

# Ein Überblick über die Entwicklung der Rechenautomaten

Wolfram-M. Lippe  
Institut für Informatik, Universität Münster  
[lippe@uni-muenster.de](mailto:lippe@uni-muenster.de)

## 1. Zur Geschichte des Begriffes „Informatik“

Der Gedanke, einen Beitrag zur Geschichte der Rechenautomaten zu erstellen, hatte viele Väter:

Zum einen war es die seit jeher vorhandene Faszination für alte Techniken. Es ist immer wieder bewundernswert, mit welcher Energie der Mensch mit einfachsten technischen Hilfsmitteln naturwissenschaftliche und technische Höchstleistungen vollbracht hat. Genialität, Akribie und Fleiß waren die bestimmenden Faktoren. Viele Erkenntnisse gingen aber auch im Laufe der Zeit verloren und mussten zum Teil neu entdeckt werden. Selbst in dem noch so jungen und sich mit unheimlicher Geschwindigkeit fortentwickelnden Fach der „ Informatik“ gab es immer wieder weit vorausschauende Konzepte, die „ noch nicht“ verstanden wurden oder wegen des zu diesem Zeitpunkt gegebenen technologischen Umfeldes noch nicht realisierbar waren und daher wieder in Vergessenheit gerieten, um sodann später wieder neu entdeckt und unter neuem Namen erfolgreich zu werden. Diese Entwicklung konnte ich zu einem erheblichen Teil noch selbst mitverfolgen. Meine ersten „ Gehversuche“ als Programmierer erfolgten 1965 auf einer Röhrenmaschine vom Typ Zuse Z22 an der Universität des Saarlandes in Saarbrücken. Die Programmiersprache war ALGOL 60 und das Eingabemedium ein Fernschreiber mit einem 5-Kanal-Lochstreifen. In immer kürzeren Abständen folgten neue Modelle und neue Technologien mit denen ich mich vertraut machen mußte: Electrologica X1, CDC 3300, CDC 6600, Telefunken TR440, PDP 10 und 11, Siemens 6660 usw.

Ein weitere Grund war die Feststellung der Gesellschaft für Informatik in ihrer Festschrift anlässlich ihres 30- jährigen Bestehens, daß ich wohl der erste Student war, der in Deutschland ein Diplom im Fach Informatik abgelegt hat. Dies und die Erfahrungen, die ich durch die Mitwirkung am Aufbau der Informatik-Abteilungen an den Universitäten Saarbrücken, Kiel, Münster und Gießen gesammelt habe, führte dazu, daß ich mich intensiver mit der Geschichte der Informatikentwicklung an deutschen Hochschulen beschäftigte und damit auch mit der Geschichte der Geräte und Techniken,

die die Informatik verwendet, denn diese Geschichte ist wesentlich älter als die eigentliche Informatik.

Das Wort „ Informatik“ selbst war vor 1950 kaum in Gebrauch. Sein erster Gebrauch liegt im Dunkeln; seine Entstehung durch Anhängen der Endung ‘ - ik’ an den Stamm des Wortes „ Information“ scheint aber klar zu sein. Eine frühe Verwendung findet sich durch Karl Steinbuch. Nachdem der Begriff „ Informatik“ gegen Ende der fünfziger Jahre für Erzeugnisse der Firma Standard Elektrik Lorenz (SEL) urheberrechtlich geschützt wurde, war das Wort einer breiten Verwendung in Deutschland entzogen. Mitte der sechziger Jahre wurde im Deutschen das Wort „ Informationsverarbeitung“ mehr und mehr gebräuchlich, in direkter Entsprechung zu ‘ Information Processing’ - ein Wort, das sich auch im Namen eines internationalen Verbandes, der IFIP (International Federation of Information Processing) wiederfindet - sowie parallel hierzu auch der Begriff „ Kybernetik“ , der vor allem in Arbeiten von Steinbuch Verwendung fand.

In Frankreich tat man sich mit dem Pendant „ Traitement de l’ information“ besonders schwer, und man empfand dort allgemein Erleichterung, als die Académie Française das prägnante Wort „ informatique“ einführte:

*L’ informatique:*

*Science de traitement rationel, notamment par machines automatiques, de l’ information considérée comme le support des connaissances humaine et des communications, dans les domaines techniques, économiques et sociale.*

Es ist nicht bekannt, ob die Académie Française den Begriff „ Informatik“ zum Vorbild hatte, aber durch diese Entscheidung wurde der Begriff „ Informatik“ in Deutschland wiederentdeckt und zunächst vor allem in akademischen Zirkeln schnell hoffähig. Als der damalige Bundesminister für Bildung und Wissenschaft, Gerhard Stoltenberg, 1968 anlässlich der Eröffnung einer Tagung in Berlin das Wort „ Informatik“ mehrfach gebrauchte, wurde es von Journalisten aufgegriffen und war bald auch über die Fachwelt hinaus existent. Es wurde dann auch für den Namen desjenigen Förderprogramms der Bundesregierung verwandt, mit dem ab Mitte der sechziger Jahre versucht wurde, den Rückstand Deutschlands in der Informationstechnologie aufzuholen und mit dem u.a. in größerem Rahmen die Erstausrüstung der deutschen Universitäten mit Rechnern finanziert wurde.

In den USA konnte sich die parallele Konstruktion ‘ Informatics’ nicht durchsetzen - auch sie war im übrigen durch Firmennamen besetzt. Statt dessen wurde zunächst der Begriff ‘ Computing Science’ verwendet, der danach durch ‘ Computer Science’ verdrängt wurde. Erst in neuerer Zeit tritt ‘ Informatics’ , z.B. in Form von „ Applied Informatics“ , wieder in den

Vordergrund. In Großbritannien ist dagegen vor allem der Ausdruck „ Information Technology“ verbreitet.

Die Herkunft vieler anderer Begriffe innerhalb der Informatik lässt sich genauer angeben. Wie in unserer heutigen Zeit weit verbreitet, stehen vor allem Abkürzungen englischer Ausdrücke im Vordergrund: ROM (Read Only Memory) für Speicherbausteine, FORTRAN ( ..... ) für die erste höhere Programmiersprache usw. Auch bei berühmten Personen der Geschichte wurden Anleihen gemacht: So wurden Programmiersprachen nach dem Mathematiker und Erbauer einer der ersten digitalen Rechenmaschinen Claude PASCAL bzw. nach ADA, einer Mitarbeiterin von Charles Babbage, der im 19. Jahrhundert als erster das Konzept für einen programmierbaren Rechner entwickelte, benannt

Auch der für die Informatik essentielle Begriff des „ Algorithmus“ besitzt eine interessante Herkunftsgeschichte. Er stammt nicht, wie von vielen auf Grund der Endung – us angenommen, aus dem Lateinischen, sondern aus dem Arabischen. Er geht auf den Namen eines Mathematikers zurück, der zu Zeiten des Kalifen al-Mamun in Bagdad im sog. „ Haus der Weisen“ - heute würden wir dazu Universität sagen - lebte. Sein Name war Ibn Musa Djafar al-Choresmi (auch Al Khawarizmi, al-Khowarizmi, al-Hwarazmi geschrieben), geboren etwa 780, gestorben etwa 850. Er stammte aus dem südöstlichen des Aral-Sees gelegenen Choresmien in der heutigen Republik Usbekistan. In Bagdad schrieb er das Werk „ Aufgabensammlung für Kaufleute und Testamentsvollstrecker“ , welches in manchen Bezeichnungen und in seiner algebräisierenden Tendenz auch den oben erwähnten indischen Einfluß zeigt. Dieses Buch wurde, wie viele andere arabische Lehrbücher auch, gegen Ende des Mittelalters in das Lateinische übersetzt und erhielt den Titel „ liber algorithmi“ .

