

Kultur & Technik

Zeitschrift des Deutschen Museums

Verlag C. H. Beck, München

1/1991

ERFINDER
Einsteins
Ideen
zum Kreisel-
kompaß



FORSCHUNG
Niedrige
Strahlung -
hohes Risiko

DENKMAL
Die
Schwebefähre
von Osten

TECHNIKGESCHICHTE
Auf der Suche
nach Rechenmaschinen

EIN ZEICHEN FÜR DAS NICHTS

Irrungen und Wirrungen auf dem Weg zum Computer

VON PETER FAULSTICH

Computer sind das Ergebnis eines langen, nicht immer nur geradlinigen Erkenntnisprozesses. In den Rechenmaschinen ist die Realität auf die formale Logik der Mathematik reduziert. Gerade dadurch sollte erreicht werden, daß der Mensch von der geisttötenden Arbeit sich immer wiederholender Rechengvorgänge befreit werden konnte. Lange bevor die Computer die Arbeitswelt gründlich verändert haben, sahen die Erfinder von Rechenmaschinen in ihren Apparaten einen wichtigen Beitrag zu menschlichem Glück.

Wenn sich der eiszeitliche Jäger vor 50 000 Jahren an die erlegten Tiere durch einen Schnitt in ein Kerbholz erinnerte, verfügte er noch nicht notwendig über den Begriff der Zahl. Trotzdem ist der Einschnitt nicht nur eine Kerbe, sondern ein Merkposten. Zwar findet sich die Fähigkeit, unterschiedliche Mengen von Dingen gleicher oder ähnlicher Art zu erkennen, auch bei Tieren. Es ist aber ein Unterschied, ob nur der allgemeine Mächtigkeitseindruck gleichartiger Elemente einer Menge oder tatsächlich die Zahl der Elemente, die in ihr enthalten sind, sprachlich erfaßt werden. Zunächst ist die Vorstellung der Mächtigkeit eine von der wahrgenommenen Natur noch nicht ablösbare Gegebenheit. Für die Benennung mit Zahlen muß der allgemeine Mächtigkeitseindruck einer Menge aufgebrochen werden.

Der Speicherknochen eines jungen Wolfes, in den vor etwa 30 000 Jahren Kerben eingeritzt wurden, zu je fünf zusammengefaßt, ist das wohl älteste bekannte Rechenhilfsmittel. Eine Menge durch Kerbungen zu simulieren, setzt noch nicht voraus, daß auch ein Zahlwort vorhanden sein muß. Zunächst wird jedem realen Element ein Zeichen zugeordnet; um die Zahl der Elemente zu benennen, muß in einem zweiten Schritt für jede unterscheidbare Mächtigkeit von Mengen ein spezifischer Begriff gefunden werden. Das früheste Beispiel eines Rechenhilfsmittels läßt Informationen verarbeiten, ohne daß der Weg über den Kopf des Menschen notwendig wird. Das technische Hilfsmittel übernimmt die Funktion des Speicherns von Ergebnissen. Ohne selbst eine Maschine zu sein, genügt es darin schon einem Prinzip der Simulationsmaschinen.

Beim Abakus sind zum ersten Mal durch die Form des Instruments auch Rechenregeln festgelegt. Die einzelnen Rechengvorgänge werden im menschlichen Gehirn vollzogen. Gespeichert werden Teilergebnisse, und in der technischen Ausführung ist die Regel des Zehner-Übertrags realisiert. Um mit einem Abakus rechnen zu können, ist es notwendig,

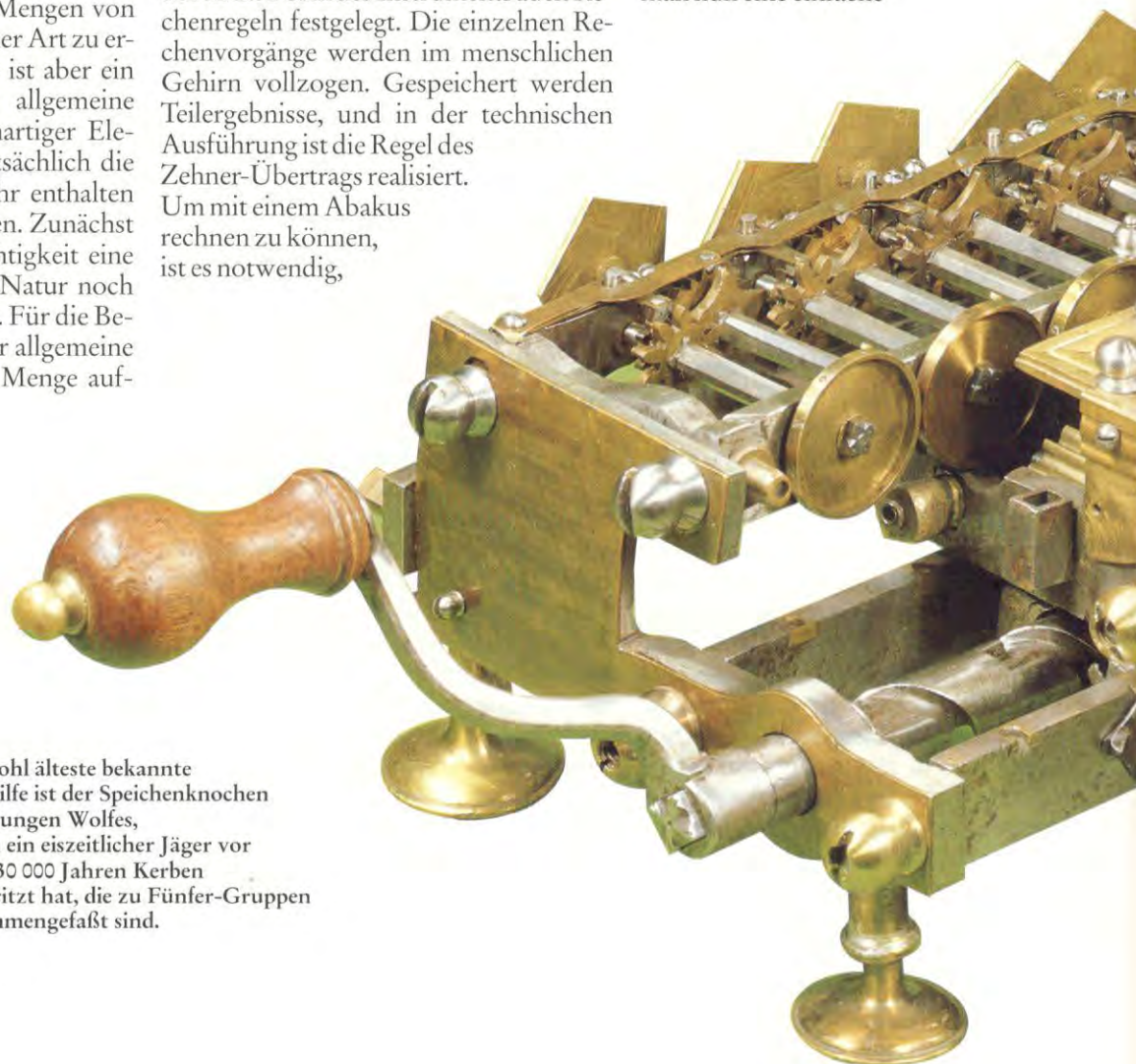
die Stellenwerte zu unterscheiden. Ursprünglich ist der Abakus wohl zuerst in China – wahrscheinlich um 1000 vor unserer Zeitrechnung – entwickelt worden. Herodot berichtet von den Ägyptern 450 vor unserer Zeitrechnung: „Sie ziehen Linien und rechnen mit Steinchen.“ Die Grundrechenarten waren so für Kaufleute, Marktfrauen, Schreiber und Handwerker verfügbar.

