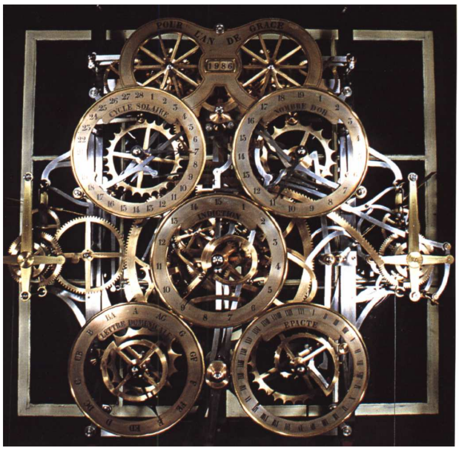
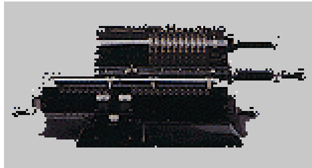
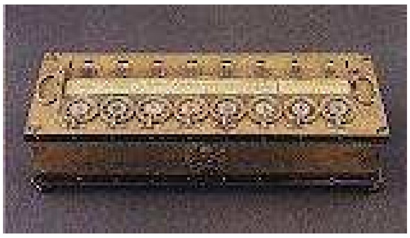
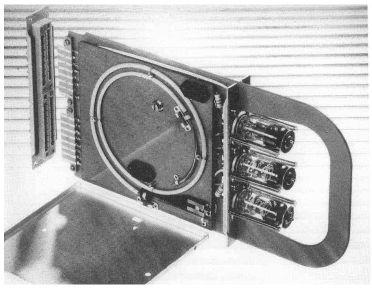


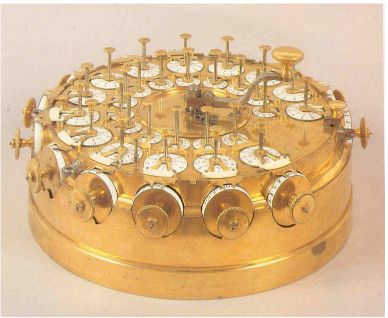


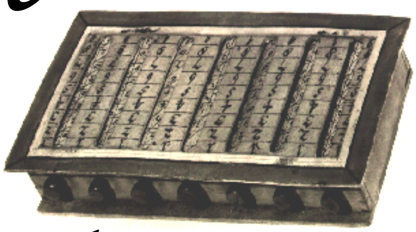
WOLFRAM-M. LIPPE

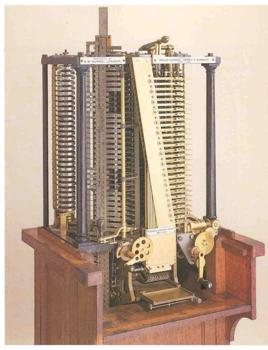


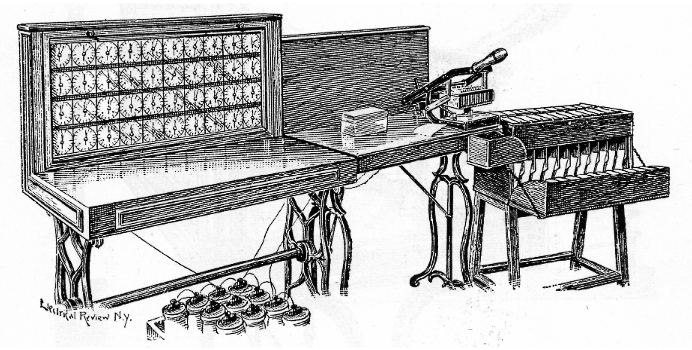


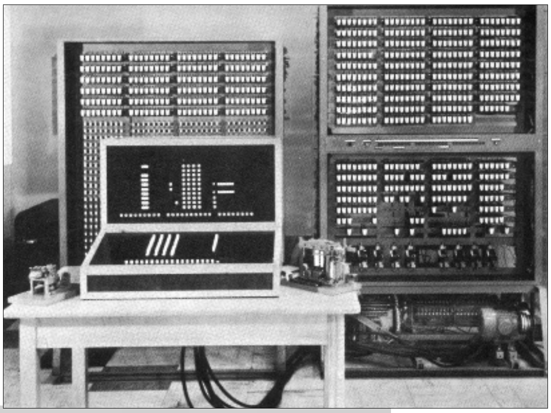
Die Geschichte der Rechenautomaten - von der Antike bis zur Neuzeit











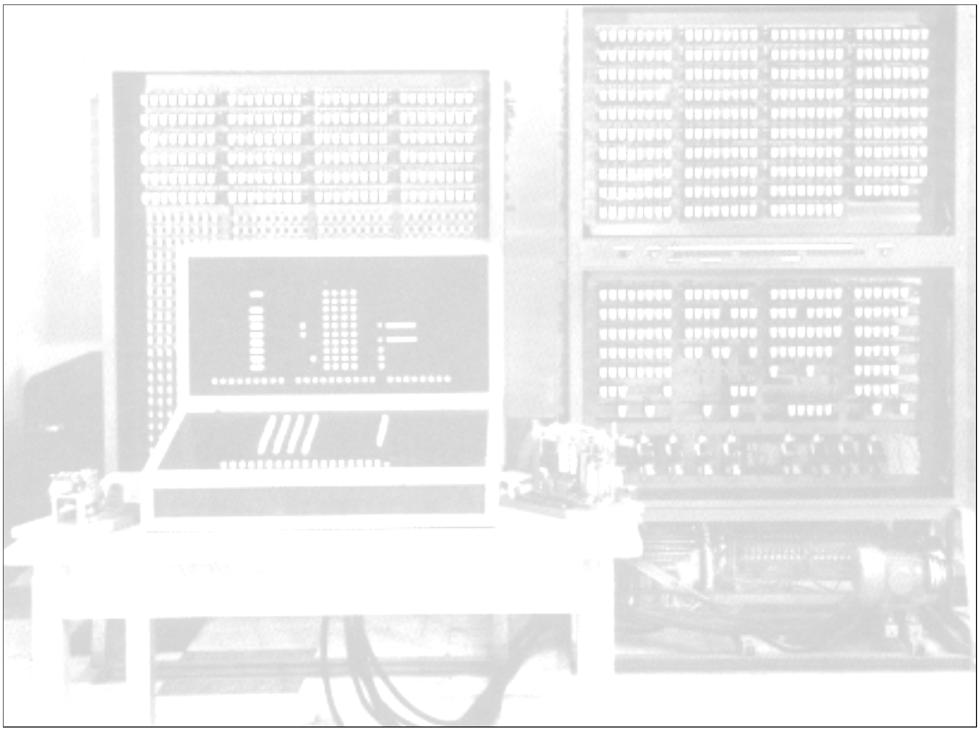
WOLFRAM-M.
LIPPE

Die Geschichte der Rechenautomaten

\-

von Antikythera

bis Zuse



Inhalt

25.08.2006 Fast abgeschlossen

25.08.2006 Fast abgeschlossen

25.08.2006 Fast abgeschlossen

Vorwort

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

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

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

Auslösender Faktor war dann eine Einladung im Jahre 2000 anläßlich einer Jubilarehrung des VDE - Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik e.V. - einen Vortrag zu dieser Thematik zu halten. Bei den Vorbereitungen zu diesem Vortrag wurde ich sofort mit einer Problematik konfrontiert: Das Fach, in dem ich mein Diplom abgelegt habe und für das ich vor über zwanzig 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. Daher entstand der Titel „Geschichte der Rechenautomaten“. An Stelle des Untertitels „von der Antike bis zur Neuzeit“ hätte man auch

„von A (wie das Räderwerk von *A*ntikythera)

bis Z „ (wie *Z*use, dem Erbauer der ersten frei programmierbaren Rechenmaschine)

wählen können, denn dieser Zeitraum ist der Gegenstand dieses Buches und deckt damit die wichtigsten Meilensteine auf dem Weg zu der Architektur unserer modernen Rechenanlagen ab.

Mit diesem Buch soll ein Einblick in die über 2000jährige faszinierende Geschichte dieses Weges gegeben werden, der geprägt ist durch Visionäre, durch unermüdliche Tüftler, vom erreichten Wissen, welches wieder verloren ging, und von Motivationen, die vom Freundschaftsdienst bis zum steten Streben nach neuer wissenschaftlicher Erkenntnis reichen.

Wenn man ein so umfangreiches Buch schreibt, macht man Fehler. Sollten Sie als Leser Fehler in diesem Buch finden, so würde ich mich freuen, wenn Sie mir dies mitteilen würden, damit diese Fehler in folgenden Auflagen korrigiert werden können. Auch Berichte über eigene Erkenntnisse sind willkommen.

An dieser Stelle sei allen Studierenden, die im Sommersemester 1999 an meinem gleichnamigen Seminar teilgenommen haben, für ihr enormes Engagement gedankt, Es sind die Damen und Herren

Besonderer Dank gebührt auch den „guten Feen meines Vorzimmers“ Frau Marlies Giesa und Frau Guida Gentes, die…..

Möge dieses Buch dem Leser bei seinem Studium einige vergnügliche Stunden bereiten.

1 Zur Geschichte des Begriffes „Informatik“

Das Wort „Informatik“ 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, 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.

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

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

2 Das Räderwerk von Antikythera

2.1 Der Fund des Räderwerkes

Im Jahre 1900 wurden in der Ägäis nahe der Insel Antikythera (antik: Aegil, Abb. 2.1) von einem römischen Schiffswrack bronzene Teile geborgen, die in keiner Weise mit dem verglichen werden konnten, was bis dahin im Mittelmeerraum gefunden wurde. Das besagte Schiffswrack gab auch eine Reihe anderer Kunstwerke frei, z.B. zahlreiche Statuen und Amphoren. Als man sich jedoch anschickte, die erwähnten Bronzeteile zu analysieren, begann ein großes Staunen.

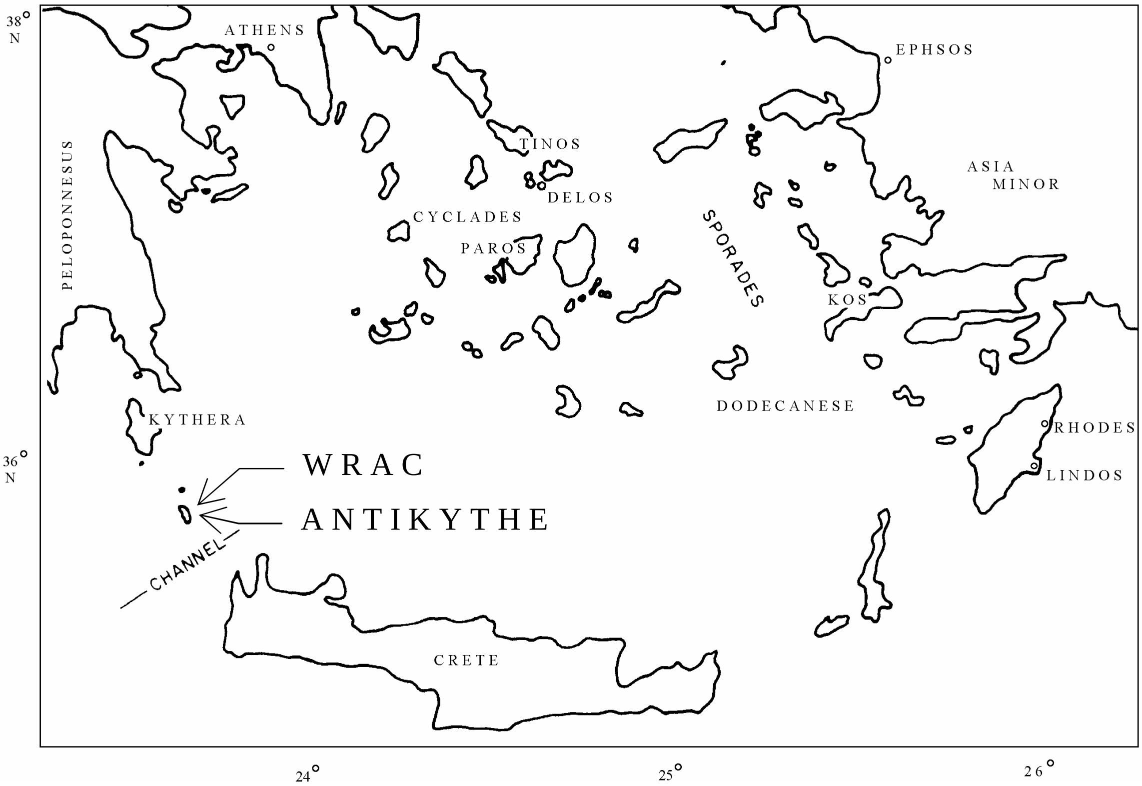


Abb. 2.1 Position der griechischen Insel Antikythera

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 (Abb. 2.3, 2.4 und 2.5) kann man einen Eindruck davon bekommen, wie das Original ausgesehen haben muß (Abb. 2.6 und 2.7). Die geborgenen Fragmente befinden sich heute im National-Museum in Athen.

Man fand in den griechischen Beschriftungen auf den Überresten Hinweise auf den damals gebräuchlichen Kalender, auf Sonne, Mond und auf die damals bereits bekannten Planeten.

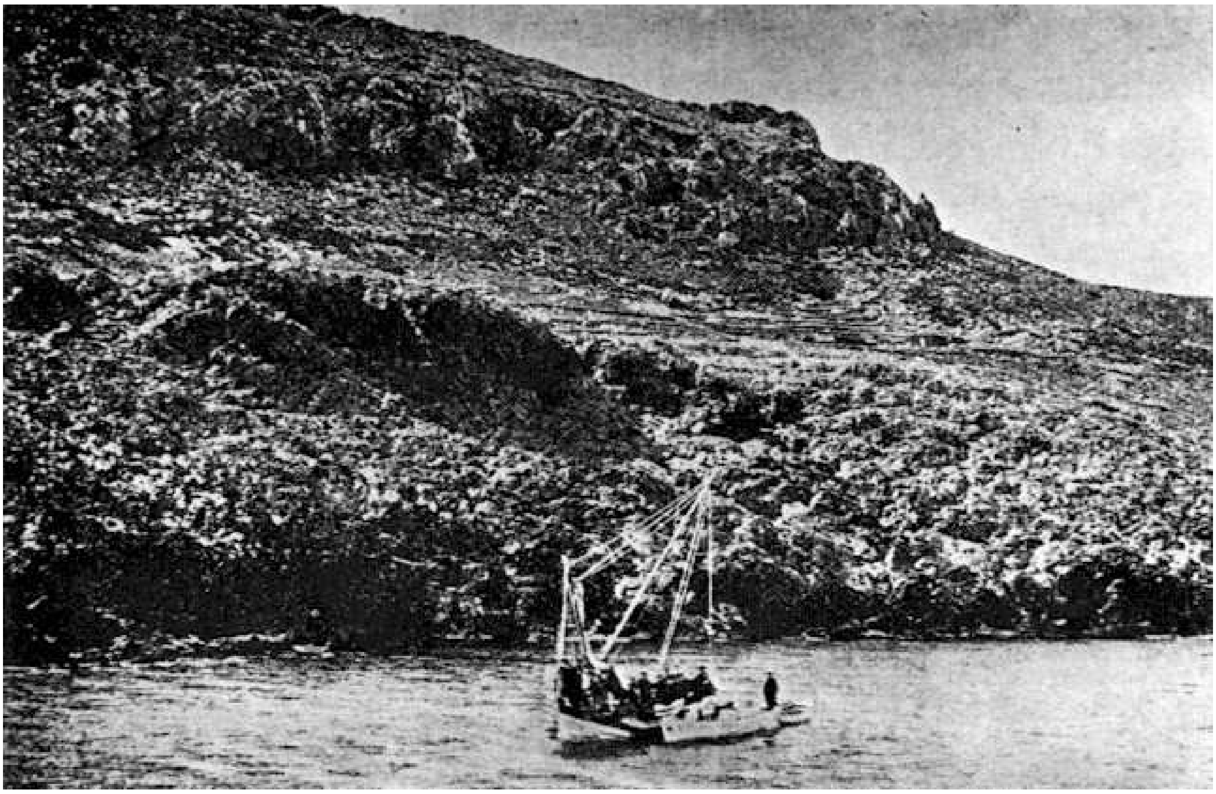


Abb. 2.2 Die Taucher, die 1900 den Mechanismus von Antikythera entdeckten

Daneben fanden sich kreisförmige Skalen mit der Tierkreisteilung einerseits und dagegen verschiebbar - konzentrisch hierzu - Skalen mit den Monatsnamen. Auf der Rückseite des deswegen auch als Planetarium bezeichneten Räderwerks fanden sich sogar 4 konzentrische gegeneinander verschiebbare Ringe, die dann auf andere Himmelskörper und auf die Planeten hinwiesen.

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

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

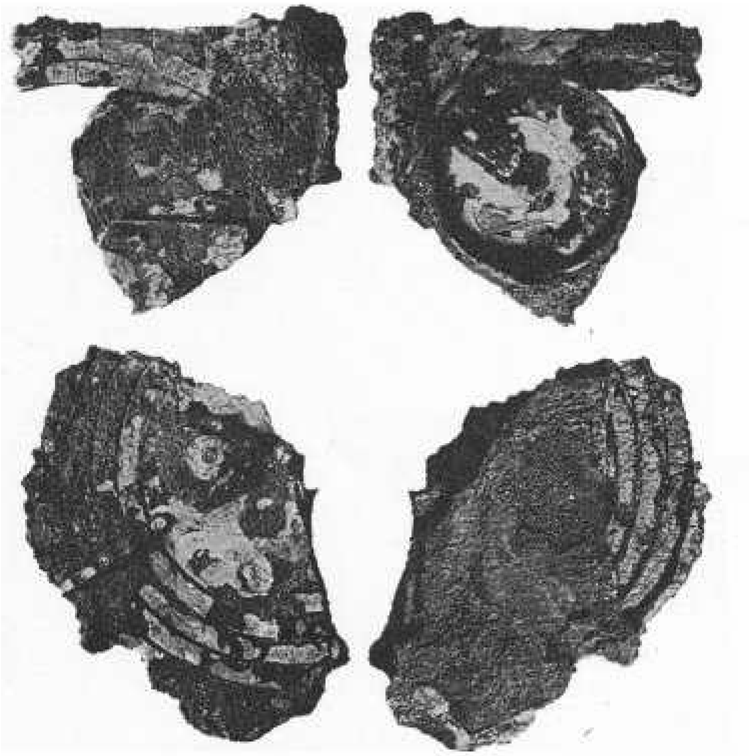


Abb. 2.3 Fragmente des Antikythera Mechanismus von beiden Seiten (2 Paare)

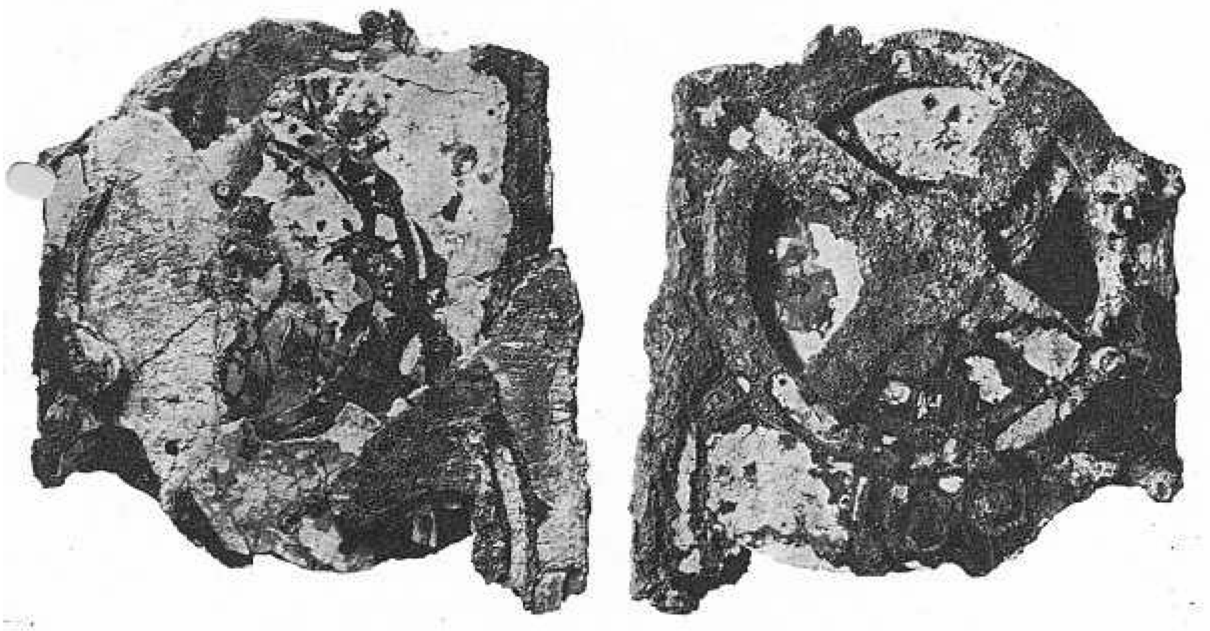


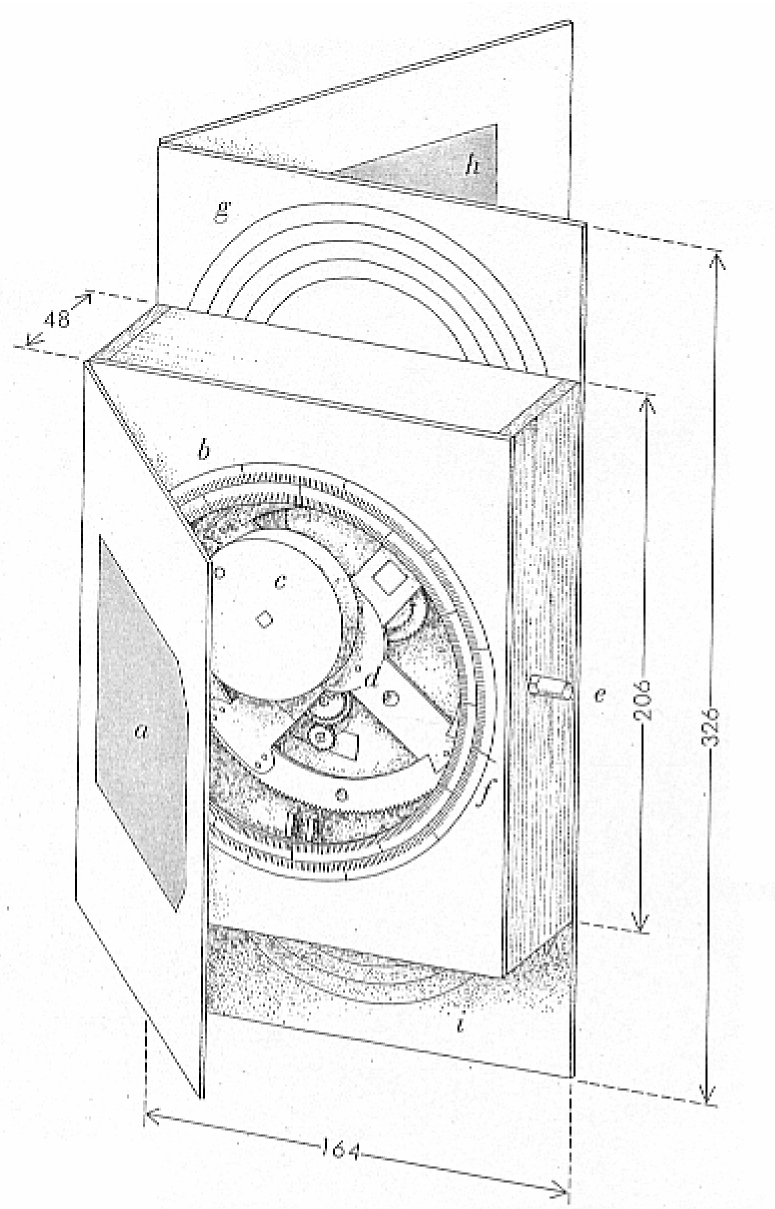
Abb. 2.4 Ein weiteres Paar des Mechanismus

Abb. 2.5 Rechtes Fragment aus Abb. 2.4 mit anderer Aufnahmetechnik

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

Der Fund bleibt auch dann ein einmaliger Glücksfall, wenn man heute feststellen muß, daß die Behandlung des kostbaren Fundes von Anfang an durch zahlreiche Fehler gekennzeichnet war. So zerfiel etwa der Holzkasten, in dem sich das Räderwerk befunden hatte, vollständig, da man nicht die heute üblichen Konservierungs-Maßnahmen traf, mit denen man jetzt hölzerne Funde und Schiffswracks vom Meeresboden vor dem weiteren Verfall bewahrt.

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



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.

Abb. 2.6 Teilweise rekonstruierter Mechanismus

Die Erkenntnisse und Fähigkeiten, die die Schöpfer des Räderwerkes von Antikythera besaßen, sind in der Folgezeit größtenteils verlorengegangen. Erst mehr als tausend Jahre später soll durch Al Biruni im arabischen Raum ein Räderwerk erbaut worden sein, welches vergleichbar mit dem von Antikythera war. Dieses Räderwerk ist jedoch nicht erhalten; seine Existenz und seine Fähigkeiten werden nur in verschiedenen Berichten erwähnt. Ob Al Biruni auf alte Überlieferungen zurückgegriffen hat oder ob es sich hierbei um eine Neukonstruktion handelte, ist nicht bekannt. Die Konstruktion von Al Biruni ist jedoch kennzeichnend für die Tatsache, daß sich die Fortschritte in der Mathematik, der Astronomie und der Technik zur damaligen Zeit überwiegend im arabischen Raum abspielten

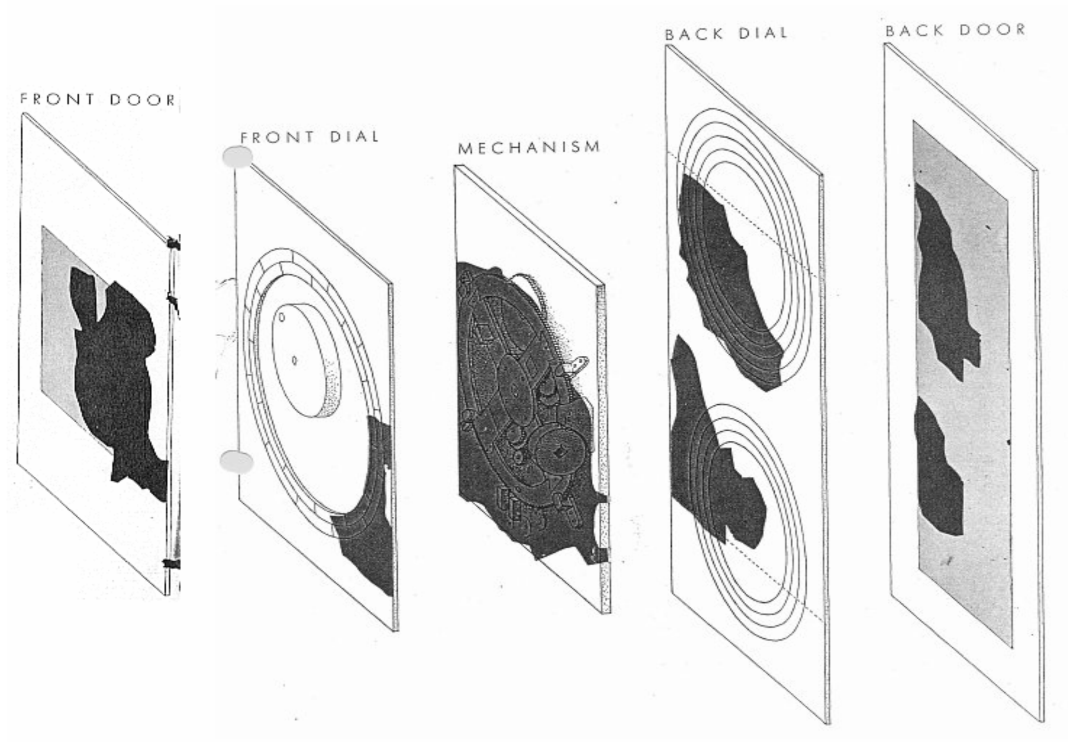


Abb. 2.7 Diese Abb. zeigt, wie die Fragmente mit den Platten des Mechanismus zusammenhängen

2.2 Die Erforschung des Räderwerks

Nachdem das Räderwerk entdeckt wurde, begann man nach einigen Monaten damit, es zu identifizieren und seine Funktionen zu erforschen. 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 - Professor für Wissenschaftsgeschichte an der amerikanischen Yale University - vorgenommen, der beim Studium der Geschichte wissenschaftlicher Instrumente auf den Mechanismus im Athener Museum gestoßen ist.

Abb. 2.8 Derek del Sollo Price

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.

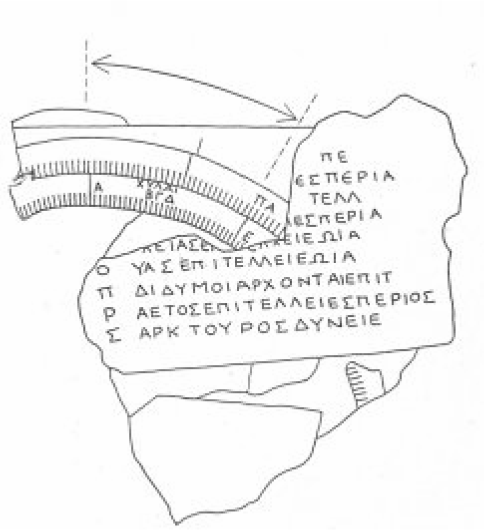


Abb. 2.9 Segmente des vorderen Zifferblattes mit Parapegma-Platte

Es 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 (Abb. 2.9). 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 (Abb. 2.10). 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).

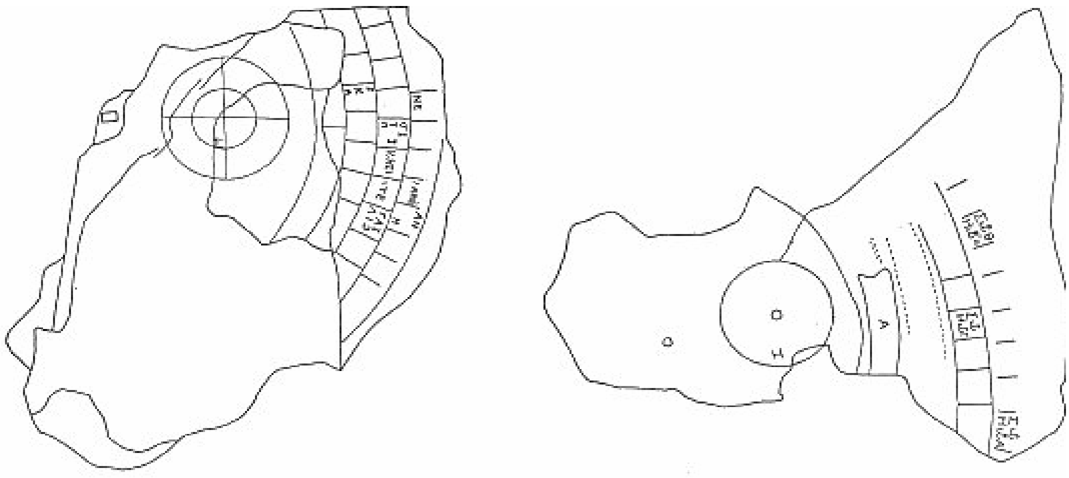
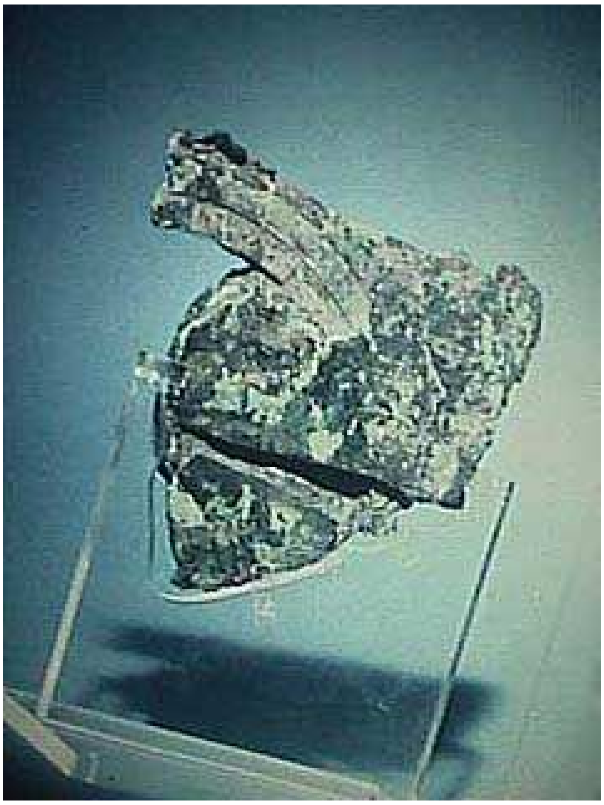


Abb. 2.10 Segmente der Rückseiten-Zifferblätter, links ist das obere und rechts das untere Blatt zu sehen

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 Paradigmaplatte nahe des Frontzifferblattes. 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. Die Hauptinschriften sind in einem sehr schlechten Zustand und nur sehr kleine Stückchen können gelesen werden. Um die Verfassung der Inschriften zu beschreiben, reicht es zu erwähnen, daß einige Platten komplett verschwunden sind und nur Abdrücke ihrer Buchstaben hinterlassen haben, die in Spiegelschrift auf der Platte darunter stehen. Es ist erstaunlich, daß solche Inschriften trotzdem gelesen werden können.

Aber obwohl nur einige Wörter komplett gelesen werden können, kann man eine Idee ihrer Bedeutung bekommen. Die Sonne ist mehrfach erwähnt, und der Planet Venus einmal; Zeiten werden benutzt, die auf Stationen und Laufbahnen der Planeten hinweisen. Die Ekliptik wird genannt. Zeiger, sicherlich die der Zifferblätter, werden erwähnt. Die Zeile einer Inschrift besagt „ 76 Jahre, 19 Jahre“. Diese weist auf den wohl bekannten Callipic-Zyklus von 76 Jahren hin, welche viermal der Metonische Zyklus [nach dem altgriech. Mathematiker Meton (von Athen) alter Kalenderzyklus] von 19 Jahren ist, oder 235 synodische (lunar) Monate. Die nächste Zeile beinhaltet die Zahl „223“, welche auf den ekliptischen Zyklus von 223 Lunar-Monate hinweist.



2.11 Foto eines originalen Fragmentes

2.3 Der Zeitpunkt der Herstellung

Einige technische Details der Zifferblätter sind besonders interessant. Das Frontblatt liefert das einzig bekannte umfassende Exemplar der Antike eines wissenschaftlich gestaffelten Instruments. Wenn man die Genauigkeit der Staffelung unter dem Mikroskop mißt, entdeckt man, daß der durchschnittliche Fehler über den sichtbaren 45 Grad ungefähr ¼ Grad beträgt. Die Art, in der der Fehler variiert, läßt darauf schließen, daß der Bogen mit bloßem Auge erst geometrisch geteilt und dann unterteilt wurde. Noch wichtiger ist, daß dieses Zifferblatt uns Aufschluß über den Zeitpunkt der Herstellung dieses Instruments geben könnte, und zwar astronomisch. Der bewegliche Ring ist notwendig, da der alte Ägyptische Kalender, ohne Schaltjahre einen jährlichen Fehler von einem Viertel aufwies, so daß die Monatsskala um diese Größe justiert werden mußte. Soweit die zwei Skalen des Zifferblattes noch erhalten sind, sind sie um 13.5 Grad phasenverschoben. Standard-Tabellen zeigen, daß diese Zahl nur in dem Jahr 80 v.Chr. vorkommen konnte und (weil wir nicht den Monat kennen) alle 120 Jahre vor oder nach diesem Datum. Alternative Daten sind aber archäologisch unwahrscheinlich: 200 v.Chr. ist zu früh, und 40 n. Chr. ist zu spät. Deshalb, vorausgesetzt, der bewegliche Ring ist nicht mehr von seiner letzten Position bewegt worden, ist er 80 v.Chr. gestellt worden. Weiterhin, wenn man damit richtig liegt, daß eine Markierung, die nahe der Monatsskala gemacht wurde, dazu diente, um im Falle einer mißglückten Einstellung die richtige Einstellung wiederherzustellen, kann man noch mehr aussagen. Diese Markierung ist exakt ½ Grad entfernt von der jetzigen Einstellung der Skala, und dies würde bedeuten, daß die Markierung zwei Jahre vor dieser Einstellung gemacht wurde. Somit, obwohl die Aussage nicht bewiesen ist, kann man zu der Annahme kommen, daß das Instrument im Jahre 82 v.Chr. erbaut wurde und zwei Jahre benutzt worden ist (lange genug, um die Reparaturen nötig gemacht zu haben).

Diese Datierung wird auch durch die Datierung der übrigen Gegenstände, die aus dem Wrack geborgen wurden, gestützt.

2.4 Bestimmung der Funktion und Rekonstruktion

Fügt man die soweit gesammelten Informationen zusammen, scheint es vernünftig anzunehmen, daß die Absicht des Antikythera-Mechanismus war, genau die zyklischen Relationen, die beschrieben wurden, 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.

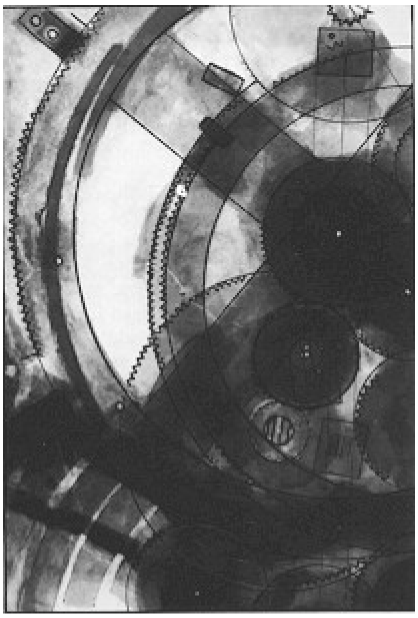


Abb. 2.12 Röntgenaufnahme von 1971, in die Derek de Solla Price einzeichnete, wie der Mechanismus seiner Ansicht nach funktionierte

Mechanismus ist ähnlich einer bedeutenden astronomischen Uhr oder einem modernen Analogcomputer, der mechanische Teile benutzt, um Berechnungen zu speichern. Es ist wirklich schade, daß man nicht weiß, ob das Gerät automatisch oder per Hand gedreht wurde. Es mag in der Hand gehalten und durch ein Rad an der Seite gedreht worden sein, so daß es wie ein Computer arbeitete, möglicherweise für astrologische Zwecke. Price ist eher der Ansicht, daß das Gerät permanent befestigt war. Vielleicht in einer Statue als Ausstellungsstück. In diesem Falle ist es möglicherweise durch die Kraft einer Wasseruhr oder ähnlichem gedreht worden.

Die Ergebnisse seiner Untersuchungen sind im folgenden näher beschrieben:

2.4.1 Die Details

Die Zahnräder im Inneren des Mechanismus sind auf einer bronzenen Platte befestigt. Auf der einen Seite der Platte kann man alle Zahnräder der Montage entdecken und kann approximativ bestimmen, wieviel Zähne jedes einzelne besaß und wie sie ineinandergriffen. Auf der anderen Seite der Platte kann dies analog erfolgen, aber man hat nicht die sehr wichtigen Hinweise, die ein komplettes Bild des Getriebes liefern.

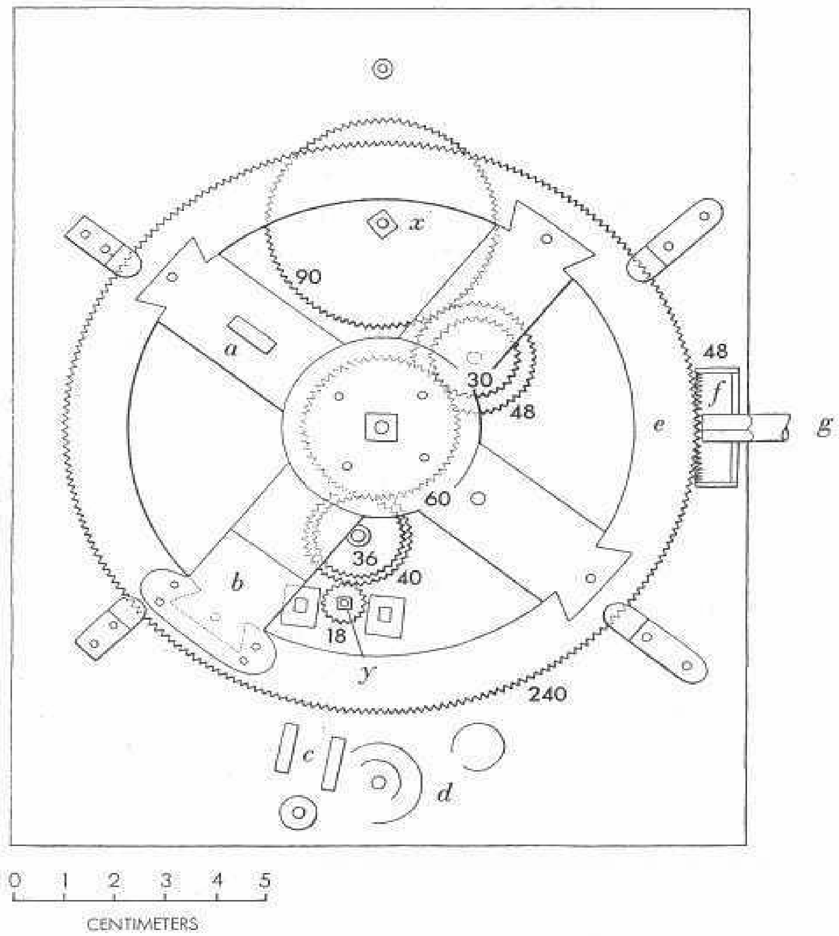


Abb. 2.13 Details des Mechanismus (Vorderseite)
(Man beachte die Größenordnung)

Das Hauptmodell des Mechanismus ist trotz alledem völlig klar. Eine Eingabe wurde durch eine Achse getätigt, die an der Seite des Gehäuses angebracht war, welche dann ein Kronenzahnrad drehte. Dieses bewegte ein großes, mit vier Speichen versehenes Antriebsrad, welches mit zwei Ketten von Zahnrädern verbunden war. Diese wiederum bewegten die Platte auf und ab und waren durch Achsen mit Rädern auf der anderen Seite der Platte verbunden. Auf dieser Seite setzten sich die Zahnradketten fort, führten durch eine epizyklische Drehscheibe und gelangten schließlich zu einer Reihe von Schäften, welche die Zeiger des Zifferblattes bewegten. Wenn die Eingabeachse bewegt wurde, bewegten sich alle Zeiger mit verschiedenen Geschwindigkeiten auf ihren Zifferblättern.

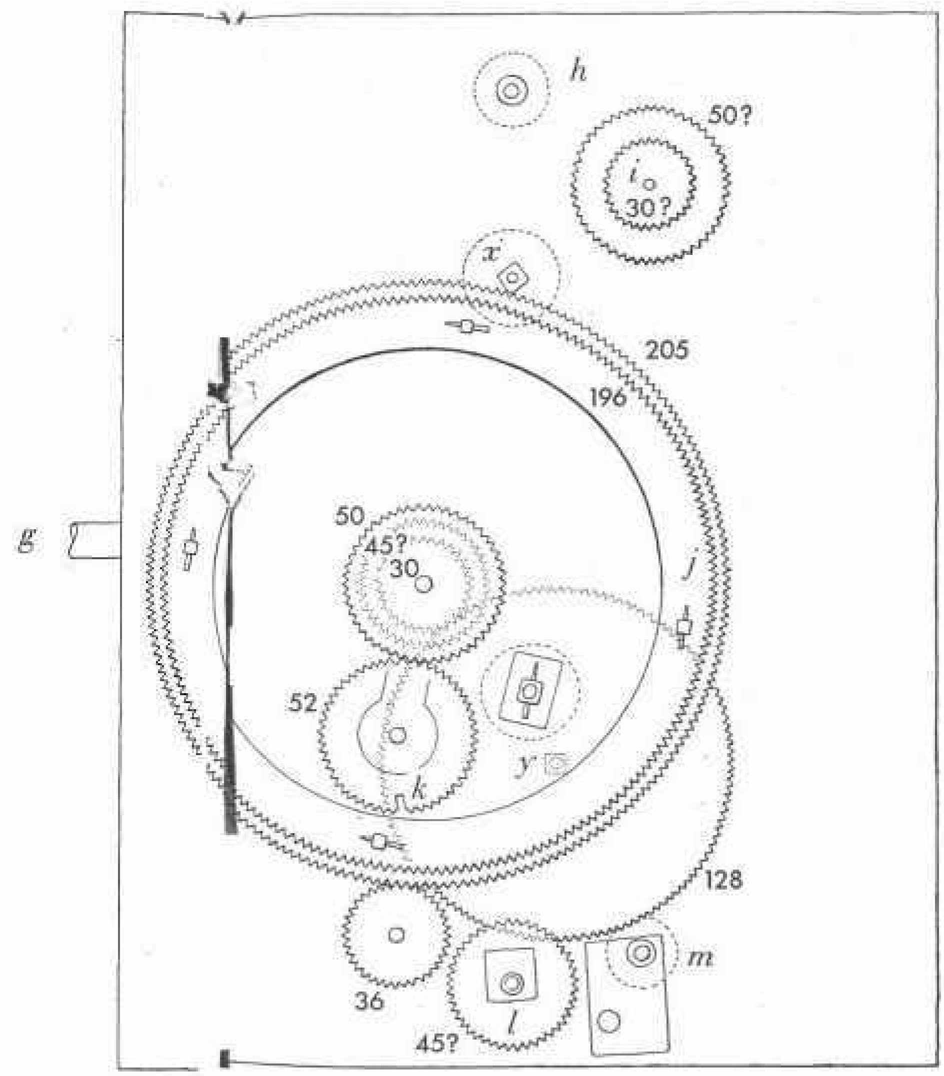


Abb. 2.14 Details des Mechanismus (Rückseite)

Einige strukturelle Merkmale des Mechanismus verdienen besondere Aufmerksamkeit. Sämtliche Metallteile der Maschine scheinen aus einem einzigen zwei Millimeter dicken Bronzestück gefertigt zu sein; kein Teil ist aus einem anderen Metall erstellt. Es gibt Hinweise, daß der Erbauer wohl ein Blech benutzte, das schon viel früher hergestellt wurde - gleichförmige

Metallplatten von guter Qualität waren wahrscheinlich rar und teuer. Die Zähne aller Zahnräder wurden mit demselben Winkel (60 Grad) und in derselben Größe angefertigt, so daß jedes Rad mit jedem anderen ineinandergreifen konnte. Es gibt, wie bereits erwähnt, Zeichen dafür, daß die Maschine mindestens zweimal repariert wurde; eine Speiche des Antriebsrades wurde geflickt, und ein gebrochener Zahn in einem kleinen Rad ist ersetzt worden (siehe Abb. 2.14). Diese Reparaturen belegen, daß die Maschine tatsächlich funktioniert haben muß.

2.4.2 Die Inschriften

Das Gehäuse war mit drei Zifferblättern versehen, eines auf der Vorder- und zwei auf der Rückseite. All ihre Bruchstücke sind immer noch von Türstücken oder anderen Trümmern bedeckt. Es kann also nur sehr wenig auf den Zifferblättern gelesen werde. Das vordere Zifferblatt jedoch ist sauber genug, um genau ablesen zu können, wozu es diente.

Price hat versucht, den Mechanismus zu rekonstruieren, was die folgenden zwei Abbildungen zeigen. Die Zahlen in Abbildungen 2.13 und Abb. 2.14 beziehen sich auf die approximative Anzahl der Zahnradzähne.

Die mit Buchstaben beschrifteten Teile, in den zwei Abbildungen 2.13 und 2.14 bedeuten:

(a) Henkel für die Fixierung der exzentrischen Trommel des Vorderseiten-Zifferblattes
(b) reparierte Speiche
(c) Führungskanal für die Feder, die das achtzehnzahnige Rad hält
(d) Nieten für die Achsen und Supportblocks auf der Rückseite
(e) Hauptantriebsrad
(f) Kronenzahnrad
(g) Eingabeachse
(h) Schaft des Hauptzeigers des oberen Zifferblattes
(i) Schaft des Zusatzzifferblattes des oberen Zifferblattes
(j) epizyklisches Zahnrad
(k) repariertes Zahnrad
(l) Schaft des Hauptzeigers des unteren Zifferblattes
(m) Schaft des Zusatzzifferblattes des unteren Zifferblattes
(x und y) Achsen zwischen den beiden Platten

John Glave aus England hat anhand der Rekonstruktion von Price den Versuch unternommen, ein funktionierendes Replika des Original-Mechanismus zu konstruieren. Diese Zahnräder sind nicht wie beim Original aus Bronze, sondern aus Messing gefertigt und sie sind zwischen transparenten Platten angebracht, so daß der Mechanismus sichtbar ist.

Inwieweit dieser Versuch einer Rekonstruktion in Details mit dem Original übereinstimmt, läßt sich jedoch nur schwer bewerten.

Rückseite **Frontseite**

. 2.15 Nachbildungsabbildungen

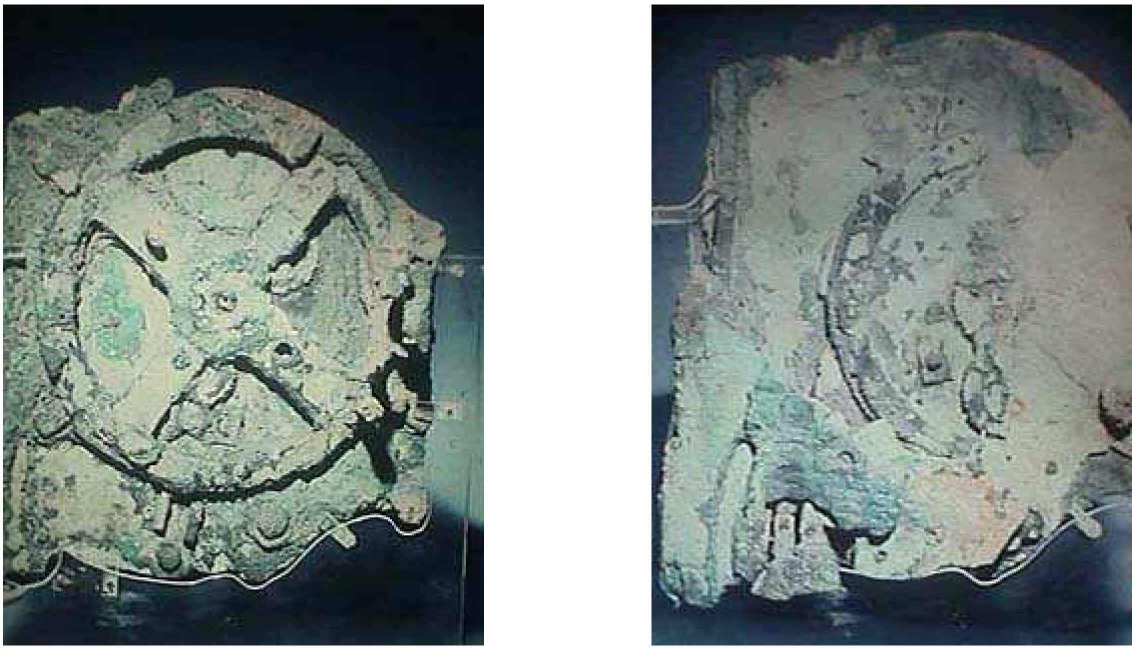


Abb. 2.16 Originale Photos der Fragmente

Kap. 3 Zahlen und Arithmetik

3.1 Ziffern und Zählen

3.2 Zahlensysteme

3.3 Rechnen mit natürlichen Hilfsmitteln

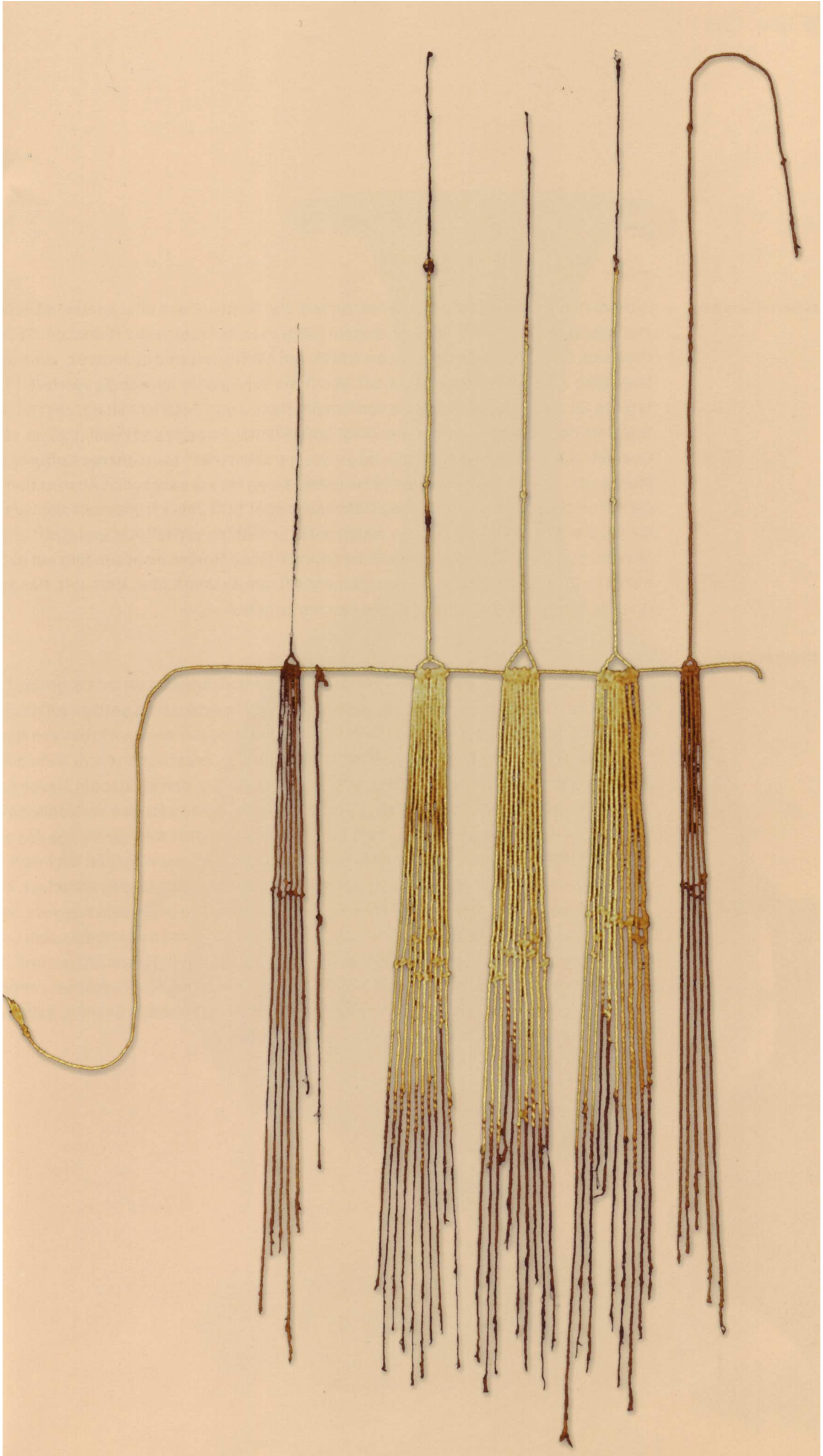


Abb. 3. Quipu

Die Inka kannten keine Schrift im engeren Sinne. Sie verfügten aber sehr wohl über effekive Möglichkeiten, große Mengen an Daten dauerhaft zu erfassen und weiterzugeben. Das wichtigste Speichermedium bestand - folgerichtig für eine Zivilisation, die Textilien eine überragende Bedeutung beimißt - aus Knotenschnüren, den so genannten *Quipu*. Das Wort stammt aus dem Quechua, der Staatssprache der Inka, und bedeutet „Knoten". Ein Quipu besteht aus einer horizontal gehaltenen Schnur, an der viele Seitenschnüre befestigt sind. Bei größeren Quipu können das Hunderte sein. Teilweise gehen von ihnen wiederum Seitenschnüre dritter Ordnung ab. Sie bestehen aus verschiedenen Materialien, sind verschieden gefärbt und gefertigt und tragen unterschiedlich geknüpfte Knoten. Aus der Position, Art und Farbe der Schnur und ihrer Knoten konnte ein spezialisierter Beamter, der Quipu-Gelehrte, Quipucamayoc, Botschaften herauslesen. Überwiegend dienten die Quipu zum Erfassen statistischer Daten, die man für die zentralistische Verwaltung des Inka-Reiches benötigte. So wurde genauestens „Buch geführt" über Tribute und Abgaben, über Bestände in den Lagerhäusern, die Anzahl an Erntefrüchte, Landparzellen, Menschen und Haustieren.

Gerechnet wurde wie bei uns im Zehnersystem. Möglicherweise gab es aber auch ein Fünfer-System, das sich bis heute in entlegenen Bergregionen gehalten hat. Knoten an Schnüren die nach unten weisen, stellen von unten nach oben jeweils die Anzahl von Einern, Zehnern, Hundertern und Tausendern dar. Nach oben gerichtete Schnüre zählen dementsprechend die Zehntausender, Hunderttausender usw. Manchmal fassen nach oben gerichtete Schnüre auch mehrere untere Schnüre zusammen und geben wohl eine Art von Summe der unteren Werte an. Wenn ein Quipu nicht mehr gebraucht wurden, rollte man ihn sorgsam zusammen. So konnte man ihn leicht transportieren oder in Bündeln lagern. Aufgrund falscher Lagerung ist heute meist nicht mehr festzustellen, welche Schnüre nach oben und welche nach unten wiesen. Auch die genaue Decodierung ist bis heute noch nicht in allen Einzelheiten bekannt.

Wird noch erstellt !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

4 Astronomie und Navigation

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 einer der Gründe, 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.

4.1 Astrolabien

Die Entwicklung

Aber betrachten wir weiter die Astrolabien. Im Prinzip handelt es sich um einen Analogrechner, der allerdings eine wesentlich geringere Komplexität als das Räderwerk von Antikythera aufweist.

Abb. 4.1 Astrolabium aus dem 13. Jahrhundert

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 letzen Jahrhunderts in der Schiffahrt 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 Aquators projiziert wird.

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

Die Ursprünge der Astrolabien liegen vermutlich in Griechenland. Apollonius (ca. 225 v.Chr.), der sich intensiv mit Kegelschitten 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 (siehe Anhang Astrolabium) ist ein Schriftstück des römischen Autors und Architekten Vitruvius (ca. 88 - ca. 26 v.Chr.). Er beschreibt in *De architectura* eine Uhr, die von Ctesibius in Alexandria hergestellt wurde, und in der eine stereographische Projektion benutzt wurde.

Ausführlichere Informationen findet man bei Claudius Ptolemy (ca. 150 n.Chr.). Er schrieb umfassend über Projektionen, in seiner als *Planisphaerium* bekannten Arbeit. In ihr gibt es konkrete Hinweise, daß er ein Astrolabien-ähnliches Instrument besessen haben könnte. Ptolemy verfeinerte außerdem noch die Fundamentalgeometrie des bis dahin bekannten Erde-Sonne Systems, und schuf damit Grundlagen zur Weiterentwicklung von Astrolabien.

Theon aus Alexandria (ca. 390) schrieb eine wissenschaftliche Abhandlung über das Astrolabium. Synesius aus Cyrene (378-430), ein Schüler von Hypatia, Theon's Tochter, hat offensichtlich ein Instrument konstruiert, das eine Art Astrolabium gewesen sein könnte. Die älteste wirklich gesicherte Beschreibung eines konkreten Astrolabiums stammt von John Philoponos aus Alexandria im sechsten Jahrhundert und ein Jahrhundert später von Severus Sebokht, Bischof aus Kenneserin, Syrien. Es gibt allerdings Vermutungen, daß Sebokht's Arbeit von denen Theon's beeinflusst wurde. Die Existenz von Astrolabien im siebten Jahrhundert ist allerdings gesichert.

Arabische Abhandlungen über Astrolabien sind seit dem neunten Jahrhundert bekannt und indizieren eine lange Vertrautheit mit dem Instrument. Die ältesten heure noch existierenden Exemplare sind alle arabischen Ursprungs und stammen aus dem zehnten Jahrhundert. Es existieren ferner noch ca. 40 Instrumente aus dem 11. und 12. Jahrhundert. Astrolabien gab es in unterschiedlichsten Ausprägungen: von relativ einfachen mit entsprechend eingeschränkten Anwensungsmöglichkeiten bis zu hoch komplexen und künstlerisch wertvoll gestalteten Exemplaren. Vor allem die persischen Exemplare sind geniale Kunstwerke von äußerster Präzision.

Der Gebrauch des Astrolabiums kam vermutlich mit dem Islam über Nord-Afrika nach Spanien (Andalusien) und somit nach Europa. Informationen über Astrolabien existierten in Europa bereits wesentlich früher – vermutlich über den Handel auf den Schiffartswegen -, aber europäische Anwendungen waren bis zum 13. und 14. Jahrhundert nicht weit verbreitet. Die ältesten Astrolabien, die in Europa benutzt wurden, waren Importe aus dem moslemischen Spanien. Neben den original arabischen Inschriften gravierte man zusätzlich lateinische Wörter ein. Zum Ende des 12 Jahrhunderts gab es gerade mal ein halbes Dutzend lateinischer Abhandlungen über Astrolabien. Ein Jahrhundert später hatte sich diese Zahl auf mehrere Hundert erhöht. Europäische Hersteller erweiterten die Gravierungen der Platte um astrologische Informationen und fügten verschiedene Variationen der Zeitmessungen, die in dieser Ära benutzt wurden, hinzu. Merkmale, die sich auf Informationen für die islamische Gebete bezogen, wurden völlig von den europäischen Astrolabien verbannt.

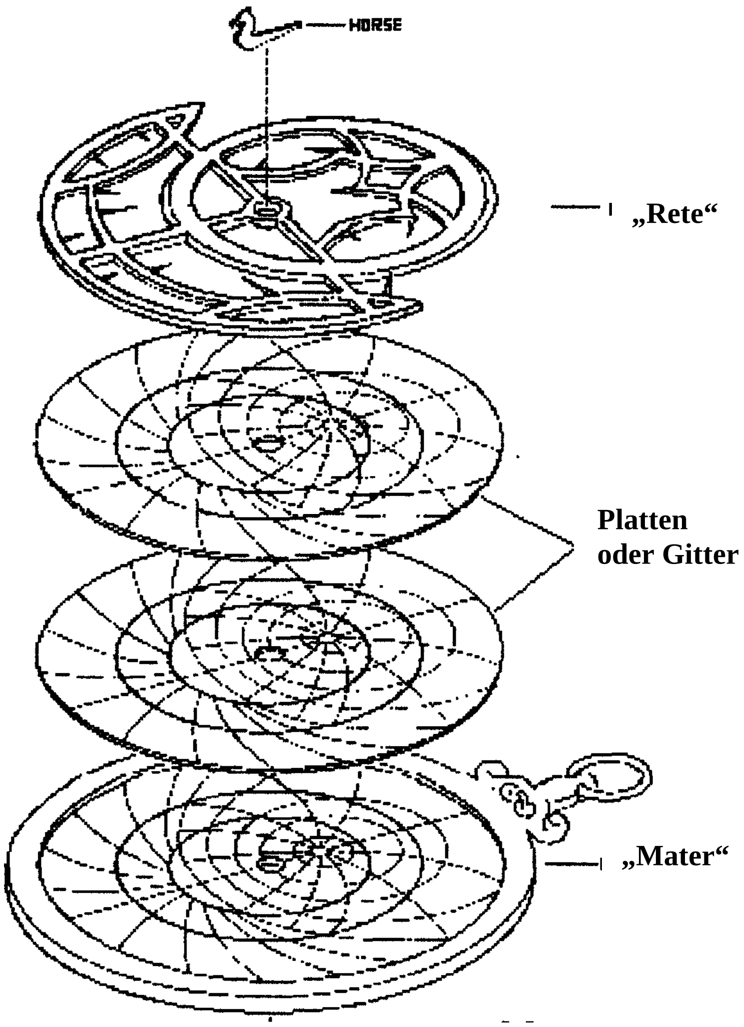
Astrolabien erreichten in Eropa ihre größte Popularität im 15. und 16. Jahrhundert. Sie waren eines der Grundwerkzeuge für die astronomische Ausbildung. Astronomisches Wissen wurde als fundamental in der Ausbildung angesehen. Die Fähigkeit, ein Astrolabium benutzen zu können, galt als Zeichen einer guten Ausbildung und Erziehung. Bald bildeten sich Zentren für die Herstellung von Astrolabien heraus. Im 15. Jahrhundert waren dies Augsburg und Nürnberg sowie einige Produktionsstätten in Frankreich. Im 16. Jahrhundert kamen die besten Instrumente aus Louvain in Belgien. Mitte des 17. Jahrhunderts wurden Astrolabien in ganz Europa gebaut. Das bevorzugte Material war Messing. Astrolabien aus Papierwurden nach der Erfindung des Buchdrucks entwickelt. Von ihnen sind nur ein paar erhalten geblieben

Einige interessante Variationen der Astrolabien, die man als *„universelle Astrolabien“* bezeichnete, wurden im 15. Und 16. Jahrhundert entwickelt. Sie konnten besonders viele Aufgaben lösen, aber aufgrund der hohen Kosten und der komplexen Operationen erreichten sie nie die Popularität des planisphärischen Typs. Eine Ableitung eines Astrolabiums, bei dem das runde Astrolabium auf einen Quadranten reduziert wurde, ist durch Profat Tibbon aus Montepelior 1288 beschrieben worden. Nur wenige Exemplare dieser Quadranten-Astrolabien blieben erhalten, aber viele Abhandlungen bezüglich ihrer

Konstruktion sind überliefert. Eine spezielle Form der Quadranten-Astrolabien war im Osmanischen Reich bis ins frühe 20. Jahrhundert ziemlich populär.

Die Teile eines Astrolabiums

Der wesentlichste Informationsteil war die Vorderseite. Diese besitzt zwei Arten von Teilstücken; feste und bewegliche. Die festen repräsentieren Zeitskalen und ferner die stereographische Projektion des Himmels von einem bestimmten Breitengrad aus betrachtet. Die beweglichen Teile simulieren die tägliche Rotation des Himmels.



Mater und Platte

Der Hauptkörper (Mater, Latein für Mutter) eines typischen Astrolabiums besteht aus einer Scheibe. Diese ist in der Mitte ausgehöhlt, um einen Satz dünner Messingplatten zu halten. Der Ring am Rand der Scheibe war in Gradzahlen, und auf vielen europäischen Astrolabien in 24 Stunden, mit Mittag an der oberen und Mitternacht an der unteren Seite, unterteilt. Islamische Astrolabien hatten normalerweise keine Stundenmarkierungen. Die Spitze der Mater war an einem Ring oder einer Kette befestigt, damit das Instrument für Beobachtungen befestigt werden konnte.

Eingesetzt in die hohle Sektion der Scheibe ist eine Platte (auch climate oder tympanum genannt) für den lokalen Breitengrad. Diese Platte zeigte die stereographische Projektion der Himmelssphäre auf dem Äquator. Sie wurde benutzt um die Position eines himmlischen Objektes am Himmel zu finden, so wie sie durch einen Beobachter an einem bestimmten Standort gesehen wurde.

Die gebogenen Linien auf der Platte repräsentieren die verschiedenen Himmelspositionen. Die Bestimmung eines Objektes konnte eindeutig aus dem Winkel dieses Objektes über dem Horizont(Höhe) und seiner Richtung (Azimut) erfolgen. Genau wie bei einem Kompaß schaut man auf ein Astrolabium herab.

Die geraden Linien, die den Durchmesser der Platte darstellen, repräsentieren die Richtung. Die vertikale Linie bezeichnet die Nord-Süd-Achse und somit der Längenkreis des Standortes. Süden ist hierbei oben. Die horizontale Linie bezeichnet die Ost-West-Achse, mit Osten an der linken Seite der Platte.

Die zur Mitte des Astrolabiums konzentrischen Kreise stellen die Wendekreise dar. Der äußere Kreis, bezeichnet den Wendekreis des Steinbocks, der die südliche Grenze der jährlichen Sonnenbewegung markiert. Der mittlere Kreis ist der Äquator und der innere Kreis ist der Wendekreis des Krebs; die nördliche Grenze.

Das Netz der gebogenen Linien im Inneren des Instruments zeigen die Positionen am Himmel. Die untere dicke Linie repräsentiert den Horizont, die Linie an der sich Himmel die Erde berühren. Jedes Objekt über dem Horizont ist sichtbar; jedes darunter nicht. Die Kreise oberhalb des Horizonts stellen Linien der gleichen Höhe über dem Horizont dar. Jeder Kreis der obigen Figur repräsentiert 10 Höhengrad, das bedeutet, das jedes Objekt das irgendwo auf dem 50° Kreis liegt eine Höhe von 50° besitzt. Die Gradeinteilung varierte, mache Astrolabien besaßen Höhenlinien für jedes Grad, alle 2 Grad oder fünf Grad.

Der Punkt innerhalb des kleinsten Kreises an dem sich die Linien kreuzen ist der Zenit; der Punkt direkt über dem Kopf. Die Höhenkreise werden in vielen Astrolabienbücher auch oft mit ihren arabischen Namen „almucanters" bezeichnet.

Die Bögen, die scheinbar vom Zenit aus strahlen, sind die Bögen mit gleichem Azimut. Der Azimutwinkel eines Objektes am Himmel ist der Winkel vom Norden, gemessen am Horizont. Wie bereits erwähnt, kann man ein Objekt am Himmel immer lokalisieren, wenn man seine Höhe und seinen Azimut kennt.

Die gestrichelten Linien unter dem Horizont zeigen die Phasen der Dämmerung. Die Bögen, die die Wendekreise des Steinbocks und des Krebses unterhalb des Horizonts verbinden, wurden benutzt um die ungleichen Stunden des Tages oder der Nacht zu bestimmen. Die Bögen, die von dem Nordpunkt des Horizonts ausgestrahlen, werden als die astrologischen „Großen Häuser des Himmels" bezeichnet und waren auf vielen europäischen Astrolabien üblich.

Da die Projektionen auf den Platten stets nur für einen festen Breitengrad korrekt waren, mußten z.B. in der Seefahrt verschiedene Platten für die verschiedenen Breitengrade mitgeführt werden.

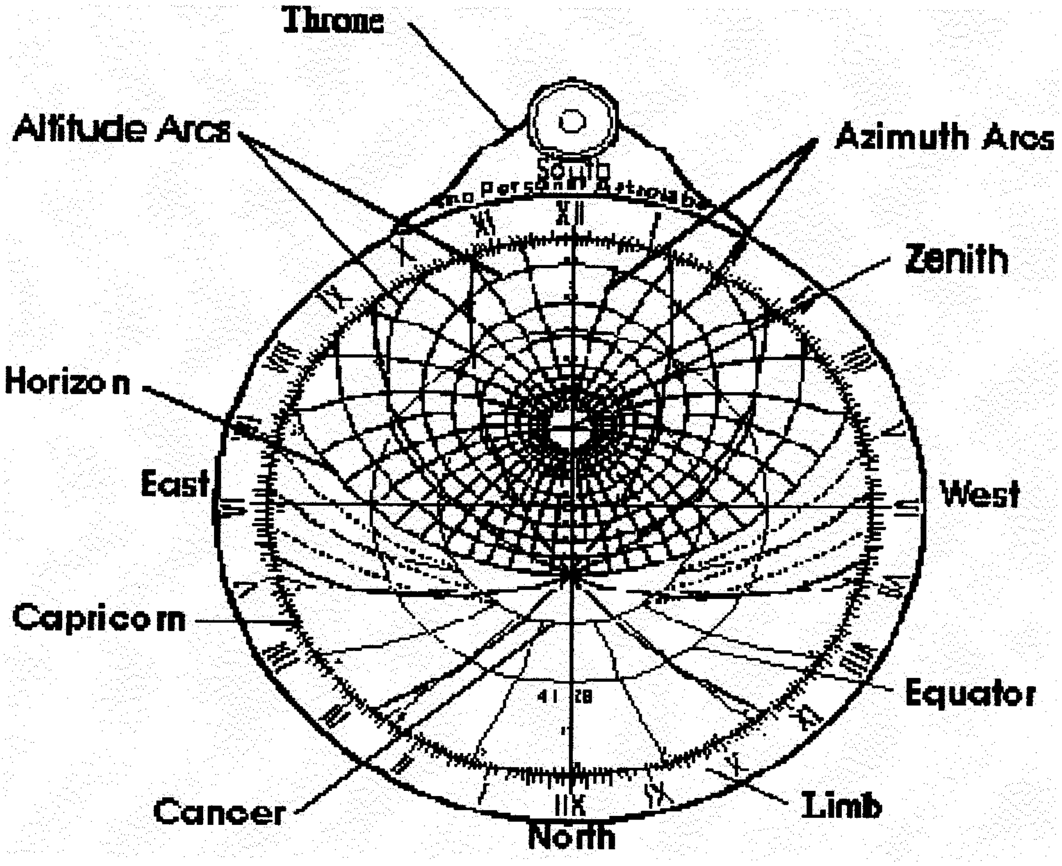


Abb. 14: Die Platte des Astrolabiums

Rete

Die Rete (lateinisch. Netz), die über der Platte sitzt, war beweglich angeordnet, um die tägliche Bewegungen der Sterne am Himmelnachvollziehen zu können. Die Rete besaß zwei Hauptkomponenten: Sternenzeiger und die stereographische Projektion der Ekliptik.

Die Sternenzeiger sind an der Position ihrer stereographischen Projektion angebracht. Die Anzahl der Sternenzeiger variiert von 10 oder 12 bei alten und einfachen Astrolabien bis hin zu mehr als 50 oder 60 bei großen und wertvollenExemplaren.

Der verschobene Kreis auf der Rete stellt die stereographische Projektion der Sonnenlaufbahn dar. Dieser Ekliptik-Kreis ist verschoben, so daß er den Wendekreis des Steinbocks nur zur Sommersonnenwende und den Wendekreis des Krebs nur zur Wintersonnenwende berührt. Die Sonne umläuft die Ekliptik einmal komplett pro Jahr. Wenn das Datum bekannt ist, ist auch die Position der Sonne auf ihrer Laufbahn bekannt und bezeichnet ihren Längengrad.

In der Antike war die Sonnenlaufbahn in 30 Längengradabschnitte unterteilt, und repräsentierte die Tierkreiszeichen. Die Position der Sonne auf ihre Laufbahn wurde auf der Rückseite des Astrolabiums von Skalen abgelesen. Daraufhin wurde ein Art Lineal (rule) soweit gedreht, bis es die Ekliptik an dem korrekten Längengrad kreuzte. An der Dieser Stelle befand sich dann die Position der Sonne für diesen Tag. Das Lineal und die Ekliptik sind dann gemeinsam gedreht worden, um die Uhrzeit zu bestimmen, oder um Probleme bezüglich der Position der Sonne zu lösen.

c) Rückseite

Die Rückseite des Astrolabiums bestand aus Skalen die dazu benutzt wurden den Längengrad der Sonne zu bestimmen, und aus einem Alidade und Skalen die zur Bestimmung der Höhe der Sonne und Sterne verwendet wurden.

Eine der Hauptanwendungen des Astrolabiums ist die Bestimmung der Uhrzeit anhand der Höhe der Sonne oder eines Sternes. Die Rückseite eines Astrolabiums besaß einen beweglichen Alidade und eine Skala von Gradzahlen um Höhenmessungen durchzuführen. Diese funktionierte wie folgt: Das Astrolabium wird auf Augenhöhe befestigt und in Richtung Sonne oder Stern orientiert. Das Alidade wird gedreht, bis der Stern durch das Alidade anvisiert ist, oder der Schatten der Sonne direkt der Länge des Alidade entlang fällt. Die Höhe wird dann von der Höhenskala abgelesen, die sich auf dem Rand des Instruments befindet.

Wie bereits erwähnt muß der Längengrad der Sonne auf ihre Laufbahn bekannt sein um die Rete auf der Vorderseite korrekt einzustellen. Die Rückseite des Astrolabiums besitzt Skalen um den Längengrad der Sonne für jeden Tag des Jahres zu bestimmen. Das Alidade wird auf das aktuelle Datum gedreht und die gesuchten Werte auf der Skala abgelesen. Diese Skala war bei allen alten Instrumente immer durch die Zeichen des Tierkreises aufgeteilt. Der Längengrad der Sonne variiert allerdings nicht um einen festen Wert pro Tag. Zwei verschiedene Methoden wurden benutzt um diese Problem zu lösen. Bei vielen Instrumenten ist die Kalenderskala leicht verschoben, in Anlehnung an das exzentrische Model der Sonnenbewegung nach der ptolemäischen Astronomie (Erde ist Mittelpunkt). Dies gestattet eine gleich große Tagesaufteilung der Kalenderskala. Einige Astrolabien benutzen eine konzentrische Kalenderskala mit unterschiedlich breiten Tagen bei der Aufteilung. Der exzentrische Kalender ist leichter zu erstellen aber schwieriger zu berechnen und darzustellen. Der konzentrische Kalender dagegen ist leichter zu bestimmen, aber die unterschiedliche Breite der Tage ist schwierig einzugravieren.

Das Schattenquadrat wurde für einfache Beobachtungen und Bestimmungen benutzt, wie z.B. das Berechnen von Höhen, Tiefen und Entfernungen. Das zu untersuchende Objekt (z.B. die Spitze eines Turms) wurde durch das Alidade anvisiert. Die gesuchte Höhe oder Entfernung (Taugens des Winkels) wurde auf dem Schatten Quadranten abgelesen.

Alte Astrolabien besaßen meistens noch eine Reihe von anderen Skalen auf der Rückseite, abhängig von der Herkunft und dem Zeitpunkt der Entwicklung des Instruments. Viele islamische Geräte besaßen Skalen um die Richtung nach Mekka zu bestimmen. Einige Instrumente besaßen spezielle Skalen um Gebetszeiten abzulesen..

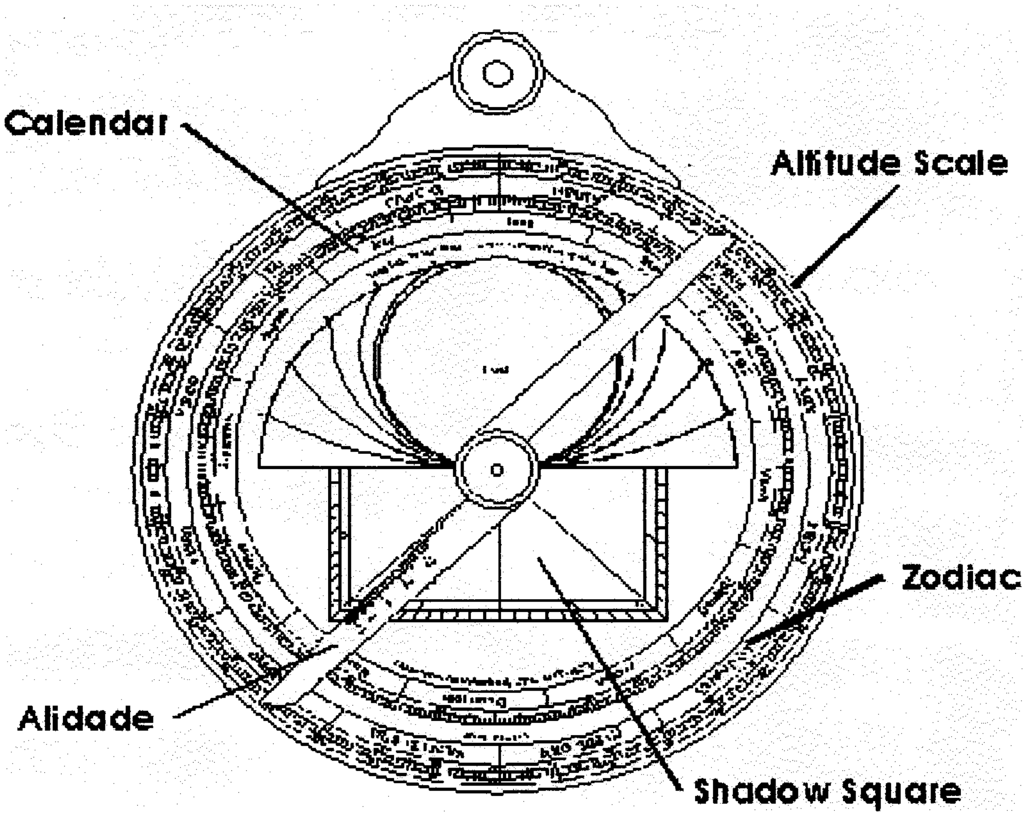


Abb. 16: Die Rückseite des Astrolabiums

Literatur- und Abbildungsverzeichnis

l. Literatur

http: //www. giant. net. au/users/rupert/kythera/k34hera. htm
http://myhouse.com/me/planet/astrodir/astrolab.htm

2. Abbildungen

5 Astronomische Uhren und Kirchenrechner

5.1 Astronomische Uhren

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

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

Durch die Erfindung der mechanischen Uhr vollzog sich gegen Ende des 13. Jahrhunderts eine technische Revolution. Die ersten Uhren waren Räderuhren mit Gewichtsantrieb, bei denen als Hemmung eine Spindel diente, die mit zwei Ansätzen in das Steigrad eingriff. Da diese Uhren große Abmessungen besaßen, versahen vor allem die Städte einen ihrer Profan- oder Sakralbauten mit einer derartigen Monumentaluhr. Die Federzuguhr tauchte erstmals in der zweiten Hälfte des 14. Jahrhunderts auf. Die ersten tragbaren Federuhren baute der Nürnberger Schlosser Peter Henlein um 1510; sie waren eiförmig (Nürnberger Ei). Damit war in Europa erstmalig wieder ein technologischer Stand erreicht, der schon ca. 1.500 Jahre früher in Kleinasien erreicht worden war. Dennoch waren 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 (s. Abb. 5.6)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 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

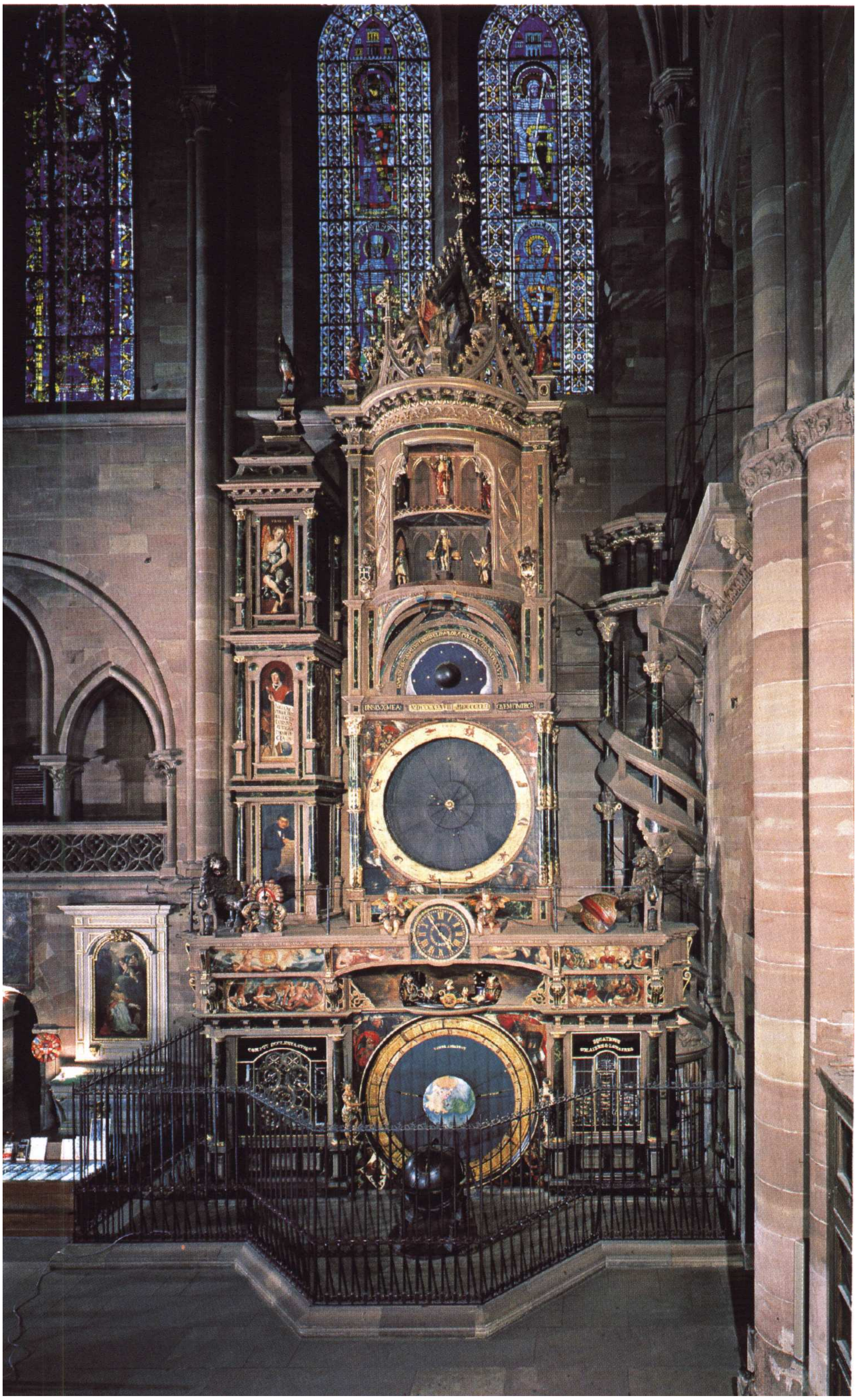


Abb. 5.1 Außenansicht der heutigen Astronomischen Uhr des Münsters zu Straßburg

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. Aber ebenso waren die Bürger von der künstlerischen Pracht und dem Glockenspiel fasziniert.

