Wolfram-M.
Lippe

# Die Geschichte der Rechenautomaten

## Von der Himmelsscheibe von Nebra bis zu den ersten Rechenmaschinen

Springer Vieweg

Die Geschichte der Rechenautomaten

Wolfram-M. Lippe

# Die Geschichte der Rechenautomaten

## Band 1

## Von der Himmelsscheibe von Nebra bis zu den ersten Rechenmaschinen

Springer Vieweg

Prof. Dr. Wolfram-M. Lippe
Westfälische Wilhelms-Univ. Münster
Fachbereich 10
Einsteinstr. 62
48149 Münster
Germany

ISBN 978-3-642-36190-6 ISBN 978-3-642-36191-3 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-642-36191-3

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.



Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+BusinessMedia
www.springer-vieweg.de

# 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 Umfelds 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 Informatikabteilungen 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 30 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.

Wann beginnt also diese geistig-technische Entwicklung, die man mit den Begriffen Datenverarbeitung und Computer umschreibt? Es handelt sich nicht um ein alleiniges Produkt einer speziellen technischen Revolution, genannt Elektronik. Es handelt sich auch nicht um die Perfektionierung der Erfindung von Rechenmaschinen oder um ein Ergebnis des „technischen Zeitalters". Die Anfänge der Technologien der Datenverarbeitung liegen in grauer Vorzeit, als die Menschen zur Bestimmung mehrerer gleicher Sachen die ersten Zählzeichen und Zahlensysteme erfanden.

Eine der größten geistigen Leistungen der Frühzeit des Menschen und seiner Kulturgeschichte war die Abstraktion von Zahlen (eins, zwei usw.) von den Sachen (eine Ziege, zwei

Ziegen usw.) und die anschließende Entwicklung von Operationen auf diesen Zahlen. Aber schon weit früher gab es einen ebenso wichtigen Evolutionsschritt. Der Mensch entwickelte die Fähigkeit, zu zählen und Informationen längerfristig zu speichern. Die Möglichkeit, Dinge zu zählen und ihre Anzahl zu speichern, war wichtig für Handel und Viehwirtschaft. Die ersten Speichertechniken bestanden aus kleinen Steinen und Kerben in weichem Material. Daneben speicherte man Ergebnisse von Himmelsbeobachtungen mittels Holz- und Steinkonstruktionen. So war es durch langjährige Vergleiche möglich, den Phänomenen der Natur auf die Spur zu kommen. Die Informationsverarbeitung begann mit der Entwicklung von Speichertechnologien.

Daher entstand der Titel „Geschichte der Rechenautomaten". Man hätte noch den Untertitel

- „von A (wie das Räderwerk von Antikythera)
- bis Z" (wie Zuse, dem Erbauer der ersten frei programmierbaren Rechenmaschine)

hinzufügen können, denn dieser Zeitraum ist der Hauptgegenstand dieser Bücher und deckt damit die wichtigsten Meilensteine auf dem Weg zur Architektur unserer modernen Rechenanlagen ab.

Mit diesem dreibändigen Werk soll ein Einblick in die über 2000-jährige faszinierende Geschichte dieses Wegs gegeben werden, die 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 Werk 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.

Auch möchte ich all denen danken, die zur Erstellung dieses Buches beigetragen haben. Dies gilt für alle Studierenden, die in mehreren Semestern an meinen gleichnamigen Seminaren teilgenommen haben. Ihnen sei für ihr enormes Engagement gedankt. Besonderer Dank gebührt auch den „guten Feen meines Vorzimmers" Frau Marlies Giesa und Frau Hedwig Hoff-Weikert, die meine handschriftlichen Vorlagen umgesetzt und in oft mühevoller Arbeit die von mir selbst erstellten Passagen korrekturgelesen haben, sowie Herrn Dr. Marcel Shirvanian für die Gesamtkorrektur und die vielfältigen Anregungen.

Zum Schluss möchte ich mich noch bei meiner Familie für ihre Geduld bedanken, mit der sie besonders in der Endphase der Erstellung dieses Werkes einen stressgeplagten Familienvater erduldet haben.

## Zu Band 1: Von mechanischen Chiffriergeräten bis zu den ersten programmierbaren Rechnern

Über die Gründe, die die Menschen veranlassten, sich mit der Speicherung und der Verarbeitung von Informationen zu beschäftigen, kann nur spekuliert werden. Vermutlich war es die Konfrontation mit den Phänomenen der Natur, wie die jahreszeitlich bedingten Klimaschwankungen, die Bewegungen der Sonne, des Mondes und der Gestirne, und die Erkenntnis, dass es direkte Zusammenhänge zwischen diesen Phänomenen geben muss. Um diese Zusammenhänge zu verstehen, waren Beobachtungen und Messungen über lange Zeiträume notwendig, deren Ergebnisse zum Vergleich gespeichert werden mussten. Somit begann die Informationsverarbeitung mit der Entwicklung von Speichertechnologien.

Zunächst waren es einfache Hilfsmittel wie Holzkonstruktionen oder Steinmarkierungen. Da, um zu weitergehenden Erkenntnissen zu gelangen, die Informationen über längere Zeitabschnitte zur Verfügung stehen mussten, baute man immer größere steinerne Anlagen, in denen die gewonnenen astronomischen Informationen gespeichert wurden. Aber schon früh setzte das Bestreben zur Miniaturisierung ein. Beispiele hierfür sind die auf 1600 v. Chr. datierte Himmelsscheibe von Nebra oder der Berliner Goldhut.

Der zunehmende Handel und das Entstehen von Verwaltungsstrukturen erforderten die Entwicklung von Zahlsystemen und Schrift. Es hat sicher einer enormen geistigen Leistung bedurft, bis die ersten Menschen die Zahl von den Sachen, die gezählt wurden, trennten. Zahlen sind die Basis, die den Rechenhilfsmitteln erst ihren Sinn gibt. In einem nächsten Schritt mussten geeignete Zahlendarstellungen und Zahlensysteme gefunden werden.

Zum Transport von Gütern über längere Strecken benutzten die Menschen schon früh Wasserstraßen. Schon 2000 Jahre vor unserer Zeitrechnung überquerten sie mit Booten und Schiffen das offene Meer. Zur Navigation entwickelten sie einfache analoge Mess- und Rechengeräte, die zur Positionsbestimmung dienten. Oft waren sie mit zusätzlichen Skalen versehen, die eine direkte Umrechnung der gemessenen Werte in die gewünschten Informationen erlaubten, wodurch sie zu einfachen Analogrechnern wurden.

Wesentlich für die Entwicklung von Rechenmaschinen war die Verfeinerung der Zahnradtechnologien. Hierzu trug vor allem der Bau von Uhren bei. Insbesondere die astronomischen Uhren waren meisterliche Analogrechner. Ihren Höhepunkt fanden sie in der astronomischen Uhr des Münsters zu Straßburg. Neben einem Rechner zur Berechnung der Sonnen- und Mondanomalien enthält diese Uhr einen speziellen Rechner zur Berechnung der kirchlichen Feiertage.

Einfache digitale Rechengeräte, also Maschinen zur Durchführung einfachster numerischer Berechnungen, existieren unter unterschiedlichen Begriffen und Formen bereits seit über 2000 Jahren. Zu ihnen gehören neben dem bekannten Abakus u. a. Rechentafeln, Rechentücher, Rechenbretter und Rechenstäbe.

Mit der Realisierung des automatischen Zehnerübertrags entstanden die ersten Rechenmaschinen. Die erste digitale Rechenmaschine wurde von Wilhelm Schickard konstruiert. Einige Jahre später entwickelte Blaise Pascal unabhängig von Schickard eine ähnliche Maschine, von der eine ganze Reihe von verschiedenen Varianten gebaut wurde. Eine weitere Verbesserung der digitalen Rechenmaschine erfolgte durch Freiherr Gottfried Wilhelm von Leibniz. Ihm gelang zwischen 1671 (erste Entwürfe) und 1690 (Fertigstellung) der Bau der ersten Maschine für alle vier Grundrechenarten (Vierspeziesmaschine).

Danach beschäftigten sich viele Tüftler mit der Weiterentwicklung der Rechenmaschinen. Aus dem 17. und 18. Jahrhundert sind über zwanzig Konstrukteure von mechanischen Rechengeräten bekannt. Aber erst Mitte des 19. Jahrhunderts begann der Übergang zur industriellen Produktion, verbunden mit laufenden Verbesserungen und der Entwicklung neuer Techniken. Wesentliche Erweiterungen des Einsatzspektrums erbrachten die Kombination von Rechenmaschinen mit Druckeinrichtungen sowie der Einsatz von Elektromotoren zum Antrieb der Maschinen.

Aber bereits fast 2000 Jahre früher besaßen die Menschen die Kenntnisse und Fähigkeiten, komplexe Rechenwerke zu bauen. Das Räderwerk von Antikythera war ein komplexer und filigraner Analogrechner zur Berechnung von astronomischen Daten. Es enthält u. a. Reste eines Differenzialgetriebes (zur Bildung von Differenzen), wie es erst 1832 in England zum Patent angemeldet wurde. Die Erkenntnisse und Fähigkeiten, die die Schöpfer des Räderwerkes von Antikythera besaßen, sind in der Folgezeit allerdings größtenteils verloren gegangen.

Der erste Band der Geschichte der Rechenautomaten deckt diesen Abschnitt der Entwicklung von den ersten Datenspeichern bis zu den mechanischen Rechenmaschinen ab.

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

Im Februar 2013 Prof. Dr. Wolfram-M. Lippe

# Inhaltsverzeichnis


1 Zur Geschichte des Begriffs „Informatik“ . . . 1

2 Das Räderwerk von Antikythera . . . 3
2.1 Der Fund des Räderwerks . . . 3
2.2 Die Erforschung des Räderwerks . . . 5
2.3 Zeitpunkt der Herstellung . . . 7
2.4 Bestimmung der Funktion und Rekonstruktion . . . 8
2.4.1 Die Details . . . 8
2.4.2 Die Inschriften . . . 9
2.4.3 Neuere Untersuchungen . . . 10

3 Zahlen und Arithmetik . . . 13
3.1 Zählen und Ziffern . . . 13
3.2 Zahlensysteme und ihre Darstellung . . . 14
3.2.1 Mesopotamien . . . 14
3.2.2 Ägypten . . . 17
3.2.3 Indien . . . 20
3.2.4 Römische Zahlen . . . 22
3.2.5 Die Zahlen der Inkas . . . 22
3.2.6 Arabien . . . 23
3.3 Rechnen mit natürlichen Hilfsmitteln . . . 24
3.3.1 Fingerzahlen und Fingerrechnen . . . 24
3.3.2 Kerbhölzer . . . 25
3.4 Besondere Zahlen . . . 27
3.4.1 Die Zahl „Null“ . . . 27
3.4.2 Die Zahl „Eins“ . . . 29
3.4.3 Die Zahl „Pi“ . . . 29
3.4.4 Logarithmen . . . 33
3.4.5 Binärzahlen . . . 38

4 Astronomie und Navigation . . . 41
4.1 Steinerne Monumentalspeicher . . . 41
4.1.1 Die Bedeutung und Entstehung astronomischer Datenspeicher . . . 41
4.1.2 Die Kreisgrabenanlage von Goseck . . . 44
4.1.3 Newgrange . . . 45
4.1.4 Stonehenge . . . 45
4.1.5 Chichén Itzá . . . 47
4.1.6 Coricancha . . . 47
4.2 Die Himmelsscheibe von Nebra . . . 48

4.2.1 Der Fund . . . 48
4.2.2 Die Ergebnisse der Untersuchungen . . . 50
4.2.3 Daten und Berechnungsmöglichkeiten . . . 51
4.3 Einfache analoge Rechenhilfsmittel . . . 52
4.3.1 Die Entwicklung der Schifffahrt . . . 52
4.3.2 Anfänge der Navigation . . . 56
4.3.3 Einfache nautische Geräte . . . 57
4.4 Reflexionsinstrumente . . . 64
4.4.1 Die Entwicklung . . . 64
4.4.2 Der Oktant . . . 65
4.4.3 Der Sextant . . . 65
4.5 Astrolabien . . . 66
4.5.1 Die Entwicklung . . . 66
4.5.2 Die Teile eines Astrolabiums . . . 68

5 Astronomische Uhren und Kirchenrechner . . . 73
5.1 Astronomische Uhren . . . 73
5.1.1 Die Messung der Zeit . . . 73
5.1.2 Die Entwicklung der Uhren . . . 74
5.2 Die astronomische Uhr im Dom zu Münster . . . 76
5.3 Die drei astronomischen Uhren im Straßburger Münster . . . 78
5.3.1 Die Dreikönigsuhr . . . 78
5.3.2 Die Dasypodius-Uhr . . . 80
5.3.3 Die Renovierung durch Schwilgué . . . 81
5.4 Der Kirchenrechner des Straßburger Münsters . . . 88

6 Digitale Rechengeräte . . . 97
6.1 Die Entwicklung . . . 97
6.2 Der Abakus . . . 97
6.3 Pythagoreische Rechentafeln . . . 104
6.4 Die Rechenstäbe von Napier . . . 105
6.5 Der schottsche Rechenkasten . . . 107
6.6 Die Stäbe von Genaille . . . 109

7 Die ersten Rechenmaschinen . . . 113
7.1 Der Rechner von Leonardo da Vinci . . . 113
7.2 Der Rechner von Schickard . . . 114
7.2.1 Lebenslauf von Schickard . . . 114
7.2.2 Die Entdeckung der Maschine und ihre Rekonstruktion . . . 116
7.2.3 Aufbau der Maschine . . . 117
7.2.4 Funktionsweise . . . 118
7.3 Der Rechner von Pascal . . . 120
7.4 Der Rechner von Leibniz . . . 123
7.4.1 Lebenslauf von Leibniz . . . 123
7.4.2 Aufbau der Maschine . . . 124
7.4.3 Arbeitsweise . . . 125
7.5 Sonstige Entwicklungen . . . 126
7.5.1 Sir Samuel Morland . . . 126
7.5.2 Giovanni Polenius . . . 127
7.5.3 Jacob Leupold . . . 127
7.5.4 Antonius Braun . . . 128
7.5.5 Christian Ludwig Gersten . . . 130

7.5.6 Philipp Matthäus Hahn . . . . . . . . 130
7.5.7 Johann Christoph Schuster . . . . . . . . 133
7.5.8 Sonstige Konstruktionen . . . . . . . . 134

8 Die Weiterentwicklung der Rechenmaschinen . . . . . . . . 137
8.1 Der Übergang zur industriellen Produktion . . . . . . . . 137
8.2 Die technischen Prinzipien . . . . . . . . 140
8.2.1 Sprossenradmaschinen . . . . . . . . 140
8.2.2 Proportionalhebel . . . . . . . . 141
8.2.3 Staffelwalzen . . . . . . . . 142
8.2.4 Multiplikationskörper . . . . . . . . 142
8.3 Die Entwicklung in Frankreich . . . . . . . . 143
8.4 Die Entwicklung in Russland und Schweden . . . . . . . . 144
8.5 Die Entwicklung in der Schweiz . . . . . . . . 144
8.6 Die Entwicklung in den USA . . . . . . . . 146
8.6.1 Comptometer . . . . . . . . 146
8.6.2 Burroughs . . . . . . . . 147
8.6.3 Marchant . . . . . . . . 147
8.7 Die Entwicklung in Deutschland . . . . . . . . 148
8.7.1 Die Maschinen von Dietzschold und Burkhardt . . . . . . . . 148
8.7.2 Die Brunsviga-Maschinen . . . . . . . . 149
8.7.3 Die Hamann-Maschinen . . . . . . . . 149
8.7.4 Die Archimedes-Maschinen . . . . . . . . 150
8.7.5 Die Curta . . . . . . . . 151

Zeittabelle . . . . . . . . 155

Literaturverzeichnis . . . . . . . . 157

Stichwortverzeichnis . . . . . . . . 161

# Abbildungsverzeichnis

| **Abb.** | Quelle |
|---|---|
| 2.2 | http://www.giovannipastore.it/index_file/Antikythera_sito_ritrovamento.jpg |
| 2.7 | http://www.math.nyu.edu/~crorres/Archimedes/Sphere/DerekPrice.jpg |
| 2.12 | http://t3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSxZRYcRLkvu8n-UvwZk6lzKbrUbjwRsKdMLB-MHCNMlLCC-eefwLzaduA |
| 2.13 | http://sevencolors.org/images/photo/antikythera_mechanism.jpg |
| 2.15 | http://t3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTyW6x1iDIfBWJqGqZUQG5fKKjUBV4_ZWHI9y-1FUUiawTtEt8xro3Y2UQ |
| 2.16 | P. M., Oktober 2006, Sternenrechner aus dem Meer |
| 3.7 | http://t1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTUH-Xi0PF8sgw0lIPc-so-mLl06-qD4k__6sxH-CvVktkAxfbfAOQ |
| 3.16 | http://rdk.zikg.net/rdkdaten/abb/08/08-1295-1_scrn.jpg |
| 3.17 | http://t3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQhofK9GArp66ObgyL_q0INEKU8odaIFO6A-TROiBguQULk7Epr1LBUw1s0 |
| 3.18 | Spektrum der Wissenschaft Spezial – Etnomathematik |
| 3.25 | http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/95/JostBurgi-MechanisedCelestialGlobe1594.jpg/330px-JostBurgi-MechanisedCelestialGlobe1594.jpg |
| 3.26 | http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/thumb/9/9f/Buergi_zirkelgross.jpg/220px-Buergi_zirkelgross.jpg |
| 3.29 | http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a9/Jost_B%C3%BCrgis_Logarithmentafel.jpg/220px-Jost_B%C3%BCrgis_Logarithmentafel.jpg |
| 4.4 | http://de.wikipedia.org/wiki/Kreisgrabenanlage_von_Goseck |
| 4.5 | http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/24/Bru_na_Boinne_Squire.jpg/220px-Bru_na_Boinne_Squire.jpg |
| 4.10 | http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7b/Nebra_Scheibe.jpg/220px-Nebra_Scheibe.jpg |
| 4.12 | http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nebra-1.jpg |
| 4.21 | J. Randier: Nautische Antiquitäten |
| 4.26 | rechts: https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSlfuKMFDGZQ0gKTEY7ou6KIpagvadxWzLJISZyGWGIdEE0bW-v |
| 4.27 | http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/thumb/b/bf/Jakobsstab3.jpg/300px-Jakobsstab3.jpg |
| 4.28 | http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/12/Jakobsstab-2.jpg/300px-Jakobsstab-2.jpg |
| 4.33 | J. Randier: Nautische Antiquitäten |
| 4.41 | http://wwwdh.cs.fau.de/IMMD8/Services/Astrolab/html/instrument.html |
| 4.43 | http://wwwdh.cs.fau.de/IMMD8/Services/Astrolab/html/instrument.html |
| 4.44 | http://wwwdh.cs.fau.de/IMMD8/Services/Astrolab/html/instrument.html |
| 4.45 | http://wwwdh.cs.fau.de/IMMD8/Services/Astrolab/html/instrument.html |
| 4,46 | http://wwwdh.cs.fau.de/IMMD8/Services/Astrolab/html/instrument.html |
| 4.47 | http://wwwdh.cs.fau.de/IMMD8/Services/Astrolab/html/instrument.html |
| 5.34 | http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/0b/Schwilgu%C3%A9.jpg/220px-Schwilgu%C3%A9.jpg |
| 6.2 | http://www.hh.schule.de/metalltechnik-didaktik/users/luetjens/abakus/china/china.htm,<br>http://www.hh.schule.de/metalltechnik-didaktik/users/luetjens/abakus/japan/jap.htm<br>http://www.hh.schule.demetall-technik-didaktik/users/luetjens/abakus/russland/russisch.htm |

6.19 http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/PictDisplay/Napier.html
6.26 http://www.history.didaktik.mathematik.uni-wuerzburg.de/rechner/schott/biogra~l.html
6.27 http://www.history.didaktik.mathematik.uni-wuerzburg.de/rechner/schott/biogra~l.html
6.28 http://www.history.didaktik.mathematik.uni-wuerzburg.de/rechner/schott/rechenka.html
6.31 http://www.rechnerlexikon.de/wiki.phtml?title=Multiplizierst%E4be_Genaille-Lucas
6.34 http://home.t-online.de/home/Peter.Kernwein/genaille.htm
6.35 http://home.t-online.de/home/Peter.Kernwein/genaille.htm
7.1 https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcS5PvF-ZihJaCgU-sUuDdHW6Xty-24zSJDMFFhPZoN7EYMXsgp9N
7.2 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/71/M%C3%A1quina_de_sumar_de_Leonardo_da_Vinci.jpg/220px-M%C3%A1quina_de_sumar_de_Leonardo_da_Vinci.jpg
7.22 http://www.hnf.de/museum/schickard_pascal.html
7.33 http://www.Berkshirehistory.com/bios/smorland.html
7.34 http://www.vauxhallsociety.org.uk/Morland.html;
7.4 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/ff/WilhelmSchickardPortrait.jpg/220px-WilhelmSchickardPortrait.jpg
7.43 http://upload.wikimedia.Org/wikipedia/de/thumb/b/b2/Hahn%C3%96hr.svg/180px-Hahn%C3%96hr.svg.png
7.5 https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSSnvxi_dwOYRWlefejExgu1N5pjv-wRQGkugdsT0Ak3e43UOMW93A
7.7 http://www.rechnerlexikon.de/wiki.phtml?title=Bild:Schreiber-05-schickard.jpg
8.3 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d8/Sprossenrad_leibniz.png/220px-Sprossenrad_leibniz.png
8.4 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/thumb/a/ab/Sprossenrad_roth.png/220px-Sprossenrad_roth.png
8.5 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/thumb/e/eb/Sprossenrad_wertheimber.png/220px-Sprossenrad_wertheimber.png
8.13 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/0c/Original-Odhner_LUSID_mechanical_calculator.jpg/800px-Original-Odhner_LUSID_mechanical_calculator.jpg
8.14 http://www.rechnerlexikon.de/upload/f/fc/Egli-Portrait-Prosp-50Jahre.jpg
8.15 http://www.rechenwerkzeug.de/millio1.GIF
8.17 http://www.rechnerlexikon.de/upload/thumb/e/e5/153px-Madas-Siegel-aus-Prospekt-1919.jpg
8.18 http://www.rechnerlexikon.de/upload/thumb/4/4e/150px-Madas-L%F6we-Fahne-Staffelwalze-50Jahre-1943.jpg
8.19 http://www.rechnerlexikon.de/upload/thumb/8/82/200px-Precisa-erster-Prosp-vorn-M1.jpg
8.21 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/0f/Dorr_E_Felt_Portrait.jpg/220px-Dorr_E_Felt_Portrait.jpg
8.22 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/00/Macaronibox.jpg/220px-Macaronibox.jpg
8.23 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5d/EarlyComptometerMachine.png/220px-EarlyComptometerMachine.png
8.24 http://pw1.netcom.com/~hancockm/BurroughsFactory5.jpg
8.27 http://www.rechnerlexikon.de/upload/thumb/a/af/200px-Burkhardt_aus_Lehmann_1989.jpg
8.28 http://computermuseum.informatik.uni-stuttgart.de/pics/burkhardt/burkhardt.jpg
8.29 http://www.rechnerlexikon.de/upload/thumb/b/ba/300px-Trinks-Bild-GNC1921-s665.jpg
8.30 http://www.rechnerlexikon.de/upload/thumb/f/f0/250px-Foto_Chr.Hamann.jpg
8.31 http://www.rechenwerkzeug.de/gauss.gif
8,32 http://www.rechnerlexikon.de/upload/thumb/7/75/200px-Poethig-aus-Lehmann-1989.jpg
8.33 http://www.rechnerlexikon.de/upload/thumb/4/41/300px-Hans_sabielny.jpg
8.34 http://www.rechnerlexikon.de/upload/thumb/9/9b/300px-Archimedes-Junior-F-Wochinz.jpg

# 1 Zur Geschichte des Begriffs „Informatik“

Das Wort „Informatik“ wurde vor 1950 kaum verwendet. Sein erster Gebrauch liegt im Dunkeln; seine Entstehung durch Anhängen der Endung „-ik“ an den Stamm des Worts „Information“ scheint aber klar zu sein. Eine frühe Verwendung findet sich durch Karl Steinbuch. Nachdem der Begriff „Informatik“ gegen Ende der 1950er-Jahre für Erzeugnisse der Firma Standard Elektrik Lorenz (SEL) urheberrechtlich geschützt wurde, war das Wort einer breiten Verwendung in Deutschland entzogen.

Mitte der 1960er-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 Verbands, der IFIP (International Federation of Information Processing) wiederfindet – sowie parallel hierzu auch der Begriff „Kybernetik“, der vor allem in Arbeiten von Steinbuch Verwendung fand. Die IFIP definierte „Information Processing“ 1977 folgendermaßen:

> Die Wissenschaft von der Informationsverarbeitung umfasst die theoretischen, mathematischen, technischen und anwendungstechnischen Aspekte für alles, was mit der „Behandlung“ von Informationen zu tun hat – also Erfassung, Übertragung, Berechnung, Übersetzung, Speicherung, Wiederauffinden, Reduktion und Darstellung von Informationen – und zwar im Allgemeinen durch automatische Abläufe.

In Frankreich tat man sich mit dem Pendant „Traitement de l'information“ besonders schwer, und man empfand dort allgemein Erleichterung, als die Académie Française 1966 das prägnante Wort „informatique“ einführte:

> L'informatique: Science de traitement rationel, notamment par machines automatiques, de l'information considérée comme le support des connaissances humaines et des communications, dans les domains techniques, économiques et sociales.

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, die gemeinsam vom MIT in Boston und der TU Berlin organisiert wurde, 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 1960er-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.

Bald wurde dieser Begriff auch in anderen europäischen Ländern eingeführt: z. B. in Österreich ebenfalls als „Informatik“, in den Niederlanden als „informatika“, in Spanien und Italien als „informatica“ und in Polen als „informatyka“. 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 (FORmula TRANslation) 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.

W.-M. Lippe, *Die Geschichte der Rechenautomaten*,
DOI 10.1007/978-3-642-36191-3_1, 

Auch der für die Informatik essenzielle Begriff des „Algorithmus“ besitzt eine interessante Herkunftsgeschichte. Er stammt nicht, wie von vielen aufgrund 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 n. Chr., gestorben etwa 850 n. Chr. Er stammte aus dem südöstlich des Aralsees 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 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*“ (*Buch des al-Choresmi*), wodurch der Begriff „Algorithmus“ entstand.

Das Wort „Computer“ stammt von dem lateinischen Verb *computare* (deutsch: berechnen). Im Englischen wurde hieraus das Verb *to compute*. Erstmalig trat der Begriff Computer in dem 1945/1946 fertiggestellten ersten amerikanischen Elektronenrechner, der ENIAC, auf. Die Abkürzung ENIAC stand für „Electronic Numerical Integrator And Computer“. In der Folge verdrängte das Wort „Computer“ als Gattungsbegriff die bis dahin allgemein gebräuchliche Bezeichnung Rechenmaschine für die nun aufkommenden elektronischen Rechenmaschinen.

# Das Räderwerk von Antikythera

2

## 2.1 Der Fund des Räderwerks

An Ostern des Jahres 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 Wrack des griechischen Handelsschiffs vor Antikythera wurde vom Schwammtaucher *Elias Stadiatis* in einer Tiefe von etwa 42 m gefunden. Die Bootsbesatzung bezeichnete sich selbst als Gruppe von Schwammtauchern und hatte nach eigenen Angaben vor einem Sturm Zuflucht in einer Bucht der Insel gesucht (Abb. 2.2). Es kann jedoch angenommen werden, dass sie bewusst nach versunkenen Antiquitäten gesucht haben, denn


**Abb. 2.1** Position der griechischen Insel Antikythera

W.-M. Lippe, *Die Geschichte der Rechenautomaten*,
DOI 10.1007/978-3-642-36191-3_2, © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

antike Statuen und Amphoren waren damals in Europa sehr gefragt und schmückten die Salons der begüterten Gesellschaft.

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

Das besagte Schiffswrack gab auch eine Reihe anderer Kunstwerke frei, z. B. zahlreiche Statuen und Amphoren. Als man sich jedoch anschickte, die erwähnten Bronzeteile zu analysieren, begann ein großes Staunen.

Es handelte sich hierbei um ein Räderwerk, das später „Das Räderwerk von Antikythera" (nach dem Fundort) oder „Planetarium" (nach den Inschriften) genannt wurde. Anhand der Fragmente (Abb. 2.3, Abb. 2.4, Abb. 2.5 und Abb. 2.11) kann man einen Eindruck davon bekommen, wie das Original ausgesehen haben muss (Abb. 2.6 und Abb. 2.8). Die geborgenen Fragmente befinden sich heute im Nationalmuseum in Athen und sind unter der Nummer 15087 archiviert.

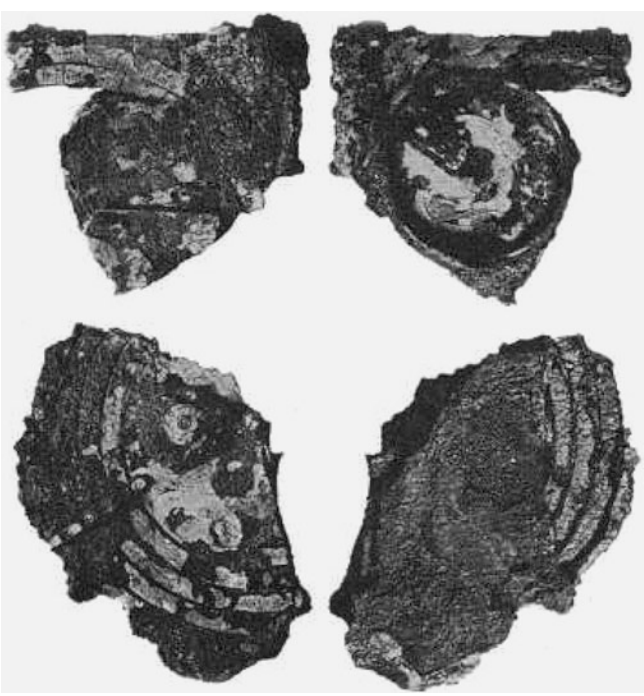


**Abb. 2.3** Fragmente des Antikythera-Mechanismus von beiden Seiten (zwei Paare)

**Abb. 2.4** Ein weiteres Paar des Mechanismus

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

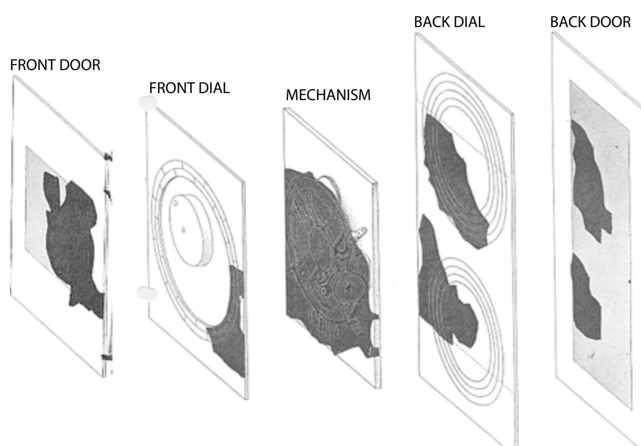




**Abb. 2.6** Diese Abbildung zeigt, wie die Fragmente mit den Platten des Mechanismus zusammenhängen

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

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

Das eigentliche Räderwerk basiert auf einer Vielzahl von Zahnrädern in 60°-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, um z. B. in einer Wassermühle Kraft in einem rechten Winkel zu übertragen.

Als der ehemalige Minister und Hobbyarchäologe *Spyridon Stais* am 17. Mai 1902 die Fragmente sah, sich an deren Untersuchung machte und kurz darauf seine Ergebnisse veröffentlichte, wurden zunächst von vielen Fachleuten die Ergebnisse und die Datierung angezweifelt. Selbst von Fälschung wurde gesprochen.

Dennoch sind die Authentizität und die Datierung inzwischen gesichert. Sowohl die gefundenen Münzen als auch die Beschriftung des Gehäuses lassen die Datierung des Räderwerks auf ca. 70–80 v. Chr. ansetzen.

Diese Datierung wird auch durch die übrigen Kunstwerke gestützt, die sich ebenfalls an Bord befanden. Hierzu gehörten eine Statue des Paris aus Bronze, den bronzenen Kopf eines Philosophen sowie drei Epheben (Jünglinge), eine Kore (Jungfrau), zwei Statuen der Aphrodite, zwei Statuen und einen Kopf des Hermes, zwei Statuen des Herakles, vier des Apollon, eine des Zeus, eine des Philoktetes, zwei des Odysseus, eine des Achilles sowie die vier Pferde einer Quadriga samt weiterer Fragmente, die heute alle im Archäologischen Nationalmuseum in Athen zu sehen sind.

Die Untersuchungen brachten auch die Tatsache zutage, dass das Gerät 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 Zahnrads 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 Funds 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 Konservierungsmaßnahmen 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 mithilfe von Zähneanzahlen realisiert wurden. Es enthält sogar Reste eines Differenzialgetriebes (zur Bildung von Differenzen), wie es erst 1832 in England zum Patent angemeldet wurde.

Die Erkenntnisse und Fähigkeiten, die die Schöpfer des Räderwerks von Antikythera besaßen, sind in der Folgezeit größtenteils verlorengegangen.

Erst mehr als 1000 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.

## 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 war. Er war sofort von dem Räderwerk begeistert (Abb. 2.7):

**Abb. 2.7** Derek del Sollo Price

> „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 (Abb. 2.8). Doch erst die 1971 von der griechischen Atomenergiekommission angefertigten Röntgenaufnahmen brachten endgültigen Aufschluss über das Zahnradgetriebe (Abb. 2.12).

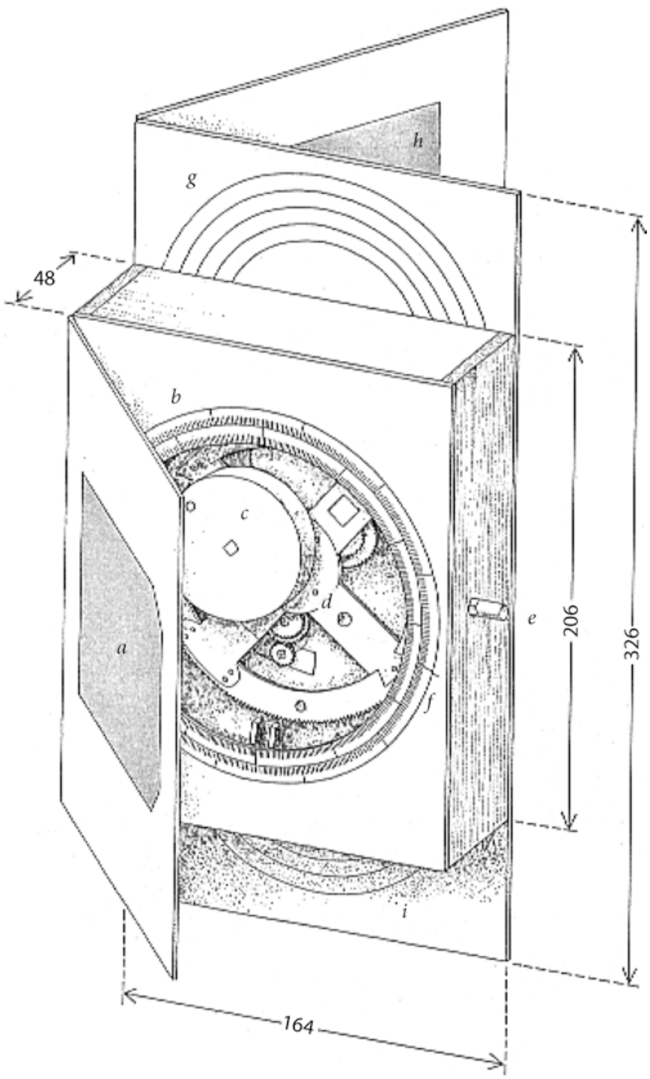



**Abb. 2.8** Teilweise rekonstruierter Mechanismus. Die Beschriftungen haben die folgenden Bedeutungen: (*a*) Fronttür-Inschrift, (*b*) Front-Zifferblatt, (*c*) exzentrische Trommel, (*d*) Front des Mechanismus, (*e*) Eingabeschaft, (*f*) Markierung, (*g*) vier bewegliche Ringe des oberen Hinterseiten-Zifferblatts, (*h*) Türinschriften der Rückseite, (*i*) drei bewegliche Ringe des unteren Hinterseiten-Zifferblatts. Die angegebenen Dimensionen sind Millimeter

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

Das Räderwerk besitzt zwei Skalen, eine von Ihnen ist fest angebracht und gibt den Tierkreis wieder. Die andere befindet sich auf einem beweglichen Ring und gibt die Monate des Jahres wieder. Jede von ihnen ist sorgfältig in Gradzahlen abgegrenzt (Abb. 2.9).

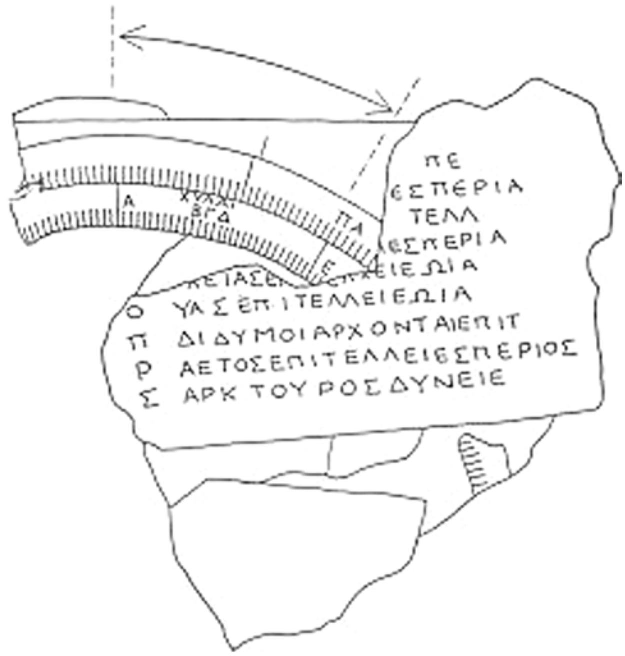


**Abb. 2.9** Segmente des vorderen Zifferblatts mit Parapegma-Platte

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° – 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).

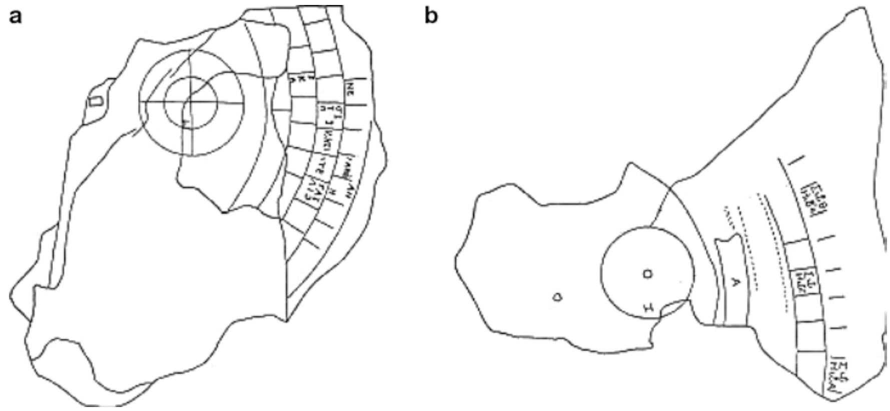


**Abb. 2.10** Segmente der Rückseiten-Zifferblätter. **a** ist das obere und **b** das untere Blatt zu sehen

Die Fragmente zeigen außerdem, dass das Originalinstrument vier große Inschriftflächen besaß: Außerhalb der Fronttür, innerhalb der Hintertür, auf der Platte zwischen den beiden hinteren Zifferblättern und auf der Paradigmaplatte nahe des Frontzifferblatts. Wie Derek Price festgestellt hat, sind auch um alle Zifferblätter Inschriften. Zudem hatte jedes Teil und jedes Loch scheinbar Identifikationsbuchstaben, sodass 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 wohlbekannten Callipic-Zyklus von 76 Jahren hin, welcher viermal der metonische Zyklus (nach dem altgriechischen 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-Monaten hinweist.

## 2.3 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° ungefähr ¼° 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, sodass die Monatsskala um diese Größe justiert werden musste. Soweit die zwei Skalen des Zifferblattes noch erhalten sind, sind sie um 13.5° phasenverschoben.

Standardtabellen 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° 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).

**Abb. 2.11** Foto eines originalen Fragments

Diese Datierung wird auch durch die Datierung der übrigen Gegenstände, die aus dem Wrack geborgen wurden, gestützt. Hierzu gehören auch einige Münzen, die der französische Unterwasserforscher Jaques Cousteau bei einer Expedition zum Wrack im Jahre 1985 fand und die 86 v. Chr. in Pergamon geprägt worden waren.

## 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, welcher 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.

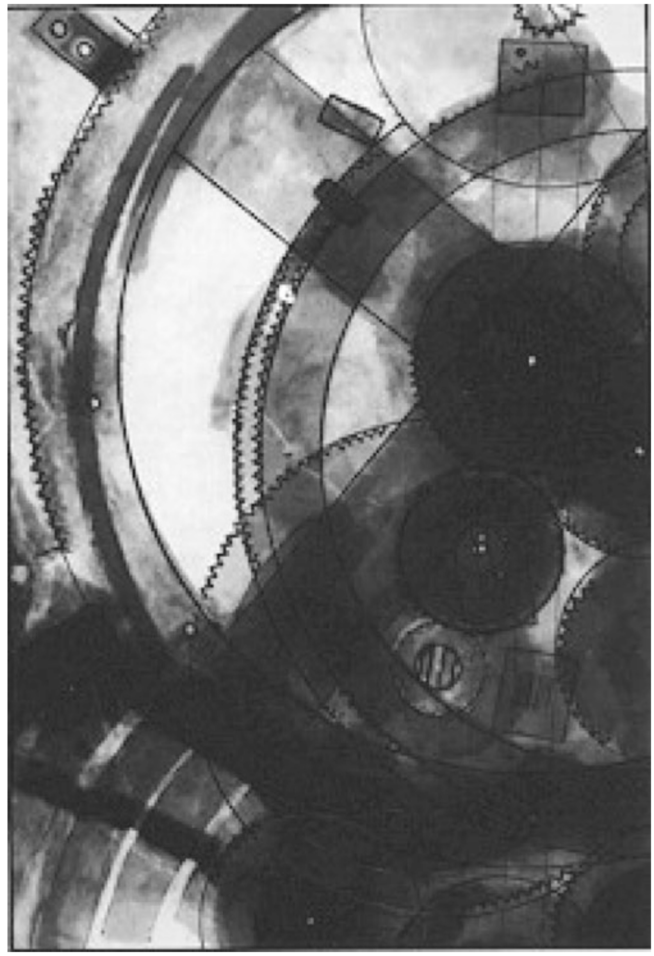


**Abb. 2.12** Röntgenaufnahme von 1971, in die Derek de Solla Price einzeichnete, wie der Mechanismus seiner Ansicht nach funktionierte

### 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, wie viele 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.

Der Mechanismus ist ähnlich einer bedeutenden astronomischen Uhr oder einem modernen Analogcomputer, der mechanische Teile benutzt, um Berechnungen zu speichern. Es ist wirklich schade, dass man nicht weiß, ob das Gerät automatisch oder per Hand gedreht wurde. Es mag in der Hand gehalten und durch ein Rad an der Seite gedreht worden sein, sodass 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 Fall ist es möglicherweise durch die Kraft einer Wasseruhr oder ähnlichem gedreht worden. Die Ergebnisse seiner Untersuchungen sind im Folgenden näher beschrieben.

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. Es gibt Hinweise, dass die Zeiger die Positionen des Mondes, der Sonne und einiger Planeten wiedergegeben haben.

Einige strukturelle Merkmale des Mechanismus verdienen besondere Aufmerksamkeit. Sämtliche Metallteile der Maschine scheinen aus einem einzigen knapp 2 mm 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 Bronze bestand aus einer Legierung aus 95 % Kupfer und 5 % Zinn.

Das größte erhaltene Fragment weist eine Größe von 18 cm × 15 cm auf. Der gesamte Mechanismus dürfte etwa 31 cm × 19 cm × 10 cm groß gewesen sein.

Die Zähne aller Zahnräder wurden mit demselben Winkel (60°) und in derselben Größe angefertigt, sodass jedes Rad mit jedem anderen ineinandergreifen konnte.

Die Zahnräder betrieben mindestens drei große Anzeigen. Eine große, kreisförmige Anzeige befand sich auf der Vorderseite. Zwei große, spiralförmige Anzeigen befanden sich oben und unten auf der Rückseite. Zudem wies der Mechanismus noch drei kleinere Anzeigen auf, die sich innerhalb der großen, spiralförmigen Anzeigen auf der Rückseite befanden.

Es gibt, wie bereits erwähnt, Anzeichen dafür, dass die Maschine mindestens zweimal repariert wurde; eine Speiche des Antriebsrads wurde geflickt und ein gebrochener Zahn in einem kleinen Rad ist ersetzt worden. Diese Reparaturen lassen vermuten, dass die Maschine tatsächlich in Gebrauch war.

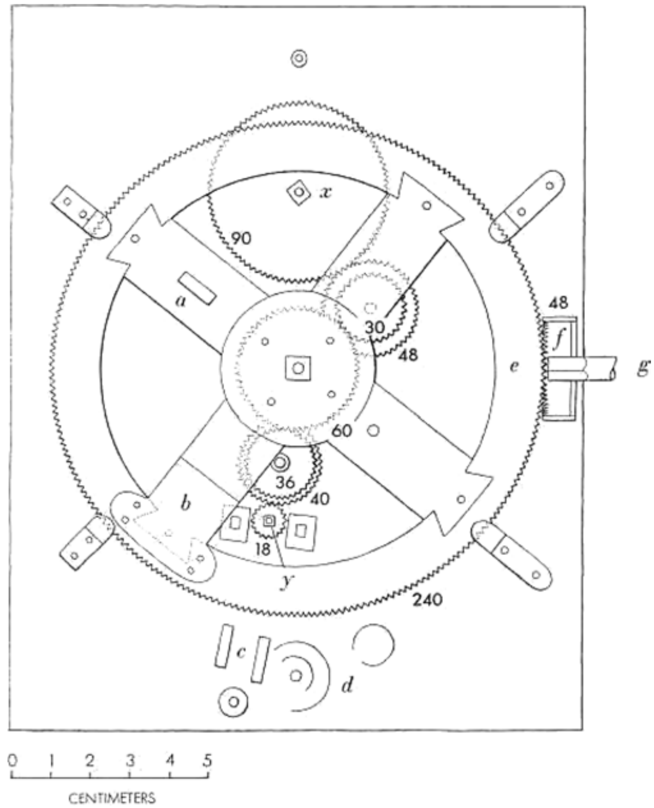



**Abb. 2.13** Details des Mechanismus (Vorderseite), (Man beachte die Größenordnung.)

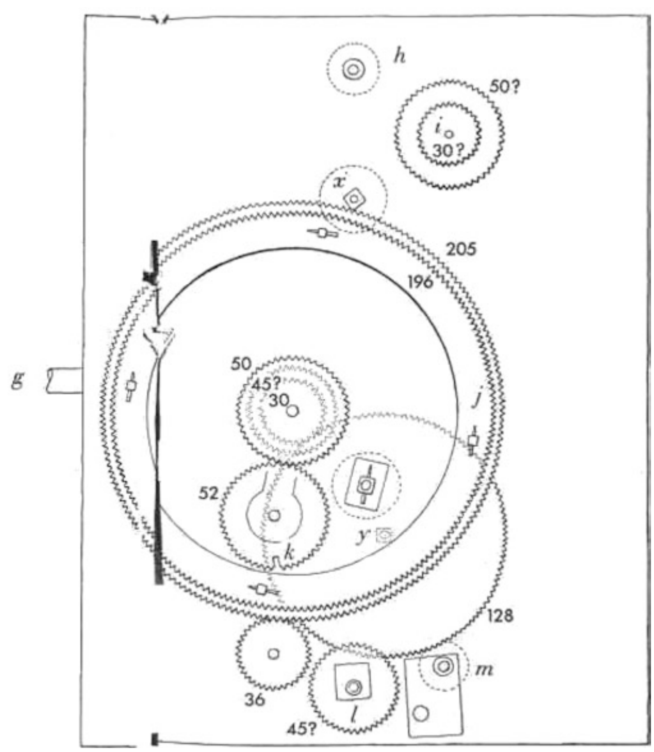



**Abb. 2.14** Details des Mechanismus (Rückseite)

### 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 werden. Das vordere Zifferblatt jedoch ist sauber genug, um genau ablesen zu können, wozu es diente.

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

Die mit Buchstaben beschrifteten Teile in den Abb. 2.13 und 2.14 bedeuten:

- (*a*) Henkel für die Fixierung der exzentrischen Trommel des Vorderseiten-Zifferblatts,
- (*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 Zifferblatts,
- (*i*) Schaft des Zusatzzifferblatts des oberen Zifferblatts,
- (*j*) epizyklisches Zahnrad,
- (*k*) repariertes Zahnrad,
- (*l*) Schaft des Hauptzeigers des unteren Zifferblatts,
- (*m*) Schaft des Zusatzzifferblatts des unteren Zifferblatts,
- (*x* und *y*) Achsen zwischen den beiden Platten.

*John Glave* aus England hat anhand der Rekonstruktion von Price den Versuch unternommen, ein funktionierendes Replikat des Originalmechanismus zu konstruieren. Diese Zahnräder sind nicht wie beim Original aus Bronze, sondern aus Messing gefertigt und sie sind zwischen transparenten Platten angebracht, sodass der Mechanismus sichtbar ist (Abb. 2.15).

Inwieweit dieser Versuch einer Rekonstruktion in Details mit dem Original übereinstimmt, lässt sich jedoch nur schwer bewerten. Dies gilt auch für den Nachbau des amerikanischen Uhrmachers *Steve Cramer*, der einen funktionstüchtigen Nachbau konstruierte, mit dem er 1994 auf 14 min genau eine Sonnenfinsternis vorhersagte.


**Abb. 2.15** Abbildungen des Nachbaus von Glave. **a** Rückseite, **b** Frontseite

### 2.4.3 Neuere Untersuchungen

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

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

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

Eingesetzt wurden modernste Untersuchungstechniken. Hierzu gehörte auch die Durchleuchtung des Räderwerks mit einem 3-D-Röntgen-Tomografen. Dieses 8 t schwere Gerät mit Namen „Blade Runner" wurde extra nach Athen transportiert, um das Innere des Räderwerks mit der Genauigkeit von Zehntelmillimetern hochauflösend abzutasten. Ferner wurde ein von der Firma Hewlett-Packard zur Verfügung gestelltes PTM-Gerät (Polynominal Texture Mapping) eingesetzt, welches es ermöglicht, feinste Oberflächendetails aufzuhellen und besser sichtbar zu machen.

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

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

Die Abb. 2.16 zeigt einen Teilausschnitt aus dem Aufbau des Räderwerks, wie er sich aus dem aktuellen Stand der Erkenntnisse ergibt. Die Buchstaben bezeichnen die einzelnen Zahlräder und die Zahlen die Anzahl der Zähne. Gut zu erkennen ist die Position des bereits erwähnten Differenzialgetriebes. Es wurde z. B. benötigt, um die Zyklen der Sonne von denen des Mondes zu subtrahieren, da diese Subtraktion zur Berechnung des Laufs der Sonne durch die Tierkreiszeichen, zur Berechnung der einzelnen Phasen des Mondes sowie zur Berechnung der Auf- und Untergangszeiten beider Gestirne über das Jahr hinweg benötigt wird. Man sieht auch, wie die Erbauer ineinander geschachtelte Achsen verwendet haben, um einzelne Teilsegmente des Geräts über größere Entfernungen miteinander verbinden zu können.

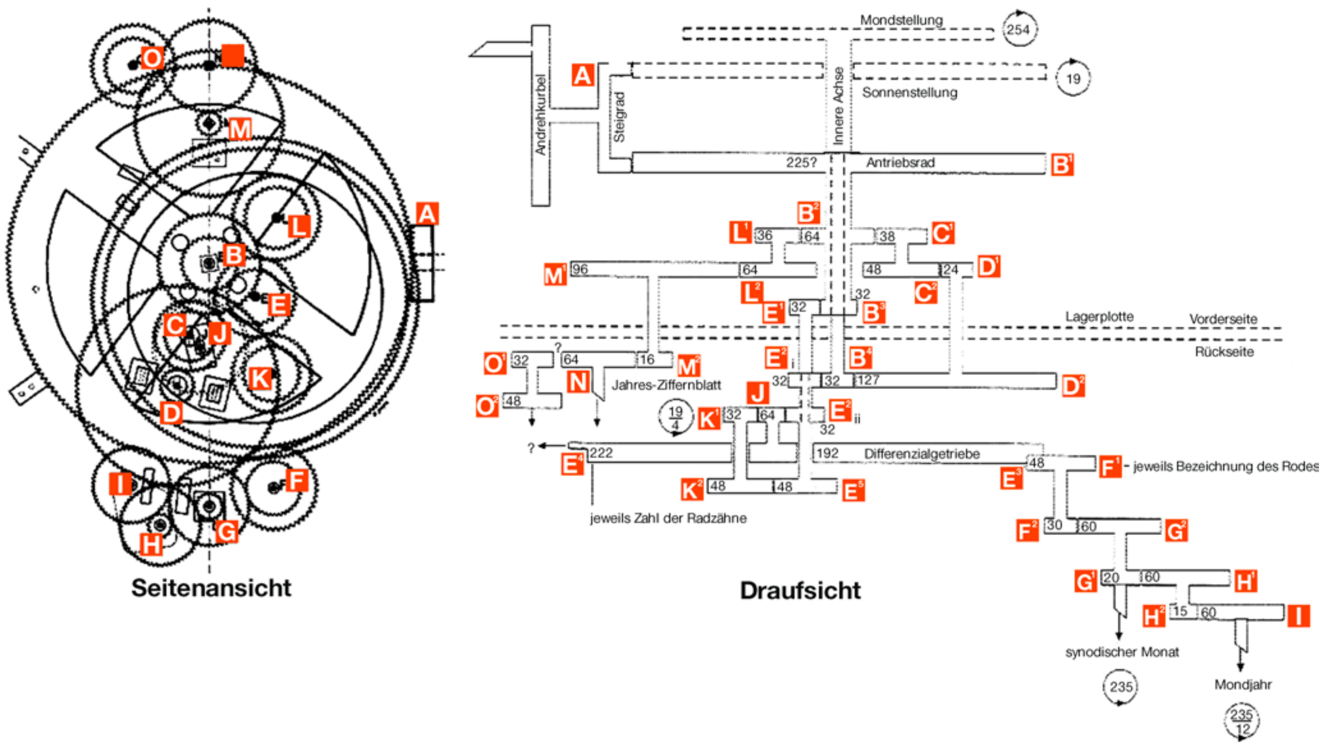



Abb. 2.16 Der Aufbau des Räderwerks nach dem aktuellen Stand der Untersuchungen

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

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

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

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

Einsatz von Tauchrobotern weitere Teile des Räderwerks gefunden werden können.

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

Michael Wright, der inzwischen am Imperial College in London arbeitet, ist der Ansicht, dass das Rechenwerk von Antikythera kein Unikat war. Seiner Meinung nach muss es Dutzende, vielleicht sogar Hunderte solcher Geräte gegeben haben. Als Begründung führt er an, dass nach seiner Ansicht einige Teile des Räderwerks zuvor in anderen Geräten eingebaut waren. Allerdings ist dies nicht einwandfrei zu belegen. Gegen diese Theorie spricht auch, dass in diesem Fall exaktere Beschreibungen aus der Antike überliefert wären als die vagen Hinweise von Cicero. So kann man vermuten, dass das Räderwerk von Antikythera ein Unikat ist, welches zu einem Heiligtum in Kleinasien oder der Ägäis gehörte. Hiermit konnten die Priester zukünftige Himmelsereignisse vorhersagen und damit ihren Ruf festigen, in die Zukunft blicken zu können. Fest steht jedoch, dass das Räderwerk von Antikythera die erste bis heute gefundene Rechenmaschine der Welt ist, ein Astro-Computer, der in seiner ingenieurmäßigen Leistung seiner Zeit um Jahrhunderte voraus war. Vielleicht muss nach der Entschlüsselung seiner letzten Geheimnisse unser Bild vom Wissens- und Technologiestand der Antike neu geschrieben werden.

# 3 Zahlen und Arithmetik

## 3.1 Zählen und Ziffern

Da Rechnen eine Manipulation von Zahlen bedeutet, musste der Mensch, bevor er Rechenregeln und Rechenverfahren entwarf, geeignete Zahlensysteme entwickeln. Ein Kind kann „eins, zwei, drei" abzählen, bevor es diese Zahlen schreiben oder gar mit ihnen rechnen kann. Entsprechend konnte der Mensch in seiner Entwicklungsgeschichte zählen, bevor er Zahlen kannte und rechnen konnte.