## **2. Das Räderwerk von Antikythera – der älteste Rechner der Welt**

Um die Jahrhundertwende wurden in der Ägäis nahe der Insel Antikythera (antik: Aegil) von einem römischen Schiffswrack bronzene Teile geborgen, die in keiner Weise mit dem verglichen werden konnten, was bis dahin im Mittelmeerraum gefunden wurde. Das besagte Schiffswrack gab auch eine Reihe anderer Kunstwerke frei, z.B. zahlreiche Statuen und Amphoren. Als man sich jedoch anschickte, die erwähnten Bronzeteile zu analysieren, begann ein großes Staunen. Es handelte sich hierbei um ein Räderwerk, das später „ Das Räderwerk von Antikythera“ (nach dem Fundort) oder „ Planetarium“ (nach den Inschriften) genannt wurde. Die geborgenen Fragmente befinden sich heute im National-Museum in Athen.

Man fand in den griechischen Beschriftungen auf den Überresten Hinweise auf den damals gebräuchlichen Kalender, auf Sonne, Mond und auf die damals bereits bekannten Planeten. Daneben fanden sich kreisförmige Skalen mit der Tierkreisteilung einerseits und dagegen verschiebbar - konzentrisch hierzu - Skalen mit den Monatsnamen. Auf der Rückseite des deswegen auch als Planetarium bezeichneten Räderwerks fanden sich sogar 4 konzentrische gegeneinander verschiebbare Ringe, die dann auf andere Himmelskörper und auf die Planeten hinwiesen.

Das eigentliche Räderwerk basiert auf einer Vielzahl von Zahnrädern in 60 Grad-Verzahnung. Diese Verzahnung hat zwar keinen guten Wirkungsgrad, stellt jedoch angesichts der Tatsache, daß über derartige Zahnradtechniken bei den Griechen keinerlei andere Kunde existiert, eine weitere echte Sensation dar. Zahnradtechniken waren den Griechen zwar bekannt, aber sie wurden nur in relativ simplen Anwendungen benutzt. Sie verwendeten Zahnradpaare, z.B. um Kraft in einem rechten Winkel zu übertragen, wie in einer Wassermühle.

Als sich der namhafte Archäologe Spyridon Stais am 17. Mai 1902 an die Untersuchung der Fragmente machte und kurz darauf seine Ergebnisse veröffentlichte, wurden zunächst von vielen Fachleuten die Ergebnisse und die Datierung angezweifelt. Selbst von Fälschung wurde gesprochen. Dennoch sind die Authentizität und die Datierung inzwischen gesichert. Sowohl die gefundenen Münzen als auch die Beschriftung des Gehäuses lassen das Räderwerk auf ca. 80 v. Chr. ansetzen.

Die Untersuchungen brachten auch die Tatsache zu Tage, daß das Gerät auch tatsächlich in Betrieb war. Man fand z.B. zwei Stellen im Getriebe, die repariert worden waren. So ist etwa ein Zahn ersetzt worden. An anderer Stelle wieder ist offenbar die Speiche eines Zahnrades gebrochen gewesen und schließlich durch sorgfältige Einfügung wieder ersetzt worden.

Der überraschende Fund von Antikythera zeigt, daß es theoretische und technologische Erkenntnisse und Fertigkeiten bereits zur Zeit Christi gab, die man bis zu diesem Fund nicht für möglich gehalten hatte. Inzwischen sind einige weitere Analysen erfolgt, so z.B. von Derek de Solla Price, die beweisen, daß das Räderwerk von Antikythera von extrem komplexer arithmetischer Konzeption war, bei der bekannte astronomische Relationen und insbesondere Perioden mit Hilfe von Zähne-Anzahlen realisiert wurden. Es enthält sogar Reste eines Differentialgetriebes (zur Bildung von Differenzen), wie es erst 1832 in England zum Patent angemeldet wurde.

Hinsichtlich seiner Funktion wurde lange spekuliert. Einige Dinge waren von Beginn an klar. Die einzigartige Wichtigkeit des Objekts war offensichtlich und das Getriebe war eindrucksvoll komplex. Aufgrund der Inschriften und

der Zifferblätter ist der Mechanismus korrekt als ein astronomisches Gerät identifiziert worden. Die erste Mutmaßung war, daß es sich hierbei um eine Art Navigationsinstrument, vielleicht ein Astrolabium handelte. Einige dachten, daß es möglicherweise ein kleines Planetarium sein könne, derart, wie Archimedes eines erstellt haben soll. Eine genaue Untersuchung wurde aber erst 1958 durch den Engländer Derek del Solla Price - heute Professor für Wissenschaftsgeschichte an der amerikanischen Yale University - vorgenommen, der beim Studium der Geschichte wissenschaftlicher Instrumente auf den Mechanismus im Athener Museum gestoßen ist.

Er war sofort von dem Räderwerk begeistert:

"Ein vergleichbares Instrument ist nirgends erhalten", schrieb er, "und ist auch in keinem alten wissenschaftlichen oder literarischen Text erwähnt. Nach allem, was wir über Wissenschaft und Technologie im hellenistischen Zeitalter wissen, dürfte es eine solche Vorrichtung eigentlich nicht geben". Price war so begeistert, daß er über ein Jahrzehnt lang daran arbeitete, die Apparatur anhand der stark beschädigten Bronzefragmente zu rekonstruieren. Doch erst die 1971 von der griechischen Atomenergiekommission angefertigten Röntgenaufnahmen brachten endgültigen Aufschluß über das Zahnradgetriebe.

Fügt man die soweit gesammelten Informationen zusammen, scheint es vernünftig, anzunehmen, daß die Absicht des Antikythera-Mechanismus war, die Berechnung gewisser astronomischer Zyklen zu mechanisieren. Diese Zyklen waren ein starkes Merkmal antiker Astronomie. Diese Zyklen benutzend ist es nun einfach, ein Getriebe zu entwickeln, welches durch ein Zifferblatt gesteuert wird, das einmal jährlich gedreht wird und dabei eine Reihe anderer Zahnräder dreht, welche wiederum Zeiger bewegen, die siderische, synodische und drakonische Monate anzeigen. Tatsache ist, daß diese Art arithmetischer Theorie das zentrale Thema der Astronomie der seleuzidischen Babylonier war, welche den Griechen in den letzten paar Jahrhunderten v.Chr. übermittelt wurde. Solche arithmetischen Schemata sind völlig verschieden von der geometrischen Theorie der Kreise und Epizyklen der Astronomie, welche im wesentlichen griechisch erscheinen. Der Mechanismus ist ähnlich einer bedeutenden astronomischen Uhr oder einem modernen Analogcomputer, der mechanische Teile benutzt, um Berechnungen zu speichern. Es ist wirklich schade, daß man nicht weiß, ob das Gerät automatisch oder per Hand gedreht wurde. Es mag in der Hand gehalten und durch ein Rad an der Seite gedreht worden sein, so daß es wie ein Computer arbeitete, möglicherweise für astrologische Zwecke. Price ist eher der Ansicht, daß das Gerät permanent befestigt war. Vielleicht in einer Statue als Ausstellungsstück. In diesem Falle ist es möglicherweise durch die Kraft einer Wasseruhr oder ähnlichem gedreht worden.