Römische Beamte haben die Rechentafeln aus Griechenland übernommen. Während die römischen Ziffern keine Null kennen, konnte mit dem Abakus ein Zehnerübertrag realisiert werden. Die Römer sprachen zwar in dekadischen Zahlwörtern, doch ihre spät entstandenen Zahlzeichen waren aus wahren Buchstaben-Ungetümen ohne dekadischen Aufbau gebildet. Man rechnete zum Beispiel $LXVI \times DCLXXXVII$ (66×677), ohne über ein schriftliches Verfahren dazu zu verfügen. Mit dem Abakus fand man nun eine einfache

Fotos: Aus M. Detlefsen: Kerbknöchen und Kerbhölzer, 1977 (l. u.). Foto: K & T; Uwe H. Breker, Köln (M.); Deutsches Museum (r. o.)



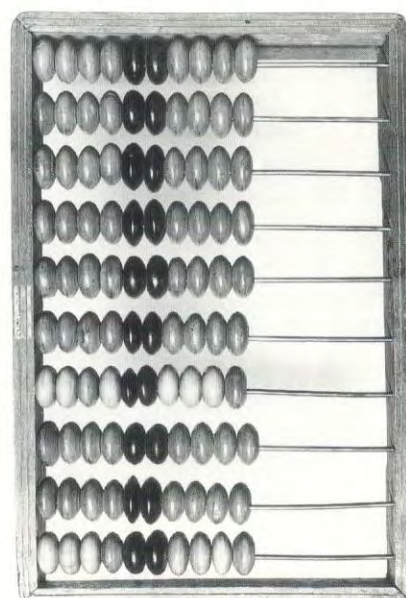
Die wohl älteste bekannte Zählhilfe ist der Speicherknochen eines jungen Wolfes, in den ein eiszeitlicher Jäger vor rund 30 000 Jahren Kerben eingeritzt hat, die zu Fünfer-Gruppen zusammengefaßt sind.



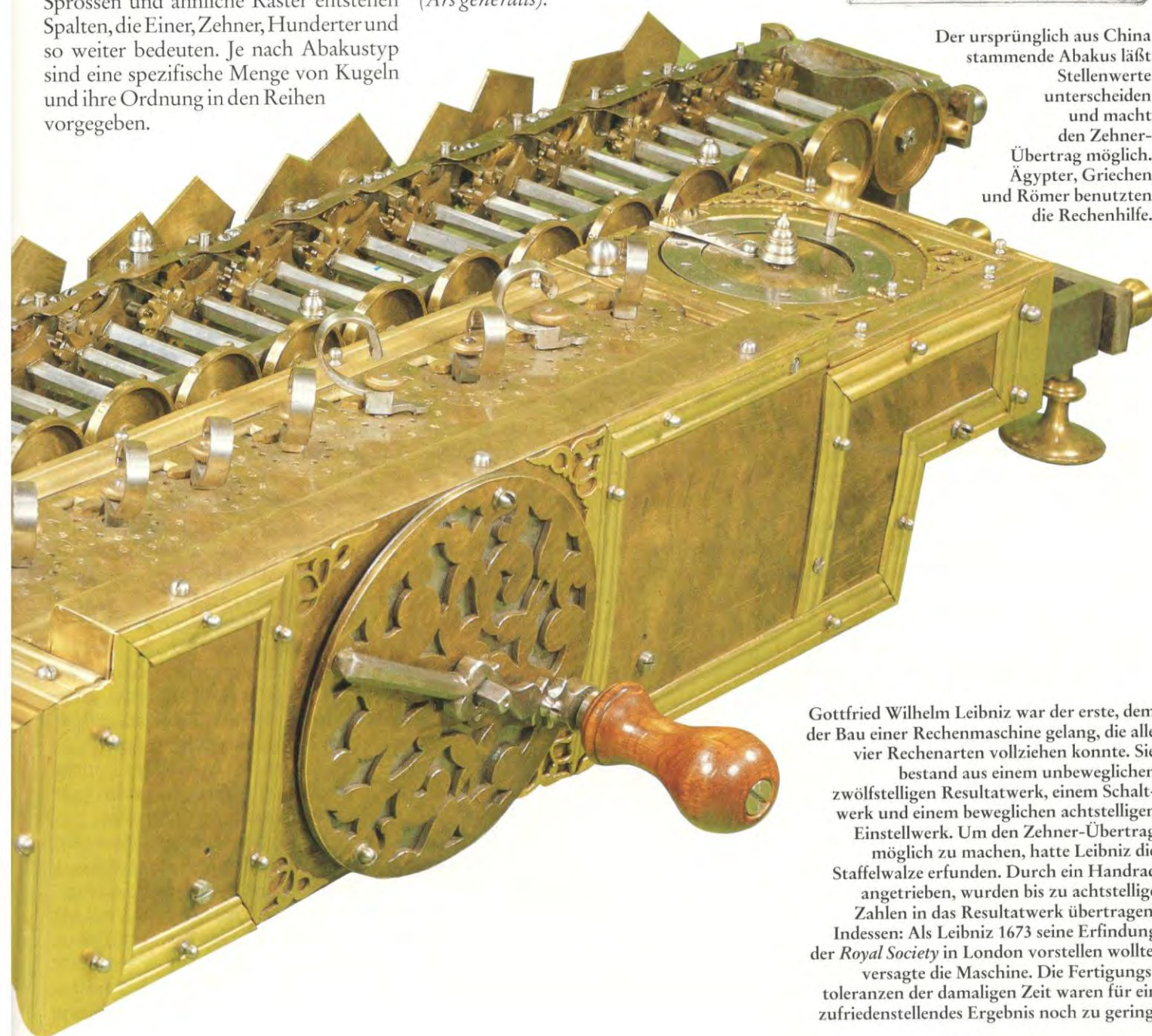
Darstellungsweise: Statt Ziffern zu schreiben, werden Kugeln gelegt und verschoben. In ihrem Buch *Planen, Entscheiden, Herrschen* stellen Rudolf Lindner, Bertram Wohak und Holger Zeltwanger fest: „Es war offensichtlich schwierig, ein Zeichen für das Nichts zu erfinden, viel einfacher war es, nichts zu legen.“

Die Handhabung des Abakus ist problemlos, besonders bei Addition und Subtraktion. Durch die Einteilung in Linien, Sprossen und ähnliche Raster entstehen Spalten, die Einer, Zehner, Hunderter und so weiter bedeuten. Je nach Abakustyp sind eine spezifische Menge von Kugeln und ihre Ordnung in den Reihen vorgegeben.

Die Faszination technischer Hilfsmittel für formal-logisches Denken wirkte fort. Seit der griechischen Antike gab es in der philosophischen Tradition die Überzeugung der Vernünftigkeit der Welt, die sich in der formalen Rationalität der Mathematik ausdrückt. Im mittelalterlichen Europa sind die formalen Grundlagen der Logik bei Raimundus Lullus (1232 bis 1316) besonders klar entwickelt: 1273 begann er seine *Allgemeine Wissenschaft (Ars generalis)*.



Der ursprünglich aus China stammende Abakus läßt Stellenwerte unterscheiden und macht den Zehner-Übertrag möglich. Ägypter, Griechen und Römer benutzten die Rechenhilfe.



