Die Geschichte der *Rechenautomaten* von der *Antike* bis zur *Neuzeit*

Vortrag an der Universität Kassel
am 22. November 2013

auf Einladung der

Kurhessischen Gesellschaft
für
Kunst und Wissenschaft

Prof. Dr. Wolfram-M. Lippe

Einführung

Bei der Vorbereitung zu diesem Vortrag stand ich zunächst vor dem Problem: Das Fach, in dem ich mein Diplom abgelegt habe und für das ich vor über dreißig Jahren an die Universität Münster berufen wurde, um es neu aufzubauen, heißt „Informatik“. Es lag also nahe, als Thema „Die Geschichte der Informatik“ zu wählen.

Da dieser Begriff jedoch ein Kunstwort unserer Zeit ist, hätte dieser Titel nur den kleinsten Teil der Geschichte abgedeckt, denn die Geschichte der Rechentechnik und Informationsverarbeitung ist sehr alt.

Aber bevor ich mich in die Frühzeit der Menschheit begebe, lassen Sie mich noch kurz etwas zu dem Wort „Informatik“ sagen.

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 domains 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 im Jahre 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 Erstausstattung 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.

Informationsverarbeitung in der Frühzeit der Menschheit

Betrachtet man die Architektur eines Computers, so besteht er - stark vereinfacht - aus drei Komponenten:

- Datenspeicher, in dem Daten und Befehle gespeichert sind
- Verarbeitungseinheit (Rechenwerk), in dem Daten verknüpft werden
- Kontrolleinheit, die der der Ablauf überwacht wird.

Die Informationsverarbeitung durch den Menschen begann mit der Entwicklung von Speichertechnologien.

Schon in der Frühzeit sahen sich die Menschen mit vielen Phänomenen der Natur konfrontiert: die Wechsel von Tag und Nacht, die Bewegungen und Phasen des Mondes, die Bewegungen der Sonne und der Gestirne sowie die jahreszeitlich bedingten Klimaschwankungen. Sie erkannten bald, dass zwischen diesen Phänomenen direkte Zusammenhänge bestehen. Kenntnisse über diese Phänomene waren für das tägliche Leben von elementarer Bedeutung. Daher war der Kalender als Begleiterscheinung des beginnenden Ackerbaus bei allen Völkern anzutreffen, wenn auch in unterschiedlicher Vollendung.

Mit der Verstärkung des Handels und der damit verbundenen Entstehung von Handelsrouten waren darüber hinaus gute Kenntnisse in der Ortsbestimmung und der Navigation, sowohl zu Lande als auch zu Wasser, notwendig. Auch mussten Informationen über Handel und Waren festgehalten werden.

Es gab daher im Wesentlichen vier – zum Teil zusammenhängende - Bereiche, die dazu führten, dass man Techniken zur Speicherung von Daten entwickelte:

- Astronomie
- Handel
- Navigation
- Kalenderwesen

Insbesondere zur Gewinnung von Erkenntnissen in der Astronomie und dem Kalenderwesen waren Beobachtungen und Messungen über lange Zeiträume notwendig, die gespeichert und verglichen werden mussten. Zur Konstruktion der Beobachtungsgeräte, der Einrichtungen zur Speicherung von Daten sowie der Einrichtungen zur Vorausberechnung des Eintritts von speziellen Ereignissen verwendete man diejenigen Materialien, die den Menschen der Frühzeit zur Verfügung standen: Holz, Stein und später Metall. Was bis heute überwiegend erhalten blieb, sind die, teils monumentalen, Steinkonstruktionen.

In Deutschland gehört hierzu u.a. die Kreisgrabenanlage von Goseck. Sie liegt auf einem Plateau oberhalb des Saaletals in Sachsen-Anhalt und besteht aus einem deutlich erkennbaren, annähernd kreisrunden Ringgraben von etwa 71 m Durchmesser. Die Anlage hat drei grabengesäumte Zugangswege, die nach Norden, Südwesten und Südosten ausgerichtet sind. Das Besondere der Anlage ist, dass die beiden südlichen Tore und Zugangswege vom Mittelpunkt der Anlage aus gesehen mit einer Genauigkeit von drei bis vier Tagen auf den Sonnenaufgang und -untergang zur Wintersonnenwende um 4800 v. Chr. ausgerichtet sind und das nördliche Tor annähernd genau auf den astronomischen Meridian, also nach Norden weist.

Die gespeicherten Himmelsdaten in der Kreisgrabenanlage von Goseck:
Die gelben Linien stellen rechts die Richtung des Sonnenaufgangs
und links die des Sonnenuntergangs zur Wintersonnenwende um 4800 v. Chr. dar.
Die senkrechte Linie markiert den astronomischen Meridian.

Aber nicht nur in Deutschland, sondern in der ganzen Welt finden sich derartige astronomische Datenspeicher, fast stets im Zusammenhang mit Tempelanlagen. In Malta dienten die, zum Teil unterirdischen, steinernen Tempelanlagen mit ihren genau berechneten Mauerdurchlässen als Datenspeicher. In England, Irland und Schottland finden sich die „Henges“. Der Begriff wurde 1932 von Thomas Kendrick geprägt, der später Kustos für die British Antiquities im British Museum wurde. Er benutzte dabei den Suffix von Stonehenge, der wohl bekanntesten Anlage. Der Begriff „henge“ stammt aus dem Angelsächsischen und bezeichnet eine torartige Struktur.

Stonehenge

Stonehenge ist derartig in nordöstliche Richtung ausgerichtet, dass die Sonne am Tag der Sommersonnenwende vom Altarstein gesehen genau über dem Heel Stone aufgeht. Die

Ausrichtung erfolgte ferner so, dass am Morgen des Mittsommertags, wenn die Sonne im Jahresverlauf am nördlichsten steht, die Sonne direkt über dem Fersenstein aufging und ihre Strahlen in gerader Linie ins Innere des Bauwerks, zwischen die Hufeisenanordnung, eindrangen. Es ist unwahrscheinlich, dass eine solche Ausrichtung sich zufällig ergab. Der nördlichste Aufgangspunkt der Sonne ist direkt abhängig von der geografischen Breite. Damit die Ausrichtung korrekt ist, muss sie für Stonehenges geografische Breite von 51° 11' genau errechnet oder durch Beobachtung ermittelt worden sein.

Aber auch außerhalb Europas finden sich derartige Anlagen. Die architektonisch wohl spektakulärste Anlage findet sich in der Maya-Stadt Chichén Itzá auf der Halbinsel Yucatán zwischen Cancun und Merida. Sie gehört zu den bekanntesten Zeugnissen präkolumbianischer Kultur. Die früheste nachweisbare Datierung stammt aus 618 n. Chr., ihre Gründung dürfte jedoch bereits im 5. Jahrhundert erfolgt sein. Das bekannteste Bauwerk ist die Pyramide des Kulkulkán (El Castillo). Kukulkán ist auch unter den Namen Quetzalkoatl und Kukumaz bekannt. Quetzalkoatl war ein Gott und Kulturbringer der Maya-Kulturen und der Azteken. Quetzalkoatl kam nach den Überlieferungen der Azteken vom Himmel, gründete das Aztekenreich und fuhr auf einem großen Schiff aus Schlangen über das Meer davon. Er kündigte an, eines Tages zurückzukehren, was den Spaniern die Eroberung Südamerikas ermöglichte, da die Maya sie zunächst für die zurückkehrenden Götter hielten.

Hinter dem 25 m hohen Bauwerk, das in seinen Ursprüngen bereits um das Jahr 800 im reinen Maya-Stil entstand, verbirgt sich eine tiefe kosmische Symbolik. So lassen sich die neun Plattformen als die Verkörperung der neun Unterwelten interpretieren, die durch die Treppen bedingte Aufteilung in 18 Teilabschnitte je Seite hingegen als die 18 Monate des Maya-Kalenders.

Die Pyramide des Kulkulkán

Die Addition der 91 Stufen an allen vier Seiten ergibt zusammen mit der Plattform 365, die Anzahl der Tage eines Jahres also, und die 52 reliefartig hervorspringen-den Verkleidungsplatten jeder Flanke versinnbildlichen wiederum den wichtigen 52jährigen Kalenderzyklus in der Zeitrechnung der Maya.

Am Fuße der Treppen wachen Schlangenköpfe, Symbole des Kukulkän, der „gefiederten Schlange“, die in Chichén Itzá eine zentrale Rolle spielt. Besonders beeindruckend ist der Besuch während des Äquinoktiums, der Tag- und Nachtgleiche am 21./22. März und 22./23. September. Zwischen 12 und 17 Uhr verwandelt sich dann die Einfassungsmauer der nördlichen Treppe, deren Abschluss die Schlangenköpfe bilden, im Spiel von Licht und Schatten in einen gewundenen Schlangenkörper, der sich die Pyramide hinabzuwinden scheint. Erst vor etwa 30 Jahren wurde dieses Phänomen, das in sich abschwächender Form jeweils etwa eine Woche sichtbar ist, entdeckt und stellt einmal mehr den hohen Stand der präkolumbianischen Astronomie unter Beweis.

Chichén Itzá besitzt auch ein eigenes Observatorium. Spiralförmig windet sich ein Gang in das Innere des Rundbaus, der auf einer zweistufigen Plattform errichtet ist. Durch schmale Fensterschlitze dringen nur zweimal im Jahr die Sonnenstrahlen für Sekunden bis in das Zentrum des Baus. Auf diese Weise bestimmten die Priester der Maya die Zeit und stellten ihre Kalenderberechnungen an, wodurch sie über den perfektesten Kalender der Welt verfügten.

Frühe Miniaturspeicher

Schon früh setzte aber auch eine Entwicklung ein, die man immer wieder beobachten kann: Das Streben nach Miniaturisierung. Zu erwähnen sind vor allem die Goldhüte und die Himmelsscheibe von Nebra.

Goldhut

Von den Goldhüten existieren vier Exemplare, die an unterschiedlichen Orten gefunden wurden. Zunächst hielt man diese Hüte für Kopfbedeckungen von Priestern, die mit Ornamentik reich geschmückt waren. Inzwischen haben genauere Untersuchungen der Ornamentik gezeigt, dass diese Ornamentik eine Fülle von astronomischen bzw. kalendarischen Informationen enthält, die auch kompliziertere Berechnungen und Vorhersagen erlauben. Ihr Alter wird auf 1500 – 1000 v. Chr. datiert. Es ist auffallend, dass die Anzahl der Ornamente bei allen Hüten gewisse Gemeinsamkeiten aufweisen.

Insbesondere der in Berlin aufbewahrte Goldhut wurde diesbezüglich intensiv untersucht. Sein Fundort ist unbekannt.

Der 74,5 cm hohe, aus einem Stück Gold nahtlos in einem Stück papierdünn getriebene, und 490 Gramm schwere Hohlkörper stammt aus der späten Bronzezeit.

In seiner Ornamentik findet man den Saroszyklus: 18 Sonnenjahre und 11 Tage, oder 223 synodische = Phasenmonate oder 18 Mondjahre zu 354 Tagen plus sieben Phasenmonate. Dieser kann benutzt werden um einerseits Finsternisse vorherzusagen und andererseits für den Kalender den Mondzyklus, also die Länge des Phasenmonats, besser bestimmen zu können.

Wie aus der Tabelle ersichtlich ist, finden sich auf dem Berliner Hut die wichtigen Zahlen 354, 223 (224) und 207.

Die Zahl 354 gibt die Anzahl der Tage eines Mondjahres an, die Zahl 223 gibt die Anzahl der Mondmonate in einem Saroszyklus an und die Zahl 207 sind die Anzahl der Tage der sieben Phasenmonate.

Prof. Menghin vom Museum für Vor- und Frühgeschichte in Berlin hat nachgewiesen, dass die Ornamentik ein System beinhaltet welches als luni-solares Kalenderwerk interpretiert werden kann, das auf der Kenntnis des Mondzyklus von 19 Jahren basiert.

Berlin		Schifferstadt		Avanton		Ezelsdorf	
Zone	Symbolzahl	Z	S	Z	S	Z	S
2	22	2	19	3	16	3	19
3	14	3	22	4	17	4	27
4	15	4	22	5	19	5	27
5	19	5	24	6	19	6	28
5	19	6	25	7	20	7	22
6	18	7	27	8	21	8	39
7	19	8	35	9	22	9	30
8	21	9	35	10	23	10	32
9	19	10	46	11	23	11	19
10	19	11	55	12	21	12	20
11	20			13	22	13	45
12	20					14	17
13	20						
14	21						
15	15						
16	19						
17	33						
18	21						
Zonen 2-18: 354 Zonen 3-13: 223 Zonen 2-13 ohne 5: 207		Zonen 2-11 + Zonen 3-4: 354 Zonen 6-11:223		Zonen 3-13: 223		Zonen 3-10 und Zonen 7-14: 224	

223 Mondmonate = Saroszyklus
354 Tage = 1 Mondjahr
207 Tage = 7 Mondmonate

Die Sarosperioden auf den Goldhüten

Als Axiom gilt ihm dabei, dass nicht die einzelnen Scheibensymbole, sondern die konzentrischen Ringe um die Buckel die Zähleinheit bilden. Er führt aus:

„Dargestellt sind mit den 1701 Ringen plus 2 x 19 liegenden Mondsicheln bzw. Mandelaugenmuster in den insgesamt 19 Zierzonen auf dem Berliner Goldhut mit 1739 Zeichen 57 Monate beziehungsweise 59 synodische Monate und damit ein Viertel des Mondzyklus (Meton'scher Zyklus). Bei der Zählung der Zeichenmengen in den empirisch definierten Zonenblöcken im Rhythmus von drei Monaten ergeben sich im Abstand von neun Monaten jeweils exakte Übereinstimmungen mit den Monatszyklen (30,437 Tage) des tropischen Jahres von 365,24 Tagen. Die Werte der Lunationen (29,531 Tage) nähern sich im gleichen Rhythmus der synodischen Monate bis auf geringfügige Differenzen den absoluten Werten an. Bei der Synchronisierung beider Tabellen zeigen die häufigen Übereinstimmungen der Werte die Geschlossenheit des Systems im Ornament des Berliner Goldhutes auf, welches durchaus auch praktisch genutzt werden konnte. Der Mondzyklus Meton'scher Zyklus) umfasst 235 synodische Monate, die 22g solaren Monaten entsprechen. Er ist in drei Zonen auf der Krempe und der Kalotte des Goldhutes mit der entsprechenden Zahl der Kreise in den Buckelscheiben abgebildet und ermöglicht die digitale Darstellung der sieben Schaltungen zur Synchronisation der synodischcn mit den solaren Monaten. Aus der Verbindung der Tagesberechnungen im vertikalen Zählsystem der 19 Zonen des Goldhutes mit der Monatszählung in den horizontalen Zonen auf der Krempe kann theoretisch ein digitaler Rechner konstruiert werden, der - astronomisch fixierte Daten vorausgesetzt - in der Zeit um I000 v. Chr. Kalenderberechnungen von erstaunlicher Exaktheit ermöglichte.“

Der wohl bekannteste miniaturisierte Datenspeicher ist jedoch die Himmelsscheibe von Nebra. Ihre Entdeckung liefert Stoff für einen Kriminalfilm.

Am 23. Februar 2002 trafen sich in der Kellerbar des Hilton-Hotels in Basel einige Herren. Einer von ihnen war Harald Meller, der Leiter des Landesmuseums für Vorgeschichte in Halle. Ihm war im Januar 2002 eine Bronzescheibe, datiert 1600 v. Chr., mit der frühesten bekannten Darstellung des Kosmos angeboten worden. Er erinnerte sich an ein Gespräch mit Wilfried Menghen, dem Direktor des Berliner Museums für Vor- und Frühgeschichte, der ihm erzählt hatte, dass ihm im Jahr 2000 Fotos einer derartigen Scheibe gezeigt wurden und sie ihm für eine Million zum Erwerb angeboten wurde; er das Angebot jedoch abgelehnt hatte. Meller setzte sich jedoch mit dem Kultusministerium und dem Landeskriminalamt in Verbindung und gemeinsam beschlossen sie, den Fund zu sichern. Ein fingiertes Kaufgespräch wurde vereinbart, um die Echtheit des Fundes zu prüfen und das Geschäft abzuwickeln. Um zu verschleiern, dass deutsche Behörden involviert waren, wurde als Treffpunkt Basel in der Schweiz gewählt.

Zunächst präsentieren die Hehler ein wunderbar tauschiertes Bronzeschwert, das sie zusammen mit der Scheibe gefunden hatten. Meller erkennt sofort, dass es original ist und auf 1600 v. Chr. datiert werden kann. Dennoch gibt er vor, es mittels zweier Chemikalien auf seine Echtheit prüfen zu wollen. Das Experiment geht beim ersten Mal schief, da er in seiner Aufregung die Reihenfolge der Anwendung vertauscht. Er musste dauernd an den Hinweis eines Schweizer Polizeibeamten denken, der dieses Treffen überwachte: „In solchen Situationen ist schon Schlimmes passiert. Seien Sie vorsichtig.“

Die Himmelsscheibe von Nebra

Meller drängt jedoch auf die Präsentation der Scheibe, von der er weiß, dass sie bei Echtheit eine der wichtigsten archäologischen Funde des 21. Jahrhunderts wäre. Endlich übergibt ihm einer der Hehler ein Päckchen. Es ist tatsächlich eine Scheibe, grob gereinigt und von der Größe eines Tellers. Man erkennt eine goldene Sonne, einen goldenen Mond und ein Feld goldener Sterne, die die Plejaden darstellen könnten. Falls die Scheibe genauso alt ist wie das Schwert, wäre sie drei Jahrhunderte älter als die berühmten ägyptischen Sonnenkarten. Nach einer eingehenden Untersuchung der Scheibe wird der zuvor telefonisch abgesprochene Preis von 333.000 Euro für den kompletten Fund (Scheibe und die Beigaben aus dem Fund, drei

Schwerter, zwei Beile, zwei Spiralarmreife und ein Meißel) akzeptiert. Auf ein vereinbartes Zeichen hin, nehmen dann sechs Polizeibeamte die Hehler fest.

Die anschließenden Untersuchungen ergaben ein ziemlich genaues Bild vom Zeitpunkt des Fundes bis zur Verhaftung. Die beiden Grabräuber Henry Westphal und Mario Renner hatten am 4. Juli 1999 auf der Suche nach Militaria mit ihren Metallsuchgeräten die Scheibe und die Beigaben in einer Steinkammer auf dem Mittelberg bei Nebra in Sachsen-Anhalt gefunden. Sie verkauften den Fund für 31.000 Mark an einen Kölner Händler weiter. Er wurde dann zunächst dem Berliner Museum angeboten. Da dieses ablehnte, wandte man sich zunächst an ein Museum in München und, ebenfalls ohne Erfolg, an den damaligen Landesarchäologen von Sachsen-Anhalt. Danach wechselte die Scheibe auf dem Schwarzmarkt zweimal den Besitzer, bis sie Meller angeboten wurde.

Die Himmelsscheibe von Nebra dürfte eines der am intensivsten untersuchten archäologischen Fundstücke sein. Neben dem Landesamt für Denkmalpflege waren an diesen Untersuchungen hauptsächlich beteiligt: der Astronom W. Schlosser (Hauptobservator am Astronomischen Institut der Ruhr-Univerisät Bochum), der Archäochemiker E. Pernicka (Institut für Archäometrie der Bergakademie Freiberg (Sachsen), die Spezialistin für Religionen der Bronzezeit M. J. Aldhouse-Green (Universität Wales), das Landeskriminalamt Sachsen-Anhalt und die Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung in Berlin (Untersuchungen mit Hilfe des Teilchenbeschleunigers BESSY).

Mit den verschiedenen Analysemethoden konnte eine genaue Datierung vorgenommen werden. Sie ergab, dass die Himmelsscheibe um 1600 v. Chr. im Boden vergraben wurde. Bei einem Stück Birkenrinde, welches an einem der Schwerter gefunden wurde, konnte man mit Hilfe der Radiokohlenstoffdatierung feststellen, dass es aus der Zeit um 1600 bis 1560 v. Chr. stammt. Das Herstellungsdatum der Scheibe wird auf 2100 bis 1700 v. Chr. geschätzt.