Gute Uhrmacher für Kirchenuhren waren berühmt. Sie mussten über umfangreiche Kenntnisse aus vielen Gebieten verfügen: z.B. über metallurgische, technische, mathematische und astronomische. Wie genealogische Untersuchungen zeigen, standen viele der damaligen Schöpfer von astronomischen Uhren am Beginn wahrer Uhrmacherdynastien.

Heute liefern uns die astronomischen Uhren ein ziemlich genaues Bild darüber, wie von der Mitte des 14. Jahrhunderts bis hin zur Mitte des 19. Jahrhunderts die Kenntnisse über den Kosmos und die Zeitmessung sowie die technologischen Fähigkeiten waren. Sie spiegeln das theoretische, ästhetische und naturwissenschaftliche Wissen und Können der jeweiligen Epoche wieder. Jede Uhr ist ein Archiv, in dem die gesamte Technologie ihrer Zeit in zahlreichen und unterschiedlichen Bereichen dokumentiert ist.

Im technologischen Bereich sind dies insbesondere die zunehmenden Erkenntnisse über Schmiedetechniken, Drehen, Fräsen, Materialbeanspruchung, Formung und Berechnung von Zahnrädern, Härten von Metallen und deren sonstigen physikalischen Eigenschaften. Insbesondere das Streben nach immer größerer Genauigkeit führte zu systematischen Untersuchungen und immer neuen Erkenntnissen.

Auch die Veränderungen unseres Weltbildes lassen sich deutlich an den verschiedenen Kirchenuhren ablesen. Auf das geozentrische System des Ptolemäus, das von ca. 150 AD an Gültigkeit hatte, folgte das heliozentrische Weltbild des Sonnensystems, das von Kopernikus vorgestellt und Dank der Beobachtungen des Dänen Tycho Braches, den Berechnungen Kepplers, Descartes und Newtons sowie den Beobachtungen von Lagrange und Laplace erhärtet und verfeinert wurde.

Die hier gesammelten und gewonnenen technologischen Erkenntnisse waren Wegbereiter für weitere Entwicklungen im Bereich der Automaten. Sie ermöglichten erst die Entwicklung handlicher mechanischer Rechenautomaten bzw. z.B. auch der bahnbrechenden Arbeiten von Charles Babbage. Die in die Uhren integrierten Automaten, wie bewegliche Figuren, fanden ihren Höhepunkt in den Automaten des 19. Jahrhunderts.

5.2 Die astronomische Uhr im Dom zu Münster

Die astronomische Uhr im Dom zu Münster ist eine der bedeutendsten Monumentaluhren des deutschsprachigen Raums. Sie wurde von 1540 bis 1542 erbaut.

Sie gehört zur sog. „Familie der hansischen Uhren“, von denen u.a. noch die Uhren in Danzig, Rostock, Stralsund und Stendal relativ original erhalten sind. Die Uhren von Lübeck und Wismar verbrannten 1942 bzw. 1945. Alle diese Uhren weisen eine Reihe von gemeinsamen Characteristica auf.

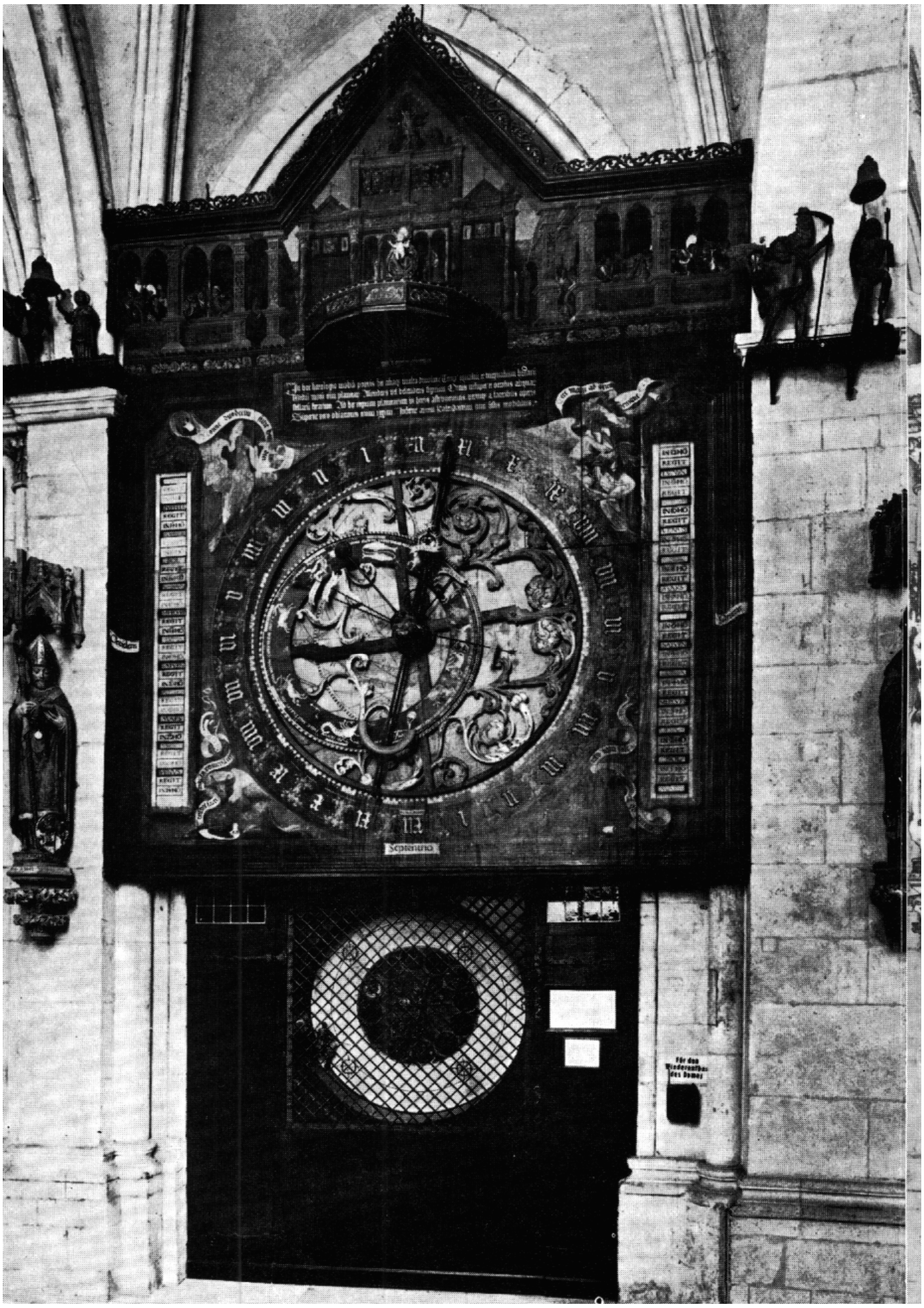


Abbildung 5.2 Die astronomische Uhr im Dom zu Münster

Sie entstammen zwei Uhrengenerationen: Beim älteren Typ – von etwa 1400 an gebaut – drehen sich die Zeiger täglich einmal im Rhythmus der scheinbaren Bewegungen des Sternenhimmels, der Sonne und des Mondes (z.B. Münster, Stralsund, Doberan, Lund, Lübeck und Wismar). Beim jüngeren Typ, der bis Ende des 15. Jahrhunderts erbaut wurde stehen der Tierkreis fest, und drei Zeiger drehen sich: einmal am Tag (Stundenzeiger), einmal im siderischen Monat (27,3 Tage; Mondzeiger) bzw. einmal im Jahr (Sonnenzeiger). Hierzu gehören u.a. die Uhren von Danzig, Rostock und Stendal.

Eine der Gemeinsamkeiten der hansischen Uhren sind die vier „Weltweisen", die sich in den Zwikeln der Uhrscheibe befinden. In Doberan und Stralsund sind sie als Ptolomäus, Alfons X. von Kastillien, Hali und Albumasar bezeichnet. Sie tragen Schriftbänder mit lateinischen Sentenzen. An der Uhr in Münster sind an Stelle der vier Weltweisen die vier Evangelisten getreten.

Ursprünglich 1408 erbaut, wurde die Uhr im Dom zu Münster 1534 durch die Wiedertäufer zerstört und 1540 durch eine zweite Uhr ersetzt. Teile dieser zweiten Uhr mußten wiederholt ausgetauscht bzw. überarbeitet werden. zuletzt 1930 bis 1932. Hierbei wurde das Getriebe von Erich Hüttenhain, einem Mitarbeiter der Münsteraner Sternwarte neu berechnet. Dennoch stellte der Kölner Journalist Hermann-Michael Hahn 2005 fest, daß die Stellungen der Planetenzeiger um bis zu 40 Grad von der korrekten Stellung abwichen. Er führte dies jedoch auf einen Wartungsfehler zurück, vermutlich einer inkorrekten Montage nach einer Reinigung.

Die Schauseite der Uhr im Dom zu Münster weist eine Dreiteilung auf, wie sie im Mittelalter vor allem in Deutschland üblich war:

- oben den Umgang der Heiligen Drei Könige
- in der Mitte ein Astrolabium
- unten das Kalendarium.

Die Gesamthöhe der Uhr beträgt 7,8 m und die Breite im Mittelteil ist 4,1 m. Der Durchmesser des Zifferblattes ist 3,0 m und der der Kalenderscheibe 1,5 m.

Von besonderem Interesse ist das Kalendarium im unteren Teil der Uhr, welches durch ein spätgotisches Gitter geschützt ist. Der Kalender ist für die Jahre 1540 bis 2071 eingerichtet, da eine Dionysische Ära, eine 532-jährige Ostertafel, dargestellt werden sollte. Nach Ablauf einer solchen Ära treffen alle Angaben über den 19-jährigen Mond- und 28-jährigen Sonnenzyklus wieder an demselben Monats- und Wochentag ein wie im ersten Jahr der 532-jährigen Periode.

Die reich beschriftete Kalenderscheibe, wie auf Abb. 5.2 zu sehen, zeigt eine Dreiteilung. Die Angaben in den Ringen dieser drei Zonen (s. Abb. 5.3) bedeuten der Reihe nach von außen nach innen:

Zone I

1. Die Jahreszahl
2. Die Osterbuchstaben
3. Die Goldene Zahl
4. Die Sonntagsbuchstaben (2 Kreise)
5. Das Intervallum (2 Kreise)
6. Die Indiktionen

Zone II

7. Die Monatsdaten nach heutiger Zählweise
8. Die Tagesbuchstaben (jeder Tag hat einen Buchstaben)
9. Die Monatsdaten nach römischer Zählweise
10. Die Monatsnamen
11. Die unbeweglichen Feste
12. Die Osterbuchstaben

Zone III

13. Die Kalenderverse
14. Die Monatsbilder

Die Angaben in den Ringen der Zone I beziehen sich auf die oben erwähnten 532 Jahre von 1540 bis 2071:

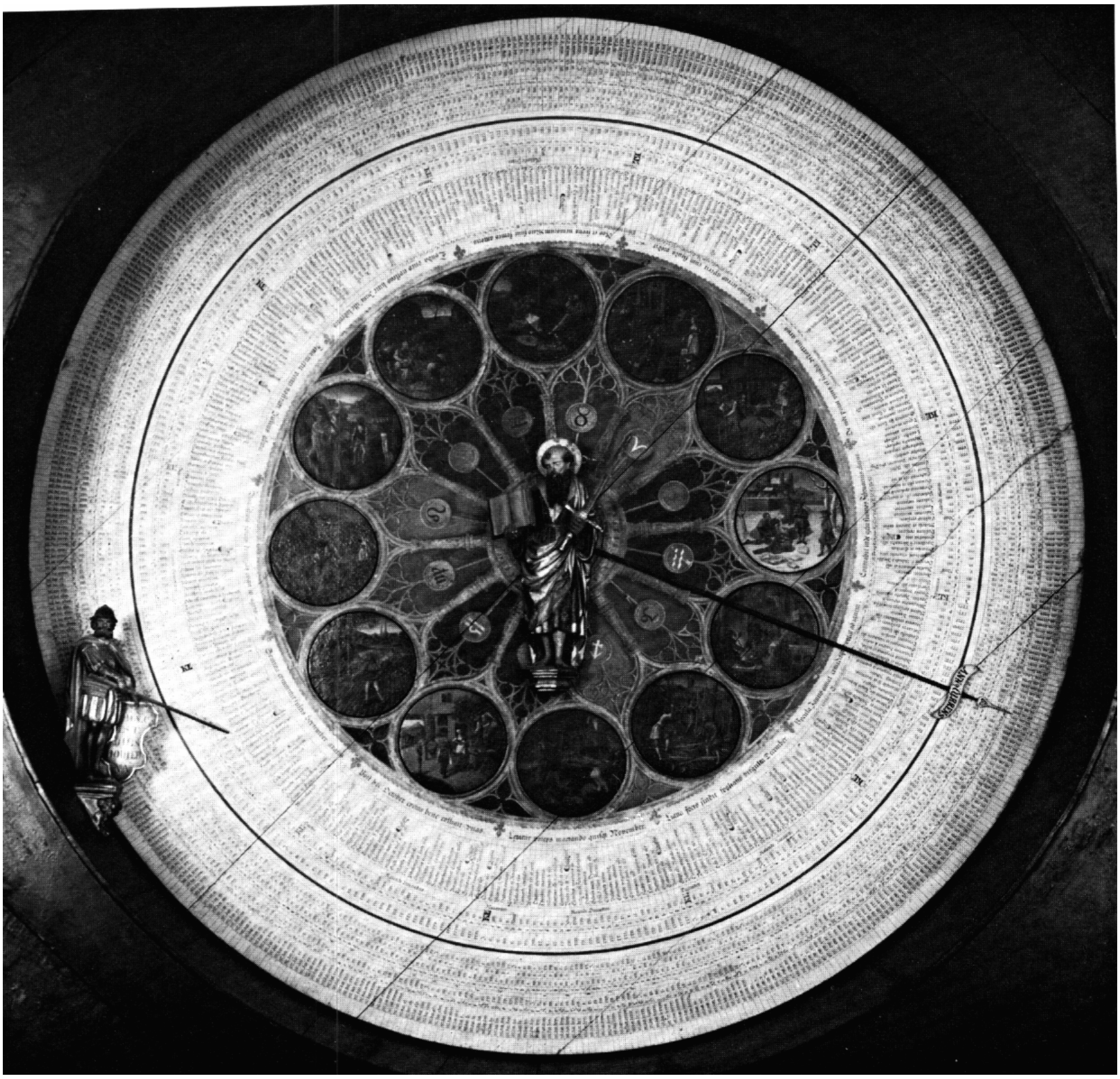


Abbildung 5.3 Das Kalendarium

Ein mit dem Osterdatum direkt oder indirekt zusammenhängender Zeitabschnitt wird Intervallum genannt. Auf der Kalenderscheibe ist das Intervallum Weihnachten und Fastnacht-Dienstag in Wochen und Übrigtagen auf Ring I, 5 angegeben. Es schwankt zwischen 5 Wochen 6 Tagen und 10 Wochen 5 Tagen.

Dieses Intervallum wurde von Astronomen für die 532-jährige Periode vorausberechnet. Aus diesem Intervallum läßt sich der jeweilige Ostertermin, der jährlich wechselt, berechnen, denn die Zeit zwischen Fastnacht und Ostern ist stets gleich lang. Das Osterdatum, dargestellt durch die Osterbuchstaben (siehe Ring II, 12), kann auf Ring I, 2 abgelesen werden.

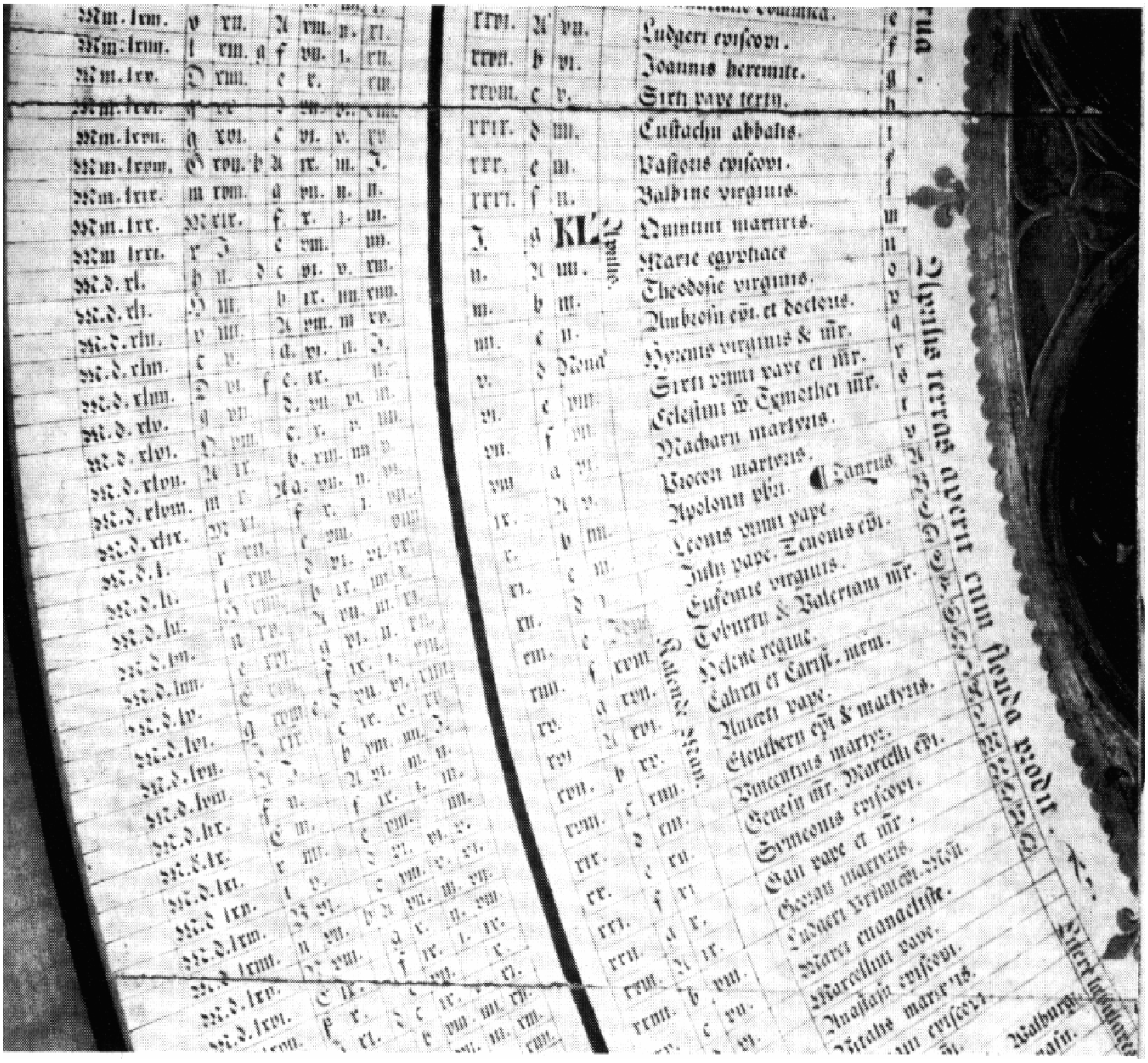


Abbildung 5.4 Kalenderausschnitt

Die Zonen I und II werden durch eine dicke schwarze Linie getrennt.

Die Angaben von Zone II beziehen sich auf die Tage des Jahres und sind daher radial in 365 Felder eingeteilt. Die Kalenderscheibe dreht sich nachts um eine Tageseinheit weiter, wobei sie in Schaltjahren einmal einen Tag angehalten wird:
In Ring II, 9 sind die Tage nach römischer Art gezählt, nach Kalenden, Nonen und Iden. Der 1. des Monats ist der Kalenden des Monats, der 5. der Nonen und der 13. der Iden. So war z.B. der 26. März der 7. Tag vor den Kalenden des April, der 2. April der 4. Tag vor den Nonen des Aprils und der 9. April der 5. Tage vor den Iden des Aprils.

Die Angaben im Ring II, 12, die Osterbuchstaben, genossen in früherer Zeit besonderes Interesse. Ordnet man vom 1. Januar fortlaufend den Tagen des Jahres zweimal die Buchstaben von a bis u und einmal die Buchstaben von A bis T zu, so fallen auf den möglichen Ostertermin die Buchstaben b c d ...t v A B ... Q, so daß bei Kenntnis des Osterbuchstabens das Datum des Osterfestes festzustellen ist. Wenn man z.B. neben der Jahreszahl MDL = 1550 in Ring I, 2 den Buchstaben r sieht, so kann man in Ring II, 12 den Buchstaben r aufsuchen und findet, daß er beim 6. April steht; d.h. im Jahre 1550 fiel Ostern auf den 6. April.

Diese Ablesungen gelten nur bis zum Jahre 1583, dem Jahr der Kalenderreform; für alle späteren Jahre haben der Osterbuchstabe und das dazugehörige Osterdatum ihre Bedeutung wegen dieser Reform verloren.

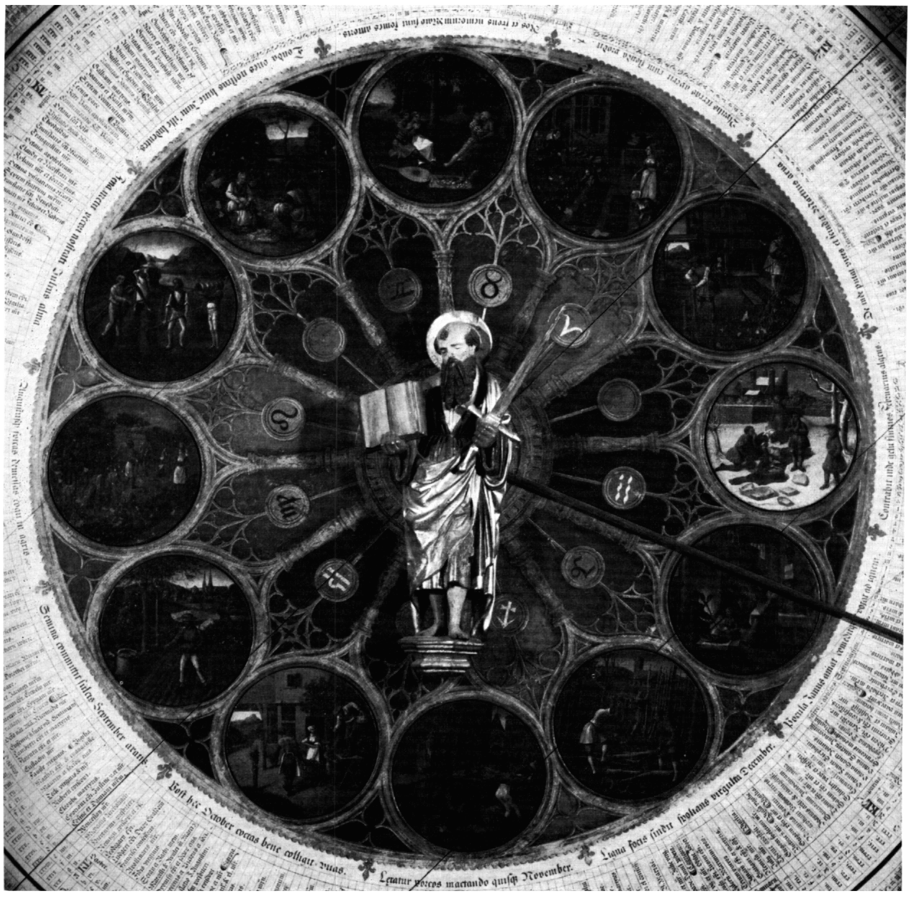


Abbildung 5.5 Zone II mit den Monatsbildern und Kalenderversen

Zone III liefert schließlich einen künstlerischen und poetischen Teil und enthält zwölf lateinische Kalenderverse, die neben dem entsprechenden Monatsbild des Mittelfeldes aufgeschrieben sind.

5.3 Die drei astronomischen Uhren im Straßburger Münster

Wie bereits erwähnt, war Straßburg eine der ersten Städte, die ihr Münster mit einer Monumentaluhr versahen. Im Verlauf der darauffolgenden Jahrhunderte haben danach drei astronomische Uhren zum Ruhme der Stadt Straßburg beigetragen. Einen Höhepunkt in der Entwicklung von astronomischen 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.

Die Drei-Königs-Uhr

Die erste astronomische Uhr, die sog. Drei-Königs-Uhr, wurde in den Jahren 1352 - 1354 erbaut und blieb bis zum Ende des 15. Jahrhunderts in Betrieb. Das Uhrgehäuse war 11,70 m hoch und im unteren Teil 4 m breit und stand an der Westwand des südlichen Querhauses, wo einige Konsolen und Meißelspuren noch heute ihren alten Standort kennzeichnen.

Ihr Erbauer ist unbekannt. Angeblich – aber urkundlich nicht belegt – soll sein Name Jehan Boernave gewesen sein. Der Legende nach soll er seine Kenntnisse bei den Arabern erworben haben, wo er unter dem Nahmen Ben Al Benzar gelebt haben soll.

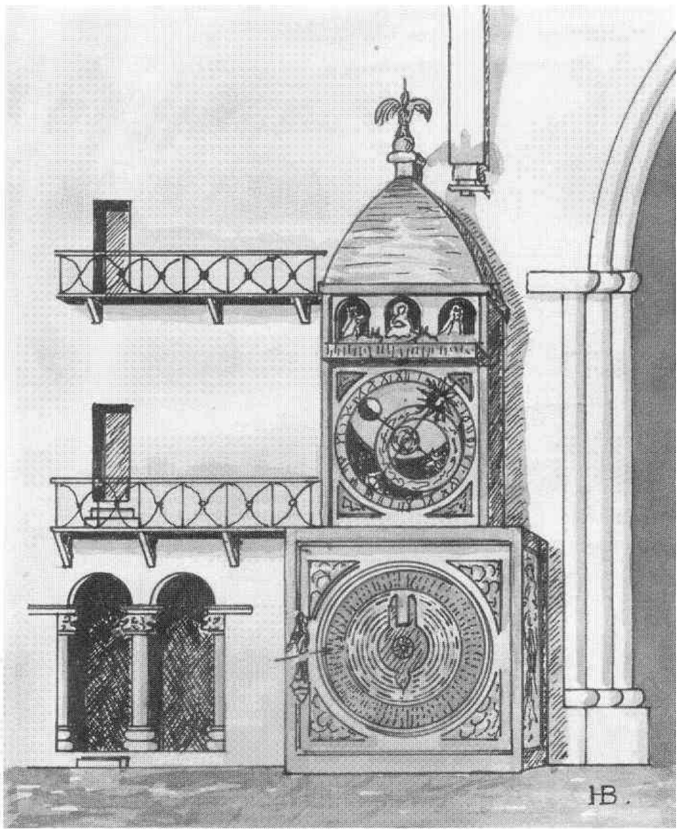


Abb. 5.6 Versuch der Darstellung der Dreikönigsuhr nach H. Bach

Die Uhr enthielt von unten nach oben; einen Kalender, ein Astrolabium (ähnlich den arabischen Astrolabien, aber nicht händisch sondern durch die Uhr angetrieben) und eine Statue der Jungfrau mit dem Kinde, vor der sich zu jeder vollen Stunde (oder evtl. nur zur Mittagsstunde) die drei Weisen aus dem Morgenland verneigten, während ein Glockenspiel verschiedene Melodien schlug.

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

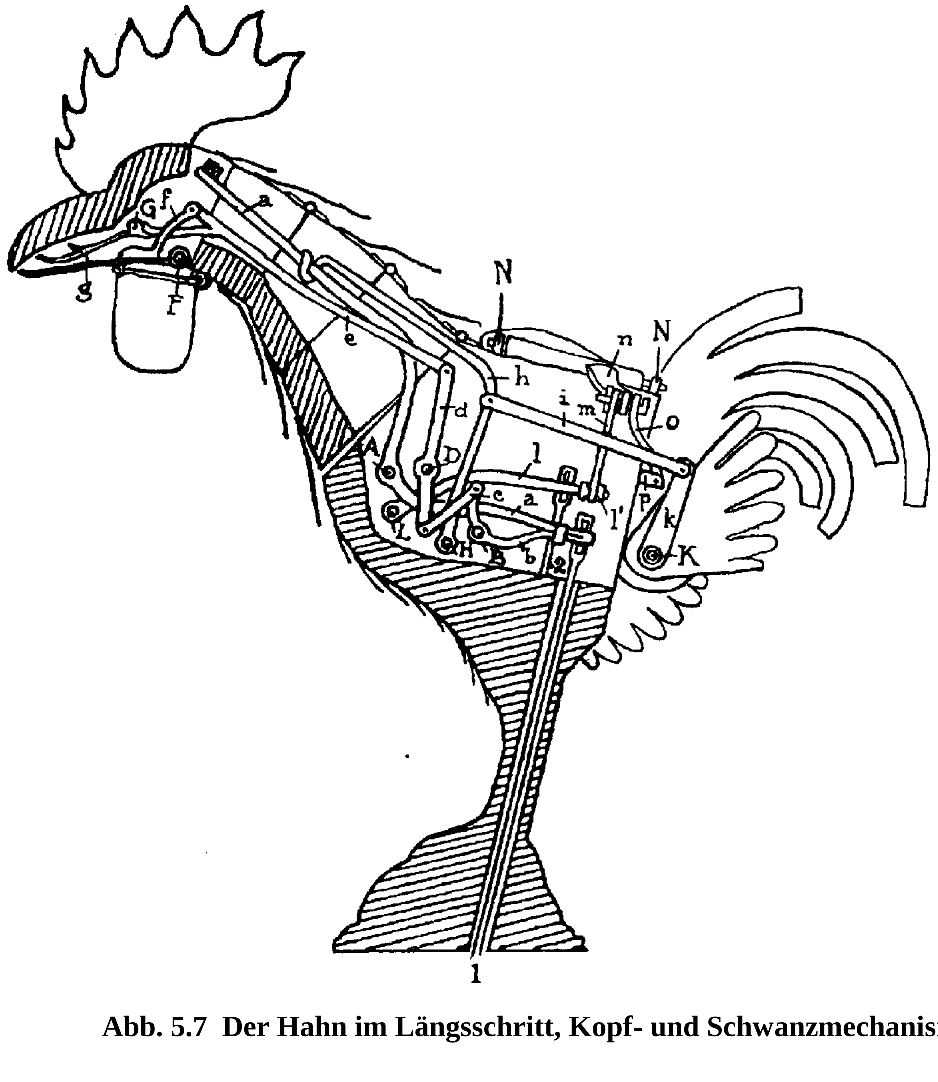


Abb. 5.7 Der Hahn im Längsschritt, Kopf- und Schwanzmechanismus

Der Hahn besitzt eine Höhe von 117 cm und eine Länge von 100cm. Bei geschlossenenen Flügeln beträgt seine maximale Breite 40 cm, wobei auf den eigentlichen Körper 28 cm entfallen. Der Körper besteht aus Holz, wobei der Hals aus mehreren Manschetten gefertigt ist, die durch geschmiedete Scharniere beweglich verbunden sind. Die Übergänge sind unter bemalten und vergoldeten Federn, die aus Eisenblech gefertigt wurden, verdeckt. Der Mechanismus befindet sich im hohlen Inneren und ist aus geschmiedetem Eisen. Bemerkenswert ist, daß keine einzige Schraube verwendet wurde, sondern alle Verbindungen durch Nieten oder Keile zusammengefügt wurden. Der Antrieb des Mechanismus erfolgt über zwei Zugstangen, die durch die Füße des Hahnes gehen.

Die Zugstange 1 dient zur Bewegung von Kopf und Schwanz. Drehpunkte sind die festen Punkte „A“ und „B“, um die die Hebel „a“ und „b“ schwenken. Der vordere Teil von „a“ hebt den Kopf und die beweglichen Halssegmente an. An „a“ ist die Stange „h“ beweglich befestigt, die über „i“ und „k“ das Heben und Senken der Schwanzfedern bewirkt. Der um „K“ beweglich Schwanz senkt sich durch sein Eigengewicht. Gleichzeitig mit dem Heben des Kopfes und dem Senken des Schwanzes wird über die Hebel „b“, „c“ und „d“ die kleine Stange „c“ nach vorne gedrückt. Hierdurch öffnet sich der um „F“ bewegliche Schnabel und die Zunge kommt heraus.

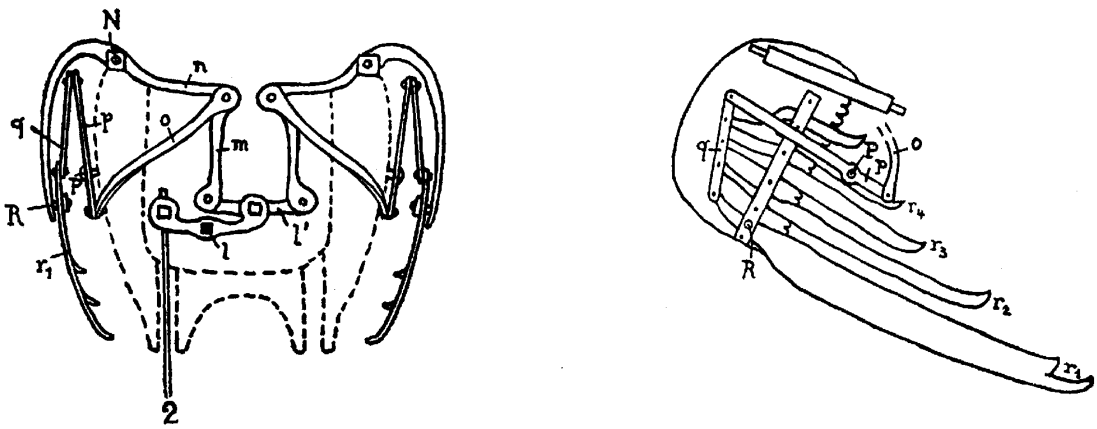


Abb. 5.8 Der Hahn im Querschnitt, Flügelmechanismus

Die Zugstange 2 dient zur Bewegung der Flügel. Der durch sie bewegte Hebel „l“ zieht über „l´“ und „m“ den Hebel „n“ nach unten und bewirkt so den Flügelschlag um Punkt „N“. Eine besondere Realitätstreue erhält diese Bewegung dadurch, daß gleichzeitig die einzelnen Federn gespreizt werden. Hierzu drückt die Stange „o“ auf den um „P“ beweglichen Hebel „p“, der wiederum ein längliches Blech „q“ unter der Innenseite des Flügels bewegt, an dem die Enden der einzelnen Flugfedern befestigt sind. Die Anordnung bewirkt, daß die Bewegungsamplitude an der äußersten Feder am größten ist und nach innen hin abnimmt. Um diese Bewegung unterschiedlicher Amplituden ausführen zu können, besitzen die Federn keinen zentralen Rotationspunkt, sondern „gleiten“ in einem Führungsstück. Dieses raffinierte Spreizen war einer der Gründe für die Berühmtheit des Straßburger Hahnes.

Wie zur damaligen Zeit üblich besaß die Uhr eine Waaghemmung. Somit war keine eigene Schwingungsperiode gegeben, sondern die Schwingungen waren stark von der treibenden Kraft am Steigrad abhängig. Im Zusammenhang mit den verwendeten Materialien und den relativ primitiven Profilen ging die Uhr relativ ungenau. Abweichungen von bis zu fünfzehn

Minuten am Tag waren üblich. Daher musste die Uhr stetig neu justiert werden, was an Hand von Sonnenuhren und durch astronomische Beobachtungen geschah.

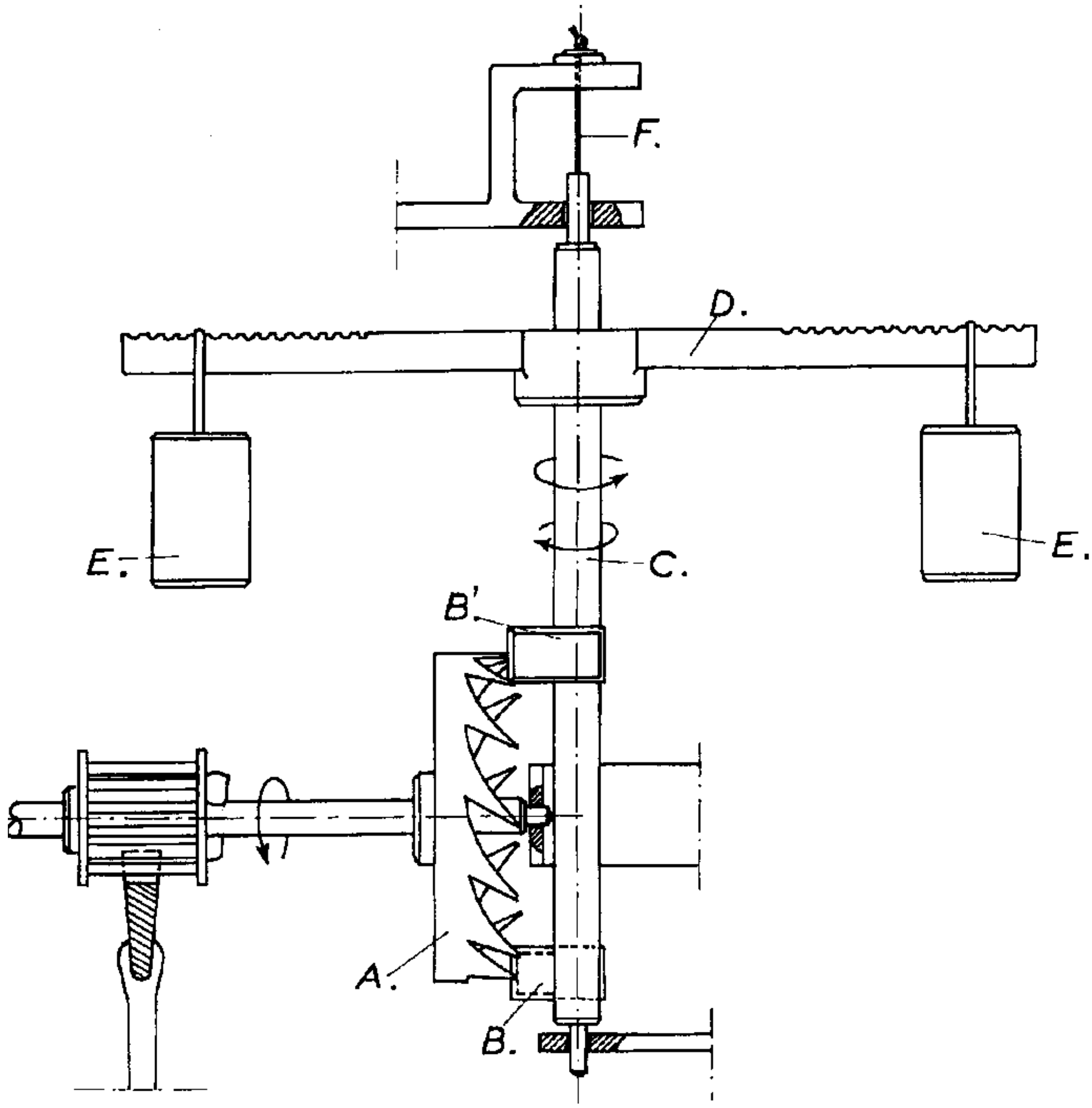


Abb. 5.9 Prinzip der Waaghemmung

Die Abbildung 5.9 zeigt das Prinzip der Waaghemmung:
Das Steigrad „A“ bleibt abwechselnd an der unteren „B“ und oberen „B´“ Palette der Spindel „C“ hängen, da es über eine ungerade Anzahl von Zähnen besitzt. Hierdurch wird die an einer Schnur „F“ hängende Waag „D“ in Schwingungen versetzt. Der Gang der Uhr konnte durch die veränderlichen Gewichte „E“ gesteuert werden.. Die Abbildung 10 zeigt ein altes schmiedeeisernes Turmuhrwerk mit Waaghemmung, welches sich im Museum des Rohanschlosses in Saverne/Frankreich befindet.

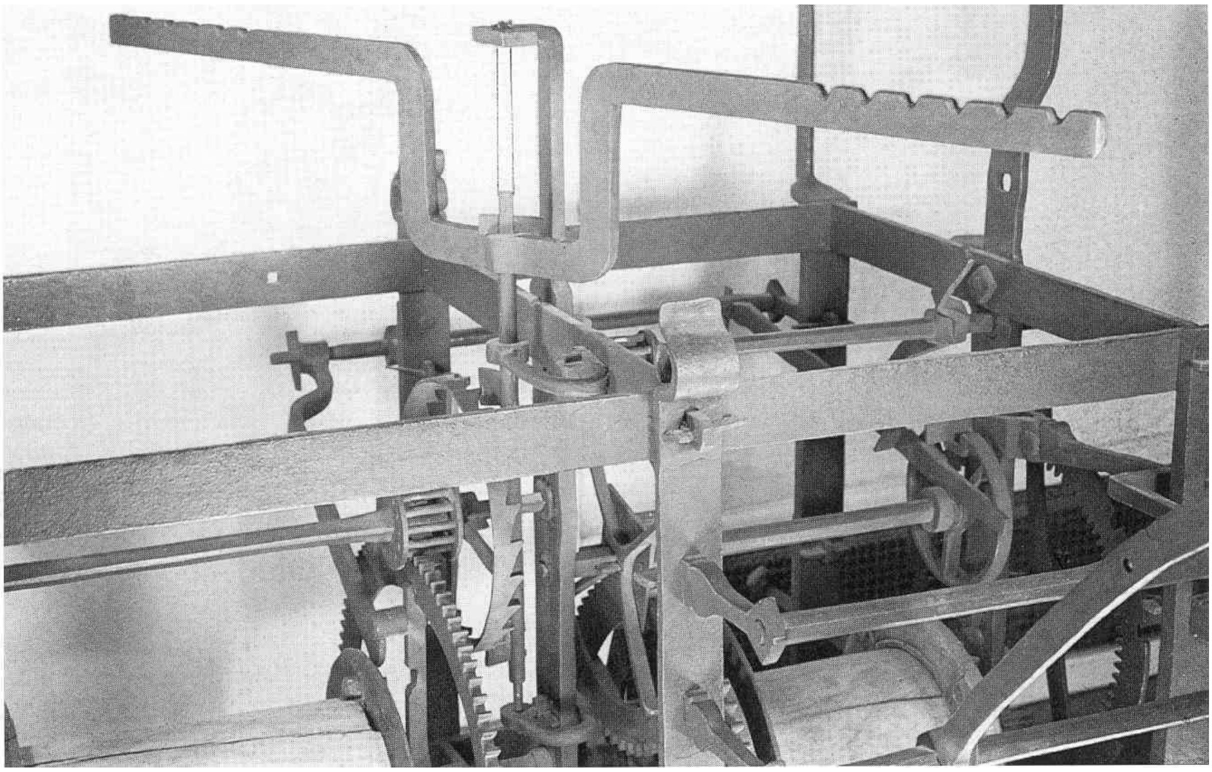


Abb. 5.10 Altes Turmuhrwerk mit Waaghemmung

Die Dasypodius-Uhr

Die Drei-Königs-Uhr blieb Anfang des 16. Jahrhunderts, vermutlich wegen Abnutzung, stehen. Man wollte sie zunächst reparieren, denn 1533 wurde an der Südfassade des Vierungsturmes ein Ziffernblatt installiert, das die Bahnen der Sonne und des Mondes durch den Tierkreis mittels Zeigern anzeigen sollte. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten war offensichtlich daran gedacht, diese Zeiger von der alten Uhr aus anzutreiben.

Schließlich wurde jedoch 1547 gegenüber dem alten Standort mit dem Bau einer neuen Uhr begonnen. Mit dem Entwurf wurde Chrétien Herlin, Astronom und Professor an der örtlichen Universität beauftragt, der den Arzt Michael Herr und den Theologen Nicolaus Prugner, beide ausgezeichnete Mathematiker, als Mitarbeiter gewann. Der Bau des steinernen Gehäuses und der Wendeltreppe lag in den Händen des Architekten Bernhard Nonnenmacher. Für die Gesamtleitung wurde eine spezielle Stiftung, die Oevre Notre-Dame, eingerichtet, die heute noch besteht. Die Arbeiten wurden aber bereits ein Jahr später aufgrund des Augsburger Interims, dem durch Karl V. verkündeten Reichsgesetz, wegen Differenzen zwischen katholischen und protestantischen Kreisen unterbrochen.

Abb. 5.11 Der Hahn – frühes Meisterwerk eines Automaten

Nach der Rückgabe der Kirche an die Protestanten 1559 mußten zunächst neue Leute gefunden werden, die imstande waren, die begonnenen Pläne und Konstruktionen weiterzuführen. Aufgrund verschiedener Umstände zogen sich die Vorbereitungen für den Weiterbau bis 1571 hin. Dann nahm Konrad Dasypodius, Herlins Schüler und Nachfolger auf seinem Lehrstuhl die unterbrochenen Arbeiten wieder auf. Er war ein berühmter Mathematiker, der mehr als dreißig mathematische und astronomische Werke verfasste. Unter anderem gab er auch eine Edition der Werke von Euklid heraus. Er berief David Wolkenstein aus Breslau zu seinem

Assistenten und für den Bau der Mechanik die Brüder Isaac und Josias Habrecht, beide Uhrmacher aus Schaffhausen. Dem ebenfalls aus Schaffhausen stammenden, aber seit 1570 in Straßburg ansässigen Maler Tobias Stimmer wurde zusammen mit seinem Bruder Josias die künstlerische Gestaltung übertragen. Er übernahm nicht nur die Verzierung des gesamten Gehäuses sowie die Bemalung der verschiedenen astronomischen Anzeigen, sondern fertigte sogar die Entwürfe für die Automaten an. Die Originalskizzen und Zeichnungen befinden sich heute im Kunstgewerbemuseum in Straßburg. Die Vollendung des steinernen Gehäuses von 18 m Höhe und über 4 m Breite übernahm der Architekt Thomann Uhlberger.

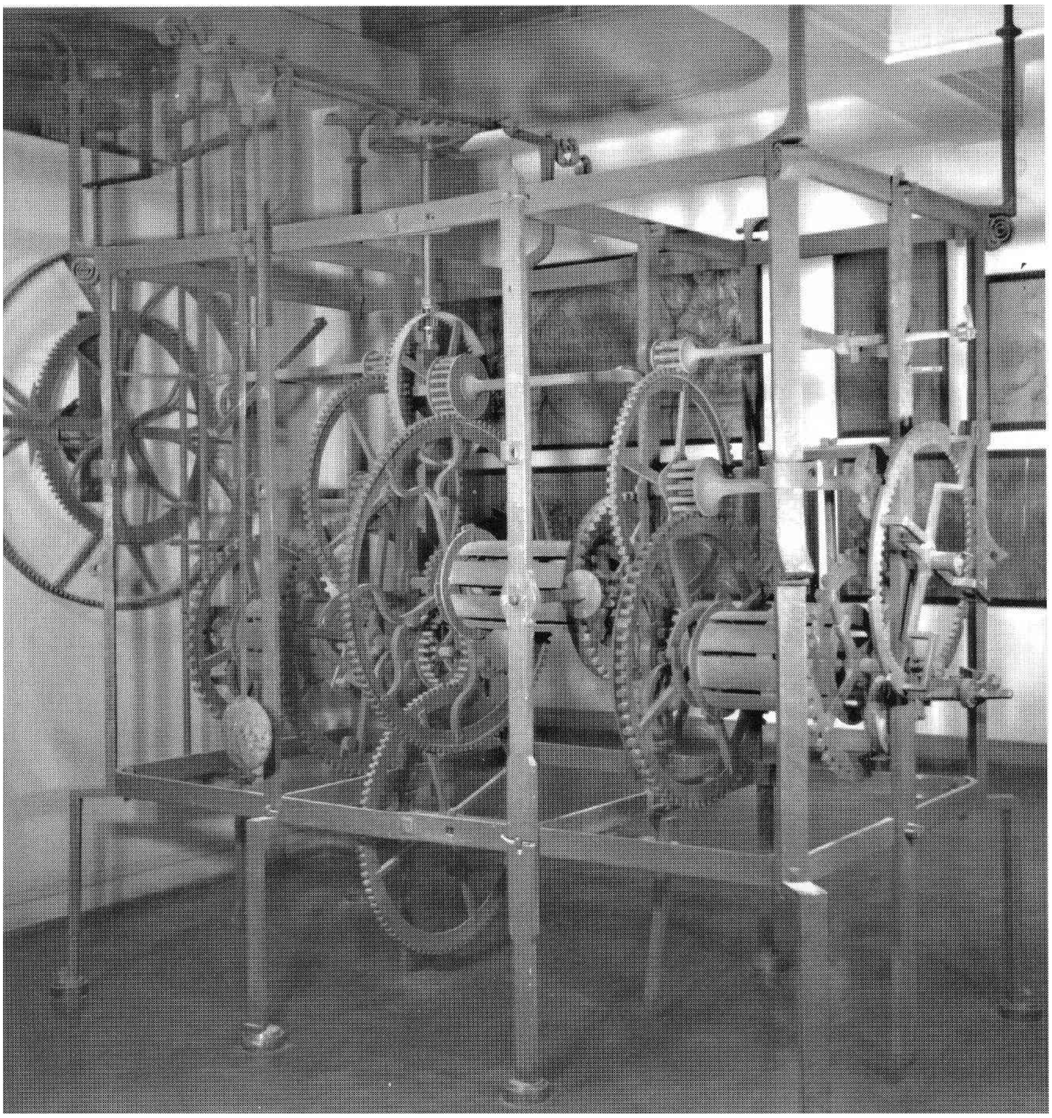


Abb. 5.12 Das Hauptwerk der Dasypodius-Uhr

Das bereits weiter vorangeschrittene Gehäuse sowie die zahlreichen bereits fertigen Entwurfspläne für das Werk von Herlin führten dazu, daß Dasypodius gezwungen war, bei der Darstellung das System des Ptolemäus - mit der Erde als Mittelpunkt des Universums - beizubehalten, obwohl bereits seit vierzig Jahren die heliozentrische Theorie des Kopernikus bekannt war und auch von Dasypodius vertreten wurde. Somit war nach der Vollendung des Baus 1574 die astronomische Anschauungsweise von Beginn an überholt. Bereits ein Jahrhundert später war auch der Kalender, der auf dem von den Römern überlieferten Julianischen System beruhte, durch die Einführung der gregorianischen Reform hinfällig.

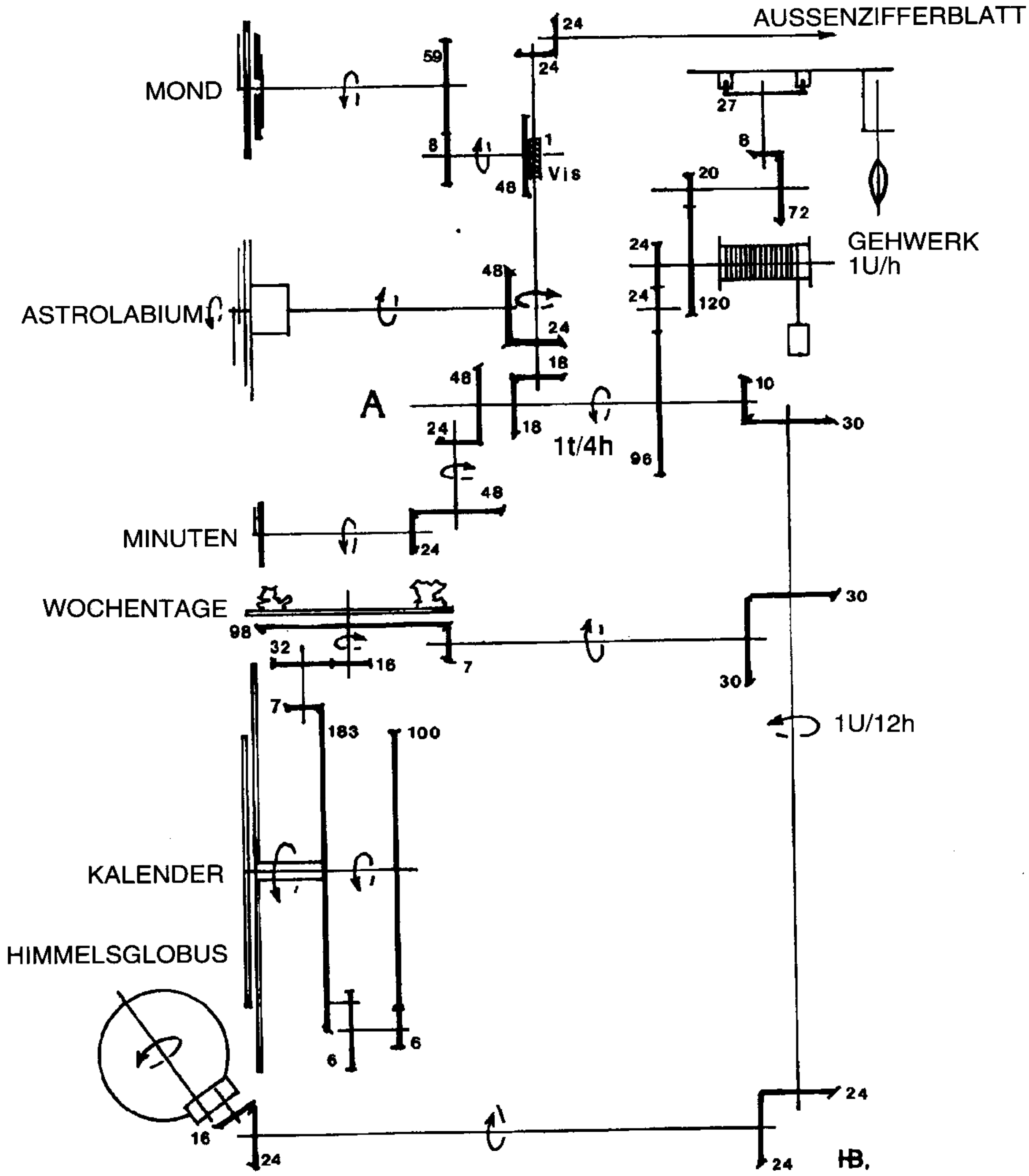


Abb. 5.13 Das Gesamtschema des Räderwerkes mit der Angabe der jeweiligen Anzahl der Zähne (ohne Schlagwerke)

Was die Übersicht der Eklipsen betrifft, die für eine Dauer von dreiunddreißig Jahren dargestellt wurden, so wurden diese seit 1649 nicht mehr erneuert. Ferner beeinträchtigte die Abnutzung die schmiedeeisernen Uhrwerke, die nach und nach nicht mehr funktionieren wollten, bis die Uhr 1788 trotz einer Renovierung durch Isaac Habrecht im Jahre 1669 vollständig stehenblieb.

Die Renovierung durch Schwilgué

Die Überlieferung besagt, daß eines Tages, als der Kirchendiener, nachdem er Besuchern die lautlos stillstehende Uhr erläutert hatte, zusammenfassend bemerkte, niemand vermöge sie je wieder instandzusetzen, ein Junge ihm zurief: "Nun gut! Ich werde sie zum Gehen bringen." Es soll der junge Jean-Baptiste Schwilgué gewesen sein.

Tatsache ist, daß er als Feinmechanikeringenieur im - für die damalige Zeit bereits stolzen - Alter von einundsechzig Jahren mit der Renovierung der Uhr beauftragt wurde, die er von 1838 bis 1842 vornahm. Offensichtlich hatte er sich aber bereits seit Jahren vorher auf diese Arbeit vorbereitet, denn er hatte mehrere fähige Helfer ausgebildet, die in der Lage waren, ihm zu assistieren und darüber hinaus begonnen, Maschinen zu bauen, die ihm die Anfertigung äußerst präziser Uhrteile zu erleichtern vermochten. Darunter sogar eine Holzschnitz-Maschine, die es erlaubte, die Automaten nach Gipsmodellen aus dem Groben zu arbeiten. Er selbst hätte gern auf diese beweglichen Figuren verzichtet, zu denen er bemerkte, "daß sie dem Zeitgeschmack nicht mehr entsprechen und daß sie allein das am wenigsten gebildete gemeine Volk interessieren". Ihm schwebte vor, eine ganz neue Uhr zu bauen, mit einem in weiten Teilen verglasten Gehäuse, was es gestattet hätte, die Mechanik zu bewundern. Aufgrund der Kosten, die dieses Vorhaben verursacht hätte, zog es die Stadt vor, ihn lediglich zu bitten, die verschiedenen Funktionen der alten Uhr wiederherzustellen. Dieser klugen Entscheidung verdanken wir es, daß das Gehäuse uns als eines der Meisterwerke der Renaissance erhalten blieb.

Nach der von ihm durchgeführten Renovierung zeigt sich die astronomische Uhr des Straßburger Münsters wie folgt:

Über einen Sockel von 7,30 m Breite und über 4 m Höhe erheben sich drei Türme. Im rechten Teil des Sockels befindet sich der Mechanismus, der die Sonne- und Mondbahn berechnet. In der Mitte ist der immerwährende Kalender sowie die Anzeige der wahren bzw. scheinbaren Sonnenzeit angeordnet. Im linken Teil befindet sich der von Schwilgué entwickelte Kirchenrechner, der in seiner Art weltweit einzigartig ist und im nächsten Abschnitt ausführlicher beschrieben wird. Dieser hölzerne Sockel wurde erst nach 1571 hinzugefügt.

Der linke der drei Türme dient der Aufhängung der fünf Gewichte, die den Antrieb der Uhrwerke bewerkstelligen und jede Woche aufgezogen werden. Rechts gestattet eine Wendeltreppe den Zugang zu den oberen Partien und dem äußeren Ziffernblatt: Der 18 m hohe Hauptturm, der sich über einem im Sockel verborgenen gewölbten Erdgeschoß erhebt, liefert die wissenschaftlichen Angaben, läßt die Automaten in Erscheinung treten und enthält die Uhrwerke. Die Treppe und der Hauptturm - beide aus Stein - stammen zum größten Teil aus dem Jahr 1547. Schwilgué veränderte das Gehäuse nur geringfügig. Vor der oberen Etage fügte er zwei geschwungene Verblendungen hinzu, um die Automaten vor ihrem Erscheinen besser zu verbergen. Ferner wurden die Skulpturen der Spitze in ihrer Anordnung geändert und erweitert.

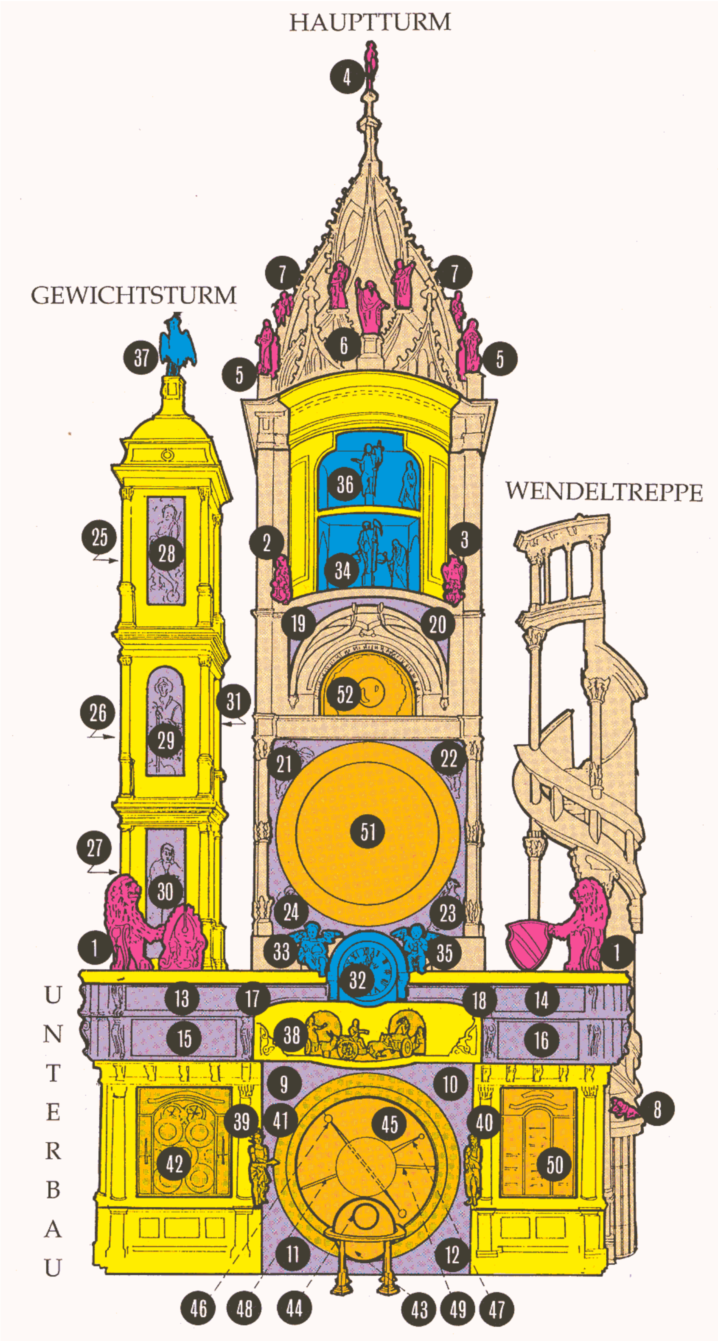


Abb. 5.14 Gesamtschema der heutigen Astronomischen Uhr

An verschiedenen Stellen der Uhr sind Würdigungen für ihre Erbauer angebracht. So ist das Datum der Fertigstellung und die Namen der Ausführenden im Kalender von 1574 aufgeführt. Das Datum der Renovierung durch Isaac Habrecht im Jahre 1669 erscheint an dem Gesims des Hauptturmes, während die Daten der von Schwilgué vorgenommenen Arbeiten über der Planetenskala eingefaßt sind.

SCHEMA DER ASTRONOMISCHEN UHR - DAS GEHÄUSE UND SEIN DEKOR

Steinerner Aufbau Holzkonstruktion Die Skulpturen

1. Löwen, von denen einer das Schild, der andere den Helm des Strassburger Wappens trägt.
2. Löwe mit dem Wappenschild des Oeuvre Notre-Dame.
3. Greif mit dem Wappenschild des Architekten H. Th. Uhlberger.
4. Der Architekt H. Th. Uhlberger.
5. Die vier Evangelisten.
6. Der Prophet Jesaja.
7. Vier Musikerinnen.
8. Putte mit Totenkopf, Allegorie der kurzen Dauer des Lebens.

DIE MALEREIEN

9 - 12. Die vier Reiche: Assyrien, Persien, Griechenland, Rom.
13. Die Erschaffung Evas.
14. Der Triumph des Weltenrichters.
15. Die Auferstehung der Toten.
16. Der Tod des Gläubigen und des Ungläubigen.
17. Der Fall.
18. Das Seelenheil.
19 - 20. Die Kirche und der Antichrist.
21 - 24. Vier allegorische Figuren, die die Jahreszeiten, die Lebensalter, die Elemente, die Tageszeiten und die Temperamente darstellen.
25 - 27. Die drei Parzen: Lachesis, Klotho, Atropos.
28. Uranius, die Muse der Sternkunde.
29. Porträt des Nikolaus Kopernikus.
30. Porträt von Jean-Baptiste Schwilgue.
31. Trophäe mit Emblemen der Künste und Handwerkskünste, denen die Verwirklichung dieser Uhr zu verdanken ist.

DIE MESSUNG DER ZEIT UND DIE ASTRONOMISCHEN ANZEIGEN

DIE UHRZEIT

32. Zifferblatt der mitteleuropäischen Zeit (goldene Zeiger) und der Ortszeit (weisse Zeiger).
33. Engel, der den ersten Glockenschlag der Viertelstunden läutet.
34. Die vier Lebensalter (Kind, Jüngling, Mann und Greis) läuten die Viertelstunden. Der Tod läutet die

DER KALENDER

38. Karussel der Wochentage, die durch die sieben, in ihren Wagen sitzenden Planetengötter dargestellt sind.
39. Apollo deutet mit seinem Pfeil auf den jeweiligen Tag.
40. Diana steht ihm gegenüber.
41. Reifenförmiges Zifferblatt des zivilen Kalenders.
42. Kirchenkalender.

DIE ASTRONOMISCHEN ANZEIGEN

43. Himmelssphäre.
44. Reifenförmige Skala der Sternzeit.
45. Skala der scheinbaren Zeit.
46. Sonnenzeiger.
47. Mondzeiger.
48. Zeiger, der die Stunde des Sonnenaufganges
49. Zeiger, der die Stunde des Sonnenunterganges anzeigt.
50. Sonnen- und Mondgleichungen.
51. Planisphäre, die die sieben mit blossem Auge sichtbaren Planeten wiedergibt.
52. Globus der Mondphasen.

Die Numerierung bezieht sich auf Abbildung 5.14

Besonders bemerkenswert ist ein Bildnis von Nikolaus Kopernikus, der in keiner Weise an der Erstellung der Uhr beteiligt war. Daß Dasypodius dennoch sein Bild anbringen ließ, zeigt, wie sehr er sich innerlich dagegen wehrte, bei der Fertigstellung der Uhr das System des Ptolemäus beizubehalten. Aus Danzig ließ er ein Selbstbildnis von Kopernikus kommen, das Stimmer kopieren konnte, um den Gelehrten stehend und zum Zeichen dafür, daß er auch Arzt gewesen war, mit einem Maiglöckchen in der Hand darzustellen. Nach dem Abschluß der Renovierungsarbeiten von 1838 ehrte man den Restaurator, indem man unter das Bildnis von Kopernikus das 1843 von Gabriel Guérin gemalte Portrait von Schwilgué setzte. Das wird durch einen reifenförmigen immerwährenden Kalender umschrieben. Er gibt die Monate, die Tage, ihre Heiligen, die unveränderlichen und beweglichen Kirchenfeste sowie die Buchstaben an, die die Sonntage kennzeichnen. Die Unterteilung des astronomischen Tages wird durch die Gegenüberstellung von Apollo und Diana verdeutlicht, die den Tag und die Nacht verkörpern. Apollo hat ferner die Aufgabe, mit seinem Pfeil den jeweiligen Tag auf der Kalenderskala anzuzeigen. Die Tage werden zusätzlich durch die entsprechenden Automaten, die die zugehörigen Schutzgötter darstellen, angezeigt. Diese Figuren wurden 1842 in neuer Form erneuert.

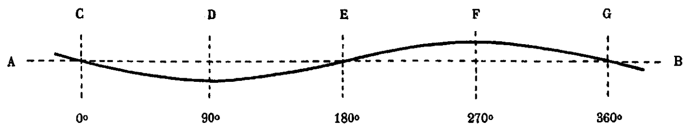
Als astronomische Anzeigen sind insbesondere zu nennen:

Die Himmelssphäre gibt die Bewegung der Sterne um die mutmaßlich in ihrer Mitte gelegene Erde wieder. Sie umfaßt ca. 5000 Sterne und dreht sich innerhalb von einem Sternentag, d.h. dem Zeitabstand zwischen den zwei Meridiandurchgängen desselben Sternes. Ein Sternentag ist etwa vier Minuten kürzer als ein mittlerer Sonnentag. Die Sternenzeit kann auf einer reifenförmigen Skala abgelesen werden. Sogar die kaum wahrnehmbare Umdrehung der Erdachse, die sich alle 25806 Jahre vollzieht, wurde durch ein entsprechendes Räderwerk berücksichtigt! Die scheinbare Zeit ist der Zeitraum zwischen zwei Durchgängen der Sonne am Meridian. Zu ihrer Darstellung zeigen auf einer Skala zwei Zeiger die scheinbare Bahn der Sonne und des Mondes um die im Zentrum dargestellte Nordhalbkugel der Erde sowie die Eklipsen an. Die Länge des Mondzeigers verändert sich automatisch je nach dem Stand des Mondes, der durch eine kleine Kugel dargestellt wird, die durch ihre Eigenumdrehung die Mondphasen verdeutlicht. Zwei Zeiger kennzeichnen auf der gleichen Scheibe die jeweilige Stunde des Sonnenaufgangs bzw. Sonnenuntergangs. Der bereits erwähnte Mechanismus der Sonnen- und Mondgleichungen, der sich innerhalb des Sockels auf der rechten Seite befindet, ermittelt den Unterschied der beiden Zeiger des scheinbaren Systems im Verhältnis zu der tatsächlichen Fortbewegung der beiden Gestirne.

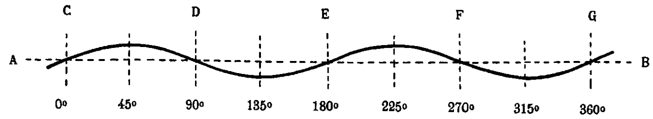
Die Planisphäre überhalb der Himmelsphäre zeigt die Gravitation der sechs mit dem bloßen Auge sichtbaren Planeten Merkur, Venus, Erde (mit Mond) Mars, Jupiter und Saturn um die im Zentrum gelegene Sonne. Die Ausmaße der Planeten, ihre Entfernung zueinander und ihre Bewegungen sind mit einer Präzision von einem Millionstel zur Wirklichkeit dargestellt.

Gekrönt werden Himmelsphäre und Planisphäre durch eine zur einen Hälfte schwarzen und zur anderen Hälfte vergoldeten Mondkugel. Sie zeigt die tatsächlichen Phasen des Mondes an und vollzieht ihre Umdrehung in einem Mondmonat von 29 Tagen und 55 Minuten.

Sonnengleichungen

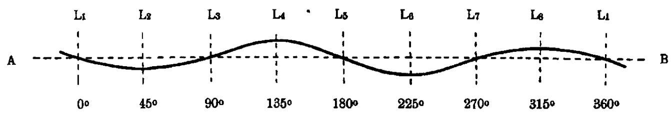


Kurve D der Erdanomalie.
C: 2. Januar, Perihelzeitpunkt, D: 2. April,
E: 2. Juli, Aphelzeitpunkt, F: 2. Oktober
AB: Mittlere Bewegung der Sonne.

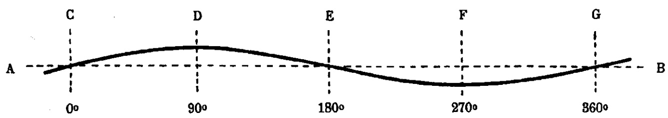


Kurve G der Umwandlung der Sonnenlänge in Rektaszension.
C: 21. März, Frühlingsäquinoktium, D: 21. Juni, Sommersonnenwende,
E: 21. September, Herbstäquinoktium, F: 21. Dezember, Wintersonnenwende.

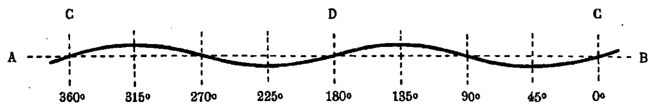
Mondgleichungen



Kurve J der Mondvariation.
AB: Mittlere Bewegung des Mondes.



Kurve M der jährlichen Mondgleichung.
C: 2. Januar, Perihelzeitpunkt, D: 2. April, E: 2. Juli, Aphelzeitpunkt, F: 2. Oktober.



Kurve Q der Mondreduktion.
C: aufsteigender Knoten, D: absteigender Knoten.

Abb. 5.15 Sinusoidaler Verlauf einiger Sonnen- und Mondgleichungen

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. Den Verlauf der wichtigsten zeigt Abbildung 5.15.

Der Rechner zur Berechnung dieser Gleichungen ist im Erdgeschoß der Uhr in einer Vitrine untergebracht und trägt die Aufschrift: „Equations solaires et lunaires“ (s. Abbildung 5.16).

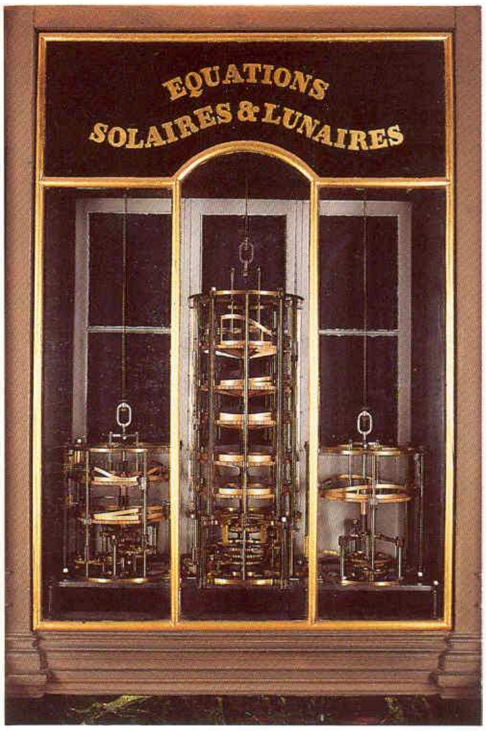


Abb. 5.16 Rechner zur Berechnung der Sonnen- und Mondanomalien

Kernstück dieses Rechners sind drei Säulen: die linke („L“) ist mit dem Sonnenzeiger der Uhr verbunden und dient zur Berechnung der Sonnengleichungen, die mittlere („M“) ist mit dem Mondzeiger verbunden und dient zur Berechnung der Mondgleichungen, während die rechte die Knotenlieniengleichung („N“) berechnet und mit der Nockenscheibe der Knotenlinie verbunden ist.

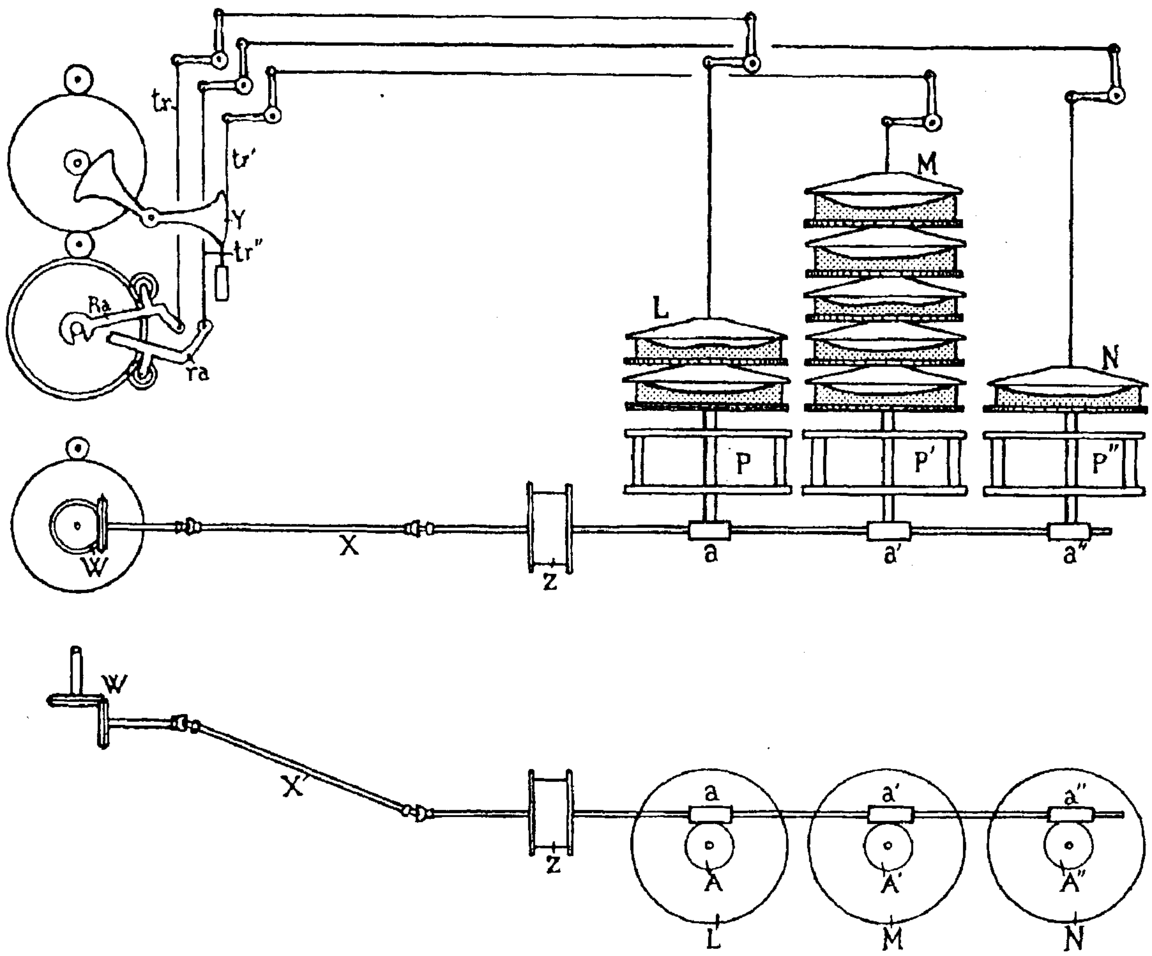


Abb. 5.17 Schema des Rechners zur Lösung der Sonnen-, Mond- und Mondknotenliniengleichung und der Übertragung der Ergebnisse auf die Räderwerke der scheinbaren Zeit, sowie Draufsicht des Antriebs der Gleichungen

Bach und Rieb beschreiben die im Rechner realisierten Verfahren wie folgt:

„Jede Gleichung ist durch eine sinusoidale Kurve verwirklicht, welche den oberen Rand einer zylindrischen Rampe "D" abschließt (Abb. 5.18). Diese Rampe ist auf einem horizontalen Zahnrad befestigt, das frei um eine senkrecht feststehende Welle "W" dreht. Die Kurve wird zweimal auf dem Umfang reproduziert, so daß zwei diametral entgegengesetzte Punkte auf gleicher Höhe sind. Diese Anordnung ermöglicht es, eine horizontale Traverse "H", die mit zwei Rollen "h" bestückt ist, auf die Kurve aufzulegen. Die Rollen werden in vertikalen Schienen geführt. Die Höhen (= Ordinaten) der Kurve entsprechen der Amplitude der Anomalie, und die Längen (= Abszissen) entsprechen der Zeit. Dreht die Kurve mit der Geschwindigkeit der Anomalieperiode, so hebt oder senkt sich die horizontale Traverse und gibt für jeden Zeitpunkt die augenblickliche Ordinate der Kurve an. Die horizontale Traverse trägt das über ihr liegende Zahnrad mit seiner eigenen Kurve. Auf diese Weise sind in den Mondgleichungen (Abb. 5.18) fünf Kurven aufeinandergestapelt. Um die Reibung und die nötigen mechanischen Kräfte so gering wie möglich zu halten, sind die Kurven so aufgestellt, daß die unteren, die das Gewicht der darüberliegenden zu tragen haben,

die am wenigsten ausgeprägten sind. Jede Kurve dreht mit eigener Geschwindigkeit, und ihre Ordinaten addieren sich algebraisch in jedem Augenblick unter dem Einfluß der horizontalen Traversen, die alle darüberliegenden Räder heben oder senken. Die obere Traverse vollführt eine der algebraischen, momentanen Summe aller Kurven im Mechanismus entsprechende Auf- oder Abwärtsbewegung. Die Bewegung wird durch Drahtzüge und Winkelhebel (Abb. 5.17) an die Züge "tr", "tr"' und "tr"" weitergegeben. Diese wirken durch Korrekturbügel auf die Differentialräder der betreffenden Zeiger. Wie wir gesehen haben, bewirkt eine Bewegung der Züge um 6 mm ein Vor- oder Nachgehen der Zeiger um 1 Grad. Alle Kurvenräder haben ungefähr den gleichen Durchmesser und eine sehr eng beieinanderliegende Anzahl von Zähnen. Deshalb haben die Mechanismen eine gut ausgeglichene Struktur. Damit man die Länge jederzeit kontrollieren kann, ist jede Kurve in Grade eingeteilt.

Schwilgué hat also mit bemerkenswerter Präzision und auf ebenso einfallsreiche wie elegante Art eine fast unglaubliche Rechenmaschine für eine auf die Zeit bezogene algebraische Addition der Ordinaten von mehreren mathematischen Kurven geschaffen. Der Mathematiker wird hier erstaunt eine in Bronze und Stahl vergegenständlichte Algebra erkennen, die er anfassen und dabei begreifen kann. Sie läuft lehrreich und dabei sehr langsam vor seinen staunenden Augen ab.“

Bach und Rieb beschreiben auch die Genauigkeit der Berechnungen und der technischen Realisierung von Schwilgué auf Grund detaillierter Untersuchungen. So wird z.B. für Kurve „D“ ausgeführt:

„Die Sonnengleichungen“

Zwei Kurven "D" und "G" beeinflussen den Gang des Sonnenzeigers (Abb. 5.15).

„Die Erdanomalie (Kurve D)“

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 (Perihelie) und am 2. Juli (Aphelie) durch den Wert "0", einer Position ohne Korrektur (Abb. 5.15). 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 beträgt 23,04 mm: sie entspricht einer Sonnenzeigerkorrektur von ± 1,92°.

Dadurch daß das Rad "D" zweimal die Korrektionskurve trägt, soll es eine Umdrehung in: 2 x 365,25968 = 730,51936 Tagen machen.

Es macht sie in:

$$\frac{A \times B \times c \times D}{a \times b \times C \times d} = \frac{40 \times 87 \times 57 \times 274}{1 \times 60 \times 62 \times 20} = 730{,}51935 \text{ Tagen !!}$$

Diese Korrektur verwandelt die "mittlere" in die wahre Sonnenlänge.“

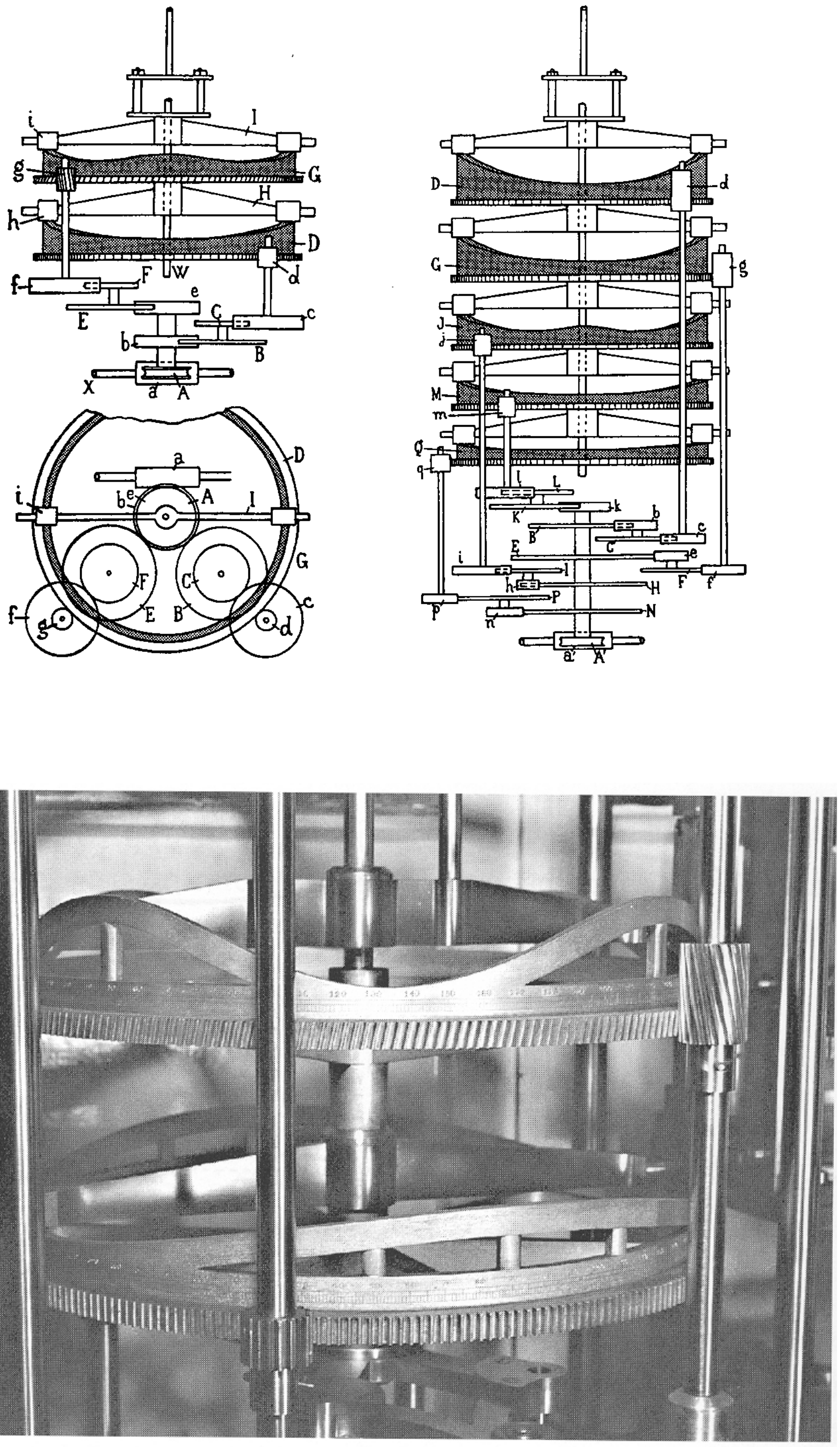


Abb. 5.18 Links die Realisierung der beiden Sonnengleichungen /
Rechts die Realisierung der fünf Mondgleichungen/
Unten Detailaufnahme der sinusoidalen Sonnengleichungen

Um diese Genauigkeiten zu erreichen, um dieses Meisterwerk der Uhrmacherkunst und des Automatenbaus zu schaffen, das wir heute immer noch bewundern und das seit nunmehr über 150 Jahren unbeirrt mit größter Perfektion funktioniert, mußte Schwilgué nicht nur umfangreiche Berechnungen größter Genauigkeit durchführen, sondern auch neue Techniken erfinden und Spezialmaschinen entwickeln, für die es bis dato keine Vorbilder gab.