Gottfried Wilhelm Leibniz war der erste, dem der Bau einer Rechenmaschine gelang, die alle vier Rechenarten vollziehen konnte. Sie bestand aus einem unbeweglichen zwölfstelligen Resultatwerk, einem Schaltwerk und einem beweglichen achtstelligen Einstellwerk. Um den Zehner-Übertrag möglich zu machen, hatte Leibniz die Staffelwalze erfunden. Durch ein Handrad angetrieben, wurden bis zu achtstellige Zahlen in das Resultatwerk übertragen. Indessen: Als Leibniz 1673 seine Erfindung der *Royal Society* in London vorstellen wollte, versagte die Maschine. Die Fertigungstoleranzen der damaligen Zeit waren für ein zufriedenstellendes Ergebnis noch zu gering.



Nachbildung der Rechenmaschine Blaise Pascals von 1642. Mit seiner Erfindung hatte Pascal das Addieren mechanisiert. Er wollte seinem Vater Étienne Pascal die nächtelangen Rechnereien ersparen, die mit der Arbeit als Steuerintendant verbunden waren.

Die Logik sollte danach Verfahren bereitstellen, die zu urteilen gestatten, welche Begriffe miteinander vereinbar seien und welche nicht. Diese „Kombinatorik“ bedeutete einen ersten folgenreichen Versuch, die Logik nicht mehr nur zu formalisieren, sondern vor allem auch zu mechanisieren.

Lullus versuchte, sprachliche Grundbegriffe mit geometrischen Figuren darzustellen und in mechanischen Apparaten zu vergegenständlichen, deren Abläufe die Vereinbarkeit oder Unvereinbarkeit verschiedener Begriffe widerspruchsfrei zeigen sollten. Drei Scheiben ließen durch Verschieben alle möglichen Kombinationen von 54 als grundlegend definierten Termini entstehen.

Solche Gedanken bereiteten dem modernen Rationalismus den Boden, wie er von René Descartes (1596 bis 1650) oder Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646 bis 1716) bis zu David Hilbert (1862 bis 1943) zu finden ist, ohne deren Leistungen es die modernen Simulationsmaschinen nicht gäbe. Leibniz entwickelte nicht nur das System der dualen Zahlen, er beschäftigte sich nicht nur mit der Konstruktion von tatsächlich funktionierenden Rechenmaschinen, sondern er war auch begeistert von ihren möglichen Anwendungen. In dem Aufsatz *De scientia universalis eo calculo philosophico* schreibt er: „Es wird beim Auftreten von Streitfragen für Philosophen nicht mehr Aufwand an wissenschaftlichem Gespräch erforderlich sein als für zwei Rechenfachleute. Es wird genügen, Schreibzeug zur Hand zu nehmen, sich vor das Rechengerät zu setzen und zueinander (wenn es gefällt, in freundlichem Ton) zu sagen: Laßt uns rechnen.“

Vernunft wird mit Berechenbarkeit gleichgesetzt, Formalisierbarkeit und damit Mechanisierbarkeit werden unterstellt.

Europäische Denker des vom Rationalismus beherrschten Barock verschieben sich der Aufgabe, mechanische Rechenmaschinen zu konstruieren. Der schottische Theologe, Mathematiker und Erfinder Lord John Napier of Merchiston (1550 bis 1617), auch Neper genannt, war einer der einflussreichsten. Bis heute von Bedeutung, ist seine Entdeckung der Logarithmen, die er 1614 in seinem Hauptwerk *Mirifici logarithmorum canonis description* veröffentlichte.

Rechenmaschinen verdrängen die Rechenstäbchen

In seinem Todesjahr 1617 stellte Napier ein neues Hilfsmittel für Multiplikationen vor, die sogenannten Napierschen Rechenstäbe. Sie bestehen aus Holz, Pappe, Zinn, Blei, Kupfer oder Messing, die man so anordnen kann, daß die Lösung von Multiplikationsaufgaben durch Zahlenaddition in horizontal benachbarten Abschnitten gefunden wird. Auf den schräg gegitterten Stäbchen ist das kleine Einmaleins aufgeschrieben. Soll zum Beispiel 30422×6 gerechnet werden, legt man die Stäbchen so zusammen, daß ihre oberste Reihe den Multiplikanden ausmachen. Daneben legt man ein Stäbchen mit dem Exponenten und sucht im Exponenten den Multiplikator 6. Nun werden die beiden Zahlen, die dabei auf den Stäbchen auftauchen, addiert. Das ausgeschriebene Produkt ist 182 532.

Während Logarithmentafeln und Rechenschieber bis heute verwendet werden, wurden Napiers Rechenstäbe bald von anderen Instrumenten überholt, vor allem von den mechanischen Rechenmaschinen Wilhelm Schickards (1592 bis 1635), Blaise Pascals (1623 bis 1662) und von Leibniz. In diesen Geräten werden arithmetische Operationen mit Maschinenelementen realisiert.

Erst 1957 entdeckte man in einem Brief des Tübinger Gelehrten Wilhelm Schickard die Skizze einer von ihm 1623 entworfenen Maschine, der ersten bekannten mechanischen Rechenmaschine. Schickard war Theologe und Professor für Mathematik und Astronomie an der Universität Tübingen. In seinen Briefen an den Astronomen Johannes Kepler (1571 bis 1630) und in Handskizzen für den Mechaniker Johann Pfister sind die Prinzipien seiner „Rechenuhr“ festgelegt: Sie sollte die astronomischen Berechnungen leisten, die sich aus den Entdeckungen Keplers ergaben. Am 20. September 1623 schrieb Schickard an Kepler: „Ferner habe ich dasselbe, was Du rechnerisch gemacht hast, kürzlich auf mechanischem Wege versucht, und eine aus 11 vollständigen und 6 verstümmelten Rädchen bestehende Maschine konstruiert, welche gegebene Zahlen augenblicklich automatisch zusammenrechnet: addiert, subtrahiert, multipliziert und dividiert. Du würdest hell auflachen, wenn Du da wärest und erlebstest, wie sie die Stellen links, wenn es über einen Zehner oder Hunderter hinweggeht, ganz von selbst erhöht, beziehungsweise beim Subtrahieren ihnen etwas wegnimmt.“

Die Erfindung dieser ersten bekannten Rechenmaschine brachte Wilhelm Schickard allerdings wenig Erfolg. Wie sein Leben – Schickard starb mit seiner gesamten Familie an den Folgen der Pest – stand auch sein Werk im Schatten des Dreißigjährigen Krieges. Das einzige vollendete Exemplar ist verschollen – vermutlich wurde es im Krieg zerstört.

Die rationalistische Grundhaltung der frühen Neuzeit drängte zur Entwicklung von Maschinen, die auch das „Geistige“ berechenbar und beherrschbar machen sollten. Als Pascal seine Rechenmaschine am Luxemburgischen Hof vorführte, strömte ein staunendes Publikum in Scharen herbei. „Dieses Werk“, so ein Kom-

mentar, „wurde als Naturwunder angesehen, weil dadurch eine Wissenschaft, die ganz und gar im Geiste wohnt, in eine Maschine eingefangen wurde, und weil damit die Mittel gefunden waren, alle Operationen dieser Wissenschaft mit absoluter Sicherheit auszuführen, ohne die Vernunft zu benötigen“.