Von einem Missionar wird im 18. Jh. über die Abiponen, einem südamerikanischen Indianerstamm, der durch Nahrungsmangel zum Wandern gezwungen war, folgendes berichtet:

> Der lange Zug der reitenden Weiber ist von vorne, von hinten und auf den Seiten von einer Unzahl Hunden umgeben. Vom Sattel schauen die Indianer umher und beobachten sie. Fehlt aus der Schar auch nur ein Hund, so rufen sie so lange, bis alle zusammen sind. Oft habe ich mich darüber gewundert, wie sie, ohne zählen zu können, trotz der großen Meute sofort merken, dass ein Hund fehlt. Dabei besitzen sie nur drei Zahlwörter und zeigen den größten Widerstand, von den Weißen das Zählen zu lernen. Um die Größe einer Herde von Pferden anzugeben, zeigen sie, wie viel Raum diese beim Nebeneinanderstehen brauchen würde.

Dies zeigt, dass der Mensch über ein „Anzahlgefühl" verfügt. Auch Tiere verfügen darüber, wie man daran erkennt, dass ein Muttertier sofort bemerkt, wenn ein Junges fehlt.

Der Ursprung der Ziffernsysteme, die die Basis der Zahlensysteme darstellen, liegt in unserer natürlichen Umwelt. Wir besitzen zwei Arme und Hände, zwei Beine und Füße, zwei Augen und zwei Ohren. Dem Menschen stellt sich eine Welt gegenüber; bei der das, was nicht „Ich" ist, das „Andere" oder das „Du" ist, und er erlebt Tag und Nacht. So haben bei den Sumerern die „Eins" und die „Zwei" gleichzeitig die Bedeutung „Mann" und „Frau".

Man sieht hieraus, dass die Basis zwei in der Entwicklungsgeschichte der Zahlen eine natürliche Basis darstellt. Sie bildet die erste und älteste Zahlgrenze. Viele Völker der Südsee kannten bis in die Neuzeit nur diese beiden Ziffern.

Den Ursprung der zwei als Zählgrenze erkennt man im Deutschen noch daran, dass wir eigene Zahlwörter bis 12 (= 10 + 2) haben und erst danach mit „dreizehn" mit dem Zahlensystem beginnen. Im Französischen hat sich dies bis zur „Sechzehn" ($= 2^4 = (2 \times 2)^2$) erhalten.

Interessant ist der geschichtliche Übergang zur drei. Ursprünglich war die „Drei" nicht der ziffernmäßige Nachfolger der „Zwei", sondern stand für „Viele", d. h. die Zählung war eins, zwei und viele. So beginnt das älteste sumerische Zahlensystem mit as (= Mann), min (= Frau) und es (= viel). In diesem Sinn war die Drei die Bezeichnung für alle über die natürliche Zahlgrenze Zwei hinausgehenden Zahlen.

Besonders deutlich findet sich die Identifikation von drei mit „viele" in der Schrift der alten Ägypter. Um das *Viel* eines Begriffs auszudrücken, setzten sie sein Zeichen dreimal (s. Abb. 3.1).

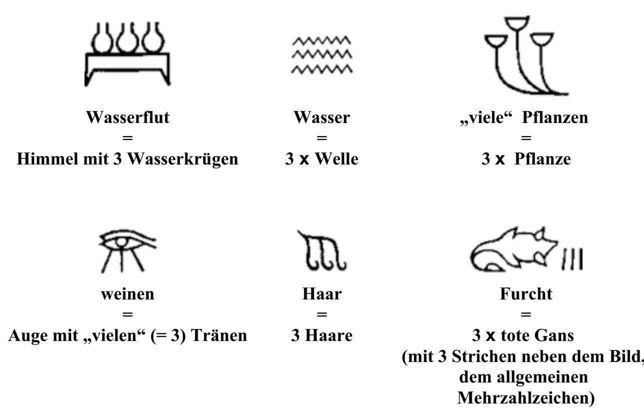



**Abb. 3.1** Drei als Mehrzahl im Ägyptischen

Ganz entsprechend verfuhren auch die alten Chinesen (Abb. 3.2).

Aber auch ohne den Schritt über die Drei zu weiteren Zahlen vollzogen zu haben, konnten z. B. die Völker der Südsee zählen:

Urapun – okasa – okasa urapun – okasa okasa – okasa okasa urapun

W.-M. Lippe, *Die Geschichte der Rechenautomaten*,
DOI 10.1007/978-3-642-36191-3_3, © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

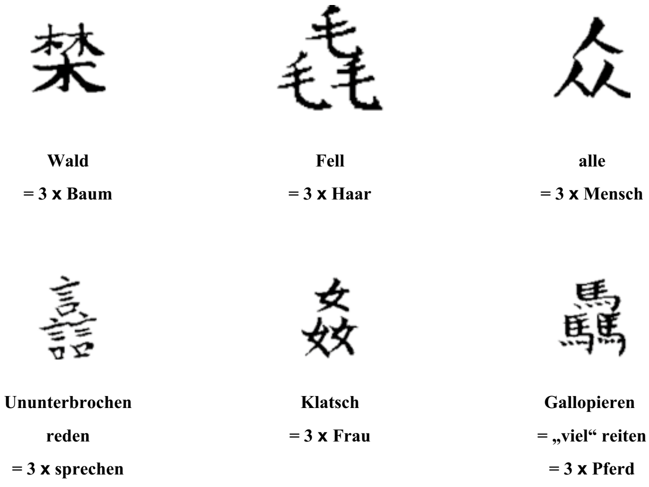



**Abb. 3.2** Drei als Mehrzahl im Chinesischen

Dies entspricht der Folge 1, 2, 2′1, 2′2, 2′2′1 usw., somit verfügten sie bereits über ein binäres Zahlensystem.

Die „Vier“ in ihrer Eigenschaft als „zwei mal zwei“ hat auch in vielen anderen Sprachen einige Besonderheiten aufzuweisen, die die These, dass Zwei eine der ursprünglichsten Zählgrenzen darstellte, erhärten. So sind die vier ersten Zahlwörter in der indogermanischen Ursprache und von ihr auch im Altindischen, Keltischen, Griechischen und Altnordischen nicht nur dreigeschlechtlich, sondern auch deklinierbar wie ein Adjektiv. Im Gotischen und Lateinischen beschränkt sich dies bereits auf die Zahlwörter eins, zwei und drei, im Deutschen gilt dies nur noch für die Eins.

Die Fünf als Zahlgrenze (5 Finger, 5 Zehen) ist relativ selten. Sie war u. a. bei den Römern im Gebrauch, wobei die Römer als Besonderheit zwei Zahlgrenzen besaßen: neben der Fünf noch zusätzlich die Zahlgrenze Zehn. Die Basis Zehn als Zahlgrenze ist heute weit verbreitet.

Daneben existieren noch die 12, die 20 und die 60 als Zahlgrenzen. Die Münzeinteilung Karls des Großen beruhte auf der Herstellung von 20 *solidi* zu je 12 *denari* aus einem Pfund Silber. In England hat sich diese Einteilung bis in jüngste Zeit gehalten: 1 Pfund zu 20 Schilling zu 12 Pence. Die Zahlgrenze 60 findet sich u. a. bei den Sumerern und Babyloniern.

## 3.2 Zahlensysteme und ihre Darstellung

Ein wichtiger Schritt, der die Grundlage zur Entwicklung der Fähigkeit zum Rechnen bildete, war die Entwicklung von Zahlensystemen. Erst sie erlauben es, Zahlen beliebiger Größe durch eine gesetzmäßige Anordnung von Zeichen darzustellen. Die systematische Darstellung von Zahlen ist auch eine wesentliche Voraussetzung für eine Automatisierung von Rechenvorgängen. Vorbedingung hierfür war die Existenz einer Schrift.

### 3.2.1 Mesopotamien

Die Schrift entstand um 3000 v. Chr. in Mesopotamien und fast zeitgleich in Ägypten. Obwohl beide Schriften sehr verschieden sind, gehen viele Wissenschaftler davon aus, dass die Schrift von Mesopotamien nach Ägypten gelangte.

Die Sumerer, deren Herkunft unbekannt ist, wanderten um 3200 v. Chr. in das Gebiet des Unterlaufs von Euphrat und Tigris ein und gründeten dort einige Stadtstaaten. Zu diesen gehörte Uruk, wo man anhand von Ausgrabungen die Entstehung der Schrift und Zahlreihen besonders deutlich nachvollziehen konnte. Man fand hier mehrere übereinander gelagerte Schichten (von den Archäologen mit I bis V bezeichnet), die sich durch die Form der Ziegel gut unterscheiden lassen. Die Schicht V ist noch ohne Schrift, während in der Schicht IV erstmalig eine Schrift anzutreffen ist.

Die Abb. 3.3 zeigt einige der Tontafeln, die in Uruk gefunden wurden und auf 2900 v. Chr. datiert werden. In diesen Tontafeln aus dem 3. Jahrtausend v. Chr. haben wir die ältesten Urkunden der Erde vor uns, die uns die frühe Zahlschrift eines Volkes im lebendigen Gebrauch zeigen. Sie enthalten die Zahlzeichen D für 1, 0 für 10, **D** für 60 und ⦶ für 600 (= 60 × 10). Dass diese Zeichen tatsächlich die angegebenen Zahlen bedeuten, lässt sich aus zwei Faktoren ableiten. Zum einen kommen die Zeichen D und **D** bis zu neunmal und das Zeichen 0 bis zu fünfmal vor und zum anderen ist auf der Rückseite der Tafeln die Summe der Zeichen der Vorderseite angegeben. Die Zeichen, die neben den Zahlen stehen, sind nur zum Teil zu deuten. Einige bezeichnen einwandfrei Tiere, die anderen könnten ebenfalls Tiere oder auch Namen der Besitzer sein.

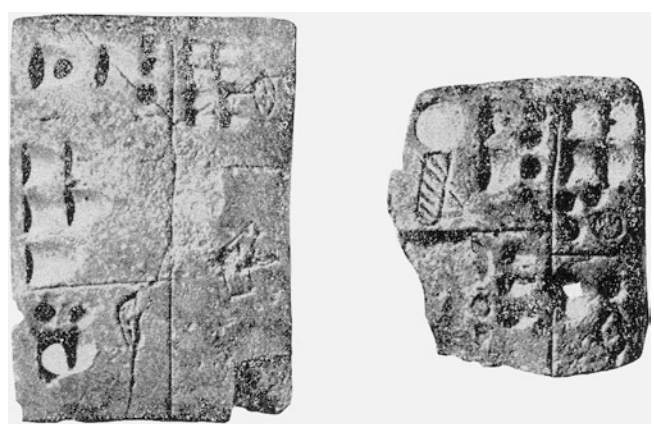


**Abb. 3.3** Sumerische Tontafeln

Die obere Zahl auf der *linken* Tafel bedeutet:

$$600 + 60 + 30 + 8 = 698$$

Der große Kreis auf der linken oberen Ecke der *rechten* Tafel bedeutet $60^2$. Die links oben dargestellte Zahl ist daher:

$$60^2 + 2 \times 60 + 3 \times 10 = 37.550$$

Auf der *rechten* Tafel finden sich ferner die Zahlen 270, 30 und 70.

Das Zahlensystem der Sumerer war somit ein gemischtes Zehner- und Sechsersystem (Sexagesimalsystem), oder genauer gesagt, ein Sechzigersystem. Dieser gemischte Gebrauch verschiedener Zahlgrenzen, verbunden mit frühsumerischen Komponenten, zeigt die sumerische Zählreihe (Tab. 3.1).

**Tab. 3.1** Sumerische Zählreihe

| Wert | Ursprüngliche Darstellung | Sumerisches Zahlwort | Wert | Ursprüngliche Darstellung | Sumerisches Zahlwort |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | **D** | *as* | 20 | | *nis*<br>*(= ni-as)* |
| 2 | | *min* | 30 | | *esu*<br>*(= es-u = 3 × 10)* |
| 3 | | *es* | 40 | | *nin*<br>*(= ni-min = 20 × 2)* |
| 4 | | *limmu* | 50 | | *ninu*<br>*(= nis-min-u = 20 × 2 + 10)* |
| 5 | | *ia* | 60 |  | *ges* |
| 6 | | *is*<br>*(= ia-as = 5 + 1)* | 120 | | *ges-min*<br>*(= 60 × 2)* |
| 7 | | *imin*<br>*(= ia-min = 5 + 2)* | 180 | | *ges-es*<br>*(= 60 × 3)* |
| 8 | | *ussu* | 600 |  | *ges-u*<br>*(= 60 × 10)* |
| 9 | | *ilimmu*<br>*(= ia-limmu = 5 + 4)* | $60^2$ |  | *sar* |
| 10 | **o** | *u* | $60^2 \times 10$ |  | *sar-u* |
| | | | $60^3$ | | *sar-gal* |

Auf den ersten Blick erscheinen diese Zahlen ganz normal, erst bei genauerer Betrachtung zeigen sich ihre Eigentümlichkeiten. Die drei ersten Zahlwörter sind gleichbedeutend mit „Mann – Frau – viel“, ein Relikt aus der Zeit der Vorfahren der Sumerer, die offensichtlich nur bis zwei zählen konnten. „es“ ist die Mehrzahlendung. Die Zahlgrenzen sind offensichtlich 5, 10, 20 und 60. Die besondere Bedeutung der Sechzig zeigt sich auch, wenn man die Sechziger-Potenzen betrachtet (hierbei wurden 10er-Stufen als Zwischenstützen eingeschoben (Tab. 3.2)).

**Tab. 3.2** Sechziger-Potenzen

| $60^0$ | 10 | $60^1$ | $10 \times 60^1$ | $60^2$ | $10 \times 60^2$ | $60^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *as* | *u* | *ges* | *ges-u* | *sar* | *sar-u* | *sar-gal (= sar-ges)* |

In Mesopotamien drangen um 2400 v. Chr. die semitischen Akkader ein. Ihr Name stammt von ihrer Hauptstadt Akkade, die zwar urkundlich als gesichert gilt, aber bis heute nicht gefunden wurde. Die Akkader übernahmen die sumerische Schrift und die sumerische Mathematik. Um das Jahr 2300 v. Chr. erreichte ihr Reich die größte Ausdehnung. Um 1800 v. Chr. erstarkte Babylon, welches unter dem Regenten Hammurapi seine Glanzzeit erlebte, der von 1727 bis 1650 regierte.

Aus dieser Zeit sind glücklicherweise viele mathematische Texte erhalten. Vieles von diesem mathematischen Wissen dürfte bereits den Sumerern bekannt gewesen sein, allerdings liegen uns hiervon bisher keine gesicherten Überlieferungen vor.

Die Babylonier besaßen bereits ein ausgedehntes Maßsystem:

*Gewichtsmaße:*

- 1 ma-na = 60 gin *(ca. 1 Pfund)*
- 1 gin = 1/60 ma-na
- 1 ma-na-tur = 1/3 gin = 1/180 ma-na
- 1 gin-tur = 1/60 gin
- 1 se = 1/180 gin

*Längenmaße:*
- 1 US = 60 GAR
- 1 GAR = 12 kus *(etwas mehr als 6 m)*
- 1 kus = 30 su-si *(ca. 52 cm)*

*Flächenmaße:*
- 1 SAR = (1 GAR)$^2$.
- 1 SAR = 60 gin,
- 1 gin = 3 ma-na-tur = 180 se

*Volumenmaße:*
- 1 (Raum-)SAR = 1 (Flächen-)SAR ×1 Elle.

Die Babylonier messen allgemein die Länge und Breite eines Bauwerks in GAR, die Höhe oder Tiefe in Ellen. Die Bedeutung des *gin* und des *se* ergab sich aus dem Zusammenhang.

Als Hilfsmittel für Berechnungen benutzten sie erstmalig umfangreiche Tafelwerke. In einem derartigen Text, der auf die Mitte des 20. Jh. v. Chr. datiert wird, findet sich folgende Berechnung:

$$(1\ \text{Elle})^2\ (=)\ 1\ \text{ma-na-tur}\ 15$$

Das Nachrechnen ergibt:

(1/12 GAR)$^2$ = 1/144 SAR = 180/144 ma-na-tur = 1 + 1/4) ma-na-tur

1/4 ma-na-tur = 15 se

In dem Text finden sich weiter die folgenden Angaben:

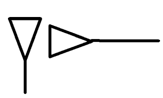
$$(2\ \text{Ellen})^2\ (=)\ 2\ \text{gin} - 1\ \text{ma-na-tur}$$

$$(3\ \text{Ellen})^2\ (=)\ 4\ \text{gin} - ¼\ \text{gin}$$

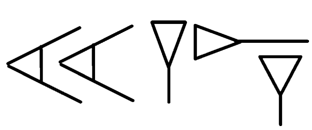
usw. bis

$$(18\ \text{Ellen})^2\ (=)\ 25\ \text{AR}\ (+)\ 15\ \text{gin}$$

Hierbei sind die in Klammern gesetzten = und + nicht explizit im Text enthalten, jedoch ist das – Zeichen als besonderes Zeichen aufgeführt. Das Zeichen für Minus ist

 = lal

und wird auch bei der Darstellung von Zahlen verwendet, z. B.

19 =  = 20–1

Aus der spätsumerischen Zeit, etwa kurz vor 2000, sind weitere Rechentafeln vorhanden. Es handelt sich z. B. hierbei um Reziprokentabellen (Angabe von Zahlenpaaren, deren Produkt 1 bzw. 60 ist: *2 igi 30, 3 igi 20, 4 igi 15* usw.). Mit ihrer Hilfe können Multiplikationen und Divisionen durchgeführt werden. Daneben existieren spezielle Multiplikationstabellen, Tabellen für Quadrate, Quadratwurzeln, Kubikwurzeln und Potenzen einzelner Zahlen. So konnte mithilfe von Quadrattafeln eine Multiplikation ausschließlich durch Additionen gemäß der Formel

$$a \times b = \frac{(a+b)^2}{4} - \frac{(a-b)^2}{4}$$

durchgeführt werden.

Viele derartige Texte wurden in Tell Harmal bei Bagdad (früher Schurrupak genannt) gefunden. Sie ließen sich relativ genau datieren und stammen aus der Zeit kurz vor Hammurapi, also aus dem 18. Jh. v. Chr. Sie enthalten neben Tabellen auch praktische Rechenanleitungen. Einen dieser Texte zeigt Abb. 3.4. In Abb. 3.5 ist das obere Dreieck übersetzt wiedergegeben.

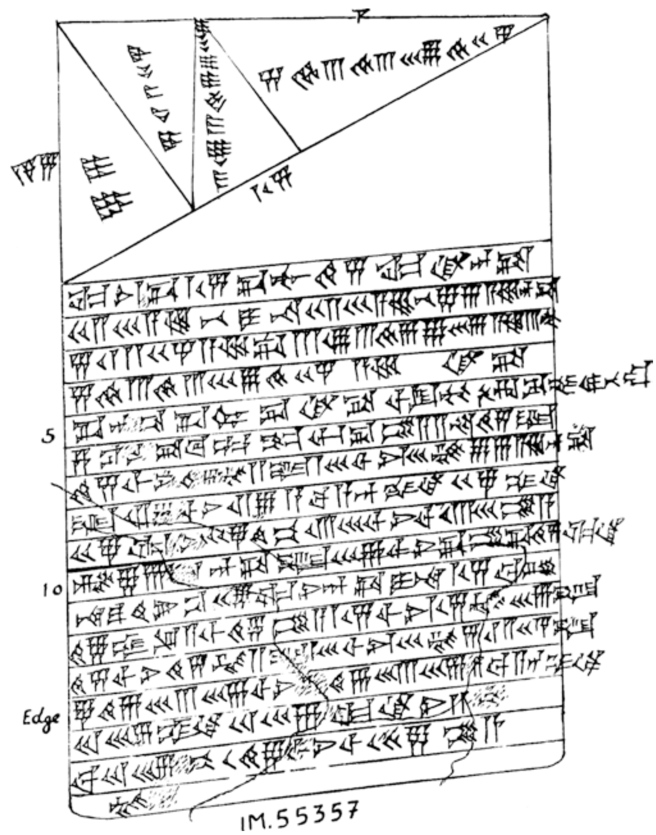



**Abb. 3.4** Ein Text aus Tell Harmal

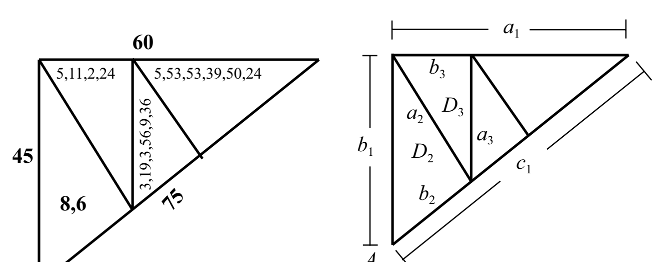



**Abb. 3.5** Die Übersetzung des linken oberen Dreiecks

Im Text findet sich die Angabe des Flächeninhalts des ganzen Dreiecks ($D_1 = 22{,}30$) sowie Anleitungen zur Berechnung einzelner Komponenten. Unter anderem findet man die Anleitung:

1. Nimm das Reziproke von 1 (= 60) der Länge und multipliziere es mit 45,
2. 45 siehst du,
3. multipliziere 45 mit 2 und 1,30 (= 60 + 30) siehst du,
4. multipliziere 1,30 mit 8,6 der linken Fläche, und du siehst 12,9,
5. was ist die Quadratwurzel von 12,9?,
6. 27 ist die Quadratwurzel,
7. 27 ist die „Breite" des linken Dreiecks.

In unserer Schreibweise berechnet diese Rechenvorschrift

$$b_2 = \sqrt{\frac{1}{a_1} \times b_1 \times 2 \times D_2}$$

In Suza wurden 23 Tafeln mit mathematischen Inhalten gefunden, die aus der Zeit kurz nach Hammurapi stammen. Überwiegend handelt es sich um praktische Rechenvorschriften. Sie zeigen, dass die Babylonier Systeme linearer Gleichungen lösen konnten. Als Beispiel seien die beiden folgenden Aufgaben angeführt:

**1. Text:**
Ein kleiner Kanal
2 Ellen breit oben, 1 Elle breit unten und
1,5 Ellen tief.
1/3 SAR Erde die Leistung.
Welche Länge nimmt der Mann?
1½ GAR und 3 1/3 Ellen nimmt er!

Wie man sieht, enthält der Text die Aufgabe und die Lösung. Beim Nachrechnen ist zu beachten, dass

$$1\ \text{SAR} = (1\ \text{GAR})^2 \times (1\ \text{Elle}) = 18\ \text{m}^3$$

ist. Somit erhält man

$$1/3\ \text{SAR} = 6\ \text{m}^3$$

als die Tagesleistung, die man von einem Arbeiter erwartet.

Bei dem Graben mit den angegebenen Dimensionen ergibt dies eine Länge von

$$1\,\tfrac{1}{2}\ \text{GAR}\ 3\,1/3\ \text{Ellen},$$

das entspricht etwa 11 m.

**2. Text**
Ein kleiner Kanal.
6 gis seine Länge, 2 Ellen breit oben, 1 Elle breit unten
und 1,5 Ellen tief. und 1/3 SAR Erde die Leistung
18 Leute
Die Tage sind was?
11 Tage und ein 4tel sind die Tage!

Bei dieser Aufgabe ist die Gesamtlänge des zu grabenden Kanals angegeben mit

$$L = 6\ \text{gis} \approx 2\ \text{km}$$

Sei $a$ die Anzahl der Arbeiter, $t$ die Anzahl der Tage und $l$ das Ergebnis der Aufgabe aus Text 1, so erhält man die Gleichung

$$L = l \times a \times t$$

und damit als Lösung

$$t = L/(l \times a).$$

Damit ist erwiesen, dass die Babylonier – und vor ihnen bereits die Akkader und die Sumerer – über weitreichende mathematische Kenntnisse verfügten. Die ältesten bekannten Schriftzahlen mit Zahlen entstanden um 3000 v. Chr. Umfangreiche mathematische Tafelwerke existierten seit 2500 v. Chr. Hinzu treten ab 1800 v. Chr. Lehrbücher mit Aufgabensammlungen. Die Rechentechniken gehen bis zu Potenzen und Wurzeln, die Algebra bis zu Gleichungen mit zwei, in einigen Fällen auch mehr Unbekannten, quadratischen Gleichungen und sogar Gleichungen höheren Grades. In der Geometrie sind die grundlegenden Maßbeziehungen beim Dreieck, Viereck, Trapez, Kreis und einer Reihe regelmäßiger Polygonen bekannt. Die entsprechenden Aufgaben in den Schrifttafeln beziehen sich überwiegend auf die Errichtung von Bauwerken. Hinzu treten einige kaufmännische Aufgaben. Wiedergegeben sind die mathematischen Kenntnisse in Form von Rechenbeispielen mit konkreten Zahlen. Sie sind jedoch so allgemein gehalten, dass beliebige andere Zahlen eingesetzt werden können. Beweise, Begründungen oder Herleitungen finden sich jedoch nicht.

### 3.2.2 Ägypten

Ursprünglich bestand Ägypten aus den beiden Ländern Oberägypten und Unterägypten. Unterägypten umfasste das weite Marschland des Nildeltas im Norden, Oberägypten umfasste das langgestreckte Niltal bis weit südlich von Assuan. Die Einigung dieser beiden Länder erfolgte 2900 v. Chr. durch König Narmer.

Diesem Ereignis verdanken wir die ältesten überlieferten Schrift- und Zahlzeichen der Ägypter. Auf einer Platte wird die Unterwerfung von Unterägypten symbolisch dargestellt.

Die Darstellung zeigt einen Falken – Symbol sowohl des Gottes Horus als auch des Königs von Oberägypten –, der in seinem rechten Fuß (als menschliche Hand dargestellt) ein Seil hält, welches aus dem Mund eines menschlichen Kopfes kommt (Abb. 3.6).

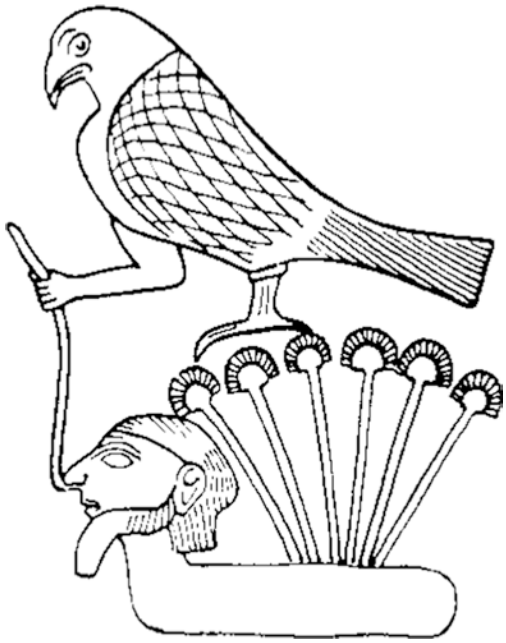


**Abb. 3.6** Auszug aus der Narmer-Platte

Der gefesselte Kopf soll die besiegten Feinde symbolisieren. Hinter dem Kopf befinden sich sechs Lotuspflanzen, die jeweils die Zahl 1000 darstellen. Dargestellt wird somit die siegreiche Heimkehr mit 6000 Gefangenen.

Weitere Zahlendarstellungen finden sich auf einer Keule desselben Königs Narmer. Zu finden sind die Zeichen:

Finger  für 10.000, Kaulquappe  für 100.000, Gott der Unendlichkeit  für 1.000.000.

Wie man in Abb. 3.7 erkennen kann, erbeutete Narmer bei diesem Feldzug 400.000 Rinder, 1.420.000 Ziegen und 120.000 Gefangene.

Wesentliche Erkenntnisse über die mathematischen Kenntnisse der Ägypter geben uns zwei Papyri, das *Papyrus Rhind* und das *Papyrus Moskau*.

Das Papyrus Rhind ist benannt nach dem Schotten Alexander Henry Rhind, der es 1858 in Luxor kaufte. Die Rolle wurde bei illegalen Grabungen bei Ramesseum entdeckt. Abgesehen von einigen kleinen Fragmenten, die nicht von Rhind erworben wurden und sich heute im Brooklyn Museum in New York befinden, wird das Papyrus seit 1865 im Britischen Museum in London aufbewahrt. Es ist 5,34 m lang und 33 cm breit. Es beginnt mit den Worten:

> Genaues Rechnen. Einführung in die Kenntnis aller existierenden Gegenstände und aller dunkler Geheimnisse. Dieses Buch wurde geschrieben im Jahre 33, im vierten Monat der Überschwemmungsjahreszeit unter der Herrschaft des Königs von Ober- und Unterägypten A-user-Re, mit Leben versehen, in Anlehnung an eine alte Schrift aus der Zeit des Königs von Ober- und Unterägypten Ne-ma'et-Re (Amenemhet III). Der Schreiber A'h-mose hat die Abschrift angefertigt.

Das Papyrus Rhind enthält zunächst Divisionsaufgaben und Aufgaben zur Bruchrechnung. Hier sieht man den Unterschied zur Mathematik der Babylonier, die keine spezielle Bruchrechnung benötigten, da die Brüche im Sexagesimalsystem geschrieben wurden. Man konnte daher mit ihnen rechnen wie mit ganzen Zahlen.

Die Zahldarstellung der Ägypter war ein reines Zehnersystem. Die Rechenoperationen waren dieser Zahldarstellung angepasst. Als Beispiel sei die Addition $4 + 2 = 6$ angeführt, die sich in ägyptischer Darstellung wie folgt ergibt:

$$\mathrm{I\,I\,I\,I} + \mathrm{I\,I} \div \begin{matrix}\mathrm{I\,I\,I}\\ \mathrm{I\,I\,I}\end{matrix}$$

Zu beachten ist, dass die Ägypter je nach Verwendungszweck unterschiedliche Schrift- und Zahlzeichen kannten: eine vereinfachte Form für „schnelles" Schreiben auf Papyri und eine Form für in Stein gemeißelte Hieroglyphen (Tab. 3.3).

Bei Aufgaben mit Bruchrechnung arbeiteten die Ägypter fast ausschließlich mit Stammbrüchen, d. h. Brüchen mit dem Zähler 1. Der Stammbruch $1/n$ einer Zahl $n$ wurde mit $n$ und einer besonderen Position (im Folgenden zu $\overline{n}$ vereinfacht) bezeichnet. Für einige Brüche gab es besondere Zeichen:

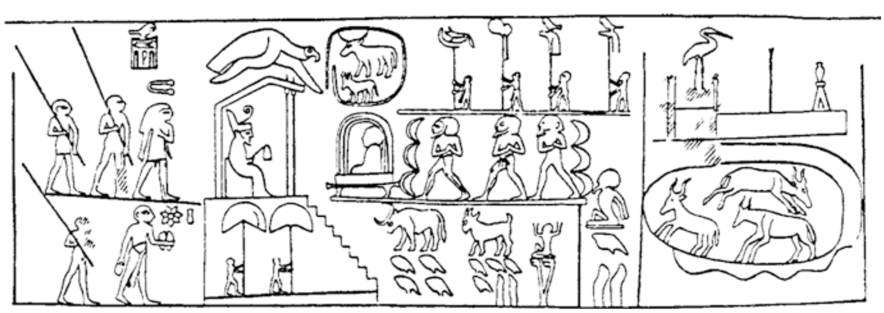
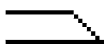


**Abb. 3.7** Keulenknauf des Königs Narmer

**Tab. 3.3** Ägyptische Zahlen

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ägypten Hieroglyphen | I | II | III | II<br>II | III<br>II | III<br>III | III<br>III<br>I | III<br>III<br>II | |
| Ägypten Pap. Rhind | *I* | *II* | *III* | — | "*I* | '''<br>''' | | —<br>— | |
| Babylonisch | D | D<br>D | D<br>D<br>D | | | | | | |

 $\approx 1/2$, $\times \approx 1/4$,  $\approx 1/3$,  $\approx 2/3$

Die Multiplikation und Division führten sie auf die Operationen Verdoppeln und Halbieren zurück, die in ihrer Schreibweise besonders einfach zu realisieren waren.

Die Arithmetik der Ägypter lässt sich z. B. an der Aufgabe 24 des Papyrus Rhind demonstrieren. Sie besteht in der Lösung der Gleichung

$$x + (x/7) = 19.$$

Heute würden wir diese Gleichung dadurch lösen, dass wir zunächst beide Seiten mit 7 multiplizieren. Man erhält

$$7x + x = 19 \times 7$$
$$8x = 133.$$

Die Division mit 8 ergibt das gewünschte Ergebnis:

$$x = 133/8 = 16{,}625.$$

Die Anleitung im Papyrus Rhind geht einen anderen Lösungsweg. Sie ist in vier Schritten und einem zusätzlichen Kontrollschritt dargestellt. Im Folgenden sind für jeden Schritt die Originalanweisungen und eine entsprechende Erläuterung angegeben:

*Schritt 1* ein Haufen und 7 sind 19

| | |
|---|---|
| 1 | 7 |
| $\overline{7}$ | 1 |

Da ein ganzer Haufen und zusätzlich ein Siebtel Haufen gegeben sind, wird zunächst der ganze Haufen in sieben Siebtel-Haufen geteilt. Die linke Spalte beschreibt die Ausgangslage:

Die „1" steht für den ganzen Haufen und „$\overline{7}$" für 1/7, den Siebtel-Haufen. Die rechte Spalte gibt die Aufspaltung in Siebtel-Haufen wieder. Aus dem ganzen Haufen werden sieben Siebtel-Haufen und aus „$\overline{7}$" ein weiterer Siebtel-Haufen, zusammen also acht Siebtel-Haufen. Zu lösen bleibt damit die Gleichung

$$8y = 19$$

wobei y einen Siebtel-Haufen repräsentiert.

*Schritt 2*

| | |
|---|---|
| 1 | 8 |
| \2 | 16 |

Um obige umgewandelte Gleichung zu lösen, ist 19 durch 8 zu dividieren bzw. zu prüfen, wie oft 8 in 19 enthalten ist. Dazu wird die 8 so oft wie möglich verdoppelt. Die erste Zeile repräsentiert 1 × 8, die zweite Zeile repräsentiert 2 × 8. Da damit der erste Teil des Endergebnisses errechnet wurde, wird er mit \ markiert.

*Schritt 3*

| | |
|---|---|
| $\overline{2}$ | 4 |
| \\$\overline{4}$ | 16 |
| \\$\overline{8}$ | 1 |

Da von 16 noch 3 bis 19 fehlen, wird die 8 jetzt mehrmals halbiert. Man erhält nacheinander 4, 2 und 1. Die Zahlen, die die 16 zur 19 erhöhen, werden angestrichen. Es sind $\overline{4} \approx 2$ und $\overline{8} \approx 1$, da 16 + 2 + 1 die Zahl 19 ergeben. Man erhält

$$(y =)\, 2\ \overline{4}\ \overline{8} \approx 2 + 1/4 + 1/8.$$

*Schritt 4*

| | | | |
|---|---|---|---|
| \1 | 2 | $\overline{4}$ | $\overline{8}$ |
| \2 | 4 | $\overline{2}$ | $\overline{4}$ |
| \4 | 9 | $\overline{2}$ | |

Um das Endergebnis zu erhalten, müssen die Siebtel-Haufen wieder zu ganzen Haufen zusammengefasst werden, also das Ergebnis für y mit 7 multipliziert werden. Hierzu wird schrittweise verdoppelt, d. h. der Wert für y wird verdoppelt und vervierfacht und anschließend wird aufaddiert (7 = 1 + 2 + 4). Als Endergebnis erhält man

$$16\ \ \overline{2}\ \ \overline{8} = 16 + 1/2 + 1/8 = 16{,}625.$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Schritt 5* | Der Haufen ist | | |
| | 16 | $\overline{2}$ | $\overline{8}$ |
| 7 | 2 | $\overline{4}$ | $\overline{8}$ |
| Summe | | 19 | |

Schritt 5 dient lediglich zur Probe. Es wird überprüft, ob x + (x/7) für den berechneten Wert von x das Ergebnis 19 liefert.

Das Papyrus „Moskau" hat seinen Namen nach seinem Aufbewahrungsort, dem Museum der Schönen Künste in Moskau. Es hat eine Länge von 5,44 m und eine Breite von 8 cm. Es enthält 25 Aufgaben, die zum Teil weiterführend und etwas komplexer sind als diejenigen des Papyrus Rhind (Abb. 3.8). Aus den überlieferten Aufzeichnungen geht hervor, dass die Ägypter Gleichungen mit einer Unbekannten lösen sowie Flächeninhalte und Volumina geometrischer Körper berechnen konnten. Auch waren ihnen die Strahlensätze bekannt.

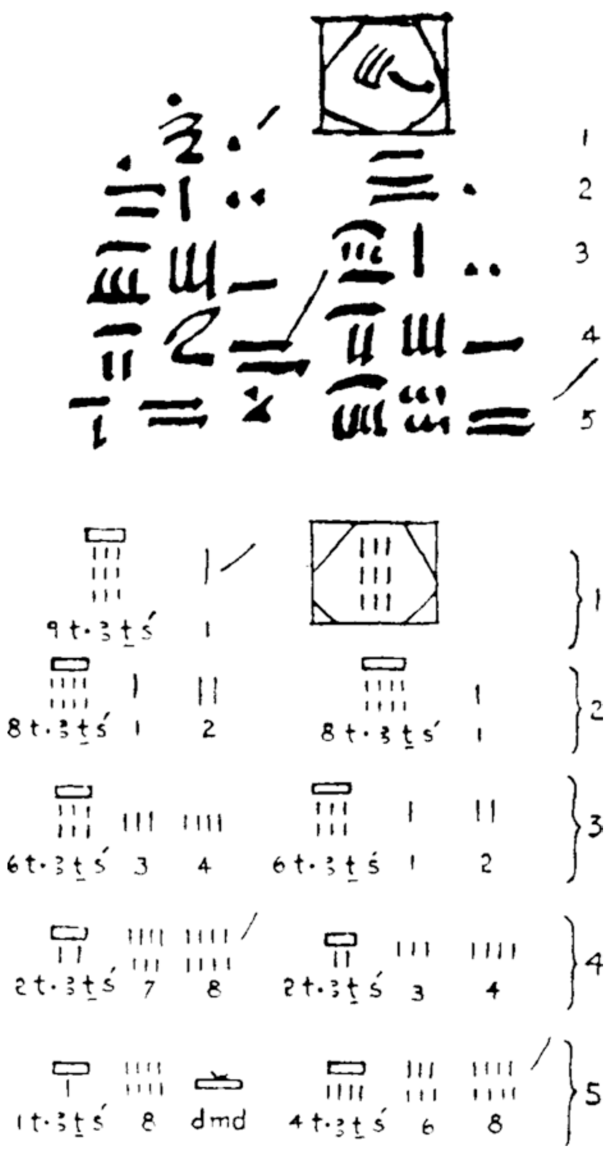


Abb. 3.8 Aufgabe 48, Papyrus Rhind

Ein direkter babylonischer Einfluss ist nicht erkennbar, obwohl nachweisbar rege Kontakte bestanden und sich im Papyrus Rhind Hinweise auf die babylonische Mathematik finden. Wie die Babylonier haben die Ägypter ihr Wissen in Beispielen niedergelegt, die Rechenvorschriften darstellen.

Die Beispiele repräsentieren praktische Probleme aus dem Bau- und Vermessungswesen, sowie aus den Bereichen Steuern und Handel. Besonders bemerkenswert ist, dass es nach 1500 v. Chr. keine weiteren mathematischen Erkenntnisse gegeben hat. Alle in jüngerer Zeit genannten Aufgaben sind vom gleichen Typus wie die in den älteren Papyri aufgeführten.

### 3.2.3 Indien

Um die Mitte des 3. Jahrtausends v. Chr. existierte im Indusgebiet eine frühe Hochkultur. In den Ruinenfeldern von Mohenjo-Daro fand man eine (vorindische) unbekannte Schrift, die bisher noch nicht entschlüsselt ist. Gefundene Rollsiegel beweisen Handelsverkehr mit den Sumerern.

Die wesentlichsten indischen Buchstabenschriften sind die *Kharosthi-Schrift*, die vor allem im Nordwesten vorkommt und deren Verwendung auf die Zeit vom 5. Jh. v. Chr. bis zum 3. Jh. n. Chr. beschränkt ist, und die *Brahmi-Schrift*. Letztere ist die wichtigste Schrift, da aus ihr alle anderen indischen Schriften (ca. 200 verschiedene) entstanden sind.

Die Kharosthi-Schrift (Abb. 3.9) hat sich aus der persischen und aramäischen Schrift entwickelt und ist linksläufig. Die Herkunft der rechtsläufigen Brahmi-Schrift ist unklar. In beiden Schriften treten auch Zahlen auf, deren Aufbau verschieden ist. Neben diesen beiden Zahlschriften existiert noch die Stellenschrift mit der Null, die sich aus der Brahmi-Zahlschrift entwickelt hat.

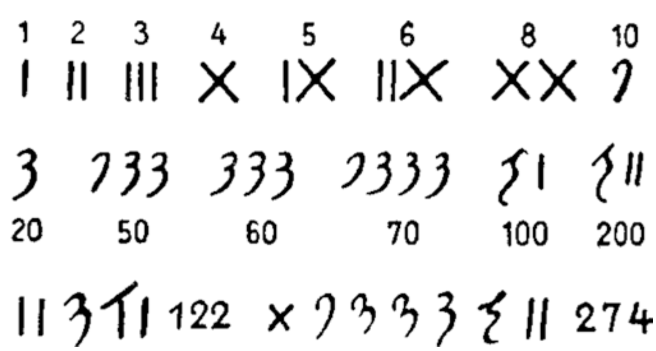



Abb. 3.9 Indische Kharosthi-Zahlschrift um 200 v. Chr

Letztere ist von besonderer Bedeutung, da wir sie über die Araber als unsere heutige Zahlschrift übernommen haben. Die Kharosthi-Zahlschrift ist insofern bemerkenswert, dass sie drei Zahlgrenzen aufweist: 4, 10 und 20. Das Zeichen für 20, welches einer 3 ähnelt, besteht aus zwei übereinander

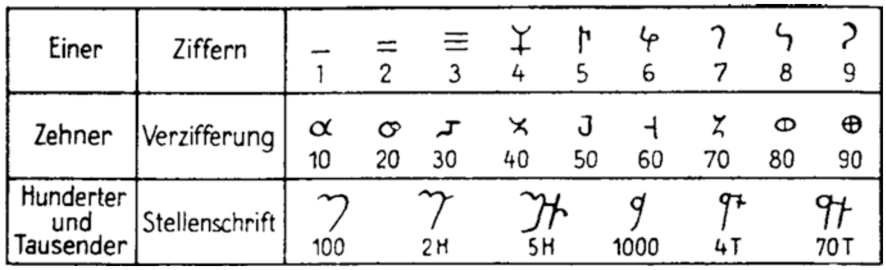



**Abb. 3.10** Indische Brahmi-Zahlschrift

zusammengefassten Zeichen für die 10. Die Darstellung der Zahlen ist linksläufig.

Die Brahmi-Zahlschrift (Abb. 3.10) entstand zur gleichen Zeit wie die Kharosthi-Zahlschrift und ist dadurch gekennzeichnet, dass jeder Einer, also jede Ziffer, ein eigenes Zeichen besitzt. Die ihr zugrunde liegende Zahlgrenze ist die 10. Sie wurde fast 1000 Jahre lang verwendet. Die neun ersten Brahmi-Zeichen sind die Urahnen unserer heutigen Ziffern und das Brahmi-Zahlensystem die Urahnin unseres heutigen Zahlensystems.

Aus der Brahmi-Zahlschrift entwickelte sich die indische Stellenschrift. Stellenschrift bedeutet, dass die Bedeutung einer Ziffer in einer mehrstelligen Zahl durch ihre Position (Stelle) gegeben ist. Voraussetzung hierfür waren die eindeutigen Kennzeichen der Ziffern 0 bis 9 und ein konsequentes Zehnersystem. Damit ist die Bedeutung der Zahl 2525 gegeben durch

$$\begin{aligned}2525 &= 2\times 1000 + 5\times 100 + 2\times 10 + 5\\ &= 2\times 10^3 + 5\times 10^2 + 2\times 10^1 + 5\times 10^0.\end{aligned}$$

Die ältesten indischen Mathematik-Bücher sind

- Baudhayana-Sulbasutra 600–500 v. Chr.
- Apastamba-Sulbasutra 500–400 v. Chr.
- Katyayana-Sulbasutra 400–300 v. Chr.

Der Name Sulbasutra bedeutet „Schnurregeln“, da ihr Inhalt überwiegend Aufgaben aus dem Bauwesen enthält und das gebräuchlichste Messinstrument Schnüre waren.

Die jüngste dieser drei Schriften enthält z. B. Anleitungen zur Berechnung der West-Ost-Richtung und der Nord-Süd-Richtung. Zur Berechnung der West-Ost-Richtung wird sinngemäß angeführt (Abb. 3.11a):

> Schlage um einen senkrechten Stab einen Kreis und beobachte die beiden Punkte, an denen der Schatten des Stabes am Vormittag und am Nachmittag gerade bis zum Kreis reicht.

Die Anleitung zur Berechnung der Nord-Süd-Richtung stützt sich auf die Berechnung der West-Ost-Richtung (Abb. 3.11b):

> Bestimme die W-O-Richtung und stecke auf ihr zwei Punkte A und B ab. Befestige eine Schnur der Länge 2 × AB an den Enden A und B. Spanne diese Schnur einmal nach Norden und einmal nach Süden, so dass die beiden Seiten gleich lang sind.

Auch Konstruktionen zur Bildung von rechten Winkeln mit Schnüren, die auf der Längenbezeichnung 3, 4 und 5 beruhen, sind angegeben.

Weitere umfassende Rechenbücher stammen von *Aryabhata* (498 n. Chr.) und *Brahmagupta* (628 n. Chr.). Sie enthalten u. a. eine Tabelle der Sinus-Funktion, arithmetische Reihen, Lösungen für quadratische Gleichungen und für Gleichungssysteme, Zinsrechnung und Rechnungen mit trigonometrischen Funktionen.

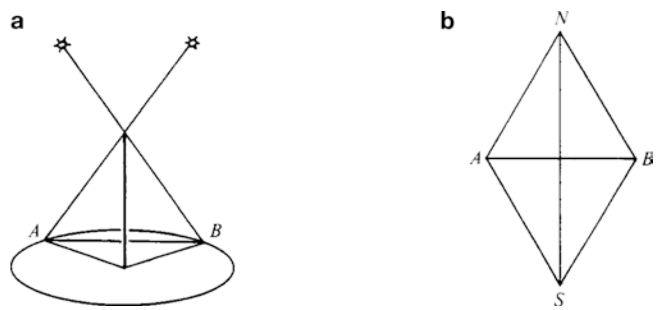



**Abb. 3.11** **a** Bestimmung der West-Ost-Richtung, **b** Bestimmung der Nord-Süd-Richtung

Neben der Zahldarstellung haben wir von den Indern auch die Rechentechnik übernommen. So findet sich für das Schema der Multiplikatoren folgendes Beispiel zur Berechnung von 235 × 288:

$$\begin{array}{rr} 235\times 2 = & 470\phantom{00} \\ 235\times 8 = & 1880\phantom{0} \\ 235\times 8 = & \underline{1880} \\ & 67.680 \end{array}$$

Daneben verdanken wir den Indern die Null und das Rechnen mit ihr sowie das Rechnen mit negativen Zahlen. Als Beispiel gibt Brahmagupta die Aufgabe an:

> Berechne die Höhenabschnitte in einem Dreieck mit den Seiten 10, 17 und der Basis 9.

Als Lösungsregel gibt er an (in unserer Schreibweise):

$$\begin{aligned}2q &= 9-(289-100)/9 = -12\\ q &= -6.\end{aligned}$$

Er schreibt dazu:

Dies ist negativ, d. h. in entgegengesetzter Richtung.

Er kennt also eine negative Lösung, wenn sie aufgrund der Aufgabe sinnvoll ist.

Die Inder besaßen sogar eine spezielle Darstellung für negative Zahlen. Sie setzten einen Punkt über die Zahl.

Den Indern verdanken wir unsere heutige Zahlenschreibweise und die zugehörigen Rechenschemata wie Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division und ferner das Rechnen mit der „Null“ und das Rechnen mit negativen Zahlen.

### 3.2.4 Römische Zahlen

Die Römer kannten zwei Zahlgrenzen: die Fünf und die Zehn. Als Besonderheit wurden für die ersten drei Zahlen nach einer Zahlgrenze die Stellen nach der Zahlgrenze und für die beiden Zahlen vor einer Zahlgrenze die Stellen vor dieser Zahlgrenze verwandt. Zur Auswertung der Zahl muss also sowohl addiert als auch subtrahiert werden. Die Darstellung der Zahl 47 ist XLVII. Die Zahlgrenze ist die L (= 50). Die Zahl davor ist X (= 10) und muss, da sie kleiner als 50 ist, abgezogen werden. Man erhält 40. Nach dem L steht V (= 5). Da es danach steht, muss es addiert werden, man erhält 45. Das V ist ebenfalls eine Zahlgrenze. Daher müssen die beiden I (= 1) aufaddiert werden. Man erhält 47.

**Tab. 3.4** Das Römische Zahlensystem

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| I | V | X | L | C | D | M |
| 1 | 5 | 10 | 50 | 100 | 500 | 1000 |

Damit hatten die Römer ein relativ elegantes System zur Darstellung von Zahlen (Tab. 3.4). Allerdings war es zum Rechnen denkbar ungeeignet. Betrachten wir dazu die einfache Multiplikation 213 × 47. Wir lösen heute diese Aufgabe, indem wir stellenweise multiplizieren und anschließend aufaddieren:

```
23×47
 92
 161
1081
```

Überträgt man diese Rechentechnik auf die römische Zahldarstellung, so erhält man:

```
XXIII×XLVII
     XCII
      CLXI
   MLXXXI
```

Wie haben aber die Römer gerechnet? Die Antwort lautet: mit einem technischen Hilfsmittel, einem Rechengerät, dem sogenannten Rechenbrett.

Trotz dieser Unzulänglichkeiten hat sich das römische Zahlensystem bis weit in das Mittelalter hinein gehalten.

### 3.2.5 Die Zahlen der Inkas

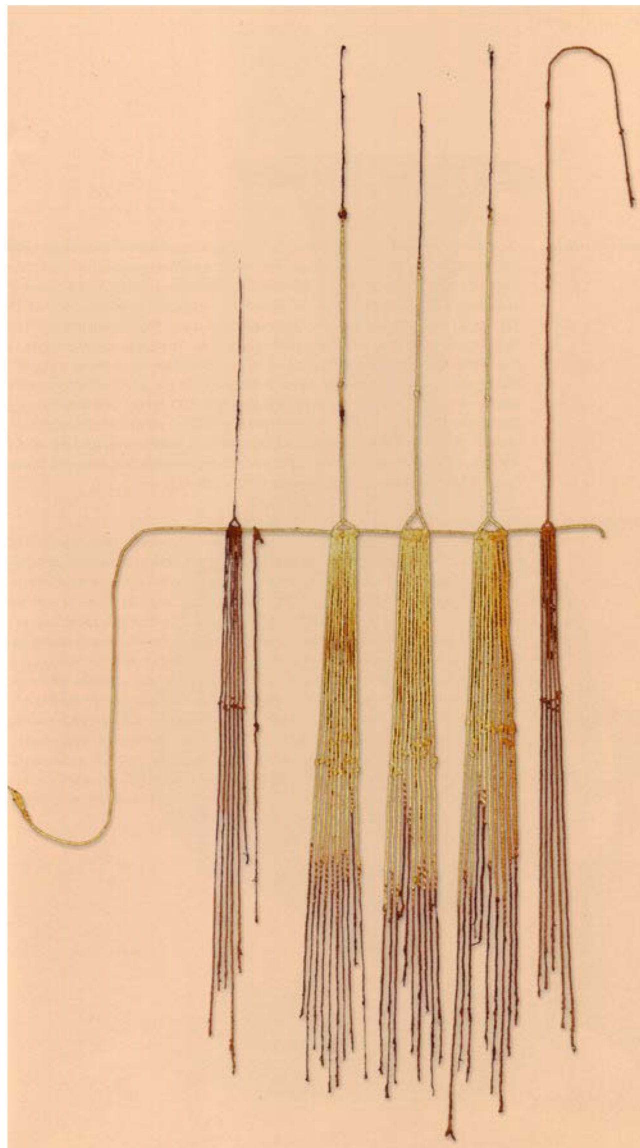


**Abb. 3.12** Quipu

Ein ähnliches Basissystem wie die Römer hatten die Inkas. Die Inka kannten keine Schrift im engeren Sinne. Sie verfügten aber sehr wohl über effektive 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 sogenannten

*Quipu* (Abb. 3.12). 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 Erntefrüchten, Landparzellen, Menschen und Haustieren.

Gerechnet wurde wie bei uns im Zehnersystem. Möglicherweise gab es aber auch ein Fünfersystem, 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.

### 3.2.6 Arabien

Als Keimzelle Arabiens kann der Jemen betrachtet werden. Jemen war im ersten Jahrtausend n. Chr. durch Handel reich und blühend geworden. Der Begründer der arabischen Großmacht ist Mohammed. Im Jahre 622 flieht er aus Mekka, wo ihm die Obrigkeit zunehmend Schwierigkeiten bereitete, nach Medina. In den nachfolgenden Jahren schufen er und seine Nachfolger durch ihre militärischen Erfolge ein Weltimperium. Als Zentrum dieses Imperiums etablierte sich Bagdad.

Ihre mathematischen Kenntnisse bezogen die Araber aus babylonischen, griechischen und indischen Quellen. Im Jahre 773 kommt an den Hof des Kalifen Al Mansur in Bagdad ein Inder, der ein Buch über Himmelskunde (*Siddhanta*) des Astronomen Brahmagupta mit sich führt. Der Kalif beauftragt *Muhammad ibn Ibrahim al-Fazari* mit der Übersetzung ins Arabische. Von seinem Vater (Vetter?) *Ibrahim al-Fazari* berichten einige Quellen, dass er als erster ein Astrolabium konstruiert haben soll. Die Urschrift von Muhammeds Rechenbuch ist verloren, aber seine weitere Verbreitung lässt sich verfolgen: Über Spanien, wo sie am Anfang des 12. Jh. von dem Engländer *Robert von Chester*, der in Spanien Mathematik studierte, ins Lateinische übersetzt wurde, gelangte sie nach Europa. In der Wiener Hofbibliothek wird ein Auszug aufbewahrt, der um 1143 n. Chr. datiert wird. Auch in der Bibliothek des Klosters Salem befindet sich eine Niederschrift aus dem Jahre 1200. Durch diese Übersetzung, die rasch vielfach verbreitet wurde, sind die indischen Ziffern und Zahlen in Bagdad und dem damaligen arabischen Reich bekannt geworden. Die nachfolgenden Kalifen förderten ebenfalls die Übersetzung von indischen und griechischen Mathematikwerken. Ab dem Jahre 900 waren praktisch alle Klassiker der griechischen und indischen Mathematik in das Arabische übersetzt worden.

Von den Indern übernahmen die Araber vor allem die Zahldarstellung und die darauf aufbauende Arithmetik. Hierbei ist auffallend, dass sie die Null einschließlich ihrer Arithmetik übernahmen, es aber keine Hinweise auf die Verwendung von negativen Zahlen gibt. Im Unterschied zur Richtung der arabischen Schrift (von rechts nach links) werden die indischen Zahlen auch in arabischen Texten entsprechend ihrer historischen Herkunft von links nach rechts dargestellt: Einer ganz rechts, links gefolgt von Zehnern, Hundertern, Tausendern usw. Vor der Übernahme der indischen Ziffern durch die Araber im 9. Jh. war *Abdschad* das arabische Standard-Zahlensystem. Das Abdschad (auch: *abjad*) war ein alphabetisches Zahlensystem. Das arabische Alphabet wurde in drei Neunergruppen geteilt; gemäß dem Vorbild der griechischen Zahlen. Die erste Gruppe gab die Einerzahlen von eins bis neun wieder, die zweite Gruppe die Zehnerzahlen von 10 bis 90 und die dritte Gruppe die Zahlen von 100 bis 900. Der achtundzwanzigste und letzte Buchstabe wurde gleich Tausend gesetzt.

Für das Abendland von besonderer Bedeutung ist ihre Übersetzungstätigkeit bezüglich der klassischen griechischen Mathematik. Das Abendland hat diese Werke zuerst aus den arabischen Übersetzungen kennengelernt. Erst später wurde ein Teil der Originaltexte bekannt. Die übrigen sind auch heute nur in der arabischen Übersetzung bekannt. Ein besonderer Verdienst gebührt den Arabern in der Algebraisierung der Mathematik. Ausgehend von indischen Ansätzen führten sie konsequent Buchstaben für Variablen ein und beschrieben die mathematischen Verfahren mithilfe von Variablen.