So war er 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!

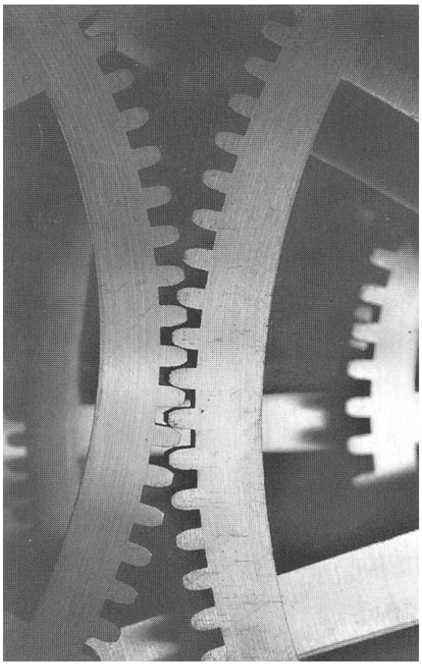


Abb. 5.19 Zykloidverzahnung von Schwilgué. Detail aus dem Planetenräderwerk

Die mathematischen Grundlagen für die Zahnprofile liefern Epizykloide und Hypozykloide. Ihre Prinzipien sind in Abb. 5.20 und Abb. 5.21 dargestellt. In der damaligen Fachpresse wurden sie wie folgt beschrieben:

„Auf Abb. 5.21 sei "T1" der Teilkreis des oberen Zahnrades mit Zentrum "O1"; "T2" sei der Teilkreis des unteren Zahnrades mit Zentrum "02". Beide Teilkreise berühren sich im Punkt "P". Die obere Rolle "Rl" habe den halben Durchmesser des oberen Teilkreises "T1"; in gleicher Weise habe die Rolle "R2" den halben Durchmesser des unteren Teilkreises "T2".

Die rechte Flanke des oberen Zahnes "Z1" entsteht nun, indem die untere Rolle "R2" außen auf dem oberen Teilkreis "T1" nach links rollt und so die Epizykloide "P-E1" erzeugt, wäh- rend die obere Rolle "Rl" im oberen Teilkreis ebenfalls nach links rollt und so die den Zahnfuß bildende Hypozykloide "P-Hi" beschreibt, die in diesem Falle - infolge des Durchmesserverhältnisses - eine radiale Gerade ist, die die rechte Flanke des oberen Zahns "Z1" bildet.

In gleicher Weise wird die Zahnflanke des unteren Zahnes "Z2" durch die Epizykloide "P-E2" der außen auf dem unteren Teilkreis "T2" nach rechts rollenden Rolle "R1" gebildet, während die untere Rolle "R2" innen im unteren Teilkreis "T2", ebenfalls nach rechts rollend, die Hypozykloide "P-H2" beschreibt, welche in diesem Falle eine Gerade ist und die radiale linke Fußflanke des gleichen Zahnes "Z2" bildet.

Die Zahnungen der beiden Räder sind also ganz speziell füreinander gebaut worden, und ihre Profile gleiten genau übereinander, ohne zu rutschen.“

Da er keine Vorbilder hatte musste Schwilgué sich seine Werkzeugmaschinen zur Konstruktion der Zahnräder selbst konstruieren. Die wichtigsten von ihm entworfenen und gebauten Maschinen waren die „Machine à Cycloides“ und die „Machine à fondre des roues“. Sie werden von Bach und Rieb wie folgt beschrieben:

„Diese Maschine („Machine à Cycloides“) *hat zwei vertikale Achsen, deren Abstand auf einen Zehntelmillimeter genau ausgerichtet werden kann. Eine davon trägt einen Support, auf dem man einen Messingstreifen befestigen kann, in den die theoretische Form der jeweils gewünschten Zah-*

nung eingefräst wird. Die andere Achse trägt eine kleine Scheibenfräse, die auf einem mit einer Mikrometerschraube verstellbaren Schlitten befestigt ist. Das Schwenkverhältnis zwischen den beiden Achsen - ein Verhältnis, das für jede Zahnung durch die entsprechenden Wälzkreise bestimmt wird - ist durch auswechselbare Zahnräder zu erreichen. Die Bewegung der Fräse verläuft entgegen derjenigen des Messingstreifens und fräst in diesen das gewünschte Profil. In diese negative Schablone wird vom Werkzeugmacher der stählerne Frässtichel durch Schleifen vor dem Härten eingepaßt .

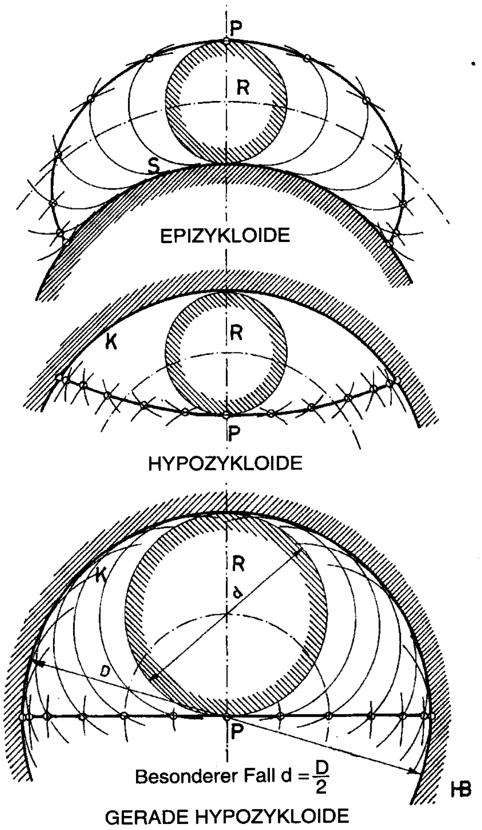


Abb. 5.20 Die drei Typen von Zykloidkurven

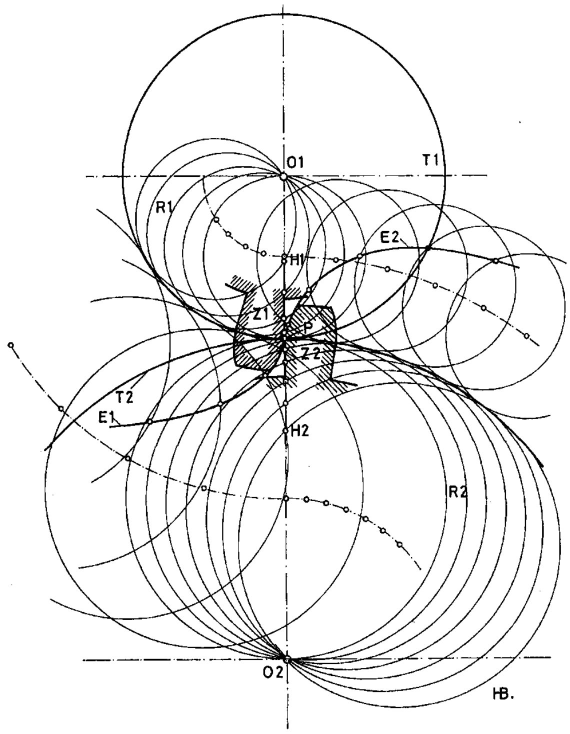


Abb. 5.21 Zykloidenverzahnung. Wechselseitige, alternierende Verzahnung mit gerader Innenflanke und epizykloidaler Außenflanke

Die Frässtichel dienten zum Fräsen der Zahnung der bronzenen Zahnräder. Diese Arbeit wurde auf der "machine ä fendre les roues" (Zahnradfräsmaschine), die wahrscheinlich zur selben Zeit gebaut wurde ausgeführt. Die Maschine kann beliebig viele bis maximal 1000 Zähne fräsen. Ihre große Teiltrommel hat einen Durchmesser von 480 mm und erlaubt das unmittelbare Teilen in alle Zähnezahlen zwischen 2 und 100 und darüberhinaus in viele gebräuchliche Teilungen bis einschließlich 500. Eine Schraubenverzahnung am oberen Rand der Teiltrommel von 1000 Zähnen erlaubt es, bis zu 1000 gleiche Teile zu teilen, einschließlich aller Primzahlen. Eine bemerkenswerte Leistung! Um Teilungen in Primzahlen vornehmen zu können, braucht man Teildrehungen der Schnecke. Und diese exakten Teildrehungen erreicht man dadurch, daß die Schnecke mit einer Scheibe mit 100 Einteilungen versehen wird, die es erlaubt, den einhunderttausendsten Teil des Trommelumfanges zu erkennen. Schwilgué hatte die Anzahl der Umdrehungen und der Teilumdrehungen der Handkurbel berechnet. Sie sind auf Papierrollen eingetragen. Damit man diese Zahlen-

folgen, ohne sich zu irren, ablesen konnte, wurden die Papierrollen in einem hölzernen Kästchen abgerollt. In einer kleinen Öffnung erschienen dann nacheinander die Zahlen.
Die Maschine kann auch konische Zahnräder und helikoidale Zahnungen fräsen und ebenso als Graviermaschine benutzt werden. Noch bis 1989 wurde sie gelegentlich für spezielle Fräsarbeiten bei der Firma Ungerer in Straßburg verwendet.
Schwilgué hat auch noch eine Zahnradhobelmaschine zur Herstellung der Stahltriebe gebaut, bei der er die gleichen Formstichel verwendet. Die Teilvorrichtung dieser Maschine war für eine sehr viel kleinere Anzahl von Zähnen vorgesehen. Sie konnte ebenfalls helikoidale Zahnräder fräsen."

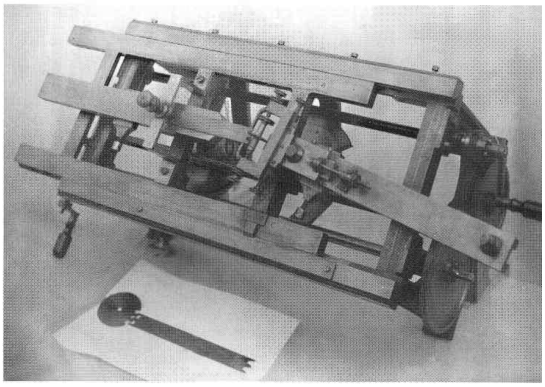


Abb 5.22 „Machine à Cycloides"

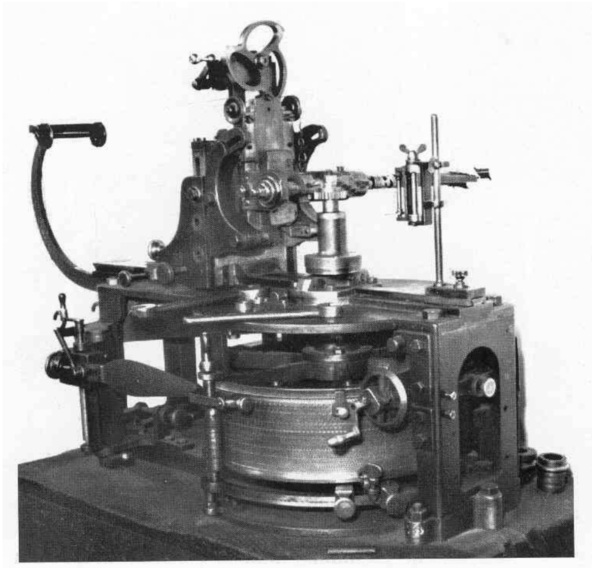


Abb. 5.23 Von Schwilgué entwickelte Zahnteilungsmaschine

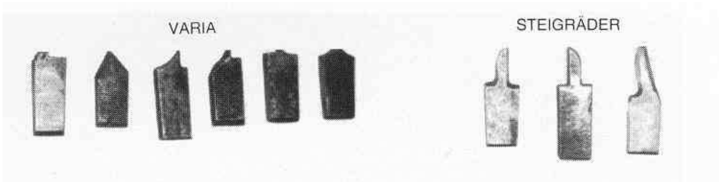


Abb. 5.24 Frässtichel von Schwilgué

5.4 Der Kirchenrechner des Straßburger Münsters

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.

Wie bereits erwähnt, wurde dies bei der Uhr des Doms in Münster dadurch gelöst, daß der Ostertermin, genauer der Zeitabschnitt zwischen Weihnachten und Fastnacht-Dienstag, aus dem der Ostertermin unmittelbar abgeleitet werden kann, von Astronomen für eine 532-jährige Periode vorausberechnet worden war. Ähnlich ging man bei allen anderen astronomischen Uhren vor. Es war die einmalige Leistung von Schwilgué, die komplexen Berechnungsverfahren automatisiert zu haben. Hierbei wurde von Schwilgué - in heutiger Terminologie - ein 4-Pass-Programm hardwaremäßig implementiert, d.h. es laufen im wesentlichen vier separate Teilprogramm (Module) ab. Die "hardwaremäßige Implementierung" erfolgte durch eine äußerst raffinierte Anordnung von Zahnrädern, Achsen und Hebeln. Hierbei können die Translationen und Rotationen des Rechners in Einzelschritten verfolgt werden. Das Gesamtgewicht dieses Räderwerkes beträgt ca. 235 kg. Die nachfolgende Beschreibung soll einen Eindruck von der Komplexität der zu implementierenden Algorithmen und der Genialität ihrer technologischen Implementierung vermitteln. Grundlage für die Berechnung sind die Regeln des Gregorianischen Kalenders:

1. Das Gemeinjahr (normale Jahr) hat 365 Tage.
2. Schaltjahre mit 366 Tage (der Februar hat dann 29 Tage) sind die Jahre, bei denen das letzte Zahlenpaar der Jahreszahl ohne Rest durch vier teilbar ist. Jahre mit einer ganzen Jahrhundertzahl, deren Teilung durch 400 nicht ohne Rest aufgeht, sind normale Jahre mit 365 Tagen. Daher ist z.B. das Jahr 2000 ein Schaltjahr.

Diese Definition der Anzahl der Tage eines Jahres wird ergänzt durch die Vorschriften zur Festlegung des Ostertermins:

3.
   a) Der Ostersonntag ist der erste Sonntag nach dem ersten Vollmond, der auf den 21. März folgt.
   b) Der Ostervollmond ist auf die 14. Nacht nach dem vorhergehenden kirchlichen Neumond festgelegt.
   c) Fällt der Ostervollmond auf einen Sonntag, wird der Ostersonntag auf den darauffolgenden Sonntag verlegt.
   d) Fällt der so errechnete Ostertag mit dem israelischen Passah-Fest zusammen, wird der nächste Sonntag genommen.

Diese Regeln erscheinen auf den ersten Blick noch relativ einfach. Die Schwiergkeit ergibt sich aus der Komplexität der notwendigen Teilberechnungen. Als Anhaltspunkte seien der synodische Monat sowie das tropische Jahr erwähnt. Beide spielen bei den Berechnungen eine Rolle, wie wir noch sehen werden.
Ein synodischer Monat ist dabei die Zeit von einem Neumond zum nächsten. Das tropische Jahr ist die Zeit, die die Erde braucht, um vom Frühlingspunkt aus zu diesem zurückzukehren. Weder der synodische Monat (29 Tage 12 h 44 min 3 sec) noch das tropische Jahr (365 Tage 5 h 48 min 46,42 sec) bestehen aus ganzen Zahlen und darüber hinaus sind sie noch inkommensurabel, d.h. es sind Größen, deren Verhältnis irrational ist.

Bevor jedoch weiter auf die Details der Berechnungen und deren Implementierung eingegangen wird, soll noch einmal auf die Darstellung des Ergebnisses der Berechnung eingegangen werden. Hier mußte das Problem der Darstellung von Schaltjahren gelöst werden.

Der ewige Kalender umgibt das Zifferblatt der scheinbaren Zeit in Form eines Ringes von 2,73 m äußerem Durchmesser und 21 cm Breite. Die Statue des Apollo, die links vom Kalender steht, zeigt - wie bereits im letzten Abschnitt gezeigt - mit einem Pfeil auf den jeweiligen Tag. Der ganze Kreis ist in 368 Felder eingeteilt. Von diesen haben 365 die Beschriftung des Tagesheiligen und des Sonntagsbuchstabens, die anderen drei, die eine Lücke zwischen dem 31. Dezember und 1. Januar bilden, tragen die Inschriften

Commencement de l'année commune
(d.h. Beginn des gewöhnlichen Jahres)

Die 31 Tage des Januars und die 28 Tage des Februars sind auf einem unabhängigen beweg-baren Sektor aus Blech aufgemalt, der auf dem Kalenderring um einen Tag verschiebbar ist.
Das Uhrwerk sorgt für folgende Stellungen:
In einem Gemeinjahr ist das Wort "commune" sichtbar (siehe Abb. 5.25), in der Silvesternacht sind also vier Schritte für den Kalender zu machen.
In einem Schaltjahr ist der bewegliche Sektor um eins nach links verschoben, so daß der 29. Februar sichtbar wird, jedoch gleichzeitig durch das Wort „commune“ verdeckt wird. In der Silvesternacht sind hier also nur drei Schritte zu vollziehen.

Der diesbezügliche Mechanismus ist so konstruiert, daß die regelmäßige Folge der Schaltjahre von jeweils vier Jahren in einem Zeitabschnitt von 400 Jahren dreimal unterbrochen wird, nämlich an sämtlichen sogenannten Säkularjahren, die nicht durch 400 teilbar sind.

Die beweglichen Feste sind auf verstellbaren, schwarzen Blechstreifen aufgezeichnet, diejenigen, die von Ostern abhängen, sind auf einem gemeinsamen Ring angebracht. Während der Sylvesternacht stellt der Mechanismus der Uhr diese auf das richtige Datum ein. Bemerkenswert ist sein Gewicht von 235 kg.

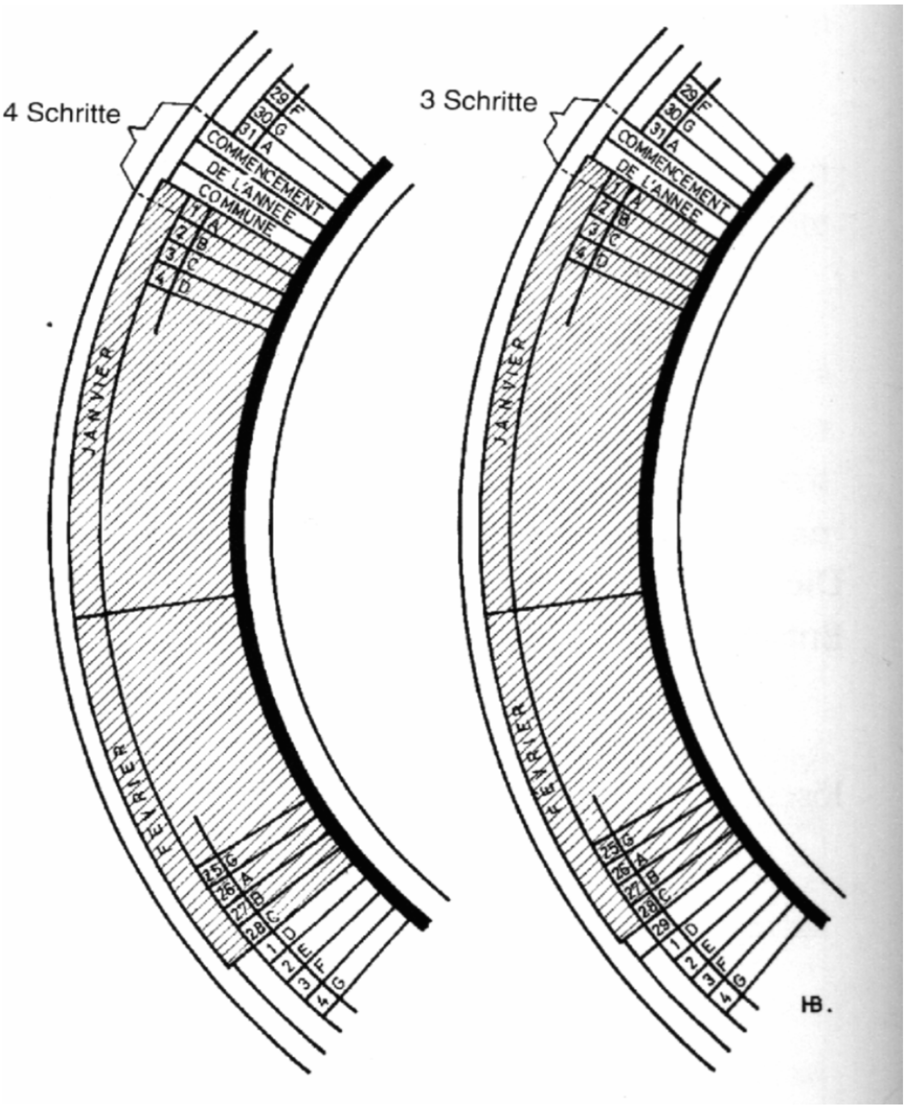


Abbildung 5.25 Der bürgerliche Kalender. Stellung des beweglichen Sektors Januar und Februar (schraffierter Teil) Links: in gewöhnlichen Jahren. Rechts: in Schaltjahren

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.

Die Ergebnisse ihrer Berechnung lassen sich unmittelbar am Kirchenrechner ablesen (s. Abb. 26):

Oben in der Mitte ist die vierstellige Jahreszahl zu sehen.

Links darunter ist der Sonnenzyklus abzulesen. Dies ist die Periode von 28 Jahren (4 * 7 = Schaltjahrperiode * Wochentagszahl), nach welcher alle Wochentage eines Jahres wieder auf dasselbe Monatsdatum fallen. Einbezogen sind hierbei natürlich auch die Daten für die Schaltjahre. Ist z.B. der 29.02.2000 ein Dienstag, so ist erst der 29.02. 2028 wieder ein Dienstag.

Rechts unter der Jahreszahl wird die *Goldene Zahl oder der Mondzyklus (Nombre d'or)* angezeigt. Dies ist eine Periode von 19 Jahren, nach welcher Voll- oder Neumond wieder auf dasselbe Monatsdatum fallen.

In der Mitte des Rechners befindet sich die *Indiktion*, eine 15-jährige Periode ohne astronomische Bedeutung. Sie half damals bei den Zins- und Steuerabgaben.

Unten links ist der *Sonntagsbuchstabe (Lettre dominicale)* zu sehen. Er kennzeichnet im Kirchenkalender die Sonntage des laufenden Jahres. Dazu sind auf dem Umkreis der Kalenderscheibe 52 mal die Buchstaben A-G aufgetragen, beginnend mit A am 1. Januar.
Ist C nun der auf dem Kirchenkomput angezeigte Sonntagsbuchstabe, so ist der 3. Januar ein Sonntag, ebenso alle weiteren mit C bezeichneten Tage. Ausnahme macht auch hier der 29. Februar, der mit keinen Buchstaben trägt und somit die regelmäßige Folge unterbricht. Hierdurch wird in Schaltjahren ein zweiter Sonntagsbuchstabe erforderlich. Der erste gilt dann vom 1. Januar bis zum 29. Februar und der zweite vom 1. März bis zum Ende des Jahres.

Beispiel.: Ist A der Sonntagsbuchstabe zu Beginn eines Schaltjahres, so wechselt er am 1. März auf G.
Das Zifferblatt trägt als Inschrift folgende Sonntagsbuchstaben:
A, AG, G, GF, F, FE, E, ED, D, DC, C, CB, B, BA.
In gewöhnlichen Jahren geht der Zeiger im Uhrzeigersinn zwei Schritte vorwärts.
Zu Beginn eines Schaltjahres und des folgenden gewöhnlichen Jahres macht er dagegen drei Schritte vorwärts. Folgende Reihenfolge wäre denkbar: A, G, FE, D, C, B, AG, F, ...
In der Berechnung des Sonntagsbuchstaben müssen auch wieder die innerhalb von 400 Jahren ausfallenden drei Säkularschalttage in Betracht gezogen werden.
(säkular von lat. Saeculum = Jahrhundert, hundertjährig).

Unten rechts schließlich wird die Epakte angezeigt. 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.

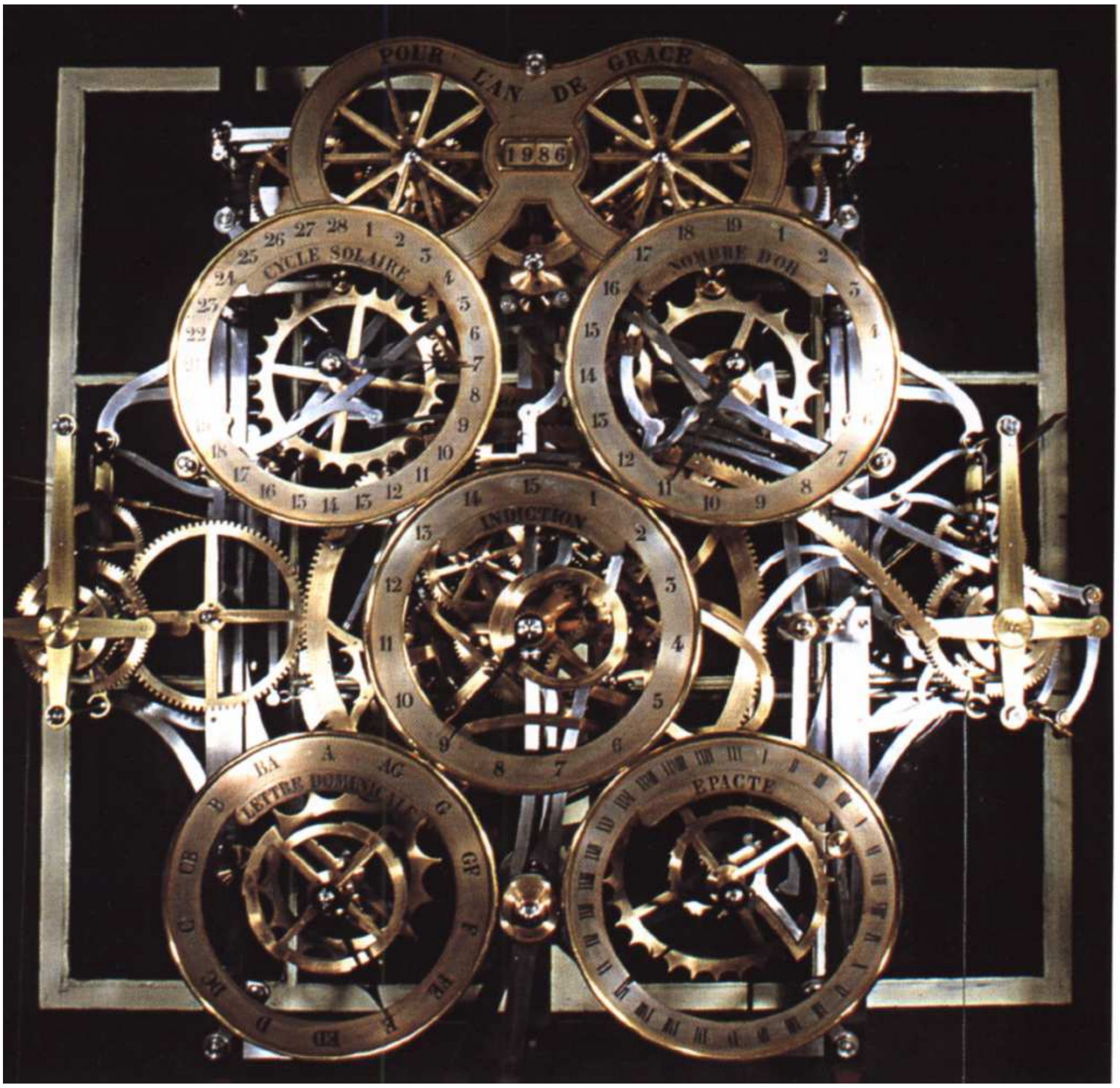


Abbildung 5.26 Der Kirchenrechner

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*29,53 = 354,36 Tagen. Eben dieses „etwa“ im letzten Satz macht einige ziemlich komplexe Korrekturen nötig:

a) Alle 19 Jahre, wenn die Goldene Zahl 1 ist, wird ein Tag mehr hinzugerechnet.
b) In den gewöhnlichen Säkularjahren werden nur zehn Tage hinzugerechnet.
c) 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.

In der Mitte des Rechners befindet sich zusätzlich die Indiktion, eine 15-jährige Periode ohne astronomische Bedeutung. Sie half damals bei den Zins- und Steuerabgaben.

Wie in Regel 3 der Regeln für den Gregorianischen Kalender angegeben, fällt der Ostersonntag auf den ersten Sonntag, welcher auf den ersten Vollmond nach Frühlingsanfang (21. März) folgt. Hieraus folgt, daß der Sonntagsbuchstabe und die Epakte die bestimmenden Faktoren zu seiner Errechnung sind. Es verbleibt zu erläutern, wie Schwilgué die richtige Einstellung dieser beiden Faktoren erreichte und wie dieselben den Reif mit dem Osterfest in seine korrekte Stellung für das kommende Jahr bringen:

Wie schon erläutert, tritt der Mechanismus nur in der Silvesternacht in Aktion. Wenn der Kalender vom 31. Dezember auf den 1. Januar übergeht, zieht er das Gestänge G (Abb. 5.27) nach rechts. Dabei befreit der Hebel H‘ den Anschlag b, während H‘‘ die Klaue h aus dem Rad D‘ zieht, womit das Laufwerk gestartet ist (siehe linker Pfeil in Abb. 5.27).
Jetzt macht das Hauptrad C, welches über das Zwischenrad c‘ vom Laufwerk angetrieben wird, eine volle Umdrehung und stellt dabei die verschiedenen Angaben für das nächste Jahr ein. Insbesondere werden der *Sonnenzyklus*, die *Goldene Za*hl und die *Indiktion* dabei jährlich um eine Einheit verschoben.

Das Hauptrad C ist mit dem koaxialen (lat. mit gleicher Achse) Rad D verbunden, welches durch das Zwischenrad d das Rad D‘, mit gleicher Zähnezahl wie Rad D, antreibt. Dieses dreht sich gegen den Uhrzeigersinn. Es trägt seitlich eine Scheibe mit einer einzigen Kerbe, in die die Klaue h nach einer vollen Umdrehung wieder einrastet und somit den Mechanismus zum Stoppen bringt.

Die Kombination der vier Scheiben R, R‘, R‘‘, R‘‘‘ legen die *Jahreszahl* fest. Der Stift S nimmt beim Drehen von D‘ einen Zahn des Sternenrads M mit, welches mit R verbunden ist. Die Jahreszahl nimmt um eine Einheit zu.

In der Zeichnung sind M und M‘ koaxial und übereinandergesetzt.
Der Stern M mit seinen zehn Zähnen macht in zehn Jahren eine volle Umdrehung. Dabei nimmt er über das Rad n, welches sich ebenfalls in zehn Jahren einmal dreht, mit seinem Finger f einen Zahn des Sternes M‘ der Zehnerreihe mit. In Abb. 5.27 muß man sich M‘ und f auf gleicher Höhe in die Bildebene hinein versetzt denken. Der Stift f ist koaxial mit n verbunden.

Nach dem gleichen Prinzip erfolgt die Einstellung von Rad M‘‘ für die Hunderter.
Nach hundert Jahren, wenn der Stern M‘ eine Umdrehung vollendet, nimmt er über das Rad n‘ und dessen koaxial verbundenen Stift f‘ einen Zahn des Jahrhundertsterns M‘‘ mit und dieser schließlich nach tausend Jahren über n‘‘ und f‘‘ einen Zahn des Jahrtausendsterns M‘‘‘.

Für die Einstellung des *Sonntagsbuchstabens* hat Schwilgué sich folgenden Mechanismus ausgedacht, wobei nochmals daran erinnert sei, daß beim Übergang von einem gewöhnlichen Jahr zu einem anderen der Zeiger sich um zwei Einheiten verstellt, ansonsten um drei Einheiten.

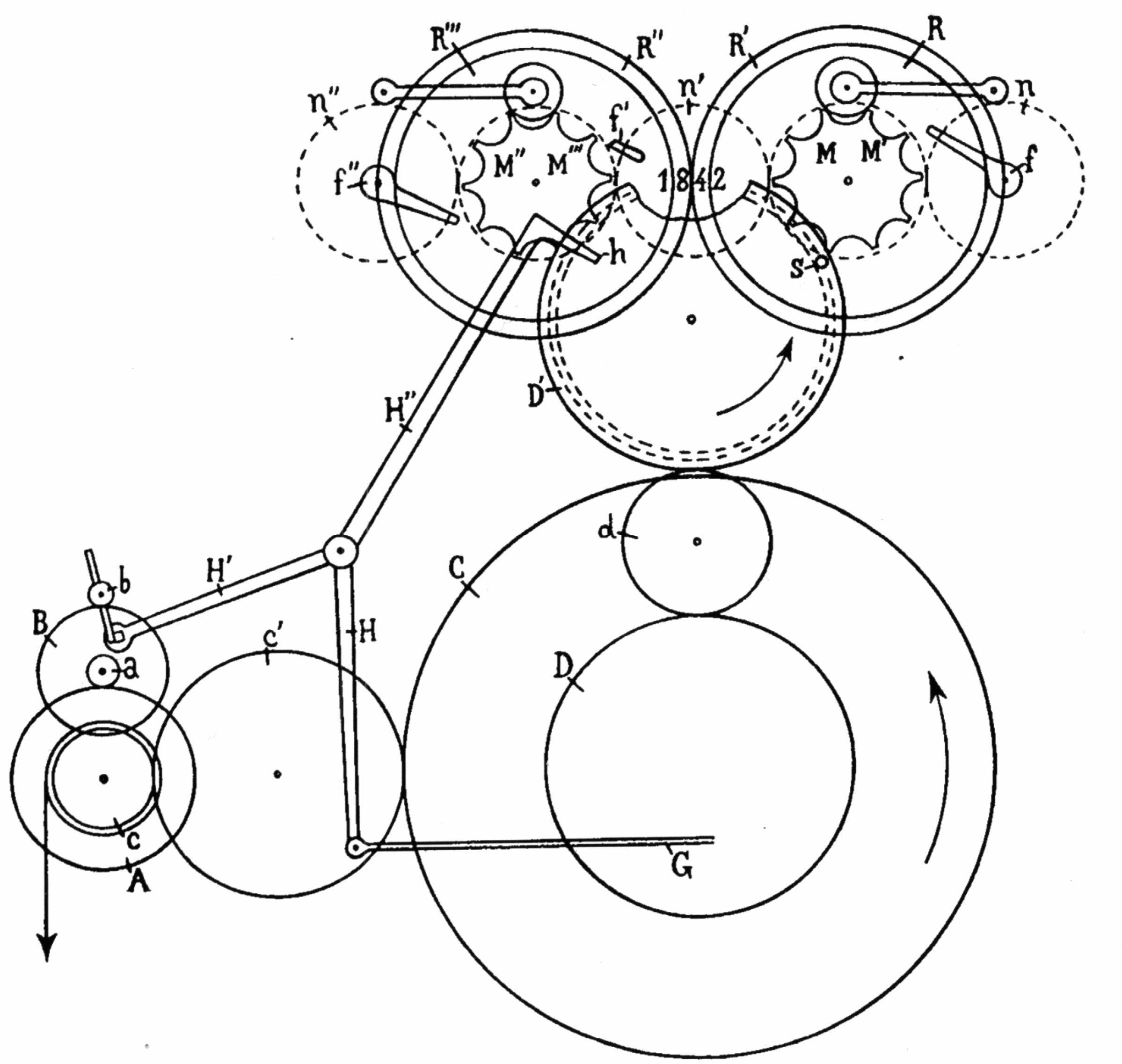


Abbildung 5.27 Laufwerk und Mechanismus der Jahreszahl

Zu den zwei festen Stiften v und v‘ (Abb. 5.28, mitte links) die auf der Höhe des Zackenrades Y stehen und eben dieses um zwei Einheiten vorantreiben, kommt bei den Jahresübergängen, an dem ein Schaltjahr beteiligt ist, noch der dritte bewegliche Stift v‘‘ dazu. Dieser wird durch das Rad H über die Kippe h in den Bereich des Rades Y gebracht. Das Rad H bewegt sich bei der jährlichen Betätigung des Kirchenrechners in Bezug zu Rad C um 1/100 Umdrehung, so daß es in 100 Jahren genau eine Umdrehung ausführt. Beide Räder C und H drehen sich gegen den Uhrzeigersinn.

Die 24 Erhebungen auf dem äußeren Umfang von H, die den 24 Schaltjahren des Jahrhunderts entsprechen, betätigen jeweils den Hebel h, auf dem der bewegliche Stift v‘‘ befestigt ist, und bringen ihn in eine Reihe mit v und v‘, so daß eben das Rad Y um drei Einheiten vorangetrieben wird (s. Abb. 5.27). Eine Erhebung entspricht dabei genau zwei aufeinanderfolgenden Jahren, genau wie auch jede Lücke zwei Jahre bedeutet.

Die 25. Erhebung H‘, die dem Säkularjahr entspricht, befindet sich auf einem Kniehebel und geht nur alle 400 Jahre in Stellung, wenn das volle Jahrhundert ein Schaltjahr ist, also zum Beispiel beim Jahrtausendübergang 2000.

Das Rad 8, welches den Kniehebel H‘ betätigt, hat sechs Zähne und vollführt somit eine Umdrehung in 2400 Jahren.

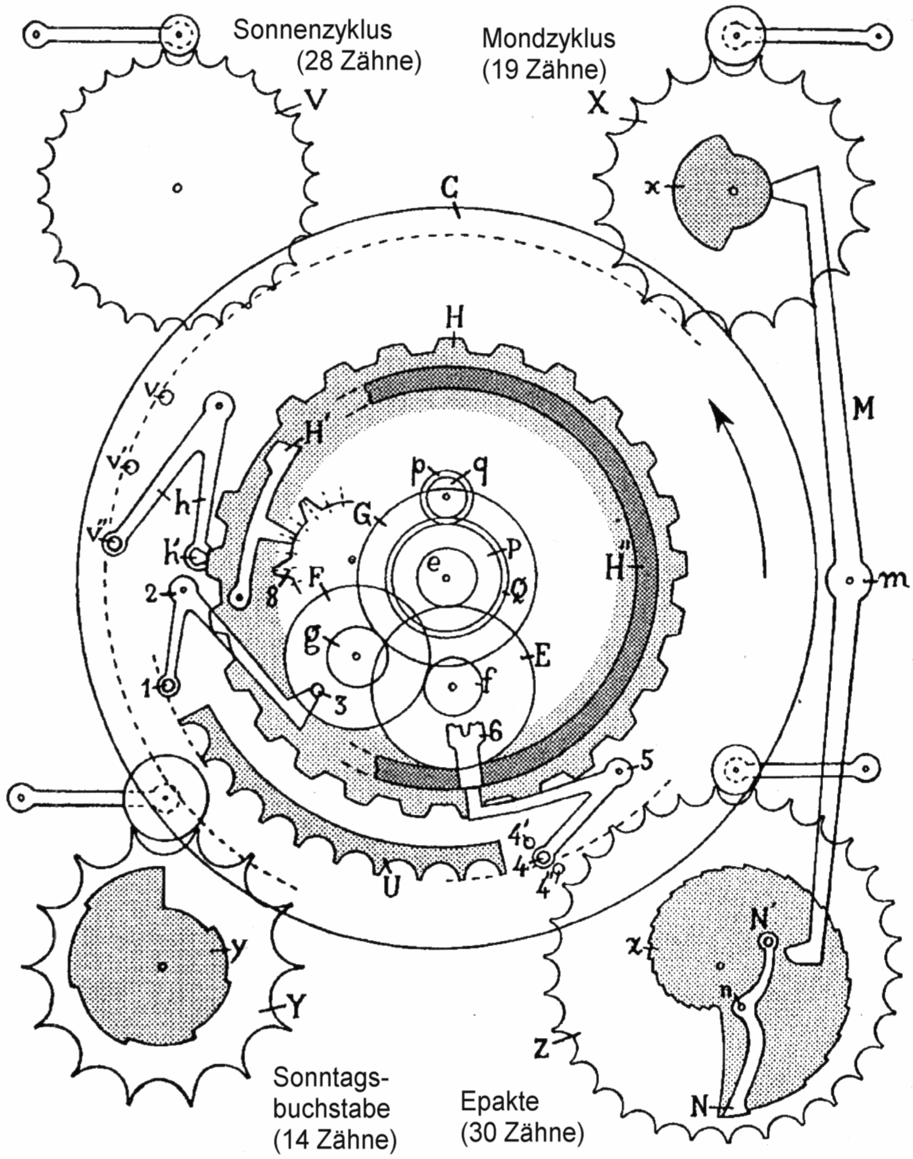


Abbildung 5.28 Hauptmechanismus des Kirchenrechners

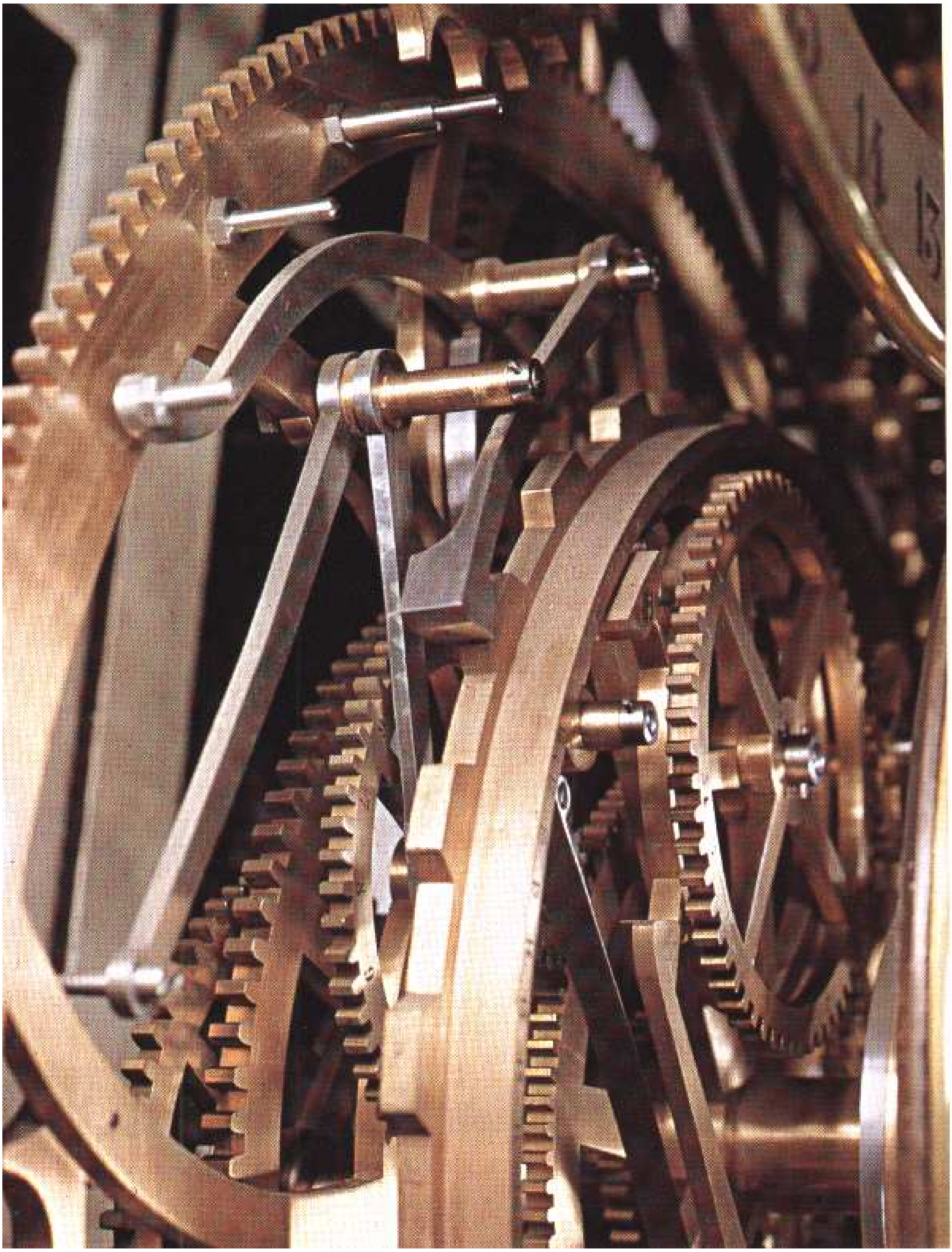
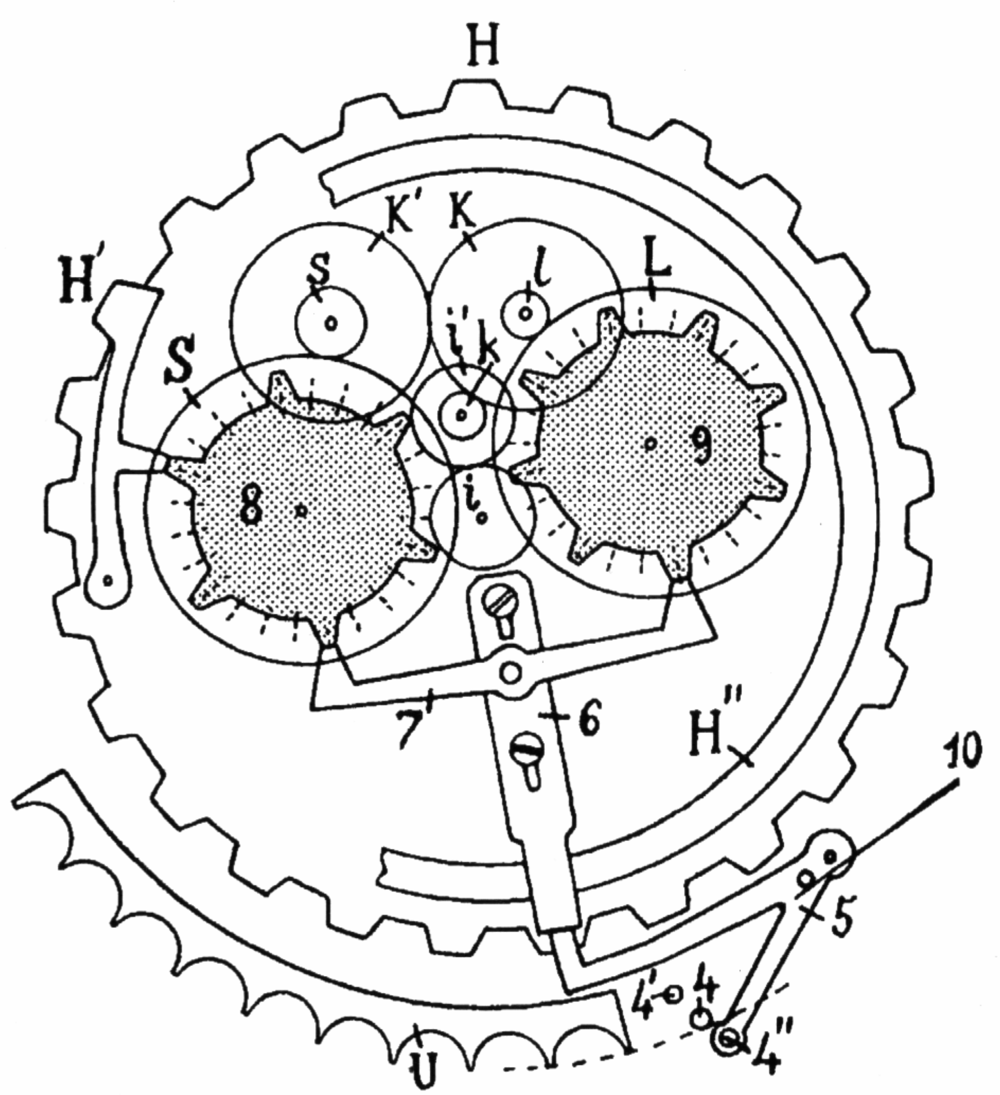


Abbildung 5.29 In der Mitte: Das eingekerbte Säkularrad. Oben links: Die drei Stifte für die Sonntagsbuchstaben. Darunter: Der zusätzliche Epaktenstift.

Die Verstellung der Epakte erfolgt in ähnlicher Weise, ist aber sehr viel komplizierter. Ein Zackensegment U (siehe Abb. 5.28 und 5.30) mit zehn Zähnen treibt das Rad Z des Epaktenzifferblattes um zehn Einheiten weiter. Ein beweglicher Stift, auf dem Winkelhebel 5 angebracht, ersetzt einen 11. Zahn am Segment. Der normale Vorschub der Epakte um 11 Einheiten ist damit gewährleistet.

Erinnern wir uns an die oben erwähnten Regeln für die Epakte und damit an die Ausnahmen. Zunächst muß dafür Sorge getragen werden, daß alle 19 Jahre, wenn die Goldene Zahl 1 ist, die Epakte um eine zusätzliche Einheit erhöht wird (Regel a). Dieses wird über den Winkelhebel 2 erreicht (siehe Abb. 5.28), welcher alle 19 Jahre den Stift 1 links vor den Zahnsektor U bringt.

Die Regeln b und c besagen, daß jedesmal, wenn das volle Jahrhundert kein Schaltjahr ist, sich die Epakte nur um zehn Einheiten erhöht, und daß im Laufe von 2500 Jahren acht zusätz-



liche Einheiten hinzugezählt werden, und zwar siebenmal eine Einheit nach 300 Jahren und einmal eine Einheit nach 400 Jahren.

Abbildung 5.30 Der zentrale Teil des Kirchenkomputs

Die zusätzlichen Epakteneinheiten aus Regel b und c werden grundsätzlich über den Riegel 6 in Verbindung mit Winkelhebel 5 mit seinem Stift 4 erledigt. Dieser Stift kann die Stellungen 4‘, 4 und 4‘‘ annehmen. In Stellung 4‘ wird er unwirksam, dann sorgen nur die zehn Zähne vom Zahnensegment U für Vorschub des Epaktenzahnrades. In Stellung 4 sorgt er für genau einen Vorschub und in Stellung 4‘‘ sogar für zwei Vorschübe.

Die drei verschiedenen Stellungen von Riegel 6, und damit auch von Stift 4, werden durch die beiden Scheiben 8 und 9 bestimmt (siehe Abb. 5.30). Sie werden bei jeder Umdrehung von H um eine Raste (gestrichelte Linien in Abb. 5.30) vorgeschoben. Die Scheibe 8 macht eine Umdrehung in 2400 Jahren und hat sechs Zähne, die jeweils also einem Jahrhundertschaltjahr entsprechen, wie zum Beispiel in den Jahren 1600, 2000, 2400,... . Alle 400 Jahre hebt einer dieser Zähne also den linken Absatz der Waage 7, die mit dem Riegel 6 verbunden ist, an. Durch diese Erhebung wird eine zusätzliche Epakteneinheit gewährleistet. Die Scheibe 9 macht in 2500 Jahren eine Umdrehung und hat acht Zähne, deren Winkelabstände so verteilt sind, daß sieben davon, einer Zeitspanne von 300 Jahren entsprechen und der achte einer Zeitspanne von 400 Jahren. Somit sind davon die Jahre 1800, 2100, 2400, 2700, 3000, 3300, 3600, 4000, ... betroffen. Jeder Zahn entspricht also einer hinzuaddierten Epaketeneinheit, was durch das Anheben des rechten Absatzes der Waage 7 geschieht.

Während 99 Jahren steht der Stift unveränderlich in Stellung 4 und nimmt jährlich jeweils einen weiteren Zacken des Rades Y mit. In Säkularjahren versinkt der Hebel 5 mit seiner Nase in einer Lücke des Randes H‘‘ vom Rade H und der Stift 4 kommt in die Stellung 4‘. Befinden sich zu diesem Zeitpunkt auch beide Absätze der Waage 7 in den Lücken von Rad 8 bzw. 9, so schreitet die Epakte nur um zehn Einheiten voran. Wird nur einer der beiden Absätze angehoben, schreitet die Epakte um 11 Einheiten voran und werden beide Absätze angehoben, so wird die Epakte um 12 Schritte vorangestellt.

Je nach Position der Stifte 1 und 4 rückt der Epaktenzeiger also um 10 – 13 Einheiten voran.

Daß der Kirchenrechner von Schwilgué in der Tat für die "Ewigkeit" ausgelegt war, zeigt nachfolgende Rechnung, durch die ersichtlich ist, daß das Voranschreiten um 13 Einheiten (Stift 4 in Stellung 4‘‘ und Stift 1 in Stellung vor dem Zahnensegment U) erstmals im Jahre **15200 (!)** stattfindet:

Dazu muß man wissen, daß das erste Jahr für die Periode des Mondzyklus im Jahr 1 v.Chr. beginnt. Man erhält also die Goldene Zahl des Jahres, indem man der Jahreszahl eine Einheit hinzufügt und das Resultat durch 19 teilt. Der Rest der Division ist die Goldene Zahl. Ohne Rest ist sie gleich 19.

Für das Jahr 15200 erhält man

$$15200+1/19 = 800 + (1/19),$$

d.h. der Rest ist eins und damit auch die Goldene Zahl.

Ferner gilt

$$15200/400 = 38,$$

d.h. die Division geht ohne Rest auf, also ist das Jahr 15200 ein Säkularschaltjahr. Da 15200 auch noch eine der Jahreszahlen ist, die im Rhythmus von sieben mal 300 Jahren und dann einmal 400 Jahre auftaucht, kommt auch der dritte zusätzliche Stift in Stellung.

Nachdem damit die Realisierung der Berechnung der relevanten Daten erläutert ist, verbleibt noch die Erklärung, in welcher Form aus diesen Daten der Termin für Ostern abgeleitet wird und in welcher Form die Übertragung auf den Kalender erfolgt.

Zunächst seien nochmals kurz die wichtigsten Regeln zur Bestimmung des Ostersonntags aufgeführt:

a) Der erste Sonntag, der dem ersten Vollmond nach dem 21. März folgt, ist der Ostersonntag.
b) Der Ostervollmond ist auf die 14. Nacht nach dem vorhergehenden kirchlichen Neumond festgelegt.
c) Fällt dieser Ostervollmond auf einen Sonntag, wird Ostern auf den folgenden Sonntag vorschoben.

Der früheste Termin ist somit der 22. März (dann ist der 21. März ein Samstag und es ist Vollmond) und der späteste der 25. April (dann ist am 20. März Vollmond, d.h. der Ostervollmond ist erst 29 Tage später am 18. April, und der 18. April ist ein Sonntag).

Auf dem Kalendarium sind der Osterfeiertag sowie die von ihm abhängigen Feiertage in gold auf schwarzen Lamellen aufgemalt, die auf einem beweglichen Osterring befestigt sind. Der Kalendermechanismus sorgt dafür, daß die Lamelle des Osterdatums in der Silvesternacht zunächst auf den 3. Mai gestellt wird. Danach erfolgt die Berechnung des zeitlichen Abstandes des Ostersonntages vom 3. Mai durch den Kirchenrechner und anschließend die entsprechende Korrektur auf dem Osterring. Wesentlichstes Element ist der große Osterrechen R (s. Abb. 5.13). Er bestimmt die Anzahl der Tage, um die die auf dem Osterring befestigten Lamellen zurückgeschoben werden müssen. Zunächst steht der Ostersonntag auf dem 3. Mai. R trägt am rechten Ende den Stift 41, dessen Stellung bei stillstehendem Rechner (Abb. 5.13) ebenfalls dem 3. Mai entspricht. Durch die Berechnungen bringen die mechanischen Vorrichtungen des Rechen R diesen in die Position, die dem Osterdatum entspricht. Die Anzahl der Positionen, die der Stift 41 nach rechts wandert, entspricht der Anzahl von Tagen zwischen dem 3. Mai und dem neuen Osterdatum.

Die Bestimmung des Osterdatums und die Positionierung des Osterrechens R erfolgen wie folgt:

Die Epakte und der Sonntagsbuchstabe legen bekannterweise das Osterdatum fest. Verantwortlich hierfür ist das Rad D‘ und weitere kleine Hebel, auf dessen genaue Funktion ich nicht eingehen werde. Jedoch sei soviel gesagt, daß die Klinken 23 und 28 sowie die Klauen 26 und 30 angehoben werden und somit R und r befreit werden. Unter dem Einfluß der Gegengewichte 11 und 12 können sie nun nach links schwenken. Zu beachten ist dabei, daß z.B. R mit seinem Absatz 14 auf eine der Stufen der Epaktenscheibe z fällt (siehe Abb. 5.32 bzw. Abb. 5.33).

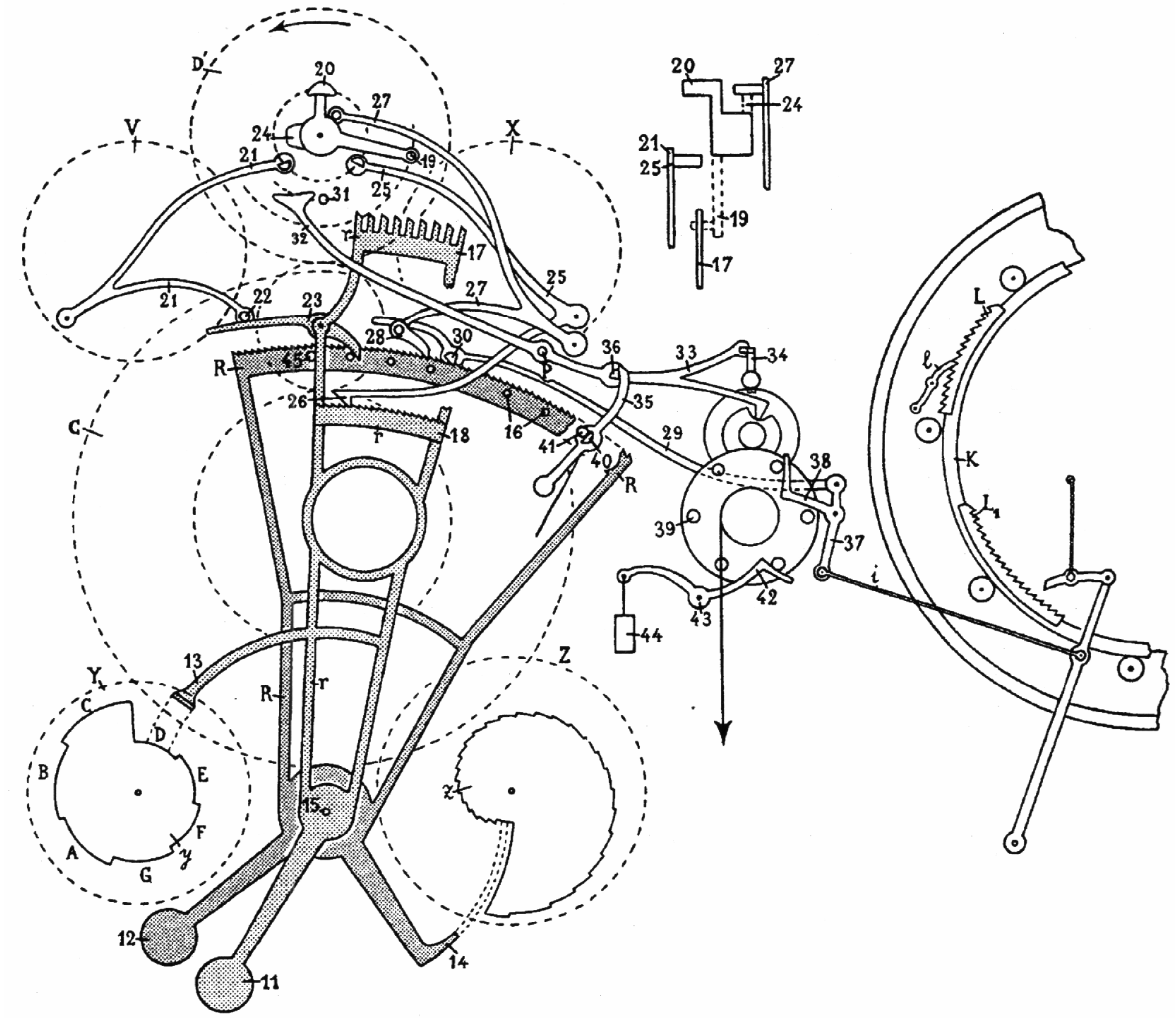


Abbildung 5.31 Die Organe des Kirchenkomputs zur Festlegung und Einstellung des Osterdatum auf dem Kalender (rechter Teil in verkleinertem Maßstab dargestellt)

Jede Stufe in Abb. 5.31 entspricht einem Datum zwischen dem 21. März und dem 18. April, der Zeitspanne also, in die die Ostervollmonde fallen können. R wird also dementsprechend auf das Datum des kommenden Ostervollmondes eingestellt.

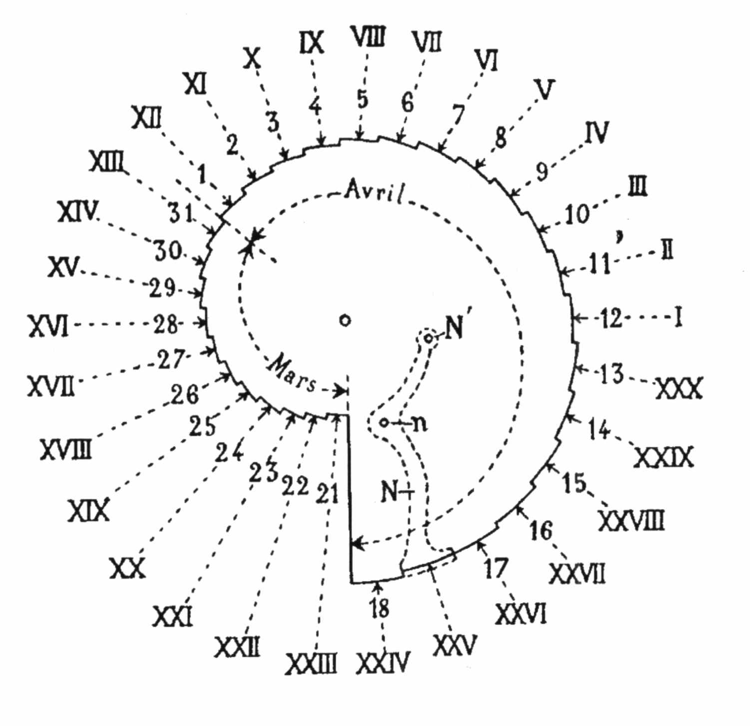


Abbildung 5.32 Epaktenstufenscheibe. Die arabischen Zahlen zeigen die Daten der Ostervollmonde

Zwei Beispiele hierzu:

1. Steht die schon vorher eingestellte Epakte auf XXIII, bedeutet dies, daß am 21. März der Ostervollmond ist. In einem Jahr mit der Epakte XXIII ist das Mondalter am 1. Januar 23 Tage seit dem letzten Neumond, bleiben also 30-23 = 7 Tage bis zum ersten Neumond des neuen Jahres (hier der 8. Januar). Die nächsten Neumonde werden in den Abständen von 29 und 30 Tagen folgen, also am 6. Februar und 8. März. Addiert man hierzu 14 Nächte, d.h. 13 Tage (Regel 2 bei Bestimmung des Osterdatums), so erhält man den frühestmöglichen Ostervollmond am 21. März. Der Absatz 14 fällt also bis auf die kleinste Stufe zurück und macht dementsprechend den größtmöglichen Ausschlag nach rechts.

2. Steht die bereits berechnete Epakte dagegen auf XXIV, so fällt der Märzvollmond auf den 20. März, d.h. der Ostervollmond ist dann 29 Tage weiter am 18. April, dem spätmöglichsten Ostervollmonddatum. Der Rechen R, der mit seinem Absatz 14 somit auf die höchste Stufe von z drückt, macht den kleinstmöglichen Ausschlag und wird auf den 18. April eingestellt.

Rechen r schwenkt nun einige Augenblicke nach R, und sein Absatz 13 fällt auf eine der sieben Stufen der Scheibe y, die auf der Achse des Sonntagsbuchstabenzeigers sitzt.
Da bei der Bestimmung des Osterdatums nur der zweite der Doppelbuchstaben bei den Sonntagsbuchstaben in Betracht kommt, ergibt sich folgende Reihenfolge der Kombination der sonst 14 Sonntagsbuchstaben: AA, GG, FF, EE, DD, CC, BB.
Deshalb ist die Scheibe auf sieben Stufen doppelter Länge begrenzt. Die niedrigste Stufe entspricht dem Sonntagsbuchstaben D und die höchste dementsprechend dem Buchstaben C.

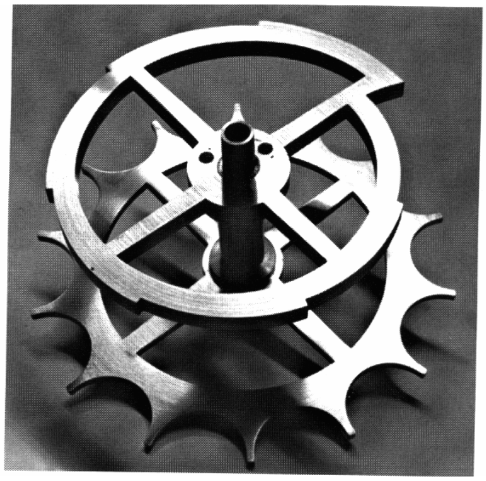



Abbildung 5.33 Die Epaktenstufenscheibe und die Stufenscheibe der Sonntagsbuchstaben

Die Stellung von r entspricht also dem Sonntagsbuchstaben des kommenden Jahres. An seinem oberen Ende besitzt r einen gezahnten Bogen 17 mit acht langen radialen Einschnitten, deren Abstand einem Kalendertag entspricht. Reflektiert man alle bisher genannten Funktionalitäten, dann wird deutlich, daß R den Osterreif auf den Ostervollmond einstellt. Es muß also noch erreicht werden, daß die Lamelle auf dem Osterring auf den nächsten Sonntag eingestellt wird. Dazu trägt die Achse des Rades D‘ einen Hebel mit Stift 19. Unabhängig von der Ausgangsstellung der Stufenscheibe y verschiebt der Stift 19 r um sieben Tage nach rechts. Der Rechen r trägt eine Klinke 23, die mit einem der Stifte 16 von R in Kontakt kommt. Je nachdem, wie die beiden Rechen r und R zueinander stehen, wird R um einen bis zu sieben Tage nach rechts verschoben, was die Einstellung des Osterrings auf den nächsten Sonntag, den Ostersonntag bewirkt. Danach wird r durch die Klaue 26 und R durch 28 gehalten.
Nachdem so auf dem Osterrechen R der zeitliche Abstand des Ostersonntages vom 3. Mai eingestellt wurde, muß noch der Osterring des Kalenders korrigiert werden. Hierzu setzt sich Laufwerk 39 in Bewegung (s. Abb. 5.29).

Mit einer Kippvorrichtung und Klinken vollführt er eine Hin- und Herbewegung, die jedesmal des Osterreif um einen Tag zurück rückt und gleichzeitig R um einen Tag nach rechts zieht.

Dabei sollte klar sein, daß jeder Zahn des Zahnsegments L1 und des Rechen R genau einem Tag entspricht. Natürlich verschieben sich diese Teile synchron und zählen die gleiche Anzahl von Tagen. Sind alle nötigen Tage abgezählt, befindet sich Stift 41 wieder in Ausgangsstellung und drückt auf den Anschlag 40, der das Laufwerk 39 wieder zum Stillstand bringt.

Jetzt wird das richtige Osterdatum auf dem Kalender angezeigt !

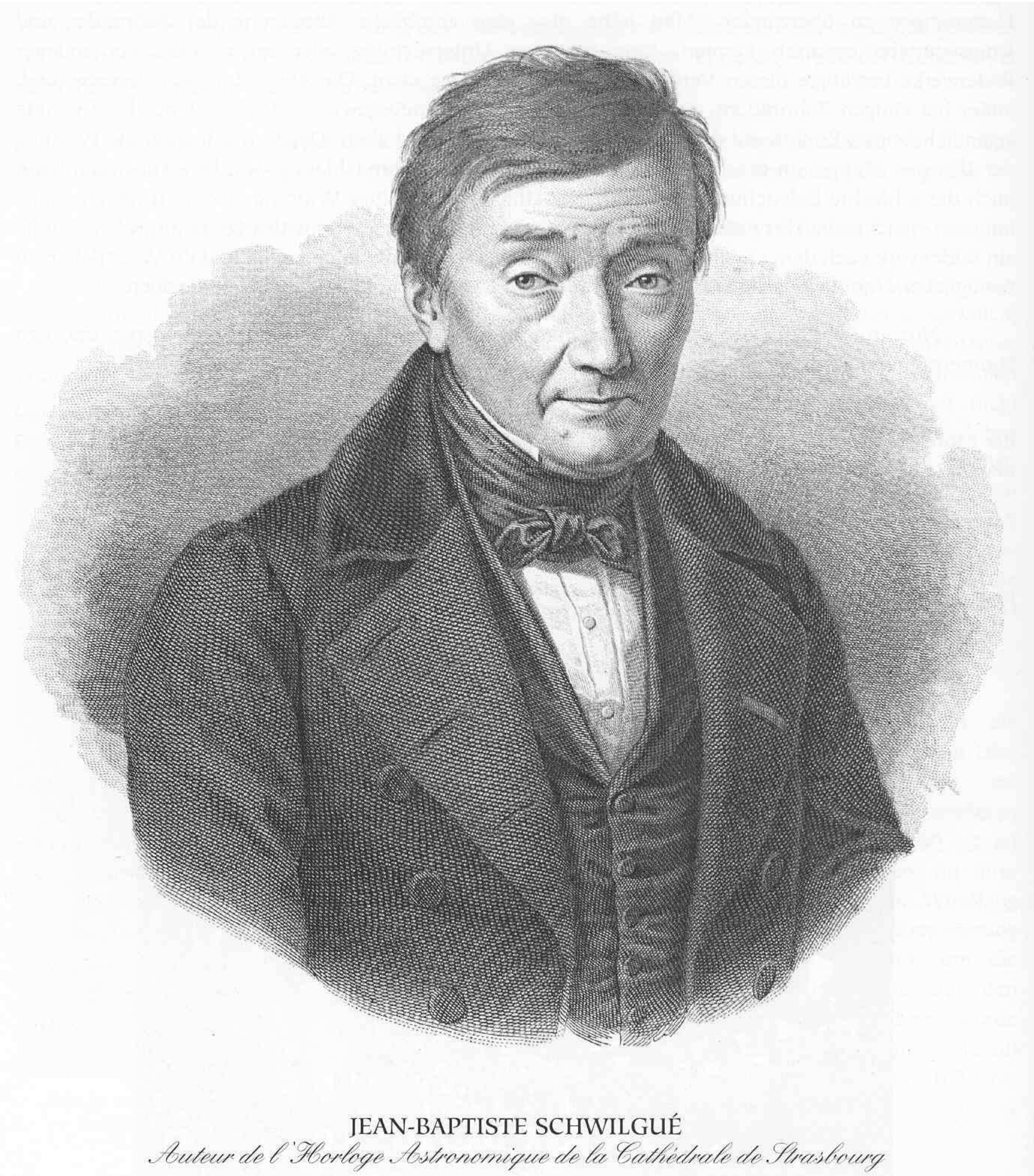


Abb. 5.34 Schwilgué im Alter von 70 Jahren (Stich von Charles-Auguste Schuler 1846)

6 Digitale Rechengeräte

6.1 Die Entwicklung

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 ist der sogenannte „Abakus“. Der Ursprung des Abakus liegt im dunkeln; man vermutet, daß er im indochinesischen 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. Es ist faszinierend, zuzuschauen, mit welcher Perfektion ein Händler hiermit selbst komplizierte Berechnungen durchführen kann.

Mit der Entdeckung des Logarithmus konnten die Berechnungen von Multiplikationen, Divisionen, Potenzfunktionen und Wurzelfunktionen durch die Einführung des Rechenschiebers, bzw. auf seinen Prinzipien beruhender Geräten, wesentlich vereinfacht werden.

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

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

die ihre Maschinen zum Teil unabhängig voneinander entwickelten.

Vermutlich stammt jedoch das erste realisierbare Konzept zur Realisierung eines automatischen Zehnerübertrages von Leonardo da Vinci. Im „Codex Madrid“ und im „Codex Atlanticus“ finden sich Skizzen und Erläuterungen, die ein Räderwewrk beschreiben, welches beim Erreichen einer „9“ das nächste Rad automatisch un eine Stelle weiterdrehen. Von einer damaligen Realisierung ist jedoch nichts bekannt.

Die Rechenmaschinen von Schickard (1624), Pascal (1640) und Leibniz (1672) gelten als die ersten digitalen Rechenmaschinen. Die Grundlage für alle diese Maschinen liefert das Dezimalsystem, welches Werte mit beliebig festgelegter Genauigkeit zu beschreiben erlaubt und durch die Stellenschreibweise eine sehr einfache (stellenweise) Ausführung der vier Grundrechenarten ermöglicht. Das war der Grund dafür, daß dieses System sich gegenüber dem römischen Zahlensystem durchsetzte.

Lange Zeit galt die 1640 von Pascal entwickelte Addier- und Subtrahiermaschine als die erste funktionsfähige Rechenmaschine, bis 1958 der Herausgeber des Kepler-Nachlasses, Dr. Franz

Hammer, in einem Brief von Schickard an Kepler aus dem Jahre 1623 die Beschreibung der Vorstufe einer Vierspeziesmaschine fand.

Aus dem Jahr 1666 sind ferner die Rechengeräte von Sir Samuel Morland (1625-1695) bekannt: kleine Taschengeräte, eines für die Addition, eines für die Multiplikation. Letzterem liegt das Napiersche Rechenstabprinzip zugrunde. Keines besaß einen Zehnerübertrag.

Um 1672 entwickelte Leibniz die Idee der Staffelwalzenmaschine, die aber mit den damaligen technischen Möglichkeiten noch nicht gebaut werden konnte. Ihre Konstruktion gelang erst dem Pfarrer Philipp Matthäus Hahn um 1780.

Während bei den Rechengeräten Überträge wie der Zehnerübertrag händisch behandelt werden müssen, erfolgt dies bei den Rechenmaschinen automatisch. Im Laufe der Zeit wurden hierfür verschiedene Konstruktionsprinzipien entwickelt. Sie ermöglichen sowohl Additionen, als auch Multiplikationen, letztere - bis auf eine Ausnahme – durch das Prinzip der wiederholten Addition.

Die erste und älteste Gruppe ist die der Staffelwalzenmaschinen. Ihr Grundkonzept geht auf Leibniz zurück, jedoch gelang die erste vollständige Realisierung erst ein Jahrhundert später durch den schwäbischen Pfarrer Hahn. Die erste Serienproduktion von Maschinen dieses Typs begann durch Thomas 1821 in Frankreich. Weitere bekannte Fabrikate sind u.a. Archimedes, Bäuerle und Rheinmetall-Borsig.

Die zweite Gruppe umfasst die Sprossenradmaschinen. Erstmalig entwickelt wurden sie von Polenius in Padua im Jahr 1709. Verbessert wurden sie maßgeblich durch Roth, Paris (englisches Patent angemeldet 1843), F. Baldwin, St. Louis (USA-Patent angemeldet 1873) und dem Schweden W.T. Odhner, Petersburg (DRP angemeldet 1878, aber entwickelt bereits 1874). Er veräußerte seine Rechte an die Firma Grimme, Natalis u. Co. Diese vertrieb die Maschinen weltweit und sehr erfolgreich unter dem Nahmen „Brunswiga". Weitere bekannte Fabrikate sind u.a. Walther, Thales und Lipsia.

Die dritte Gruppe beruht auf dem Proportionalhebel-Prinzip und wurde 1905 von Chr. Hamann erfunden. Auf diesem Prinzip beruht die weltbekannte „Mercedes-Euklid".

Von Hamann stammt auch das Schaltklinken-Prinzip. Es liegt den unter dem Namen „Hamann-Rechenmaschinen" vertriebenen und von den Deutschen Telefon- und Kabelwerken hergestellten Maschinen zugrunde.

Daneben existieren noch Maschinen die nach dem „Storchenschnabel"-Prinzip arbeiten und Maschinen, die über einen eigenen Multiplikationskörper verfügen.

Die Tabelle 6.1 gibt einen Überblick über die bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts wichtigsten Entwicklungen.

Tabelle 6.1 Entwicklung mechanischer Rechenmaschinen

Jahr	Konstrukteur	Maschinentyp	Originale	Nachbauten
1623	Schickard	Addiermaschine	0	vorhanden
1642	Pascal	Addiermaschine	8	2
1659	Burattini	Addiergerät	1	0
1666	Morland	Addiergerät	2	vorh.
1673	Leibniz	Staffelwalze	0	0
1673	Morland	Multipliziergerät	1	1
1678	Grillet	Addiergerät	2	0
1688	Perrault	Addiergerät	2	0
1694	Leibniz	Staffelwalze	1	ca.5
1698	Brown	Addiergerät	1	0
1700	chin.Konstrukt.Peking	Multipliziergerät	4	0
1700	chin.Konstrukt.Peking	Addiermaschinen	6	0
1709	Poleni	Sprossenrad	0	2
1720	Case	Addiergerät	1	0
1725	Gersten	Addiermaschine	0	1
1725	Lepine	Addiergerät	1	0
1727	Braun	Sprossenwalze	1	1
1727	Leupold/Braun/Vayringe	Stellsegment	1	3
1730	Boistissandeau	Addiermaschine	0	0
1750	Pereire	Addiergerät	0	0
1769	Hahn	Multipliziergerät	1	1
1770	Jacobson	Rechenmaschine	0	0
1774	Hahn	Staffelwalze	2	1
1775	Stanhope	Staffelwalze	1	1
1777	Stanhope	Stellsegment	2	1
1780	Stanhope	Addiermaschine	1	2
1783	Müller	Staffelwalze	1	2
1785	Hahn	Addiermaschine	1	0
1789	Auch	Addiermaschine	3	1

1792	Schuster/Hahn	Staffelwalze	1	1
1792	Reichold	Addiermaschine	0	0
1813	Stern	Rechenmaschine	0	0
1817	Stern	Quadratwurzelmasch	0	0
1820	Schuster	Staffelwalze	2	2
1820	Thomas	Staffelwalze	1	0

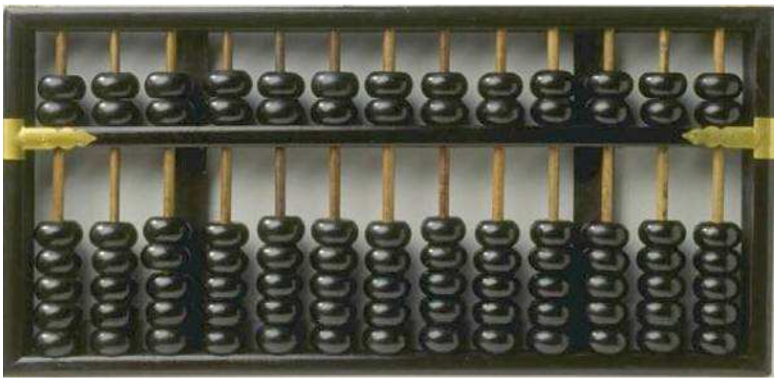
6.2 Der Abakus

Unter dem Abakus versteht man einen in östlichen und fernöstlichen Ländern selbst heute noch weit verbreiteten Holzrahmen mit darin senkrecht eingebauten Stäben, an denen durchbohrte Kugeln auf- und abgeschoben werden können.

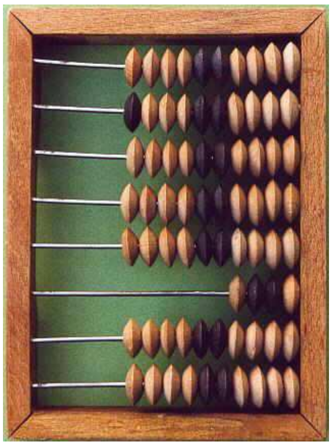
Abb. 6.1 Römisches Relief mit der Darstellung eines Abakus im Gebrauch

In den unterschiedlichen Kulturgebieten entwickelten sich unterschiedliche Ausprägungen, denen aber das gleiche Prinzip zugrunde liegt. So ist der russische Abakus (*„stschoty“)* dadurch charakterisiert, daß an jedem Stab zehn Kugeln befestigt sind, von denen die jeweils fünften und sechsten farblich markiert sind. In China heißt die dort übliche Variante *„suan* *pan*“ (Rechenbrett), in Japan *„soroban“*. Nach Japan gelangte er vermutlich im 16. Jahrhundert. Das Wort Abakus leitet sich wahrscheinlich vom phönizischen *abak* her. Es bedeutet: Auf eine Fläche gestreuter Sand zum Schreiben.

Die japanische bzw. chinesische Variante des Abakus unterscheidet sich vom der russischen durch eine zusätzliche horizontale Leiste, die die Kugeln auf den Stäben trennt. Auch findet man eine andere Anzahl der Kugeln auf den Stäben: Bei der chinesischen Variante sieben, bei der japanischen nur fünf Kugeln pro Stab, wobei die Leiste die vierte von der fünften trennt. In China heißt der untere Bereich der fünf Kugeln „Erde“, der obere mit den zwei Kugeln „Himmel“.



a



b

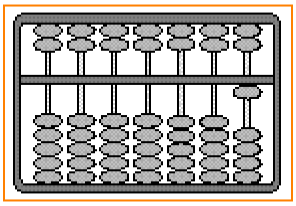
c

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

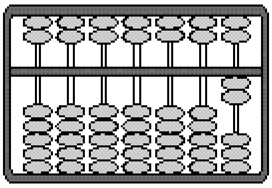
Auch die Römer benutzten den Abakus, wie das Relief aus Abb. 6.2 verdeutlicht. Oft verwendeten sie eine spezielle Form des Abakus: eine hölzerne oder steinerne Platte mit aufgetragenen Linien. Auf diesen Linien wurden Zahlenmarken oder Steinchen verschoben. Die Römer nannten diese Steinchen „calculi“. Hieraus leiten dich 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.

Der Abakus stellt Zahlen folgendermaßen dar:

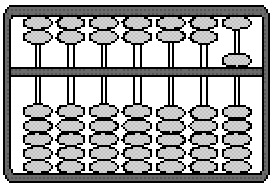
Die Stäbe sind von der höchsten – je nach Größe darstellbaren - Zehnerpotenz (Zehntausender, Tausender, usw. ; 10 hoch n) ganz links bis zur Einerstelle (10 hoch 0) ganz rechts angeordnet. Dabei steht jede Kugelspalte für eine Stelle. Oder anders ausgedrückt: Ganz rechts werden die „Einer“ dargestellt, links daneben die „Zehner“, dann die „Hunderter“ usw.
Dabei haben die Kugeln unterhalb der Leiste jeweils den einfachen Wert der jeweiligen Zehnerpotenz (ganz rechts also jeweils 1 Zähler, links daneben jeweils 10 Zähler) und die Kugeln über der Leiste den fünffachen Wert der jeweiligen Zehnerpotenz (also 5 Zähler ganz rechts, 50 links daneben, 500 noch eine Stange weiter links usw.)
Die Addition aller dargestellten Zahlen auf den Stäben liefert die mit dem Abakus repräsentierte Zahl. Bei der Addition treten somit zwei Überträge auf: ein Fünferübertrag an der Querleiste und ein Zehnerübertrag an den Spalten.



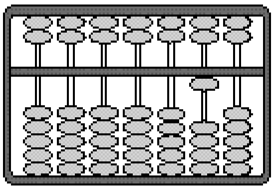
Darstellung der Zahl „1“



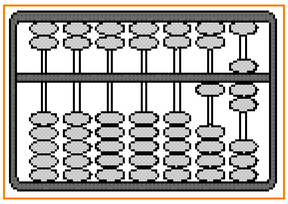
Die Zahl „2“



Die Zahl „5“



Die Zahl „10“



Die Zahl „17“
$1x10^1 + 7x10^0 = 17$

Abb. 6.3 Die Darstellung verschiedener Zahlen auf dem Abakus

Die Zahlen werden also einfach durch Addition gebildet, d.h.