Die umfangreichen metallurgischen Untersuchungen ergaben äußerst interessante Ergebnisse über die bronzezeitlichen Handelsverbindungen und –wege. So stammt das Kupfer für die Scheibe und die beigefügten Waffen und Werkzeuge aller Wahrscheinlichkeit nach vom Mitterberg bei Bischhofshofen in Österreich. In der Bronzezeit wurde dort dieses Metall bereits 200 m unter Tage abgebaut. Die Goldauflagen weisen keine einheitliche Zusammensetzung auf. Der überwiegende Teil stammt wohl aus Siebenbürgen in Rumänien und hat einen Silberanteil von 21 Prozent. Die an den Rändern eingelegten Goldbögen haben eine andere Zusammensetzung von lediglich 15 Prozent Silber. Diese Bögen wurden später hinzugefügt.

Die Himmelsscheibe von Nebra wurde während ihres Gebrauchs mehrmals modifiziert. Man kann insgesamt vier Phasen unterscheiden:

Phase 1
Im ursprünglichen Zustand bestanden die Goldapplikationen aus 32 runden Plättchen, einer größeren runden Scheibe sowie einer sichelförmigen Platte. Sieben der Plättchen sind oberhalb der Scheibe und der Sichel eng gruppiert, die übrigen gleichmäßig über die Scheibe verteilt.

Phase 2
Zu einem späteren Zeitpunkt wurden am linken und rechten Rand die beiden sogenannten „Horizontbögen“ angebracht. Ihr Gold ist von anderer Zusammensetzung. Ein Goldplättchen auf der linken Seite wurde etwas nach innen versetzt, um Platz für den linken Bogen zu schaffen. Der Bogen auf der rechten Seite wurde über zwei Plättchen befestigt, so dass jetzt nur noch 30 sichtbar sind.

Phase 3
Die zweite Ergänzung betrifft einen weiteren Bogen am unteren Rand, die sogenannte „Sonnenbarke". Dieser Bogen ist durch zwei parallele Linien strukturiert. An den Außenkanten des Bogens wurde die Bronzeplatte mit feinen Schraffuren versehen.

Phase 4
Als die Scheibe vergraben wurde, fehlte bereits der linke Horizontbogen. Außerdem hatte man am Rand der Scheibe 40 sehr regelmäßige und etwa drei Millimeter große Löcher angebracht.

Die Himmelsscheibe besitzt einen Durchmesser von ca. 32 Zentimetern. In der Mitte hat sie eine Stärke von ca. 4,5 Millimetern und am Rand eine Stärke von 1,7 Millimetern. Ihr Gewicht beträgt ca. 2 kg. Bei ihrer Ausgrabung durch die Räuber wurde sie am Rand sowie an der großen runden Scheibe beschädigt.

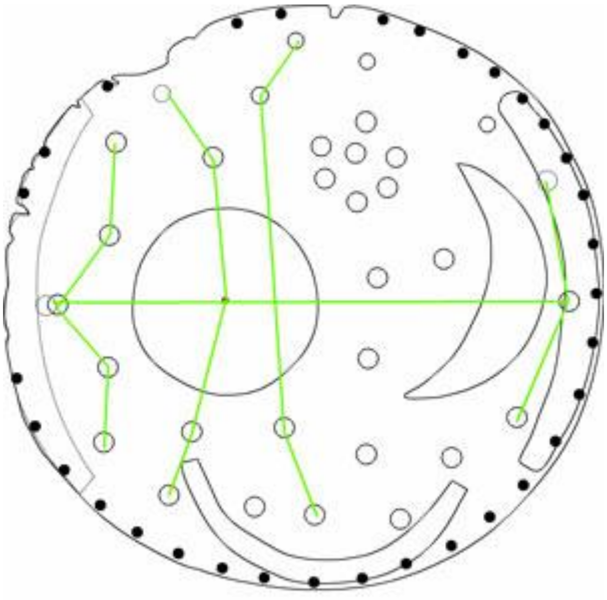
Hinsichtlich der auf der Himmelsscheibe gespeicherten Informationen und den dadurch gegebenen Berechnungsmöglichkeiten muss man auch den Fundort berücksichtigen. Der Mittelberg, auf dessen Kuppe die Himmelsscheibe gefunden wurde, ist ein Hügel von 252 m Höhe. Auf ihm legten die Archäologen Bauten frei, die möglicherweise die Reste einer der ältesten Sternwarten der Welt sind. Sie muss sehr lange in Gebrauch gewesen sein, denn in der Eisenzeit wurde sie noch mit einem Wall umgeben.

Das Besondere ist die Lage des Mittelbergs. Man geht davon aus, dass während des Gebrauchs der Anlage die Bergkuppe gerodet war, so dass man freie Sicht hatte. Von Mittelberg aus sind in der Ferne zwei markante Landmarken sichtbar: der Brocken im Harz im Nordwesten und der Kyffhäuser mit dem Kulpenberg etwas westlich des Brocken. Vom Mittelberg aus gesehen geht am Tage der Sommersonnenwende (21. Juni) die Sonne genau über dem Brocken unter, während am 1. Mai, dem Tag nach der Walpurgisnacht, die Sonne hinter dem Kyffhäuser versinkt. Der rechte noch erhaltene Horizontbogen bildet mit dem Mittelpunkt der Himmelsscheibe einen Winkel von ca. 82 Grad. Dies entspricht genau dem Winkel zwischen dem Ort des Sonnenuntergangs zur Sommersonnenwende und dem Ort des Sonnenuntergangs zur Wintersonnenwende. Hält man daher die Scheibe waagerecht und visiert mit dem rechten Rand des Horizontbogens den Brocken an, so zeigt der linke Rand auf den Ort des Sonnenuntergangs am 21. Dezember (Wintersonnenwende). Somit konnten der 1. Mai, der 21. Juni und der 21. Dezember kalendarisch bestimmt werden.

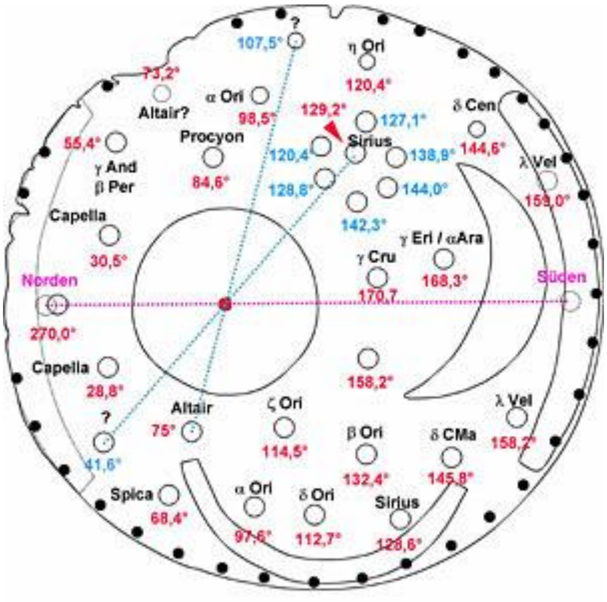
Die 32 kleinen kreisförmigen Goldplättchen werden als Sterne interpretiert. Sieben von ihnen werden als das Siebengestirn der Plejaden gedeutet. Legt man die zuvor geschilderte Ausrichtung hinsichtlich der Landmarken zugrunde, so sind die Plejaden am Westhimmel abgebildet. Die letzte Sichtbarkeit der Plejaden am Abendhimmel im Westen ist der 9. März. An dem Ort ihres Verschwindens wird dann die junge Mondsichel erstmalig sichtbar. Die letzte Sichtbarkeit am Morgenhimmel im Westen ist der 17. Oktober, an dem Vollmond herrscht. Beide Termine bilden traditionell das bäuerliche Jahr zwischen Beginn der Aussaat und Ende der Ernte. Interpretiert man die Sichel als Märzsichel und den großen Kreis als Oktobervollmond, so hat man eine Konstellation, wie sie nur auf der geographischen Breite Mitteldeutschlands vorkommt

Die übrigen 25 Sterne sind verstreut auf der Himmelsscheibe angebracht. W. Schlosser von der Ruhr-Universität Bochum interpretiert sie als ein „geordnetes Chaos", welches den Sternenhimmel an sich darstellen soll. N. Gasch verweist in einer Untersuchung jedoch darauf, dass die Anordnung einige Symmetrien aufweist. Legt man die Achse, die durch den am weitesten links stehenden und später versetzten Stern und den Mittelpunkt der großen Scheibe verläuft, als Nord-Süd-Achse fest, so lassen sich die Auf- und Untergangsazimuten einiger der hellsten Sterne interpretieren. Damit hätten sie die Bedeutung von

Visierungspunkten. Die Symmetrie würde sich bei dieser Interpretation aus der Beobachtung von Auf- und Untergang des jeweils gleichen Sterns ergeben.



Die symmetrische Anordnung der Sterne auf der Scheibe



Die korrespondierenden Sterne am Himmel

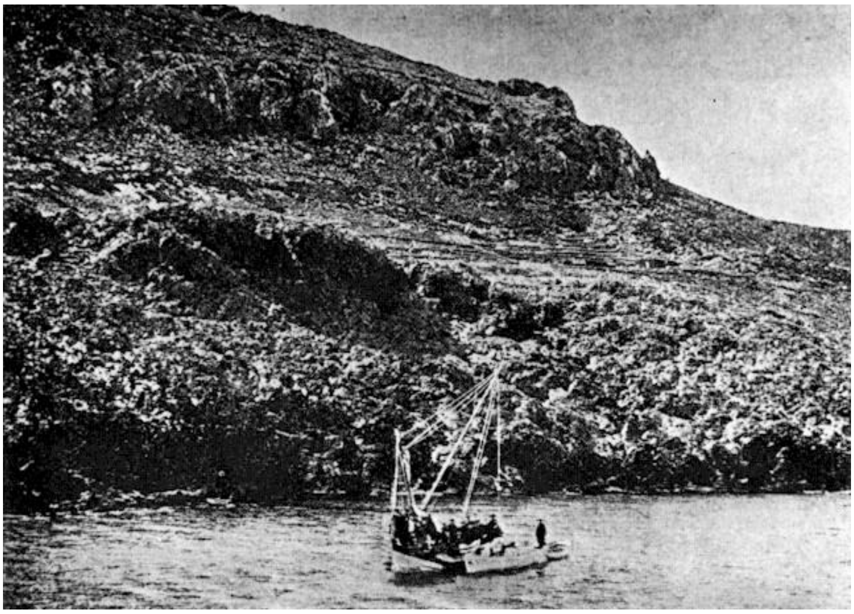
Die Lage der 25 Sterne und ihr möglicher Bezug zum Sternenhimmel

Des Weiteren könnte mit der Himmelsscheibe von Nebra das Problem der unterschiedlichen Längen des Mondjahres (siderisches Mondjahr) und des Sonnenjahres von den damaligen Menschen gelöst worden sein. Die älteste bekannte Korrekturregel findet sich in einem babylonischen Keilschrifttext, dem „mul-apin“ (7./6. Jh. v. Chr.). Sie besagt: *„Wenn im Frühlingsmonat, mit dem das Jahr beginnt, eine Neumondsichel bei dem Siebengestirn, den Plejaden, steht, dann ist dies ein gewöhnliches Jahr. Steht jedoch in diesem Monat erst am dritten Tag der Mond bei den Plejaden in Form einer dickeren Sichel, dann füge einen Schaltvorgang ein.“* Mondsichel und Plejaden befinden sich auf der Scheibe. Korrespondiert die Dicke der Sichel auf der Scheibe mit der Mondsichel am Himmel und befindet diese sich im Frühjahrsmonat bei den Plejaden, so muss der Schaltmonat eingefügt werden. Damit hatten die Schöpfer der Himmelsscheibe diese Erkenntnisse bereits 1000 Jahre früher gekannt und auf der Scheibe verschlüsselt.

N. Gasch hat noch weitere Übereinstimmungen festgestellt. Visiert man vom Mittelpunkt der großen Scheibe die Ränder der beiden Randbögen an, die in ihrer Länge nicht identisch sind, so erhält man 66° und 109°. Sie markieren damit die Abstände der Mondauf- und –untergangspunkte zu den Zeiten der großen und kleinen Sonnenwende. Es stellt sich daher die Frage, ob die große goldene Scheibe den Vollmond oder die Sonne repräsentieren soll. Vermutlich stellt sie beides dar. Sicherlich lassen sich noch viele andere mögliche Zusammenhänge erforschen. Einige mögen allerdings auch Zufall sein, eine derartige Fülle von Zufällen ist jedoch unwahrscheinlich.

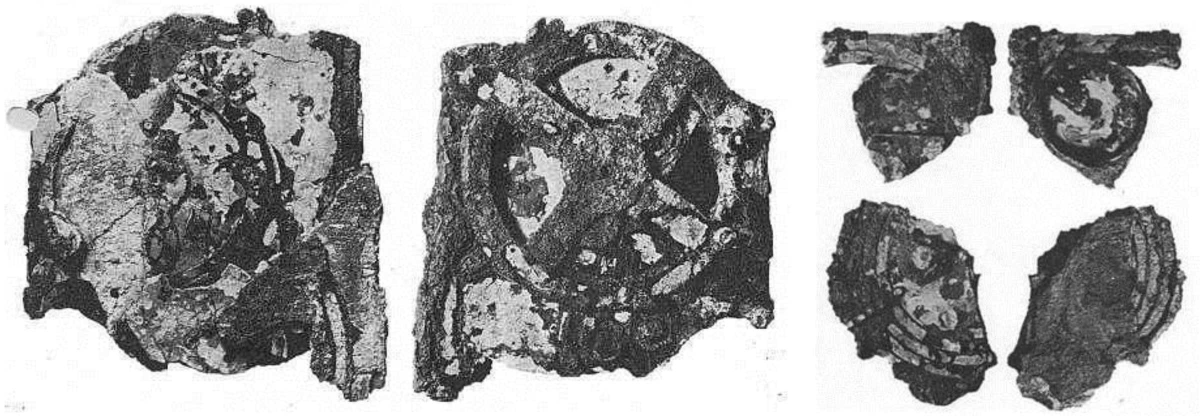
Das Räderwerk von Antikythera – der älteste Rechner der Welt

Ostern des Jahres 1900 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. Es handelte sich hierbei um ein Räderwerk, das später „Das Räderwerk von Antikythera“ (nach dem Fundort) oder „Planetarium“ (nach den Inschriften) genannt wurde. Anhand der Fragmente kann man einen Eindruck davon bekommen, wie das Original ausgesehen haben. Die geborgenen Fragmente befinden sich heute im National-Museum in Athen und sind unter der Nummer 15087 archiviert.



Das Fischerboot mit Tauchern, die 1900 den Mechanismus vor Antikythera entdeckten

Das Wrack des Handelsschiffs vor Antikythera wurde vom Schwammtaucher Elias Stadiatis in einer Tiefe von etwa 42 Metern gefunden. Die Bootsbesatzung bezeichnete sich selbst als Gruppe von Schwammtauchern und hatte nach eigenen Angaben vor einem Sturm Zuflucht in einer Bucht der Insel gesucht. Es kann jedoch angenommen werden, dass sie bewusst nach versunkenen Antiquitäten gesucht haben, denn antike Statuen und Amphoren waren damals in Europa sehr gefragt und schmückten die Salons der begüterten Gesellschaft.



Fragmente des Räderwerkes von beiden Seiten

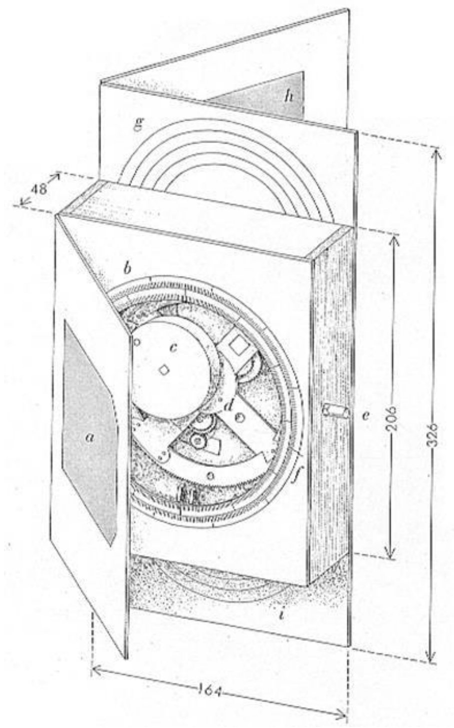
Das besagte Schiffswrack gab auch eine Reihe anderer Kunstwerke frei, z.B. zahlreiche Statuen und Amphoren. Das bronzene Werk wurde zunächst nicht weiter beachtet und unerforscht fast zwei Jahre lang im Museum aufbewahrt. Als sich der ehemalige Minister und Hobbyarchäologe Spyridon Stais am 17. Mai 1902 die Fragmente ansah, sich an deren Untersuchung 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. 70 - 80 v. Chr. ansetzen.

Stais 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 fanden sich vier konzentrische gegeneinander verschiebbare Ringe, die zusätzlich auf andere Himmelskörper hinwiesen.

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.

Bemerkenswert ist ferner die Komplexität des Gerätes. Es war in einem hölzernen Kasten untergebracht, welcher die Größe eines modernen Laptops hatte. Leider konnte der Kasten wegen der damals noch fehlenden Möglichkeiten zur Konservierung nicht erhalten werden.



Die Beschriftungen haben die folgenden Bedeutungen:

a) Front-Tür Inschrift

b) Front-Zifferblatt

c) exzentrische Trommel

d) Front des Mechanismus

e) Eingabeschaft

f) Markierung

g) Vier bewegliche Ringe des oberen Hinterseiten- Zifferblattes

h) Türinschriften der Rückseite

i) Drei bewegliche Ringe des unteren Hinterseiten- Zifferblattes.

Die gegebenen Dimensionen sind Millimeter.

Die Dimensionen des Räderwerks und die ersten Erkenntnisse über den Aufbau

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 - später 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.

Die Zahnräder, Zeiger und Anzeigen des Mechanismus bestehen aus Bronze in einer Legierung von 95 % Kupfer und 5 % Zinn. Alle Bronzeteile sind aus einem 1 bis 2 mm dicken Bronzeblech ausgeschnitten oder ausgestanzt worden.

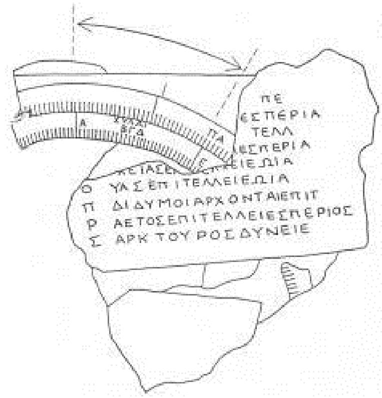
Das Räderwerk besitzt zwei Skalen, eine von ihnen ist fest angebracht und gibt den Tierkreis wieder. Die andere befindet sich auf einem beweglichen Ring und gibt die Monate des Jahres wieder. Jede von ihnen ist sorgfältig in Gradzahlen abgegrenzt.

Das Frontblatt ist exakt über dem Hauptantriebsrad eingebaut, welches dem Anschein nach den Zeiger in einer Art exzentrischer Trommel bewegte. Offensichtlich zeigte dieses Zifferblatt die jährliche Bewegung der Sonne im Tierkreis. Die Bedeutung einiger Buchstaben der Inschrift auf der Tierkreiszeichenskala, übereinstimmend mit anderen Buchstaben auf der Parapegma-Kalenderplatte, weist darauf hin, dass das Frontblatt außerdem die Auf- und Untergänge der hellen Sterne sowie deren Konstellationen das ganze Jahr hindurch anzeigten.

Die Zifferblätter auf der Rückseite sind komplexer und unleserlicher. Das untere besitzt drei bewegliche Ringe, das obere vier. Jedes hat ein kleines Zusatzzifferblatt, ähnlich dem Sekundenzifferblatt einer Uhr. Jedes der großen Blätter ist mit Linien - ca. alle 6 Grad - unterteilt und zwischen den Linien befinden sich Buchstaben und Ziffern. Auf dem unteren Blatt scheinen die Buchstaben und Ziffern folgendes auszusagen „Mond, soviel Stunden; Sonne, soviel Stunden“; daraus schließt man, dass diese Skala das Phänomen der Mondphasen und die Zeiten von Aufgang und Untergang indizieren. Auf dem oberen Blatt sind die Inschriften viel zusammengedrängter und könnten gut Informationen über Aufgänge, Untergänge und Stationen der Planeten präsentieren, die den Griechen bekannt waren (Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn).