Über Arabien gelangten die Zahldarstellung und die auf ihr beruhende Arithmetik sowie die arabische Algebra nach Europa. Einer der ersten Hinweise auf eine konkrete Verwendung stammt von Leonardo von Pisa, der von 1180 bis 1250 lebte. Nach seinem Vater, der Bonaccio („der Gutmütige“) hieß, nannte er sich *Fibonacci*. Nach ihm wurde die bekannte Fibonacci-Zahlenreihe benannt. In seinen Memoiren beschreibt er, wie sein Vater ihn nach Rugia kommen ließ, damit er hier bei einem (wohl arabischen) Lehrer das

Studium *abaci* betreiben solle. Wörtlich sagt er: *Ubi ex mirabi magisterio in arte per novem figuris Indorum introductus.* Also *Dort wurde ich unter wunderbarer Anleitung in die Kunst der neuen indischen Ziffern eingeführt.* Er beschreibt ferner, dass ihm diese indische Rechenweise besser gefallen habe als alle anderen, die er auf seinen Reisen nach Ägypten, Syrien und Griechenland kennengelernt habe. Aufgrund dieses Urteils schreibt er 1202 das berühmte Rechenwerk *Liber Abaci*, welches für die Verbreitung der indischen Zahlschrift und der auf ihr beruhenden Rechentechnik von grundlegender Bedeutung für das Abendland wurde.

Aber der Kampf zwischen den neuen arabischen Zahlen und der alten römischen Darstellung der Zahlen dauerte noch über Jahrhunderte an. So erließ der Rat der Stadt Florenz im Jahre 1299 eine Verordnung, nach der Kaufleuten verboten wurde, ihre Bücher in der neuen Zahldarstellung zu führen. Verstöße wurden mit 20 Solidi geahndet. Als Begründung wurde angeführt, dass die neuen Ziffern und Zahlen zu einfach zu fälschen seien.

## 3.3 Rechnen mit natürlichen Hilfsmitteln

Schriftliche Darstellungen von Zahlen auf Tontafeln oder in Stein gemeißelt sind für lange Zeiträume bestimmt. Der Mensch benötigt jedoch auch eine schnelle, kurzfristige Darstellung von Zahlen. Wurde das Vieh morgens auf die Weide und abends zurück in den Pferch getrieben, so musste abends kontrolliert werden, ob keines fehlte. Die einfachste Methode bestand in kleinen Steinen, die man morgens für jedes Stück Vieh sammelte und abends entsprechend auf den Boden warf. Schon früh entwickelten die Menschen jedoch raffiniertere Methoden, die sich natürlicher Hilfsmittel bedienten.

Auf Ceylon gibt es ein Naturvolk mit Namen Wedda. Sie haben zum Zählen eine Stäbchenmethode entwickelt. Wenn ein Wedda seine Nüsse zählen will, so nimmt er zunächst ein Bündel Stäbchen. Dann identifiziert er jede einzelne Kokosnuss mit einem Stäbchen und sagt jedes Mal: „das ist eins“. Da er keine Zahlwörter kennt, identifiziert er damit die Anzahl der Nüsse mit der Anzahl der Stäbchen. Somit kann er feststellen, ob ihm eine Nuss fehlt, indem er paarweise Nuss und Stäbchen einander zuordnet. Bleibt ein Stäbchen übrig, so fehlt ihm eine Nuss. Andererseits kann er anderen nicht sagen, wie viele Nüsse er besitzt, denn er kennt kein Zahlwort. Er kann nur auf die Stäbchen zeigen und sagen: „so viele“.

Derartiges Zählen mit einer Hilfsmenge war früher weit verbreitet. Der römische Geschichtsschreiber Livius berichtet aus vorrömischer Zeit:

> Es gibt ein sehr altes Gesetz, in urtümlichen Buchstaben und Worten geschrieben, nach dem immer der oberste Prätor an den Iden des Septembers (Jahresanfang der Etrusker) einen Nagel einschlagen soll an der rechten Seite des Jupitertempels, wo das Heiligtum der Minerva liegt. Man erzählt sich, dieser Nagel sei ein Zeichen für ein weiteres Jahr gewesen, weil zur damaligen Zeit Buchstaben und Zahlzeichen noch sehr selten waren. Weil die Zahl eine Erfindung der Minerva gewesen sei, war dieses Gesetz ihrem Tempel geweiht.

Eine besondere Art des Zählens existiert noch heute bei einigen Naturvölkern, indem sie Ziffern und Zahlen einzelnen Teilen ihres Körpers zuordnen. Man spricht von Körperzahlen. So zählt ein Papuastamm auf Borneo folgendermaßen:

Wie man aus Tab. 3.5 ersieht, besitzen sie sowohl Zahlwörter als auch eine Zuordnung von Zahlen zu Körperteilen. Auffallend ist die Doppeldeutigkeit bei den Zahlwörtern, die bei den entsprechenden Körperteilen nicht vorkommt. Bedeutet „doro Tage“ die Anzahl von 2, 3, 4, 19, 20 oder 21 Tagen? Die Eindeutigkeit wird nur durch die entsprechende Geste erreicht.

### 3.3.1 Fingerzahlen und Fingerrechnen

Fingerzahlen können als Vorstufe der Zahlschrift angesehen werden. Sie waren bei vielen Völkern bekannt.

**Tab. 3.5** Zahldarstellung der Papua

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | anusi | rechter | Kleinfinger | | 12 | medo | | Nase |
| 2 | doro | | Ringfinger | | 13 | bee | | Mund |
| 3 | doro | | Mittelfinger | | 14 | denoro | linkes | Ohr |
| 4 | doro | | Zeigefinger | | 15 | visa | | Schulter |
| 5 | ubei | | Daumen | | 16 | unubo | | Ellbogen |
| 6 | tama | | Handgelenk | | 17 | tama | | Handgelenk |
| 7 | unubo | | Ellbogen | | 18 | ubei | | Daumen |
| 8 | visa | | Schulter | | 19 | doro | | Zeigefinger |
| 9 | denoro | | Ohr | | 20 | doro | | Mittelfinger |
| 10 | diti | | Auge | | 21 | doro | | Ringfinger |
| 11 | diti | linkes | Auge | | 22 | anusi | | Kleinfinger |

So kannten die Römer eine Darstellung von Zahlen von 1 bis 10.000 durch die Finger. Plinius berichtet von einem Standbild des doppelköpfigen Gottes Janus in Rom, das an den Fingern die Zahl 365 darstellt, um auf diese Weise den Gott Janus als Gott des Jahres und der Zeit zu kennzeichnen (Abb. 3.13). Überliefert sind auch Spielsteine aus römischer Zeit, auf denen die Werte durch Fingerzahlen dargestellt sind.

**Abb. 3.13** Römische Spielsteine mit der Darstellung der Fingerzahlen 7 und 8

Handel auf der Basis von Fingerzahlen war bis in jüngste Zeit sowohl bei arabischen Händlern als auch bei europäischen Viehhändlern weit verbreitet.

Schon früh erkannte man auch die Möglichkeit, mit den Fingern nicht nur die Zahlen darstellen zu können, sondern die Finger auch als Rechenmaschine zu nutzen. Das Grundprinzip hat sich bis in neuere mechanische Rechengeräte erhalten: die zu verrechnenden Zahlen werden an den Händen eingestellt und nach einer relativ leichten Zwischenrechnung kann an den Händen das Ergebnis abgelesen werden.

Als Beispiel sei die Multiplikation $6 \times 9$ gewählt. Man hält die gestreckten Hände aufrecht und beugt an ihnen jeweils die Finger für den 5-Überschuss der beiden Zahlen

$$(6 = 5 + 1,\ \ 9 = 5 + 4),$$

also an der einen Hand einen und an der anderen Hand vier Finger. Addiert man die gebeugten Finger, so erhält man die Zehner des Ergebnisses, d. h. $1 + 4 = 5$, und somit ist der Zehnerbetrag des Ergebnisses 50. Multipliziert man die aufrechten Finger, so erhält man die Einer, d. h. $4 \times 1 = 4$. Das Gesamtergebnis ist somit $50 + 4 = 54$.

Die umfassendste und früheste Aufzeichnung und Anleitung zum Umgang mit Fingerzahlen stammt von dem englischen Benediktinermönch Beda (Abb. 3.14).


**Abb. 3.14** Fingerzahlen des Mönchs Beda

### 3.3.2 Kerbhölzer

Fingerzahlen sind flüchtig, mit der Darstellung der nächsten Zahl geht die erste verloren. Als Alternative zu einer Anzahl kleiner Steinchen entwickelten fast alle Völker die Technik der Darstellung von Zahlen auf Kerbhölzern.

In der einfachsten Form waren es Kerben, die mit einem Messer in ein Stück Holz eingeschnitzt und aneinandergereiht wurden. Später erweiterte man dies um besondere Zeichen für Zahlgrenzen, um größere Zahlen darstellen zu können, z. B. in Form einer X-Kerbe oder einer V-Kerbe. Einige Wissenschaftler vertreten die Meinung, dass aus diesen alten Kerbzeichen die römischen Zahlzeichen entstanden sind.

Als ältestes Kerbholz gilt der *Ishango-Knochen* (Abb. 3.15). Er wurde 1950 vom belgischen Archäologen

*Jean de Heinzelin de Braucourt* nahe der kongolesisch-ugandischen Grenze am Nordwestufer des Eduardsees gefunden. Nach den letzten Analysen wird Ishango dem Jungpaläolithikum zugerechnet, d. h. sein Alter dürfte bei etwa 20.000 Jahren liegen. Der Ishango-Knochen ist ein ungefähr 10 cm langer, gekrümmter Tierknochen von ovalem Querschnitt. An seinem schmaleren Ende ist ein Stück Quarz angebracht.

**Abb. 3.15** Der Ishango-Knochen

Inzwischen interpretieren mehrere Wissenschaftlicher den Ishango-Knochen nicht mehr als reines Kerbholz, sondern als das älteste mathematische Fundstück. Sie verweisen auf die besondere Art der Kerbung (Abb. 3.16). Die Spalten enthalten unterschiedliche Gruppen, die selbst wieder aus Kerben von drei verschiedenen Längen aufgebaut sind. Die mittlere Spalte umfasst Gruppen aus 3 und 6, 4 und 8, 10 sowie 5 und 5 Kerben. Die beiden anderen Spalten enthalten der Reihe nach 11, 21, 19 und 9 sowie 11, 13, 17 und 19 Einkerbungen.

Heinzelin selbst interpretierte die Kerben als Speicherung spezieller mathematischer Zahlen: Die Kerben der rechten Spalte repräsentieren $10 + 1$, $20 + 1$, $20 - 1$ und $10 - 1$. Die Kerben der linken Spalten geben die Primzahlen zwischen 10 und 20 wieder. Die mittlere Spalte gibt in etwa Verdopplungen wieder.

*A. Marshack*, ein Ethnologe der Harvard-Universität, interpretierte 1972 die Kerben als Mondkalender: Die Summe der beiden äußeren Spalten sind jeweils 60, d. h. sie entsprechen zwei Mondmonaten. Die mittlere Spalte enthält 48 Kerben, also eineinhalb Mondmonate.

*D. Huylebrouk*, Dozent an der Hochschule für Kunst und Wissenschaft in Brüssel, interpretierte die Kerben als Zahldarstellungen in einem gemischten System mit den zwei Basen 6 und 10. Dann passen die Zahlen aus der rechten Spalte in das Zehnersystem: $9 = 10 - 1$, $11 = 10 + 1$,$19 = 2 \times 10 - 1$ und $21 = 2 \times 10 + 1$. Die Zahlen in der linken Spalte sowie in der mittleren Spalte unten ergeben im Sechsersystem: $5 = 6 - 1$, $7 = 6 + 1$, $11 = 2 \times 6 - 1$, $13 = 2 \times 6 + 1$, $17 = 3 \times 6 - 1$ und $19 = 3 \times 6 + 1$.

Bei all diesen Interpretationen wird allerdings den unterschiedlichen Größen der Kerben keine Bedeutung unterstellt. Es könnten damit auch verschiedene Tiere oder Gegenstände symbolisiert worden sein und der Knochen ist doch nur ein Kerbholz. Aber vielleicht wird dieses Rätsel doch noch gelöst. Auf seinem Sterbebett hat de Henzelin gestanden, dass er seinerzeit zwei gekerbte Knochen gefunden habe. Dieser zweite Knochen ist jedoch bis heute verschollen. Sollte er wieder auftauchen, so könnte er das Rätsel lösen.

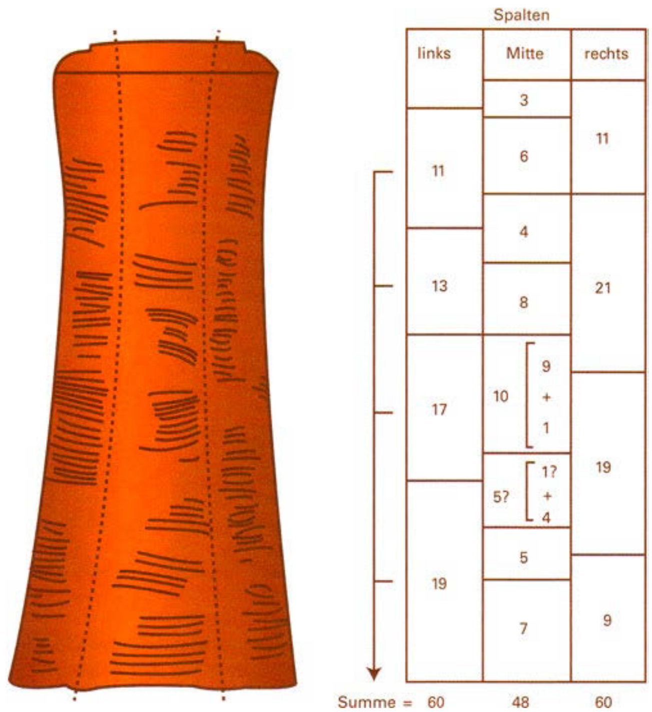



**Abb. 3.16** Schematische Darstellung der Einkerbungen am Ishango-Knochen

In vielen Gegenden haben sich Kerbhölzer bis in unsere Zeit erhalten. Teilweise haben sie Rechtswert erhalten, wenn auf der Basis der Einkerbung eine Forderung beruhte. So existiert im fränkischen und alemannischen Volksrecht die *festuca*, ein Stab, der bei Zahlungsversprechungen zwischen den Beteiligten gewechselt wurde. Wurde die aufgekerbte Schuld beglichen, dann wurde das Kerbholz entweder vernichtet (verbrannt) oder die Kerben ausgeschnitten, d. h. das Holz geglättet.

Noch 1804 werden die Kerbhölzer als Beweismittel im napoleonischen *Code civile* aufgeführt. In der Alpenregion haben sich Kerbhölzer in Form von „Milchstäben" bis in das 20. Jh. gehalten. Auch das heute noch übliche Aufschreiben von bestellten Getränken auf Bierdeckeln in Form von Strichen und Kreuzen ist ein Relikt aus der Zeit der Kerbhölzer.

Auch in England wurden die Kerbhölzer amtlich. Bereits ab dem 12. Jh. führte die englische Staatskasse ihre Rechnungen mit Buch und Kerbholz, „exchequer tallies" genannt, und das fast unverändert bis in die zwanziger Jahre des 19. Jh.s! Daher bildete sich von *tally* das Wort für „Steuer", *tailage* oder *tallage,* ähnlich wie frz. *taille.*

Der Court of Exchequer, der staatliche Rechnungshof, bestand aus mehreren Abteilungen. In der Hauptstelle verwalteten die Sheriffs die Einnahmen und rechneten mit Bürgern und Beamten sowie mit der Krone ab. Der Tisch dort war mit einem schachbrettartig gewürfelten Rechentuch bedeckt, nach dem der ganze Rechnungshof seinen Namen erhielt. An ihm trug der Sheriff dem Schatzmeister (Treasurer) Posten für Posten vor, und Posten für Posten legte der Rechner (Calculator) sie in Calculi auf das Rechentuch und stellte so die Endsumme fest. Über die Zahlung oder die Schuld schnitt der Kerbholzwart (Cutter) ein *tally.* Der ganze Rechnungsvorgang wurde von Beisitzern und hohen Beamten beobachtet und geprüft. Mit Calculi und Kerbholz war er von jedermann ohne die Kunst des Lesens und Schreibens zu verstehen. Schon um 1300 wurden in England die *tallies* von der Staatskasse auch als Wechsel ausgegeben. So erhielt der Kellermeister Edwards I. einmal statt einer Zahlung ein *tally* als Anweisung auf einen Bürger von London. Von diesem, der selbst Schuldner der Staatskasse war, konnte er den aufgekerbten Betrag einziehen. Auf diese Weise enthob sich der Staat der lästigen Eintreibung von Schulden und befriedigte gleichzeitig seine Gläubiger: ein bargeldloser Verkehr mit Kerbhölzern als Wechsel und Scheck.

Lieh jemand der Englischen Bank Geld, so wurde über den Betrag ein *tally* geschnitten, von dem die Bank die Einlage *foil* behielt und der Gläubiger den *stock* bekam. Er wurde ein *stockholder* und besaß einen Bank-stock, was also einem staatlichen Wertpapier entspricht. Daher kommt der heutige Ausdruck *„stocks“* für Aktien oder Staatsanleihen.

Erst im Jahre 1834 wurde dieses altertümliche Verfahren durch eine Steuerreform abgeschafft. Eine große Zahl von Kerbhölzern war nun überflüssig geworden, und am 16. Oktober 1834 entschloss man sich fahrlässigerweise, diese im Hof des Parlamentsgebäudes Palace of Westminster zu verbrennen, welches daraufhin selbst von den Flammen erfasst wurde und größtenteils abbrannte. Die Abschaffung der Kerbhölzer kostete somit im Nachhinein den englischen Steuerzahlern noch viele Steuergelder.

Die lange Verwendung der Kerbhölzer beruhte auf der relativ hohen Fälschungssicherheit dieses Speichermediums. Die Hölzer wurden als Doppelhölzer erstellt, d. h. der zu speichernde Wert wurde doppelt, einmal links und einmal rechts, aufgetragen. Im freien Bereich wurde die Identität des Schuldners eingetragen und die Restfläche durch eine Markierung gesperrt. Das Doppelholz wurde anschließend in der Mitte durchgeschnitten und je ein Teil verblieb beim Geldgeber und beim Schuldner. Neue Marken konnten nicht hinzugefügt werden, da kein freier Platz mehr vorhanden war. Das Löschen einer Marke konnte sofort durch die Veränderung des Holzes erkannt werden. Außerdem konnte keines der beiden Teile durch ein neues ersetzt werden, da die beiden dann in der Mitte nicht mehr zusammenpassten.

In welch großem Umfang früher die Kerbhölzer in der Buchführung und bei Rechtsstreitigkeiten eine Rolle gespielt haben, belegen die zahlreichen Redewendungen, die auf das Kerbholz zurückgehen. So sagt man im Deutschen „etwas auf dem Kerbholz haben“, wenn jemand an etwas Schuld hat. Eine Schuld „glattstellen“ kommt vom Ausschneiden der Kerben, wenn die Schuld beglichen wurde. Hierauf geht auch der römische Ausdruck *tabula rasa* (abgeschabte Tafel) zurück.

## 3.4 Besondere Zahlen

### 3.4.1 Die Zahl „Null“

Mit der Zahl „Null“ hatten die Menschen lange Zeit ihre Probleme. Vielleicht liegt der Grund hierfür darin, dass die Null mehrere Bedeutungen haben kann.

Die Null im Sinne von „nichts“ war allen Menschen vertraut. Hatte ein Mann fünf Ziegen und verkaufte sie, so hatte er keine mehr. Eine andere Bedeutung hat die Null als Leerzeichen auf Rechenbrettern, wenn eine Spalte leer ist. Hierfür benötigt man kein spezielles Wort oder Zeichen, das Nichts wird durch die Leerspalte abgebildet.

Die dritte Bedeutung der Null tritt bei Zahldarstellungen auf, bei denen die Stellung der Ziffern die Bedeutung ergibt. Betrachten wir die Zahl 205, so ergibt sich ihre Bedeutung zu

$$2 \times 100 + 0 \times 10 + 5 \times 1.$$

Die Null ist hier ein Zeichen, das da sein muss, um auszusagen, dass an dieser Stelle nichts da ist. Die ersten, die für die Null ein spezielles Zeichen einführten, waren die Inder. Auf einer Inschrift an der Wand eines Tempels in der Nähe von *Gwalior* (unweit von Lashkar/Mittelindien) findet sich die älteste Darstellung einer Null (Abb. 3.17).

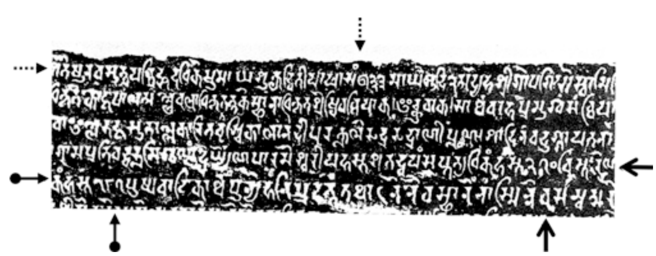


**Abb. 3.17** Die Inschrift von Gwalior. Die Darstellung der Null durch O in der Zahl 270 ist mit ↑ gekennzeichnet. In der ersten Zeile bei ····▸ steht die Jahreszahl 933 (≈ 870 n. Chr.). In der fünften Zeile bei ●→ steht die Zahl 187

In der Inschrift findet sich in Wort und in Brahmi-Ziffern die Jahreszahl 933 (in unserer Zeitrechnung 870 n. Chr.). Aufgeführt sind in der Inschrift vier Schenkungen an den Tempel. Eine der Schenkungen ist ein Landstück, welches beschrieben wird mit:

> 270 königliche hastas lang und 187 hastas breit für einen Blumengarten.

Hier steht bei der Zahl 270 die Null als kleiner Kreis. Diese Inschrift enthält somit die älteste geschriebene Null. In etwas jüngeren Darstellungen ist die Null an erster Stelle eines Kreises mit einem Punkt dargestellt. Allerdings scheint sich der Kreis als Darstellung der Null durchgesetzt zu haben und wurde über die Araber nach Europa eingeführt.

Die Null hieß bei den alten Indern *sunya*, was so viel wie „leer" bedeutet (auch als *sunya-bindu* bezeichnet ≈ „Leer-Punkt"). Die Araber übersetzten den indischen Namen mit *as-sifr* („die Leere"). Aus diesem arabischen Wort wird im Lateinischen des 13. Jh. *cifra*, im Französischen ab dem 14. Jh. *chiffre* und in Deutschland ab dem 15. Jh. das Wort „Ziffer". Auch das französische und englische Wort *zero* für Null stammt von *as-sifr* ab. In einem französischen Lehrbuch für Kaufleute aus dem Jahre 1485 heißt es:

> Et en chiffres ne sont que dix figures, des quelles les neuf ont valeur et la dixième ne vaut rien mais elle fait valoir les autres figures et se nomme zero ou chiffre […].

Die Bezeichnung „Null" lässt sich bis ins 13. Jh. zurückverfolgen. Erstmalig in Europa ist sie als *figura nihili* („die Zahl des Nichts") in der lateinischen Schrift des in Paris lebenden Gelehrten Sacrobosco zu finden.

Auf die Inder geht aber nicht nur die schriftliche Darstellung der Null, sondern auch das Rechnen mit ihr zurück. In ihren Lehrbüchern finden wir erstmalig die Rechengesetze

$$a + 0 = a \quad \text{und} \quad a \times 0 = 0.$$

Auch diese Arithmetik der Null fand über die Araber im Mittelalter den Weg nach Europa.

Bis zur Eroberung durch die Spanier herrschten die Maya über ein riesiges Gebiet in Mittelamerika. In den ersten Jahrhunderten führten sie eine Schrift ein und begannen Steinpyramiden zu errichten. Leider vernichteten die spanischen Eroberer fast alle Aufzeichnungen der Maya, weil sie darin die Schriften gottloser Ungläubiger sahen. Im Jahre 1519 sandte Hernando Cortez Proben der Mayaschrift an Karl V. Nur drei Exemplare haben die Wirren der Conquista und das Unverständnis späterer Generationen überlebt. Eines davon, der *Codex Dresdensis*, befindet sich heute in der Sächsischen Landesbibliothek in Dresden. In den vergangenen Jahrzehnten ist es der Wissenschaft gelungen, auf der Basis dieser Exemplare sowie den Inschriften an Ruinen und in weiteren Manuskripten, die Schrift sowie das Zahlensystem und die Arithmetik der Maya, die als Basis die 20 verwendeten, zu enträtseln.

Auch die Mayas kannten die Null. Als Besonderheit unterschieden sie zwei Arten von Nullen, für die sie auch unterschiedliche Symbole besaßen. Die ordinale Null wurde zur Darstellung von Daten und Datumsangaben und die kardinale Null für die Angabe von Zeitspannen verwendet.

Die kardinale Null wurde wie eine Null im Stellenwertsystem gebraucht. Sie bewirkt, dass die fragliche Zeiteinheit nicht für die dargestellte Zeitspanne relevant ist. Die ältesten Belege für die Verwendung der kardinalen Null finden sich auf den Stelen 18 und 19 von Uaxactún im heutigen Guatemala. Man findet z. B. auf der Stele 19 das Datum als *8 baktun 16 katun 0 tun 0 uinal 0 kin* seit dem Beginn der Maya-Zeitrechnung.

In der Abb. 3.18 sind die 8 blau, die 16 rot und die drei Nullen grün markiert. Die Stele wurde somit am 2. Februar 357 unserer Zeitrechnung errichtet.

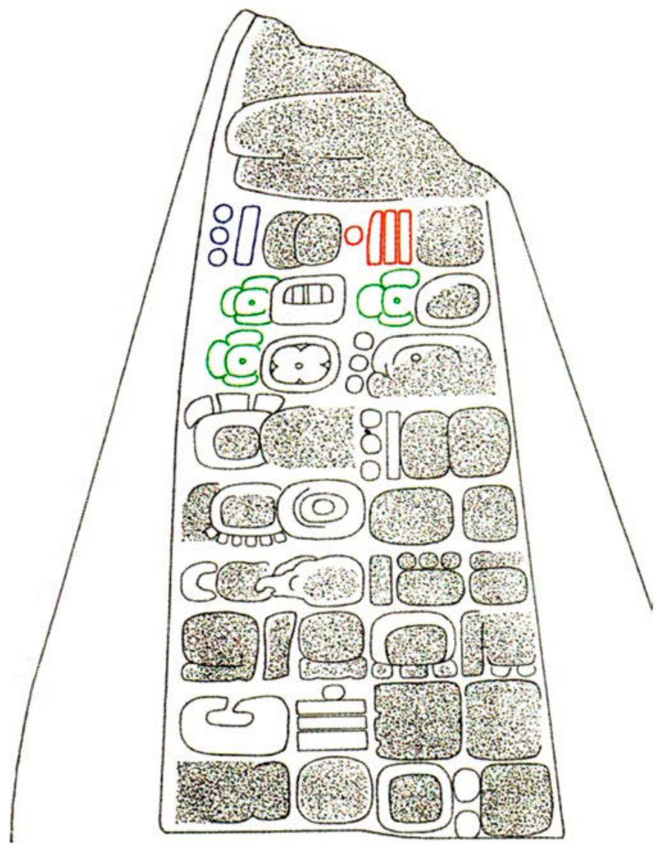


**Abb. 3.18** Schematische Darstellung der Stele 19 von Uaxactún

Die ordinale Null ist älter. Sie wurde vor allem verwendet, um den Beginn der Herrschaft eines Regenten oder den Anfang eines Zeitabschnitts zu bezeichnen. Die älteste noch überlieferte Darstellung findet sich auf der Rückseite eines Ohrgehänges aus Jade, welches sich im Rijksmuseum voor Volkenkunde befindet. Auf der Rückseite dieses Ohrgehänges, welches auch als „Leidener Platte" bekannt ist (Abb. 3.19), kann man nach der Zeitspanne *8 baktun 14 katun 3 tun 1 uinal 12 kin* das Datum *„0 Yaxkin"* lesen. In der Abb. 3.19 sind die Null in Blau und der Monat in Gelb wiedergegeben. Die nachfolgende Glyphe lautet „Er hat den Thron bestiegen". Das Datum gibt also den Amtsantritt eines Herrschers an. Nach unserer Zeitrechnung war somit der Amtsantritt am 16. September des Jahres 320. Das Zeichen leitet sich von

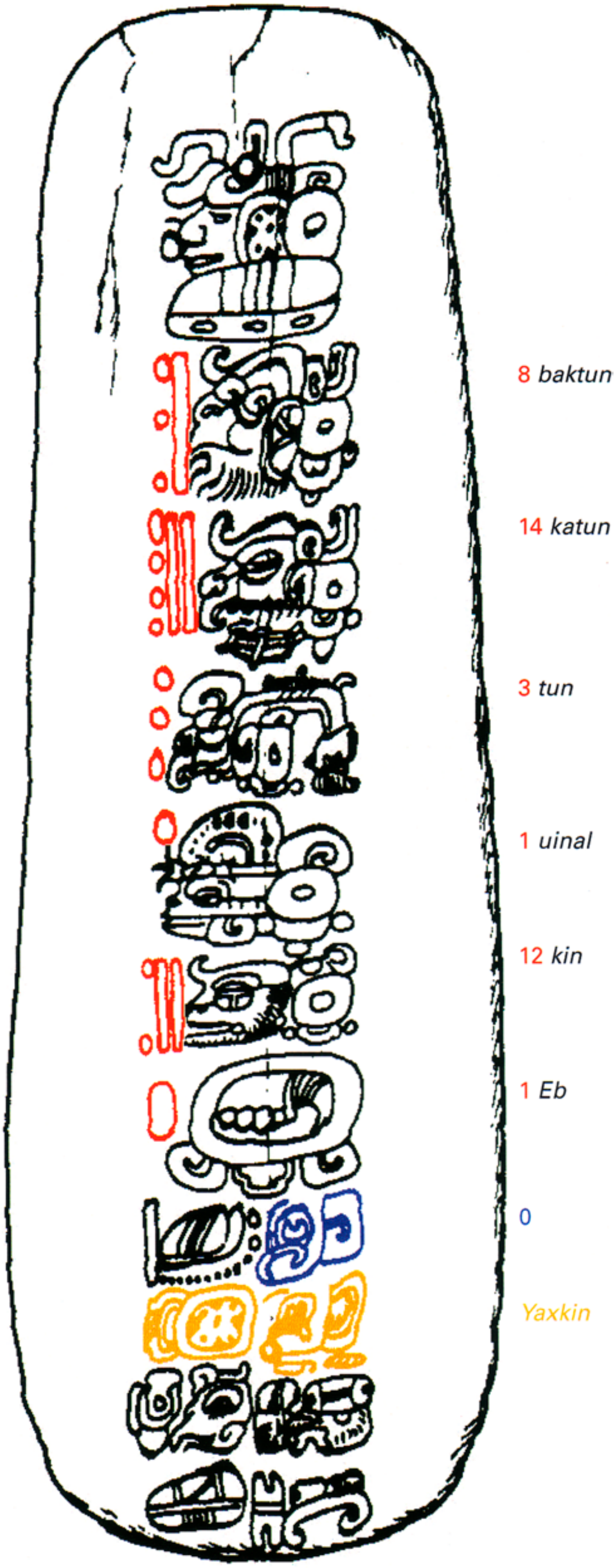



**Abb. 3.19** Schematische Darstellung der Rückseite der Leidener Platte

dem Piktogramm ab, welches bereits in den ältesten überlieferten Texten die Inthronisation bedeutet. Es stellt einen sitzenden Menschen dar, der im Profil zu sehen ist.

### 3.4.2 Die Zahl „Eins"

Die Eins wurde lange Zeit nicht als Zahl betrachtet. Platon beschreibt die Eins mit:

> Wie das Jetzt in der Zeit und der Punkt im Raum, so kann auch die eins unter den Zahlen nicht weiter zerlegt werden. Also birgt sie keine Vielfalt in sich, die sie zur Einheit zusammenfasst. Da aber darin das Wesen einer Zahl besteht, so ist eins keine Zahl.

Auch Euklid bemerkt, dass eine Zahl eine aus Einheiten zusammengesetzte Menge ist. Sie ist der Ursprung und die Quelle aller Zahlen (*fons et origo*).

Diese Ansicht war auch im Mittelalter weit verbreitet. So wird in den damaligen Schriften die Eins bezeichnet als *genetrix pluralitatis* (Gebährerin der Mehrzahl), als *principium qualitatis* (Ursprung der Vielheit) oder als *radix universi numeri et extra numerum* (Wurzel aller Zahlen und eine besondere Zahl). In dem im 12. Jh. verfassten Codex von Salem wird vermerkt, dass sich jede Zahl verdoppeln und hälften lasse, nur nicht die Einheit; diese lasse sich zwar verdoppeln, aber nicht hälften, worin ein großes Geheimnis verborgen sei (*in quo magnam latet sacramentum*). Noch im Jahre 1537 vermerkt der deutsche Rechenmeister Köbel:

> Darauss verstehst tu das I. keine zal ist / sonder es ist ein Geberin / anfang / vnd fundament aller andere zalen.

### 3.4.3 Die Zahl „Pi"

Die Berechnung des Umfanges eines Kreises bei bekanntem Durchmesser oder Radius hat die Menschheit schon sehr früh interessiert. Derartige Berechnungen sind notwendig beim Beschlagen von Rädern, der Bestimmung des Inhalts von Fässern, der benötigten Menge von Stämmen beim Bau von Palisaden um runde Befestigungsanlagen, zur Bestimmung von Flächeninhalten und Volumina gebogener Körper oder auch in neuerer Zeit beim Umgang mit Gauß'schen Glockenkurven, Fourier-Transformationen, Sterling-Formeln oder auch Euler'scher Identität.

Für die meisten praktischen Anwendungen reicht es völlig aus, die ersten paar Nachkommastellen der Kreiszahl Pi zu kennen. Möchte man den Umfang eines Kreises mit einem Radius von 30 m mit einer Genauigkeit von einem Millimeter berechnen, so benötigt man lediglich die ersten vier Dezimalstellen von Pi. Möchte man mit der gleichen Genauigkeit einen Kreis mit dem Radius der Erde berechnen, so reichen zehn Dezimalstellen aus. Man sieht hieraus, dass im praktischen Alltag eine grobe Abschätzung völlig ausreichend ist. Befragt man heutzutage einen Menschen auf der Straße nach dem Wert von Pi, so erhält man meistens die Antwort 3,14. Der Grund liegt darin, dass dieser Wert in seiner Genauigkeit in den meisten Fällen den gestellten Anforderungen genügt.

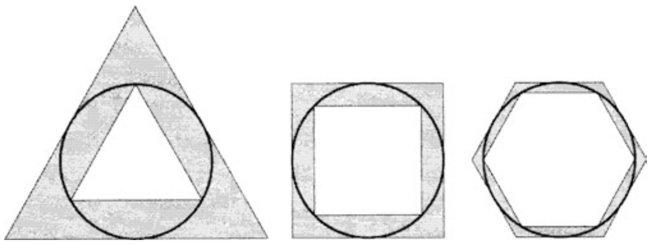


**Abb. 3.20** Approximative Berechnung von Pi

Die ersten Versuche, das Geheimnis des Verhältnisses zwischen Durchmesser (bzw. Radius) und Umfang eines Kreises zu lösen, erfolgten wohl auf experimentellem Wege. Mittels einer Schnur zog man um einen Stab als Mittelpunkt einen Kreis. Auf die Kreislinie stellte man Pfosten oder Stäbe und legte dann um diese Umrundung eine zweite Schnur. Die Länge der beiden Schnüre beschrieb das Verhältnis vom Radius zum Umfang. Die gleiche Methode wurde auf vorhandene runde Gegenstände wie Bäume usw. angewandt. Nachdem alle Versuche, durch systematisches Vervielfachen des Radius bzw. des Durchmessers den Umfang zu berechnen, fehlschlugen, erkannte man irgendwann, dass die Division dieser beiden Größen stets zu dem annähernd gleichen Ergebnis führt.

Eine der ersten näherungsweisen Berechnungen der Kreiszahl Pi, die mit dieser Methode durchgeführt wurde, findet sich bereits im *Moskauer Papyrus* und auch im *Papyrus Rhind* fast 2000 Jahre vor unserer Zeitrechnung. Der berühmte Philosoph und Naturwissenschaftler *Archimedes* (287–212 v. Chr.) erfand eine Methode, mit der approximativ beliebig genau ein Kreisumfang und damit Pi berechnet werden konnte. Er grenzte den Kreisumfang mit Vielecken (bis zum 96-Eck) von innen und außen ein (Abb. 3.20). Diese beiden Vielecke konnte er genau berechnen und der Mittelwert ergab angenähert den Kreisumfang. Er kam zu dem Ergebnis, dass Pi kleiner als 3 + 10/70 und größer als 3 + 10/71 sein muss. Diese Erkenntnis war so herausragend, dass die Kreiszahl Pi in der Folge auch als „Archimedes-Konstante" bezeichnet wurde.

Allerdings ergibt sich bei dieser Methode das Problem der Berechnung des Umfangs bzw. der Fläche der Polygone. Bereits Archimedes kannte jedoch den Trick, mit dem man den Umfang eines 2n-Ecks einfach berechnen kann, wenn man den Umfang des n-Ecks kennt (Abb. 3.21). Hierzu muss man nur den Satz des Pythagoras trickreich anwenden. Ausgangspunkt der Berechnung ist ein Kreis mit dem Radius 1. Sein Umfang ist damit 2 × Pi. Die Seitenlänge und der Umfang eines n-Ecks, welches in den Kreis gelegt wird, seien bekannt. Halbiert man jeden der n Innenwinkel, so erhält man ein 2n-Eck.

Die gesuchte Größe ist $s_{2n}$. Da dies die lange Seite in einem rechtwinkligen Dreieck ist, gilt der Satz des Pythagoras:

$$s_{2n}^2 = \left(\frac{s_n}{2}\right)^2 + d^2$$

Zu berechnen bleibt noch der Wert von d. Diese Größe tritt jedoch auch als langer Schenkel *1-d* im großen Dreieck auf. Durch nochmalige Anwendung des Satzes von Pythagoras erhält man:

$$1 = (1-d)^2 + \left(\frac{s_n}{s}\right)^2$$

Durch Ausmultiplizieren und Umsortieren erhält man:

$$d^2 - 2d + \frac{s_n^2}{4} = 0$$

Die Gleichung besitzt zwei Lösungen. Da jedoch $d$ kleiner als 1 ist, ist nur die Lösung mit dem Minuszeichen relevant, d. h. man erhält für d:

$$d = 1 - \sqrt{1 - \frac{s_n^2}{4}}$$

Da in der Formel für $s_{2n}$ der Wert von $d^2$ vorkommt, wird zunächst dieser Wert berechnet:

$$d^2 = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{s_n^2}{4}}\right)^2$$
$$= 2 - 2\sqrt{1 - \frac{s_n^2}{4}} - \frac{s_n^2}{4}$$

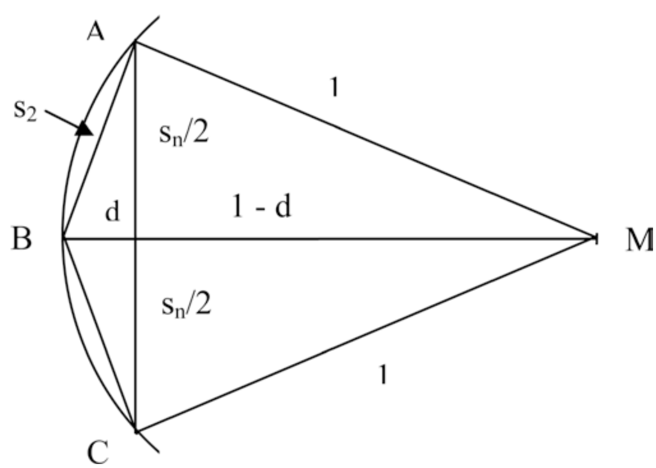



**Abb. 3.21** Berechnung eines 2n-Ecks

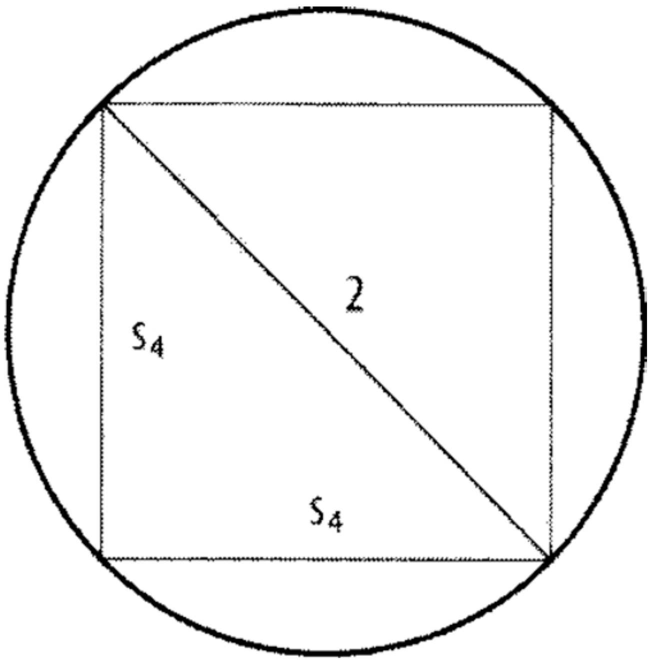



**Abb. 3.22** Berechnung von Pi (Kreis angenähert durch Quadrat)

Durch Einsetzen in die Gleichung für $s_{2n}$ erhält man

$$s_{2n}^2 = \frac{s_n^2}{4} + d^2 = 2 - \sqrt{4 - s_n^2}$$

und damit für $s_{2n}$

$$s_{2n} = \sqrt{2 - \sqrt{4 - s_n^2}}$$

Die Berechnung von Pi beginnt mit dem einfachen Quadrat (n = 4) (Abb. 3.22). Hier gilt nach Pythagoras

$$s_4^2 + s_4^2 = 2^2$$

und man erhält für $s_4$

$$s_4 = \sqrt{2}$$

Der Umfang $U$ ist $4s_4$ ($ns_n$) und gemäß der Formel

$$U = 2r\mathrm{Pi}$$

und dem Wert 1 für $r$ erhält man

$$\mathrm{Pi} = U/2.$$

Approximiert man also den Umfang eines Kreises durch den Umfang des in ihn eingeschriebenen Quadrates, so ergibt sich für Pi der Wert $\mathrm{Pi}_4 = 2{,}828$.

Jetzt kann man nacheinander die Größen $s_8$, $s_{16}$ usw. bestimmen und einsetzen. Man erhält nacheinander für Pi:

$$\mathrm{Pi}_8 = 3{,}016\ldots$$
$$\mathrm{Pi}_{16} = 3{,}121\ldots$$
$$\mathrm{Pi}_{32} = 3{,}136\ldots$$

Der Trick mit den Vielecken wurde seitdem immer weiter ausgereizt. Der Mathematiker *Ludolph van Ceulen* (1540–1610) berechnete hiermit im Jahre 1610 die Zahl Pi auf 35 Dezimalstellen. Zur damaligen Zeit war dies eine derartig beeindruckende Leistung, dass die Zahl Pi seitdem auch als „Ludolph'sche Zahl" bekannt ist. Van Ceulen selbst ließ sich diese 35 Stellen auf seinem Grabstein eingravieren.

Auch vielen anderen europäischen Kulturen war die Zahl Pi bekannt. Der chinesische Mathematiker *Hui* berechnete Pi auf den Wert 3,14159. Hierzu approximierte er einen Kreis mit regulären Polygonen mit $3 \times 2^n$ Seiten. Er hatte somit ein iteratives Verfahren, mit dem man Pi beliebig genau approximieren konnte. Der indische Mathematiker *Ãryabhata* schrieb 498 ein Mathematiklehrbuch, in dem er das mathematische Wissen seiner Zeit in Versen niederschrieb. Vers 10 lautet:

> Einhundertvier mal acht, dazu zweiundsechzigtausend, ist näherungsweise der Kreisumfang für den Durchmesser eines Zehntausenderpaares.

Dies ergibt einen Wert für Pi von 62.832/20.000.

Erstmals wurde „Pi" als Bezeichnung für die Kreiszahl von dem Mathematiker *William Jones* (1675–1749) verwendet. Er führte sie ein, weil die griechischen Worte für Randbereich (*periferia*) und Umfang (*perimeter*) mit diesem Buchstaben beginnen.

*Johann Heinrich Lambert* (1728–1777) bewies im Jahre 1761 die Irrationalität der Zahl Pi, d. h. dass sich Pi nicht als Verhältnis (Bruch) von ganzen Zahlen darstellen lässt. Er machte damit das Bestreben vieler damaliger Mathematiker zunichte, die der Meinung waren, dass für Pi eine relativ einfache Darstellung als Bruch existieren würde, die man nur noch finden müsse. Lambert vermutete auch bereits, dass Pi sich auch nicht mit einer algebraischen Gleichung (mit rationalem Koeffizienten) darstellen lässt, also transzendent ist. Der Beweis dieser Vermutung gelang erst *Ferdinand von Lindemann* (1852–1939) Ende des 19. Jahrhunderts.

Die Jagd nach der Zahl Pi geht jedoch bis heute weiter. Einen weiteren Rekord stellte im Jahre 1875 der Engländer *William Shanks* (1812–1882) mit 707 Dezimalstellen auf, die er alle mit der Hand berechnete. Die erste vollautomatisierte Berechnung erfolgte durch den Sohn von Charles Babbage im Jahre 1910 auf der zum Teil von ihm fertiggestellten Analytic Engine. *John W. Wrench* durchbrach mit Computer-Unterstützung im Jahre 1949 erstmals die 1000er-Grenze und berechnete im Jahre 1961 die Zahl Pi auf 100.265 Stellen. Seit den 1980er-Jahren stellte vor allem der Japaner *Yasumasa*

*Kanada* immer neue Rekorde auf. Zurzeit hat er die Zahl Pi auf über 1241 Billionen Nachkommastellen errechnet.

Für derartige aufwendige Berechnungen der Zahl Pi gibt es inzwischen auch brauchbare Anwendungen. Derartige Berechnungen sind hervorragend zum Testen von Computern geeignet. Selbst kleinste Fehler führen unweigerlich zu falschen Zahlenreihen.

Die Kreiszahl Pi wurde auch von der NASA in den Weltraum gesendet, da die Wissenschaftler davon ausgehen, dass intelligente außerirdische Lebewesen ihre Bedeutung kennen.

Neben den rein wissenschaftlichen Aspekten gibt es über die Zahl Pi auch viel Amüsantes zu berichten:

Der Chinese *Chao Lu* wird im Guiness-Buch der Rekorde als offizieller Weltrekordhalter im Aufzählen der Zahl Pi genannt. Am 20. November 2005 sagte er in 24 Stunden und vier Minuten 67.890 Stellen fehlerfrei auf.

Den aktuellen Weltrekord im Pi-Vorlesen hält das Mathematikum in Gießen mit 108.000 Dezimalstellen, vorgelesen von 100 Lesern.

Die wohl absurdeste Geschichte um die Zahl Pi kommt aus den USA. Dort machte im Jahre 1897 der Arzt und Hobby-Mathematiker *Edward J. Goodwin* den Behörden des Bundesstaates Indiana den Vorschlag, den Wert der Kreiszahl Pi ganz einfach per Gesetz festzulegen. Hierfür führte er eine Reihe von – für die damaligen Politiker sehr einsichtigen – Gründen auf. Der von ihm festgelegte Wert der Zahl Pi sei für die Behörden weiterhin frei nutzbar; für alle anderen Nutzungen sollte an den Staat eine Gebühr entrichtet werden. Alle weiteren kostenträchtigen Versuche, die Zahl Pi zu bestimmen, könnten in Zukunft entfallen. Nebenbei bot Goodwin dem Staat auch die kostenlose Nutzung seiner Erkenntnisse über die Quadratur des Kreises an. Was sich wie ein schlechter Witz anhört, wurde jedoch vom Repräsentantenhaus des Bundeslandes Indiana am 5. Februar 1897 (67 zu 0 Stimmen) einstimmig angenommen. Erst der Mathematikprofessor *Clarence Abiathar Waldo*, der sich zufällig zur gleichen Zeit im Repräsentantenhaus befand, konnte die amerikanischen Behörden von diesem Schildbürgerstreich abhalten und ihnen den ganzen Wahnwitz ihres Vorhabens vor Augen führen. Der Senat brachte kurz darauf dieses Gesetz zu Fall und die örtliche Presse schrieb: *Der Senat könne genauso gut per Gesetz dem Wasser befehlen, bergauf zu fließen*. So konnte in allerletzter Sekunde doch noch verhindert werden, dass die „Indiana Pi Bill" im ganzen Bundesstaat Indiana zum Gesetz und die USA zum Gespött der ganzen Welt wurden.

Aber dies war nicht der einzige Angriff, der in Amerika auf die Zahl Pi unternommen wurde. In Huntsville/Alabama erschien rund hundert Jahre später im vierten Heft des Jahres 1998 des Wissenschaftsjournals *New Mexicans for Science and Reason Reports (NMSR)* ein Artikel, der mit den Sätzen begann:

> NASA-Ingenieure und Mathematiker sind in dieser Stadt der Hochtechnologie sprachlos und erzürnt über die Legislative des Staates Alabama, die mit knapper Mehrheit gestern ein Gesetz verabschiedet hat, das pi, eine mathematische Konstante, die in der Luftfahrtindustrie angewendet wird, neu definiert. Die Gesetzesvorlage für die Änderung des Wertes von pi auf exakt 3 wurde […] von Leonard Lee Lawson eingebracht und bekam nach einer Briefkampagne von Mitgliedern der Solomon Society […] schnell Unterstützung. Gouverneur Guy Hunt sagte, er würde am Mittwoch das Gesetz unterschreiben.

Im weiteren Text des Artikels wurden eine Reihe Gegner und Befürworter des Gesetzes zitiert. Die Mathematikerin Kim Johanson von der University of Alabama äußerte sich sehr kritisch und meinte: *Pi ist mathematisch definiert als 3,14159 plus so viel weitere Stellen hinter dem Komma, wie man Zeit hat auszurechnen*. Marshall Bergman, ein Manager der Organisation für ballistische Raketenabwehr bemerkte: *Es wäre nett gewesen, wenn sie jemanden konsultiert hätten, der pi wirklich benutzt.* Dagegen führte der Techniker Russell Humbleys vom Marshall-Raumfahrt-Zentrum aus: *Pi ist nur ein Artefakt der euklidischen Geometrie. […] Es gibt andere Geometrien und Pi ist unterschiedlich in jeder von ihnen […].* Der Gesetzesinitiator Lawson setzte den Kritikern Aussagen aus der Bibel entgegen. Er berief sich auf das erste Buch der Könige, Kap. 7, Vers 23, wo über das Altarbecken im Tempel des Königs Salomo zu lesen ist: *[…] Hierauf fertigte er ein kreisrundes Becken an, das von einem Rand zum andern 10 Ellen maß […] und eine Schnur von 30 Ellen umspannte es*. Außerdem stellte Lawson die Nützlichkeit von Zahlen infrage, die nicht genau berechnet werden können. Er vermutete sogar, dass das Nichtwissen der exakten Antwort die Selbstachtung von Studenten beeinträchtigen könnte. Abschließend sagte er: *Wir müssen zu einigen Absolutheiten in unserer Gesellschaft zurückkehren,* und ferner: *Wir wollen nur Pi zu seinem traditionellen Wert zurückführen, welcher laut Bibel drei ist.*

Dem Bericht zufolge glaubten Erziehungsexperten, dass die neue Gesetzgebung die Art des Mathematikunterrichts in Alabama wesentlich verändern könnte. Lily Ponja, ein Mitglied der staatlichen Schulbehörde, wurde zitiert mit: *[…] der Wert von Pi ist nur eine Theorie und wir sollten offen sein für alle Interpretationen.* Sie erwartete, dass Studenten zukünftig die Freiheit haben würden, für sich selbst zu entscheiden, welchen Wert Pi haben soll.

Die Meldung, dass in Alabama der Wert von Pi gesetzlich geändert worden sei, lief wie ein Lauffeuer um die ganze Welt. Dank des damals schon weitverzweigten Internets erreichte die Nachricht in kürzester Zeit weltweit die Wissenschaftler und löste eine gewaltige Protestwelle aus, die vor allem das Parlament und den Gouverneur von Alabama traf.

Die Gemüter beruhigten sich erst wieder, als die Herausgeber des NMSR-Reports in der Maiausgabe ihres Journals darauf hinwiesen, dass es sich bei dem Artikel um einen Aprilscherz gehandelt hatte, der von dem Physiker Mark Boslough aufgrund der einhundert Jahre zurückliegenden Gesetzesinitiative in Alabama verfasst worden war.

Aber bis heute beherbergt die Kreiszahl Pi noch Geheimnisse. Es stellt sich die Frage, ob nicht Goethes Lebenswerk, die gesamten Werke Shakespeares, ja sogar alle jemals veröffentlichten Bücher und Schriftstücke in der Zahl Pi enthalten sind. Die Lösung auf diese Frage liegt in der unendlichen Anzahl von Nachkommastellen, die die Zahl Pi besitzt. Codiert man alle Buchstaben des Alphabets mit Zahlen, so muss ganz einfach auch irgendwann einmal in den Nachfolgestellen von Pi die Zahlenfolge der codierten Werke von Goethe und Shakespeare in richtiger Reihenfolge vorkommen. Dies ist jedoch nur dann der Fall, wenn die Nachfolgestellen von Pi keinerlei wiederkehrende Muster enthalten, also wirklich rein zufällig sind, d. h. dass Pi mathematisch gesehen eine „normale Zahl“ ist. Diese Frage konnte bis heute – trotz der umfangreichen Berechnungen – noch nicht gelöst werden.

### 3.4.4 Logarithmen

Das Wort Logarithmus (Mehrzahl: *Logarithmen)* stammt von den griechischen Wörtern *lógos* (Verständnis, Lehre, Verhältnis) und *arithmós* (Zahl) ab. Logarithmen sind somit „Verhältniszahlen“. Es gilt nämlich: Genau dann steht a zu b im selben Verhältnis wie c zu d (als Formel: a:b = c:d), wenn die Unterschiede ihrer Logarithmen übereinstimmen (als Formel: log(a) – log(b) = log(c) – log(d)).

Formal sind Logarithmen alle Lösungen für x, die für vorgegebene feste Größen *a* und *b* der Gleichung

$$a = b^x$$

genügen.

Je nachdem, über welchem Zahlenbereich und für welche Größen diese Gleichung betrachtet wird, hat sie keine, mehrere oder genau eine Lösung. Ist die Lösung eindeutig, dann wird sie als *der Logarithmus von a zur Basis b* bezeichnet und man schreibt

$$x = \log_b a.$$

Beispielsweise ist 4 der (reelle) Logarithmus von 16 zur Basis 2, da $2^4 = 16$ gilt.

Falls man die obige Gleichung nach *b* auflösen möchte anstatt nach *x*, so ist die Lösung gegeben durch die *x*-te Wurzel aus *a*. Wie man sieht, besteht ein enger Zusammenhang zwischen Potenzen, Logarithmen und Wurzeln.

Für die Entwicklung der Rechengeräte ist die historische Bedeutung der Logarithmen dadurch gekennzeichnet, dass man auf ihrer Basis Multiplikationen auf Additionen und Divisionen auf Subtraktionen zurückführen kann. Für die Multiplikation *xy* der beiden Zahlen *x* und *y* gilt

$$\log_b(xy) = \log_b(x) + \log_b(y)$$

und für ihre Division gilt

$$\log_b(x/y) = \log_b(x) - \log_b(y).$$

Besitzt man Rechengeräte, die Additionen und Subtraktionen durchführen können, so kann man mit ihnen auf der Basis der logarithmischen Darstellung von Zahlen auch Multiplikationen und Divisionen durchführen.

Die Babylonier hatten bereits um 1600 v. Chr. Tafeln der Potenzen bestimmter Basen. In Euklids (365–300 v. Chr.) *Elemente*, Buch IX, Satz 11, findet man eine Aussage, die zur Regel $a^m$ x $a^n$ = $a^{m+n}$ für positive ganze Exponenten äquivalent ist:

> Wenn von Zahlen, die von der Einheit ab in festem Verhältnis stehen, irgend zwei miteinander multipliziert werden, so wird auch der beiden Faktoren ebenso weit abstehen, wie der kleinere von der Einheit in der Zahlenfolge absteht; von der Einheit aber wird es um eine Stelle weniger weit abstehen als die Abstandszahlen beider Faktoren von der Einheit aus zusammen betragen.

Unter der Abstandszahl verstand Euklid die Nummer des entsprechenden Folgegliedes. Da seine Folgen stets mit $1 = a^0$ begannen, subtrahierte er nach der Multiplikation eine 1, um dann die entsprechend richtige Nummer zu erhalten. Euklid kannte jedoch noch keine Potenzschreibweise und konnte daher die Logarithmen nicht entdecken.

