alle Eigenarten - von der logischen Grundkonzeption bis zu den Systemunterlagen - sind auf eine Reduzierung des personellen, zeitlichen und finanziellen Aufwands abgestimmt, auf einen Nutzeffekt, der in der Rechentechnik zu einem erstrangigen Kriterium geworden ist.

Als weitere Neuentwicklung stellte der VEB Kombinat Robotron auf der Leipziger Frühjahrsmesse 1972 das Kleinrechnersystem KRS 4200 vor, das als selbständige Einheit oder auch als Teil einer größeren Anlage arbeiten und über Anschlusssteuerungen mit Rechnern des Einheitlichen Systems der elektronischen Rechentechnik verbunden werden kann. Trotz seiner geringen Ausmaße - er hat nur die Größe eines Haushaltkühlschrankes - erreicht der Rechner eine Operationsgeschwindigkeit von etwa 74000 Operationen pro Sekunde.

Ein besonderer Vorzug des KRS 4200 ist die Anpassungsfähigkeit an das jeweilige Einsatzgebiet. Die mannigfaltige Spezialisierung ist neben der Gerätetechnik der dritten Generation einem umfangreichen Sortiment an maschinenorientierten und problemorientierten Systemunterlagen zu verdanken. Durch diese Unterlagen verringern sich die Kosten bei der Einsatzvorbereitung, die etwa die Hälfte der gesamten Rechenkosten ausmachen, bis zu 30 Prozent.

Verwendbar ist das KRS 4200 u. a. für die Steuerung von Maschinen, Geräten und Produktionsanlagen, die Labor- und Prüffeldautomatisierung, für Aufgaben im Gesundheits-, Bildungs- und Verkehrswesen, für die Prozessbilanzierung und für wissenschaftlich-technische Berechnungen.
Das Kleinrechnersystem 4200 stammt aus der Prozessrechnerfamilie Robotron 4000, deren bedeutendstes und leistungsfähigstes Exponat das Prozessrechnersystem PRS 4000 mit dem Rechner R 40 ist - eine Anlage der dritten Generation, konstruiert und gebaut für die ESER-Typenreihe.

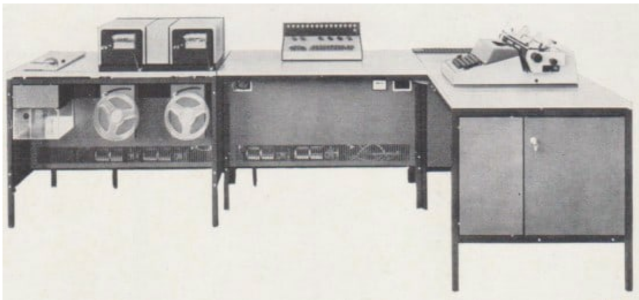
Charakteristisch für den R 40 sind u. a. die hohe Operationsgeschwindigkeit für die Informationsverarbeitung von durchschnittlich 380000 Operationen pro Sekunde und die kurze Zugriffszeit von 450 Nanosekunden. Damit hat der R 40 das Leistungsvermögen einer großen elektronischen Datenverarbeitungsanlage.

Die konstruktiven und strukturellen Lösungen sind eine Voraussetzung für rationelle Verarbeitungsweisen wie Parallelarbeit zwischen der Zentraleinheit und den Ein- und Ausgabewerken, Multiprogrammierung, Stapelverarbeitung und Anschluss von externen Speichern mit direktem Zugriff. Zusammen mit den Systemunterlagen führt der technische Aufbau zu einer Vereinfachung der Programmierung, einer erheblichen Verkürzung der Programmier-, Test- und Rüstzeit und einer Erleichterung in der Bedienung.

Dem spezifischen Zweck entsprechende Zusammenschaltungen von peripheren Geräten (Abfrageeinheit, Lochbandstation, Paralleldrucker, Lochkartenstanzer, Lochkartenleser, Magnetbandspeichergeräte, Wechselplattenspeicher, Geräte der Datenübertragung, Bildschirmsysteme, optischer Belegleser) zu Anlagenkonfigurationen ermöglichen eine äußerst variable Nutzung sowohl in Industriekombinaten als auch in wissenschaftlichen Institutionen, Projektierungsbüros, staatlichen Einrichtungen und Verwaltungen. Damit ist der R 40 ein wertvolles Instrument zur weiteren Rationalisierung und Automatisierung und nicht zuletzt auch zur Vervollkommnung der Leitungs-, Planungs- und Informationstätigkeit.

Mit dem R 40 und dem Prozessrechnersystem PRS 4000 wartet das Robotron-Kombinat mit einem Spitzenerzeugnis auf, das internationalen Rang hat und besonders das Einheitliche System der elektronischen Rechentechnik der sozialistischen Länder bereichert.

In der Entwicklung und Produktion elektronischer Datenverarbeitungsanlagen nimmt der VEB Kombinat Robotron Dresden in der DDR den führenden Platz ein. Doch auch die Modelle des VEB Kombinat Zentronik Erfurt/Sömmerda zeugen von den Fortschritten dieses Industriezweiges in unserer Republik.



Elektronischer Kleinrechenanlage Cellatron C 8205

Neben den peripheren Geräten, von denen einige das Robotron- Programm vervollständigen, ragt im Kombinat Zentronik vor allem der programmgesteuerte digitale Elektronenrechner Cellatron C 8205 hervor: der sich sowohl als selbständige Einheit als auch als Kombinationsteil größerer Anlagen in Industriebetrieben, Ingenieurbüros und wissenschaftlichen Institutionen bewährt und sich bei geringem technischen Aufwand als leistungsfähig und wirtschaftlich erweist.
Auch im Ausland ist der Cellatron C 8205, der 1970 in Leipzig mit einer Messe-Goldmedaille ausgezeichnet wurde, begehrt; er arbeitet u. a. in der UdSSR und der CSSR.

4.6 Vorstoß in neue Bereiche

Der Farmer John Lasky traute seinen schon etwas schwachen Augen nicht, als er, der in Ehren ergraute 76jährige Bürger der Vereinigten Staaten von Amerika, eines Morgens einen höchst amtlichen Brief erhielt: den Einberufungsbefehl zur US-Army. Schriftliche Proteste nützten ihm nichts, die Behörden bestanden auf ihrer Forderung, dass er den Militärdienst abzuleisten habe.

So blieb dem aus der Fassung geratenen Lasky, der Rekrut werden sollte und nicht wollte, nichts anderes übrig, als seinen Koffer zu packen und von seinem abgeschiedenen

Gehöft zur nächsten Rekrutierungs-Dienststelle zu trampen, um dort die verantwortlichen Bürokrieger zu überzeugen, dass er für den Kasernenhof wohl nicht mehr der ideale Mann sei.
Seinen Beteuerungen schenkte man erst Glauben, als er seinen Geburtsschein hervorholte - Jahrgang 1894. Dann wurde der Irrtum aufgeklärt: Ein Computer hatte einen falschen Soldaten ausgewählt und die falsche Adresse gedruckt.

Diese Story machte als Kuriosität die Runde um die Welt. Wer sie las, schmunzelte. In der Genugtuung darüber, dass old John am Ende sein Recht behauptet hatte, lag auch ein bisschen Schadenfreude über den Fehler, der dem Computer passiert war.

Das Verhältnis, das der Mensch zur Maschine hat, äußert sich manchmal auf sonderbare Weise. Das Gefühl und das Bewusstsein, den toten Mechanismen überlegen zu sein, drückt sich in nebensächlichen Dingen oft elementarer und stärker aus als in großen Fragen.
Im übrigen spricht das Quentchen Schadenfreude gar nicht gegen die Computer, sondern für sie. Gut zwei Jahrzehnte vor dem Zwischenfall, der John Lasky widerfuhr, wäre es eine kleine Sensation gewesen, wenn ein elektronischer Automat die Arbeit, die er jetzt tagtäglich verrichtet, einigermaßen reibungslos erledigt hätte - und nun erregt es Aufsehen, wenn er sich einmal vertut.

Die Menschheit hat sich daran gewöhnt, dass Rechenautomaten zu tüchtigen, zuverlässigen und schnellen Helfern geworden sind und die ihnen befohlenen Aufgaben von A bis Z erfüllen, von Berechnungen in der Atomphysik bis zur rationalen Planung des Zuckerrübenanbaus auf großen Flächen. Diese Skala schließt alle Einsatzgebiete ein. Es gibt praktisch keinen Bereich mehr, für den Computer untauglich wären.

Das Rechnen und die Mathematik haben über ihren ursprünglichen Inhalt hinaus durch das Instrumentarium, das nunmehr für die numerische Exekutive zur Verfügung steht, einen neuen Sinn bekommen.
Das war, als vom 15. bis 20. Juni 1959 in Paris die von der UNESCO veranstaltete erste Internationale Konferenz über Informationsverarbeitung (IFIP) stattfand, noch nicht so deutlich ausgeprägt. Das Programm des Kongresses lautete:

1. Numerische Rechenverfahren,
2. Logischer Aufbau von Ziffernrechnern,
3. Gemeinsame Symbolsprache für Ziffernrechner,
4. Automatische Sprachübersetzung,
5. Sammeln, Speichern und Wiederauffinden von Informationen,
6. Zeichenerkennung und Lernen von Maschinen.

Interessant war jeder Tagesordnungspunkt, doch die Aufmerksamkeit galt besonders dem vierten, der automatischen Sprachübersetzung. An diesem Problem entzündeten sich die Phantasie und die Diskussionsfreudigkeit der Teilnehmer, denn es stellte ein Experiment dar, dessen Ausgang trotz sorgfältiger Vorbereitung ungewiss war.
Die Spannung löste sich auf in eine mitreißende Begeisterung. Ein Computer, eine von Menschen erdachte, konstruierte und gebaute Maschine, schaffte es, in einer Stunde

10000 Wörter Fachtext aus dem Englischen ins Französische und aus dem Französischen ins Russische zu übersetzen.

Die Wissenschaftler, die diesem Ereignis beiwohnten, zeigten sich außerordentlich beeindruckt. Einige wagten sogar die Prognose auszusprechen, beim nächsten IFIP-Kongress im Jahre 1963 würden automatische Simultan-Übersetzungsanlagen vorgeführt werden. Diese vielleicht zu impulsive und zu emotionale Voraussage bewahrheitete sich nicht, aber andererseits machte die maschinelle Linguistik Fortschritte, die 1959 in Paris noch nicht zu ahnen waren.

In der UdSSR überraschte ein von Prof. Dr. Sergej Lwowitsch Sobolew (geb. 1908) geleitetes Kollektiv, dem neben Mathematikern auch Philologen und Historiker angehörten, mit der teilweisen Entschlüsselung der bis dahin rätselhaften Maya-Handschriften. Als wichtigstes Hilfsmittel hatten die Forscher einen sowjetischen Hochleistungsrechner benutzt.
Bald danach, im Mai 1963, wurde in den USA ein Computer erprobt, der technische Texte aus dem Chinesischen ins Englische übertrug, ohne dass die beteiligten Operateure ein einziges Wort der ihnen fremden Sprache verstanden. Damit wurde erneut bestätigt, dass der mechanische (nicht der literarisch-schöpferische) Übersetzungsprozess auf einer Reihe logischer Algorithmen beruht und sich mit Einbeziehung grammatischer Regeln zu einem gewissen Teil automatisieren lässt.

Die "lesende" Maschine; steht heute neben der rechnenden. Konstrukteure der Litauischen SSR schufen eine mit einer Datenverarbeitungsanlage gekoppelte Spezialvorrichtung, die, unvergleichlich schneller als das menschliche Auge, pro Sekunde bis zu 150 Druck- und Schriftzeichen erfasst. Ein anderes sowjetisches elektronisches Lesegerät, "Ruta 701", bringt es sogar auf 200 Zeichen pro Sekunde und übermittelt diese, auf einem Lochband codiert, dem Rechenautomaten.

Elektronische Rechenautomaten bewähren sich auch in der wissenschaftlichen Lehre. In mehreren Universitäten und Hochschulen der DDR werden sie bei Leistungskontrollen verwendet, die notwendig sind, um Studienleistungen möglichst objektiv zu bewerten.
Nun nehmen aber beispielsweise in einem Kurs 300 bis 500 Ingenieurstudenten an der Grundausbildung im Fach Mathematik oder technische Mechanik teil. In einem solchen Fall erfordern natürlich das Prüfen der Kontrollarbeiten sowie das Auswerten und das Zusammenfassen ihrer Ergebnisse einen erheblichen Arbeitsaufwand, der dazu, weil er viel Routine enthält, für den Hochschullehrer eintönig und nicht befriedigend ist. Es ist deshalb vorteilhaft, dafür Rechenautomaten einzusetzen, obwohl es auf diese Weise nur möglich ist, das Vorhandensein und das Beherrschen von Fertigkeiten zu überprüfen. Doch dieser Nachteil kann in Kauf genommen werden.

Die Leistungskontrollen erfolgen für alle Studenten eines Kurses zur gleichen Zeit. Jeder Student bekommt die Aufgaben mit sogenannten Antwort-Vorkarten ausgehändigt. Eine Antwort-Vorkarte trägt die Ziffer 1, eine zweite die Ziffer 2 usw. bis zur Ziffer 9. Jede Aufgabe befindet sich auf einer Aufgaben-Lochkarte und hat 9 Lösungsangebote, unter denen sich die richtige Lösung befindet.
Wie bei einer herkömmlichen Klausur ermittelt der Student die Lösung. Enthält nun

beispielsweise das vierte Lösungsangebot die richtige Lösung, so legt er die Aufgaben-Lochkarte hinter die Antwort-Vorkarte 4. Die Antwort-Vorkarten bilden sozusagen die Trennwände eines in Fächer eingeteilten Kastens, wobei es darauf ankommt, die Aufgaben-Lochkarten in das richtige Fach zu legen.

Ein Digitalrechner wertet die abgegebenen Karten aus, nachdem die Daten auf einen Lochstreifen übertragen worden sind, und liefert als Schnellauswertung eine namentliche Liste, die alle möglichen und erreichten Punkte für die gesamte Leistungskontrolle enthält.
Es erfolgt noch eine endgültige Auswertung mit einer Übersicht; über Punktzahlen, erreichte Noten und den Gesamtleistungsstand, wobei vorangegangene Klausuren mit ihren Punktzahlen und Noten berücksichtigt sind. Eine dritte Übersicht enthält schließlich, was für den Prüfer besonders interessant ist, eine Übersicht über die gestellten Aufgaben, die richtigen und die falschen Lösungen sowie über die nichtgelösten Aufgaben.

In der Leistungskontrolle hat die maschinelle Rechentechnik einen mehrfachen Nutzen; Sie garantiert in der Bewertung ein Höchstmaß an Objektivität, ermöglicht einen beträchtlichen Zeitgewinn, entlastet die Wissenschaftler von Routinearbeiten und weist auf die Stärken und Schwächen des Studentenkollektivs und der einzelnen Studenten hin. Nicht zuletzt werden die Studenten durch dieses Prüfungssystem mit Prinzipien des Einsatzes der elektronischen Datenverarbeitung vertraut, die sie in ihrer beruflichen Praxis gebrauchen werden.

In der Landwirtschaft waren technische Hilfsmittel sehr lange so gut wie unbekannt. Die Arbeitskraft von Tieren und Menschen ersetzte die nicht vorhandene Kraft von Maschinen. Die feudalen Grundherren zwangen ihre Leibeigenen zu körperlichen Anstrengungen, die heute unvorstellbar anmuten.
Die Agrartechnik kam erst spät und auch dann nur allmählich auf. Erst um das Jahr 1800 brachte Albrecht Thaer den eisernen Pflug von England nach Deutschland, erst 1826 konstruierte Patrick Bell, ein englischer Geistlicher, eine Getreidemähmaschine, erst 1909 war der erste deutsche Ackerschlepper funktionsfähig.

Auf der Landwirtschaft der kapitalistischen Staaten lasten noch heute Probleme, die, durch die gesellschaftlichen Verhältnisse bedingt, unlösbar sind. In der BRD verschwanden von 1949 bis 1971 laut amtlicher Statistik der Bonner Regierung 779000 Bauernhöfe, das waren mehr als 40 Prozent aller Landwirtschaftsbetriebe. Der Ruin wird andauern, Agrarexperten in der BRD sagen voraus, dass bis 1980 weitere 400000 Gehöfte aufgegeben werden.
Die Existenznot der kleineren und mittleren Wirtschaften spiegelt sich in der BRD auch in der Verschuldungssumme wider, die 1971 über 30 Milliarden DM betrug. Sie zeigt sich unter anderem ferner in dem sinkenden Betriebseinkommen, den steigenden Preisen vor allem für Bauten und Landmaschinen sowie in der vom Staat geübten Praxis, wirtschaftsschwache Betriebe von jeglicher Finanzhilfe auszuschließen. Das alles sind Bedingungen, die die Entwicklung der Landwirtschaft hemmen und der Anwendung moderner Produktionsmethoden entgegenwirken.

In der Deutschen Demokratischen Republik schuf die demokratische Bodenreform von 1945 eine.neue Grundlage. Die Bildung der landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften und der Kooperationsgemeinschaften machte den Weg frei zu einer modernen Großraumwirtschaft und zu einer sozialistischen industriemäßigen Produktion, in der die Technisierung eine erstrangige Bedeutung hat. Schon in naher Zukunft, bis 1975, sollen ungefähr 85 Prozent der feldwirtschaftlichen Arbeiten maschinell ausgeführt werden.

Zu der Technik, die in den Dörfern heimisch geworden ist, gehört auch die elektronische Datenverarbeitung. Computer steuern in dem universellen Automatisierungssystem "Uramat" Milchleitungen von den Großställen zu den Molkereien. Computer geben Auskunft über den zweckmäßigsten Maschinenpark und dessen günstigste Nutzung. Computer sind notwendiges Hilfsmittel von der Planung der Aussaat bis zur Organisation der Ernte.

Geplant und gerechnet haben die Bauern schon immer. Als ihre Felder noch klein und leicht übersehbar waren, kamen sie mit Papier und Bleistift aus. Bei den riesigen Flächen und Stallgebäuden, über die sie jetzt verfügen, wäre dieses Verfahren zum Scheitern verurteilt. Elektronische Rechenautomaten sind für die sozialistische Landwirtschaft unentbehrlich, sie arbeiten nicht nur äußerst schnell, sondern ermitteln mit relativ geringem Aufwand aus vielen Möglichkeiten die optimale.
Wenn beispielsweise landwirtschaftliche Produktionsgenossenschaften ihren Jahresplan für die Pflanzenproduktion ausarbeiten, so müssen sie bedacht sein, verschiedene, zueinander in Widerspruch stehende Forderungen zu erfüllen:

- Verkauf von bestimmten Mengen an Pflanzenprodukten an den Staat;
- ausreichende Versorgung der Viehbestände mit gutem Futter;
- niedrige Selbstkosten;
- günstig gestaltete Anbauverhältnisse.

Hier helfen mathematische Modelle, die aus dem Gebiet der linearen Optimierung kommen. In der Praxis werden ungefähr 40 Fruchtarten berücksichtigt. Sogenannte Nebenbedingungen enthalten die vorhandenen Begrenzungen, sie können produktionstechnisch begründet sein oder sich aus den verfügbaren Arbeitskräften, aus den zu erzeugenden Mindestmengen sowie aus dem erforderlichen Mindestbedarf an Futtermitteln ergeben.

Das standardisierte Modell enthält 45 Nebenbedingungen. Mit der Forderung, möglichst viele Naturalwerte zu erzeugen, wird eine Zielfunktion formuliert, die eine Maximierungsaufgabe bildet. Eine zweite Forderung, nämlich die nach den geringsten Produktionskosten, ergibt eine weitere Zielfunktion, die eine Minimierungsaufgabe darstellt.
Beide Aufgaben werden auf einem Computer gerechnet. Die Ergebnisse ermöglichen, einen gut bilanzierten Plan auszuarbeiten, vorhandene Reserven zu erschließen und die Produktion zu intensivieren.

Für die Genossenschaftsbauern ist das eine große Hilfe. Ohne Mathematik und ohne Rechentechnik kommt die sozialistische Landwirtschaft nicht mehr aus. Nicht jede landwirtschaftliche Produktionsgenossenschaft, jedes Volksgut und jede Kooperationsgemeinschaft braucht einen eigenen Computer, aber alle haben Zugang zu einem Rechenzentrum, das die menschliche Leistungskraft wesentlich zu steigern vermag.

Am 28. Mai 1859 forderte der deutsche Pathologe Rudolf Virchow in einem Vortrag, in die Medizin systematisch exakte Statistiken einzuführen, um den Grad und die Quellen der Gefahren für die menschliche Gesundheit deutlicher zu erkennen. Kritisch bemerkte er, dass man zwar das Wettergeschehen verfolge und Messungen registriere, aber darauf verzichte, das Krankheitsgeschehen in der Bevölkerung zu beobachten und zu erfassen. Damit wies Virchow auf Mängel hin, die in der Gesundheitsfürsorge offenkundig waren. Doch seine gute Idee ließ sich mit der notwendigen Konsequenz - von der mangelnden Bereitschaft der Behörden abgesehen - nicht verwirklichen, der Aufwand hätte die Möglichkeiten beträchtlich überstiegen. Gelöst werden kann dieses Problem erst jetzt, die Hilfsmittel dazu sind die Computer.

Die Informationsverarbeitung ist in der Lage, alle wichtigen medizinischen Unterlagen, darunter auch bestimmte Ergebnisse und Befunde über einzelne Patienten, zu speichern und bei Bedarf sofort bereitzustellen. Dadurch erhalten die Forschung, die Prophylaxe und die Therapie ein neues breites Fundament. Automaten verbessern die Ursachenanalyse und entlasten den Arzt von Routinearbeiten, so dass er mehr Zeit für die Patienten und die Wissenschaft findet.
Erfahrungen aus Kliniken der DDR, darunter aus dem Forschungszentrum Berlin-Buch der Akademie der Wissenschaften, besagen, dass sich Rechenanlagen besonders in der Diagnostik solcher Erkrankungen bewähren, deren Symptome sich exakt in Messwerten und Zahlen ausdrücken. Das ist u. a. bei Erkrankungen des Herzens und der Schilddrüse der Fall.

In zunehmendem Maße bedienen sich Ärzte der elektronischen Helfer und greifen selbst fördernd in deren Weiterentwicklung ein. So ist der berühmte sowjetische Herz- und Lungenchirurg Prof. Dr. Amossow, Autor des Buches "Herzen in meiner Hand", einer der aktivsten Mitarbeiter des Instituts für Kybernetik der Ukrainischen Akademie der Wissenschaften in Kiew.
Pionierarbeit leistet das Institut für Chirurgie in Moskau, dessen Rechenzentrum auch für Tausende Kilometer entfernte Krankenhäuser, mit denen es durch eine Fernschreibleitung verbunden ist, nach den Eingaben des behandelnden Arztes Diagnosen stellt. Über Probleme des Einsatzes der EDV in der Medizin äußerte sich Institutsdirektor Prof. Dr. Alexander Wischnewski:

"Die Erfolge der modernen Medizin sind aufs engste mit der Entwicklung der Physik, Chemie, Mathematik, Elektronik und Kybernetik verbunden. Kybernetik und Medizin! Was haben sie miteinander gemein, was verbindet diese beiden Wissenschaften die jüngste und eine der ältesten?

Die Kybernetik ist die Wissenschaft von Systemen, die so kompliziert sind, dass der Mensch nicht in der Lage ist, sie angesichts der riesigen Menge von Informationen, die dabei auftreten, mit den üblichen Methoden zu steuern. Auch vor dem Arzt steht im Grunde die kybernetische Aufgabe der Steuerung eines so außerordentlich komplizierten Systems, wie es ein kranker menschlicher Organismus ist. An Hand zahlreicher Krankheitssymptome sowie des Zustandes des Patienten muss der Arzt eine Diagnose stellen und einen optimalen Plan für die chirurgische oder therapeutische Behandlung wählen.

Die moderne Medizin hat viele empfindliche Geräte entwickelt, die die verschiedensten Untersuchungen des Organismus ermöglichen. Und hier ergibt sich ein Paradoxon: Je größer die Zahl der Informationen ist, die wir über den Zustand des Patienten erhalten, desto schwerer wird es für den Arzt, sie zu erfassen und sich auf ihrer Grundlage eine allgemeine Vorstellung über den Verlauf der Erkrankung zu bilden.
Hier kann eine moderne elektronische Datenverarbeitungsanlage dem Arzt helfen. Sie hat einen großen Speicher und arbeitet so schnell, dass sie binnen einiger Minuten zahlreiche Symptome beurteilen, vergleichen und summieren sowie eine entsprechende Diagnose stellen kann.

In dem am Wischnewski-Institut für Chirurgie etwa vor zehn Jahren (1959) eingerichteten Laboratorium für Kybernetik wurden kybernetische Diagnosesysteme für eine Reihe von chirurgisch zu behandelnden Krankheiten geschaffen: für angeborene und erworbene Herzfehler sowie für Erkrankungen der Leber und des Magens.
Die von uns gemeinsam mit Prof. M. L. Bychowski ausgearbeiteten logischen und mathematischen Grundlagen der maschinellen Diagnose haben sich als universell erwiesen: Sie lassen sich zum Aufbau automatischer Systeme verwenden, die unter anderem auch Blutkrankheiten sowie Erkrankungen der Lunge und des Zentralnervensystems diagnostizieren.