Angeregt wurde dieses Wunderwerk durch die Interessen des absolutistischen Staates. In Frankreich war die Finanzverwaltung direkt dem König unterstellt, der aber keinen ausreichenden Überblick über seine Finanzsituation hatte. Man entsandte deshalb königliche Intendanten in die Provinzen, um das Finanzwesen zentral kontrollieren zu können. Einer dieser Steuerintendanten, Étienne Pascal, wurde in die Normandie geschickt. Er sollte nicht nur die rund 1500 Steuereintreiber überwachen, sondern auch die Höhe der Steuern festlegen. Diese Aufgabe war mit nächtelangen Berechnungen verbunden. Sein Sohn Blaise Pascal half ihm beim Rechnen, und, um es zu erleichtern, entwarf er eine Maschine, mit der man das Addieren mechanisieren konnte. In einem Brief beschreibt er die Aufgabe seiner Maschine: „Wenn das Publikum einigen Nutzen von der Erfindung hat, die ich erdacht habe zur Ausführung aller Rechenarten auf eine ebenso neue als bequeme Art“, so bestand nach dem Selbstzeugnis Pascals der Grund darin, daß ihn „die Weitschweifigkeiten und Schwierigkeiten der gewöhnlichen Mittel veranlaßt hatten, an einige geeignetere und leichtere Mittel zu denken, um mir die großen Rechnungen zu erleichtern, mit denen ich seit einigen Jahren bezüglich der Verwaltungsangelegenheiten beschäftigt war, mit welchen Sie meinen Vater im Dienste Seiner Majestät in der Haute Normandie beehrt haben“. Pascal verwandte „bei dieser Untersuchung jene Kenntnis, die mich Neigung und Arbeit bei meinen ersten Studien in der Mathematik erwerben ließen . . . und ich dachte nur an die Konstruktion dieser kleinen Maschine, die ich Euch, Monseigneur, vorzulegen gewagt habe, nachdem ich sie in den Stand gesetzt hatte, wie es beabsichtigt war, für sich allein, ohne daß irgendeine geistige Arbeit nötig ist, die Operation aller Teile der Mathematik durchzuführen“.

Der erste, der eine Maschine realisierte, die alle vier Rechenarten vollziehen konnte (Vier-Spezies-Rechenmaschine), war Gottfried Wilhelm Freiherr von Leibniz. In Paris hatte er die Pascal-Maschine gesehen, bevor er 1673 in London seine eige-

ne Maschine vorstellte. Sie bestand aus einem zwölfstelligen Resultatwerk, einem Schaltwerk und einem beweglichen achtstelligen Einstellwerk.

„Rechnen ohne irgendeine geistige Arbeit“

Charakteristisches bauliches Element der Leibnizschen Rechenmaschine ist die Staffelwalze: Neun achsenparallele Zahlleisten, deren Länge gestuft ist, drehen sich auf einer Walze. Je nach der eingestellten Ziffer wird beim Drehen der Staffelwalze das entsprechende Zahnrad des Schaltwerkes weitergedreht. Greift nur die längste Rippe ein, wird das Zahnrad ebenfalls nur um eine Zahl mitgenommen. Bei ganz hineingeschobener Walze greifen alle Rippen und bewegen das Rad entsprechend weiter. Das Prinzip beruht auf der horizontalen Verschiebung der Staffelwalze in neun Schritten über eine Zahnstange, die vom Einstellwerk vor- und zurückbewegt wird. Beim Zehnerübertrag sind die Staffelwalzen durch Zwischenräder gekoppelt. Durch ein Handrad angetrieben, werden bis zu achtstellige Zahlen in das Resultatwerk übertragen.

Die Staffelwalze von Leibniz

Zum Multiplizieren stellte man den Multiplikanden an den Einstellrädern ein. Drehte man ein Handrad, wurde der Multiplikand in das Resultatwerk übertragen. Für die nächste Stelle verschob man das Einstellwerk über eine Spindel und wiederholte den Vorgang mit der nächsten Ziffer des Multiplikators. Multiplikationen und Divisionen wurden als vielfache

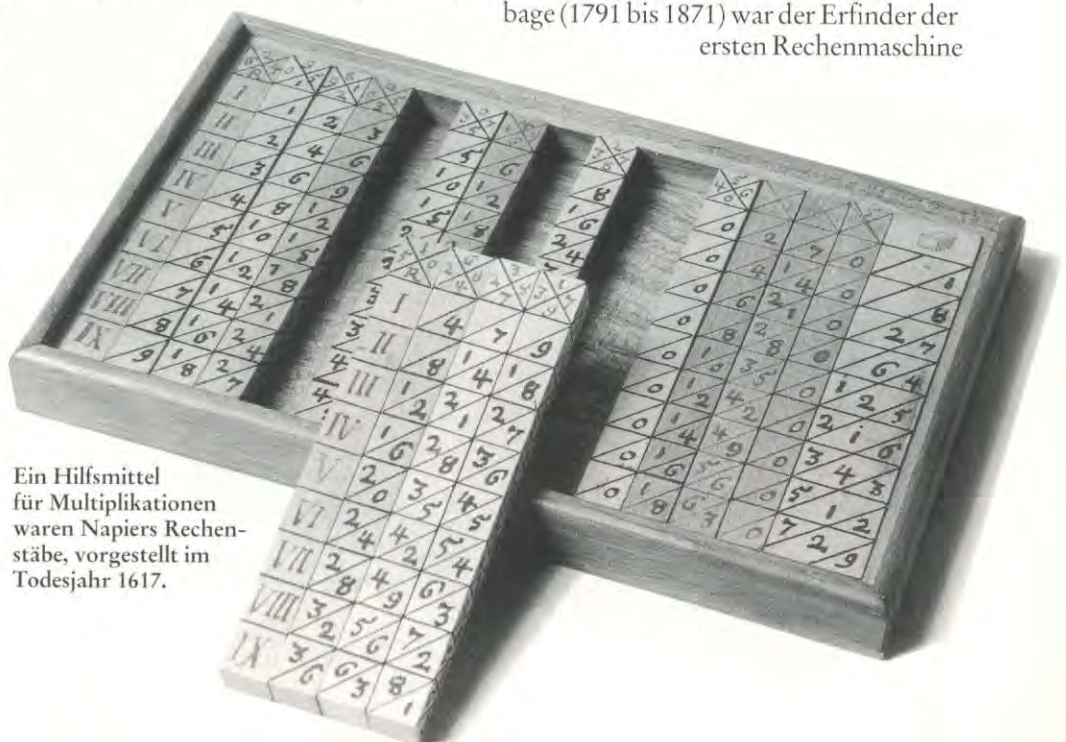
Additionen beziehungsweise Subtraktionen begriffen und durch einen beweglichen Einstellschlitten in ihren jeweiligen Stellenwerten realisiert.

Schon bei der ersten Vorführung im Jahr 1673 vor der *Royal Society* versagte die Maschine. Obwohl er mehr als 24 000 Taler investiert hatte und ihm in Paris die besten Feinmechaniker zur Verfügung standen, konnte Leibniz aufgrund der geringen Fertigungstoleranzen des mechanischen Getriebes zu Lebzeiten keine zufriedenstellend funktionierende Maschine vorstellen.

Das Motiv, das Leibniz als Philosophen und Mathematiker zur Beschäftigung mit Maschinen trieb, war seine Überzeugung, Routine – auch und gerade in der Rechenarbeit – sei des Menschen unwürdig. Die Maschine sollte dem Menschen zum Glück verhelfen, indem sie ihm Arbeit abnahm: „Ich wage zu sagen, daß dies die letzte Bemühung des menschlichen Geistes ist, und wenn der Plan wird ausgeführt sein, wird den Menschen nur noch daran liegen, glücklich zu sein, da sie ein Hilfsmittel haben werden, das nicht dazu dienen wird, die Vernunft zu steigern wie das Fernrohr dazu dient, das Sehen zu vervollkommen.“

Die Vervollkommnung mechanischer Rechenmaschinen hat bis in die 60er Jahre unseres Jahrhunderts hinein große Fortschritte gemacht. Danach wurde sie durch eine grundsätzlich andersartige Technologie überholt, die auf die Idee des Dualsystems der Zahlen zurückgriff. Auch diese Idee geht auf Leibniz zurück. Zudem hatten Steuerungsprogramme für Webstühle neuen Rechnern den Boden bereitet.