Indische Mathematiker im 2. Jh. v. Chr. haben als erste Logarithmen erwähnt. Schon in der Antike nutzten sie Logarithmen zur Basis der Zahl Zwei für ihre Berechnungen. Im 8. Jh. beschrieb der indische Mathematiker *Virasena* Logarithmen zur Basis Drei und Vier. Ab dem 13. Jh. wurden von arabischen Mathematikern ganze logarithmische Tabellenwerke erstellt.

Die Entwicklung der Erkenntnisse über Algorithmen verlief dagegen im Abendland viel langsamer. *Diophant von Alexandria* führte als einer der Ersten spezielle Potenzbezeichnungen ein. Für die Unbekannte („Basis“) führte er ein spezielles Zeichen ein, das griechische ξ (xi, vielleicht als Abkürzung für das griechische *xenos* = fremd), und gab den Potenzen von ξ bis einschließlich der sechsten Potenz eigene Namen und Symbole:

Diophantus von Alexandria: Arithmetica

| | |
|---|---|
| 1 | Einheit |
| a | Zahl |
| $a^2$ | Quadrat |
| $a^3$ | Kubik |
| $a^4$ | Quadrat × Quadrat |
| $a^5$ | Quadrat × Kubik |
| $a^6$ | Kubik × Kubik |

*Jordanus Nemorius* verwendete um 1200 die Regel von Archimedes bei der Multiplikation von Sexagesimalbrüchen, aber auch er kannte noch keine Potenzen. Der französische Mathematiker *Nicole Oresme* (1323(?)–1382) kannte die Regel von Archimedes ebenfalls. Bei ihm kamen auch zum ersten Mal gebrochene Exponenten vor. Die Vorstellungen von Oresme waren der Mathematik seiner Zeit jedoch so weit voraus, dass sie auf seine Zeitgenossen kaum einen Einfluss ausübten, sondern seine Veröffentlichungen gerieten schnell wieder in Vergessenheit. In dem Werk „Summa" von *Luca Pacinoli* (1445(?)–1517) findet man ebenfalls Wortbezeichnungen für die Potenzen, ähnlich denjenigen von Diophantus von Alexandria. Der Arzt und Mathematiker *Nicolas Chuquet* (1445(?)–1488(?)) beschreibt in seinem nur handschriftlich überlieferten Werk *Triporty en la science des nombres* Doppelfolgen von übereinander stehenden Zahlen der Art

$$\begin{array}{ccccc} 0 & 1 & 2 & 3 & \ldots \\ 1 & a^1 & a^2 & a^3 & \ldots \end{array}$$

und formulierte den folgenden Satz:

> Das Produkt zweier Glieder der internen Folge ist ein Glied derselben Folge und zwar ist sein Nenner gleich der Summe der Nenner der Faktoren.

Unter dem Begriff „Nenner" verstand er hierbei die Glieder der oberen Folge. Ähnliche Beobachtungen findet man auch bei einigen der damals bekannten Rechenmeister. So bemerkt der Österreicher *Christoff Rudolff* (1500(?)–1545(?)) in einem der ersten gedruckten Werke, gedruckt 1525 in Straßburg, in dem Dezimalbrüche und unser Wurzelzeichen verwendet werden:

> Man findet das Produkt zweier Potenzen, wenn die Summe der Zahlen, die über den zu multiplizierenden Potenzen stehen, gebildet wird. Entsprechend wird bei der Division der Quotient durch Substraktion der darüberstehenden Zahlen gefunden.

Das Prinzip des logarithmischen Rechnens wurde zuerst von dem *Pfarrer Michael Stifel* (1487(?)–1567) entwickelt, welcher die Gedanken Rudolffs aufgriff. Stifel kam aus begüterten Verhältnissen. Ohne theologische Vorbildung trat er in das Augustinerkloster in Esslingen ein, wo er 1511 die Priesterweihe erhielt. Als er im Jahre 1522 seine Schrift *Von der christfermigen rechtgegründeten leer Doctoris Martini Lutheri* veröffentlichte, kam es im Kloster zu Spannungen. Nach seiner Kontroverse mit Thomas Murner war er nicht mehr sicher und flüchtete zu Hartmut von Kronberg nach Frankfurt am Main.

Einer seiner Förderer war Martin Luther Er brachte ihn als evangelischen Prediger beim Grafen Peter Ernst I. von Mansfeld in Mansfeld unter. Dort begann er mit seinen mathematischen Studien, wobei er vor allem die Mathematik und die Bibel zusammenbringen wollte. Im Jahre 1524 wurde Stifel auf Empfehlung Luthers von den Jörgern auf Schloss Tollet bei Grieskirchen (Oberösterreich) berufen. Nach Verschärfung der Lage (Tod von Leonhard Kaiser) kehrte Stifel 1527 wieder nach Wittenberg zurück. Stifel war der erste evangelische Prediger in Österreich. Als er wieder nach Wittenberg kam, verschaffte ihm Luther das Pfarramt in Lochau, führte ihn dort ein und traute ihn mit der Witwe seines Vorgängers Günther.

Durch das geruhsame Leben, das er nun führte, konnte er sich wieder seinen mathematischen Berechnungen widmen. Stifel befasste sich anfangs mit der sogenannten „Wortrechnung". Damit versuchte er, Texte und Buchstaben der Bibel mathematisch zu deuten und kam so in seiner Schrift *Vom End der Welt,* erschienen in Wittenberg 1532, zu dem Ergebnis, dass die Welt am 19. Oktober 1533 um 8 Uhr morgens untergehe. Als der Untergang nicht eintraf, wurde er festgenommen und kehrte nach vierwöchiger Haft nicht mehr nach Lochau zurück. Die Redewendung „einen Stiefel rechnen" geht auf diese Affäre zurück.

Im Jahre 1541 schrieb er sich zum Studium der Mathematik in Wittenberg ein. Wieder war es Luther, der für den harmlosen Rechner eintrat, der nur noch nüchterne Rechenbücher herausgab und ab dieser Zeit bis 1547 in Holzdorf, dem heutigen Ortsteil von Jessen (Elster), als Pfarrer tätig war. Im Schmalkaldischen Krieg verjagt, ging er nach Haberstrohm bei Königsberg in Preußen, kehrte aber 1554 zurück. Er verlegte seinen Wohnsitz 1559 nach Jena, wo er der erste Professor für Mathematik an der Universität Jena wurde.

Stifel veröffentlichte die wesentlichsten Ergebnisse seiner Forschungen 1544 in dem Werk *Arithmetica integra*, welches in Nürnberg erschien. In ihm erweiterte er Chuquets Doppelfolge um negative Zahlen:

$$\begin{array}{cccccccccc} \ldots & -4 & -3 & -2 & -1 & 0 & 1 & 3 & 4 & \ldots \\ \ldots & 1/16 & 1/8 & \tfrac{1}{4} & \tfrac{1}{2} & 1 & 2 & 8 & 16 & \ldots \end{array}$$

Die Zahlen der oberen Folge nannte er die *exponentes* d. h. „die Ausgesetzten". Er erkannte, dass eine Multiplikation in der unteren Folge einer Addition in der oberen Folge und eine Division in der unteren Folge einer Subtraktion in der oberen Folge entsprachen. Er entdeckte auch, dass die Multiplikation in der arithmetischen Reihe das Analogon zum Potenzieren bei der geometrischen Reihe war. Stifel bemerkte: *Man könnte über diese wunderbaren Eigenschaften der Zahlen ein neues Buch schreiben. Aber ich muss mich dieser Versuchung entziehen und muss mit geschlossenen Augen von dannen gehen.* Somit hatte er die Theorie des logarithmischen Rechnens erkannt. Was ihm fehlte, waren die entsprechenden Beweise und die Verallgemeinerung.

Als Väter der Logarithmen und des logarithmischen Rechnens gelten daher *John Napier* (1550–1617) und *Jost (Justus) Bürgi* (1552–1632).

Jost Bürgi wurde am 28. Februar 1552 im schweizerischen Lichtenberg geboren. Da er über keine Lateinkenntnisse verfügte, dürfte er keine höhere Schule besucht haben, sondern bei einem Uhrmacher in die Lehre gegangen sein. Es gibt vage Hinweise, dass er für kurze Zeit in Italien verweilte und dass er in Straßburg bei Josias und Isaak Habrecht an der zweiten Straßburger Münsteruhr gearbeitet hat (s. Kap. 5). Seine mathematischen Kenntnisse könnte er ebenfalls in Straßburg vertieft haben, u. a. bei dem Schweizer Mathematiker Konrad Dasypodius. In Straßburg hat er vermutlich auch den Landgrafen Wilhelm IV. von Hessen-Kassel kennengelernt. Dieser stellte ihn als Hofuhrmacher und Astronom ein. Bürgis Bestallung am 25. Juli 1579 in Kassel ist die erste erhaltene Urkunde aus seinem Leben. Erstaunlich ist dabei das Wappen, mit dem der 27-Jährige seine Bestallung siegelte. Gegenüber seinem Familienwappen, einer Eule, hat Bürgi nämlich selbstständig seine Initialen, das halbe Zahnrad als Zeichen seines Berufes und zwei Sterne hinzugefügt, als wolle er seine innerlich bereits erfolgte Hinwendung zur Astronomie programmatisch symbolisieren. Auf der Kasseler Sternwarte, einer der ersten festen Einrichtungen dieser Art in Europa, beobachtete er zusammen mit dem Hofmathematiker Christoph Rothmann die Gestirne im Auftrag des Landgrafen Wilhelm IV. Daneben hatte Bürgi die Messinstrumente zu warten und neue Geräte zu bauen. Zu den von ihm neu entworfenen Geräten zählten Uhren, Modelle des Kosmos (als Vorgänger des Planetariums) und einige seiner berühmten Globen (Abb. 3.23) sowie neue Vermessungsinstrumente wie ein universeller Reduktionszirkel, ein Triangularinstrument und ein Gerät zum perspektivischen Zeichnen.

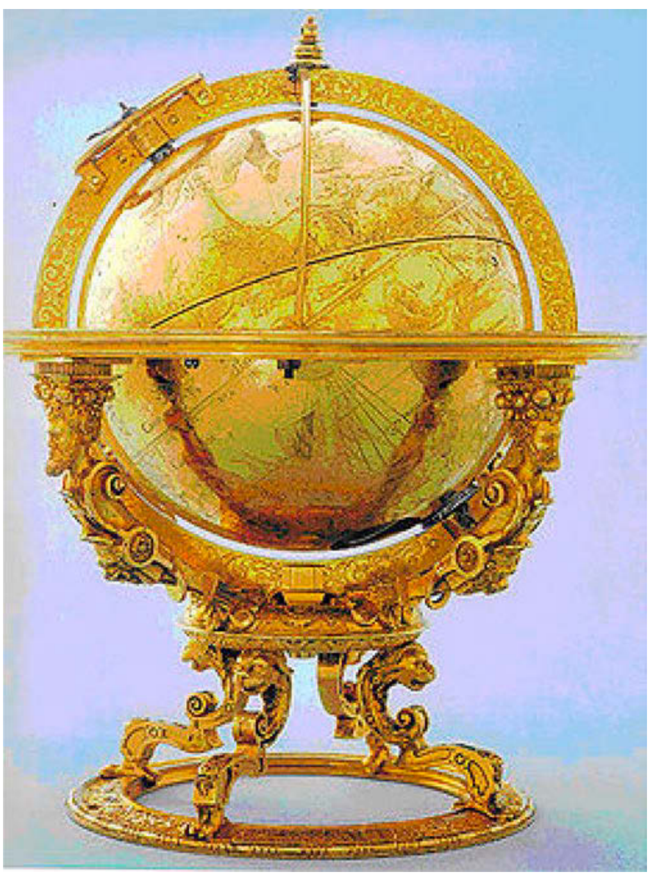


**Abb. 3.23** Mechanischer Himmelsglobus von Bürgi aus dem Jahre 1594

Als Bürgi nach Kassel kam, war dort schon seit etwa 20 Jahren der sehr bedeutende Uhrmacher Ebert Baldewein tätig, der zwei mechanisch sehr bedeutungsvolle Planetenuhren gebaut hatte (die erste, die er 1561 fertigstellte steht heute noch im Astronomisch-Physikalischen Kabinett in Kassel; die zweite, die er 1568 für Kurfürst August von Sachsen konstruierte, steht heute im Mathematisch-Physikalischen Salon Dresden). Die erste ganz selbstständig von Bürgi gebaute Uhr von 1585 weist aber viele Besonderheiten auf, die sie von diesen beiden Vorbildern und den Uhren, die er bei seinen bisherigen Aufenthalten studieren konnte, unterscheiden. Sowohl in der Auslegung des eisernen Werkskörpers, als auch in der Formgebung und schließlich in der Ausführung lässt sich nur wenig Verwandtes mit der sonst damals in Süd- und Mitteldeutschland üblichen Bauweise feststellen. Was besonders auffällt sind der ganz ungewöhnliche Werkskörper und die einmalig großen, besonders zarten eisernen Zahnräder des Gehwerks. Hier zeigt sich eine einmalige, neue, ingenieurmäßige Auffassung des Getriebes: Verringerung der Radmasse, Regelmäßigkeit der Zahnteilung und -form. Sie besticht ferner durch genauestes Zentrieren und Auswuchten. Bürgis Uhren weisen aber noch weitere Besonderheiten auf: Eine Zwischenaufzugsvorrichtung (*remontoir d'égalité*), die es ermöglicht, die ungleiche Antriebswirkung der Feder vollständig auszugleichen. Federtrieb für drei Monate, Kreuzschlag-Hemmung, Sekundenzeiger – man kann seine Planetenuhren mit gutem Gewissen als „Analog-Computer" bezeichnen. Mit seinen Konstruktionen war Bürgi seiner Zeit um 100 bis 150 Jahre voraus.

Im Jahre 1591 wurde Bürgi in die Stadt Kassel eingebürgert, wo er laut Häuserliste von 1605 im Graben ein Haus erwarb. In erster Ehe war er mit der Tochter des David Bramer verheiratet, der Pfarrer in Felsberg bei Kassel war, 1611 heiratete er Catharina Braun. Beide Ehen blieben kinderlos. 1591 nahm er seinen jungen verwaisten Schwager Benjamin Bramer als Pflegesohn zu sich und bildete ihn in Mathematik und Vermessungstechnik aus. Bramers Schriften enthalten viele wertvolle Mitteilungen über Bürgis Arbeiten und Erfindungen.

Im Februar 1592 begehrte Kaiser Rudolf II. in Prag, von seinem Onkel in Kassel einen mechanischen Bürgi-Globus einschließlich Planetenbewegungen vom Erbauer persönlich überbracht zu bekommen. Bürgi konnte am 4. Juli 1592 (nach dem damaligen Kalender) in einer persönlichen Audienz beim Kaiser diesen Planetenglobus übergeben. Leider ging er in den Prager Kriegswirren verloren.

Als er nach Kassel zurückkehrte, war der Astronomen-Landgraf Wilhelm der Weise am 25. August 1592 gestorben, und Bürgi wurde von dessen Sohn und Nachfolger, Moritz dem Gelehrten, am 1. Januar 1593 (alter julianischer Kalender) zu gleichen Bedingungen und in etwa gleichem Wortlaut neu bestallt. In den Jahren 1596 und 1604 reiste Bürgi zu Reparaturarbeiten nochmals nach Prag. Am 23. Dezember 1604 trat er dann auf Wunsch des Kaisers und mit Zustimmung von Landgraf Moritz ganz in kaiserliche Dienste und erhielt auf der Prager Burg eine Werkstatt mit zwei Gehilfen.

Dort arbeitete er auch für den kaiserlichen Astronom Kepler. Ab dem Jahre 1609, mit Unterbrechungen zwischen 1614 und 1617, lebte Bürgi wieder in Kassel. Hier starb er am 31. Januar 1632.

Im Totenbuch der Martinskirche findet sich folgende Eintragung:

> Anno domini 1632. Jost Burgi von Liechsteig aus Schweiz, seiner Kunst ein uhrmacher, aber der Erfahrung [nach] ein berümbter (am kaiserlichen hoff und fürstlichen höffen) astronom und gottselig mann, aetis 81 anno.

Ihm zu Ehren wurde ihm in Lichtensteig ein Denkmal gesetzt.

Bürgi hat neben Himmelsgloben und Uhren auch verschiedenartige interessante neue und verbesserte Instrumententypen gebaut. Bei ihnen und bei speziellen Vermessungsinstrumenten legte er einen Erfindungsreichtum und eine Präzision an den Tag, durch die seine Erzeugnisse den Standard seiner Zeit weit übertrafen.

Er erfand den *Proportionalzirkel* (Abb. 3.24). Der Proportionalzirkel ist ein einfaches mechanisches Rechengerät, um Strecken in einem bestimmten Verhältnis zu teilen, zu vergrößern oder zu verkleinern. Er besteht aus zwei Schenkeln, die durch eine bewegliche Einstellschraube (meistens mit einem Nonius) verbunden sind. Er hat an jedem Ende zwei Spitzen.

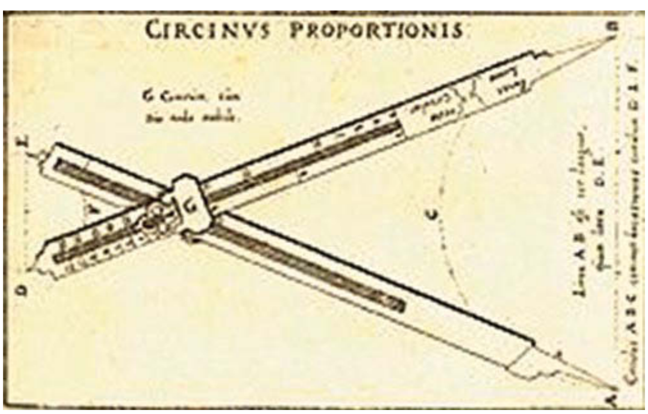



**Abb. 3.24** Proportionalzirkel von Bürgi

Das eine Paar dient zum Abgreifen des Ausgangsmaßes, das zweite zum Abschlagen der zu konstruierenden Größe. Mit präzise gefertigten Geräten kann man eine Genauigkeit von +/− 0,1 mm erreichen.

Für ein weiteres einfaches mechanisches Rechengerät, welches er 1592 entwickelte, erhielt er 1602 ein Patent. Es handelte sich um ein Triangularinstrument oder Entfernungsmesser. Publiziert wurde die Anwendung dieses Instrumentes aber erst 1648 durch seinen Schwager Benjamin Bramer. Mit dem Gerät konnte vor allem die Entfernung zu einem nicht zugänglichen Ort berechnet werden, und es fand daher vorwiegend seine Anwendung im militärischen Bereich, insbesondere bei der Artillerie. Seinen Gebrauch zeigt Abb. 3.25.

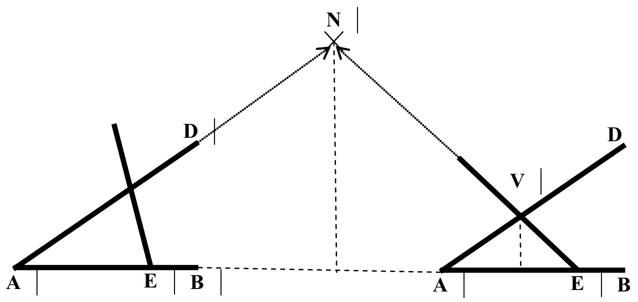
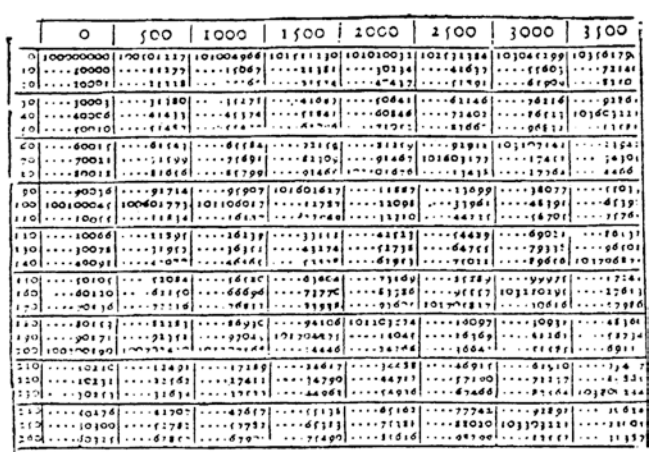



**Abb. 3.25** Arbeitsweise des Triangularinstruments

Berechnet werden sollte die Entfernung zu einem gegnerischen Ort N. An einem gut zugänglichen Ort setzt man das Instrument ein und richtet die bewegliche Seite *D* an der linken Seite nach N; dann transportiert man das Gerät nach rechts derart, dass *AB* in derselben Linie bleibt wie vorher und stellt dann die rechte Seite mit der Bussole (ein Kompass mit Peilvorrichtung) ebenfalls nach N ein, und erhält im Gerät das Dreieck *AEV*, das mit dem großen Dreieck mit N als Scheitel ähnlich ist. Aus der gemessenen Distanz der beiden Beobachtungspunkte ergibt sich sofort die gesuchte Entfernung.

Bürgi muss schon früh mit seinen Untersuchungen zu den Logarithmen begonnen haben, denn der Astronom Peimarus Ursus Dithmarsus schrieb 1588: *Bürgi besitzt ein Mittel, sich seine Rechnungen außerordentlich zu erleichtern.* Auch Kepler kannte die neue Rechentechnik von Bürgi und drängte ihn u. a. bei einem Treffen in Prag, seine Entdeckung endlich zu veröffentlichen. Man weiß, dass Bürgi zwischen 1603 und 1611 sein umfangreich logarithmisches Tafelwerk berechnete, welches jedoch erst im Jahre 1620 unter dem Titel *Arithmetische und Geometrische Progreß-Tabulen* erschien (Abb. 3.26 und Abb. 3.27).



| | 0 | 500 | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 | 3500 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

**Abb. 3.26** Erste Seite von Bürgis Logarithmentafel

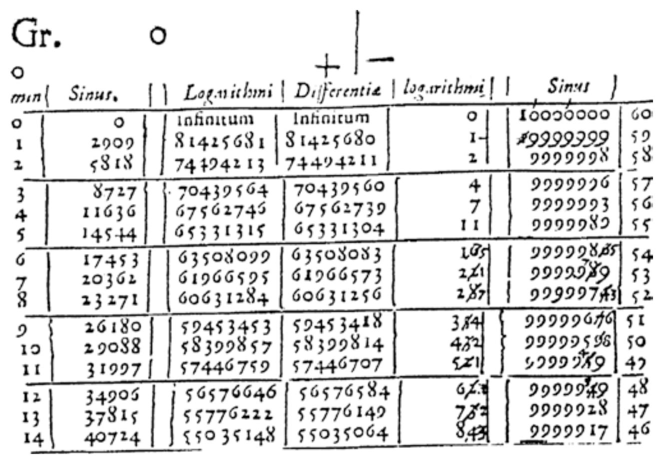

Abb. 3.27 Titelblatt der „Progreß-Tabulen“

Dieses Werk war zweifarbig in Schwarz und Rot gedruckt. Da Bürgi den Begriff Logarithmus nicht kannte, sprach er immer von roten Zahlen, wenn er Logarithmen meinte. Da der Gebrauch des Tafelwerks für die damalige Zeit äußerst gewöhnungsbedürftig war, wurde auf dem Titelblatt mit *sambt gründlichem Unterrich* eine besondere Gebrauchsanleitung angekündigt, die jedoch offensichtlich nie gedruckt wurde. Im Archiv der Mathematik und Physik der Universität Danzig wurde 1856 durch einen Hinweis des Oberlehrers Gronau die Kopie eines handgeschriebenen Exemplars gefunden, welches dann dort gedruckt wurde.

Während des dreißigjährigen Krieges gingen fast alle Exemplare der Progreß-Tabulen verloren. Es existieren heute nur noch vier bekannte Exemplare. Eines befindet sich in der Universitätsbibliothek in Graz, je ein weiteres in den Stadtbibliotheken von Danzig und München und das vierte ist im Besitz des Vatikans. Das Grazer Exemplar enthält neben dem Danziger Exemplar ebenfalls eine handschriftliche Unterrichtsanleitung.

*John Napier* war der älteste Sohn des schottischen Barons Archibald von Merchiston und wurde 1550 in Merchiston Castle in Schottland geboren. Er studierte an der Universität St. Andrews. Nach dem Studium bereiste er Europa und erbte 1572 viele der Ländereien seines Vaters. Als Gutsherr besaß er die finanziellen Mittel, um sich seinen mathematischen und mechanischen Studien zu widmen. So erfand er u. a. mechanische Hilfsmittel für den Ackerbau und die nach ihm benannten Rechenstäbe (s. Kap. 6).

Wahrscheinlich befasste er sich bereits 1594 mit den Logarithmen und erkannte ihre Wirkungsweise. Es gilt als gesichert, dass ihm Stifels *Arithmetica integra* bekannt waren und er hierdurch Anregungen erhielt. Im Jahre 1614 veröffentlichte er in Edinburgh seine siebenstellige Logarithmentafel *Mirifici Logarithmorum canonis descripto* … (Abb. 3.28). Im Titel dieser Tafel taucht erstmalig der Begriff der Logarithmen, der Verhältniszahlen auf. Fünf Jahre später beschrieb er in *Mirifici Logarithmorum canonis constructia* die Prinzipien, nach denen er die Logarithmen berechnet hatte.



Gr. 0

| min | Sinus. | Logarithmi | Differentiæ | logarithmi | Sinus | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | Infinitum | Infinitum | 0 | 10000000 | 60 |
| 1 | 2909 | 81425681 | 81425680 | 1 | 9999999 | 59 |
| 2 | 5818 | 74494213 | 74494211 | 2 | 9999998 | 58 |
| 3 | 8727 | 70439564 | 70439560 | 4 | 9999996 | 57 |
| 4 | 11636 | 67562745 | 67562739 | 7 | 9999993 | 56 |
| 5 | 14544 | 65331315 | 65331304 | 11 | 9999989 | 55 |
| 6 | 17453 | 63508099 | 63508083 | 16 | 9999985 | 54 |
| 7 | 20362 | 61966595 | 61966573 | 22 | 9999979 | 53 |
| 8 | 23271 | 60631284 | 60631256 | 28 | 9999973 | 52 |
| 9 | 26180 | 59453453 | 59453418 | 35 | 9999966 | 51 |
| 10 | 29088 | 58399857 | 58399814 | 43 | 9999959 | 50 |
| 11 | 31997 | 57446759 | 57446707 | 52 | 9999949 | 49 |
| 12 | 34906 | 56576646 | 56576584 | [illegible] | 9999939 | 48 |
| 13 | 37815 | 55776222 | 55776149 | [illegible] | 9999928 | 47 |
| 14 | 40724 | 55035148 | 55035064 | [illegible] | 9999917 | 46 |

Abb. 3.28 Erste Seite aus Mirifici Logarithmorum canonis descripto …

Die Logarithmentafel von Napier ist wie eine logarithmisch trigonometrische Tafel aufgebaut. Für die Numeri wählte er die Sinuswerte der Winkel von 0° bis 90°. Die volle Gradzahl ist oben auf der Seite vermerkt. Die beiden Spalten links und rechts außen enthalten die Minuten, in den nächstinneren Spalten stehen die zugehörigen Sinus- bzw. Cosinuswerte. Die Spalte Logarithmi beinhaltet die Logarithmen der entsprechenden trigonometrischen Funktionen, die Differentia-Spalte enthält den Logarithmus vom Tangens des entsprechenden Winkels.

Napier starb am 3. April 1617 in Merchiston Castle. Ihm zu Ehren wurde die Maßeinheit zur Dämpfung bei elektrischen und akustischen Schwingungen Neper genannt (heute ist allgemein die Einheit Dezibel üblich). Die Edinburgh Napier University trägt ihm zu Ehren seinen Namen. Der Merchiston Campus dieser Universität, der älteste Campus, ist an der Stelle des Geburts- und Sterbeortes von Napier entstanden.

Für die schnelle Verbreitung der Logarithmen als praktisches Hilfsmittel für mathematische Berechnungen setzte sich neben Kepler vor allem *Henry Briggs* (1561–1630) ein. Briggs begann seine Studien an der Universität Cambridge im Jahre 1577. Im Jahre 1581 erwarb er den akademischen Grad eines Bachelor of Arts und 1585 den eines Masters of Arts. Nachdem er 1588 Fellow des St. John’s College wurde, erhielt er nach einer Dozentur am Royal College of Physicians of London im Jahre 1596 einen Ruf auf eine Professur für Geometrie am Grisham College in London. Danach wurde er 1619 am Merton College in Oxford zum Professor für Geometrie berufen.

Nach der Veröffentlichung des Werkes über Logarithmen 1614 durch Napier erkannte Briggs sofort deren große Bedeutung. Er besuchte 1615 Napier in Schottland und konnte ihn davon überzeugen, für die Logarithmen die Basis 10 zugrunde zu legen; d. h. der Zahl 10 den Logarithmus 1 zuzuordnen und die Zahlen mit den Logarithmen wachsen zu lassen. Daher hießen die Logarithmen zur Basis 10 auch Briggsche Logarithmen bzw. dekadische Logarithmen. Von da an beschäftigte sich Briggs intensiv mit der Berechnung von Logarithmen. In weniger als sieben Jahren bestimmte er 30.000 Logarithmen bis auf 14 Dezimalstellen: Im Jahre 1624 erschien von Briggs die *Arithmetica logarithmica*, welche vierzehnstellige dekadische Logarithmen der natürlichen Zahlen von 1 bis 20.000 und von 90.000 bis 100.000 enthielt. Sein besonderer Verdienst liegt in der Entwicklung einer neuen Berechnungsmethode für Logarithmen auf der Basis fortgesetzten Wurzelziehens. Henri Briggs wurde in der Kapelle des Merton College beigesetzt. Sein Grab ist lediglich mit einer schmucklosen Platte bedeckt, die die Inschrift „Henricus Briggius“ trägt.

Die Lücke zwischen 20.000 und 90.000 wurde durch den holländischen Buchhändler *Adriaen Vlacq* (1600(?)–1667(?)) geschlossen. Er veröffentlichte im Jahre 1628 die *Arithmetica logarithmica*, d. h. er verwendete den gleichen Titel, den auch Briggs verwendet hatte. In ihr findet sich eine Tafel der „Briggschen Logarithmen“ für die Zahlen von 1 bis 100.000. Hierbei verkürzte er die bekannten Werte von Briggs um vier Stellen und berechnete die fehlenden Werte auf 10 Stellen.

### 3.4.5 Binärzahlen

Im üblichen Dezimalsystem werden die Ziffern 0 bis 9 verwendet. Das Dualsystem (lat. *dualis = zwei enthaltend*) dagegen, auch Zweiersystem oder Binärsystem genannt, ist ein Zahlensystem, das nur zwei verschiedene Ziffern zur Darstellung von Zahlen benutzt. Oft werden für diese Ziffern die Symbole 0 und 1 verwendet.

Das binäre Zahlensystem wird *Gottfried Wilhelm Leibniz* zugeschrieben. Mit dem Spruch „Gottfried Wilhelm Leibniz erfand in Hannover das binäre Zahlensystem“ auf einer Postkarte wirbt seine Heimatstadt noch heute mit ihrem wohl berühmtesten Einwohner. Anfang des 18. Jh. veröffentlichte er in seinem Artikel *Explication de l'Arithmétique Binaire* (Histoire de l'Academie Royale des Sciences 1703, erschienen in Paris 1705) eine umfassende Dokumentation über das Rechnen im binären Zahlensystem.

Allerdings war er nachweislich nicht der erste, der sich mit dieser Art der Zahlendarstellung beschäftigt hat. Der alt-indische Mathematiker *Pingala* stellte die erste bekannte Beschreibung eines Zahlensystems, bestehend aus zwei Zeichen im 3. Jh. v. Chr. vor. Dieses Zahlensystem kannte allerdings keine Null. Eine frühere Behandlung des Dualsystems und anderer Stellensysteme von *Thomas Harriot* (englischer Mathematiker, Naturphilosoph und Astronom sowie Gründer der *English School of Algebra*; geb. 1560 in Oxford; gest. 2. Juli 1621 in Sion House bei Isleworth, Surrey) wurde von diesem nicht veröffentlicht, sondern fand sich erst in seinem Nachlass. Die erste Veröffentlichung des Dualsystems in Europa findet sich wahrscheinlich in *Mathesis Biceps „vetus et nova“* aus dem Jahre 1670, verfasst vom späteren spanischen Bischof *Juan Caramuel y Lobkowitz* (1606–1682), der auch Zahlen zu anderen Basen behandelt.

Bei der Zahldarstellung im Dualsystem werden die Ziffern $a_i$ wie im gewöhnlich verwendeten Dezimalsystem ohne Trennzeichen hintereinander geschrieben, ihr Stellenwert entspricht allerdings der zur Stelle passenden Zweierpotenz und nicht der Zehnerpotenz. Negative Zahlen werden wie im Dezimalsystem mit einem vorangestellten Minus (−) geschrieben. Eine Zeichenreihe $a_n \ldots a_1 a_0$ repräsentiert somit im binären Zahlensystem die Zahl

$$Z = \sum_{i=0}^{n} a_i \cdot 2^i$$

Die gängigen arithmetischen Grundoperationen Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division lassen sich mit Dualzahlen vollkommen analog zu den Grundoperationen im Dezimalsystem durchführen. Beim Dezimalsystem erfolgt ein Übertrag, wenn „rechnerisch“ eine Zehn erreicht wird, beim Binärsystem erfolgt der Übertrag beim Entstehen einer Zwei. Entsprechend erhält man folgende Rechenregeln:

#### Addition

Die Rechenregeln lauten

$$0+0=0$$
$$0+1=1$$
$$1+0=1$$
$$1+1=1,\ \text{Ü}1.$$

Entsprechend ergibt sich als Ergebnis der Addition von 10011010 (≈ 154) und 00110110 (≈ 54) gemäß der Rechnung

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| *Ü* | | *1* | *1* | *1* | *1* | *1* | | |
| E | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

das Ergebnis 11010000 (≈ 208).

### Subtraktion

Die Rechenregeln lauten

$$0-0=0$$
$$0-1=-1$$
$$1-0=1$$
$$1-1=0.$$

Entsprechend ergibt sich als Ergebnis der Subtraktion von 1101110 (≈ 110) und 10111 (≈ 23) gemäß der Rechnung

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| – | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| *Ü* | | *1* | | *1* | *1* | *1* | |
| E | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |

das Ergebnis 1010111 (≈ 87).

Etwas ungewohnt sieht der Fall 0−1 aus. Rechnet man 2−9 im Dezimalsystem, so denkt man sich eine Zehnerstelle vor die Zwei, wodurch sich die Subtraktion 12−9 ergibt, d. h. das Ergebnis ist 3. Die gedachte Zehnerstelle wird dann als Übertrag an die nächste Stelle weitergereicht. Im Dualsystem geschieht das Gleiche. Aus 0−1 wird 10−1. Es kann als Ergebnis also eine 1 hingeschrieben werden und die vor die 0 gedachte Eins muss dann als Übertrag an die nächste Stelle geschrieben und von dieser zusätzlich abgezogen werden.

### Multiplikation

Die Rechenregeln lauten

$$0\times 0=0$$
$$0\times 1=0$$
$$1\times 0=0$$
$$1\times 1=1.$$

Das folgende Beispiel, in dem die Zahlen 1100 (≈ 12) und 1100 (≈ 12) multipliziert werden, zeigt die Vorgehensweise.

Zuerst schreibt man die Aufgabenstellung in eine Zeile und zieht wie üblich einen Strich darunter.

```
1100×1100
---------
```

Der zweite Faktor wird nun von links nach rechts abgearbeitet. Die erste Ziffer des zweiten Faktors ist eine Eins, und deshalb schreibt man den ersten Faktor rechtsbündig unter diese Eins.

```
1100×1100
---------
  1100
```

Auch für alle weiteren Einsen des zweiten Faktors schreibt man den ersten Faktor rechtsbündig darunter.

```
1100×1100
---------
  1100
   1100
    0000
     0000
```

Die so gewonnenen Zahlen werden jetzt von rechts nach links addiert und man erhält das Ergebnis der Multiplikation.

```
1100×1100
---------
  1100
   1100
    0000
     0000
---------
 10010000 (»144)
```

### Division

Die Rechenregeln lauten hier

$$0 / 0 = \text{nicht definiert}$$
$$0 / 1 = 0$$
$$1 / 0 = \text{nicht definiert}$$
$$1 / 1 = 1$$

und mit ihnen wird die Division in der üblichen Weise durchgeführt.

Ihre besondere Bedeutung erhielt die Binärdarstellung von Zahlen mit der Einführung elektrischer und elektronischer Rechenmaschinen. Die ersten Maschinen arbeiteten auf der Basis von elektromechanischen Relais. Diese können zwei Zustände annehmen: offen und geschlossen. Somit mussten alle Informationen und somit auch die Zahlen intern durch diese beiden Zustände repräsentiert werden. Üblicherweise repräsentierte „Relais geschlossen", d. h. „Strom an", die 1, und „Relais offen", d. h. „Strom aus", die 0. Später beim Übergang zu Röhren, Transistoren und integrierten Schaltungen wurde diese Schaltungstechnik beibehalten.

Durch die kleine Basis Zwei ergibt sich jedoch der Nachteil, dass Zahlen im Verhältnis zu Dezimalzahlen relativ lang und schwer zu überschauen sind. Dies hat zur Verbreitung des Hexadezimalsystems geführt, welches die Basis 16 besitzt. Da 16 eine Potenz von 2 ist, ist es besonders einfach möglich, Dualzahlen in Hexadezimalzahlen umzurechnen. Dazu werden je vier Stellen der Dualzahl durch eine Hexadezimalstelle ersetzt, was auch die Länge der dargestellten Zahlen um den Faktor vier verringert. Die Hexadezimalziffern mit dem Wert

0–15 werden in der Regel durch die Ziffernsymbole 0–9 und die Großbuchstaben A–F (für die Werte 10–15) dargestellt.

Um darzustellen, welche Zahl durch eine Ziffernfolge dargestellt wird, d. h. in welchem Zahlensystem sie dargestellt ist, wird üblicherweise die Basis tiefgestellt angehängt. So repräsentiert die Ziffernfolge $(1101)_2$ die Zahl 13 und die Ziffernfolge $(1101)_{10}$ bzw. $(1101)_{dez}$ die Zahl Tausendeinhundertundeins. Entsprechend bezeichnet ein tiefgestelltes *oct* das Stellenwertsystem zur Basis 8 und ein tiefgestelltes *hex* die Hexadezimalzahlen.

An dieser Stelle sei noch eine alte Informatiker-Anekdote zitiert:

> Warum können amerikanische Informatiker Weihnachten (wird dort erst am 25. Dezember gefeiert) nicht von Halloween (31. Oktober) unterscheiden?
>
> Antwort: Weil 31(oct) = 25(dez)

# 4 Astronomie und Navigation

## 4.1 Steinerne Monumentalspeicher

### 4.1.1 Die Bedeutung und Entstehung astronomischer Datenspeicher

Schon in der Frühzeit sahen sich die Menschen mit vielen Phänomenen der Natur konfrontiert: die Wechsel von Tag und Nacht, die Bewegungen und Phasen des Mondes, die Bewegungen der Sonne und der Gestirne sowie die jahreszeitlich bedingten Klimaschwankungen. Sie erkannten bald, dass zwischen diesen Phänomenen direkte Zusammenhänge bestehen. Zudem waren Kenntnisse über diese Phänomene für das tägliche Leben von elementarer Bedeutung. Die Jägerkulturen mussten die klimabedingten Tierwanderungen voraussagen und nach der Verfolgung eines Tiers in der Nacht wieder zum Basislager zurückfinden können. Für die ersten Bauern wurde die genaue Bestimmung der Jahreszeiten für Bodenvorbereitung, Aussaat, Bearbeitung und Ernte überlebensnotwendig, und zwar unabhängig von den kurzfristigen witterungsbedingten Launen des Wetters. Die Kenntnisse der Zeiten der Vollmondnächte waren wichtig für die Jagd auf nachtaktive Tiere und die Planung von Nachtmärschen. Daher war der Kalender als Begleiterscheinung des beginnenden Ackerbaus bei allen Völkern anzutreffen, wenn auch in unterschiedlicher Vollendung. Mit der Verstärkung des Handels und der damit verbundenen Entstehung von Handelsrouten waren darüber hinaus gute Kenntnisse in der Ortsbestimmung und der Navigation, sowohl zu Lande als auch zu Wasser, notwendig.

Diejenigen, die über das entsprechende astronomische Wissen verfügten, sagten wichtige Termine voraus, wie z. B. die Wintersonnenwende, die das Erstarken der wärmespendenden Sonne einleitete und entsprechend feierlich begangen wurde. Sie konnten auch „schreckliche" Ereignisse wie Sonnen- und Mondfinsternisse vorhersagen und damit die Menschen beeinflussen. War früher der Größte und Stärkste der Anführer, waren es nun die Priester mit ihrem astronomischen Wissen, die wesentlich den Alltag bestimmten.

Um diese Kenntnisse zu gewinnen, waren Beobachtungen und Messungen über lange Zeiträume notwendig. Die Ergebnisse der Beobachtungen und Messungen mussten gespeichert werden, um den Phänomenen am Himmel auf den Grund zu kommen. Man maß Bewegungen der Gestirne und erkannte, dass die Zyklen der Natur bestimmten Gesetzen gehorchten (z. B. Wachstum im Frühling und Verfall im Herbst) und immer wiederkehrten. Diese Beobachtungen wurden in direkten Zusammenhang mit dem Stand der Sonne gebracht. Schon zur Zeit der Nomaden bemerkte man, dass die Planeten sich um die Sonne drehten, unregelmäßige Bewegungen machten, langsamer wurden oder sich sogar rückwärts bewegten. Waren die Daten über einen längeren Zeitraum erfasst und ausgewertet, war man in der Lage, Instrumente zu bauen, mit denen man gewisse Ereignisse vorausberechnen konnte. Zur Konstruktion der Beobachtungsgeräte, der Einrichtungen zur Speicherung von Daten sowie der Einrichtungen zur Vorausberechnung des Eintritts von speziellen Ereignissen verwendete man diejenigen Materialien, die den Menschen der Frühzeit zur Verfügung standen: Holz, Stein und später Metall. Von den Einrichtungen aus Holz sind praktisch keine erhalten geblieben. Was bis heute erhalten blieb, sind die, teils monumentalen, Steinkonstruktionen. Obwohl die Wissenschaft bisher nur wenige Informationen sicher entschlüsseln konnte, ist davon auszugehen, dass in diesen Bauten eine enorme Anzahl von astronomischen Informationen gespeichert war.

Am Tag der Tag- und Nachtgleiche (21. März und 21. September) geht die Sonne genau im Osten auf und im Westen unter. Nach dem 21. März wandert die Position des Sonnenaufgangs und -untergangs langsam nach Norden, wodurch die Tage länger und die Nächte kürzer werden. Am 21. Juni, dem Tag der Sommersonnenwende, hat sie ihre nördlichste Position erreicht. Danach beginnt die Position des Sonnenaufgangs und -untergangs wieder nach Süden zu wandern (Abb. 4.1).

W.-M. Lippe, *Die Geschichte der Rechenautomaten*,
DOI 10.1007/978-3-642-36191-3_4, 

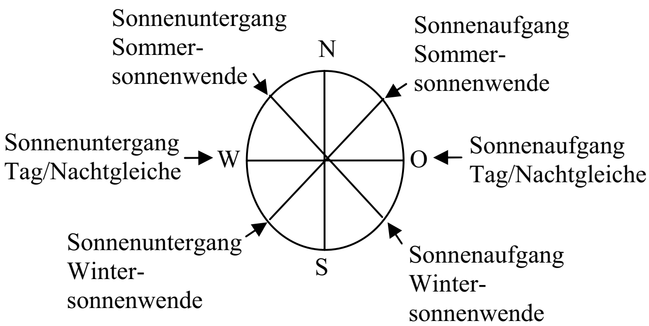



**Abb. 4.1** Die Positionen der Sonne und die zugehörigen Termine

Am 21. September hat sie wieder die gleiche Position wie am 21. März erreicht. Danach wandert die Position des Sonnenaufgangs und -untergangs weiter nach Süden, bis am 21. Dezember, dem Tag der Wintersonnenwende, die südlichste Position erreicht ist. Danach wandert die Sonne wieder nach Norden, bis sie am 21. Juni wieder die Ausgangsposition erreicht. Von da ab beginnt der Jahreszyklus von neuem.

Die Bewegungen des Mondes ähneln denjenigen der Sonne, sie sind nur komplexer. Der Mondzyklus beträgt nicht 12 Monate wie bei der Sonne, sondern nur rund 28 Tage. Neben diesem Zyklus existiert ein weiterer Zyklus von 18,61 Jahren, an dem sich der nördlichste und der südlichste Wendepunkt kontinuierlich verschieben. Dieses Zusammenwirken der beiden Zyklen veranschaulicht Abb. 4.2.

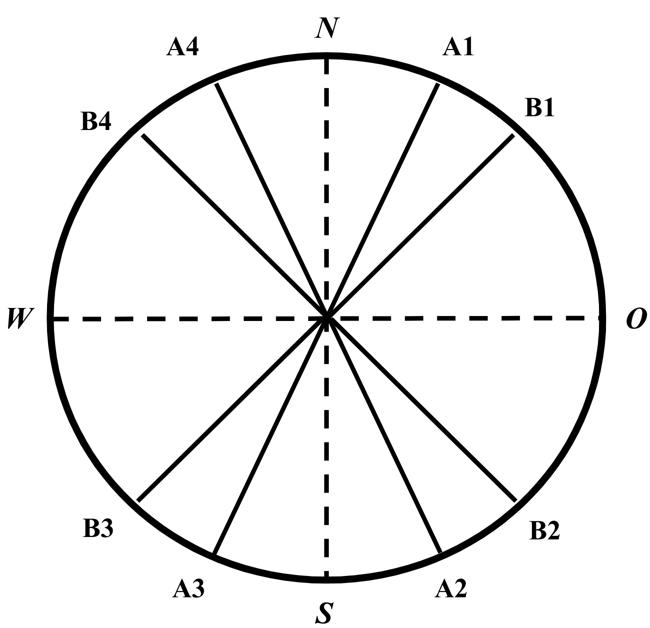



**Abb. 4.2** Die Mondpositionen

In ihr soll A1 die nördlichste Position des Mondaufgangs und A4 die nördlichste Position des Monduntergangs sein. Zwei Wochen später finden Mondaufgang und -untergang bei A2 und A3 statt. In den beiden darauffolgenden Wochen (2. Hälfte des 28-Tage-Zyklus) bewegt sich die Position des Mondaufgangs und -untergangs wieder nach Norden, allerdings nicht ganz bis A1 bzw. A4. Von jetzt ab bewegen sich die Auf- und Untergänge immer mehr auf die B-Positionen zu, bis nach 9,3 Jahren (1. Hälfte des 18,61-Jahre-Zyklus) der kleinste Winkel zwischen zwei Mondaufgängen (B1 und B2) bzw. zwei Monduntergängen (B4 und B3) erreicht wird.

Danach werden die Winkel bei jedem der 28-Tage-Zyklen wieder vergrößert, bis nach 18,61 Jahren wieder die Ausgangsposition erreicht wird. Damit ist die Vorhersage der Positionen des Mondes wesentlich komplexer als bei der Sonne.

Um die Gesetzmäßigkeiten der Himmelskörper zu verstehen, bestimmte Ereignisse vorhersagen zu können bzw. einen Kalender zu erstellen, mussten die Menschen der Vorzeit zwei Probleme lösen: Sie mussten die Positionen der Himmelskörper zu einem bestimmten Datum messen und die Ergebnisse speichern, damit sie anschließend verglichen und ausgewertet werden konnten. Die Zeiträume der Messreihen betrugen hierbei Jahre bzw. zum Teil Jahrzehnte.

Ausgangspunkt für die Messungen war zunächst die Beobachtung, dass Sonnen- und Mondpositionen von speziellen Orten zu gewissen Terminen mit speziellen Landmarken korrespondierten. Die Speicherung der Daten erfolgte durch Visierung über einfache Pfosten oder Holzkonstruktionen. In Dartmoor/England, einem Gebiet mit der höchsten Dichte von frühgeschichtlichen Bauten, lassen sich Reste derartiger Markierungen noch nachweisen. Oft wurde nicht nur der genaue Termin markiert, sondern auch einige Tage vorher bzw. später. Damit konnte man sich rechtzeitig auf besondere Ereignisse vorbereiten bzw. Verschiebungen erkennen. Die Abb. 4.3 zeigt eine derartige Vorrichtung: der linke Pfosten repräsentiert das genaue Datum des Ereignisses, die beiden anderen sind genau auf einen bzw. zwei Tage vorher ausgerichtet.

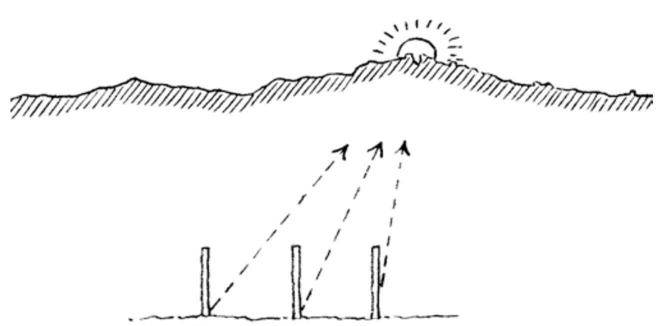


**Abb. 4.3** Anordnung zur Vorhersage eines Sonnenereignisses

Da Holzkonstruktionen nur eine begrenzte Haltbarkeit besitzen, ging man schon früh zu steinernen Konstruktionen und Monumenten über, insbesondere, um gesicherte Daten dauerhaft zu speichern. Es entstanden die sog. Sonnentempel. Die ältesten sind die neolithischen Kreisgrabenanlagen. In der frühen Bronzezeit kommen sie in Form von Monumentalbauten in Europa, Ägypten, Malta und in Indien gleichermaßen vor. Ebenso finden wir sie in Lateinamerika, z. B. in der Mayakultur. Von reinen Observatorien entwickelten sie sich schnell zu kulturellen und religiösen Zentren. In ihrem Umfeld entstanden Bestattungsareale für Würdenträger und sie waren vielbesuchte Wallfahrtsorte.

Ganz wesentlich für die Entwicklung bäuerlicher Hochkulturen war die Entwicklung des Kalenderwesens. Frühe Kalendersysteme dürften ausschließlich durch Beobachtung geregelt worden sein. Mit dem Eintritt eines bestimmten definierten Himmelsereignisses (z. B. des Neumonds oder der Tag-und-Nacht-Gleiche im Frühling) begann ein neuer Zyklus. Diese Methode hatte einen entscheidenden Nachteil: In großen Herrschaftsräumen konnte ein Ereignis an unterschiedlichen Orten eventuell zu unterschiedlichen Zeiten wahrgenommen werden, sodass auch unterschiedliche Daten gezählt wurden (Raum/Zeit-Problematik). Wenn dagegen der Eintritt eines Ereignisses nur an einem bestimmten Ort (z. B. der Hauptstadt oder dem Haupttempel) maßgeblich war, dann konnten weit entfernt gelegene Gebiete oft erst nach Tagen davon unterrichtet werden. Solche Probleme gab es beispielsweise im früheren jüdischen Kalender, wo der Hohepriester über die erste Sichtung der Mondsichel bei Neumond entschied. Durch die langen Informationswege konnte es deshalb passieren, dass ein religiöses Fest in abgelegenen Gebieten am „falschen" Tag gefeiert wurde. Auch war es kurz vor Monatsende nicht möglich, vorherzusagen, welches Datum z. B. in sieben Tagen sein würde.

Wegen der Schwierigkeiten, die Mond- bzw. Sonnenstände exakt zu beobachten, begannen deshalb immer mehr Kulturen, ihre Kalender zu berechnen. Als Basis diente entweder der Umlaufzyklus der Sonne oder der Umlaufzyklus des Mondes, wobei der Mondmonat wegen seiner besseren Bestimmbarkeit wohl die Basis der ersten Kalender war. Die Umlaufzeit des Mondes beträgt 27,322 Tage (siderischer Mondmonat). Daher kannten bereits die altindischen und chinesischen Astronomen 27 verschiedene Positionen. Im altindischen *Rigveda*, einer Textsammlung aus der Zeit zwischen 1700 und 1200 v. Chr., werden diese Positionen „Häuser" genannt. Dieses Mondjahr korreliert nicht mit dem Sonnenjahr, wodurch sich die Jahreszeiten sukzessive verschieben. Um diese jährliche Zeitdifferenz von ca. 11 Tagen zu kompensieren, mussten Schaltzeiten (Zusatztage bzw. -monate) eingefügt werden. Daher ging man später zum Sonnenkalender über. Da aber ein Sonnenjahr keine ganze Anzahl von Tagen lang ist, sondern 365,25 Tage umfasst, kann ein Solarkalender nicht von Jahr zu Jahr die gleiche Anzahl an Tagen besitzen. Diese notwendigen Korrekturen müssen ebenfalls durch das Einfügen von Schalttagen korrigiert werden.

Die Berechnung von Kalendern *(arithmetische Kalender)* setzt umfangreiche astronomische und mathematische Kenntnisse voraus. Schon bei der Entwicklung des frühen ägyptischen astralen Sothiskalenders waren diese Kenntnisse vorhanden. Die Einführung eines ägyptischen Verwaltungskalenders auf 365-Tagesbasis erfolgte spätestens im 3. Jahrtausend v. Chr. Dieser konnte jedoch die Verschiebung der Jahreszeiten nicht verhindern. Die ägyptischen Könige bemängelten selbst den Zustand der Jahreszeitenverschiebung, doch erst Ptolemaios III. unternahm 238 v. Chr. den ersten Versuch der Einführung eines Schalttages. Nach seinem Tod im Jahr 222 v. Chr. wurde diese Regelung aber dahingehend reformiert, dass neben dem Schalttageskalender wieder der alte ägyptische Verwaltungskalender benutzt wurde.

Der siebentägige Wochenzyklus wurde von den Babyloniern entwickelt. Der julianische Kalender, der 45 v. Chr. von Julius Cäsar eingeführt wurde, stützt sich auf die ägyptische Kalenderform unter Ptolemaios III. Er wurde in den meisten Ländern inzwischen durch den gregorianischen Kalender ersetzt.

Kein Volk der Welt allerdings hatte sich mit derartiger Besessenheit der Zeitmessung und dem Kalenderwesen gewidmet wie die Maya. Sie dehnten ihre astronomischen Beobachtungen auch auf andere Himmelskörper aus, insbesondere auf Venus, Jupiter, Merkur und Mars. Auch den Umlauf des Mondes, die sogenannte Lunation, hatten sie bereits höchst genau berechnet und waren imstande, Mond- und Sonnenfinsternisse exakt vorauszusagen. Ergebnis der hochentwickelten Astronomie war ein höchst ungewöhnlicher und komplizierter Kalender, der das lineare Fortschreiten der Zeit mit zyklisch wiederkehrenden Perioden in einzigartiger Weise verband. Entziffert wurde dieses Meisterwerk menschlichen Geistes durch *Ernst W. Förstermann* gegen Ende des 19. Jh. Als Leiter der königlichen Bibliothek von Dresden hatte er Zugang zum Dresdener Codex, der wichtigsten Mayahandschrift, die bereits in der frühen Kolonialzeit an den Spanischen Königshof gelangt und damit der Bücherverbrennung durch Diego de Landa entgangen war.

Die Glaubenswelt der präkolumbianischen Völker war eng mit den Gestirnen und ihren Bahnen verknüpft, allen voran mit der Sonne als Spender von Licht und Leben. Zwar haben die Maya die Zeitmessung in der Neuen Welt revolutioniert und auf einen Stand erhoben, der dem europäischen weit überlegen war, Erfinder des Kalenders aber waren sie nicht. Bereits die Olmeken hatten aus ihren Beobachtungen Methoden zur Quantifizierung des Zeitablaufs abgeleitet. Die Zeitrechnung wurde bei den Mayas durch ein hochentwickeltes Kalendersystem bestimmt. Das Jahr begann, wenn die Sonne am 21. Juni den Zenit überschritt. Obwohl der Kalender der Mayas äußerst komplex war, war er bis zur Einführung des gregorianischen Kalenders der damals genaueste Kalender der Welt. Mittelpunkt der Mayakultur war die Verehrung der Naturgottheiten. Ein sehr wichtiger war z. B. der Himmelsgott. Ein Kennzeichen ihres Glaubens war das völlige Vertrauen, dass die Götter verschiedene Zeiteinheiten kontrollierten und während dieser Perioden sämtliche Handlungen der Menschen steuerten. Ihre Städte bestanden nicht nur aus Häusern, sondern auch aus Zeremonialstätten, wie Pyramiden, Palästen und Wohnanlagen für hohe Priester.

Diese Priester waren aber zugleich auch Astronomen, denn sie stellten eine bemerkenswerte Liste der Sonnenfinsternisse sowie der Bahnperioden von Sonne, Mond und Venus auf.