Die Fragmente zeigen außerdem, dass das Originalinstrument vier große Inschrift-Flächen besaß: Außerhalb der Fronttür, innerhalb der Hintertür, auf der Platte zwischen den beiden hinteren Zifferblättern und auf der Parapegmaplatte nahe des Frontzifferblattes.

Ein Parapegma (griechisch παράπηγμα „Tafel“, „Kalender“) ist ein antiker Steckkalender, der von den Griechen auf Grundlage der babylonischen Astronomie benutzt wurde. Auf ihm waren die heliakischen und akronychischen Auf- und Untergänge der wichtigsten Sternbilder sowie einzelner auffälliger Sterne vermerkt. Die Datierungen erfolgten auf Grundlage des babylonischen Zodiaks, in welchem die Zyklen aus den Differenzangaben der Auf- und Untergänge berechnet wurden.



Segmente des vorderen Zifferblattes mit Parapegma-Platte

Wie Derek Price festgestellt hat, sind auch um alle Zifferblätter Inschriften. Zudem hatte jedes Teil und jedes Loch scheinbar Identifikationsbuchstaben, so dass die Stücke in der richtigen Reihenfolge und Position zusammengebaut werden konnten.

John Glave aus England hat anhand der Rekonstruktion von Price und den Erkenntnissen der Untersuchungen von 1971 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.

Rückseite Frontseite

Die Rekonstruktion von John Glave

Seit den 1970er Jahren beschäftigte sich vor allem Michael Wright vom Londoner Science Museum mit dem Räderwerk. Er korrigierte einige Details der Rekonstruktion von Price und konnte weitere Erkenntnisse gewinnen. Zusammen mit Bernard Gardner fertigte er 2002 eine weitere Rekonstruktion an.

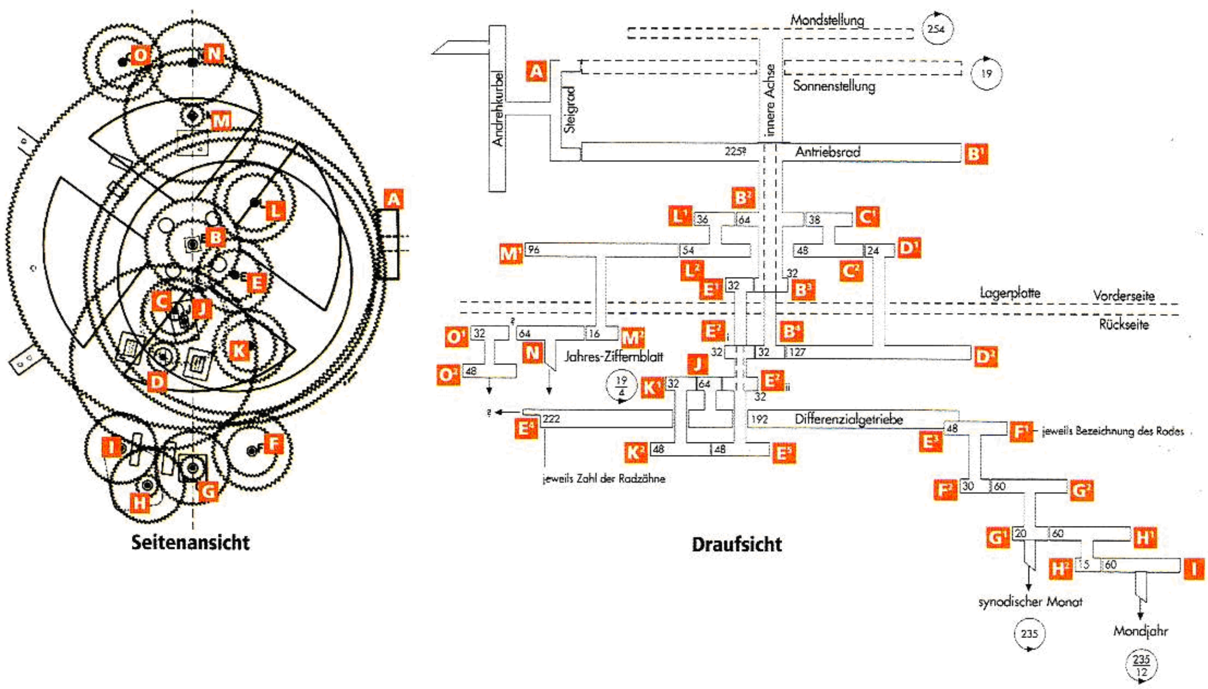
Im Jahre 2005 begann ein neues Projekt unter der Leitung von Mike Edmund mit dem Namen „Antikythera Mechanism Research Project“, mit dem Versuch, dem Räderwerk von Antikythera seine Geheimnisse zu entlocken.

Es handelte sich um ein Gemeinschaftsprojekt der University of Wales (Cardiff), der Nationalen und Kapodistrias-Universität Athen, der Aristoteles-Universität Thessaloniki, des Archäologischen Nationalmuseums in Athen, X-Tek Systems und Hewlett-Packard (HP), gefördert von der Stiftung Leverhulme Trust und der Kulturstiftung der griechischen Nationalbank.

Eingesetzt wurden modernste Untersuchungstechniken. Hierzu gehörte auch die Durchleuchtung des Räderwerkes mit einem 3-D-Röntgen-Tomografen. Dieses acht Tonnen schwere Gerät mit Namen „Blade Runner“ wurde extra nach Athen transportiert, um das Innere des Räderwerkes mit der Genauigkeit von Zehntelmillimetern hochauflösend abzutasten. Ferner wurde ein von der Firma Hewlett-Packard zur Verfügung gestelltes PTM-Gerät („Polynominal Texture Mapping“) eingesetzt, welches es ermöglicht, feinste Oberflächendetails aufzuhellen und besser sichtbar zu machen.

Als erstes Resultat konnten im Oktober 2005 insgesamt 82 weitere Fragmente vom Meeresboden in der Umgebung des Wracks geborgen werden, die eindeutig zu dem Räderwerk gehörten.

Inzwischen liegen erste Ergebnisse dieser Untersuchungen vor. So enthielt das Rechenwerk neben den bereits 40 bekannten und zum Teil erhaltenen Zahnrädern noch Spuren von weiteren Zahnrädern. Bis auf eine Ausnahme waren alle Zahnräder Stirnräder (normale Zahnräder), deren Zähne senkrecht zur Drehachse des Zahnrads stehen. Das Zahnrad, das mit der Kurbel in Verbindung stand, war ein Kronrad. Kronräder sind Zahnräder, deren Zähne parallel zur Drehachse des Zahnrads stehen. Die Zähne aller Zahnräder wurden in gleicher Form (gleichschenklige Dreiecke) mit gleichem Winkel (60 Grad) und in derselben Größe (circa 1,5 mm) angefertigt), so dass jedes Zahnrad in jedes andere Zahnrad ineinander greifen konnte.



Der Aufbau des Räderwerkes nach dem aktuellen Stand der Untersuchungen

Die obige Abbildung zeigt einen Teilausschnitt aus dem Aufbau des Räderwerkes, wie er sich aus dem aktuellen Stand der Erkenntnisse ergibt. Die Buchstaben bezeichnen die einzelnen Zahlräder und die Zahlen die Anzahl der Zähne. Gut zu erkennen ist die Position eines Differentialgetriebes. Es wurde z.B. benötigt, um die Zyklen der Sonne von denen des Mondes zu subtrahieren, da diese Subtraktion zur Berechnung des Laufes der Sonne durch die Tierkreiszeichen, zur Berechnung der einzelnen Phasen des Mondes sowie zur Berechnung der Auf- und Untergangszeiten beider Gestirne über das Jahr hinweg benötigt wird. Man sieht auch, wie die Erbauer ineinander geschachtelte Achsen verwendet haben, um einzelne Teilsegmente des Gerätes über größere Entfernungen miteinander verbinden zu können.

Inzwischen darf als gesichert angenommen werden, dass es sich bei dem Räderwerk von Antikythera um ein kompliziertes mechanisches Kalendarium handelt.

- Auf der Vorderseite befindet sich ein Sonnenkalender mit Datums- und Tierkreis-anzeige (Zodiakanzeige).
- Oben auf der Rückseite befindet sich ein Mondkalender, der das vorn im Sonnenkalender angezeigte Datum im Mondkalender wiedergab.
- Unten auf der Rückseite befindet sich ein Eklipsenkalender, der die Monate mit den Sonnen- und/oder Mondfinsternissen angab, auf denen dann Tag und Stunde der Finsternis vermerkt waren.
- Zusätzlich gibt es noch innerhalb des Mondkalenders einen kleineren Olympiadenkalender, der die beiden jährlichen Austragungsorte der Panhellenischen Spiele anzeigte.

Vorausberechnet werden konnte mit dem Räderwerk z.B. Datum und Uhrzeit der nächsten Sonnen- und Mondfinsternisse. Da die Übersetzungen der Zahnräder Rechenoperationen (Multiplikationen und Divisionen) durchführen, handelt es sich um einen Analogrechner. Damit ist der Mechanismus von Antikythera der älteste erhaltene Analogrechner der Welt.

Ferner konnten die Forscher auf dem Räderwerk über 2000 bisher unlesbare Schriftzeichen aufspüren und zum größten Teil entschlüsseln. Besonders bemerkenswert ist, dass sich darunter ägyptisches Kalendervokabular befindet, welches in griechischen Buchstaben geschrieben ist. Außerdem fanden sich Beschreibungen zum Gebrauch des Räderwerkes. Da das Wrack an einem Abhang liegt, der sich bis in Hunderte Meter Tiefe erstreckt, könnten Teile des Räderwerkes dorthin abgerutscht sein, so dass evtl. durch den Einsatz von Tauchrobotern weitere Teile des Räderwerkes gefunden werden können.

Es stellt sich zum Schluss die Frage, wer war der geniale Schöpfer des Räderwerkes und war es ein einmaliger Geniestreich, ein beispielloser Vorgriff auf die Handwerkskunst der Neuzeit? Über diese Frage wird immer noch kontrovers diskutiert. Derek Price vermutete den Astronomen und Mathematiker Geminos von Rhodos als Schöpfer. Andere Wissenschaftler spekulieren, dass das Räderwerk in der Stoa-Schule des Philosophen Poseidonios konstruiert sein könnte. Diese Schule auf Rhodos war zur damaligen Zeit ein Zentrum der antiken Himmelskunde. Sie begründen dies mit Hinweisen von Cicero, der die Stoa-Schule besucht hatte und von einem Instrument berichtet, welches „bei jeder Umdrehung die Bewegungen der Sonne, des Mondes und der fünf Planeten nachvollzieht“. Der gleiche Cicero erwähnt die „Sphären“ des Archimedes, bronzene Planetarien, die den Lauf von Sonne, Mond und Planeten nachspielen. Er berichtet ferner, dass schon Jahrhunderte vor Archimedes solche Himmelsphären von Thales und Eudoxos gebaut worden seien. Allerdings ist bekannt, dass viele antike Chronisten, darunter auch Cicero, zu fantasievollen Übertreibungen neigten. Es kann sich hierbei auch um einfache mechanische Geräte, ähnlich einem Globus mit zusätzlichen Bahnen für Himmelskörper gehandelt haben.

Michael Wright, der inzwischen am Imperial College in London arbeitet, ist der Ansicht, dass das Rechenwerk von Antikythera kein Unikat war. Seiner Meinung nach, muss es Dutzende, vielleicht sogar Hunderte solcher Geräte gegeben haben. Als Begründung führt er an, dass nach seiner Ansicht einige Teile des Räderwerkes zuvor in anderen Geräten eingebaut waren. Allerdings ist dies nicht einwandfrei zu belegen. Gegen diese Theorie spricht auch, dass in diesem Fall exaktere Beschreibungen aus der Antike überliefert wären als die vagen Hinweise von Cicero.

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.

So kann man vermuten, dass das Räderwerk von Antikythera ein Unikat ist, welches zu einem Heiligtum in Kleinasien oder der Ägäis gehörte. Hiermit konnten die Priester zukünftige Himmelsereignisse vorhersagen und damit ihren Ruf festigen, in die Zukunft blicken zu können.

Fest steht jedoch, dass das Räderwerk von Antikythera die erste bis heute gefundene Rechenmaschine der Welt ist, ein Astro-Computer, der in seiner ingenieurmäßigen Leistung seiner Zeit um Jahrhunderte voraus war. 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. Es enthält sogar Reste eines Differentialgetriebes (zur Bildung von Differenzen), wie es erst 1832 in England zum Patent angemeldet wurde. Vielleicht muss nach der Entschlüsselung seiner letzten Geheimnisse unser Bild vom Wissens- und Technologiestand der Antike neu geschrieben werden.

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.

Astrolabium aus dem 15. Jahrhundert

Aber betrachten wir 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 verschieden 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. Ferner konnte die wahre Ortszeit und der Breitengrad bestimmt werden. 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 Astrolabiem 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 Hauptcharakteristica. Hipparchus hat zwar nicht das Astrolabium erfunden, wohl aber die Projektionstheorie verfeinert. Das älteste Beweisstück für die konkrete Benutzung der stereographischen Projektion 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.

Aber nicht nur die Algebra und unser Zahlensystem, sondern auch der für die Informatik essentielle Begriff des „Algorithmus“ verdanken wir den Arabern. 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 algebraisierenden 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“.

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 Kirchenuhren.

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.

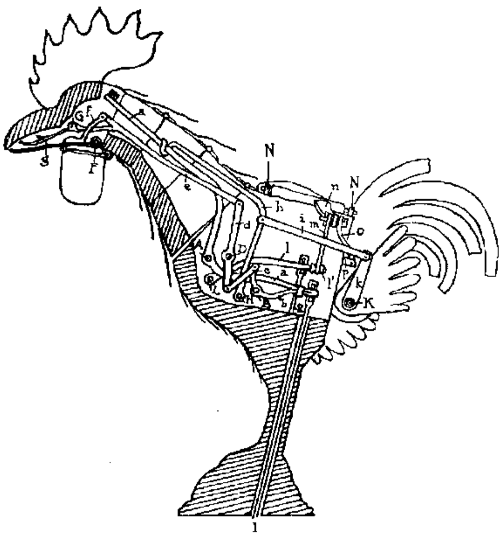
Um ihr Prestige zu steigern, erweiterten die Städte ihre Kirchenuhren um zusätzliche technische Neuerungen, um ihnen so einen spektakulären Aspekt zu verleihen. Aus den Kirchenuhren wurden astronomische Uhren. Straßburg gehörte durch den zwischen 1352 und 1354 erfolgten Bau der sogenannten Drei-Königsuhr 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 Beamtenschaft 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 Astronomische Uhr im Münster zu Straßburg

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 Rhythmus. 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 drei astronomische Uhren zum Ruhme der Stadt Straßburg beigetragen. Einen Höhepunkt in der Entwicklung von astronomischen Kirchenuhren 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. Gebaut bereits für die erste Uhr, wurde er 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

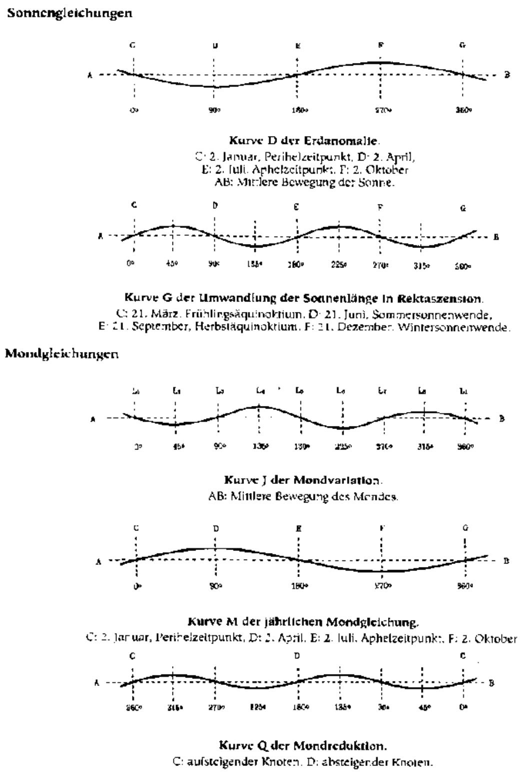


Der Hanhn –Der älteste erhaltene Automat der Welt

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, 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.

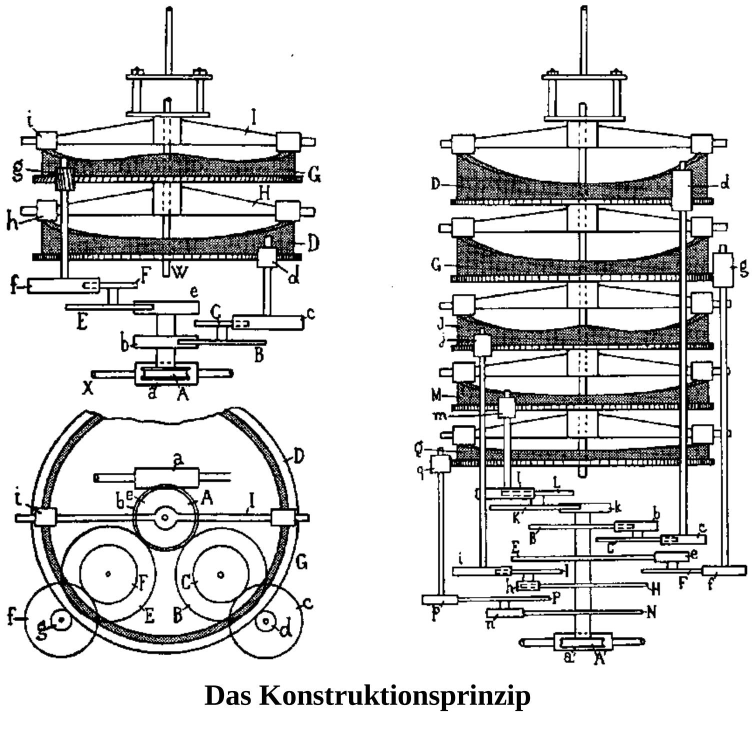
Die einzelnen Anomalien lassen sich durch sinusoidale Gleichungen beschreiben. Insgesamt gibt es zwei Sonnengleichungen, fünf Mondgleichungen und eine Mondknotenliniengleichung. Der Rechner zur Berechnung dieser Gleichungen ist im Erdgeschoß der Uhr links in einer Vitrine untergebracht und trägt die Aufschrift: „Equations solaires et lunaires“.



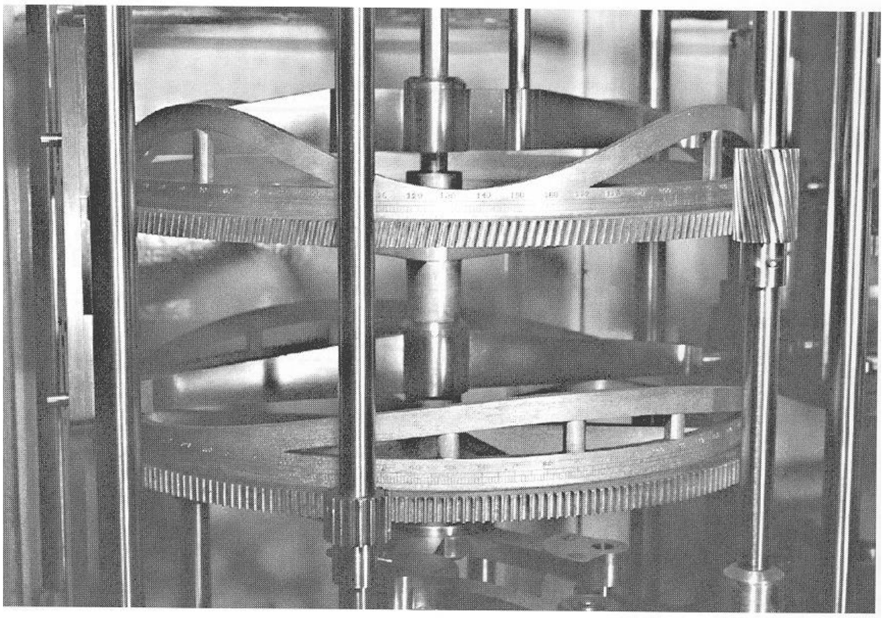
Seine Arbeitsweise sei an der sog. Erdanomalie demonstriert. Diese Form der Anomalie wird durch die elliptische Form der Erdbahn erzeugt. Die Erde dreht schneller um die Sonne, wenn sie von ihr am wenigsten (Perihelie), und am langsamsten, wenn sie am weitesten entfernt ist (Aphelie). Das wirkt sich natürlich auf die scheinbare Bewegung der Sonne aus (Keplersche Gesetze). Die Periodizität dieser Anomalie ist das "anomalistische Jahr" von 365,25968 Tagen. Die Kurve geht am 2. Januar und am 2. Juli (Aphelie) durch den Wert "0", einer Position ohne Korrektur. Am 2. Oktober hat sie ihren maximalen positiven Wert, am 2. April ihren maximalen negativen Wert erreicht (Stellungen maximaler Korrektur). Die Gesamtamplitude zwischen diesen Extremen entspricht einer Sonnenzeigerkorrektur von ± 1,92°.