263.195 = 2 x 105 + (5 + 1) x 104 + 3 x 103 + 1 x 102 + (5+4) x 101 + 5 x 100
= 2 x 100.000 + 6 x 10.000 + 3 x 1.000 + 1 x 100 + 9 x 10 + 5 x 1
= 200.000 + 60.000 + 3.000 + 100 + 90 + 5
= 263.195

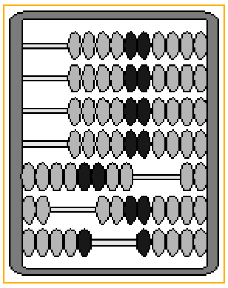
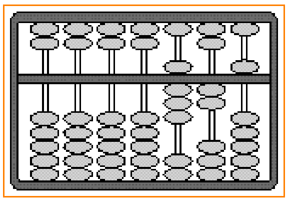
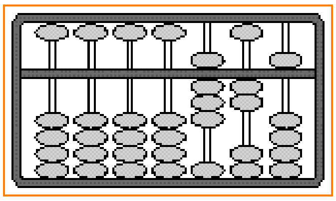
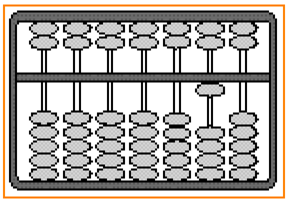
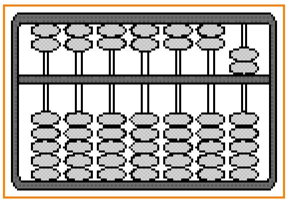




Abb. 6.4 Die Darstellung der Zahl 825 bei
links: Russischer Abakus, mitte: Chinesischer Abakus, rechts: Japanischer Abakus

Natürlich wird der Anwender die Zahlen direkt der Reihe nach ablesen, und nicht zu der oben beschriebenen umständlichen Rechenmethode mit Zehnerpotenzen greifen. Das Beispiel sei hier nur zur Verdeutlichung genannt. Für den erstmaligen Anwender des *suan pan* stellt sich die Frage, wozu auf jedem Stab Kugeln im Wert von insgesamt 15 Zählern angebracht sind (zwei mal fünf-wertig im "Himmel" plus insgesamt fünf einfache Zähler in der "Erde", also unterhalb der Leiste), wenn man doch pro Spalte lediglich Ziffern von eins bis neun darstellen muß (siehe *soroban*), also neun Zähler pro Spalte ausreichend wären. Die Zahl zehn ließe sich also auf mehrere Arten darstellen:


1 x 10 = 10


2 x 5 = 10

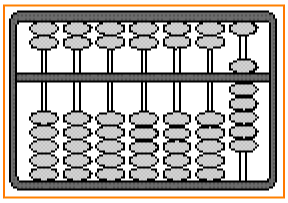

1 x 5 + 5 x 1 = 10

Abb. 6.5 Unterschiedliche Darstellungen der 10 beim *suan pan*

Dieselbe Frage stellt sich auch für die Zahl fünf, die ja in jeder Spalte, sowohl im "Himmel" (doppelt), als auch in der "Erde" vorhanden und damit auch überbesetzt ist. Diese "Überbesetzung" der Spalten scheint auf den ersten Blick unnötig, wird sich aber beim späteren Rechnen als sehr praktisch erweisen, da so kurzfristig Überträge gewissermaßen "zwischengespeichert" werden können, was dem Anwender sicher Erleichterung bietet. (Der Benutzer des *soroban* hat diese Möglichkeit nicht, er muß alle Überträge im Kopf behalten). Der Nachteil ist, daß die größere Kugelzahl zu einer vergrößerten Anzahl von Verschiebeoperationen führt, was sich beim professionellen Anwender in einer (wenn auch minimalen) Verlängerung der Rechenzeit auswirkt.

Da der Abakus direkt kein Komma darstellen kann, sind Dezimalbrüche auf dem Abakus "anwenderabhängig", d.h. daß nur der momentane Benutzer weiß, wo sich das Komma befindet,. Der Anwender muß also bei Rechenoperationen ständig im Kopf behalten, wo er das Komma gesetzt hat. Bei Addition oder Subtraktion stellt das normalerweise kein Problem dar, da sich die Kommastelle hier nicht verschiebt. Schwieriger wird es bei der Multiplikation von Dezimalbrüchen oder bei der Division, wenn als Quotient ein Dezimalbruch entsteht

Ein Abakus dient vor allem zur Durchführung von Additionen. Das Verfahren sei sukzessive an immer komplizierteren Beispielen erläutert. Zunächst sei die Addition an dem einfachen Beispiel

$$6 + 2 = 8$$

erklärt.

Will man 6 und 2 addieren, verschiebt man zunächst eine Kugel vom oberen Bereich (mit Wert 5) und eine vom unteren Bereich, um die 6 darzustellen. Anschließend werden in derselben Spalte aus dem unteren Bereich zwei Kugeln nach oben geschoben. Dies ist die Addition mit zwei und das Ergebnis der Addition ist direkt abzulesen oder besser "abzuzählen": 1 Kugel mit Wert 5 aus dem oberen Bereich und 3 Kugeln mit jeweils Wert 1 aus dem unteren ergibt abgezählt 8. Bei diesem einfachen Beispiel trat noch keine Übertrag auf

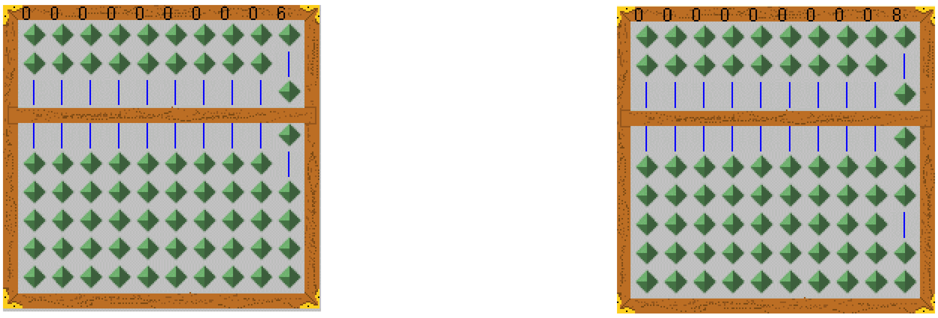


Abb. 6.6 Addition von 6 und 2

Falls die zuerst eingestellte Zahl einer Spalte kleiner als fünf ist, das Ergebnis der Addition jedoch größer als 5 wird, tritt ein Fünferübertrag auf. In diesem Fall wird eine Kugel aus dem oberen Teil nach unten geschoben (an der Querleiste, also 5 addiert), und eine oder mehrere Kugel werden von der Querleiste wieder weggeschoben, also abgezogen. Dies sei an dem Beispiel

$$4 + 2 = 6$$

erklärt.

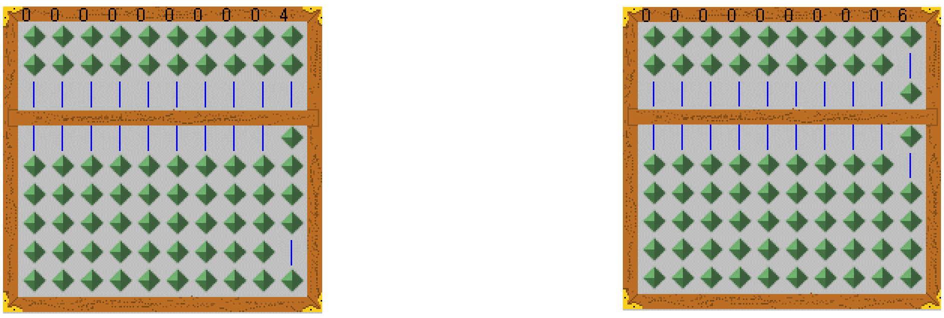


Abb. 6.7 Einstellen der Zahl „4“ (links) und Endergebnis „6“ (rechts)

Durch Verschieben von vier Kugeln der linkesten Spalte wird zunächst die Zahl 4 eingestellt. Danach wird zwei addiert: Durch Verschieben der noch verbliebenen untersten Kugel addiert man zunächst 1. Da jetzt keine untere Kugel mehr zur Verfügung steht, muß der Fünferüber-

trag realisiert werden, indem alle fünf Kugeln nach unten in ihre Ausgangsposition verschoben werden und dafür eine Kugel von oben zur Querleiste geschoben wird. Im letzten Schritt kann jetzt die noch verbliebene „1“ addiert werden.
Alternativ erhält man auch das Ergebnis, indem man die „2“ als (+5 -3) realisiert. In diesem Fall wird eine der oberen Kugeln nach unten geschoben (Einstellen von „5“) und drei der unteren Kugeln werden von der Querleiste wieder weggeschoben, also abgezogen.
Wenn sich in einer Spalte eine Summe größer als 10 ergibt, werden Kugeln entweder von einer oder von beiden Bereichen oben und unten weggenommen, und eine Kugel wird in der links benachbarten Spalte addiert. Dies sei an dem Beispiel

$$8 + 9 = 17$$

erklärt:

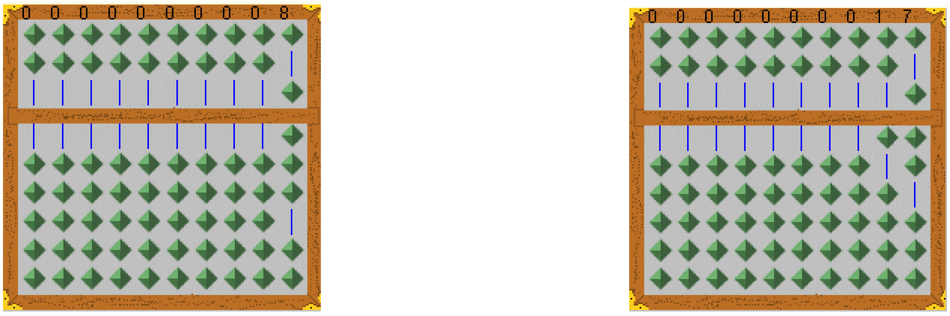


Abb. 6.8 Einstellen der Zahl „8“ (links) und Endergebnis 17 (rechts)

Zunächst wird die „8“ eingestellt. Wenn man nun 9 (= 10 - 1) zur 8 addiert, wird eine Kugel im unteren Teil der Spalte weggenommen (-1), und eine Kugel aus dem unteren Teil der Spalte direkt links daneben wird addiert (+10).

Es gibt auch Fälle, in denen Kugeln zum unteren Bereich addiert werden, vom oberen Bereich weggenommen werden und eine Kugel zur Nachbarspalte addiert wird. Wenn man 7 zur 6 addiert (+2-5+10) werden zwei Kugeln im unteren Bereich addiert, ein Kugeln im oberen Bereich weggenommen und eine Kugel zur linken Nachbarspalte addiert (im unteren Bereich):

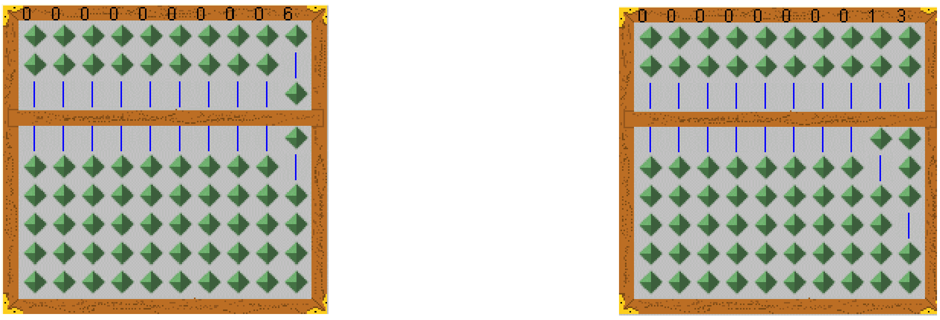


Abb. 6.9 Einstellen der Zahl „6“ (links) und Endergebnis 13 (rechts)

Mit dem Abakus können auch Subtraktionen durchgeführt werden. Indirekt wurde dies bereits bei den Additionen ausgenutzt. Sie wird durchgeführt, indem einfach eine oder mehrere Kugeln vom unteren Bereich nach unten geschoben werden. Tritt ein „umgekehrter“ Übertrag auf, so muß auch oben geschoben werden. Dies sei an dem Beispiel

$$9 – 7 = 2$$

erklärt:

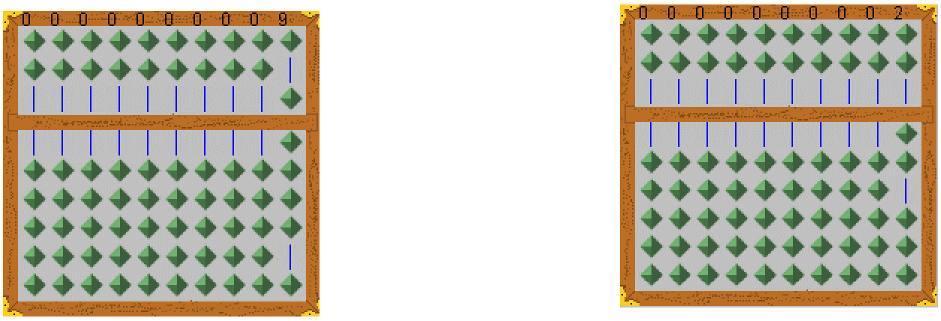


Abb. 6.10 Ausgangspunkt für 9 – 7 (links) und Endergebnis (rechts)

Wenn man 7 (dargestellt durch -5-2 = -7) von 9 abzieht, wird 1 Kugel im oberen Bereich (-5) und 2 Kugeln vom unteren Bereich (-2) weggenommen. Die verbleibenden 2 Kugeln stellen das Endergebnis dar.

Falls die Anzahl der Kugeln im unteren Bereich kleiner als der Subtrahend ist, müssen eine oder mehrere Kugeln im unteren Bereich hinzugefügt werden und eine Kugel vom oberen Bereich weggeschoben werden. Dies sei an dem Beispiel

$$7 - 4 = 3$$

erklärt:

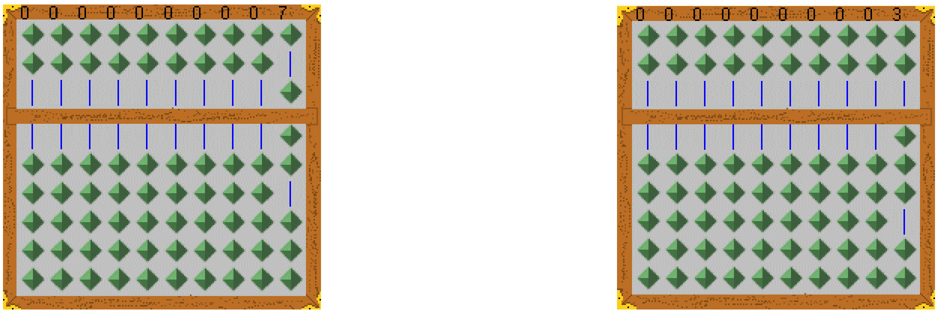


Abb. 6.11 Ausgangspunkt für 7 – 4 (links) und Endergebnis (rechts)

Subtrahiert man 4 (+1-5 = -4) von 7 (dargestellt durch eine Kugel im oberen Bereich und zwei Kugeln im unteren (kleiner als 4, der Subtrahend)), dann wird eine Kugel zum unteren Bereich addiert (+1) und eine Kugel wird vom oberen Bereich weggenommen (-5). Übrig bleiben 3 Kugeln, die das Endergebnis darstellen.

Falls die Zahl in einer Spalte kleiner ist als der Subtrahend, muß eine Kugel für die Zehner-Stelle weggenommen und ferner muß eine Kugel vom unteren Einer-Bereich und eine Kugel muß im oberen Einer-Bereich dazugezählt werden. Dies sei an dem Beispiel

$$13 - 4 = 9$$

erklärt:

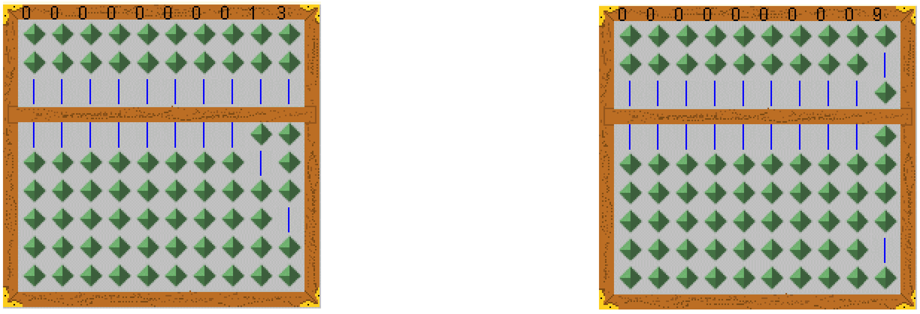


Abb. 6.12 Ausgangspunkt für 13 – 4 (links) und Endergebnis (rechts)

Bei 13 - 4 ist 4 der Subtrahend. Hierbei ist - nach der Einstellung der „9“ - in der Einer-Spalte die 3 kleiner als die 4. Somit muß eine Kugel für die Zehner-Stelle weggenommen werden. Da -4 = -5 + 1 ist, muß ferner eine Kugel vom unteren Einer-Bereich dazugenommen werden („1“), und eine Kugel muß im oberen Einer-Bereich dazugezählt werden („5“).

Wenn eine Zahl in einer Spalte kleiner als das zu erwartende Ergebnis in dieser Spalte ist, so erfolgt ein kombiniertes Abziehen von einer höherwertigen Stelle: Hinzufügen im oberen Bereich und Abziehen im unteren Bereich. . Dies sei an dem Beispiel

$$12 - 6 = 6$$

demonstriert:

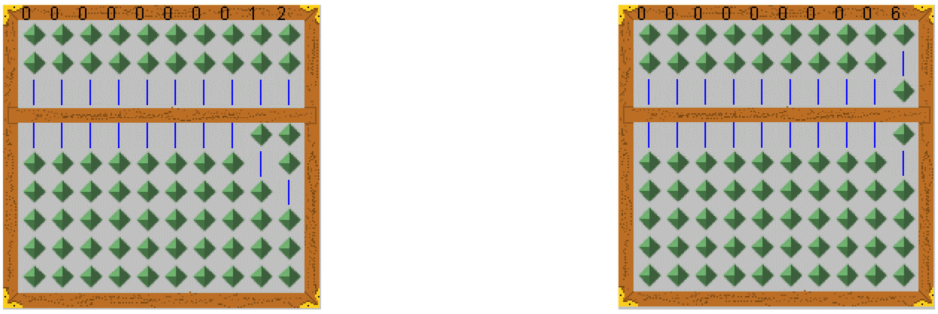
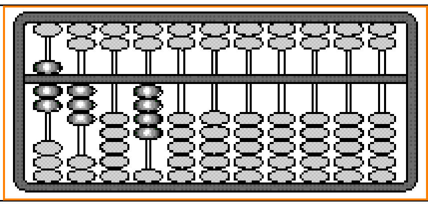
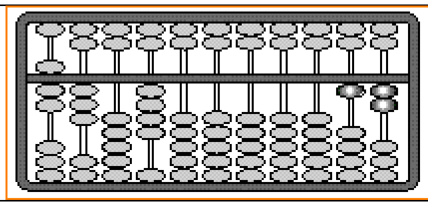


Abb. 6.13 Ausgangspunkt für 12 – 6 (links) und Endergebnis (rechts)

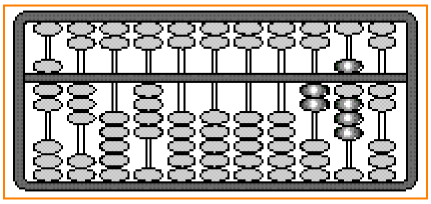
Neben der unmittelbaren Durchführung der Addition und Subtraktion kann der Abakus auch die Multiplikation und Division vereinfachen. Hierzu müssen dann aber Zwischenergebnisse notiert werden. Voraussetzung zur Multiplikation ist, analog zu unserer schriftlichen Methode, das kleine Einmaleins.

Die Multiplikation beginnt damit, daß der Multiplikand ganz links, und dann, mit einer Strebe Abstand, der Multiplikator in den Abakus eingegeben werden. Das Produkt entsteht dann ganz rechts. Gerechnet wird, wie bisher auch, von rechts nach links.

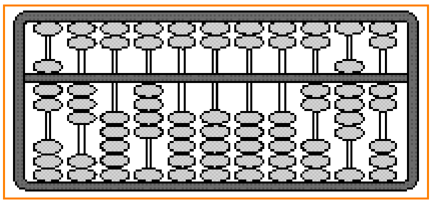
Als erstes Beispiel sei 73 mit 4 zu multiplizieren. Dazu wird in der ersten Spalte eine 7, in der zweiten eine 3 und in der vierten eine 4 gesetzt. Die dritte Spalte wird zur Trennung freigehalten.

	
73 x 4	3 x 4 = 12

Zuerst wird nun die 3 der 73 mit der 4 multipliziert, es entsteht die 12, die ganz rechts eingetragen wird. Nun wird die 7 der 73 mit der 4 multipliziert, es entsteht 28: Dieses Zwischenergebnis wird eine Spalte weiter links beginnend eingetragen, da man sich ja auch beim Multiplikand um eine Stelle nach links bewegt hat und dort zu der bereits vorhandenen 1 der 12 addiert.



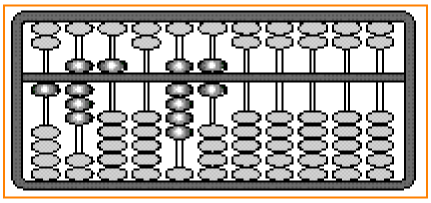
7 x 4 = 28



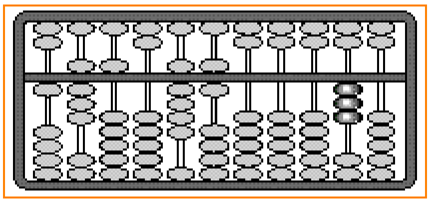
Ergebnis 292

In den beiden vorletzten Spalten steht somit 29. Damit lautet das Gesamtergebnis mathematisch korrekt 292.

Als schwierigeres Beispiel sei nun die Aufgabe gestellt, 185 mit 96 zu multiplizieren. Die Vorgehensweise bleibt identisch zu obengenanntem Beispiel: Zuerst wird die 185 ganz links, dann die 96 mit einer Spalte Trennung eingegeben.

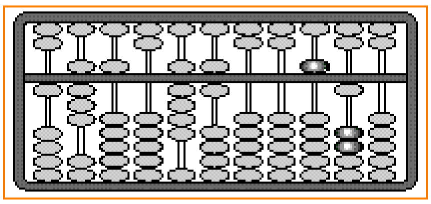


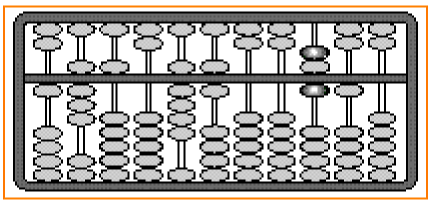
185 x 96 = ?



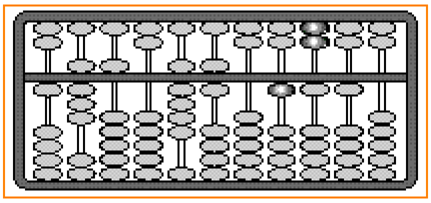
5 x 6 = 30

Nun wird die 5 der 185 mit der 6 der 96 multipliziert. Dies ergibt 30, die ganz rechts eingegeben wird. Im Folgenden wird ebenso verfahren: Die 8 wird mit der 6 multipliziert, die entstehende 48 wird eine Spalte weiter links addiert. Aus Kugelmangel muß hier 50 addiert und 2 abgezogen werden. Gleichermaßen wird die 1 mit der 6 multipliziert, die entstehenden 6 werden zur bereits vorhandenen 5 der vorher entstandenen 48 (50 - 2) addiert. Die so ablesbaren 1.110 sind das Ergebnis der Multiplikation 185 x 6.



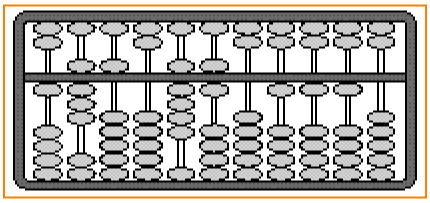


+ 8 x 6 = + 48 = + 50 - 2



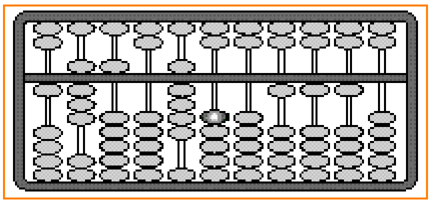
Übertrag

+ 1 x 6

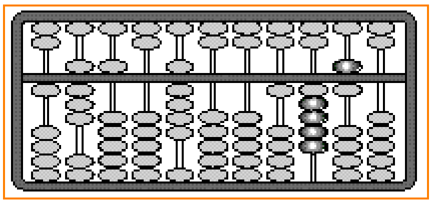


185 x 6 = 1.110

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird jetzt die bereits behandelte 6 der 96 wieder entfernt, dadurch gewinnt man Platz für das Ergebnis und stellt sicher, daß die 6 nicht versehentlich noch irgendwo in die Rechnung "hineinrutscht" und zu einem falschen Resultat führt.

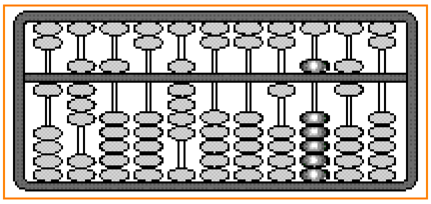


6 der 96 entfernt

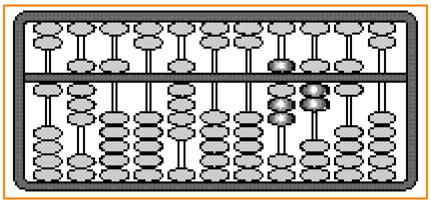


5 x 9 = 45

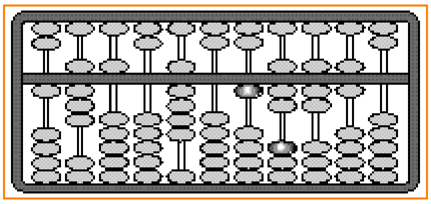
Mit der verbleibenden 9 der 96 wird nun ebenso verfahren wie vorher, das Produkt wird aber eine Spalte weiter links eingegeben. Also: 5 x 9 ergibt 45, 8 x 9 ergibt 72, 1 x 9 gibt 9.



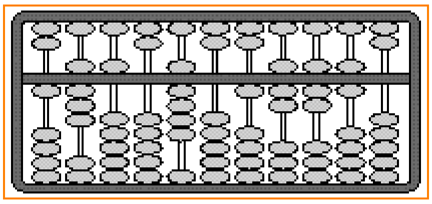
5er - Übertrag



8 x 9 = 72



1 x 9 = 9 = 10 - 1



185 x 96 = 17.760

Für die Addition der letzten 9 zu der 7 der 72 wird wieder 10 addiert und 1 abgezogen. Jetzt wird deutlich, warum es vorher besser war, die 6 zu entfernen: Sie wäre sonst mit dem Produkt "zusammengewachsen". So kann das Produkt problemlos abgelesen werden:

17.760.

Einfügen „9“ !!!!!!

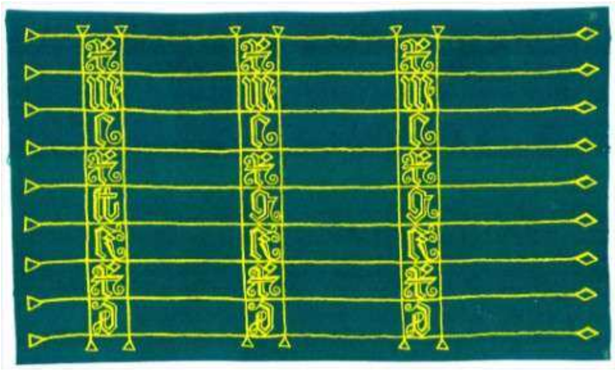


Abb. 6.14 Bayrisches Rechentuch

Abb. 6.15 Erstes Rechenbuch von Adam Riese

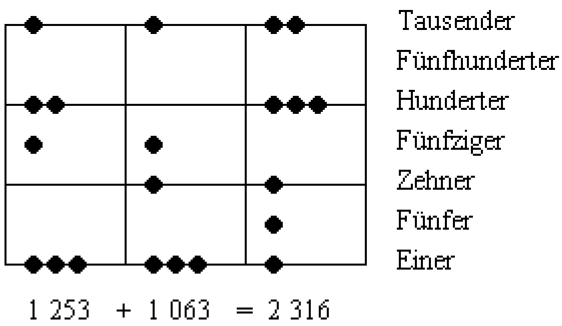


Abb. 6.16 Addition auf Linien nach Adam Riese

6.3 Pythagoreische Rechentafeln

Ein-mal-Eins-Tafeln sind im wesentlichen seit dem Altertum in Gebrauch. Sie finden sich jedoch bereits bei Pythagoras (ca. 580-500 v. Chr.) und wurden deshalb häufig nach ihm benannt.

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

Abb. 6.14 Pythagoreische Rechentafel und Berechnung von 6 x 7 = 42

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.

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.

6.4 Die Rechenstäbe von Napier

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

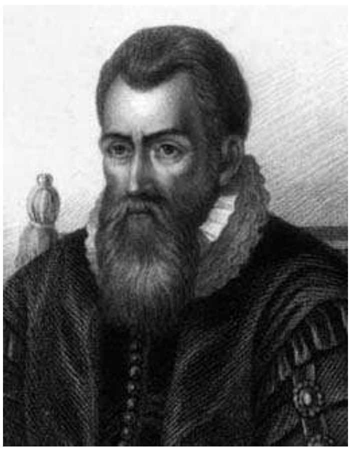


Abb. 6.15 John Napier

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 unter 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.

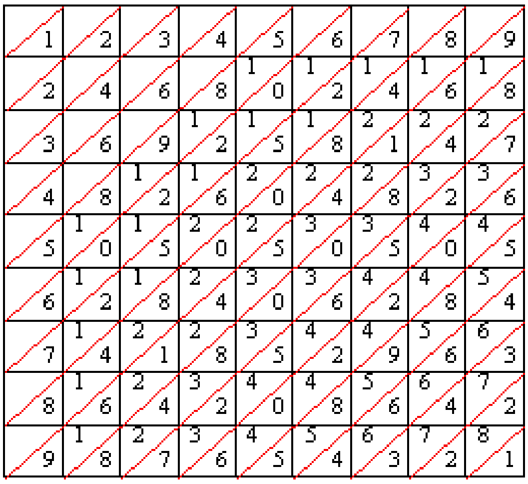


Abb. 6. 16
Die Anordnung der Zahlen auf der Rechentafel durch Napier

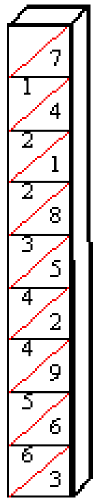


Abb. 6. 17
Rechenstab mit dem Einmaleins der Sieben

Zur Multiplikation mußten zunächst die Stäbe für die einzelnen Ziffern der Zahl aneinandergelegt werden:

Betrachten wir Abb. 6.18 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.

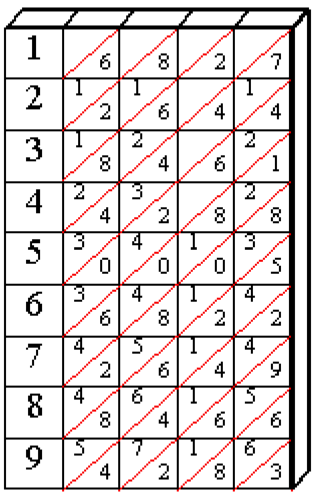
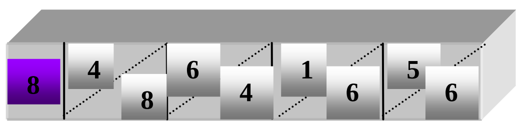


Abb. 6.18
Anordnung der Stäbe zur Berechnung von 6827 x 8

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.

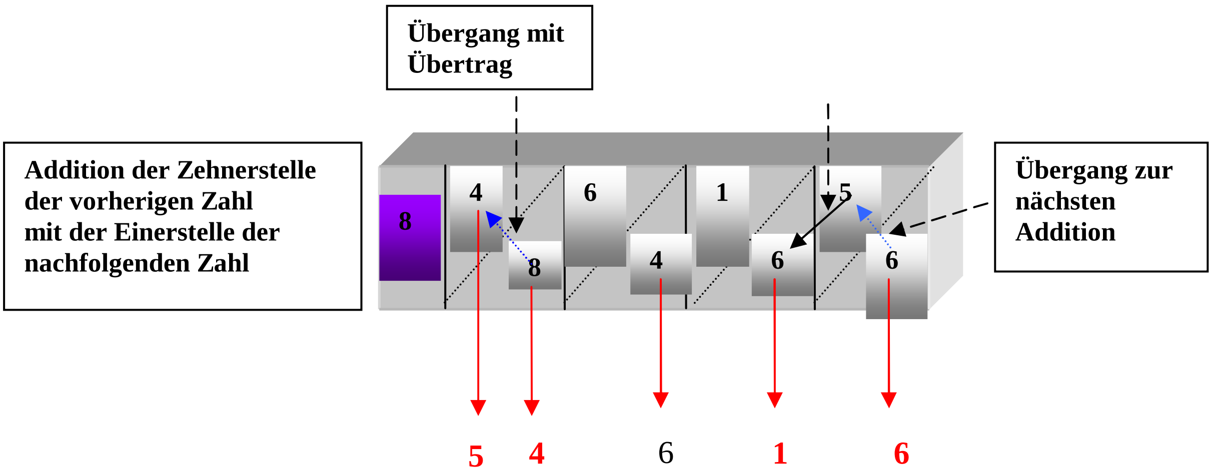


Abb. 6.20 Ergebnis der Multiplikation

Als Ergebnis liest man 54616 ab.

Will man mit einem mehrstelligen Faktor multiplizieren, so multipliziert man zunächst mit den einzelnen Ziffern, notiert die Ergebnisse versetzt untereinander und addiert sie um jeweils eine Stelle versetzt. Dies sei an dem Beispiel 6827 x 328 erläutert:

```
  54616   ←—— 8 mal 6827
 13654    ←—— 2 mal 6827
20481     ←—— 3 mal 6827
2239256
```

Als Ergebnis erhält man 2239256.
Mit den Napierschen Rechenstäbchen konnte auch die Division vereinfacht werden. Dies sei am Beispiel der Division

25608077 : 6827

erläutert.

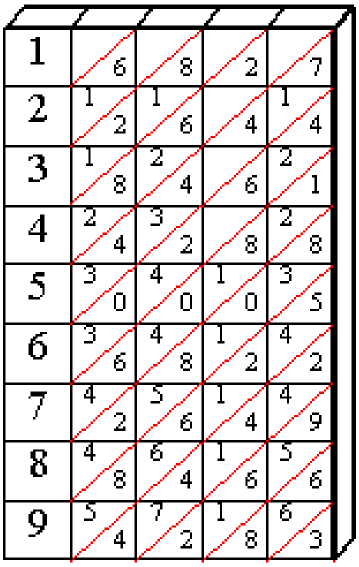
Die übliche schriftliche Division zweier Zahlen erfolgt auf folgende Weise:

```
25608077 : 6827 = 3751
20481
 51270
 47789
  34817
  34135
    6827
    6827
       0
```

- Zunächst schaut man, wie oft 6827 in 25608 paßt (3 mal);
- nun rechnet man 3 mal 6827 und zieht dieses Ergebnis von 25608 ab (ergibt 5127);
- die nächste Ziffer (0) wird heruntergeholt (ergibt 51270);
- nun schaut man wieder, wie oft 6827 in 51270 paßt

usw.

Der entscheidende Vorteil beim Dividieren mit den Napierschen Rechenstäben liegt nun darin, daß man den jeweiligen Quotienten nicht durch Versuche ("wie oft paßt es?") herausfinden muß. Vielmehr werden die Produkte mit den möglichen Quotienten von 1 bis 9 bereits angezeigt, so daß man nur noch vergleichen muß. Beim obigen Beispiel 25608077 : 6827 muß man folgendermaßen vorgehen:



1. Als erstes legt man sich aus den Rechenstäben den Divisor 6827.
2. Von oben nach unten werden nun also die Produkte 6827 mal 2, 6827 mal 3 usw. bis 6827 mal 9 angezeigt.
3. Man schaut nun, welches dieser Produkte am besten in den ersten Divisor 25608 paßt. Man liest ab, daß 6827 mal 3 die Zahl 20481 ergibt, 6827 mal 4 aber schon 27308, also zu groß ist. Wir erhalten den ersten Quotienten 3. Aufschreiben kann man dies wie auf obige herkömmliche Weise; man spart sich eben nur das Ausprobieren.
4. Nach Abzug des Produkts käme nun als nächstes 51270 (vgl. oben). Wir sehen, daß 6827 mal 7 den Wert 47789 ergibt, 6827 mal 8 aber schon 54616. Folglich ist der zweite Divisor die 7, usw.

Abb. 6.21 Division mit Napierschen Stäben

Abb. S.30 aus J.M.
Napiersche Rechenstäbe in einem Holzkasten zur Aufbewahrung

In der am Anfang zitierten Abhandlung beschrieb Napier auch ein anderes Instrument, welches er „*Multiplicationis promptuarium*" nannte. Es beruht auf dem gleichen Prinzip wie die Rechenstäbe, aber es beschleunigt die Multiplikation, indem es das Notieren der Zwischenergebnisse vermeidet.

Die Napierschen Rechenstäbe waren in Europa über zwei Jahrhunderte in Gebrauch. Sie inspirierten eine Vielzahl von Wissenschaftlern und Ingenieuren zu Weiterentwicklungen.

6.5 Schottscher Rechenkasten

Eine wesentliche Verbesserung der Rechenstäbe von Napier wurde durch den Jesuitenpater Caspar Schott, Mathematikprofessor an der Universität Würzburg, vorgenommen.

Caspar Schott wurde am 5. Februar 1608 in Königshofen im Grabfeld bei Würzburg geboren. Eine schriftliche Kindheitserinnerung über die Explosion einer Ansaugpumpe in Paderborn 1620 läßt auf ein frühes Interesse an der Technik schließen; es ist nahezu das einzige Zeugnis aus seiner Jugend. Im Jahr 1627 tritt der 19jährige in den Jesuitenorden ein und wird zum Studium nach Würzburg gesandt. Dort widmet er sich der Philosophie und lernt einen seiner Professoren, den Jesuitenpater Athanasius Kircher, näher kennen.

Im Jahre 1631 bricht der 30jährige Krieg über Würzburg herein, Schott flieht - wie viele andere auch - vor den protestantischen schwedischen Truppen. Da er in Aufzeichnungen seine Reisen nach Frankreich erwähnt, lässt sich vermuten, daß er zunächst Kircher nach Frankreich folgt. Gesichert ist jedoch die Beendigung seines Studiums der Philosophie, Theologie und Mathematik im sizilianischen Palermo. In Sizilien verbringt Schott die nächsten zwei Jahrzehnte und lehrt meist Philosophie, Moraltheologie und Mathematik in Palermo, obwohl er zwei Jahre in Trapani verbringt.

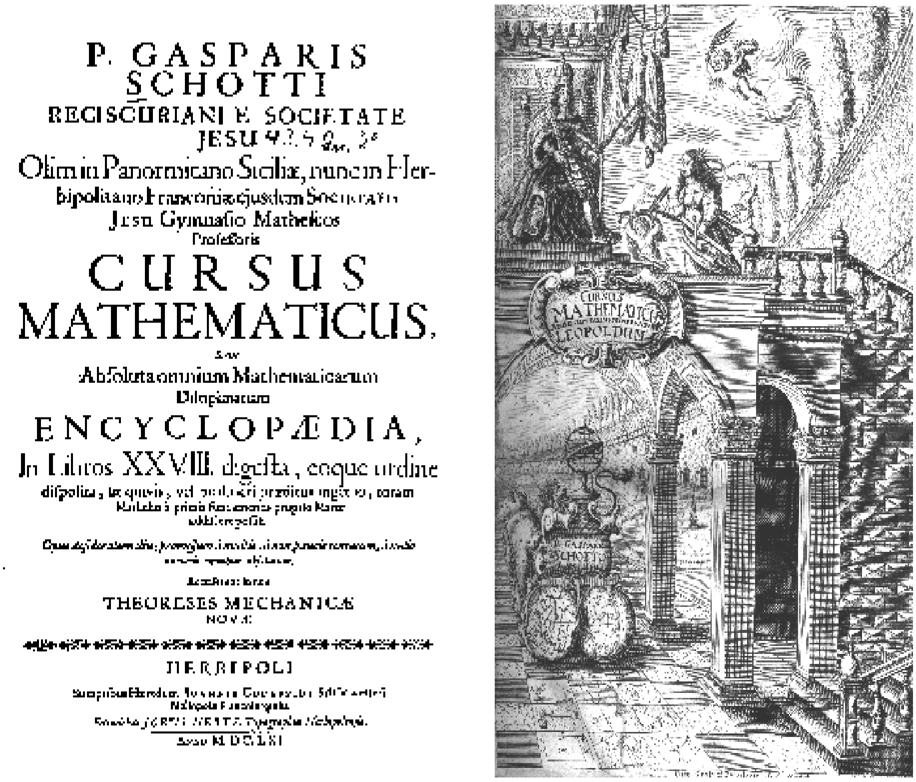
Im Jahre. 1652 wird Schott nach Rom gesandt, wo er Kircher bei dessen Forschungen am Römischen Kolleg unterstützen soll. In dieser Zeit entscheidet sich Schott offensichtlich, die Forschungsergebnisse Kirchers zu veröffentlichen und beginnt mit der Zusammenstellung des Materials.

1655 wird er von Jesuitengeneral Nickel nach Deutschland zurückgeschickt. Nickel hält große Stücke auf Schott und schreibt am 8. Mai 1655 an den oberrheinischen Provinzial Biber:

> *Pater Kaspar Schott hat hier und in Sizilien mehrere Jahre als guter Religiose gelebt zu unserer und aller Zufriedenheit. Vor einigen Wochen habe ich ihn in seine Provinz zurückgeschickt, der er, wie ich hoffe, von Nutzen sein und zur Zierde gereichen wird. Ew. Hochwürden mögen ihn mit großer Liebe aufnehmen und ihm gestatten, in den mathematischen Disziplinen, in denen er sehr tüchtig ist, weiter zu arbeiten.*

Kurz darauf wird Schott Professor für Mathematik am Würzburger Gymnasium und ist dem Fürstbischhof als dessen Beichtvater eng verbunden.

Im Jahr 1657 veröffentlicht Schott sein erstes Werk, die Mechanica Hydraulico-Pneumatica. Es handelt sich um einen kurzen Führer zu hydraulischen und pneumatischen Instrumenten. Wertvoller als dieser Führer ist aber der Anhang. Hier beschreibt Schott den berühmten Versuch des vierten Bürgermeisters von Magdeburg mit luftleeren Gefäßen, den sog. Magdeburger Halbkugeln,



P. GASPARIS
SCHOTTI
REGISCURIANI E SOCIETATE
JESU
Olim in Panormitano Siciliæ, nunc in Herbipolitano Franconiæ ejusdem Societatis
Jesu Gymnasio Matheseos
Professoris
CURSUS
MATHEMATICUS,
Sive
Absoluta omnium Mathematicarum
Disciplinarum
ENCYCLOPÆDIA,
In Libros XXVIII. digesta, eoque ordine
THEORESES MECHANICÆ
NOVÆ
HERBIPOLI
Anno M DC LXI

Abb. 6.22 Titelbild des "Cursus Mathematicus“

In seinen letzten Lebensjahren ist Schott hauptsächlich damit beschäftigt, die Masse angesammelten Materials zu veröffentlichen. Zwischen 1658 und 1666 verfaßt er elf Werke. Als umfassendstes gilt der

Cursus Mathematicus

von 1661, in dem er auf etwa 650 Seiten das gesamte mathematische Wissen seiner Zeit gründlich darstellt.

Schotts Interessen gingen aber weit über die Mathematik und Physik hinaus. Er berichtet über Unterseeboote, Hebebühnen und Perpetuum Mobiles. Sein Spezialgebiet aber waren die Experimente über das Vakuum. Aus diesem Grunde gerät Schott zwischenzeitlich in Schwierigkeiten. Sein Werk *Joco Seria*, das sich mit dem Vakuum beschäftigt, wird 1661 von der Ordensleitung zensiert.

1664 bewirbt sich Schott an das Römische Kolleg der Jesuiten, um den naßkalten Wintern Deutschlands zu entfliehen; seine Gesundheit hatte deswegen bereits stark gelitten. Der Antrag wird abgelehnt. Doch ein Jahr später bietet man ihm die Rektorsstelle am Kolleg in Heiligenstadt an. Schott lehnt seinerseits ab mit dem Hinweis auf seine geschwächte Gesundheit. Außerdem hält er sich als ungeeignet für eine Stelle, die hauptsächlich mit Verwaltungsarbeiten beauftragt ist. Er stirbt am 22. Mai 1666 im Alter von 58 Jahre in Würzburg.

Zwei Jahre nach seinem Tod erscheint 1668 das

Organum Mathematicum,

in dem Schott seine *Cistula* („Rechenkasten“) beschreibt. Es handelt sich dabei um einen Apparat zum Multiplizieren und Dividieren.

Abb. 6.23 Mathematischer Schrein mit Schottschem Rechenkasten (oben)

Mit diesem Rechenkasten gelang Schott eine Vereinfachung des Rechenvorgangs. Im Innern des Rechenkastens befinden sich zehn - horizontal drehbar gelagerte - Zylinder, auf denen Streifen nach dem Vorbild der Napierschen Rechenstäbe aufgeklebt sind. Durch Drehen der Stäbe kann man hier die benötigten Zahlen einstellen, während bei Napier die Stäbe immer wieder ausgetauscht werden mußten.

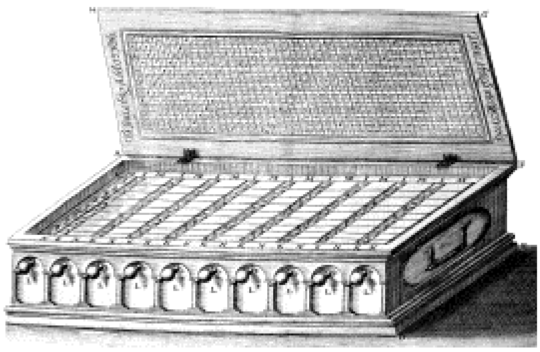


Abb. 6.25 Schottscher Rechenkasten aus dem „Organum Mathematicum“

Jeder der Zylinder trägt nebeneinander die Einmal-Eins-Reihen der Zahlen 1 bis 9, die Breite der Kastenabdeckungen ist jedoch so gewählt, daß jeweils nur eine Reihe pro Zylinder sichtbar ist. Linien auf den Abdeckungen überbrücken den konstruktiv bedingten Abstand zwischen den Reihen. Die Innenseite des Deckels enthält eine zusätzliche Additions-Subtraktions-Tafel, um die vom Nutzer noch durchzuführenden Additionen und Subtraktionen zu erleichtern.

Wie bereits erwähnt beruht der Rechenkasten auf dem Prinzip der Neperschen Rechenstäbe. Daher sei nur ein kurzes Beispiel aufgeführt:

Um 593856 mit 7 multiplizieren stellt man mit Hilfe der Drehknöpfe den Rechenkasten so ein, daß die Zahl 593856 in der obersten Reihe erscheint (die nicht benötigten Spalten werden auf Null eingestellt). Da man mit 7 multiplizieren will kann man nun einfach in der siebten Zeile das Ergebnis von rechts nach links ablesen. Dazu werden – wie bei den Neperschen Stäben üblich - die beiden Ziffern aus je einer roten Raute addiert. ist das Ergebnis zweistellig, wird die Zehnerstelle zur nächsten Raute addiert. Das Ergebnis ergibt sich zu 4156992.

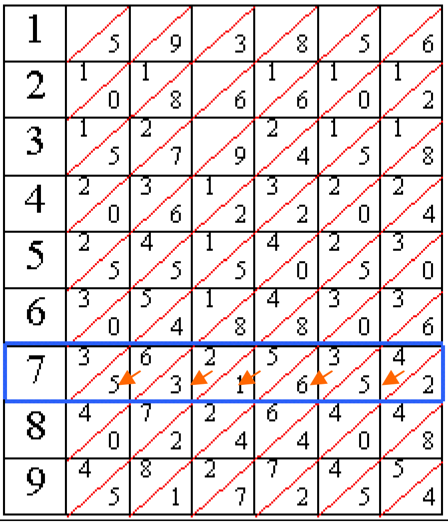


Abb. 6.26 Multiplikation von 593856 x 7 mit Hilfe des Schottschen Rechenkastens

Schotts Rechenkasten wird in zeitgenössischen Darstellungen häufig erwähnt. Er stellt einen weiteren wichtigen Schritt in der Geschichte der Rechengeräte dar.

6.6 Die Stäbe von Genaille

Das Prinzip der Napierschen Rechenstäbe wurde bis Ende des neunzehnten Jahrhunderts noch verbessert, obwohl zu dieser Zeit eine Vielzahl von ausgereiften Rechenmaschinen auf dem Markt waren. So entwickelte der französische Eisenbahningenieur Henri Genaille Multiplizierstäbe, die er in Zusammenarbeit mit dem Mathematiker Edouard Lucas auf den Markt brachte. Es war dieses zu einer Zeit lange nach Schickard, Pascal und Leibniz. Dennoch verbreiteten sich die Stäbe Genailles als einfaches Rechengerät aus und waren bis in die zwanziger Jahre des letzten Jahrhunderts im Einsatz. Die Stäbe eignen sich zum Multiplizieren eines mehrstelligen Faktors mit einem einstelligen Faktor. Zum Addieren eines mehrstelligen Faktors mit einem weiteren mehrstelligen Faktor, muß jeder Faktor einzeln multipliziert werden und am Ende alle Produkte aufsummiert werden, ähnlich der heute üblichen und bekannten Art der schriftlichen Multiplikation.

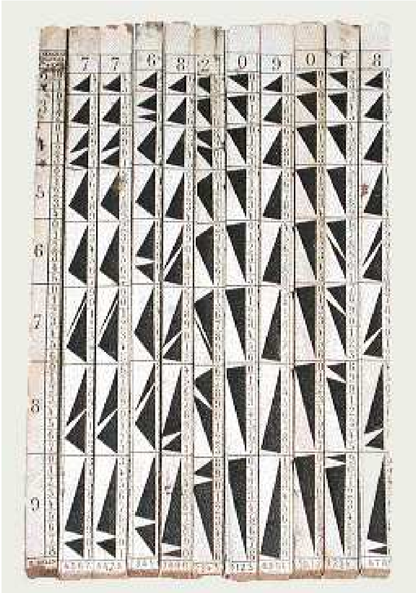


Abb. 6.27 Stäbe von Genaille

Die Stäbe haben am oberen Rand eine Kopfzahl und sind nach unten hin in acht Felder (auch Fächer genannt) eingeteilt. Ein Indexstab gehört ebenfalls dazu. In den Fächern sind ein oder zwei Dreiecke aufgezeichnet, deren Spitzen nach links zeigen. Am rechten Rand eines jeden Faches finden wir eine Spalte mit untereinander stehenden Ziffern.

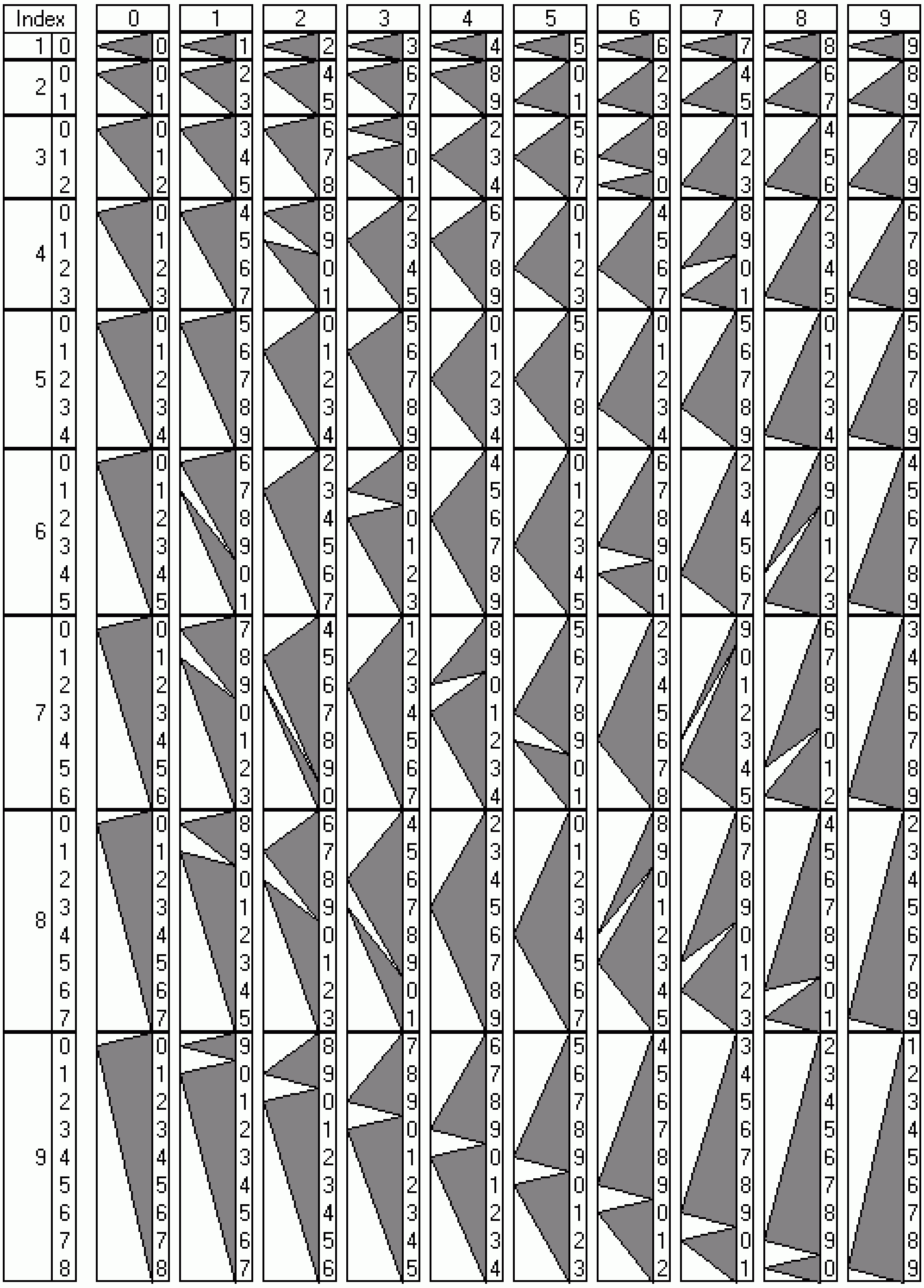


Abb. 6.28
Prinzipieller Aufbau der Multiplizierstäbe von Genaille

Die Durchführung einer Multiplikation sei an dem Beispiel

$$7531 \times 5 = 37655$$

erläutert.

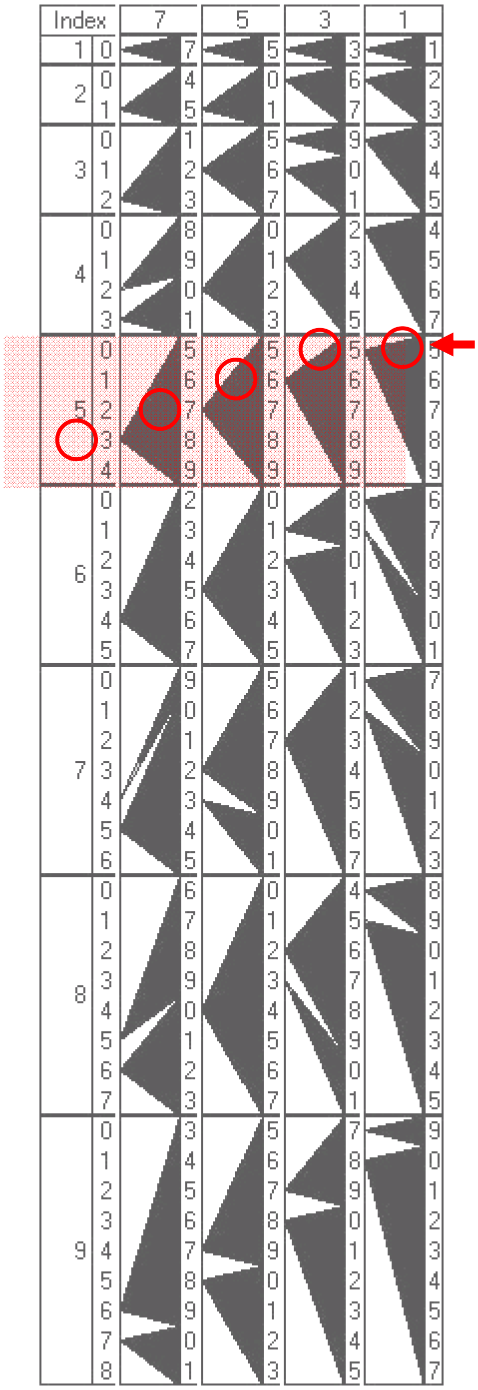


Abb. 6.29
Durchführung
der Multiplikation
7531 x 5

Zunächst werden die Stäbe so nebeneinander gelegt, daß ihre Kopfzahlen den Faktor 7531 ergeben.

Ganz links wird der Indexstab angelegt.

Da mit 5 multipliziert werden soll, wird in der Zeile begonnen, welche auf dem Indexstab mit 5 gekennzeichnet ist (also in der fünften Zeile von oben).

Begonnen wird ganz rechts in der fünften Zeile. In dieser Zeile beginnt man auf dem Stab ganz rechts oben mit der Ziffer 5 und geht so von dieser Ziffer aus nach links zum nächsten Stab jeweils der Spitze des Dreiecks folgend.

Die von rechts nach links abgelesenen Ziffern 37655 stellen das gesuchte Ergebnis dar.

Die Ausführung einer Multiplikation zeigt, daß Additionen und Zehnerüberträge durch den Benutzer nicht mehr erforderlich sind, das Ergebnis kann unmittelbar ohne Zwischenrechnungen abgelesen werden.

Genaille entwickelte auch einen speziellen Satz von Stäben für die Division. Bei genauer Betrachtung sind diese Stäbe den Multiplikationsstäben sehr ähnlich. Die dicken schwarzen Pfeile sind durch viele schmale Pfeile ersetzt. Neben dem Indexstab gibt es nun auch einen Stab für den ganzzahligen Rest einer Division.

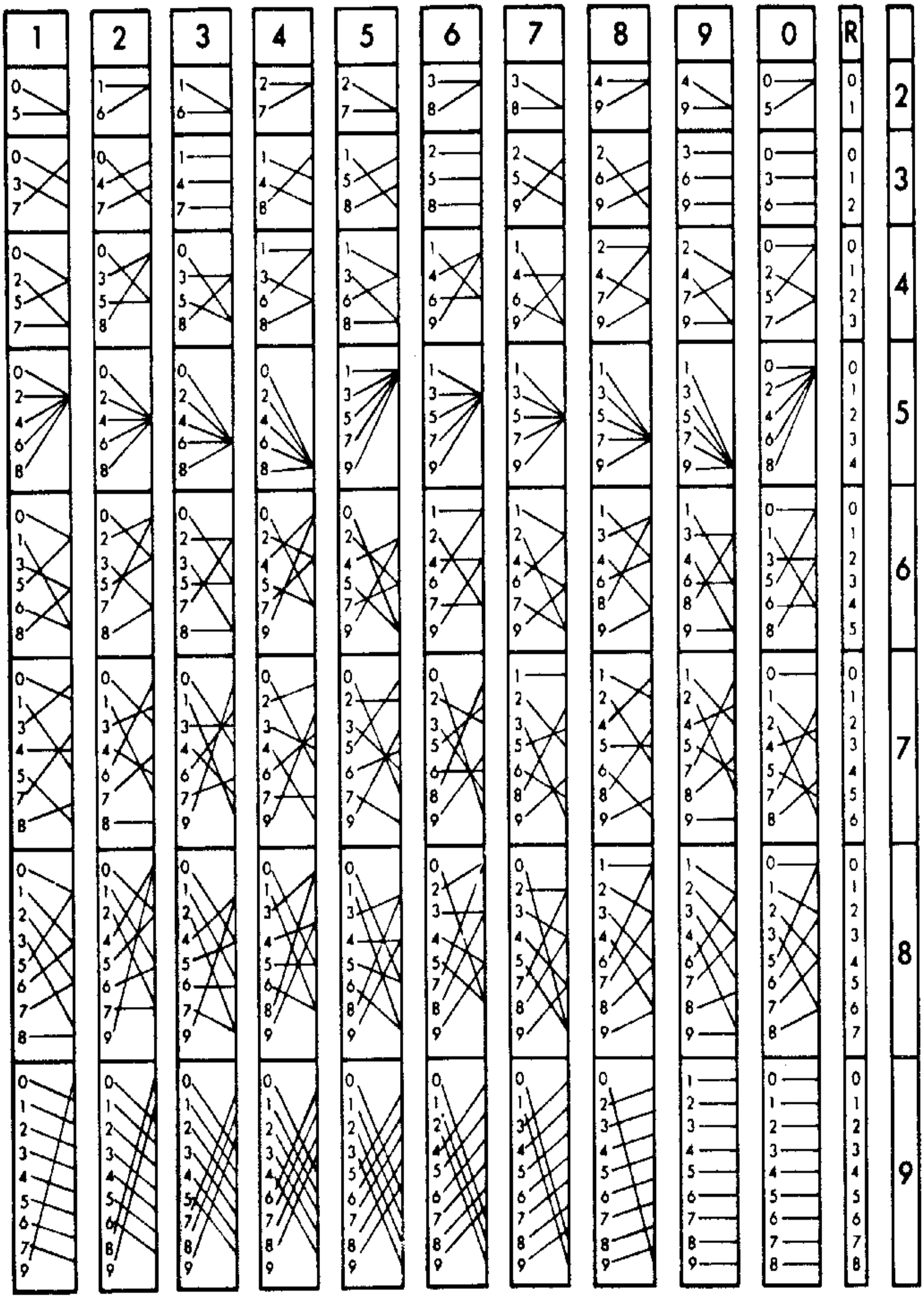


Abb. 6.26 Genailles Stäbe für die Division

Die Vorgehensweise bei der Division sei an dem Beispiel

6957 : 6 = 1159 Rest 3

erläutert:

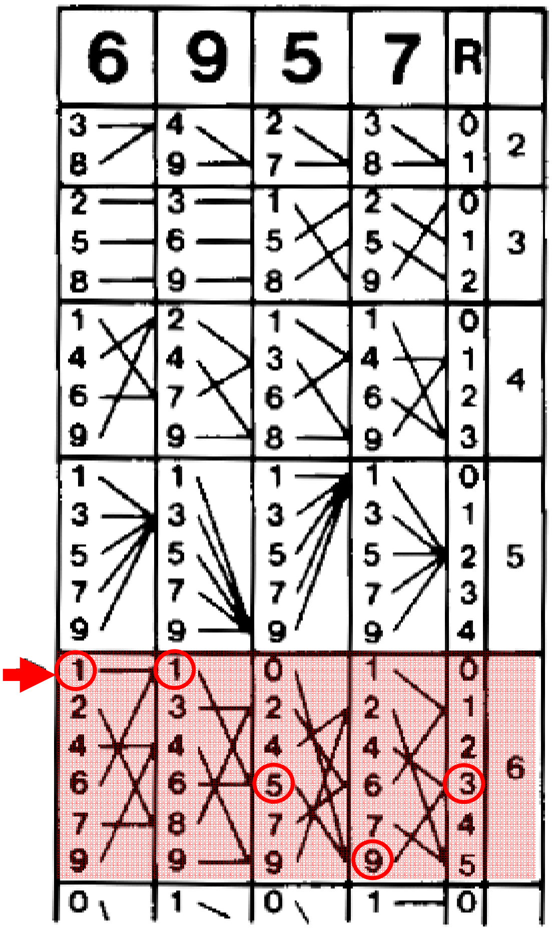


Abb. 6.27
Durchführung der Division
65957 : 6

Beginn der Ablesung ist am linken Stab und zwar an der obersten Ziffer in der Zeile, in der der Indexstab eine „6“ aufweist (Division durch 6).

Dazu werden wieder zunächst die Stäbe so zurechtgelegt, dass sie die Zahl 6957 bilden.

Der Stab für den Rest wird rechts daneben gelegt, rechts daneben wird der Indexstab gelegt.

Nun verfährt man ähnlich wie bei der Multiplikation, nur dass man statt den Dreiecken nun den Linien folgt.

Das Ergebnis ist 1159, der Rest ist 3.

Im „Musée national des techniques du CNAM“ in Paris befinden sich fünfzehn verschiedene Instrumente für unterschiedliche Anwendungen, die auf dem Prinzip der Stäbe von Genaille beruhen. Die Abb. 6.28 zeigt die Kombination eines Gerätes zum Addieren und Subtrahieren mit einer Einrichtung zum Multiplizieren mit Hilfe von Genaille-Stäben, die ausklappbar angeordnet sind. Diese Maschine wurde 1895 von Bollée konstruiert.

Abb. 6.28 Aritmographe von Bollée
S.57, J.M.

6.7 Die Rechengeräte von Sir Samuel Morland

Im Jahre 1625 wurde Sir Samuel Morland als Sohn eines Geistlichen in Berkshire, England geboren. 1695 starb er in Middlesex. Er war seinerzeit ein sehr berühmter Wissenschaftler, Ingenieur und Erfinder.

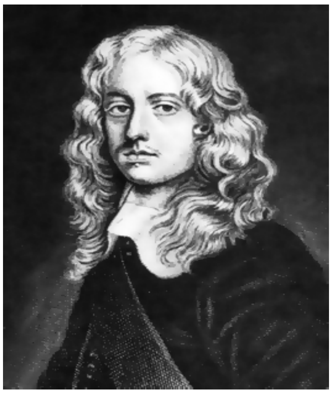


Abb. 6.29 Sir Samuel Morland

Neben zahlreichen weiteren technischen Arbeiten und Erfindungen konstruierte er einfache Rechengeräte wie eine mechanische Addiermaschine für das alte Währungssystem, eine Maschine für das Multiplizieren und das Teilen (eine mechanische Version der Stäbe von Napiers) sowie eine Maschine für trigonometrische Berechnungen. Die Addiermaschine wurde von Humphry Adanson in London kommerziell hergestellt und 1662 Charles II vorgestellt. In der Veröffentlichung „The Description and Use of two Arithmetic Instruments”, die im Jahre 1673 erschien, beschreibt er zwei Rechenmaschinen, die offensichtlich Varianten der Pascaline sind.

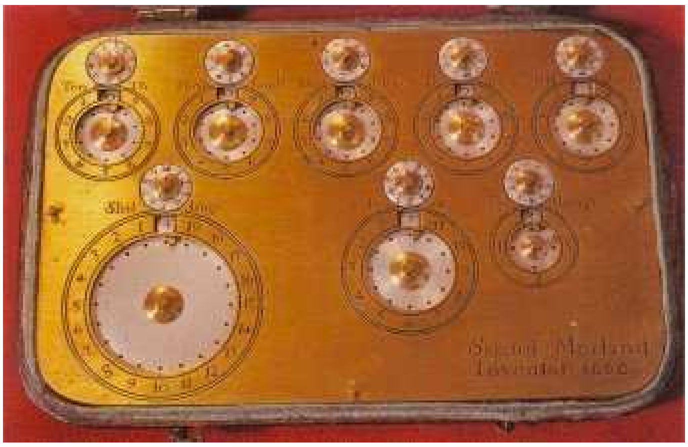


Abb. 6.30 Zwei Versionen der Addiermaschine von Sir Samuel Morland

Hier einfügen !!!

7 Die ersten Rechenmaschinen

7.1 Der Rechner von Leonarde da Vinci

Den Verdienst, den Übergang von Rechengeräten zu Rechenmaschinen mit einem automatischen Übertrag zu realisieren gebührt jedoch einem Zeitgenossen von Napier, Schickard. Die prinzipielle Ideen hatte jedoch vermutlich schon ein vor Schickard lebendes Genie, Leonardo da Vinci.

Von allen großen Denkern der Renaissance entspricht Leonardo da Vinci wahrscheinlich am meisten dem Ideal des universellen Menschen. Er war ebenso in den Naturwissenschaften wie in Kunst und Philosophie bewandert. Er war einer der erfinderischsten und begabtesten Geister, die es je gegeben hat, aber sein tatsächlicher Einfluß auf den Fortschritt von Wissenschaft und Technik war gering. Seine Beziehung zur Naturwissenschaft charakterisiert vielleicht am besten folgendes Zitat von ihm:

> *„Keinerlei Glaubwürdigkeit ist in jenen Wissenschaften, die sich der mathematischen Wissenschaften nicht bedienen oder keine Verbindung zu ihnen haben.“*

Leonardo da Vinci (* 15. April 1452 in Anchiano bei Vinci; † 2. Mai 1519 auf Schloss Cloux, Amboise) war Maler, Bildhauer, Architekt, Musiker, Mechaniker, Ingenieur und Naturphilosoph und wird als das italienische Universalgenie bezeichnet. Sein Geburtsort Vinci war ein Kastell im Florentiner Territorium (ca. 30 km westlich von Florenz) nahe Empoli, von dem die Familie seines Vaters ihren Namen ableitete.

Abb. 7.1 Leonardo da Vinci

Über den Rechner von Leonardo war lange Zeit nichts bekannt. Erst als 1967 die Bedeutung zweier zueinander passenden 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 Leonardos 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.

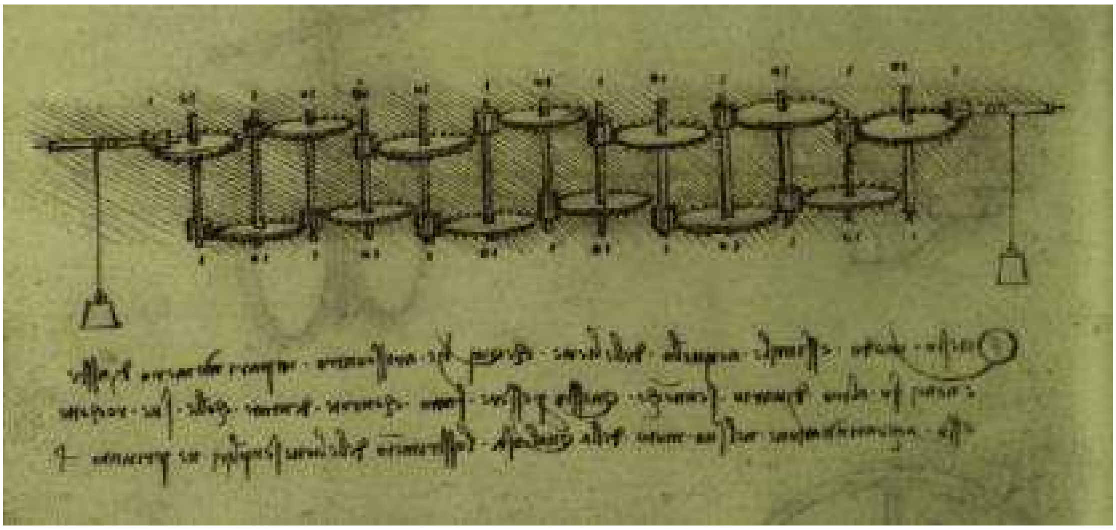


Abb. 7.2 Zeichnung Leonardos zur Konstruktion einer Rechenmaschine

Dieser Nachbau, der in Abb. 6.30 dargestellt ist, konnte in der Tat Additionen automatisch durchführen. Er wurde in einer IBM Ausstellung in Boston der Öffentlichkeit vorgestellt.

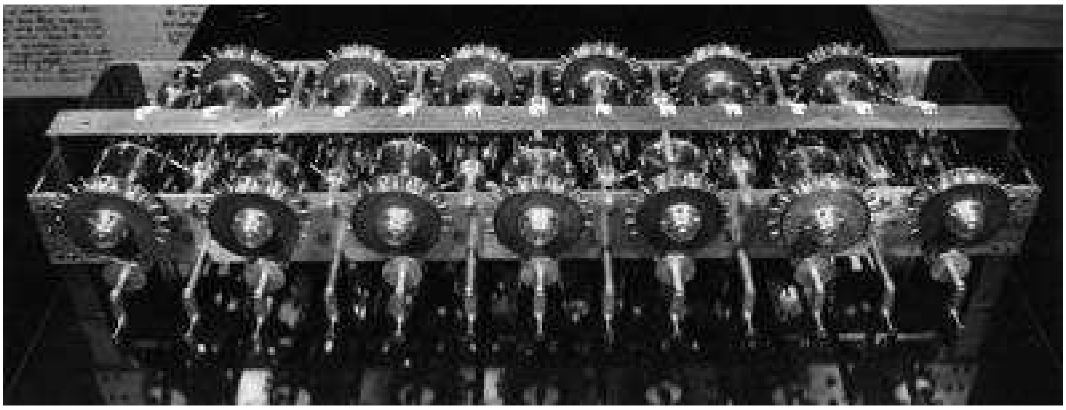


Abb. 7.3 Nachbau der Rechenmaschine von Leonardo da Vinci aus dem Jahre 1968

Somit war Leonardo da Vincis Rechenmaschine möglicherweise der 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.

Leonardo da Vinci skizzierte auch einen Mechanismus, um Uhren durch ein Pendel anzutreiben. Dieses Prinzip wurde 1954 von Dr. Eiichi Goto zur Entwicklung eines Rechners aufgegriffen, der als PC-1 (Parametron Computer) an der Universität von Tokio 1958 realisiert wurde. Wegen dieser einfachen mechanischen Konstruktion war dieser Rechner sehr stabil. Durch das Aufkommen von Transistoren mit ihrer überlegenen Geschwindigkeit wurde das Konzept jedoch nicht weiterentwickelt.

7.2 Der Rechner von Schickard

7.2.1 Lebenslauf von 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.

Wilhelm Schickard wurde nicht weit von Tübingen in Herrenberg am 22. April 1592 geboren. Sein Vater war Schreiner und Werkmeister, sein Urgroßvater der Herrenberger Bildschnitzer, von dessen Kunst noch heute das schöne Chorgestühl der dortigen Stiftskirche zeugt. Der so hochberühmte Baumeister Heinrich Schickard war sein Onkel, seine Mutter eine Pfarrerstochter aus Gärtringen. Schickard studiert Theologie und Sprachen am Tübinger Stift, allerdings auf sehr breiter allgemeinwissenschaftlicher Grundlage, die dieses Institut erlaubte. Schon 1611, also 19-jährig, wird er Magister, 1614 Diakon in Nürtigen.

Abb. 7.4 Wilhelm Schickard

Im Jahr 1617 begegnet er zum ersten Male *Kepler*. Der erkennt sofort seine hohe Begabung, regt ihn zur Fortsetzung mathematischer Studien an und schätzt ihn zeitlebends insbesondere als erfindungsreichen Mechanicus und ausgezeichneten Zeicher und Kupferstecher. Auf obigem Bild ist Schickard mit einem von ihm gebauten Handplanetarium zu sehen. Es dürfte das weltwelt erste erste copernicanische Planetarium sein. Erst 1977 erkannte Ludolf von Mackensen seine Funktion und konstruierte einen Nachbau.

Der württembergische Herzog Friedrich setzte sich 1619 für eine Professur Schickards an der Universität Tübingen für Hebräisch ein.Auf Grund dieser Fürsprache wird Schickard als Professor für Hebräisch, Aramäisch und andere biblische Sprachen an die Tübinger Universität berufen. Er arbeitete eng zusammen mit *Michael Mästlin*, dem alten, berühmten Mathematiker und Astronomen, dem Lehrer Keplers, einem der ersten Astronomen, die sich entschieden zur kopernikanischen Lehre bekannten. 1631 wurde er dessen Nachfolger und lehrte nun auch Astronomie, Mathematik und Geodäsie. In dieser Zeit erbrachte er spektakuläre technische und wissenschaftliche Leistungen. Er erdachte Modelle, die er in detaillierten Schriften und Skizzen festhielt. Von ihm stammen Betrachtungen zur hebräischen Grammatik ebenso wie Kartographische Landesaufnahmen zur Vermessung Württembergs. Er konstruierte neben dem Handplanetarium auch die Rechenstäbchen und die im nachfolgenden beschriebene berühmte "Rechenuhr".

Abb. 7.5 Rekonstruktion des Handplanetariums

Vor der "Schlacht" bei Tübingen 1631 floh Schickard mit seiner ganzen Familie auf das damals so nahe liegende österreichische Gebiet, 1632 vergrub er nochmals sein Geld. 1634 kaufte er in Tübingen ein Haus, das für astronomische Beobachtungen günstig lag, und hoffte auf ruhigere Zeiten. Aber nach der Schlacht bei Nördlingen 1634 kamen die katholischen Truppen nach Tübingen und brachten die Pest mit. Schickard sah seine ganze Familie bis auf seinen neunjährigen Sohn sterben. Seine Frau, drei Töchter, zwei Mägde und ein Student wurden in diesem Hause in kurzer Zeit dahingerafft. Zuvor war seine Mutter von Kriegsvolk erschlagen worden. Schickard entwich mit seinem nun einzigen Kind für kurze Zeit nach Dusslingen, bekam aber Heimweh nach Haus und Bibliothek, kehrte zurück und starb auch an der Pest am 23. Oktober 1635. Sein kleiner Sohn wurde einen Tag nach ihm begraben.

7.2.2 Die Entdeckung der Maschine und ihre Rekonstruktion

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.

Abb. 7.6 Briefmarke der Deutschen Bundespost mit der Maschine von Schickard

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. Die Federskizze zeigt die Abbildung 6.33. 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.

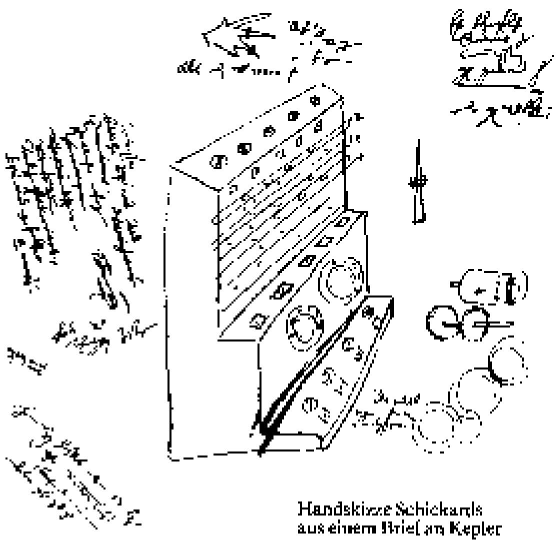


Abb. 7.7 Zeichnung von Schickard mit Skizze der Rechenmaschine

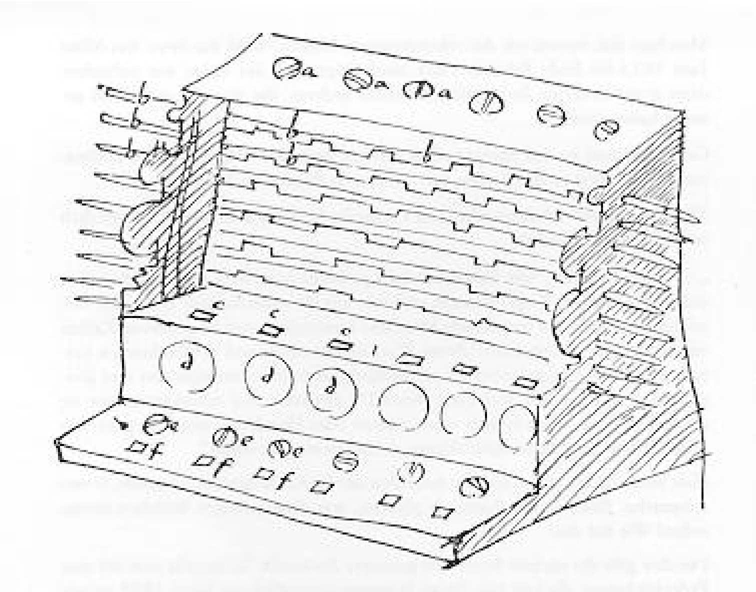


Abb. 7.8 Detail der Zeichnung

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.

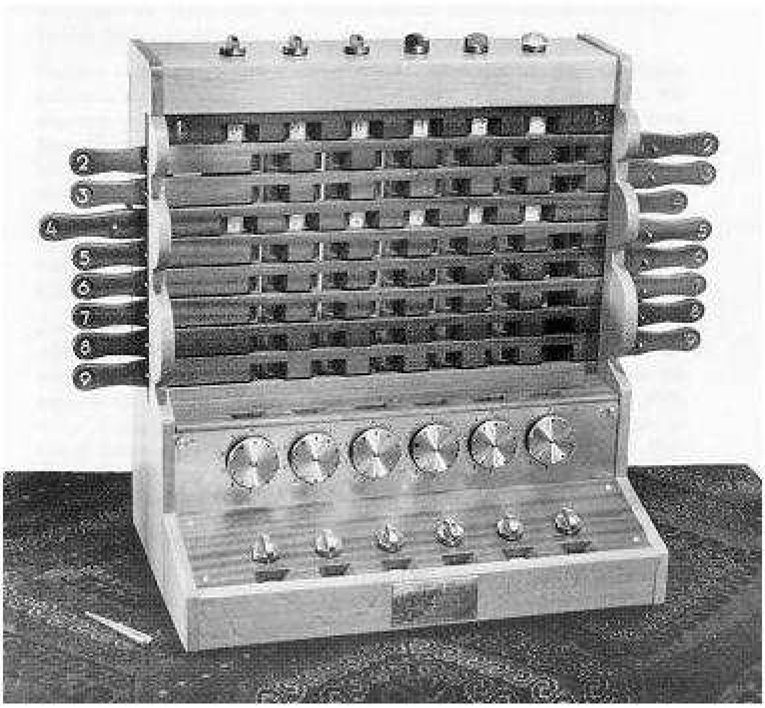


Abb. 7.9 Der Nachbau durch Bruno Baron v. Freytag Löringhoff

7.2.3 Aufbau der Maschine

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.

Abb. 7.10 Die Komponenten der Maschine

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).

Abb. 7.11 Rückansicht mit den sechs Walzen

Über die Funktion der Walzen ist viel spekuliert worden. Zum einen können sie sicherlich wie Napier-Stäbchen benutzt werden. Im Rahmen eines Gespräches im Januar 1987 zwischen Prof. v. Freytag Löringhoff und Prof. Matthias Schramm zur Frage ob Schickard die Neperschen Stäbchen bei der Konstruktion seiner Rechenmaschine kannte oder nicht, wies Prof. Matthias Schramm auf ein Notizblatt in Schickards Nachlaß hin, auf dem Schickard gewisse vierkantige Stäbchen skizziert und behandelt, freilich zu einem ganz anderen Zweck.
Eine von Prof. Schramm durchgeführte Transcription zeigte eine Idee zu einem Gerät zur Unterstützung astronomischer Berechnungen. Mit Hilfe der Schickardschen Stäbchen lassen sich die ekliptikalen Längen für die mittleren Bewegungen von Sonne, Mond, Knoten (das heißt der Schnittpunkt der Mondbahn mit der Ekliptik) und Apogäum (erdfernstem Punkt der Mondbahnellipse) berechnen. Eine Einstellung der 12 Stäbchen nach Datum und Uhrzeit genügt, um jede dieser vier Größen durch eine einzige Addition zu ermitteln. Das mit Fehlern behaftete Herausschreiben der Werte aus astronomischen Tafeln war somit nicht mehr notwendig. Im Februar/März 1987 während eines Irlandaufendhaltes erstellte Bruno v. Freytag Löringhoff den abgebildeten Prototyp.