Als Basis der Zeitrechnung diente ein in Tage aufgeteilter Zeitstrahl, dessen Beginn die Maya auf den 13. August 3114 v. Chr. (nach unserer Zeitrechnung) festgesetzt hatten und der kontinuierlich fortschreitet wie ein unerbittliches Zählwerk. In diese Gerade, die als „lange Zahlung" bezeichnet wird und die man sich als eine ins unendliche führende Zahnstange vorstellen kann, greift gewissermaßen als riesiges Zahnrad der zyklische Kalender des Sonnenjahres mit 365 Tagen, der *ha'ab* genannt wird. Er ist in 18 Monate mit jeweils 20 Tagen unterteilt und einen kurzen Monat mit nur 5 Tagen, der als unglückbringend gilt. Das Sonnenkalenderrad „bewegt" den 260 Tage zählenden, in 20 gleich lange Abschnitte von jeweils 13 Tagen untergliederten Ritualkalender *tzolk'in.*

Nicht genug damit, dreht sich mit diesem ein kleines Rad mit 13 Tageskoeffizienten. Durch diese eigenartige, wie ein Getriebe angelegte Kombination unterschiedlich langer zyklischer Kalender, ergibt sich die gleiche Tageskombination nur alle 18.980 Tage oder 52 Jahre. Dann beginnt wieder eine neue Kalenderrunde, die oftmals mit dem Bau eines Heiligtums oder der Überbauung einer bereits bestehenden Pyramide eingeleitet wurde. Um nun auch diese Zyklen von 52 Jahren eindeutig voneinander abgrenzen zu können, hatten die Maya den Zeitstrahl der „langen Zählung" nicht nur in Tage untergliedert, sondern überdies in größere Zeitabschnitte: 20 Tage *(k'in)* bildeten einen Monat *(winal),* 18 Monate ein Jahr zu 360 Tagen *(tun),* 20 Jahre ein *k'atun,* 20 *k'atun* ein *bak'tun,* also 400 Jahre zu 360 Tagen.

Aus der mathematischen Aufteilung wird bereits ersichtlich, dass die Maya sich im Gegensatz zum Dezimalsystem der abendländischen Kultur des Zwanziger-Systems bedienten, wodurch die Schreibweise für uns verwirrend erscheint. So ist der 1. Januar 1994 nach der langen Zählung der Tag 1.865.071 nach dem Beginn der Zeitrechnung der Maya oder 12 *bak'tun* (= 1.728.000 Tage) + 19 *k'atun* (= 136.800 Tage) + 0 *tun* + 13 *winal* (260 Tage) + 11 *k'in*. In abgekürzter Form lautet die entsprechende Transkription 12.19.0.13.11.

### 4.1.2 Die Kreisgrabenanlage von Goseck

Die Kreisgrabenanlage von Goseck liegt auf einem Plateau oberhalb des Saaletals, am nordwestlichen Ortsrand von Goseck (Burgenlandkreis) in Sachsen-Anhalt und besteht aus einem deutlich erkennbaren, annähernd kreisrunden Ringgraben von etwa 71 m Durchmesser. Es konnte ein flacher Erdwall rund um den Graben nachgewiesen werden. Die Anlage hat drei grabengesäumte Zugangswege, die nach Norden, Südwesten und Südosten ausgerichtet sind. Im Inneren befinden sich Spuren zweier konzentrischer Palisaden (mit ca. 56 und 49 m Durchmesser) mit gleich ausgerichteten, zum Zentrum hin schmaler werdenden Toren. Auf der Innenfläche selbst konnte keine weitere Bebauung festgestellt werden. Aufgrund der Keramikfunde (C-14-Daten sind noch in Bearbeitung) wird der Bau der Anlage auf etwa 5000 v. Chr. geschätzt. Diese Datierung wird auch dadurch erhärtet, dass rund einen Kilometer entfernt die Überreste eines 7000 Jahre alten Dorfs (aus der Periode der Linearbandkeramik) entdeckt wurden. Die Anlage wurde 1991 bei einem Erkundungsflug durch den Luftbildarchäologen Otto Braasch zufällig gefunden.

Das Besondere der Anlage ist, dass die beiden südlichen Tore und Zugangswege vom Mittelpunkt der Anlage aus gesehen mit einer Genauigkeit von drei bis vier Tagen auf den Sonnenauf- und -untergang zur Wintersonnenwende um 4800 v. Chr. ausgerichtet sind und das nördliche Tor annähernd genau auf den astronomischen Meridian, also nach Norden weist (Abb. 4.4). Im Jahr 2004 wurde eine weitere Visiereinrichtung im Palisadenzaun gefunden, die auch die Berechnung der Sommersonnenwende erlaubte.

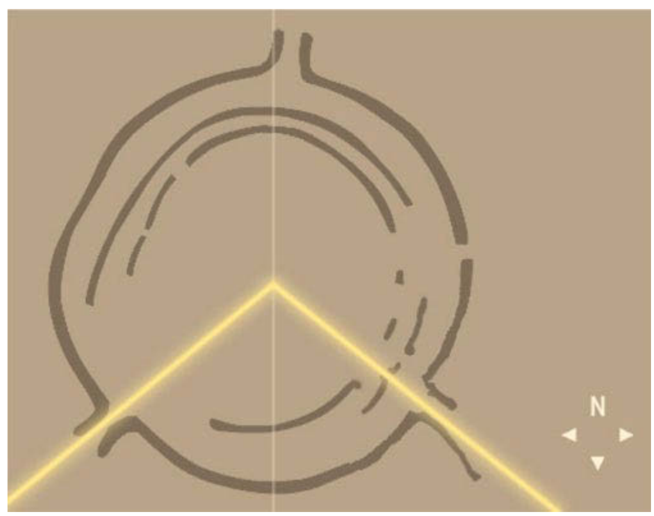



**Abb. 4.4** Die gespeicherten Himmelsdaten: Die *gelben Linien* stellen rechts die Richtung des Sonnenaufgangs und links die des Sonnenuntergangs zur Wintersonnenwende um 4800 v. Chr. dar. Die *senkrechte Linie* markiert den astronomischen Meridian

Im Unterschied zu anderen, schlechter erhaltenen mittelneolithischen Kreisgrabenanlagen sind die Visierlinien in Goseck außerordentlich präzise und ermöglichen die Berechnung und Beobachtung der Sonnenwenden über mehrere Tage in allen vier Punkten. Es gilt daher als gesichert, dass es sich um ein Observatorium zur Bestimmung der Sonnenwenden handelte. Die jungsteinzeitliche Ringgrabenanlage wird daher auch als Sonnenobservatorium von Goseck bezeichnet und gilt als das bisher älteste entdeckte Sonnenobservatorium der Welt. Da die Anlage sich ganz in der Nähe des Ortes, an dem die später beschriebene Himmelscheibe von Nebra gefunden wurde, befindet, dürfte in diesem Gebiet eine der ersten Hochkulturen mit ausgeprägtem astronomischen Wissen existiert haben.

### 4.1.3 Newgrange

Oberhalb einer weiten Flussbiegung des Flusses Boyne in der irischen Grafschaft Meath, einem der fruchtbarsten und daher von jeher landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebiete Irlands, liegt ein gewaltiges Hügelgrab mit Namen Newgrange. Vom Typ her handelt es sich um ein Ganggrab mit kreuzförmiger Kammer und Kraggewölbe. Der Name „Newgrange“ geht darauf zurück, dass die Umgebung 1142 Teil der Ländereien der Mellifont Abbey wurde. So entstand die Bezeichnung *new grange* („neues Gehöft“). Auf Irisch wird die Gegend als *Brú na Bóinne* „Herberge/Wohnstatt am (Fluss) Boyne“ oder ursprünglich wohl „Wohnstatt der (Göttin) Bóinn“ bezeichnet.

Newgrange wurde ca. 3150 v. Chr. erbaut, und zwar von einem Volk, das dort lebte, lange bevor die Kelten nach Irland kamen. Sie ist eine der weltweit bedeutendsten Megalithanlagen und eine der ältesten, die einen Kalenderbau darstellen. In unmittelbarer Umgebung liegen mit Dowth und Knowth zwei weitere bedeutende Megalithanlagen, die vermutlich zeitliche Vorläufer sind. Im Jahre 1993 wurden die Anlagen von Newgrange, Knowth und Dowth zum Weltkulturerbe erklärt.

Systematische Ausgrabungen fanden ab 1962 unter Leitung von Professor *M. J. O’Kelly* vom Trinity College Dublin statt. Während dieser umfangreichen Ausgrabungen wurde die astronomische Ausrichtung des Eingangs erkannt (Abb. 4.5). Im Inneren wurden 1967 die Überreste von fünf Menschen und diverse Grabbeigaben entdeckt. Der Mörtel, der im Inneren zur Abdichtung des Dachs verwendet wurde, wurde mittels C14-Methode auf 3200 v. Chr. datiert.

Die Anlage besteht aus einem Hügel mit einem Durchmesser von ca. 70 m. Ein ca. 22 m langer Gang unter dem Hügel endet in einer kreuzförmigen Grabkammer. Sie hat ein ca. 7 m hohes sogenanntes Kraggewölbe und ist nach über 5000 Jahren immer noch wasserdicht. In einer der drei Nischen der Kammer fand sich ein großer verzierter Altarblock (wie auch in Knowth) mit einer seichten Mulde. Auf ihm fanden sich verbrannte menschliche Knochen. An etwa 13 Tagen eines jeden Jahres dringt um die Wintersonnenwende bei Sonnenaufgang ein Lichtstrahl für ca. 15 min durch eine Öffnung über dem Eingang in den Gang und die Kammer. Weil die Erdachse im Verlauf von vielen tausend Jahren etwas pendelt (sog. Präzession), ist der Lichteffekt heutzutage etwas schwächer als zur Bauzeit; der Lichtstrahl erreicht nicht mehr die hintere Platte der inneren Kammer (sondern endet ca. 1 m vorher).

### 4.1.4 Stonehenge

Stonehenge ist ein in der Jungsteinzeit begründetes und mindestens bis in die Bronzezeit benutztes Bauwerk auf einer kalkigen Hochebene in der Nähe von Amesbury in Wiltshire, England, etwa 13 km nördlich von Salisbury. Diese Gegend war offensichtlich eine beliebte Siedlungsstätte prähistorischer Kulturen. Ihre Spuren sind noch heute in Form zahlreicher Megalithgräber und Steinzirkel vorhanden. Der Name *Stonehenge* stammt aus dem Altenglischen und bedeutet so viel wie „hängende Steine“, womit wohl die aufliegenden Steine gemeint sind (Abb. 4.6). Der Komplex wurde in mehreren Bauabschnitten errichtet, die sich über einen Zeitraum von etwa 2000 Jahren erstreckten. Nachweislich wurde das Gelände aber bereits vor der Errichtung und auch noch lange Zeit nach der jungsteinzeitlichen Hochphase genutzt.

**Abb. 4.5** Der Eingang von Newgrange um 1905

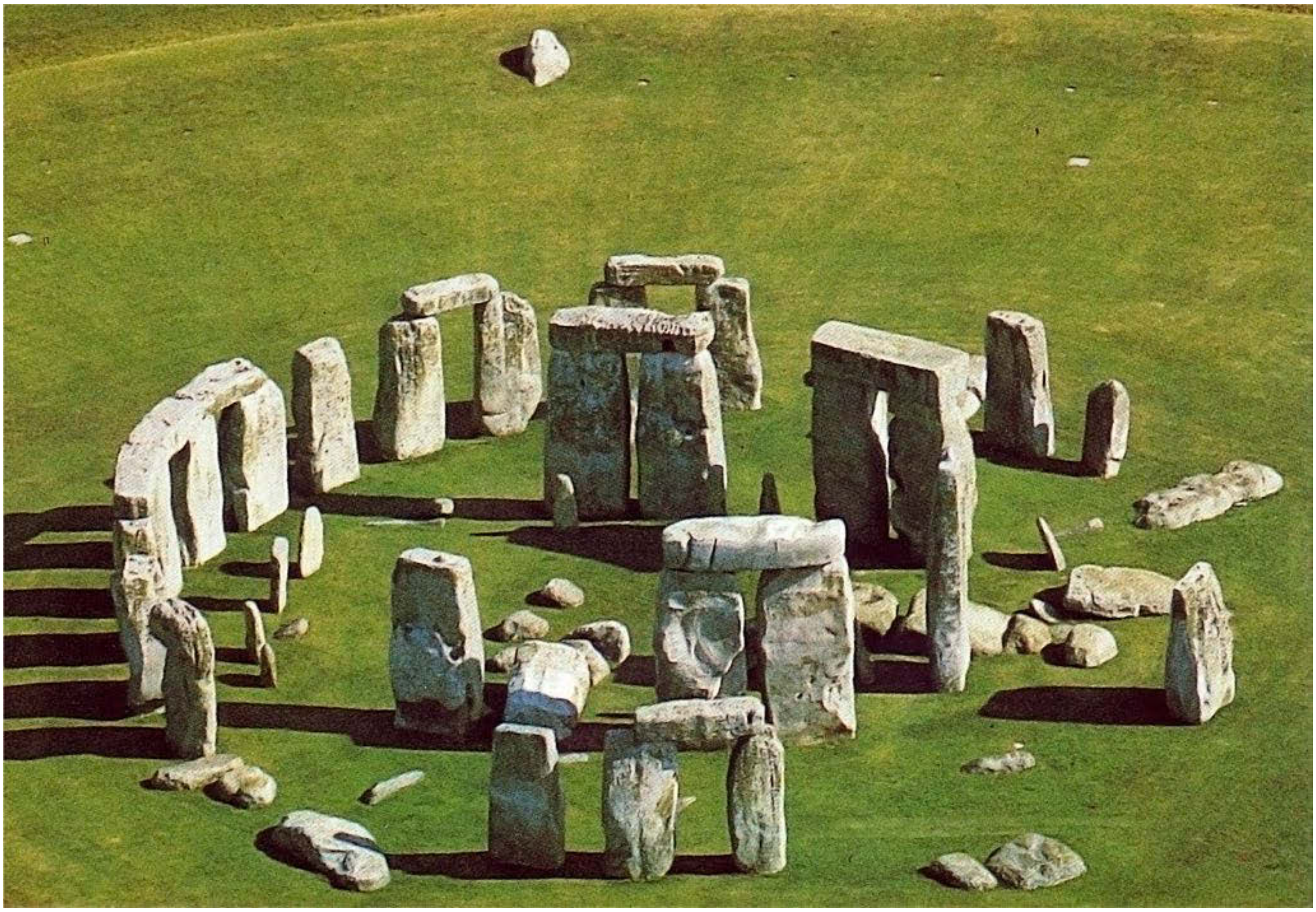


**Abb. 4.6** Stonehenge

Die Anlage besteht aus:

- Altarstein: Der Altarstein ist ein Block von 5 m aus grünem Sandstein. Alle anderen Steine im inneren Kreis sind Blausteine (Dolerit).
- Opferstein: Der Opferstein liegt etwas abseits vom Zentrum.
- Heel-Stein: Der Heel-Stein (Fersenstein) ist auch als Friars Heel bekannt.
- Positionssteine

Schon drei Jahrtausende vor Christus wurde der äußere kreisförmige Graben ausgehoben und der sogenannte Heel Stone platziert. Innerhalb des Grabens legte man einen Kreis aus 56 Löchern an, die später mit einem Gemisch aus Erde und menschlicher Asche gefüllt wurden. Man geht davon aus, dass der älteste Steinzirkel um 2100 v. Chr. errichtet wurde, eventuell sogar etwas früher. Ursprünglich waren es 60 aufrecht stehende Blöcke aus Blaustein, von denen heute noch sechs stehen. In der Zeitspanne von 2000 bis 1500 v. Chr. wurde ein Kreis aus 25 Trilithen (zwei aufrechte Steine, auf denen ein Stein liegt) errichtet, darin waren hufeisenförmig fünf weitere Trilithen angeordnet. Die dazu benutzten Sandsteine wurden aus einer 30 km entfernten Hügelkette, den Marlborough Downs, hierher transportiert. Wiederum aus Blaustein formte man schließlich innerhalb der Trilithenanordnung einen kleinen Kreis und ein Hufeisen.

Die 56 Löcher mit menschlicher Asche und mehr als 300 Hügelgräber (teilweise mit kostbaren Grabbeigaben) in der Umgebung deuten auf eine Stätte des Totenkults. Stonehenge wurde aber ursprünglich als Observatorium genutzt. Die Anlage ist nämlich so in nordöstliche Richtung ausgerichtet, dass die Sonne am Tag der Sommersonnenwende vom Altarstein gesehen genau über dem Heel Stone aufgeht. Die Ausrichtung erfolgte so, dass am Morgen des Mittsommertags, wenn die Sonne im Jahresverlauf am nördlichsten steht, die Sonne direkt über dem Fersenstein aufging und ihre Strahlen in gerader Linie ins Innere des Bauwerks, zwischen die Hufeisenanordnung, eindrangen.

Es ist unwahrscheinlich, dass sich eine solche Ausrichtung zufällig ergab. Der nördlichste Aufgangspunkt der Sonne ist direkt abhängig von der geografischen Breite. Damit die Ausrichtung korrekt ist, muss sie für Stonehenges geografische Breite von 51°11′ genau errechnet oder durch Beobachtung ermittelt worden sein. Diese genaue Ausrichtung muss für den Plan der Anlage und die Platzierung der Steine in zumindest einigen der Bauphasen von Stonehenge grundlegend gewesen sein. Der Fersenstein wird nun als ein Teil eines *Sonnenkorridors* gedeutet, der den Sonnenaufgang einrahmte.

Eines der größten Rätsel ist jedoch der Bau an sich. Die verwendeten Blausteine stammen einwandfrei aus Südwestwales, welches mehr als 300 km entfernt liegt. Wie aber kamen sie hierher? Nach Meinung einiger Archäologen wurden sie von Wales hierher geschleift oder auf Flößen transportiert. Bei einer Höhe von fast 8 m und einem Gewicht von über 40 Tonnen bei den größten von ihnen würde ihr Transport sogar heute ein spektakuläres Ereignis sein. Daher ist diese Theorie nicht unbedingt überzeugend. Ohne ein entsprechend umfassendes Staatswesen und ohne geeignete Straßen ist ein derartiger Transport jedoch unvorstellbar. Unser existierendes Geschichtsbild dieser Zeit ist jedoch geprägt von kleinen unabhängigen Familienclans. Es stellt sich daher die Frage, ob wir wegen dieser Phänomene nicht unser Geschichtsbild der damaligen Zeit ändern müssen.

### 4.1.5 Chichén Itzá

Die Mayastadt Chichén Itzá auf der Halbinsel Yucatán zwischen Cancun und Merida gehört zu den bekanntesten Zeugnissen präkolumbianischer Kultur. Die früheste nachweisbare Datierung stammt von 618 n. Chr., ihre Gründung dürfte jedoch bereits im 5. Jahrhundert erfolgt sein.

Das bekannteste Bauwerk ist die Pyramide des Kulkulkán (El Castillo). Kukulkán ist auch unter den Namen Quetzalkoatl und Kukumaz bekannt. Quetzalkoatl war ein Gott und Kulturbringer der Mayakulturen und der Azteken. Quetzalkoatl kam nach den Überlieferungen der Inka vom Himmel, gründete das Inkareich und fuhr auf einem großen Schiff aus Schlangen über das Meer davon. Er kündigte an, eines Tages zurückzukehren, was den Spaniern die Eroberung Südamerikas ermöglichte, da die Maya sie zunächst für die zurückkehrenden Götter hielten.

**Abb. 4.7** Die Pyramide des Kulkulkán

Hinter dem 25 m hohen Bauwerk, das in seinen Ursprüngen bereits um das Jahr 800 im reinen Mayastil entstand, verbirgt sich eine tiefe kosmische Symbolik. So lassen sich die neun Plattformen als die Verkörperung der neun Unterwelten interpretieren, die durch die Treppen bedingte Aufteilung in 18 Teilabschnitte je Seite hingegen als die 18 Monate des Mayakalenders. Die Addition der 91 Stufen an allen vier Seiten ergibt zusammen mit der Plattform 365, die Anzahl der Tage eines Jahres also, und die 52 reliefartig hervorspringenden Verkleidungsplatten jeder Flanke versinnbildlichen wiederum den wichtigen 52-jährigen Kalenderzyklus in der Zeitrechnung der Maya.

Am Fuße der Treppen wachen Schlangenköpfe, Symbole des Kukulkán, der „gefiederten Schlange", die in Chichén Itzá eine zentrale Rolle spielt. Besonders beeindruckend ist der Besuch während des Äquinoktiums, der Tag- und Nachtgleiche am 21./22. März und 22./23. September. Zwischen 12 und 17 Uhr verwandelt sich dann die Einfassungsmauer der nördlichen Treppe, deren Abschluss die Schlangenköpfe bilden, im Spiel von Licht und Schatten in einen gewundenen Schlangenkörper, der sich die Pyramide hinabzuwinden scheint (Abb. 4.7). Erst vor etwa 20 Jahren wurde dieses Phänomen, das in sich abschwächender Form jeweils etwa eine Woche sichtbar ist, entdeckt und stellt einmal mehr den hohen Stand der präkolumbianischen Astronomie unter Beweis.

Chichén Itzá besitzt auch ein eigenes Observatorium (Abb. 4.8). Spiralförmig windet sich ein Gang in das Innere des Rundbaus, der auf einer zweistufigen Plattform errichtet ist. Durch schmale Fensterschlitze dringen nur zweimal im Jahr die Sonnenstrahlen für Sekunden bis in das Zentrum des Baus. Auf diese Weise bestimmten die Priester der Maya die Zeit.

**Abb. 4.8** Das Observatorium

### 4.1.6 Coricancha

Die Umgebung von Cuzco in Peru war eines der Hauptzentren der Inkas. Wo heute der Santo-Domingo-Konvent steht, befand sich früher das sagenhafte Coricancha („Goldener Hof"), einer der berühmtesten Tempel Lateinamerikas. Nur drei Spanier sahen das Coricancha jemals in seiner ganzen Pracht: Die Männer waren von Pizarro von Cjamarca aus unter dem Schutze des Herrschers Atahuallpas dorthin geschickt worden, um die Eintreibung des Lösegelds für Atahuallpa zu beschleunigen. Sie gehörten zu den rauesten aus Pizarros ungebildeter

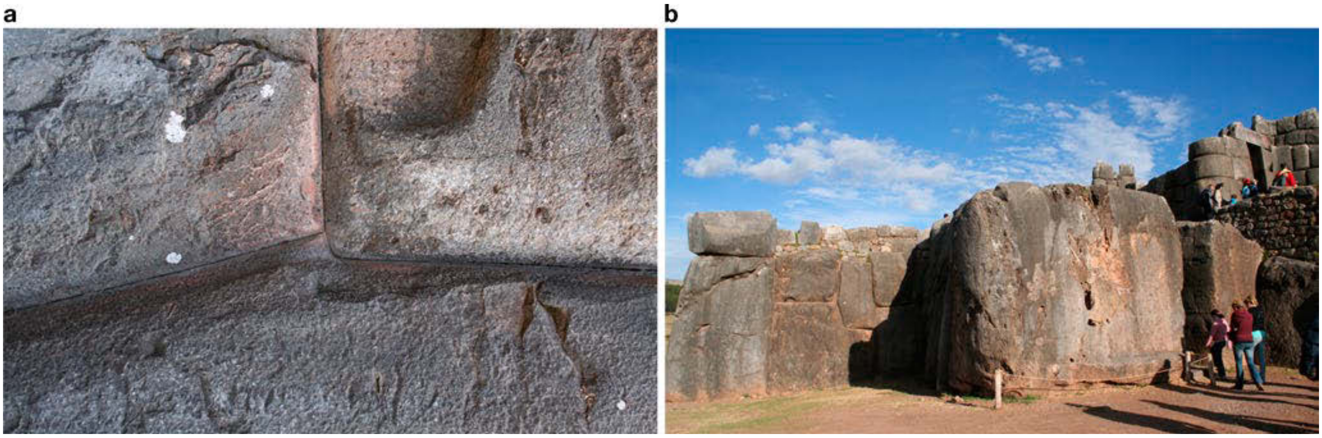


**Abb. 4.9** Sacsayhuaman. **a** die Perfektion der Steinbearbeitung, **b** die Größe der Bausteine

Mannschaft, und ihre Ehrfurcht vor diesem Weltwunder beschränkte sich auf das Bestaunen des schier unermesslichen Goldschatzes. Mit ihren eigenen Händen rissen sie 700 goldene Tafeln von je 4,5 Pfund von den Wänden (die zu Tode erschrockenen Indianer weigerten sich, ihnen zu helfen).

Sie berichteten über einen goldenen 190-Pfund-Altar und ein Becken, ausgeschlagen mit 120 Pfund Gold; sonst hinterließen sie keinen weiteren Bericht über das Coricancha. Diese ersten Plünderer nahmen nur die größeren, leicht zu entfernenden Stücke mit. Mitglieder von Pizarros Hauptabteilung berichteten später von einer Unmenge von Schätzen: ein Maisfeld mit silbernen Stielen und Blättern mit Kolben aus Gold, goldene Lamas und andere Figuren, Krüge und Kelche. Alle diese wunderbaren Schätze endeten in den Schmelztiegeln, es blieb nichts zurück. Die ersten drei Konquistadoren berichteten zwar von der goldenen Sonnenscheibe, dem heiligsten religiösen Symbol der Inkas, nahmen sie jedoch nicht mit. Später war sie verschwunden; sie muss entfernt worden sein, bevor die Hauptabteilung der Spanier eintraf. Im Jahre 1553 schrieb Cristobal de Molina: „Die Indianer haben diese Sonne so sorgfältig versteckt, dass sie bis zum heutigen Tag nicht gefunden wurde.“ Brief im Nationalmuseum von Madrid.

Nach Prescott war die Scheibe so angebracht, dass sie die Strahlen der Morgensonne auffing, sie in den golden ausgekleideten Tempel zurückwarf und diesen in gleißendes Licht hüllte. Es gab, entsprechend der parallelen Verehrung von Sonne und Mond, auch eine silberne Mondscheibe, von der man annehmen darf, dass sie so angebracht war, dass sie ebenfalls das Mondlicht in einen silbernen Tempel, den Tempel des Mondes, warf.

Es ist heute fast in Vergessenheit geraten, dass der Tempel den Inkas auch als wichtigste astronomische Beobachtungsstation diente. In der Kaste der Amautas (der weisen Priester) gab es eine Unterabteilung der Tarpuntaes, der königlichen Astronomen. Ihre Aufgabe war es, die Himmelskörper zu beobachten, die Phasen der Sonne zu bestimmen, Sonnenwende und Tag- und Nachtgleiche zu berechnen, Sonnenfinsternisse vorherzusagen usw. Sie hatten damit eine lebenswichtige Funktion für viele Bereiche, von religiösen Zeremonien bis zum Bestellen der Getreidefelder. In frühen Chroniken finden sich Berichte über Monolithe, die auf Anhöhen am Horizont rund um das Cuzco-Tal standen, und, vom Coricancha aus gesehen, den Winkel der Sonne zum Zeitpunkt der Sommer- und Wintersonnenwende markierten.

Das System war jedoch viel umfangreicher. Coricancha war die Nabe eines imaginären Rades, des Ceque, dessen 41 Speichen ringsherum bis zum Horizont verliefen. Die Ausrichtung entsprach dem Auf- und Untergang gewisser Sterne und Sternbilder, der Sonne und des Mondes, jeweils zu verschiedenen Jahreszeiten. 327 Huacas (heilige Stätten) lagen an verschiedenen Stellen an diesen Linien entlang bis zum Horizont. Jede Huaca war einem Tag des Jahres zugeordnet und unterlag der Obhut eines Ayllu, einer Sippe aus Cuzco. Einige dieser Huacas konnten identifiziert werden. Die Bewegungen am Himmel waren ein Teil des Bewusstseins der Inkas, und noch heute sind die Indianer Perus mit den Sternbildern der Ketschuas vertraut.

Oberhalb von Cuzco liegt Sacsayhuaman („Bunter Falke“) (Abb. 4.9). Dieses mächtige Gebäude war Festung und Tempel zugleich. Bemerkenswert sind die Ausmaße und die Perfektion des Baus. Schon die Spanier staunten über das wahre Labyrinth von Gebäuden. Noch faszinierender ist die Perfektion, mit der die gewaltigen Steinblöcke bearbeitet und zusammengefügt wurden. Kein Blatt Papier passt in die Trennstellen der Steinblöcke. Ein weiteres Rätsel ist ihr Transport über eine Entfernung von bis zu 40 km bergauf und bergab. Der größte Felsblock der Außenmauer von Sacsayhuaman ist 8,5 m hoch und wiegt 361 Tonnen. Sein Transport wäre selbst in unserer Zeit eine technologische Meisterleistung – für Menschen, die noch nicht einmal Eisenwerkzeuge besaßen, eine unglaubliche Leistung.

## 4.2 Die Himmelsscheibe von Nebra

### 4.2.1 Der Fund

Neben den großen steinernen Monumenten zur Speicherung von Daten aus der Himmelsbeobachtung besaßen die Menschen aber schon früh „miniaturisierte“ Datenspeicher. Am

**Abb. 4.10** Die Himmelsscheibe von Nebra

bekanntesten ist die Himmelsscheibe von Nebra (Abb. 4.10) Ihre Entdeckung liefert Stoff für einen Kriminalfilm.

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

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

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

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

Im September 2003 wurden die Grabräuber und die Hehler in getrennten Verfahren zu Geld- und Haftstrafen verurteilt. Nach einigen Ausstellungen an verschiedenen Orten wird die Scheibe zurzeit im Landesmuseum für Vorgeschichte in Halle (Saale) ausgestellt. 2006 betrug der Versicherungswert 100 Mio. Euro.

Im Jahr 2008 wurde ihre historische Bedeutung von der Bundesrepublik Deutschland mit der Ausgabe einer 10-Euro-Gedenkmünze und einem Sonderpostzeichen gewürdigt (Abb. 4.11).


**Abb. 4.11** 10-Euro-Gedenkmünze

### 4.2.2 Die Ergebnisse der Untersuchungen

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

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

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

Die Himmelsscheibe von Nebra wurde während ihres Gebrauchs mehrmals modifiziert. Man kann insgesamt vier Phasen unterscheiden (Abb. 4.12).

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

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

*Phase 3* Die zweite Ergänzung betrifft einen weiteren Bogen am unteren Rand, die sogenannte Sonnenbarke. Dieser

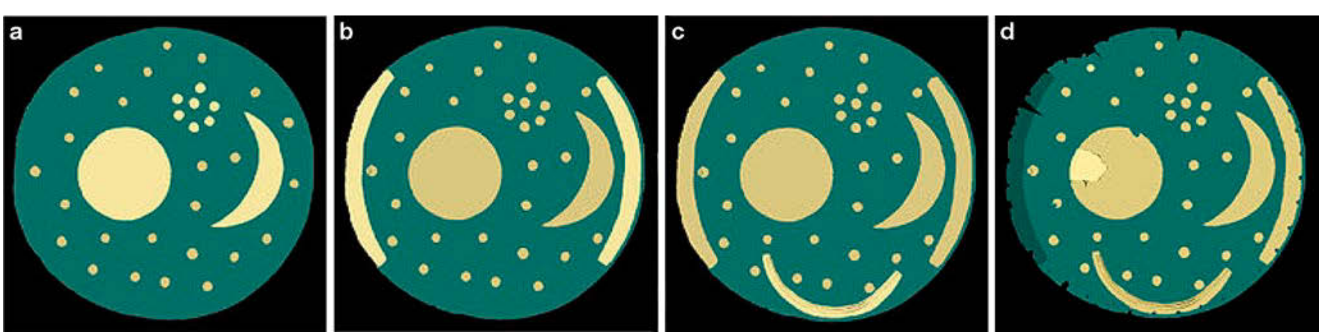



**Abb. 4.12** Von *links* nach *rechts*: 1. Phase, 2. Phase, 3. Phase, 4. Phase

Bogen ist durch zwei parallele Linien strukturiert. An den Außenkanten des Bogens wurde die Bronzeplatte mit feinen Schraffuren versehen.

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

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

In technologischer Hinsicht ist die Himmelsscheibe im mitteleuropäischen Raum wohl einzigartig. Zu ihrer Herstellung waren viele Arbeitsgänge notwendig. Der Kupferrohling wurde durch kaltes Ausschmieden auf seine Größe gebracht. Hierzu musste mehrmals zwischengeglüht werden, um Rissbildungen zu vermeiden. Die Goldeinlagen wurden durch Tauschierungen eingefügt, wie sie im frühbronzezeitlichen Mitteleuropa selten sind. Aus Sicht der Informatik ist die Himmelsscheibe der älteste miniaturisierte Datenspeicher für astronomische Daten.

### 4.2.3 Daten und Berechnungsmöglichkeiten

Hinsichtlich der auf der Himmelsscheibe gespeicherten Informationen und den dadurch gegebenen Berechnungsmöglichkeiten gilt einiges als gesichert, anderes aber als spekulativ.

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

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

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

Die übrigen 25 Sterne sind verstreut auf der Himmelsscheibe angebracht. *W. Schlosser* von der Ruhr-Universität Bochum interpretiert sie als ein „geordnetes Chaos", welches den Sternenhimmel an sich darstellen soll. *N. Gasch* verweist in einer Untersuchung jedoch darauf, dass die Anordnung einige Symmetrien aufweist. Legt man die Achse, die durch den am weitesten links stehenden und später versetzten Stern und den Mittelpunkt der großen Scheibe verläuft, als Nord-Süd-Achse fest, so lassen sich die Auf- und Untergangsazimuten einiger der hellsten Sterne interpretieren. Damit hätten sie die Bedeutung von Visierungspunkten. Die Symmetrie würde sich bei dieser Interpretation aus der Beobachtung von Auf- und Untergang des jeweils gleichen Sterns ergeben (Abb. 4.13).

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

N. Gasch hat noch weitere Übereinstimmungen festgestellt. Visiert man vom Mittelpunkt der großen Scheibe die Ränder der beiden Randbögen an, die in ihrer Länge nicht identisch sind, so erhält man 66° und 109°. Sie markieren damit die

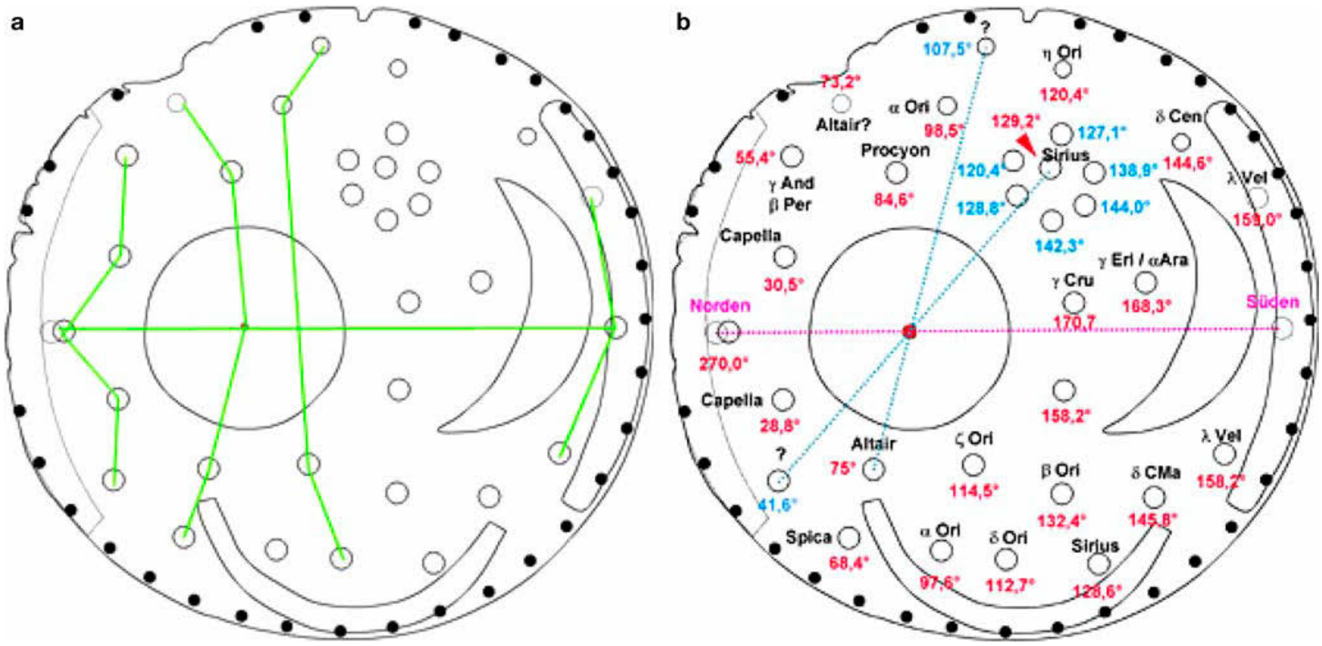



**Abb. 4.13** Die Lage der 25 Sterne und ihr möglicher Bezug zum Sternenhimmel. **a** die symmetrische Anordnung der Sterne auf der Scheibe, **b** die korrespondierenden Sterne am Himmel

Abstände der Mondauf- und -untergangspunkte zu den Zeiten der großen und kleinen Sonnenwende. Es stellt sich daher die Frage, ob die große goldene Scheibe den Vollmond oder die Sonne repräsentieren soll. Vermutlich stellt sie beides dar. Sicherlich lassen sich noch viele andere mögliche Zusammenhänge erforschen. Einige mögen allerdings auch Zufall sein, eine derartige Fülle von Zufällen ist jedoch unwahrscheinlich.

## 4.3 Einfache analoge Rechenhilfsmittel

### 4.3.1 Die Entwicklung der Schifffahrt

Eines der bedeutendsten Transportmittel in der Geschichte der Menschheit ist das Schiff. In den Zeiten, als es noch keine Wege gab, stellte es das bequemste Transportmittel dar, um größere Strecken zu bewältigen. Wasserfahrzeuge wurden zuallererst zum Fischen, zum Überqueren von Flüssen und Seen und zum Transport von Waren auf ihnen genutzt. Später kam die Küsten- und Seeschifffahrt hinzu. Hierzu wurden Geräte zur Berechnung der Position benötigt.

Die Entwicklung der Wasserfahrzeuge lässt sich an den überlieferten Modellen und Abbildungen nachvollziehen. Modelle und Abbildungen von Schiffen wurden schon vor mindestens 5000 Jahren gefertigt (Abb. 4.14). Primitive Modelle aus der Bronzezeit bilden den Anfang der Geschichte des Schiffsmodellbaus. Sie sind grob aus Ton modelliert und stellen kanuartige Boote dar, die aus einem Baumstamm gearbeitet waren. Die Stämme wurden mit primitiven Werkzeugen oder durch Brand ausgehöhlt. Daneben wurden Flöße und Wasserfahrzeuge aus Lederbälgen bzw. einer Kombination von einem Gerippe aus Astwerk und Lederaußenhaut verwendet. Während letztere nur zum Verkehr auf Binnengewässern dienten, konnten erstere auch auf Küstenfahrten eingesetzt werden.

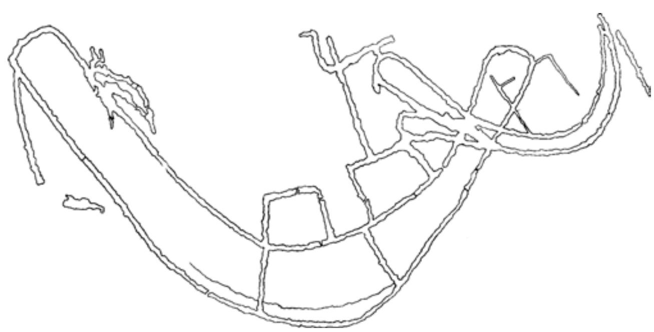


**Abb. 4.14** Eine Schiffsdarstellung aus dem Wadi Hammamet, 5000–4000 v. Chr.

Derartige Boote gibt es auch heute noch überall in der Welt. Auf vielen von Schilfrohr und Binsen umgebenen afrikanischen Seen werden seit jeher von Lederriemen zusammengehaltene Papyrusbündel als Fortbewegungsmittel benutzt. Ähnliche Boote findet man auch auf Euphrat und Tigris (die sog. Gufta), auf den Seen Südsardiniens, auf den Seen der Andenregionen (z. B. dem Titicacasee) oder als Bambusflöße in Malaysia. Auch aus Irland sind runde Boote bekannt, die aus Leder zusammengenäht wurden.

Der Antrieb erfolgte entweder durch Staken mit einer Stange oder durch Paddeln, manchmal auch durch Treideln. Riemen treten bei den ersten einfachen Booten noch nicht in

Erscheinung. Sonderformen waren durch die örtlichen Gegebenheiten bedingt. Im Pazifischen Ozean war das Problem der Brandung rings um die vielen tausend Inseln und Atolle zu bewältigen. Da die dortigen hohen Palmen zu schlank sind, um sie auszuhöhlen, kam es zur Entwicklung der Auslegerboote. Im hohen Norden ist das Wasser so kalt, dass es den sicheren Tod bedeutet, wenn man ihm auch nur einige Minuten ausgesetzt ist. Offene Boote oder Flöße waren hier daher nutzlos. So erfanden die Menschen dort das Kajak, ein Kanu, das mit Tierhäuten überzogen und oben geschlossen war. Die Fischer konnten durch eine enge Öffnung an der Oberseite hineinschlüpfen, die man wasserdicht zuziehen konnte.

Obwohl sich einige Felszeichnungen der Steinzeit als primitive Wasserfahrzeuge deuten lassen, stammen die ältesten belegten Schiffsdarstellungen aus Hierakonpolis in Ägypten. Sie werden auf ca. 5000 v. Chr. datiert. Das Papyrusboot zeigt bereits das typische „Skorpionschwanz-Heck" und einen abfallenden Bug der späteren ägyptischen Boote. An Backbord ist der Steuerriemen eingehängt und man sieht die Darstellung zweier Ruderer. Im vorderen Teil des Bootes befindet sich ein hüttenähnlicher Aufbau.

Aus dem ägyptischen Raum sind die meisten Darstellungen von Schiffen überliefert. So stammt eine Felszeichnung aus der Nubischen Wüste aus dem Zeitraum von ca. 5000–4000 v. Chr. (Abb. 4.15). Das Schiff besitzt das gleiche Heck, während hingegen der Bug aufwärtsgekrümmt ist und eine gehörnte Bugzier trägt. Interessant ist die Haltung des abgebildeten Menschen. Sie wird als das Anflehen eines Gottes gedeutet. Dementsprechend könnte es sich bei dem Gebilde daneben um einen Altar handeln. Die verschiedenen Striche seitlich am Bootskörper werden von den Wissenschaftlern nicht als Riemen, sondern als der Versuch des Künstlers gedeutet, Wasser darzustellen. Geht man von der menschlichen Figur als Größenmaßstab aus, so besaß dieses Boot eine Länge zwischen 6,0 und 6,5 m und eine Breite von 1,0 bis 1,5 m.

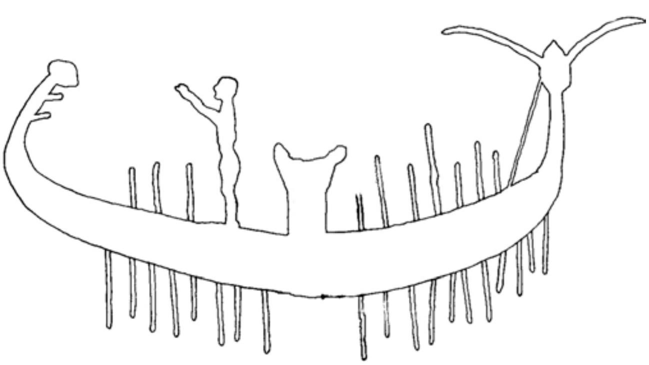


**Abb. 4.15** Das Schiff aus der Nubischen Wüste, ca. 5000 v. Chr.

Etwa aus der gleichen Zeit, evtl. sogar noch etwas früher, datiert die älteste Abbildung eines Schiffs mit Segeln. Sie befindet sich auf einer Totenurne, die in der Nähe von Luxor gefunden wurde. Das rechteckige Segel ist an einem einzelnen Mast befestigt. Ferner ist ein Deckshaus ersichtlich.

Im Jahre 1929 entdeckte Prof. Woolley bei Ausgrabungen in Ur im südlichen Mesopotamien ein sehr interessantes Schiffsmodell aus Silber. Es ist vielleicht das älteste bekannte Modell eines Schiffs und wurde um 4000 v. Chr. angefertigt. Es ist 65 cm lang, hat vier Bänke für die Ruderer und die Riemen sind auf dem Dollbord befestigt (Abb. 4.16).

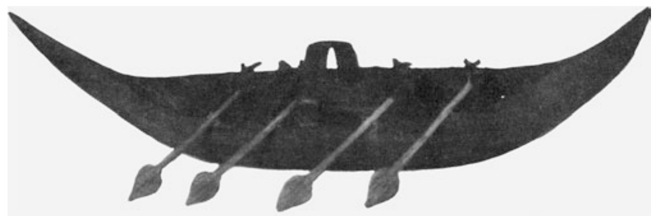


**Abb. 4.16** Das Ruderboot von Ur

Ab etwa 3000 v. Chr. verfügten die Ägypter über seetaugliche Schiffe, mit denen sie benachbarte Küsten, wie z. B. die Syriens, plünderten. Bemerkenswert ist eine derartige Expedition von Pharao Sahure, die er ca. 2600 v. Chr. unternahm. Abbildungen hierzu finden sich auf einem Relief seiner Pyramide (Abb. 4.17).

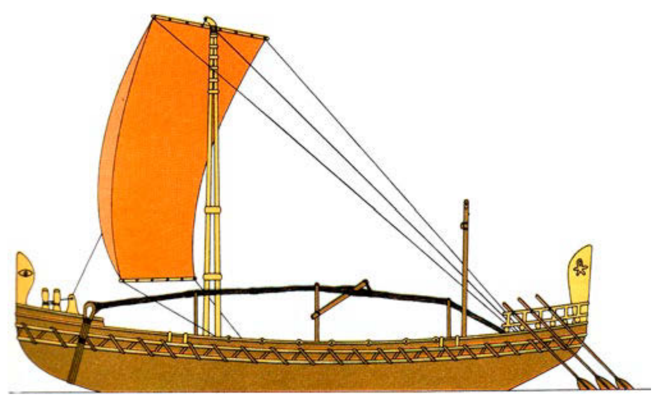


**Abb. 4.17** Ein Schiff aus der Flotte des Pharao Sahure (um 2600 v. Chr.)

Da die Schiffe länger wurden, nahm die Tendenz zum Verbeugen und zur Senkung von Bug und Heck zu. Um dem entgegenzuwirken, wurde ein Seil über Deckstützen vom Heck zum Bug geführt. Durch hindurch gesteckte Spieren ließ sich dieses Seil durch Drehen der Spieren weiter verkürzen. Damit konnte ein Durchbiegen des Rumpfs korrigiert werden.

Um 1500 v. Chr. sendete die Königin Hatschepsut eine Expedition zur Suche nach dem sagenhaften Land Punt aus. Die Schiffe sind auf Reliefs am Tempel von Deir-el-Bahri dargestellt (Abb. 4.18). Die Schiffe wurden im Hafen Suez gebaut und liefen von dort nach Süden aus. Nach einjähriger Fahrt kehrte die Expedition zurück, beladen mit Gold, Elfen-

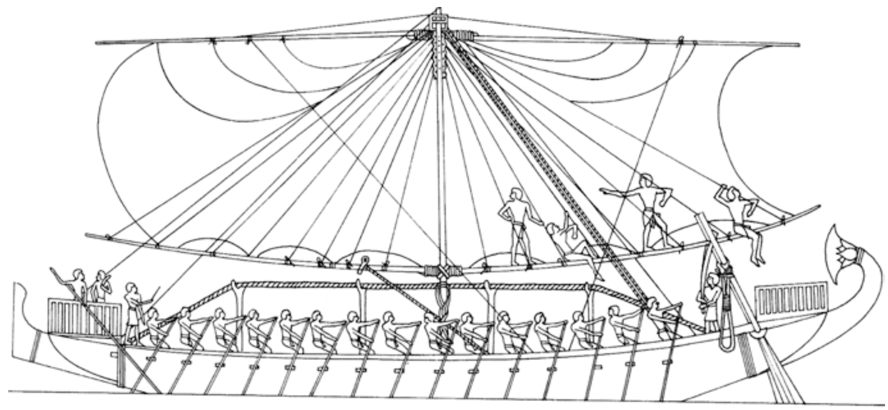


**Abb. 4.18** Schiff der Königin Hatschepsut (ca. 1500 v. Chr.)

bein, Weihrauch, Myrrhe und Gewürzen. Nicht überliefert ist, ob sie auf ihrer Reise nach Indien gelangten oder „nur" durch den Golf von Aden die afrikanische Ostküste nach Süden hinunterfuhren. Gesichert ist jedoch, dass den Ägyptern um 609 v. Chr. die erste Umsegelung Afrikas gelang. Pharao Necho II rüstete hierzu eine phönizische Flotte aus und wies die Kapitäne an, die Küste stets an Steuerbord zu lassen. Die Ägypter hatten bereits erkannt, dass Segel am Horizont versanken und daraus geschlossen, dass die Erdoberfläche gekrümmt war. Vier Jahre später erreichte die Flotte wieder Alexandria, nachdem sie das südliche Kap von Afrika umrundet und die Enge von Gibraltar passiert hatte.

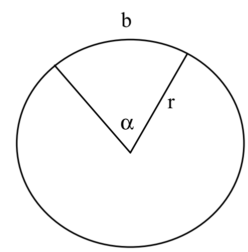
Der Grund dafür, dass Necho II phönizische Kapitäne mit der Führung der Expedition beauftragte, lag darin, dass, neben den Griechen, vor allem die Phönizier die besten Seefahrer des damaligen Mittelmeerraums waren. Seit 1000 v. Chr. beherrschten sie die Seefahrt im Mittelmeer. Sie kamen bis nach Cornwall in England, um dort Zinn einzutauschen, und errichteten Stützpunkte in Tunesien, Algerien, Malta, Sardinien und Italien.

Um 500 v. Chr. wurde das erste allgemein gültige Seerecht, das Lex Rhodia, eingeführt – benannt nach Rhodos, der Hauptstadt der gleichnamigen Mittelmeerinsel. Die in diesem Seerecht festgelegten Prinzipien waren allgemein anerkannt und haben sich bis heute erhalten: Noch zweieinhalbtausend Jahre später berief sich der British High Court auf das Lex Rhodia.

Die erste Berechnung der Größe der Erde, basierend auf der Erkenntnis, dass sie eine kugelförmige Gestalt hat, führte *Eratosthenes*, der an der berühmten Bibliothek in Alexandria arbeitete und u. a. den nach ihm benannten Algorithmus „Sieb des Eratosthenes" zur Bestimmung der Primzahlen entwickelte, im Jahre 240 v. Chr. in Ägypten durch. Er hatte beobachtet, dass am 21. Juni in einem tiefen Brunnen in Syene (dem heutigen Assuan) die Sonne keinen Schatten warf, d. h. genau senkrecht stand. In Alexandria, welches genau 500 Meilen (die damalige Maßeinheit waren noch Stadien) nördlich von Syene liegt, maß er zum gleichen Datum den Winkel der Sonne. Er ermittelte einen Einfallswinkel von 7,5° (Abb. 4.19). Nun konnte er den Erdradius, und damit ihren Durchmesser und ihren Umfang gemäß den Gleichungen

$$b = \frac{\alpha}{180^0} * r * \pi \quad \text{und damit}$$

$$r = \frac{500 * 180}{3{,}14 * 7{,}5}$$




bzw.

$$d = 2\ r \text{ und } u = 2\pi r$$

berechnen.

Mit dieser Methode errechnete er den Erdradius zu 3821,66 Meilen. Nach unseren heutigen Berechnungen beträgt der Erdradius am Äquator 6.378.388 m und über den Polen 6356,912 m. Damit hatte er den Erdradius mit einem Fehler von unter 3 % berechnet.

Über die Entwicklung der Seefahrt in den anderen Regionen der Welt sind weniger Details bekannt. Im Pazifik entwickelte sich bereits ab 2000 v. Chr. eine blühende Seefahrerkultur. Um 1500 v. Chr. wird Hawaii erreicht, was zeigt, dass schon damals im Pazifik große Fahrten über das freie Meer üblich waren.

Im Norden Europas entwickelt sich eine eigene Technik des Schiffbaus. Tacitus berichtet in der „Germania", die er 98 v. Chr. schreibt:

> *An der Ostseeküste schließen sich dann die Rudier und Lemovier an. Dann folgen, schon im Meere, die Stämme der Suionen. Außer einer Kriegsmacht zu Lande haben sie starke Flotten. Ihre Schiffe sind insofern anders gebaut, als sie vorn und hinten einen Bug haben und so jederzeit landen können. Auch verwenden die Suionen keine Segel und machen die Ruder nicht reihenweise an den Schiffswänden fest; sie handhaben sie vielmehr völlig lose, wie man das manchmal auf den Flüssen beobachten kann, und setzen sie, je nach Bedarf, bald auf der einen, bald auf der anderen Seite ein.*

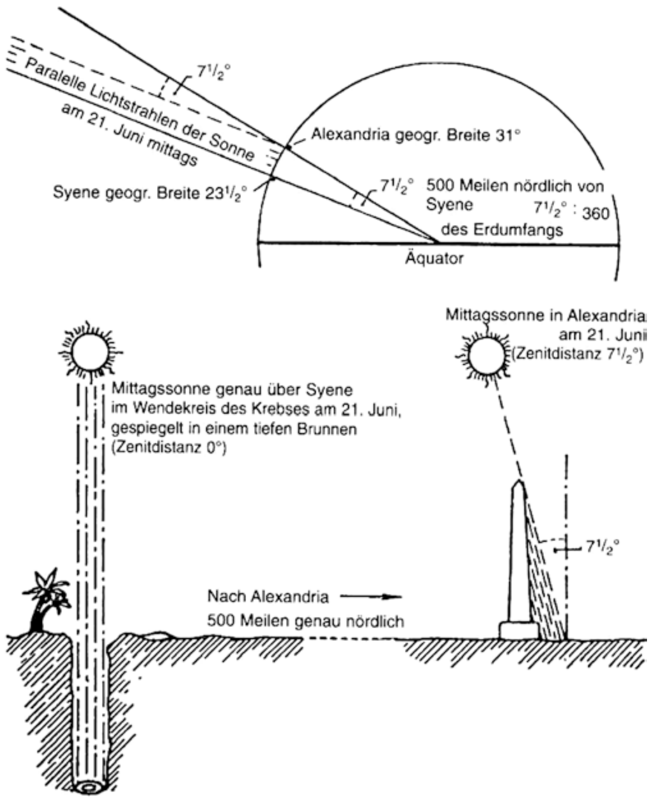



**Abb. 4.19** Die Berechnung des Erddurchmessers und des Erdumfangs

Derartige Boote sind auch in Felsritzungen dargestellt, die noch heute besonders zahlreich in der schwedischen Landschaft Bohuslän und dem benachbarten norwegischen Gebiet am Oslofjord zu sehen sind (Abb. 4.20).

Bereits um 620 kamen einige Norweger auf die Hebriden. Fast 200 Jahre später siedeln sie auf den Faröern (800), den Orkney- und Shetlandinseln (802). In Irland gründen sie im Jahr 820 einen Staat, der bis 1170 im Gebiet des heutigen Dublin besteht. Kunde von Island gelangt zu den Wikingern durch den Schweden Gardar Svafrson, der im Jahr 861 von den Hebriden das Erbteil seiner Frau holen will. Dabei gerät sein Schiff in einen Sturm, der ihn und seine Mannschaft bis an die Nordküste Islands treibt, wo sie überwintern. Bis 930 kamen schätzungsweise 20.000 bis 30.000 Norweger nach Island.

Nach der Erik-Raude-Saga, die um 1200 Hauk Erlendson in Island aufschreibt, wird Erik Raude (der Rote) im Jahr 983 wegen Totschlags für drei Jahre in Island als friedlos erklärt. Er fährt, um Land zu suchen, nach Westen. Er gelangt nach Grönland und siedelt dort mit einer Gruppe von Isländern. Die Siedlung nennt er Brattalid.

Dort lebte auch Bard Herjulvason. Dessen Sohn Bjarne reiste im Jahr 986 von Island ab, mit dem Ziel, Grönland zu erreichen. Er verfehlte jedoch zunächst Grönland und sichtete dreimal unbekanntes Land, bis er umkehrt und seinen Vater auf einer Landzunge siedelnd findet. In Norwegen erzählt Bjarne am Hof des Königs Erik von seinen Irrfahrten. Dort hört Leif Erikson, der Sohn von Erik Raude, diese Erzählung, kauft von Bjarne das Schiff und fährt mit ihm und 35 Mann Besatzung nach Brattalid. Nach sorgfältiger Vorbereitung wiederholen sie zuerst Bjarnes Reise nach Labrador. Dort wenden sie sich südwärts entlang der Küste. Der Grönlandsaga nach, die erst 1387 von Jon Todarson im Flatöybuch aufgeschrieben wird, kommen sie nach Winland, wo Wein wild wächst, Lachs noch vorkommt und Korn (Mais) sich selbst sät.