Die Abbildung links zeigt den sinusoidalen Verlauf einiger Sonnen- und Mondgleichungen. Die oberste Kurve gibt die Erdanomalie wieder.

Schwilgué hat diese Kurven in Stahl und Bronze realisiert und sie so trickreich miteinander verbunden, dass auch ihre gegenseitigen Beeinflussungen mitberechnet werden. Diese technisch-mechanische Realisierung zeigen die folgenden Abbildungen.



Das Konstruktionsprinzip



Fotoaufnahme der sinusoidalen Metallkreise

Die Qualität und Präzision der Realisierung lässt sich an der Realisierung der Mondanomalie demonstrieren (oberster Metallkreis). Dadurch dass dieses Rad zweimal die Korrektionskurve trägt, soll es eine Umdrehung in:

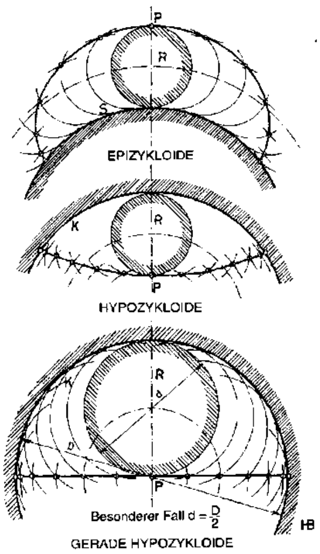
2 x 365,25968 = 730,51936 Tagen

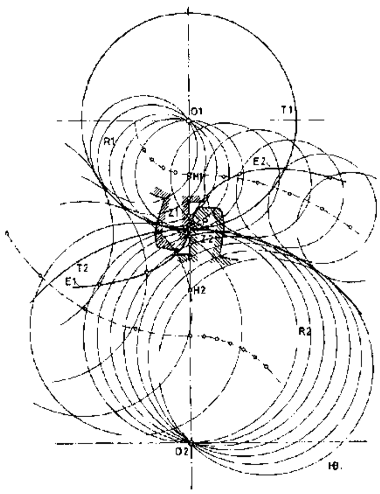
machen.

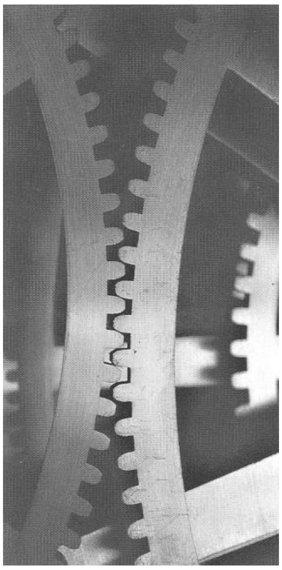
Tatsächlich erfolgt dies in

730,51935 Tagen !!

Um diese Präzision zu erreichen war Schwilgue der erste, der Zahnräder mit Zykloidverzahnung einführte. Zwar waren sie theoretisch bereits bekannt, aber zuvor praktisch nie realisiert worden. Seine bronzenen Zykloidverzahnungen laufen heute noch ohne sichtbaren Verschleiß absolut lautlos. Eine unerhörte Leistung für die damalige Zeit!

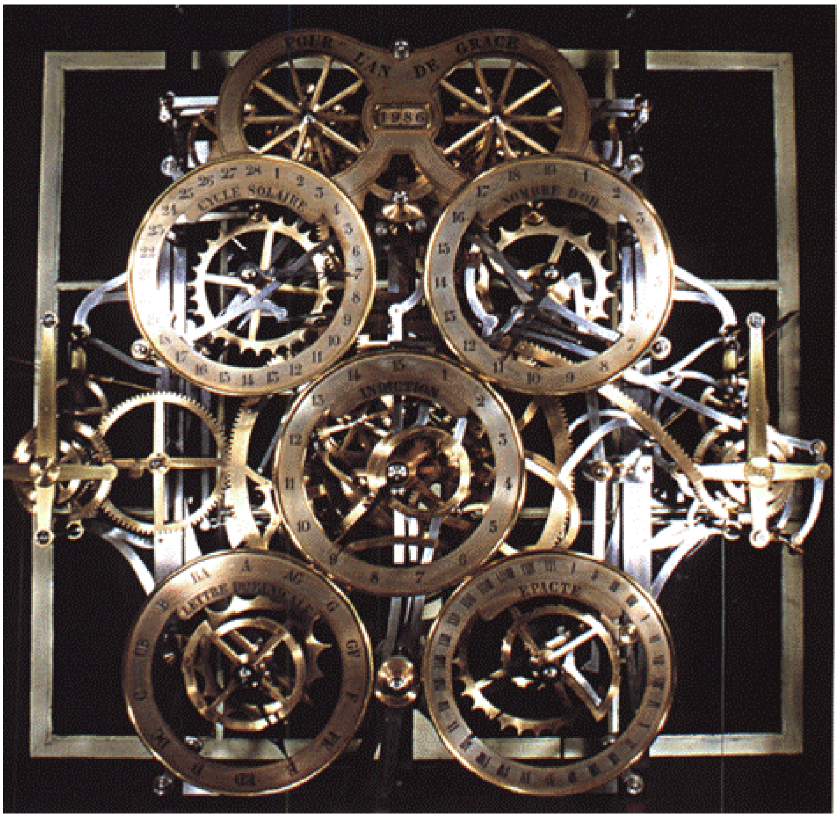






Links: **Die drei Typen von Zykloidkurven** *Mitte:* **Zeichnung von Schwilgué zur Berechnung von Zahnrädern** *Rechts:* **Fotoaufnahme der Zahnräder mit Zykloidverzahnung**

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 folgendes 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.



Die Außenansicht des Kirchenrechners, rechts unten im Sockel der Astronomischen Uhr

Die Vorschriften zur Festlegung des Ostertermins wurden auf dem Konzil von Nicäa (325 n. Chr.) festgelegt. Die wichtigsten Bestimmungen sind:

- Der Ostersonntag ist der erste Sonntag nach dem ersten Vollmond, der auf den 21. März folgt.
- Der Ostervollmond ist auf die 14. Nacht nach dem vorhergehenden (kirchlichen) Neumond festgelegt.
- Fällt der Ostervollmond auf einen Sonntag, wird der Ostersonntag auf den darauffolgenden Sonntag verlegt.

Das Problem bei der konkreten Berechnung stellen die unterschiedlichen Längen des Sonnenjahres und des Mondjahres dar.

Zur Berechnung des Kirchenkalenders und insbesondere des Osterdatums werden fünf Daten benötigt:

1. Jahreszahl
2. Sonnenzirkel
3. Goldene Zahl

4. Sonntagsbuchstabe
5. Epakte

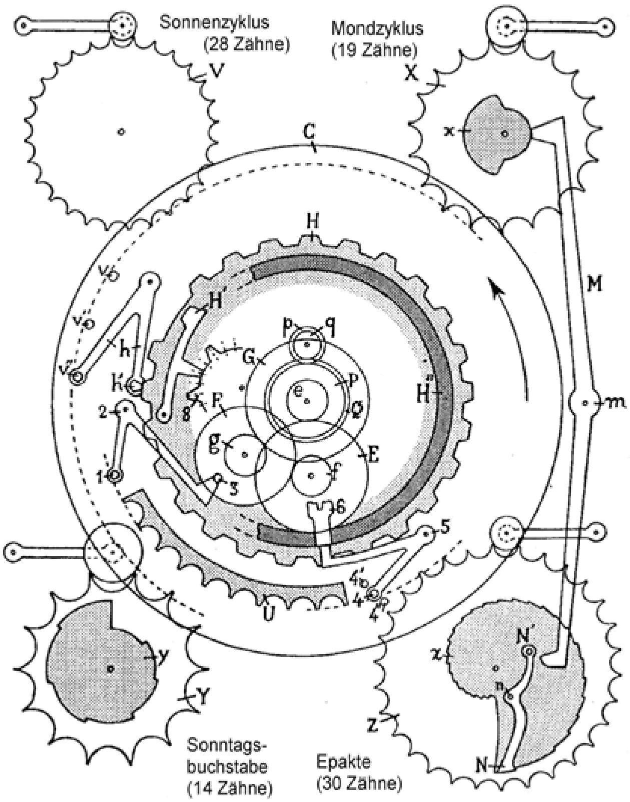
die jeweils individuell berechnet werden müssen.

Das wichtigste Hilfsmittel zur Lösung ist die sog. „Epakte“. Sie gibt das Mondalter am 1. Januar an, d.h. es nennt die Anzahl der Tage, die seit dem letzten Neumond vergangen sind und wird mit einer römischen Ziffer zwischen I und XXX angegeben.

Normalerweise nimmt die Epakte von Jahr zu Jahr um 11 Einheiten zu, denn ein Jahr mit 365,25 Tagen ist um "etwa" 11 Tage länger als zwölf Mondumlaufzeiten von 29,53 Tagen, also 12 x 29,53 = 354,36 Tagen. Eben dieses „etwa“ im letzten Satz macht einige ziemlich komplexe Korrekturen nötig:

– Alle 19 Jahre wird ein Tag mehr hinzugerechnet.
– In den gewöhnlichen Säkularjahren werden nur zehn Tage hinzugerechnet.
– Im Verlauf von 2500 Jahren werden noch acht Tage eingeschaltet, und zwar in sieben Abständen von 300 Jahren und einem von 400 Jahren, beginnend 1500. Diese Korrektur, Mondgleichung genannt, ist erforderlich, um die Bruchteile in der Dauer des synodischen Monats nachzuholen, welche nach 25 Jahrhunderten acht Tage ausmachen.

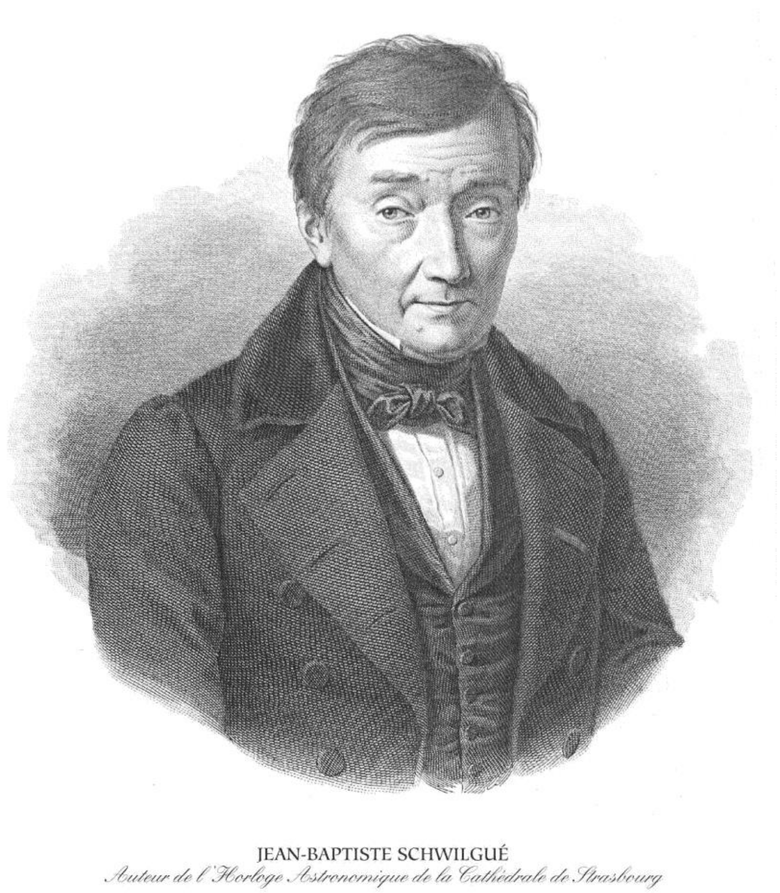
Alle diese Korrekturen wurden von Schwilgué mechanisch im Kirchenrechner realisiert. Die folgende Abbildung zeigt eine Zeichnung mit einer Detailansicht des Kirchenrechners.



Hauptmechanismus des Kirchenrechners

Bemerkenswert an dieser Uhr und dem Rechner und sind die Genauigkeit mit der sie konstruiert und gebaut wurden. Als Beispiel für die Genauigkeit sei das Rad 8 in obiger Abbildung angeführt, welches den Kniehebel H‘ betätigt: Es vollführt eine Umdrehung in 2400 Jahren.

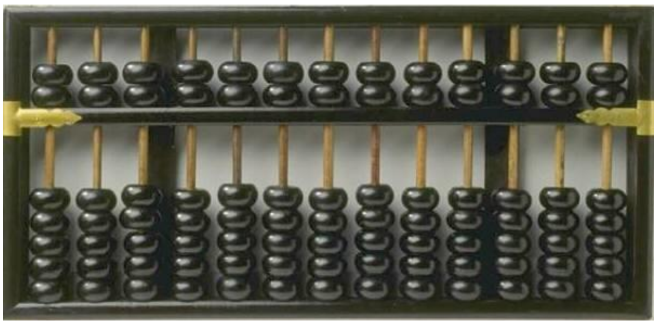
Dass der Kirchenrechner von Schwilgué in der Tat für die "Ewigkeit" ausgelegt war, zeigen in heutiger Zeit erfolgte Untersuchungen, durch die ersichtlich ist, dass es Komponenten gibt, die erstmalig im Jahre 15200 (!!) bewegt werden, um eine dann notwendige Korrektur vorzunehmen. Ein „Jahr 2000-Problem“, welches weltweit zu Angstzuständen bei Informatikern und Unternehmen geführt hatte, gab es für Schwilgué nicht.



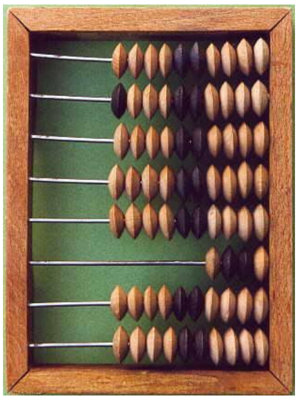
Schwilgué im Alter von 70 Jahren (Stich von Charles-Auguste Schuler 1846)

Die ersten digitalen Rechengeräte

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.



a



b

c

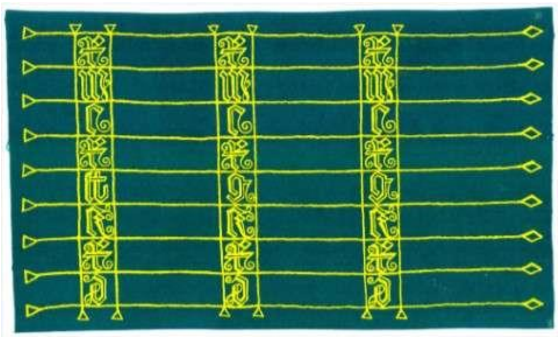
Abb. 6.2 Prinzipieller Aufbau des
a) chinesischen Abakus, b) des russischen Abakus und c) des japanischen Abakus

Auch die Römer benutzten den Abakus, wie das Relief in der folgenden Abbildung verdeutlicht.

Römisches Relief mit der Darstellung eines Abakus im Gebrauch

Oft verwendeten sie eine spezielle Form des Abakus: eine hölzerne oder steinerne Platte mit aufgetragenen Linien. Auf diesen Linien wurden Zahlenmarken oder Steinchen verschoben. Die Römer nannten diese Steinchen „calculi“. Hieraus leiten sich die Begriffe „Kalkül“, „Kalkulation“ usw. ab. Auch die im Mittelalter und später oft verwendete Formulierung „Rechnen auf den Linien“ ist auf diese Abakus-Variante zurückzuführen. Diese Art des Rechnens auf Linien war im Mittelalter weit verbreitet.

Die Fähigkeit mit einem Abakus zu rechnen ging jedoch in Europa mit dem Untergang des römischen Reiches verloren. Die Völker des abendländischen Mittelalters verwendeten Rechentafeln. Erst durch die Kreuzzüge gelangte das Wissen über das Rechnen „auf den Linien“ wieder nach Europa und gleichzeitig hiermit aber auch die arabischen Ziffern zusammen mit der Methode des schriftlichen Rechnens. Zwischen den Vertretern beider Methoden entbrannte ein Jahrhunderte andauernder Streit.



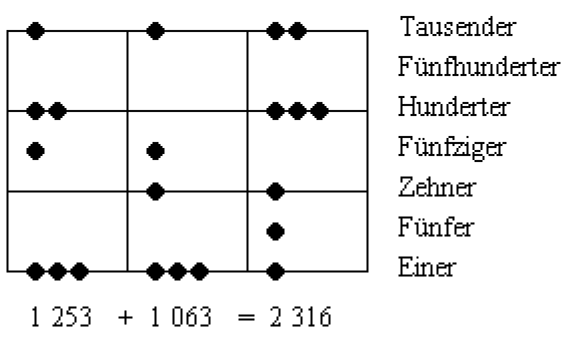
Bayrisches Rechentuch

Zum Rechnen verwendete man statt eines Abakus vor allem Rechenbretter und Rechentücher. Die folgende Abbildung zeigt das sog. „Bayrische Rechentuch“, welches sich heute im Nationalmuseum in München befindet.

Das Tuch hat eine Größe von 71 x 41 cm und ist aus grünem Stoff gefertigt. Auf ihm sind gelbe Schnüre und Münzbuchstaben eingestickt. Ferner enthält es Münzfelder für Pfund und Guldenrechnung.

Als Tuch konnte es leicht zusammengerollt und damit einfach transportiert werden. Es war damit die ideale Rechenhilfe für Beamte, die draußen auf dem Land Steuern und Abgaben berechnen mussten.

Für die Popularisierung des Ziffernrechnens in der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts waren im deutschsprachigen Raum vor allem die Rechenbücher von Adam Riese (1492 – 1559) von Bedeutung.



Addition auf Linien nach Adam Riese

Die von Riese beschriebenen Methoden unterscheiden sich wegen der unterschiedlichen Bedeutung der Linien bzw. Kugeln (Steinen) von denjenigen, die beim Abakus verwendet wurden. Die Abbildung links zeigt die Berechnung von 1253 + 1063 = 2316.

Wie ersichtlich, rechnete man mit drei Spalten. In den beiden ersten Spalten befinden sich die beiden Summanden, in der dritten Spalte das Endergebnis. Die Linien bedeuteten Einer, Fünfer, Zehner usw.

Das Linienrechnen wurde erst im Laufe des 18. Jahrhunderts durch das Ziffernrechnen vollständig verdrängt. Die britischen Finanzbeamten zum Beispiel benutzten noch bis zum Ende des 18. Jahrhunderts nur das Rechenbrett, das dort den Beinamen exchequer („Schachbrett“) trug. Daher stammt die Bezeichnung des brit. Finanzministers: Chancellor of the Exchequer.

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.

Ein weiteres einfaches Rechenhilfsmittel waren die Ein-mal-Eins-Tafeln. Sie sind im Wesentlichen seit dem Altertum in Gebrauch. Sie finden sich bereits bei den Sumerern. Auch von Pythagoras (ca. 580-500 v. Chr.) sind sie überliefert und wurden deshalb häufig nach ihm benannt.