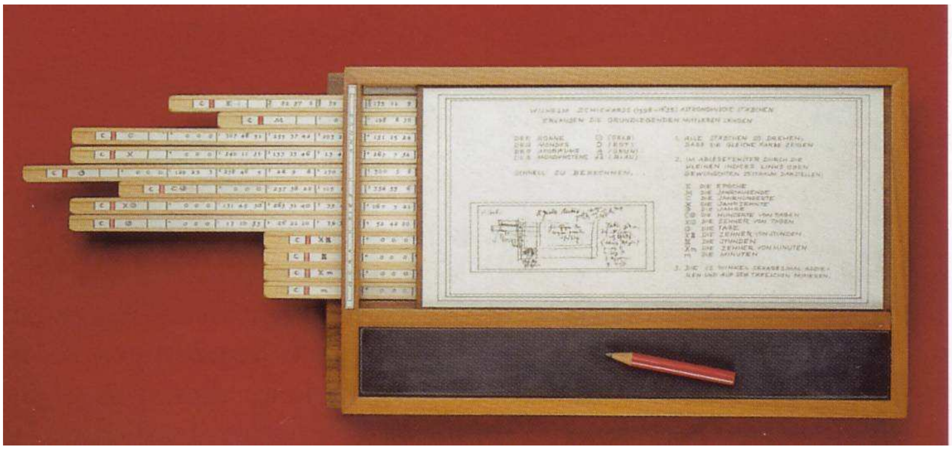


Abb 7.12 Rekonstruktion zur Demonstration der Einsatzfähigkeit der

Schickardschen Stäbchen als astronomische Rechenstäbchen

Der von Prof. Schramm erwähnte Notizzettel stammt gewiss aus der Zeit nach 1627, dem Erscheinen von Keplers berühmten Rudolfinischen Tabellen, auf denen die Stäbchen beruhen. Bereits 1630 hatte Schickard seine Mondtheorie abgeschlossen. Dazu hätte er die Stäbchen gut gebrauchen können, und möglicherweise ist er bei diesen mühseligen Berechnungen auf die Idee mit den Stäbchen gekommen, aber vielleicht hat er auch teilweise die verschollene Maschine zu dem Erstellen der Tabellen eingesetzt.

In Schickards Rechenmaschine wird erstmals das dekadische Zählrad für die Addition und Subtraktion benutzt. Es besitzt 10 Zähne, erlaubt also 10 Winkelstellungen pro Umdrehung und damit das Zählen im dekadischen System. Nach einer ganzen Umdrehung schaltet ein zusätzlicher Übertragungs-Zahn das Zählrad der höherwertigen Stelle um einen Schritt weiter (z.B. 10 Einer = 1 Zehner). Damit war der selbsttätige Zehnerübertrag realisiert.

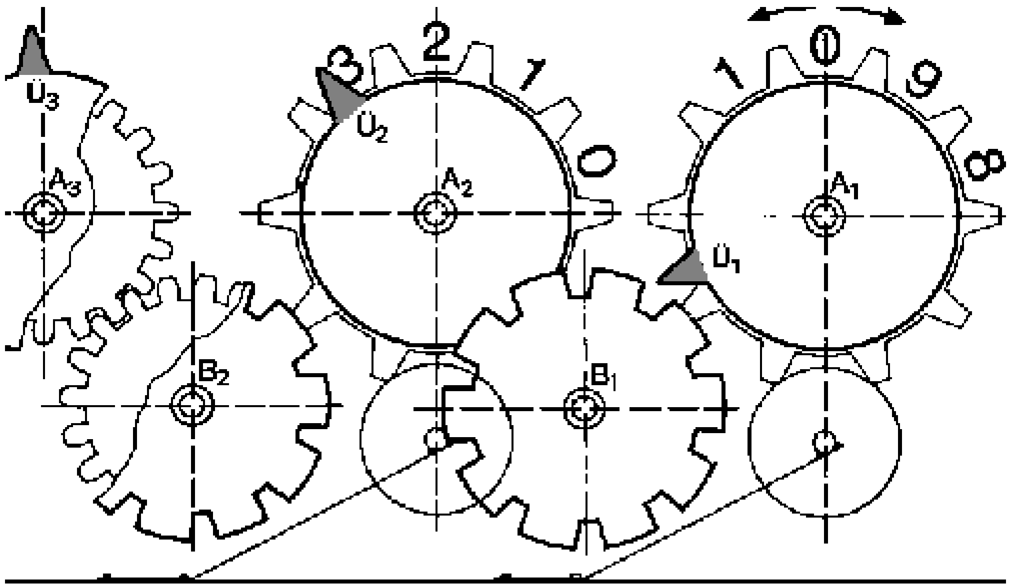


Abb. 7.13 Die Details zur Realisierung des Zehnerübertrages

Der Nachlaß von Wilhelm Schickard wird in der Tübinger Universität aufbewahrt. Man darf gespannt sein, welche Schätze sich noch alle im Nachlaß von Wilhelm Schickard finden werden.

Funktionsweise Wird noch überarbeitet !!!

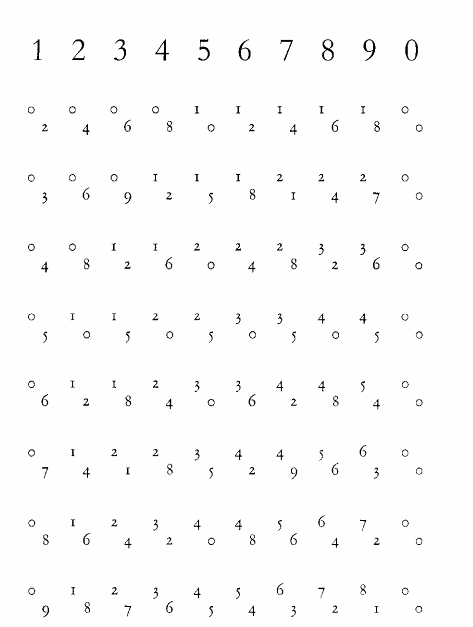


Abb. 7.14 Die Beschriftung der Zylinder

Zur Addition:
Die zu addierenden Zahlen werden eingedreht. Beim Zehnerübertrag dreht das Zahnrad mit nur einem Zahn das Zahnrad, das zwischen ihm und der Drehscheibe für die nächste Ziffer liegt, in entgegengesetzter Richtung um einen Zahn weiter. Dieses dreht dann das Zahnrad für die nächste Stelle in der ursprünglichen Richtung um eine Stelle weiter.

Zur Subtraktion:
Die Subtraktion erfolgt analog, nur daß die zu subtrahierende Zahl in entgegengesetzter Richtung eingedreht wird.
Die Art der Zehnerübertragung erlaubt diesen Richtungswechsel, der bei der später entstandenen Maschine von Pascal nicht möglich war, weil die Zehnerü bertragung dort mit dem Hebel nur in einer Drehrichtung funktionierte, so daß für die Subtraktion die Ziffern im entgegengesetzten Drehsinn auf die Zahnräder aufgetragen werden mußten.
Zur Multiplikation:

Die Multiplikationsvorrichtung besteht aus sechs nebeneinander angeordneten, drehbaren Zylindern, auf deren jedem das kleine Einmaleins in der folgenden Art und Weise aufgeschrieben ist:

Fehlt !!!

Im Prinzip handelt sich hier somit um Napier-Stäbchen.

Untereinander sind 9 Schieber in horizontaler Richtung angeordnet, wobei der n-te Schieber, wenn er zurückgezogen wird, den Blick auf die n-ten Vielfachen der oben eingestellten Ziffern freigibt.

Da jede Multiplikation zweier mehrstelliger Zahlen auf eine Multiplikation einer mehrstelligen Zahl mit einer einstelligen Zahl und zusätzlicher Addition zurückgeführt werden kann, wird hier nur der Fall einer solchen Multiplikation beschrieben.

Die Multiplikation zweier Zahlen a und b erfolgt folgendermaßen:

Die Zylinder werden so gedreht, daß die Zahl a im Anzeigefeld erscheint. Dann wird der Schieber mit der Zahl b zurückgezogen. Die nun in den Fenstern erscheinenden Vielfachen der einzelnen Ziffern der Zahl a werden nacheinander, analog wie bei der späteren Maschine von Pascal, in das Additionswerk eingedreht, so daß das Ergebnis dort abzulesen ist.

Beispiel:

Multiplikation der Zahlen 8735 und 5:

1. Schritt:
Drehen der Zylinder, so daß 8735 im Anzeigefeld erscheint:

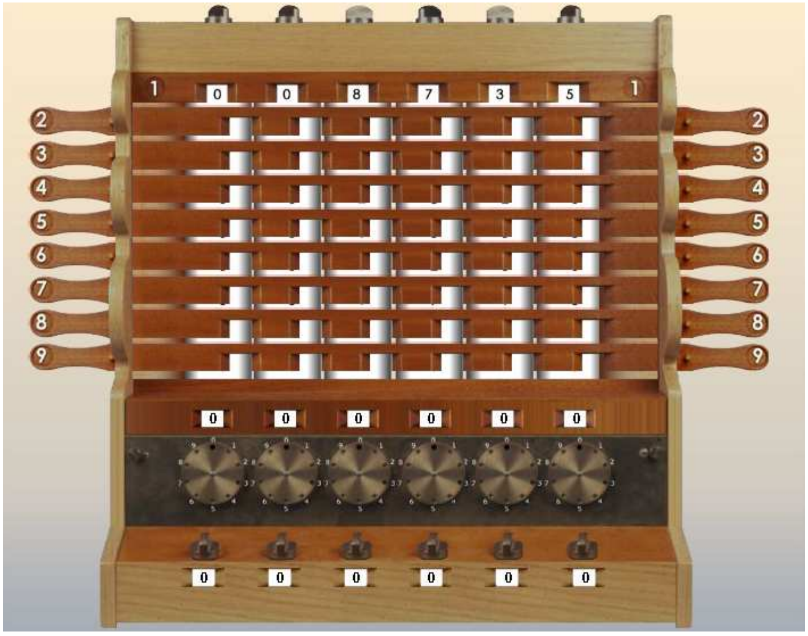


Abb. 7.15 Einstellen von 8735

2. Schritt:
Ziehen des fünften Schiebers:

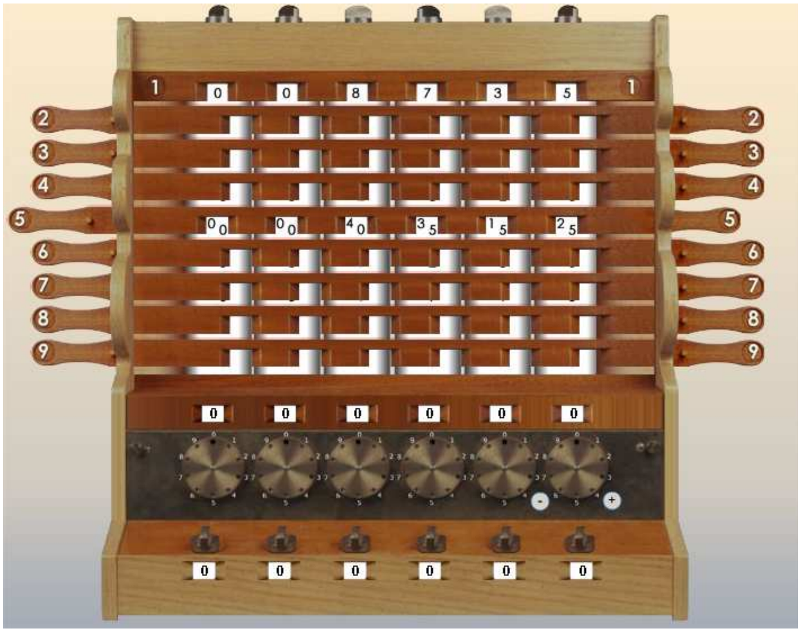


Abb. 7.16 Ziehen des fünften Schiebers

Rechts erscheint die Zahl „25“. Daneben nacheinander (von rechts nach links) die Zahlen „15“, „35“ und „40“.

3. Schritt:
„25“ wird in das Addierwerk eingedreht.
Im Ergebniswerk erscheint die „5“ und der Übertrag ist „2“.

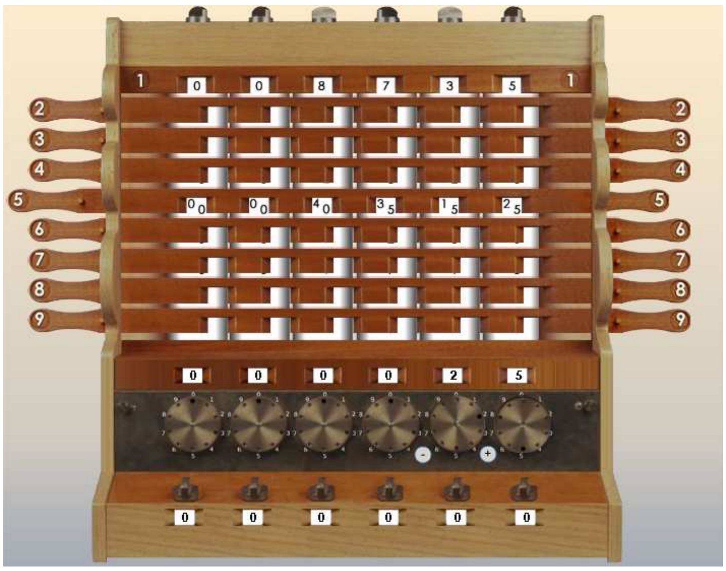


Abb. 7.17 Eindrehen von „25“

4. Schritt:
„15“ wird in das Addierwerk eingedreht.
Im Ergebniswerk erscheint „075“ und der Übertrag ist „1“.

5. Schritt:
„35“ wird in das Addierwerk eingedreht.

Im Ergebniswerk erscheint „0675“ und der Übertrag ist „3“.

6. Schritt:
„40“ wird in das Addierwerk eingedreht.
Im Ergebniswerk erscheint „03675“ und der Übertrag ist „4“

Das Gesamtergebnis ergibt sich zu 43675.

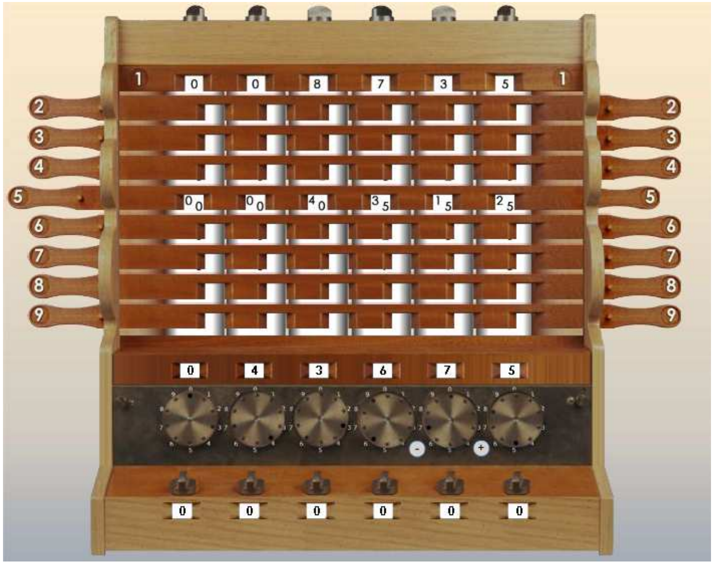


Abb. 7.18 Ablesen des Endergebnisses

Die Division erfolgt in ähnlicher Weise:

Der Dividend wird in die obere Ziffernreihe eingedreht. Wie bei der schriftlichen Division werden, wenn der Divisor einstellig ist, die entsprechenden Vielfachen des Divisors auf den Zylindern abgelesen und dann vom Dividenden mit Hilfe des Subtraktionswerks subtrahiert. Die gefundenen Ziffern des Quotienten werden im unteren Teil der Maschine festgehalten. Ist der Divisor mehrstellig, so erfolgt die Division durch wiederholte Subtraktion des Divisors vom Dividenden.

Beispiel:
Division der Zahl 8757 durch die Zahl 9

1. Schritt:
Der Dividend „8757“ wird im Anzeigewerk eingestellt.

2. Schritt:
Die Vielfachen von „9“ werden abgelesen und dasjenige Vielfache von „9“, das am nächsten bei „87“ liegt (nämlich 81 = 9*9) wird von „87“ subtrahiert. Die „9“ wird festgehalten.

8757:9 = 9
<u>81</u>
 65

3. Schritt:
63=9*7 wird von „65“ subtrahiert und die „7“ wird festgehalten.

8757:9 = 97

81
 65
 63
  27

4. Schritt:
27 = 9*3 wird von „27“ subtrahiert und die „3“ wird festgehalten.

8757:9 = 973
81
 65
 63
  27
  27

Schickard war stolz auf seine großartige Erfindung. So schrieb er in einem Brief vom 20. September 1623 an Kepler:

> *„Dasselbe, was Du auf rechnerischem Weg gemacht hast, habe ich kürzlich mechanisch versucht und eine aus 11 vollständigen und 6 verstümmelten Rädchen bestehende Maschine gebaut, welche gegebene Zahlen im Augenblick automatisch zusammenrechnet: addiert, subtrahiert, multipliziert und dividiert. Du würdest hell auflachen, wenn Du da wärest und sehen könntest, wie sie, so oft es über einen Zehner oder Hunderter weggeht, die Stellen zur Linken ganz von selbst erhöht oder ihnen beim Subtrahieren etwas wegnimmt.“*

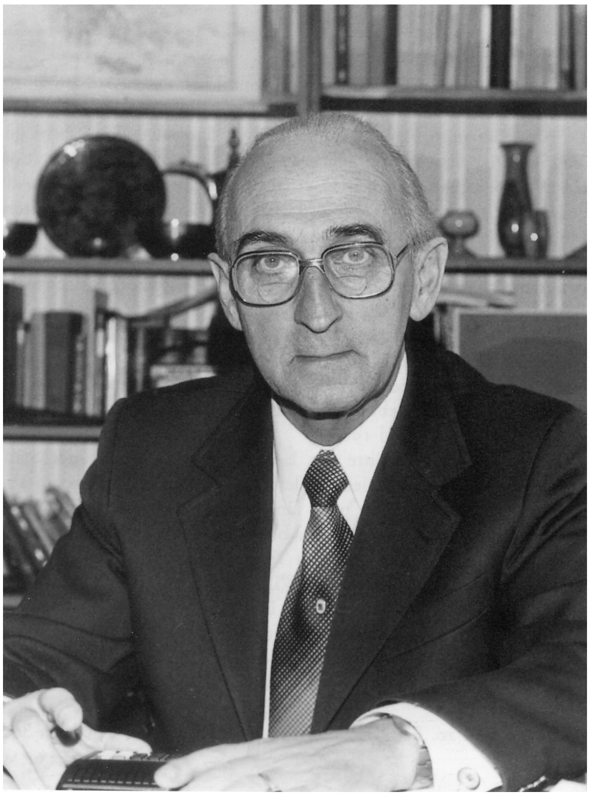


Abb. 7.19 Prof. Dr. Bruno Baron v. Freytag Löringhoff

7.2 Der Rechner von Pascal

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

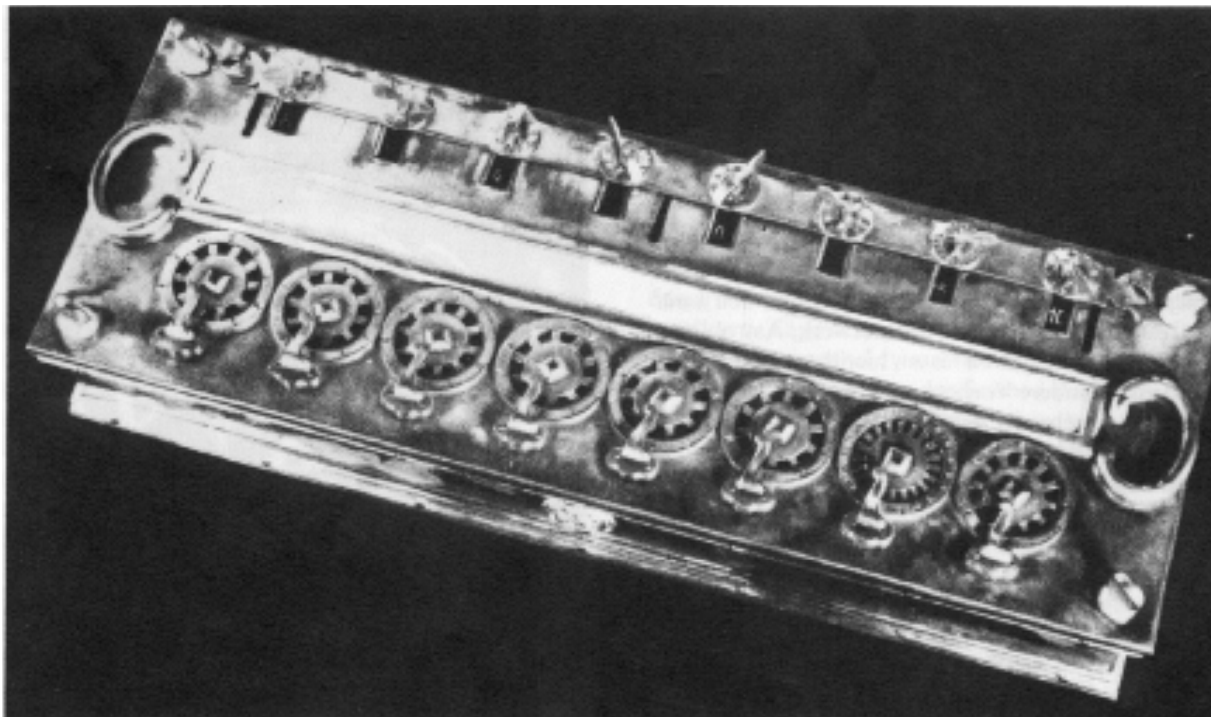


Abb. 7.20 Die Addiermaschine von Pascal (Einstellung der Summanden mit Griffel)

Blaise Pascal wurde am 19. Juni 1623 in Clermont als Sohn eines Steuerintendanten geboren. Auf Wunsch seines Vaters wurde er von einem Privatlehrer fast ausschließlich in Sprachen unterrichtet. Diese Einseitigkeit weckte Pascals Neugierde für mathematische Dinge, so daß er bereits im Alter von 12 Jahren damit begann, sich in seiner Freizeit heimlich mit Mathematik zu beschäftigen. Mit 14 Jahren traf er sich schon regelmäig mit einem Kreis von Geometrikern der französischen Akademie und im Alter von 16 Jahren war er mit seinen mathematischen Studien bereits so weit fortgeschritten, da er bereits seine ersten Verö ffentlichungen über Kegelschnitte machte. Neben der Mathematik wandte Pascal sich auchder Physik, der Philosophie und der Theologie zu und lieferte im Laufe seines Lebens bedeutende Beiträge auf all diesen Gebieten. Sein schlechter Gesundheitszustand war schuld an seinem fr ühen Tod im Jahre 1662 in Paris.

7.21 Blaire Pascal in zeitgenössischer Darstellung

Seine Rechenmaschine entwarf er im Alter von 19 Jahren für seinen Vater zur Erleichterung seiner Arbeit. Mit Hilfe der Maschine konnten Addition und Subtraktion, nicht aber Multiplikation oder Division, ausgeführt werden. Das Prinzip der Maschine wird noch heute in Kilometerzählern verwendet.

Es ist verschiedenlich spekuliert worden, ob Pascal Informationen über die Maschine von Schickard hatte. Dies war vermutlich nicht der Fall, denn zum einen findet sich in keinem der im Nachlass von Pascal gefundenen Unterlagen ein entsprechender Hinweis und zum anderen ist die Maschine von Schickard derjenigen von Pascal in einigen Punkten überlegen, so z.B. bei der Realisierung der Subtraktion und den zusätzlichen Komponenten zur Unterstützung der Multiplikation bzw. der Division.

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

Abb. 7.22 Nachbau der Rechenmaschine von Pascal

Die Maschine besteht aus acht Einstellrädern, auf jedem sind die Ziffern von 0-9 abgetragen. Jedes Einstellrad entspricht einer Dezimalstelle der zu addierenden bzw.subtrahierenden Zahlen. Es können also maximal achtstellige Zahlen addiert bzw. subtrahiert werden, wobei das Ergebnis auch höchstens achtstellig sein darf. Beim Übergang von 9 nach 0 eines Rades wird das links daneben liegende Rad automatisch um eine Stelle weitergedreht:

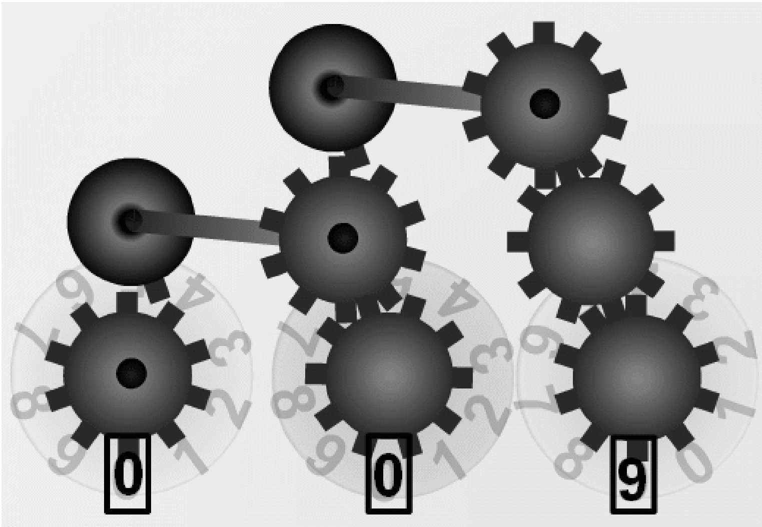


Abb. 7.23 Ineinandergreifen der Einstellräder bei Pascal

Die Addition erfolgt folgendermaßen:

Der erste Summand wird eingedreht, d.h. das erste Rad wird um die Anzahl an Stellen weitergedreht, die der Einerstelle des Summanden entspricht.
Dann wird das zweite Rad um die Anzahl an Stellen weitergedreht, die der Zehnerstelle des Summanden entspricht usw. bis zur ersten Stelle des Summanden.
Analog wird der zweite Summand eingedreht.

Beispiel:
Addition der Zahlen 725 und 1895

1. Schritt:
Eindrehen von 725

2. Schritt:
Eindrehen von 5

3.Schritt:
Eindrehen von 9

4. Schritt:
Eindrehen von 8

5. Schritt:
Eindrehen von 1

Für die Subtraktion kann die gleiche Maschine verwendet werden, wenn in einem zweiten Zahlenkranz an jeder Stelle der Einstellräder das Neunerkomplement zu der bei der Addition verwendeten Zahl steht.
Die Subtraktion funktioniert folgendermaßen:

Zunächst wird der Minuend eingedreht, dann der Subtrahend (das Eindrehen erfolgt analog zur Addition). Hier wird beim Übergang eines Einstellrades von 0 nach 9 das links daneben stehende Rad um eine Stelle zurückgedreht.

Beispiel:
796 wird von 1895 subtrahiert:

1. Schritt:
Eindrehen von 1895

2. Schritt:
Eindrehen von 6

3. Schritt:
Eindrehen von 9

4. Schritt:
Eindrehen von 7

Beim Arbeiten mit Pascals Addiermaschine ist zu beachten, daß sie nicht für das Dezimalsystem ausgelegt ist. Da sie ursprünglich für die Berechnung von Steuern enwickelt wurde, liegt ihr das System der damaligen französischen Währung zu Grunde: 12 Deniers bildeten einen Sous, 20 Sous die Haupteinheit. Darum hatten das erste Rad 12,das zweite 20 und alle weiteren 10 Zähne.

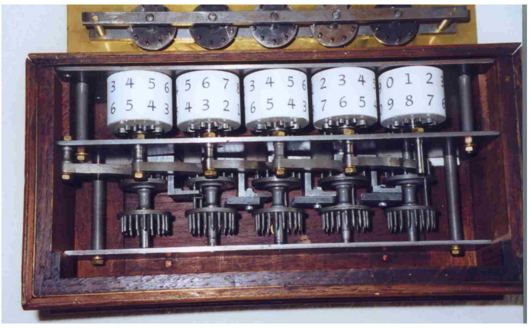


Abb. 7.24 Innerer Aufbau der Addiermaschine von Pascal

7.4 Der Rechner von Leibniz

7.4.1 Lebenslauf von Leibniz

Eine weitere Verbesserung der digitalen Rechenmaschine erfolgte durch Leibniz. Durch die Einführung von Staffelwalzen und beweglichen Schlitten gelang ihm zwischen 1671 (erste

Entwürfe) und 1690 (Fertigstellung) der Bau der ersten Maschine für alle vier Grundrechenarten (Vierspeziesmaschine). Leibniz war im übrigen auch einer der ersten, die sich intensiv mit der dualen Darstellung von Zahlen beschäftigte. Weitere digitale Rechenmaschinen wurden u.a. von Morland, Grillet, Polini, Leupold, Hahn, Stanhope, Müller und Thomas entwickelt.

Freiherr Gottfried Wilhelm von Leibniz wurde 1646 in Leipzig geboren. Er fühlte sich in der Schule weit unterfordert und brachte sich daher vieles selbst bei. So konnte er bereits mit 12 Jahren Lateinisch lesen und begann auch das Griechische zu erlernen. Im Alter von 20 Jahren hatte er die damals gängigen Hauptwerke der Mathematik, Philosophie, Theologie und Jura studiert. Er gilt als der letzte Eurpäer, der noch alle Gebiete des Wissens beherrschte.

Abb. 7.25
Freiherr Gottfried Wilhelm von Leibniz

Im Jahre 1672 ging er im Auftrag des Kurfürsten von Mainz nach Paris und verweilte dort vier Jahre. In Paris traf er Huygens, kam so zur Geometrie und machte auf diesem Gebiet einige Verö ffentlichungen. In dieser Zeit entwickelte er auch seine Rechenmaschine, wobei er wohl die Pascalsche Maschine intensiv studiert hatte. Danach kehrte er 1676 zurück nach Hannover und trat dort als Ratgeber und Vorsteher in den Dienst des Herzogs Johann-Friedrich von Braunschweig. Wä hrend dieser Zeit befaßte er sich mit politischen, historischen und theologischen Fragen und bemühte sich sehr um die Förderung der Wissenschaften. Die Gründung der Preußischen Akademie der Wissenschaften im Jahre 1700 ist auf ihn zurückzuf ühren. Es folgten weitere Gründungen von Akademien in Dresden, Wien und Petersburg. Er erdachte das duale Zahlensystem und erlangte damit den unbestreitbaren Ruhm, als erster eine wesentliche theoretische Grundlage des Computers geschaffen zu haben. Große Verdienste erwarb Leibniz auf dem Gebiet der Differentialrechnung, die er parallel zu Newton entwickelte. Das getrennte Arbeiten auf dem gleichen Gebiet führte zu heftigen Auseinandersetzungen zwischen den beiden Wissenschaftlern. Diese Auseinandersetzungen waren schließlich auch die Ursache für die Entlassung Leibniz aus den Diensten des Herzogs Johann-Friedrich von Braunschweig. Leibniz starb 1716 völlig vereinsamt in Hannover.

Leibniz entwickelte um 1670 die Idee der Staffelwalzenmaschine, die damaligen technischen Möglichkeiten erlaubten jedoch noch nicht deren Verwirklichung. Im Jahr 1673 präsentierte er der Öffentlichkeit eine Rechenmaschine für die vier Grundrechenarten, die jedoch - wie alle ihre Vorgänger - Probleme mit den engen Fertigungstoleranzen hatte. Erst ein Jahrhundert später, um 1780, gelang dem Pfarrer Philipp Matthäus Hahn die Konstruktion einer funktionsfähigen Vierspeziesmaschine. Versuche im 19. Jahrhundert, ein vorhandenes Original in einen einwandfreien funktionsfähigen Zustand zu versetzen, scheiterten zunächst. Erst im Jahr 1894 konnte man eines der Originale zur einwandfreien Funktion bringen, nachdem die Fertigungstechnik weiter vorangeschritten war.

Das einzig bekannte Original der Leibnizschen Rechenmaschine (um 1700) befindet sich in der Niedersächsischen Landesbibliothek in Hannover.

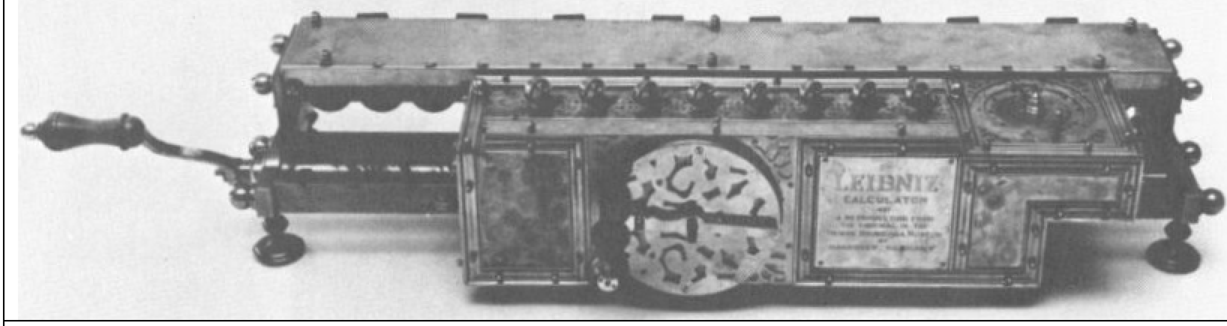


Abb. 7.26 Rechenmaschine von Leibniz

7.4.2 Aufbau der Maschine

Die Maschine besteht aus drei Teilen, dem Einstellwerk, dem Übertragungswerk und dem Zählerk. Einstellwerk und Zählwerk sind auf einem relativ zum Übertragungswerk verschiebbaren Zählwerkschlitten gelagert.

Die Staffelwalzenmaschine war durch eine Anordnung von achsenparallelen Zahnrippen gestaffelter Länge gekennzeichnet. Je nach Position des verschiebbaren Zahnrades wird bei einer Umdrehung der Staffelwalze dieses um null bis neun Zähne weitergedreht. Abb. 7.27 gibt einen Überblick. Auf der Walze befinden sich hintereinander geschaltete Zähne, die unterschiedlich weit auf die Walze ragen. Eine Zahl wird nun durch Verschieben des Zahnrades eingestellt. Dabei faßt das Zahnrad je nach erwünschter Zahl eher oder später zu und dreht somit die Walze nur um so viele Stellen weiter, wie Zähne einhaken.

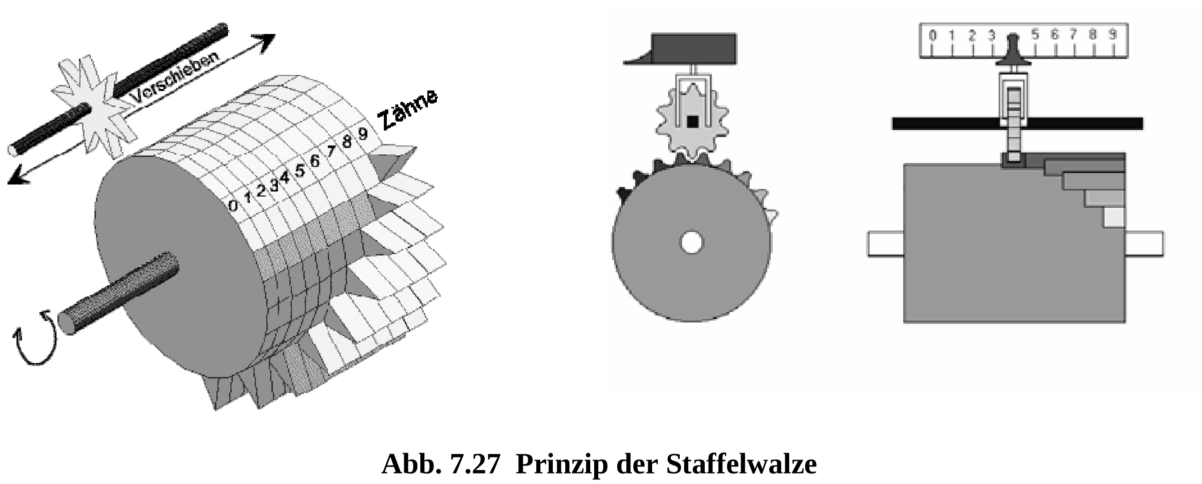


Abb. 7.27 Prinzip der Staffelwalze

Jeder Stelle der Zahl, die auf diese Weise eingestellt wurde, wird mit einer Kurbeldrehung anschließend über feinstmechanische Zahnrädchen automatisch ins Übertragungswerk eingedreht. Hier findet eine Addition genauso statt wie bei Pascal oder Schickard, nur mit dem Unterschied, dass dieses nun automatisch mit einer einzigen Kurbeldrehung passiert und nicht jede einzelne Ziffer mehr von Hand eingestellt werden muss.

Der Umsetzung liegt folgende mathematische Idee zu Grunde. Um eine Multiplikation mehrstelliger Zahlen vorzunehmen ist es möglich, diese jeweils um eine Zehnerstelle verschoben wiederholt zu addieren. Abb. 7.28 macht dieses deutlich:

8	3	7	*	2	3	1
				8	3	7
		2	5	1	1	
	1	6	7	4		
	1	9	3	3	4	7

				8	3	7
			8	3	7	
			8	3	7	
			8	3	7	
		8	3	7		
+		8	3	7		
	1	9	3	3	4	7

Abb. 7.28 Zwei gleichwertige Möglichkeiten, 837 mit 231 zu multiplizieren

Die rechte Berechnungsmethode sieht zwar länger aus, ist aber von Maschinen automatisch einfacher zu erledigen. Die Rechenmaschine von Leibniz unterstützte diese Idee. Der Benutzer musste den ersten Multiplikanden nur einmal einstellen. Durch weiteres Eindrehen ins Zählwerk wurden die Additionen automatisch durchgeführt, dabei musste z.B. im obigen Beispiel die Zahl 837 einmal in die Einerstelle eingedreht werden, dreimal in die Zehnerstelle und zweimal in die Hunderterstelle. Dies war möglich, da Leibniz einen verschiebbaren Zählwerkschlitten verwendete, mit dem der Multiplikant jeweils auf den Einer-, Zehner-, Hunderstellen usw. eingedreht werden konnte. Durch die automatische Addition, die die Feinmechanik leistete, wurde das Ergebnis nur durch Kurbeldrehen und Verstellen des Zählwerkschlittens angezeigt.

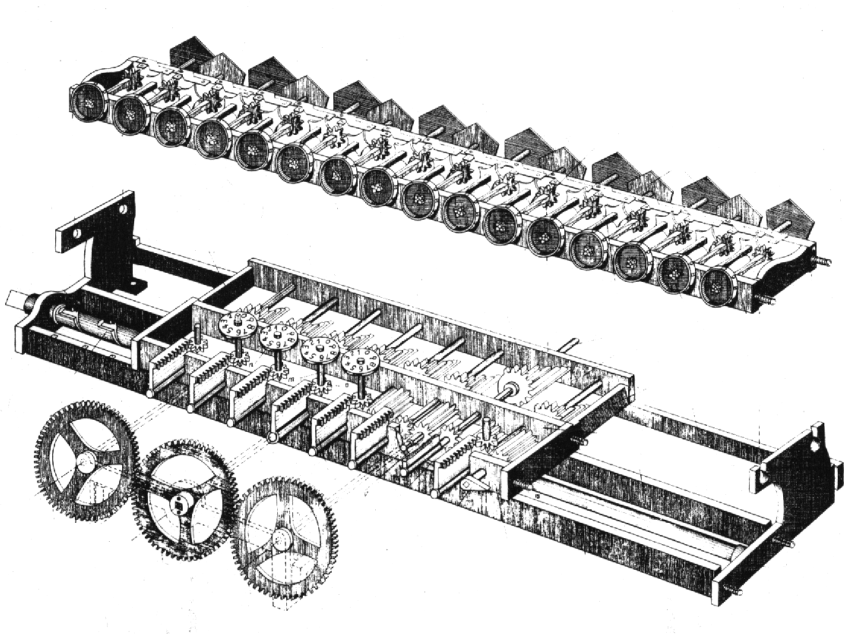


Abb. 7.29 Prinzipieller Aufbau der Leibnizschen Rechenmaschine

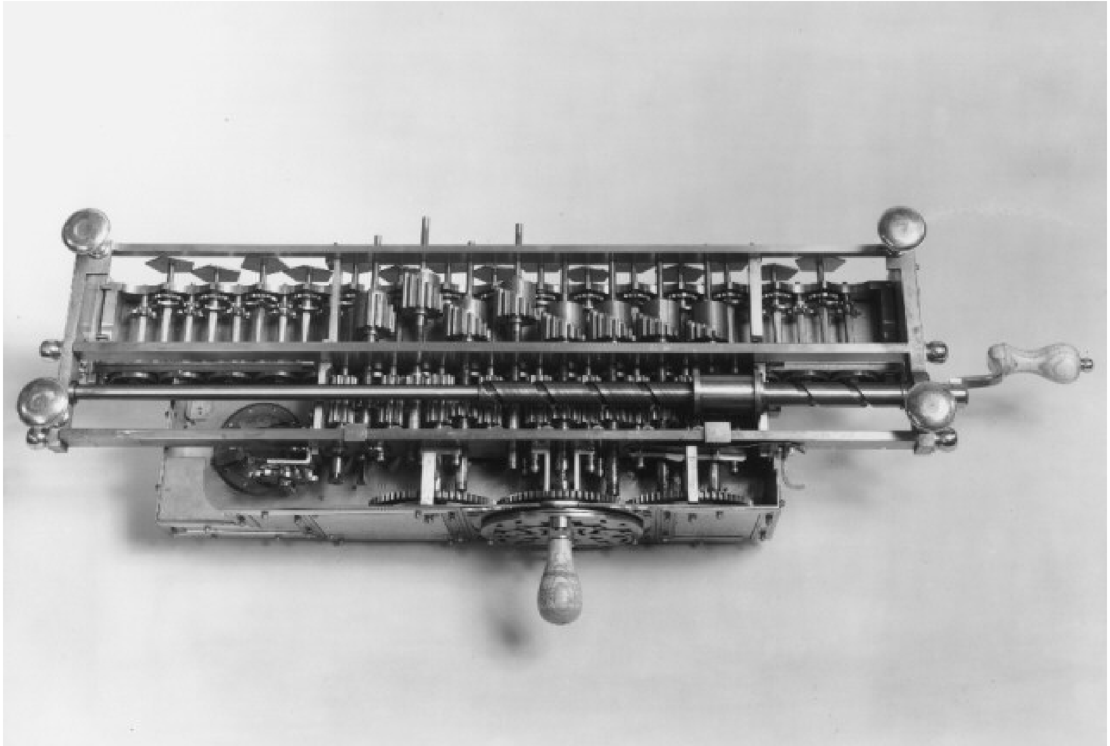


Abb. 7.30 Blick in das Innere der Maschine

7.4.3 Arbeitsweise

Die Arbeitsweise der Maschine sei noch einmal detaillierter erläutert.

Eine Zahl wird stellenweise eingegeben, so daß diese im Anzeigewerk erscheint. Dann wird der Zählwerkschlitten so gelagert, daß das Übertragungswerk an der letzten Stelle der eingegebenen Zahl steht. Nun wird die letzte Ziffer der zu addierenden bzw. zu subtrahierenden Zahl eingegeben und ein eventueller Übertrag im Übertragungswerk vorbereitet. Anschließend wird der Zählwerkschlitten um eine Stelle nach rechts verschoben, so daß das Übertragungswerk nun an der zweitletzten Stelle des ersten Summanden bzw. des Minuenden steht. Jetzt erfolgt die Eingabe der Zehnerstelle der zu addierenden bzw. zu subtrahierenden Zahl und anschließend die Addition bzw. Subtraktion des Übertrags. Dabei ist es wichtig, daß der Übertrag erst dann geschaltet wird, wenn das Einstellen der Ziffer beendet ist, weil er sonst ohne Wirkung auf das Hauptzählwerk bliebe. Während dieser Vorgänge wird ein weiterer eventueller Zehnerü bertrag vorbereitet und danach der Zählwerkschlitten um eine Stelle nach rechts verschoben, so daß die zweite Ziffer eingegeben werden kann. Das wiederholt sich so lange, bis die letzte Ziffer der zu addierenden bzw. zu subtrahierenden Zahl eingegeben ist.

Die einzelnen Vorgänge beim Eingeben einer Ziffer und beim Vorbereiten und Schalten werden nur für die Addition beschrieben, die Subtraktion verläuft analog, nur mit dem Unterschied, daß das Hauptzählwerk in entgegengesetzter Richtung zählt.

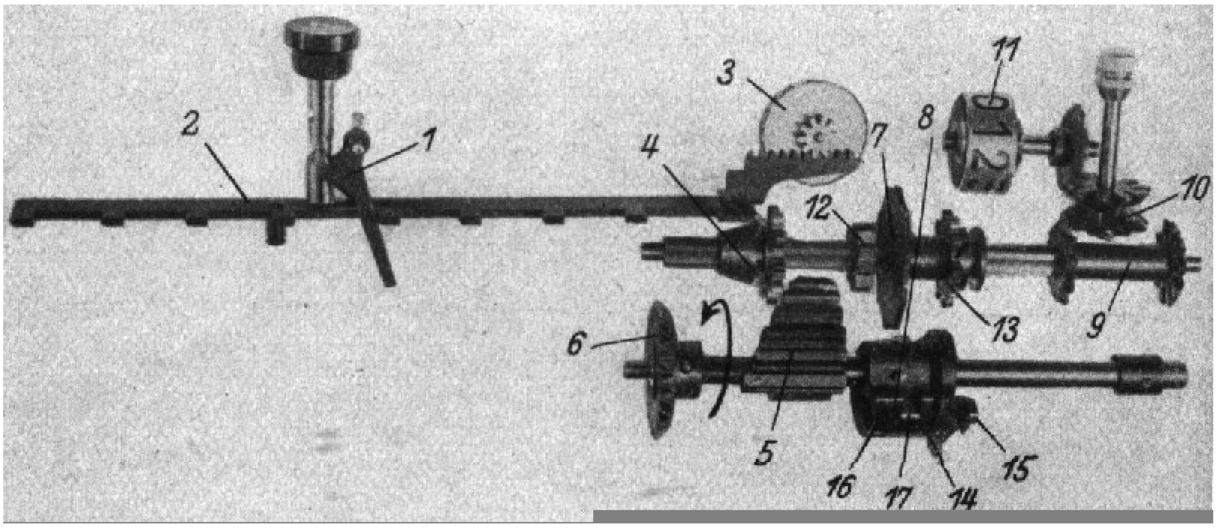


Abb. 7.31 Einstell- und Übertragungswerk bei der Staffelwalzenmaschine von Leibniz

Beim Druck der Taste wird durch den Winkelhebel 1 eine Verschiebung der Stange 2 nach rechts bewirkt. Je größer der Betrag der Ziffer auf der gedrückten Taste ist, desto weiter wird die Stange nach rechts verschoben. Die Stange 2 dreht das Zahnrad 3 um die entsprechende Stellenzahl, so daß die der gedrückten Taste entsprechende Ziffer im Anzeigefeld erscheint.

Beim Löschen der Taste wird das Ziffernrad im Anzeigewerk durch eine Zugfeder wieder auf Null gestellt. Die Verschiebung der Stange 2 nach rechts bewirkt auch eine entsprechende Verschiebung des auf der Vierkantwelle verschiebbar gelagerten Stellrades 4 nach rechts.

Nun tritt das wesentliche Element der Staffelwalzenmaschine, die Staffelwalze 5 , ins Aktion. Die Staffelwalze ist eine Zahnwalze, auf der neun Zähne ihrer Länge nach gestaffelt und nicht den ganzen Umfang umfassend angeordnet sind. Wurde mit der Eingabetaste die Ziffern eingestellt, so ist das Stellrad 4 auf der Vierkantwelle so weit nach rechts verschoben, daß es von den n längsten Zähnen der Staffelwalze erfaßt wird. Nun wird mit der Handkurbel das Rad 6 in Pfeilrichtung gedreht. Solange die Staffelwalze noch in das Stellrädchen 4 greift, wird die Vierkantwelle gedreht und das Räderpaar 9 überträgt die Drehung über das Räderpaar 10 auf das Hauptzählwerk 11.

In dem Moment, wo der Staffelwalzeneingriff aufhört, legt sich das Sperrad 7, welches auf seinem Umfang mit 10 kreisförmigen Einbuchtungen versehen ist, deren Durchmesser dem Durchmesser des Zylinderstücks 8 entsprechen, mit einer seiner Einbuchtungen auf das Zylinderstück 8 , so daß die Umdrehung der Vierkantwelle gestoppt wird.

Ist während der vorherigen Stellung des Zählwerkschlittens ein Übertrag vorbereitet worden, so wird dieser jetzt geschaltet. wobei die Vorbereitung des Übertrags folgendermaßen aussieht:
Sobald die Ziffernrolle 11 den Übergang von 9 nach 0 vollzieht, wird das Zehnerrad 13 so weit nach links verschoben, daß es in den Eingriffsbereich des Zehnerzahnes 14 gelangt. Hört nun der Staffelwalzeneingriff auf, dreht der Zehnerzahn 14 das Zehnerrädchen 13 um eine Stelle weiter, diese Drehung wird unmittelbar auf das Hauptzählwerk übertragen. Gleichzeitig gibt das Zylinderstück 8 infolge der Aussparung 16 das Sperrad 7 wieder frei. Der

Zählwerkschlitten wird nun um eine Stelle nach rechts verschoben, und die Eingabe der nächsten Ziffer kann erfolgen.

Die Multiplikation bzw. Division erfolgt durch wiederholte Addition wie beim Verfahren der schriftlichen Multiplikation bzw. durch wiederholte Subtraktion des Divisors vom Dividenden.

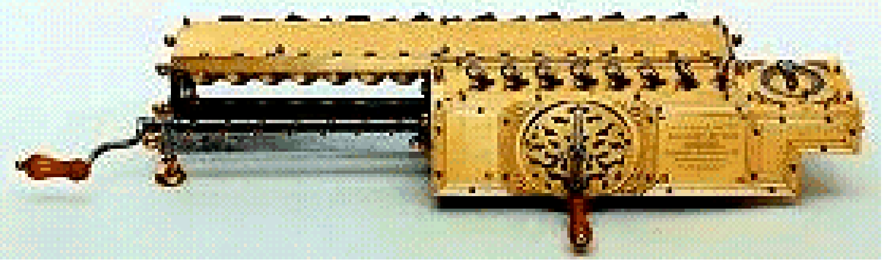


Abb. 7.32 Außenansicht der Staffelwalzenmaschine (Nachbau Grimme, Natalis & Co., 1923)

Damit war die Rechenmaschine von Leibniz die erste vollautomatische Vierspeziesmaschine zur vollautomatischen Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division.

Abb.13(Einblick von unten auf die verschiebbaren Staffelwalzen der Leibnizschen Rechenmaschine.

8 Die Weiterentwicklung der Rechenmaschinen

8.1 Die technischen Prinzipien

Die Weiterentwicklung der Rechenmaschinen wurde hauptsächlich durch Geräte bestimmt, die folgende Prinzipien umsetzten:

- Sprossenradmaschinen
- Proportionalhebel
- Staffelwalzen
-

Weitere Abwandlungen wie Stellsegmente, Proportionalrollen und Schaltklinken hatten nur geringe Verbreitung.

8.1.1 Sprossenradmaschinen

Eine Sprossenrad-Rechenmaschine besteht im im wesentlichen aus einem Satz Sprossenräder, einem Zählwerk und einem Ergebniswerk. Für jede Stelle des Eingabewertes existiert ein Sprossenrad. Jedes Sprossenrad ist von null bis neun einstellbar, dabei werden null bis neun "Zähne" aus dem Rad ausgefahren. Mit einer Kurbel sind die Sprossenräder drehbar, für jeden ausgefahrenen "Zahn" wird die entsprechende Stelle des Ergebniswerkes - je nach Drehrichtung - erhöht oder erniedrigt. Wird der Zehner über- oder unterschritten, wird ein „Merker“ gesetzt und die nächste Stelle um eins zusätzlich erhöht oder erniedrigt. Somit kann die Zahl im Eingabewerk (den Sprossenrädern) auf die Zahl im Ergebniswerk addiert oder davon subtrahiert werden. Das Zählwerk zählt die Kurbelumdrehungen. Zählwerk und Ergebniswerk sind auf einem Schlitten gegen die Sprossenräder verschiebbar angebracht, so daß man durch Schieben des Schlittens nach rechts das zehn-, hundert-, tausend- etc. -fache des Eingabewertes auf das Ergebniswerk addieren oder davon subtrahieren kann. Es werden auch jeweils auf den Zähler zehn, hundert, tausend etc. pro Kurbelumdrehung addiert oder davon subtrahiert. Der Hebel invertiert die Zählrichtung des Zählers. Somit kann man - den schriftlichen Verfahren entsprechend - multiplizieren und dividieren.

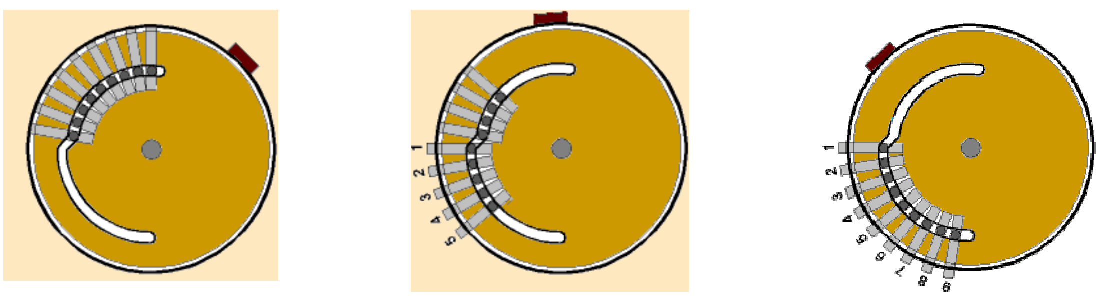


Abb. 8.3 Prinzip des Sprossenrades

Der Italiener Polenius, Professor für Astronomie und Mathemathik an der Universität Padua, gilt als Erfinder des Sprossenrades. Er hatte als Erster die Idee, ein Sprossenrad mit beweglichen Zähnen zu entwerfen, die sich durch Verdrehen einer Kurvenscheibe herausschieben lassen. Das Sprossenrad hat gegenüber der Staffelwalze den Vorteil, daß kein raumgreifendes Verschieben von Walzen bzw. Zahnrädern notwendig ist. Im Jahre 1709 hat Polenius in dem Werk „*Johannes Poleni*, *Miscellanea*" eine Sprossenrad-Rechenmaschine beschrieben, die mit einem Gewichtsantrieb versehen war.

Allerdings gelang erst dem Instrumentenbauer Antonius Braun 1727 in Wien der Bau einer arbeitsfähigen Rechenmaschine mit Sprossenrad für alle vier Grundrechenarten.

Abb. 8.4 Sprossenradmaschine von Antonius Braun

Diese war die erste im Dauerbetrieb wirklich zuverlässig funktionierende Rechenmaschine überhaupt. Alle Maschinen der vorhergehenden Konstrukteure litten mehr oder weniger an dem Problem der ungenügend ausgereiften Feinmechanikerkunst, so daß deren Maschinen recht unzuverlässig arbeiteten.

8.1.2 Proportionalhebel

Chr. Hamann erfand 1905 den Proportionalhebel. Die Zahnstangen sind in einem Parallelogramm gelagert. Beim Schwenken des Antriebshebels werden sie jeweils um 0 bis 9 Zähne verschoben. Das verschiebbare Zahnrad wird mit der gewünschten Zahnstange in Eingriff gebracht und um die entsprechende Anzahl Zähne mitgenommen.

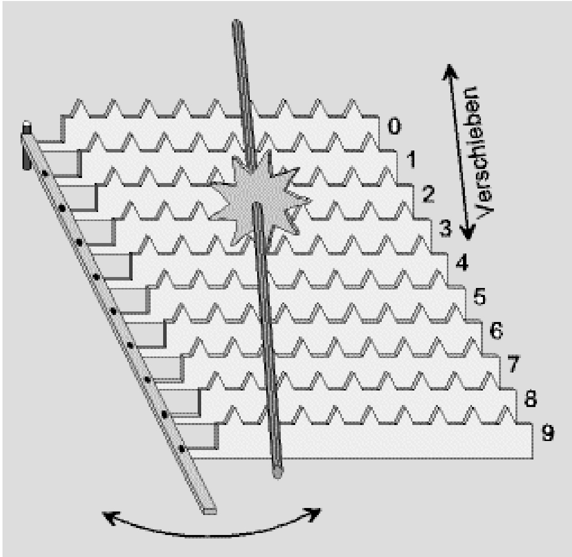


Abb. 8.5 Proportionalhebel

Eine Maschine, die nach diesem Prinzip arbeitete, war z.B. die im Jahre 1913 entstandene und weitverbreitete Mercedes Euklid. Auf Tastendruck lief die Berechnung hier sogar vollautomatisch ab.

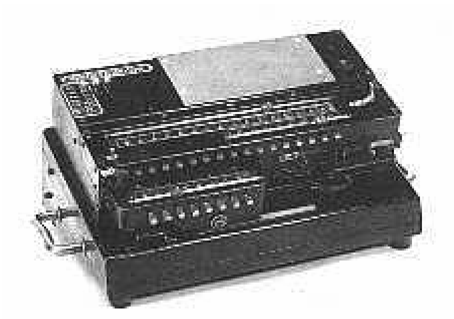


Abb. 8.6 ***Mercedes Euklid, 1913***

7.1.3 Staffelwalzenmaschinen

Wie oben bereits erwähnt, bauten auf dem Prinzip der Leibniz'schen Rechenmaschine weitere Varianten und Fortentwicklungen auf. Zu ihnen gehört auch die schon erwähnte **(????)** Archimedes-Reihe, eine ganze Serie von Staffelwalzenmaschinen, die ab 1906 bis in die 60er Jahre des vergangenen Jahrhunderts unter dem Namen Archimedes gebaut wurden. Sie soll hier stellvertretend für die Gruppe der Staffelwalzenmaschinen näher vorgestellt werden.

Bei diesen Maschinen handelte es sich fast ausschließlich um reine Vierspeziesmaschinen zur Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division.

Die Archimedes wurde in den Modellreihen A bis N gebaut, jeweils mit verschiedenen Untermodellen, die sich in der Stellenanzahl der Eingaben und des Resultatwerks unterschieden. Anzahl der Stellen kennzeichnete die genaue Modellnummer. So besaß z.B. die ab 1913 gebaute Archimedes C13 eine Kapazität von 10 x 8 x 13 Stellen. Sie wurde von der Glashütter Rechenmaschinenfabrik, Glashütte, Sachsen gebaut.

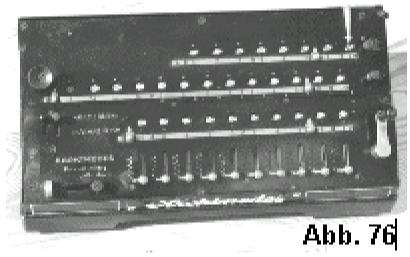


Abb. 8.8 Archimedes C13 (B) Serien-Nr. 8095 B, gebaut ab 1913, 10 x 8 x 13, Handbetrieb, Schiebereinstellung, ohne Rundungsstellknöpfe

Abb. 8.9 Achimedes C20

Die Achimedes C20 ist eine von vier Rechenmaschinen aus der C-Reihe der Firma Glashütter Rechenmaschinenfabrik Reinhold Pöthig, Glashütte, Sachsen. Ihr Baujahr ist ebenfalls mit ca. 1913 anzugeben. Es handelt sich um eine Vierspezies-Staffelwalzenmaschine mit durchgehendem Zehnerübertrag in allen Werken, 10x11x20, mit obenliegendem Einstellkontrollwerk. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen einige Details.

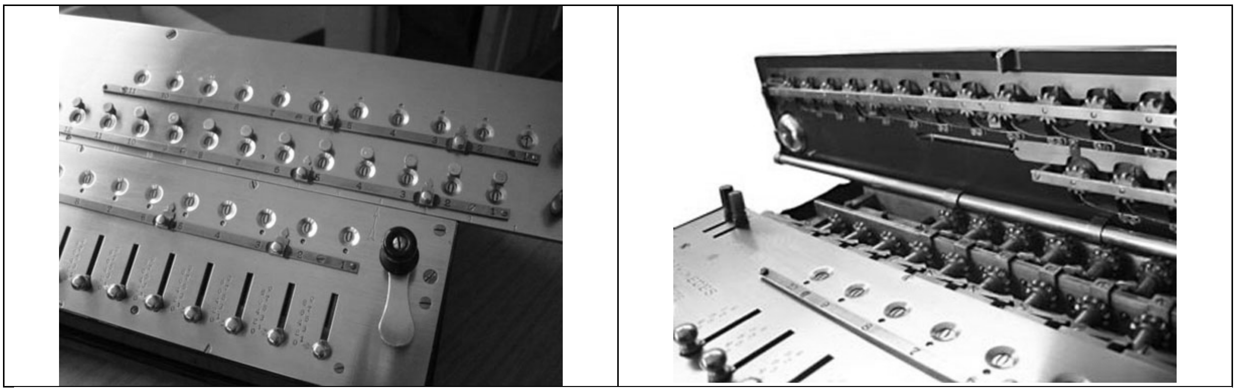


Abb. 8.10 Das Einstellwerk (links) und Blick auf das Einstellwerk (rechts), oben ist der Schlitten ganz hochgeklappt

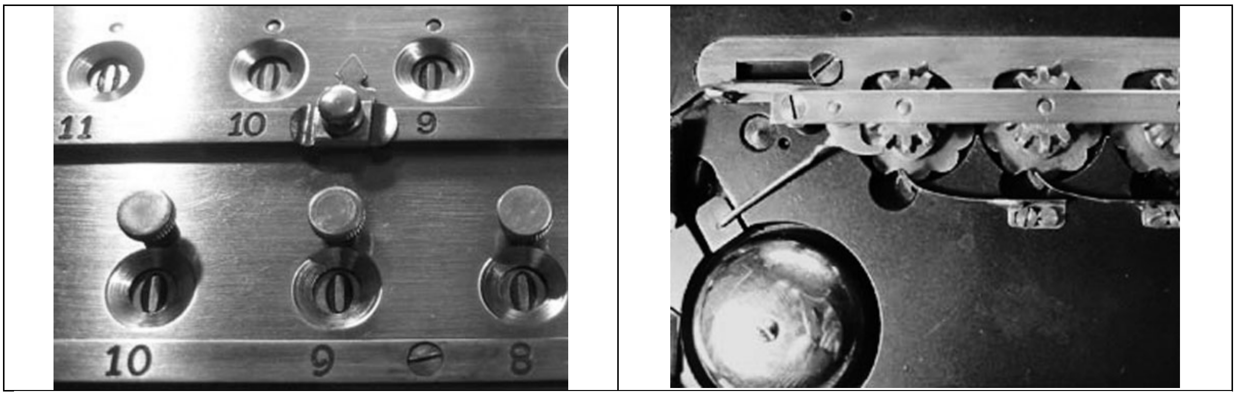


Abb. 8.11 Oberseite des Schlittens (links) und die Glocke des Schlittens. Sie ertönt sowohl beim Nullstellen (obige Stahlschiene), wie auch beim Überlauf des Resultatwerks.

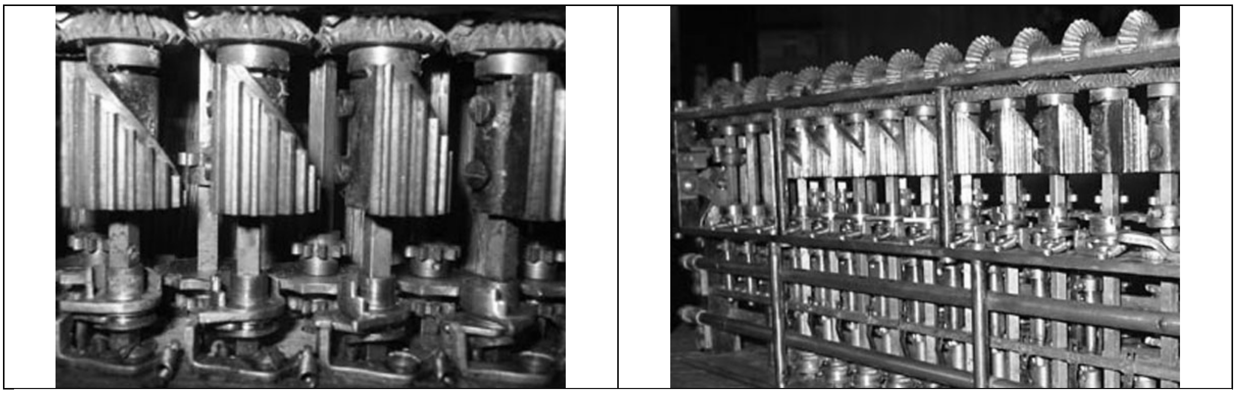


Abb. 8.12 Die um jeweils ein Ritzel versetzt montierten Staffelwalzen (links) und das Rechenwerk von unten (rechts)

Die Entwicklung veränderte insbesondere das Äußere der Maschinen Maschinen. Als eine der letzten Rechenmaschinen aus der Archimedes-Reihe wurde die NE18 gebaut.

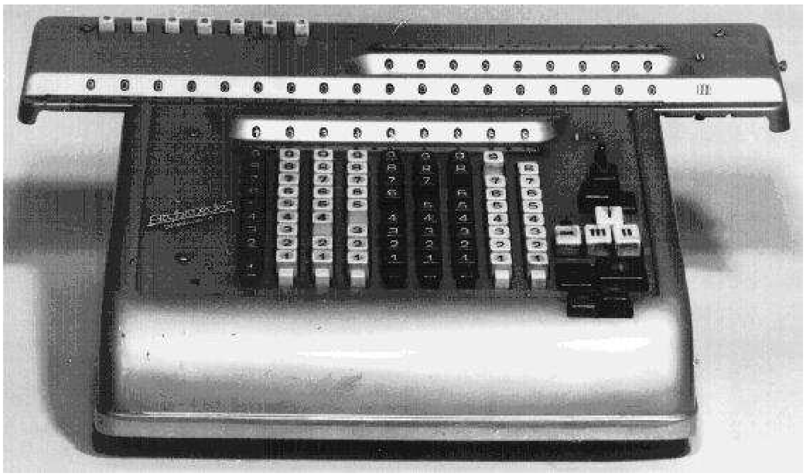


Abb. 8.13 Archimedes NE18

Die nachfolgende Tabelle zeigt die wichtigsten Daten:

Name:	Archimedes, Modell NE18
Baujahr:	ab 1953
Bezeichnung:	Vierspezies-Staffelwalzenmaschine, elektrisch
Stellenzahl:	9 x 9 x 17
Größe:	47 x 37 x 17,5 cm
Gewicht:	7 kg
Beschreibung:	Elektrische Vierspezies-Staffelwalzenmaschine der Marke *Archimedes*, in Pultform, mit automatischer Löschvorrichtung und Zehnerübertragung im Umdrehungszählwerk. Die Maschine verfügt über drei Speicherplätze und automatische Multiplikation und Division.

8.1.4 Multiplikationskörper

Statt die Multiplikation mit einer einstelligen Zahl durch mehrfache Addition zu bewerkstelligen, stellte Léon Bollé 1888 die Idee vor, dies mit Hilfe eines Multiplikationskörpers auf einen Schlag zu erledigen. Otto Staiger erhielt 1892 ein Patent auf ein in Metall gegossenes 1x1 bis 9x9.

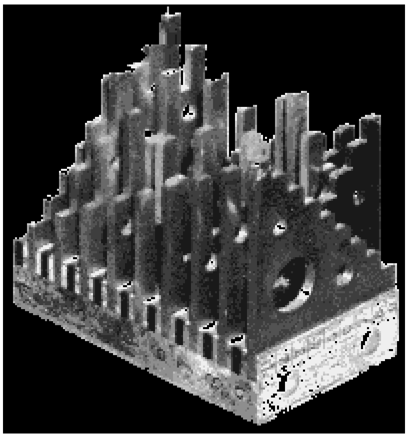


Abb. 8.14 Multiplikationskörper (in Metall gegossen)

8.2 Die Maschinen von Thomas

Die Maschine von Pascal wurde bereits in einer kleinen Serie gebaut. Es waren jedoch Einzelstücke, die zum Teil individuelle Besonderheiten aufwiesen. So gab es z. B. Exemplare, die auf das englische Währungssystem abgeändert waren. Die erste „industrielle" serienmäßige Herstellung von mechanischen Ziffernrechenmaschinen wurde 1920 in Paris Charles Xavier Thomas (1785 – 1870) aufgenommen. Thomas war Direktor zweier Versicherungswesen. Als solcher erkannte er die Bedeutung der Ziffernrechenmaschine und verfügte über die notwendigen Geldmittel, eine Produktionsstätte einzurichten.

BILD

Die Maschinen von Thomas beruhten auf dem von Leibnitz und Hahn entwickelten Staffelwalzenprinzip.
Vor allem Versicherungsgesellschaften interessierten sich für diese Maschinen. Zwischen 1821 und 1978 konnte Thomas rund 1500 Exemplare verkaufen. Neben den Versicherungen gehörten vor allem Behörden und Universitäten zu den Kunden. Die private Nachfrage war gering, da der Preis – eine 16stellige Maschine kostete ca. 500 Francs – relativ hoch war und Thomas selbst bei diesem Preis keinen verdienst machte.

8.3 Die Maschinen von Dietzschold und Burkhardt

Curt Dietzschold hatte am Karlsruher Polytechnikum Maschinenbau studiert und beschäftigte sich zunächst mit der Konstruktion von Uhren. Nachdem er 1873 auf der Wiener Weltausstellung eine Maschine von Thomas gesehen hatte, konstruierte er eine eigene Maschine, die sich an der Thomas-Maschine orientierte. Sie wurde 1876 fertiggestellt. Nachdem er 1877 in die Firma „Lange & Söhne“ in Glashütte eingetreten war, baute er einige weitere Exemplare, von denen das „Preußische Statistische Amt“ eine zur Erprobung übernahm. Nachdem Dietzschold 1879 die Stelle des Direktors der „K. und K. Fachschule für Uhrenindustrie“ übernommen hatte, stellte er die weitere Entwicklung von Rechenmaschinen ein.

Das Preußische Statistische Amt war von der Dietzscholdschen Konstruktion nicht sehr angetan. Da die Thomas-Maschine patentrechtlich nicht mehr geschützt war und der Direktor des Amtes, Ernst Engel, einige Verbesserungsmöglichkeiten sah, beauftragte er den Ingenieur Arthur Burkhardt mit dem Bau zweier neuer Maschinen. Interessanterweise war Burkhardt ein Studienfreund von Dietzschold und von diesem mit seiner Maschine vertraut gemacht.
Burkhardt gründete 1878 die „Erste Deutsche Rechenmaschinenfabrik“ in Glashütte. Die ersten beiden Exemplare beinhalteten die Verbesserungsvorschläge von Engel, aber bereits 1879 konnte er in Berlin zwei weitere Maschinen vorstellen, die eigene Verbesserungen von ihm enthielten.

Die Produktion lief zunächst langsam an. Erst 1992 wurde die 500ste Maschine hergestellt. Abnehmer waren vor allem Behören und Versicherungen.
Drei Mitarbeiter von ihm – Schumann, Zeibig und Staßberger – gründeten 1895 in Glashütte ein Konkurrenzunternehmen, welches die Staffelwalzenmaschine Saxonia herstellte. Beide Firmen schlossen sich 1920 zu den „Vereinigten Glshütter Rechenmaschinenfabriken, Tachometer – und Feinmechanische Werke“ zusammen. Dieses Unternehmen ging in der Weltwirtschaftskrise 1929 in Konkurs.

8.4 Die Maschinen von Odhner

Die Erfindung des Sprossenradsystems geht auf Willgodt Theorphil Odhner zurück. Er wurde 1845 in Westby im schwedischen Varmland geboren. Sein Vater war vom Verwalter eines Eisenwerks zum Sekretär des „Allgemeinen Vermessungsbüros“ avanciert. Er absolvierte eine Ausbildung zum Ingenieur und fand eine Anstellung in den Werkstätten von Ludwig Nobel in St. Petersburg.
Da ihn seine Erfahrungen mit einer Thomas-Maschine nicht befriedigten, entstand in ihm die Idee der Konstruktion einer Rechenmaschine, die kleiner, leichter, zuverlässiger und billiger sein sollte. Hierzu sollte die Herstellung möglichst ohne Handarbeit, sondern durch den Einsatz spezieller Werkzeugmaschinen realisiert werden. Daher entwickelte er nicht nur das Sprossenradsystem und eine hierauf aufbaute Rechenmaschine, sondern die entsprechender Werkzeuge und Fertigungseinrichtungen.

Odhner konnte 1877 mit Nobel ein Abkommen schließen, welches ihm die Möglichkeit erschloß, die Entwicklung in einer Fabrikhalle von Nobel durchzuführen. Aber erst 1886 begann die Fertigung in der im Jahre 1980 gegründeten „Maschinenfabrik W. T. Odhner“. Diese kleine Fabrik stellte neben der Rechenmaschine auch andere Produkte her. Die starke Nachfrage nach den Rechenmaschinen ermöglichte der Firma zu expandieren und auch andere Produkte zu entwickeln. Bereits 1894 entstand neben dem alten Fabrikgebäude eine neue Fabrik. Neben den Rechenmaschinen wurden dort Druckmaschinen, Düsen für Ölbrenner und Phonographengetriebe produziert.

Odhner starb 1905 in St. Petersburg. Im Revolutionsjahr 1917 wurde die Firma nach Schweden verlegt. Während der Produktionszeit in St. Petersburg schloß Odhner viele Lizenzverträge auf sein Patent ab. Dies führte dazu, daß in vielen Ländern Rechenmaschinen produziert wurden, die auf dem Patent von Odhner beruhen. Auch in der Sowjetunion wurden bis in die Mitte der fünfziger Jahre Odhner-Maschinen nachgebaut, allerdings ohne offizielle Lizenz.

8.5 Die Brunsviga-Maschinen

Die Patent- und Lizenzrechte für Odhner-Maschinen hatte sich für Deutschland die Firma „Königsberger & Co.“ gesichert. Da sie selbst über keine geeignete Produktionsstätten verfügte, bot sie sie auf einer Tagung der deutschen Nähmaschinenfabrikanten im Frühjahr des Jahre 1892 in Hamburg zum Weitererwerb an. Der einzige Interessent war der Ingenieur Franz Trinks von der „Nähmaschinenfabrik Grimme, Natalis & Co.“ Aus Braunschweig. Er sah hier eine Möglichkeit, die angeschlagene Firma zu sanieren und setzte gegeninternen Widerstand durch, daß die Patente und Lizenzen erworben wurden.
Im April 1892 wurden die Verträge unterzeichnet und bereits nach einigen Monaten konnte Trinks die in Braunschweig nachgebaute Maschine unter der Bezeichnung Brunsviga vorführen. Es handelte sich um die erste in Deutschland hergestellte Sprossenradmaschine.
Die Übernahme der Rechte kostete 10 000 Reichsmark. Außerdem waren 10 Mark Lizenz für jede verkaufte Maschine zu zahlen. Die Vertriebsrechte galten für Deutschland, Belgien und Schweiz.

Trinks trieb die Weiterentwicklung der Brunsviga zügig voran. Nur ein Jahr lang wurde die Brunsviga als reine Kopie der Original-Odhner nachgebaut. Insbesondere der Einbau von Sicherungsmaßnahmen gegen fehlerhafte Bedienung wurde vorrangetrieben. So sorgte beispielsweise eine Vorrichtung dafür, daß die Kurbel immer vollständig gedreht wurde, weil die Maschine sonst ein falsches Ergebnis anzeigte. Es dauerte allerdings fast zehn Jahre, bis die laufenden Verbesserungen zu einer Maschine führten, bei der Fehlbedienungen fast ausgeschlossen waren.

8.6 Die Hamann-Maschinen

Ein weiterer bedeutender deutscher Konstrukteur mechanischer Rechenmaschinen war der 1870 im Oldenburgischen Hammelwarden geborene Christel Hamann. Als 26jähriger gründet er eine eigene Firma, die mechanische Geräte herstellte.

Um die Jahrhundertwende nahm er die Konstruktion von digitalen „Ziffernrechenmaschinen" auf. Den ersten Erfolg bescherte ihm eine Kleinrechenmaschine, die auf einem von ihm abgewandelten Staffelwalzensystem beruhte. Im Jahre 1900 präsentierte er sie unter dem Namen Gauß. Auf der Weltausstellung in Paris wurde sie mit einer Goldmedaille prämiert. Ihre fabrikmäßige Konstruktion begann 1905. Vertrieben wurde sie durch das Versandhaus R. Reiß in Liebenwerde unter dem Namen Mercedes. Insgesamt wurden ungefähr 1000 Exemplare hergestellt.

In den Jahren 1902 und 1903 entwickelte Hamann ein neues Schaltelement, welcher er als „Proportionalhebel" bezeichnete. Der erste Einsatz dieser neuen Technik erfolgte in der seit 1903 in rund 500 Exemplaren hergestellten kleinen Zehn-Tasten-Addiermaschine Plus.

Auf dem Prinzip der Proportionalhebels aufbauend entstand 1903 auch das Versuchsmuster einer großen Vierspeziesmaschine. Ihren Einsatz fand diese Maschine in einem Bankhaus. Danach wurde sie über drei Jahrzehnte land unter dem Namen Euklid produziert.

Den Prototypen einer schreibenden Addiermaschine mit Volltastatur stellte Hamann 1906 vor. Die Maschine und die zugehörigen Patente verkaufte er ins Ausland, wo sie eine Zeitland in Serie produziert wurde.

Noch vor Kriegsausbruch erschienen 1914 die Modelle 7 und 8 als erste „Vollautomaten" der Welt mit Handantrieb oder Elektromotor. Eine derartige Maschine erlaubte es, Multiplikation und Division mehrstelliger Zahlen nach deren Einstellung an einem Strich laufen zu lassen. Ferner arbeitete Hamann auch an der Konstruktion anderer Rechenmaschinen. Bekannt wurde der Bau einer Differenzenmaschine, einer weiteren Vierspeziesmaschine mit Druckwerk und einer eigenwilligen Addiermaschine mit dem Namen Adam Riese. Ein größerer Erfolg war der Taschenaddierapparat Mercedes-Trick. Hiervon gab es auch eine Variante für englische Währung. Kurz vor Kriegsausbruch entstand noch eine weitere Vierspeziesmaschine mit dem Namen Logarithmus. Diese Maschine, von der nur ein Exemplar gebaut wurde, besaß zwei als Doppellineal ausgeführte Resultatwerte.

8.7 Die Curta

Curt Herzstark (1902-1988) war der Sohn des Wiener Rechenmaschinen-Fabrikanten Samuel Jacob Herzstark. Auf Reisen durch ganz Europa verkaufte er die Maschinen seines Vaters, die nach dem Thomas-Prinzip (Staffelwalzenmaschinen, siehe oben) gefertigt wurden. Überall vernahm er dabei den Kundenwunsch nach einer kleinen Taschenrechenmaschine.

Abb. 8.14 Die Curta´s

Schon 1937 führten seine Überlegungen zum Patent einer „komplementären Staffelwalze“. Ein Jahr später gab es bereits ein erstes primitives, aber funktionsfähiges Modell. Im gleichen Jahr wurde Herzstark von den Nationalsozialisten verhaftet und ins KZ Buchenwald gebracht. Der SS war seine Erfindung bekannt und man wollte sie dem Führer als Siegesgeschenk überreichen. So erhielt Herzstark die Gelegenheit, seine Entwicklung im geheimen Gustloff-Werk fortzusetzen. 1944 waren die Pläne zu seiner »Liliput« genannten Maschine in der endgültigen Form fertig gestellt. Das Geheimnis der Curta besteht in der Verwendung einer einzigen zentralen Staffelwalzen-Einheit, die aus einzelnen Scheiben aufgebaut ist. Für jede Stelle bestimmt ein Einstellwerk, wie viel in das Resultatswerk addiert wird.

Zur leichteren Durchführung der Subtraktion/Division ist die Staffelwalze mit zwei gegenläufigen Stiftreihen versehen. Am 11. April 1945 befreiten Amerikaner das KZ Buchenwald. Weltweit hatten viele Firmen starkes Interesse, die Curta, wie sie nun hieß, zu produzieren. Unter den Interessenten war auch Fürst Josef der II. von Liechtenstein. Er wollte die Industrieproduktion in seinem Lande mit neuen Produkten aufbauen. Nach einer Einladung ins Palais Liechtenstein und längeren Verhandlungen wurde die Cortina AG gegründet. Curt Herzstark wurde Technischer Direktor.

Die Curta wurde dort in zwei Ausführungen gebaut:

Modell	Jahr	Einstellwerk	Umdrehungszähler	Resultatswerk	Stückzahl
I	Ab 1947	8-stellig	6-stellig	11-stellig	80.000
II	Ab1954	11-stellig	8-stellig	15-stellig	60.000

Die Curta´s waren in den fünfziger und sechziger Jahren an den deutschen Universitäten im Rahmern der mathematisch-naturwissenschaftlichen bzw. ingenieurswissenschaftlichen Ausbildung stark verbreitet. Der Autor selbst mußte 1965 seine Übungen zur Vorlesung „Numerischen Mathematik“ mit einer von der Universität gestellten Curta-Typ-I lösen.

Die Curta besteht auf den ersten Blick aus drei Hauptteilen, den zylindrischen Grundkörper mit dem 8-stelligen (oder 11-stelligen) Einstellwerk, der Antriebskurbel und dem Rundwagen, an dessen oberer ebenen Stirnfläche die Ziffern der Zählwerke sichtbar sind.

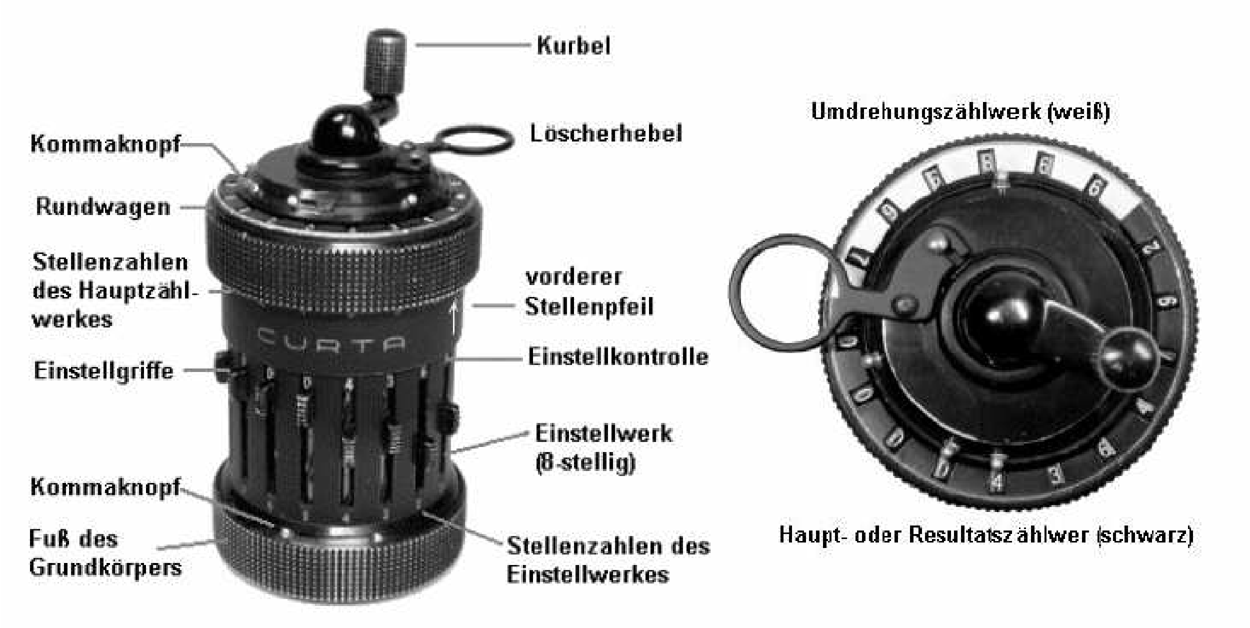


Abb. 8.15 Komponenten der Curta (Typ I)

Die im Einstellwerk eingestellte Zahl wird durch Drehen der Kurbel so oft in das Hauptzählwerk übertragen, wie Umdrehungen gemacht werden. Die Anzahl der Kurbeldrehungen zeigt das Umdrehungszählwerk.

Das Einstellwerk

Das Einstellwerk weist acht Einstellschieber auf, deren Griffe aus den Schlitzen im Mantel des Grundkörpers herausragen. Die Einstellgriffe haben ihre Nullstellung an den oberen Schlitzenden. Zahlen können eingestellt werden, indem die Schieberegler - je nach gewünschter Zahl - nach unten gezogen werden. Um das Einstellwerk zu löschen, werden die Einstellgriffe einfach nach oben geschoben. Bei jedem Schlitz ist die zugehörige Stellenzahl (entsprechend Einer, Zehner, Hunderter usw.), von rechts mit 1 beginnend, in den Grundkörper eingraviert. Unterhalb der Schlitze befinden sich im Fuße des Grundkörpers, in einer Führungsnut verschiebbar, drei weiße Kommaknöpfe zur Speicherung des Dezimalkommas und der Tausenderintervalle.

Die Kurbel

Die Übertragung einer eingestellten Zahl in das Hauptzählwerk erfolgt stets durch eine volle Kurbeldrehung im Uhrzeigersinn, wobei die Kurbel in ihrer Grundstellung deutlich fühlbar in eine Rast einschnappt. Die Kurbel ist nur in der Grundstellung axial verschiebbar und rastet in einer oberen und in einer unteren Stellung ein. Dreht man sie in ihrer unteren Stellung einmal im Uhrzeigersinn, dann wird die eingestellte Zahl zu der im Hauptzählwerk befindlichen hinzugezählt (additive Drehung). Eine Umdrehung in der oberen Kurbelstellung, gleichfalls im Uhrzeigersinn, bewirkt eine Verminderung um die eingestellte Zahl (subtraktive Drehung). Ein Hochziehen oder Niederdrücken der Kurbel während der Drehung ist infolge einer eingebauten Sperre unmöglich.