John Glave aus England hat anhand der Rekonstruktion von Price den Versuch unternommen, ein funktionierendes Replika des Original-Mechanismus zu konstruieren. Diese Zahnräder sind nicht wie beim Original aus Bronze, sondern aus Messing gefertigt und sie sind zwischen transparenten Platten angebracht, so daß der Mechanismus sichtbar ist. Inwieweit dieser Versuch einer Rekonstruktion in Details mit dem Original übereinstimmt, läßt sich jedoch nur schwer bewerten.

## **2. Astrolabien**

Nach dem Rechner von Antikythera muß man bis zu dem nächsten bekannten Rechengerät einen großen Zeitsprung bis ca. 700 n. Chr. machen. In Urkunden aus dieser Zeit werden im arabischen Raum zum ersten Mal die sog. Astrolabien erwähnt.

Da durch die Wirren in den Zeiten nach dem Niedergang des Römischen Reiches in Europa nicht nur keine Weiterentwicklung in Wissenschaft und Kultur stattfand, sondern bereits vorhandenes Wissen verloren ging, stammen die wesentlichen Impulse der Mathematik der damaligen Zeit - und dies gilt bis in das späte Mittelalter - aus dem arabischen Raum und wurden von dort nach Europa exportiert. Dies ist auch der Grund, daß wir heute nicht mit römischen, sondern mit arabischen Ziffern rechnen und schreiben. Ferner gelangte auch die Algebra, also das Rechnen mit Buchstaben, aus Arabien nach Europa. Es ist aber anzunehmen, daß die Araber selbst sehr viel von ihren mathematischen Errungenschaften, darunter auch die Algebra, aus dem indischen Raum übernommen haben. Von diesen frühen indischen Hochkulturen und ihren mathematischen und astronomischen Kenntnissen ist aber bis heute noch sehr wenig bekannt.

Aber betrachten wir weiter die Astrolabien. Im Prinzip handelt es sich um einen Analogrechner, der allerdings eine wesentlich geringere Komplexität als das Räderwerk von Antikythera aufweist. Das Astrolabium diente sowohl astronomischen Zwecken als auch zur Navigation. Auf einer Grundplatte befindet sich eine Eingravierung der stereographischen Projektion der Erde mit ihren Längen- und Breitengraden (erste Ansätze zu einer Kartographie, die auf Längen- und Breitengraden beruht, gehen auf Ptolemäus zurück; danach sind sie in Europa erst wieder ab 1400 allgemein gebräuchlich). Darüber drehbar ist ein Gitter angeordnet, das den Fixsternhimmel und die Position bekannter Sterne in Form von Zeigern verkörpert. Die Position der Sonne ist gegeben durch ihren Standort in dem Ekliptik-Kreis, der ebenfalls in das Gitter eingebettet ist und die Tierkreiszeichen neben einer 360-Grad-Teilung trägt. Die Einsatzmöglichkeiten von Astrolabien sind vielfältig: Je nachdem welche Größen bekannt sind, lassen sich die wahre Ortszeit, die Zeit des Auf- bzw. Untergangs der Sonne oder bekannter Gestirne sowie die eigene

Position auf der Erde bestimmen.

Die Astrolabien waren bis Ende des letzten Jahrhunderts in der Schifffahrt im Indischen Ozean im Einsatz. Auch in Europa wurden sie für navigatorische Zwecke sowie für astrologische Bestimmungen häufig eingesetzt. Es gibt verschiedenen Typen von Astrolabien. Der bei weitem populärste Typ ist wohl das planisphärische Astrolabium, bei dem die Himmelssphäre auf die Ebene des Äquators projiziert wird.

Ein Astrolabium zeigt – korrekt eingestellt –, die Himmelskonfiguration an einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit an. Hierzu ist die Himmelskonfiguration auf die Oberfläche des Astrolabiums projiziert, so daß durch Markierungen verschiedene Positionen am Himmel leicht zu finden sind. Um ein Astrolabium zu benutzen, justiert man die beweglichen Teile an ein bestimmtes Datum und eine bestimmte Zeit. Einmal eingestellt, ist der ganze Himmel, der sichtbare und der nicht sichtbare Teil, auf der Oberfläche des Instrumentes zu erkennen und die einzelnen Positionen mit Hilfe von Markierungen leicht zu bestimmen. Dies erlaubt eine große Anzahl astronomischer Probleme in einer visuellen Art zu lösen. Typische Anwendungen eines Astrolabiums beinhalten das Bestimmen der Zeitspanne zwischen Tag und Nacht, das Bestimmen des Zeitpunktes eines Himmelsereignisses wie z.B. Sonnenauf- oder Sonnenuntergang, und als handliches Nachschlagewerk für Himmelspositionen. In den islamischen Ländern wurden Astrolabien auch benutzt, um die Zeiten für die täglichen Gebete und die Richtung nach Mekka zu bestimmen

Die Ursprünge der Astrolabien liegen vermutlich in Griechenland. Apollonius (ca. 225 v.Chr.), der sich intensiv mit Kegelschnitten beschäftigte, studierte wahrscheinlich die zur Erstellung von Astrolabien notwendigen Projektionen. Wesentliche Erkenntnisse gelang auch Hipparchus, der in Nicaea (Heute Iznik in der Türkei) um 180 v.Chr. geboren wurde, aber auf Rhodos studierte und arbeitete. Hipparchus charakterisierte die Projektion als eine Methode um komplexe astronomische Probleme ohne sphärische Trigonometrie zu lösen, und er bewies wahrscheinlich ihre Hauptcharakteristika. Hipparchus hat zwar nicht das Astrolabium erfunden, wohl aber die Projektionstheorie verfeinert. Das älteste Beweisstück für die konkrete Benutzung der stereographischen Projektion (siehe Anhang Astrolabium) ist ein Schriftstück des römischen Autors und Architekten Vitruvius (ca. 88 - ca. 26 v.Chr.). Er beschreibt in *De architectura* eine Uhr, die von Ctesibius in Alexandria hergestellt wurde, und in der eine stereographische Projektion benutzt wurde. Ausführlichere Informationen findet man bei Claudius Ptolemy (ca. 150 n.Chr.). Er schrieb umfassend über Projektionen, in seiner als *Planisphaerium* bekannten Arbeit. In ihr gibt es konkrete Hinweise, daß er ein Astrolabien-ähnliches Instrument besessen haben könnte. Ptolemy verfeinerte außerdem noch die

Fundamentalgeometrie des bis dahin bekannten Erde-Sonne Systems, und schuf damit Grundlagen zur Weiterentwicklung von Astrolabien.

### **3. Astronomische Uhren und Kirchenrechner**

In Europa setzt die Weiterentwicklung, was Rechenanlagen und Automaten betrifft, wesentlich später als im arabischen Raum ein, so ab dem 13. Jahrhundert. Hier zunächst geprägt durch die Entwicklung von Kirchenguhren.

Eines der ältesten Zeitmessgeräte ist die Sonnenuhr: An ihrem Stab wirft die Sonne einen Schatten. Lage und Länge des Schattens zeigen die Position der Sonne in Bezug auf die Erde an – und damit die Zeit. Eine Uhr mit linearer Anzeige ist die Wasseruhr. Bereits die alten Ägypter kannten ein- und auslaufendes Wasser als Maß für die Zeit. In den Klöstern des Mittelalters zeugte eine abbrennende Kerze vom Vergehen der Zeit.