Die bei der Arbeit mit den Diagnosesystemen gesammelten Erfahrungen haben ihre hohe Effektivität bewiesen. Die EDV-Anlage stellt in 90 bis 92 Prozent der Beobachtungen eine exakte Diagnose. Als besonders wertvoll erwies sich die elektronische Diagnose bei angeborenen komplizierten Herzfehlern. Es wurde möglich, eine große Zahl von kleinen Symptomen zu berücksichtigen, deren Bedeutung der Arzt nur sehr schwer beurteilen kann. Diese Besonderheit ermöglicht auch eine viel erfolgreichere Frühdiagnose, die bei bösartigen Neubildungen (Krebs) außerordentlich wichtig ist.
In einigen Fällen ergibt sich die Möglichkeit einer Diagnose ohne komplizierte und gefährliche Untersuchungen des Patienten, die mit dem Einführen einer Sonde in die Herzkammern oder mit direkter Funktion verbunden sind.

Der Arzt muss die Fragen der Differentialdiagnose lösen, das heißt, er muss ermitteln, ob bei einem Patienten eine bestimmte Krankheit - 'ja' oder 'nein' - vorliegt. Zur Lösung solcher Alternativaufgaben benutzen wir im Laboratorium für Kybernetik unseres Instituts eine mathematische Alternativmethode. Diese ermöglicht es mit Hilfe einer speziell 'trainierten' EDV-Anlage, beispielsweise den Magenkrebs genau von anderen Magenkrankheiten zu unterscheiden.

Eine weitere wichtige Richtung der medizinischen Kybernetik ist die Schaffung eines elektronischen medizinischen Archivs. In diesem Archiv liegen die Krankheitsgeschichten in kodierter Form - als Lochkarten - vor.

Der Lochkartenfonds umfasst die klinischen Erfahrungen auf einem bestimmten Gebiet der menschlichen Pathologie und ermöglicht es, umfangreiche medizinische Erfahrungen zu speichern. Die EDV-Anlage braucht nur wenige Minuten, um aus der früheren Praxis einen analogen Fall herauszusuchen oder um in einer beliebigen vorgegebenen Richtung eine statistische Zusammenfassung klinischen Materials zu geben.
In solch einem Archiv kann man die Erfahrungen vieler Kliniken eines oder sogar mehrerer Länder speichern. Damit wird es prinzipiell möglich, künftig ein internationales medizinisches Informationszentrum einzurichten.

Ebenso wie bei jeder anderen Wissenschaft lässt sich auch in der Medizin meist nur schwer voraussagen, welche praktische Bedeutung Untersuchungen haben, die anscheinend zutiefst theoretisch sind.
Davon, dass diese geradezu trivial gewordene Feststellung zutrifft, konnten wir uns erst unlängst wieder einmal überzeugen. Im Laboratorium für Kybernetik liefen einige Jahre lang Untersuchungen über das elektronische Modellieren der elektrophysiologischen Erscheinungen, die in Nervenzellen und Nervenfasern auftreten. Dabei konnten wichtige Gesetzmäßigkeiten erkannt werden.
Die Kenntnis dieser Gesetzmäßigkeiten erwies sich als äußerst nützlich bei der Entwicklung der Funkfrequenzmethode zur Stimulierung der Harnblase in solchen Fällen, in denen deren Funktion infolge einer schweren Verletzung des Rückenmarks gestört war. Durch diese neue Methode kann der Zustand dieser Schwerkranken erleichtert werden.

Das Bündnis von Mathematik, Kybernetik und Medizin eröffnet weite und verlockende Perspektiven. Zweifellos wird man Systeme entwickeln, mit deren Hilfe sich der Zustand eines Patienten während einer großen und komplizierten Operation schnell beurteilen lässt. Solch ein System vermag binnen einer Sekunde die Angaben der zahlreichen Geräte und Apparate zu vergleichen und zu summieren, die den Zustand der verschiedenen Funktionen des Patienten verfolgen.

Die nächste Etappe sind automatische und teilautomatische Systeme zur Steuerung des Zustandes des Patienten während der Operation, die automatische Steuerung des künstlichen Blutkreislaufs, der 'künstlichen Niere', der Narkoseapparate usw. Auch zur Lösung dieser Aufgaben sind alle Grundlagen real gegeben.
Zu den interessantesten Unternehmen der Medizin unserer Zeit gehören die Transplantationen Von Organen, besonders des Herzens. Die Forscher - Chirurgen, Physiologen, Immunologen - stoßen hier auf eine Reihe sehr schwieriger und bei weitem noch nicht gelöster Probleme chirurgischen und allgemein-biologischen Charakters.

EDV-Anlagen werden auf vielen Gebieten der Medizin zu einer schnelleren Entwicklung beitragen. Sie werden den Arzt nicht etwa ersetzen, wohl aber zu seinen zuverlässigen Helfern im Kampf für die Gesundheit und das Leben des Menschen werden."

Computer können der Gesundheit und dem Leben dienen, und sie können dazu missbraucht werden, Verderben und Tod zu bringen.

Fast am gleichen Tag, im November 1969, als ein Sprecher der Provisorischen Regierung der Republik Südvietnam in Paris bekanntgab, dass die amerikanischen Ag-

gressoren 1200 Menschen des Dorfes Ba Lang An bei Son My auf Boote getrieben und diese auf dem Meer versenkt hatten, veröffentlichte die Londoner "Sunday Times" einen Bericht von einem weiteren ungeheuerlichen Verbrechen, wonach spätestens seit März 1968 das US-Oberkommando in Saigon über einen Computer-Komplex verfügte, der wahrscheinlich in Bien Hoa stationiert war.
In ihn wurden alle Informationen über das Kriegs- geschehen eingegeben. Die Automaten wurden u. a. eingesetzt, um Listen von Bomberzielen aufzustellen und die Intensität der Bombardierung zu bestimmen. Sie berechneten, wo und wie Zivilisten getötet werden sollten und garantierten dafür einen optimalen Erfolg.

Außerdem enthüllte die Zeitung den Plan des amerikanischen Vietnam-Stabes, 33000 Südvietnamesen aus Gebieten, die mit der Befreiungsfront sympathisierten, durch Computer als Verdächtige auswählen zu lassen, um sie dann zu eliminieren.

Der Kommentator der "Sunday Times" bemerkte zu diesen empörenden Tatsachen, Washington habe den von den Hitlerfaschisten im zweiten Weltkrieg mit herkömmlichen Mitteln geplanten Mord an der Zivilbevölkerung zum Computermord gesteigert und "das erfunden, was in Wirklichkeit eine Vernichtungsmaschine in Form eines 'Elektronengehirns' ist".

Schon 1947 hatten amerikanische Wissenschaftler mit Norbert Wiener an der Spitze vor dem Missbrauch der neuen Entdeckungen und Erfindungen eindringlich gewarnt. Zwei Jahrzehnte danach War das, was sie befürchteten, furchtbare Realität.
Die Welt kennt die Schuldigen. Es sind diejenigen, die eine der größten wissenschaftlichen und technischen Errungenschaften der Menschheit zu einem Werkzeug zur Vorbereitung von Aktionen der Massenvernichtung und des Mordens herabgewürdigt haben.

Der imperialistische Krieg der USA in Vietnam hatte u. a. folgende Ergebnisse: über 2 Millionen Tote; 28 Millionen Krater durch je 7 Millionen Tonnen Bomben und Artilleriemunition; durch giftige Chemikalien Verwandlung von fast 3000 Quadratkilometer Land in tote Erde ...
Mehr als 135 Milliarden Dollar mussten die amerikanischen Steuerzahler für die Vietnam-Aggression der USA aufbringen. Die Profite der Rüstungskonzerne wuchsen ins Riesenhafte.
Eine erschreckend-empörende Bilanz, an der auch der Einsatz von Computern Anteil hat.

Die technische Basis der Computer mag in den kapitalistischen Ländern dank den Leistungen der Wissenschaftler und Ingenieure durchaus intakt sein, das gesellschaftliche Fundament, auf dem sie stehen, ist brüchig. Der Grundwiderspruch zwischen Kapital und Arbeit verschärft sich in jeder zyklischen Krise.
Spekulative Währungsmanipulationen um den Dollar, Produktionsrückgang, steigende Arbeitslosenziffern, Kaufkraftschwund, Massenentlassungen von Tausenden Raumfahrt-Experten, Schließungen von Universitäten und Colleges, Streiks in allen Seehäfen und in vielen Bergwerken der USA - diese und andere Symptome zeigen, welchen Erschütterungen das kapitalistische Gesellschaftssystem ausgesetzt ist. Amerikanische Wissenschaftler, die gestern noch hochdotierte Mitarbeiter der NASA (amerikanische Raum-

fahrtbehörde) waren, verdienen heute ihr Brot als Barmixer und Autopfleger.

So wird es in der westlichen Hemisphäre immer problematischer, in neue Bereiche vorzustoßen, deren Eroberung dem Wohl der Menschheit dient. Daran ändern auch die leistungsfähigen Computer nichts. Im Gegenteil - ihre Anwendung bedroht die materielle Existenz von Millionen.
Unter kapitalistischen Bedingungen verschärft der wissenschaftlich-technische Fortschritt die Ausbeutung des arbeitenden Menschen. Das ist eine normale, eine gesetzmäßige Erscheinung. Doch schuld daran ist nicht die Technik im allgemeinen und nicht der Computer im besonderen. Die Ursachen liegen in der gesellschaftlichen Struktur und den politischen Verhältnissen des Kapitalismus.

4.7 Expeditionen in den Kosmos

"Der Mond ist im Mittel 50000 deutsche Meilen von der Erde entfernt. Wollte man erkennen, ob lebende Wesen, Häuser, Felder oder dergleichen vorhanden sind, bedürfte es einer 50000 maligen Vergrößerung. Aber bei der Beschaffenheit unserer Atmosphäre ist höchstens eine 300fache möglich ... Nähere Ursachen vieler Erscheinungen des Mondes zu ergründen, wird uns nie gelingen."

Diese Sätze waren im Jahre 1838 in der Zeitschrift "Verbreitung für gemeinnützige Kenntnisse" zu lesen. Könnte der Verfasser, der die Feder mit einem resignierenden Seufzer aus der Hand gelegt haben mag, erleben, was heute geschieht, würde er sich trotz seines Wissens nicht mehr zurechtfinden und an Wunder glauben, die keine Wunder sind.

Seitdem am 4. Oktober 1957 der erste künstliche Erdtrabant Sputnik 1 gestartet wurde und am 12. April 1961 Juri Gagarin an Bord des Raumschiffes Wostok 1 als erster Mensch die Erde umkreiste, sind Expeditionen in den Kosmos fast zu einer Selbstverständlichkeit geworden, ist die Eroberung ferner Planeten in den Bereich des Möglichen und Erreichbaren getreten.
Die Abenteurer unserer Zeit sind, frei von jeder aufgepfropften Romantik, Männer und Frauen der Wissenschaft. Und die Wissenschaft stellt auch die Ausrüstungen, die für solche Unternehmen notwendig sind. Zu den vielen für diese Anforderungen entwickelten Geräten gehören, als Teil eines großen Ensembles, Computer, elektronische Rechenanlagen. Ohne sie wäre es unmöglich, zu den Gestirnen zu fliegen und die Geheimnisse des Mondes, des Mars und der Venus zu enträtseln.

Mit dem Start der sowjetischen Venussonde Venus 1 begann am 12. Februar 1961 die interplanetare Raumfahrt. Am Dienstag, dem 15. Dezember 1970, setzte der Landeapparat der 1180 Kilogramm schweren interplanetaren Station Venus 7 nach einem 320 Millionen Kilometer langen, 120 Tage dauernden Flug auf dem Morgen- und Abendstern auf.
124mal hatte Venus 7 Funkverbindung mit der Erde, Tausende präziser Funkzeichen steuerten ihren Kurs.

Allein das war eine wissenschaftliche Großtat. Doch die technischen Anlagen leisteten

noch mehr. Durch ihre Informationen lässt sich rekonstruieren, welche Verhältnisse Venus 7 begegneten, als sie sich ihrem Ziel näherte.
Sie raste durch eine fünf bis zehn Kilometer dicke, zum größten Teil aus Eiskristallen bestehende Wolkendecke und stieß dann in die Gluthitze (bis 280 Grad) der unteren Atmosphäre des Planeten, in eine lebenserstickende Schicht mit über 90 Prozent Kohlendioxidanteil, umbraust von orkanartigen Stürmen.

Trotz dieser unvorstellbaren Bedingungen liefen die letzte Phase des Fluges und die Landung so planmäßig ab, wie es vorausberechnet worden war. Als die Forschungsstation in die Venus-Atmosphäre eintrat, wurde der Landeapparat von der Orbitalsektion getrennt und aerodynamisch gebremst, wodurch die Geschwindigkeit auf 250 Meter pro Sekunde zurückging. Dann öffneten sich die Fallschirme, die Antennen wurden ausgefahren. Die Funksignale wurden auf der Erde 35 Minuten lang gehört.
Venus 7 arbeitete bis zuletzt mit der Präzision, die das Programm vorsah und übermittelte folgende Messwerte über eine Entfernung von 60,6 Millionen Kilometer erstmals zur Erde: Die Oberflächentemperatur der Venus beträgt an der Landestelle der automatischen Station 475 Grad Celsius plus minus 20 Grad und der Druck 90 Atmosphären plus minus 15 Atmosphären. Außerdem registrierte Venus 7 Sonneneruptionen.

Am 2. Januar 1959 leitete der Start des künstlichen Planetoiden Luna 1 ein neues Kapitel der sowjetischen Mondforschung ein, das ganz im Zeichen der Raumfahrt steht. Sein dramatischer Ablauf hielt die Welt in Atem.
Luna 2 erreichte den Erdtrabanten mit der ersten harten Landung östlich des Mare Serenitatis. Luna 3 lieferte die ersten Fotos von der Rückseite des Mondes. Luna 9 gelang die erste weiche Landung westlich der Krater Reiner und Marius. Luna 12 vermittelte die ersten Aufnahmen aus einer Mondsatellitenbahn.
Luna 13 untersuchte die Mondoberfläche mit mechanischen Greifern. Luna 15 erprobte in 52 Mondumkreisungen neue Navigationssysteme. Luna 16, am 12. September 1970 gestartet und am 24. September in der Nähe der kasachischen Stadt Dsheskasgan zur Erde zurückgekehrt, brachte Mondgestein aus dem Meer der Fruchtbarkeit mit.

Die Ergebnisse dieser Unternehmen geben Aufschluss über Erscheinungen und Vorgänge im Weltall, deren Erkundung noch vor wenigen Jahren als unmöglich angesehen wurde. Mit ihrer Auswertung beschäftigen sich zahlreiche Spezialwissenschaftler von den Astrophysikern bis zu den Geologen.
Von der Analyse des aus 35 Zentimeter Tiefe gebohrten Mondgesteins Lunit, dessen Alter auf zweieinhalb bis dreieinhalb Milliarden Jahre geschätzt wird, werden neue bedeutungsvolle Erkenntnisse über die Natur und die Geschichte des Mondes erwartet. Andere Experten rechnen damit, dass der Mond in Zukunft eine Basis für astronomische Geräte und automatische Observatorien sein könnte.

So utopisch solche Prognosen auch klingen mögen, sie liegen im Bereich der Realität. Geschaffen wurde diese Wirklichkeit dadurch, dass in der Raumforschung der UdSSR - so schrieb die Londoner "Times"- "ein hochentwickeltes System automatischer Kontrolle perfektioniert wurde".
Einzelheiten über Einsatz und Funktion computergesteuerter Automaten in der Kos-

mosforschung erläuterte nach dem aufsehenerregenden Experiment mit Luna 16 Prof. G. Martschuk, Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR:

"Ein wichtiges Kennzeichen dieser Vorrichtungen ist ihre Fähigkeit zum Selbstlernen bei Umständen, die vorher nicht programmiert waren. In dieser Fähigkeit des Automaten, Lösungen in nicht eingeplanten und unvorhergesehenen Situationen zu finden, besteht sein sogenannter künstlicher Intellekt.
Die Schaffung automatischer Vorrichtungen, die imstande sind, 'sinnvoll' zu handeln, wird die Realisierung eines breiten wissenschaftlichen Programms kosmischer Experimente ermöglichen."

Feststellungen wie diese zielen in die Zukunft und wurzeln in der Gegenwart. Die souveräne automatische Beherrschung und Steuerung der Luna 16-Expedition, durch die die großen Taten der amerikanischen Apollo-Astronauten in keiner Weise geschmälert werden, hat in allen Phasen das Leistungsvermögen der Computer und ihre außerordentliche Schnelligkeit und Präzision demonstriert.
Das weltweite Interesse für Luna 16 hielt noch an, als aus Moskau ein neues sensationelles Ereignis gemeldet wurde. Am Dienstag, dem 17. November 1970 um 4.47 Uhr mitteleuropäischer Zeit landete nach 130stündigem Flug die automatische Station Luna 17 auf dem Mond und setzte im Gebiet des Meeres des Regens das Mondfahrzeug Lunochod 1 ab, einen mit Computern ausgerüsteten achträdrigen Roboter, dessen Aktionen in dem 400000 Kilometer entfernten Zentrum für kosmische Fernverbindungen gesteuert wurden.

Lunochod 1, das aus einem utopischen Roman stammen könnte und doch eine bis ins letzte Detail durchdachte Konstruktion ist, bezwang auf der Erkundungsreise Höhenzüge, Steinblöcke, Risse, Senken und Krater, parkte an einem Hang, bewegte sich von neuem, änderte nach Befehlssignalen von der Erde Richtung und Kurs, verlangsamte und beschleunigte das Tempo.
Zwei Zentimeter tiefe Spuren in dem die Lava bedeckenden Staub kennzeichneten seinen Weg, Zeugen der ersten künstlichen Berührung der etwa drei Milliarden Jahre alten Gesteinsmassen.

Diese Fahrt allein schon war ein wissenschaftliches Abenteuer ersten Ranges. Doch damit erschöpften sich die Aufgaben des 765 Kilogramm schweren Mondmobils bei weitem nicht. Lunochod 1, das gegen die enormen äußeren Temperaturschwankungen zwischen minus 100 und plus 100 Grad Celsius durch einen Isolierpanzer so geschützt war, dass in der Gerätezelle konstant 15 Grad herrschten, absolvierte ein umfangreiches Arbeitsprogramm.
Es nahm Panoramabilder der Mondoberfläche und zahlreiche andere Mondfotos auf und sendete sie zur Erde, registrierte die kosmische Korpuskularstrahlung, tastete mit dem Röntgenteleskop mehrere Himmelsabschnitte ab, maß deren Röntgenstrahlungsintensität und versorgte die an den Empfangsapparaten sitzenden Wissenschaftler, unter ihnen Physiker, Astrophysiker, Geologen, Selenologen und Topographen, mit einer Reihe weiterer Informationen.

Am 4. Oktober 1971 wurde das Forschungsprogramm von Lunochod 1 mit der letz-

ten Funkverbindung zur Erde abgeschlossen. Die Reserven der Isotopen-Heizquelle im Inneren des Fahrzeugs waren aufgebraucht.
In zehneinhalb Monaten - sieben Monate länger als geplant - legte das Mondmobil insgesamt 10540 Meter zurück und untersuchte dabei 80000 Quadratmeter Mondoberfläche. Die Kameras von Lunochod 1 übertrugen mehr als 200 Panoramaaufnahmen und 20000 Fotos vom lunaren Regenmeer zur Erde. Die physikalisch-mechanischen Eigenschaften der Mondoberfläche wurden an 500 Punkten der Fahrtstrecke analysiert. Das gesammelte wissenschaftliche Material hat einen einmaligen Charakter und bereichert das menschliche Wissen über Mond, Sonne und Weltraum.

Nach Beendigung der Forschungsaufgaben, bei denen alle Systeme und Geräte unter den komplizierten Bedingungen des Vakuums, der kosmischen Strahlung und des großen Temperaturgefälles jederzeit einwandfrei funktionierten, wurde Lunochod 1 auf horizontaler Ebene so abgestellt, dass der an Bord installierte Laserreflektor französischer Produktion zur Erde gerichtet und eine Laserortung Erde-Mond-Erde noch für mehrere Jahre gewährleistet ist.

Die Erdstation von Lunochod 1 war - wie für alle gleichen und ähnlichen Unternehmungen - ein Koordinations- und Rechenzentrum. Bei der Operativleitung, die in einem großen Saal untergebracht ist, laufen alle Informationen über alle kosmischen Objekte der UdSSR zusammen. Ob ein Sputnik, ein Raumschiff, eine interplanetare Station oder ein Mondmobil - ihr Weg kann verfolgt und auf der Grundlage genauer Berechnungen und optimaler Lösungen gesteuert werden, so dass sie nicht außer Kontrolle geraten.

Die Mondkarte zeigt das Meer des Regens, den Landeplatz der interplanetaren Station Luna 17 und die von dem automatischen Apparat Lunochod 1 zurückgelegte Route. Eine elektronische Leuchttafel verkündet auf die Sekunde genau die Bordzeit, die Zeitspanne, die seit dem Start von Luna 17 vergangen ist.
Funkverbindungen übermitteln Messwerte von dem Mondmobil - die Temperatur im Gerätecontainer und am Gehäuse der Sonnenbatterie, den Druck am und im Container, den Stand des Kilometerzählers, die Stromstärke der Sonnenbatterie und viele andere Angaben, die zur Überprüfung der Funktionen notwendig sind.

Ein riesiger Bildschirm gibt die Arbeit des Mondautos wieder, seinen Kurs und seine Bewegungen. Es fährt an Trichtern und Kratern vorbei, überquert Bodensenken und Erhöhungen, weicht Hindernissen aus.
Steuerleute der Expedition Luna 17 sind Ingenieure und Ballistiker. Sie lenken jedes kosmische Objekt. Schon lange vor dem Start berechnen sie die Flugbahn, die sie dann während des Fluges präzisieren. Zu ihren Aufgaben gehört es, die Daten für Bahnkorrekturen, das Manövrieren in der Umlaufbahn, das Herausführen aus der Umlaufbahn, die Landung auf der Erde oder auf einem anderen Planeten zu bestimmen.

Die dazu erforderlichen Berechnungen würden allein bei Luna 17 mehrere dicke Bände füllen und wären ohne moderne technische Hilfsmittel nicht zu bewältigen. Die maschinelle Ausstattung reicht von Elektronenrechnern bis zu Geräten für direkte Flugbahnmessungen. Computer speichern, verarbeiten, steuern und liefern die Daten, die als Befehle in den Weltraum gesendet werden. An den Schaltpulten aber sitzen Menschen, hochqualifizierte Experten, denen die Maschinen Helfer und Werkzeug sind.

Hochleistungsfähige Funksysteme garantieren eine stabile und zuverlässige Verbindung zwischen dem Koordinations- und Rechenzentrum, den Beobachtungsstationen auf der Erde und den kosmischen Objekten. Die Bodenzentrale verfügt über Anlagen, die in der Lage sind, empfangene Signale hundertmillionenfach zu verstärken. Andere Ausrüstungen können Kontakt mit Flugapparaten aufnehmen, die Dutzende Millionen Kilometer entfernt sind.
Venus 7, Luna 16, Luna 17 mit Lunochod 1 waren Höhepunkte in der sowjetischen Weltraumerkundung und dennoch nur Teiletappen eines großen wissenschaftlichen Programms. Die Forschungen gehen weiter. Als mögliche Landeziele automatischer Stationen und als Operationsgebiete automatischer Planetenmobile sind Mars, Merkur und Venus schon genannt werden.

Am 16. Januar 1973 landete die automatische Station Luna 21 auf dem Mond am Ostrand des Mare Serenitatis im Krater Monnier. Es setzte das Mondfahrzeug Lunochod 2 ab, das sofort seine Forschungsaufgaben in Angriff nahm.

5 Der Zukunft entgegen

5.1 Menschen und Automaten

Was ist Wirklichkeit, was Legende ? Welche der phantastischen mechanischen Gebilde, die einst Verblüffung, Entzücken und Bewunderung hervorriefen, hat es gegeben - welche wurden in den Sagen hinzugedichtet ?

Diese Fragen zu beantworten ist schwierig, in manchen Fällen unmöglich. Aber darauf kommt es gar nicht an, denn ob Wirklichkeit oder Legende - beides zeugt von dem elementaren Bemühen des Menschen, Gegenstände zu schaffen, die ihm oder anderen Lebewesen ähnlich sind und seine oder ihre Tätigkeiten nachzuahmen vermögen.

Die Vorliebe für Automaten, die heute in mannigfaltiger Form - so als Warenautomaten des Handels, als Fernsprechvermittlung, als Fahrstuhlbedienung, als Werkzeugmaschine, als Verkehrssteuerung und last not least als Rechenanlage - selbstverständlich sind, hat eine lange Geschichte. Die jetzt erreichte technische Perfektion ist eine Errungenschaft des 20. Jahrhunderts, die Idee aber wurzelt tief in der Vergangenheit.

Dass Automaten oder besser: Mechanismen, wenn auch in primitiver Ausführung, schon früh existierten, wird von Schriftstellern der Antike, von Homer, Gellius, Pausanias und anderen, und durch Überlieferungen bestätigt.
Im sechsten Jahrhundert v. u. Z. verfügten die Assyrer über ein einfaches Gerät, das mechanisch, ohne menschliches Zutun, die Zeit verkündete. Ein lecker Kahn füllte sich mit Wasser, das in einer mit dem Kahn verbundenen Vorrichtung die Luft verdrängte und dadurch ein Pfeifzeichen auslöste. Das geschah exakt nach jeweils 60 Minuten, die Stunde wurde "ausgepfiffen".