Die Zählwerke

Im 11-stelligen Hauptzählwerk erfolgt die Bildung der Summen, Produkte und Differenzen. Seine einzelnen Stellen sind durch die in den unteren schrägen Rand des Rundwagens eingravierten Stellenzahlen mit 1 bis 11 durchnumeriert. Das 6-stellige Umdrehungszählwerk, das die Anzahl der Kurbeldrehungen festhält, braucht man z.B. bei der Addition, um die Posten zu zählen, vor allem aber bei der Multiplikation zur sichtbaren Kontrolle des Multiplikators. Fünf weiße Kommaknöpfe für die beiden Zählwerke sind in einer Führungsnut verschiebbar angeordnet. Sowohl das Hauptzählwerk, als auch das Umdrehungszählwerk der Curta ist mit einem durchgehenden Zehnerübertragung ausgestattet.

Die Versetzung des Rundwagens

Befindet sich die Kurbel in der Grundstellung, dann läßt sich der Rundwagen anheben und um eine Achse der Maschine innerhalb eines Winkels von ca. 100° drehen. In bestimmten Stellungen rastet er ein, und zwar dann, wenn der in den Grundkörper eingravierte weiße Stellenpfeil auf eine der Stellenziffern des Hauptzählwerkes hinweist. Zeigt der Pfeil auf Ziffer 1, dann wird der einfache Betrag der eingestellten Zahl übertragen, bei 2 der zehnfache, bei 3 der hundertfache Betrag usw. Die Anzahl der Kurbeldrehungen wird dabei an der gleichwertigen Stelle des Umdrehungszählwerkes angezeigt. Entsprechend den sechs Stellen des Umdrehungszählwerkes ist die Versetzung innerhalb der Stellen 1 bis 6 möglich. Die Versetzung ist unter anderem bei der Multiplikation mit mehrstelligen Multiplikatoren zur Bildung der einzelnen Teilprodukte notwendig.

Die Löschung der Zählwerke

Die in den Zählwerken stehenden Zahlen können jederzeit durch Betätigung des Löscherringes gelöscht werden. Bei Aufbewahrung der Maschine in der Schutzhülse ist dieser Ring eingeschwenkt. Man bringt ihn durch Ausschwenken in die Gebrauchslage, in der er automatisch arretiert wird. Um ihn wieder einschwenken zu können, drückt man auf einen Auslöseknopf und führt gleichzeitig die Schwenkbewegung aus.

Die Einzelschritte, die zur Durchführung einer Addition mit Hilfe der Curta nacheinander notwendig sind, werden im folgenden am Beispiel

$$237 + 419 = 656$$

erläutert:

1. Maschine startklar machen
2. Einstellwerk: mit den Griffen 1 bis 3 im Einstellwerk die Zahl 237 einstellen
3. Kurbel: 1 additive Drehung

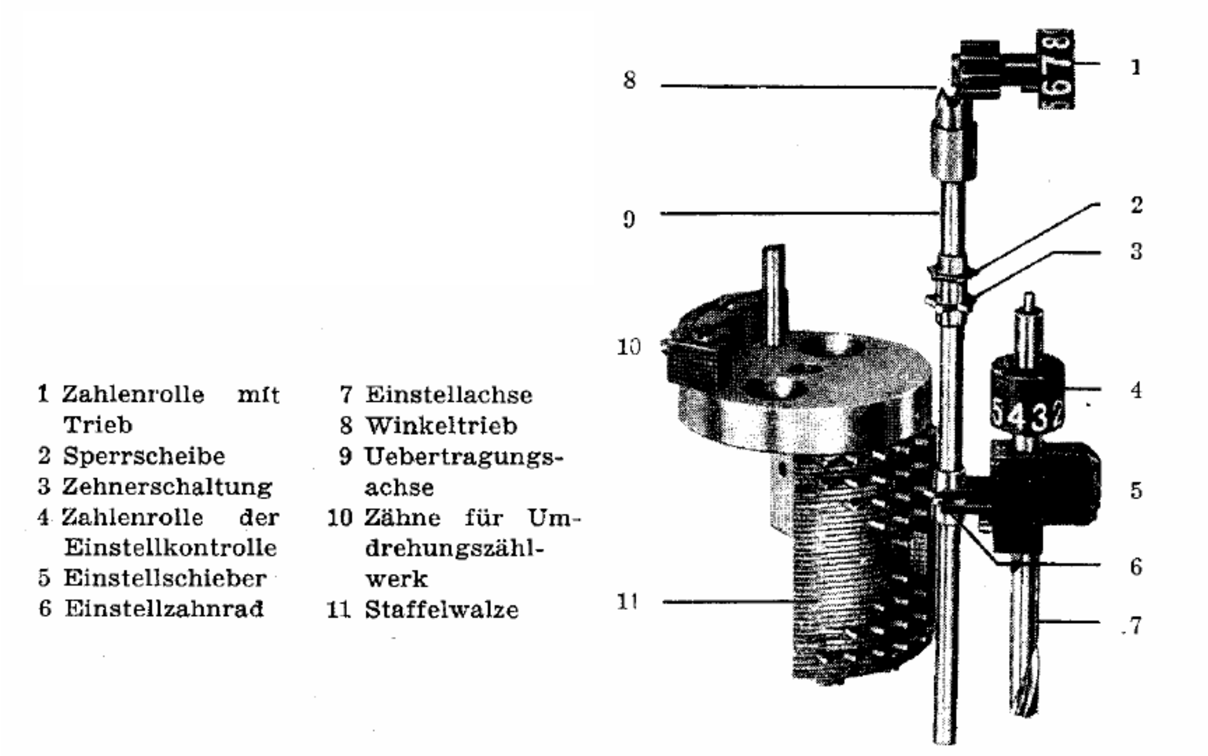


Abb. 8.16 Blick in das Innere der Curta

4. Einstellwerk: mit den Griffen 1 bis 3 im Einstellwerk die Zahl 419 einstellen (Die Griffe brauchen nicht erst auf Null zurückgestellt zu werden; es genügt, jeden Griff einfach zu verstellen, bis die gewünschte Ziffer im Kontrollfenster steht)
5. Kurbel: 1 additive Drehung

Im Resultatzählwerk erscheint als Ergebnis 656

Die Einzelschritte, die zur Durchführung einer Subtraktion mit Hilfe der Curta nacheinander notwendig sind, werden im folgenden am Beispiel

139 -78 = 61

erläutert:

1. Maschine rechenklar machen
2. Einstellwerk: mit den Griffen 1 bis 3 im Einstellwerk die Zahl 139 einstellen
3. Kurbel: 1 additive Drehung
4. Einstellwerk: Griffe 1 und 2 im Einstellwerk auf 78; Griff 3 auf 0
5. Kurbel: 1 subtraktive Drehung (mit der Kurbel in hochgezogener Stellung).

Im Resultatzählwerk erscheint als Ergebnis 61

Die Einzelschritte, die zur Durchführung einer Multiplikation mit Hilfe der Curta nacheinander notwendig sind, werden im folgenden am Beispiel

54 x 3 = 162

erläutert:

1. Maschine rechenklar machen
2. Einstellwerk: im Einstellwerk mit Griff 1 die «4» und mit Griff 2 die «5» einstellen: 54.
3. Kurbel: jede Kurbeldrehung überträgt die eingestellte Zahl einmal in das Resultatzählwerk. Der Multiplikator 3 wird also mit 3 additiven Kurbeldrehungen entwickelt (untere oder Normalstellung der Kurbel)

Im Resultatzählwerk erscheint als Ergebnis 162

Die Einzelschritte, die zur Durchführung einer Division mit Hilfe der Curta nacheinander notwendig sind, werden im folgenden am Beispiel

$$42 : 7 = 6$$

erläutert:

Der Divisor 7 wird in das Einstellwerk eingestellt, und es werden additive Kurbeldrehungen ausgeführt, bis der Dividend im Resultatzählwerk aufgebaut ist ((Dividend) : (Divisor) = (Quotient)). Das Umdrehungszählwerk zeigt die Anzahl der Kurbeldrehungen an und damit wie oft der Divisor im Dividenden enthalten ist, also den Quotienten.

1. Maschine rechenklar machen
2. Einstellwerk: mit Griff 1 im Einstellwerk die Zahl «7» (Divisor) einstellen.
3. Kurbel: bei gleichzeitiger Beobachtung des Resultatzählwerkes additive Drehungen ausführen, bis im Resultatzählwerk der Dividend 42 erschienen ist. (Ist die Zahl des Dividenden im Resultatzählwerk überschritten worden, z. B. 49, so ist jedesmal unverzüglich eine subtraktive Kurbeldrehung zu vollziehen.) Sobald die Zahl 42 im Resultatzählwerk erschienen ist, kann im Umdrehungszählwerk der Quotient 6 abgelesen werden.

Die Maschinen von Odhner

Die Erfindung des Sprossenradsystems geht auf Willgodt Theorphil Odhner zurück. Er wurde 1845 in Westby im schwedischen Varmland geboren. Sein Vater war vom Verwalter eines Eisenwerks zum Sekretär des „Allgemeinen Vermessungsbüros“ avanciert. Er absolvierte eine Ausbildung zum Ingenieur und fand eine Anstellung in den Werkstätten von Ludwig Nobel in St. Petersburg.
Da ihn seine Erfahrungen mit einer Thomas-Maschine nicht befriedigten, entstand in ihm die Idee der Konstruktion einer Rechenmaschine, die kleiner, leichter, zuverlässiger und billiger sein sollte. Hierzu sollte die Herstellung möglichst ohne Handarbeit, sondern durch den Einsatz spezieller Werkzeugmaschinen realisiert werden. Daher entwickelte er nicht nur das Sprossenradsystem und eine hierauf aufbaute Rechenmaschine, sondern die entsprechender Werkzeuge und Fertigungseinrichtungen.

Odhner konnte 1877 mit Nobel ein Abkommen schließen, welches ihm die Möglichkeit erschloß, die Entwicklung in einer Fabrikhalle von Nobel durchzuführen. Aber erst 1886 begann die Fertigung in der im Jahre 1980 gegründeten „Maschinenfabrik W. T. Odhner“. Diese kleine Fabrik stellte neben der Rechenmaschine auch andere Produkte her. Die starke Nachfrage nach den Rechenmaschinen ermöglichte der Firma zu expandieren und auch andere Produkte zu entwickeln. Bereits 1894 entstand neben dem alten Fabrikgebäude eine neue Fabrik. Neben den Rechenmaschinen wurden dort Druckmaschinen, Düsen für Ölbrenner und Phonographengetriebe produziert.

Odhner starb 1905 in St. Petersburg. Im Revolutionsjahr 1917 wurde die Firma nach Schweden verlegt. Während der Produktionszeit in St. Petersburg schloß Odhner viele Lizenzverträge auf sein Patent ab. Dies führte dazu, daß in vielen Ländern Rechenmaschinen produziert wurden, die auf dem Patent von Odhner beruhen. Auch in der Sowjetunion wurden bis in die Mitte der fünfziger Jahre Odhner-Maschinen nachgebaut, allerdings ohne offizielle Lizenz.

Die Brunsviga-Maschinen

Die Patent- und Lizenzrechte für Odhner-Maschinen hatte sich für Deutschland die Firma „Königsberger & Co.“ gesichert. Da sie selbst über keine geeignete Produktionsstätten verfügte, bot sie sie auf einer Tagung der deutschen Nähmaschinenfabrikanten im Frühjahr des Jahre 1892 in Hamburg zum Weitererwerb an. Der einzige Interessent war der Ingenieur Franz Trinks von der „Nähmaschinenfabrik Grimme, Natalis & Co.“ Aus Braunschweig. Er sah hier eine Möglichkeit, die angeschlagene Firma zu sanieren und setzte gegeninternen Widerstand durch, daß die Patente und Lizenzen erworben wurden.
Im April 1892 wurden die Verträge unterzeichnet und bereits nach einigen Monaten konnte Trinks die in Braunschweig nachgebaute Maschine unter der Bezeichnung Brunsviga vorführen. Es handelte sich um die erste in Deutschland hergestellte Sprossenradmaschine.
Die Übernahme der Rechte kostete 10 000 Reichsmark. Außerdem waren 10 Mark Lizenz für jede verkaufte Maschine zu zahlen. Die Vertriebsrechte galten für Deutschland, Belgien und Schweiz.

Trinks trieb die Weiterentwicklung der Brunsviga zügig voran. Nur ein Jahr lang wurde die Brunsviga als reine Kopie der Original-Odhner nachgebaut. Insbesondere der Einbau von Sicherungsmaßnahmen gegen fehlerhafte Bedienung wurde vorrangetrieben. So sorgte beispielsweise eine Vorrichtung dafür, daß die Kurbel immer vollständig gedreht wurde, weil die Maschine sonst ein falsches Ergebnis anzeigte. Es dauerte allerdings fast zehn Jahre, bis die laufenden Verbesserungen zu einer Maschine führten, bei der Fehlbedienungen fast ausgeschlossen waren.

Die Hamann-Maschinen

Ein weiterer bedeutender deutscher Konstrukteur mechanischer Rechenmaschinen war der 1870 im Oldenburgischen Hammelwarden geborene Christel Hamann. Als 26jähriger gründet er eine eigene Firma, die mechanische Geräte herstellte.
Um die Jahrhundertwende nahm er die Konstruktion von digitalen „Ziffernrechenmaschinen“ auf. Den ersten Erfolg bescherte ihm eine Kleinrechenmaschine, die auf einem von ihm abgewandelten Staffelwalzensystem beruhte. Im Jahre 1900 präsentierte er sie unter dem Namen Gauß. Auf der Weltausstellung in Paris wurde sie mit einer Goldmedaille prämiert. Ihre fabrikmäßige Konstruktion begann 1905. Vertrieben wurde sie durch das Versandhaus R. Reiß in Liebenwerde unter dem Namen Mercedes. Insgesamt wurden ungefähr 1000 Exemplare hergestellt.
In den Jahren 1902 und 1903 entwickelte Hamann ein neues Schaltelement, welcher er als „Proportionalhebel“ bezeichnete. Der erste Einsatz dieser neuen Technik erfolgte in der seit 1903 in rund 500 Exemplaren hergestellten kleinen Zehn-Tasten-Addiermaschine Plus.

Auf dem Prinzip der Proportionalhebels aufbauend entstand 1903 auch das Versuchsmuster einer großen Vierspeziesmaschine. Ihren Einsatz fand diese Maschine in einem Bankhaus. Danach wurde sie über drei Jahrzehnte land unter dem Namen Euklid produziert.

Den Prototypen einer schreibenden Addiermaschine mit Volltastatur stellte Hamann 1906 vor. Die Maschine und die zugehörigen Patente verkaufte er ins Ausland, wo sie eine Zeitland in Serie produziert wurde.

Noch vor Kriegsausbruch erschienen 1914 die Modelle 7 und 8 als erste „Vollautomaten“ der Welt mit Handantrieb oder Elektromotor. Eine derartige Maschine erlaubte es, Multiplikation und Division mehrstelliger Zahlen nach deren Einstellung an einem Strich laufen zu lassen. Ferner arbeitete Hamann auch an der Konstruktion anderer Rechenmaschinen. Bekannt wurde der Bau einer Differenzenmaschine, einer weiteren Vierspeziesmaschine mit Druckwerk und einer eigenwilligen Addiermaschine mit dem Namen Adam Riese. Ein größerer Erfolg war der Taschenaddierapparat Mercedes-Trick. Hiervon gab es auch eine Variante für englische Währung. Kurz vor Kriegsausbruch entstand noch eine weitere Vierspeziesmaschine mit dem Namen Logarithmus. Diese Maschine, von der nur ein Exemplar gebaut wurde, besaß zwei als Doppellineal ausgeführte Resultatwerte.

Multiplikationsmaschinen

Abbildungsverzeichnis

Literaturverzeichnis

1) De Beauclair,W.:
Rechnen mit Maschinen - Eine Bildgeschichte der Rechentechnik,
Friedrich Vieweg und Sohn,
Braunschweig, 1968
2) Catalog of the Scientific Community
3) Meyer zur Capellen, W.:
Mathematische Instrumente,
Akademische Verlagsgesellschaft Becker und Erler,
Leipzig,1941
4) Von Freitag - Löringhoff, B.:
Über die erste Rechenmaschine,
Physikalische Blä tter 14, 361-365, 1958

9 Codes und Chiffriermaschinen

9.1 Historische Grundlagen

9.2 Chiffren und Codes

9.3 Chiffrierwerkzeuge und Chiffriergeräte

9.3.1 Die Skytale

Das älteste bekannte militärische Verschlüsselungswerkzeug dürfte die *Skytale sein*. Sie wurde bereits im 5.Jahrhundert v.Chr. von den Spartanern zur Übermittlung geheimer Botschaften benutzt. Sie bestand aus einem einfachen (Holz-)Stab mit einem bestimmten Durchmesser.

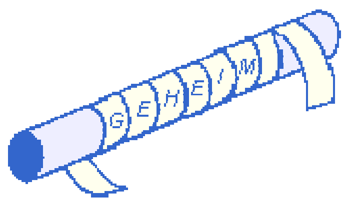


Abb. 9. links: unbeschriftete Skytale
rechts: mit der Botschaft “GEHEIM“ beschriftete Skytale

Sender und Empfänger besaßen einen identischen Stab. Der Sender einer Nachricht umwickelte spiralförmig seinen Stab mit einem Streifen Leder oder Pergament. Dann schrieb er Buchstaben für Buchstaben auf den umwickelten Streifen. Anschließend wurde das Pergament oder Leder wieder abgewickelt, so daß die Buchstaben in einem , die nun durcheinander standen, keinen Sinn zu ergeben schienen. Die Nachricht wurde dann ohne den Holzstab an den Empfänger übermittelt, der zur Entschlüsselung seinen eigenen Holzstab mit gleichem Durchmesser brauchte. Der Durchmesser des Stabes ist somit der geheime Schlüssel bei diesem Verschlüsselungsverfahren. Die Skytale gehört zu den Transpositionsverfahren.

Sie taucht in der Geschichtsschreibung zum ersten Mal bei Plutarch auf. Dieser schreibt, daß der Oberkommandeur der spartanischen Flotte, General Lysander im Peloponnesischen Krieg (Krieg von 431 v.Chr. bis 404 v.Chr. zwischen dem Attischen Seebund unter der Führung Athens und dem Peloponnesischen Bund unter der Führung Spartas, der mit einem Sieg der Spartaner endete) seine militärischen Botschaften mit Hilfe der Skytale verschlüsselte.

9.3.2 Die Chiffrierscheibe von Alberti

Leon Battista Alberti war ein italienischer Schriftsteller, Architekt, Humanist und Mathematiker, der von 1404 bis 1472 lebte. Die Idee Albertis beruhte auf der Verbesserung der Caesarverschiebung. Namensgeber dieses Verfahrens war der römische Feldherr und spätere Alleinherrscher Gajus Julius Caesar, der militärische Nachrichten im Gallischen Krieg folgendermaßen verschlüsselte: Er ersetzte die Buchstaben des römischen Alphabetes einfach durch die des griechischen Alphabetes, um sie für den Feind unleserlich zu machen. Hierbei handelte es sich also um ein monoalphabetisches Substitutionsverfahren.

Abb. 9
Leon Alberti

Leon Alberti mechanisierte dieses Verfahren und machte aus der monoalphabetischen- eine polyalphabetische Substitution. Er ersetzte die Buchstaben des Klartextalphabetes also nicht mehr durch ein anderes Alphabet, sondern durch zwei- oder mehrere andere Alphabete. Um die Verschlüsselung zu vereinfachen, erfand er eine Chiffrierscheibe. Sie bestand aus zwei Kupferscheiben unterschiedlicher Größe, die übereinander lagen und gegeneinander gedreht werden konnten. Auf beiden Scheiben war das Alphabet geprägt, so daß die beiden Alphabete in jede beliebige Stellung gegeneinander gebracht werden konnten. Möchte man einen Klartext mittels der Caesarverschlüsselung codieren, verschiebt man das äußere A über das innere C, um so beispielsweise eine Verschiebung um 2 Stellen zu erreichen. Auf diesem Prinzip beruhende Chiffrierscheiben wurden noch im Amerikanischen Bürgerkrieg eingesetzt.

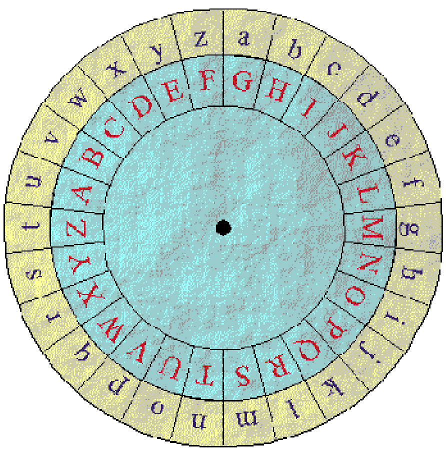


Abb. 9. links: Chiffrierscheibe mit einer um 6 Stellen verschobene Caesarverschiebung

rechts: Chiffrierscheibe der Südstaatenarmee im amerikanischen Bürgerkrieg

9.4 Die Chiffriermaschine Enigma

9.4.1 Vorgeschichte

9.4.2 Aufbau der Maschine

Abb 9. Die Chiffriermaschine Enigma

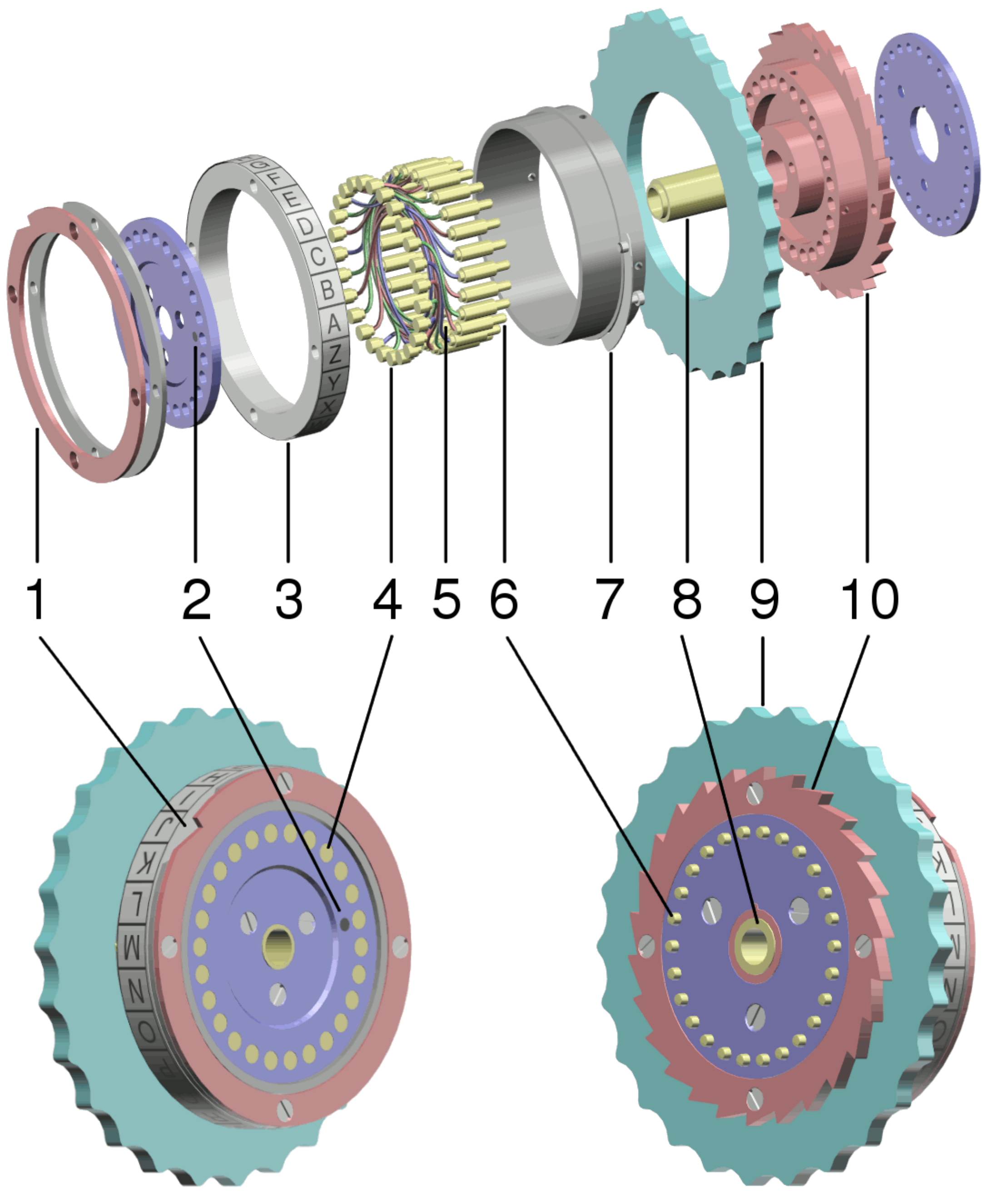


Abb. 9 Aufbau einer Enigma-Walze

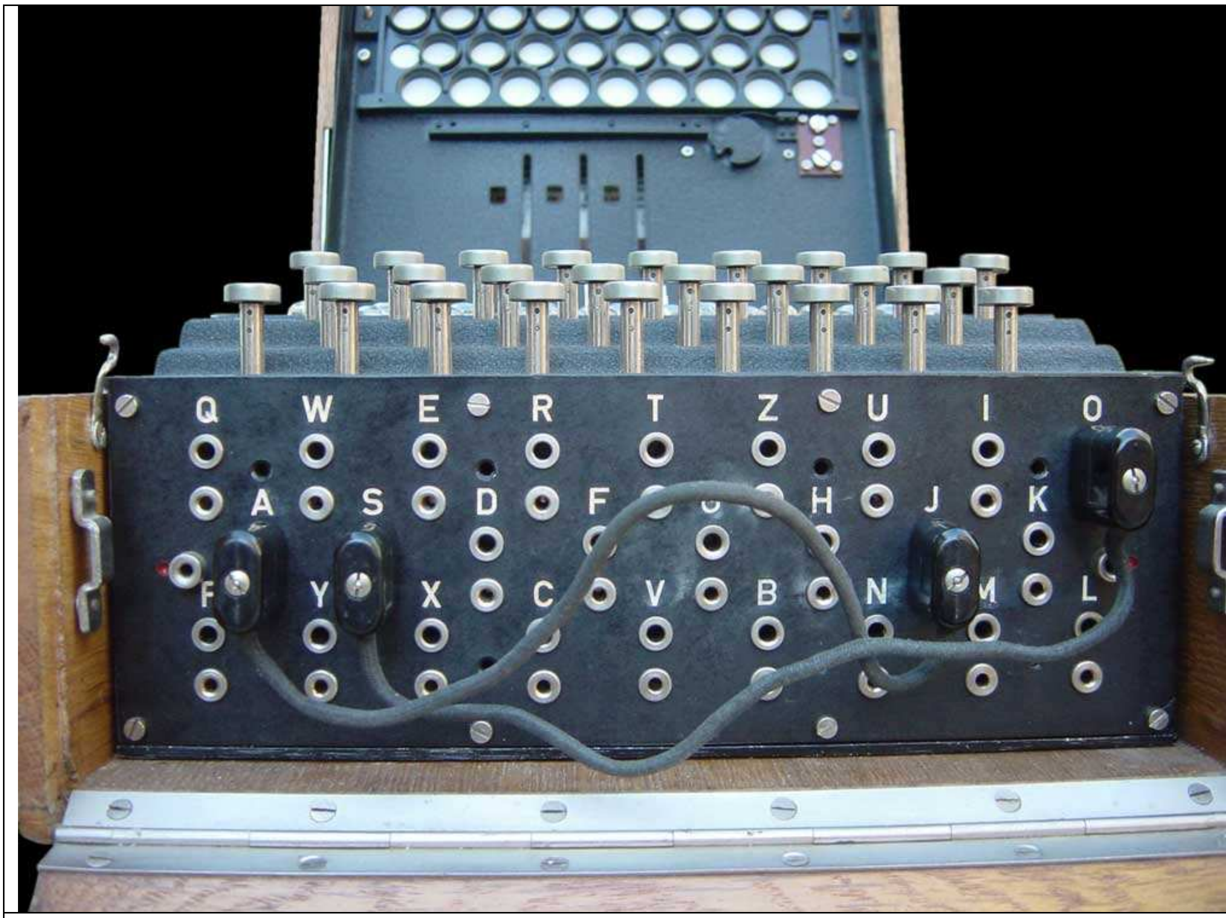


Abb. 9. Das Steckerbrett

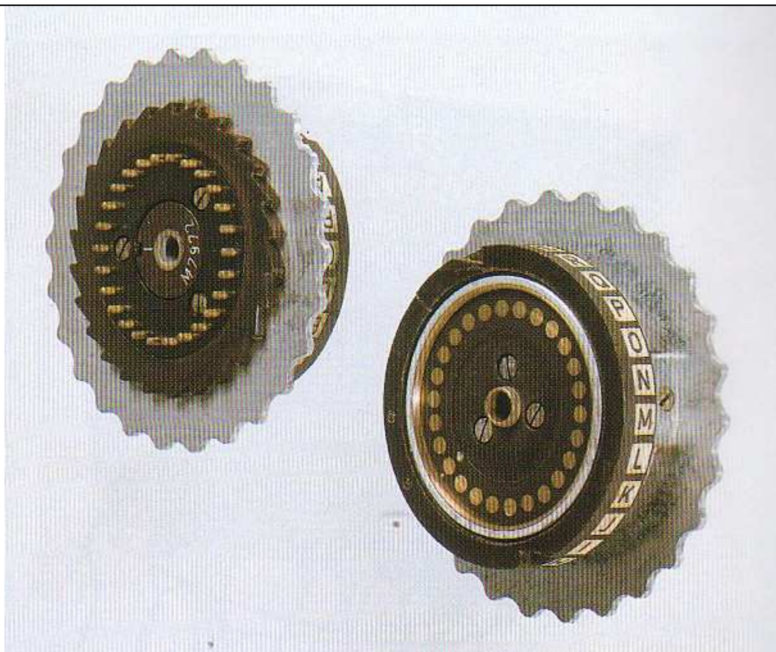


Abb. 9. Walzen I und VIII

9.4.3 Handhabung

9.4.4 Die Entschlüsselung der Enigma

9.4.4.1 Die Anfänge im Büro Szyfrów

Auch nach Ende des Ersten Weltkriegs überwachten die westlichen Alliierten den deutschen Funkverkehr. Die Schlüsselmittel der Deutschen waren ihnen bekannt, so daß die abgehörten Funksprüche binnen kurzer Zeit entschlüsselt werden konnten. Ab 1926 gelang es den Alliierten jedoch immer seltener den deutschen Funkverkehr zu dechiffrieren, da auf deutscher Seite vermehrt die Enigma-Chiffriermaschine zum Einsatz kam. Die westlichen Alliierten sahen sich zu dieser Zeit jedoch in keinster Weise vom Deutschen Reich bedroht, da dessen militärischer Schlagkraft mit den Versailler Verträgen enge Grenzen gesetzt waren.

Lediglich Polen sah seine gerade neu gewonnene Unabhängigkeit durch das Deutsche Reich im Westen und die Sowjetunion im Osten bald gefährdet. Aus diesem Grunde unternahm Polen verstärkte Anstrengungen, mit der Enigma verschlüsselte Nachrichten dechiffrieren zu können. In Warschau bestand bereits seit Ende des Ersten Weltkriegs ein Dechiffrierdienst, das sog. *Biuro Szyfrów*. Dort war man sich darüber im Klaren, daß es insbesondere mathematischer Fähigkeiten bedürfe, um die Verschlüsselung der Enigma zu brechen. Gefragt waren also deutschsprachige Mathematiker, die sich in die Dienste des Biuro Szyfrów stellen würden. Zur Rekrutierung geeigneter neuer Mitarbeiter veranstaltete das Biuro 1932 einen geheimen Kryptographie-Lehrgang zu dem 20 deutschsprachige polnische Mathematiker geladen wurden.

Abb. 9. Marian Rejewski

Zusammen mit seinen Mathematiker-Kollegen Jerzy Rozycki und Henryk Zygalski erwies sich insbesondere Marian Rejewski als der vielversprechendste Kandidat. Geboren wurde Marian Rejewski 1905 in Bydgoszcz (Polen). Er studierte ab 1923 Mathematik an der Adam-Mickiewicz-Universität in Posen, wo er später auch eine Assistentenstelle besetzte. Nach seinem Abschluß ging Marian Rejewski für ein Jahr nach Göttingen und studierte Versicherungsmathematik. Nach seiner Rückkehr lehrte er an der Universität von Posen.

Um das Geheimnis der Enigma-Verschlüsselung zu enträtseln, bemühte sich das Biuro Szyfrów zunächst um Informationen zur Funktionsweise der Maschine. So erwarb man über einen schwedischen Kontaktmann eine zivile Version der Enigma, die es zum Preis von 600 RM regulär zu kaufen gab. Zwar konnten damit die generellen Funktionsprinzipien der Verschlüsselungsmaschine studiert werden, die Verdrahtung der Walzen der Zivilversion unterschied sich jedoch von der bei der Reichswehr eingesetzten Enigma.

Im Jahre 1928 kam dem Biuro Szyfrów der Zufall zur Hilfe. Das Auswärtige Amt in Berlin versendete eine neue Enigma für die deutsche Botschaft in Warschau irrtümlich als gewöhnliches Frachtgut - und nicht als sicheres Diplomatengepäck. Dem polnischen militärischen Abwehrdienst gelang es, diese Maschine abzufangen und ein Wochenende lang unbemerkt zu untersuchen.

9.4.4.2 Die Spionagetätigkeit von Hans-Thilo Schmidt

Im Jahre 1931 nahm Hans-Thilo Schmidt, ein Mitarbeiter der Berliner Chiffrierstelle des deutschen Reichswehrministeriums, Kontakt zur französischen Abwehr auf. Der 1888 geborene Schmidt hatte zunächst eine Laufbahn im deutschen Heer eingeschlagen und auch im Ersten Weltkrieg gedient. Nach dem Krieg fand seine militärische Karriere jedoch ein jähes Ende, als er aus dem, im Zuge der Versailler Verträge stark reduzierten, Heer entlassen wurde. Er setzte seinen Werdegang als Seifenfabrikant fort, scheiterte jedoch im inflationsgeschüttelten Nachkriegsdeutschland. Als Hans-Thilo Schmidt nun mittellos dastand, griff ihm sein erfolgreicherer Bruder Rudolph unter die Arme. Rudolph Schmidt war Stabschef im Fernmeldekorps und beschaffte seinem Bruder eine Stelle in der Berliner Chiffrierstelle, wo streng geheime Informationen zur Enigma über die Schreibtische gingen.

Von der französischen Abwehr erhielt Schmidt die Tarnbezeichnung „HE“, französisch gesprochen wie das deutsche Wort „Asche“. Im November 1938 gelangten über Schmidt die „Gebrauchsanweisung für die Chiffriermaschine Enigma“ und die „Schlüsselanleitung für die Chiffriermaschine Enigma“ in die Hände der Franzosen. Weitere Informationen von Schmidt hätten der französischen Abwehr gar einen Nachbau der Enigma möglich gemacht, von dem diese jedoch absah, da sie den Folgeschritt, nämlich das „Brechen“ des Enigma-Codes für unmöglich hielt. Da Frankreich ein Kooperationsabkommen mit Polen geschlossen hatte, wurden die gesammelten Informationen zur Enigma bereits im Dezember 1932 an Polen weitergegeben. Das Biuro Szyfrów konnte mittels des aus Frankreich erhaltenen Materials archivierte deutsche Funksprüche entschlüsseln und die Verdrahtung der Walzen herausfinden. Auch wurden in Polen mehrere Kopien der Heeres-Enigma nachgebaut. Die wesentlichsten Verdienste hatte hierbei Marian Rejewski.

9.4.4.3 Rajewskis Strategie

Rejewski wählte als Angriffspunkt zum Brechen des Enigma-Codes die doppelte Übermittlung des Spruchschlüssels zu Beginn jeder Nachricht. Hier wiederholten sich zwei identische Klartext-Dreiergruppen, die am ehesten eine angreifbare Ordnung resp. Regelmäßigkeit erkennen ließen.

Rejewskis Angriffsstrategie sei anhand folgenden Beispiels verdeutlicht:

	1.	2.	3.	4.	5.	6. Buchstabe
1. Funkspruch:	L	O	K	R	G	M
2. Funkspruch:	M	V	T	X	Z	E
3. Funkspruch:	J	K	T	M	P	E
4. Funkspruch:	D	V	Y	P	Z	X

Da hier zwei identische Klartext-Dreiergruppen mit demselben Tagesschlüssel chiffriert wurden, sind der erste und vierte Geheimbuchstabe Verschlüsselungen des selben Klarbuchstabens. Im ersten Funkspruch sind also L und R Verschlüsselungen des gleichen Klarbuchstabens. Gleiches gilt für den zweiten und fünften, sowie den dritten und sechsten

Geheimbuchstaben; auch diese Geheimbuchstabenpaare gehen jeweils auf den gleichen Klarbuchstaben zurück.

Auch wenn Rejewski die Grundstellung der Maschine nicht bekannt war, so spiegelte sich diese in darin wieder, daß sie den ersten Klarbuchstaben als L und drei Schritte später den gleichen Klarbuchstaben als R verschlüsselte. Nimmt man den zweiten Funkspruch des obigen Beispiels hinzu, so ergibt sich eine Beziehung zwischen M und X, beim dritten zwischen J und M und beim vierten zwischen D und P.

Auch wenn Rejewski die Grundstellung der Maschine nicht bekannt war, so spiegelte sich diese in darin wieder, daß sie den ersten Klarbuchstaben als L und drei Schritte später den gleichen Klarbuchstaben als R verschlüsselte. Nimmt man den zweiten Funkspruch des obigen Beispiels hinzu, so ergibt sich eine Beziehung zwischen M und X, beim dritten zwischen J und M und beim vierten zwischen D und P.

Rejewski stellte nun eine Tabelle dieser Beziehungsmuster auf:

Beziehungsmuster in den Buchstabenfolgen

```
1. Buchstabe  ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ
4. Buchstabe     P     M RX
```

Lieferte der Abhördienst ausreichend Funksprüche, so konnte Rejewski die Tabelle vervollständigen:

Vollständiges Beziehungsmuster

```
1. Buchstabe  ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ
4. Buchstabe  FQHPLWOGBMVRXUYCZITNJEASDK
```

Rejewski kannte den Tagesschlüssel nicht und hatte auch keine Ahnung welche Spruchschlüssel gewählt worden waren, doch er wußte, daß sie, mit dem Tagesschlüssel chiffriert, diese Beziehungstabelle ergaben. Wäre der Tagesschlüssel anders gewesen, dann hätte auch die Tabelle völlig anders ausgesehen.

Im nächsten Schritt begann Rejewski nach Buchstabenketten in den Beziehungsmustern zu suchen. So besteht in obiger Beispieltabelle eine Beziehung von A zu F. Sucht man sich nun in der oberen Reihe das F, so erkennt man eine Verknüpfung zu W und danach von W wiederum zu A. Es ergibt sich also eine geschlossene Kette. Rejewski suchte nun bei den weiteren Buchstaben ebenfalls nach solchen Ketten. Er schrieb sie auf und achtete auf die Anzahl ihrer Verknüpfungen.

So fand er die folgenden Buchstabenketten:

A→F→W→A	3 Verknüpfungen
B→Q→Z→K→V→E→L→R→I→B	9 Verknüpfungen
C→H→G→O→Y→D→P→C	7 Verknüpfungen
J→M→X→S→T→N→U→J	7 Verknüpfungen

Im Beispiel wurden bisher nur die Beziehungen zwischen den ersten und vierten Geheimbuchstaben einbezogen. Rejewski wandte sein Verfahren nun ebenso auf die zweiten/fünften und dritten/sechsten Buchstaben an. Dabei stellte er fest, daß sich die Ketten jeden Tag änderten. Manchmal gab es viele kurze und manchmal wenige lange Ketten. Rejewski erkannte, daß die Eigenschaften der Ketten eine Folge des jeweiligen Tagesschlüssels waren, also dem Zusammenwirken von Walzenlage, Walzenstellung und Steckerbrett. Doch wie ließ sich genau einer der möglichen $1{,}058 \cdot 10^{16}$ Tagesschlüssel aus den Ketteneigenschaften ermitteln?

Rejewski kam zu der bahnbrechenden Erkenntnis, daß sich die Beiträge des Steckerbretts und der Walzenkonfiguration zu den Ketteneigenschaften auseinanderhalten lassen. Die Anzahl an Ketten und Verknüpfungen hing nämlich nur von der Walzenkonfiguration ab. Änderungen am Steckerbrett beeinflußten hingegen nur die Position der Buchstaben innerhalb der Ketten.

Damit hatte Rejewski ein separat lösbares Teilproblem auf dem Weg zum Tagesschlüssel erdacht: er konnte die Zahl der Walzenkonfigurationen (6 · 17.576 = 105.456 Walzenlagen · Walzenstellungen) getrennt von den Steckerbrettkonfigurationen (100.391.791.500) bearbeiten, wodurch sie die Komplexität des Suchverfahrens drastisch verringerte.

Rejewski ließ im Biuro Szyfrów mittels Enigma-Nachbauten und sog. Zyklometern einen Katalog für die Ketteneigenschaften jeder einzelnen Walzenkonfiguration erstellen. Es dauerte etwa ein Jahr, bis dieser Katalog von Hand zusammengestellt war. Anschließend konnte Rejewski aus den gesammelten Funksprüchen eines Tages die Buchstabenketten bilden und anhand ihrer Eigenschaften die Walzenkonfiguration im Katalog problemlos nachschlagen.

Nun fehlten Rejewski natürlich noch die gesetzten Steckerverbindungen, um Nachrichten zu entschlüsseln. Hierzu ging er intuitiv und experimentell vor. Zunächst stellte er die bekannte Walzenkonfiguration auf einem Enigma-Nachbau ein. Dann löste er alle Steckerbrettverbindungen, so daß diese keine Wirkung auf die Verschlüsselung hatten. Anschließend gab er die abgehörten Geheimtexte ein und suchte im „Buchstaben-Wirrwarr“ nach einigermaßen erkennbaren Wortgebilden. Beispielsweise sollte das Gebilde „ALKULFTILBERNIL“ vermutlich „ANKUNFTINBERLIN“ heißen. Dies bedeutet, daß N und L am Steckerbrett verbunden, also vertauscht sind. Die Buchstaben A,K,U,F,T,I,B,E und R sind am Steckerbrett hingegen nicht gesteckt. Sukzessive konnten mit dieser Methode die Steckverbindungen des Tagesschlüssels bestimmt werden. Zu Hilfe kam ihm hierbei, daß bei der Enigma nur sechs Kabel zur Verfügung standen und somit nicht alle Buchstaben sondern nur sechs Buchstabenpaare vertauscht werden konnten. So blieben bei jeder Botschaft einige Buchstaben unvertauscht erhalten und lieferten die Hinweise auf den möglichen Text.

Ab 1934 war Polen damit in der Lage, den kompletten deutschen Funkverkehr zu entschlüsseln und mitzulesen. Wenig später machte jedoch eine leichte Modifikation des Verfahrens der Nachrichtenübermittlung den bisherigen Katalog der Kettenlängen nutzlos. Rejewski läßt den Katalog jedoch nicht umschreiben, sondern konstruiert eine mechanische Version des Katalogsystems, die ähnlich der Enigma selbst arbeitete (sog. Bombe). Man baute in Polen sechs dieser Maschinen, die die sechs möglichen Walzenlagen parallel bearbeiten konnten. Mit Hilfe dieser technischen Ausstattung war es den Polen möglich, den Tagesschlüssel innerhalb von nur zwei Stunden zu ermitteln.

Während der ganzen Zeit (1931 – 1938) lieferte Hans-Thilo Schmidt fortwährend Dokumente über den Betrieb der Enigma. Insgesamt gab er 38 Monatsschlüsselbücher an die französische Abwehr, welche diese Informationen auch an Polen weiterleitete. Major Gwido Langer, der Direktor des polnischen Dechiffrierbüros, hielt die durch Spionage gewonnenen Kenntnisse deutscher Tagesschlüssel jedoch vor Rejewski geheim, um dessen Arbeitseifer zu fördern.

Langer ging nämlich zurecht davon aus, daß man sich im Falle eines Krieges auf weitere erfolgreiche Spionagetätigkeiten von Schmidt nicht verlassen könne.

9.4.4.4 Das Ende der polnischen Erfolge

Im Dezember 1938 führten die Deutschen zwei neue Enigma-Walzen ein, die mit den römischen Ziffern IV und V gekennzeichnet waren. Damit setzte sich die Walzenlage nun aus drei von fünf möglichen Walzen zusammen. Die Anzahl an möglichen Walzenlagen stieg damit von sechs auf 60. (Es gibt 10 Möglichkeiten drei Walzen aus fünf auszuwählen und weiterhin sechs Möglichkeiten zur Anordnung der ausgewählten Walzen in der Enigma).

Für das Biuro Szyfrów bedeutete dies, daß zunächst die Verdrahtung der beiden neuen Rotoren herauszufinden war. Das weitaus größere Problem bestand für Rejewski jedoch darin, daß nun 60 statt nur sechs mechanische Bomben nötig wurden, um jede Walzenlage darzustellen und die Walzenstellung zu berechnen. Der Bau einer solchen Anzahl an Bomben überstieg das Materialbudget des Biuro Szyfrów bei weitem.

Im Januar 1939 verschlechterte sich die Lage für die polnischen Dechiffreure weiter, da die deutschen Kryptographen die Zahl der Steckerkabel am Steckerbrett von sechs auf 10 erhöhten. Statt der bisher 12 Buchstaben wurden nun 20 Buchstaben vertauscht. Die Zahl der möglichen Schlüssel stieg damit auf $1{,}59 \cdot 10^{20}$. Mit diesen Umstellungen des deutschen Schlüsselsystems wurde der Anteil an entschlüsselten Funksprüchen im Biuro Szyfrów zusehends geringer. Zudem hatte auch der Spion Hans-Thilo Schmidt im Dezember 1938 seine Lieferungen eingestellt; genau zu dem Zeitpunkt, zu dem Rejewski nicht mehr in der Lage war, die Entschlüsselung eigenständig zu brechen.

Als Hitler am 27. April 1939 den Nichtangriffspakt mit Polen kündigte, war es den polnischen Dechiffreuren nicht möglich, den deutschen Funkverkehr mitzulesen und so den Zeitpunkt der drohenden Invasion in Erfahrung zu bringen. Major Gwido Langer, der Leiter der polnischen Dechiffrierstelle, beschloß daraufhin, die polnischen Erkenntnisse zur Enigma-Verschlüsselung an Frankreich und England weiterzugeben. Am 24 Juli 1939 besuchten denn auch französische und britische Kryptoanalytiker das Biuro Szyfrów in Warschau. Dort erhielten sie zwei Nachbauten der Enigma und die Baupläne der Bomben zur Errechnung der Walzenstellung. Man schätzt, daß zu diesem Zeitpunkt Polens Vorsprung in der Enigma-Dechiffrierung etwa ein ganzes Jahrzehnt betrug .

9.4.4.5 Bletchley Park

Nachdem die Polen bewiesen hatten, daß die Enigma-Verschlüsselung keineswegs unbezwingbar, sondern mit Mitteln der Mathematik (insbesondere mit statistischen Methoden) zu brechen war, rekrutierten die Briten vor allem Mathematiker und Naturwissenschaftler für ihre Dechiffrierabteilungen. Nahe Bletchley, etwa 70 km nördlich von London, requirierte die englische Regierung einen ehemaligen Herrensitz, auf dem sie ab August 1939 die Government Code and Cypher School (GC&CS) unter der Leitung von Commander Alistar Denniston unterbrachte. Zu Beginn arbeiteten nur etwa 200 Menschen in Bletchley Park, mit Fortschreiten des Krieges waren es später dann etwa 7000.[1] In Bletchley Park verfügte man also über ausreichend Personal und auch die finanziellen und technischen Mittel, um die deutsche Verschlüsselung trotz erhöhter Walzenzahl zu brechen.

Abb. 9. Bletchley Park

Mit der Einführung weiterer Walzen (VI, VII und später VIII) wurde die Dechiffrierung deutscher Funksprüche für die Mitarbeiter von Bletchley Park zusehends aufwendiger und rechenintensiver. Dennoch konnte Bletchley Park im April 1940 ein detailliertes Bild der deutschen Operationen bei der Besetzung Dänemarks und Norwegens liefern. Auch in der sog. Luftschlacht um England konnten die britischen Kryptoanalytiker häufig vor deutschen Bombenangriffen warnen und die Royal Air Force vorab über deutsche Einflüge informieren.

9.4.4.6 Alan Turings Erfolge

Der Mathematiker und Pionier der theoretischen Informatik Alan Turing verließ nach Kriegsausbruch seine Stelle an der Universität Cambridge und wechselte zum Dechiffrierdienst in Bletchley Park. Turings Aufgabe bestand hier insbesondere darin, eine Angriffslinie gegen die Enigma, abseits der Wiederholungen im Spruchschlüssel aufzubauen. Man rechnete nämlich damit, daß die deutschen Kryptographen diese Sicherheitslücke, bestehend aus der Doppelübermittlung von zwei identischen Dreiergruppen, erkennen und schließen würden. So geschah es denn auch ab Mai 1940, als die hilfreichen sechs Zeichen zu Beginn jedes Funkspruchs plötzlich verschwanden.

In Bletchley Park verfügte man über eine sehr große Sammlung dechiffrierter deutscher Funksprüche. Turing stellte fest, daß viele von ihnen eine strenge inhaltliche Ordnung aufwiesen. So konnte er den Inhalt unentschlüsselter Meldungen zumindest zum Teil voraussagen, so er ihre Sendezeit und –quelle kannte. Beispielsweise sendeten die Deutschen um kurz nach 6 Uhr morgens regelmäßig einen Wetterbericht. Funksprüche, die also zu dieser Zeit aufgefangen wurden, enthielten also mit höchster Wahrscheinlichkeit das Wort „Wetter".

Solche erschließbaren Verknüpfungen zwischen Klartext und Geheimtext nannte man in Bletchley Park ‚cribs'. Da die Funksprüche der Deutschen stark geregelt waren, fanden sich weitverbreitet cribs in Form von „WETTER", Offiziersrang-Anreden, Bezeichnungen von Einheiten, Dienststellen und Ähnlichem. Turing erkannte und bewies, daß ein crib eindeutige Rückschlüsse auf die Voreinstellung der Enigma-Maschine, mit der jener crib verschlüsselt worden war, zuließ. Anhand von cribs konnten also in aufwendigen Verfahren zunächst die Spruch- und dann die Tagesschlüssel ermittelt werden. Turing entwickelte hierzu eine Maschine, die er nach polnischem Vorbild, als ‚Bombe' bezeichnete und welche anhand von cribs Spruch- und Tagesschlüssel berechnen konnte.

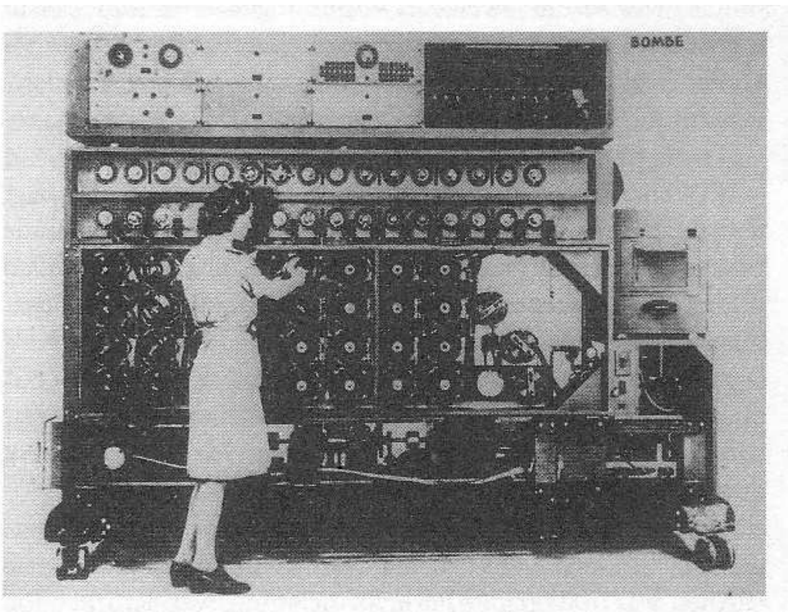


Abb. 9. Bombe in Bletchley Park

Um festzustellen, an welcher Stelle im Geheimtext in crib liegen könnte, nutzen die Mitarbeiter von Bletchley Park ihr Wissen um die Schwachpunkte der Umkehrwalze. Deren Merkmal ist es – wie bereits erwähnt-, daß beim Verschlüsseln kein Buchstabe in sich selbst überführt wird. Wurde beispielsweise der crib „wetternullsechs" im Text vermutet, so war dieser crib so an einer Stelle im Geheimtext anzulegen, daß sich keine Übereinstimmungen zwischen crib und Geheimtext ergaben.

Diese Vorgehensweise sei an folgendem Beispiel erläutert:

Vermuteter Klartext: `WETTERNULLSECHS`

Bekannter Geheimtext: `IPRENLWKMJJSXCPLEJWQ`

Der crib liegt also an falscher Stelle, da sich zwei `E` gegenüberstehen. Im nächsten Versuch ist der vermutete Klartext um eine Stelle nach rechts zu verschieben. Doch nicht immer mußten die Mitarbeiter in Bletchley Park alle in Frage kommenden Einstellungen durchspielen. So nutzten deutsche Chiffreure häufig simple Spruchschlüssel, wie A-A-A, Q-W-E oder B-N-M (letztere liegen auf der Enigma-Tastatur nebeneinander); oder sie verwendeten den gleichen Spruchschlüssel mehrfach. In Bletchley Park nannte man derartige Spruchschlüssel ‚cillies' und probierte diese Kombinationen vorab, um recht langwierige Berechnungen möglichst zu umgehen.

Auch die deutschen Vorschriften zur Walzenlage erleichterten Bletchley Park ungewollt die Entschlüsselung. So war es während des Krieges nicht zulässig, dieselbe Rotorlage während eines Monats zweimal zu verwenden. Von den sechzig Rotorlagen schieden mit Ablauf eines Monats immer mehr aus.

Gewisse Funksprüche wurden sowohl auf der Enigma, wie auch mit anderen (den Engländern vollständig bekannten) Chiffriersystemen übermittelt. War zum Beispiel von den Alliierten eine Wasserstraße vermint worden, so mußte eine entsprechende Warnung nicht nur Teilen der U-Boot-Flotte im Enigma-System übermittelt werden, sondern auch Minensuchverbänden, die einfachere, den Briten bekannte, Schlüsselmittel verwendeten. Mittels des bekannten Klartextes konnte dann auch die Enigma-Einstellung leicht ermittelt werden.

9.4.4.7 Die Entschlüsselung der Marine-Enigma

Von besonderer Bedeutung im 2. Weltkrieg war die sog. ‚Schlacht auf dem Atlantik', der Kampf der deutschen Kriegsmarine gegen die britischen Nachschublinien. Da die deutschen Überwasserstreitkräfte für eine direkte Konfrontation zu schwach waren, setzte die deutsche Seekriegsleitung insbesondere auf die U-Boot-Waffe.

Zunächst kam auch bei der Verschlüsselung des Funkverkehrs der deutschen U-Boote eine Version der Drei-Rotoren-Enigma zum Einsatz. Den Kryptologen von Bletchley Park gelang im Frühjahr 1941 der Einbruch in dieses Schlüsselsystem nachdem Schlüsselmittel von einem deutschen Vorpostenboot und aus U110 erbeutet worden waren. Die Entzifferung des deutschen Funkverkehrs ermöglichte der britischen Marine eine gezielte Jagd auf deutsche U-Boote bzw. das Umleiten von alliierten Geleitzügen auf sichere Routen. Nachdem mehrere deutsche U-Boote in abgelegenen und wenig befahrenen Gewässern von alliierten Streitkräften überrascht und deutsche Angriffe vereitelt worden waren, schöpfte die Befehlsleitung der U-Boote Verdacht und führte neue Schlüsselmittel ein.

Ab Februar 1942 nutzen die U-Boote nunmehr eine neue Version der Enigma mit vier Walzen, welche auch als M4 bezeichnet wurde. Hierbei wurden eine dünnere, sog. ‚Griechenwalze' und eine ebenfalls schmalere und neu verdrahtete Umkehrwalze zusätzlich im Gehäuse der Drei-Rotoren-Enigma untergebracht. Die ‚Griechenwalze' wurde im Betrieb nicht gedreht, sondern sie blieb in der Position, in der sie eingesetzt worden war. Stand sie auf A, so verhielt sich die Marine-Enigma-M4 genau wie die herkömmliche Drei-Rotoren-Maschine. Mit der neuen Walze erhöhte sich die Anzahl der möglichen Schlüsseleinstellungen um den Faktor 26.

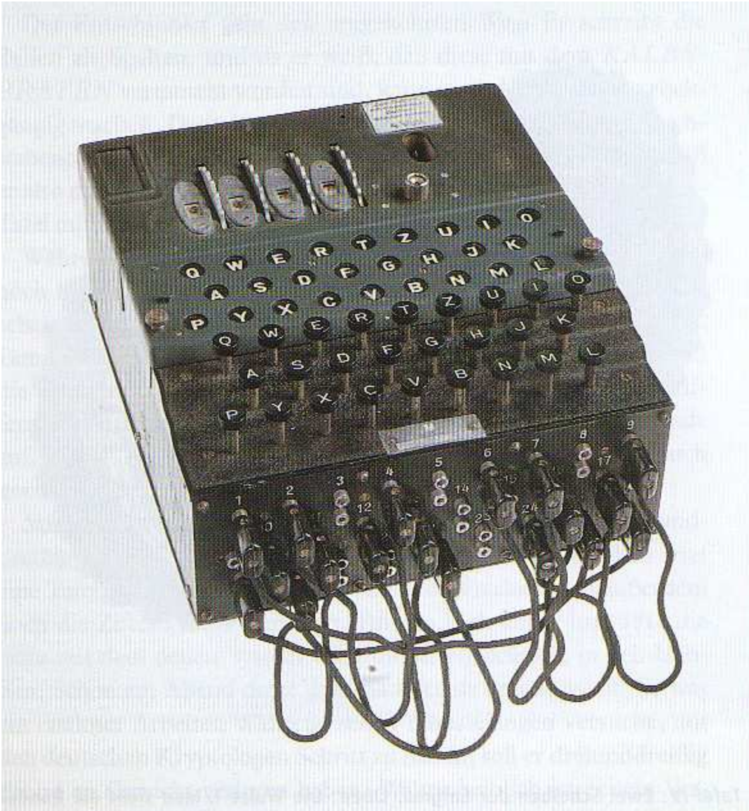


Abb. 9. Die Marine-Enigma M4

Mit dem Einsatz der M4 gelang es Bletchley Park ab Februar 1942 nicht mehr, die Funksprüche der deutschen U-Boot-Flotten zu dechiffrieren. Folglich konnten alliierte Geleitzüge nicht mehr über sichere Routen gelenkt werden und die Verluste alliierten Schiffsraums stiegen wieder stark an.

Den Briten kam in dieser Situation der Zufall zur Hilfe: im Oktober 1942 spürten englische Zerstörer im Mittelmeer nahe Haifa das deutsche U-Boot U-559 auf und zwangen es mit Wasserbomben zum Auftauchen. Kaum hatte das stark beschädigte Boot die Wasseroberfläche durchbrochen, wurde es von allen Seiten unter Beschuß genommen. Englische Seeleute schwammen zu dem sinkenden U-Boot, um Geheimmaterial zu bergen und kehrten mit einem Signalbuch und dem Schlüsselbuch für Wettermeldungen zurück.

Diese erbeutete Wetterchiffre wies Bletchley Park den Weg zur Entschlüsselung der Marine-Enigma M4. Die Wettermeldungen wurden in Drei-Walzen-Verschlüsselung gesendet, also in Stellung A der Griechenwalze. Solche Meldungen konnte Bletchley Park lesen und dank des Wetterschlüssels auch die Walzenkonfiguration der drei Walzen ermitteln. Bei den streng geheimen Meldungen im U-Boot-Funkverkehr blieben die ersten drei Walzen in Position, lediglich die Stellung der Griechenwalze wurde variiert. Es blieb also nur noch herauszufinden, in welcher Stellung sich die ‚Griechenwalze' befand, ein stark reduziertes Problem. Ab dem 13. Dezember war Bletchley Park damit wieder in der Lage, den Funkverkehr der U-Boote zu entschlüsseln, so daß Konvois wieder um deutsche U-Boot-Aufstellungen herumgeleitet werden konnten.´

Nicht zuletzt dank der erfolgreichen Arbeit in Bletchley Park gelang es schließlich den Westalliierten, die Schlacht auf dem Atlantik für sich zu entscheiden.

9.4.4.8 Fazit der Operation „Ultra“

Mit dem Codenamen ‚Ultra’ bezeichneten die Alliierten eine umfassende Aufklärungsoperation des britischen Secret Intelligence Service, in welcher entschlüsselte Funkmeldungen der Achsenmächte gebündelt und ausgewertet wurden. Sie verlieh den Alliierten auf allen Kriegsschauplätzen durch Informationsvorsprünge erhebliche Vorteile. Nicht zuletzt dank Entschlüsselung der Enigma waren die Alliierten über Truppenstärken, deren Verteilung und deutsche Operationen im Vorfeld informiert. Das auf diese Weise gewonnene Bild der Lage trug wesentlich zum Erfolg vieler alliierter Operationen bei So lieferte Ultra beispielsweise wertvolle Informationen zur Zerstörung der deutschen Nachschublinien in Nordafrika, genaue Berichte über die Feindlage im Mittelmeer bei der Landung auf Sizilien bzw. dem italienischen Festland oder bot detaillierte Informationen zur Konzentration deutscher Kräfte vor dem D-Day.

„Stuart Milner-Barry, einer der Kryptoanalytiker von Bletchley Park schrieb: »Mit Ausnahme vielleicht der Antike wurde meines Wissens nie ein Krieg geführt, bei dem die eine Seite ständig die wichtigen Geheimmeldungen von Heer und Flotte gelesen hat.«“

Man war sehr darauf bedacht, daß Geheimnis von Ultra strikt zu wahren, denn nur solange die Gegenseite glaubte, ihr Chiffriersystem sei sicher, würde sie es weiterhin verwenden. So konnten die Alliierten ihr Wissen nie in vollem Umfang nutzen, um die Enigma-Entschlüsselung nicht zu offenbaren. Nur ein sehr kleiner Kreis von Eingeweihten wußte in ganzem Umfang von ‚Ultra’. Der für ‚Ultra’ verantwortliche Nachrichtenoffizier Frederic Winterbotham stand in unmittelbarer Verbindung zum Premierminister Winston Churchill.
Bis 1974 stand ‚Ultra’ unter höchster Geheimhaltung. Erst dann durfte Winterbotham mit seinem Buch ‚The Ultra Secret’ die Wahrheit enthüllen.

Die polnischen Codeknacker mußten während des Krieges fliehen und führten ihre Arbeit in Frankreich fort. Kriegsbedingt mußten sie 1942/43 auch aus Frankreich fliehen und einige, darunter Rejewski, schafften es nach England. Die Türen von Bletchley Park, dem Sitz der englischen Codeknacker, blieben ihnen allerdings verschlossen. Rajewski kehrte 1946 nach Polen zu seiner Frau und seinen zwei Kindern zurück. Im Jahre 1967 schrieb er den ersten Teil seines Buches über seine Arbeit im Biuro Szyfrow, das allerdings nie veröffentlicht wurde. Erst in den 70er Jahren wurde Rejewskis Mitwirken bei der Entschlüsselung öffentlich gemacht und geehrt. Marian Rejewski starb 1980.

10 Automaten und Lochkartenmaschinen

10.1 Lochkartensteuerung

Vor allem im 19. Jahrhundert gab es eine Reihe von technologischen Fortschritten, die sich indirekt auf die Weiterentwicklung der Rechenautomaten ausgewirkt haben. Hier ist vor allem die Entwicklung von programmgesteuerten Automaten zu nennen. Eingeleitet wurde diese Entwicklung durch den Weber Joseph-Marie Jacquard (1752–1834), der 1805 den automatischen Webstuhl erfand.

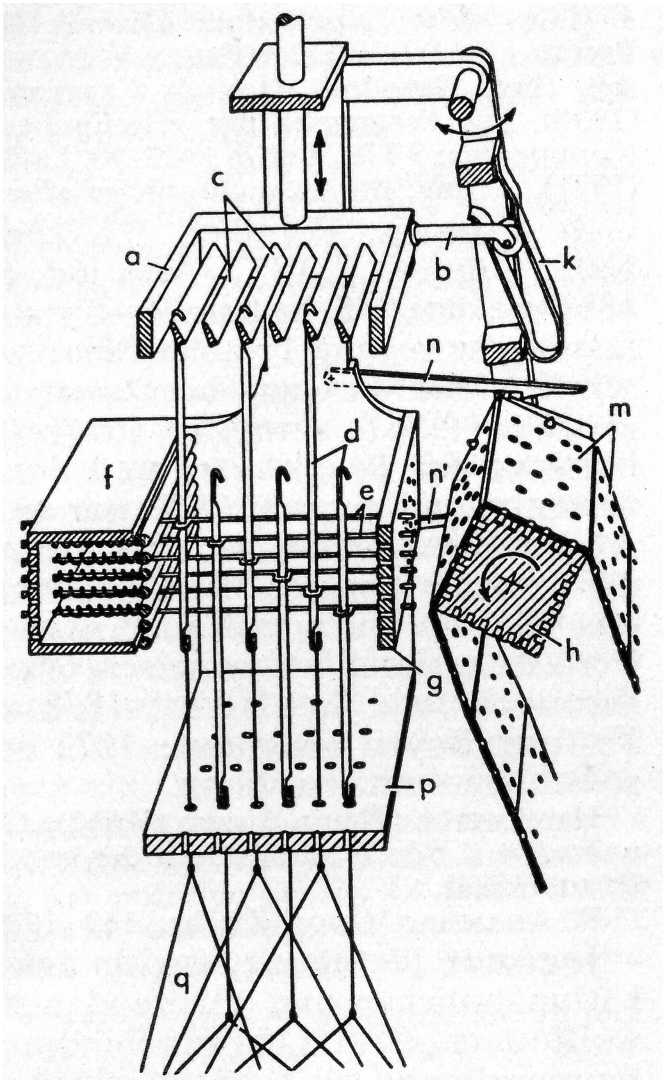


Abb. 10.1 Jacquard-Maschine

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

Das Revolutionäre dieser Maschine waren auswechselbare gelochte Pappkarten, durch die individuelle Muster gewebt werden konnten. Die Arbeitsweise dieser Maschine war folgende:

Der Jacquard-Webstuhl besteht zunächst aus einem Messerkorb, der für jeden Schuß gehoben wird. Die Hebemesser erfassen die Nasen der hakenförmigen Platinen, die durch gefederte Quernadeln geführt werden. Gegen diese Nadeln drückt ein mit Löchern versehenes, durch eine am Messerkorb angebrachte Steuerung drehbares Holzprisma, auf dem die mustergemäß gelochten Papier- oder Pappkarten liegen. Trifft die Nadel auf ein Loch in der Karte, verschiebt sich die Platine nicht und bleibt im Hochgang (Oberfach). Hingegen drückt jede ungelochte Stelle der Karte die Platine vom Messer ab, so daß diese im Unterfach verbleibt. An den Platinen hängen die Harnischschnüre, die oben durch den Platinenboden, unten durch das Harnischbrett geführt werden und mit den beschwerten Litzen verbunden sind. Die Litzenaugen dienen zur Führung der einzelnen Kettenfäden. Die Gesamtheit der Schnüre heißt Harnisch. Die Größe des Jacqard-Webstuhls wird durch die Anzahl der Platinen bestimmt.

Zur Herstellung der Jacquard-Karten dient die Kartenschlag- oder Klaviaturmaschine, die nach der Musterzeichnung (Patrone) mit Hilfe von Tastern und Lochstempeln locht. Einzelne Kartenblätter ließen sich mit besonderen Vorrichtungen kopieren.

Damit war das Grundkonzept zur Lochkartensteuerung gegeben, die danach für viele andere Steuerungen verschiedenster Automaten und auch zur Programmsteuerung von Rechenautomaten (s. Kap. 10) eingesetzt wurden.

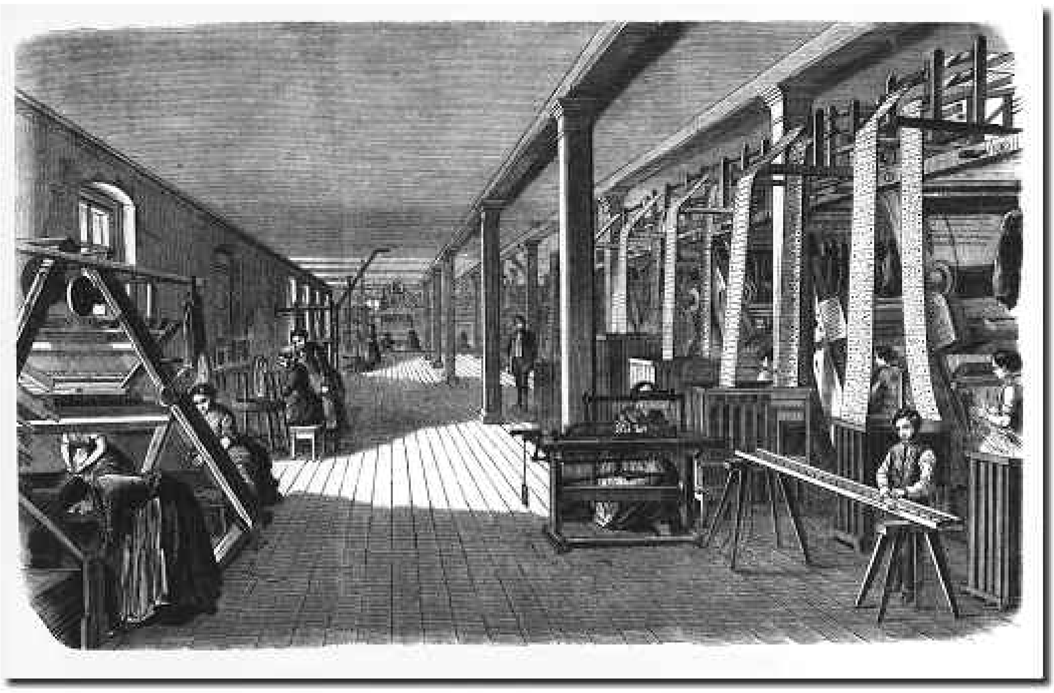


Abb. 10.2 Jacquard´sche Musterwebstühle in der Fabrik Gevers & Schmidt in Schmiedeberg (Schlesien), Holzstich von 1858

Eine Steuerung mittels Lochkarten war allerdings schon vor Jacquard erfunden worden. In Frankreich waren es zwei Erfinder: Der Mechaniker Falcon setzte 1728 erstmals für die automatische Steuerung eines Webstuhls Holzbrettchen mit Lochkombinationen ein. Wenige Jahre später benutzte der Automatenkonstrukteur Jacques de Vaucanson (1709–1782) im Jahre 1745 eine umlaufende Blechwalze mit Lochkombinationen als „Programmspeicher" ein, mit der die Webmuster selbsttätig wiederholt werden konnten.

10.2 Automatische Puppen und Musikinstrumente

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

10.3 Zählmaschinen

9103.1 Die Entwicklungen von Hollerith

Ihren ersten Einsatz für numerische Berechnungen fanden die Lochkarten in den, nach ihrem Erfinder Herman Hollerith benannten, Hollerith-Maschinen.

Familie Hollerith, die 1848 aus Deutschland in die USA auswanderte, ermöglichte es ihrem dort geborenen Sohn Hermann (1869-1929), an der Columbia University in New York Bergbautechnik zu studieren. Mit neunzehn Jahren erwarb Hollerith sein Diplom als Bergbauingenieur. Zunächst arbeitete er an der Columbia University als Assistent seines Lehrers William Presper Trowbridge an der Lösung von Fragen der Industriestatistik. Dabei stellte er die ersten Überlegungen an, wie sich das mühselige statistische Auswerten der Fragebogen auf mechanisiertem Wege durchführen ließe. In diesem Zusammenhang kam ihm die Idee, alle anfallenden Daten mittels zu lochender Karten zu erfassen, um sie dann mit entsprechenden elektromechanisch arbeitenden Vorrichtungen auszuwerten.

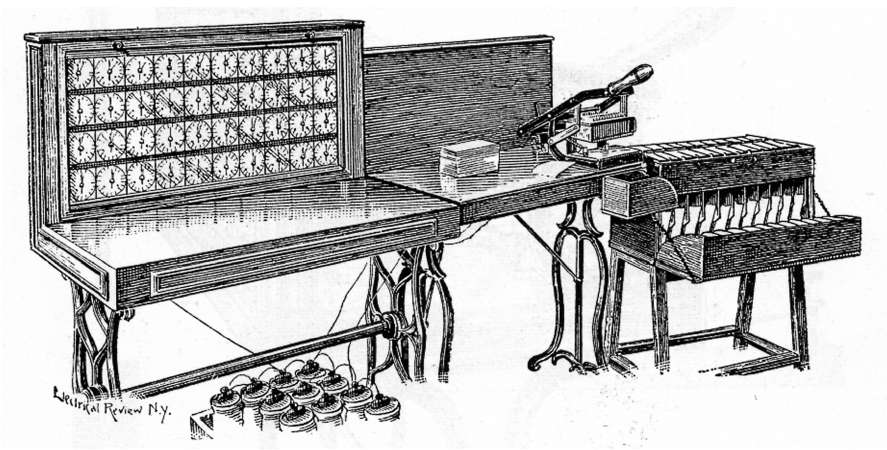


Abb. 10.3 Zeichnung der ersten Hollerith-Maschine

Um seiner Konkurrenz zuvorzukommen, übernahm er eine Tätigkeit beim Patentamt in Washington (District of Columbia), die er von 1884 bis 1889 ausübte. 1884 sicherte er sich das Erstrecht auf ein Patent für sein vorgeschlagenes Lochkartensystem, dem bis 1919 viele weitere Patente folgten. Patentrechtlich abgesichert, begann er kurz darauf mit der praktischen Ausführung seines Maschinensystems. Zu Beginn wurden seine in Felder eingeteilten Karten mit einer gewöhnlichen Schaffnerzange gelocht. Bald entwickelte Hollerith jedoch für die manuelle Dateneingabe einen Tischhandlocher und für die abschließende Auswertung der Lochkarten die erforderlichen Zähl- und Sortiergeräte. Diese Geräte besaßen metallische Fühlstifte, über deren Kontaktgabe elektrische Stromkreise geschlossen werden konnten. Mit den damaligen Hollerithmaschinen konnten bereits bis zu 1000 Lochkarten in der Stunde verarbeitet werden. In großem Umfang wurde das Hollerith-System erstmals 1890 in den USA zur elften Volkszählung eingesetzt. Die gesamte Volksbefragung dauerte damals nur drei Jahre im Vergleich zu sieben Jahren, die ohne die Lochkartenmaschine von Hollerith nötig gewesen wären.

Mit insgesamt 50 Hollerith-Maschinen, der sog. *Census-Maschine*, im Einsatz konnte die Volkszählung (62,979,766 Zählungen) in weniger als drei Monaten abgeschlossen werden und der US-Regierung fünf Millionen Dollar sparen.

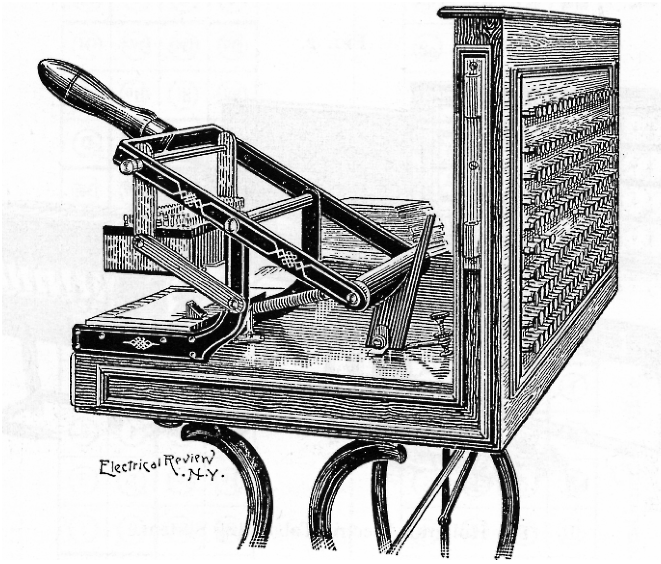


Abb. 10.4 Details der Lochkartenpresse

Es waren elektrisch betriebene Zählmaschinen, bei denen die Dateneingabe über Lochkarten als maschinenlesbare Datenträger 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 dort geplante Volkszählung. In Deutschland wurden um 1895 die ersten Lochkartenmaschinen benutzt. Seinerzeit das schnellste Verfahren zur Informationsverarbeitung setzte sich das Hollerith-System in den verschiedensten Bereichen der Wirtschaft weltweit schnell durch. So erwirtschaftete Hollerith sich innerhalb weniger Jahre das Kapital, um 1896 die „Tabulating Machine Company" (Gesellschaft für Tabelliermaschinen) zu gründen, 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 damaligen Präsidenten der CTR, Thomas John Watson, der heutige Großkonzern „International Business Machines Corporation – IBM" (Internationale Aktiengesellschaft für Büromaschinen).

Der 080-Sortierer von IBM war in dem Zeitraum vor der Entwicklung der frei programmierbaren Computer die meist verbreiteste Zählmaschine. In 1943 waren ca. 10000 Exemplare im Einsatz.

Hermann Hollerith arbeitete bis 1921 als beratender Ingenieur in der von ihm mitbegründeten CTR mit. Erst nach der Einführung der zunächst dezimalen, dann alphanumerischen Codierung wurde eine noch umfassendere Anwendung des Hollerith-Systems möglich.

10.3.2 Die Deutsche Hollerith-Maschinen Gesellschaft

Hollerith entsendete einige Jahre nach Gründung der "Tabulating Machine Company" den Ingenieur R. Williams nach Deutschland, um eine Gesellschaft zum Erwerb seiner Patente und Vertrieb seiner Maschinen zu gründen. Am 30. November 1910 wurde in Berlin die DEHOMAG (Deutsche Hollerith-Maschinen Gesellschaft) gegründet. Mit einem Gründungskapital von 120 000 Mark, sieben Mitarbeitern und den Produktions- und Vertriebsrechten für Deutschland und Südeuropa begann die Tochterfirma ihre Arbeit.

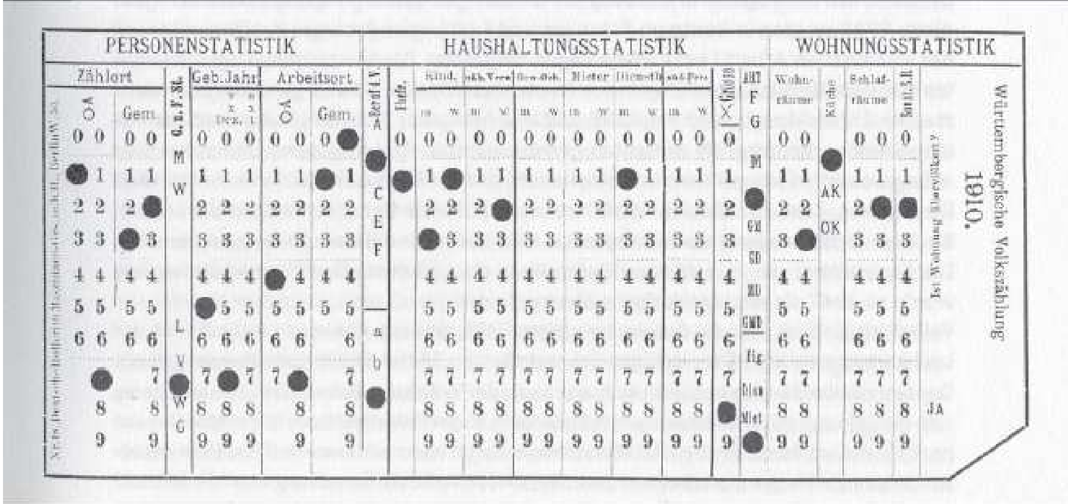
Die Länder Württemberg, Elsaß-Lothringen, Baden und Sachsen führten ihre Volkszählung ebenso wie das Land Preußen mit dem Lochkartenverfahren durch, bei dem aufgrund der hohen Einwohnerzahl besondere Ansprüche an die Technik gestellt wurden. In dieser ersten Entwicklungsphase der Datenverarbeitung in Deutschland wurden Tabelliermaschinen ausschließlich für statistische Zwecke benutzt. Während des ersten Weltkrieges versiegte der Belieferungsstrom aus den USA und die Firma war gezwungen, sich selbst zu versorgen. Aufgrund der Fähigkeiten ihrer Maschinen für die Kriegs- und Volkswirtschaft zählte die DEHOMAG zu den Kriegswichtigsten Betrieben. 1918 wurde das erste Werk der DEHOMAG wird in Villingen eröffnet. Das Produktionsprogramm umfasste Locher, Prüfer, Ersatzteile und Lochkarten mit 34 und 45 Stellen. Bis dahin waren lediglich importierte Maschinen vertrieben worden. Der Umsatz der DEHOMAG steigerte sich von den anfänglichen sieben Mitarbeitern auf 23 und erwirtschaftete statt 84 000 Mark nun 250 000 Mark. Als Schwesterfirma der DEHOMAG wurde 1921 die internationale Geschäfts-Maschinen GmbH (später Deutsche Geschäfts-Maschinen GmbH - Degemag) gegründet, die Kontrollapparate, Uhren und Waagen herstellt. Der Umsatz steigt stetig. Im Jahr 1922 sind es ca. 100 Millionen Dollar, was aufgrund der hohen Inflation ungefähr 100 000 Billionen Mark entspricht. Der Umsatz und die Angestelltenzahl wuchsen bis zum zweiten Weltkrieg stetig. Während des Krieges wurden viele Gebäude der DEHOMAG beschädigt oder zerstört. Dies führte zu einem kurzfristigen Rückgang der Mitarbeiterzahl. Die Deutsche Hollerith-Maschinen Gesellschaft wurde am 6. Mai 1949 in "Internationale Büro-Maschinen Gesellschaft" (IBM) umbenannt. 2003 hatte IBM einen Umsatz von 89,1 Milliarden US-Dollar und 25 000 Mitarbeiter nur in Deutschland.

10.3.3 Die Lochkartentechnik

Lochkartensysteme bewirkten eine enorme Beschleunigung der Entwicklung des Handels und der Industrie gegen Anfang des 20. Jahrhunderts. Die Technologie ermöglichte es den Firmen erstmals Tausende oder sogar Millionen von Aufzeichnungen zu verwalten. Bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts, sogar nach der Entwicklung von Computern, wurden Lochkartensysteme weiterentwickelt und konnten im Endstadium dividieren, multiplizieren und sogar die Quadratwurzel berechnen. Aufwendiges manuelles Eintragen in Listen und späteres Weiterverarbeitung wurde so weitgehend von dieser Maschine übernommen.

Lochkarte der württembergischen Volkszählung 1910 mit Holleriths System

A Lochkarte der Volkszählung 1910



(Bild:http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/Veroeffentl/Monatshefte/Beitrag04_06_14.pdf

Das System funktionierte, indem auf einer so genannten Lochkarte auf vorher festgelegten Feldern Löcher gestanzt wurden(zunächst manuell, später automatisch). Die gelochte Karte wurde dann von elektrischen Kontakten abgetastet, woraufhin die erhaltenen Impulse mechanische Zählwerke betätigten. Diese Erfindung ist eine Weiterführung dessen, was die bereits in der Einleitung erwähnten Falcon, Vaucanson und Jacquard bereits während des achtzehnten Jahrhunderts entwickelten. Jacquards mechanischer Webstuhles z.B. ließ seine mechanischen Bewegungen durch Papierstreifen und Karten steuern, in die Löcher eingestanzt waren. Die Löcher gaben dem Webstuhl die Befehle, um ein bestimmtes Muster herzustellen, ohne dass menschliche Eingriffe benötigt wurden.

10.3.4 Erweiterungen in der Lochkartentechnik

Nachdem die Lochkartenmaschine zunächst von Hand mit einer einfachen Schaffnerzange gelocht und manuell geprüft worden war, gab es im Laufe der Jahre zahlreiche Weiterentwicklungen, die das Arbeiten zunehmend automatisierten.