Der englische Professor Charles Babbage (1791 bis 1871) war der Erfinder der ersten Rechenmaschine



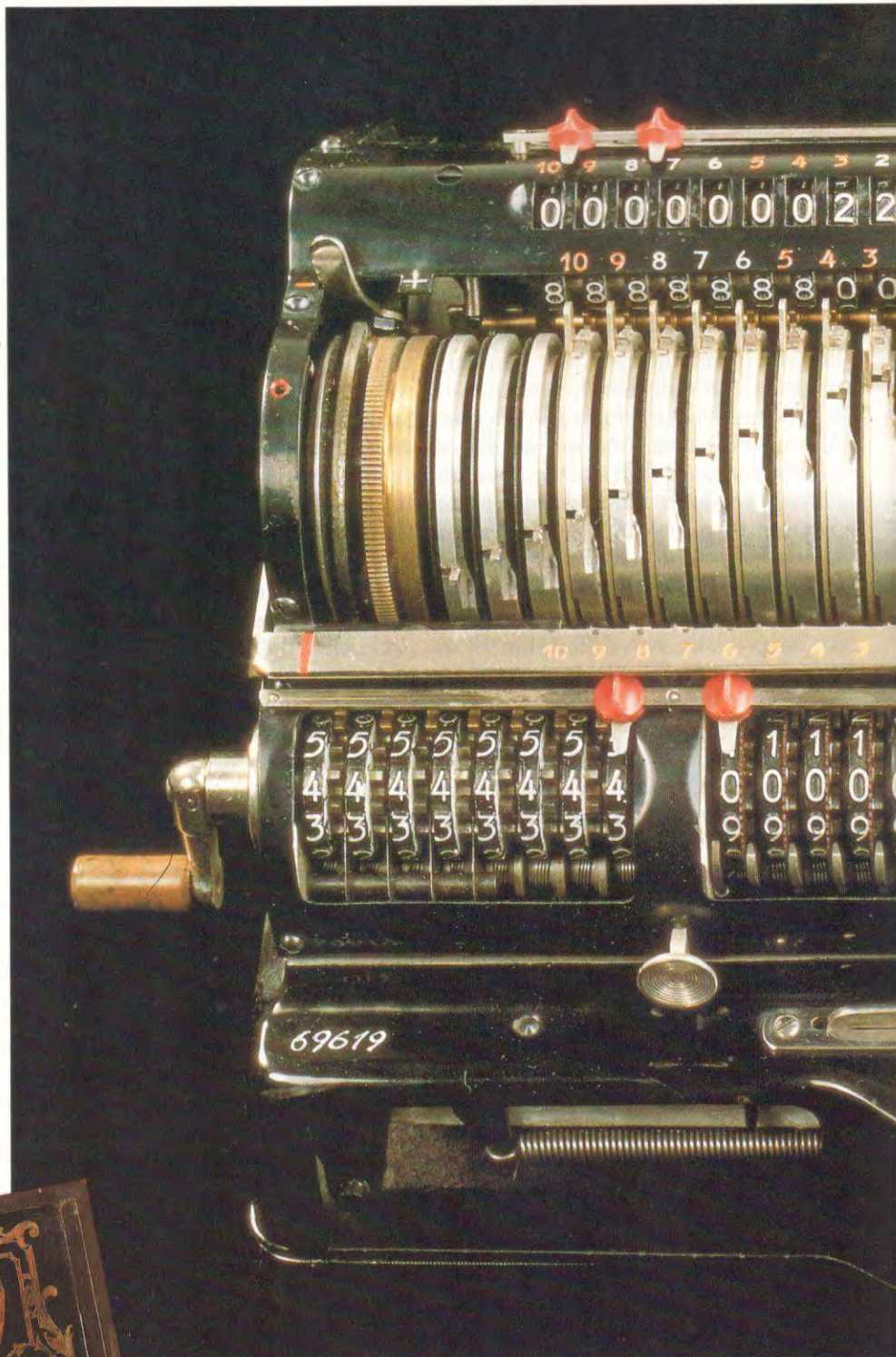
Ein Hilfsmittel für Multiplikationen waren Napiers Rechenstäbe, vorgestellt im Todesjahr 1617.

mit Programmsteuerung. Die Idee zum Bau einer solchen Rechenmaschine kam ihm, als er mit der Prüfung fehlerhafter Logarithmentafeln beschäftigt war. Diese zeitraubende und geisttötende Beschäftigung mit ständig wiederkehrenden Rechnungen könnte eine mechanische Maschine vereinfachen und beschleunigen. 1822 entwickelte Babbage den Plan einer „Differenzenmaschine“, und er baute ein erstes Modell. Mit Unterstützung des englischen Staates wurde das Werk begonnen, doch 1842 wieder eingestellt. Später, 1854, wurde eine von Per Georg Scheutz (1785 bis 1873) gebaute Maschine nach Babbages Konzept in London vorgeführt.

Gleichzeitig hatte Babbage schon Pläne für eine weit ambitioniertere Maschine, für die *analytical engine*. Sie ließ erstmals die Grundzüge der heutigen automatischen Rechner erkennen. Die Konstruktion sah vor:

- ein automatisches Rechenwerk (mill) für alle vier Rechenarten, beruhend auf dem Prinzip des dekadischen Zählrades;
 - ein Speicherwerk (store) für 1000 Zahlen von je 50 Stellen;
 - eine Steuereinheit durch Lochkarten;
 - eine Dateneingabe;
 - eine Datenausgabe in Form eines Druckwerks.
- Zum ersten Mal in der Geschichte der Rechenmaschinen war das Problem des Programmierens von zentralem Interesse. Die Instruktionen, welche der *analytical engine* mit Hilfe von Lochkarten eingegeben werden sollten, mußten festgelegt werden. Lady Lovelace, geborene Augusta Ada Byron, unterstützte Babbage, damit er seine Ideen präzisieren konnte: „Wir können zutreffend sagen, daß die

Fotos: Uwe H. Breker, Köln (l. u.); Deutsches Museum (M.); IBM (r. o.)

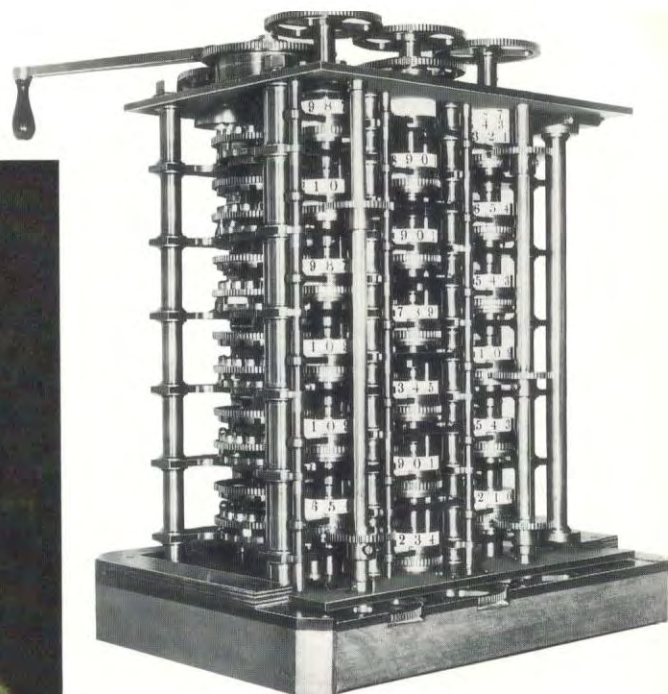


Die Adlermaschine Brunsviga Matador (um 1905). Die mechanischen Rechenmaschinen der Firma waren weltweit begehrt.