Der pythagoreische Mathematiker Archytas von Tarent (428-365 v. u. Z.) soll eine "fliegende Taube" gebastelt haben. Aristoteles (384-322 v. u. Z.) erwähnte eine "automatische Venus".
Der griechische Mathematiker Heron von Alexandria (um 100 v. u. Z.) beschrieb Theaterszenen, in denen Seefahrer ihre Schiffe reparieren und dem Meer anvertrauen, Delphine die Boote umschwärmen, Gewitter toben und Helden in der Naturkatastrophe untergehen. Die dramatische Handlung ist nach Herons Schilderung nicht von Schauspielern dargestellt werden, sondern von mechanischen Figuren.

Diese Bestrebungen überdauerten historische Epochen und waren in verschiedenen Län-

dern verbreitet. Dem Kalifen Abdallah al-Mamun wurde im neunten Jahrhundert nachgerühmt, er besitze einen aus Gold und Silber geschmiedeten Baum, auf dem zu festlichen Anlässen automatische Vögel ihren Gesang anstimmten.
Schon vor ihm erfreute sich Karl der Große (742-817) an einer arabischen Wasseruhr, aus der zu jeder vollen Stunde Kugeln rollten, während zu jeder zwölften Stunde Reiter an geöffneten Fenstern erschienen.

Geheimnisvoll wurde es mit dem mittelalterlichen Gelehrten Albertus Magnus (Albert Graf von Bollstädt, 1193 oder 1206/07-1280), der u. a. naturwissenschaftliche Schriften und Aristoteles-Kommentare verfasste. Er habe, so wurde erzählt, Automaten gebaut, die von Menschen kaum zu unterscheiden gewesen seien, darunter einen Wächter, der diensteifrig Türen öffnete und sogar redete, und eine sich eigenartig bewegende und sprechende wunderschöne Frau.
Thomas von Aquino (1225-1274), Schüler des Albertus und später Theologe und Philosoph, glaubte an ein Teufelswerk und zertrümmerte die ebenso anziehende wie Furcht einflößende künstliche Dame, mit deren Verlust ihr Schöpfer dem zerstörten Ergebnis einer dreißigjährigen Arbeit nachtrauerte.

Eine Legende, das ist offenkundig. Doch das ändert nichts an der Tatsache, dass es im Mittelalter beliebt war, Automaten verschiedener Art zu konstruieren. Mädchenfiguren musizierten auf der Zither, tanzten dazu und verneigten sich zum Schluss vor dem imaginären Publikum. Andere Puppen verkörperten Handwerker - rasierende Barbiere, pinselnde Maler, Bäcker, die Brot in den Ofen schoben. In diesem Sortiment fehlte auch der Gelehrte nicht, der auf einer Kugel saß und in einem Buch las.

Das Mittelalter wurde zur Geschichte, die Gestaltungsfreude blieb und verstärkte sich noch. Sogar Leonardo da Vinci (1452-1519), zollte diesem Drang Tribut. Zu der schon umfangreichen Automaten-Kollektion steuerte er einen laufenden und brüllenden Löwen bei.

Die allmähliche Vervollkommnung der Mechanik und besonders die Erfindung der Federzuguhr durch den Nürnberger Schlosser Peter Henlein (1480-1542) eröffneten den Automatenbastlern neue Möglichkeiten.
Unter den vielen Modellen, die nun entstanden, ragten im 18. Jahrhundert die Arbeiten des Franzosen Jaques Vaucanson hervor, besonders sein Flötenspieler, der einen echten Musiker mit naturalistischer Genauigkeit imitierte, und seine Ente, die; im Innern mit Zahnrädern, Schrauben, Scheiben und Hebeln ausgestattet, mit den Flügeln schlug, den Hals drehte, schnatterte, watschelte und Nahrung zu sich nahm.

Vaucanson betrieb seine Experimente mit Sachlichkeit und Ernst. Als Ziel schwebte ihm ein mechanischer Webstuhl vor. Was er in dieser Hinsicht begann, vollendete Joseph Marie Jacquard.

Zu den Nacheiferern Vaucansons gehörten die beiden Schweizer Kunstuhrmacher Jacquet Droz Vater und Sohn. Ihre Berühmtheit verdankten sie einer Pendeluhr mit einem Flöte spielenden Hirten, einem Hund und einem Apfelkorb; einem Schreiber, der wie das menschliche Vorbild mit einem Federkiel Zeilen schrieb; einem in ähnlicher Weise

agierenden Zeichner; einem jugendlichen Pianisten und vielen anderen Figuren und Szenen, die als Wunderwerke Aufsehen erregten und zum Teil im Museum von Neuchatel ausgestellt wurden.
Doch auch die Gegner der kunstvollen Androiden (mechanische Menschen) rührten sich. Ein Inquisitionsgericht klagte Jacquet Droz sen. - im 18. Jahrhundert! - der Zauberei an.

Die beiden Schweizer Uhrmacher waren vorerst die letzten bedeutenden Hersteller von Androiden, deren Konstruktion auf dem Automatengedanken beruhte. Diese Anstrengungen versandeten dann zwar nicht - die Episode mit dem "Schachautomaten" des Ungarn Farkas Kempelen, der Napoleon besiegte, beweist es -, wandten sich aber mehr und mehr nützlichen Projekten zu - Geräten, Apparaten und Maschinen für die industrielle Produktion.

Die Versuche mit Puppen und Spielzeuggegenständen hatten ihren Sinn gehabt. Sie dienten der Entwicklung der Mechanik und vermittelten Erfahrungen. Im Jahre 1748 äußerte der französische Philosoph Julien Lamettrie (1709-1751) Überlegungen, die der Zeit weit vorauseilten:

"Im Vergleich zu einem Affen oder einem anderen klugen Tier ist der Mensch dasselbe, was die Planetenuhr von Huygens im Vergleich zu der Uhr der Kaiserin Juliane ist.
Wenn man für die Markierung der Planetenbewegung mehr Instrumente, Rädchen und Federn braucht als für die Anzeige der Zeit, wenn für den Bau des Flötenspielers von Vaucanson mehr Kunstfertigkeit erforderlich ist als für seine Ente, dann wird man freilich für den Bau eines mechanischen Menschen, der in der Lage ist zu sprechen, noch mehr benötigen, aber man darf nicht denken, dass man ... eine solche Maschine nicht bauen kann."

Die historische Kontinuität setzte sich fort. Die Technik brachte neue Bauelemente hervor, darunter Elektromotoren, Relais, Röhren, Widerstände, Spulen, Fotozellen, Mikrofone und Tonbänder.
Alte Ideen lebten wieder auf. Knapp zweihundert Jahre nach der Prophezeiung Lamettries, im ersten Drittel des 20. Jahrhunderts, wurde dessen Voraussage Wirklichkeit.
Roboter machten von sich reden, ungefüge, grobschlächtige Wesen mit Kastenköpfen, eckigen Rümpfen und sperrigen plumpen Gliedmaßen. "Mister Telewoks" hieß einer der ersten, ein Ingenieur namens Wenzli hatte ihn geschaffen.

Die "elektrischen Menschen" waren eine vielbestaunte Sensation, aber die Erfinder selbst traten Spekulationen entgegen und enträtselten das Geheimnis. Zu seinem "Mister Telewoks", der es vermochte, Lampen und Staubsauger einzuschalten und Türen und Fenster zu öffnen, erklärte Wenzli:
"Mein Roboter ist, sieht man von seiner Hülle ab, eine Selbstwählanlage, die statt Fernsprechteilnehmer einige Elektromotoren miteinander verbinden kann."

Der Roboter "Erik" des Engländers Richard konnte seine Augen leuchten lassen und Fragen nach Datum und Uhrzeit beantworten. Sein Kollege "Alpha", der zwei Tonnen wog, sprach, pfiff, sang, bewegte die Finger und schoss mit einem Revolver.

Ein Roboter, der 1933 in der Ausstellung "Jahrhundert des Fortschritts" in Chikago gezeigt wurde, hielt seinen Betrachtern und Zuhörern eine medizinische Lektion.

Ob beabsichtigt oder nicht, die elektrischen Androiden wurden zu einem Spektakulum. Aber sie waren mehr. Auf hohem technischen Niveau stehend, deuteten sie neue konstruktive Möglichkeiten an. Dass sie den Spieltrieb und die Spielfreudigkeit des Menschen berücksichtigten und Kuriositäten waren, schmälerte ihren Wert nicht.

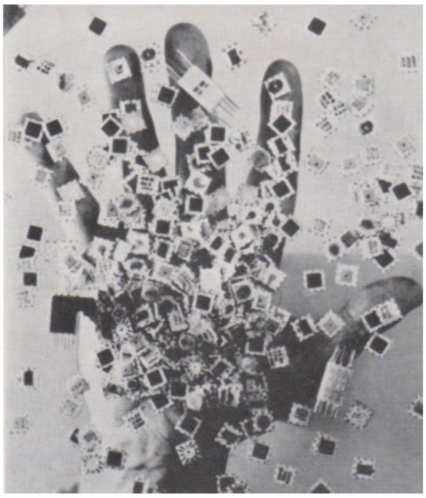
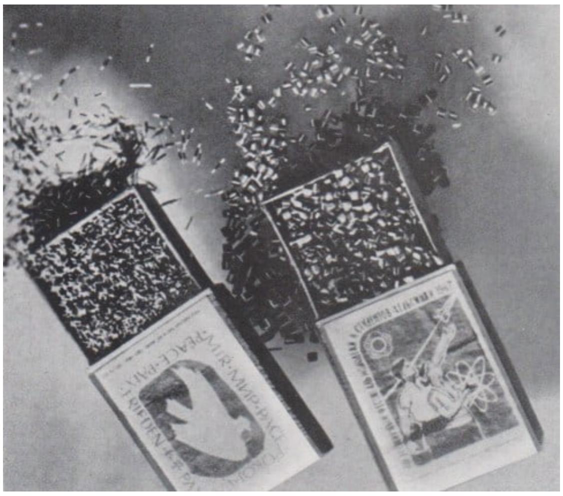
Die Roboter trugen dazu bei, das Verhältnis Mensch-Maschine neu zu durchdenken. Wer ihre Struktur, ihren Aufbau und ihre Funktionen analysierte, begriff, dass es sich um völlig geistlose Automaten handelte, die nichts anderes taten, als Befehle abzuarbeiten, die ihnen durch ein Programm eingegeben worden waren.
An dem Prinzip hatte sich seit der legendären fliegenden Taube des Archytas von Tarent, seit 2500 Jahren also, kaum etwas geändert, nur war alles, sowohl die Technik als auch die Beziehung der Menschen zur Technik, bedeutend vielschichtiger und komplizierter geworden.

Direkter Vorläufer der Computer sind die Roboter der dreißiger Jahre nicht gewesen, wohl aber legitime Ahnen der heute auf vielen Gebieten, vor allem in der Industrie, so nützlichen elektronischen Automaten. Dennoch haben "Mister Telewoks", "Erik", "Alpha" und all die anderen Modelle die Entwicklung der Rechenmaschinen zweifellos beeinflusst und gefördert, indem sie technische Lösungen demonstrierten und deren praktischen Effekt offenbarten.
In bestimmter Hinsicht wurden verschiedene Fähigkeiten der ersten Roboter mit den Rechenanlagen vervollkommnet. Computer sind, werden sie entsprechend programmiert, ohne die Grenzen zum Schöpferischen zu überschreiten, imstande, kurze Melodien zu komponieren, formale Briefe zu schreiben, Spiele durchzuführen und andere Verrichtungen auszuüben, die auf einem logischen Schema und auf Algorithmen basieren.

5.2 Größe durch Kleinheit

Archimedes benutzte einst, wenn auch nur abstrakt, Sandkörner, um eine der klassischen Rechnungen des Altertums durchzuführen und damit die Möglichkeit des Rechnens mit großen Zahlen zu beweisen. Heute dienen Transistoren, die kaum größer als ein Sandkorn sind, als Bauelemente elektronischer Rechenautomaten dazu, in Bruchteilen von Sekunden eine Fülle von Rechenaufgaben zu lösen, die früher nicht bewältigt werden konnten und oft auch gar nicht bewältigt zu werden brauchten.
Riesen-Computer, wie sie für die Zeit des Anfangs typisch waren, gehören endgültig der Vergangenheit an. Die Größe der Entwicklungen und Erfindungen auf diesem Gebiet äußert sich in ihrer Kleinheit.

Nur mit der Pinzette zu fassende Halbleiter gelten als Symbole der zweiten Computer-Generation, aber auch sie werden keinen ewigen Bestand haben. Schon Mitte der sechziger Jahre ging man dazu über, eine Miniatur-Ziffernrechenmaschine mit Mikromoduln auszustatten. Das Gerät hatte eine Größe von 8 mal 15 mal 28 Zentimeter und wog nur 5,5 Kilogramm; es ersetzte eine Röhrenmaschine von den Ausmaßen eines großen Zimmers und eine Halbleitermaschine von mehreren Kubikmetern.

Bauelemente für elektronische Rechenanlagen, Größenvergleich für Bauelemente

Bei weiteren Versuchen auf der Basis der Molekularelektronik und der Dünnfilmtechnologie wurden verschiedene Experimentalmodelle geschaffen, die noch kleiner und leichter sind.

Konstruktion und Herstellung von Rechenautomaten werden zur Filigranarbeit. Wurde es noch vor wenigen Jahren als eine Meisterleistung betrachtet, wenn der elektronische Teil einer Rechenmaschine nicht viel mehr Platz als das Volumen einer Konservendose einnahm, so können jetzt Millionen Schaltungen in einem Kubikmillimeter untergebracht werden.
Die dritte Computer-Generation, die nun Realität geworden ist, zeichnet sich durch zwei Extreme aus: durch die Winzigkeit ihrer Bauelemente, für die selbst Sandkörner kein Vergleichsmaßstab mehr sind, und durch enorm hohe Leistungen, deren Operationsgeschwindigkeit nach Nanosekunden gemessen wird.

Solche Digitalrechner gibt es in verschiedenen Ländern, darunter in der UdSSR. Aber sie verdrängen die schnellen, zuverlässigen und bewährten Transistoren-Computer nicht wie eine kurzlebige Modelinie die andere.
Einige Wissenschaftler haben Zweifel angemeldet, ob es jetzt noch richtig sei, die Rechenautomaten nach physikalisch-technischen Prinzipien in Generationen einzuteilen. Eine Fortführung dieser Gliederung würde nämlich bedeuten, dass schon das Profil der vierten Generation und die Konturen der fünften Generation hervortreten.
Zu einem Kriterium wird, wie Prof. Wladimir Michalewitsch betont, immer mehr der Nutzeffekt der Rechenmaschinen, das heißt im jetzigen Stadium die Erhöhung ihrer Leistungsfähigkeit durch die Übernahme qualitativ neuer Aufgaben.

Viele wissenschaftliche Probleme wurden durch die Computer schon gelöst, aber noch mehr wurden durch sie aufgeworfen. Rechenmaschinen sind heute über ihre eigentliche Zweckbestimmung hinaus Katalysatoren des wissenschaftlich-technischen Fortschritts.

Die technische Ausrüstung der neuen Computer liefert die Mikroelektronik, die zu einem weiten Forschungs-, Experimentier- und Produktionsfeld geworden ist. Prof. Dr. Wiktor Gluschkow, einer der führenden sowjetischen Kybernetiker und Vorsitzender der Internationalen Föderation für Informationsverarbeitung, kündigte an, dass in der UdSSR

in nächster Zukunft eine völlige Neuausstattung der Rechenautomaten zu erwarten ist: durch integrierte Schaltungen mit großen logischen Möglichkeiten.
Gluschkow sprach von Rechenmaschinen, die kleiner als das menschliche Gehirn sein werden, und von Geräten, die eine Arbeitsgeschwindigkeit von einer Milliarde Operationen pro Sekunde erreichen würden.

Bewegt sich die Datenverarbeitung im Bereich großer und größter Zahlen, so ist es in der Mikroelektronik umgekehrt. Ihre winzigen Bauteile sind mit bloßem Auge nicht zu sehen; um sie zu erkennen, braucht man ein starkes Mikroskop.
Bruchteile von Millimetern sind hier die Maßeinheiten: das Mikron (ein tausendstel Millimeter), das Millimikron (ein millionstel Millimeter), das Angström (ein zehnmillionstel Millimeter). Das Menschenhaar, das einen Durchmesser von etwa 50 Mikron hat, ist in dieser Größenordnung riesig.

Ein hauchdünnes Siliziumplättchen, Träger einer integrierten Schaltung (IS), ist gut ein Millimeter lang und nimmt Hunderte Bauelemente auf, die die Eigenschaften von Widerständen, Kondensatoren, Dioden und Transistoren haben. Doch um Bauteile im üblichen Sinn handelt es sich nicht mehr, sondern vielfach um Atome verschiedener Stoffe, die in einem komplizierten technologischen Prozess unter starker Hitze in die Silizium- oder auch Galliumarsenidunterlage eingepflanzt werden.
Ein anderer IS-Typ besteht aus mehreren Filmschichten, die nur einige Dezimikron dick sind.

Integrierte Schaltungen kommen der gesamten Mess- und Steuertechnik zugute, die elektronischen Rechenautomaten sind ein Anwendungsgebiet von vielen.

So sensationell diese zur Gegenwart werdende Zukunft von Millionen Menschen auch empfunden wird, die Wissenschaftler schicken sich, der Zeit vorauseilend, bereits an, schon die nächsten Schritte zu tun.

Zur Jahreswende 1969/70 informierte der sowjetische Physiker Prof. Nikolai Bassow, der für seine grundlegenden Arbeiten in der Lasertechnik im Jahre 1964 mit dem Nobelpreis ausgezeichnet wurde, die in Moskau akkreditierten Chefs der diplomatischen Vertretungen über Computer, die mit Laserstrahlen operieren werden, und führte ihnen einen Gas-Laser vor, der hochenergetische Lichtimpulse von Hundertmilliardstel Sekunden Dauer erzeugt.
Die Verwirklichung dieses Vorhabens käme einer Revolution in der Rechentechnik gleich; es wird angenommen, dass sich die Arbeitsgeschwindigkeit der Automaten dadurch millionenfach steigern lässt. Zum anderen erwächst diese Methode, deren geplanter Anwendung viele Versuche vorausgingen und noch vorausgehen werden, aus einer Notwendigkeit. Feste Körper setzen der Fortpflanzung elektrischer Impulse Grenzen, Lichtimpulse dagegen überwinden diesen Widerstand.

Die Laserstrahlen (Laser = Light Amplifier by Stimulated Emission of Radiation = Lichtverstärker durch angeregte Strahlenaussendung) wurden nach theoretischer Voraussage Albert Einsteins und nach zahlreichen Untersuchungen experimentell nachgewiesen, als Computer schon existierten (1951). Wissenschaftler schufen Geräte, die eine praktische Nutzung möglich machten - so in der Schweißtechnik bei mikroskopisch kleinen Werkstücken, bei genauesten geodätischen Messungen, in der Nachrichtentechnik und in der Augenchirurgie.

In der Mikroelektronik bildete sich mit der Einbeziehung der Laser eine neue Spezialdisziplin heraus: die optische Elektronik.
Zu ihren Aufgaben gehört es, Rechenanlagen zu entwickeln, die neben der enorm schnellen Operationsgeschwindigkeit eine riesige Speicherkapazität haben werden.

Erst dann, erst mit dem Einbau von Laserstrahl-Elementen als optische integrierte Schaltung, wäre der für die Computer längst gebräuchliche Ausdruck "Elektronengehirn"schon eher gerechtfertigt, Denn diese Hybride von Optik und Elektronik würde den Grundlagen eines biologischen Hirns entsprechen, ohne jedoch die geistig-schöpferische Leistungsfähigkeit des Menschen zu erreichen.

Immer häufiger taucht in den Prognosen der Gedanke auf, die Konstruktion des Rechenautomaten dem menschlichen Gehirn nachzumodellieren. Die Zahl der Biologen, die sich an diesen Disputen beteiligen, wächst an.
Es ist von Computern die Rede, die bis zu einem gewissen Grade zu denken und ihre Informationen assoziativ auszuwählen vermögen, und von biomechanischen Robotern, die ein feines Gehör, Gesichts- und Tastsinn haben und imstande sein sollen, die schöpferische Arbeit zu beeinflussen.

Der Abstand zwischen Möglichkeiten und Realität verringert sich.
Die Wissenschaftler beschäftigen sich mit Projekten der nahen und ferneren Zukunft und bemühen sich zugleich, die Leistungen vorhandener und bald vorhandener Geräte zu verbessern und zu vervollkommnen.
Die Anstrengungen gelten u. a. der Beschleunigung des zeitraubenden Programmierungsprozesses. Die Eingaben der Befehle in codierter Form und die Ausgabe der Ergebnisse erfordern einen Aufwand, der zu der Operationsgeschwindigkeit der Automaten in einem ungünstigen Verhältnis steht.

Den Versuchen mit der Multiprogrammierung folgten gelungene Experimente mit einem Programmgenerator, der die Übertragung in die Maschinensprache vereinfacht, mit einer elektronischen Tafel für graphische Informationen und mit anderen Methoden. Besondere Bedeutung haben die richtungsweisenden Bestrebungen, einen direkten Dialog zwischen Mensch und Maschine zu verwirklichen.
In Moskau entwickelte eine Forschungsgruppe aus Mathematikern, Ingenieuren, Physiologen, Psychologen und Linguisten einen Modellautomaten, der ausgewählte gesprochene Wörter unabhängig von Stimme und Tonhöhe identifiziert und auf diese Weise die ihm erteilten Befehle befolgt. Die Schwierigkeiten liegen darin, den Sprachschatz beträchtlich zu erweitern. Zweifel an der Lösung dieses Problems gibt es jedoch nicht.
Zu dieser Thematik äußerte sich der Kybernetiker Prof. Dr. Michalewitsch in einem Interview.

Frage: Die MIR 2 gehört zur sogenannten dritten Generation der EDV-Anlagen. Wie wird sich die vierte Generation von den bisherigen Anlagen unterscheiden?

Antwort: Die Maschinen der dritten Generation sind vor allem in automatisierten Systemen der Datenverarbeitung und der Planung und Leitung eingesetzt. Die Anforderungen auf diesen Gebieten machen die Entwicklung von Anlagen der vierten Generation zu einer unbedingten Notwendigkeit. Die erste Forderung, die selbstverständlich schon an die Anlagen der dritten Generation gestellt wird und die wir schon in unserer MIR-Serie zu erfüllen versuchen, ist die weitere Verbesserung der Kommunikation Mensch-Maschine. Das betrifft die Möglichkeit, visuelle oder akustische Informationen ein- und wiederzugeben. Der Rechner entschlüsselt also sozusagen die menschliche Stimme und gibt die Lösungen akustisch wieder.

Frage: Das heißt also, ein Wechselgespräch Mensch-Maschine wäre möglich?

Antwort: Genau. Da auch das Vokabular und die Operationsmöglichkeiten der Rechner erweitert werden, können die Rechner vielen Wissenschaftlern nutzbar gemacht werden. Auch Fernbedienungen lassen sich realisieren.
Da die Wissenschaftsentwicklung einerseits eine immer stärkere Spezialisierung, zum anderen eine immer engere Wissenschaftskooperation notwendig macht, kann der Dialog Mensch - Maschine auf ganze Gruppen von Wissenschaftlern ausgedehnt werden, die alle, von ihrer speziellen Wissenschaft aus, ein bestimmtes Thema mit Hilfe der Rechenanlage behandeln.

Frage: Wird damit der Bau von Riesenanlagen notwendig?

Antwort: Wir haben die Möglichkeit, die Rechner zu Komplexen zu vereinen, was allerdings eine gewisse Vereinheitlichung der Rechner voraussetzt. Gibt es heute noch ein gewisses "Anstehen" der Nutzer von Rechenautomaten, so werden über Eingabepulte, die an verschiedenen Orten stehen, unterschiedliche Arbeiten gleichzeitig vorgenommen werden.
Kann man bisher erst nach Schluss einer Berechnung größere Korrekturen oder Änderungen vornehmen (wenn wir einmal von den ersten Ergebnissen in dieser Richtung bei den Automaten der MIR-Serie absehen), so werden dann schon nach ersten Zwischenuntersuchungen Prüfungen neuer Varianten, Änderungen usw. möglich sein, was die Arbeit natürlich abkürzt.

Frage: Werden für die neuen Anlagen noch Programmierer benötigt?

Antwort: Ich kann mir schwerlich einen Universalmathematiker vorstellen, der sich in allen Feinheiten der unterschiedlichen Richtungen wissenschaftlicher Forschung auskennt. Deshalb wäre es wünschenswert, ohne Vermittler zwischen Wissenschaftler und Maschine auszukommen. Dieses Prinzip wurde bei unseren MIR-Automaten schon weitgehend verwirklicht.

Frage: Zuweilen findet man den Begriff vom Denkvermögen der Maschine. Was versteht man darunter?