Durch die Erfindung der mechanischen Uhr vollzog sich gegen Ende des 13. Jahrhunderts eine technische Revolution. Die ersten Uhren waren Räderuhren mit Gewichtsantrieb, bei denen als Hemmung eine Spindel diente, die mit zwei Ansätzen in das Steigrad eingriff. Da diese Uhren große Abmessungen besaßen, versahen vor allem die Städte einen ihrer Profan- oder Sakralbauten mit einer derartigen Monumentaluhr. Die Federzuguhr tauchte erstmals in der zweiten Hälfte des 14. Jahrhunderts auf. Die ersten tragbaren Federuhren baute der Nürnberger Schlosser Peter Henlein um 1510; sie waren eiförmig (Nürnberger Ei). Damit war in Europa erstmalig wieder ein technologischer Stand erreicht, der schon ca. 1.500 Jahre früher in Kleinasien erreicht worden war. Dennoch war über weitere Jahrhunderte hinweg auch Sanduhren immer noch im Gebrauch.

Um ihr Prestige zu steigern, erweiterten die Städte ihre Kirchenguhren um zusätzliche technische Neuerungen, um ihnen so einen spektakulären Aspekt zu verleihen. Aus den Kirchenguhren wurden astronomische Uhren. Straßburg gehörte durch den zwischen 1352 und 1354 erfolgten Bau der sogenannten Drei-Königsuhr zu den ersten Städten, die das Exempel einer solchen Errungenschaft abgaben. Die Legende behauptet, daß dem Uhrmacher der astronomischen Uhr nach der Vollendung seines Werkes auf Befehl der hohen Beamtschaft der Stadt, die danach trachtete, ihn zu hindern, andernorts ein ebensolches Meisterwerk zu schaffen, die Augen ausgestochen worden seien. Ähnlich lautende Geschichten existieren auch für andere astronomische Uhren, wie z.B. Olmütz (ca. 1422), Danzig (ca. 1470), Münster (1542), Lübeck (1566) oder Lyon (1598). Wenn auch diese Legenden kein Fünkchen Wahrheit enthalten, so offenbart sie doch den Stolz der Straßburger auf den Besitz eines Werkes, das in der damaligen Zeit zu



den großen Wundern zählte.

Die astronomischen Uhren erfüllten in der damaligen Zeit für das kirchliche und öffentliche Leben vielseitige Zwecke. Es konnten Jahr, Monat, Tag, Wochentag und Mondphasen abgelesen sowie die Tagesheiligen ermittelt werden. Der auf der Uhr dargestellte Horizont ermöglichte es, die Auf- und Untergangszeiten für Sonne, Mond, Planeten und Fixsterne zu bestimmen. Damit lieferten sie die Grunddaten für astrologische Berechnungen und Prophezeiungen, wie sie damals weit verbreitet waren und durch die sich viele Menschen in ihrem täglichen Tun beeinflussen ließen. Man muß sich vor Augen halten, daß damals niemand über eine eigene Uhr oder einen eigenen Kalender verfügte. Somit bestimmte der Blick auf die weit sichtbare Turmuhr bzw. ihr viertelstündiger Klang den täglichen Rythmus. Der Kalender vermittelte Kenntnisse über den Ablauf des Kirchenjahres mit seinen Feiertagen.

Wie bereits erwähnt, war Straßburg eine der ersten Städte, die ihr Münster mit einer Monumentaluhr versahen. Im Verlauf der darauffolgenden Jahrhunderte haben danach drei astronomische Uhren zum Ruhme der Stadt Straßburg beigetragen. Einen Höhepunkt in der Entwicklung von astronomischen Kirchenguhren stellt hierbei sicherlich die dritte Uhr dar, die einmalig in der Welt über einen besonderen "Kirchenrechner" verfügte, um die beweglichen Kirchenfeiertage des jeweiligen Jahres zu berechnen.

Eine weitere Attraktion war ein krähender flügelschlagender Hahn, der die Bewegungen eines Hahns so gut wiedergab, daß die Perfektion selbst heute Bewunderung hervorruft. Dieser Hahn - vermutlich der älteste noch vollständig erhaltende Automat - ist jetzt im Straßburger Kunstgewerbemuseum zu sehen. Er wurde von Dasypodius auch für die zweite Uhr wieder verwendet. Dieser Hahn war so berühmt, daß er bei anderen Uhren, z.B. in Bern, München, Heilbronn, Lyon oder Prag, nachgeahmt wurde

Als die 2. Uhr wegen Abnutzungserscheinungen stehen blieb wurde Schwilgue als Feinmechanikeringenieur im - für die damalige Zeit bereits stolzen - Alter von einundsechzig Jahren mit der Renovierung der Uhr beauftragt wurde, die er von 1838 bis 1842 vornahm.

Fast unvorstellbar ist die Präzision der Uhr. Die zeitliche Abweichung im Jahr beträgt ungefähr 30 Sekunden. Schwilgués Uhr war ferner die erste der Welt, die de facto alle astronomischen Phänomene berücksichtigte. Dies gilt insbesondere für die komplizierten Bewegungen des Mondes und der Sonne, wobei besonders die Darstellung der scheinbaren oder wahren Bewegung des Mondes komplizierte Berechnungen erforderte, die Schwilgue mechanisch realisieren musste. Die Mondbahn bildet mit der Ekliptik (scheinbaren Sonnenbahn) einen Winkel von 5 Grad, und die Ekliptik einen

Winkel von ca. 23 Grad mit dem Himmelsäquator. Zusätzlich ist die Mondbahn einer Präzessionsbewegung – bezogen auf die Ekliptik – unterworfen und unterliegt noch zusätzlich zahlreichen Anomalien. Daher finden sich in der Uhr – neben dem besonders beschriebenen Kirchenrechner zur Berechnung der beweglichen Feiertage – zahlreiche mechanische Spezialrechner, die spezielle Berechnungen durchführen unter anderem zur Berechnung dieser Anomalien. Die einzelnen Anomalien lassen sich durch sinusoidale Gleichungen beschreiben. Insgesamt gibt es zwei Sonnengleichungen, fünf Mondgleichungen und eine Mondknotenliniengleichung. Der Rechner zur Berechnung dieser Gleichungen ist im Erdgeschoß der Uhr in einer Vitrine untergebracht und trägt die Aufschrift: „ Equations solaires et lunaires“ .

Eine Besonderheit, die die astronomische Uhr des Straßburger Münsters in der Welt einmalig macht, ist der bereits erwähnte und sich links im Sockel befindliche Kirchenrechner (comput ecclésiastique). Er wird von der Uhr nur einmal jedes Jahr und zwar in der Silvesternacht gestartet. Durch ihn werden die beweglichen Kirchenfeiertage des nun folgenden Jahres berechnet und auf dem automatischen Kalender angezeigt. Danach verweilt der "Comput ecclésiastique" wieder in Ruhestellung bis zum nächsten Silvesterabend. Die Einstellung der beweglichen Kirchenfeiertage, insbesondere von Ostern, stellte ein besonderes Problem dar und mußte jährlich bei jeder astronomischen Uhr vorgenommen werden.

Bemerkenswert an dieser Uhr und dem Rechner und sind die Genauigkeit mit der sie konstruiert und gebaut wurden. Daß der Kirchenrechner von Schwilgué in der Tat für die "Ewigkeit" ausgelegt war, zeigen in heutiger Zeit erfolgte Untersuchungen, durch die ersichtlich ist, daß es Komponenten gibt, die erstmalig im Jahre 15200 bewegt werden, um eine dann notwendige Korrektur vorzunehmen. Ein „ Jahr 2000- Problem“ , welches weltweit zu Angstzuständen bei Informatikern und Unternehmen geführt hatte, gab es für Schwilgué nicht.