Die erste industriell gefertigte Rechenmaschine der Welt von Thomas de Colmar (1820).

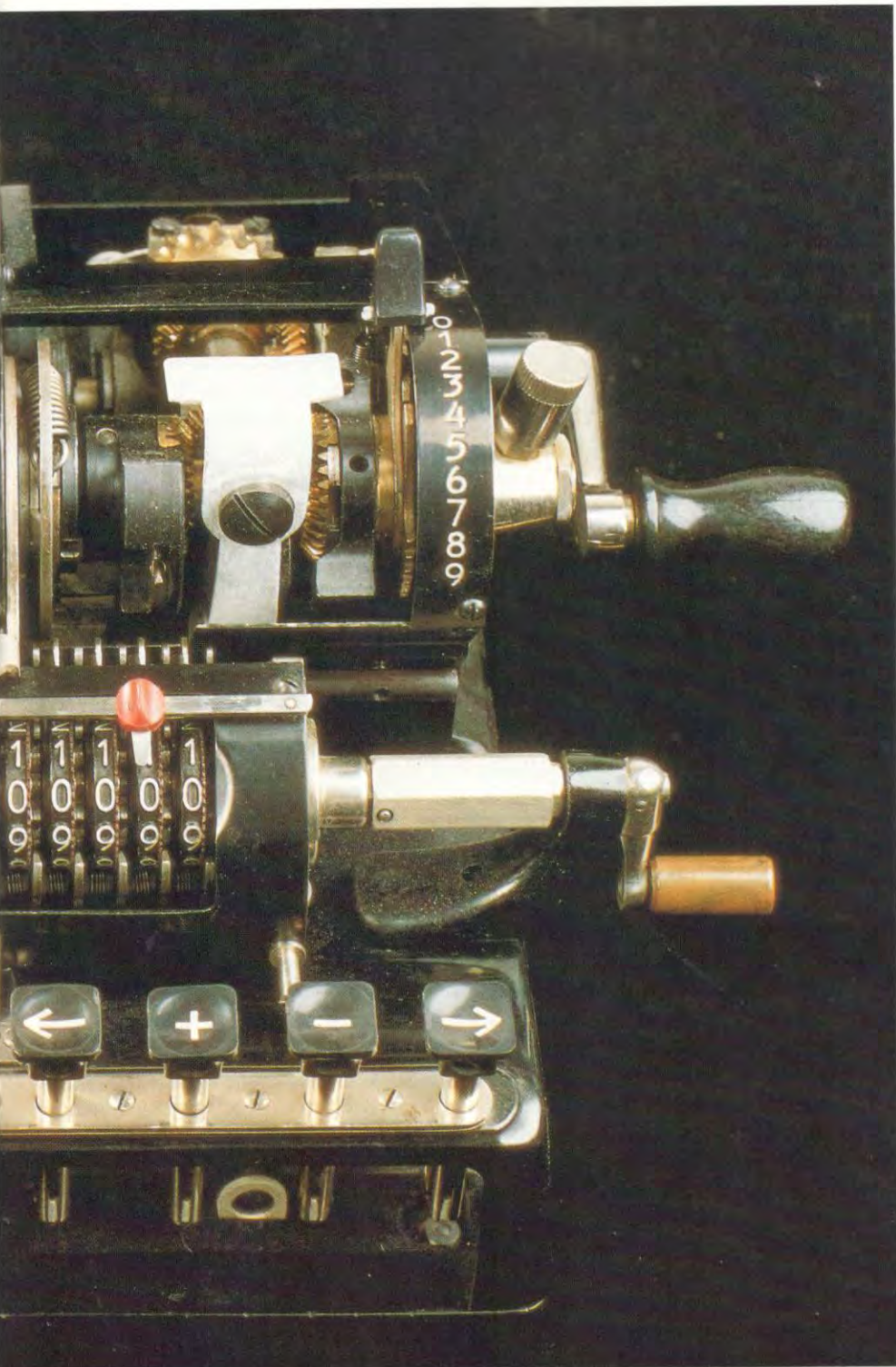
analytische Maschine algebraische Muster webt, genau wie der Jaquard-Webstuhl Blumen und Blätter webt“, schrieb Lady Lovelace. Trotz einer riesigen Geldsumme und 30jähriger Arbeit hat Babbages Modell niemals funktioniert. Teilweise mußten über 20 Zahnräder ineinander greifen. Die fertige Maschine wäre so groß gewesen wie eine Lokomotive. Schon die geringste Unregelmäßigkeit in der Bewegung eines winzigen Einzelteils wäre 100fach verstärkt worden – die Maschine



Charles Babbage entwickelte 1812 die „Differenzenmaschine“ für Logarithmen und dritte Potenzen.

die Entwicklung von formalen Strukturen auf der Grundlage elektrischer beziehungsweise elektronischer Schaltungen möglich. Schon 19 Jahre nach Babbages Tod verwandte Hermann Hollerith (1860 bis 1929) das Prinzip der Programmierung durch Lochkarten in einer funktionierenden Maschine. Erstmals wurden hier auf der Grundlage elektrischer Ströme Informationen gespeichert und verarbeitet.

Eine weitere Entwicklung mußte hinzukommen, um heutige Rechner zu realisieren: die Entwicklung der formalen Logik und ihre technische Umsetzung in Schaltalgebra. George Boole (1815 bis 1864) führte in seiner 1847 veröffentlichten Schrift *The mathematical analysis of logic* Logik und Mathematik zusammen. Begriffe unseres Denkens werden in verschiedenen Sprachen durch verschiedene Worte bezeichnet. Es ist deshalb möglich, diese Begriffe durch einen einzigen Buchstaben zu ersetzen. Die Verbindung von Begriffen kann mit Hilfe von mathematischen Zeichen erfolgen. Alle Operationen der Sprache können in ein System von Zeichen übersetzt werden, das aus folgenden Elementen besteht: Buchstaben als Symbole für Gegenstände, Zeichen für Operationen und Zeichen für Relationen. Durch Gottlob Frege (1848 bis 1925) und die im Jahr 1903 veröffentlichten *Principia Mathematica* von Bertrand Russell (1872 bis 1970) und Alfred North Whitehead (1861 bis 1947) wurde die Mathematik auf logische Grundlagen zurückgeführt. Die so entstandene formale Logik kann in Form von elektrischen Schaltungen realisiert



hätte sich verhakt. Ein späterer Nachbau der *analytical engine* lieferte den Beweis, daß die Maschine in allen Teilen funktionieren konnte; Babbage selbst gelang die Verwirklichung nicht.