Antwort: Neben den Anwendungsmöglichkeiten, der Arbeitsschnelligkeit und dem Speichervermögen, d.h. neben den Parametern, die früher gewöhnlich für die Einschätzung der Rechner ausschlaggebend waren, wird heute die Reichhaltigkeit ihres Denkvermö-

gens zu einer immer wichtigeren Kennziffer für die Effektivität eines Rechenautomaten.
Als die Kybernetiker das Wort "Speicher" für die EDV-Anlagen schufen, schrieben sie es in Anführungszeichen, später ließen sie diese weg. Heute ist dieser Begriff völlig in die Sprache eingegangen.
So wird auch der Begriff des Denkvermögens der Rechenautomaten als normal erscheinen und quantitativ gemessen werden. Er bedeutet den Reichtum des logischen Inhalts, mit dem die Maschine operiert. Er wird bestimmt durch die wissenschaftlich-technischen Möglichkeiten und die vor uns stehenden Aufgaben.

Die in der Gegenwart wurzelnde und in die Zukunft zielende Frage, ob es schöpferisch denkende Computer geben werde, beschäftigt sowohl Fachexperten als auch Laien, und die Skala der Antworten reicht von strikter Verneinung bis zu phantastischen Spekulationen. Die einen zweifeln an der Lösung des umfangreichen Problemkomplexes, die anderen malen sich Szenen aus, die nur in ihren träumerischen Vorstellungen existieren.

Niemand kennt das Endergebnis, doch die Schritte zu den nächsten Stufen und Etappen sind real.
Axel Berg, Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, äußerte sich zu den Grundprinzipien mit optimistischer Sachlichkeit:

Die Kybernetik, die die Methoden des menschlichen Erkennens und Handelns wesentlich bereichert, schafft Möglichkeiten, auch die geistige Arbeit teilweise zu automatisieren. Viele Handlungen und Operationen, die mit einer Denktätigkeit verbunden sind, werden, künftig noch mehr als jetzt, von Elektronenrechnern verrichtet werden.
In der Entwicklung zeichnen sich Maschinen ab, deren Speicher das menschliche Gehirn übertreffen und die einmal imstande sein werden, zu lernen, sich der Umgebung anzupassen und sich selbst zu vervollkommnen. Dadurch wird die Kybernetik und mit ihr der Computer in der sozialistischen Gesellschaft zu einem Hilfsmittel des menschlichen Fortschritts.

Auf physikalisch-technologische Aspekte derartiger Maschinen wies Prof. Dr. Witali Derkatsch vom Institut für Kybernetik der Ukrainischen Akademie der Wissenschaften hin:

Viele perspektivische und prognostische Überlegungen berühren den Dialog zwischen Mensch und Elektronenrechner, die direkte Aufnahme der menschlichen Sprache und die Verarbeitung der Wörter und Sätze durch die Maschine. Dieser Dialog wird nicht in jedem Fall notwendig sein, hat aber trotzdem große Bedeutung.
Die Forschungen konzentrieren sich unter anderem auf eine automatische Entschlüsselung der Sprache, der dann weitere Operationen folgen müssen. Die bisherigen Untersuchungen deuten an, dass neben einer Vergrößerung der Speicherkapazität wahrscheinlich eine Veränderung des inneren Aufbaus des Entschlüsselungsbereiches erforderlich wird.

Vielleicht gelingt es, durch Zusatzgeräte einen gewissen universellen Charakter der Anlage zu erreichen, der ohne hohen Aufwand Eingriffe und Korrekturen beim Lösungsprozess gestattet. Es wird angestrebt, die Tätigkeit eines Forschers oder eines Konstruk-

teurs und die Arbeit der Maschine zur Auswahl der optimalen, Variante zu vereinen.
Das Mittel dazu wäre eben der Dialog Mensch-Maschine, der einerseits menschliche Erfahrungen, menschliches Wissen und künstlerische Empfindungen ständig - also nicht nur durch das in sich abgeschlossene mathematische Modell - in den maschinellen Ablauf einfließen lässt und andererseits durch exakt ermittelte Werte das schöpferische Denken des Menschen immer wieder anregt und befruchtet.

In diesem Sinne und nur in ihm ist wohl der Begriff von den denkenden Maschinen zu verstehen. Sie werden das menschliche Denken nicht überflüssig machen, sondern es potenzieren. Sie werden Hilfsmittel sein und die geistige Kraft in ähnlicher Weise vervielfachen wie Werkzeuge und Werkzeugmaschinen die physische Kraft schon vervielfacht haben.
Erfinder, Erbauer und Beherrscher der Computer ist der Mensch. Und er wird es bleiben.

5.3 Vervielfachte Kräfte

Die Poesie hat sich des Traumes, Wesen zu schaffen, die dem Menschen nicht nur äußerlich ähnlich sind, sondern ihm auch geistig nahekommen, längst bemächtigt. Eine Erzählung aus dem 16. Jahrhundert berichtet von dem Prager Rabbiner Löw, der aus Lehm und Ton einen künstlichen Menschen formte und ihn zum Leben erweckte: den Golem. Als Löw jedoch die Kontrolle über sein Ebenbild verlor, sah er sich gezwungen, es wieder zu zerstören.

Dieses Thema ist dann häufiger abgewandelt werden, so in Goethes "Zauberlehrling", in Hans Christian Andersens "Der Kaiser und die Nachtigall" und in Carlo Lorenzinis "Wunderpuppe Pinocchio". Alle diese Geschichten blieben dichterisch-phantastische Visionen, mussten es bleiben, weil sie sich auf keine reale Grundlage stützen konnten.

Jetzt hat sich die Konstellation verändert. Mit den Computern gibt es Automaten, die zwar dem Menschen nicht ähnlich sind, dafür aber imstande, bestimmte physische und geistige menschliche Tätigkeiten auszuführen, zum Teil sogar noch besser und schneller. Das menschliche Gehirn wird zum Modell elektronischer Gehirne.
Dieses Prinzip beeinträchtigt auch die Tatsache nicht, dass ein Computer jetziger Bauart einen Raum von etwa 10000 Kubikmeter und einen Strombedarf von etwa einer Million Kilowatt beanspruchen würde, um die gleiche Zahl von Elementen aufzunehmen, über die das menschliche Gehirn mit 15 Milliarden Nervenzellen in einem Volumen von nur etwa 1,5 Kubikdezimetern verfügt.

Im Hinblick auf die wahrhaft stürmische Entwicklung der Automaten, darunter nicht zuletzt der Rechenautomaten, scheint die Frage berechtigt: Werden die Computer im elementaren Lebensinteresse des Menschen nicht eines Tages dasselbe Schicksal erleiden müssen wie einst der Golem des Rabbiners Löw?

"The computer may kill us !" - dieser Warnruf des amerikanischen Professors Fano ist in der westlichen Hemisphäre zu einem Chor angeschwollen. Die Hamburger Zeitschrift "Spiegel" malte das Gespenst von einer "tödlichen Gefahr" an die Wand, die "einer freiheitlichen Gesellschaft durch die Perfektionierung von Denk- und Rechenrobotern"

drohe.
Die amerikanischen Futurologen Hermann Kahn und Anthony J. Wiener zeichneten vom letzten Drittel unseres Jahrhunderts, ein makabres Zukunftsbild: Überwachung, Steuerung und sonstige Kontrolle von Einzelpersonen oder Organisationen, billige und sehr einfache Methoden der biologischen Kriegführung, Drogen zur Veränderung der Persönlichkeit, neue und relativ wirksame Verfahren zur Bekämpfung von Aufstandsbewegungen, verschiedene automatisierte und universelle Kredit-, Wirtschaftsprüfungs- und Banksysteme.

Zu ähnlichen, nur nicht ganz so zynisch formulierten Ergebnissen kamen in der BRD die Wickert-Institute in ihrem prophetischen "Report 85" über den Zustand der künftigen "technisierten- und Wissenschaftsgesellschaft". Die Technik verdränge das Ethos.
Die Automatisierung und die um sich greifenden Computer raubten den Menschen, deren Verantwortung rapide sinke, die letzte Freude an ihrer Arbeit. Das menschliche Gehirn und Emotionen würden verkümmern. Und dies seien, besonders im jugendlichen Alter, die Folgen: Irreleitungen, Exzesse, Wohlstandskriminalität, entsetzliche Langeweile, innere Leere, Rauschgiftorgien, Perversionen.

Schuld der spätkapitalistischen Gesellschaftsverhältnisse, auf die das alles ja nicht erst morgen zutrifft? Die Produzenten dieser und anderer düsterer Zukunftsgemälde verneinen es und wälzen jede Schuld auf die Technokratie ab, die durch Automaten und Computer schier übermächtig werde.
Gesellschaftliche, moralische, soziale und politische Komponenten werden kurzerhand ausgeklammert. Diese Ablenkung von den Ursachen der Misere ist genau das, was die Herren der Trusts, der Banken und der Armeen brauchen, um sich hinüberzuretten ins nächste Jahrtausend.

Die pseudowissenschaftlichen Klagegesänge derjenigen, die vorgeben, die Zukunft zu erforschen und darauf verzichten, die Wurzeln der vorhandenen und der werdenden Missverhältnisse anzutasten, finden Gehör bei denen, die Opfer eben dieser Missverhältnisse geworden sind, es noch werden und dafür beschimpft werden (Report 85), sie hätten nun "die Konsequenzen ihres selbstverschuldeten Absinkens zu tragen" - bei dem Heer der zur Untätigkeit Verdammten, die, u. a. in den USA, im Zuge der Automation von ihrem Arbeitsplatz vertrieben wurden; bei den Millionen, die durch den Einsatz von Computern um ihre Existenz bangen; bei dem Personal jener Colleges und Universitäten, die in den USA geschlossen wurden.

Ihre Empörung richtet sich, da sie das feinmaschige Netz der antihumanistischen Manipulation nicht durchschauen, gegen die Technik, gegen die Automaten.
Die Maschinenstürmerei des 20. Jahrhunderts ist in den kapitalistischen Ländern präsent, und sie wird bewusst geschürt. Bräche sie offen aus, wären die analogen Ereignisse während der ersten industriellen Revolution ein harmloses Intermezzo.

Und dennoch: Wiederholen wird sich das, was in der Erzählung um den Rabbiner Löw und seinen Golem geschah, nicht. Computer und Automaten werden ebensowenig zerstört werden wie sie - unter sozialistischen Bedingungen - etwas zerstören werden.

Dass die wissenschaftlich-technische Revolution die Widersprüche im Spätkapitalismus verstärkt und verschärft, liegt in dieser gesellschaftlichen Ordnung begründet und nicht im Voranschreiten der Technik. Die wissenschaftlich-technische Revolution verhüllt die Gegensätze zwischen dem kapitalistischen und dem sozialistischen System nicht, sondern vertieft sie.
Die Angst, dass der Computer für die Menschheit eine tödliche Gefahr sein könnte, hat in den sozialistischen Ländern nie Fuß gefasst; die gegenüber dem Automaten mitunter vorhandene Skepsis weicht in dem Maße, wie die Kenntnisse über ihn größer und klarer werden, über seine Funktion, und seine Möglichkeiten.

"Wie gut eine Maschine auch arbeitet, sie kann stets nur die von ihr geforderten Aufgaben lösen, aber niemals wird sie sich eine einzige ausdenken." Dieses Wort von Albert Einstein wird seine Gültigkeit behalten, die Maschine wird bleiben, was sie von den primitivsten Anfängen an immer gewesen ist: Hilfsmittel und Werkzeug, das die Kräfte des Menschen, die körperlichen und die geistigen, vervielfacht.

Der tschechische Schriftsteller Karel Capek (1890-1938) schrieb das Schauspiel "R. U. R.", in dem Roboter auftreten. Über sie heißt es: "Sie sind in der Lage, zu sprechen, zu schreiben und zu lesen. Sie verfügen, das muss man zugeben, über ein wunderbares Gedächtnis. Lesen Sie ihnen ein zwanzigbändiges Wörterbuch vor - sie werden Ihnen alles in der gleichen Reihenfolge wiederholen. Aber irgend etwas Neues wird ihnen niemals in den Kopf kommen."-
Und in einer anderen Passage: "... klug, aber auch nur das. Ohne eigenen Willen, ohne Leidenschaften, ohne Traditionen, ohne Seele."

Capek nannte sein Stück utopisch. Heute klingen die Dialogsätze fast wie eine objektive Charakterisierung des Computers, die seine Fähigkeiten aufzeigt und seine Grenzen. Wie sich die Fähigkeiten des Automaten weiter erhöhen werden, hängt von der Entwicklung der Wissenschaft ab, von Menschen also; niemals aber wird ein Automat Kategorien wie Emotionen, Moral, soziale Motivation, Verantwortung usw. erlernen und meistern.

Das Wesen des Automaten beruht, neben dem rein technologischen Funktionsablauf, in seiner Bestimmung, Informationen aufzunehmen und sie nach gesetzmäßigen Regeln zu verarbeiten, die dem jeweiligen System gemäß sind. Dabei werden Aufgaben aus dem geistigen Bereich immer mehr zu einem Kriterium des Leistungsvermögens eines Computers. Sein Können wird daran gemessen, welche und wieviel neue Informationen er aus vorhandenem Datenmaterial gewinnt und auswählt.

Das ist ein geistig-intellektueller Prozess, für dessen maschinelle Bewältigung das Ende noch nicht abzusehen ist. Noch nicht alle Gesetzmäßigkeiten, nach denen sich die Informationsverarbeitung im Bewusstsein des Menschen vollzieht, sind erforscht.
Ihre genaue Kenntnis aber wäre die Voraussetzung für den Versuch, sie, ähnlich wie es mit den Gesetzen der mathematischen Logik bereits geschieht, zu modellieren und zu automatisieren.
In diesem Sinn wirkt der Computer mittelbar. Durch ihn werden wissenschaftliche Probleme und Fragen aufgeworfen, deren Lösung in das Leben der Zukunft eingreift - und die Zukunft schwebt nicht irgendwo in einer nebelhaften Ferne, sie beginnt schon mor-

gen.

Für spekulative Mutmaßungen ist der Computer ebenso ein ungeeignetes Objekt wie für mystische Götterdämmerungsstimmungen. Alle Forschungen, Experimente und Konstruktionen, die ihn direkt oder durch die von ihm ausgehenden Überlegungen berühren, erwachsen aus der Notwendigkeit und aus den Bedürfnissen einer gesunden Gesellschaft, die heute nur eine sozialistische Gesellschaft sein kann.
Darin unterscheidet sich der Computer nicht von den Rechenhilfsmitteln, die vor ihm bestanden haben oder noch bestehen.

Mensch oder Computer? - das ist keine Alternative mehr, ist es historisch gesehen nie gewesen. Vor Jahrtausenden hat der Mensch als erstes künstliches Recheninstrument den Abacus benutzt, um sich die Rechenarbeit zu erleichtern; jetzt benutzt er den Computer, nicht nur, um zu rechnen, sondern um die Vorgänge in Natur und Gesellschaft zu seinem Wohl noch besser zu beherrschen und zu gestalten.

Gedanken zu diesem äußerst vielschichtigen Komplex trug Prof. Dr. Dr. Max Steenbeck, Vorsitzender des Forschungsrates der Deutschen Demokratischen Republik, anlässlich einer internationalen Konferenz zum 150. Geburtstag von Friedrich Engels vor:

"Es gibt vor allem in der kapitalistischen Welt viele Unklarheiten, Utopien und Befürchtungen über die Rolle des Menschen in der durch die wissenschaftlich-technische Revolution gewandelten Umwelt.
Das reicht vom Wunderglauben an ein fast paradiesisches Leben bis zur Angst, der Mensch werde zukünftig nur noch Teilglied einer großen Automatenanlage sein oder seinen Arbeitsplatz verlieren. Solche Vorstellungen sind für die sozialistische Gesellschaft natürlich falsch.

Eine Art Wunderglauben ist teilweise auch unbewusst wirksam. Nur ein Beispiel: Die elektronische Datenverarbeitung wird es uns gestatten, mit der Fülle von Informationen fertig zu werden, die uns heute in einer Papierflut fast zu ersticken droht. Aber diese Wandlung geschieht durch die Technik nicht von selbst; so etwas zu erwarten wäre auch Wunderglaube.
Wenn wir nicht beginnen, schon unsere heutigen Informationen, Vorlagen, Mitteilungen usw. etwas mehr EDV-gerecht abzufassen - und das erfordert allerdings eine gewaltige geistige Disziplin -, dann wird es noch sehr lange dauern, bis eine automatische Datenverarbeitung von uns wirklich voll genutzt werden kann.

Ähnliches gilt auf fast allen Gebieten. Wir werden nur dann von der kommenden Technik nicht erdrückt, wenn wir rechtzeitig lernen, sie zu beherrschen. Das erfordert ein ständiges Erarbeiten von neuem Wissen, aber keineswegs nur in fachlicher Hinsicht. Der Mensch, der eine der künftigen großen Automatenstraßen überwacht, braucht dabei mehr als nur gutes Fachwissen.

Er muss als Persönlichkeit der Verantwortung gerecht werden können, die darin liegt, dass ihm ein ungeheurer gesellschaftlicher Wert anvertraut ist, und muss unter Umständen sehr schnell und richtig selbst denken und reagieren können.
Er darf auch dann nicht hilflos zurückbleiben, wenn diese Fertigungsstraße durch eine

andere, noch bessere ersetzt wird, ja, er muss gerade dazu beitragen, solche Verbesserungsmöglichkeiten aufzufinden. Das setzt ständiges Lernen und Schulen zum Selbstdenken voraus ; ist das einmal geweckt, greift es ohnehin in die ganze Weite des Lebens.

Technische Wunderwerke werden dadurch, dass wir sie benutzen, immer sehr schnell zu vertrauten und gerne angewandten Arbeitsmitteln - so wie Flugreisen und Fernsehen für uns heute schon lange keine Sensationen mehr sind, obwohl auch sie doch einmal technische Wunderwerke waren.
Genauso wird es mit allen kommenden technischen Entwicklungen gehen; die Technik hat nichts Erdrückendes, wenn der Mensch gelernt hat, sie anzuwenden - und wenn er Arbeit findet. Beides garantiert dem Menschen aber nur der Sozialismus. Unsere künftige Welt wird sich von der heutigen mehr durch die Menschen und ihre sozialistische Bildung unterscheiden als durch die Technik, wobei diese Bildung ohne geistige Disziplin allerdings ein Widerspruch in sich selbst ist. Ohne Erziehung vor allem zu solcher Disziplin ist unsere Gesellschaft nicht denkbar ...

Wie kommen wir zu einem begründeten Zukunftsbild?
Natürlich kann niemand die Zukunft im Detail voraussagen. Aber das wollen unsere Prognosen auch gar nicht. Ihr Ziel ist nicht, zu prophezeien, was sein wird, sondern zu erkennen, was sein muss, um daraus auszuwählen, was sein soll.
Wir selbst gestalten bewusst unsere Zukunft; sie ist kein Schicksal, das uns überfällt. Das, was sein soll, was wir also verwirklichen werden, richtet sich nach den voraussehbaren Bedürfnissen unserer Gesellschaft. Bei uns bestimmen also die Bedürfnisse einer als notwendig erkannten gesellschaftlichen Entwicklung das, was Wissenschaft und Technik in ihrer revolutionären Entwicklung zu bringen haben.

Den gerade umgekehrten Weg geht durchweg die westliche Zukunftsforschung, oft auch Futurologie genannt. Nach deren Vorstellung wird all das verwirklicht werden, was technisch möglich und für den Besitzer der Produktionsmittel profitbringend ist, auch wenn dabei die Gesellschaft noch weiter in Unordnung gerät.

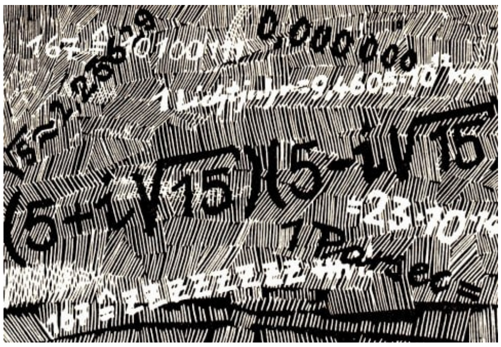
Einer der fundamentalen Unterschiede der Gesellschaftssysteme liegt gerade in den verschiedenen Auswahlprinzipien für das, was aus der Unzahl von Möglichkeiten der wissenschaftlich-technischen Revolution realisiert wird - und wozu, zu wessen Nutzen dies geschieht. Diese Unterschiede werden um so größer, je größer die Mannigfaltigkeit des an sich Möglichen wird.
Der weitere Verlauf der wissenschaftlich-technischen Revolution vergrößert also diese Unterschiede der Gesellschaftssysteme, und wenn die oft zitierte Konvergenztheorie zwischen ihnen eine sozusagen automatische Annäherung als Folge der technischen Entwicklung kommen sehen will, so ist das genau so falsch wie etwa eine grotesk-lächerliche Schlussfolgerung, dass zwei Menschen, nur weil sie gleiche Kugelschreiber benutzen, darum auch dasselbe schreiben müssten.

Wer sich die Entwicklung durch die Mittel vorschreiben lässt, hat selbst kein Ziel. Wir haben ein Ziel und schaffen uns die zu seiner Erreichung nötigen Mittel."

6 Bewältigte Zahlen- Zahlen und Rechnen

Karl Manteuffel

6.1 Entstehung der Zahlen



Das Erkennen des Gegensatzes zwischen Einheit und Mehrheit führte zur Herausbildung der natürlichen Zahlen, also der Zahlen 1, 2, 3, ... usf. Die 0 gehörte anfangs nicht dazu, weil deren Bedeutung als Zahl und als Ziffer noch nicht erkannt werden war.
Übrigens bezeugt die Bezeichnung "Null" die Richtigkeit dieser Behauptung, denn "nulla figura" bedeutet "kein Zeichen" - es gab kein Zeichen für die Null, weil sie eben weder als Ziffer noch als Zahl gewertet. wurde.

Mit den natürlichen Zahlen lassen sich bestimmte Rechenoperationen ausführen: Man kann sie addieren und multiplizieren, und man weiß, dass sich dabei immer wieder eine natürliche Zahl ergibt; wenn also n_1 und n_2 zwei natürliche Zahlen sind, dann sind ihre Summe n_s

$$n_1 + n_2 = n_s$$

und ihr Produkt n_p

$$n_1 \cdot n_2 = n_p$$

ebenfalls natürliche Zahlen. Das Rechnen mit diesen Zahlen ist zwar jedem geläufig und selbstverständlich, aber vielleicht gerade deswegen sollte man sich einmal klarmachen, welchen Gesetzen diese Rechenoperationen, also die Addition und die Multiplikation von natürlichen Zahlen, genügen.

Es seien n_1, n_2, n_3 beliebige natürliche Zahlen; der Leser kann für sie irgendwelche bestimmte natürliche Zahlen einsetzen, um die Richtigkeit der ausgeführten Rechenoperationen zu überprüfen, er kann also beispielsweise $n_1 = 3$ und $n_2 = 5$ und $n_3 = 11$ setzen. Für die Addition gilt zunächst das folgende Gesetz:

$$n_1 + n_2 = n_2 + n_1$$

Dieses Gesetz besagt, dass das Ergebnis der Addition, die Summe, von der Reihenfolge der Summanden unabhängig ist. Man nennt dieses Gesetz das kommutative Gesetz der Addition.
Bildet man die Summe der drei Zahlen n_1, n_2, n_3, dann stellt man folgende Eigenschaft fest:

$$(n_1 + n_2) + n_3 = n_1 + (n_2 + n_3) = n_1 + n_2 + n_3$$

Dieses Gesetz besagt: Die Anordnung dieser drei Elemente zu zweit darf beliebig vorgenommen werden. Deshalb kann man für die Ausrechnung zunächst den ersten und zweiten Summanden zusammenfassen und dazu den driften Summanden addieren, oder man kann erst den zweiten und dritten Summanden zusammenfassen und zu dieser Summe schließlich den ersten Summanden addieren.
Auf Grund dieser Tatsache ist eine Aussage über die Anordnung der Elemente zu zweit nicht erforderlich, man kann auf die Klammern verzichten. (Zur Erklärung sei hinzugefügt, dass die Beklammerung eine Vorschrift für die Ausführung der Addition darstellt.) Dieses Gesetz heißt das assoziative Gesetz der Addition.

Bei der Multiplikation von zwei natürlichen Zahlen wird das Produkt der beiden Zahlen n_1 und n_2 gebildet; dafür gilt:

$$n_1 \cdot n_2 = n_2 \cdot n_1$$

Die Reihenfolge der Faktoren des Produktes ist also ebenfalls beliebig, auch bei der multiplikativen Verknüpfung zweier natürlicher Zahlen erweist sich die Gültigkeit des kommutativen Gesetzes. Natürlich muss immer gesagt werden, für welche Rechenoperationen ein Gesetz formuliert wird.
In diesem Fall muss es demnach heißen: Für die Multiplikation zweier natürlicher Zahlen gilt das kommutative Gesetz.

Wenn das Produkt aus drei natürlichen Zahlen besteht, so gilt folgender Sachverhalt:

$$(n_1 \cdot n_2) \cdot n_3 = n_1 \cdot (n_2 \cdot n_3) = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3$$

Dieses Gesetz besagt, dass bei der Multiplikation von drei natürlichen Zahlen unter Beibehaltung der Reihenfolge die multiplikative Zusammensetzung dieser Zahlen zu zweit beliebig ist. Man kann die zweite und dritte Zahl miteinander multiplizieren, also das Produkt des zweiten und dritten Faktors bilden und dieses dann mit dem ersten Faktor multiplizieren.
Ebenso kann man die beiden ersten Faktoren multiplizieren und das Produkt dann mit dem dritten Faktor malnehmen. Für die Darstellung dieser Aussage hat das zur Folge, dass auf die Benutzung von Klammern wiederum verzichtet werden kann.