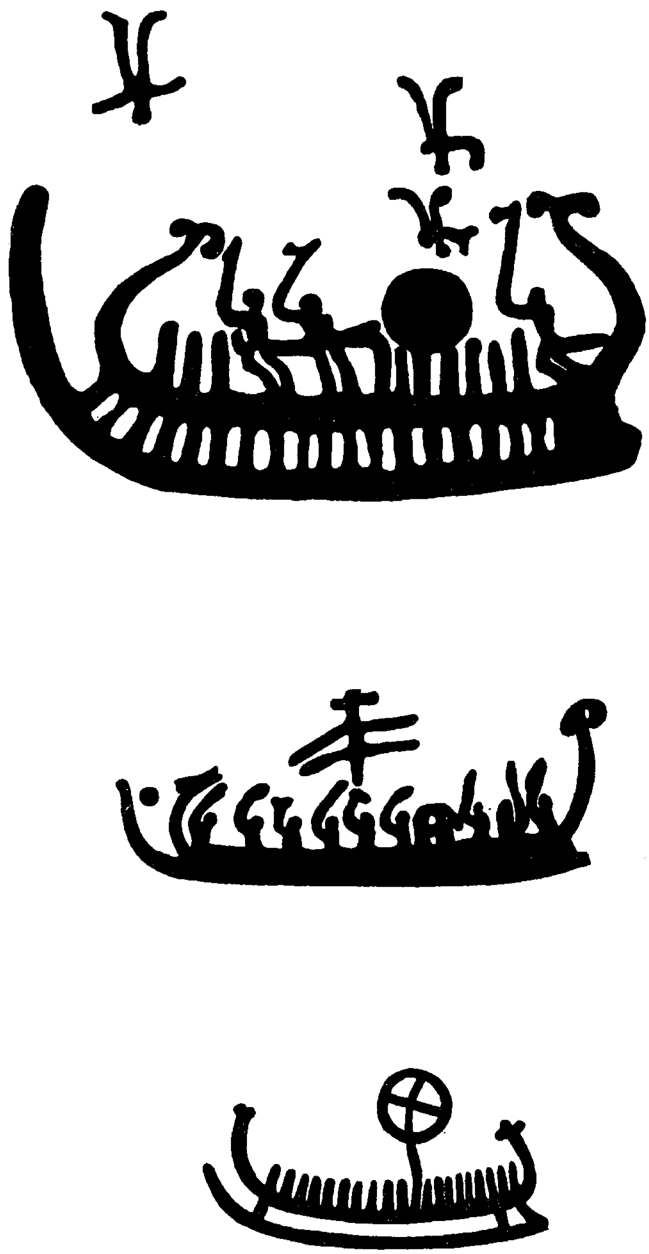


**Abb. 4.20** Bronzezeitliche Felsritzungen aus Bobuslän in Schweden

Die Südgrenze für Lachs ist ungefähr der 41. Breitengrad und die Nordgrenze für wild wachsenden Wein liegt beim 42. Breitengrad. Demnach erreichen Leif und seine Mannschaft im Jahr 1000 die Gebiete des heutigen Boston. Torvald, Leifs

Bruder, fährt nach dessen Schilderung mit dem gleichen Schiff und 30 Mann Besatzung. Sie siedeln zwei Jahre in Winland. Bei einem Scharmützel mit den Einwohnern wird Torvald tödlich verwundet. Seine Gruppe gibt daraufhin die Siedlung in Winland auf. Dorthin will Torstein, Leifs zweiter Bruder, mit dem gleichen Schiff reisen. Er kann Winland jedoch nicht finden.

Der Norweger Helge Ingstad erkundete 1980 zusammen mit seiner Frau, einer Archäologin, die nördlichste Spitze Neufundlands. Auf der Halbinsel L'Ans-aux-Meadow entdeckte er die Überreste einer Wikingersiedlung. Sie bestand aus Häusern, die aus Grassoden erbaut waren und denen auf Island und Grönland vollständig glichen. Seit dieser Entdeckung gilt die Überlieferung der Grönlandsaga als gesichert.

Eventuell hat die Entdeckung Amerikas aber schon vorher stattgefunden. Ein irischer Mönch berichtet um 1000 n. Chr. unter dem Titel „Navigatio Sancti Brendani", d. h. „Schifffahrt des Heiligen Brendan" von einer spektakulären Seereise des Abts *Brendan*. Dieser kam um 484 n. Chr. nach Irland und gründete als Abt einige Klöster. Er starb 576 in der Grafschaft Galway. Geschildert wird darin die Irrfahrt des Abtes Brendan mit 17 Mönchen in einem Holzboot, das mit Ochsenhäuten bespannt ist, in das westliche Meer auf der Suche nach dem „verheißenen Land" der Heiligen. Sieben Jahre fahren sie von Insel zu Insel, von Abenteuer zu Abenteuer. Dazu gehörten eine Insel mit Schafen größer als Kühe, eine Insel mit schweigenden Mönchen, eine Insel mit ständig neu gedeckten Tischen, eine Vogelinsel, ein Meerungeheuer, das durch einen Greifen getötet wird, Judas auf einem Felsen, ein großer Kristallberg, das Klebemeer, das Meer, in dem Fische andächtig der Messe lauschen, und die Begegnung mit einer vermeintlichen Insel, die sich als riesiger Wal Jasconius entpuppt.

Sie wurden von einem Jüngling begleitet, der sie schließlich zu der letzten Insel, dem „verheißenen Land" führt. Dort dürfen sie Edelsteine und Früchte mitnehmen und gelangen glücklich nach Hause, wo Brendan am Ende seiner Reise nach kurzer Zeit stirbt.

Es ist zwar bis heute nicht sicher, ob mit dem „verheißenen Land" die „Neue Welt" gemeint ist und ob diese Geschichte nicht frei erfunden wurde, allerdings hätten irische Seefahrer Amerika durchaus erreichen können. Als eigener Kontinent wurde Amerika erst 1507 von dem unter portugiesischer Flagge fahrenden Italiener Americo Vespucci erkannt und im selben Jahr von dem aus Freiburg stammenden Kartografen Martin Waldseemüller (Martin Hylacomylus) auf einer Weltkarte nach Vespucci erstmalig als „America" benannt.

### 4.3.2 Anfänge der Navigation

Wenn man bedenkt, dass bereits fast 2000 Jahre vor unserer Zeitrechnung mit Booten und Schiffen das offene Meer überquert wurde, so stellt sich die Frage, wie man damals navigierte. Um den Schiffsstandort zu bestimmen, sind Breite und Länge zu ermitteln. Die Ermittlung des Längengrads ist nur mit genau gehenden Uhren möglich. Die Bestimmung des Breitengrads kann dagegen über die Höhe der Sonne bzw. die Höhe einzelner Gestirne ermittelt werden.

Aus den Berichten über die Besiedlung Islands ist herauszulesen, dass die Wikinger bereits um das Jahr 850 über nautische Kenntnisse verfügten, die Gardar Svafrson nach dem Überwintern in Island das Zurückfinden in seine Heimat ermöglichten. Weiterhin wird Island auf seine Angaben hin Jahre später das Ziel für zahlreiche Auswanderer. Für eine Fahrt von Mittelnorwegen nach Islands Südkap benötigten die Wikinger bei schnellen Reisen etwa sieben Tage. Das bedeutet während dieser Zeit eine Navigation auf dem offenen Meer fern jeder Küste. Ende des 10. Jahrhunderts setzten die Fahrten nach Grönland ein, für die von Westisland aus unter günstigen Bedingungen vier Tage gebraucht wurden.

Zum Navigieren auf hoher See müssen Himmelsrichtung und eigener Standort bestimmt werden. Ohne Kompass kann die Himmelsrichtung über den Nordstern oder über die Sonne ermittelt werden. In den hellen Nächten des Nordens ist eine Sternbeobachtung jedoch schwierig. Die Wikinger bestimmen dann die Himmelsrichtung nach der Sonne. Besondere Bedeutung haben für sie die Stellen, wo die Sonne auf- und untergeht. Die Kenntnisse über den ganzjährigen Sonnenstand stammten der Saga nach von Stjerne Oddi aus Flaty Island und sind dem Schiffsführer oder Kendtmand (dem Kundigen) bekannt.

Ob die Wikinger bereits über den Kompass verfügten, ist durch Funde nicht belegt. Jedoch wird in den Sagas auch von einem Sonnenstein berichtet. Solch einen Stein soll König Olaf, der von 1015 bis 1030 in Norwegen regierte, besessen haben. Damit prüfte er bei Nebel und Schneefall den Sonnenstand. Dazu ließ er den Sonnenstein schwimmen, der in Richtung der Sonne leuchtete. Das Leuchten ist sicherlich Erfindung der Sagaerzähler. Heute stellt man sich den Sonnenstein als ein Holzbrettchen mit einem Magnetstein vor. Möglich ist also, dass bereits die Wikinger den Kompass benutzten, der in China seit 250 n. Chr. als Wegweiser bekannt war. Die sehr weit reichenden Handelsbeziehungen der damaligen Zeit beweisen eine Buddhastatue aus dem 5. Jahrhundert, die in Schweden bei Birka ausgegraben wurde.

Um den Schiffsstandort zu bestimmen, sind Breite und Länge zu ermitteln. Die geografische Breite ergibt sich aus der Sonnenhöhe. Zum Messen der Sonnenhöhe verwendeten die Wikinger ein *solbrädt* (Sonnenbrett), wie durch die Sagas überliefert ist. Das Sonnenbrett, das bisher noch nicht gefunden wurde, hatte eine Teilung in „halbe Räder", die etwa dem mittleren, halben Sonnendurchmesser entsprachen.

Die geografische Länge konnte von den Wikingern nur aus der zurückgelegten Fahrtstrecke geschätzt werden. Auf der Nordsee entstehen daraus keine Schwierigkeiten, weil die Wikinger ihre Fahrten zwischen England und Norwegen oder Dänemark hauptsächlich in Ost-West Richtung durchführen. Für die Wikingerfahrten von Norwegen nach Island und Grönland ist es günstig, dass Bergen etwa die gleiche geografische Breite hat wie Kap Farwell, das Südkap Grönlands. In Island liegen die Siedlungsgebiete der Wikinger ungefähr 4° nördlicher. Kurse zwischen Norwegen und Island sowie nach Grönland sind also auch zu fahren, wenn allein die Breite bestimmt wird. Die Wikinger gelangen so mit einiger navigatorischer Sicherheit über die offene See in Küstennähe, wo sie dann mit terrestrischer Navigation ihr eigentliches Ziel finden. Hinzu kam, dass sie Aufzeichnungen über die Wegstrecken besaßen. Die Maßeinheit war hierbei die Anzahl der Ruderschläge. Entsprechende Angaben sind aus der damaligen Zeit überliefert. Versuche, die man mit Nachbauten von Wikingerschiffen in jüngster Zeit gemacht hat, bestätigen eine überraschende Genauigkeit dieser Angaben. Die Wikinger ergänzten die Methodik durch Beobachtung von Vögeln, Wind und Strömungen und Aufzeichnungen über Landmarken.

Der rege Schiffsverkehr, der im 1. Jahrtausend zwischen Arabien, Indien und China bestand und bereits den Charakter eines Linienverkehrs besaß, stützte sich ebenfalls auf das Befahren von Breitengraden. Von Ägypten segelte man durch die Straße von Aden, danach entlang der Arabischen Halbinsel an der Küste vorbei nach Norden bis zur Insel Masira und von dort auf dem 20. Breitengrad nach Bombay. Die Handelsbeziehungen waren bereits zu Beginn unserer Zeitrechnung weltweit. In Grabbeilagen fränkischer Könige aus dem 3. Jahrhundert fanden sich z. B. Halbedelsteine, die aus Indien stammten.

Nebel oder dichte, zusammenhängende Wolken verhinderten eine derartige Navigation und waren eine der Ursachen für Irrfahrten, wie sie z. B. die Sagas der Wikinger berichten. Hochseefahrten führten die Wikinger vor allem im Sommer durch. Sie begannen sie bei Hochwetterlagen, um mehr Sicherheit vor Nebel, dichterer Bewölkung und vor allem vor Sturm zu haben, der ihre offenen Fahrzeuge besonders gefährdete.

Spätestens im 4. Jahrhundert v. Chr. hatte jede Region im Mittelmeer ihr Seehandbuch. Ihr Gebrauch verschwand aber mit dem Untergang des Römerreiches und erst 1298 taucht wieder ein Seehandbuch, das *Compasso di Navigare*, auf. Das älteste mittelniederdeutsche „Seebuch“ (um 1490) beruht auf Quellen aus dem 13. bis 14. Jahrhundert und beschreibt Meerestiefen, Häfen und Gezeiten, im jüngeren Teil auch Kurse zwischen verschiedenen Punkten. Etwa ab dem Ende des 13. Jahrhunderts tauchen die ersten *Portolane* auf, die das Mittelmeer und sämtliche Hafenstädte in verblüffender Genauigkeit wiedergeben. Gegen Ende des 15. Jahrhunderts wurde in Portugal die astronomische Navigation nach Sonne und Polarstern zur Praxisreife entwickelt.

### 4.3.3 Einfache nautische Geräte

Schon früh wurden einfache analoge Mess- und Rechengeräte entwickelt, die zur Positionsbestimmung dienten. Oft waren sie mit zusätzlichen Skalen versehen, die eine direkte Umrechnung der gemessenen Werte in die gewünschten Informationen erlaubten, wodurch sie zu einfachen Analogrechnern wurden.

#### Das Lot

Das wohl älteste nautische Instrument ist das Lot. Anfangs hat man sicherlich bei geringem Tiefgang unbewusst schon einen Vorgänger benutzt, indem man eine Stange oder ein Ruder ins Wasser tauchte, um die Tiefe auszuloten.

Doch als Boote zu großen Schiffen wurden, band man einen Stein an das Ende einer Schnur, um die Wassertiefe unter dem Kiel zu messen. Später fertigte man konische Bleigewichte an, um sie an einer Leine mit eingeknoteten Längen zu befestigen. Dieses provisorische Messinstrument ist die erste Version des bis in dieses Jahrhundert gebräuchlichen Handlots. Es half den Seefahrern, Tiefenmessungen vorzunehmen und somit Grundberührungen und damit verbundenen Gefahren vorzubeugen.

Diese Tiefendaten, eingetragen in die ersten Karten, wurden zu einem wertvollen Wissen zum Befahren der Küsten. Die älteste uns bekannte Karte mit Tiefenangaben zeigt das Nildelta und stammt vermutlich von *Herodot von Halikarnassos*, dem ältesten griechischen Geschichtsschreiber. Herodot (um 490 bis etwa 425–420 v. Chr.) unternahm weite Reisen nach Asien und Afrika und war in Athen mit Perikles und Sophokles befreundet.

Sein Werk umfasst die griechische Geschichte bis 479 v. Chr., vor allem die Perserkriege. Zudem existiert ein farbenreiches Bild von den Ländern und Völkern der damals bekannten Welt. Die Zuverlässigkeit seiner Beschreibungen ist durch die neue Forschung vielfach bestätigt worden.

Mit den Jahren nahmen viele Ingenieure Verbesserungen an dem Handlot vor. So weiß man, aufgrund der Kenntnisse über die Beschaffenheit des Seebodens, dass die Lotgewichte an ihrer Unterseite einen Hohlraum haben mussten, mit dem Bodenproben an die Oberfläche gebracht werden konnten. Diese Information war wichtig, wenn es ums Ankern ging: Von einem felsigen Untergrund sind keine Proben zu erhalten. Er ist zum Ankern wenig geeignet, weil sich der Anker verkeilen kann und als letzte Konsequenz aufgegeben werden muss. Sand und nicht zu weicher Schlick sind dagegen brauchbare Ankergründe. Einen weiteren Entwicklungsschritt erkennt man, wenn man sich das französische Lot vom System *L. Coëntre* anschaut, das um 1843 konstruiert wurde (Abb. 4.21). Der Propeller am oberen Ende ist so durch den feinen Läufer arretiert, dass er sich erst bei der Aufwärtsbewegung frei machen und drehen kann. Durch die Drehbewegung steigt auf einer senkrechten Skala der angezeigte Wert und man konnte die Tiefe, die damals in Faden oder Klafter gemessen wurde, ablesen.

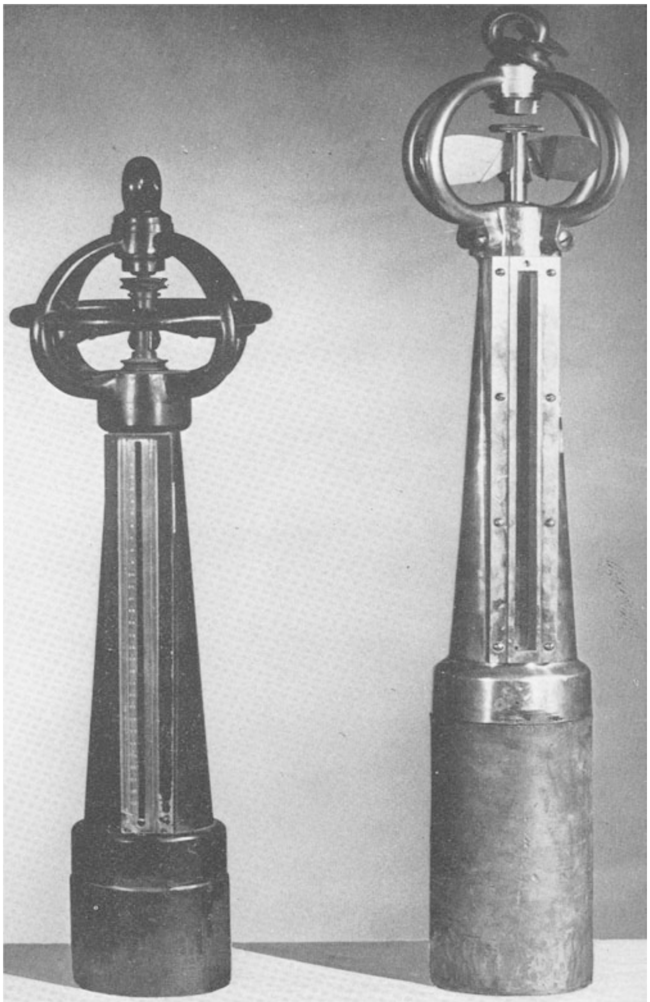


**Abb. 4.21** Französische Lote

## Der Kompass

Die Ursprünge des Kompasses sind unklar. Eine Theorie besagt, dass er um 250 n. Chr. in China entstanden und von dort über die bereits erwähnten Schiffsrouten über Indien und Arabien ins Mittelmeer gelangte. Gesichert ist, dass er ab dem 11. Jahrhundert in China eingesetzt wurde. Gegen die Theorie seiner Verbreitung von dort nach Europa spricht, dass es keine Erwähnungen über den Gebrauch eines Kompasses in der damaligen arabischen Welt gibt. Er könnte allerdings auch in Skandinavien erfunden worden sein, wie die Wikingersaga berichtet.

Die besonderen Eigenschaften von Magneteisenstein waren allerdings auch schon in der griechischen Antike bekannt, allerdings gibt es keine Informationen über einen konkreten Einsatz. So existieren viele Theorien über die Entstehung und Entwicklung des Kompasses.

Das alte französische Wort für den Kompass – *calamité* – erinnert noch stark an das Wort für Schilfrohr *calamus*, welches mit Eisenoxydpulver gefüllt, aufs Wasser gelegt wurde und schwimmend eine bestimmte Richtung einnahm. In Europa wurde der nasse Kompass erstmals vom schottischen Gelehrten und Mönch *Alexander Neckam* etwa 1187 als eine magnetisierte schwimmende Nadel beschrieben, die unter Seeleuten in Gebrauch war (Abb. 4.22).

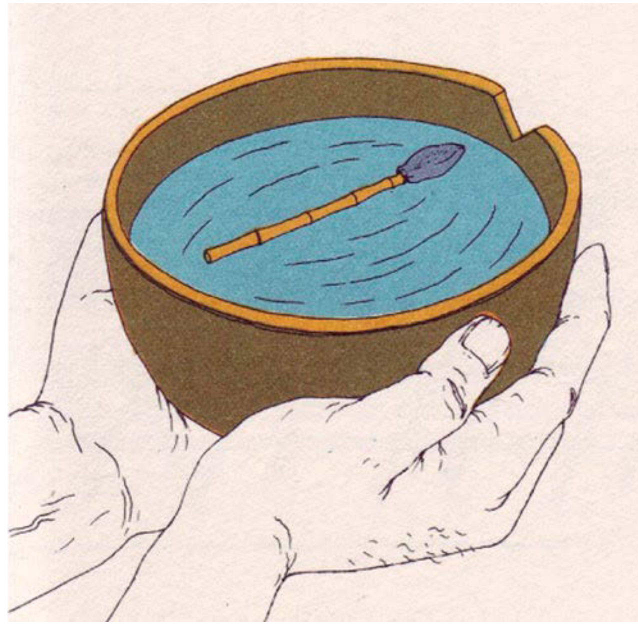


**Abb. 4.22** Frühform eines Kompass

Die wohl früheste gesicherte Beschreibung eines Kompass findet sich in dem im Jahre 1068 erschienen Buch des Chinesen *Shen Kuo* mit dem Titel *Meng Xi Bi Tan.* Die erste schriftliche Erwähnung einer trocken auf einem Stift spielenden Magnetnadel in Europa findet sich im *Epistola de magnete* von 1269, geschrieben von *Petrus Peregrinus de Maricourt*, womit der noch heute benutzte trockene Kompass erfunden war. Im 15. Jahrhundert kam dann die Rose hinzu, die das Instrument seetüchtig machte.

Das Ganze wurde anfänglich in ein Gehäuse aus Holz eingesetzt, was zum Ende des 16. Jahrhunderts durch Verbindung dreier, später aus zwei viereckigen, kardanisch montierten Kästchen ausgetauscht wurde.

Die vollkardanische Aufhängung ist seit 1537 bekannt und bereits von *Leonardo da Vinci* vorgeschlagen worden. Nach China kam der trockene Kompass etwa um das Jahr 1600 über Japan, das ihn von Spaniern und Portugiesen übernommen hatte.

## Das Log

Die Kenntnis über die Geschwindigkeit und damit über die durch das Wasser zurückgelegte Strecke bzw. den Weg über Grund erlaubte im Zusammenhang mit der Richtung die Position mittels Gissung rechnerisch zu bestimmen.

Die früheste Methode der Geschwindigkeitsmessung bestand darin, am Bug des Schiffs ein Stück Holz über Bord zu werfen, und die Zeit zu zählen, die es benötigte, um bis zum Heck zu gelangen. Aus der Länge des Schiffs und der Zeit konnte annähernd die Geschwindigkeit berechnet werden.

Diese Methode wurde zunehmend verfeinert. Das Wort „log“ stammt aus dem Englischen und bedeutet so viel wie Langholz, Knüppelholz oder Holzscheit. Ab dem 17. Jahrhundert wurde diese Methode vom Handlog abgelöst.

Das Handlog bestand aus einem Holzbrett, das auf einer Seite, z. B. durch Blei beschichtet, beschwert wurde, und einer langen Logleine, an der die Holzplatte befestigt war (Abb. 4.23). Das Handlog wurde vom Heck des Schiffs aus ins Wasser geworfen, wo es eine senkrechte Position einnahm. Während man die Leine von der Logrolle auslaufen ließ, zählte man die in einer festgelegten Zeitspanne vorbeilaufenden Knoten der Logleine und konnte so auf die zurückgelegte Strecke schließen.

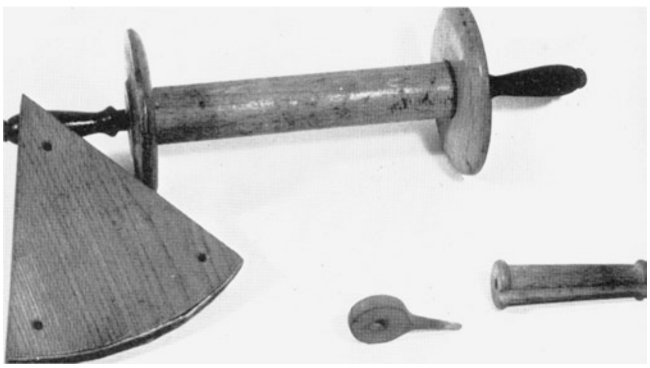
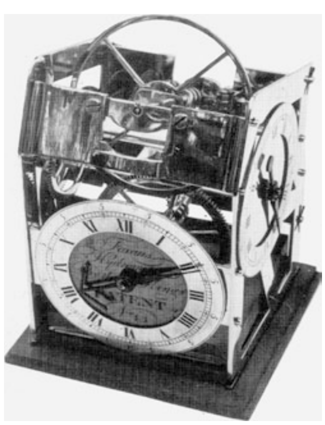


**Abb. 4.23** Einzelteile eines Handlogs

Da man durch diese Methode nur die momentane Geschwindigkeit berechnen konnte, musste man stündlich loggen und den Durchschnitt für jede Wache nehmen.

Dies hatte zur Folge, dass man sich schon bald auf die Suche nach mechanischen Hilfsmitteln begab. Im Jahre 1772 brachte der Zimmermann *William Foxon* eines der ersten mechanischen Loggen heraus. Es bestand aus einem Zählwerk, dessen Zifferblätter die zurückgelegten Meilen in zehn Meilen, Meilen und Zehntelmeilen anzeigte, welches auf der Reling fest verankert wurde, einer torsionsfreien Leine und einer Spirale, die ins Wasser ausgeworfen und nachgeschleppt wurde. Das große Rad im Inneren diente zur Regulierung, seine Achse verlief in der Verlängerung der torsionsfreien Schleppleine (Abb. 4.24).

**Abb. 4.24** Mechanisches Log von W. Foxon



Da die archimedische Schraube jedoch schon vom Prinzip keine genauen Werte liefern konnte und der Apparat sehr zerbrechlich war, wurde dieses Messgerät 1776 aufgegeben, nachdem es James Cook an Bord seines Schiffs erprobt hatte.

Nach vielen solcher Erfindungen, die sich in der Praxis jedoch nie richtig bewährten, kam 1802 das Log von *Edward Massey* auf. Massey benutzte das gleiche Prinzip wie seine Vorgänger, ein im Wasser nachgezogener Umdrehungszähler. Jedoch ähnelte der Propeller mit seinen feststehenden Blättern schon sehr den heutigen Formen. Aus diesem Fortschritt der Entwicklung entstanden dann die Loggen von Walker und Gould.

Das elektrische Log, das an Bord des Panzerschiffs L’Océan in der Bucht von Quiberon im Juni 1888 erprobt wurde, konstruierte *Fleuriais*. Es bestand aus einem doppelten Schalenkreuz, einem wasserdichten Gehäuse und einer Schnecke im Inneren, die durch die Drehung des Schalenkreuzes in Gang gesetzt wurde. Durch diese Drehung setzte sie ihrerseits ein kleines Zahnrad in Bewegung. Das Zahnrad, welches mit einem Knopf versehen war, löste bei jeder vollen Umdrehung einen Stromimpuls aus. Durch diesen Stromstoß wurde eine Art von Läutewerk aktiviert, das einen Ton von sich gab. Nun konnte man mittels der Zeit, die zwischen zwei Tönen verging, die Geschwindigkeit berechnen.

### Der Jakobsstab

Eine der einfachsten und ältesten Methoden zur Bestimmung der Höhe eines Gegenstands ist die Stockpeilung. Sie wird heute noch von Waldarbeitern und Förstern zur Größenbestimmung von Bäumen angewandt. Dieser Schätzung liegen die Streckenverhältnisse des Strahlensatzes zugrunde. Der angepeilte Stock (Messstab) am ausgestreckten Arm eines Erwachsenen ist etwa 70 cm vom Gesicht entfernt. Bei bekannter Distanz zum Baum lässt sich so die Höhe des Baums mit hinreichender Genauigkeit am Stock ablesen.

Messverfahren, die auf den Strahlensätzen beruhen, waren vielen Völkern bekannt. Sie waren z. B. bei den alten Babyloniern und den alten Chinesen im Gebrauch. Mit einer sehr ähnlichen Methode bestimmten auch die alten Ägypter die Höhe von Pyramiden und anderen Bauwerken. Sie steckten einen Stab in die Erde und zeichneten um den Stab einen Kreis, der genau den Radius der Höhe des Stabes hatte. Dann warteten sie, bis der Schatten des Stabes genau den Kreis erreichte und maßen die Länge des Schattens der Pyramide. Die Länge des Schattens plus die halbe Länge der Grundfläche der Pyramide ergibt deren Höhe (Abb. 4.25).

Bei dem Jakobsstab (*baculas jacobi*), den die Engländer Cross Staff, die Franzosen Arbalete und die Portugiesen Balestilha nennen, und der auch unter der Bezeichnung Gradstock bekannt ist, handelt es sich um ein einfaches trigonometrisches Gerät zur Winkelmessung zwischen zwei Gestirnen oder auch dem Horizont und einem Gestirn. Es wurde erstmals von dem jüdischen Gelehrten *Levi ben Gerson* (1288–1344) im Jahre 1342 in seinem Werk *Traité de trigonométrie*

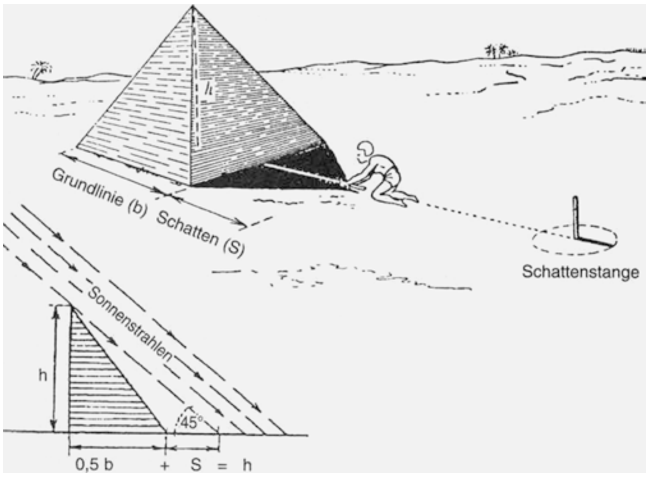



**Abb. 4.25** Bestimmung der Höhe einer Pyramide

beschrieben. Durch leichte Modifikationen konnten auch die Ergebnisse einfacher Berechnungen, die sich aus der Winkelmessung ergaben, direkt abgelesen werden.

Der Jakobsstab besteht aus einem 70–130 cm langen hölzernen Vierkantstab und bis zu vier Schiebern verschiedener Länge. Auf dem Stab werden ein bis zwei Schieber, deren Auswahl sich nach dem zu messenden Winkel richtet, angebracht. Zu jedem dieser einzelnen Schieber gehört eine Graduierung auf einer der vier Seiten des Stabs (Abb. 4.26).

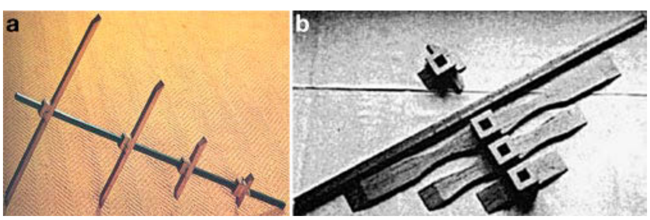



**Abb. 4.26** Jakobsstab (**b** zum Transport zerlegt)

Das Gerät diente in der Seefahrt hauptsächlich der Bestimmung der geografischen Breite. Dazu wurde der Höhenwinkel der Sonne oder eines Fixsterns (meist des Polarsterns) über dem nautischen Horizont gemessen.

Bei der küstennahen Navigation wurden mit ihm auch Winkel zwischen terrestrischen Zielen gemessen und damit in der Karte die Position bestimmt. Um den Betrachtungswinkel eines Gestirns zu messen, musste der Steuermann den Gradstock in Augenhöhe halten. Nun wurde ein Querstück so lange verschoben, bis der Horizont und das Gestirn mit den Enden des Querstücks in Deckung waren. Auf einer Skala des Hauptstabs konnte man nun den Stand des Querstücks ablesen. Die halbe Länge des Stabs dividiert durch den abgelesenen Wert ergab den Tangens des halben gesuchten Beobachtungswinkels. Die Skalierung des Querstabs war häufig so ausgeführt, dass für eine bestimmte Querstablänge der Winkel direkt abgelesen werden konnte (Abb. 4.27).

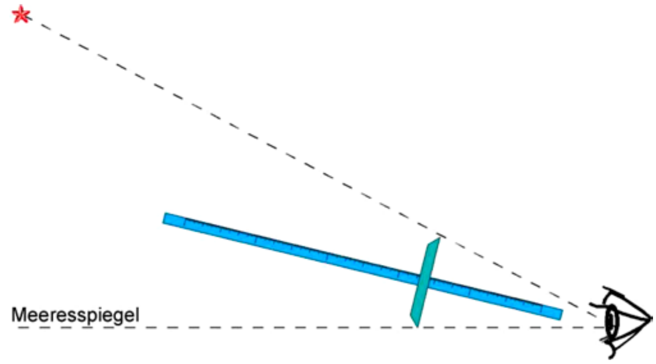



**Abb. 4.27** Anwendung des Jakobsstabs

Die Querhölzer verleihen ihm ein armbrustähnliches Aussehen, weswegen bis heute in der Seefahrt die Formulierung „eine Höhe schießen“ gebräuchlich ist, falls man die Höhe eines Sterns über den Horizont misst. Ein Problem war sicher die Tatsache, dass man mit ungeschütztem Auge in die Sonne blicken und gleichzeitig den Horizont anpeilen musste. Dies führte zu Ungenauigkeiten der Messung und zu Augenschäden.

Nachdem die erste sachkundige Beschreibung durch Levi ben Gerson niedergeschrieben wurde, gelangte die Schrift vermutlich 1384 durch *Heinrich von Langenstein,* dem damaligen Rektor der Wiener Universität, über Paris nach Wien, wo sie dem Nürnberger Astronomen *Johannes Müller* zugänglich wurde. Müller verfasste ein Buch, in dem er die Anleitung zum Bau eines Jakobsstabs gab, um mit ihm den Durchmesser des im Jahre 1472 erschienenen Kometen zu berechnen (Abb. 4.28).

**Abb. 4.28** Alter Stich zur Illustration der Anwendungsmöglichkeiten des Jakobsstabs

Später wurde der Jakobsstab in dem Werk *L'Asia*, in dem es um die Geschichte der Entdeckungen der Portugiesen im 15. Jahrhundert geht, von *Jao de Barros*, einem Araber im portugiesischen Dienst, erwähnt. Er beschreibt, wie Vasco da Gama in Ostafrika einem Mauren seine Astrolabien zeigt. Der Maure Matemo Cana wunderte sich darüber keinesfalls, sondern sagte, dass einige Steuerleute aus dem Roten Meer sich ähnlicher Instrumente bedienen und sie gebrauchen, wie diese die bei uns (Portugal) als Gradstock bekannt sind.

Wenn man in Betracht zieht, dass Levi ben Gerson, möglicherweise Enkel des Moses ben Nachman (Nachmanides), seine astronomischen Kenntnisse auf Schriften der Universität von Cordoba (Kalifat von Cordoba) gründete, schließt sich der Kreis.

Darüber hinaus schreibt 1569 und 1580 *Petrus Ramus* mit Bezug auf die Arbeiten von Gemma Frisius, dass der Jakobsstab das bequemste Instrument sei, und bevorzugt auf See angewandt würde. Es soll schon sehr alt und noch von den Patriarchen erfunden worden sein. Schon Archimedes habe ein ähnliches Instrument erwähnt, ebenso Hipparch, Plinius, Virgil, dann der Araber Barros (Jao de Barros) und der Rabbiner Levi ben Gerson. Die Erfindung des Gradstocks könnte demnach aus der griechisch-arabischen Welt stammen. Als die Kalifen Alexandria eroberten und die berühmte Bibliothek verbrannten, übernahmen sie sicherlich das astronomische und kartografische Erbe der Griechen. Vor allem die strategisch wichtigen nautischen Unterlagen, Karten und Segelanweisungen waren für sie von Bedeutung. In der Folgezeit entwickelten sich die Mauren/Sarazenen zu hervorragenden Astronomen. So haben noch heute viele Fixsterne arabische Namen (z. B. Benetnasch, Beteigeuze, Schedir).

Der Jakobsstab wurde allerdings auch häufig für terrestrische Berechnungen eingesetzt. Um die Höhe eines beliebigen Gegenstands zu bestimmen, muss man die Entfernung zu ihm kennen. Der Mathematiker *Philipp Apian* (1531–1589) beschrieb eine Methode, mit dem Jakobsstab die Höhe des Gegenstands zu bestimmen. Man hält den Jakobsstab so an das Auge, dass das obere Ende des Läufers am oberen Ende des Gegenstands und das untere entsprechend am unteren Ende des Gegenstands zu sehen ist. Dann berechnet man nach Apian die Höhe $h$ des Gegenstands mit folgender Formel (2. Strahlensatz):

$$h = \frac{a * l}{b}$$

Hierbei ist $a$ = die Entfernung zum Gegenstand, $l$ = die Länge des Läufers und $b$ = die Entfernung vom Auge bis zum Läufer. Entsprechend konnte mit dieser Formel bei bekannter Höhe des Objekts auch die Entfernung $a$ berechnet werden.

Da der Läufer bei dieser Methode nicht parallel zum Gegenstand ist, da der Gegenstand oben und unten über den Läufer angepeilt wird, ist das Ergebnis etwas ungenau. Auf große Entfernungen wirkt sich der Fehler jedoch nur gering aus. Zur genauen Bestimmung der Höhe muss man den Jakobsstab so halten, dass der Läufer parallel zum Gegenstand ist und man das obere Ende des Läufers wieder am oberen Ende des Gegenstandes sieht. Dann lautet die Formel zur Berechnung der Höhe $h$

$$h = h_a + \frac{a * l}{2b}$$

$h_a$ ist die Augenhöhe, $a$ ist die Entfernung zum Gegenstand, $l$ ist die Länge des Läufers und $b$ ist die Entfernung vom Auge bis zum Läufer.

### Das Kamal

Nach dem gleichen Prinzip wie der Jakobsstab arbeitet das Kamal (Abb. 4.29). Die Araber, die mit ihren Schiffen nach der Breite navigierten, benutzten es als Messinstrument. Es bestand aus einer viereckigen Platte mit einem Loch in der Mitte, durch das eine Schnur mit mehreren Knoten lief. Nun hielt man das Kamal so, dass man mit der oberen Kante die Sonne und mit dem unteren Rand den Horizont anvisierte.

**Abb. 4.29** Kamal

Mit der Schnur nahm man den Abstand zwischen dem Gerät und dem Auge, an dem jeder Knoten einen Winkel von zehn Grad bedeutete und interpolierte dann zwischen den Winkeln. Die Präzision blieb fraglich, aber das Prinzip blieb interessant.

### Der Davisquadrant

Der Davisquadrant war der erste Schritt in Richtung auf den heute gängigen Sextanten. Die Idee, den Jakobsstab verkehrt herum anzuwenden, und so einige Probleme des Jakobsstabs zu verringern, weil man damit die Augen schonte, lieferte der Kapitän und Entdecker *John Davis* (1527–1605). Davis, an dessen drei Reisen zur Auffindung der Nordwest-Passage die „Davisstraße" erinnert, beschreibt den Back Staff in seinem 1594 herausgegebenen Werk *The Seaman's Secret*.

Der Davisquadrant, meist aus Pockholz, d. h. dem Holz des Guajakbaumes, gearbeitet, bestand aus einem 61 cm langen Stab, an dessen Ende ein rechtwinkliges, nach links herausragendes Horizontvisier, in Form eines kleinen Brettchens mit waagerechtem Schlitz, befestigt war. Am anderen Ende, unterhalb des Hauptmaßstabs, befand sich ein 30°-Kreisbogen aus Buchsholz auf dem ein Lochvisier angebracht war. Zu dessen Verstärkung wurde eine 45 cm lange Querstrebe, knapp über dem unteren Ende des Limbus bis kurz vor das Horizontvisier, montiert. An dieser Stelle des Quadranten war der Hauptstab mit einem weiteren, kleineren Kreisbogen versehen. Dieser hatte eine 60°-Einteilung und ein verschiebbares Schattenvisier.

Während nun der Beobachter den Quadranten festhielt, stellte er das Schattenvisier am oberen Kreisbogen, verringert um etwa 10° bis 15°, auf den angenommenen Sonnenwinkel ein.

Danach blickte er durch die Absehe (Visier) des unteren Bogens zum Schlitz des Horizontvisiers und veränderte so lange die Höhe des Geräts, bis der Horizont im Visier erschien. Die Feineinstellung konnte nun am verschiebbaren Schattenvisier des oberen Kreisbogens erfolgen, und zwar bis dessen Schattenkante die Oberkante des Horizontschlitzes erreicht hatte. Die Summe der auf den Bögen abzulesenden Werte ergab den Horizontabstand des betrachteten Gestirns. Damit war zwar keine exakte, aber doch ziemlich genaue Bestimmung möglich (Abb. 4.30).


**Abb. 4.30** Anwendung des Davisquadranten

## Der Gunter-Quadrant

Um die Mitte des 15. Jahrhunderts tauchte der Gunter-Quadrant auf. Der Quadrant war ein Instrument für die Messung der Gestirnshöhe, speziell der des Polaris, dem Nordstern. So schrieb *Antonio Naiera* in seinem Buch *Navegacio Especulativay Practica* von 1628: „Der Quadrant, ähnlich dem Astrolabium, mit dem die Sonnenhöhe gemessen werden kann, ermöglicht es auch die Höhe von Sternen, also die Sternenhöhe, über dem Horizont zu messen."

Der Quadrant bestand aus einem hölzernen oder metallenen Viertelkreis, versehen auf einem der beiden Radien mit zwei Peillöchern. Ein Faden, an dessen Ende ein Bleilot befestigt war, wurde im Zentrum des Kreisbogens angebracht und hing an dem Viertel-Kreisbogen des Instruments herunter. Der Quadrant war je nach Ausführung und Gebrauch mit diversen Gravuren versehen. Auf der Vorderseite besaßen die meisten Geräte auf dem Außenkreis eine Gradeinteilung von 0–90° zur Höhenmessung (Abb. 4.31).

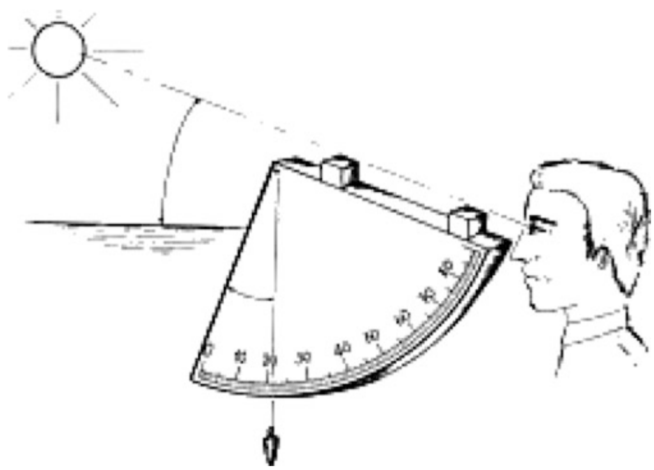


**Abb. 4.31** Messung mit dem Quadranten

Im Schnittwinkel der beiden Radien befand sich ein Schattenquadrat und auf dem mittleren Kreis eine stereografische Projektion des Sternenhimmels mit Äquator, Ekliptik, Wendekreis des Krebses und der Stellung von fünf wichtigen Sternen.

Auf der Rückseite konnten sich zwei Kreise befinden, von denen einer drehbar die zwölf Monate abbildete, während der andere mit zweimal zwölf Stunden feststand (Abb. 4.32).

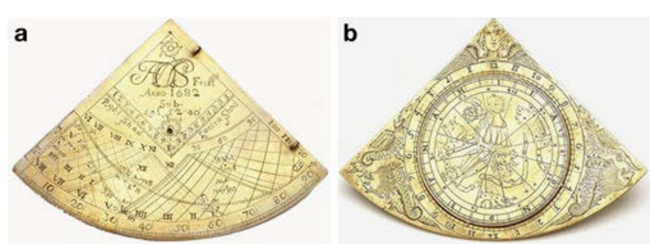



**Abb. 4.32** Vorder- und Rückseite eines Gunter-Quadranten von 1630

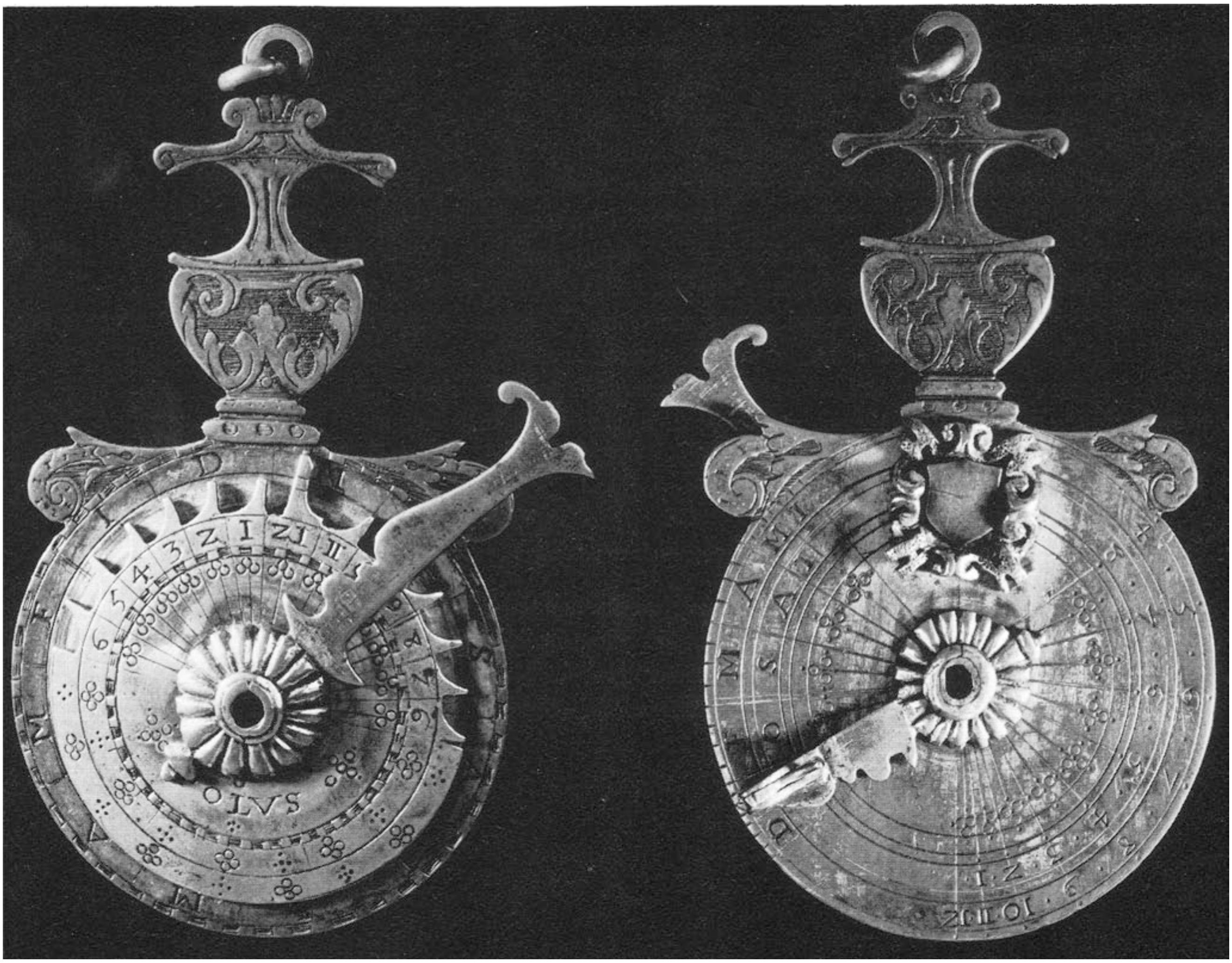


**Abb. 4.33** Nocturlabium, um 1580

Wollte man nun den Betrachtungswinkel eines Gestirns oder eines Objekts bestimmen, so visierte man es durch die beiden Absehen an und konnte im Moment der Übereinstimmung den beschwerten Lotfaden an die Skala des Kreisbogens drücken und die Zenitdistanz direkt ablesen, wobei man bis auf 1–2° genau messen konnte.

### Nocturlabien

Betrachtet man den Nachthimmel, so scheinen sich die Fixsterne um die Polarachse zu drehen. Nur der Polarstern, der erste Stern des Kleinen Bären, steht (nahezu) unbeweglich, während sich die „Räder" des Wagens um ihn herum drehen. Die Achse Polarstern–Hinterräder des Kleinen Wagens (oder Bären) ist ein richtiger Uhrzeiger. Man nutzte das seit dem 15. Jahrhundert aus, um das Nocturlabium zu konstruieren (Abb. 4.33).

Das Gerät – manchmal klein und aus Metall, manchmal groß und aus Holz – besteht aus einer runden Scheibe und einem Griff. Die Scheibe trägt eine Skala mit den zwölf Monaten. In der Mitte findet sich eine Hohlachse, auf der eine zweite Scheibe angebracht ist, deren Gravur zweimal von 1 bis 12 geht, im umgekehrten Sinn des Uhrzeigers. Ein Zeiger wird auf die 12 gestellt, mit ihm stellt man dann die kleine Scheibe auf den jeweiligen Monat. Man peilt dann durch die Hohlachse den Polarstern an und verschiebt die Alhidade, die auf der gleichen Achse angebracht ist, bis sie den Hinterradstern des Kleinen Wagens berührt. Die Alhidade weist dann den gleichen Winkel auf wie die Sternachse am Firmament. Man liest an ihrem Rand die Stunde vor bzw. nach Mitternacht ab.

Die Abb. 4.34 erläutert detaillierter die Wirkungsweise des Nocturlabiums. Das Nocturlabium, auch „Nachtuhr" oder „Sonnenuhr für die Sterne" genannt, ermöglicht es, die Uhrzeit während der Nacht zu bestimmen. Hierzu wird die Position der Verbindung zwischen den Sternen α und β im Großen Bären in eine Beziehung zum Nordstern gebracht. Diese Linie dreht sich im Lauf eines Tages um 360°. Vor der Beobachtung wird die Skala des inneren Kreises (A), die drehbar ist, auf das Datum eingestellt (hier ca. 22. Mai). Zur Beobachtung wird das am Griff (1) gehaltene Gerät so ge-

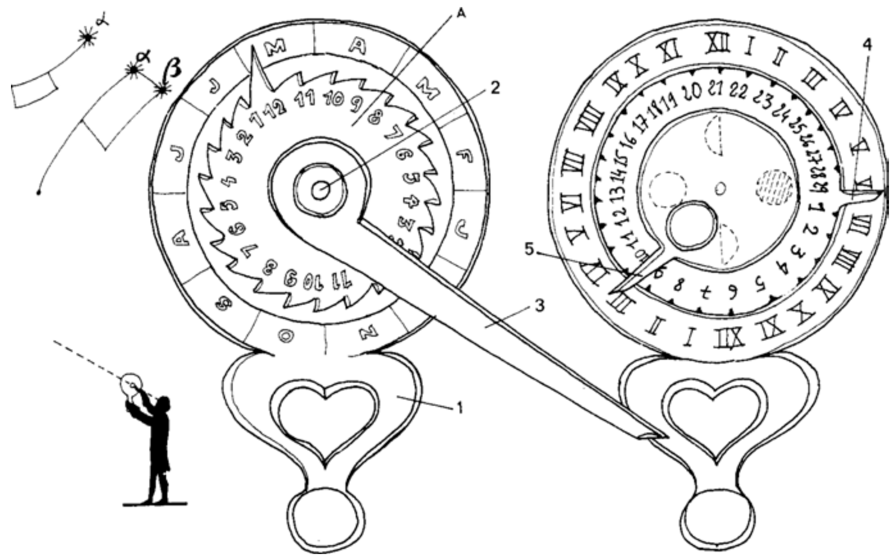



Abb. 4.34 Prinzip des Nocturlabiums

dreht, dass der Polarstern durch das Loch in der Mitte (2) zu sehen ist. Man bewegt dann die Alhidade (3), bis ihr Rand sich mit der Verbindungslinie von a im Kleinen Bären und α–β im Großen Bären deckt. Die Deckung der Alhidade mit der Skala des inneren Kreises ergibt die Ortszeit, hier ca. 2:00 Uhr.

Die Nocturlabien haben manchmal auf der Rückseite einen Gezeitenrechner. Der äußere Kreis ist zweimal von 0 bis 12 Uhr unterteilt, der mittlere Kreis trägt eine Einteilung in 29,5 Stücke, dem Alter des Mondes entsprechend. Der innere Kreis ist mit einem Index versehen, der den äußeren und mittleren Kreis verbindet. Zum Gebrauch stellt man die Markierung des mittleren Kreises (4) auf die Hafenzeit (hier 6:00 Uhr) und jene des inneren Kreises auf das Alter des Mondes (5) ein, in diesem Fall den zehnten Tag des Mondalters. Nun lässt sich auf dem äußeren Kreis die Hochwasserzeit ablesen: 3 h 30 min.

## 4.4 Reflexionsinstrumente

### 4.4.1 Die Entwicklung

Zu den Reflexionsinstrumenten zählen unter anderem die Messgeräte der Oktanten, der Sextanten, der Quintanten und deren Übergangsformen. Die Ursprünge und Erfindungszeiten dieser Geräte sind chronologisch leider nicht ganz vollständig.

So geht man heute davon aus, dass das erste Konzept für ein Gerät zur Winkelbestimmung mithilfe von mehreren Spiegeln von *Sir Isaac Newton* (1643–1727) stammt, der im Jahr 1699 seinen Entwurf eines Oktanten bei der Royal Society einreichte. Diese Entwürfe blieben jedoch lange Zeit unbeachtet und wurden erst 1742, Jahre nach seinem Tod, veröffentlicht. In seinem Nachlass fand man auch ein Original eines Oktanten, ähnlich denjenigen vom Typ „Hadley", das dieser seinerzeit mit den vorher besagten Entwürfen 1699 der Royal Society vorgelegt hatte.

In der Zwischenzeit entwickelten *John Hadley* (1682–1744) in London und *Thomas Godfrey* (1707–1749) in Philadelphia unabhängig voneinander den Sextanten und reichten ihre Unterlagen bei der Royal Society ein. Hadleys Konstruktion eines damaligen Oktanten (Abb. 4.35) stellte sich als zweckmäßigere von beiden heraus und wurde der Vorläufer vieler weiterer Sextanten. Da man jedoch beiden Entwürfen gleiche Bedeutung zuwies, wurde der Preis, der damals für die genaue Positionsbestimmung auf See ausgesetzt wurde, unter beiden aufgeteilt.

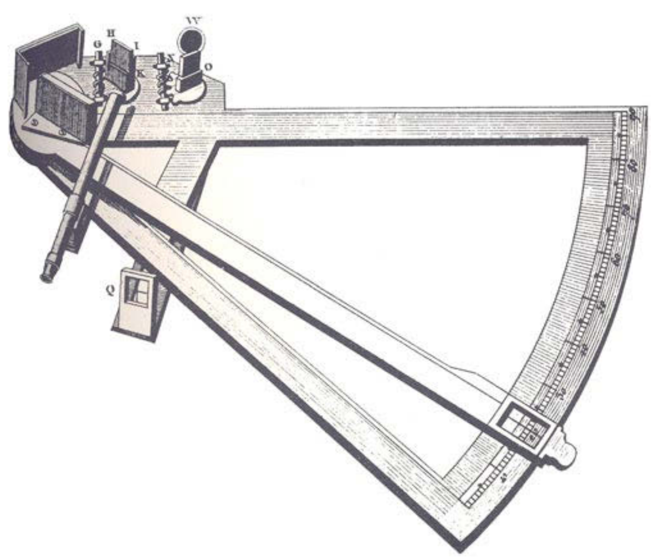


Abb. 4.35 Zweites Modell eines Oktanten von Hadley

Wie aus Papieren der Berliner Wissenschaftlichen Gesellschaft hervorgeht, nahm auch der englische Wissenschaftler *Robert Hooke* (1635–1703) für sich die Erfindung dieses Typs, der sich 1749 im Berliner Observatorium befunden haben soll, in Anspruch. Es kamen aber noch weitere Geräte von Männern wie Caleb Smith und Elton auf.

Der Sextant verdrängte schließlich nach seiner Weiterentwicklung schnell den Jakobsstab und das Astrolabium, sodass er bei der Navigation auf See erst mit der Entwicklung der Satellitennavigation an Bedeutung verlor. Im Bereich der Luftfahrt war der Sextant nur kurze Zeit in Gebrauch, da er bald durch Funknavigation und Trägheitsnavigation abgelöst werden sollte. Bei der Landvermessung wird er heutzutage durch Theodoliten ersetzt.