So realisierte bei der IBM 701 (1953) der so genannte „Locher" das automatische Lochen, indem die zu bearbeitende Karte aus einem Kartenmagazin per Tastendruck in die Lochstation befördert wurde. Durch die gewünschte Eingabe auf einer schreibmaschinenähnlichen Tastatur wurde die Karte dann entsprechend gelocht. Ein Duplizieren der Karte war dank eines elektronischen „Abfühlers", der die gestanzte Karte in einem neuen Arbeitsschritt überprüfte, möglich.

Da die gelochten Daten und Werte weder in Zählwerken noch auf Kontroll-Listen festgehalten wurden, war nach dem Lochen zunächst keine Gewähr gegeben, ob die eingegebenen Daten tatsächlich korrekt übernommen worden waren. Zur Überprüfung wurde ein Gerät (der Prüfer) eingesetzt, welches nach dem Prinzip des Lochers einen elektrische Kontaktkreis schloß, wenn an der Stelle, an der ein Loch erwartet wurde, auch wirklich eine Stanzung vorhanden war. Wenn ein Fehler entdeckt wurde, musste die Karte von Hand entfernt und eine neue gelocht werden.

Als weitere Arbeitserleichterung wurde die Sortiermaschine eingesetzt, mit deren Hilfe sich eine Anzahl von maximal 800 Karten auf eine bestimmte Art und Weise sortieren ließ. So ließ sich jeweils eine Spalte einer Lochkarte untersuchen und die Karte in jeweilig zugeordnete Fächer steuern.

Der Rechenstanzer ermöglichte die Durchführung von Rechenoperationen und der Speicherung der Ergebnisse. Während beim reinmechanischen Rechenstanzer mit einem mechanischen Zählwerk gearbeitet wurde, konnte die weiterentwickelte elektronische Variante bereits mit Hilfe von Elektronenröhren und Kernspeichern arbeiten. Das Rechnen der vier Grundrechenarten und deren Kombination konnte mit beiden Rechenstanzern realisiert werden.

Mit einer Geschwindigkeit von 9000 Zeilen pro Stunde konnte endlich die Tabelliermaschine die bisher erfaßten und aufbereiteten Ergebnisse zu Zwischen- oder Gesamtberichten zusammenfassen und über ein integriertes Schreibwerk ausgeben.

Dem Lochkartenverfahren waren gewisse Einschränkungen allein schon wegen der Verarbeitungsmöglichkeit nur eines Datenträgers, der Lochkarte vorprogrammiert. Diese ihrerseits war zusätzlich bezüglich der Speicherkapazität auf 80 Lochspalten limitiert. Ein weiterer entscheidender Nachteil des Lochkartenverfahrens war die Verarbeitung von nur jeweils einer Spalte.

11 Analogrechner

12 Die Rechenmaschinen von Babbage

12.1 Das Lebenswerk 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.

Charles Babbage wurde am 26. Dezember 1791 in Walworth bei London geboren. Er war eines von vier Kindern von Benjamin Babbage, einem Banker, und Elisabeth Plumleigh Teape. Seine beiden Brüder starben bereits im frühen Kindesalter, seine Schwester Mary Anne, überlebte ihn. Da er aus einem relativ begüterten Elternhaus stammte, erhielt er eine gute schulische Ausbildung. Eingeschult in Exeter in Devon und nach einer Ausbildung an der Totnes Grammar School ging er 1810 zum Trinity College nach Cambridge, wo er im Frühjahr 1814 seinen Bachelor erwarb und im Jahre 1817 sein Master-Diplom.

Im Jahre 1815 zog er nach London. Hier wohnte er zunächst in der Devonshire Street 5, Pnotland Place, und 1828 anschließend in die Dorset Street 1, Manchester Square, wo er bis zu seinem Lebensende lebte.

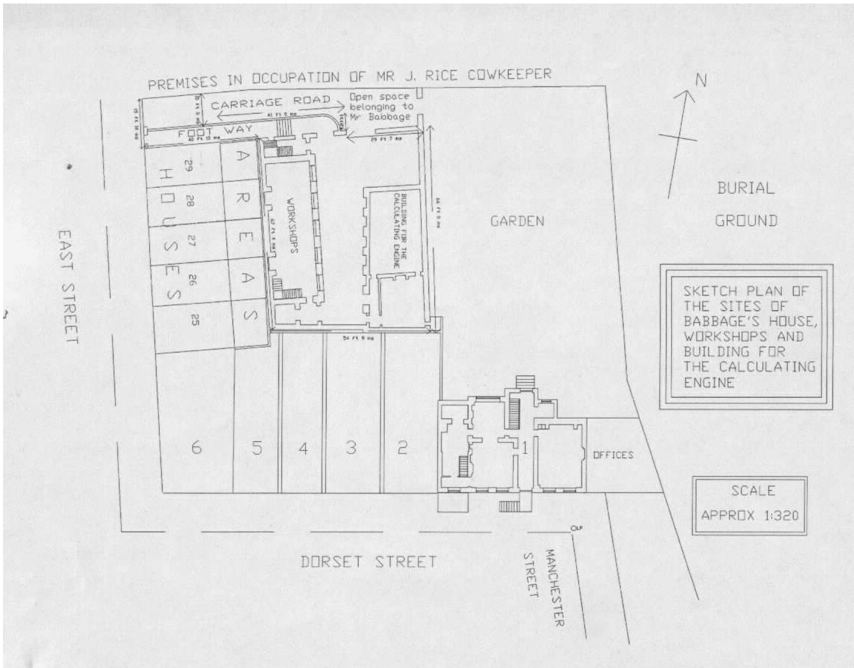


Abb. 12.1 Der Grundriss des Hauses von Babbage mit den Werkstätten

Er heiratete im Jahr 1814 Georgina Whitmore. Deren Halbbruder, Wolryche Whitmore, war Mitglied des Parlamentes, ein Umstand, der im weiteren Leben von Babbage eine wichtige Rolle spielen sollte. Aus dieser Ehe entstammten acht Kinder, von denen drei - Benjamin Herschel, Dugald Bromhead und Henry Prevost - das Erwachsenenalter erreichten.

1827 war ein Schicksalsjahr im Leben von Charles Babbage. In diesem Jahr starben seine Frau, sein Vater und zwei seiner Söhne (Charles und ein Neugeborener). Seine einzige Tochter Georgina verstarb ebenfalls 1827. Ferner wurde er in diesem Jahr auf die Lucas-Professur für Mathematik in Cambridge berufen, die er bis 1839 innehatte. Intensiv kümmerte er sich aber nicht um diese Professur, denn er siedelte nicht um und soll sogar nie in Cambridge gelehrt haben.

Sein wissenschaftlicher Werdegang ist äußerst bemerkenswert. Seine erste wissenschaftliche Veröffentlichung stammt aus dem Jahr 1813. Bereits 1816 wurde er zum „Fellow of the Royal Society“ gewählt. Im Zeitraum von 1813 und 1868 veröffentlichte er sechs umfangreichere Arbeiten und ca. 90 „Papers“.

Seine Arbeiten umfaßten nicht nur mathematische Probleme, sondern auch Themen aus vielen anderen Bereichen. Seine besonderen Verdienste im Zusammenhang mit der Entschlüsselung von Codes werden in Kapitel 7 beschrieben. Daneben erfand er beispielsweise ein System zur Erkennung von Leuchttürmen. Die „Statistical Society of London“ verlieh ihm ihre erste Goldmesaille. Auch erfand er die *Mechanical Notation*, eine Beschreibung für die Funktionsweise von Maschinen, die im folgenden noch näher beschrieben wird. Nur dadurch war er in der Lage, so komplexe Maschinen, wie die von ihm entwickelte *Difference-Engine* oder *Analytical-Engine*, zu beschreiben.

Am 18. Oktober 1871 starb Babbage und wurde in London beerdigt. Obwohl er in seinem Leben mit allen Größen der damaligen Zeit, wie Prinz Albert, dem Duke of Wellington, Darwin, Dickens, Fourier oder Humboldt, enge Kontakte gepflegt hatte, verstarb er vereinsamt und verbittert über die immer noch nicht erfolgte Realisierung seiner Ideen. Nur eine einzige Kutsche folgte seinem Sarg am 24. Oktober zum Kensal-Green-Friedhof, wo er beigesetzt wurde.

12.1.1 Das Tabellen Problem

Wie bereits im Kapitel 6 beschrieben, gab es im siebzehnten - und achtzehnten Jahrhundert mehrere Versuche, das mechanische Rechnen zu realisieren. Dies hat zur Konstruktion von Rechenmaschinen geführt, mit denen die arithmetischen Grundrechenarten durchgeführt werden konnten. Sie waren daher nur zur Berechnung relativ einfacher Aufgaben, wie sie z.B. im Geschäftsleben auftreten, geeignet. Ferner war die Zuverlässigkeit und Robustheit dieser Geräte eher zweifelhaft. Aus diesem Grund waren sie für die Berechnung komplexerer Funktionen, wie sie in den Naturwissenschaften und der Navigation gebraucht wurden, nur bedingt brauchbar.

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 gewisser Eingabe angaben. Hierzu gehörten Logarithmentabellen oder die Trigonometrischen Funktionen z.B. $k \sin(\theta)$.

Abb. 12.2 Mathematische Tafeln von Adriaan Vlacq

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 Rechenfehler 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 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. Abbildung 10.2 zeigt Tafeln von Adriaan Vlacq, der in der Mitte des 17. Jahrhunderts eine Reihe von Tafeln veröffentlichte, die oft kopiert und in mehrere andere Sprachen übersetzt wurden.

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 eingesetzt 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 300 Werke, 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, individuellem Muster auf der Rückseite ausgestattet. Wenn nun alle Buchstaben eingespannt wurden, mußte ein Kontrolldraht durch die Buchstaben geschoben werden. Wenn dieser Draht blockierte, dann war ein Buchstabe falsch eingespannt, und man mußte diesen Fehler beheben, ansonsten konnte man nicht weiterarbeiten.

So war es möglich, auf einem Schlag, alle Fehlerquellen 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.

Um Funktionswerte zu berechnen, benötigt man normalerweise die vier Grundrechenarten: Addition, Subtraktion, Division und Multiplikation. Der große Vorteil der Differenzen-Methode war der, daß die Methode allein mit der Addition auskommt. Diese war wesentlich einfacher zu realisieren, als die Multiplikation und Division.

Das größte Problem, bei der Mechanisierung der Rechnung, war der Übertrag bei der Addition. Wenn man beispielsweise eine 9 zur 15 addiert, hat man einen Übertrag, um auf das Ergebnis von 24 zu kommen. Das ist verhältnismäßig einfach. Aber wenn man eine 1 zu 999999 hinzuaddiert, dann erzeugt jeder Übertrag wieder einen neuen Übertrag in der nächsten Spalte. Das bedeutet, daß sieben Aktionen für eine Additionsoperation benötigt werden. Dieses Problem, was auch als 'Domino' Übertrag bezeichnet werden kann, zwang die damaligen Maschinen zu einer Begrenzung der Maschinen auf die Darstellung nur weniger Ziffern.

12.1.2 Technologische Probleme

Babbage entwickelte zwei Arten von Maschinen, die Difference-Engine und die Analytical-Engine. Zu damaligen Standards waren diese Maschinen gigantisch hinsichtlich ihrer Größe und Komplexität.

Die Herstellung der Teile für seine Maschine sprengte den damaligen Standard. Ähnlich wie Schwilguè musste er neue Werkzeuge erfinden und konstruieren, um neue Bauteile herzustellen.

Da Babbage teilweise mehrere hundert identischer und präziser Bauteile benötigte, musste er sich stets zwischen handwerklicher Präzisionsarbeit und Massenproduktion bewegen, wobei bei letzterer trotzdem die notwendige Genauigkeit gewährleistet sein musste

1822 hat Babbage ein kleines Versuchsmodell der Difference-Engine gebaut. Er befürchtete, daß das Handwerk in den 1820er nicht genügend weit entwickelt sei, um die Anforderungen an einer größeren Maschine zu erfüllen. Er besuchte deshalb die industriellen Zentren in England und Schottland und faßte seine Erkenntnisse 1823 in einem Bericht zusammen. Er überwachte jeden Fortschritt auf diesem Gebiet, indem er ständig Werkstätte und Fabriken besuchte.

Babbage war selbst ein Amateur-Maschinist und führte mehrere Verbesserungen - in Zusammenarbeit mit seinem Chefingenieur Joseph Clement - ‚.bei Werkzeugen, Maschinen und Werktechniken“ ein. Durch die Entwicklungsarbeit, die den Bau der Difference-Engine nötig machte, erfuhr die Werkkunst in England einen solchen Fortschritt, daß die enormen Investitionen für die Difference-Engine, auf diesem Gebiet wieder eingespart wurden.

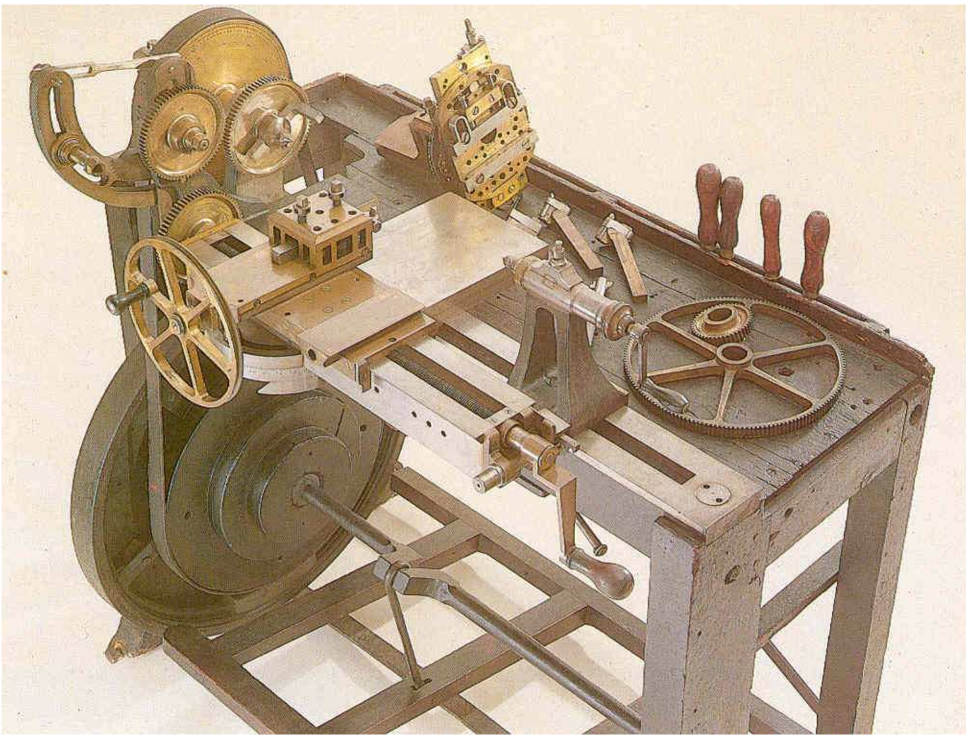


Abb. 12.3 Arbeitsplatz von Joseph Clement

12.1.3 „Mechanical Notation“

Die Komplexität der Maschinen forderte spezielle Kleinteile. Babbage schrieb viele seiner Entwicklungen in sogenannte ‘Schmierbücher’. Diese Bücher wurden damals nicht veröffentlicht und sind jetzt in der Science Museum Library in London archiviert.Sie umfassen über 6000 Seiten. Er erstellte Planzeichnungen von einzelnen Teilen, um die Funktionalität und Richtigkeit zu überprüfen. Er experimentierte mit kleineren Bauteilen herum, um seine Ideen zu testen und zu vereinfachen. Die präzisen technischen Zeichnungen, die damals angefertigt wurden, sind exemplarisch für die Zeichenkunst der damaligen Zeit. Babbage selbst war sehr stolz auf die Erfindung der Mechanical Notation, die er zu diesem Zeitpunkt gemacht hatte.

Abb. 12.4 Schmierblatt von Charles Babbage

Die Mechanical Notation ist eine Methode, um den Bewegungsablauf vieler beweglicher Teile auf sich selbst, oder auf andere Teile zu beschreiben. Diese Notation war eine symbolische und einfache Methode Bewegungen zu beschreiben, die sonst zu komplex waren, um sie darzustellen. Sie wurde benutzt, um seine Konstruktionen zu beschreiben und zu verbessern. Diese Notation war nicht auf das Beschreiben von Maschinen beschränkt. Vielmehr kann man damit alle möglichen Vorgänge in der Natur beschreiben. Babbage benutze diese Notation und verbesserte sie ständig. Obwohl er sehr stolz auf diese Erfindung war, wurde sie lange ignoriert.

Ergänzen, z.B. Babbage 2

12.1.4 Die Geschichte seiner Entwicklungen

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.

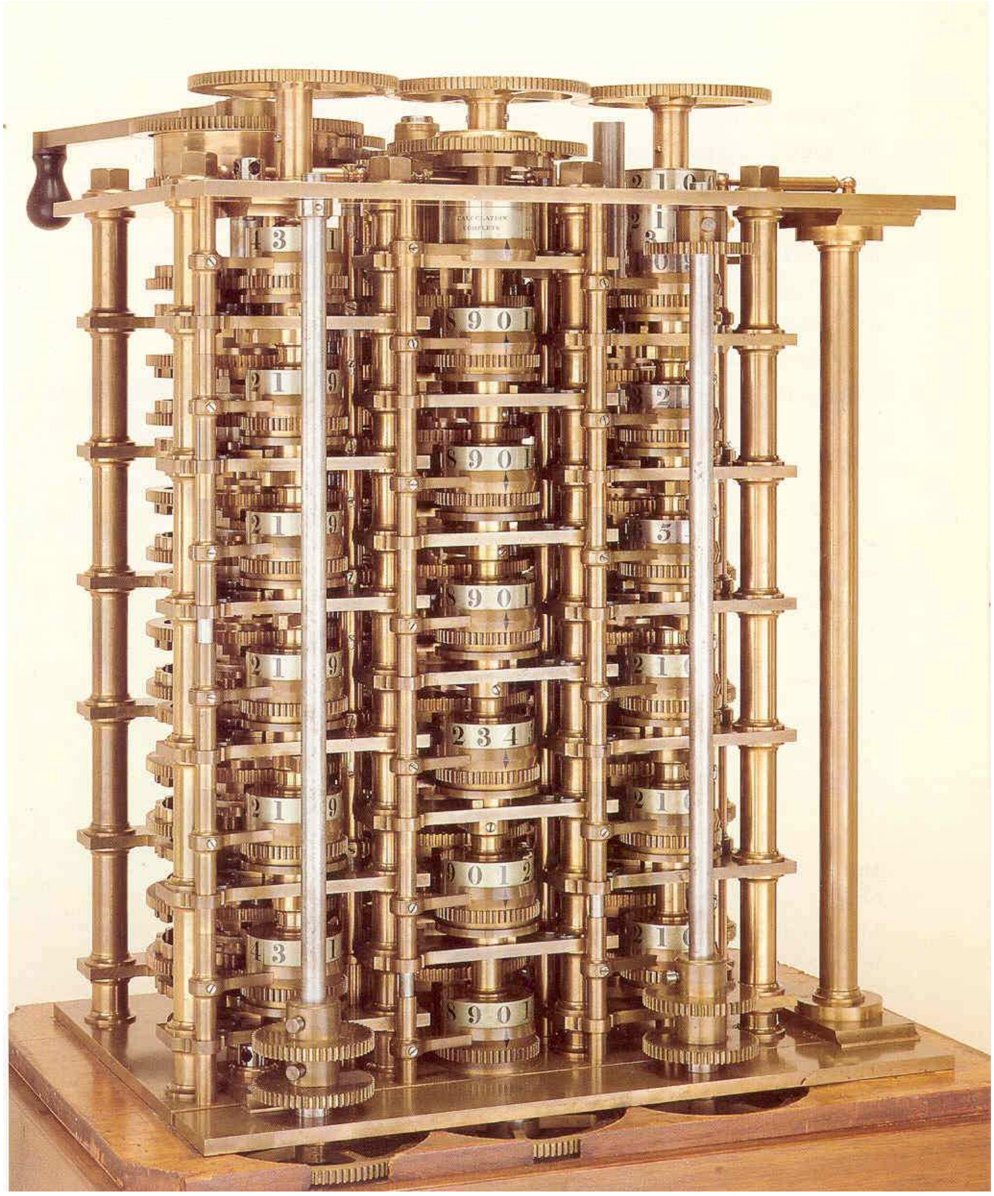


Abb. 12.5 Teile der teilweise erbauten Difference-Engine aus dem Jahr 1832

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. Er ist in Abbildung10.5. dargestellt. Der Druckmechanismus wurde nicht fertiggestellt**.**

Der Teil der Difference-Engine, der 1832 fertiggestellt wurde, funktioniert immer noch und ist ein gutes Beispiel für die präzise Handwerkskunst der damaligen Zeit. Es wurde von Babbage benutzt, um einfache mathematische Funktionenen zu tabellieren. Ferner nutze er diese ‘kleine Difference-Engine’, um zu zeigen, daß eine große Difference-Engine möglich ist. Diese ‘kleine Difference-Engine’ war die erste bekannte automatische Rechenmaschine.

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

Abb. 12.6 Nachbau im Science Museum in London

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. Die Abbildung 10.6 zeigt Reg Crick (rechts) und Barrie Holloway (links) an ihrem Nachbau.

12.2 Die Difference Engine

Im Jahre 1822 begann Babbage mit den Arbeiten an der sog. *Difference Engine*. Es handelte sich hierbei im wesentlichen um eine Weiterentwicklung der Rechenmaschine von Leibniz mit dem Ziel u.a. algebraische Funktionen höherer Ordnung berechnen zu können. Mit Regierungsunterstützung und mit Hilfe des Maschinenbauers und Werkzeugmachers, Joseph Clement, arbeitete Babbage zunächst bis 1833 an diesem Projekt. Nach Streitereien sowohl mit der Regierung als auch mit Clement, zog sich Babbage von diesem Projekt zurück. Die bis dahin erstellte Teilmaschine steht heute im Science Museum in London. Die Arbeiten von Babbage für die *Difference Engine* wurden dann von Georg und Eduard Schulz aufgegriffen und es wurde ein einsatzfähiges Exemplar 1843 vorgestellt. Mit finanzieller Unterstützung durch die schwedische Regierung wurde dieses Modell in den nächsten zehn Jahren weiter verbessert, um sodann in Paris und London ausgestellt zu werden. Dieses Exemplar wurde dann an ein amerikanisches Observatorium verkauft. Eine Kopie der Maschine wurde für die britische Regierung gebaut und zur Erstellung mathematischer Tabellen sowie für Berechnungen im Auftrag von Lebensversicherungen eingesetzt. Hierauf aufbauend entstanden ähnliche Maschinen durch Wiberg, Grant, Hamann und andere.

12.2.1 Die Differenzenmethode

Babbage wurde einmal nach dem Prinzip gefragt, wie seine Rechenmaschine funktioniert. Babbage antwortete, er könne diese Frage mit 6 Buchstaben beantworten:

$$\Delta^7 u_x = 0 .$$

Was Babbage mit diesen sechs Buchstaben beschreiben wollte, war die Methode zur Berechnung von Funktionswerten durch Differenzen. Diese Methode war zu seiner Zeit bereits wohlbekannt und wurde oft zur Erstellung von Tabellen angewandt.

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

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

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

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

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

   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.

   Diese Eigenschaft sei am Beispiel des Polynoms

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

   erläutert:

   Die Funktionswerte für x = 1,2,3,4, … lauten

x	f(x)
1	21
2	125
3	475
4	1392
5	3041
6	6061
…	……

   Bildet man die Differenzen der Funktionswerte, so erhält man als Werte für die erste Differenz Δ^1

x	f(x)	Δ^1
1	21	
		104
2	125	
		350
3	475	
		854
4	1392	
		1712
5	3041	
		3020
6	6061	…….
…	……	

   Die Differenzen von Δ^1 bilden die zweite Differenz Δ^2 usw. Man erhält

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	…….			
…	……				

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 weitere 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 Schwischenschritte) berechnet werden.

In obigem Beispiel werden als Startwerte der Wert von f(x) an der Stelle x=1 (=21), der Anfangswert der ersten Differenz Δ^1 (=104, der zweiten Differenz Δ^2 (=246), der dritten Differenz Δ^3 (=258) und der vierten Differenz Δ^4 (=96) benötigt. Man erhält als Ausgangspunkt für die Berechnungen:

x	f(x)	Δ^1	Δ^2	Δ^3	Δ^4
1	21				
		104			
2			246		
				258	
3					96

Im ersten Schritt wird der Funktionswert für x=2 berechnet:

x	f(x)	Δ^1	Δ^2	Δ^3	Δ^4

1	21				
		104			
2	125		246		
				258	
3					96

Im zweiten Schritt wird zunächst er zweite Wert von Δ^1, und danach im dritten Schritt der Funktionswert für x=3 berechnet usw.:

Schritt 2:

x	f(x)	Δ^1	Δ^2	Δ^3	Δ^4
1	21				
		+			
		104			
2	125	=	246		
		350		258	
3					96

Schritt 3:

x	f(x)	Δ^1	Δ^2	Δ^3	Δ^4
1	21				
		104			
2	125 +		246		
	=	350		258	
3	475				96

Da die Koeffizienten a_i auch negativ sein können, können bei der Berechnung der Funktionswerte mittels der Differenzenmethode auch Subtraktionen auftreten. Bereits Babbage war bekannt, wie man eine Subtraktion auf eine Addition zurückführen kann. Dies sei an Hand des Beispiels der Subtraktion von 351 von 768 erläutert. Das Ergebnis ist 417:

$$\begin{array}{r} 768 \\ -\underline{351} \\ 417 \end{array}$$

Zunächst ist klar, dass sich jede Subtraktion auf die Addition des entsprechenden negativen Summanden zurückführen lässt, d.h. es gilt

$$768 - 351 = 768 + (-351).$$

Läßt sich nun eine geeignete Darstellung von -351 als positive Zahl finden, derart, dass sich aus dem Ergebnis der Addition mit dieser positiven Zahl das Ergebnis von 417 unmittelbar ableiten lässt, so hat man die Subtraktion auf eine einfachen Addition zurückgeführt. Die Lösung liegt in der sogenannten „Komplementbildung“. Man erhält die Komplementdarstellung der Zahl -351,indem man die Einerziffer auf 10 ergänzt und die restlichen Ziffern bis auf 9 ergänzt. Die Komplentärdarstellung von -351 ist also 649.

Addiert man nun 649 zu 768, so erhält man

$$\begin{array}{r} 768 \\ +\ \underline{649} \\ 1\ \mathit{417} \end{array}$$

Ignoriert man noch den Übertrag 1, so erhält man das korrekte Ergebnis von 417 für die Subtraktion von 351 von 768.

Was zunächst nach einem Trick aussieht beruht auf einem einfachen mathematischen Zusammenhang:

Um $a-b$ zu berechnen, bestimmt man zunächst das Komplement $\overline{b}$, indem man zu $-b$ die nächsthöhere Zehnerpotenz von b aufsummiert. Im Beispiel erhält man $\overline{b}$ als

$$\overline{b} = -b+1000 = -351+1000 = 649$$

Anschließend wird $\overline{b}$ zu a hinzuaddiert und durch das Ignorieren des letzten Übertrages die 1000 wieder subtrahiert, die man vorher hinzuaddiert hatte.

Die Gesamtrechnung ergibt

$$\begin{aligned} 768 - 351 &= a-b = a+\overline{b} - 1000 \\ &= 768 + (-351+1000) - 1000 \\ &= 768 + 649 - 1000 \\ &= 1417 - 1000 = 417 \end{aligned}$$

12.3 Analytical Engine

Babbage selbst begann 1834 mit den Arbeiten für eine neue Maschine, die er *Calculating Engine* bzw. *Analytical Engine* nannte. In ihr entwarf er erstmalig das Grundkonzept für einen frei programmierbaren Rechner. *Analytical Engine* besaß eine Reihe von Neuerungen, die wegweisend für unsere heutigen Rechenanlagen waren. Sie bestand im wesentlichen aus folgenden getrennten Einheiten:

- zentrale arithmetische Einheit (genannt „mill“)
- separater Speicher
- Eingabeheinheit (über Lochkarten)
- Ausgabeeinheit („printing unit“)

Der folgende Plan zeigt eine von Babbage selbst verfaßte Skizze des Gesamtkonzeptes der Maschine:

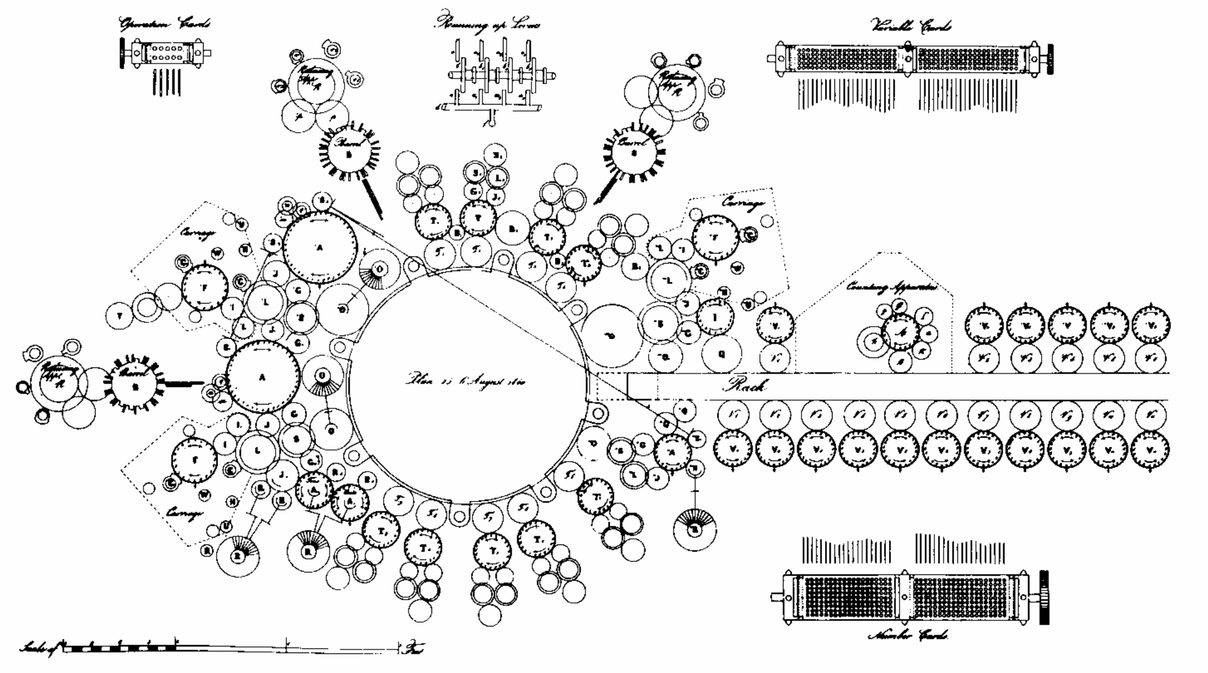


Abb. 12.7 Gesamtkonzept der Maschine

Im Jahre 1805 hatte der Franzose Joseph-Marie Jaquard einen Lochkarten-gesteuerten Webstuhl erfunden. Mit Hilfe dieser Karten konnten verschiedene Muster gewebt werden. Diese Technik übernahm Babbage zur Eingabe von Berechnungsanweisungen. Über die Lochkarteneingabe konnten nicht nur lineare Berechnungssequenzen, sondern auch komplexere Kontrollstrukturen, wie Iteration und bedingte Verzweigung realisiert werden. Somit war erstmalig die Möglichkeit vorgesehen, den Ablauf der Berechnungen von außen zu steuern. Damit stellte die *Analytical Engine* den Prototypen einer frei programmierbaren Rechenanlage dar und enthielt erstmalig konzeptionell das Prinzip, nach dem die heutigen Rechner aufgebaut sind – das von Neumann-Prinzip. Er entwarf ferner neuartige arithmetische Konzepte, wie z.B. „multiple precision arithmetic“, um den Nachteil von festen Wortlängen auszugleichen.

Die Details der Eingabeeinheit, insbesondere der zugrundeliegende Jaquard-Mechanismus für die Eingabe zeigt nachfolgende Skizze aus dem Nachlass von Babbage:

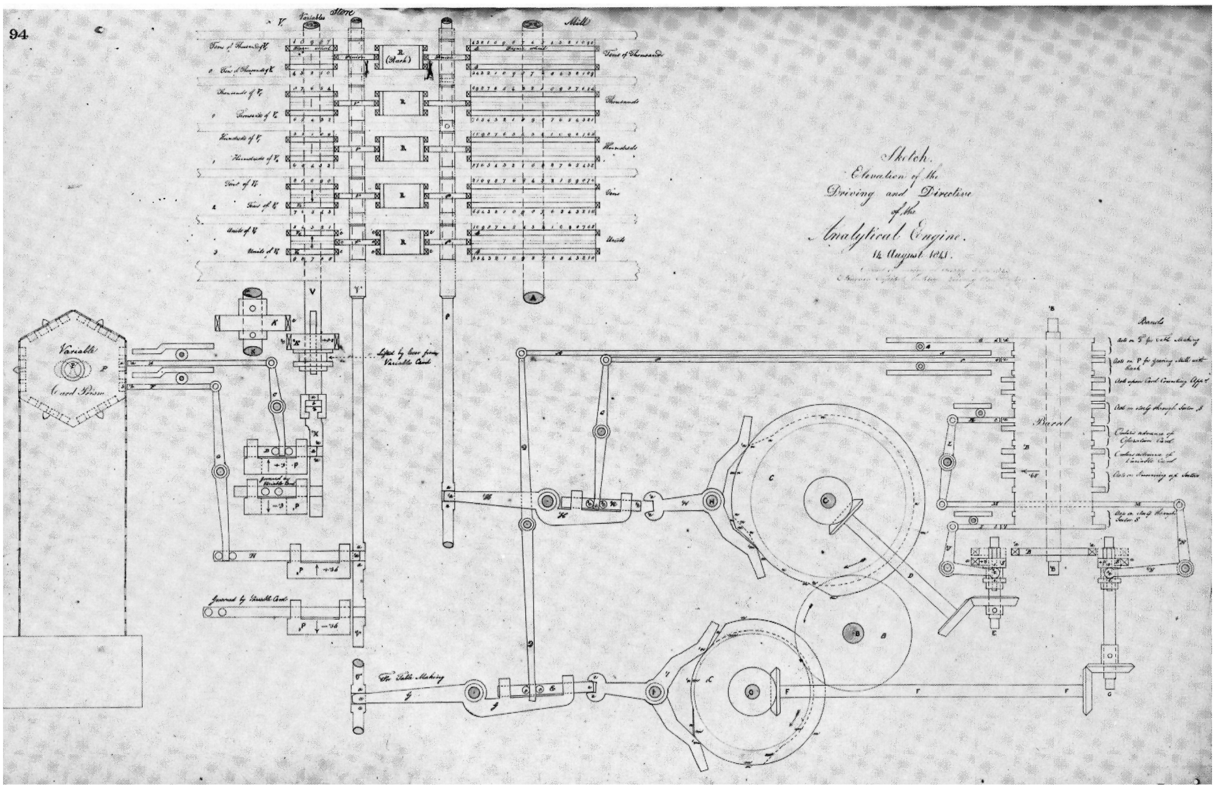


Abb. 12.8: Eingabeeinheit

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

Abb. 12. 9 Portrait of ADA LOVELACE 1844

Babbage hat die *Analytical Machine* genau wie die *Difference Engine* selbst nie konstruktiv beendet. Zum einen lag es daran, daß die technischen Möglichkeiten der damaligen Zeit noch sehr beschränkt waren und zum anderen war er ein Perfektionist. Letzeres 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). Die von ihm fertiggestellte

„mill" zeigt Abbildung 10.10. Es läßt die für damalige Verhältnisse technologische Komplexität erahnen. 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 π mit 1 bis 44 (Abb. **????**).

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

12.4 Angeregte Entwicklungen

Nach Babbages Tod wurde von seinem jüngsten Sohn Henry Prevost ein Teil der Analytical-Engine realisiert. Er konstruierte einen, auf den Plänen der Analytical-Engine basierenden, handbetriebenen Rechner. Neben der „mill“ und der arithmetischen Einheit besaß sie auch eine Druckvorrichtung. Sie wurde – mit einigen Unterbrechungen – in der Werkstatt von W. R. Munro zwischen 1880 und 1910 erstellt. Dieser Rechner war in der Lage die vier Grundrechenarten auszuführen. Die Maschine wurde 1910 fertiggestellt und benutzt, um die ersten 22 Vielfachen auf 28 Stellen von Π zu bestimmen und auszudrucken. Später hat man festgestellt, daß diese Rechnungen Fehler enthielten. So ist es also fraglich, ob die Maschine in der Lage war sicher zu rechnen.

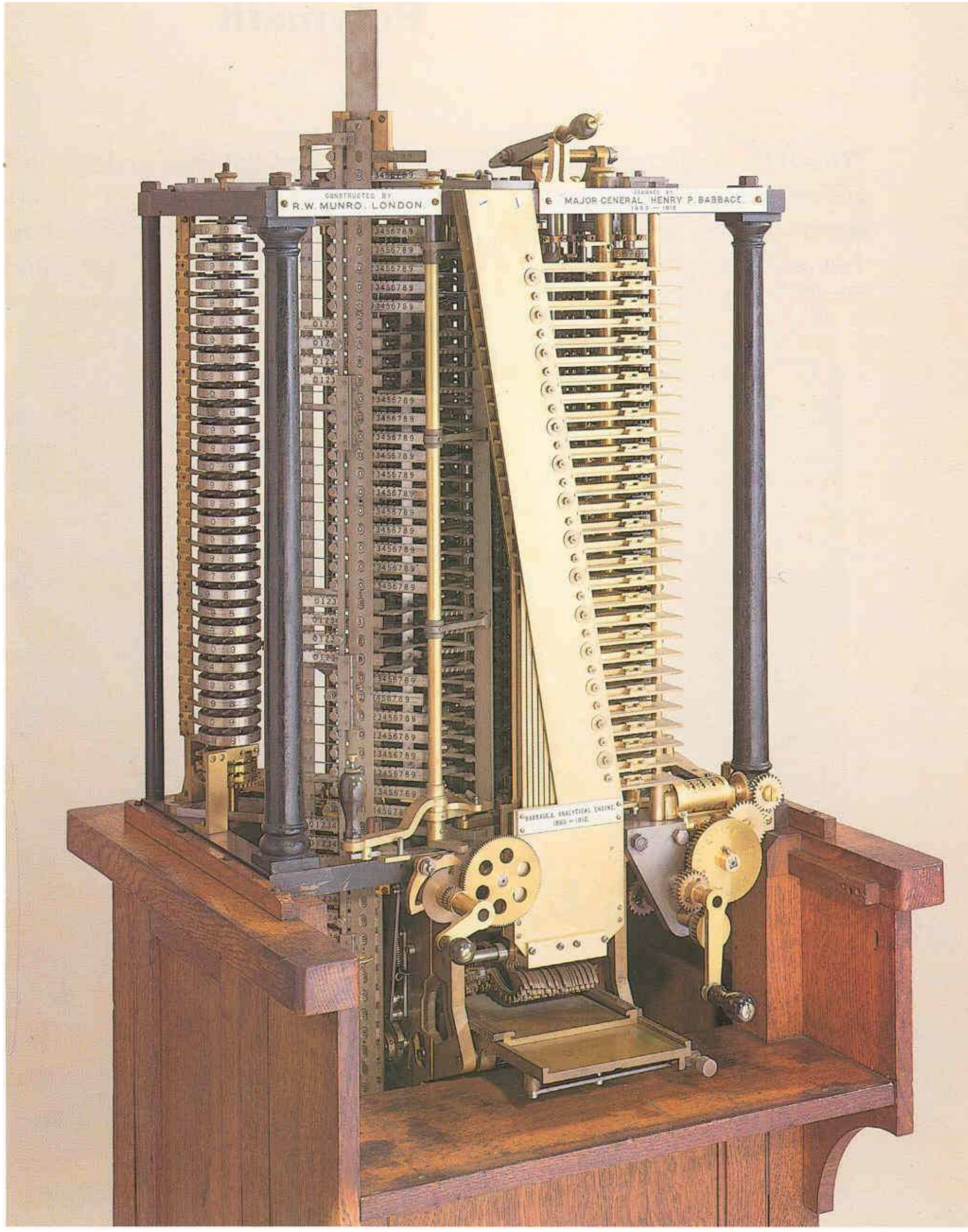


Abb. 12.10 Die von Henry Prevost Babbage gebaute „mill“

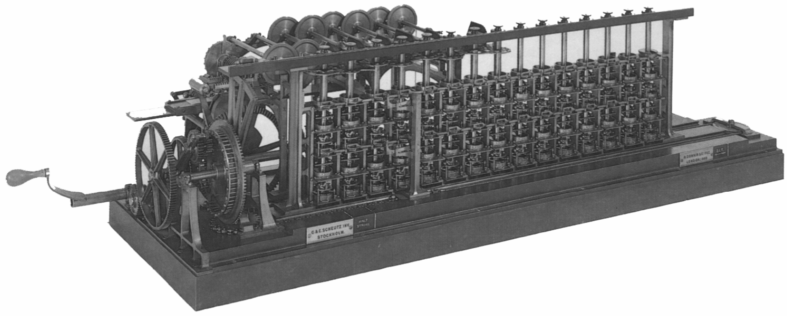
Die Ehre, die erste große Differenzenmaschine konstruiert zu haben, geht an das Schwedische Vater und Sohn Team, Georg und Edward Scheutz. Durch BabbagesArbeiten inspiriert, stellten sie 1843 ihren Prototypen vor.

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

Insgesamt wurden drei Differenzenmaschinen von Scheutzs 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 sei.

Abb. 12:
Die obere Maschine ist die Scheutz-Maschine Nr.3. Sie ist im wesentlichen eine Kopie der 2. Maschine.
Sie wurde für 1.200 Pf Verkauft(615 Pf über den Herstellungspreis) und hatte folgende Maße:
(45x187x52 cm)

Abb. 13:
Die untere Maschine ist die Scheutz-Maschine Nr.2



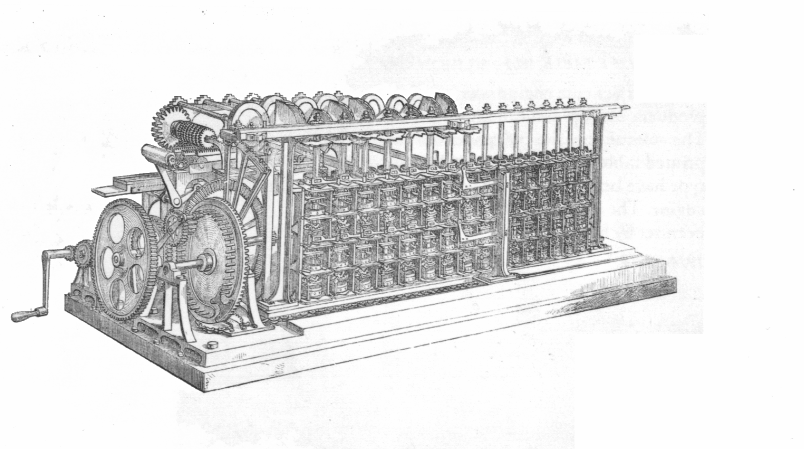


Abb. 12.11

Die Scheutzs stellten drei Maschinen her, einen Prototypen und zwei Produktionsmaschinen. Die zwei Produktionsmaschinen wurden verkauft.

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.

Scheutzs 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.

Es gab auch noch andere Ansätze im 19. Jahrhundert, Differenzenmaschinen zu bauen. Alfred Deacon aus London, Martin Wiberg aus Schweden und Barnard Grant aus Amerika. Deacons Maschine wurde niemals fertiggestellt. Die Wiberg-Maschine, fertiggestellt 1860, wurde benutzt um eine große Anzahl von Tabellen herzustellen. Diese Tabellen wurden in Schweden, England, Frankreich und Deutschland veröffentlicht. Grants Maschine wurde 1876 im Central Exhibition in Philadelphia ausgestellt. Die Attraktion war aber eher kurzlebig.

Babbage war nicht der erste Mensch, der über die Konstruktion einer mechanischen Rechenanlage, noch über die Benutzung der Methode der finiten Differenzen nachgedacht hat. Johann Müller (1746-1830) einIngenieur und Baumeister hatte schon Jahre vor Babbge die Idee, mit Hilfe der finiten Differenzen eine Maschine zu bauen.

In einem Brief, geschrieben 1784 von Müller, berichtet er, daß er über den Bau einer Maschine nachdenkt, die rechnen kann und die Ergebnisse druckt, indem man lediglich einen Hebel dreht. Dieser Brief enthält die erste Beschreibung einer druckfähigen Rechenmaschine. In einem anderen Brief beschreibt er Pläne für eine Maschine, die die Quadrat- und Kubikzahlen berechnet, mit Hilfe der Differenzen. Müller hat sich also eine Differenzenmaschine, 36 Jahre vor Babbage, ausgedacht. Details wurden 1786 in einem Buch veröffentlicht, welches teilweise von John Herschel für Babbage übersetzt wurde. Das Datum dieser Übersetzung ist allerdings unbekannt, so daß bis heute ungeklärt ist, ob Babbage seine Ideen von Müller hatte oder nicht.

Die Bewegung im 19. Jahrhundert das automatische Rechnen zu mechanisieren scheiterte. Ihre Pioniere die Scheutzs und Babbage starben in Armut und, zumindest Babbage, persönlich unzufrieden.

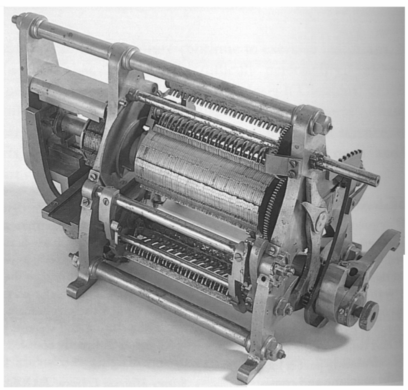


Abb. 12:
Die obere Masc
ist die Scheutz-
Maschine Nr.3.
ist im wesentlich
eine Kopie der 2
Maschine.
Sie wurde für 1.20
Verkauft(615 Pf über
den Herstellungspreis)

Abb. 11:
Die Abbildung auf der rechten Seite stellt die Difference-Engine No.2 dar, wie sie 1991 realisiert worden ist.

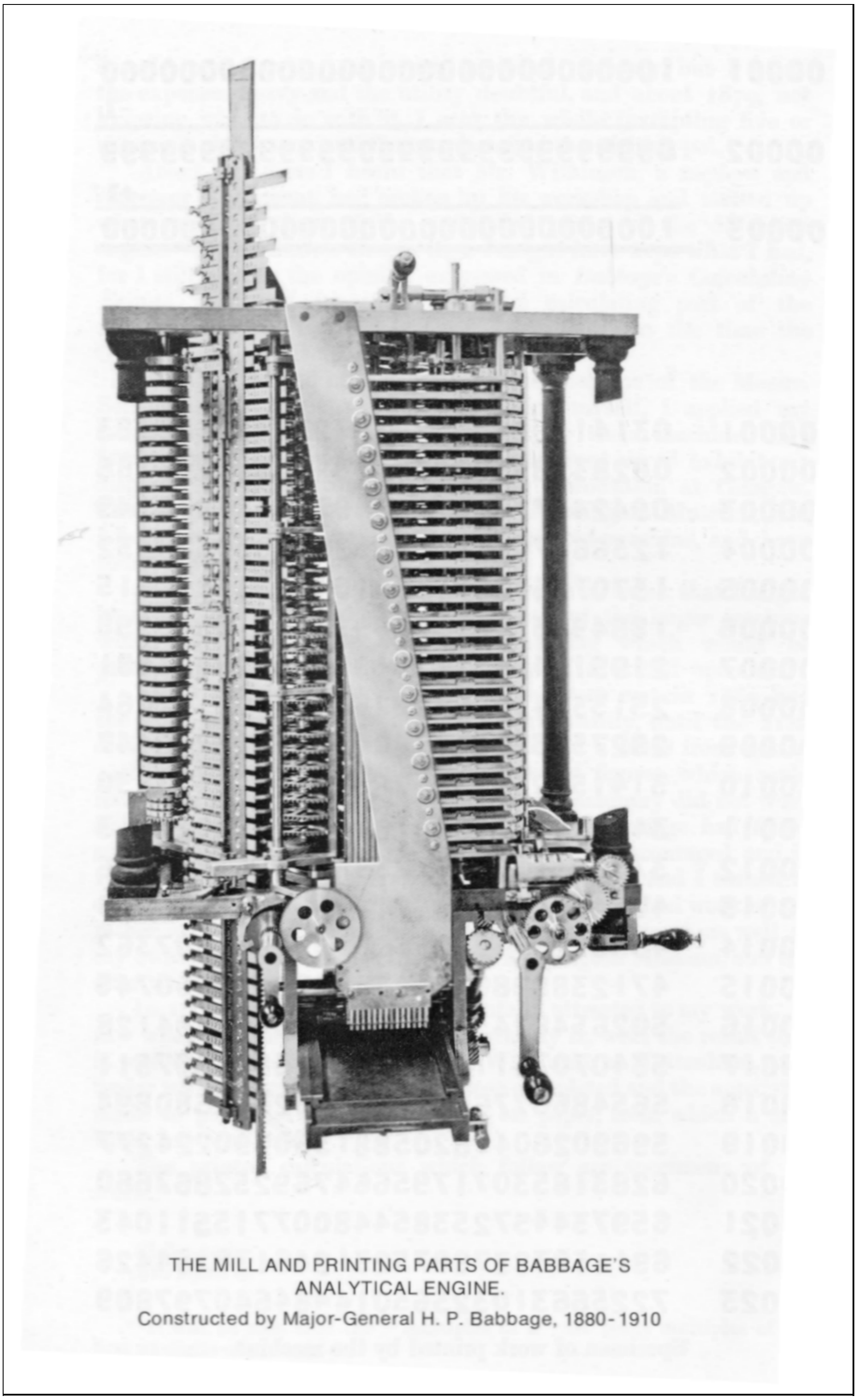
Fast a

Abb

Die
Sch

(54

Abb. 14:



THE MILL AND PRINTING PARTS OF BABBAGE'S
ANALYTICAL ENGINE.
Constructed by Major-General H. P. Babbage, 1880-1910

Abb. 12.13 Die von Generalmajor Henry Babbage nach Entwürfen seines Vaters konstruierte „Mill“

00001	10000000000000000000000000000
	-1
00002	09999999999999999999999999999
	+1
00003	10000000000000000000000000000

MULTIPLES OF π

00001	03141592653589793238462643383
00002	06283185307179586476925286766
00003	09424777960769379715387930149
00004	12566370614359172953850573532
00005	15707963267948966192313216915
00006	18849555921538759430775860298
00007	21991148575128552669238503681
00008	25132741228718345907701147064
00009	28274333882308139146163790447
00010	31415926535897932384626433830
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

Abb. 12.14 Der Ausdruck bei der ersten Präsentation der „mill“

Abb. 12.15 Charles Babbage im Jahr 1860

Abb. 8:
Dies sind die Karten, mit deren Hilfe die Analytische Maschine programmiert wurde.Die kleineren Karten sind Operationskarten, die größeren sind die Variablenkarten.
(13x5.5 cm) bzw (18.5x7cm)

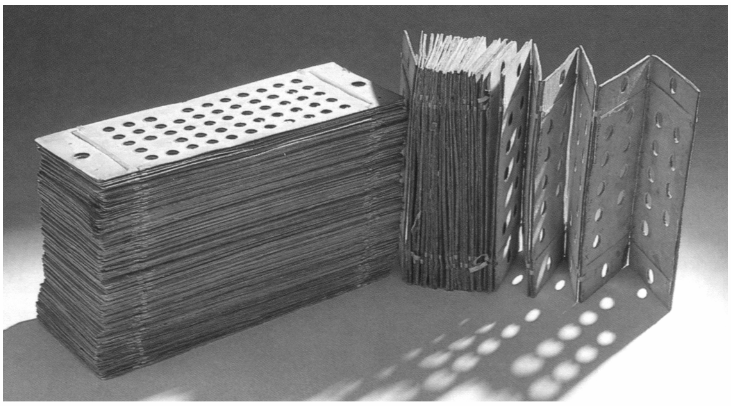


Abb. 10:
Der Teil der Analytical Engine, welcher 1910 durch Babbages Sohn realisiert wurde.

13 Die ersten programmierbaren Rechner

13.1 Die ersten Arbeiten von Zuse

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.

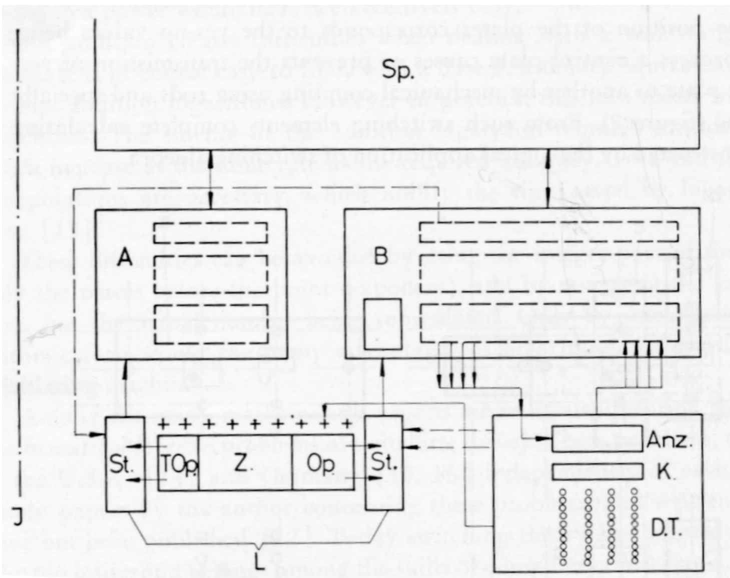


Abb. 13.1 Das Architekturkonzept der Z 1

Wie man aus dem Bild ersieht, entsprach der Grundaufbau genau dem Prinzip der heutigen Rechnerarchitektur, die wir als von-Neumann-Rechner bezeichnen. Da ihm die Relaistechnik zu aufwendig erschien und ihm außerdem die finanziellen Mittel fehlten, versuchte er eine mechanische Realisierung. Leider wurde seine erste Maschine, die '*Z1*', nie vollständig funktionsfähig, da er erfahren mußte, daß die Mechanik für die von ihm verfolgten Ziele nicht flexibel genug war. Auch hatte er immer wieder Finanzierungsprobleme.

Ein wesentlicher Durchbruch für die weiteren Arbeiten ergab sich aus der Zusammenarbeit mit Helmut Schreyer, einem Pionier des „elektronischen“ Rechnens. Er erfand als Doktorand an der TH Berlin-Charlottenburg ab 1937 die Grundkomponenten zur Realisierung der Grund-operationen Konjunktion, Disjunktion und Negation sowie für Speicherelemente (Flip-Flops) auf der Basis von Röhren.

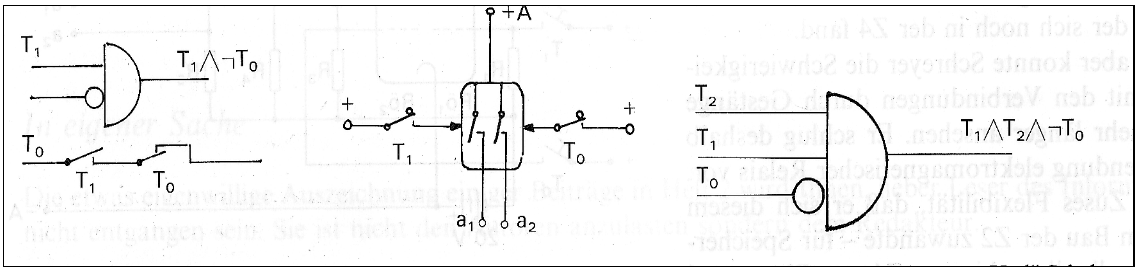


Abb. 13.2 Schaltbilder zum „Röhrenrelais“ - in der Mitte Schreyers Symbolik

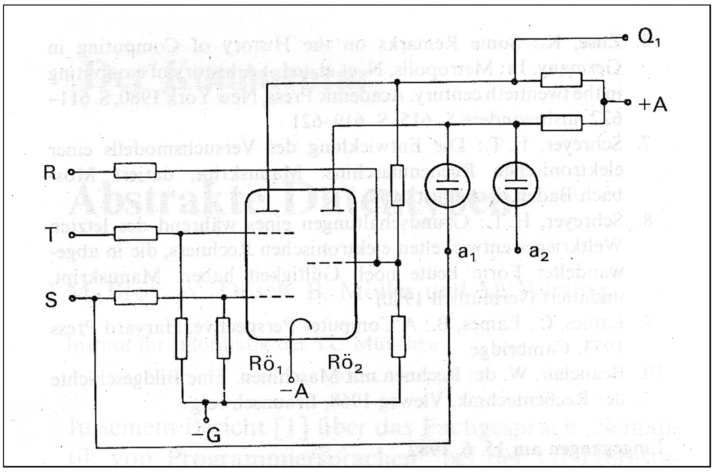


Abb. 13.3 Röhrenrelais als speicherndes Flip-Flop

Zuse und Schreyer wurde schnell klar, daß sie Zuses Konstruktionsprinzipien beibehalten konnten und nur durch die Ersetzung von mechanischen Bauteilen durch Schaltungen auf der Basis von Röhren und Glimmlampen die Rechengeschwindigkeit vertausendfachen konnten.

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.

13.2 Die „Z 3“

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.

Es 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.

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.

Die logischen Zusammenhänge des Gerätes, insbesondere der arithmetische Teil im binären Zahlensystem mit Gleitkomma und allen Übersetzungsvorgängen von einem Zahlensystem ins andere, waren voll verdrahtet. Die Speicherkapazität von vierundsechzig Worten ist nach heutigen Begriffen nicht sehr hoch. Sie genügte jedoch vollkommen, um das Prinzip zu zeigen und die Programmsteuerung zu erproben. Die Herstellung der Programme war noch recht primitiv.

Handelsübliche Lochstreifengeräte, wie sie damals schon im Fernsprechbau für 5-Kanal-Lochstreifen benutzt wurden, konnte man während des Krieges nicht bekommen. Man half sich mit selbstgebauten Loch- und Lesegeräten und benutzte normale Filmstreifen, eine Idee Schreyers. Gelocht wurden sie mit einem einfachen Handlocher.

Außer einigen Prüfungsprogrammen, zum Beispiel zur Berechnung von Determinanten oder quadratischen Gleichungen, war hauptsächlich das Programm für die Berechnung einer komplexen Matrix wichtig. Dies stellte einen wesentlichen Arbeitsgang bei der Berechnung der kritischen Flatterfrequenzen von Flugzeugen dar. Flügelflattern kann bei kritischen Geschwindigkeiten der Flugzeuge eintreten, wenn sich die Schwingungen der Flügel in der Eigenfrequenz durch den Luftstrom verstärken. Diese Erscheinung hatte in der Pionierzeit des Flugzeugbaus viele zunächst unerklärliche Abstürze verursacht. Nur langsam konnten ihre sehr schwierigen theoretischen Grundlagen erforscht werden. Die Berechnung der kritischen Frequenzen erforderte einen großen Rechenaufwand. Daher waren in erster Linie die „Flatterfachleute“ an der programmgesteuerten Rechenmaschine interessiert.

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.

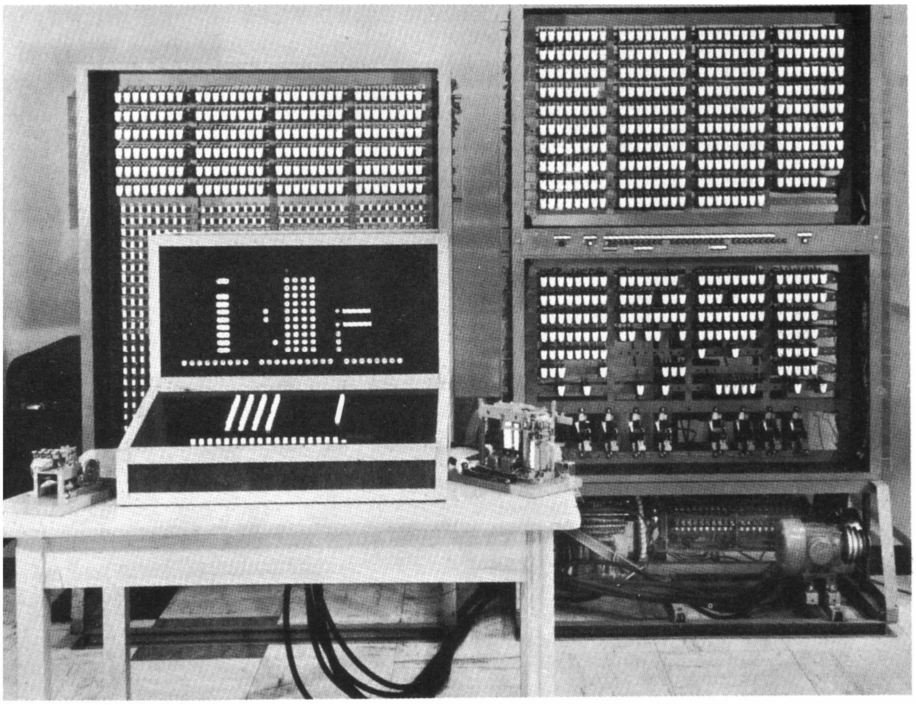


Abb. 13.4 Der Nachbau der Z3 im Deutschen Museum

13.3 Die „Z 4“

Am 1. April 1941 gründete Zuse die Dipl.-Ing. K. Zuse Ingenieurbüro und Apparatebau, die im November 1942 in die Gewerberolle eingetragen wurde. Die Firma finanzierte sich vor allem mit Aufträgen der Luftwaffe, die Zuse als Subunternehmer von dem Henschel-Flugzeugwerken AG erhielt.

Einer dieser Aufträge betraf die Entwicklung und Fertigungskontrolle oder unter den Nummern Hs 293 und Hs 294 von Henschel entwickelten ferngelenkten „fliegenden Bomben". Benötigt wurde hierzu ein möglichst einfaches Lenksystem. Da Abweichungen der Oberfläche Auswirkungen auf die Flugbahn haben, müssen sie durch eine entsprechende Korrektur der Flügel und des Leitwerks ausgeglichen werden. Es war also notwendig die Ungenauigkeiten der aerodynamischen Flächen an jedem Flugkörper zunächst genau zu vermessen und aus diesen Daten dann die entsprechenden Leitwerkskorrekturen zu berechnen. Hierzu wurde bei Henschel im Zweischichtbetrieb ungefähr ein Dutzend Tischrechenmaschinen eingesetzt. Als sich diese Maschinen der Dauerbeanspruchung nicht gewachsen wurden, baute Zuse aus 800 Relais ein Spezialrechengerät mit festem Programm und Festkommarechnung, welches diese Berechnungen automatisch ausführen konnte. Dieses Gerät, von dem noch ein zweites Exemplar hergestellt wurde, arbeitete von 1942 bis 1944.

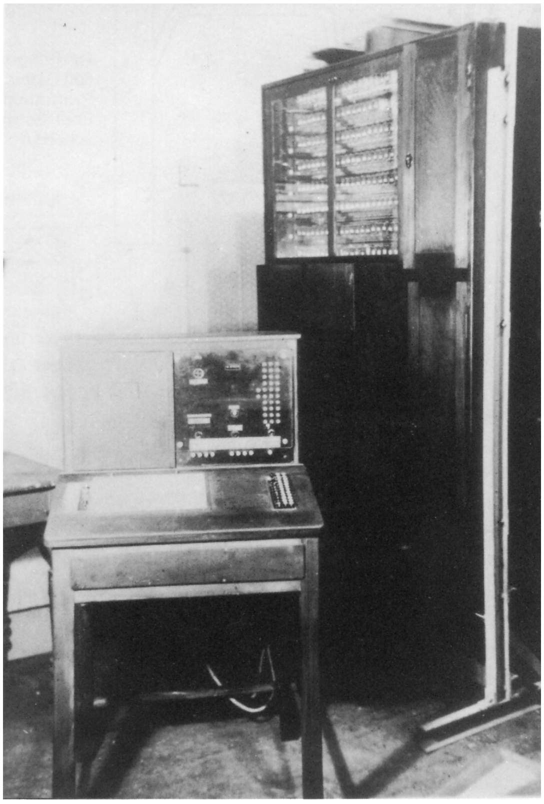


Abb. 13.5 Das Spezialmodell S1

Diese Aufträge ermöglichten Zuse die Weiterentwicklung der *Z3*. Er begann 1942 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.

Während der Entwicklung beschäftigte er sich auch intensiv mit theoretischen Grundlagen. So hatte Zuse 1944 auch Kontakt mit dem Institut für Mathematische Logik und Grundlagenforschung in Münster. In seinen Memoiren schreibt er:

„Ein besonderes Ereignis noch im Kriegsjahr 1944 war es, als mich Professor Heinrich Scholz aus Münster besuchte. Es war der erste Kontakt mit einem anerkannten und bedeutenden Vertreter der mathematischen Logik. Auf Grund meiner bisherigen Erfahrungen hatte ich zunächst große Bedenken, mit einem reinen Mathematiker über die profanen Fragen der angewandten Logistik und die sich dahinter verbergende Möglichkeit des künstlichen Gehirns zu sprechen. Unsere Unterhaltung erwies sich aber als sehr fruchtbar, wenngleich sie zum Teil unter widrigen Bedingungen, nämlich im Luftschutzkeller, stattfand. Scholz stand meinen Ideen aufgeschlossen gegenüber, was mich ermutigte, mich noch intensiver mit ihnen zu beschäftigen. Leider blieb dies meine einzige Begegnung mit dem großen Gelehrten. Scholz ist kurz nach dem Krieg verstorben. Auch sein Schüler und mein damaliger Mitarbeiter Lohmeyer verunglückte bald nach dem Krieg bei einem Autounfall tödlich."

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*[1] 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", sowie die den Behörden bekannten Entwicklungsaufträge Zuses für die Luftwaffe, 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.

[1](Versuchsmodell 4)

Abb 13.6 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

Abb. 13.7 Haus Tannheimer in Hinterstein im Allgäu (Holzschnitt von Konrad Zuse)
Heute ist an dem Haus eine Gedenktafel angebracht, die an den Aufenthalt von Zuse erinnert.

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.“

Kurz vor der Währungsreform gründete Zuse das „Zuse-Ingenieurbüro Hopferau bei Füssen“ und nahm Kontakte vor allem nach den USA auf. Nach den Amerikanern, die spezielle Entwicklungen in Auftrag gaben, waren Schweitzer die ersten Geschäftspartner:

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

1950 wurde die *Z4* verladen und nach Zürich geschafft. Es war ihr sechster Transport. Über die genauen Umstände des Transportes der *Z4* aus dem Allgäu in die Schweiz schweigen sich alle Beteiligten bis heute aus. Auf Grund der damaligen politischen und juristischen Verhältnisse ist dies auch nachvollziehbar (Kontrollratsgesetze).

Abb. 13.8 Teilansicht der Z4 an der ETH Zürich

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.

13.4 Die Nachkriegsentwicklungen von Zuse

Als Nachfolgeunternehmen des „Zuse-Ingenieurbüro Hopferau bei Füssen" gründete Zuse 1949 zusammen mit Harro Stukken und Alfred Eckhard die Zuse KG in Neukirchen gegründet. Theodor Fromme wurde als wissenschaftlicher Leiter der Zuse KG eingestellt.

Abb. 13.8
Das Logo der Zuse KG.

Die neue Firma war sofort sehr aktiv. Eine der ersten Entwicklungen war der Rechner Z5, ein Großauftrag der Leitz AG in Wetzlar aus dem Jahr 1950. Zuse entwickelte diesen Rechner aus Relais, da ihm die Röhrentechnik mit mehr als 50 Prozent Ausfallzeit Als zu unzuverlässig erschien. Die Z5 arbeitete nach den gleichen Grundsätzen wie die Z4, jedoch mit 6-facher Geschwindigkeit und mit mehreren Lochstreifenabtastern. Die Auslieferung der Z5 erfolgte vermutlich im Jahr 1952, das Original ist heute nicht mehr vorhanden.

Die neue Firma war sofort sehr aktiv. Eine der ersten Entwicklungen war der Rechner Z5, ein Großauftrag der Leitz AG in Wetzlar aus dem Jahr 1950. Zuse entwickelte diesen Rechner aus Relais, da ihm die Röhrentechnik mit mehr als 50 Prozent Ausfallzeit Als zu unzuverlässig erschien. Die Z5 arbeitete nach den gleichen Grundsätzen wie die Z4, jedoch mit 6-facher Geschwindigkeit und mit

mehreren Lochstreifenabtastern. Die Auslieferung der Z5 erfolgte vermutlich im Jahr 1952, das Original ist heute nicht mehr vorhanden.

Die wesentlichsten Merkmale der Z5 zeigt die nachfolgende Tabelle:

Name des Rechners	Z5
Technik	Ca. 1500 Relais im Rechenwerk, mehr als 700 Relais im Speicher werk
Taktfrequenz	Ca. 50 Hertz
Rechenwerk	Gleitkommarechenwerk, 36 Bit Wortlänge, 25-50 Operationen pro Sekunde, bedingter Sprungbefehl
Mittlere Rechengeschwindigkeit	Addition 0.1 Sek.; Multiplikation 0,40 Sek. Division 0,75 Sek.
Eingabe	Dezimaltastatur oder Lochstreifen, Unterprogrammschleifen
Ausgabe	Schreibmaschine, Lochstreifen
Wortlänge	36 Bit, Gleitkomma, 1 Bit Vorzeichen, 7 Bit Exponent, 28 Bit Mantisse
Anzahl Relais	Ca. 2200
Anzahl Schrittschalter	Ca. 20
Speicheraufbau	Mehr als 720 Relais
Leistungsaufnahme	Ca. 6000 Watt
Gewicht	Ca. 2000 kg
Einsatzgebiet	Firma Leitz, Wetzlar:. Berechnung von optischen Linsensystemen
Anzahl verkaufter Rechner	1
Preis in DM	300.000

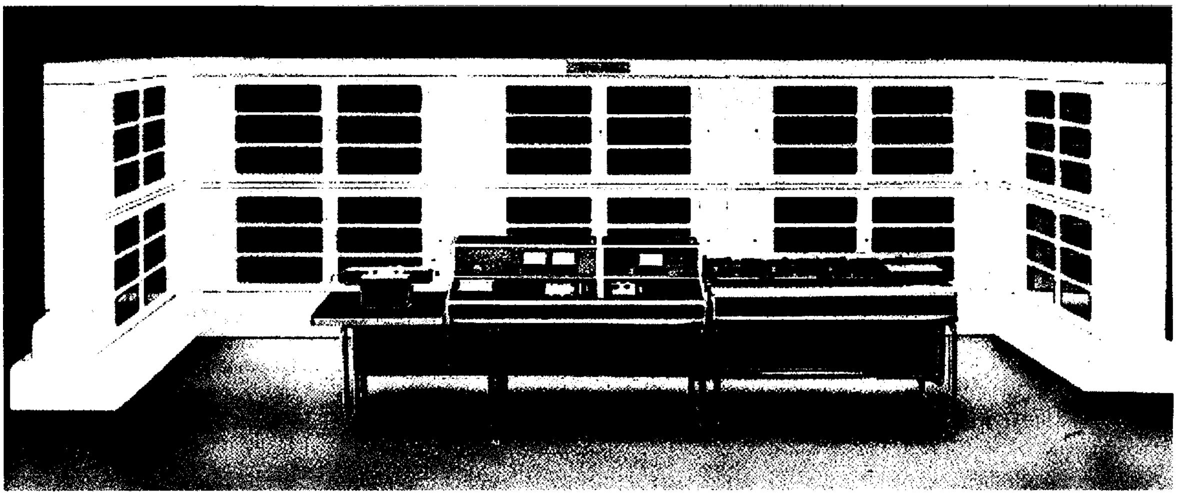


Abb. 13.8 Die Z5

Die nächste Rechnerentwicklung war die Z11 - die Bezeichnungen Z6 bis Z10 wurden offensichtlich übersprungen. Dieser Rechner wurde vornehmlich für Landvermessungen und für statische und optische Berechnungen eingesetzt. Er war der erste in Serienfertigung hergestellte Rechner. Als Original kann die Maschine heute im Deutschen Technik Museum Berlin und im Nixdorf Museums Forum Paderborn besichtigt werden.

Die wesentlichsten Merkmale der Z11 waren:

Name des Rechners	Z11
Technik	1665 Relais - 654 Relais Speicher
Taktfrequenz	10-20 Hertz - mechanisch
Rechenwerk	Gleitkommarechenwerk, 27 Bit, Gleitkomma: Mantisse plus Exponent und Vorzeichen
Mittlere Rechengeschwindigkeit	Ca. 2 Multiplikationen pro Sekunde
Eingabe	Dezimaltastatur - Lochstreifen
Ausgabe	Lochstreifen
Wortlänge	27 Bit, Gleitkomma: Mantisse, Exponent und Vorzeichen
Anzahl Relais	1665
Anzahl Schrittschalter	28
Speicheraufbau	654 Relais, 26 Worte ä 27 Bit
Leistungsaufnahme	Ca. 2000 Watt
Gewicht	Ca. 800 kg (ohne Pult und Stromversorgung)
Einsatzgebiet	Landvermessung, statische und optische Berechnungen
Anzahl verkaufter Rechner	43
Preis in DM	Ca. 100.000

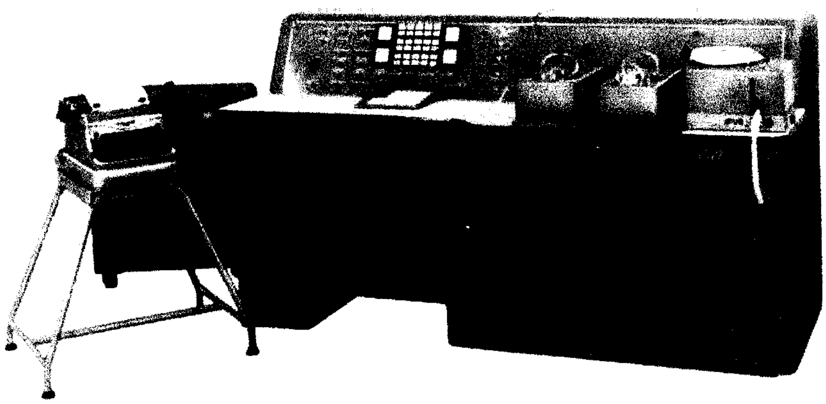


Abb. 13.11 Die Z11

Die erste Maschine auf Röhrenbasis der Zuse KG 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, habe ich selbst 1965 meine ersten „Gehversuche“ absolviert

Die Daten der Z22:

Name des Rechners	22
Technik	Röhrenrechner
Taktfrequenz	140.000 Hertz - elektronisch - mechanisch stabilisiert
Rechenwerk	leitkommarechenwerk, 38 Bit Wortlänge
Mittlere Rechengeschwindigkeit	Addition 0,6 ms; Multiplikation 10 ms; Division 60ms; Wurzel 00 ms
Eingabe	Lochstreifen (Fernschreibcode) Streifenleser bis 200 Zeichen pro Sekunde
Ausgabe	Schreibmaschine oder Lochstreifen
Wortlänge	8 Bit, Gleitkomma
Anzahl Bauelemente	500 Röhren, 2400 Dioden
Anzahl Schrittschalter	Keine
Speicheraufbau	Magnettrommel 600 U/min, 8192 Speicherplätze, 25 Speicher lätze Ferritkern. Z22R mit erweitertem Ferritkern-S eicher
eistun saufnahme	a. 3500 Watt
Gewicht	a. 1000 k
Einsatzgebiet	tische Industrie, Universitäten
Anzahl verkaufter Rechner	50 im Inland, 5 im Ausland
Preis in DM	50.000 DM

Abb. 13.12 Die Z22

Mit der Z23 erfolgte der Übergang zur Transistortechnik. Ihre wesentlichsten Daten waren:

Name des Rechners	Z23
Technik	Transistoren
Taktfrequenz	150.000 Hertz - elektronisch
Rechenwerk	Gleitkommarechenwerk - Festkommarechenwerk, 40 Bit Wortlänge
Mittlere Rechengeschwindigkeit	20 Operationen pro Sekunde, 30 Operationen Festkomma pro Sekunde
Eingabe	Tastatur. Lochstreifen mit bis zu 1000 Zeichen pro Sekunde Lochkartenleser
Ausgabe	Lochstreifen bis 300 Zeichen pro Sekunde, Fernschreiber mit 7,5 - 10 Zeichen pro Sekunde
Wortlänge	40 Bit
Anzahl Bauelemente	2700 Transistoren, 6800 Dioden
Anzahl Schrittschalter	Keine
Speicheraufbau	Magnettrommel 6000 U/min, ca.16k Speicherplätze, 200 Speicherplätze Ferritkern
Leistungsaufnahme	Ca. 3000 Watt
Gewicht	Ca. 1000 k
Einsatzgebiet	Wissenschaft und Technik
Anzahl verkaufter Rechner	80 im Inland, 18 im Ausland
Preis in DM	200.000 DM

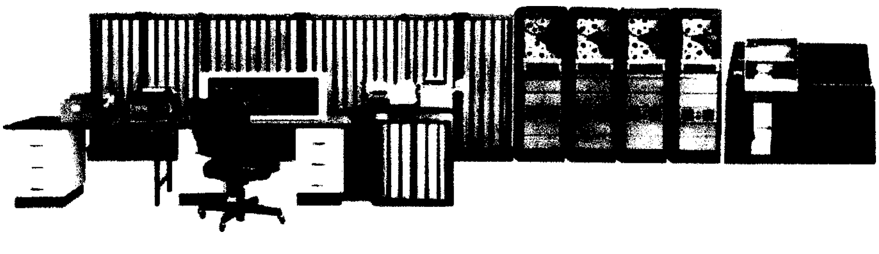


Abb. 13.13 Die Z23

Das letzte Modell dieser Entwicklungsreihe war die Z25. Sie galt als universeller Rechner für den Einsatz in allen Gebieten der Wissenschaft, Technik, Prozeßsteuerung, Verwaltung und kommerziellen Datenverarbeitung. Durch die Erweiterung des Kernspeichers, den Anschluß von Magnettrommel- und Magnetspeichern, sowie durch leistungsfähige Peripheriegeräte war der Aufbau von mittelgroßen Datenverarbeitungssystemen möglich.

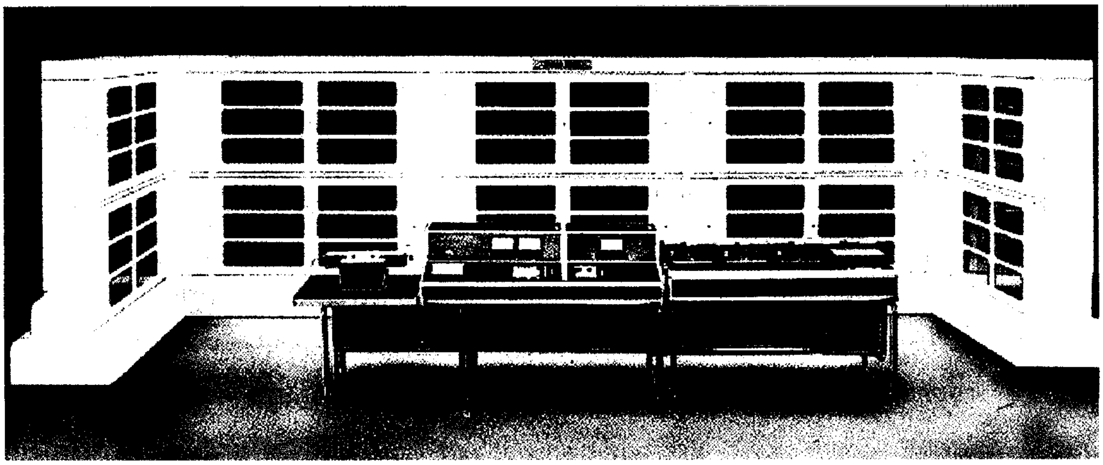


Abb. 13.14 Die Z25

Die Daten der Z25:

Name des Rechners	Z25
Technik	Transistoren in Megahertztechnik
Taktfrequenz	294.000 Hertz - elektronisch
Rechenwerk	Gleitkommarechenwerk, 18 Bit Wortlänge
Mittlere Rechengeschwindigkeit	500 Operationen pro Sekunde
Eingabe	Fast alle auf dem Markt angebotenen Eingabegeräte
Ausgabe	Fast alle auf dem Markt angebotenen Ausgabegeräte
Wortlänge	18 Bit, Gleitkomma
Anzahl Bauelemente	?
Anzahl Schrittschalter	Keine
Speicheraufbau	Ferritkern-Speicher: 4k bis 16k Speicherplätze
Leistungsaufnahme	Ca. 1800 Watt
Gewicht	Ca. 200 k (Zentraleinheit)
Einsatzgebiet	Optische Industrie, Universitäten, Verwaltung, Produktionssteuerung
Anzahl verkaufter Rechner	110 im Inland, 18 im Ausland
Preis in DM	80.000 DM

Als Spezialrechner wurde noch die Z64 entwickelt. Der Rechner Z64, der Graphomat, war ein Lochstreifen- bzw. Lochkartengesteuerter Zeichentisch in Transistortechnik, ein automatisches Zeichengerät. Seine Verwendungsgebiete waren die vollautomatische Zeichnung einzelner Punkte, beliebiger Kurven und erklärender Symbole z.B. für die Geodaesie. Von ihm wurden in Deutschland 110 und im Ausland 18 zu einem Preis von ca. 90.000,- DM verkauft

Die Z11 und der Bau der weiteren Rechnern wie der Z22, Z23, Z25 und der Z64 verhalfen der Zuse KG zu einem wirtschaftlichen Aufschwung. Die Zuse KG wurde als direkter Konkurrent zur IBM gesehen, wobei die Zuse KG den Vorteil hatte, daß sie einen persönlichen Kontakt zu den Auftraggebern pflegte. Der wirtschaftliche Aufschwung führte zu einem Produktionsstandortwechsel: Die Zuse KG zog nach Bad Hersfeld. Der Verkauf erfolgte in weiten Teilen Europas. Die Zuse KG expandierte weiter sehr schnell, so daß in kurzer Zeit bereits die Zuse KG auf 15 Stellen in der Stadt Bad Hersfeld verteilt war.

Abb. 13.15 Konrad Zuse

Durch den Fortgang der beiden Teilhaber war Zuse zu einem Einzelunternehmer geworden, der jetzt sämtliche Aufgaben wahrnehmen mußte. Bald traten einige Probleme auf, die die Zuse KG stark schwächten: Die zu schnelle Aufteilung in viele Unterabteilungen erzeugte z.B. das Problem der Organisation beim Bau neuer Rechner. Die Entwicklungskosten stiegen sowohl im Bereich der Hardware als auch der Software. Zudem wollten die Kunden immer weniger die Rechner im voraus bezahlen, sondern nur mieten. Darüberhinaus wurden die großen Verträge an andere Firmen, wie z. B. Siemens, vergeben, so daß die Zuse KG meistens nur wenige kleinere Aufträge erhielt. Neben diesen rein finanziellen Problemen, kamen zudem Probleme in der Entwicklung der Rechner: Viele weitere Rechnermodelle wurden entwickelt, konnten allerdings nicht produziert bzw. verkauft werden. Das größte Problem lag im

Bereich der Software. Insgesamt entstanden Finanzierungsprobleme durch die Differenz zwischen den Entwicklungskosten und dem Verkauferlös.

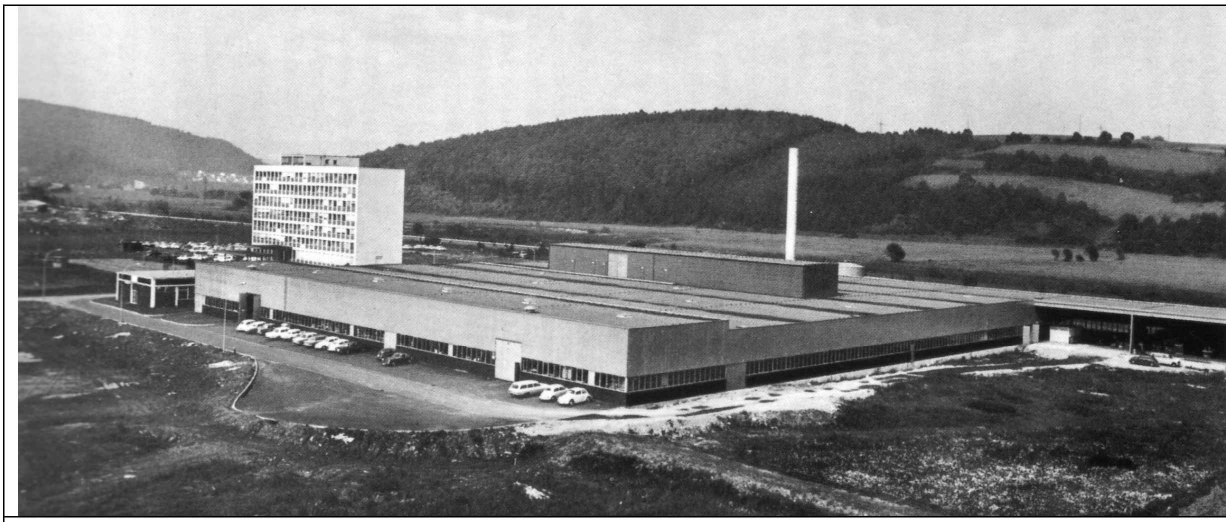


Abb. 13.16 Die Zuse KG

Die Folge war, daß die Zuse KG ihre Finanzierungsprobleme lösen mußte. Eine staatliche Förderung gab es nicht. Hinzu kamen Schwierigkeiten mit der Auslieferung der Z25, bei dem zunächst ein neuer – aber fehlerhafter – Transistortyp verwendet wurde. Es entstand ein finanzieller Rückstand von ca. 20 Millionen DM. Da die Banken die notwendigen Kredite verweigerten bedeutete dies 1962 das Ende der Zuse KG. Zuse konnte seine Firma gewinnbringend an die Firma Brown verkaufen. Die Siemens AG übernahm schließlich 1967 die ehemalige Zuse KG.