Entsprechend dem Gesetz, das sich bei der Addition ergab, heißt dieses Gesetz das assoziative Gesetz der Multiplikation.

Nun ist bekannt, dass man die Multiplikation und die Addition miteinander in Verbindung bringen kann. Mathematisch heißt das:
Es werden zwischen zwei verschiedenen Arten von mathematischen Verknüpfungen (nämlich zwischen der Addition und der Multiplikation) Beziehungen hergestellt. Wenn n_1 mit der Summe von n_2 und n_3 multipliziert werden soll, so verfährt man folgendermaßen:

$$n_1 \cdot (n_2 + n_3) = n_1 \cdot n_2 + n_1 \cdot n_3$$

Wenn es möglich ist, zwischen der Addition und der Multiplikation von Zahlen eine Beziehung herzustellen, wie sie hier angegeben wurde, so sagt man, dass zwischen der Addition und der Multiplikation das distributive Gesetz gilt.
Für eine additive und multiplikative Verknüpfung der natürlichen Zahlen gilt also das distributive Gesetz, mit anderen Worten: Die Addition und die Multiplikation von natürlichen Zahlen sind miteinander distributiv verbunden.

Es ist zu empfehlen, für n_1, n_2, n_3 natürliche Zahlen einzusetzen und mit ihnen am konkreten Beispiel nachzuprüfen, dass die hier angegebenen Gesetze tatsächlich Gültigkeit haben.

Werden natürliche Zahlen addiert, dann ist das Ergebnis der Addition immer wieder eine natürliche Zahl. Die Addition von natürlichen Zahlen ist somit unbegrenzt ausführbar. Da die Multiplikation auf die Addition zurückgeführt werden kann, so gilt für die Multiplikation dasselbe. Zunächst sei daran erinnert, dass

$$n_1 + n_1 + n_1 = 3n_1$$

geschrieben werden kann. Daher ist auch die Multiplikation von natürlichen Zahlen unbegrenzt ausführbar. Das Ergebnis der Multiplikation, auch mehrfacher Multiplikation, von natürlichen Zahlen ist stets wieder eine natürliche Zahl. Das Produkt

$$n_1 \cdot n_1 \cdot ... \cdot n_1$$

kann abkürzend als Potenz geschrieben werden. Tritt der Faktor n_1 insgesamt k mal auf, so schreibt man n_1^k. Auch das Potenzieren führt nicht aus dem Bereich der natürlichen Zahlen heraus.

Anders liegen die Verhältnisse bei der Subtraktion von natürlichen Zahlen. Innerhalb des Bereiches der natürlichen Zahlen ist die Subtraktion nur unter bestimmten Voraussetzungen ausführbar, wenn die entstehende Differenz wieder eine natürliche Zahl sein soll.
Die Differenz $(n_1 - n_2)$ kann im Bereich der natürlichen Zahlen nur gebildet werden, wenn n_1 größer als n_2 ist: $n_1 > n_2$.

Sei nun $n_1 = n_2$, dann ist die Differenz $n_1 - n_2 = 0$; man sieht, dass sich die Zahl 0 zwangsläufig bei der Durchführung einfacher Rechenoperationen ergibt. Die Zahl 0 rechnet man zu dem Bereich der natürlichen Zahlen hinzu.

Wenn nun auch $n_1 < n_2$ zugelassen wird, dann ergibt die Differenz $(n_1 - n_2)$ keine natürliche Zahl, sondern eine negative ganze Zahl.
Wenn also in der Differenz $(n_1 - n_2)$ die Zahl $n_1 < n_2$ ist, erweitert man den Bereich (oder die Menge) der natürlichen Zahlen, und zwar um die negativen ganzen Zahlen. Es entsteht der Bereich oder die Menge der ganzen rationalen Zahlen, also

$$..., -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, ...$$

Jetzt sind Addition, Subtraktion, Multiplikation und Potenzbildung ohne Einschränkung im Bereich der ganzen rationalen Zahlen ausführbar.
Aber für die Division gilt eine gleiche Einschränkung wie für die Division natürlicher Zahlen, sofern der Quotient wieder eine natürliche Zahl bzw. im Bereich der ganzen Zahlen wieder eine ganze Zahl sein soll. Die Division ist im Bereich der ganzen Zahlen nur durchführbar, wenn der Dividend ein ganzzahliges Vielfaches des Divisors ist. Der Quotient wird dann eine ganze Zahl. In Zeichen sieht das folgendermaßen aus:

$\frac{n_1}{n_2} = n_3$, wobei $n_1 = n_3 \cdot n_2$ ist und n_1, n_2 und n_3 ganze Zahlen sind, außerdem muss n_2 ungleich 0 sein, denn eine Division durch 0 ist nicht erklärt.

Ist der Dividend kein ganzzahliges Vielfaches des Divisors, so kann der Quotient nur eine gebrochen rationale Zahl sein.

Beispielsweise ist für $n_1 = 15$ und $n_2 = 5$ der Quotient $\frac{n_1}{n_2} = 3$ eine ganze (rationale) Zahl; für $n_1 = 3$ und $n_2 = 5$ ist der Quotient $\frac{n_1}{n_2} = \frac{3}{5}$ eine gebrochen-rationale Zahl.

Wenn man den Bereich der ganzen rationalen Zahlen um die gebrochen rationalen Zahlen erweitert, erhält man den Bereich (oder die Menge) der rationalen Zahlen. Jede rationale Zahl ist als Quotient zweier ganzer rationaler Zahlen darstellbar:

$$\frac{n_1}{n_2} + \frac{n_3}{n_4} = \frac{n_1 \cdot n_4 + n_2 \cdot n_3}{n_2 \cdot n_4}$$

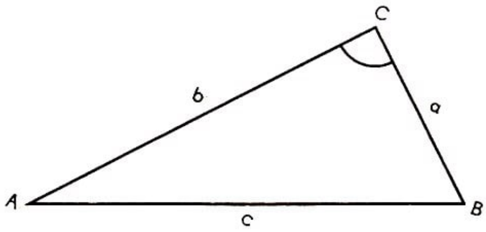
n_1, n_2, n_3, n_4 ganze rationale Zahlen, $n_2 \neg 0$ und $n_4 \neq 0$.

Diese Erweiterungen vom Bereich oder der Menge der natürlichen Zahlen über die Menge der ganzen Zahlen (oder die Menge der ganzen rationalen Zahlen) bis zur Menge der rationalen Zahlen wurde hier ausschließlich unter mathematischen Gesichtspunkten vorgenommen. Die enge Verbundenheit mit praktischen Problemen sei nur angedeutet: Guthaben und Schulden im Handelsverkehr konnten nur durch die ganzen rationalen Zahlen beschrieben werden. Dagegen musste die Notwendigkeit einer größeren Genauigkeit bei geodätischen, astronomischen und anderen Berechnungen zu den gebrochen-rationalen Zahlen führen.

Es gibt aber Aufgaben, die auch im Bereich der rationalen Zahlen nicht zu lösen sind. Wird nach der Zahl r gefragt, für die $r^2 = 5$ ist, so befindet sich diese Zahl r nicht im Bereich der rationalen Zahlen.
Die Griechen kannten diese Zahlen schon viele Jahrhunderte vor unserer Zeitrechnung und interpretierten sie auf geometrischem Wege: Wenn die Katheten a und b im rechtwinkligen Dreieck $a = 1$ und $b = 2$ sind, dann ist nach dem Lehrsatz des Pythagoras

$$c^2 = a^2 + b^2 = 1^2 + 2^2 = 1 + 4 = 5$$

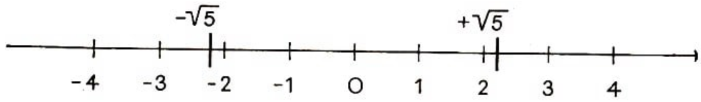
und damit ist c die oben gesuchte Zahl r, denn es ist $c = \sqrt{5}$.



Rechtwinkliges Dreieck

Diese Zahl, die jetzt gefunden worden ist, lässt sich aber nicht als Quotient zweier ganzer rationaler Zahlen darstellen, sie ist also keine gebrochen-rationale Zahl. Man bezeichnet diese Zahlen als irrationale Zahlen. Die rationalen und die irrationalen Zahlen zusammen bilden den Bereich der reellen Zahlen.

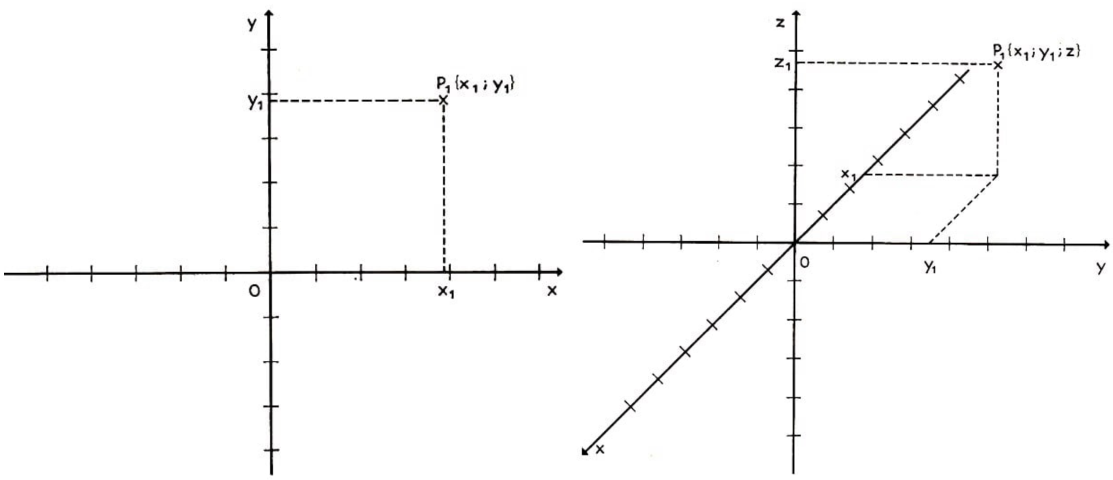
Die reellen Zahlen sind von überragender Bedeutung. Zunächst einmal besteht zwischen dem Bereich oder der Menge der reellen Zahlen und den Punkten einer Geraden eine eineindeutige Zuordnung, wie man in der Sprache der Mathematik sagt. Darunter ist zu verstehen, dass jedem Punkt der Geraden genau eine reelle Zahl und umgekehrt jeder reellen Zahl genau ein Punkt der Geraden zugeordnet werden kann:



Zahlengerade

Mit Hilfe von zwei aufeinander senkrecht stehenden Geraden, zwei sogenannten Koordinatenachsen, ist es möglich, jeden Punkt der Ebene eindeutig durch ein Punkte-Paar, nämlich durch zwei Koordinaten, zu charakterisieren.

Wie man in der Ebene jeden Punkt durch die Angabe eines Punktepaares, seiner Koordinaten, charakterisieren kann, so lässt sich jeder Punkt des Raumes durch die Angabe von drei Zahlen, durch ein sogenanntes Zahlentripel, eindeutig festlegen.



Ebenes rechtwinkliges Koordinatensystem, Räumliches rechtwinkliges Koordinatensystem

Die Zahlentripel werden als die räumlichen Koordinaten eines Punktes bezeichnet. Mit Hilfe eines räumlichen Koordinatensystems ergibt sich die obige Darstellung.

Die reellen Zahlen sind Grundlage der Messtechnik. Dabei gilt folgendes: Jede reelle Zahl ist, wie man sagt, mit beliebiger Genauigkeit durch eine rationale Zahl darstellbar. Das ist gerade für die Messtechnik außerordentlich wichtig, weil damit bestimmten Genauigkeitsforderungen Rechnung getragen wird. Man denke beispielsweise an die Berechnung einer Quadratwurzel.
Es soll auf das vorhin angegebene Beispiel zurückgegriffen werden, und zwar auf die Berechnung des Zahlenwertes von $r = (+)\sqrt{5}$.

Wird eine Genauigkeit bis auf zwei Stellen nach dem Komma verlangt, so erhält man

$$r \approx 2,23$$

für eine Genauigkeit bis auf fünf Stellen nach dem Komma sieht das Ergebnis folgendermaßen aus:

$$r \approx 2,23629$$

Diese Forderungen können tatsächlich beliebig erhöht werden, und zwar soweit eine Erhöhung sinnvoll ist. Oder aber um auf das Beispiel aus der Messtechnik zurückzukommen, es wird so genau gerechnet, wie es die Messmethode ermöglicht.

Ferner ist zu bedenken, dass jede ganze rationale Zahl, wie z. B. $r = 3$, oder jede rationale Zahl, wie z. B. $r_1 = 2,75$, keinerlei zusätzliche Genauigkeitsforderungen zulässt, denn diese Zahlen sind eben so genau dargestellt, wie es überhaupt nur geht.

Im Bereich der reellen Zahlen sind neben Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division auch das Radizieren und das Logarithmieren ausführbar. So kann die n-te Wurzel aus jeder beliebigen reellen Zahl gezogen werden, wenn diese reelle Zahl nur größer als 0 ist. Das heißt

$$x = \sqrt[n]{r}, \qquad n \text{ natürliche Zahl } , r \geqslant 0$$

kann stets berechnet werden.

Das Logarithmieren ist immer ausführbar, sofern die reelle Zahl größer als 0 ist, also $x = log_b r > 0$.
Auch im Bereich oder in der Menge der reellen Zahlen sind demnach nicht alle Rechenoperationen ohne Einschränkungen ausführbar. Was geschieht, wenn diese Einschränkungen aufgehoben werden, und zu welchen Ergebnissen gelangt man dann?

Diese Aufgabenstellung soll an einem Beispiel, und zwar anhand einer Aufgabe von Geronimo Cardano (1501-1576), erklärt werden:
Man zerlege die Zahl 10 so in eine Summe von zwei Zahlen, dass das Produkt dieser Zahlen gleich 40 ist:

$$x(10 - x) = 40$$
$$x^2 - 10x + 40 = 0$$
$$x_{1,2} = 5 \pm \sqrt{-15}$$

$x_1 = 5 + \sqrt{-15}$, $x_2 = 5 - \sqrt{-15}$

die Zahlen x_1 und x_2 erfüllen die obigen Forderungen, denn

$$x_1 + x_2 = 5 + \sqrt{-15} + 5 - \sqrt{-15} = 10$$
$$x_1 \cdot x_2 = (5 + \sqrt{-15})(5 - \sqrt{-15}) = 25 + (\sqrt{-15})^2 = 40$$

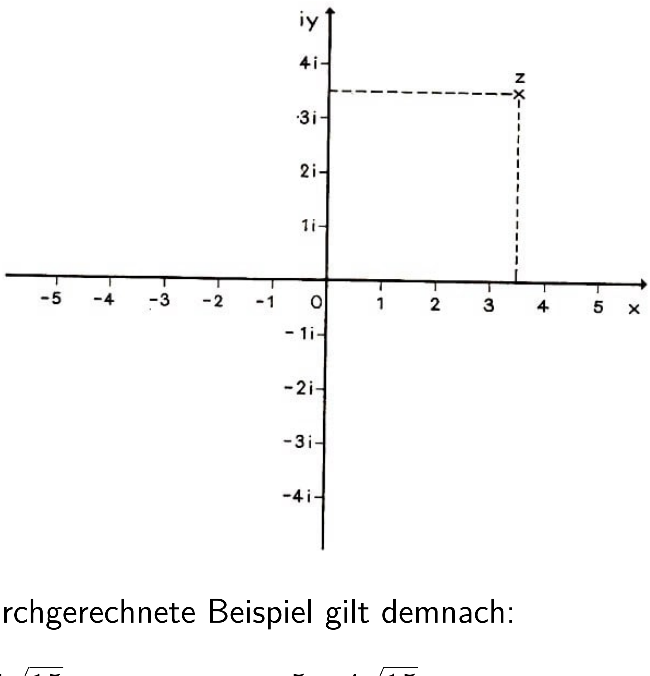
Die Zahlen x_1 und x_2, die die Lösung des gestellten Problems darstellen, sind sogenannte komplexe Zahlen. Zahlen wie $\sqrt{-15}$ nannte man ursprünglich imaginäre ("eingebildete") Zahlen, weil man zwar mit ihnen formal rechnen, sie sich aber keinesfalls als existent oder gar anschaulich interpretierbar vorstellen konnte.
Nach Einführung der sogenannten imaginären Einheit i, für die

$$i = (+)\sqrt{-1} \qquad \text{und} \qquad i^2 = -1$$

gilt, gab C. F. Gauß (1777-1855) eine Veranschaulichung der komplexen Zahlen in der sogenannten Gaußschen Zahlenebene. (Die x-Achse heißt reelle Achse, die y-Achse imaginäre Achse).
Auf Grund dieser Interpretation wird eine beliebige komplexe Zahl z in der Form

$$z = x + iy$$

dargestellt; dabei sind x und y reelle Zahlen, i ist die imaginäre Einheit, x nennt man den Realteil der komplexen Zahl z, y heißt Imaginärteil der komplexen Zahl z. Für $y = 0$, $x \neq 0$ ergeben sich die reellen Zahlen, für $x = 0$, $y \neq 0$ die (rein) imaginären Zahlen.



Gaußsche Zahlenebene

Für das oben angegebene und durchgerechnete Beispiel gilt demnach:

$$x_1 = 5 + i\sqrt{15} \qquad , \qquad x_2 = 5 - i\sqrt{15}$$

In der Menge der komplexen Zahlen oder im Bereich der komplexen Zahlen sind auch die zuletzt angegebenen Aufgaben lösbar.
Es ist nunmehr möglich, die beliebige Wurzel aus einer negativen oder komplexen Zahl zu berechnen, und auch die Bestimmung des Logarithmus einer negativen Zahl oder

einer komplexen Zahl ist jetzt ausführbar. Mit anderen Worten heißt das, für negative ganze Zahlen sind alle Wurzelaufgaben genauso lösbar wie auch die Bestimmung der Logarithmen, und das gilt ebenso für die komplexen Zahlen.

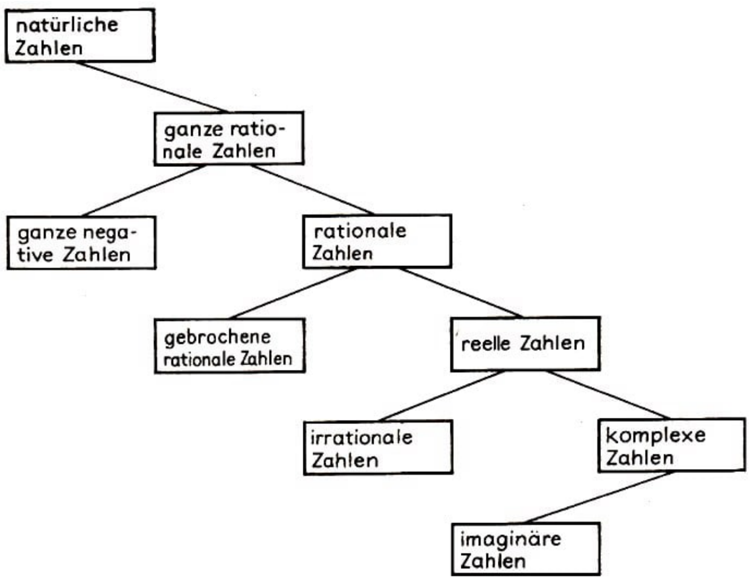
Der Vollständigkeit halber sei bemerkt, dass die Ausführung all dieser Rechenoperationen nicht aus dem Bereich oder der Menge der komplexen Zahlen herausführt. Deshalb sind keinerlei Erweiterungen erforderlich, um die oben aufgeworfenen Aufgaben zu lösen.

Der Bereich der komplexen Zahlen ist "in sich abgeschlossen". Alle angegebenen Rechenoperationen im Bereich oder in der Menge der komplexen Zahlen können ausgeführt werden, ohne dass man diesen Bereich erweitern muss.

Seit den Beispielen für das Rechnen mit den natürlichen Zahlen ist nicht mehr erwähnt worden, welche Gesetze für die Addition oder die Multiplikation von reellen oder komplexen Zahlen gelten. Das hat einen einfachen Grund: Dieselben Gesetze, die für die Addition und die Multiplikation der natürlichen Zahlen angegeben worden sind, gelten für die Addition und die Multiplikation der ganzen Zahlen, der rationalen Zahlen, der reellen Zahlen und der komplexen Zahlen.
Für alle diese Rechenoperationen gelten demnach das kommutative und das assoziative Gesetz, und die Beziehungen zwischen Addition und Multiplikation der Zahlen der betrachteten Bereiche werden durch das distributive Gesetz hergestellt.

Es ist eine der großartigsten Leistungen der Mathematik, dass es nicht notwendig war, die für das Rechnen mit den natürlichen Zahlen geltenden Gesetze durch neue Gesetze zu ergänzen.

Von der Entstehung der natürlichen Zahlen bis zur Beherrschung der komplexen Zahlen erstreckte sich eine Entwicklung von vielen Tausenden von Jahren. Zur Erforschung der Gesetze des Rechnens und zur Entwicklung der verschiedenen Zahlenbereiche waren enorme Abstraktionen notwendig. Die folgende Übersicht soll noch einmal verdeutlichen, um welche Zahlenbereiche es sich handelt.



Aufbau des Zahlensystems

6.2 Grundzahlen und Zahlensysteme

Zwischen der Entstehung der Zahlen und den jetzigen Möglichkeiten und Methoden der Mathematik liegt, und das nicht nur in zeitlicher Hinsicht, ein riesiger Abstand. Verwirrend scheint die Fülle der Zahlendarstellungen und Zahlensysteme, die alle einmal praktisch angewandt wurden und es zum Teil in rudimentärer Form auch noch werden. Unüberschaubar mutet das gewaltige Gebäude an, zu dem die Mathematik im Laufe von Jahrtausenden geworden ist.

Es soll nun keinesfalls eine systematische Beschreibung der Entstehung dieses Gebäudes gegeben werden. Im Hinblick auf den Einsatz programmgesteuerter elektronischer Digitalrechner werden lediglich kurze Erläuterungen zu einigen in diesem Zusammenhang interessierenden Fragen gegeben.

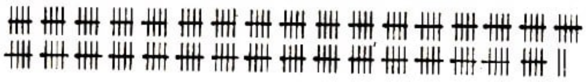
Eine solche Frage lautet: Welche Zahlen eignen sich als Grundzahlen oder Basis eines Zahlensystems ?

Antwort: Unter anderen möglichen Zahlen kann jede ganze positive Zahl benutzt werden.
Einige Beispiele mögen die Richtigkeit dieser Feststellung demonstrieren; b bedeutet Basiszahl, das Zeichen $\hat{=}$ steht für "entspricht", die jeweils gewählte Basis ist in Klammern angegeben.

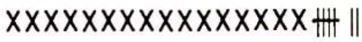
Beispiel 1: Mit der 1 als Basis lässt sich die Zahl 167 durch 167 aneinandergereihte Striche darstellen:

$167\hat{=}$  (1)

Diese Darstellung, die Reihung genannt wird, ist an sich zwar einfach, hat aber den Nachteil, sehr unübersichtlich zu sein. Durch Bündelung kann sie übersichtlich gestaltet werden. Eine Bündelung in Fünfergruppen wandelt sie so ab:

$167\hat{=}$  (1)

Möglich sind auch andere Bündelungen, die die Übersichtlichkeit weiter verbessern. Verwendet man an Stelle von 10 Einheiten das Symbol X, so ergibt sich:

$167\hat{=}$ 

(1)

Mit dem Symbol Z für 20 Einheiten erhält man:

$167\hat{=}$ 

(1)

Eine allgemein bekannte Bündelung ist die Darstellung in römischen Zahlzeichen. In dieser Schreibweise wird 167 zu CLXVII.

Beispiel 2: Eine anschauliche Darstellung bietet das Dezimalsystem:

$$167 = 100 + 60 + 7 = 1 \cdot 100 + 6 \cdot 10 + 7 \cdot 1 = 1 \cdot 10^2 + 6 \cdot 10^1 + 7 \cdot 10^0 \hat{=} 167(10)$$

Diese Darstellung ist deshalb die geläufigste und vertrauteste, weil die 10 die heute allgemein übliche Basiszahl ist und sich auf ihr das Zehner- oder Dezimalsystem aufbaut, jenes Zahlensystem, das sich im praktischen Gebrauch international durchgesetzt hat. Die Vormachtstellung der 10 und des Zehnersystems ändert jedoch nichts an dem Prinzip, dass sich für das Zählen und Rechnen auch jede andere ganze positive Zahl als Basis eignet, wie folgendes Beispiel zeigt.

Beispiel 3: Basis $b = 2$:

$$\begin{aligned} 167 &= 1 \cdot 128 + 0 \cdot 64 + 1 \cdot 32 + 0 \cdot 16 + 0 \cdot 8 + 1 \cdot 4 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 1 \\ &= 1 \cdot 2^7 + 0 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 10100111\ (2) \end{aligned}$$

Das Zweiersystem, das auch Dual- oder Binärsystem genannt wird, kommt mit zwei Ziffern aus, die üblicherweise mit L und 0 bezeichnet werden:

$$167 = LOLOOLLL\ (2)$$

Diese Zahlendarstellung ist deswegen sehr einfach, wirkt allerdings infolge der sehr vielen benötigten Stellen zunächst ungewohnt. Jede Potenz von 2 hat einen Stellenwert. Die spezifischen Vorteile des Dualsystems werden in der Rechentechnik genutzt.