Möchte man zwei Ziffern multiplizieren, z.B. 6x7, so liest man am entsprechenden Kreuzungspunkt innerhalb der Tafel das Ergebnis ab, im Beispiel das Ergebnis 42. Sollen mehrstellige Zahlen multipliziert werden, so verfährt man nach dem üblichen Schema der schriftlichen Multiplikation: Man multipliziert mit jeder Ziffer der mehrstelligen Zahl – das Ergebnis jeder dieser Einzelmultiplikationen kann in der Tafel abgelesen werden – und addiert diese Werte um jeweils eine Stelle versetzt auf.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	4	6	8	10	12	14	16	18
3	6	9	12	15	18	21	24	27
4	8	12	16	20	24	28	32	36
5	10	15	20	25	30	35	40	45
6	12	18	24	30	36	42	48	54
7	14	21	28	35	42	49	56	63
8	16	24	32	40	48	56	64	72
9	18	27	36	45	54	63	72	81

Pythagoreische Rechentafel und Berechnung von 6 x 7 = 42

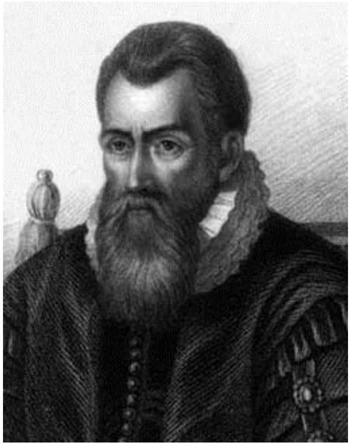
Beispiel:

Zur Multiplikation von 357 mit 6 verfährt man wie folgt:
Aus der Tafel bestimmt man nacheinander die Ergebnisse von 6x7, 6x5 und 6x3 und schreibt die abgelesenen Werte um jeweils eine Stelle nach links versetzt untereinander. Danach addiert man spaltenweise auf:

	357 x 6
1. Schritt: Ablesen von 6x7 und notieren	42
2. Schritt: Ablesen von 6x5 und notieren	30
3. Schritt: Ablesen von 6x3 und notieren	18
4. Schritt: Aufaddieren	2142

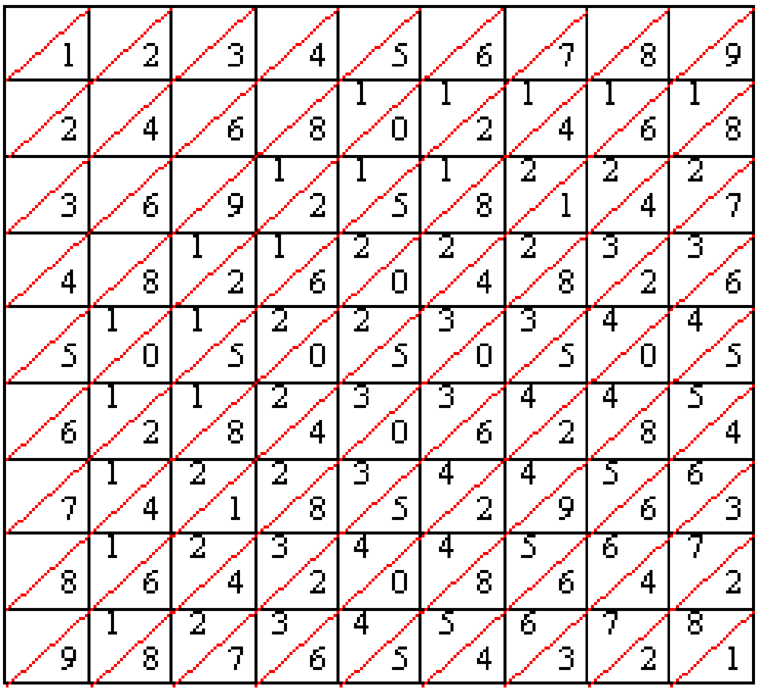
Da die Multiplikation zweier Ziffern maximal eine zweistellige Zahl liefert, müssen bei der Schlussaddition jeweils maximal zwei Ziffern addiert werden. Man sieht ferner, dass die Zehnerziffer jeweils zur Einerziffer des nächsten Produkts addiert wird. Entsteht ein Übertrag, so muss er bei der nächsten Addition (eine Spalte nach links) als zusätzliche Komponente berücksichtigt werden.

Der schottische Baron John Napier of Merchiston (auch Neper bzw Nepier genannt**;** 1550-1617) vereinfachte die Multiplikation mit den Rechentafeln, indem es ihm gelang, durch eine einfache mechanische Vorrichtung die Zwischenschritte der stellenweise Einzel-multiplikationen mit ihrem versetzten Notieren zu vermeiden.

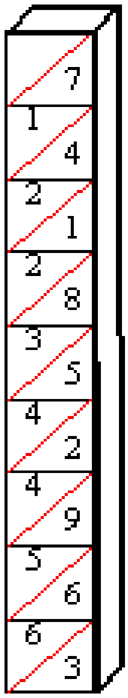


John Napier

Im Jahre 1617 veröffentlichte er eine Abhandlung mit dem Titel *„Rhabdologia sive numerationis per virgulas"* in der er seine Rechenstäbe vorstellte. Napier trennte in seiner Einmal-Eins-Tafel jeweils die Zehner- und die Einerstelle durch Diagonalen, so dass oben die Zehnerziffer und unten die Einerziffer steht. Danach zerschnitt er die Tafel in senkrechte Streifen und klebte diese auf Holzstäbe. Sodann fertigte er von jedem dieser neun Stäbe mehrere Kopien an. Damit ließen sich nun beliebige Multiplikationen und Divisionen wesentlich einfacher durchführen.



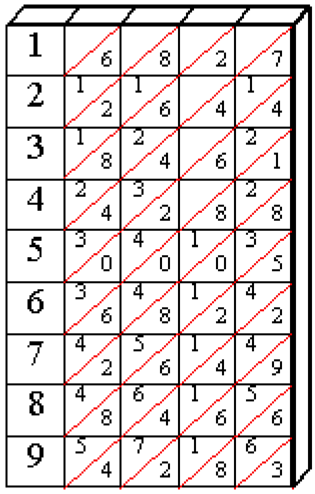
Die Anordnung der Zahlen auf der Rechentafel durch Napier



Rechenstab mit dem Einmaleins der Sieben

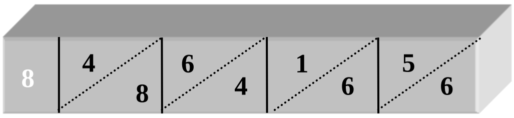
Zur Multiplikation mussten zunächst die Stäbe für die einzelnen Ziffern der Zahl aneinandergelegt werden.

Betrachten wir die rechte Abbildung als Beispiel für die Berechnung von 6827 x 8. Zunächst müssen die Stäbe für 6, 8, 2 und 7 aneinander gelegt werden. Zur Erleichterung ist hier noch ein Stab, auf dem die Multiplikationsfaktoren von 1 bis 9 stehen, beigefügt. Das erleichtert das Finden der richtigen Reihe.



Anordnung der Stäbe zur Berechnung von 6827 x 8

In Reihe 8 erhält man



Jetzt brauchen nur noch sukzessive von rechts nach links die Zehnerstellen (oben) mit den Einerstellen der davorliegenden Zahl addiert werden, ggf. unter Berücksichtigung eines Übertrages.

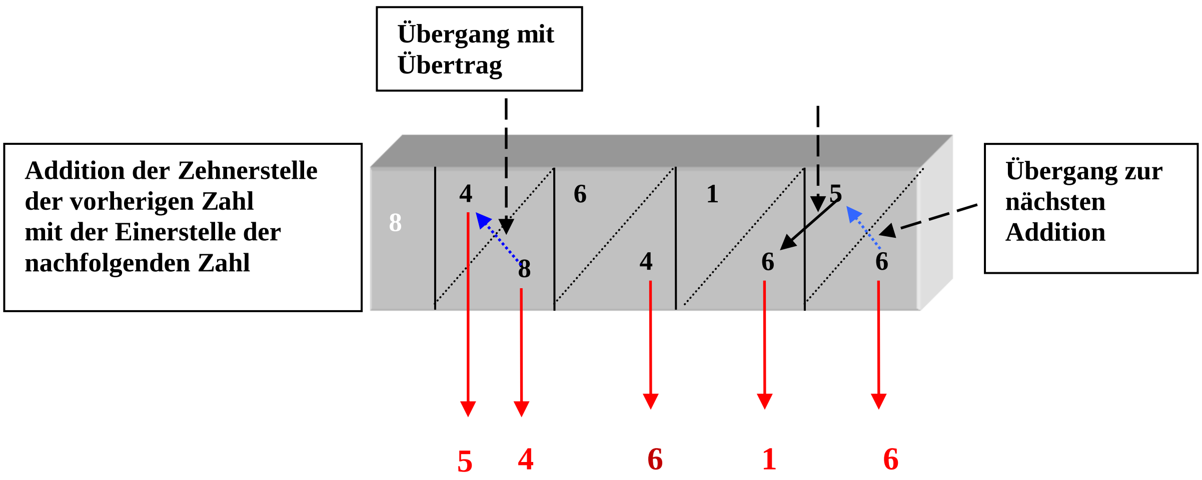


Abb. 6.23 Ergebnis der Multiplikation

Als Ergebnis liest man 54616 ab.

Mit den Napierschen Rechenstäbchen konnte auch die Division vereinfacht werden.

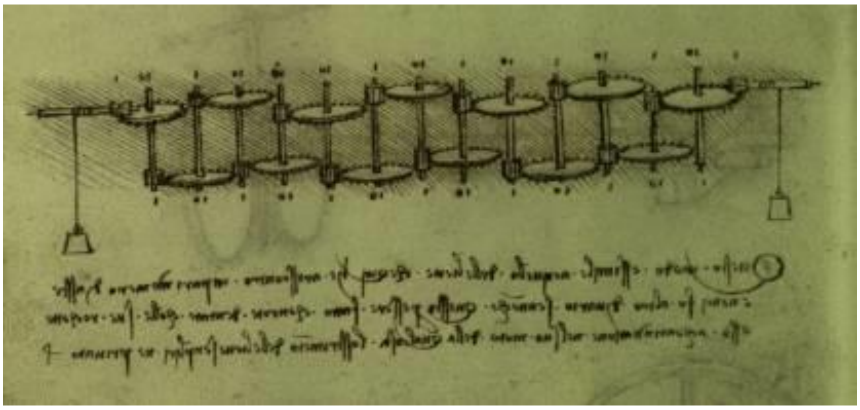
Die ersten ***Rechenmaschinen***

Erst im 17. Jahrhundert setzte eine Entwicklung ein, die zu richtigen Rechenmaschinen führten, die zur automatischen Durchführung der vier Grundrechenarten in der Lage waren.

Aber vielleicht hatte die prinzipielle Idee bereits Leonardo da Vinci. Über den Rechner von Leonardo war lange Zeit nichts bekannt. Erst als 1967 die Bedeutung zweier zueinander passender Zeichnungen aus dem „Codex Madrid“ und einer aus dem „Codex Atlanticus“ erkannt wurde, konnte man auf die tatsächliche Idee Leonardos zur Konstruktion einer Rechenmaschine zurückschließen. Die Zeichnung im „Codex Madrid“ wurde am 13. Februar 1967 von amerikanischen Wissenschaftlern in der Nationalbibliothek in Madrid entdeckt und eine Kopie zur Universität von Massachusetts gesandt. Dort erinnerte sich Dr. Guatelli an die ähnliche Zeichnung im „Codes Atlanticus“.

Dr. Guatelli hatte im Auftrag der IBM in den Jahren zuvor eine Reihe von Modellen, aufbauend auf Zeichnungen von Leonardo da Vinci, nachgebaut. Er interpretierte die Zeichnungen als die Basis für eine Additionsmaschine, die automatisch den Zehnerübergang realisieren konnte. Im Jahre 1968 konstruierte er in Boston einen entsprechenden Nachbau, wobei er die Skizzen folgendermaßen interpretierte:

Leonardos Rechner besteht aus 13 Rädern mit Zahlenwerten von 1 bis 10. Die Drehung eines Rades über die 9 hinaus bewirkt, dass sich das Rad der nächsthöheren Stelle von 0 auf 1 bewegt, während sich das ursprüngliche Rad weiterdreht, so dass automatisch ein Übertrag stattfindet.



Zeichnung Leonardos zur Konstruktion einer Rechenmaschine

Dieser Nachbau, der in Abb. 7.3 dargestellt ist, konnte in der Tat Additionen automatisch durchführen. Er wurde in einer IBM Ausstellung in Boston der Öffentlichkeit vorgestellt.

Nachbau der Rechenmaschine von Leonardo da Vinci aus dem Jahre 1968

Somit war Leonardo da Vincis Rechenmaschine möglicherweise die erste ihrer Art. Man kann mit relativ hoher Sicherheit annehmen, dass sie nur ein theoretisches Modell war und zu Leonardos Zeit nie gebaut wurde. Über den Verbleib des Nachbaus durch Dr. Guatelli ist leider nichts bekannt. Vermutlich verstaubt der Nachbau in einem Archiv der IBM.

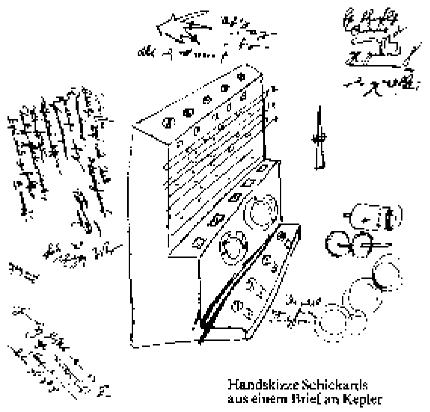
Allerdings sind die Interpretation der Zeichnungen und die entsprechende Realisierung im Modell nicht unumstritten. Auf einem Workshop an der Universität von Massachusetts bestritten z.B. Prof. I. Bernard Cohen und Dr. Bern Dibner diese Interpretation. Sie halten die Skizzen lediglich für einen Versuch, Kräfte- und Wegeverhältnisse bei Zahnrädern zu studieren.

Nachweisbar konstruiert wurde jedoch eine Rechenmaschine mit automatischem Zehnerübertrag von Wilhelm Schickard. 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.

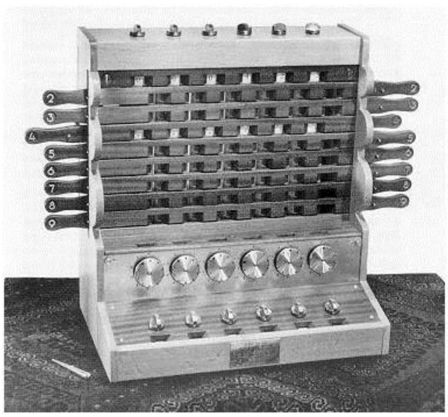
Die Wiederentdeckung ist dem verstorbenen Keplerforscher Dr. Franz Hammer zu verdanken. Im Jahre 1957 hielt er im Rahmen eines kleinen Kongresses zur Geschichte der Mathematik im Mathematischen Forschungsinstitut Oberwolfach im Schwarzwald einen Vortrag, der alles in Gang brachte.

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.



Originalzeichnung von Schickard



Der Nachbau

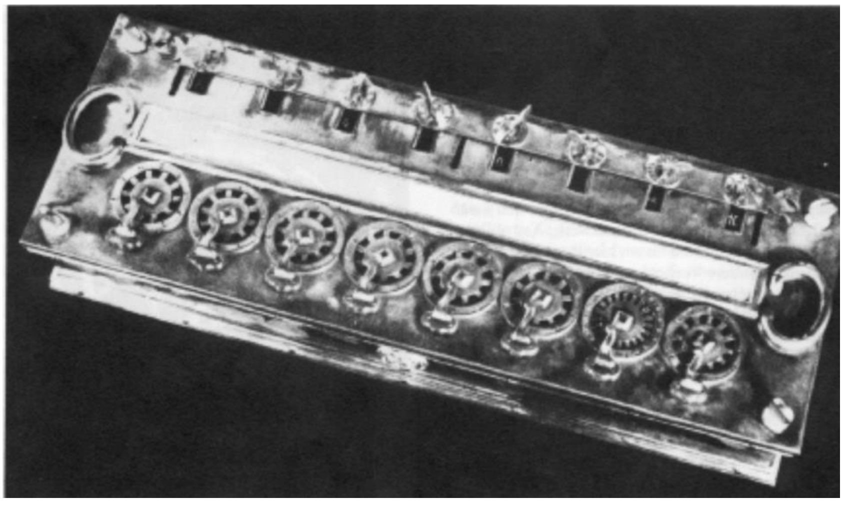
Selbstverständlich entstand nun der Wunsch, eine Rekonstruktion herzustellen und zu erproben. Das war leichter gesagt als getan und wäre ohne viel Hilfe von mancherlei Seite nie zustande gekommen. Kleine Missgeschicke hielten die Fertigstellung auf, und so wurde es Januar 1960, bis das erste Exemplar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

Die Maschine besitzt ein sechsstelliges Addier-und Subtrahierwerk. Dieses besteht aus sechs Drehscheiben, auf jeder Achse dieser Drehscheiben sitzt ein Zahnrad mit 10 Ziffern, eine Walze mit den 10 Ziffern, die in den Fensterchen erscheinen und ein Zahnrad mit nur einem Zahn für den Zehnerübertrag. Zwischen diesen Drehscheiben befindet sich jeweils ein weiteres Zahnrad, das in die Drehscheibe links neben ihm greift.

Im Prinzip handelte es sich um keine echte Vierspezies-Maschine, denn automatisch konnten nur die Addition und die Subtraktion ausgeführt werden. Zur Durchführung von Multiplikationen und Divisionen war die Maschine mit zusätzlichen Hilfsmitteln ausgestattet, die diese Operationen erleichterten.

Zum einen verfügte sie im oberen Teil über separate Napierstäbchen (Walzen), von denen er sechs vollständige Sätze auf Zylinder schrieb. Zum anderen konstruierte er im unteren Teil ein separates, händisch einzustellendes Speicherwerk als Merkvorrichtung, in dem Zwischenergebnisse abgelegt werden konnten (vergleichbar einem Register heutiger moderner Maschinen).

Eine ähnliche Motivation wie bei Schikard, der seinem Freund Keppler helfen wollte, lag bei Claude Pascal vor, dessen eigentliches Interesse der Mathematik galt. Sein Vater war Steuereintreiber in Frankreich. 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.

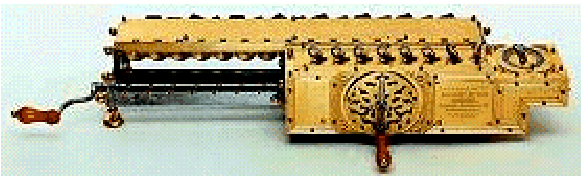


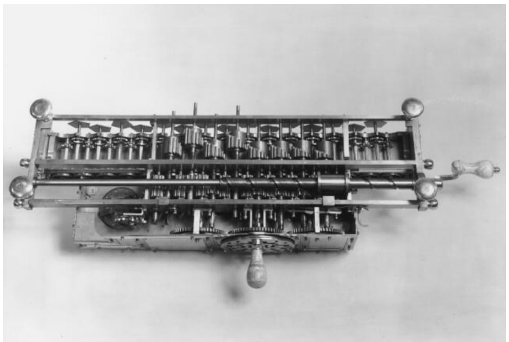
Die Rechenmaschine von Pascal

Pascal ließ seine Rechenmaschine, die nur Addition und Subtraktion beherrschte, in 50 Exemplaren bauen, die jedoch alle verschieden waren. Von ihnen existieren heute noch neun Exemplare. Er verbesserte seine nach ihm benannte "Pascaline" ständig, sodass über Jahrzehnte hinweg fünf- bis zwölfstellige Rechenmaschinen entstanden. Auch gab es Maschinen für das französische und für das englische Währungssystem. 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 Freiherr Gottfried Wilhelm von Leibniz. Durch die Einführung von Staffelwalzen und beweglichen Schlitten gelang ihm zwischen 1671 (erste Entwürfe) und 1673 (Fertigstellung) der Bau der ersten Maschine für alle vier Grundrechenarten (Vierspeziesmaschine). Sie hatte jedoch Probleme mit den engen Fertigungstoleranzen, die für eine einwandfreie Funktion benötigt wurde. 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 Leibniz’schen Rechenmaschine (um 1700) befindet sich in der Niedersächsischen Landesbibliothek in Hannover.