Konrad Zuse, dieser Pionier der modernen EDV, starb am 8. Dezember 1995 im Alter von 86 Jahren.. Die Diplome, Orden und Ehrungen mit denen dieser Erfinder im Laufe der Jahre überhäuft wurde, ergeben aufgelistet einen dreizehn Seiten langen Computerausdruck. Sein Verdienst 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 seine beiden abgebildeten Holzschnitte zeigen und darüberhinaus ein großes Maß an Humor, für den stellvertretend seine Geburtsanzeige für sein fünftes Kind ein Zeugnis abgibt:

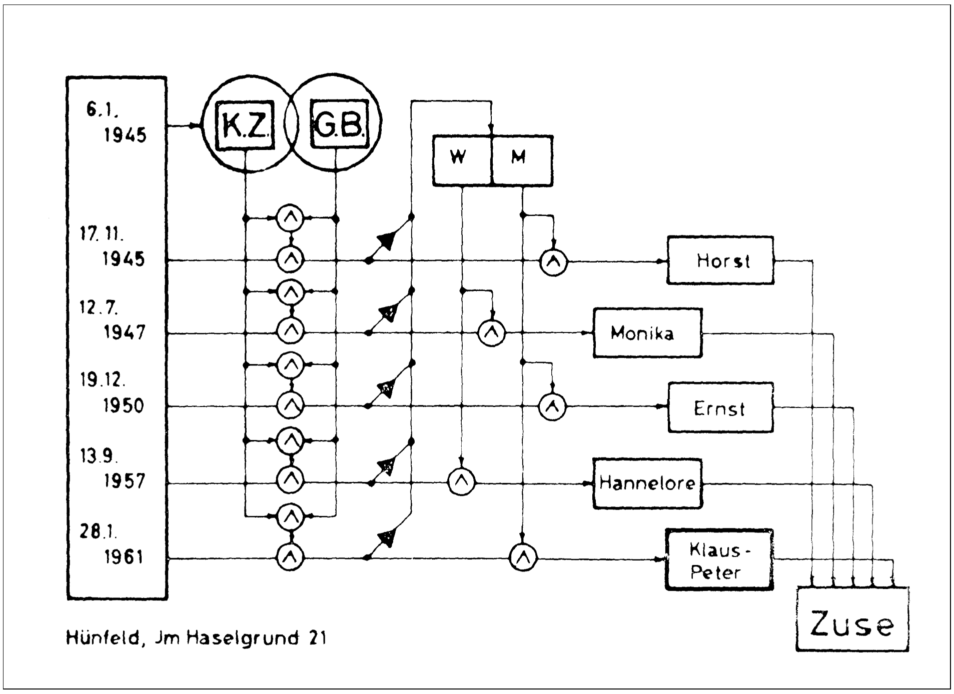


Abb. 13.9 Geburtsanzeige für das fünfte Kind von Zuse

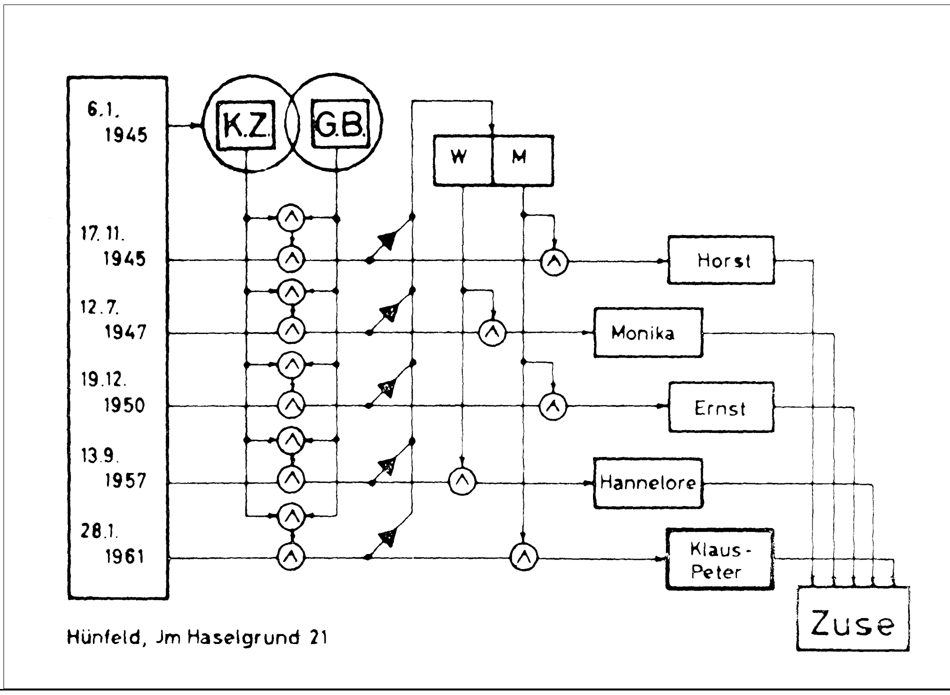

6.1.
1945
K.Z.
G.B.
W
M
17.11.
1945
12.7.
1947
19.12.
1950
13.9.
1957
28.1.
1961
Horst
Monika
Ernst
Hannelore
Klaus-
Peter
Zuse
Hünfeld, Jm Haselgrund 21

Abb. 13.9 Geburtsanzeige für das fünfte Kind von Zuse

14 Der Einzug der Elektronik

Im Jahr 1943 schätzte Thomas J. Watson, der Vorsitzender von IBM, den Bedarf an Computern weltweit wie folgt ein:

"I think there is a world market for maybe five computers."

Doch schon bald gingen die Aufgabenbereiche der „Computer“ über militärische Zwecke, für die sie zunächst eingesetzt wurden, hinaus. So wurden die Maschinen auch für wissenschaftliche und kommerzielle Anwendungen interessant. 1951 brachten die Erbauer der ENIAC die UNIVAC 1 heraus. 1954 zeigten die Briten mit dem LEO, daß Computer bei der Automatisierung von Büroarbeit von praktischem Nutzen waren. In Deutschland wurde etwa zur gleichen Zeit der Relaisrechner Z5 fertiggestellt.

Gegen Ende der 50er Jahre waren weltweit ca. 8000 Computersysteme installiert. Bis zum Ende der 60er Jahre blieb der Computer aber eine Maschine für Spezialisten. Sollte Watson mit seiner Aussage tatsächlich Recht behalten?

Im Folgenden werden die Entwicklungen in unterschiedlichen Ländern nach dem zweiten Weltkrieg aufgezeigt, um so den Siegeszug des Computers nachvollziehen zu können.

14.1 Die Entwicklung in den USA

Die weitere Entwicklung der Rechenautomaten (oder Computer, wie sie langsam genannt wurden) fand anschließend 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*, 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. Es war eine wahrhaft riesige Maschine von fast 20 Metern Länge. 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, 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. 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* 1946 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. Man erzählt, daß in Pennsylvania das Licht schwächer wurde, wenn man die *ENIAC* anschaltete.

Damit war der Schritt zu elektronischen Universalrechnern vollzogen, der Schreyer und Zuse bereits 1942 vorschwebte. Die weitere Entwicklung war durch den Einsatz von Transistoren, dem Übergang zu integrierten Schaltungen, und damit verbunden, durch eine immer weiterschreitende Miniaturisierung bei gleichzeitiger Leistungssteigerung gekennzeichnet. An dem Grundprinzip hat sich seit den Ideen von Babbage und der Realisierung durch Zuse nichts geändert.

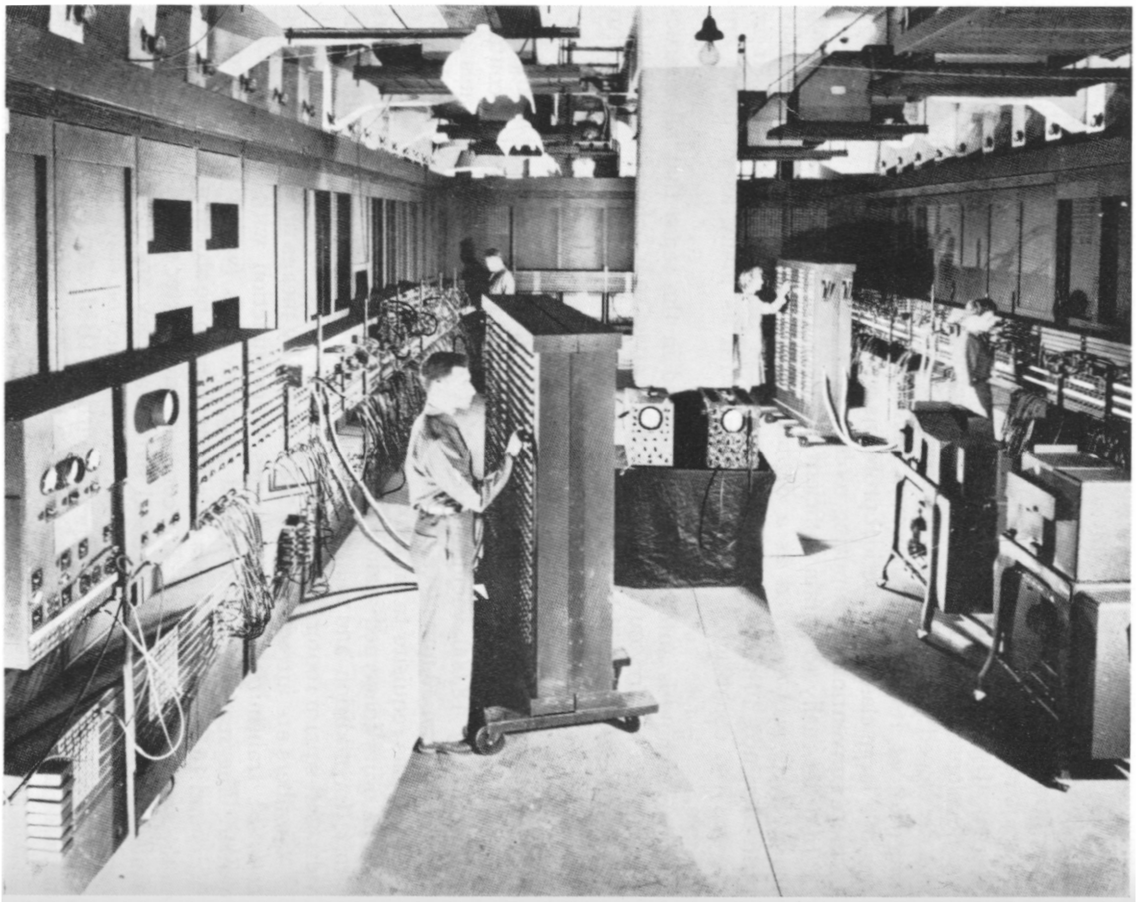


Abb. 14.1 Die ENIAC

14.2 Die Entwicklung in Großbritannien

Die Entwicklungen in Großbritannien war vor allem durch die Firmen Elliot Brothers (London) Ltd und Ferranti Ltd geprägt. Gefördert wurden die nationalen Bestrebungen zum Aufbau einer eigenen Computer-Industrie durch die 1949 gegründete staatliche UK´s National Research Development Corporation (NRDC). Unterstützung fanden die Entwicklungen durch die bereits seit den dreißiger Jahren durchgeführten Forschungsarbeiten von Prof. Hartree von der Cambridge University, Prof. Newman von der Manchester University sowie von Alan Turing. Daneben gab es noch Projekte am National Physical Laboratory (NPL) und an der London University (Birkbeck College and Imperial College)

Neben Spezialkonstruktionen für ballistische Aufgaben, die vor allem von der Marine gefördert wurden und zur Feuerleitung auf Schiffen dienten, gehörten die ersten Rechner zur sog. Colossus-Familie. Der Prototyp mit 1500 Röhren nahm seinen Betrieb zum Jahreswechsel 1943/44 auf. Er wurde in Bletchley Park eingesetzt und diente wie seine Nachfolger speziell zur Entschlüsselung von codierten Nachrichten der Deutschen Wehrmacht. Die Nachfolgemodelle vom Typ Mark II waren etwas größer und enthielten 2500 Röhren. Von ihnen wurden zehn Exemplare gebaut, wobei die erste Maschine Mitte 1944 in Bletchley Park einsatzbereit war.

Im Jahre 1952 erteilte die NRDC an Elliot den Auftrag zur Entwicklung eines Universalrechners, der folgende Eigenschaften besitzen sollte:

1. Integrierter elektronischer Programmspeicher (d.h. das Programm sollte vollständig intern gespeichert sein und nicht, wie bis dahin noch oft üblich, auf einem externen Speicher in Form von Lochkarten oder Lochstreifen abgelegt sein)
2. Für Serienbau geeignet
3. Relativ preiswert

Ausgelöst wurde dieser Entwicklungsauftrag durch zwei 1952 realisierte Projekte, bei denen erstmalig erfolgreich neuartige Speicher vorgestellt wurden. Es handelte sich um Verzögerungsspeicher auf der Basis von Nickeldraht. Zum einen wurde auf einer Ausstellung der Physikalischen Gesellschaft in London ein Demonstrator namens SNARK präsentiert. Ferner war in der Firma Elliot für eigene Zwecke ein kleiner Universalrechner gebaut wurden, der ebenfalls diese neue Technologie einsetzte. Er wurde von Charles Owen in lediglich sechs Wochen gebaut und hatte eine Speicherkapazität von 1024 Worten. Dieser Rechner mit Namen *Nicholas* nahm im Dezember 1952 seinen Dienst auf und war bis 1958 im Einsatz. Die Abbildung **???** zeigt einen derartigen Speicher aus dem Pegasus–Rechner. Auf einen Nickel-Draht von 60 cm Länge werden an einem Ende Impulse übertragen die am anderen Ende aufgefangen und wieder eingeleitet werden. Vereinfacht war dadurch folgende Speicherkapazität gegeben: war $n_* t$ die Gesamtverzögerungszeit, dann konnten n Signale, jedes getrennt durch eine Pause der Zeit t gespeichert werden. Der Pegasus-Speicher war so dimensioniert, dass die Drahtlänge von 60 cm aufgrund der physikalischen Verzögerungseigenschaften des Nickeldrahtes eine Speicherung von 42 Bits ermöglichte.

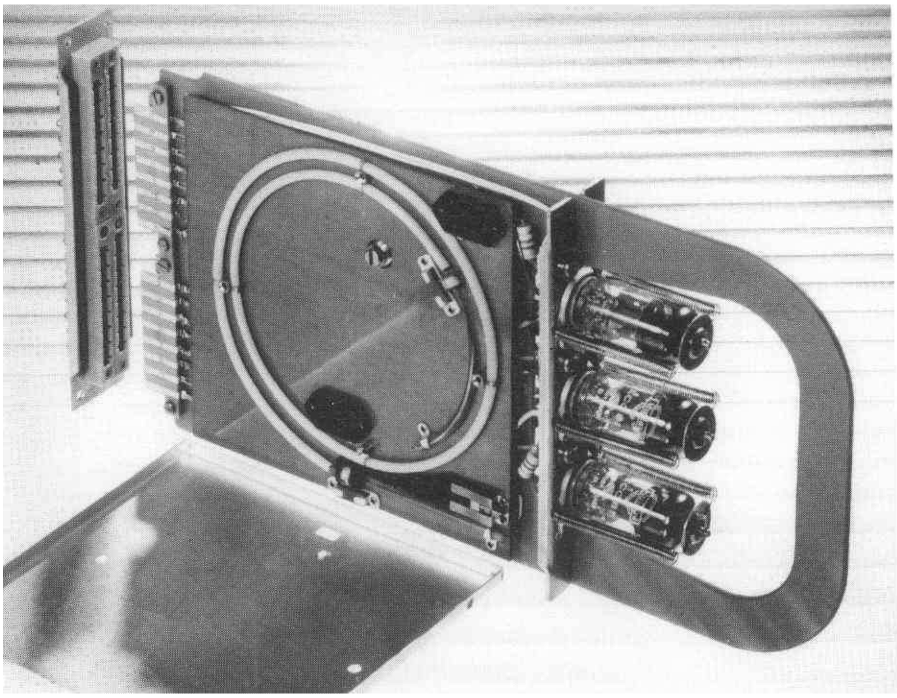


Abb. 14.2 Verzögerungsspeicher eines Pegasus-Rechners. Beachtenswert ist der zur leichten Wartbarkeit konzipierte modulare Steckaufbau

Aber bereits ab 1949 gab es kleinere Experimental-Rechner mit verschiedenen Konzepten zur Integration von Daten- und Programmspeicher. Mitte 1951 waren fünf Rechner dieser Art im Einsatz:

Name	Inbetriebnahme	Einrichtung
EDSAC	1949, Mai	Cambridge University
MARK I	1949, Oktober	Manchester University
Pilot ACE	1950, Mai	National Physical Laboratory
Ferranti Mark 1	1951, Februar	Ferranti Ltd
LEO	1951, Februar	Lyons and Co.

Der Mark I der Manchester University, auch MADM genannt, war eine vergrößerte Version der ein Jahr zuvor gebauten Small-Scale Experimental Machine (SSEM), auch BABY genannt, die wohl weltweit die erste Maschine war, bei der Programm- und Datenspeicher intern integriert waren. Bei der LEO handelte es sich um eine Weiterentwicklung der EDSAC aus Cambridge.

Baby

Der erste voll elektronische und digitale Computer der Welt lief zum ersten Mal im Juni 1948 in Manchester. Die von Tom Kilburn und F.C. (Freddie) Williams entworfene und gebaute Maschine trug den Namen „Small Scale Experimental Machine“, erhielt aber bald den Spitznamen „Baby“.

Bereits 1946 begann Freddie Williams seine Arbeit an einer Form der digitalen Speicherung, indem er eine Cathode Ray Tube (CRT) verwendete. Ein Bit wurde in Form einer elektrischen Ladung auf dem CRT-Phosphor-Schirm gespeichert. Die Kontrolle erfolgte über das Schreiben einer „1“ (Licht an) und einer „0“(Licht aus). Dabei mußte Williams ein Problem lösen: Da Phosphor ein elektrischer Isolator ist, würde die elektrische Spannung innerhalb einer Sekunde wieder weg sein. Williams löste das Problem, indem er die elektrische Ladung kontinuierlich lesen und erneut speichern lies, so daß die Information permanent gespeichert werden konnte. Dieses Prinzip wird „Erneuerung“ genannt und wird auch heute noch in Random Access Memorys (RAM´s) verwendet. Die Abb.   zeigt ein 64 x 32 CRT zur Speicherung von 2048 Bits aus dem Jahre 1947.

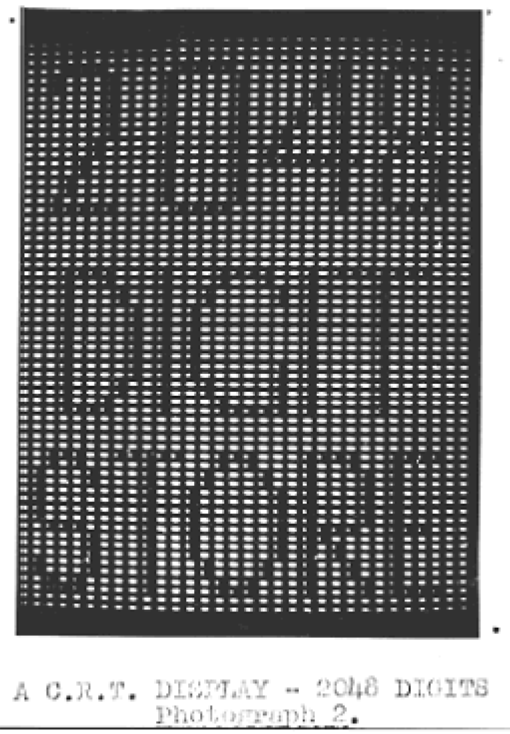


Abb. 14.3 CRT zur Speicherung von 2048 Bits

Der Random Access Memory (RAM) des Babys beinhaltete das “stored-program concept”. Dieses Konzept ermöglichte es, nicht nur Zahlen für eine Berechnung im RAM zu speichern, sondern auch die Programmanweisungen. Man war also in der Lage, Programmänderungen über eine Tastatur einzugeben und mußte nicht wie bei anderen vergleichbaren Rechnern dieser Zeit (zum Beispiel ENIAC) mechanische Änderungen vornehmen, um ein Programm laufen zu lassen.

Das erste Programm, das ausgeführt wurde, war die Rechnung 2^{18} und war in 52 Minuten mit 2,1 Millionen Instruktionen und 3,5 Millionen Speicherzugriffen richtig berechnet worden. Dieses zufriedenstellende Ergebnis veranlaßte F.C.Williams zu folgender Aussage:

"A program was laboriously inserted and the start switch pressed. Immediately the spots on the display tube entered a mad dance. In early trials it was a dance of death leading to no useful result, and what was even worse, without yielding any clue as to what was wrong. But one day it stopped, and there, shining brightly in the expected place, was the expected answer. It was a moment to remember. This was in June 1948, and nothing was ever the same again."

Die technischen Daten lauteten

- 32-bit Wortlänge
- 1,2 Millisekunden /Instruktion
- 7 verschiedene Instruktionen:
    1. A = - S
    2. A = A - S
    3. S = A
    4. If A < 0, CI = CI + 1 (d.h. falls A negativ ist, wird der nächste Befehl übersprungen)
    5. CI = S
    6. CI = CI + S
    7. Halt

Etwas überraschend ist zunächst, daß das *Baby* nur einen Minus- und keinen Plus-Operator besaß. Der Grund hierfür ist folgender: Wenn man die Anzahl der Operatoren gering halten will, entscheidet man sich eher für den Minus-Operator, als für den Plus-Operator, da man den Plus-Operator leicht mittels des Minus-Operators simulieren kann.

Um den Akkumulator zum Beispiel auf x+y zusetzten benötigt man die folgende Sequenz, wobei z der Arbeitsspeicher ist:

A = - x
A = A - y
z = A
A = - z

Mark 1

Im Oktober 1948 machten sich Prof. F.C.Williams, Tom Kilburn, Geoff Tootill. D.B.G(Dai) Edwards, G.E.(Tommy) Thomas A.A.(Alec) Robinson und Alan Turing daran, die aus dem Baby-Projekt gewonnen Erkenntnisse für den Bau eines Universal-Computers umzusetzen.

Abb. 14.4 Der Entwicklungsraum des Prototypen der Mark I

Dieser Computer, genannt Mark 1, wurde an der Manchester Universität in Zusammenarbeit mit Ferranti Ltd. gebaut. Zwischen 1949 und 1950 wurde die Mark unter anderem im Bereich der Optik und der Mathematik genutzt.

Abb. 14.5 Kilburn und Williams an der Konsole

Die Manchester Mark 1 verwendete ein CRT mit einem Display, das zwei „Seiten” von jeweils 32*40 Bit-Arrays nebeneinander besaß. Das rechte Array zeigt überall eine „0“ an.

Parallel zum Bau der Mark 1 schloß die Regierung einen Vertrag mit der Firma Ferranti Ltd. zur Produktion eines kommerziellen Computers auf der Basis der Mark1. Die Mark1 diente hiefür als Prototyp. Für den kommerziellen Verkauf mußten aber einige Verbesserungen vorgenommen werden, die unter anderem die „B-Lines“ , CRT (*Cathode Ray Tube),* den magnetischen Trommelspeicher und einen viel schnelleren Multiplizierer betrafen. Diese Verbesserungen führten dazu, daß die Geschwindigkeit von 1,8 msec auf 1,2 msec für eine Instruktion gesteigert werden konnte. Dieser Rechner ist unter der Bezeichnung Ferranti Mark 1 bekannt.

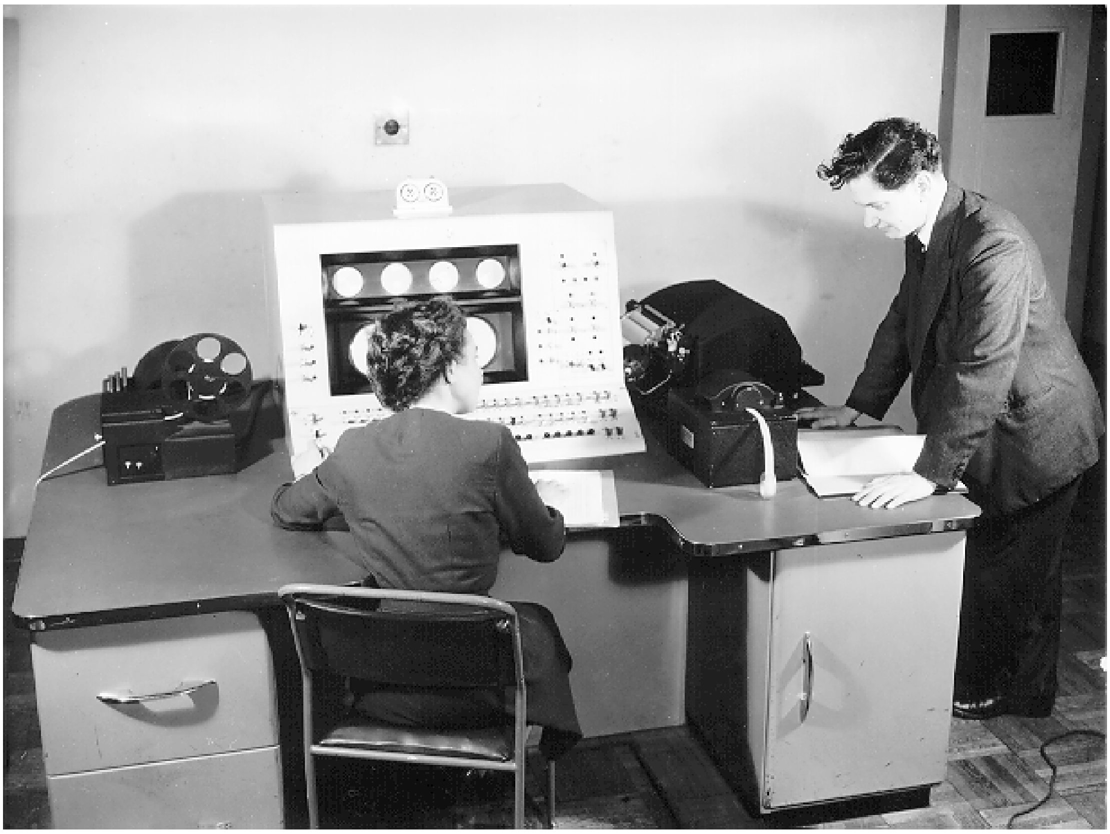


Abb. 14.6 Konsole der Ferranti Mark I

Elliot/NRDC 401

Der bereits erwähnte Entwicklungsauftrag von NRDC an Elliot führte zu der Elliot/NRDC 401, die im März 1953 zum ersten Male lief und der Öffentlichkeit vom 3. bis 8. April des gleichen Jahres anlässlich der Ausstellung der Physikalischen Gesellschaft in London vorgeführt wurde. Vermutlich war es die erste öffentliche Demonstration eines elektronischen Universalrechners mit voll integriertem Programm- und Datenspeicher weltweit. Danach kam der Rechner zur Cambridge University, wo unter Leitung von Cristopher Strachey und Harry Carpenter eine Reihe von Versuchen und Verbesserungen vorgenommen wurden. Er war bis1965 im Einsatz und ist heute im Science Museum in London ausgestellt.

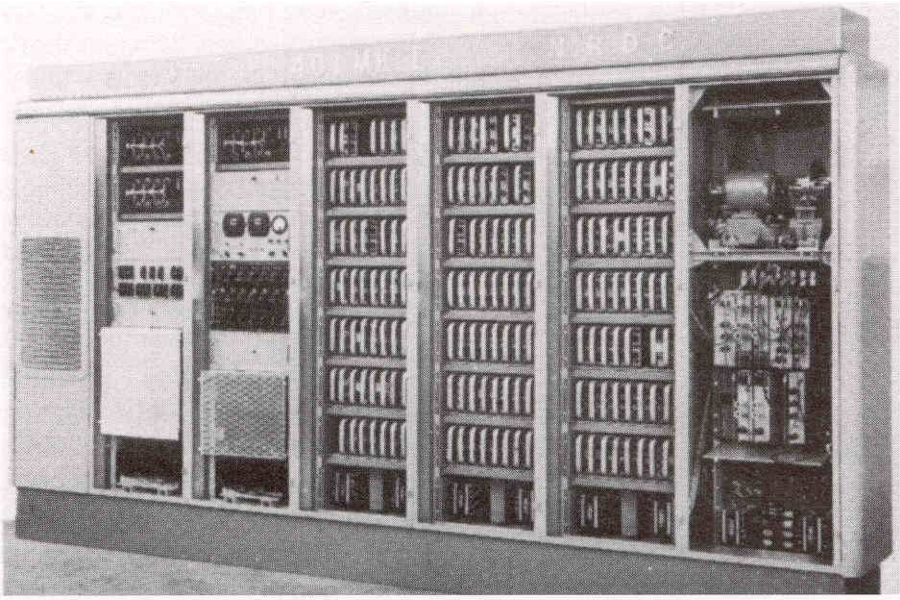


Abb. 14.7 Die Elliot/NRDC 401

Die Weiterentwicklung wurde durch die Firma Ferranti LTD. übernommen, die bereits Erfahrungen im Bau von Rechnern durch ihre Modelle Mark I (gebaut zwischen 1951 und 1952) sowie das Nachfolgemodell Mark I Star (gebaut von 1953 bis 1957) gesammelt hatte.

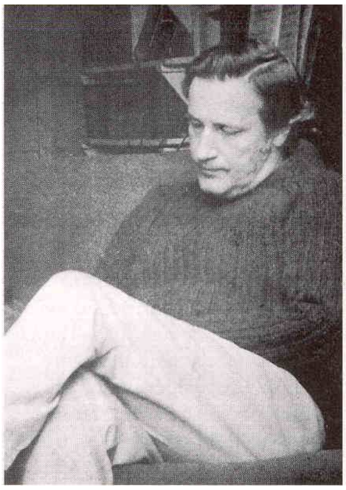


Abb. 14.8 Christopher Strachy

Die Weiterentwicklung dauerte bis Anfang 1956 und wurde durch ein 30 Personen-Team vorgenommen, in dem auch einige der führenden Entwickler der 401 tätig waren, so z. B. Christopher Strachy, der später in Cambridge und Oxford wesentliche Beiträge zur Theorie der Programmiersprachen entwickelte. Das Ergebnis war der Pegasus-Rechner, der erstmalig im Oktober 1955 lief.

Der Pegasus-Rechner besaß eine feste Wortlänge von 42 Bits, wobei allerdings nur 39 Bits zur freien Verfügung standen. Eingesetzt als Programmspeicher konnten in einem Wort zwei 19 Bits lange Befehle und ein zusätzliches stop/go-Bit gespeichert werden. Ein Befehl bestand aus vier Teilsegmenten:

N	X	F	M
Adresse/Konstante	Akkumulator	Operation	Index-Register
7 Bits	3 Bits	6 Bits	3 Bits

War durch den Programmierer das stop/go-Bit auf Null gesetzt, so hielt die Maschine vor Ausführung des Befehls an. Über einen Schalter auf der Bedienungs-Konsole konnte die Weiterausführung des Programms ausgelöst werden.

Der Speicher war in zwei physikalisch unterschiedlich ausgelegte Bereiche aufgeteilt: ein kleiner Bereich mit schnellem Zugriff (random access), und ein langsamerer Hauptbereich mit einer Größe von 5120 Worten, wovon 4096 dem Programmierer zur freien Verfügung standen.

Bemerkenswert war die Symmetrie der Befehle und damit die Flexibilität der Maschine bei der Programmierung. So konnten die Akkumulatoren auch für Adressmodifikationen oder zur Schleifenkontrolle eingesetzt werden. Als Zieladresse konnte nicht nur X sondern auch N verwandt werden. So standen zum Beispiel für die Standard-Addition sowohl der Befehl $N+X \rightarrow X$ als auch der Befehl $N+X \rightarrow N$ zur Verfügung.

Die Zentraleinheit war mit 333 kHz getaktet. Neben Röhren wurden auch Germanium-Dioden eingesetzt. Die Zeit für eine Addition betrug ca. 0,3 Millisekunden; für eine Multiplikation ca. 2,0 Millisekunden und für eine Division ca. 5,4 Millisekunden.

Abb. 14.9 Der erste Pegasus-Rechner. Links vorne die Konsole zur Bedienung

Die Programmierung erfolgte in Maschinencode. Ferranti förderte daher die Entwicklung einer Programmbibliothek, die 1962 über 200 Unterprogramme umfasste. Zur weiteren Erhöhung des Programmierkomforts wurde ferner ein spezielles System zur Unterstützung von Matrixoperationen (*Matrix Interpretive Scheme*) und eine primitive Hochsprache (*Pegasus Autocode*) entwickelt.

Das Matrix Interpretive Scheme erlaubte eine relativ elegante Art der Programmierung von Matrizen-Operationen. Die Matrizen wurden hierbei zeilenweise gespeichert. Vorgesehen waren Befehle zur Addition, Subtraktion, Multiplikation, Transponierung, Normalisierung usw. Im Befehl musste lediglich die Anfangsadresse und die Größe der Matrix angegeben werden. Ein typischer Matrixbefehl lautete:

$$(345,\ 8 \times 12) \times (1250,\ 12 \times 16) \rightarrow 13$$

Dieser Befehl bewirkte, dass die 8x12-Matrix mit der Anfangsadresse 345 und die 12x16-Matrix mit der Anfangsadresse 1250 miteinander multipliziert wurden und die sich ergebende 8x16-Matrix in den Bereich mit der Anfangsadresse 13 gespeichert wurde.

Der Pegasus Autocode war eine Entwicklung von Brian Clarke und George Fulton in den Jahren 1956 und 1957. Er stützte sich auf einen Code ab, der zwei Jahre zuvor an der Manchester University für den Ferranti Mark I entwickelt wurde. Da zum damaligen Zeitpunkt die Konzepte für höhere Programmiersprachen noch wenig entwickelt waren (die erste FORTRAN-Beschreibung erschien Ende 1956), handelte es sich eher um einen weiterentwickelten Maschinencode als um eine echte höhere Programmiersprache.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Leistungsvergleich des Pegasus–Rechners zu anderen Typen wieder:

Modell	**Jahr der Einführung**	**Geschwindigkeit CPU in KIPS**	**in Mbytes**
Cambridge EDSAC	1949	0.7	2
Ferranti Mark I Star	1953	0.8	82
IBM 650	1954	0.2	40
English Electric Deuce	1955	8	34
IBM 704	1955	42	162
BTM/ICT 1201	1956	8	20
Ferranti Pegasus	1956	3	25
Ferranti Mercury	1957	17	165
Ferranti Atlas	1962	621	768
Intel 8086 PC	1978	330	8
Intel 80486 PC	1989	20,000	5120
Intel P3/400 PC	1999	400,000	4,161,000

Die Firma Ferranti, die 1882 gegründet wurde, verkaufte ihre Abteilung für Universal-Rechner 1964 an die Firma International Computers and Tabulators (ICT) und konzentrierte sich anschließen auf spezielle Industrie-Rechner, vor allem zur Prozeßkontrolle. Zwischen Februar 1951 und 1964 wurden 102 Universal-Rechner gebaut, überwiegend der Typen Mark I / Mark I Star, Pegasus I / II, Mercury, Perseus, Orion I / II, Sirius und Atlas, wobei die Pegasus-Familie mit 40 gelieferten Exemplaren die erfolgreichste Serie war.

Bis Ende 1956 waren als kommerzielle Installationen ausschließlich Entwicklungen aus Großbritannien selbst im Einsatz. Erst dann wurde als erster auswärtiger Rechner eine IBM 650 im Rechenzentrum der IBM in London installiert. Zum damaligen Zeitpunkt gab es Großbritannien selbst 23 Installationen und 5 Maschinen wurden ins Ausland geliefert. Die Anzahl der Installationen erhöhte sich bis 1962 auf 475 Maschinen. Aus ICT entstand 1968 durch den Zusammenschluß mit weiteren britischen Herstellern die Firma International Computers Ltd

(ICL). Auf Grund des zunehmenden Konkurrenzdrucks, besonders aus den USA, erfolgte bald eine Beschränkung auf kleine und mittlere Rechnertypen.

14.3 Die Entwicklung der Computer in Russland

Das Jahr 1950 kann als das Geburtsjahr der russischen Computerwissenschaft angesehen werden:

Der erste digitale Rechner wurde in diesem Jahr am “Institute of Electric Engeneering of the Ukraine Academy of Sciences“ in Kiev, entwickelt. Geleitet wurde das Institut von einem Lebedev. Der Rechner konnte 50 Instruktionen in der Sekunde verarbeiten und der Speicher konnte 31 16-bit Worte aufnehmen.

Schon zwei Jahre später entwickelte das gleiche Institut den BESM (Large Electronic Computer). Dieser konnte immerhin schon 10.000 Instruktionen in der Sekunde verarbeiten und 2047 Worte von 39 Bit speichern.

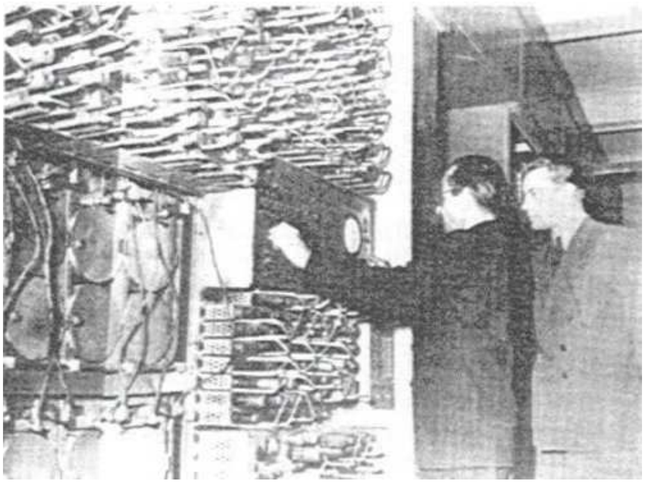


Abb. 14.10 S.A. Lebedev und A.A. Sokolov an der BESM 1 um 1955

Nachfolger dieses Rechners waren der BESM-2 bis BESM-4. Der wohl bekannteste Rechner dieser Familie war der BESM-4, der bis ins Jahr 1970 Verwendung fand. Dieser konnte 20.000 Instruktionen in der Sekunde verarbeiten.

Unter Lebedev entstanden zwischen 1958 und 1971 weitere Computer mit den Namen Kiev, Promin, Dniepr und Mir-x. Für sie gab es erstmals Übersetze für höhere Programmiersprachen.

Aber auch andere Wissenschaftler machten sich in dieser Zeit einen Namen: 1960 entwickelte N. Brusentsov die Rechner Setun und Setun 70, die billigsten Computer in Russland zu dieser Zeit. Neben dem Preisvorteil zeichneten sich die beiden Modelle aber noch durch eine hohe effektive Nutzbarkeit in einem weiten Anwendungsfeld aus.

Ein weiterer, für die russische Computerentwicklung wichtiger Rechner, war der Ural, mit einer Geschwindigkeit von 100 ips und ausgestattet mit einem Magnettrommelspeicher. Die Eingabe und Ausgabe erfolgte über Lochkarten.
Der M-3 konnte 30 Anweisungen in der Sekunde verarbeiten und 2048 31-bit Worte speichern. Er benutzte ebenfalls einen Magnettrommelspeicher. Der schon genannte Kiev konnte 9.000 Instruktionen in der Sekunde verarbeiten.

1965 entwickelten Lebedev und Melnikov gemeinsam den berühmten BESM-6. Er wurde 17 Jahre lang gebaut und insgesamt wurden ungefähr 400 Maschinen produziert.

Abb. 14.11 ***Die BESM-6***

All die hier genannten Entwicklungen waren sowjetische Entwicklungen, die nicht auf westlichen Einflüssen und Erfahrungen beruhten.

Obwohl man in Rußland mit dem Elbrus 1DB[1], ein Computer mit 80 MB Speicher und einer Geschwindigkeit von 6 MIPS, ausgestattet mit austauschbaren 200 MB-Disketten und Elbrus[2] 2 mit bereits 125 MIPS noch wesentlich leistungsstärkere Computer entwickelte, konnte dies nicht darüber wegtäuschen, daß Rußland mit den Entwicklungen im Westen nicht mithalten konnte. 1959 besuchte John von Neumann die Sowjetunion. Bei seiner Rückkehr stellte er fest, daß die russische Computerindustrie mindestens ein Jahr hinter der westlichen lag. Diese Einschätzung war aber eine Untertreibung der tatsächlichen Sachverhalte.

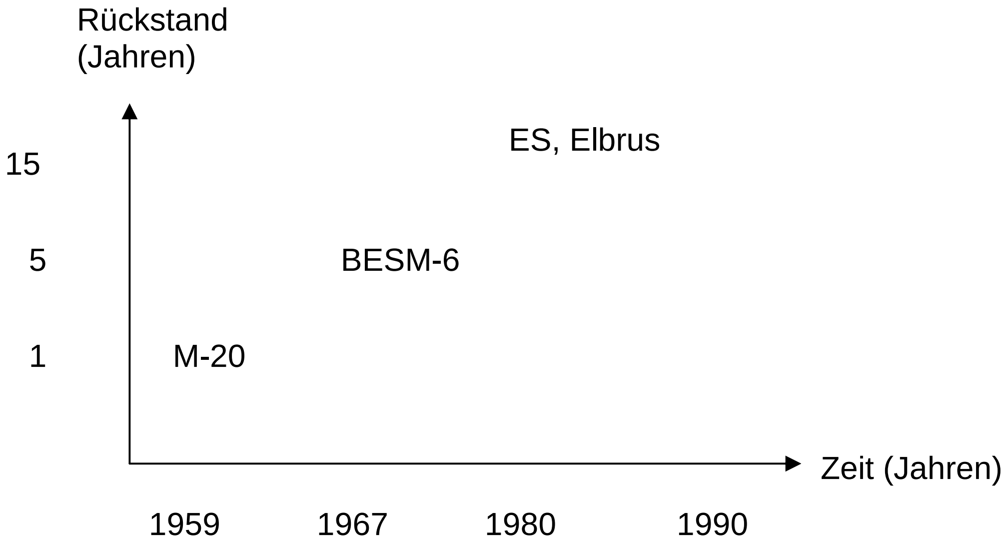


Abb. 14.12 Der Rückstand sowjetischer Computer im Vergleich zum Westen nach S.V. Klimenko

Wie man der Abbildung entnehmen kann, geriet die russische Computerindustrie immer mehr ins Hintertreffen, so daß Anfang der 80er Jahre schon ein Rückstand von 20 Jahren auf den Westen zu verzeichnen war.

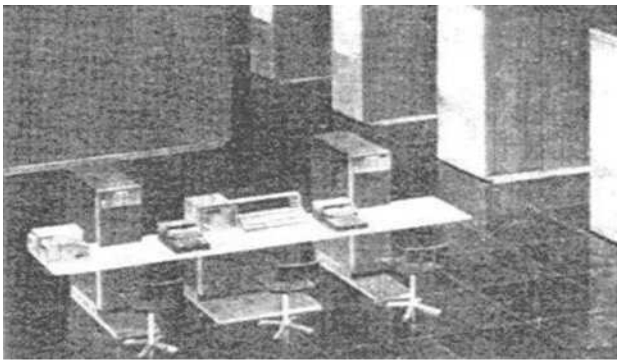


Abb. 14.13 M-10
(S.Klimenko 1999, 25)

14.3 Die Entwicklung in Deutschland

14.3.1 Öffentliche Forschungseinrichtungen

Vor dem 2. Weltkrieg und in den ersten Jahren nach seinem Ausbruch war Deutschland mit führend auf dem Gebiet der Rechenautomaten und Computer. Maßgeblich hierfür war zum einen der hohe technologische Stand in den Bereichen Nachrichten-, Übertragungs- und Informationstechnik. Als Beispiel sei die erstmalige Fernseh-Übertragung olympischer Spiele in Berlin 1938 erwähnt.

Zum anderen waren es z. B. Zuse und Schreyer, deren bahnbrechenden Arbeiten zur Entwicklung des weltweit ersten frei programmierbaren Rechners führten (s. Kap. 11).

Aber auch im Bereich der theoretischen Grundlagen gab es eine Reihe von Aktivitäten. So bestand z. B. ein enger Kontakt zwischen A. Turing und Prof. Dr. Scholz vom Institut für Mathematische Logik und Grundlagenforschung an der Universität Münster. Im Jahre 1937 veröffentlichte Turing eine Publikation mit dem Titel „On Computational Numbers“. In seinen Memoiren schreibt er, daß er über die Reaktion auf diese Arbeit sehr enttäuscht war. Lediglich zwei Personen hätten hierauf reagiert. Bei diesen Personen handelte es sich um Richard Braithwaite and Heinrich Scholz. Scholz bat Turing in einem Brief, ihm auch in Zukunft sämtliche Arbeiten in doppelter Ausführung zuzusenden. Es war für ihn damals bereits schwer, die benötigten wissenschaftlichen Kontakte mit dem Ausland zu pflegen. Diese Aktivitäten von Scholz wurden von seinen Nachfolgen Prof. Hermes und Prof. Rödding fortgesetzt. Sie wurden hierbei durch Dr. Ackermann („Ackermann-Funktion“) unterstützt, der in Steinfurt als Gymnasial-Lehrer tätig war.

Durch die jahrelange Absperrung der Forschung vom Ausland und deren einseitige Ausrichtung auf militärische Belange im Dritten Reich ging dieser hohe technologische Stand jedoch verloren. Die Preisgabe aller Patente und die wirtschaftlich schlechte Lage nach dem Ende des Krieges wirkten sich zusätzlich negativ aus. Der Anschluß an die Weltforschung war weitgehend verloren gegangen.

Mit staatlicher Unterstützung wurde zunächst die selbstverwaltete „Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft“ gegründet. Sei sollte die Schnittstelle zwischen Staat und Wissenschaft bilden und durch gezielte finanzielle Hilfe die wissenschaftliche Entwicklung in Deutschland wieder ankurbeln. Im Jahre 1951 nannte sie sich in „Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) um, unter dessen Namen sie bis heute besteht.

Bereits Ende 1949 wurde von der Notgemeinschaft erstmals ein Betrag von 100.000 DM zur Verfügung gestellt, mit dem in München ein Arbeitsteam für Rechnerwissenschaften aufgebaut wurde. Nach Aussagen von damals beteiligten sollen weitere Mittel von Forschungsstätten in Göttingen und Darmstadt geflossen sein. Hierfür ist jedoch keine offizielle Bestätigung zu erhalten.

Neben diesen Stätten zählten zu den ersten Forschungsstätten in Westdeutschland die TH Aachen, die TU Berlin sowie Institute in Hannover, Tübingen und Stuttgart.

In Bonn wird 1954 das Institut für instrumentelle Mathematik (IIM) gegründet. Es ist die erste außeruniversitäre Forschungseinrichtung, die sich mit Grundlagen und Anwendungen der

Rechnertechnik beschäftigte. Aus dem IIM entstand die Gesellschaft für Mathematik (GMD) im Rahmen des ersten Bundesförderprogramms für die Datenverarbeitung. Sie wird am 23. April 1968 als Forschungseinrichtung in Form einer GmbH gegründet. Gesellschafter sind der Bund mit 90% und das Land NRW mit 10%.

An der TU Berlin hatte zuvor schon 1957 F. R. Güntsch eine Vorlesung mit dem Titel „Programmierung digitaler Rechenanlagen“ gehalten. Im Jahre 1967 hielt Prof. W. Brauer an der Universität Bonn eine Vorlesung zu dem Thema „Algorithmen und formale Sprachen“.

Die Entwicklungen in Göttingen

In Göttingen wurde bereits 1907 die Aerodynamische Versuchsanstalt (AVA) gegründet. Im Mai 1946 wurde in einer Besprechung von Mitgliedern der britischen Forschungsabteilung (Research Branch) mit der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft die Einrichtung eines „Instituts für Instrumentenkunde“ beschlossen. Im September 1946 erfolgte dann die Gründung der „britischen“ Max-Planck-Gesellschaft. Die Briten wollten damit einerseits die Abwanderung der fähigsten deutschen Wissenschaftler aus ihrer Zone verhindern und andererseits eine möglichst effektive Forschungsüberwachung ermöglichen. Die Amerikaner stehen dagegen in ihrer Zone einer Reorganisation der deutschen Wissenschaftszone zunächst ablehnend gegenüber.

Der erste Erfolg dieses Neuanfangs war die Erfindung des Trommelspeichers durch Dr. Heinz Billig im Jahre 1947. Im gleichen Jahr beginnen die ersten Planungen zum Bau einer elektronischen Rechenanlage, der G1.

Vorangetrieben und gefördert wurden die arbeiten vor allem durch Prof. Dr. Ludwig Biermann, Leiter der astrophysikalischen Abteilung am Max-Planck-Institut für Physik, und Prof. Heisenberg, dem Direktor dieses Max-Planck-Instituts. Billig, der inzwischen in Sydney arbeitete, unterstützte von dort die Entwicklungsarbeiten. Die G1 war 1949 fertiggestellt und damit die erste in Deutschland konstruierte elektronische Rechenanlage. Verbesserte Nachbauten dieses Prototyps, die sogenannten G1a, werden später an verschiedenen Instituten eingesetzt. Weitere Entwicklungen sind die G2 (1950 Entwicklungsbeginn, 1954 in Betrieb) und die G3, die 1960 ihren Betrieb am neu gegründeten MPI für Physik und Astrophysik in München aufnimmt.

Die Göttinger Entwicklung G1 und deren Nachfolgemodell G1a haben anderen Instituten erst die Einrichtung eigener Rechenzentren ermöglicht. Die Zuse KG beschäftigt sich zu dieser Zeit noch hauptsächlich mit Relaisrechnern und 1957 kann hier mit der Produktion von elektronischen Rechnern begonnen werden, u. a. nachdem die Göttinger Unterlagen des Nachfolgemodells G1 zur Verfügung stehen.

Die Entwicklung in Darmstadt

In Darmstadt befand sich der Sitz des „Instituts für Praktische Mathematik (IPM)“. Die Gebäude dieses Instituts wurden 1944 bei einem Bombenangriff total zerstört. Im IPM, welches seit 1928 durch Prof. Dr. Alwin Walther aufgebaut worden war, hatte man sich bereits vor und während des Krieges mit der Entwicklung von Rechenmaschinen beschäftigt. Direkt nach dem Krieg gab es persönliche Kontakte zwischen Walther und Howard M. Aiken, dem Entwickler der „MARK I“. Durch diese Kontakte animiert, wurde 1948 die Entwicklung des

„Darmstädter Elektronischer Rechenautomat (DERA)“ aufgenommen. Die Arbeiten gingen jedoch nur schleppend voran und wurden 1959 offiziell eingestellt.

Die Entwicklung in München

Im November 1950 wird am Institut für elektrische Nachrichtentechnik der TH München unter der Leitung von Prof. Dr. Hans Piloty der Entschluß gefaßt die „Programmgesteuerte Elektronische Rechenanlage München (PERM)“ zu entwickeln.

Zuvor konnte Pilotys Sohn Robert Piloty vom Mai bis zum Oktober 1948 eine Summerschool am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Boston IMA besuchen und dort die noch in Entwicklung befindliche elektronische Großrechenanlage „Whirlwind“ kennenlernen. Dr. Hermann L. Jordan, ein Assistent von Prof. Dr. Sauer von der TU München konnte auf Grund eines Stipendiums an der Universität in Berkley Unterlagen über die Konstruktion der „Whirlwind“ mitbringen. Diese Unterlagen bildeten die Arbeitsgrundlage für die Entwicklung der PERM.

Ab 1951 kommt es zu einer engen Zusammenarbeit mit dem mathematischen Institut der TH München unter der Leitung von Prof. Dr. Sauer. Dieser beschäftigt sich vor allem mit der Untersuchung von Programmiertechniken und übernimmt wesentliche Programmierarbeiten. Seine Mitarbeiter F. L. Bauer und Samelson setzten diese Arbeiten später als Professor an der TU München fort. Als Auftakt zur Zusammenarbeit zwischen den beiden Instituten fand 1951 ein gemeinsames Seminar statt, das nicht öffentlich war und sogar als „Geheimseminar“ bezeichnet wurde. In diesem Seminar wurde Abschnitt für Abschnitt ein von Robert Piloty besorgter Bericht von John von Neumann durchgenommen.

Am 7. Mai 1956 fand die feierliche Einweihung der PERM statt. Als Großrechenanlage speziell für wissenschaftliche Probleme ausgelegt, bildete sie nach ihrer Fertigstellung den Grundstock eines Rechenzentrums an der TU München. Nach ihrem aktiven Dienst ließ sie Prof. Bauer in seinem Arbeitszimmer hinter seinem Schreibtisch aufbauen. Am 7. Juli 1987 wurde die PERM im Deutschen Museum installiert, wo sie noch heute steht.

14.4.2 Nixdorf

Heinz Nixdorf wurde 1925 in Paderborn geboren. Im Jahre 1952 gründete Heinz Nixdorf auf dem Gelände der RWE das „Labor für Impulstechnik“, ein Ein-Mann-Unternehmen. Nixdorf hatte von der RWE den Auftrag, einen Elektrorechner zu bauen, der in der Buchhaltung eingesetzt werden sollte.

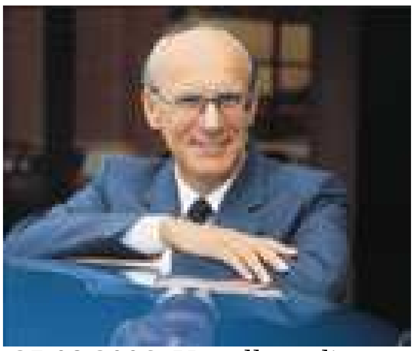


Abb. 14.14 Heinz Nixdorf

Mit einem Startkapital von gerade einmal 30.000 Mark, die er sich von der RWE lieh, präsentierte er zwei Jahre später seine erste Rechenmaschine, die auf Röhrentechnik basierte. Im Jahre 1955 entwickelte Nixdorf mit seinen sechs Mitarbeitern den Elektronenmultiplizierer *EM 20*. Bald darauf präsentierte er einen weiteren elektronischen Multiplizierer, der aber statt Röhren Transistoren verwendete, den *Gamma 10*. Drei Jahre später verlegte der Jungunternehmer seinen Firmensitz aus Essen in seine Heimatstadt Paderborn. 1964 präsentierte das Paderborner Unternehmen eine Weltneuheit, einen elektronischen Tischrechner, der die Ergebnisse auch ausdrucken konnte, den *Conti*.

Dennoch schien die Ära Nixdorf und der von ihm entwickelten Lochkartenmaschinen und Buchungs- und Abrechnungsmaschinen sich dem Ende zuzuneigen, denn der Einzug der Großrechner war kaum noch aufzuhalten. Nixdorf brauchte also einen neuen Kundenkreis.

Er focusierte sich daraufhin vor allem auf klein- und mittelständische Unternehmen. Tatsächlich gelang es ihm, auf der Hannover-Messe 1965 Aufsehen zu erzielen. Er präsentierte eine mittelgroße Universalrechnerfamilie, die als Baukastenprinzip erstmals auf Halbleitern basierte, die Nixdorf 820, der unter dem Namen *Logatronic* bekannt wurde.

Abb. 14.15 Tischrechner Conti

Das Jahr 1968 war ein positives Jahr für Heinz Nixdorf. Zum einen machte das Unternehmen erstmals mehr als 100 Millionen Mark Umsatz und zum anderen erhielt es einen neuen Namen, die „Nixdorf Computer AG“ (NCAG), deren Vorstandsvorsitzender Heinz Nixdorf war. In den folgenden Jahren baute man den Vertrieb von Nixdorf-Produkten kontinuierlich weiter aus, so daß 1973 bereits ein Gesamtumsatz von fast 500 Millionen Mark erzielt werden konnte. Vor allem Verkaufserfolge in England, Frankreich, Spanien, Italien und Schweden trugen zu diesem hervorragenden Ergebnis bei. Selbst nach Japan und in die USA wurden Produkte exportiert.

Die Nixdorf 820 wurde seit ihrer Markteinführung 1967 kontinuierlich weiterentwickelt, so daß 1973 eine ganze Rechnerfamilie. die 800-Serie daraus entstanden war, darunter auch der Verkaufsschlager 820/35, ein Magnetkonten-Computer. Gleichzeitig entwickelte man die Rechnerserie 900, die aber nicht an die Verkaufserfolge der 800er Serie anknüpfen konnte. Weitaus besser lief der Absatz der 700er Serie, bestehend aus einem Datenerfassungssystem (705), einem autonomen Kassensystem (710) und einem intelligenten Terminalsystem (720).
Nixdorf beschränkte sich aber nicht auf die Entwicklung und den Vertrieb von Hardware. Er wollte dem klein- und mittelständischen Kunden ein Komplettpaket anbieten können, das einerseits aus der Hardware besteht, andererseits aber aus einer modularen Standartsoftware, die ohne großen Programmieraufwand Lösungen für kommerzielle Organisationsprobleme ermöglichen sollte. Eins dieser Softwareprodukte war FIRM (Führungsdaten durch integriertes Rechnungswesen mit Modularprogrammen). Dieses Programm bot Möglichkeiten, die Materialwirtschaft, die Lohn- und Gehaltsbuchhaltung, die Finanzbuchhaltung, sowie statistische Auswertungen zu verwalten.

Trotz dieses Erfolges schien der Niedergang des Nixdorf`schen Imperiums aber bereits auf dessen Höhepunkt eingeläutet worden zu sein. Der wohl entscheidende Grund hierfür war, daß Nixdorf den Siegeszug des Personal Computers unterschätzt hatte. Die PC´s der der 8810-Serie erreichten den Markt zu spät.

Nixdorf selbst erlebte den Niedergang nicht mehr. Er starb 1986 auf der Cebit an einem Herzinfarkt.

Abb. 14.16 PC der Nixdorf 8810-Serie

1990 übernahm Siemens die NCAG, um es 1999 in das Gemeinschaftsunternehmen mit Fujitsu einzubringen. So wurde aus Siemens-Nixdorf Fujitsu-Siemens. Überlebt hat das Nixdorf-Logo nur im Bereich Kassensysteme und Geldautomaten, das seit dem Ausstieg von Siemens, durch den Verkauf an Goldmann Sachs in diesem Bereich wieder in türkis, wie in alten Zeiten zu sehen ist.

14.4.3 Siemens

Siemens erkannte schnell, daß sich die Datenverarbeitung nicht auf Telefonie und Telegrafie beschränken würde, sondern daß sich weitere Betätigungsfelder für den Konzern ergeben könnten. So wurde eine Arbeitsgruppe gegründet, die den Auftrag erhielt, einen Computer zu bauen, der auf dem Binärsystem basieren und Transistoren verwenden sollte. Der Arbeitsspeicher sollte durch Magnetkerntechnik in Verbindung mit einem zusätzlichen Trommelspeicher realisiert werden. Bei der Entwicklung von Ein- und Ausgabegeräten konnte der Konzern auf Blattschreiber und Lochstreifengeräte zurückgreifen, die schon aus dem Telegrafiegeschäft bekannt waren.

Abb. 14.17 Siemens 2002

Ungefähr zwei Jahre später, nachdem der Prototyp erfolgreich getestet wurde, ging die Serienfertigung dieses Systems, die *Siemens 2002*, in Produktion. Siemens fertigte dieses System sowohl für den wissenschaftlichen, wie auch für den kommerziellen Bereich an. Auch wenn uns Arbeitsspeichergrößen von 2.000 bis 10.000 Worten heute nur ein Schmunzeln abverlangen können, so war dies seinerzeit revolutionär. Erweiterbar war der Speicher sogar noch durch den oben erwähnten Trommelspeicher, auch „Zubringer-Speicher“ genannt, der noch einmal 10.000 Worte speichern konnte.

Bei den Ausgabegeräten beschränkte man sich auf Dauer nicht auf die geforderten Blattschreiber und Lochkarten, sondern verwendete auch Magnetbänder und Schnelldrucker, die zum Teil von anderen Firmen wie IBM, Bull oder Ampex zugekauft wurden. Programmiert werden konnte die Anlage in den Sprachen *Prosa 2002, Magnus 2002* und in eingeschränktem Umfang auch *Algol*. Den Betrieb der Anlage sicherte das Betriebssystem *Org 2002*. Dieser Rechner wurde bis Mitte 1966 gefertigt, so daß bis 1971 noch 39 dieser Anlagen in Betrieb waren.

Schon 1964 nahm Siemens die Produktion des Nachfole-Systems *Siemens 3003* auf. Der Speicher dieses Systems umfaßte immerhin schon 16.000 bis 65.000 Worte. Als wesentliche Neuheit konnte der neue Rechner bis zu 9 Programme gleichzeitig ablaufen lassen. Die anschließbaren Peripheriegeräte wurden zudem jetzt auch selbst gefertigt. Als Programmiersprachen dienten Samos, Algol, Prosa, Cobol und Lpg. Produziert wurde dieses System bis 1970, so daß 1971 immerhin noch 32 dieser Anlagen in Betrieb waren.

Etwa zur gleichen Zeit der Produktion der Siemens 3003, hatte IBM mit ihrer Rechnerfamilie System/360 neue Standards gesetzt. Siemens erkannte, daß man aus eigener Kraft nicht mit dieser Neuerung mithalten konnte. Deshalb entschloß sich Siemens schon 1964 zu einer Kooperation mit der amerikanischen Radio Corporation of Amerika (RCA). Die Kooperation sah vor, daß Siemens RCA-Rechner beziehen und in Deutschland unter eigenem Namen vertreiben konnte. Vermarktet wurde zum Beispiel der RCA Rechner *Siemens 4004.* Des Weiteren durfte Siemens aber auch RCA-Rechner nachbauen, wobei man natürlich auf die Erfahrungen aus der Produktion des 2002 und 3003 zurückgreifen konnte. Im Herbst 1968 wurde der Rechner *4004/45* ausgeliefert, dessen Arbeitsspeicher von 32 kB auf 512 kB aufgestockt werden konnte. Programme für dieses System konnten in den Sprachen Assembler, Cobol, Algol, Fortran und Lpg geschrieben werden. Als Gegenleistung lieferte Siemens ein Plattenbetriebssystem (PBS) an die RCA, das Grundlage für die 4004-Systeme und das spätere *BS1000* war.

Die Zusammenarbeit verlief für Siemens ausgesprochen erfolgreich. So stieg bereits im ersten Jahr der Kooperation der DV-bezogene Auftragseingang von 30 Mio DM auf 100 Mio DM. Auch das europäische Ausland, vor allem Holland, Belgien, Italien, Österreich und die Schweiz wurden von Siemens beliefert. Dennoch wurde das Ziel, Gewinne in dieser Branche zu erzielen nicht erreicht. Schuld waren die immensen Entwicklungskosten, die trotz hoher Umsätze die Gewinne zunichte machten. 1971, das Umsatzvolumen hatte die 1 Mrd. DM-Grenze durchbrochen und man schrieb dennoch rote Zahlen, zog die RCA ihre Konsequenzen und stieg aus der DV-Branche aus. Siemens hielt dagegen weiterhin an diesem Markt fest und entwickelte in der Folgezeit die Systeme *4004/150* und *4004/151.* Der Arbeitsspeicher dieser Systeme konnte immerhin bis zu 2 MB ausgebaut werden.

Anfang der 70er Jahre schlossen sich die französische Compagnie pour l`Informatique (CII) , die niederländische Philipps AG und die Siemens AG zur UNIDATA zusammen. Grund für diese Kooperation waren wiederum die ungeheuren Entwicklungskosten, die auf mehreren Schultern verteilt werden sollten. Die Zusammenarbeit verlief aber nicht wie geplant; jedes Unternehmen räumte der eigenen Entwicklungstätigkeit Priorität ein. Die Zusammenarbeit endete ohne Nennenswerte Erfolge, als die CII auf Beschluß der französischen Regierung aus der Kooperation aussteigen und die Arbeit ausschließlich in die Entwicklung des inländischen DV-Potentials stecken sollte. Siemens stellte dennoch die Entwicklung der angefangenen Systeme 7.760 und *7.770* im Alleingang fertig.

1980 stellte Siemens seine ersten x86er CPUs vor, den *SAB 8086* und den *8088*, 1983 den *PC-16*, einen IBM-kompatiblen Rechner, der mit einer 10 MB Harddisk ausgestattet werden konnte. 1990 erfolgte die Übernahme der Mehrheit der Stammaktien der Nixdorf-Computer Ag, was zur Gründung der Siemens-Nixdorf AG führte.

Abb. 14.18 Der Synapse-Rechner

Danach wurde die Entwicklung und Produktion von Großrechnern eingestellt. Im Bereich der PC-Produktion ging man eine Kooperation mit Fujitsu ein. Lediglich im Bereich von Spezialrechnern gab es noch Eigenentwicklungen. Zu nennen ist vor allem die Entwicklung des Neuro-Computers Synapse.

14.5 Die Entwicklung in Italien

Der einzige nennenswerte Computerhersteller Italiens ist Olivetti. Das Jahr 1954 kann man als das Jahr ansehen, in dem zum ersten Mal in Italien Computer installiert wurden. Zu dieser Zeit starteten vier unterschiedliche Computerprojekte, die völlig unabhängig voneinander entstanden.

14.5.1 Die CRC 102A in Milano

Am 31. Oktober 1955 konnte man in einem Artikel einer wissenschaftlichen Zeitung folgenden Satz lesen:

“ Man spends much more time on mathematical processing than an electronic computer does on computation. Frequently one week of preparation results in less than one hour of computation... We believe that the previous description breaks the dream of every student who carries a pocket calculator to school to solve mathematical problems. At least currently . In the future we will see.”

Gino Cassinis plante bereits seit 1940 in Milano die Einrichtung des “Institute of Numerical Computation at Milan Polytechnics” als Zentrum der Computerforschung in Italien. Der zweite Weltkrieg verzögerte aber dieses Projekt. Nach Beendigung des Krieges verhalf ihm dann aber ein glücklicher Umstand zur Verwirklichung seines Vorhabens und zur Anschaffung eines Computers. Der Marshall-Plan regelte alle Maßnahmen zur Erholung der wirtschaftlichen Lage in Europa. Und so setzte Cassinis 1951 einen Computer auf die Liste der notwendigen Dinge für sein Institut. Dennoch war er erstaunt, als 1953 die Zusage für einen Computer kam. Immerhin waren diese zu dieser Zeit nicht gerade billig. Cassinis entschied sich für den 102A der Computer Research Corporation (CRC) in Kalifornien. Für den Preis von 120.000 $ erreichte der Computer im Oktober 1954 den Hafen von Genua. Man erzählt sich, daß einige verwirrte Zöllner im Hafen den Computer für ein überdimensioniertes Radio hielten, und eine Zollplakette auf jede einzelne Vakuumröhre geklebt haben.

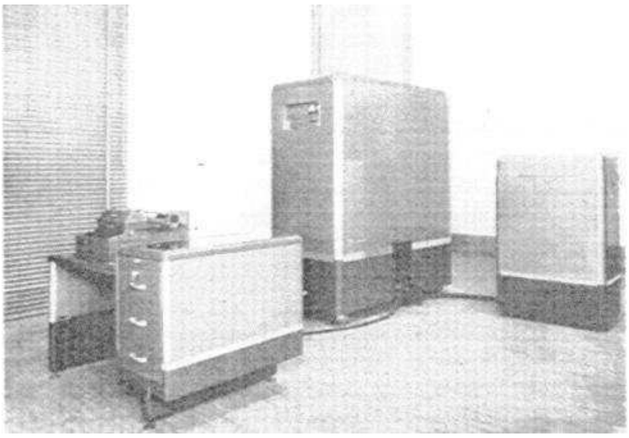


Abb. 14.19 Der CRC 102A

In der Folgezeit wurde der Computer nicht nur für wissenschaftliche Zwecke genutzt. Der Rechner wurde auch anderen Personen und Firmen zugänglich gemacht, zu denen unter anderem auch Pirelli, Siemens und Olivetti gehörten.

14.5.2 Der FINAC-Rechner in Rom

Bis Anfang der 50er Jahre hatte sich das „Instituto Nazionale per le Applicazioni del Calcolo" (INAC) mit verschiedenen wissenschaftliche mathematische Anwendungen aus den Bereichen Astronomie, Hydraulik, Finanzen, Elektronik, etc. beschäftigt. Für deren Realisierung standen aber nur elektro-mechanische Geräte zur Verfügung, die einfach zu langsam waren, die notwendigen komplexen Berechnungen durchzuführen. Dem Direktor des Instituts, Mauro Picone, war die Notwendigkeit eines Computers klar, doch sah man sich nach einiger Zeit einer experimentellen Entwicklung verschiedenen Schwierigkeiten gegenüber, so daß er die Eigenentwicklung einstellte und sich zum Kauf eines Computers entschied, statt selbst einen zu entwickeln. In die Auswahl der geeigneten Computer kamen die amerikanische Mark IV und die englische Mark1*. Picone entschied sich für die Mark 1*, der kommerziellen Version des Mark 1, der unter der Leitung von Frederick C. Williams an der Manchester Universität entwickelt wurde. Ausschlaggebend war, daß die Mark 1* im Gegensatz zum Mark 4 auf sämtliche elektro-mechanische Komponenten verzichtete.

Abb. 14.20 Der FINAC im INAC in Rom

Im Dezember 1954 benannte man den Mark 1* in FINAC um (Zusammengesetzt aus Ferranti, der Firma, die den Mark 1* in Lizenz erbaute und INAC). Drei Mechaniker brauchten sechs Monate, um den FINAC aufzustellen.

Im Dezember 1955 konnte man dann folgenden kritischen Bericht zu diesem neuen Computer in der wöchentlich erscheinenden „Tempo“ lesen:

“For practical applications the electronic computer of Rome will be usable by any private industrie as well as any public administration... It seems that high officials oft the Corte dei Conti will sign a petition of electronic computers-they say-could lead citizens to believe that public admistration is slow. “

Nach einigen Jahren der erfolgreichen Arbeit mit dem FINAC erkannte Picone, daß dieser Rechner bald veraltet sein würde. Deshalb beschloß er, sich mit Adriano Olivetti zusammenzuschließen, um einen neuen Rechner zu entwickeln. Dieses Vorhaben gelang ihnen 1966 mit dem CINAC (Computer-INAC)

13.5.3 Die CEP in Pisa

Im März 1955 begann die Universität von Pisa mit der eigenständischen Entwicklung eines Computers. Der entwickelte Rechner CEP war der erste elektronische und digitale Computer, der ganz in Italien entwickelt und produziert wurde. Diese Tatsache machte Pisa zur Hauptstadt der Computerwissenschaft in Italien zu dieser Zeit, so daß auch angesehene Computerfirmen wie Olivetti und IBM Forschungseinrichtungen in Pisa bauen ließen. 10 Jahre Lang wurden mit dem CEP mathematische Probleme gelöst.

Abb. 14.21 Der CEP-Computer an der Universität von Pisa

13.5.4 Olivetti

Im Frühling 1955 wagte die Firma Olivetti, die bis dahin für ihre Taschenrechner und Schreibmaschinen weltbekannt waren, den Sprung in das neue Feld der Computerherstellung. Um hier Fuß fassen zu können, entschied man sich, einen Computer für kommerzielle Zwecke zu bauen. Da man selbst nicht über die notwendigen Erfahrungen verfügte, versuchte man Fachleute in England anzuwerben. Daher konnte man eines Morgens in der wichtigsten englischen Tageszeitung eine Anzeige lesen, die folgende Eigenschaften an die für dieses Vorhaben gesuchten Personen stellten:

„Solid scientific and technical attainments, a keen interest in the field of electronic computers, willing to make a temporary move to foreign country to investigate scientific and technical issues.“

Anfang 1957 wurde der Prototyp ELEA 9003 1V im Entwicklungslabor in Pisa vorgestellt. Dieser Rechner arbeitete aber noch mit Vakuumröhren. Als dann Transistoren verfügbar wurden, entwickelte man das Nachfolgemodell ELEA 9003 1T.

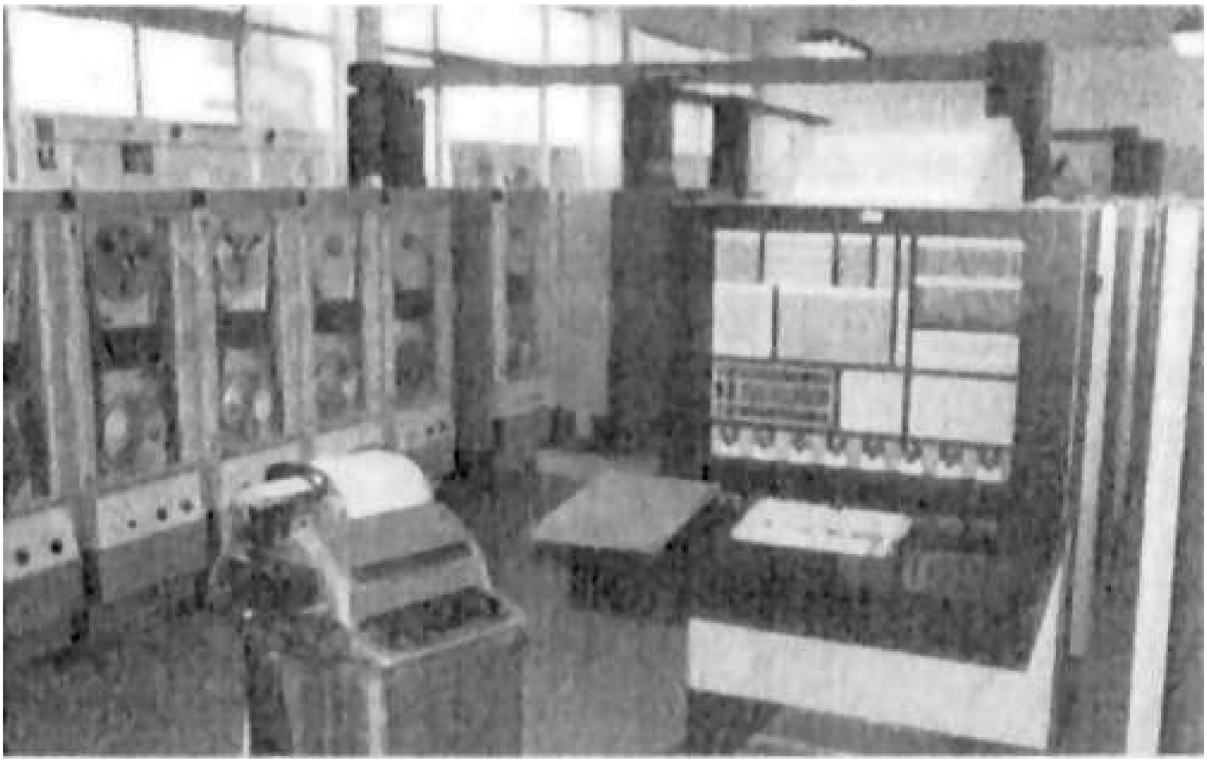


Abb. 14.22 ELEA 9003

Als Besonderheit konnten von diesem Rechner bis zu drei Programme parallel ausgeführt werden.

Obwohl mehr als 200 der verschiedenen ELEA-Modelle verkauft wurden, stürzten die Entwicklungs- und Vermarktungskosten Olivetti in eine tiefe Krise, was die Firma dazu veranlaßte, die Elektronikabteilung des Unternehmens an die US-Firma General Electric zu verkaufen.

Nach überwundener Krise betrat Olivetti allerdings das Computerfeld erneut. Mit der Fertigstellung des Programms 101, einem Schreibtischcomputer von geringem Ausmaß und Kosten, der als Vorgänger der heutigen Personal Computer angesehen wird, gelang ihnen wieder ein großer Wurf. 40.000 dieser Rechner wurden ab 1965 verkauft, und bis in die 80er Jahre benutzt.

Literatur

	E.P. Vorndran Entwicklungsgeschichte des Computers
BD96	B. Dotzler Babbages Rechen-Automaten – Ausgewählte Schriften Springer Verlag, WienNewYork, 1996
BK	B. Kay Ans Ende der Welt und darüber hinaus – Das Abenteuer die Welt mit dem Schiff zu entdecken Bastei-Lübbe 1995
BR92	H. Bach, J.-P. Rieb Die drei Astronomischen Uhren des Strassburger Münsters Verlag Moritz Schauenburg, 1992
DB68	W. de Beauclair Rechnen mit Maschinen - Eine Bildgeschichte der Rechentechnik Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig, 1968
DS91	D. Swade Charles Babbage and his Calculating Engines Science Museum, London, 1991
FB82	F. L. Bauer Helmut Schreyer - ein Pionier des "elektronischen" Rechnens. Informatik Spektrum 1982, 185-188.
FB98	F. L. Bauer Historische Notizen - Zuse, Aiken und der einschrittige Übertrag Informatik Spektrum 1998, 279-281.
FL58	B. von Freitag-Löringhoff Über die erste Rechenmaschine Physikalische Blätter 14, 361-365, 1958
FL60	B. Baron von Freytag Löringhoff Prof. Schickards Tübinger Rechenmaschine von 1623 Kleine Tübinger Schriften, Heft 4,1960
FS78	F. Seck (Hrsg.) Wilhelm Schickard (1592-1635) - Astronom, Geograph, Orientalist, Erfinder der Rechenmaschine Verlag J.C.B. Mohr, Tübingen, 1978
FS95	F. Seck (Hrsg.) Zum 400. Geburtstag von Wilhelm Schickard

	Zweites Tübinger Schickard-Symposion vom 25. bis 27. Juni 1992, Jan Thorbecke Verlag, Sigmaringen, 1995
GH61	G. Haas Grundlagen und Bauelemente elektronischer Ziffern-Rechenmaschinen Philips Technische Bibliothek, Eindhoven/NL, 1961
GI91	G. Ifrah Universalgeschichte der Zahlen Campus Verlag, 1991
HZ96	H. Zemanek Konrad Zuse (22.6.1910 - 18.12.1995): Ein Nachruf Informationstechnik und technische Informatik (ti + ti), 1 (1996), 56-58
KZ93	K. Zuse Der Computer - mein Lebenswerk. Springer-Verlag Berlin, 1993
MC41	W. Meyer zur Capellen Mathematische Instrumente Akademische Verlagsgesellschaft Becker und Erler, Leipzig, 1941
MG73	M. Graef 350 Jahre Rechenmaschinen Carl Hanser Verlag, München 1973
RL97	R. Lehni Die Astronomische Uhr Editions La Goelette, 1997
RR98	R. Rojas (Hrsg.) Die Rechenmaschinen von Konrad Zuse Springer-Verlag Berlin, 1998
SS91	S. Singh Codes – Die Kunst der Verschlüsselung – Die Geschichte/Die Geheimnisse/ Die Tricks Hanser-Verlag, München/Wien, 2001

Zeittabelle

Rechnerentwicklung

82 v. Chr.	Räderwerk von Antikythera: Realisierung bekannter astronomischer Relationen und Perioden mit Hilfe von Zähnrädern. Enthält bereits ein Differentialgetriebe zur Bildung von Differenzen
ab 700	Astrolabien: Analoge Geräte für die Navigation und für astronomische Berechnungen
ca. 1000	Räderwerk von Al Biruni: Ähnliche Maschine wie das Räderwerk von Antikythera
ab 1350	Entwicklung von Kirchenuhren bzw. astronomischen Uhren
um 1510	Bau der ersten Taschenuhr durch Peter Henlein
1623	Schickard: Bau einer sechsstelligen Addier- und Subtrahiermaschine für J. Kepler, der sie bei astronomischen Berechnungen einsetzte
1645	Pascal: Entwicklung einer ähnlichen Maschine zur Verwendung in der Finanzverwaltung, in der Pascals Vater tätig war
ca. 1670-1690	Leibniz: Einführung von Staffelwalzen und beweglichen Schlitten, damit Bau der ersten Maschine für alle vier Grundrechenarten
ab 1830	Babbage: „Differenzmaschine" zur Berechnung von Tafelwerken; Entwurf der „Analytischen Maschine", des ersten programmgesteuerten Rechners. Das Prinzip dieser Maschine entsprach bereits dem heutigen Computer. Eine technische Realisierung erwies sich mit den damaligen Mitteln als undurchführbar
ca. 1830	Schwilgué: Entwicklung eines „Kirchenrechners zur Berechnung der beweglichen Feiertage für die astronomische Uhr des Straßburger Münsters
1890	Hollerith: Lochkartenmaschine zum automatischen Lesen codierter Daten
1941	Zuse: Erster funktionsfähiger programmierbarer Rechner auf elektromechanischer Grundlage (Z 3). Binärdarstellung, Gleichkomma-arithmetik, Wortlänge 22 Bit. Speichergröße 0,25 KB, davon 600 Bit Programmspeicher und 1400 Bit Datenspeicher, alle in Form von Relais. Rechengeschwindigkeit: ca. 3 sec. je Multiplikation oder Division (0,3 FLOP/sec)
1943-1944	Bei Bell Telephone und IBM werden Relaisrechner entwickelt (Stibitz, Aiken)
1946	Eckert, Mauchly, Goldstine: ENIAC, erster vollelektronischer Rechner, ca. 17000 Röhren und 1500 Relais. Geschwindigkeit ca. 300 FLOP/sec (FLOP = Floating point operations).

1945-1948	v. Neumann: „Princeton-Rechner“, BINAC: Entwurf des modernen Universalrechners, datenabhängiger Programmablauf, Speicherung des Programms im Datenspeicher
1948	Erfindung des Transistors
1951	Ferritkernspeicher
1955	Magnetbandspeicher
1956	Plattenspeicher
1957	2. Rechnergeneration auf Transistorbasis, Geschwindigkeit: mehr als 10^5 FLOP/sec.
1965	3. Rechnergeneration mit integrierten Schaltkreisen („gedruckte“ Schaltkreise auf „Chips“)
1968	Halbleiterspeicher
ab 1975	Aufkommen des Personal Computers dank kleinerer, billigerer Mikroprozessoren. Eindringen der Computertechnologie in immer mehr Gebiete der Technik

Programmierung

1801-1805	Entwicklung des ersten automatischen, durch auswechselbare gelochte Pappkarten gesteuerten, Webstuhls durch Joseph-Marie Jacquard
um 1830	Babbage: Idee des programmierbaren Rechners
1945	v. Neumann: Einführung des „Sprungbefehls“ zur datenabhängigen Steuerung des Rechners
1948	Zuse: Plankalkül, erste algorithmische Programmiersprache
um 1950	erste Assemblersprachen
1951	Rutishauser: Algorithmische Programmnotation, Vorstufe der ALGOL-Sprachen
1954-1957	Backus: Entwicklung von FORTRAN, der ersten erfolgreichen maschinenunabhängigen Programmiersprache
1958	ALGOL 60 (Algorithmic Language), COBOL (Common Business-oriented Language) und LISP (List Processor)
1960-1968	Entwicklung von Timesharing-Betriebssystemen
ab 1960	erste interaktive Sprachen, z.B. APL (A Programming Language)
1965	BASIC (Beginners All Purpose Symbolic Instruction Code)
etwa ab 1968	Beginn des „Software Engineering“, Software überwiegt Hardware als Kostenfaktor

Theoretische Informatik

um 1680	Leibniz: Idee der binären Zahldarstellung, Entwurf einer binären Rechenmaschine
1888	Dedekind: Einführung der primitiv-rekursiven Funktionen, Beginn der Berechenbarkeitstheorie
um 1900	Hilbert: Vermutung, daß jedes hinreichend exakt formulierte Problem algorithmisch lösbar sei, Suche nach algorithmischen Entscheidungsverfahren
1928	Ackermann: Beispiel einer berechenbaren, nicht primitv-rekursiven Funktion
1931	Gödel: Unvollständigkeitssatz, Hilberts Programm ist gescheitert
um 1936	Church, Kleene, Turing: Entstehen der modernen Berechenbarkeitstheorie
ab 1960	abstrakte Theorie der Programmierung, Computer Science bzw. Informatik entsteht als eigenes Fachgebiet.