Das Prinzip dieser Darstellungsmethode ist immer dasselbe, ganz gleich, in welchem Zahlensystem die Darstellung vorgenommen oder welche Zahl als Basis verwendet wird. An einigen weiteren Beispielen soll die Richtigkeit dieser Tatsache vor Augen geführt werden.

Beispiel 4: Basis $b = 3$: Die Zahl 167 muss in eine Summe zerlegt werden, deren Summanden Potenzen von 3 sind; als Koeffizienten dieser Potenzen kommen die drei Ziffern 0, 1 und 2 in Frage. Die Zerlegung der Zahl 167 sieht demnach folgendermaßen aus:

$$167 = 2 \cdot 81 + 0 \cdot 27 + 0 \cdot 9 + 1 \cdot 3 + 2 \cdot 1 = 2 \cdot 3^4 + 0 \cdot 3^3 + 0 \cdot 3^2 + 1 \cdot 3^1 + 2 \cdot 3^0 = 20012\ (3)$$

Beispiel 5: Basis $b = 4$: Entsprechend den vorhergehenden Überlegungen wird die Zahl 167 in eine Summe zerlegt, in der jeder Summand eine Potenz von 4 enthält. Man achte darauf, dass nunmehr vier verschiedene Ziffern verwendet werden müssen, um die Zahlen im Zahlensystem mit dieser Basis darzustellen:

$$167 = 2 \cdot 64 + 2 \cdot 16 + 1 \cdot 4 + 3 \cdot 1 = 2 \cdot 4^3 + 2 \cdot 4^2 + 1 \cdot 4^1 + 3 \cdot 4^0 = 2213\ (4)$$

Beispiel 6: Basis $b = 5$: Auch hier wird die Zahl 167 in eine Summe von Potenzen der Zahl 5 zerlegt, und als Koeffizient treten in dieser Zerlegung nunmehr fünf verschiedene Ziffern auf:

$$167 = 1 \cdot 125 + 1 \cdot 25 + 3 \cdot 5 + 2 \cdot 1 == 1 \cdot 5^3 + 1 \cdot 5^2 + 3 \cdot 5^1 + 2 \cdot 5^0 = 1132\ (5)$$

In den Beispielen 7, 8, 9 und 10 werden als Basen die Zahlen $b = 6$, $b = 7$, $b = 8$ und $b = 9$ verwendet. Diese Beispiele sollen zeigen, dass tatsächlich, wie vorhin angegeben worden ist, jede ganze Zahl als Basis verwendet werden kann. Man erhält dann folgende Ergebnisse:

Beispiel 7: Basis $b = 6$:

$$167 = 4 \cdot 36 + 3 \cdot 6 + 5 \cdot 1 = 4 \cdot 6^2 + 3 \cdot 6^1 + 5 \cdot 6^0 = 435\ (6)$$

Beispiel 8: Basis $b = 7$:

$$167 = 3 \cdot 49 + 2 \cdot 7 + 6 \cdot 1 = 3 \cdot 7^2 + 2 \cdot 7^1 + 6 \cdot 7^0 = 325\ (7)$$

Beispiel 9: Basis $b = 8$:

$$167 = 2 \cdot 64 + 4 \cdot 8 + 7 \cdot 1 = 2 \cdot 8^2 + 4 \cdot 8^1 + 7 \cdot 8^0 = 247\ (8)$$

Beispiel 10: Basis $b = 9$:

$$167 = 2 \cdot 81 + 0 \cdot 9 + 5 \cdot 1 = 2 \cdot 9^2 + 0 \cdot 9^1 + 5 \cdot 9^0 = 205\ (9)$$

Beispiel 11: Basis $b = 11$: An dem Verfahren ändert sich nichts, wenn man die Zahl 167 nunmehr in eine Summe zerlegt, die aus Potenzen der Zahl 11 besteht. Aber natürlich muss man insgesamt über 11 verschiedene Koeffizienten verfügen, um eine Zahl im System mit der Basis $b = 11$ darzustellen. Die Koeffizienten können sein:

$$0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, Z$$

In dem hier angegebenen Beispiel treten nur die Koeffizienten 1, 4 und 2 auf, also nicht der Koeffizient Z, so dass bei diesem Beispiel das Problem der 11 verschiedenen Ziffern nicht besteht.

$$167 = 1 \cdot 121 + 4 \cdot 11 + 2 \cdot 1 = 1 \cdot 11^2 + 4 \cdot 11^1 + 2 \cdot 11^0 = 142\ (11)$$

Beispiel 12: Basis $b = 12$: Hier führt die Zerlegung auf folgende Summe:

$$167 = 1 \cdot 144 + 1 \cdot 12 + (11) \cdot 1$$

in diesem Fall, in dem 12 verschiedene Koeffizienten zur Verfügung stehen müssen, muss demnach ein neues Symbol eingeführt werden, denn der Summand $(11) \cdot 1$ kann nicht mit den bisher verwendeten Mitteln weiter verarbeitet werden. Während im Dezimalsystem jede beliebige Zahl dargestellt werden kann, wenn 10 verschiedene Ziffern vorhanden sind, nämlich: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, so sind im System mit der Basis $b = 12$ eben 12 verschiedene Ziffern erforderlich. Diese Ziffern werden bezeichnet mit 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, Z, E.

Mit diesen nunmehr 12 "Ziffern" ergibt sich für die Zahl 167 folgendes:

$$167 = 1 \cdot 12^2 + 1 \cdot 12^1 + E \cdot 12^0 = 11E\ (12)$$

Die Reihe der Beispiele nach dem vorgegebenen Muster lässt sich beliebig fortsetzen. Es geht aber letztlich nur darum, dem Leser zu demonstrieren, dass die Verwendung einer Basis b ungleich 10 nichts Außergewöhnliches ist.

Nur die Gewohnheit lässt uns bei jeder Zahlendarstellung zunächst bloß an das uns so geläufige Dezimalsystem denken. Dabei haben andere Zahlensysteme Vorteile, die das Dezimalsystem nicht hat, und sie haben gegenüber dem Dezimalsystem andererseits auch gewisse Nachteile.

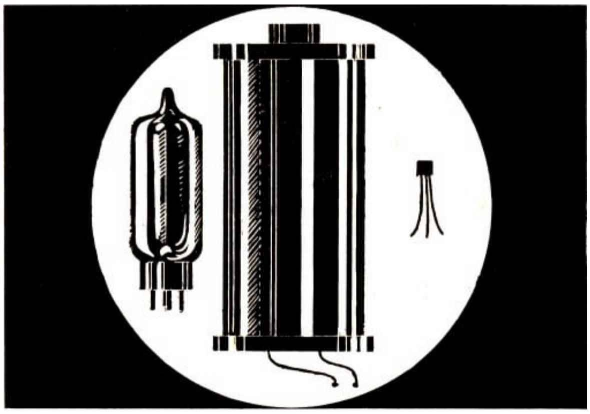
Als letztes Beispiel soll noch die Darstellung der Zahl 169 im System mit der Basis $b = 13$ betrachtet werden.
Von den für die Darstellung einer beliebigen Zahl im System mit dieser Basis erforderlichen 13 verschiedenen "Ziffern" werden in diesem Fall nur zwei gebraucht:

$$169 = 1 \cdot 13^2 + 0 \cdot 13^1 + 0 \cdot 13^0 = 100\ (13)$$

An den Beispielen wurde deutlich, dass die Darstellung von Zahlen und Zahlensystemen, deren Basis b ungleich 10 ist, ohne Schwierigkeiten gelingt. Die moderne Rechentechnik hat sehr viel dazu beigetragen, dass die Darstellung beispielsweise im System mit der Basis $b = 2$ inzwischen sehr bekannt geworden ist. Daher wissen viele, dass man mit den Zahlen, die in anderen Zahlensystemen dargestellt werden, auch rechnen kann.

7 Mathematik und Rechentechnik

7.1 Einige mathematische und logische Grundlagen



Als Grundzahl oder Basis eines Zahlensystems ist jede ganze positive Zahl $b > 1$ geeignet. Positive rationale Zahlen sind ganze rationale Zahlen > 0 und gebrochene rationale Zahlen > 0. Die Darstellung einer natürlichen Zahl N hat folgende Form, wenn sie allgemein auf die Basis b bezogen wird:

$$N = a_n b^n + a_{n-1}b^{n-1} + ... + a_2 b^2 + a_1 b^1 + a_0 b^0 = a_n b^n + a_{n-1}b^{n-1} + ... + a_2 b^2 + a_1 b + a_0$$

dabei ist b eine natürliche Zahl größer als 1 $(b > 1)$, die Koeffizienten

$$a_0, a_1, ..., a_{n-2}, a_{n-1}$$

nehmen Werte zwischen 0 und $b-1$ an $(0 \leqslant a_i < b-1, i = 0, 1, ..., n-1)$, der Koeffizient a_n hat einen Wert zwischen 1 und $b-1$ $(1 \leqslant a_n \leqslant b-1)$.

Für jede Zahl N ist diese Darstellung im System mit der Basis b eindeutig (die Eindeutigkeit der Darstellung wurde hier nicht nachgewiesen). Übrigens gilt die eben angegebene Darstellung auch für negative ganze Zahlen, denn dann ist

$$-N = -\{a_n b^n + a_{n-1}b^{n-1} + ... + a_2 b^2 + a_1 b + a_0\}$$

Wird eine beliebige positive rationale Zahl als Dezimalbruch D dargestellt, dann kann auch dafür eine Darstellung im System mit der Basis b angegeben werden, wenn die negativen Potenzen von b ebenfalls verwendet werden.
Es ergibt sich:

$$\begin{aligned} D &= a_n b^n + a_{n-1}b^{n-1} + ... + a_2 b^2 + a_1 b^1 + a_0 b^0 + a_{-1}b^{-1} + a_{-2}b^{-2} \\ &+ ... + a_{-m+1}b^{-m+1} + a_{-m}b^{-m} \end{aligned}$$

wobei gilt
$b > 1$, ganze Zahl; $0 \leqslant a_i \leqslant b-1$ für $i = -m+1, -m+2, ... -1, 0, 1, 2, ..., n-1$;
$1 \leqslant a_j \leqslant b-1$ für $j = n$ und $j = -m$.

Als Beispiele werden betrachtet:

(a) $D = 317,96$ und $b = 10$, dann ist

$$317,96 = 3 \cdot 10^2 + 1 \cdot 10^1 + 7 \cdot 10^0 + 9 \cdot 10^{-1} + 6 \cdot 10^{-2}$$

(b) $D = 4,65625$ und $b = 2$, dann ist

$$4,65625 = 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^{-1} + 0 \cdot 2^{-2} + 1 \cdot 2^{-3} + 0 \cdot 2^{-4} + 1 \cdot 2^{-5}$$

also $4,65625$ = LOO,LOLOL (2), wenn in Klammern wiederum die Basis angegeben wird.

Auch für negative rationale Zahlen kann eine entsprechende Darstellung - dann also für die Dezimalzahl $(-D)$ - angegeben werden.
Da es möglich ist, jede reelle Zahl mit beliebiger Genauigkeit durch eine rationale Zahl anzunähern, sind die in der Praxis gebräuchlichen reellen Zahlen in der oben angegebenen Form darstellbar.

Kann man mit Zahlen rechnen, die in einem System mit einer Basis $b \neq 10$ dargestellt sind? Wie kann man mit diesen Zahlen rechnen?

Um diese Fragen zu beantworten, braucht man nur darauf zu verweisen, dass die Zahlen zwölf, zwanzig und sechzig als Basen von Zahlensystemen tatsächlich verwendet wurden; man denke an das Sexagesimalsystem der Babylonier, an das bis 1971 gültige alte englische Münz- und Maßsystem oder an die Tatsache, dass im Französischen die Zahl achtzig als "quatre-vingt" (wörtlich übersetzt: vier-zwanzig) bezeichnet wird.

Es sollen einige Beispiele aus dem System mit der Basis $b = 2$ folgen; es gilt in diesem System:

$0 \widehat{=}$	0 (2)	$11 \widehat{=}$	L0LL (2)
$1 \widehat{=}$	L (2)	$12 \widehat{=}$	LL00 (2)
$2 \widehat{=}$	L0 (2)	$13 \widehat{=}$	LL0L (2)
$3 \widehat{=}$	LL (2)	$14 \widehat{=}$	LLL0 (2)
$4 \widehat{=}$	L00 (2)	$15 \widehat{=}$	LLLL (2)
$5 \widehat{=}$	L0L (2)	$16 \widehat{=}$	L0000 (2)
$6 \widehat{=}$	LL0 (2)	$23 \widehat{=}$	L0LLL (2)
$7 \widehat{=}$	LLL (2)	$37 \widehat{=}$	L00L0L (2)
$8 \widehat{=}$	L000 (2)	$60 \widehat{=}$	LLLL00 (2)
$9 \widehat{=}$	L00L (2)	$851 \widehat{=}$	LL0L0L00LL (2)
$10 \widehat{=}$	L0L0 (2)		

Dann ist z.B.

$$\begin{array}{r} 23 \\ +37 \\ \hline 60 \end{array} \qquad \begin{array}{r} \text{L0LLL} \\ +\text{L00L0L} \\ \hline \text{LLLL00} \end{array} \qquad \begin{array}{r} 37 \\ -23 \\ \hline 14 \end{array} \qquad \begin{array}{r} \text{L00L0L} \\ -\text{L0LLL} \\ \hline \text{LLL0} \end{array} \qquad \begin{array}{r} 37 \cdot 23 \\ \hline 74 \\ 111 \\ \hline 851 \end{array} \qquad \begin{array}{r} \text{L00L0L} \cdot \text{L0LLL} \\ \hline \text{L00L0L0} \\ \text{L00L0L} \\ \text{L00L0L} \\ \text{L00L0L} \\ \hline \text{LL0L0L00LL} \end{array}$$

Es ist zu erkennen, dass die aufgeworfenen Fragen ohne Schwierigkeiten zu beantworten sind. Dabei fällt auf, wie leicht das Rechnen im Binär- oder Dualsystem, also im System mit der Basis $b = 2$, ist.
Zur Ausführung der arithmetischen Operationen sind nur folgende Regeln zu beachten:

(1) für die Addition:

$$\begin{array}{lll} 0 + 0 = 0, & 0 + L = L, & L + 0 = L, \\ L + L = L0 \text{ oder besser} & L + L = 0, \text{ Übertrag } L & \end{array}$$

(2) für die Subtraktion braucht man keine besonderen Regeln; man führt die Subtraktion nicht so aus wie im Beispiel, sondern man führt die Subtraktion durch die Bildung des sogenannten Zweierkomplementes der negativen Dualzahl (im Prinzip wird 0 durch L und L durch 0 ersetzt) auf die Addition zurück;

(3) für die Multiplikation:

$$0 \cdot 0 = 0, \quad 0 \cdot L = 0, \quad L \cdot 0 = 0, \quad L \cdot L = L$$

Allerdings werden im Dualsystem mehr Stellen als im Dezimalsystem benötigt. Andererseits reichen im Dualsystem zwei verschiedene Symbole aus, nämlich 0 und L, gegenüber den zehn Symbolen, den Ziffern 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 im Dezimalsystem. Denkt man an die Darstellung von Zahlen in Maschinen mit Hilfe von Bauelementen wie elektromechanischen Relais, Elektronenröhren, Transistoren u. a. - von Bauelementen, die zweier Zustände fähig sind - dann bietet sich die Zahl zwei als Basis des zu wählenden Zahlensystems an.

Diese und andere Eigenschaften und Vorteile des Binär- oder Dualsystems sind nicht etwa Erkenntnisse, die man in diesem oder dem vorigen Jahrhundert gewonnen hat, sondern sie gehen - mehr oder weniger ausgeprägt - bereits zurück auf Leonardo Fibonacci (Leonardo von Pisa, 1175-1250), Luca Pacciolo (auch Pacioli, 1445-1510), John Napier (1550-1617), G. W. Leibnitz (1646-1716), K. Zuse (geb. 1910) und H. Schreyer waren die ersten, die in den dreißiger Jahren Dualzahlen mit Hilfe von elektromechanischen Relais bzw. Elektronenröhren darstellten.

Mitte der vierziger Jahre schlug John von Neumann (1903-1957) dieses Vorgehen vor, wobei er sich auf Arbeiten des Institutes "Blaise Pascal" in Paris stützte, die etwa 1936 vorgelegt wurden.
Die für die Verarbeitung in einem Rechner bestimmten Zahlen liegen zunächst im Dezimalsystem vor; sie müssen im Dualsystem dargestellt oder dual verschlüsselt werden, damit sie mit Hilfe von elektrischen Impulsen verarbeitet werden können. Für diese Verschlüsselung oder Codierung gibt es zahlreiche Möglichkeiten.

Auf diese Problematik soll hier nur an Hand von einigen Beispielen hingewiesen, aber nicht etwa eine Aufzählung verschiedener Codes vorgenommen und deren Vor- und Nachteile gegeneinander abgewogen werden. Beispielsweise kann man die Zahl 167 direkt verschlüsseln; es gilt

$$167 \mathrel{\widehat{=}} \text{L0L00LLL } (2)$$

Aber diese direkte Verschlüsselung ist nicht so ohne weiteres herzustellen. Daher versucht man, Wege zur Verschlüsselung zu finden, die für auszuführende Rechnungen günstig sind.

Ein Stellenübertrag erfolgt im Dezimalsystem beim Übergang von 9 zu 10, von 99 zu 100 usf., im Dualsystem beim Übergang von L zu L0 (d. h. 1 zu 2 in dezimaler Darstellung), von LL zu L00 (von 3 zu 4), von LLL zu L000 (von 7 zu 8), von LLLL zu L0000 (von 15 zu 16) usf. Fasst man die Stellen der Dualzahlen zu Tetraden zusammen, dann findet man:

0 ≙ 0000 (2), 1 ≙ 000L (2), 2 ≙ 00L0 (2), 3 ≙ 00LL (2),
4 ≙ 0L00 (2), 15 ≙ LLLL (2), 16 ≙ 000L 0000 (2)

Wenn man die Ziffern der Dezimalzahl 167 einzeln dual verschlüsselt, dann müssen für jede Ziffer der Dezimalzahl vier Stellen - eine Tetrade - der entsprechenden Dualzahl bereitgestellt werden. Das sieht dann folgendermaßen aus:

167 ≙ 000L 0LL0 0LLL

Nun gilt jedoch 9 ≙ L00L (2) und 10 ≙ L0L0 (2), das heißt, dem Stellenübertrag im Dezimalsystem entspricht kein Stellenübertrag im Dualsystem. Wie kann man hier eine Art "Gleichlauf" erreichen?
Bei vier verfügbaren Dualstellen liegt ein Stellenübertrag vor, wenn die 5. Dualstelle erforderlich wird, das heißt beim Übergang von der 15 zur 16, denn 15 ≙ LLLL (2) und 16 ≙ 000L 0000 (2).

Wenn statt der dezimalen Zahl x $(0 \leqslant x \leqslant 9)$ die dezimale Zahl $x+6$ dual verschlüsselt wird, dann fallen die Stellenüberträge 9 zu 10 des Dezimalsystems und 15 zu 16 des Dualsystems zusammen; es werden folgende Zuordnungen vorgenommen:

0 (10) → 0LL0 (2), 1 (10) → 0LLL (2), 2 (10) → L000 (2), 3 (10) → L00L (2),
4 (10) → L0L0 (2), 5 (10) → L0LL (2), 6 (10) → LL00 (2), 7 (10) → LL0L (2),
8 (10) → LLL0 (2), 9 (10) → LLLL (2)

Sind Rechenoperationen durchgeführt worden, dann müssen die Tetraden des Ergebnisses korrigiert werden.

Eine andere Zuordnung besteht darin, den Dezimalzahlen 0, 1, 2, 3, 4 die entsprechenden Dualzahlen, den Dezimalzahlen 5, 6, 7, 8, 9 die Dualzahlen 11, 12, 13, 14, 15 zuzuordnen (sogenannter 2-4-2-1-Code von Aiken).
Auch der "Dreier-Excess-Code" wird häufig verwendet; hier wird der Dezimalzahl x $(0 \leqslant x \leqslant 9)$ die Dualzahl $x + 3$ zugeordnet.

Bei sämtlichen Codierungen sind nach der Durchführung von Rechenoperationen entsprechende Korrekturen vorzunehmen.
Es sei auch auf die Möglichkeit hingewiesen, auf dem Umwege über ein anderes Zahlsystem zu einer dual verschlüsselten Darstellung zu gelangen.

Für einen solchen Umweg bieten sich als Basen Potenzen von 2 an, z. B. $b = 2^3 = 8$

oder $b = 2^4 = 16$. Beide Wege sind gangbar, nur muss man beachten, dass man für die Darstellung einer Zahl beim System mit der Basis $b = 16$ auch 16 verschiedene Symbole benötigt. Wird die Basis $b = 8$ (Oktalsystem) gewählt, dann gilt:

0 (10) $\hat{=}$ 0 (8)	$\hat{=}$ 000 (2)	1 (10) $\hat{=}$ 1 (8)	$\hat{=}$ 00L (2)
2 (10) $\hat{=}$ 2 (8)	$\hat{=}$ 0L0 (2)	3 (10) $\hat{=}$ 3 (8)	$\hat{=}$ 0LL (2)
4 (10) $\hat{=}$ 4 (8)	$\hat{=}$ L00 (2)	5 (10) $\hat{=}$ 5 (8)	$\hat{=}$ L0L (2)
6 (10) $\hat{=}$ 6 (8)	$\hat{=}$ LL0 (2)	7 (10) $\hat{=}$ 7 (8)	$\hat{=}$ LLL (2)
8 (10) $\hat{=}$ 10 (8)	$\hat{=}$ 00L 000 (2)	9 (10) $\hat{=}$ 11 (8)	$\hat{=}$ 00L 00L (2)
10 (10) $\hat{=}$ 12 (8)	$\hat{=}$ 00L 0L0 (2)	15 (10) $\hat{=}$ 17 (8)	$\hat{=}$ 00L LLL (2)
16 (10) $\hat{=}$ 20 (8)	$\hat{=}$ 0L0 000 (2)	23 (10) $\hat{=}$ 27 (8)	$\hat{=}$ 0L0 LLL (2)
24 (10) $\hat{=}$ 30 (8)	$\hat{=}$ 0LL 000 (2)	32 (10) $\hat{=}$ 40 (8)	$\hat{=}$ L00 000 (2)
56 (10) $\hat{=}$ 70 (8)	$\hat{=}$ LLL 000 (2)	63 (10) $\hat{=}$ 77 (8)	$\hat{=}$ LLL LLL (2)
64 (10) $\hat{=}$ 100 (8)	$\hat{=}$ 00L 000 000 (2)	167 (10) $\hat{=}$ 247 (8)	$\hat{=}$ 0L0 L00 LLL (2)

Man sieht sofort, dass die Ziffern der Zahlendarstellung im Oktalsystem einzeln dual verschlüsselt gerade die Darstellung der Dezimalzahl im Dualsystem ergeben. Die Entschlüsselung erfolgt dadurch, dass die Ziffern des Dualsystems in Dreiergruppen zusammengefasst werden und die dieser Dreiergruppe entsprechende Zahl im Oktalsystem sofort hingeschrieben werden kann; die Oktalzahl ist dann in die Dezimalzahl umzurechnen.

Es gibt also zahlreiche Möglichkeiten für die erforderliche Codierung der Zahlen des Dezimalsystems. Welche im konkreten Fall ausgewählt wird, hängt von recht verschiedenartigen und oft komplizierten Gegebenheiten und Überlegungen ab, auf die in diesem Zusammenhang nicht eingegangen werden kann.

Vom Zahlensystem, von der Verschlüsselung und von der Art der Zahlendarstellung hängt also ab, wie der Digitalrechner in wesentlichen Teilen aufgebaut sein muss, um die Rechenoperationen zu realisieren.
Da sich alle auszuführenden Grund-Rechenoperationen auf Additionen zurückführen lassen, braucht man sich nur mit Schaltungen zu beschäftigen, die vorgeschriebene Additionen verwirklichen. Die notwendigen Schaltungen können - unabhängig von der Art der Bauelemente (elektromechanische Relais, Elektronenröhren, Transistoren u. a.), aus denen sie aufgebaut sind - mit Hilfsmitteln der sogenannten Schaltalgebra beschrieben werden.

Die Bauelemente, die in Digitalrechnern Verwendung finden, sind zweier Zustände fähig; das gilt nicht nur für die Bauelemente in dem Teil des Rechenautomaten, in dem die Rechenoperationen ausgeführt werden, sondern auch für diejenigen Teile, die für den Transport von Zahlen oder Befehlen oder für die Steuerung dieses Transportes zuständig sind.

Diese Bauelemente verhalten sich ähnlich wie mathematische Aussagen; letztere sind entweder wahr oder falsch, sie können weder gleichzeitig falsch und wahr noch gleichzeitig nicht wahr und nicht falsch sein. Von den Bauelementen werden die vorhandenen Impulse weitergegeben oder nicht.
Werden zwei oder mehrere verschiedene Aussagen betrachtet, so interessiert nicht deren Inhalt, sondern lediglich die Tatsache, ob sie wahr oder falsch sind (man interessiert

sich nicht für den konkreten Inhalt der Aussage). Die Aussagen können also nur zwei Werte annehmen: wahr (L) oder falsch (0).
Man spricht daher von der (zweiwertigen) Aussagenlogik, von der Algebra der Logik, von der Booleschen Algebra (nach George Boole, 1815-1864) oder - wenn deren Gesetze auf den konkreten Fall der Analyse oder Synthese von Schaltungen angewendet werden - von der Schaltalgebra.