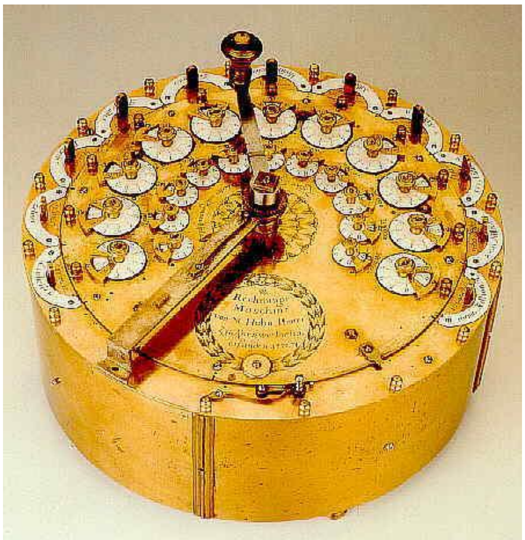
Rechenmaschine von Leibniz

Leibniz war im Übrigen auch einer der ersten, die sich intensiv mit der dualen Darstellung von Zahlen beschäftigte. Er erlangte damit den unbestreitbaren Ruhm, als erster eine wesentliche theoretische Grundlage des Computers geschaffen zu haben.

Erst ein Jahrhundert später, um 1780, gelang dem Pfarrer Philipp Matthäus Hahn die Konstruktion einer wirklich funktionsfähigen Vierspeziesmaschine auf der Basis des Konstruktionsprinzips von Leibniz.

Die Motivation für die Konstruktion von Rechenmaschinen lag in seinen Konstruktionen von astronomischen Maschinen und Uhren. Diese Geräte mit den mechanisch angetriebenen Planetensystemen erforderten eine Vielzahl von Berechnungen zur Ermittlung der

Zahnradgetriebe, insbesondere zeitaufwendige Multiplikationen und Divisionen mit vielziffrigen Zahlen.



Rechenmaschine Hahns aus dem Jahre 1770

Vermutlich wurden in der Werkstatt von Hahn unter der Leitung seines Schwagers Schuster fünf Maschinen fertiggestellt, je eine mit 9, 12, 14 und zwei mit 11 Stellen. Vorhanden sind heute noch die 11-stellige Maschine (im Besitz des Württembergischen Landesmuseums Stuttgart), die Hahn an den Herzog von Württemberg verkauft hat, und die 12-stellige des Museums für Technik und Arbeit in Mannheim, die wahrscheinlich um 1810 an das Haus Urach verkauft wurde. Die 14-stellige Maschine wurde im Zweiten Weltkrieg zerstört. Allerdings existiert noch ein Foto aus dem Jahre 1935. Die 9-stellige und die zweite 11-stellige Maschine gelten heute als vermisst. Es spricht manches dafür, dass zwei alte Photos der 11-stelligen Maschine zugeordnet werden können. Diese Maschine, die in der Literatur oft als "Beireis-Maschine" benannt wird, ist mehrfach in Hahns Tagebüchern erwähnt und war um 1900 im Besitz der Technischen Universität Berlin. Der Preis für eine Rechenmaschine war beachtlich. Während bei Hahn eine Waage oder Sonnenuhr für 8 Gulden das Stück zu haben war, sollte seine Rechenmaschine 20000 Gulden kosten!

Hahn beschäftigte sich auch mit der Konstruktion einfacher Addiermaschinen. Drei Exemplare, die bisher verschollen sind, werden in Hahns schriftlichen Aufzeichnungen erwähnt. Möglicherweise ist eines im Besitz des Arithmeum in Bonn. Jacob Auch, ein Mitarbeiter aus der Werkstatt von Hahn hat mehrere solcher "Scheibenaddierer" hergestellt, von denen wiederum drei Exemplare heute noch nachweisbar sind.

Die Rechenmaschinen von Hahn fanden einige Nachahmer. So entwickelte und baute der Darmstädter Ingenieurhauptmann Johann Helfrich Müller in den Jahren 1782 bis 1784 eine Staffelwalzenmaschine nach dem Vorbild der Hahn´schen Maschine, die er Mitgliedern der Göttinger Akademie der Wissenschaften vorführte.

Weitere digitale Rechenmaschinen wurden von Morland, Grillet, Polini, Leupold, Stanhope, Müller und Thomas entwickelt.

Automaten und Lochkartenmaschinen

Die Geschichte der Automaten beginnt in der Antike. Neben zahlreichen Mythen und Legenden finden sich hier auch die ersten historisch belegten echten Automaten. Einen ersten Höhepunkt gab es im antiken Alexandria. In Alexandria forschten und lehrten hochrangige Naturphilosophen, die als Alexandrinische Schule bezeichnet werden. Zu ihnen gehörten z. B. Heron, Pythagoras und Euklid, aber auch Archimedes muss dazu gerechnet werden, obwohl er in Syrakus wirkte, das aber zum Kulturkreis von Alexandria gehörte. Die alexandrinischen Erfinder waren Meister in der Kombination der sogenannten „einfachen Maschinen“ wie Schrauben, Keile, Hebel usw. zur Ausführung komplizierter Bewegungen und in der Kombination von Wasser, Vakuum und Luftdruck als deren Antriebskraft. Heron von Alexandria erklärte z. B. in seinem Werk „Automata“ Tempeltüren, die sich automatisch wie von Geisterhand öffneten. Durch die Hitze eines heiligen Feuers verdampfte das Wasser in einem Gegengewicht und die Türen öffneten sich. Außerdem entwickelte er Musikmaschinen und automatische Theater mit erstaunlichen Effekten. Es gibt von ihm und anderen eine unerschöpfliche Menge von Vorschlägen für Vögel, die mit den Flügeln schlagen und zwitschern, für ganze Serien von Zaubergefäßen mit intermittierendem Ausfluss oder Automaten, denen einmal Wasser und dann wieder Wein entfließt, oder die nach Einwurf eines Geldstückes eine bestimmte Menge Weihwasser abgeben.

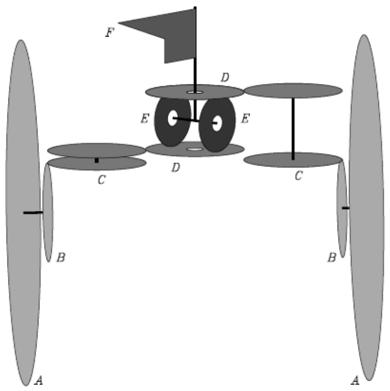
Einen ersten Höhepunkt gab es im antiken Alexandria. Heron von Alexandria erklärte z. B. in seinem Werk „Automata“ Tempeltüren, die sich automatisch wie von Geisterhand öffneten. Durch die Hitze eines heiligen Feuers verdampfte das Wasser in einem Gegengewicht und die Türen öffneten sich. Außerdem entwickelte er Musikmaschinen und automatische Theater mit erstaunlichen Effekten. Es gibt von ihm und anderen eine unerschöpfliche Menge von Vorschlägen für Vögel, die mit den Flügeln schlagen und zwitschern, für ganze Serien von Zaubergefäßen mit intermittierendem Ausfluss oder Automaten, denen einmal Wasser und dann wieder Wein entfließt, oder die nach Einwurf eines Geldstückes eine bestimmte Menge Weihwasser abgeben.

Auch in Asien gab es bemerkenswerte Entwicklungen. Am interessantesten sind wohl die Kompasswagen. Als Kompasswagen wird ein antiker transportabler Richtungszeiger bezeichnet. Im Gegensatz zum normalen Kompass beruht das Konstruktionsprinzip nicht auf dem Erdmagnetismus, sondern auf der Erfassung der unterschiedlichen Drehung zweier parallel angeordneter gleichgroßer Räder mit Hilfe eines Differentialgetriebes (genauer eines Subtraktionsgetriebes). Der Kompasswagen stellt praktisch einen Karren mit zwei über ein Differential auf einer gemeinsamen Achse verbundenen Rädern dar, auf dem ein Zeiger angebracht ist, der selbst bei Kurvenfahrt mit dem Karren immer in die gleiche Richtung zeigt. Bei den chinesischen Kompasswagen war dies üblicherweise die Südrichtung.

Die erste belegbare Konstruktion eines Kompasswagens wird dem chinesischen Erfinder Ma Jun zugeschrieben, obwohl schon um 2600 v. Chr. dem chinesischen Herrscher Huáng Dì der Einsatz eines solchen Gerätes nachgesagt wird. Ma Jun wurde zwischen 200-220 n. Chr. in Fufeng (in der heutigen Provinz Shaanxi) geboren und verstarb 265. Er lebte in der Zeit der drei Reiche (208-280). Bekannt wurde er auch als einer der frühen Konstrukteure von Seiden-Webstühlen.

Auch aus Japan sind Berichte über Kompasswagen bekannt. In der Nihon Shoki (Die Chronik von Japan) aus dem Jahre 720 n. Chr. wird berichtet, dass die Mönche Zhi Yu und Zhi You zwischen 658 und 666 n. Chr. mehrere Kompasswagen für den Kaiser Tenji gebaut haben.

Das technische Prinzip der Kompasswagen zeigt die folgende Abbildung:



Der technische Aufbau eines Kompasswagens

Mit A sind die beiden Räder des Wagens bezeichnet. Sie drehen sich beim Fahren gleich schnell und drehen die Räder C. Der technische „Trick“ liegt in den beiden Rädern E. Diese beiden Räder sind mit der Fahne F verbunden, die die Südrichtung anzeigt. Sie werden durch die Reibung der Scheiben D angetrieben. Allerdings sitzen sie auf der Fähnchenachse nicht fest. Fährt der Wagen gerade aus, so bleiben sie am gleichen Ort, da sich die gegenläufigen Bewegungen der Räder C (bzw. D) aufheben. Macht der Wagen nun eine Kurve, so drehen die Räder D nicht mehr gleich schnell.

Damit verändern die Räder E jetzt ihren Ort, da sich das obere und untere Rad D nicht mehr gleichschnell (in entgegengesetzte Richtung) drehen und sich ihre Drehungen für die Fähnchenachse nicht mehr aufheben. Somit dreht sich das Fähnchen jetzt, bei richtiger Bemessung und Konstruktion genauso viel in der Gegenrichtung zur Drehrichtung des Wagens.

Man sieht, dass es sich hierbei um eine technisch sehr komplizierte Konstruktion handelte, die, um einwandfrei zu funktionieren, ein Höchstmaß an Perfektion erforderte. Modelle von Kompasswagen finden sich u.a. im Science Museum in London und im Nationalmuseum in Taiwan.

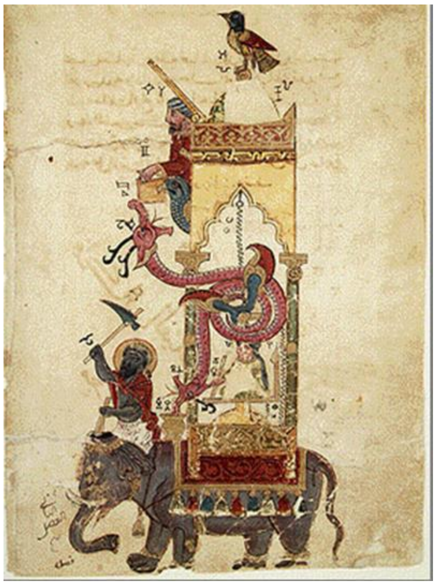
Später gab es berühmte Automatenentwicklungen im arabischen Raum. Badī' az-Zamān Abū l-'Izz ibn Ismā'īl ibn ar-Razzāz al-Dschazarī (arabisch بديع الزمان أبو العز بن الجزري الرزاز إسماعيل, türkisch Eb-Ül-İz, kurdisch Ebûlîz Cizîrî), allgemein genannt al-Dschazari, war ein arabischer Ingenieur und Autor des 12. Jahrhunderts. Er lebte vermutlich zwischen 1136 und 1206 n. Chr.. Den Namen al-Dschazarī trug er nach seinem Geburtsort Cizîr, gelegen in der Gegend zwischen Tigris und Euphrat in der heutigen Türkei. Er stand, wie auch zuvor sein Vater, seit 1181 im Dienst der Ortoqiden, einer turkmenischen Dynastie in Diyarbakır am Tigris.

Im Jahre 1205 verfasste al-Dschazarī sein Werk über mechanische Apparaturen, das Kitab („Buch des Wissens von sinnreichen mechanischen Vorrichtungen“). Das Werk wurde in mehrere Sprachen übersetzt und wurde im westlichen Kulturbereich unter ebenfalls unter dem Titel „Automata“ bekannt. Das Kitab gilt als die wichtigste Quelle über den fortschrittlichen Stand der arabischen Technik im Mittelalter, die der zeitgenössischen europäischen Technik deutlich voraus war. Zahlreiche der beschriebenen Apparaturen sind in neuerer Zeit experimentell rekonstruiert und als funktionsfähig bewiesen worden.

Zu seinen zahlreichen Automatenkonstruktionen zählten z.B. Musikautomaten, ein humider Automat zum Servieren von Getränken oder eine Automat zum Händewaschen. Daneben verbesserte er das Wasserversorgungssystem von Damaskus und konstruierte zahlreiche Wassermühlen und Wasserpumpen. Ferner beschäftigte er sich mit der Konstruktion von Uhren. Neben seiner Konstruktion einer Turmuhr, die wohl die erste astronomische Uhr der Welt war, entwickelte er die berühmte Elefantenuhr.

Die Elefantenuhr des al-Dschazarī war ein Automat in Form einer lebensgroßen Nachbildung eines Elefanten, der mit Hilfe einer Wasseruhr die Zeit anzeigte. Die mechanischen Elemente und Figuren des Automaten waren in der Howdah, der Sänfte auf dem Rücken des

Elefanten, untergebracht. Die Uhr war so konstruiert, dass sich zu jeder halben Stunde die Figuren bewegten und Geräusche ertönten.



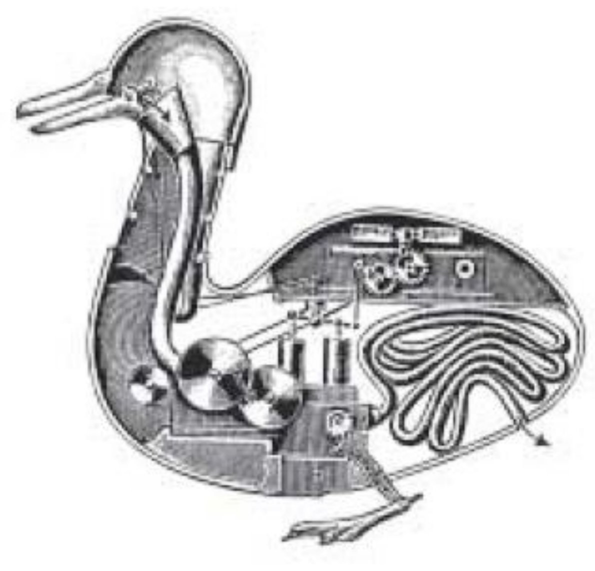
Illustrationen aus dem Werk "Automata"
links: Turmuhr rechts: Elefantenuhr

Der Mechanismus des Automaten wurde durch eine Wasseruhr im Innern des Elefanten gesteuert. In einem großen, mit Wasser gefüllten Hohlraum befand sich ein Behälter, der sich durch eine kleine Öffnung im Boden kontinuierlich mit Wasser füllte und dabei absank. Der Behälter war durch einen Draht mit einem Korb im Baldachin der Sänfte verbunden. In diesem Korb befanden sich Metallbälle. Nach genau einer halben Stunde war der Behälter soweit abgesunken, dass er einen Hebelmechanismus auslöste und einen Metallball aus dem Korb freigab. Der Ball fiel in das Maul einer Schlange und brachte diese zum Kippen. Durch die Drehbewegung der Schlange wurden nun die Figuren des Automaten mit Hilfe von Drähten bedient. Der am Kopf des Elefanten sitzende Mahut schlug auf ein Becken, ein mechanischer Vogel begann zu singen und eine weitere Figur bewegte die Hände. Gleichzeitig wurde die versunkene Schüssel wieder aus dem Wasser gezogen und geleert. Daraufhin schwang die Schlange zurück und der Vorgang wiederholte sich, so lange noch Bälle in dem Korb vorhanden waren. Die Elefantenuhr war die erste Uhr mit einem Automaten, dessen Programm nach einem bestimmten Zeitabstand erneut ablief. Funktionstüchtige Nachbauten der Uhr findet man in der Ibn Battuta Shopping Mall in Dubai und im Außengelände des Uhrenmuseums Musée d'Horlogerie in Le Locle in der Schweiz. Ein maßstabsgetreues Modell steht auch im Istanbuler Museum für Geschichte der Wissenschaft und Technik im Islam.

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 auf der Basis von Lochkarten-steuerung zu nennen.

Einer der Höhepunkte wurde mit den Konstruktionen von Jacques de Vaucanson erreicht. Im Jahre 1737 baute er einen mechanischen Flötenspieler, der ein Repertoire von zwölf Liedern hatte und auf einer mechanischen Stiftwalze mit zwei Bewegungsrichtungen basierte. Dabei bewegte er sich in der üblichen Drehung und konnte zusätzliche Bewegungen zur Seite vollführen, die durch ein Schneckengetriebe bewirkt wurden. Über der Walze lagen mehrere Stiftreihen. Er hatte zwar Lippen, Mund und Zunge, war aber kein der Wirklichkeit entsprechendes anatomisches Modell, sondern ein Automat, der mit Uhrwerken und

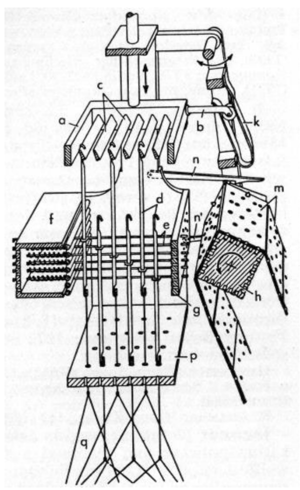
Blasebälgen betrieben wurde. Im Jahre 1738 stellte er ihn der französischen Akademie der Wissenschaften vor. Der Flötenspieler verursachte großes Aufsehen und spornte ihn an, einen weiteren Automaten zu bauen, einen Schäfer, der Flöte spielte und sich gleichzeitig auf einem Tambourin begleitete. Vaucansons Traum war es, einen möglichst akkurat funktionierenden künstlichen Menschen zu erschaffen.



Die mechanische Ente von Jacques de Vaucanson

Als sein Meisterwerk gilt jedoch seine automatische Ente von 1738. Sie bestand aus mehr als 400 beweglichen Einzelteilen, konnte mit den Flügeln flattern, schnattern und Wasser trinken. Sie hatte sogar einen künstlichen Verdauungsapparat. Insbesondere dieser mechanisch nachgeahmte Stoffwechsel erregte das Staunen der Zeitgenossen. Sie konnte Körner aufpicken. Die mit Hilfe eines Rohres im unteren Teil des Schnabels aufgesaugten Körner fielen in eine Dose im Bauch des Automaten und lösten die Ausscheidung aus. Diese befand sich bereits im Entenbauch und bestand aus einem grün gefärbten Brotkrumenbrei von naturgetreuer Konsistenz, der von einer Pumpe hinten ausgestoßen wurde. Vaucanson schuf mit dem Darm seiner Ente zudem den wohl ersten biegsamen Gummischlauch.

Es war auch Vaucanson, der die Grundlagen für programmierbare Maschinen legte. Bereits Vaucanson konstruierte im Jahre 1745 einen mechanischen Webstuhl für gemusterte Stoffe, dessen Steuerung nach demselben Prinzip funktioniert wie die seines Flötenspielers, d.h. er benutzte eine umlaufende Blechwalze mit Lochkombinationen als „Programm-speicher“. Diese Entwicklung fand jedoch keine Aufmerksamkeit. Zuvor hatte Basile Bouchon im Jahre 1725 erstmalig versucht Lochstreifen zur Steuerung von Webstühlen einzusetzen. hat.