Die immense Kraft, die Babbage in seine Idee einbrachte, zeugt von einem zwanghaften Verhältnis zu Zahlen. So ist bekannt, daß er an den Dichter Alfred Lord Tennyson (1809 bis 1892) einen Brief schrieb, um ihn zu tadeln, weil dieser in einem Gedicht geschrieben hatte: „Jeden

Augenblick wird ein Mensch geboren. Jeden Augenblick stirbt einer.“ Da die Weltbevölkerung nicht konstant bleibe, verbesserte Babbage: „Jeden Augenblick stirbt ein Mensch. Jeden Augenblick wird ein und ein sechzehntel Mensch geboren.“

Getriebe der Komplexität, wie sie die *analytical engine* beanspruchte, waren damals feinwerktechnisch nicht zu bewältigen. Durchbrüche in der Informationstechnik wurden erst durch die Abkehr von mechanischen Bauteilen und durch

werden. Diese Tatsache wurde 1910 von dem Österreicher Paul Ehrenfest (1880 bis 1933) entdeckt. Relaisfachleute entwickelten später die Schaltalgebra. Die zugrunde liegende formale Logik ist zweiwertig: die Aussagen nehmen ausschließlich die Form „ist“ oder „ist nicht“ an. Die wichtigsten Verknüpfungen sind die Konjunktion (und), die Disjunktion (oder) und die Negation. Es ist leicht zu sehen, daß dies durch die Stellung von Schaltern mit den Zuständen „ein“ oder „aus“ materiell abgebildet werden kann.

Alle Strukturen beliebiger Simulationsmaschinen lassen sich mit diesen einfachen Elementen der formalen Logik darstellen und technisch verwirklichen. Komplexität und Kompliziertheit sind danach für den Rechner prinzipiell keine Grenze mehr. Sie erhalten eine Art von Universalität, die es ermöglicht, alle immanenten Probleme der formalen Logik zu lösen. Der Mathematiker Alan Mathison Turing (1912 bis 1954) hat diesen Gesandten der formalen Universalität von automatischen Maschinen 1936 in der viel beachteten Arbeit *Über berechenbare Zahlen mit einer Anwendung auf das Entscheidungsproblem* beschrieben. Das vorgestellte Konzept eines abstrakten Automaten wird seitdem als Turing-Maschine bezeichnet.

Eine Turing-Maschine ist ein theoretisches Modell zur Realisierung von Algorithmen. Sie ermöglicht die fiktive Symbolmanipulation von Zeichenketten bei verschiedenen Alphabeten. Die zugrunde liegende Idee besteht darin, daß die im Algorithmus vorkommenden Anweisungen in ihre Elemente zerlegt werden können. Das fiktive Modell einer Turing-Maschine hat drei Bestandteile: ein Speicherband, dessen einzelne Felder ein Zeichen des Alphabets aufnehmen; ein Schaltwerk mit unendlich vielen Zuständen; einen Lese-Schreibkopf, der zu jedem Zeitpunkt je ein Feld des Speicherbandes lesen, Zeichen verändern, oder ein Feld nach links oder rechts gehen kann.

Die große Illusion Turings war es, diese Art von Problemen mit wirklichen Problemen gleichzusetzen. Die reale Welt entspricht dem nicht. Dennoch war seine Idee einer Universalmaschine bahnbrechend für die Konstruktion moderner Computer.

Das von Konrad Zuse (geboren 1910) entworfene Konzept eines programmgesteuerten Automaten baut in seinen Grundüberlegungen auf den Gedanken von Leibniz, Babbage und Boole auf. An-

DIE WELT IM KASTEN

Der Verfasser darf die große Akademie von Lagado besichtigen. Umständliche Beschreibung derselben. Die Künste, denen sich die Professoren widmen.

Der erste Professor, den ich sah, befand sich in einem großen Zimmer, und war von vierzig Schülern umgeben. Nach der gewöhnlichen Begrüßung bemerkte er, daß ich ernstlich einen Rahmen betrachtete, welcher den größten Teil des Zimmers in Länge und Breite ausfüllte, und sagte: Ich wundere mich vielleicht, daß er sich mit einem Projekt beschäftige, die spekulativen Wissenschaften durch praktische und mechanische Operationen zu verbessern. Die Welt werde aber bald die Nützlichkeit dieses Verfahrens bemerken. Er schmeichelte sich mit dem Gedanken, daß eine höhere und edlere Idee noch nie aus dem Gehirn eines Menschen entsprungen sei. Ein jeder wisse, wieviel Mühe die gewöhnliche Erlernung der Künste und Wissenschaften bei den Menschen erfordere, er sei überzeugt, durch seine Erfindung werde die ungebildetste Person bei mäßigen Kosten und bei einiger körperlicher Anstrengung Bücher über Philosophie, Poesie, Mathematik und Theologie ohne die geringste Hilfe des Genies oder der Studenten schreiben können.

Er führte mich an einen Rahmen, wo alle seine Schüler in Reihen aufgestellt waren. Der Rahmen enthielt zwanzig Quadratfuß und befand sich in der Mitte des Zimmers. Die Oberfläche bestand aus einzelnen Holzstückchen von der Dicke eines Würfels, von denen jedoch einzelne größer als andere waren. Sie waren sämtlich durch leichte Drähte miteinander verknüpft. Diese Holzstücke waren an jedem Viereck mit überklebtem Papier bedeckt, und auf diesen Papieren waren alle Worte der Landessprache in Konjugationen und Deklinationen, jedoch ohne alle

Ordnung aufgeschrieben. Der Professor bat mich, acht zu geben, da er seine Maschine in Bewegung setzen wolle. Jeder Zögling nahm auf seinen Befehl einen eisernen Griff zur Hand, von denen vierzig am Rande befestigt waren. Durch eine plötzliche Umwendung wurde die ganze Anordnung verändert. Alsdann befahl er sechzehn Knaben, die verschiedenen Zeilen langsam zu lesen, und wenn sie drei oder vier Wörter aufgefunden hatten, die einen Satz bilden konnten, diktierten sie dieselben vier anderen Knaben, welche dieselben niederschrieben. Diese Arbeit wurde drei- oder viermal wiederholt. Die Maschine war aber so eingerichtet, daß die Wörter bei jeder Umdrehung einen neuen Platz einnehmen, so wie das ganze Viereck sich von oben nach unten drehte.

Sechs Stunden mußten die Schüler täglich bei dieser Arbeit zubringen. Der Professor zeigte mir mehrere Folianten, welche auf diese Weise aus abgebrochenen Sätzen gebildet waren, und die er zusammenstellen wollte. Aus diesem reichen Material werde er einen vollständigen Inbegriff aller Künste und Wissenschaften bilden; ein Verfahren, das er jedoch verbessern und schneller beenden würde, wenn das Publikum ein Kapital zusammenbringen wollte, um fünfhundert solcher Rahmen in Lagado zu errichten, und wenn man die Unternehmer zwingen werde, in ihren verschiedenen Kollekten die gehörige Summe beizusteuern.