#### **4. Die ersten digitalen Rechenmaschinen**

Einfache digitale Rechengeräte, also Maschinen zur Durchführung einfachster numerischer Berechnungen, existieren unter unterschiedlichen Begriffen und Formen bereits seit über 2000 Jahren in Asien, Rußland, Arabien und dem Mittelmeerraum. Am bekanntesten sind sie unter dem Begriff „ Abakus“ . Der Ursprung des Abakus liegt im dunkeln; man vermutet, daß er im indo-

chinesischen Raum entstand. Im Laufe der Zeit entwickelten sich unterschiedliche Ausprägungen des Abakus in verschiedenen Gebieten. In abgelegenen Basaren ist er selbst heute noch im Einsatz.

Der Abakus ist ein, technologisch gesehen, äußerst einfaches Gerät, bei dem praktisch keinerlei Automatismen realisiert sind. Insbesondere muß der Zehnerübertrag vom Benutzer händisch durchgeführt werden. Erst im 17. Jahrhundert setzte eine Entwicklung ein, die zu richtigen Rechenmaschinen führten, die zur automatischen Durchführung der vier Grundrechenarten in der Lage waren. Gleichzeitig wurde hierdurch die Entwicklung von Tischrechenmaschinen eingeleitet. Zu nennen sind vor allem

Schickard	(1592-1635)
Pascal	(1623-1662)
Leibniz	(1646-1716)

die ihre Maschinen zum Teil unabhängig voneinander entwickelten.

Schickard war mit dem berühmten Astronomen Kepler befreundet und wußte, welche Zeit Kepler in nächtelangen Berechnungen endloser Zahlenkolonnen investierte. Daher konstruierte er um 1623 für ihn eine sechsstellige Addier- und Subtrahiermaschine, die J. Kepler dann bei seinen astronomischen Berechnungen einsetzte. Leider wurde die Maschine kurze Zeit nach ihrer Fertigstellung durch ein Feuer zerstört. Ein zuvor von ihm gebauter Prototyp ging in den Wirren des 30jährigen Krieges verloren.

Die Wiederentdeckung ist dem verstorbenen Keplerforscher Dr. Franz Hammer zu verdanken. Im Jahre 1957 hielt er im Rahmen eines kleinen Kongresses zur Geschichte der Mathematik im Mathematischen Forschungsinstitut Oberwolfach im Schwarzwald einen Vortrag, der alles in Gang brachte.

Hammer berichtete über Unterlagen, die er zumeist schon vor dem Kriege gefunden, aber nicht ausgewertet hatte, aus denen hervorging, daß nicht der große Franzose Blaise Pascal 1642 die erste Rechenmaschine im modernen Sinne dieses Wortes gebaut hat, vielmehr in dessen Geburtsjahr 1623 bereits ein Tübinger Professor, Wilhelm Schickard solches leistete. Hammer legte diese spärlichen Unterlagen dem Kongress vor und schloß mit der Bemerkung, wie die Maschine, von der eine kleine Federskizze, lange verlorene Anlage zu einem Brief Schickard's an Kepler, ein äußerliches Bild gab, im Inneren konstruiert gewesen sei, und ob sie überhaupt funktioniert habe, das werde man wohl niemals erfahren.

Zwei Tage später widerfuhr Bruno Baron v. Freytag Löringhoff, einem der Teilnehmer dieses Kongresses, daß ihm früh am Morgen nach einer

weinseligen Nacht bei erneuter Betrachtung dieser Quellen in wenigen Sekunden alles klar wurde. Der Kongreßleiter Prof. *J. E. Hofmann*, der Mathematikhistoriker und bekannte Bearbeiter des Leibniz-Nachlasses, gab v. Freytag Gelegenheit, noch in den letzten Stunden des Kongresses seinen Rekonstruktionsvorschlag unter allgemeiner Zustimmung vorzutragen.

Selbstverständlich entstand nun der Wunsch, eine Rekonstruktion herzustellen und zu erproben. Das war leichter gesagt als getan und wäre ohne viel Hilfe von mancherlei Seite nie zustande gekommen. Kleine Mißgeschicke hielten die Fertigstellung auf, und so wurde es Januar 1960, bis das erste Exemplar im Auditorium-maximum der Tübinger Universität endlich einem großen Publikum vorgeführt werden konnte.

Eine ähnliche Motivation wie bei Schickard, der seinem Freund Kepler helfen wollte, lag bei Claude Pascal vor, dessen eigentliches Interesse der Mathematik galt. Sein Vater war Steuereintreiber in Paris. Im Gegensatz zu heute bezogen die Steuereintreiber der damaligen Zeit kein festes Gehalt, sondern waren prozentual an den erzielten Steuereinnahmen beteiligt. Da die Steuergesetzgebung schon damals recht kompliziert war, erforderten die einzelnen Berechnungen relativ lange Zeit. Um den Durchsatz und damit das Einkommen seines Vaters zu erhöhen, entwickelte Pascal 1645 eine Rechenmaschine, die ähnlich funktionierte, wie die Maschine von Schickard.

Pascal ließ seine Rechenmaschine in 50 Exemplaren bauen, von denen heute noch neun existieren. Er verbesserte seine nach ihm benannte "Pascaline" ständig, sodaß über Jahrzehnte hinweg fünf- bis zwölfstellige Rechenmaschinen entstanden. Die ersten Pascalinen schenkte er in der Hoffnung auf größere Bekanntheit und Unterstützung bedeutenden Persönlichkeiten, allen voran dem französischen Kanzler sowie der Königin Christine von Schweden. Pascal, der sich zeitweilig in Kreisen des französischen Hofes bewegte, entwickelte aus der Mode des Glücksspiels heraus auch die Grundzüge der Wahrscheinlichkeitsrechnung.

Eine weitere Verbesserung der digitalen Rechenmaschine erfolgte durch Leibniz. Durch die Einführung von Staffelwalzen und beweglichen Schlitten gelang ihm zwischen 1671 (erste Entwürfe) und 1690 (Fertigstellung) der Bau der ersten Maschine für alle vier Grundrechenarten (Vierspeziesmaschine). Leibniz war im übrigen auch einer der ersten, die sich intensiv mit der dualen Darstellung von Zahlen beschäftigte. Weitere digitale Rechenmaschinen wurden von Morland, Grillet, Polini, Leupold, Hahn, Stanhope, Müller und Thomas entwickelt. Versuche im 19. Jahrhundert, ein vorhandenes Original in einen einwandfreien funktionsfähigen Zustand zu versetzen, scheiterten zunächst. Erst im Jahr 1894 konnte man eines der Originale zur einwandfreien Funktion bringen, nachdem die Fertigungstechnik weiter vorangeschritten war. Das einzig bekannte Original der Leibnizschen Rechenmaschine (um

1700) befindet sich in der Niedersächsischen Landesbibliothek in Hannover.

## **5. Automaten und Lochkartenmaschinen**

Vor allem im 19. Jahrhundert gab es eine Reihe von technologischen Fortschritten, die sich indirekt auf die Weiterentwicklung der Rechenautomaten ausgewirkt haben. Hier ist vor allem die Entwicklung von programmgesteuerten Automaten zu nennen. Eingeleitet wurde diese Entwicklung durch Joseph-Marie Jacquard, der 1805 den automatischen Webstuhl erfand.