Aufbau der Steuerung des Webstuhls von Vaucanson/Jacquard

Die Abbildung links zeigt den Aufbau der Steuerung. Hierbei bedeuten:

a Messerkorb mit Steuerarm b für Holzprisma

h, c Hebemesser,

d Platinen,

c gefederte Nadeln, gelagert im Federkasten

f und Nadelbrett g,

h Holzprisma mit Kulisse (Federpresse)

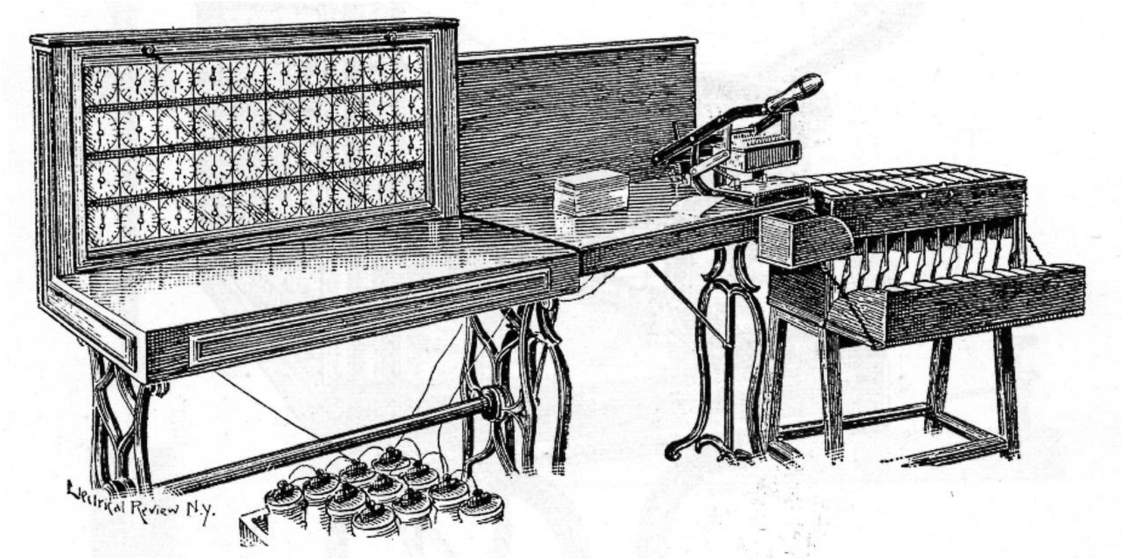
k, m Lochkarten,

n oberer, n´ unterer Wendehaken des Holzprismas,

p Platinenboden,

q Harnischschnüre

Sein Prototyp wurde von seinem Schüler Jean-Baptiste Falcon 1728 weiter verbessert. Der Erfolg wurde durch den Weber Joseph-Marie Jacquard (1752–1834) eingeleitet. Ihm wird oft die Entwicklung des automatischen Webstuhls zugeschrieben, den er 1805 erfunden haben soll. Inzwischen ist gesichert, dass er im Jahre 1804 die Trümmer des Webstuhles von Vaucanson wieder zusammengesetzt und somit den automatischen Webautomaten wieder neu erfunden



Zeichnung der ersten Hollerith-Maschine

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.

Ein Jahr später wurde das Hollerith-System in Europa zuerst in Österreich eingesetzt. Dort baute Otto Schäffer (1838-1928) eine Lochkartenmaschine nach Holleriths Vorbild für die geplante Volkszählung. In Deutschland wurden um 1895 die ersten Lochkartenmaschinen benutzt.

Im Jahre 1896 gründete er die „Tabulating Machine Company“ (Gesellschaft für Tabelliermaschinen), die sich 1911 mit zwei weiteren Firmen zur „Computing-Tabulating-Recording Company – CTR“ (Gesellschaft für rechnende, tabellierende und aufzeichnende Geräte) zusammenschloss. Aus der CTR wurde 1924 durch das entscheidende Mitwirken des da-maligen Präsidenten der CTR, Thomas John Watson, der heutige Großkonzern „International Business Machines Corporation – IBM“ (Internationale Aktiengesellschaft für Büromaschinen).

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.

Wissenschaftler, Navigatoren, Ingenieure, Astronomen und andere führten daher zum damaligen Zeitpunkt ihre Berechnungen mit Hilfe von mathematischen Tafeln aus. Dies waren Tabellenbücher, die Lösungen bestimmter Integrale enthielten oder die Funktionswerte bestimmter Funktionen bei gewissen Eingaben angaben. Hierzu gehörten Logarithmentabellen oder die Trigonometrischen Funktionen.

Die Erstellung solcher Tafeln war nicht nur umständlich und teuer, sondern auch sehr fehleranfällig. Ein Zeitgenosse Babbages, Dionysius Lardner, schrieb 1834, dass eine zufällige Auswahl von vierzig Werken mindestens 3700 Fehler (errata) enthielt, plus eine unbekannte Anzahl von Fehlern, die bis dahin noch nicht gefunden wurden. Der Gebrauch dieser Tabellen war weit verbreitet, allerdings waren die Kosten, die aus Rechenfehlern in den Tabellen resultierten, schwer auszumachen. Es gab Gerüchte von gesunkenen Schiffen, deren Untergang mit Fehlern in den Navigationstabellen begründet wurde. Die Fehler in den Tabellen waren nur sehr schwer zu finden. John Henschel, ein Astronom und lebenslanger Freund Babbages, verglich, um die Arbeit Babbages zu unterstützen, das Finden eines Fehlers in der Logarithmustabelle mit dem Auffinden eines versunkenen Steins im Meer. Babbage bezifferte die Kosten für die Regierung, die unmittelbar aus den Rechenfehlern der Tabellen resultierten, auf 2-3 Millionen Pfund.

Es gab damals drei Fehlerquellen, die bei der Erstellung der Tabellen auftraten:

1. Fehler in der Berechnung
Die damaligen Rechner waren keine Maschinen, sondern Menschen, die im Rechnen geübt waren, sich aber dennoch verrechneten.

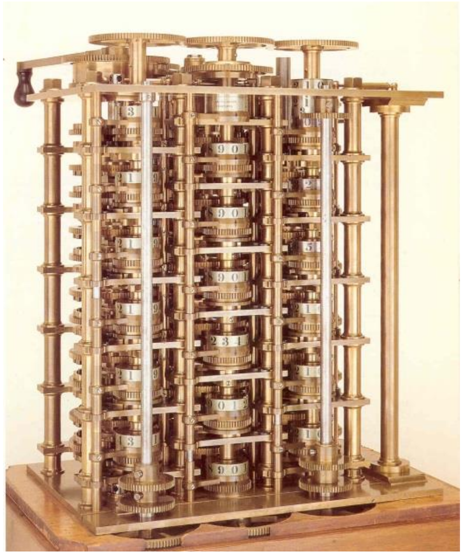
2. Fehler beim Kopieren
Die Ergebnisse wurden kopiert, um sie dann zu drucken. Bei diesem Vorgang konnten sich wieder Abschreibfehler einschleichen.

3. Fehler beim Drucken
Auch beim Druckvorgang konnten Fehler entstehen, wenn die Buchstaben falsch ein-gesetzt wurden. Zum Beispiel konnte eine umgekehrte 9 eine 6 darstellen.

Babbage war ein pingeliger „Analytiker von Tabellenfehlern“. Er war ein Kenner der mathematischen Tabellen und seine Sammlung umfasste mit 300 Werken eine der größten existierenden Sammlungen.

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



Teile der teilweise erbauten Difference-Engine aus dem Jahr 1832

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.

Ausgangspunkt für diese Methode sind Polynome. Polynome sind Gleichungen der Art

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \ldots + a_nx^n$$

Hierbei ist x eine Variable und die a_i sind konstante Koeffizienten. Ist n eine Konstante, so ist f(x) ein Polynom vom Grad n, anderenfalls ist f(x) ein unendliches Polynom.

Polynome besitzen eine Reihe von Eigenschaften, durch die sie besonders als Basis für automatische Berechnungen von Funktionen geeignet sind. Für die Differenzenmethode sind insbesondere zwei Eigenschaften von Interesse:

1. Fast jede Funktion lässt sich durch ein Polynom darstellen. So lassen sich z.B. die Winkelfunktionen sin(x) und cos(x) durch die unendlichen Polynome

   $$\sin(x) = x + x^3/3! + x^5/5! + \ldots..$$

   $$\cos(x) = 1 + x^2/2! + x^4/4! + \ldots..$$

   berechnen.

2. Bei jedem Polynom vom Grad n ist die n-te Differenz der Funktionswerte eine Konstante und alle Funktionswerte und deren Differenzen lassen sich unter ausschließlicher Verwendung von Additionen berechnen.

Die Eigenschaft 2. sei am Beispiel des Polynoms

$$f(x) = 1 + 8x + 5x^2 + 3x^3 + 4x^4$$

erläutert:

Da f(x) ein Polynom vierten Grades ist, liefert die vierte Differenz eine Konstante, in dem Beispiel den Wert 96. Aus der Tabelle ist jedoch noch ein weiterer Zusammenhang erkennbar: Jeder Wert in einer Spalte ergibt sich aus der Addition des Wertes über ihm in der gleichen Spalte und dem Wert über ihm in der nachfolgenden Differenzenspalte. Z.B. erhält man den Funktionswert für x=2 durch die Addition des Funktionswertes für x=1 mit dem Wert der ersten Differenz von f(1) und f(2) usw.

x	f(x)	Δ^1	Δ^2	Δ^3	Δ^4
1	21				
		104			
2	125		246		
		350		258	
3	475		504		96
		854		354	
4	1392		858		96
		1712		450	….
5	3041		1308	…..	
		3020	……		
6	6061	…….			
…	……				

Werden zur Berechnung eines Funktionswertes nach der üblichen Weise, d.h. durch Einsetzen des Wertes für x in die Gleichung, die Operationen Potenzieren, Multiplizieren und Addieren benötigt, so liefert die obige Beobachtung die Möglichkeit, die Funktionswerte ausschließlich mit Hilfe von Additionen zu berechnen. Benötigt werden lediglich der Funktionswert für x=1, und die Anfangswerte der Differenzen Δ^i. Durch sukzessives Addieren können hieraus alle weiteren Funktionswerte (und auch Differenzenwerte als Zwischenschritte) berechnet werden.

Im Jahre 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 entäuschensten Jahre in Babbages Leben.

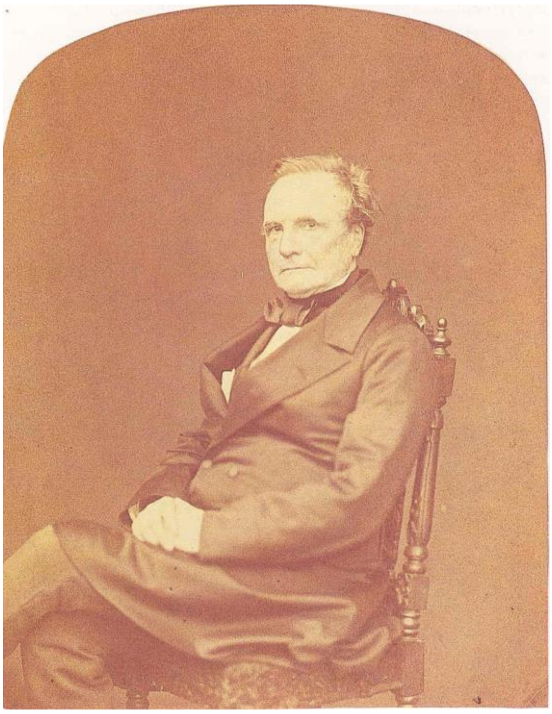
Die Arbeiten stoppten 1833 nach einem Streit mit Joseph Clement. Dieser machte von seinem Recht Gebrauch und nahm sämtliche Werkzeuge und die fähigsten Arbeiter mit. Mit der letzten Gehaltszahlung an Joseph Clement 1834, hatte die Regierung 17.470 Pfund, in den Bau der Difference-Engine No1, investiert. 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 betrugen 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 endgülige 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 gleichen Teilen 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.



Charles Babbage im Jahr 1860

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.

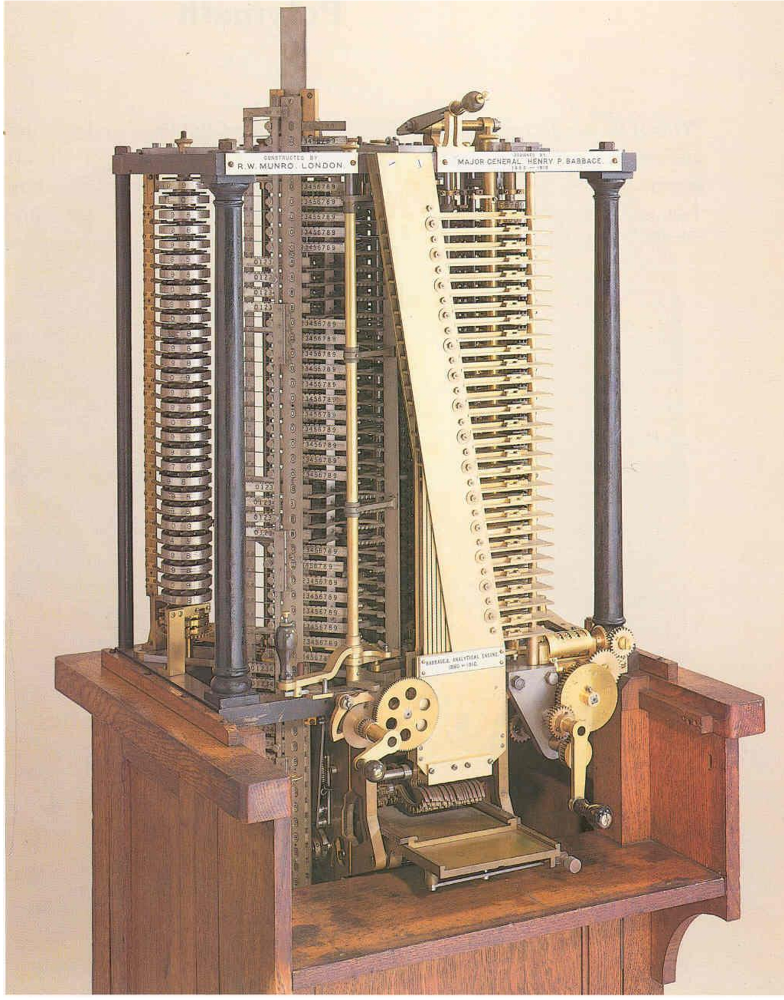
Babbage bot die Konstruktionszeichnungen der Difference-Engine No.2 der Regierung an. Diese lehnte aber 1852 ab. Damit wurde auch diese Maschine nicht mehr zu Babbages Zeiten gebaut. Erst fast 150 Jahre später im Jahre 1991 wurde diese Maschine von zwei Ingenieuren, Reg Crick und Barrie Holloway, nachgebaut.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

Babbage hat die Analytical-Engine 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."

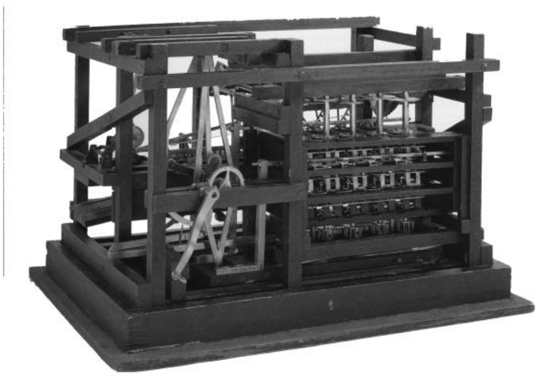
Er sollte sich irren, denn selbst 25 Jahre später war er immer noch nicht fertig. Nach seinem Tod 1871 setzte sein Sohn, Generalmajor Henry Babbage, seine Arbeiten fort. Er baute die zentrale arithmetische Einheit („mill") sowie die Ausgabeeinheit Eine Vorversion konnte 1878 vorgestellt werden; die endgültige 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-Engine 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.



Die von Henry Prevost Babbage nach Entwürfen seines Vaters gebaute „mill“

Die Ehre, die erste große Differenzenmaschine funktionsfähig konstruiert zu haben, gebührt dem Schweden *Georg Scheutz* und seinem Sohn *Eduard Scheutz*. Durch Babbages Arbeiten inspiriert, stellten sie im Jahre 1843 ihren Prototypen vor.



Prototyp 1 der Scheutz-Maschine

Insgesamt wurden drei Differenzenmaschinen von den Scheutzens konstruiert. Die erste Maschine wurde mit einfachen Handwerkzeugen und einer primitiven Drehbank hergestellt. Im Vergleich zu dem Werkzeug von Babbage und Clement waren diese sehr primitiv. Die erfolgreiche Demonstration dieser Maschine und die vergleichsweise primitive Herstellung stellten die Frage, ob die präzise Herstellung, so wie sie Clement und Babbage betrieben haben, notwendig war.

Die Probleme beim Drucken wurden analog wie bei der Difference-Engine von Babbage gelöst, nämlich mit bestimmten Mustern unter den Buchstaben.

Die Scheutzens stellten drei Maschinen her, einen Prototypen und zwei Produktionsmaschinen. Die zwei Produktionsmaschinen wurden verkauft. Den Prototypen zeigt Abb. 12.14. Er hatte die Maße 54 x 86 x 65 cm und beruhte auf Differenzenordnungen der Größe 4 und einer Genauigkeit von 15 Stellen.

Von den beiden Produktionsmaschinen ging eine an das Dudley Observatorium in Albany, New York State, und die andere an das General Register Office in London. Die Albany Maschine wurde nur wenig benutzt, während die Register Office Maschine benutzt wurde, um die *English life table* zu erstellen, welche 1864 veröffentlicht wurde. Beide Maschinen waren schwieriger zu handhaben, als zuerst vermutet wurde.

Die Scheutz Maschine No. 3 wurde 1853 fertig gestellt und war eine leicht verbesserte Ausführung der Maschine No. 2. Sie besaß 4320 Einzelteile und wurde für 1.200 Pfund verkauft. Nach Abzug der direkten Produktionskosten verblieb ein Gewinn von 615 Pfund.

Scheutz-Maschinen waren kommerziell kein Erfolg. Die Erfinder wurden zwar von ihrer Regierung geehrt und erhielten 1855 auf der Weltausstellung in Paris für ihre Präsentation der Differenzenmaschine eine Goldmedaille, starben aber praktisch in Armut.

00001	10000000000000000000000000000
	-1
00002	09999999999999999999999999999
	+1
00003	10000000000000000000000000000

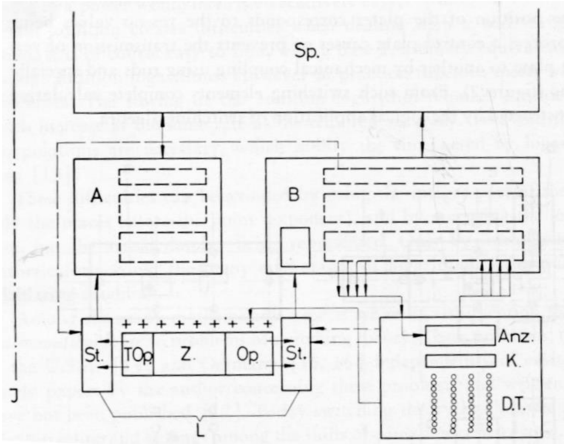
MULTIPLES OF π

00001	03141592653589783238462643383
00002	06283185307179566476925286768
00003	09424777960769349715387930149
00004	12566370614359132953850573532
00005	15707963267948916192313216915
00006	18849555921538699430775860298
00007	21991148575128482669238503681
00008	25133741228718265907701147064
00009	28275333882308049146163790447
00010	31415926535897832384626433830
00011	34557518183487615623089077213
00012	37699111843077398861551720596
00013	40840704496667182100014363979
00014	43982297150256965338477007362
00015	47123889803846748576939650745
00016	50265482457436531815402294128
00017	53407075111026315053864937511
00018	56548667764616098292327580894
00019	59690260418205881530790224277
00020	62831853071795664769252867660
00021	65973445725385448007715511043
00022	69115038378975231246178154426
00023	72256631032565014484640797809

Der Ausdruck bei der ersten Präsentation der „mill“
(Berechnung von π)

Die ersten programmierbaren Rechner

Den Verdienst, den ersten wirklich frei programmierbaren funktionsfähigen Rechner konstruiert zu haben, gebührt Konrad Zuse. Nach dem Studium und einer kurzen Tätigkeit als Statiker bei den Henschel-Flugzeug-Werken 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 Eingabeband 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.



Das Architekturkonzept der Z 1

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 und schuf damit die Basis für elektronische Computerschaltungen.

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.