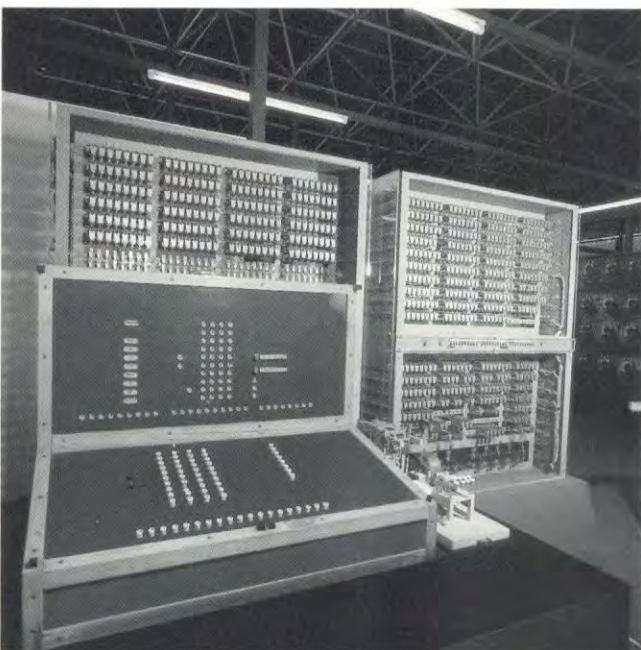
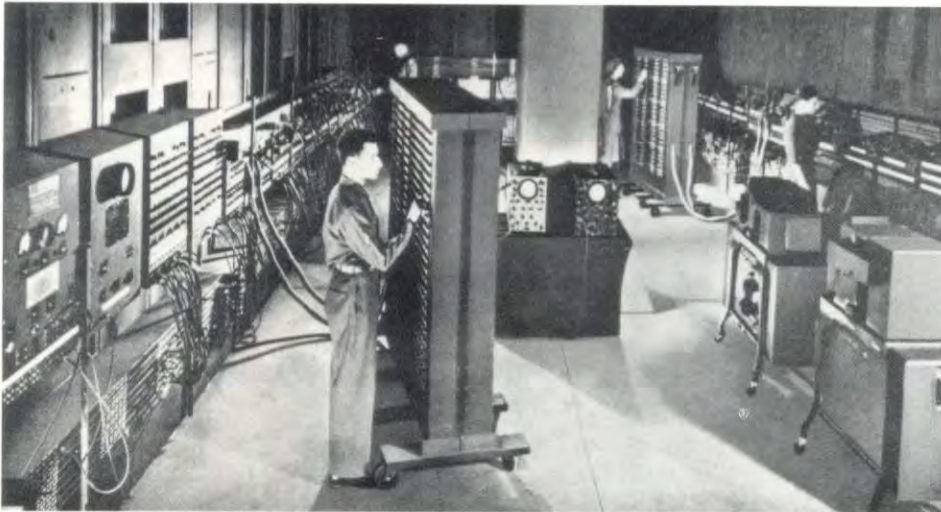
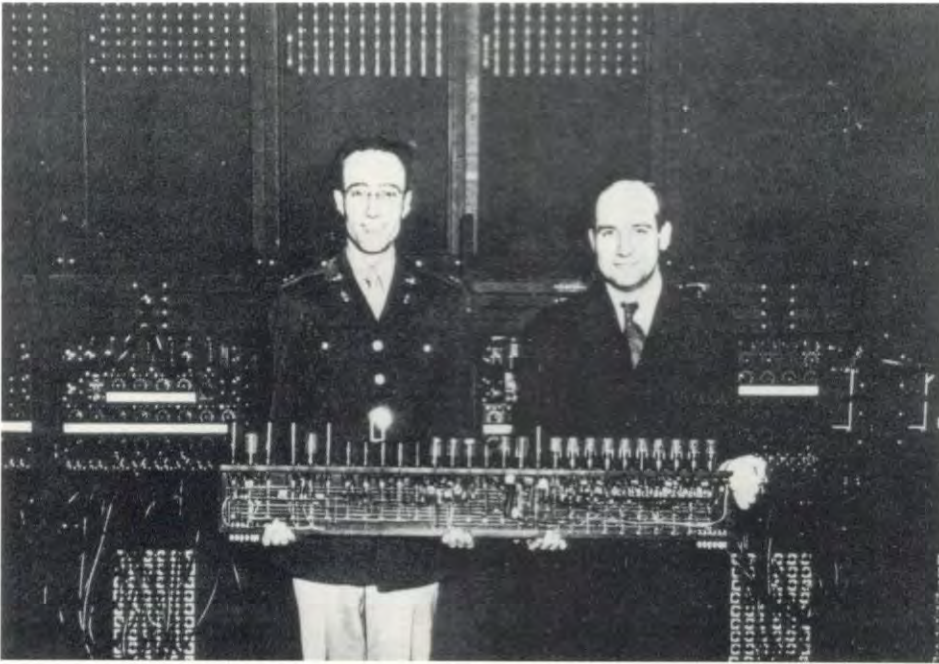
Er gab mir die Versicherung, diese Erfindung habe schon von Jugend auf alle seine Gedanken in Anspruch genommen; er habe seinen Rahmen so eingerichtet, daß er den ganzen Sprachreichtum umfasse, und sogar das allgemeine Verhältnis berechne, welches in Büchern hinsichtlich der Anzahl von Partikeln, Haupt- und Zeitwörtern und anderen Redeteilen stattfindet.

Jonathan Swift: Gullivers Reisen. Nach der Übersetzung von Fr. Kottenkamp, Stuttgart 1843.

geregt durch sein Bauingenieur-Studium an der Technischen Hochschule Berlin-Charlottenburg, begann Zuse etwa 1935 mit dem Bau verschiedener Modelle. Im Unterschied zu vorherigen Konstruktio-

nen war das Neue, daß Zuse alle Zahlenrechnungen auf die logischen Grundoperationen „Und“, „Oder“ und Negation zurückführte. Zunächst versuchte er dies mit mechanischen Schaltelementen. Spä-

RECHENMASCHINEN



Captain Gold Goldstein (Bild ganz oben, links) und J. P. Eckert präsentieren den „Ringzähler“ des ENIAC, eine Röhrenbaugruppe zur Speicherung einer einzigen Dezimalzahl.

Der ENIAC (Electronical Numerical Integrator and Computer) war der erste arbeitsfähige Rechenautomat der USA in Röhrentechnik (oben).

Konrad Zuses Z3, die erste betriebsfähige, elektromechanisch arbeitende und frei programmierbare Rechenanlage der Welt. Zuse hatte zudem die Bedeutung des Dualsystems für die Computertechnik erkannt.

ter ersetzte er sie durch elektromagnetische Relais, die er fertig kaufen konnte und nur zu verdrahten brauchte. Es gelang ihm im Jahre 1941, die erste programmgesteuerte Maschine, das Modell Z3, fertigzustellen. Dieses Gerät wurde versuchsweise für verschiedene aerodynamische Berechnungen der Luftfahrt eingesetzt.

Eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung des modernen elektronischen Computers war die konsequente Begründung der Computerarchitektur durch John von Neumann (1903 bis 1957). Er formulierte 1948 die Idee des intern als Information gespeicherten Programms. Von Neumanns Gedanken sind das Gerüst der gegenwärtig gebauten Systeme: Das Programm wird ebenso wie die zu verarbeitenden Daten codiert und in der Maschine gespeichert. Das als Sequenz von Befehlen gespeicherte Programm enthält auch bedingte Befehle, welche Verzweigungen ermöglichen. Der Computer ist damit in der Lage, logische Entscheidungen über den Verlauf von Prozessen zu treffen.

Die weitere Entwicklung der Computertechnik zu immer kleineren und leistungsfähigeren Systemen beruhte auf Fortschritten sowohl bei der Hard- als auch bei der Software. Auf der einen Seite wurden immer kleinere und schnellere Bauelemente entwickelt. Auf der anderen Seite wurden die Programmiersprachen immer mehr der natürlichen Sprache angenähert.

Dennoch gibt es keine Verwechslungsgefahr zwischen natürlicher und künstlicher Intelligenz. Zu unterschiedlich sind Gehirn und Computer, wenn man die einzelnen Bauteile betrachtet. Zwischen dem biologischen (natürlichen) und dem technischen (künstlichen) Material gibt es keine materielle Äquivalenz. Silicium-Chips – um es banal zu sagen – sind keine Gehirnzellen. Es ist leichter, Menschen biologisch statt technisch herzustellen. Es gibt immerhin einige Milliarden davon. □

DER AUTOR

Peter Faulstich, Dipl.-Ing., Dr. phil., geboren 1946, studierte Stadt- und Regionalplanung, Bildungsökonomie. Erhabilitiertesich im Fach Erziehungswissenschaften. Seit 1980 ist er Leiter der Kontaktstelle für wissenschaftliche Weiterbildung an der Gesamthochschule Kassel.