### 4.4.2 Der Oktant

Unter einem Oktanten versteht man jene Apparatur, die dem Sextanten vorausging und die man als Vorstadium des Messinstruments bezeichnen kann. Im Gegensatz zum Sextanten besaß er auf dem Gradbogen nur eine 45°-Gradeinteilung; daher auch sein Name. Er war auch noch nicht mit einem optimalen Fernrohr und einer Trommel ausgestattet. Daher war seine Messgenauigkeit noch vergleichbar gering.

Der Oktant konnte je nach Fabrikat und Hersteller im Aussehen variieren. Seine Hauptkomponenten und seine Funktionsweise waren aber dem Sextanten gleich.

Eine Variante zeigt die Abb. 4.36. Hier sieht man den Oktanten von Caleb Smith, dessen Arbeiten auf den Ergebnissen von Pezenas und Rochon beruhen. Ein Prisma (P) mit totaler Reflexion, dessen Winkel oben 44° und unten 68° betragen, ersetzt den kleinen Spiegel.

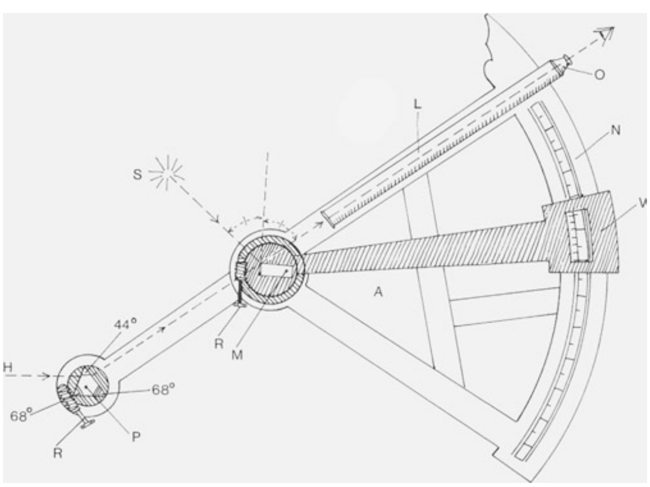



**Abb. 4.36** Oktant von C. Smith

Der Betrachter schaute bei der Benutzung nach unten, wobei er die Stellung des großen Spiegels (M) mittels der Alhidade (A) verändern konnte; zuvor drehte man die Schnecke auf Null.

### 4.4.3 Der Sextant

Der königliche Astronom James Bradley erprobte den 1732 von Hadley erfundenen Oktanten auf See. 25 Jahre später schlug Kapitän *Campbell* der Royal Navy vor, den Gesichtskreis des Instruments auf 120° zu erweitern. Durch diese Weiterentwicklung entstand der Sextant (Abb. 4.37).

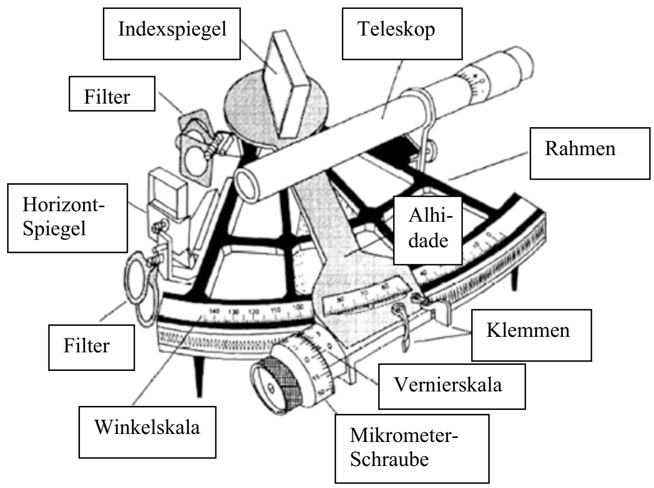



**Abb. 4.37** Aufbau eines Sextanten

Der Sextant besteht aus einem dreiecksähnlichen, etwa 60° umfassenden Messing- oder Leichtmetall-Instrumentenkörper. Damit er besser zu handhaben ist und durch seine materiellen Eigenschaften nicht so schwer wird, hat man sein Konstrukt durchbrochen und somit leichter gestaltet.

Auf diesen Rahmen, an der Rückseite des Gerätes, hat man ein einfaches galileisches Fernrohr mit zwei- bis vierfacher Vergrößerung angebracht, das aufgrund seiner Einstellungen auf den Horizont fixiert ist.

Auf der Verlängerung des Blickwinkels sitzt ein kleiner Spiegel, der Horizontspiegel. Meist ist eine Hälfte offen, Blick gebend zum Horizont, und die andere Seite verspiegelt, wo die Sicht auf einen größeren Spiegel umgelenkt wird. Dieser Spiegel, auch Indexspiegel genannt, befindet sich am oberen Dreieckspunkt im Zentrum einer drehbaren Ebene. An ihm ist eine Alhidade angebracht, die sich mit dem Spiegel über den Gradbogen des Sextanten bewegen lässt.

Da auf dem Limbus, also auf dem Gradbogen des Instruments, nur eine Gradeinteilung eingraviert ist, muss die Messung für die Navigation auf andere Weise verfeinert werden. Dieses erfolgt mittels einer Trommel- oder Mikroschraube, die an der Alhidade unterhalb des Limbus angebracht ist. Die Skala dieser Schraube ist in Winkelminuten unterteilt, wodurch eine genauere Bestimmung gewährleistet ist.

Um das Gerät noch zu vervollständigen, sind den beiden Spiegeln einklappbare Schattengläser (Filter) vorgeschaltet, sodass es möglich ist, bei Messungen auch die Sonne mit einzubeziehen.


**Abb. 4.38** Rückseite eines 10-DM-Scheins

Das Funktionsprinzip des Sextanten beruht auf dem physikalischen Gesetz, dass Ein- und Ausfallswinkel eines Lichtstrahls auf einen ebenen Spiegel jeweils gleich groß sind. Dieses wird nun auf das Gerät angewandt. Der Sextant verfügt daher über zwei Strahlengänge, den direkten und den indirekten. Der direkte Strahlengang verläuft geradlinig von einem anvisierten Objekt durch den halbdurchlässigen Horizontspiegel bis hin zum Fernrohr. Der indirekte Strahlengang hingegen verläuft über ein aus zwei Spiegeln bestehendes System, indem das angepeilte Messobjekt über den Index- und Horizontspiegel reflektiert und danach zum Beobachter weitergeleitet wird. Sind beide Bilder in Deckung, so verlaufen beide Strahlengänge parallel und die Alhidade steht auf 0° und die Trommel auf 0′.

Bewegt man nun die Alhidade und mit ihr den daran befestigten Indexspiegel, so erhöht man auch den Beobachtungswinkel. Die Folge: Die indirekten und direkten Strahlen verlaufen nicht mehr parallel. Für den Beobachter bedeutet das, er sieht gleichzeitig zwei verschiedene Objekte. Bringt man nun diese beiden Gebilde in Deckung, kann man an Limbus und Schraube den Winkel zwischen diesen ablesen (Abb. 4.38).

## 4.5 Astrolabien

### 4.5.1 Die Entwicklung

Nach dem Rechner von Antikythera muss man bis zum nächsten bekannten komplexeren 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. Beim Astrolabium handelt es sich um einen astronomischen Analogrechner, ähnlich dem Räderwerk von Antikythera, allerdings mit einer wesentlich geringeren Komplexität. In seiner Wirkungsweise und Handhabung ist das Astrolabium mit einem runden Rechenschieber vergleichbar (Abb. 4.39).

Das Astrolabium diente sowohl astronomischen Zwecken als auch zur Navigation. Auf einer Grundplatte befindet sich eine Eingravierung der stereografischen Projektion der Erde

**Abb. 4.39** Astrolabium aus dem 15. Jahrhundert

mit ihren Längen- und Breitengraden (erste Ansätze zu einer Kartografie, die auf Längen- und Breitengraden beruht, gehen auf Ptolemäus zurück; danach sind sie in Europa erst wieder ab 1400 allgemein gebräuchlich). Darüber ist ein drehbares Gitter angeordnet, das den Fixsternhimmel und die Position bekannter Sterne in Form von Zeigern verkörpert. Die Position der Sonne ist durch ihren Standort in dem Ekliptikkreis gegeben, der ebenfalls in das Gitter eingebettet ist und die Tierkreiszeichen neben einer 360°-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 zum Ende des vergangenen Jahrhunderts in der Schifffahrt im Indischen Ozean im Einsatz. Auch in Europa wurden sie häufig für navigatorische Zwecke sowie für astronomische Bestimmungen eingesetzt.

Es gibt verschieden Typen von Astrolabien. Der bei weitem populärste Typ ist wohl das planisphärische Astrolabium, bei dem die Himmelssphäre auf die Ebene des Äquators projiziert wird.

Ein Astrolabium zeigt, korrekt eingestellt, die Himmelskonfiguration an einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit an. Hierzu ist die Himmelskonfiguration auf die Oberfläche des Astrolabiums projiziert, sodass 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 Instruments zu erkennen und die einzelnen Positionen mithilfe von Markierungen leicht zu bestimmen. Dies erlaubt eine große Anzahl astronomischer Probleme auf eine visuelle Art zu lösen. Typische Anwendungen eines Astrolabiums beinhalten das Bestimmen der Zeitspanne zwischen Tag und Nacht, das Bestimmen des Zeitpunkts eines Himmelsereignisses – wie z. B. Sonnenauf- oder Sonnenuntergang – und als handliches Nachschlagewerk für Himmelspositionen. In den islamischen Ländern wurden Astrolabien auch benutzt, um die Zeiten für die täglichen Gebete und die Richtung nach Mekka zu bestimmen.

Die Ursprünge der Astrolabien liegen vermutlich in Griechenland. *Apollonius* (ca. 225 v. Chr.), der sich intensiv mit Kegelschnitten beschäftigte, studierte wahrscheinlich die zur Erstellung von Astrolabien notwendigen Projektionen. Wesentliche Erkenntnisse gelangen auch *Hipparchus*, der in Nicaea (dem heutigen Iznik in der Türkei) um 180 v. Chr. geboren wurde, aber auf Rhodos studierte und arbeitete. Hipparchus charakterisierte die Projektion als eine Methode, um komplexe astronomische Probleme ohne sphärische Trigonometrie zu lösen, und er bewies wahrscheinlich ihre Hauptcharakteristika. Hipparchus hat zwar nicht das Astrolabium erfunden, wohl aber die Projektionstheorie verfeinert.

Das älteste Beweisstück für die konkrete Benutzung der stereografischen Projektion ist ein Schriftstück des römischen Autors und Architekten *Vitruvius* (ca. 88 bis ca. 26 v. Chr.). Er beschreibt in *De architectura* eine Uhr, die von Ctesibius in Alexandria hergestellt wurde und in der eine stereografische 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 von Alexandria* (ca. 390) schrieb eine wissenschaftliche Abhandlung über das Astrolabium. *Synesius von Cyrene* (378–430), ein Schüler von Hypatia und Gatte von Theons 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 6. Jahrhundert und ein Jahrhundert später von *Severus Sebokht*, Bischof aus Kenneserin, Syrien. Es gibt allerdings Vermutungen, dass Sebokhts Arbeit von denen Theons beeinflusst wurde. Die Existenz von Astrolabien im 7. Jahrhundert ist allerdings gesichert.

Arabische Abhandlungen über Astrolabien sind seit dem 9. Jahrhundert bekannt und indizieren eine lange Vertrautheit mit dem Instrument. Die ältesten heute noch existierenden Exemplare sind alle arabischen Ursprungs und stammen aus dem 10. 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 Anwendungsmöglichkeiten bis hin 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 Nordafrika nach Spanien (Andalusien) und somit nach Europa. Informationen über Astrolabien existierten in Europa bereits wesentlich früher – vermutlich über den Handel auf den Schifffahrtswegen –, 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 moslimischen 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 islamischen Gebete bezogen, wurden völlig von den europäischen Astrolabien verbannt.

Astrolabien erreichten in Europa 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.

Ein Standardwerk des ausgehenden Mittelalters (Erstausgabe 1512) ist *Johannes Stöfflers* Buch *Elucidatio Ususque Fabricae Astrolabii* (Abhandlung über den Gebrauch und die Herstellung des Astrolabiums) (Abb. 4.40). Stöffler war Professor für Mathematik an der Universität Tübingen. 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 Papier wurden 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 Quad-

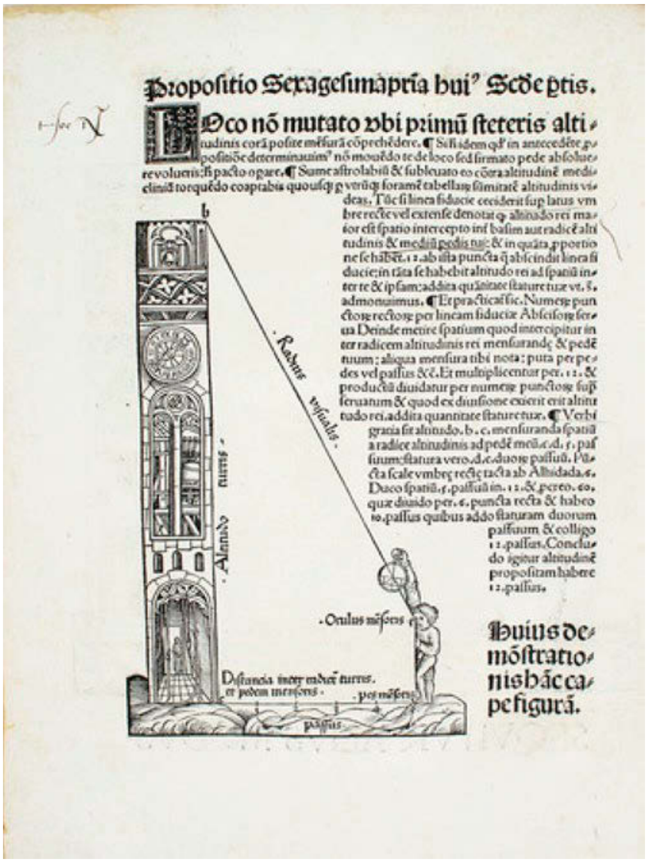



Abb. 4.40 Seite aus dem Lehrbuch von Stöffler

ranten-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.

### 4.5.2 Die Teile eines Astrolabiums

Der wesentlichste Informationsteil des Astrolabiums war die Vorderseite. Diese besitzt zwei Arten von Teilstücken: feste und bewegliche. Die festen repräsentieren Zeitskalen und ferner die stereografische Projektion des Himmels von einem bestimmten Breitengrad aus betrachtet. Die beweglichen Teile simulieren die tägliche Rotation des Himmels (Abb. 4.41).

Der Hauptkörper (Mater, Latein für Mutter) eines typischen Astrolabiums besteht aus einer Scheibe. Diese hat in der Mitte eine Vertiefung, 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

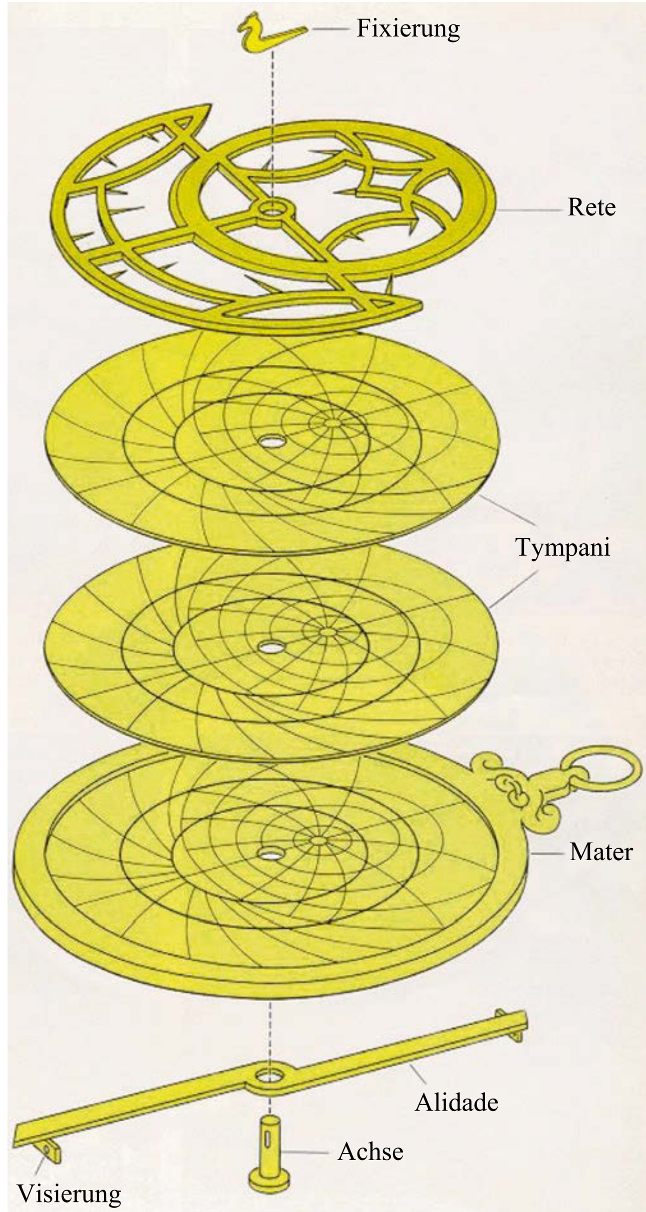



Abb. 4.41 Aufbau eines Astrolabiums

ist eine Platte (auch „climate“ oder „tympanum“ genannt) für den lokalen Breitengrad.

Diese Platte zeigte die stereografische Projektion der Himmelssphäre auf dem Äquator. Sie wurde benutzt, um die Position eines himmlischen Objekts 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 Objekts konnte eindeutig aus dem Winkel dieses Objekts 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 den Längenkreis des Standorts. Süden ist hierbei oben. Die horizontale Linie bezeichnet die Ost-West-Achse, mit Osten an der linken Seite der Platte und Westen an der rechten 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 Krebses.

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 und 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 Figur repräsentiert 10 Höhengrade, das bedeutet, dass jedes Objekt, das irgendwo auf dem 50°-Kreis liegt, eine Höhe von 50° besitzt.

Die Gradeinteilung variierte, manche Astrolabien besaßen Höhenlinien für jedes Grad, alle zwei 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. Oft werden die Höhenkreise in vielen Astrolabienbüchern auch mit ihren arabischen Namen *almucanters* bezeichnet.

Die Bögen, die scheinbar vom Zenit aus strahlen, sind die Bögen mit gleichem Azimut. Der Azimutwinkel eines Objekts am Himmel ist der Winkel relativ zum 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 ausstrahlen, 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.

Die Rete (lateinisch: Netz), die über der Platte sitzt, war beweglich angeordnet, um die täglichen Bewegungen der Sterne am Himmel nachvollziehen zu können. Die Rete besaß zwei Hauptkomponenten: Sternenzeiger und die stereografische Projektion der Ekliptik (Abb. 4.42).

Die Sternenzeiger sind an der Position ihrer stereografischen 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 wertvollen Exemplaren.

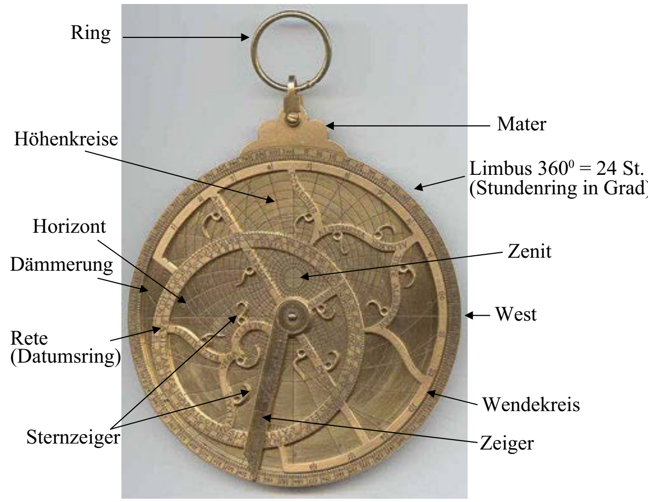



**Abb. 4.42** Hauptelemente der Vorderseite eines Astrolabiums

Der verschobene Kreis auf der Rete stellt die stereografische Projektion der Sonnenlaufbahn dar. Dieser Ekliptikkreis ist verschoben, sodass er den Wendekreis des Steinbocks nur zur Sommersonnenwende und den Wendekreis des Krebses 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 ihrer Laufbahn wurde auf der Rückseite des Astrolabiums von Skalen abgelesen. Daraufhin wurde eine Art Lineal (*rule*) so weit gedreht, bis es die Ekliptik an dem korrekten Längengrad kreuzte. An 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.

Zuweilen fand man auf dem Gerät auch noch sogenannte Schattenquadrate und eine Schar von Kurven eingraviert. Mit dem Schattenquadrat war es möglich, die Seitenlängen in einem rechtwinkligen Dreieck zu bestimmen, z. B. bei der Berechnung einer Höhe bei bekannter Entfernung eines Objekts, und mit der Kurvenschar konnte man die „ungleichen Stunden" berechnen. Den Zeitraum zwischen Sonnenauf- und -untergang teilte man zu damaligen Zeiten immer in zwölf Stunden ein. Je nach Jahreszeit hatte man eine unterschiedliche Stundendauer. Diese „ungleichen Stunden" konnte man mithilfe des Astrolabiums durch Bestimmung des 24. Teils der Rotationsdauer der Erde in „gleiche Stunden" umrechnen.

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.

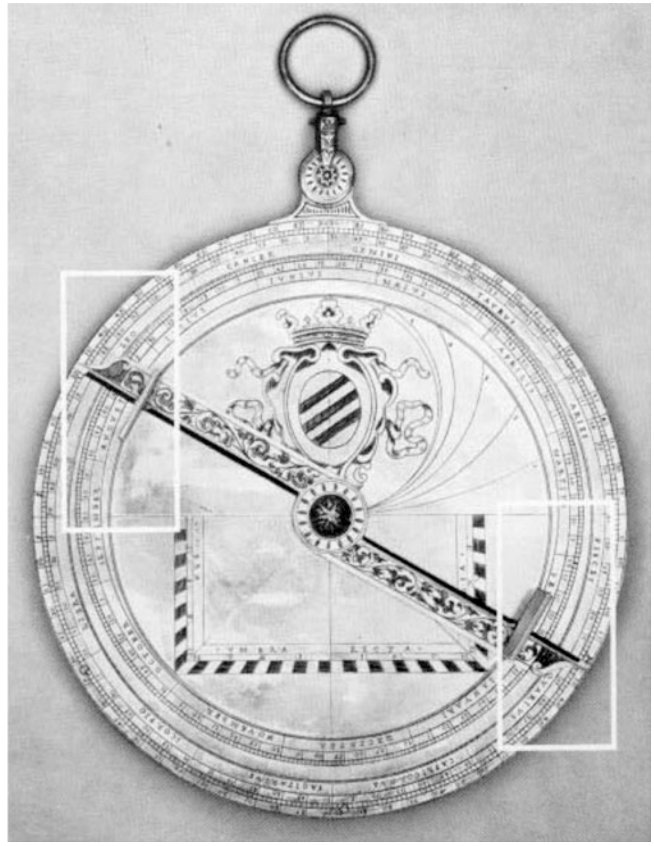


**Abb. 4.43** Messung mit dem Astrolabium

Eine der Hauptanwendungen des Astrolabiums war – neben der Positionsbestimmung – die Bestimmung der Uhrzeit anhand der Höhe der Sonne oder eines Sterns. Die Rückseite eines Astrolabiums besitzt einen beweglichen Alidade und eine Skala von Gradzahlen, um Höhenmessungen durchzuführen. Diese funktionieren 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 ihrer 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 Instrumenten 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 dieses Problem zu lösen. Bei vielen Instrumenten ist die Kalenderskala leicht verschoben, in Anlehnung an das exzentrische Modell 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 (Tangens des Winkels) wurde auf dem Schatten-Quadranten abgelesen (Abb. 4.43).

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.

Die Benutzung des Messinstruments war, je nach zu lösender Aufgabe, unterschiedlich. Zur Bestimmung der Höhe der Sonne musste das Astrolabium zunächst in eine vertikale Lage gebracht werden.

Dazu hängte man es am oberen Ring auf oder hielt es mit den Fingern frei schwingend fest. Durch Drehung brachte man es in dieser Vertikalen in eine Position, in der es zur Sonne zeigte. Das Alidade auf der Rückseite wurde dabei so gedreht, dass der Lichtstrahl der Sonne exakt durch beide Diopter schien. Die Gradzahl des Betrachtungswinkels konnte man jetzt an den Enden des Zeigers auf der äußeren Skala ablesen (Abb. 4.44).

Die gleiche Vorgehensweise wurde auch bei der Bestimmung eines Gestirns benutzt. Nur bewegte man den Alidade nun so, dass man den Stern durch beide Diopter anvisieren konnte. Die Entnahme des Winkels erfolgte wieder über die äußere Winkelskala. Mit diesen Verfahren war es nun möglich, die jetzigen Positionen und Konstellationen von Gestirnen zu bestimmen (Abb. 4.45).

Doch auch die Positionsbestimmung der Positionen von Sternen zu einer vergangenen Zeit oder in der Zukunft war möglich. Hierzu musste man *Horse*, *Rule* und *Rete* vom Astrolabium entfernen und die geeignete *Climate*-Scheibe mit der geografischen Breite des zu betrachtenden Orts in die *Mater* einlegen und alles wieder befestigen.

Mit dieser Apparatur bestimmte man die Sonnenhöhe, d. h. ihren Almukantarat (z. B. 10½°) und konnte nun im Tierkreiskalender das entsprechende Datum der Beobachtung einstellen.

Aus dieser Einstellung folgte für den 9. Februar der Winkel: 9. Februar = Aquarius 30° (siehe Abb. 4.46). Mit diesen Daten musste man die Position der Sonne auf dem eklip-

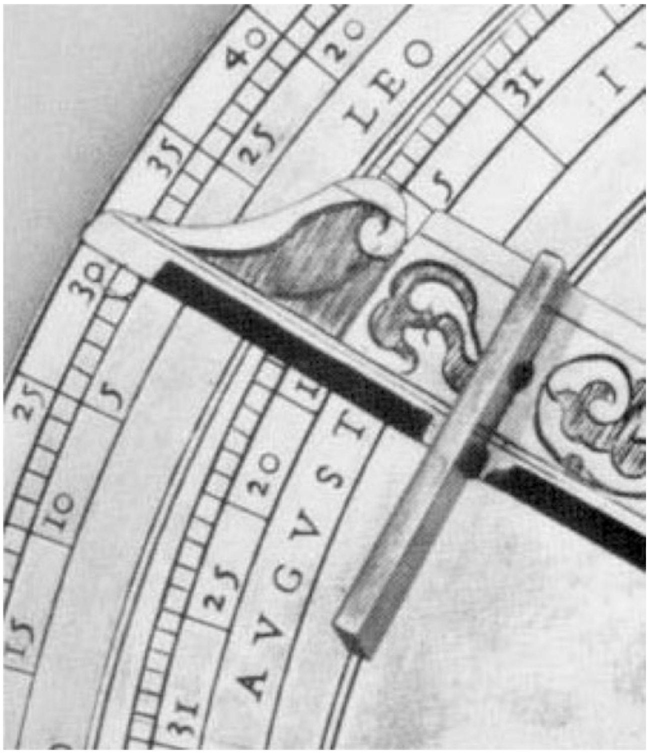



**Abb. 4.44** Bestimmung des Winkels

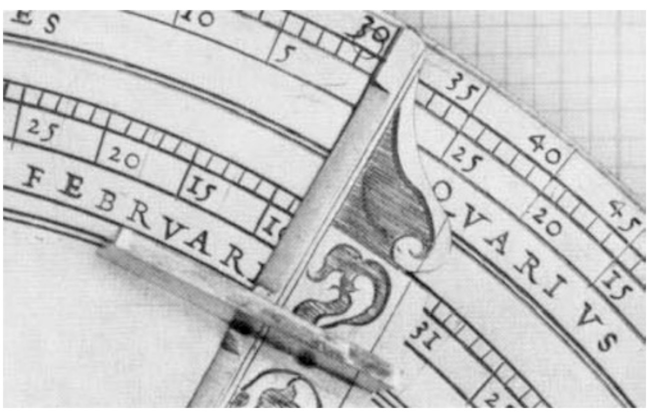



**Abb. 4.45** Bestimmung des Winkels im Tierkreiszeichen

tischen Kreis der *Rete* lokalisieren und ihn, durch Drehen der *Rete*, in die Position für den entsprechenden Tag (Aquarius 30°) und den entsprechenden Almukantaraten (10½°) bringen. Die Zentrallinie des Astrolabiums führt durch den Nord- und Südpunkt, wobei auf der Vorderseite des Instruments ein Meridian verläuft, der die Mittagsstellung symbolisiert.

Möchte man zeitlich frühere Betrachtungen vornehmen, muss man sich auf dieser Linie in Richtung Osten bewegen, für Nachmittagsuntersuchungen in Richtung Westen.

In einem weiteren Schritt soll die Bestimmung der ungleichen bzw. Temporalstunde bei Tag vorgenommen werden. Dafür stellt man das Astrolabium wieder nach der Sonne bzw. nach der Höhe eines Sterns ein.

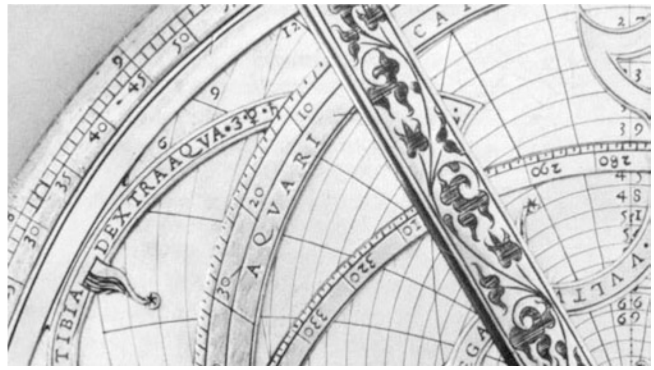


**Abb. 4.46** Bestimmung der Sonnenposition

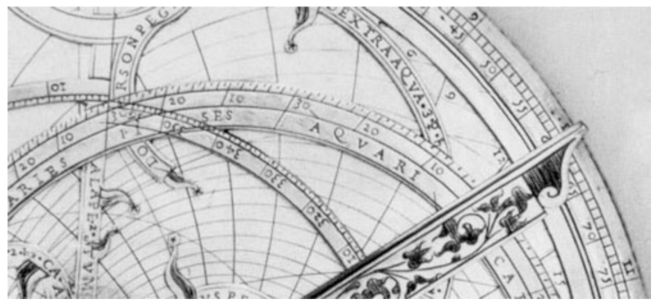


**Abb. 4.47** Bestimmung der ungleichen Stunde

Mittels Drehung des oberen Zeigers bis zu dem Punkt, an dem seine Kante die Position der Sonne in der Ekliptik schneidet, kommen wir schon zu dem Ergebnis. In Abb. 4.47 schneidet der *Rule* die Sonnenposition bei „Aquarius 4°“. Dadurch ergibt sich die Zeit von 10 Stunden 00 Minuten.

# 5 Astronomische Uhren und Kirchenrechner

## 5.1 Astronomische Uhren

### 5.1.1 Die Messung der Zeit

Der älteste Zeitmesser ist die Sonne. Ihr Auf- und Untergang trennt Tage von Nächten. Sie ist die Basis für eines der ältesten Zeitmessgeräte, 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. Von dieser Eigenschaft machen Menschen seit mehr als fünf Jahrtausenden Gebrauch. Alle alten Hochkulturen – von Babylonien über die Ägypter bis zu den Inka – bestimmten aus der Länge des Schattens die Sonnenhöhe und die Tageszeiten.

Die alten Ägypter lasen an den Schatten der Pyramiden die Stunden ab. Später errichteten sie speziell zu diesem Zweck prunkvolle Obelisken. Obelisk bedeutet „versteinerter Sonnenstrahl". Sie waren Ra, dem Gott der Sonne und dem Zeitenlenker, gewidmet. Ihren Höhepunkt fanden die Obelisken um 1500 v. Chr. in den „Nadeln der Kleopatra", zwei Kalendersäulen in Heliopolis. Im 3. Jahrhundert v. Chr. kamen in Alexandria *Skaphe* genannte Sonnenuhren auf. Bei ihnen wurde der Schatten in eine längliche Rinne oder eine hohle Halbkugel projiziert.

Die Griechen nannten den Stab der Sonnenuhr *Gnomon*. Dieser Name bedeutet „Bewerter (der Zeit)". Nach babylonischem Vorbild stellte *Anaximandros von Milet* um 530 v. Chr. die erste Sonnenuhr Griechenlands auf.

In Europa vergingen nach dem Untergang der antiken Reiche viele Jahrhunderte, ehe wieder Sonnenuhren errichtet wurden. Es waren die Klöster und Kirchen des Mittelalters, die einen Zeitmesser benötigten, um an allen Orten die gottesdienstlichen Verrichtungen möglichst zur selben Zeit vornehmen zu können. An einer Südwand waagerecht angebrachte eiserne Stäbe zeigten an den in Stein gemeißelten Zeitlinien die kanonischen Gebetsstunden an. Man bezeichnet sie daher auch als kanoniale Sonnenuhren. Die älteste dieser Art in Deutschland entstand um 820 n. Chr. in Fulda.

Eine von der Sonne unabhängige Zeitmessung ist mit Verfahren möglich, die auf dem Durchfluss oder dem Verbrennen einer Substanz beruhen. Die wohl älteste Methode ist die der Wasseruhr. Die einfachste Form besteht aus einem Gefäß, das sich durch ein kleines Loch sehr langsam leert oder – seltener – füllt.

Lederhandwerker in Myanmar benutzen noch heute solche äußerst einfachen Einlaufuhren. Sie legen die Hälfte einer Kokosnussschale, die mit einem kleinen Loch versehen ist, in eine Wasserschüssel. Wenn sie vollgelaufen ist, haben sie das Leder lange genug gewalkt.

In Ägypten waren Wasseruhren schon sehr früh bekannt, wobei das Datum ihres erstmaligen Auftretens unbekannt ist. Überliefert ist jedoch, dass der Beamte *Amenemhet* zwischen 1555 und 1534 v. Chr. zur genaueren Stundenmessung eine verbesserte Wasseruhr konstruierte. Eine Inschrift berichtet, er habe die von Monat zu Monat wechselnde Nachtlänge gemessen und ein Verhältnis der Winter- und Sommernacht von 14 zu 12 festgestellt. Daraufhin habe er für Amenophis I. eine Wasseruhr gebaut, welche die wechselnde Länge der Stunden berücksichtigt.

Das älteste erhaltene Exemplar einer ägyptischen Wasseruhr wurde im Tempel von Karnak gefunden und stammt aus der Regierungszeit von Amenophis III. um 1370 v. Chr. Es befindet sich heute im Tempel von Karnak. Seine Außenseite, die reich dekoriert ist, zeigt u. a. Listen der Mondmonate, der Planeten und speziellen Sterne. Im Inneren befinden sich zwölf gepunktete Linien. Jede Linie repräsentiert einen Monat und die Punkte Teilabschnitte eines Monats.

Ein Problem der Wasseruhren ist ihre inkonstante Auslaufgeschwindigkeit, die von der Höhe des Wasserstands abhängt. Dieses Problem wurde später durch „genormte" Wasseruhren gelöst. Ihre Wände bildeten eine parabolische Kurve, wodurch der Wasserstand in gleichen Zeiten um die gleiche Strecke sank.

Die Griechen kannten Wasseruhren unter dem Begriff *Klepsydra*, was übersetzt etwa „Wasserdieb" bedeutet.

Schon früh wurden Wasseruhren mit Automaten kombiniert. Im Garten der Athener Akademie ließ Platon um 380 v. Chr. eine außergewöhnliche Wasseruhr aufstellen. Aus einem Vorratsgefäß tropfte Wasser in ein zweites. Hatte sich darin eine gewisse Wassermenge gesammelt, so stürzte diese plötzlich in ein drittes, dicht verschlossenes Gefäß. Dann

W.-M. Lippe, *Die Geschichte der Rechenautomaten*,
DOI 10.1007/978-3-642-36191-3_5, © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

konnte die darin eingeschlossene Luft nun durch eine Pfeife entweichen. Die in der Figur eines Flötenspielers verborgene Konstruktion ist als Weckuhr interpretiert worden.

Im 3. Jahrhundert v. Chr. gelang es *Ktresibios von Alexandria*, eine über 24 Stunden andauernde gleichmäßige Zeigerbewegung zu konstruieren. Grundlage der Konstruktion war eine Einlauf-Wasseruhr. Ihr gleichmäßiges Tröpfeln war einem vorgeschalteten Sammelbehälter zu verdanken, in dem ein Schwimmerventil den Wasserstand annähernd konstant hielt. Eine Wasserleitung am Aufstellungsort sorgte für beständigen Zufluss. Aus den Augen einer allegorischen Figur am Fuß dieses Regulierbeckens tropften „Tränen" und wurden durch Röhren in die eigentliche Uhr geleitet. Hier hob ein Schwimmer auf der Wasseroberfläche im Lauf des Tages eine zweite Figur, deren ausgestreckte Hand auf die Zeitskala wies. Diese Skala befand sich in Gestalt wellenförmiger Linien auf dem Umfang einer senkrechten Säule, die sich in 365 Tagen einmal um sich selbst drehte. Dadurch konnten die im Lauf des Jahres unterschiedlich langen Stunden angezeigt werden.

Integriert in die Uhr war ein Kalenderwerk. Jeweils nach 24 Stunden öffnete ein Schwimmer ein Ventil, durch welches alles Wasser aus dem Uhrenbehälter abfloss. Dabei trieb es ein Wasserrad, das über ein Räderwerk die Anzeigesäule um etwa ein Grad drehte. Diese vollzog dadurch im Lauf eines Jahres eine vollständige Umdrehung. Ein in zwölf Felder geteilter Fries an ihrem Oberteil zeigte dabei die jeweilige Monatsgottheit an. Samt ihrem Sockel, der die beiden Wasserbehälter enthielt, ragte die Säule fast 3 m in die Höhe.

Auch später wurden viele Wasseruhren mit mechanischen Vorrichtungen gekoppelt. So wurde z. B. um 500 n. Chr. auf dem Marktplatz von Gaza die „Herkulesuhr" aufgestellt, eine monumentale Wasseruhr, an der kleine Herkulesfiguren an einem Gong die Stunden schlugen. Um das Jahr 807 erhielt Kaiser Karl der Große von Kalif Harun al Raschid eine prachtvoll ausgestattete Wasseruhr aus Messing mit Schlagwerk und mechanisch angetriebenem Figurenspiel zum Geschenk. Ein chinesischer Reisender berichtete um diese Zeit aus Antiochia in Syrien von einer goldenen Wasseruhr in Gestalt einer Waage, die stündlich eine Kugel mit klingendem Ton fallen lässt.

Als man um 1250 in Venedig klares Glas herstellen konnte, kamen die Sanduhren in Gebrauch. Die vermutlich erste Beschreibung einer Sanduhr findet sich 1313 in Francesco Barberinos *Documenti d'Amore*, die älteste Abbildung 1338 auf einem Fresko von Ambrogio Lorenzetti im Friedenssaal des Palazzo Pubblico von Siena. Hier hält eine Frauengestalt eine Sanduhr hoch. Sie stellt Temperantia dar, eine der vier von Platon gepriesenen Tugenden. Der Ausdruck kommt vom lat. *Temperamentum*, das hier als „Maß, richtige Mischung, Mäßigung" zu übersetzen ist und von dem auch *tempus*, das lateinische Wort für Zeit, stammt.

In der Seefahrt erwiesen sich Sanduhren als relativ unempfindlich gegenüber den ständigen Schiffsbewegungen. Deshalb konnten sie sich lange gegen die mechanischen Uhrwerke behaupten. Voraussetzung für ihre richtige Funktion war allerdings das sofortige Umwenden, sobald das Glas abgelaufen war. Diesen Zeitpunkt nannte man Glasen, er wurde der Mannschaft durch Anschlagen der Schiffsglocke mitgeteilt. Sanduhren mit halbstündiger Laufzeit hatten sich für diesen Zweck durchgesetzt, und die erste halbe Stunde wurde mit einem, die zweite mit zwei Glockenschlägen usw. bezeichnet. Jede der auf See üblichen vierstündigen Wachen (Arbeitsschichten) endete also mit „Acht Glas". Das entsprach den Uhrzeiten 4, 8, 12, 16, 20 oder 24 Uhr. Glasen als traditionelles Zeitmaß blieb in der Seefahrt bis ins 20. Jahrhundert üblich. Die Wachen als Tagesabschnitte erhielten besondere Namen. Als Arbeitsschicht hießen sie je nach Lage See-, Hafen- oder Ankerwache, dienstfrei war die Freiwache. Die am wenigsten beliebte Schicht zwischen 0 und 4 Uhr nannten die Matrosen „Hundewache".

Neben dem Stundenglas hatte jedes Schiff ein Logglas, erstmals wird es 1607 erwähnt. Diese spezielle Sanduhr läuft in 14 oder 28 Sekunden aus und hilft beim Messen der Schiffsgeschwindigkeit auf See. Dazu wirft man einen Schwimmkörper, das Logscheit, über Bord. Während es hinter dem Schiff zurückbleibt, läuft die mit Knoten in bestimmtem Abstand versehene Logleine von einer Rolle ab. Die Zahl der während der Laufzeit des Logglases abgelaufenen Knoten gibt unmittelbar die Geschwindigkeit des Schiffs gegenüber der Wasseroberfläche an. Noch heute ist „Knoten" die dafür gebräuchlichste Maßeinheit. Sie entspricht einer Seemeile pro Stunde.

Eine andere Möglichkeit zur Zeitmessung bestand im Abbrennen von Kerzen. Diese Methode war besonders in den Klöstern des Mittelalters verbreitet und zeugte in der Vorstellung der damaligen Welt vom Vergehen der Zeit.

### 5.1.2 Die Entwicklung der 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 durch die Entwicklung von Kirchenuhren geprägt.

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. 1500 Jahre früher in Kleinasien mit dem Räderwerk von Antikythera 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 Dreikönigsuhr (s. Abb. 5.1) zu den ersten Städten, die eine solche Errungenschaft besaßen. Die Legende behauptet, dass dem Uhrmacher der astronomischen Uhr nach der Vollendung seines Werks 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 offenbaren sie doch den Stolz der Straßburger auf den Besitz eines Werks, das in der damaligen Zeit zu den großen Wundern zählte.

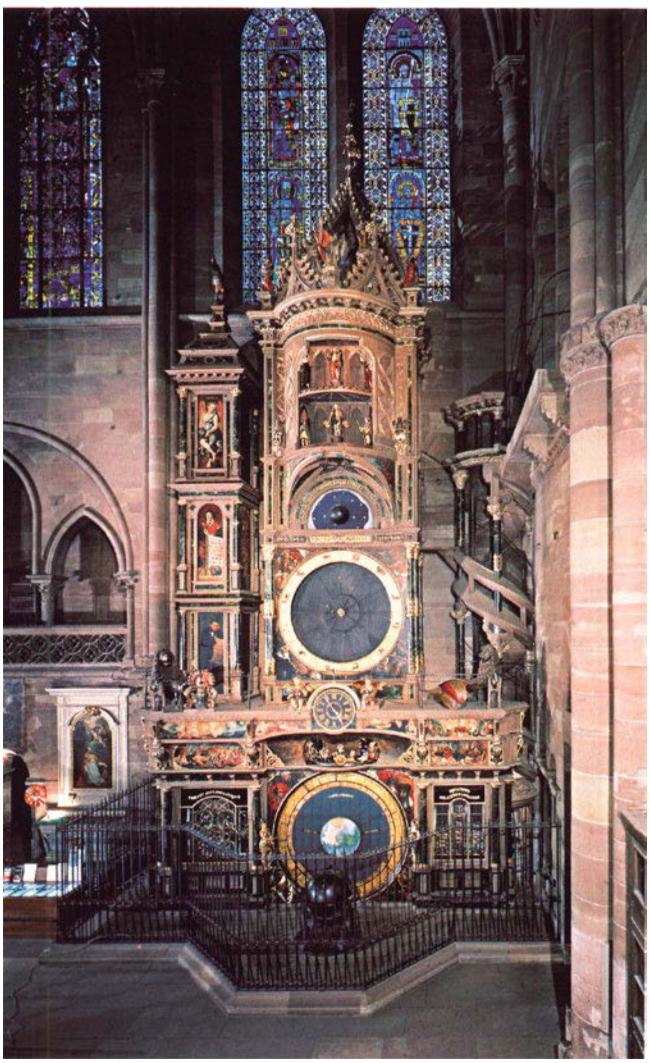


**Abb. 5.1** Außenansicht der heutigen astronomischen Uhr des Münsters zu Straßburg

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

Gute Uhrmacher für Kirchenuhren waren berühmt. Sie mussten über umfangreiche Kenntnisse auf vielen Gebieten verfügen: z. B. über metallurgische, technische, mathematische und astronomische Kenntnisse. 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 über den Kosmos, die Zeitmessung sowie über die technologischen Fähigkeiten von der Mitte des 14. Jahrhunderts bis hin zur Mitte des 19. Jahrhunderts. 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 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 Weltbilds lassen sich deutlich an den verschiedenen Kirchenuhren ablesen. Auf das geozentrische System des Ptolemäus, das von ca. 150 v. Chr. 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 „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 gemeinsamer Charakteristika auf.

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 Zwickeln der Uhrscheibe befinden. In Doberan und Stralsund sind sie als Ptolemäus, Alfons X. von Kastillien, Hali und Albumasar bezeichnet. Sie tragen Schriftbänder mit lateinischen Sentenzen. An der Uhr in Münster sind an die 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 von 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° von der korrekten Stellung abwichen. Er führte dies jedoch auf einen Wartungsfehler zurück, vermutlich eine inkorrekte 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 (Abb. 5.2):

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

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

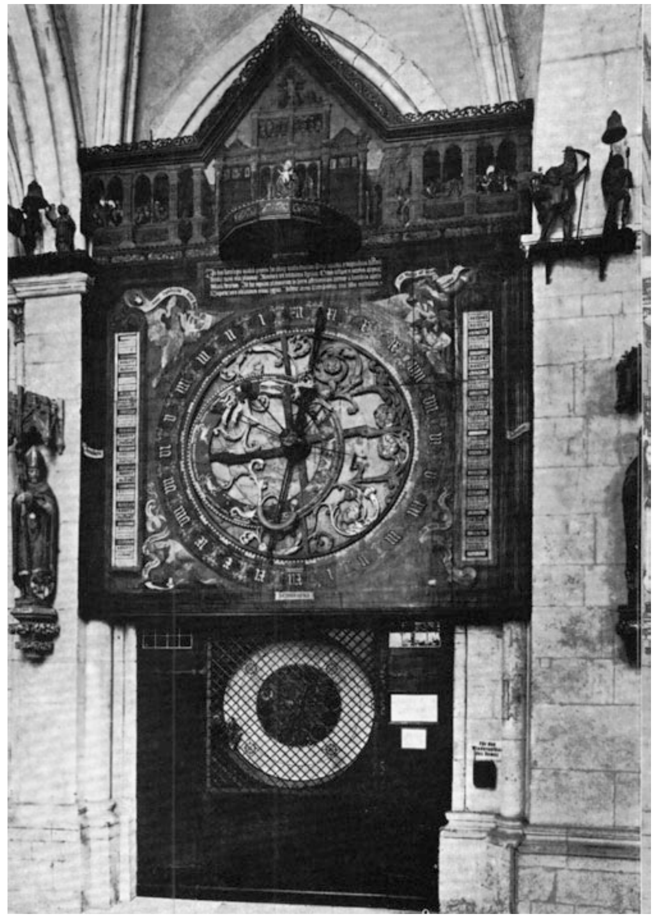


**Abb. 5.2** Die astronomische Uhr im Dom zu Münster

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 den Abb. 5.3 und 5.4 zu sehen, zeigt eine Dreiteilung. Die Angaben in den Ringen dieser drei Zonen (s. Abb. 5.4) 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)

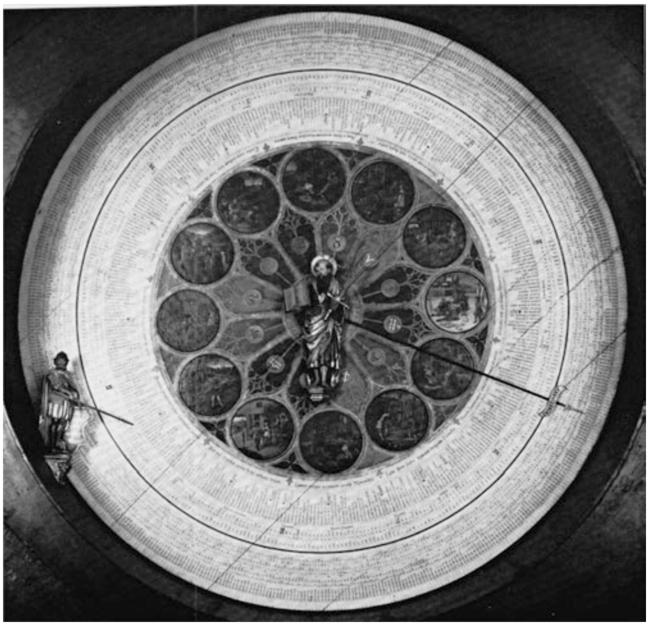


**Abb. 5.3** Das Kalendarium

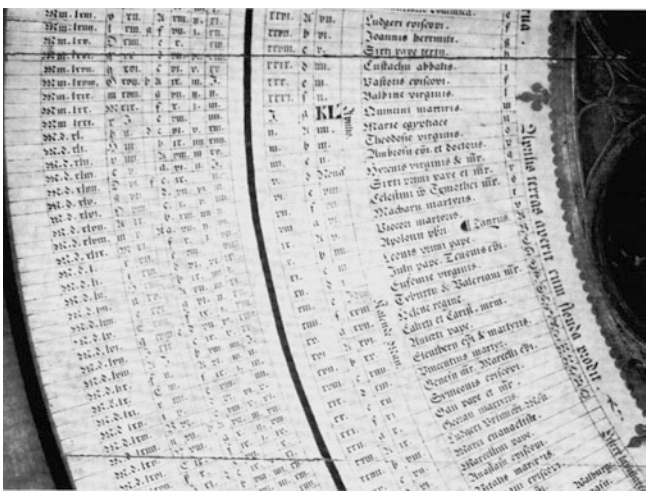


**Abb. 5.4** Kalenderausschnitt

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.

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

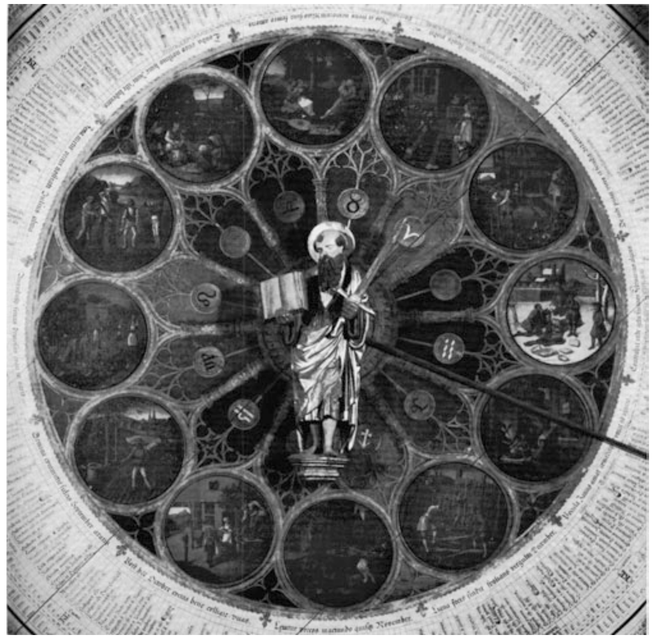


**Abb. 5.5** Zone II mit den Monatsbildern und Kalenderversen

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.

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 (Abb. 5.5).

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 April und der 9. April der 5. Tag vor den Iden des April.

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, sodass bei Kenntnis des Osterbuchstabens das Datum des Osterfests 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.

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

### 5.3.1 Die Dreikönigsuhr

Die erste astronomische Uhr, die sog. Dreikönigsuhr, 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 Namen Ben Al Benzar gelebt haben soll.

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 (Abb. 5.6).

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 in anderen Uhren, z. B. in Bern, München, Heilbronn, Lyon oder Prag, nachgeahmt wurde (Abb. 5.10).

Der Hahn hat eine Höhe von 117 cm und eine Länge von 100 cm. Bei geschlossenen Flügeln beträgt seine maximale

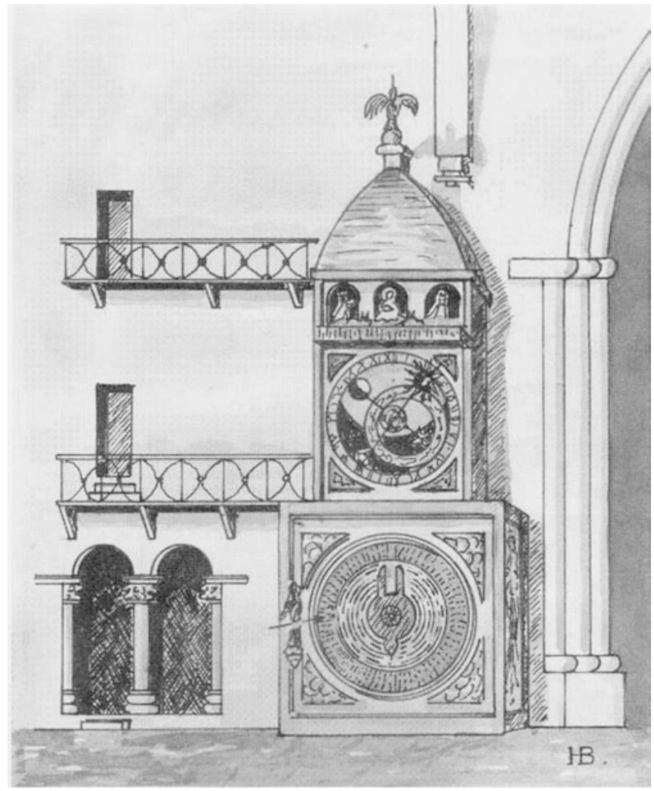



**Abb. 5.6** Versuch der Darstellung der Dreikönigsuhr nach H. Bach

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 miteinander 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 Hahns 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“ bewegliche 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. 5.7).

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

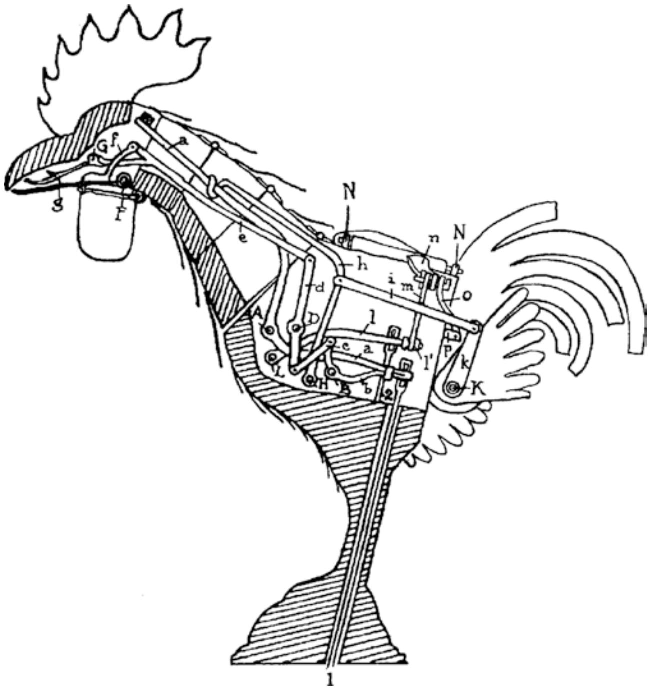



Abb. 5.7 Der Hahn im Längsschnitt: Kopf- und Schwanzmechanismus

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 (Abb. 5.8).

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 Hahns.

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 ziemlich ungenau. Abweichungen von bis zu 15 min am Tag waren üblich. Daher musste die Uhr stetig neu justiert werden, was anhand von Sonnenuhren und durch astronomische Beobachtungen geschah.

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 verfügt. Hierdurch wird die an einer Schnur „F“ hängende Waage „D“ in Schwingungen versetzt. Der Gang der Uhr konnte durch die veränderlichen Gewichte „E“ gesteuert werden.