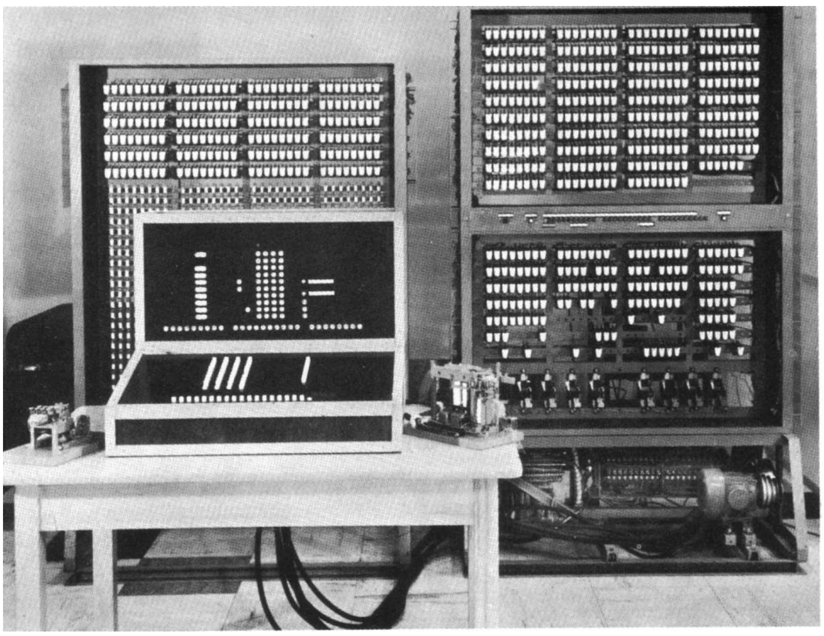
Die Z3 hatte - in heutiger Terminologie - folgende technischen Daten:

Elektromagnetische Relaistechnik
(600 Relais im Rechenwerk, 1400 Relais im Speicherwerk);
Binäres Zahlensystem;
Gleitendes Komma;
Wortlänge 22 Bit (Vorzeichen, 7 Bit Exponent, 14 Bit Mantisse;
Operationen +, -, x, :, $\sqrt{\ }$, Multiplikation mit 2, 1/2, 10, 0, 1, -1;
Speicherkapazität 64 Worte;
Steuerung über 8-Kanal-Lochstreifen (d.h., dass ein Befehl aus 8 Bit bestand);
Eingabe über eine Spezialtastatur, bei welcher die Lage des Kommas relativ zu vier Dezimalziffern eingestellt werden konnte;
Ausgabe durch Anzeige der Resultate auf Lampenstreifen, einschließlich der Lage des Kommas;
Geschwindigkeit: etwa 3 Sekunden für Multiplikation, Division bzw. Quadratwurzelziehen.

„Filmlochstreifen“ der Z3

Da Zuse wegen der Kriegssituation keinen Zugriff auf Fernschreiber hatte, sah er als Eingabe für die Steuerung normale Filmstreifen vor, die entsprechend gelocht wurden.

Das Gerät wurde zum größten Teil aus Altmaterial gebaut; die Daten der Wicklungen der Relais waren deshalb uneinheitlich. Zuse musste verschiedene Spannungen benutzen, um die Relais einigermaßen gut zusammenschalten zu können, was viel überflüssige Arbeit verursachte. Dennoch war die *‘Z3’* verhältnismäßig betriebssicher.



Der Nachbau der Z3 im Deutschen Museum

Im Jahre 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 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 Pferdestall unterbrachte.

Hinterstein im Allgäu nach einem Holzschnitt von Konrad Zuse

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 Pferdestall unterbrachte.

Er selbst schreibt über diese Zeit:

„Kurz vor dem Umzug nach Hopferau war Stucken wieder zu mir gestoßen; zusammen konnten wir die Z4 notdürftig in Betrieb setzen. Eine Anwendungsmöglichkeit für das Gerät gab es freilich nicht. Wir hätten allenfalls die Fettgehaltsberechnung der dortigen Sennerei übernehmen können. Ein Wiederaufbau meiner Firma lag noch weit außerhalb

des Möglichen. Nach dem Morgenthauplan sollte Deutschland bekanntlich in eine grüne Wiese mit weidenden Kühen verwandelt werden. Werkzeuge und Material waren nur im Schwarzhandel zu bekommen. Wir scherzten, die Amerikaner hätten nur eins vergessen, dass nämlich ihre Soldaten achtlos Konservenbüchsen wegwarfen. In der Tat haben wir derartigen Abfall gesammelt und verwendet.“

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.

Im Jahre 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.

Zuse selbst entwickelte nach dem Kriege weitere Rechenmaschinen. Die erste Maschine auf Röhrenbasis war die *Z22*. Sie und das verbesserte Nachfolgemodell, die Z23, wurden an vielen Universitäten in Deutschland Anfang der 60er Jahre als Erstausstattung installiert. Von der Z22 wurden in nur fünf Jahren 50 Stück gebaut. Auf einer derartigen Maschine an der Universität in Saarbrücken, auf der bereits *ALGOL 60* implementiert war, hat der Autor 1965 selbst seine ersten „Gehversuche“ im Programmieren absolviert.

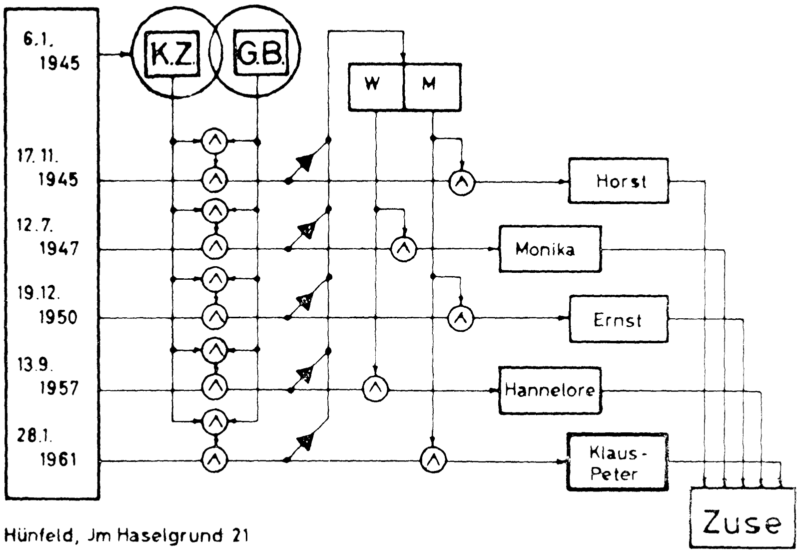
Der Verdienst von Konrad Zuse bestand aber nicht nur in der Konstruktion von Rechnern, sondern er war auch ein Vorreiter unserer heutigen Programmiertechniken. In der

Abgeschiedenheit des Allgäus entwickelte er seine Ideen zum *Plankalkül*, eine auch nach heutigen Maßstäben hochentwickelte algorithmische Sprache. Daneben besaß er bemerkenswerte künstlerische Fähigkeiten, wie der abgebildete Holzschnitt und das Gemälde zeigen.

Gemälde von Konrad Zuse aus dem Jahre 1978

Im Alter ging Zuse vor allem seinem Hobby, der Malerei, nach. Seine im expressionistischen Stil gehaltenen Bilder hat er teilweise mit dem Pseudonym „Kuno See“ signiert. Er schuf Ölgemälde, Kreidezeichnungen und Linolschnitte. Einige Werke sind im Hünfelder Konrad-Zuse-Museum und im Astronomisch-Physikalischen Kabinett in Kassel ausgestellt.

Zuse besaß darüber hinaus ein großes Maß an Humor, für den stellvertretend seine Geburtsanzeige für sein fünftes Kind ein Zeugnis abgibt.



Geburtsanzeige für das fünfte Kind von Zuse

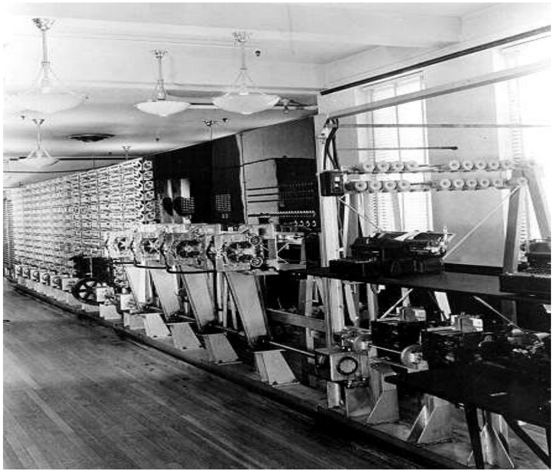
Heute und Morgen

Mit der Konstruktion der Z3, dem ersten frei programmierbaren Rechner der Welt, durch Konrad Zuse waren die Prinzipien unsrer modernen Computer festgelegt. An dem Architekturmodell der Z3 hat sich bis heute de facto nichts verändert. Lediglich durch von Neumann erfolgte noch eine leichte Modifikation, in dem er die Trennung von Programm- und Datenspeicher aufhob, und durch einen einzigen Speicher für mehr Flexibilität in der Speicherverwaltung sorgte.

Geändert haben sich lediglich die Technologien: basierte die Z3 noch auf elektromagnetischen Relais, so erfolgte bald der Übergang zu elektronischen Komponenten wie Röhren, Transistoren und integrierten Schaltungen.

Die weitere Entwicklung der Rechenautomaten (oder Computer, wie sie langsam genannt wurden) fand nach dem Kriege zunächst überwiegend in den USA statt.

Das erste Gerät war eine Entwicklung von *Howard Aiken* mit Unterstützung durch die IBM. Es war ein programmgesteuertes, elektromechanisches Gerät. Es arbeitete im Dezimalsystem mit festem Komma, benutzte spezielle Schrittschalter als Speicherelemente und wurde durch Lochkarten gesteuert. Sein eigentlicher Name war *Automatic Sequence Controlled Calculator (ASSC),* bekannter wurde diese Maschine jedoch unter dem Namen *Harvard Mark 1.* Die Maschine wurde zunächst in den IBM Entwicklungs-Labors in Endicott entwickelt und dort im Mai 1943 erstmalig demonstriert, bevor sie nach Harvard transportiert wurde, wo sie ab Mai 1944 zum Einsatz kam.



IBM ASCC a.k.a. Harvard Mark I

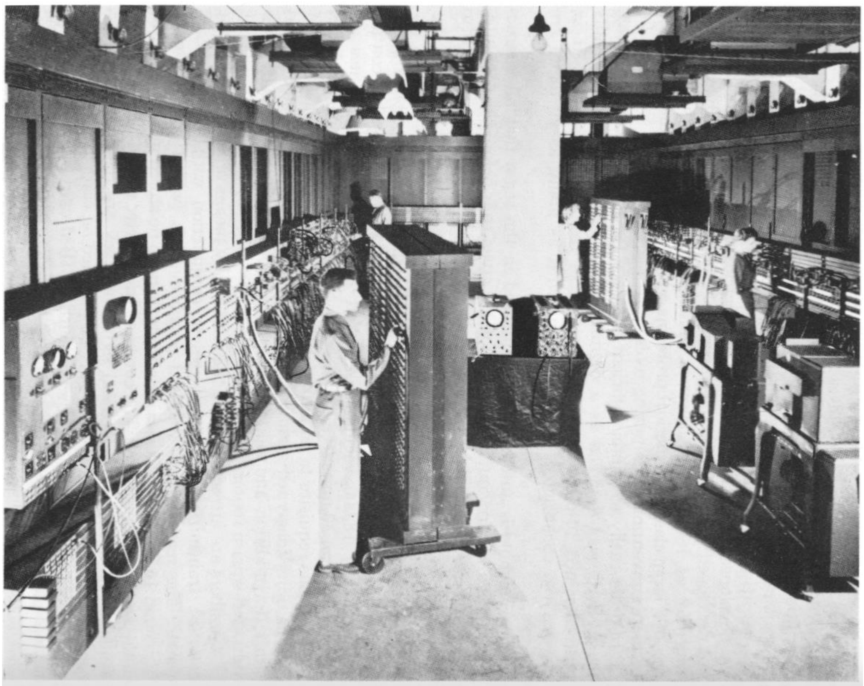
Es war eine wahrhaft riesige Maschine von fast 20 Metern Länge. Sie bestand aus 700.000 Einzelteilen, 80 km Leitungsdraht, war 2,5 Meter hoch und wog 35 Tonnen.

Zu ihrer Konstruktion hatte Aiken, wie er selbst schreibt, sich intensiv mit den Entwürfen von Babbage auseinandergesetzt. Es ist daher verwunderlich, dass die Programmierung zunächst keine Verzweigungen zuließ. Um diese Möglichkeit wurde die Maschine erst später in Harvard erweitert, wo sie bis 1959 im Einsatz war. In den USA wurde sie lange Zeit für den ersten programmierbaren Rechner gehalten, bis die Entwicklungen von Zuse bekannt wurden.

Bei den Bell Telephone Laboratories war es *Georg Stibitz*, der sich ab 1937 mit der Entwicklung von Tischrechnern beschäftigte. Es entstanden nacheinander Model I und Model II. Model III (auch *Ballistic Computer* genannt) mit ca. 1300 Relais sah erstmalig eine Programmsteuerung vor und wurde im Juni 1944 in Betrieb genommen und blieb bis 1958 im Einsatz.

Die erste universelle elektronische Rechenanlage war die *ENIAC* (Electronic Numerical Integrated Computer). Dieses Projekt wurde 1942/43 gestartet, als die amerikanische Regierung mit der Universität von Pennsylvania einen Vertrag über den Bau eines Elektronenrechners abschloss, dessen Hauptaufgabe es sein sollte, die Flugbahn ballistischer Geschosse zu berechnen. Die Entwicklung erfolgte mit finanzieller Unterstützung durch das „Army Ordonance Department“ an der Moore School for Electrical Engineering in

Pennsylvania. Federführend waren *J. G. Brainerd* und *J. P. Eckert*. Unterstützt wurde das Team von *von Neumann*. Die Fertigstellung erfolgte im Herbst 1945. Nach einer Reihe von Tests wurde die ENIAC am 15. Februar 1946 offiziell in Betrieb genommen. Sie bestand aus 22.000 Röhren, 70.000 Widerständen, 10.000 Kondensatoren, 1.500 Relais und 6.000 sonstigen Schaltern. Sie benötigte eine Fläche von 140 qm und wog 30 t. Mit einer Länge von 24 Metern und einer Höhe von fast 6 Metern war die ENIAC doppelt so groß wie die MARK 1, besaß dafür aber auch die 1000-fache Geschwindigkeit. Der Rechner brauchte mehr Energie als 3000 Glühbirnen. Er produzierte eine Wärme, die man durch eine eigene Kühlanlage, die so groß war wie ein zweistöckiges Haus, ableiten musste. Man erzählt, dass in Pennsylvania das Licht schwächer wurde, wenn man die ENIAC anschaltete.



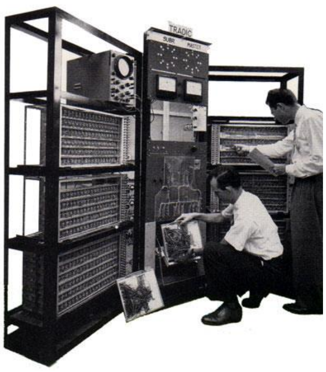
Die ENIAC

Es ist nicht eindeutig, welcher Computer als erster auf der Basis von Transistoren entwickelt wurde. In Frage kommen die beiden Rechner *TX-0* und *TRADIC*. Offensichtlich begann die Entwicklung beider Rechner im Jahre 1953.

Der TX-0 (Transistorized Experimental Computer Zero) wurde 1955 am MIT Lincoln Laboratory als Nachfolger des *Whirlwinds*, der noch keine Transistoren besaß, entwickelt, und ab 1956 verwendet. Einer seiner Nachfolger war der PDP-1. Sein Konstruktionszweck bestand primär darin, die Fähigkeiten von Transistoren zu demonstrieren. Dieses Gerät war der erste moderne Computer. Seine direkte Programmierung (ohne Lochkarten) ließ übrigens die ersten Hacker-Clubs entstehen.

Der TX-0

Der TX-0 bestand aus Transistoren und sein Arbeitsspeicher basierte auf Magnetkern-speichern. Seine Spitzengeschwindigkeit betrug 83 kOpS (Operationen pro Sekunde). Der Hauptspeicher bestand aus 18 Bit großen Worten und nicht aus Bytes. Es konnten in der Grundversion 65536 Worte gespeichert werden. Im Jahre 1959 wurde der Speicher auf den TX-2 übertragen. Deshalb erhielt der TX-0 einen neuen Speicher von 4096 Worten.



Der TRADIC-Rechner

Anschließend wurde im gleichen Jahr die Kapazität auf 8192 Worte erhöht und die Adressgröße von 16 Bit auf 13 Bit verkleinert. In das Gerät war ein Lautsprecher eingebaut. 1957 wurde zusätzlich ein 12 Zoll Oszilloskop als Monitor und ab 1957 ein Lichtgriffel hinzugefügt. Peripheriegeräte waren Drucker und Bandlaufwerke.

Der TRADIC (**Tr**ansistorized **A**irborne **Di**gital **C**omputer) wurde von den Bell-Forschungslaboratorien für die United States Air Force entwickelt. Im März 1955 wurde er fertiggestellt. Er überzeugte durch seine Störungs- und Ausfallsicherheit. Dieses Gerät schaffte eine Million logische Operationen in der Sekunde.

Der TRADIC bestand aus ungefähr 10.000 Germanium-Dioden und 700-800 Transistoren und hatte eine Leistungsaufnahme von ca. 100 Watt. Während den ersten beiden Jahren gab es lediglich bei 17 von diesen Bauteilen einen Defekt.

Im Jahre 1957 brachte Siemens mit dem *Siemens 2002* den ersten voll transistorisierten und in Serie hergestellten Computer auf den Markt. Im gleichen Jahr erklärte IBM, keine weiteren Rechner mit Röhren mehr herzustellen, und kündigt seinen ersten Rechner mit 2000 Transistoren ein, den *IBM 7090*. Mit NEC's *NEAC-2201* wird 1959 Japans erster kommerzieller Transistorrechner vorgestellt.

Die Entwicklung danach bis heute war vor allem geprägt durch die Steigerung der Leistungsfähigkeit mittels weiterer Miniaturisierung, schnellere Taktung und Parallelisierung. Allerdings wird die Entwicklung in den nächsten Jahren wohl in einem etwas langsameren Tempo erfolgen, da wir langsam in einigen Bereichen an physikalische Grenzen stoßen. Somit sind revolutionäre Entwicklungen in der nächsten Zeit nicht mehr zu erwarten

Aber vielleicht geling es uns, weitere Erkenntnisse über die Mechanismen der natürlichen Informationsverarbeitung zu gewinnen. Obwohl die Computer früher oft auch als „Elektronengehirne“ bezeichnet wurden, ist ein menschliches Gehirn in seiner Leistungsfähigkeit in vielen Bereichen weit überlegen. Wir wissen inzwischen, dass die natürliche Informationsverarbeitung nach ganz anderen Prinzipien arbeitet wie die künstliche Informationsverarbeitung, d.h. Computer und Gehirn haben architektonisch kaum Gemeinsamkeiten. Die natürliche Informationsverarbeitung arbeitet z.B. nicht mit binärer Logik wie ein Computer, d.h. mit Nullen und Einsen bzw. Wahr und Falsch. Allerdings sind uns die Mechanismen der natürlichen Informationsverarbeitung, ihre Codierung, ihre Speicherung und die Zugriffsmechanismen bis heute weitgehend unbekannt. Sollten wir hier zu neuen Erkenntnissen gelangen, so könnten Computer in der Zukunft ganz neue Fähigkeiten besitzen und damit sich neue Anwendungsgebiete erschließen.

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

http://cs.uni-muenster.de/Professoren/Lippe

nachlesen, oder sich an Hand meiner gerade beim Springer-Verlag erschienenen Bücher

Band 1
Geschichte der Rechenautomaten - Von der Himmelsscheibe von Nebra bis zu den ersten Rechenmaschinen

Band 2
Geschichte der Rechenautomaten - Von mechanischen Chiffriergeräten bis zu den ersten programmierbaren Rechnern

Band 3
Geschichte der Rechenautomaten - Von der Entwicklung der Hardware bis zum WWW

kundig machen

Viel Spaß beim Lesen

Im Dezember 2013

Prof. Dr. Wolfram-M. Lippe