Es waren allerdings nicht nur die industriellen Einsatzmöglichkeiten, die die Entwicklung der Automaten vorantrieb. Es war auch die Begeisterung der damaligen Zeit für mechanisches Spielzeug und bei der begüterten Gesellschaft des 19. Jahrhunderts wurde es Mode, im Salon einen mechanischen Automaten aufzustellen. Meistens waren dies Puppen, die im Inneren eine kunstvolle Mechanik aufwiesen, durch die diese Puppen, angetrieben durch eine aufziehbare Feder, Bewegungen ausführen konnten. Bei einigen dieser Exemplare konnten unterschiedliche Bewegungen durch Lochkarten oder Lochscheiben gesteuert werden. Besonders schöne Exemplare findet man im Puppen- und Automatenmuseum in Monte Carlo. Diese Entwicklung wurde fortgesetzt durch die Musikautomaten, die ab Mitte des letzten Jahrhunderts in Musikhallen und Salons ihren Einsatz fanden.

Ihren ersten Einsatz für numerische Berechnungen fanden die Lochkarten in den, nach ihrem Erfinder Herman Hollerith benannten, Hollerith-Maschinen. Es waren elektrisch betriebene Zählmaschinen, bei denen die Dateneingabe über Lochkarten erfolgte. Damit waren diese Maschinen in der Lage, in sehr kurzer Zeit viele Daten statistisch auszuwerten. Ihre erste große Bewährungsprobe bestand diese Maschine bei der Volkszählung der USA im Jahre 1880. Sie wurden in den nächsten Jahren stetig verbessert und bald auch für vielfältige kaufmännische Rechenzwecke verwendet.

## **6. Die Rechenmaschinen von Babbage**

Das Verdienst, als erster die Grundgedanken heutiger Rechenanlagen entworfen zu haben, gebührt Charles Babbage (1791 - 1871). Obwohl von ihm seine Maschinen nie komplett fertiggestellt wurden, lieferte er die entscheidenden Beiträge zum Übergang von einfachen Rechenmaschinen zu programmgesteuerten Rechenautomaten.

Die Aufgabe, mathematische Tabellen maschinell zu produzieren und mathematische Regeln, in Maschinen einzubetten, die sich Babbage 1821

stellte, beschäftigte ihn sein gesamtes restliches Leben. Die oben aufgeführten Fehlerquellen waren ihm wohlbekannt und er schenkte viel Aufmerksamkeit der Eliminierung dieser Fehlerquellen. Seine Überlegungen zur Lösung waren die folgenden:

Da die Berechnungen von einer Maschine durchgeführt werden sollten, konnte dies theoretisch frei von Fehlern erfolgen, sofern die Maschine korrekt arbeitete. Da die Maschine auch über ein Druckwerk verfügen sollte, würden die Fehler des Kopiervorganges ebenfalls entfallen. Um den Druckvorgang fehlerfrei zu gestalten hat sich Babbage ein Sicherheitssystem überlegt. Er hat jeden Buchstaben mit einem bestimmten, individuellem Muster auf der Rückseite ausgestattet. Wenn nun alle Buchstaben eingespannt wurden, mußte ein Kontrolldraht durch die Buchstaben geschoben werden. Wenn dieser Draht blockierte, dann war ein Buchstabe falsch eingespannt, und man mußte diesen Fehler beheben, ansonsten konnte man nicht weiterarbeiten.

So war es möglich, auf einem Schlag, alle Fehlerquellen, die bis dahin zu Fehlern führten, zu beheben.

Babbage glaubte, daß seine Difference- Engine dieses leisten könne. Im Gegensatz zu den Maschinen von Schickard, Leibniz und Pascal war die Difference- Engine in der Lage, mehr als nur die vier Grundrechenarten durchzuführen. Vielmehr sollte diese Maschine automatisch Folgen von Funktionswerten ausgeben und diese anschließend ausdrucken können. Die Difference- Engine wurde so benannt, weil sie auf der Methode der finiten Differenzen basierte. Diese Methode war zu diesem Zeitpunkt wohl bekannt und wurde von den Kopfrechnern bei der Tabellenerstellung benutzt.

1823 beginnt Babbage mit dem staatlich geförderten Bau der Difference-Engine. Den Auftrag der Regierung erhielt er, nachdem er bis 1822 ein kleines Versuchsmodell einer Difference Engine fertiggestellt hatte, die lediglich aus sechs bis acht Ziffern bestand. Er beginnt mit der Entwicklung der Difference-Engine No.1, Babbages größtes Wagnis. Diese große Maschine benötigte 25.000 Teile und würde 8 Fuß hoch, 7 Fuß lang und 3 Fuß tief werden (2.4 x 2.1 x 0.9 m). Sie würde, sofern fertiggestellt, mehrere Tonnen wiegen.

Babbage heuerte Joseph Clement an, einem Werkzeugmacher und Zeichner. Die Kombination war zu damaligen Zeiten sehr geschätzt und kaum verbreitet. Dieser sollte Babbage die Maschine bauen. Die kommenden Jahre des Konstruierens, Entwicklens und Herstellens, waren die enttäuschendsten Jahre in Babbages Leben.

Die Arbeiten stoppten 1833 nach einem Streit mit Joseph Clement. Dieser machte von seinem Recht Gebrauch und nahm sämtliche Werkzeuge und die fähigsten Arbeiter mit. Mit der letzten Gehaltszahlung an Joseph Clement 1834, hatte die Regierung 17.470 Pfund, in den Bau der Difference-Engine

No1, investiert. Babbage selbst soll an die 20.000 Pfund investiert haben. Er bekam für seine Arbeit von der Regierung kein Gehalt, war aber durch das Erbe seines Vaters wohlhabend.

Um einen Vergleich hinsichtlich der bis dahin angefallenen Entwicklungskosten zu haben, seien die Kosten für den Bau der Lokomotive *John Bull*, von Robert Stephenson und Co. hergestellt und nach Amerika exportiert, angeführt. Sie betragen an die 785 Pfund.

Die Meinung, wie nahe Babbage vor der Fertigstellung war, variieren. Fakt ist allerdings, daß essentielle Teile, für den Berechnungsmechanismus fertiggestellt wurden, und die und so die endgültige Realisierung realistisch war. Auf Babbages Instruktion hin, hat Clement 1832 ein kleinen Teil der Maschine fertiggestellt. Dieser Teil sollte für Demonstrationszwecke benutzt werden und umfaßte etwa ein siebtel der gesamten Maschine.

Ende des Jahre 1834 hatte Babbage eine noch ehrgeizigere Idee. Er träumte von der Analytical-Engine, einer revolutionären Maschine, die Babbage den Ruf eines Computerpioniers einbrachte. Wegen der Erfahrungen, die er beim Bau der Difference- Engine gemacht hatte, wollte Babbage, sofern er die Analytical-Engine bauen würde, dieses auf eigene Kosten machen. Er suchte nach Alternativen, um hunderte von annähernd gleiche Teile zu erstellen und suchte nach Methoden, die Kosten zu reduzieren. Nur ein Teil dieser Maschine wurde, zu seiner Lebenszeit hergestellt. Dieses Teil und ein weiteres Teil, was Babbages Sohn nach Tod seines Vaters hergestellt hatte, sowie einige experimentelle Montagesysteme, sind die einzigen physischen Realisierungen dieser Errungenschaft des 19 Jahrhunderts.