Wegen der Gültigkeit des "Satzes vom ausgeschlossenen Dritten" (einer der beiden Zustände L oder 0 muss immer angenommen werden), gilt zunächst:

$$\overline{0} = L \qquad , \qquad \overline{L} = 0$$

dabei wird durch Überstreichen die Negation ausgedrückt. $\overline{0}$ ist zu lesen als "nicht Null". Demnach ist der eine Zustand die Negation des anderen.

Die Disjunktion oder logische Summe (logische Addition) wird durch das Zeichen $\vee$ (vom lateinischen vel - oder) charakterisiert; für die möglichen additiven Verknüpfungen von 0 und L ergeben sich folgende Möglichkeiten (gelesen: 0 oder 0 ist gleich 0 usf.):

$$\begin{aligned} 0 \vee 0 &= 0, \\ 0 \vee \mathsf{L} &= \mathsf{L}, \\ \mathsf{L} \vee 0 &= \mathsf{L}, \\ \mathsf{L} \vee \mathsf{L} &= \mathsf{L} \end{aligned}$$

Eine durch additive Verknüpfung zweier Aussagen erhaltene Aussage ist also richtig, wenn die eine oder die andere Aussage richtig ist. Anders gesagt: Die Disjunktion ist eine zusammengesetzte Aussage, die nur falsch ist, wenn beide Einzelaussagen falsch sind. Wenn A eine beliebige Aussage bezeichnet, die wahr oder falsch sein kann, dann gilt:

$$\begin{aligned} A \vee 0 &= A, \\ A \vee \mathsf{L} &= \mathsf{L}, \\ A \vee A &= A, \\ A \vee \overline{A} &= \mathsf{L} \end{aligned}$$

Ferner gelten, wenn B und C ebenfalls zwei beliebige Aussagen sind, die die Werte 0 oder L (falsch oder wahr) annehmen können:

$$A \vee B = B \vee A \qquad , \qquad A \vee (B \vee C) = (A \vee B) \vee C = A \vee B \vee C$$

Von der Richtigkeit dieser Beziehungen überzeugt man sich, indem für A, B, C die Werte 0 oder L eingesetzt werden und deren disjunktive Verknüpfung entsprechend den obigen Regeln berücksichtigt wird.

Eine weitere logische Funktion ist die Konjunktion oder das logische Produkt, es wird durch das Zeichen $\wedge$ charakterisiert (gelesen: 0 und 0 ist gleich 0 usf.):

$$\begin{aligned} 0 \wedge 0 &= 0, \\ 0 \wedge \mathsf{L} &= 0, \\ \mathsf{L} \wedge 0 &= 0, \\ \mathsf{L} \wedge \mathsf{L} &= \mathsf{L} \end{aligned}$$

Die Konjunktion ist demnach eine zusammengesetzte Aussage, die nur wahr ist, wenn beide Einzelaussagen wahr sind. - Ferner gelten, wenn A, B, C wiederum drei beliebige Aussagen sind:

$$\begin{aligned}
&A \wedge 0 = 0,\\
&A \wedge \mathsf{L} = A,\\
&A \wedge A = A,\\
&A \wedge \overline{A} = 0\\
&A \wedge B = B \wedge A\\
&A \wedge (B \wedge C) = (A \wedge B) \wedge C = A \wedge B \wedge C
\end{aligned}$$

Auch hier wird die Richtigkeit dieser Relationen veranschaulicht, indem für A, B, C die Werte 0 oder L eingesetzt werden und deren konjunktive Verknüpfung entsprechend den gegebenen Regeln berücksichtigt wird.
Für die Verknüpfung von Konjunktion und Disjunktion gelten:

$$A \wedge (B \vee C) = (A \wedge B) \vee (A \wedge C) \quad , \quad A \vee (B \wedge C) = (A \vee B) \wedge (A \vee C)$$

durch Einsetzen von 0 und L für A, B, C kann man die Richtigkeit dieser Relationen ebenfalls nachprüfen. Außerdem fällt ein gewisses Entsprechen der logischen Verknüpfungszeichen $\vee$ und $\wedge$ auf. Setzt man in den beiden letzten Relationen $B = A$, so erhält man:

$$\begin{aligned}
A \wedge (A \vee C) = (A \wedge A) \vee (A \wedge C) &= A \vee 0 = A \text{ für } C = 0\\
&= A \vee A = A \text{ für } C = \mathsf{L}
\end{aligned}$$

d.h. $A \vee (A \wedge C) = A$.

$$\begin{aligned}
A \vee (A \wedge C) = (A \vee A) \wedge (A \vee C) &= A \wedge A = A \text{ für } C = 0\\
&= A \wedge \mathsf{L} = A \text{ für } C = \mathsf{L}
\end{aligned}$$

d.h. $A \wedge (A \vee C) = A$.

Für die Verknüpfung von Negation und Disjunktion bzw. Negation und Konjunktion ergeben sich:

$$\overline{A \vee B} = \overline{A} \wedge \overline{B} \quad , \quad \overline{A \wedge B} = \overline{A} \vee \overline{B}$$

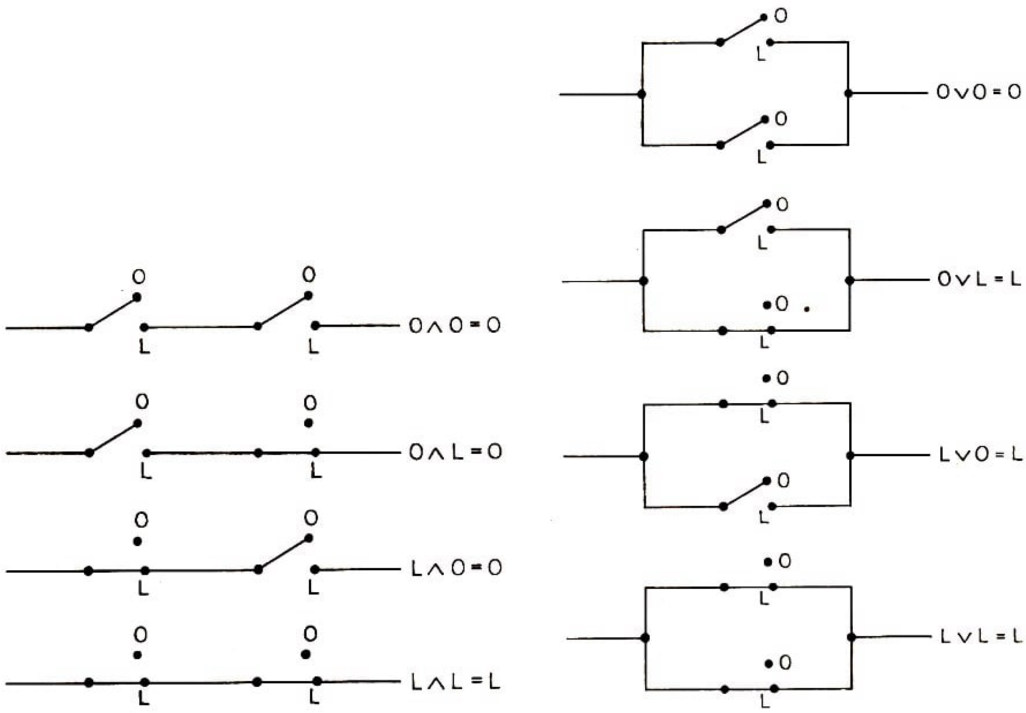
Auch die Äquivalenz zweier Aussagen ist von Bedeutung; sie ist ebenfalls eine zusammengesetzte Aussage, die wahr ist, wenn beide Einzelaussagen gleich sind. Das heißt sim ist das Äquivalenzzeichen; (gelesen: 0 äquivalent 0 ist gleich L usf.):

$$\begin{aligned}
&0 \sim 0 = \mathsf{L},\\
&0 \sim \mathsf{L} = 0,\\
&\mathsf{L} \sim 0 = 0,\\
&\mathsf{L} \sim \mathsf{L} = \mathsf{L};
\end{aligned}$$

ferner gelten $A \sim 0 = \overline{A}$ und $A \sim \mathsf{L} = A$.

Eine weitere zweiwertige Aussage ist die Implikation; sie ist nur falsch, wenn A wahr und B falsch ist, sonst ist sie wahr ($\rightarrow$ ist das Implikationszeichen):

$$0 \to 0 = L,$$
$$0 \to L = L,$$
$$L \to 0 = 0,$$
$$L \to L = L;$$



Konjunktionsschaltung (logisches Produkt) und Disjunktionsschaltung (logische Summe)

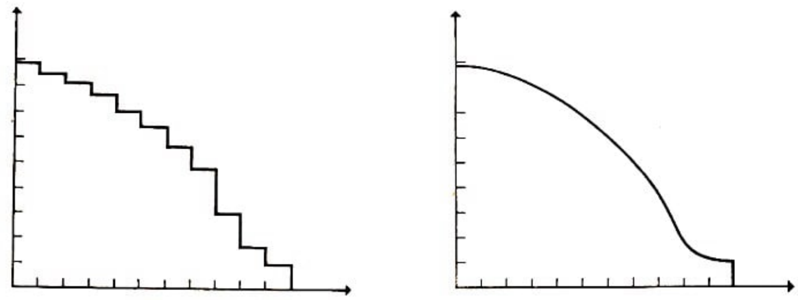
Mit Hilfe dieser logischen Verknüpfungen und deren Kombinationen sowie mit einigen hier nicht erwähnten allgemeineren logischen Theoremen kann man sich den Problemen der Analyse und der Synthese von Schaltungen zuwenden. Hier soll jedoch nur die Konjunktions- und die Disjunktionsschaltung betrachtet werden, indem man statt der in den Rechnern verwendeten Bauelemente lediglich Schalter verwendet. Dann erhält man die obigen Abbildungen.
Die Konjunktionsschaltung entspricht einer Serienschaltung, die Disjunktionsschaltung einer Parallelschaltung. Hieraus und aus der technischen Realisierung der anderen logischen Verknüpfungen werden die Elemente der Rechen- und Leitwerke der Digitalrechner zusammengesetzt.

7.2 Aufbau und Arbeitsweise elektronischer Rechenautomaten

Einen bis dahin beispiellosen Höhepunkt haben die Rechenhilfsmittel mit der Erfindung der programmgesteuerten elektronischen Digital-Rechenautomaten und deren Weiterentwicklung bis zum gegenwärtigen Stand erreicht. Das wird auch durch die sich abzeichnenden oder andeutenden Entwicklungstendenzen bestätigt. Bei den Digitalrechnern allgemein werden diskrete Zahlen verarbeitet, ganz gleich, ob es sich um die Maschine Wilhelm Schickardts oder um die Rechenautomaten der MINSK- oder IBM-Serien handelt.

Dieser Sachverhalt lässt sich folgendermaßen veranschaulichen:

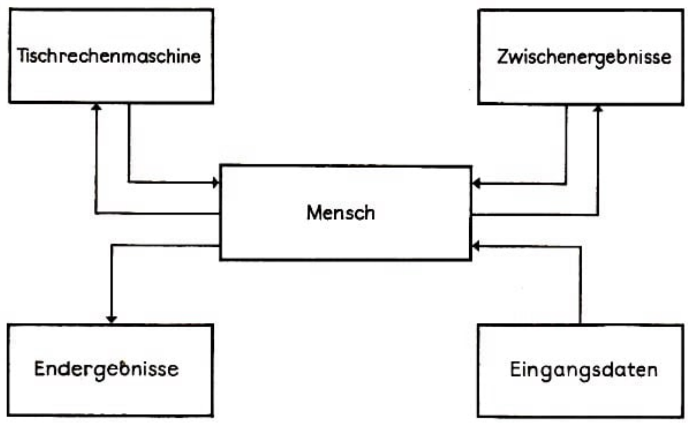
Wenn die Intervalle auf der Abszissen-(oder Horizontal-)Achse immer kleiner werden, dann wird auch die Werteeinteilung auf der Ordinaten- (oder Vertikal-)Achse immer feiner. Dieser Prozess kann soweit fortgesetzt werden, dass man schließlich eine Veranschaulichung der Zahlendarstellung erhält, wie sie in den Analogrechnern vorliegt.
Damit sind Unterschied und Zusammenhang der beiden verschiedenartigen Zahlendarstellungen noch einmal gegenübergestellt.



Diskrete und analoge Zahlendarstellung

Die Bestrebungen, die der Entwicklung von Rechenhilfsmitteln, zugrunde gelegen haben, lassen erkennen, dass es letztlich immer darum ging, für den Menschen eine Erleichterung für oder eine Entlastung von bestimmten Routinearbeiten zu erreichen.
Wie arbeitet der Mensch mit einer Tischrechenmaschine?

Es liegen eine Aufgabenstellung, ein Lösungsalgorithmus und eine Anzahl von Werten vor, mit denen die Rechnung durchzuführen ist (die sogenannten Eingangsdaten). Auf Grund des Algorithmus entscheidet der Mensch, in welcher Reihenfolge und in welcher Weise die gegebenen Werte zu verarbeiten sind ; er gibt sie in die Maschine ein, notiert Zwischenergebnisse, rechnet mit diesen weiter, führt Kontrollrechnungen aus. Schließlich erhält er die Endergebnisse und hat nunmehr die gestellte Aufgabe gelöst.



Lösen einer Aufgabe unter Einsatz einer Tischrechenmaschine

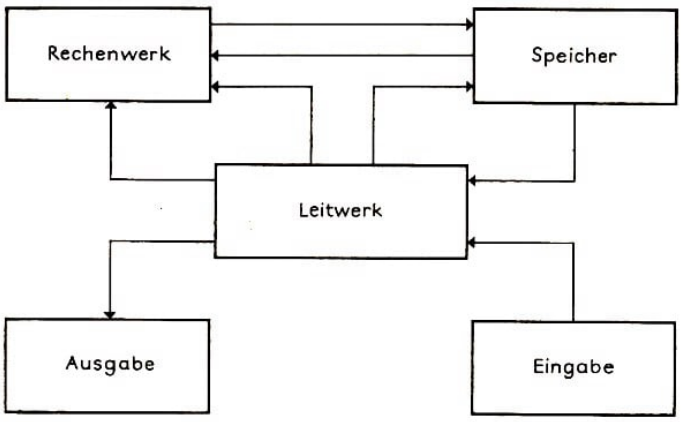
Der Mensch leitet, koordiniert und überwacht den gesamten Ablauf der Rechnung. Wenn es gelingt, wenigstens Teile dieser Aufgabe der Maschine zu übertragen, dann kann der Mensch davon befreit werden und sich anderen Aufgaben zuwenden.

Er kann mathematische Modelle von Prozessen der objektiven Realität schaffen, Algorithmen zu deren Lösung entwickeln, vorhandene Algorithmen verbessern. Ebenso kann er die Arbeit der Maschinen kontrollieren und Ergebnisse und Methoden vergleichen. Kurz gesagt: Der Mensch kann sich schöpferischer und überwachender Tätigkeit zuwenden.

Bereits Ch. Babbage hatte in seiner Konzeption eine Steuereinheit (Leitwerk), einen Speicher und eine Recheneinheit vorgesehen. An dieser Konzeption des klassischen Universalrechenautomaten hat sich im Prinzip nichts geändert. Das durch John von Neumann 1946/47 charakterisierte Modell eines elektronischen Rechenautomaten weist daher auf: '

Eingabewerk,
Leit- (oder Steuer- oder Kommando-) werk,
Rechen- (oder Verarbeitungs-) werk,
Speicherwerk,
Ausgabewerk.

Zwischen dem Arbeitsablauf beim Einsatz des Menschen mit einer Tischrechenmaschine und dem Arbeitsablauf beim Einsatz eines programmgesteuerten elektronischen Rechenautomaten besteht sehr große Ähnlichkeit:
Das Rechenwerk entspricht der Tischrechenmaschine, der Speicher entspricht dem Blatt mit den notierten Zwischenergebnissen, das Leitwerk steuert den Ablauf der Aufnahme, der Verarbeitung (unter Einsatz von Rechenwerk und Speicher) und der Ausgabe der Daten - wozu noch die Ein- und Ausgabegeräte benötigt werden - und entspricht damit der Tätigkeit, die im anderen Falle von Menschen (mit Hilfe der Tischrechenmaschine, der Eingangsdaten, des Notizblockes und schließlich der Endresultate) ausgeübt wird.



Lösen einer Aufgabe unter Einsatz einer programmgesteuerten Rechenanlage

Allerdings muss der Maschine ein Programm mitgeteilt werden, aus dem hervorgeht, was in jedem Augenblick oder besser nach jedem durchgeführten Auftrag zu tun ist.
So kann beispielsweise verlangt werden:

Bringe die Zahl a_1 in die Speicherzelle n_1;
bringe die Zahl a_2 in die Speicherzelle n_2;
bilde die Summe S der Zahlen, die in den Speicherzellen n_1 und n_2 stehen;

bringe die Summe S in die Speicherzelle n_3;
drucke die Zahl aus der Speicherzelle n_3.

Damit sind bereits Probleme skizziert, die sich bei der Herstellung von Programmen für Rechenautomaten ergeben. Zunächst muss man sich der Maschine verständlich machen, man muss sich einer "Sprache" bedienen, die diese Maschine versteht, der sogenannten Maschinensprache.
Jede Maschine hat eine solche Sprache, oder besser, jeder Maschinentyp hat eine eigene Sprache. Diese Sprache wird auf Grund der jeweiligen speziellen logischen Struktur der Maschine geschaffen.

Der Mensch spricht in dieser Maschinensprache zur Maschine und teilt ihr mit, befiehlt ihr, dass sie die Zahl a_1 an eine bestimmte Stelle im Speicher transportieren soll, nämlich in die Zelle n_1. Das Entsprechende ist mit der Zahl a_2 und der Speicherzelle n_2 zu tun. Das Bilden der Summe der beiden Zahlen erfolgt im Rechenwerk, das Ergebnis wird dann wieder in den Speicher transportiert.
Solange die Zahlen nicht gelöscht sind, stehen sie im Speicher auf Abruf bereit, weitere Rechenoperationen können ausgeführt werden. In dem Ablaufschema wird schließlich das Drucken der Summe, also des Ergebnisses der Rechnung, verlangt. Dann sind alle gestellten Forderungen erfüllt, die Rechnung ist beendet.

Es ist prinzipiell folgendermaßen zu verfahren: Der Maschine werden eine Anzahl Anweisungen in der Maschinensprache mitgeteilt; die Gesamtheit aller Anweisungen, die zur Lösung eines Problems erforderlich sind, bildet das Programm. Und es wurde auch schon deutlich, dass es nicht nur Befehle gibt, die die Ausführung von Rechenoperationen verlangen (Operationsbefehle), sondern auch Transport- und Regiebefehle.
Außerdem gibt es noch Adressenänderungsbefehle (dabei werden in den erforderlichen Fällen Befehle während des Rechenprozesses geändert) und sogenannte Sprungbefehle. Letztere sind erforderlich, wenn ein Algorithmus abgearbeitet wird, der aus sich immer wiederholenden gleichen Schritten besteht, also mehrfach wieder an dieselbe Stelle des Programms "gesprungen" werden muss, wie etwa bei der Bildung des Produktes

$$(a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5) \cdot (b_1 + b_2 + b_3)$$

Dann wird folgendermaßen gerechnet:

$$(a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5) \cdot b_1 + (a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5) \cdot b_2 + (a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5) \cdot b_3$$

das heißt, die Summe $a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5) \sum\limits_{i=1}^{5} a_i$ ist nacheinander mit allen b_j $(j = 1, 2, 3)$ zu multiplizieren.
Wenn alle drei Produkte vorliegen, werden diese schließlich addiert, um die gesuchte Lösung zu erhalten. Zu den Operationsbefehlen sei noch bemerkt, dass es hierbei nicht nur um die Ausführung von Rechenoperationen, sondern auch um die Ausführung von logischen Operationen (Negation, Äquivalenz, Disjunktion, Konjunktion) geht.

Bisher wurde der Maschine auch noch gar nicht gesagt, dass sie mit der Arbeit beginnen und wann sie mit der Arbeit enden soll: Es ist also an den Beginn des Programms der Startbefehl und ans Ende der Stoppbefehl zu setzen (Regiebefehle).

In jedem Befehl muss angegeben werden, welche Speicherzelle gemeint ist, die genaue Adresse - daher spricht man auch vom Adressenteil -, und was mit dem Inhalt dieser Zelle geschehen soll - das steht im sogenannten Operationsteil. Jeder Befehl oder jedes Befehlswort setzt sich im allgemeinen aus 40 bis 48 Dualstellen oder bits zusammen (bit - Abkürzung für binary digit, Binärzahl). Die Anzahl der bits im Befehlswort ist konstant.

Neben den Befehlswörtern gibt es die Zahlwörter, die dieselbe Länge wie die Befehlswörter haben. Das Zahlwort besteht aus dem Vorzeichen der Zahl, dem Betrag der Zahl (Ziffernfolge ohne Berücksichtigung des Vorzeichens), Angabe der Stellung des Kommas und Möglichkeiten für das Anbringen besonderer Markierungszeichen.

Oft gelingt es nicht, beim ersten Versuch ein fehlerfreies Programm aufzustellen; daher muss jedes Programm vor seinem Einsatz getestet werden. Natürlich strebt man an, mit möglichst wenig Testzeit auszukommen. Ferner soll ein Programm so beschaffen sein, dass die erforderliche Rechenzeit möglichst gering ist und die Kosten möglichst niedrig bleiben.

Bei der Programmierung in Maschinensprachen muss der Nachteil in Kauf genommen werden, dass man dasselbe Problem für die Bearbeitung auf zwei Maschinen verschiedenen Typs zweimal programmieren muss. Deshalb ging man dazu über, künstliche maschinenunabhängige Sprachen zu schaffen, in der Programme geschrieben werden, die überall verwendet werden können; mittels sogenannter Compiler (Übersetzer) erfolgt dann die Übersetzung in die jeweilige Maschinensprache.
Allerdings zeigte es sich, dass man mit einer einzigen solchen problemorientierten Sprache nicht auskommt, weil es zwischen wissenschaftlich-technischen Berechnungen (beispielsweise komplizierten Schwingungsberechnungen) und ökonomischen und kommerziellen Berechnungen (z. B. Berechnung von Versicherungsprämien, Lohn- und Materialabrechnungen) wesentliche Unterschiede gibt.

Im ersten Fall werden relativ wenig Daten verschiedenartig und mehrfach, im anderen Fall umfangreiche Datenmengen mit wenig rechnerischem Aufwand bearbeitet. Die Problemstellung hat im Laufe der Entwicklung die Konstruktion der programmgesteuerten elektronischen Rechenautomaten beeinflusst und ebenso die Programmierungssprachen. Wichtige problemorientierte Sprachen sind für wissenschaftlich-technische Probleme: ALGOL (Algorithmical Language) und FORTRAN (Formula Translation System); für kommerzielle Probleme: COBOL (Common Business Oriented); auch für andere Probleme gibt es spezielle Sprachen.

In der Zukunft wird diese Unterscheidung durch den Übergang zur Mikroelektronik nicht mehr notwendig sein. Für die Anlagen der nächsten Rechengeneration sind neue Programmiersprachen von größerer Leistungsfähigkeit bereits entwickelt worden wie z. B. ALGOL 68 oder PL 1 (Processing Language).

Nunmehr sollen die Betrachtungen über den prinzipiellen Aufbau und über die Arbeitsweise der programmgesteuerten elektronischen Digitalrechner (oder Ziffernrech-

ner) fortgesetzt werden.
Zunächst werden Ein- und Ausgabewerk betrachtet, also jene Teile, über die die "Verständigung" zwischen dem Menschen und dem Automaten erfolgt. Die Eingabe erfolgt im allgemeinen mit Hilfe von Informationsträgern, auf die das Programm zuvor übertragen worden ist.
Solche Informationsträger können sein: Lochkarte, Lochstreifen, Magnetband. Sie unterscheiden sich hinsichtlich der Geschwindigkeit mit der die Eingabe der Information erfolgt, wesentlich voneinander, aber grundsätzlich ist es gleichgültig, welcher Informationsträger verwendet wird. Eine schnelle Maschine verlangt eine entsprechend schnelle Eingabe, und man muss dafür die höheren Kosten in Kauf nehmen.

Die Informationsträger werden im Eingabewerk mechanisch, elektromechanisch, elektromagnetisch oder photoelektrisch abgetastet, wodurch die auf den Informationsträgern enthaltenen Informationen in elektrische Impulse verwandelt und auf die Bauelemente des Automaten überführt werden können.
Zu den bisher beschriebenen Möglichkeiten der indirekten Eingabe gesellen sich in letzter Zeit noch Analog-Digital-Wandler, die bei der automatischen Steuerung von Produktionsprozessen durch einen Digitalrechner die aufgezeichneten Daten in direkte Informationen umwandeln, die dann der Maschine eingegeben werden. Um eine direkte Eingabe handelt es sich, wenn eine manuelle Eingabe über eine Tastatur direkt in die Maschine erfolgt.

Neuere Untersuchungen beschäftigen sich mit dem Problem, Informationen mittels der menschlichen Sprache oder über Belege mit Schriftzeichen und Formeln einzugeben.
Das Eingabewerk dient zur Übertragung aller verschlüsselten Informationen, die zur Lösung der Aufgabe erforderlich sind, in den Automaten.