Bei der Entwicklung seiner Analytical-Engine, die mit Lochkarten, die aus der Webstuhltechnik kamen, wie ein Computer programmiert werden sollte, hatte Babbage so viele Erneuerungen und Verbesserungen gemacht, daß er von 1847 bis 1849 die Difference- Engine No.2 entwickelte. Diese Difference-Engine leistete das gleiche, wie ihr Vorgängermodell, allerdings wurde vieles vereinfacht. So hatte diese Maschine nur noch 4.000 Teile ( mit Ausnahme des Druckmechanismus ) und hatte eine Höhe von 7 Fuß, eine Länge von 11 Fuß und eine Tiefe von 18 Inch (2.1 x 3.4 x 0.5 m) und wog 3000 Kilogramm. Die Ausmaße der Analytical- Engine waren vergleichbar, mit einer kleineren Lokomotive ( 4.6 x 6.1 x 1.8 m). Da die Ausmaße dieser Maschine so gigantisch waren, hatte man vermutlich geplant, sie, mit Hilfe einer Dampfmaschine, anzutreiben.

Babbage bot die Konstruktionszeichnungen der Difference-Engine No.2 der Regierung an. Diese lehnte aber 1852 ab. Damit wurde auch diese Maschine nicht mehr zu Babbages Zeiten gebaut. Erst fast 150 Jahre später im Jahre 1991 wurde diese Maschine von zwei Ingenieuren, Reg Crick und Barrie Holloway, nachgebaut. Der Nachbau ist im Science Museum in London zu

besichtigen.

Von Babbage selbst sind nur wenige Beschreibungen über seine Maschine bekannt, aber es gibt eine Reihe von Beschreibungen von anderen Autoren. So nahm Babbage 1840 eine Einladung nach Turin an, wo er seine Pläne und Konzepte vorstellte. Seine Ausführungen wurden von L.F. Menabrea, einem jungen Ingenieur-Offizier, aufgezeichnet und 1843 veröffentlicht. Dieser Beitrag wurde von Augusta ADA, Countess of Lovelace, der Tochter von Lord Byron, ins Englische übersetzt. Lady Lovelace war so von den Ideen von Babbage begeistert, daß sie sogar eine Reihe von Programmen für die *Analytical Machine*, so z.B. für die Berechnung der Bernoulli-Zahlen entwarf. Sie wird daher oft als die erste Programmiererin angesehen werden und ihr zu Ehren wurde auch eine Programmiersprache, die im Auftrag des amerikanischen Verteidigungsministeriums entwickelt und heute noch vor allem im militärischen Bereich eingesetzt wird, benannt. Andererseits waren ihre Beiträge zur Programmierung wohl nicht so bedeutend, wie allgemein angenommen, denn die meisten Programme wurden durch Söhne von Babbage entwickelt. Dennoch hat eine erhebliche Mythisierung ihrer Person stattgefunden. Ihr Beitrag zur Entwicklung der Analytical Engine und ihr Verhältnis zu Babbage war stets Gegenstand umfangreicher Spekulationen. Sie reichten von „Ada – die größte aller Huren in London“ bis zu einer von Babbages Ideen besessenen, die, als sie nicht mehr für ihn arbeiten konnte, „ihre Existenz als öde und sinnlos“ empfand und daraufhin sowohl ihrer Liebes- wie auch ihrer Wettleidenschaft erlag. Umgekehrt soll Babbage die Lücke, die Adas Tod 1952 hinterließ, nur schwer oder gar nicht überwunden haben.

Babbage hat die *Analytical Machine* genau wie die *Difference Engine* selbst nie konstruktiv beendet. Zum einen lag es daran, daß die technischen Möglichkeiten der damaligen Zeit noch sehr beschränkt waren und zum anderen war er ein Perfektionist. Letzteres mag auch eine der Ursachen sein, warum die Arbeiten an der *Difference Engine* in Streitereien endeten. Er selbst schreibt 1835 über seine Arbeiten an der *Analytical Machine* an M. Quetelet, Mitglied der Königlichen Akademie der Wissenschaften in Brüssel:

„The greatest difficulties of the invention are already overcome, but I shall need several more months to complete all the details and make the drawings.“

Er sollte sich irren, denn selbst 25 Jahre später war er immer noch nicht fertig. Nach seinem Tod 1871 setzte sein Sohn, Generalmajor Henry Babbage, seine Arbeiten fort. Er baute die zentrale arithmetische Einheit („mill“) sowie die Ausgabeinheit. Eine Vorversion konnte 1878 vorgestellt werden; die endgültige Version war erstmalig am 21. Januar 1888 betriebsbereit und berechnete eine Tafel der Ergebnisse der Multiplikation von mit 1 bis 44.



Henry Babbage führte die von ihm gebauten Teile der *Analytical Machine* bis zum Beginn dieses Jahrhunderts auf verschiedenen Tagungen und Ausstellungen vor. Einige andere nahmen sich den Entwürfen seines Vaters an und konstruierten ähnliche Maschinen. Zu nennen sind vor allem Pery Ludgate, Torres y Quevedo und Louis Couffignal. Selbst Aiken hat sich mit der *Analytical Machine* befaßt, bevor er mit Unterstützung von IBM die *Harvard Mark 1* entwickelte, wie eine Veröffentlichung von ihm zeigt. Sein Studium der Arbeiten von Babbage war offensichtlich nicht sehr intensiv, da er sonst sicherlich z.B. das bereits von Babbage vorgesehene Konzept der bedingten Verzweigung realisiert hätte.

## 7. Die ersten programmierbaren Rechner

Den Verdienst, den ersten wirklich frei programmierbaren funktionsfähigen Rechner konstruiert zu haben, gehört Konrad Zuse. Nach dem Studium und einer kurzen Tätigkeit als Statiker bei den Henschel-Flugzeugwerken wandte er sich ab 1935, im Alter von 25 Jahren, dem Bau einer Rechenmaschine zu. Im Jahr 1936 waren die Konstruktionspläne für einen Rechner mit Gleitpunktarithmetik, der über ein gelochtes Ingotblech gesteuert werden konnte, fertig. Die Befehle waren 3-Adreßbefehle mit zwei Operanden- und einer Ergebnisadresse. Leider wurde seine erste Maschine, die 'Z1', nie vollständig funktionsfähig, da er erfahren mußte, daß die Mechanik für die von ihm verfolgten Ziele nicht flexibel genug war. Auch hatte er immer wieder Finanzierungsprobleme. Ein wesentlicher Durchbruch für die weiteren Arbeiten ergab sich aus der Zusammenarbeit mit Helmut Schreyer, einem Pionier des „elektronischen“ Rechnens. Er erfand als Doktorand an der TH Berlin-Charlottenburg ab 1937 die Grundkomponenten zur Realisierung der Grundoperationen Konjunktion, Disjunktion und Negation sowie für Speicherelemente (Flip-Flops) auf der Basis von Röhren.

Schreyer erfand eine geschickte Kombination von Röhren und Glimmlampen, wobei die Röhren die Funktion der Wicklung eines elektromechanischen Relais und die Glimmlampen die Funktion der Kontakte übernahmen, und baute eine kleine Relaiskette auf. Diese Schaltung wurde 1938 im kleinen Kreis der Technischen Hochschule vorgeführt und die Vision einer elektronischen Rechenanlage erläutert. Da die größten elektronischen Geräte der damaligen Zeit Sendeanlagen mit einigen hundert Röhren waren, erzeugte die Idee, eine Rechenmaschine mit zweitausend Röhren und einigen tausend Glimmlampen zu bauen, nur Kopfschütteln.

Hierdurch ernüchtert, plante Zuse den Bau einer Relaismaschine. Eine finanzielle Unterstützung bekam er nun durch Dr. Kurt Pennke, einem Fabrikanten von Tischrechenmaschinen. Das zweite Gerät, die 'Z2', setzte sich aus dem mechanischen 16-Wort-Speicher der 'Z1' und einem neuen, mit elektromagnetischen Relais aufgebauten Rechenwerk zusammen. Das Gerät

war 1940 vorführbereit und wurde der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt in Berlin-Adlershof erfolgreich vorgeführt. Bemerkenswerterweise war dies praktisch der einzige erfolgreiche Einsatz der 'Z2'. Das dauernde Versagen hatte einen einfachen Grund: Zuse hatte in seiner Materialnot alte Telefonrelais benutzt und war daher gezwungen gewesen, Ruhekontakte zu Arbeitskontakten umzubauen. Er hatte jedoch übersehen, daß die oberen Kontaktfedern eine Auflage brauchten, um die nötige Vorspannung für den Kontaktdruck zu erwirken.

Diese Vorführung der 'Z2' hatte genügt, die Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt zu veranlassen, die 'Z3' mitzufinanzieren. Sie war 1941 fertig und das erste Gerät, das wirklich voll funktionsfähig alle wichtigen Elemente einer programmgesteuerten Rechenmaschine enthielt. Die Z3 wurde während des Krieges mehreren Dienststellen vorgeführt; sie wurde indes nie im Routinebetrieb eingesetzt. Sie wurde 1944 im Bombenkrieg zerstört und 1960 nachgebaut und im Deutschen Museum in München aufgestellt.

1942 begann Zuse mit dem Bau der Z4, einer Weiterentwicklung der Z3. Auch die Z4 war noch voll auf die Elektromechanik abgestellt, wie es dem damaligen Stand der Technik entsprach. Für das Speicherwerk empfahl sich die mechanische Konstruktion; Rechenwerk und Steuerungen wurden mit Relais und Schrittschaltern aufgebaut. Um dem Gerät von der Programmierseite her eine größere Flexibilität zu geben, wurden mehrere Ausbaustufen mit mehreren Abtastern und Lochern vorgesehen. Die Arbeiten an der Z4 wurden schon stark durch den Bombenkrieg behindert. Die Z4 mußte während des Krieges innerhalb Berlins dreimal ihren Platz wechseln.

Ende 1944 stand die Z4 kurz vor ihrer Vollendung, als kriegsbedingt ein Weiterarbeiten in Berlin nicht mehr möglich war. Die Z4 wurde mit dem Zug nach Göttingen transportiert, wobei sie mit viel Glück mehrere Bombenangriffe überstand. Der Abtransport aus Berlin war nur möglich, weil die damalige Bezeichnung der Maschine nicht Z4, sondern V4<sup>1</sup> lautete. Durch den Gleichklang dieser Abkürzung mit der für die sog. Vergeltungswaffen V1 und V2 und der von seinem Mitarbeiter, Dr. Funk erfundenen Parole „ Die V4 muß aus Berlin in Sicherheit gebracht werden“ , konnten die Behörden über den wahren Inhalt der Fracht getäuscht werden. In Göttingen, in den Räumen der Aerodynamischen Versuchsanstalt, konnte die Z4 dann fertiggestellt werden. Danach wurde sie vor den anrückenden Engländern nach Hinterstein im Allgäu in Sicherheit gebracht und in dem Keller eines Hinterhauses versteckt. Obwohl sowohl die Franzosen als auch die Engländer nach ihr suchten, blieb sie unentdeckt. Bis zur Währungsreform 1948 ruhten die Arbeiten an der Z4. Zwischenzeitlich war Zuse 1946 von Hinterstein nach Hopferau bei Füssen umgezogen, wo er die Z4 in einem ehemaligen

---

1

Pferdestall unterbrachte.

Eines Tages - es war im Jahr 1949 - tauchte ein vornehmer Wagen aus der Schweiz in Hinterstein auf. Professor Stiefel von der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich war zu Ohren gekommen, daß irgendwo in einem kleinen Dorf im Allgäu ein Computer zu finden sei. Er war eben von einer Studienreise in die USA zurückgekommen, wo er „viele schöne Maschinen in schöne Schränken mit Chromleisten“ gesehen hatte. Der Professor war nicht wenig überrascht, als er die äußerlich doch schon ein wenig ramponierte Z4 auch noch in einem Pferdestall aufgebaut fand. Trotzdem diktierte er Zuse eine einfache Differentialgleichung, die Zuse sofort programmieren, auf der Maschine vorführen und lösen konnte. Danach schloss er mit Zuse einen Vertrag: die Z4 sollte - nach gründlicher Überholung und Reinigung - an die ETH ausgeliehen werden.

1950 wurde die Z4 verladen und nach Zürich geschafft. Es war ihr sechster Transport. Zur feierlichen Inbetriebnahme der Z4 noch im selben Jahr waren etwa hundert Gäste aus Industrie und Wissenschaft geladen. Alles war gut vorbereitet; die Maschine hatte vormittags ihre Testläufe gemacht, nachmittags um vier sollte die Vorführung stattfinden. Nach dem Mittagessen aber bockte die Maschine plötzlich und sprühte an den unglaublichsten Stellen Funken. Kurzschlüsse brannten ganze Leitungen durch. Nichts, aber auch nichts funktionierte mehr. Es begann ein großes Rätselraten. Prof. Stiefel, der mit seinen Mitarbeitern Rutishauser und Speiser für das Z4-Projekt verantwortlich war, blieb äußerlich ruhig; aber im Geiste sah er sich gewiß schon gründlich blamiert. Man darf nicht vergessen, daß damals einiger Mut dazu gehörte, einen Computer ausgerechnet aus Deutschland kommen zu lassen. Zuse suchte eine gute Stunde, dann hatte er den Fehler gefunden: Das Gerät hatte für Ansprech- und Haltekreise zwei verschiedene Spannungsniveaus, sechzig und achtundvierzig Volt, und man hatte einen neuen Umformer in Betrieb genommen, der diese Spannungen liefern sollte. Leider hatte man dabei nicht beachtet, daß die Polung beim Einschalten des Umformers willkürlich erfolgte, und zwar unabhängig für beide Spannungen. So konnten an Stellen, an denen sonst nur zwölf Volt Spannungsdifferenz herrschten, plötzlich einhundertacht Volt Spannung auftreten. Das hatte nicht gutgehen können. Ihm blieb genau eine halbe Stunde Zeit, den Fehler abzustellen und die durchgebrannten Leitungen zu ersetzen. Er schaffte es; der leicht brenzlige Geruch wurde durch Lüften beseitigt und um sechzehn Uhr waren die illustren Gäste Zeugen einer einwandfreien Vorführung und die Z4 nahm in Zürich ihren Betrieb auf. Die Z4 arbeitete mit der Zeit so zuverlässig, daß man sie nachts unbewacht durchlaufen ließ.

Nach fünfjähriger Arbeit in Zürich übersiedelte die Z4 noch einmal in ein französisch-deutsches Forschungsinstitut in Saint Louis und blieb dort

weitere fünf Jahre in Betrieb. Für die ETH Zürich entwickelten Stiefel, Speiser und Rutishauser einen eigenen Computer, die ERMETH.

*Damit ist dieser kleine Überblick über die Geschichte der Entwicklung von Rechenautomaten abgeschlossen. Wer sich intensiver mit dieser Materie beschäftigen möchte, kann weitere Details und insbesondere zahlreiche Abbildungen auf der Webseite meines Lehrstuhls*

wwwmath1.uni-  
muenster.de:8000/info/Professoren/Lippe/lehre/skripte/index.html  
*nachlesen.*

*Viel Spass*