Wenn die Rechnung abgeschlossen ist, sollen deren Ergebnisse der weiteren Nutzung zugänglich gemacht werden. Ihre Ausgabe aus der Maschine kann ebenfalls in verschiedenartiger Weise erfolgen.
In gedruckter Form liegen die Ergebnisse vor, wenn eine (elektrische) Schreibmaschine oder ein Schnelldrucker verwendet wird; letztere können bis zu mehreren Zehntausend Zeichen in einer Sekunde drucken (eine Schreibmaschine bringt es auf 10 bis 15 Zeichen pro Sekunde).

Bei der Ausgabe über Lochkarten, Lochstreifen oder Magnetbänder müssen diese mit Hilfe spezieller Umsetzer ausgewertet werden, um die Ergebnisse in verständlicher Form zu erhalten.
Für die Ausgabe spielen jetzt auch Digital-Analog-Wandler eine Rolle, weil der Digitalrechner in einem automatisierten Prozess die erforderliche Rückkopplung herstellt und von sich aus über den Digital-Analog-Wandler den automatisch laufenden Prozess auf Grund der ihm über die Eingabe durch den Analog-Digital-Wandler) zur Verfügung gestellten und dann ausgewerteten Informationen steuert.
Dem Ausgabewerk obliegt die Ausgabe von Informationen aus dem Automaten; dabei handelt es sich unter anderen um Zwischen- oder Endresultate. '

Nach der Beschreibung von Ein- und Ausgabewerk folgt die Betrachtung der Verarbeitungseinheit (Speicherwerk, Rechenwerk, Leitwerk). Das Speicherwerk speichert alle eingegebenen Informationen - Befehle und Zahlen - und stellt sie auf Anforderung wieder zur Verfügung.

Aus der Aufgabe des Speichers lassen sich sogleich einige Forderungen an ihn ableiten: Die gespeicherten Informationen dürfen nicht von selbst "verschwinden", sie müssen bis zur Abgabe oder zum Löschen erhalten bleiben; die Informationen müssen - nachdem sie durch einen Befehl aufgerufen worden sind - möglichst schnell zur Verfügung stehen; die Zugriffszeit (das ist die Zeit, die vom Aufrufen für das Aufsuchen, die Entnahme und den Transport der Information bis zu deren Zurverfügungstellung vergeht) soll möglichst klein sein; die Anzahl der Informationen, die in einem Speicher untergebracht werden können, also die Kapazität des Speichers, soll möglichst groß sein. Besonders die zweite und dritte Forderung stehen zueinander im Widerspruch; denn wenn die Kapazität des Speichers sehr groß ist, dauert es länger, bis die gesuchte Information gefunden wird.

Aus diesem Grunde stattet man die Rechenautomaten mit zwei Speichern aus, einem inneren oder Arbeitsspeicher, der etwa 10000 Befehls- oder Zahlwörter aufnehmen kann und eine sehr kleine Zugriffszeit hat, und einem äußeren oder peripheren Speicher, der im allgemeinen eine Kapazität von mehreren Millionen Wörtern, also eine sehr große Kapazität, dafür aber eine bedeutend größere Zugriffszeit als der Arbeitsspeicher hat.

Lochkarten und Lochstreifen stellen auch Speicher dar, nur können die auf ihnen enthaltenen Informationen nicht gelöscht werden, auch das Beschreiben und das Lesen dauern sehr lange, sie sind also für Speicherzwecke wenig geeignet.

Es werden Speicher gebraucht, auf die Informationen sehr schnell geschrieben und auf denen die Informationen sehr schnell gelesen, transportiert oder gelöscht werden können. Es sind sehr viele Speicher entworfen, gebaut und erprobt worden, hier seien nur einige Typen genannt: Kernspeicher, Trommelspeicher, Plattenspeicher, Bandspeicher.

Die Kernspeicher und entsprechend dimensionierte Trommelspeicher werden als Innen- oder Arbeitsspeicher, große Trommelspeicher, Platten- und Bandspeicher als periphere oder äußere Speicher verwendet.
Die Kernspeicher bestehen aus winzig kleinen Ferritkernen (das sind keramische Magnetwerkstoffe aus Eisen- und anderen Metalloxiden), die auf Grund ihrer Zusammensetzung zweier Zustände fähig sind, je nachdem, ob ein elektrischer Impuls zu ihnen gelangt oder nicht.

Die anderen Speicher sind Magnetschichtspeicher, auf einen Metallzylinder, auf eine Metallplatte oder auf ein Band ist eine permanent magnetisierbare Schicht aufgetragen. Dann gibt es Schreib-, Lese- und Löschköpfe, die in die vorgeschriebene Speicherzelle eine Information schreiben oder sie dort lesen oder löschen.

Das hört sich alles sehr einfach an, aber die Ausführung dieser Aufgaben bedurfte eben der Ergebnisse der naturwissenschaftlichen Forschung und der technischen Kenntnisse und Möglichkeiten unseres Jahrhunderts.
Auf der anderen Seite gibt es aber leistungsfähige Speicher oder Speichersysteme, die dazu Anlass gegeben haben, die Speicherwerke der programmgesteuerten elektroni-

schen Rechenautomaten mit dem menschlichen Gedächtnis zu vergleichen und für die Rechenautomaten selbst den zu Irrtümern führenden Begriff "Elektronengehirn" zu verwenden, was falsch und gefährlich ist, den wahren Sachverhalt nicht widerspiegelt und zu Spekulationen Anlass gab und - leider noch - gibt.

Das Speicherwerk, das der unmittelbaren Ausführung der Rechen- und sonstigen Operationen dient, nimmt alle in den Automaten eingegebenen Informationen sowie anfallende Zwischenergebnisse und die Endresultate auf.

Das Rechenwerk dient der Realisierung aller im Rechenautomaten auszuführenden Operationen. Das geschieht durch Schaltungen, die sich aus der technischen Verwirklichung der Überlegungen ergeben, die im vorigen Abschnitt über die Grundlagen der Schaltalgebra angestellt wurden. Da alle arithmetischen Operationen auf ein- oder mehrfache Addition oder auf die Addition von Komplementen zurückgeführt werden können, sind die Addierer besonders wichtige Baueinheiten.

Ferner enthält das Rechenwerk noch Register; das sind Speicher mit außerordentlich kleiner Zugriffszeit, in denen Zahlen und Befehle unmittelbar zur Abarbeitung bereitgestellt werden. Als Bausteine eignen sich alle Elemente, die zweier Zustände fähig sind, wie elektromechanische Relais, Elektronenröhren, Ferritkerne, Transistoren.

Das Rechenwerk als ein weiterer der Ausführung der Operationen dienender Teil des Rechenautomaten führt die befohlenen arithmetischen,logischen und anderen Operationen unmittelbar aus.

Das Leitwerk steuert den gesamten Arbeitsablauf im Rechenautomaten: die Arbeit des Eingabewerkes, des Speicherwerkes, des Rechenwerkes, des Ausgabewerkes; es ergänzt alle bisherigen Teile erst zum programmgesteuerten Rechenautomaten. Das Leitwerk veranlasst das Aufsuchen des nächsten Befehls im Speicherwerk und dessen Transport in das sogenannte Befehlsregister, wo seine Entschlüsselung erfolgt; dann regt das Leitwerk alle weiteren Operationen an, die sich aus diesem Befehl ergeben, wozu sogenannte Steuerketten ausgelöst werden.
Sind alle Operationen ausgeführt, erhält das Leitwerk eine Information, und das Programm wird weiter abgearbeitet, es wird der nächste Befehl gesucht usf., bis schließlich einmal der Stoppbefehl auftritt und das Leitwerk die Beendigung der Arbeit des Automaten veranlasst, was durch ein optisches Signal, durch ein Zeichen oder Wert bei der Ausgabe auch äußerlich sichtbar gemacht wird.

Es ist jederzeit möglich, von außen in die Abarbeitung des Programms einzugreifen bzw. den Automaten zu stoppen. Das Steuerwerk ist der Teil des Automaten, der für die gesamte selbsttätige Arbeit des Rechners von der Eingabe bis zur Ausgabe verantwortlich ist, diese also auslöst, steuert und beendet, wie es vom Programm vorgeschrieben wird.

In der hier gegebenen Darstellung wurde mit Absicht auf die Wiedergabe vieler Details verzichtet. Es erfolgte eine Beschränkung auf das Grundsätzliche und Prinzipielle. Besonders gilt das für die Beschreibung einzelner Bauelemente oder Baugruppen.
Die Einbeziehung aller Einzelheiten und Probleme entspricht nicht dem Anliegen und auch nicht dem vorgesehenen Umfang dieses Buches, und es gibt auch zahlreiche Fach-

bücher (man vergleiche die Literaturhinweise), die diese Fragen ausführlich beantworten oder behandeln.
Ferner wird in der Forschung auf diesem Gebiet ständig soviel Neues, Interessantes und Wertvolles entdeckt, dass doch der letzte Stand, die neuesten technischen Möglichkeiten nicht vollständig berücksichtigt werden könnten.

So gibt es beispielsweise sicher nur sehr wenige Menschen, die sagen könnten, welche Bedeutung die Mitteilungen aus der UdSSR über die Herstellung von Phasenimpulselementen, das sind funktionssichere multistabile Elemente (die 10 Zustände realisieren können), oder aus der DDR über die Erzeugung von Orthoferrit-Einkristallen (von $5 \cdot 10^{-3}$ mm Dicke und mit der Möglichkeit, etwa 160000 bit pro cm^2 magnetisch zu speichern) für die Konstruktion von programmgesteuerten elektronischen Rechenautomaten haben.

Was die mathematische Bearbeitung praktischer Probleme betrifft, so wurde hier angenommen, dass das Programm für den Automaten vorliegt. Über alles, was vor der Programmierung und nach Beendigung der Rechnung zu tun ist, erfolgten deshalb keine Ausführungen.
Dieser Arbeitsaufwand ist jedoch erheblich.
Soll ein praktisches Problem bearbeitet werden, so bedarf es zunächst einer exakten Problemstellung.

Für den zu untersuchenden Prozess müssen dann gewisse Idealisierungen unter Einsatz mathematischer Methoden vorgenommen werden, weil eine vollständige Beschreibung wegen der Kompliziertheit und Komplexität der Probleme im allgemeinen nicht möglich ist. Dann ist das mathematische Modell des Prozesses zu entwickeln und ein geeigneter Lösungsalgorithmus zu suchen oder neu aufzustellen.
Danach erst setzt die Programmierungs- und Rechenarbeit ein; das Programm ist aufzustellen und zu prüfen, anschließend wird gerechnet.

Nach beendeter Rechnung müssen die Lösungen ausgewertet und ihre Richtigkeit an der Praxis überprüft werden. Eventuell ergeben sich Korrekturen am Modell, was zusätzliche Programmierungs- und Rechenarbeit verlangt. Schließlich kann das Modell praktisch umgesetzt oder in der Praxis verwirklicht werden.
Ein solches Modell ist aber niemals fertig, immer wieder muss es überprüft, korrigiert und verbessert werden - und damit ist erneute Programmierungs- und Rechenarbeit verbunden. Man bedenke, dass ein mathematisches Modell und ein Lösungsalgorithmus vorliegen müssen, wenn ein Problem auf einem Rechenautomaten gelöst werden soll.

8 Zeittafel

Vor unserer Zeitrechnung

Um 4000:	Existenz der ältesten Zahlzeichen.
Um 2900:	Bau der Cheopspyramide bei Giseh.
Um 2700:	Aufzeichnung einer Sonnenfinsternis in China.
Um 1700:	"Rechenbuch des Ahmes" in Ägypten.
Um 1400:	Zahlensymbole auf Zauberwürfeln, Münzen, Bronzegefäßen und Hausratsgegenständen in China.
Um 1200:	Zu Weissagungszwecken verwendetes Kompendium der Kombinatorik, "Yi King".
Um 1000:	Zahlen der Größenordnung 10^5 in Indien.
6. Jahrhundert:	Knotenschnüre in China.
6. Jahrhundert:	Begründung der pythagoreischen Schule durch Pythagoras von Samos (um 580-496).
Um 450:	Beschreibung des Rechnens mit Steinen in Ägypten und Griechenland durch Herodot (etwa 484-425).
4. Jahrhundert:	Rechentafel von Salamis.
3. Jahrhundert:	"Sandrechnung" von Archimedes (um 287-212).
Um 200:	"Arithmetik in neun Teilen", mathematische Sammlung in China.
Um 0:	Zahlen der Größenordnung 10^{17} in Indien.

Unsere Zeitrechnung

Um 400:	Warnung des Bischofs Augustinus (354-430) vor Mathematik und Mathematikern.
6. Jahrhundert:	Erste Blüteperiode der Maya-Kultur.
7. Jahrhundert:	Volle Ausbildung des dezimalen Stellenwertsystems in Indien.
8. Jahrhundert:	Volle Ausbildung des dezimalen Stellenwertsystems bei den Maya.
Um 700:	Erste Aufzeichnung der Regeln des Fingerrechnens durch Beda Venerabilis (673-735).
Um 820:	Rechenbuch von Mohamed ibn Musa al-Chwarazmi (in der ersten Hälfte des 12. Jahrhunderts als "Liber Algorithmi de numero Indorum" in lateinischer Sprache).
10. Jahrhundert:	Kerbzettel, Kerbbriefe, Spaltzettel und Spanzettel offizielle Urkunden.
10. Jahrhundert:	Übergreifen der Null nach Europa.
976:	Erstes Auftreten abgewandelter arabischer Gobarziffern in Europa.
Ende 10. Jahrhundert:	Einführung bezifferter Rechensteine (apices) durch Gerbert.
11.-13. Jahrhundert:	Zweite Blüteperiode der Maya-Kultur.
1167:	Arabische Zahlzeichen in einer Regensburger Chronik.
Ab 12. Jahrhundert:	Amtlicher Charakter der Kerbhölzer in England, gültig bis 1826. Aufkommen der Rechenbretter in China und Japan.
1202:	Rechenbuch "Liber abaci" von Leonardo Fibonnaci (1170-1250).
Ab 13. Jahrhundert:	Rechnen auf den Linien in Europa.
1299:	Verbot der arabischen Ziffern in Florenz.
Mitte 15. Jahrhundert:	Arabische Ziffern auf deutschen Münzen.
1471:	Bau der ersten deutschen Sternwarte durch Regiomontanus (1436-1476) in Nürnberg.
1492:	Landung von Christoph Kolumbus (1451-1506) in Amerika.

1494:	"Summa de arithmetica, geometria, proportioni et proportionalita" von Luca Pacioli (etwa 1445-1514).
1518 :	Erstes Rechenbuch von Adam Ries (1492-1559) in deutscher Sprache; weitere Rechenbücher 1522, 1536, 1550.
1544:	Rechenbuch "Arithmetica integra" von Michael Stifel (1487-1567)
16. Jahrhundert:	Endgültige Gleichberechtigung der Null in Europa.
16.-17. Jahrhundert:	Aufkommen der Rechenkästen in Russland, später Weiterentwicklung zu Rechenbrettern und zur Stschoty.
1614:	Logarithmentafeln von John Napier (1550-1617).
1620:	"Progress-Tabulen" von Jost Bürgi (1552-1632).
1623/24:	Erste Rechenmaschine von Wilhelm Schickardt (1592-1635) für Johannes Kepler (1571-1630).
1624:	"Arithmetica logarithmica" von Henry Briggs (1556-1630).
1627:	Vervollständigung der Logarithmen durch Ezechiel de Decker und Adrian Vlacq.
1632/33:	Beschreibung des Rechenschiebers durch William Oughtred (1574-1660).
1641:	Rechenmaschine von Blaise Pascal (1623-1662).
1673:	Rechenmaschine von Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716).
1709:	Sprossenradrechenmaschine von Giovanni Poleni.
Um 1770:	Rechenmaschine von Philipp Matthäus Hahn (1739-1790).
1798/99:	Fund der Tafel von Rosette im Nildelta mit hieroglyphischen, demotischen und griechischen Schrift- und Zahlzeichen.
19. Jahrhundert:	Entdeckung altbabylonischer Kulturstätten mit mathematischen Dokumenten, darunter: Ruinen von Sippar, Ruinen von Persepolis, Tontafelbibliothek des Assurbanipal (668-626 v.u.Z.), Keilschrifttafeln und Zahlentabellen von Senkereh, Tontäfelchen von Surupak.
1802:	Erste Entzifferung altbabylonischer Keilschrifttexte durch C. F. Grotefend.
1805:	Lochkartensteuerung am Webstuhl durch Joseph Marie Jacquard (1752-1834).
1813:	Überführung des russischen Rechenbrettes nach Mittel- und Westeuropa durch Victor Poncelet (1788-1867).
1820:	Arithmometer von Charles Thomas (1785-1870).
1822:	Versuche mit der Rechenmaschine "Difference Engine" durch Charles Babbage (1792-1871), später Experimente mit der "Analytical Engine".
1846:	Fund der Salaminischen Tafel auf der Insel Salamis.
Um 1855:	Begründung der Booleschen Algebra, Grundlage der Schaltalgebra, durch George Boole (1815-1864).
1858:	Fund eines altägyptischcn Papyrus durch A. H. Rhind, durch weitere Funde ergänzt zum "Rechenbuch des Ahmes".
1875:	Sprossenradrechenmaschine von W. T. Odhner (1845-1905).
1878:	Arithmometer von Pafnuti Lwowitsch Tschebyschew (1821-1894).
Ab 1882:	Tabellier- und Sortiermaschinen mit Lochkartentechnik von Hermann Hollerith (1860-1929).
Um 1930:	Herstellung von Robotern.
1936:	Weltpatent für eine Rechenmaschine von Louis Couffignal (geb. 1902).

1938:	Erste Vorführung der Rechenanlage Zuse Z 1 von Konrad Zuse (geb. 1910), weitere Modelle der Anfangszeit : Z 2, Z 3, Z 4.
Um 1940:	Modellschaltung mit 100 Elektronenröhren für einen elektronischen Rechenautomaten von Helmut Schreyer.
1944:	Rechenanlage MARK I von Howard H. Aiken.
1946:	Elektronischer Rechenautomat ENIAC von John F. Eckert, Hermann H. Goldstine und John Mauchley.
1947:	Einführung der internen Programmsteuerung in elektronischen Rechenautomaten auf Vorschlag von John von Neumann (1903-1957).
1948:	"Cybernetics or Control and Communication in the Man and the Mashine", grundlegendes Werk über die Kybernetik von Norbert Wiener (1894-1964).
1948:	Erfindung der Transistoren durch John Bardeen (geb. 1908), Walter H. Brattain (geb. 1902) und William Shockley (geb. 1910).
1951:	Einsatz der unter Leitung von S. A. Lebedew entwickelten ersten elektronischen Rechenmaschine der UdSSR, MESM, beim Bau der Hochspannungsleitung Kuibyschew-Moskau.
1953:	Erste schnelle elektronische Rechenmaschine der UdSSR (BESM).
1955:	OPREMA, erste Rechenanlage der DDR.
1956:	D 1, erste elektronische Rechenmaschine der DDR, weitere Geräte der Anfangszeit: D 2 (1957), ZRA 1 (1961).
4. 10. 1957:	Start des ersten künstlichen Erdtrabanten Sputnik 1.
1959:	Erste Vorführung einer automatischen Sprachübersetzung mit Hilfe von Elektronenrechnern.
Um 1960:	Teilweise Entschlüsselung von Maya-Handschriften mit Hilfe elektronischer Rechenanlagen in der UdSSR.
12.2.1961:	Beginn der interplanetaren Raumfahrt mit Start der Venussonde Venus 1.
12.4.1961	Erste Erdumkreisung des Raumschiffes Wostok 1 mit Juri Gagarin.
Ende 1969:	Ankündigung von mit Laserstrahlen arbeitenden Computern in der UdSSR.
17.11.1970:	Landung der automatischen Station Luna 17 auf dem Mond, Beginn der Experimente des Mondmobils Lunochod 1.
1972:	Neue elektronische Rechenanlagen des VEB Kombinat Robotron Dresden R 21, R 40, KRS 4200.
16.1.1973:	Mondlandung der automatischen Station Luna 21; Forschungsexperimente von Lunochod 2.

9 Literaturhinweise

Archangelski, N. A., und B. J. Saizew: Automatische Ziffernrechenmaschinen. Berlin 1960.

Autorenkollektiv: Kleine Enzyklopädie Mathematik. Leipzig 1967.

Autorenkollektiv: Datenverarbeitung - Grundlagen und Einsatzvorbereitung. Berlin 1967.

Bachmann, K.-H.: Programmierung für Digitalrechner. Berlin 1962.

Bär, D.: Einführung in die Schaltalgebra, Berlin 1969.

Berg, A. J. und B. M. Birjukow: Kybernetik, ein Weg zur Lösung von Steuerungsproblemen. In "Blickpunkt: 2000", Leipzig/Jena/Berlin 1972, S. 63-75.

Berman, G. N.: Wie die Menschen zählen lernten. Berlin 1953.

Budden, F. J.: Zahlensysteme und Rechenautomaten, Leipzig 1972.

Couffignal, L.: Die kybernetische Denkweise. In: "Wissenschaft und Menschheit". Leipzig / Jena / Berlin 1965, S. 349-371.

Fey, P.: Informationstheorie, Berlin 1963.

Frölich, K.: Rechenmaschinen und Rechenmaschinenmodelle. Berlin 1963.

Gluschkow, W. M.: Elektronische Maschinen heute und morgen. In: "Wissenschaft und Menschheit", Leipzig / Jena / Berlin 1965, S. 335-347.

Gluschkow, W. M.: Vier Generationen der EDVA. In: "Blickpunkt 2000", Leipzig/Jena/Berlin 1972, S. 76-86.

Gnedenko, B. W., W. S. Koroljuk und J. L. Justschenko: Elemente der Programmierung. Leipzig 1964

Götzke, H.: Programmgesteuerte Rechenautomaten. Leipzig 1965.

Günther, S.: Geschichte der Mathematik. Teil I, Leipzig 1908.

Harig, G. (Herausgeber): Von Adam Ries bis Max Planck. Leipzig 1962.

Hofmann, J. E.: Geschichte der Mathematik. Teil I-III, Berlin 1953-57.

Juschkewitsch, A. P.: Geschichte der Mathematik im Mittelalter. Leipzig 1964.

Kämmerer, W.: Ziffernrechenautomaten. Berlin 1960.

Kerner, J. O., und G. Zielke: Einführung in die algorithmische Sprache ALGOL. Leipzig 1965.

Kitow, A. J., und N. A. Krinitzki: Elektronische Digitalrechner und Programmierung. Leipzig 1962.

Kitow, A. J., und N. A. Krinitzki: Wie arbeitet eine elektronische Rechenmaschine? Leipzig 1960.

Kleiber, G.: Probleme bei der Einführung und Durchsetzung der Datenverarbeitungstechnik im Perspektivplanzeitraum. Berlin 1967.

Kohrinski, N., und W. Pekelis: Schneller als ein Gedanke. Berlin 1961.

Korn, G. A., und T. M. Korn: Elektronische Analogierechenmaschinen. Berlin 1960.

Krysicki, W.: Zählen und Rechnen einst und jetzt. Leipzig 1968.

Löffler, E.: Ziffern und Ziffernsysteme der Kulturvölker in alter und neuer Zeit. Leipzig und Berlin 1912.

Malsch, F.: Geschichte der Mathematik. Leipzig 1928.

Manteuffel, K.: Über einige Probleme der mathematischen Ausbildung der Diplomingenieure. In: Wiss. ZS. der TH Magdeburg 6/1962, S. 1-30.

Manteuffel, K.: Über einige Entwicklungstendenzen in der Mathematik. In: Hochschulreden Heft 4, Magdeburg 1964. .

Martschuk, G. J.: Die fünfte Generation der Rechenmaschinen in ihren Umrissen erkennbar. In: Technische Gemeinschaft 18/1970, s. 18-21. '

Menninger, K.: Zahlwort und Ziffer. Breslau 1934.

Murphy, J . S.: Elektronische Ziffernrechner. Berlin 1965.

Naur, P., u. a.: Revidierter Bericht über die algorithmische Sprache ALGOL 60. Berlin 1966.

Panow, D. J. : Der Rechenstab. Leipzig 1970.

Paulin, G.: Kleines Lexikon der Rechentechnik und Datenverarbeitung, Berlin 1971.

Puttrich, G.: Hinweise für den Aufbau von Organisations- und Rechenzentren mit elektronischen Datenverarbeitungsanlagen. Dresden 1967.

Schubert, G.: Digitale Kleinrechner. Berlin 1962.

Struik, D. J.: Abriss der Geschichte der Mathematik. Berlin 1965.

Stuchlik, F.: Programmgesteuerte Universalrechner. Berlin 1964. .

Tetelbaum, J. M.: Elektronische Analogierechenverfahren. Berlin 1963.

Trachtenbrot, B. A.: Wieso können Automaten rechnen? Berlin 1968.

Tukatschinki, M. S.: Maschinen als Mathematiker. Berlin 1960.

Wieleitner, H.: Geschichte der Mathematik. Band I und II. Berlin und Leipzig 1922/23.

Willers, F. A.: Zahlzeichen und Rechnen im Wandel der Zeiten. Berlin 1949.

Winkler, H.: Elektronische Analogieanlagen. Berlin 1961.

Wussing, H.: Mathematik in der Antike. Leipzig 1965.