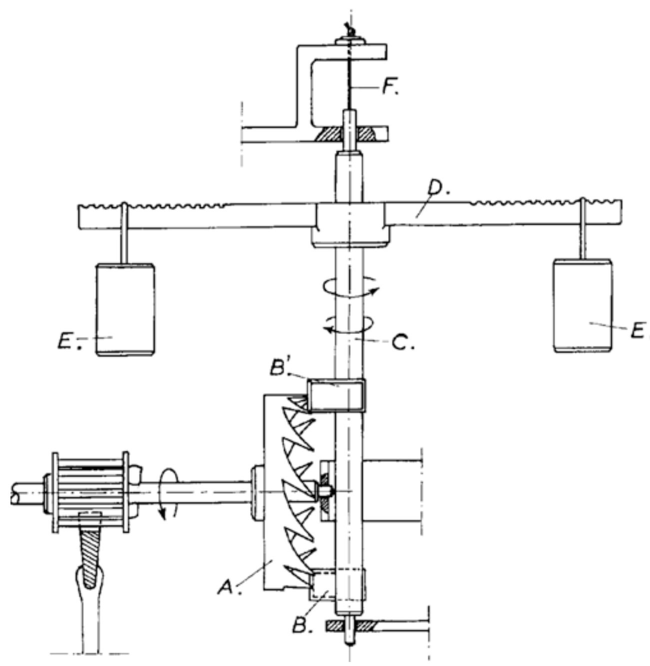



Abb. 5.9 Prinzip der Waaghemmung

Abb. 5.11 zeigt ein altes schmiedeeisernes Turmuhrwerk mit Waaghemmung, welches sich im Museum des Rohanschlosses in Saverne/Frankreich befindet.

Abb. 5.8 Der Hahn im Querschnitt: Flügelmechanismus

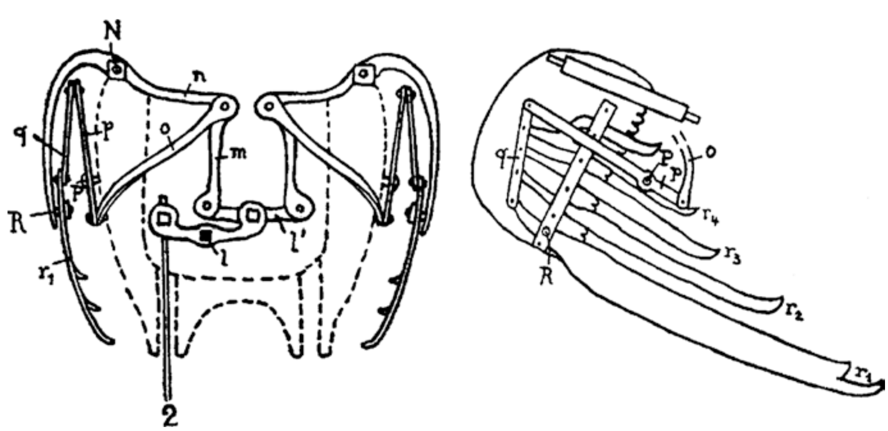


**Abb. 5.10** Der Hahn – frühes Meisterwerk eines Automaten

### 5.3.2 Die Dasypodius-Uhr

Die Dreikönigsuhr blieb Anfang des 16. Jahrhunderts, vermutlich wegen Abnutzung, stehen. Man wollte sie zunächst reparieren, denn 1533 wurde an der Südfassade des Vierungsturms ein Zifferblatt installiert, das die Bahnen der Sonne und des Monds 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 Oeuvre 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.

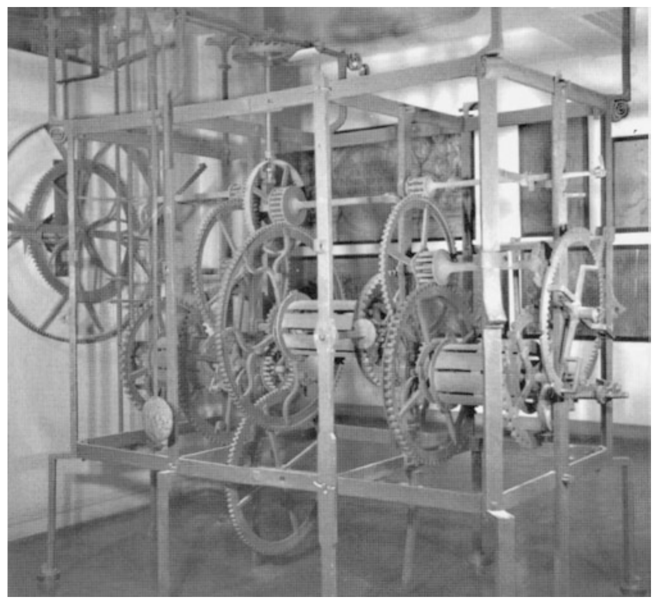
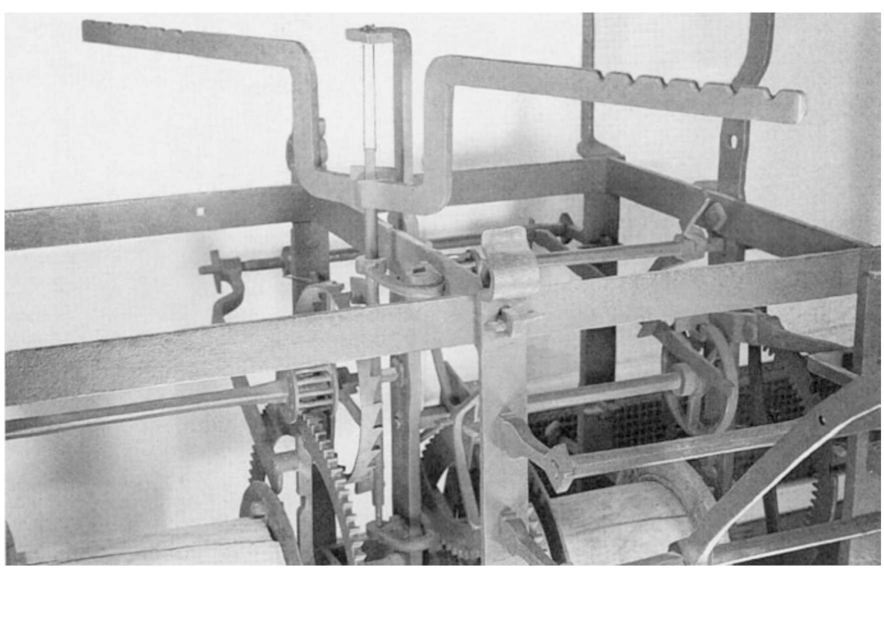


**Abb. 5.12** Das Hauptwerk der Dasypodius-Uhr

**Abb. 5.11** Altes Turmuhrwerk mit Waaghemmung



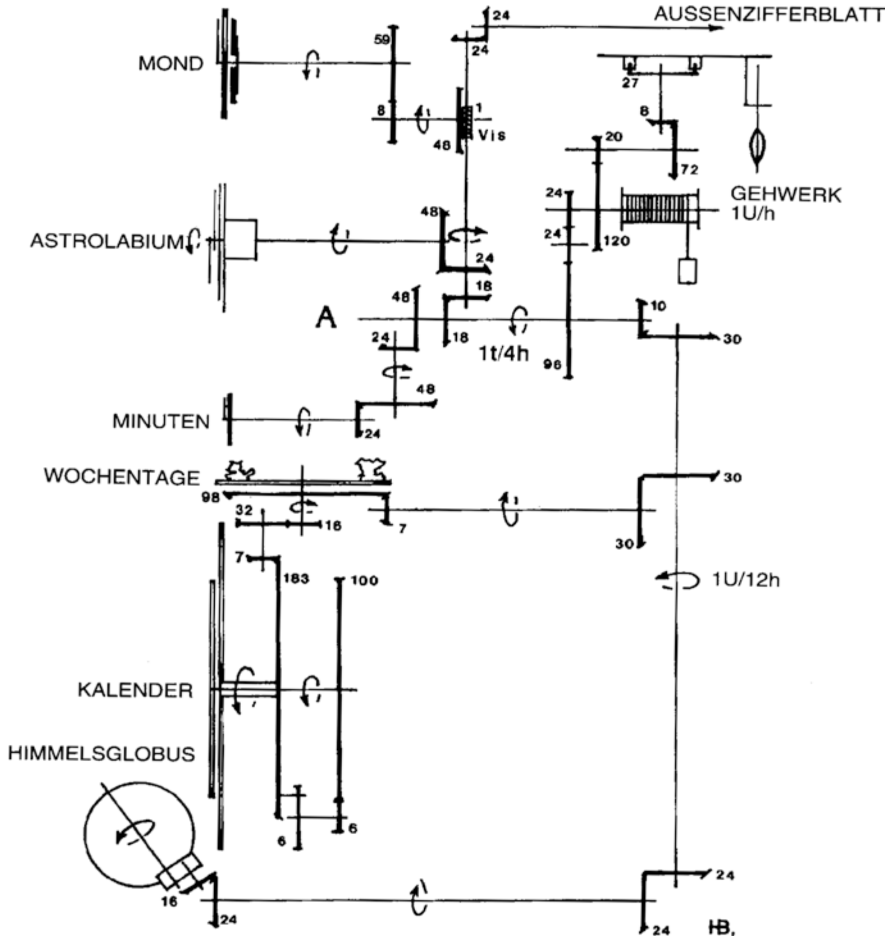



Abb. 5.13 Das Gesamtschema des Räderwerks mit der Angabe der jeweiligen Anzahl der Zähne (ohne Schlagwerke)

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 30 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 mehr als 4 m Breite übernahm der Architekt Thomann Uhlberger.

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 (Abb. 5.12 und Abb. 5.13), obwohl bereits seit 40 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 gregorianische Reform hinfällig.

Was die Übersicht der Eklipsen betrifft, die für eine Dauer von 33 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.

### 5.3.3 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 instand zu setzen, ein Junge ihm zurief: „Nun gut! Ich werde sie zum Gehen bringen." Es soll der junge Jean-Baptiste Schwilgué gewesen sein (Abb. 5.34).

Tatsache ist, dass er als Feinmechanikingenieur im – für die damalige Zeit bereits stolzen – Alter von 61 Jahren mit der Renovierung der Uhr beauftragt wurde, die er von 1838 bis 1842 vornahm. Offensichtlich hatte er sich aber bereits seit Jahren 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 Uhrenteile zu erleichtern vermochten. Darunter sogar eine Holzschnitzmaschine, 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 (Abb. 5.14): Über einen Sockel von 7,30 m Breite und mehr als 4 m Höhe erheben sich drei Türme. Im rechten Teil des Sockels befindet sich der Mechanismus, der die Sonnen- und Mondbahn berechnet. In der Mitte sind 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 in Abschn. 5.4 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 Zifferblatt: 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.

An verschiedenen Stellen der Uhr sind Würdigungen für ihre Erbauer angebracht. So sind das Datum der Fertigstellung und die Namen der Ausführenden im Kalender von 1574

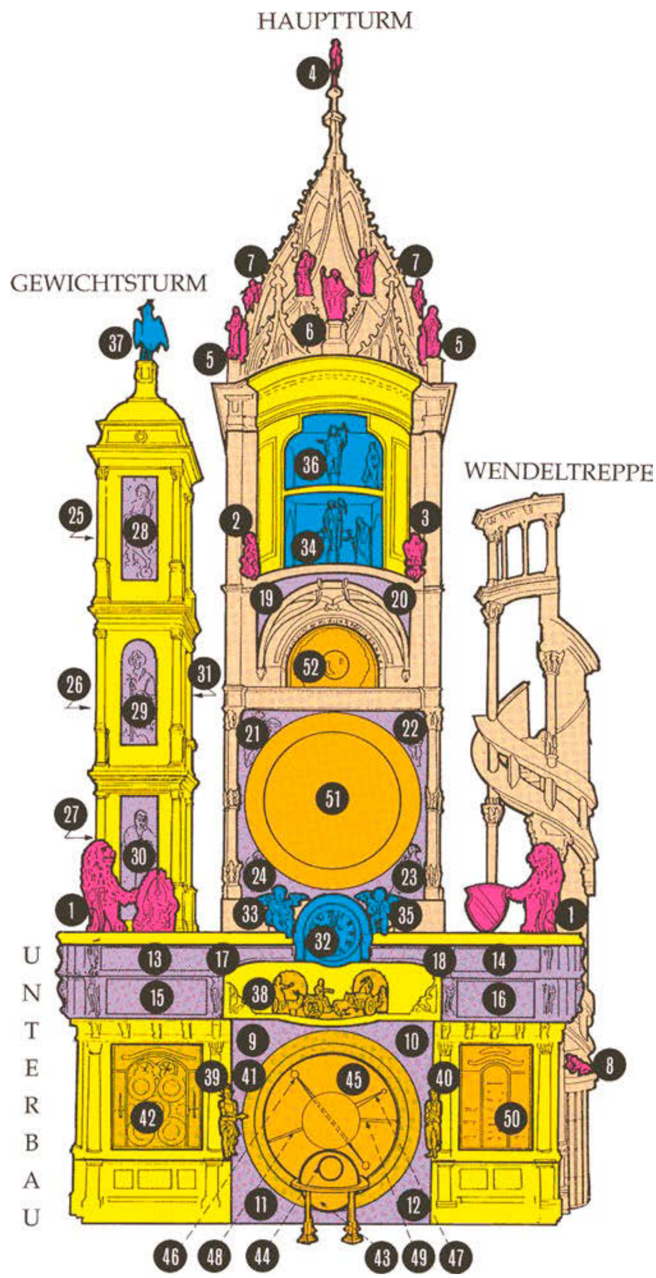



**Abb. 5.14** Gesamtschema der heutigen astronomischen Uhr

aufgeführt. Das Datum der Renovierung durch Isaac Habrecht im Jahre 1669 erscheint am Gesims des Hauptturms, während die Daten der von Schwilgué vorgenommenen Arbeiten über der Planetenskala eingefasst sind.

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

**Tab. 5.1** 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. | DIE UHRZEIT |
| 2. Löwe mit dem Wappenschild des Oeuvre Notre-Dame. | 32. Zifferblatt der mitteleuropäischen Zeit (goldene Zeiger) und der Ortszeit (weiße Zeiger). |
| 3. Greif mit dem Wappenschild des Architekten H. Th. Uhlberger. | 33. Engel, der den ersten Glockenschlag der Viertelstunden läutet. |
| 4. Der Architekt H. Th. Uhlberger. | 34. Die vier Lebensalter (Kind, Jüngling, Mann und Greis) läuten die Viertelstunden. Der Tod läutet die vollen Stunden. |
| 5. Die vier Evangelisten. | 35. Engel, der zu jeder vollen Stunde sein Stundenglas umdreht. |
| 6. Der Prophet Jesaja. | 36. Christus, vor dem sich zur Mittagsstunde die Apostelprozession abspielt. |
| 7. Vier Musikerinnen. | 37. Der Hahn, der während der Apostelprozession dreimal kräht. |
| 8. Putte mit Totenkopf, Allegorie der kurzen Dauer des Lebens. | DER KALENDER |
| DIE MALEREIEN | 38. Karussell der Wochentage, die durch die sieben, in ihren Wagen sitzenden, Planetengötter dargestellt sind. |
| 9.–12. Die vier Reiche: Assyrien, Persien, Griechenland, Rom. | 39. Apollo deutet mit seinem Pfeil auf den jeweiligen Tag. |
| 13. Die Erschaffung Evas. | 40. Diana steht ihm gegenüber. |
| 14. Der Triumph des Weltenrichters. | 41. Reifenförmiges Zifferblatt des zivilen Kalenders. |
| 15. Die Auferstehung der Toten. | 42. Kirchenkalender. |
| 16. Der Tod des Gläubigen und des Ungläubigen. | DIE ASTRONOMISCHEN ANZEIGEN |
| 17. Der Fall. | 43. Himmelssphäre. |
| 18. Das Seelenheil. | 44. Reifenförmige Skala der Sternzeit. |
| 19./20. Die Kirche und der Antichrist. | 45. Skala der scheinbaren Zeit. |
| 21.–24. Vier allegorische Figuren, die die Jahreszeiten, die Lebensalter, die Elemente, die Tageszeiten und die Temperamente darstellen. | 46. Sonnenzeiger. |
| 25.–27. Die drei Parzen: Lachesis, Klotho, Atropos. | 47. Mondzeiger. |
| 28. Uranius, die Muse der Sternkunde. | 48. Zeiger, der die Stunde des Sonnenaufgangs anzeigt. |
| 29. Porträt des Nikolaus Kopernikus. | 49. Zeiger, der die Stunde des Sonnenuntergangs anzeigt. |
| 30. Porträt von Jean-Baptiste Schwilgué. | 50. Sonnen- und Mondgleichungen. |
| 31. Trophäe mit Emblemen der Künste und Handwerkskünste, denen die Verwirklichung dieser Uhr zu verdanken ist. | 51. Planisphäre, die die sieben mit bloßem Auge sichtbaren Planeten wiedergibt. |
| | 52. Globus der Mondphasen. |

Die Nummerierung bezieht sich auf Abb. 5.14.

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. Dieses 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 Tags 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 modifizierter 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 eines Sternentags, d. h. dem Zeitabstand zwischen den zwei Meridiandurchgängen desselben Sterns. 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 25.806 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 Monds um die im Zentrum dargestellte Nordhalbkugel der Erde sowie die Eklipsen an. Die Länge des Mondzeigers verändert sich automatisch, je nach dem Stand des Monds, 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.

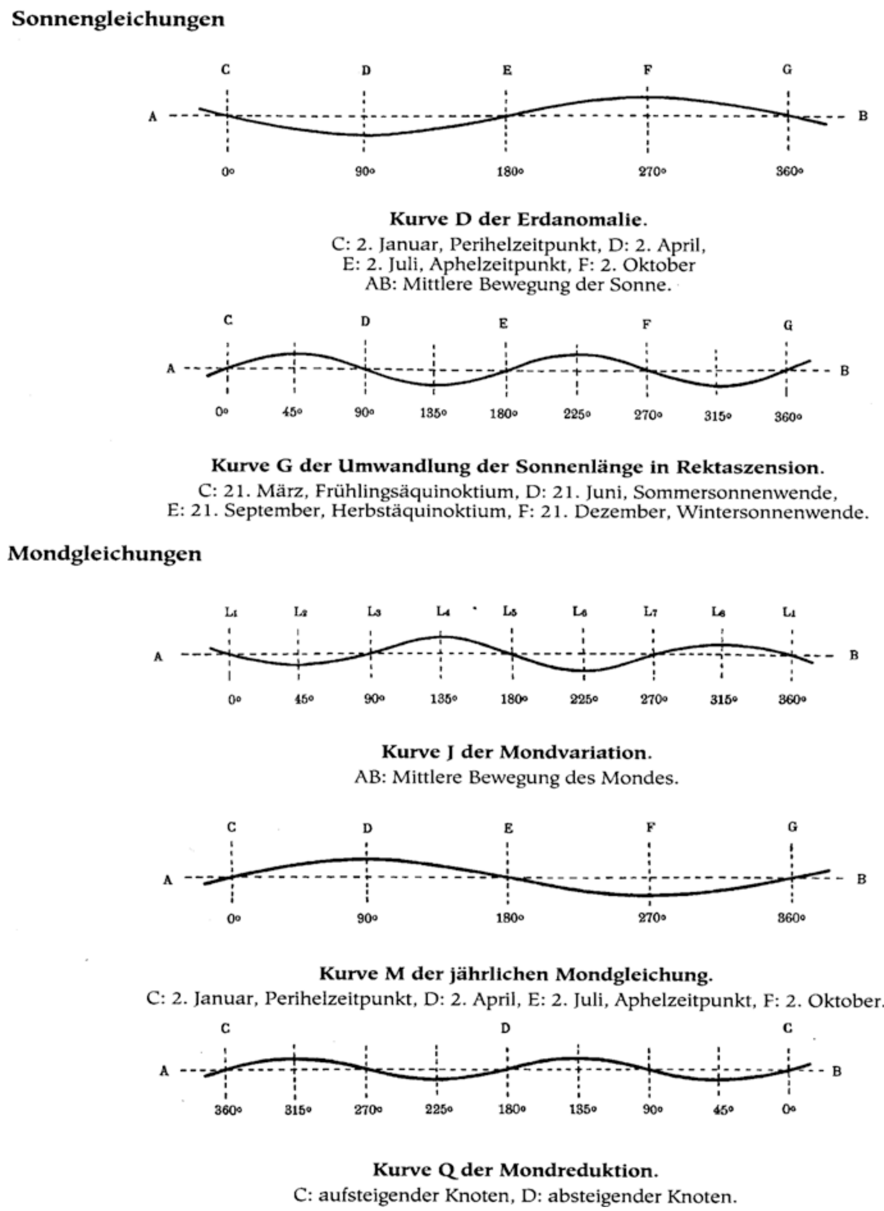



**Abb. 5.15** Sinusoidaler Verlauf einiger Sonnen- und Mondgleichungen

In Tab. 5.1 ist das Dekor des Gehäuses im Einzelnen aufgelistet. Die Planisphäre oberhalb 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 Himmelssphäre und Planisphäre durch eine zur einen Hälfte schwarzen und zur anderen Hälfte vergoldeten Mondkugel. Sie zeigt die tatsächlichen Phasen des Monds an und vollzieht ihre Umdrehung in einem Mondmonat von 29 Tagen und 55 min.

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 Monds und der Sonne, wobei besonders die Darstellung der scheinbaren oder wahren Bewegung des Monds komplizierte Berechnungen erforderte, die Schwilgué mechanisch realisieren musste. Die Mondbahn bildet mit der Ekliptik (scheinbaren Sonnenbahn) einen Winkel von 5° und die Ekliptik einen Winkel von ca. 23° 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 Abb. 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. Abb. 5.16).

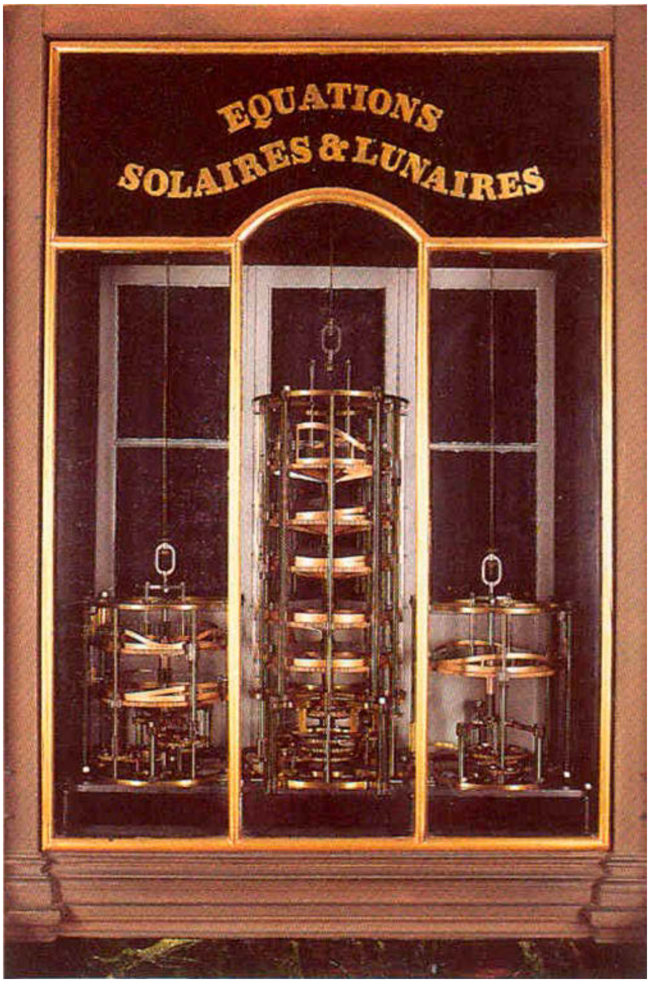



**Abb. 5.16** Rechner zur Berechnung der Sonnen- und Mondanomalien

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 Knotenliniengleichung („N“) berechnet und mit der Nockenscheibe der Knotenlinie verbunden ist.

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 Differenzialräder 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.*

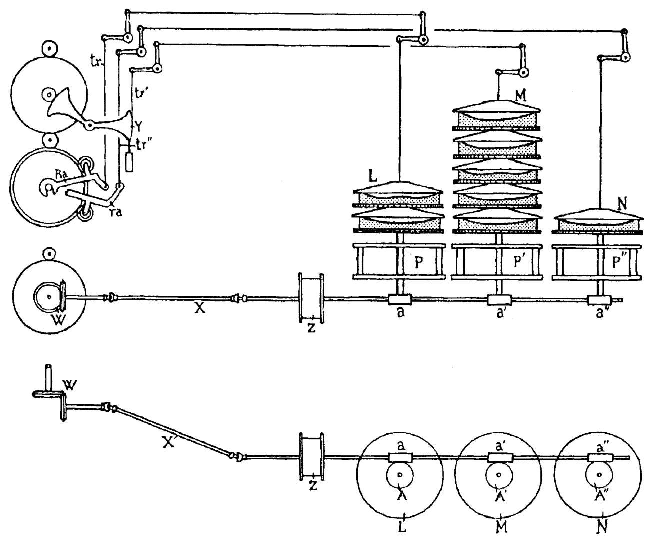



**Abb. 5.17** Schema des Rechners zur Lösung der Sonnen-, Mond- und Mondknotenliniengleichung und der Übertragung der Ergebnisse auf die Räderwerke der scheinbaren Zeit sowie Draufsicht des Antriebs der Gleichungen

> *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.*

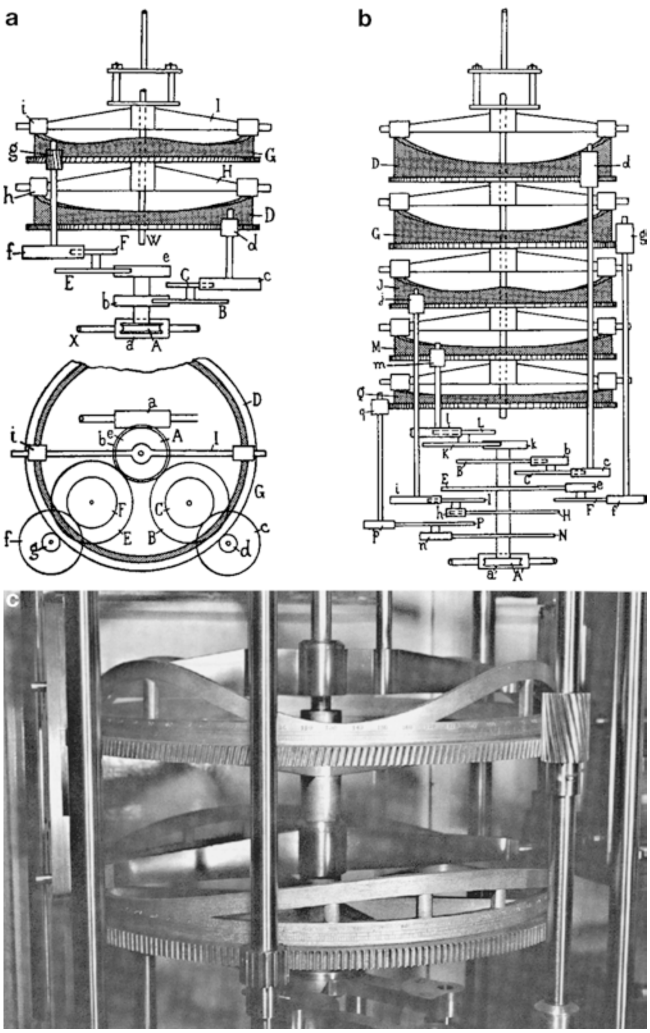


**Abb. 5.18** **a** die Realisierung der beiden Sonnengleichungen; **b** die Realisierung der fünf Mondgleichungen; **c** eine Detailaufnahme der Realisierung der sinusoidalen Sonnengleichungen

Bach und Rieb beschreiben auch die Genauigkeit der Berechnungen und der technischen Realisierung von Schwilgué aufgrund 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 × 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.*

Um diese Genauigkeiten zu erreichen und 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 (Abb. 5.19). 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!

Die mathematischen Grundlagen für die Zahnprofile liefern Epizykloide und Hypozykloide. Ihre Prinzipien sind in den Abb. 5.21 und 5.22 dargestellt. In der damaligen Fachpresse wurden sie wie folgt beschrieben:

> *Auf* [Abb. 5.22] *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, während die obere Rolle „R“ 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.*

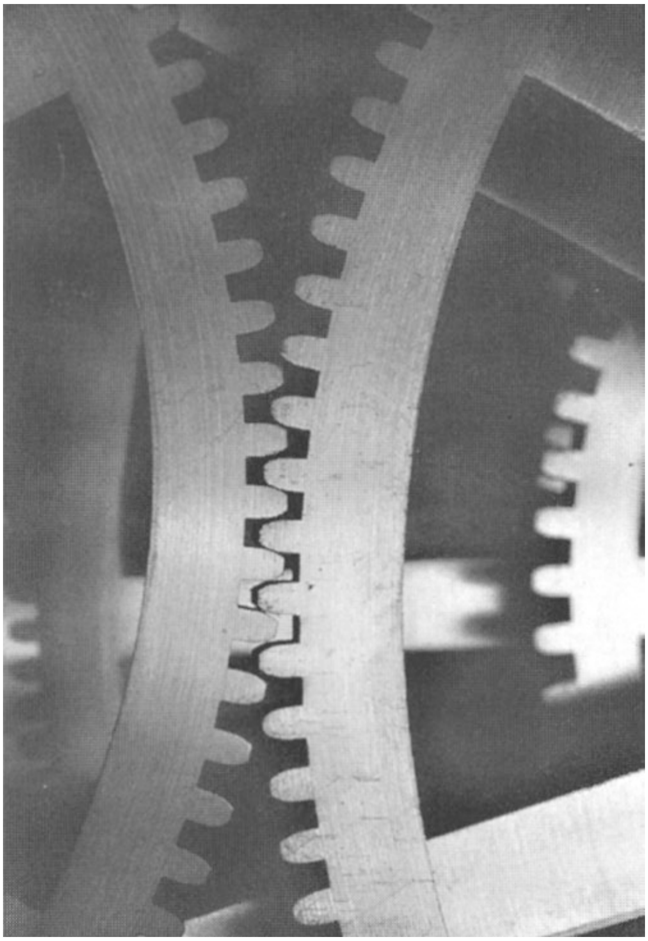


**Abb. 5.19** Zykloidverzahnung von Schwilgué mit Details aus dem Planetenräderwerk

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“ (Abb. 5.20) und die „Machine à fondre des roues“. Sie werden von Bach und Rieb wie folgt beschrieben:

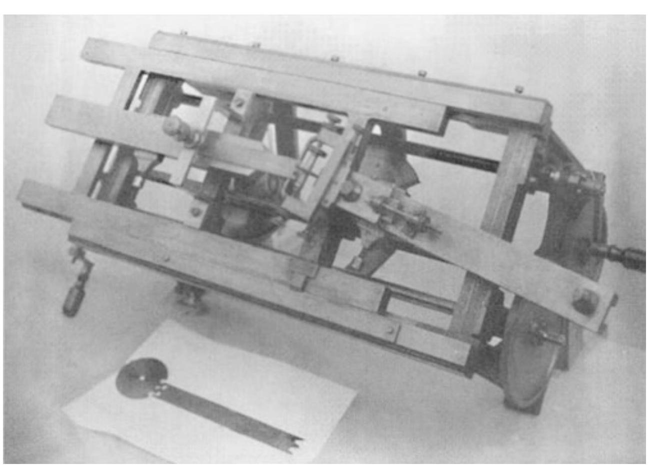


**Abb. 5.20** „Machine à Cycloides“

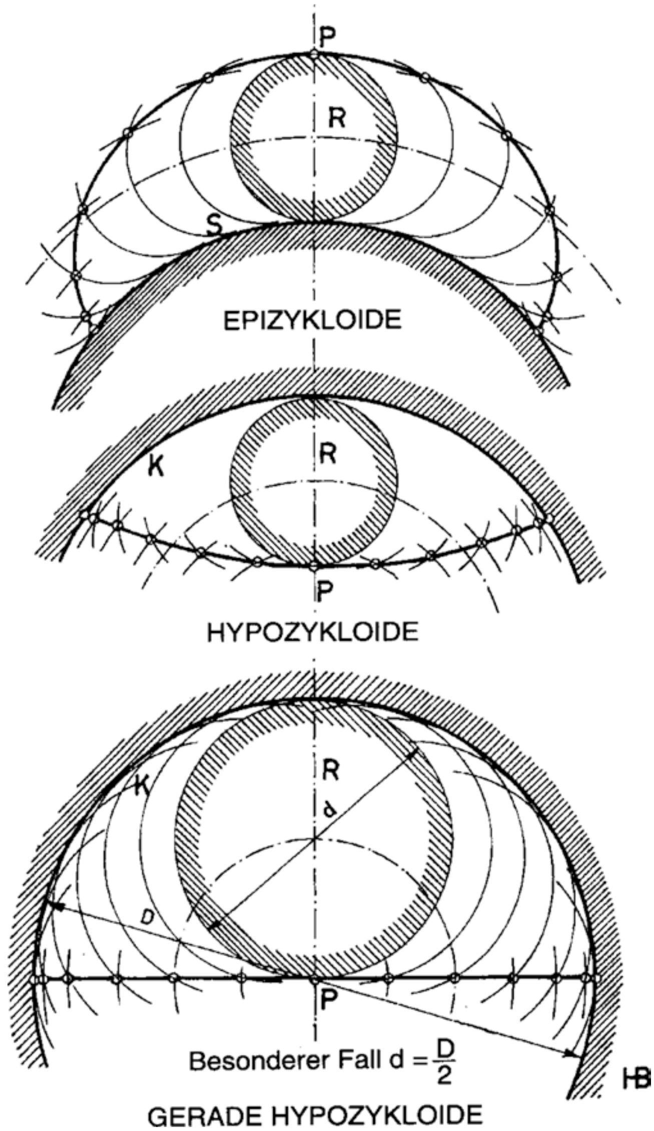



**Abb. 5.21** Die drei Typen von Zykloidkurven

*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 Zahnung 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* [Abb. 5.24] *durch Schleifen vor dem Härten eingepasst. Die Frässtichel dienten zum Fräsen der Zahnung der bronzenen Zahnräder. Diese Arbeit wurde auf der „machine à fendre les roues“ (Zahnradfräsmaschine), die wahrscheinlich zur selben Zeit gebaut wurde, ausgeführt.*

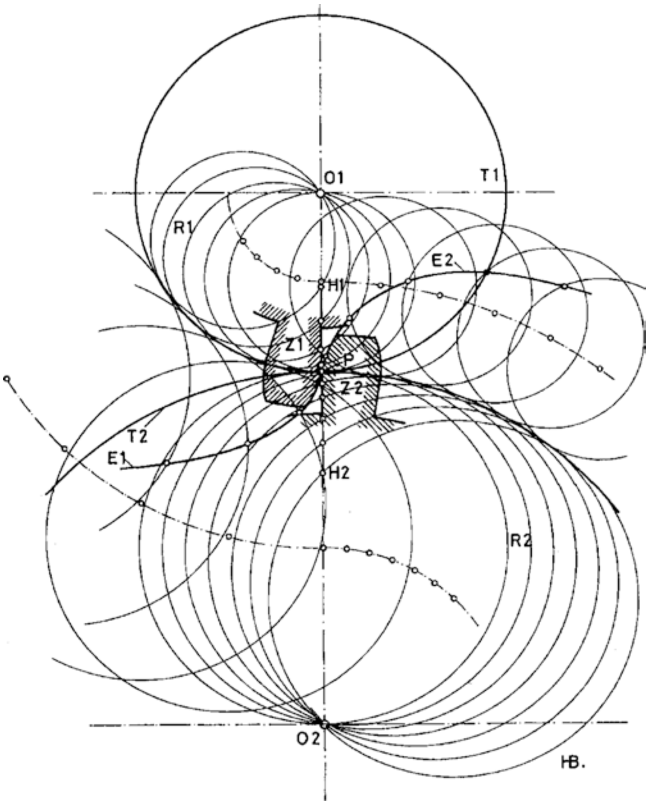



**Abb. 5.22** Zykloidenverzahnung: wechselseitige, alternierende Verzahnung mit gerader Innenflanke und epizykloidaler Außenflanke

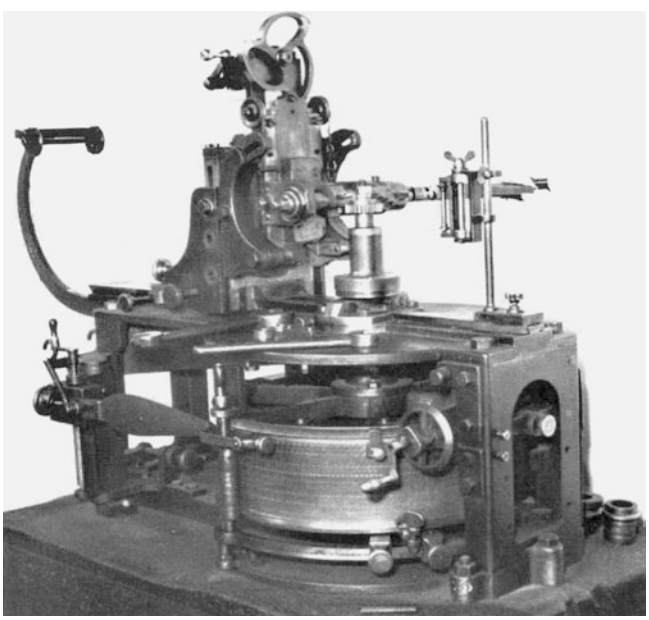


**Abb. 5.23** Von Schwilgué entwickelte Zahnteilungsmaschine

*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 darüber hinaus 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* [Abb. 5.23].

*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 Zahlenfolgen, 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.*

## 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*, Kirchenkomput). Er wird von der Uhr nur einmal jedes Jahr, und zwar in der Silvesternacht, gestartet. Durch ihn werden die beweglichen Kirchenfeiertage des nun folgenden Jahres berechnet und auf dem automatischen Kalender angezeigt. Danach verweilt der *Comput ecclésiastique* wieder in Ruhestellung bis zum nächsten Silvesterabend.

Die Einstellung der beweglichen Kirchenfeiertage, insbesondere von Ostern, stellte ein besonderes Problem dar und musste jährlich bei jeder astronomischen Uhr vorgenommen werden.

Wie bereits erwähnt, wurde dies bei der Uhr des Doms in Münster dadurch gelöst, dass der Ostertermin, genauer der Zeitabschnitt zwischen Weihnachten und Fastnachtsdienstag, 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

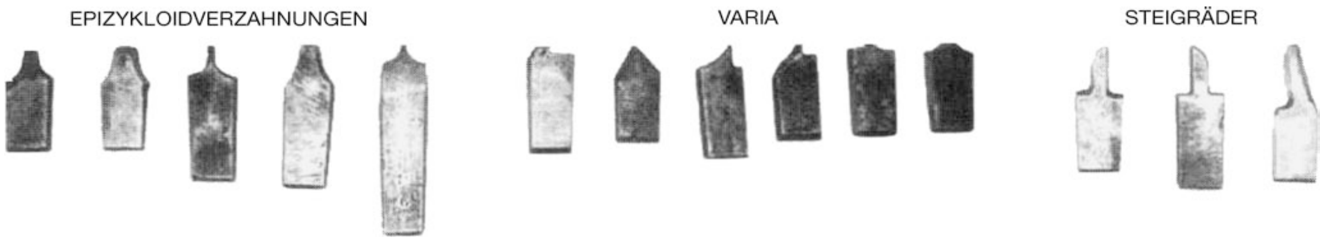



**Abb. 5.24** Frässtichel von Schwilgué

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 seine Berechnungen waren die damaligen Regeln des gregorianischen Kalenders:

1. Das Gemeinjahr (normale Jahr) hat 365 Tage.
2. Schaltjahre mit 366 Tagen (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 Neumond festgelegt.
   c) Fällt der Ostervollmond auf einen Sonntag, wird der Ostersonntag auf den darauf folgenden 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 Schwierigkeit 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 s) noch das tropische Jahr (365 Tage 5 h 48 min 46,42 s) 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 Rings von 2,73 m äußerem Durchmesser und 21 cm Breite. Die Statue des Apollo, die links vom Kalender steht, zeigt – wie bereits in Abschn. 5.3 ausgeführt – 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 bewegbaren 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.

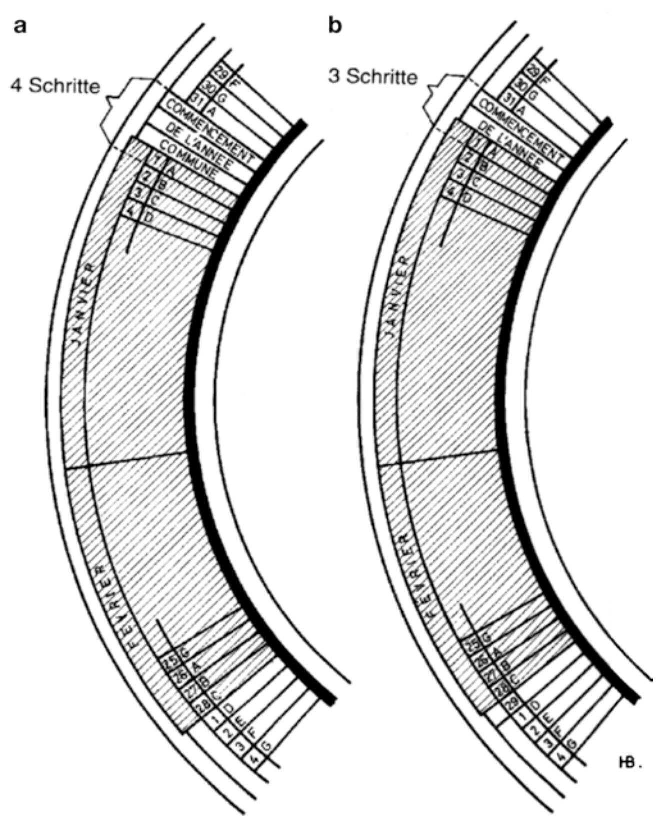



**Abb. 5.25** Der bürgerliche Kalender. Stellung des beweglichen Sektors Januar und Februar *(schraffierter Teil)*. **a** in gewöhnlichen Jahren. **b** in Schaltjahren

In einem Schaltjahr ist der bewegliche Sektor um eins nach links verschoben, sodass 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 Silvesternacht stellt der Mechanismus der Uhr diese auf das richtige Datum ein. Bemerkenswert ist sein Gewicht von 235 kg.

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. 5.26): 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. Ist z. B. der 29.2.2000 ein Dienstag, so ist erst der 29.2.2028 wieder ein Dienstag. Einbezogen sind hierbei natürlich auch die Anomalien, die sich durch die Schaltjahre ergeben.

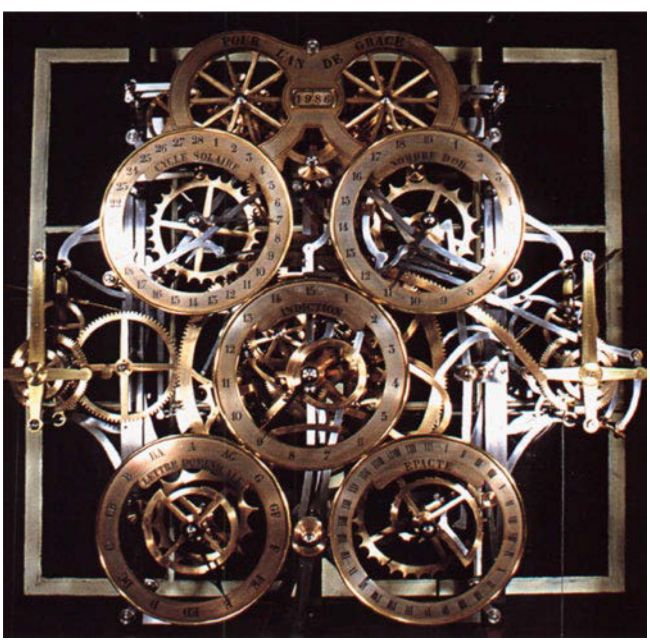



**Abb. 5.26** Der Kirchenrechner

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 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. sie nennt die Anzahl der Tage, die seit dem letzten Neumond vergangen sind und wird mit einer römischen Ziffer zwischen I und XXX angegeben.

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

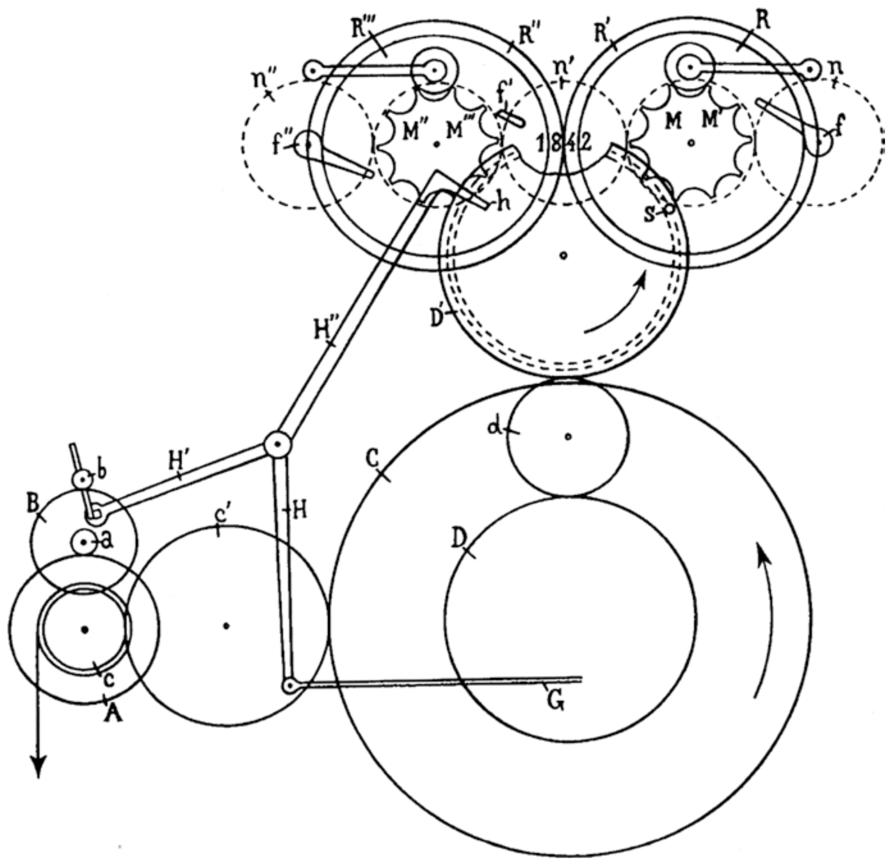



**Abb. 5.27** Laufwerk und Mechanismus der Jahreszahl

a) Alle 19 Jahre, wenn die Goldene Zahl 1 ist, wird 1 Tag mehr hinzugerechnet.
b) In den gewöhnlichen Säkularjahren werden nur 10 Tage hinzugerechnet.
c) Im Verlauf von 2500 Jahren werden noch 8 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 8 Tage ausmachen.

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 beschrieben, 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 Zahl* 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‴ legt 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 Sterns 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.

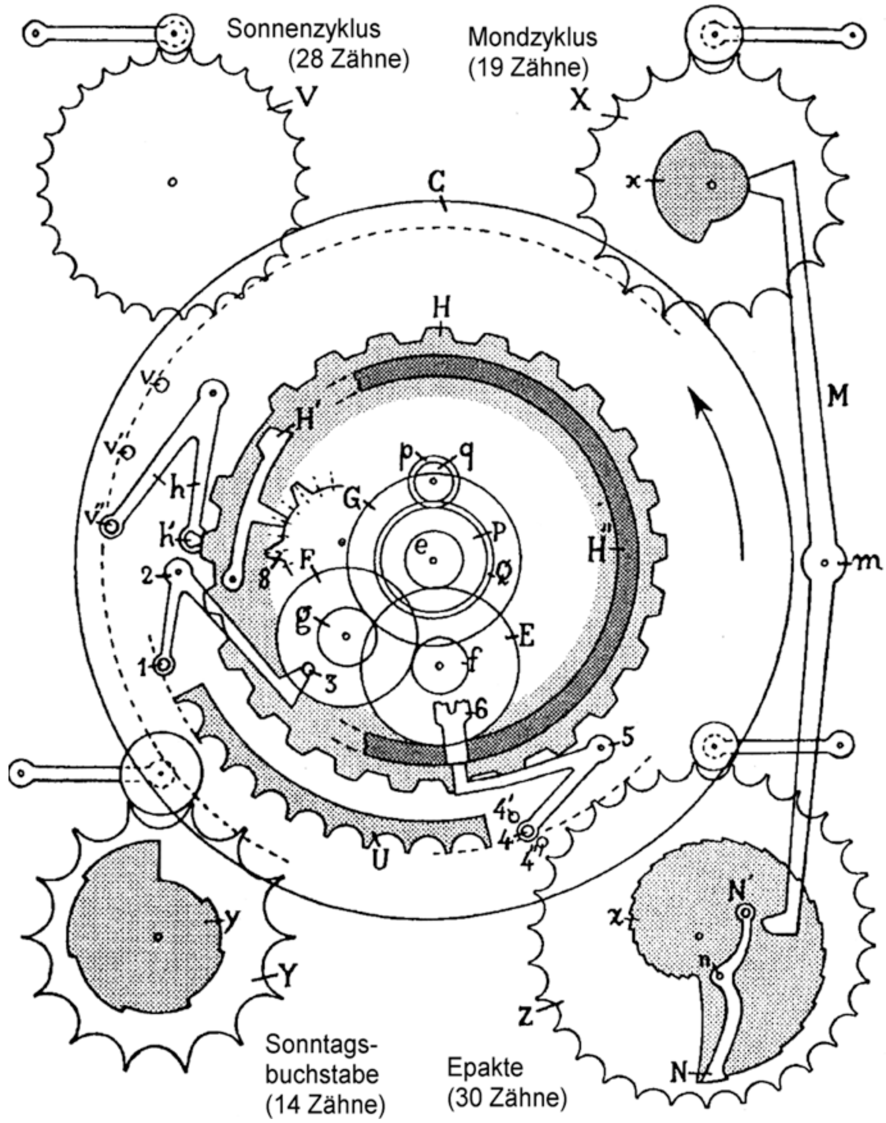



**Abb. 5.28** Hauptmechanismus des Kirchenrechners

Nach 100 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.

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 Rads Y gebracht. Das Rad H bewegt sich bei der jährlichen Betätigung des Kirchenrechners in Bezug zu Rad C um 1/100 Umdrehung, sodass 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′, sodass eben das Rad Y um drei Einheiten vorangetrieben wird (s. Abb. 5.28). 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.

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

Epaktenzifferblatts 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 jedes Mal, wenn das volle Jahrhundert kein Schaltjahr ist, sich die Epakte nur um zehn Einheiten erhöht, und dass im Laufe von 2500 Jahren acht zusätzliche Einheiten hinzugezählt werden, und zwar siebenmal eine Einheit nach 300 Jahren und einmal eine Einheit nach 400 Jahren (Abb. 5.29).

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 Zahnsegment U für Vorschub des Epaktenzahnrads. 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 Epakteneinheit, 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 vor-

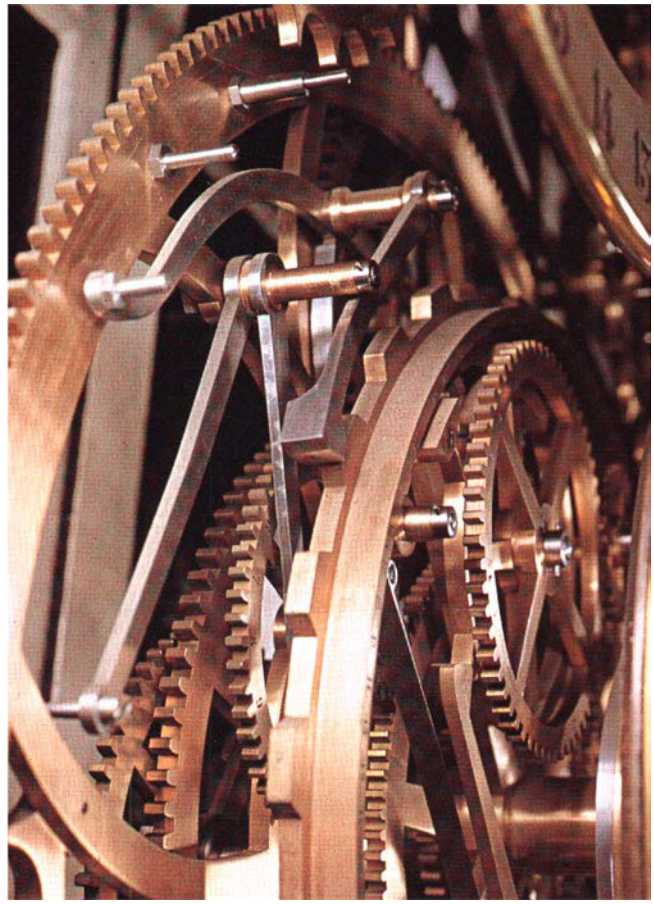


Abb. 5.29 *Mitte:* das eingekerbte Säkularrad. *Oben links:* die drei Stifte für die Sonntagsbuchstaben. *Darunter:* der zusätzliche Epaktenstift

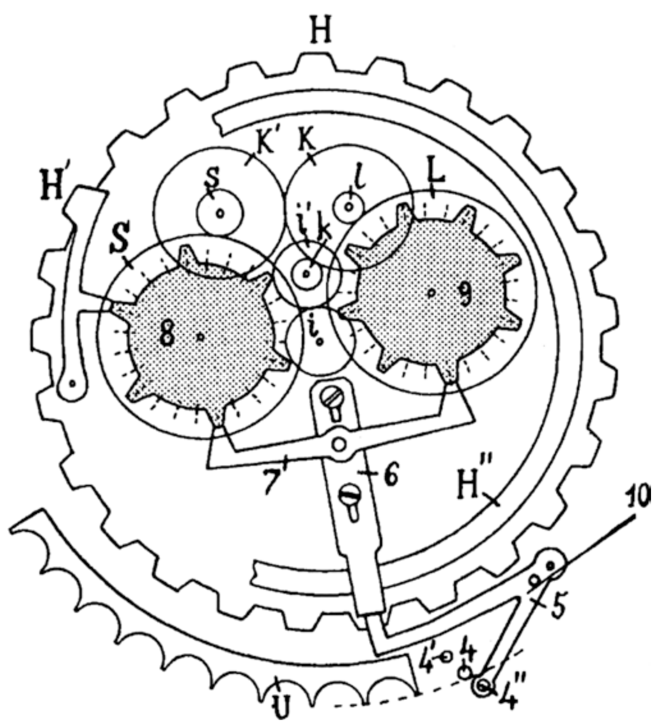



Abb. 5.30 Der zentrale Teil des Kirchenkomputs

angestellt. 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 Zahnsegment U) erstmals im Jahre *15.200* (!) 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 15.200 erhält man

$$(15.200+1)/19 = 800 + (1/19),$$

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

Ferner gilt

$$15.200/400 = 38,$$

d. h. die Division geht ohne Rest auf, also ist das Jahr 15.200 ein Säkularschaltjahr. Da 15.200 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 Abstands des Ostersonntags vom 3. Mai durch den Kirchenrechner und anschließend die entsprechende Korrektur auf dem Osterring. Wesentlichstes Element ist der große Osterrechen R (s. Abb. 5.31). 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. 5.31) 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 deren genaue Funktion ich nicht eingehen werde. Jedoch sei so viel 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).

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 Ostervollmonds eingestellt.

**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 spätestmöglichen 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.

Der Rechen r schwenkt nun einige Augenblicke nach R, und sein Absatz 13 fällt auf eine der

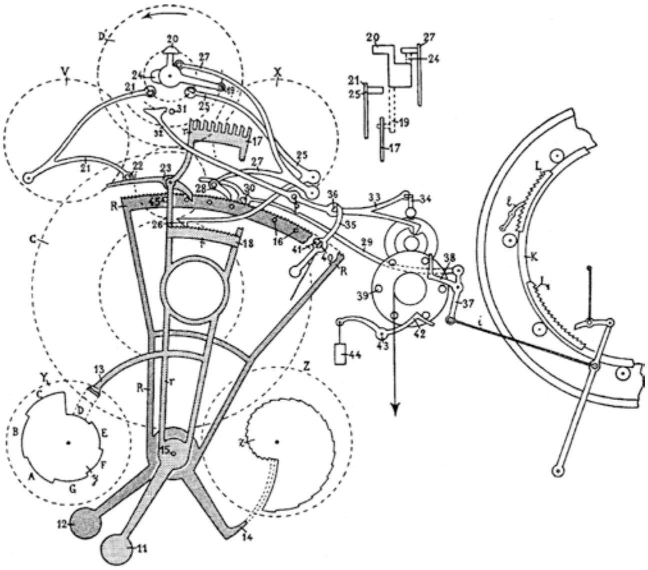


**Abb. 5.31** Die Organe des Kirchenkomputs zur Festlegung und Einstellung des Osterdatums auf dem Kalender (rechter Teil in verkleinertem Maßstab dargestellt)

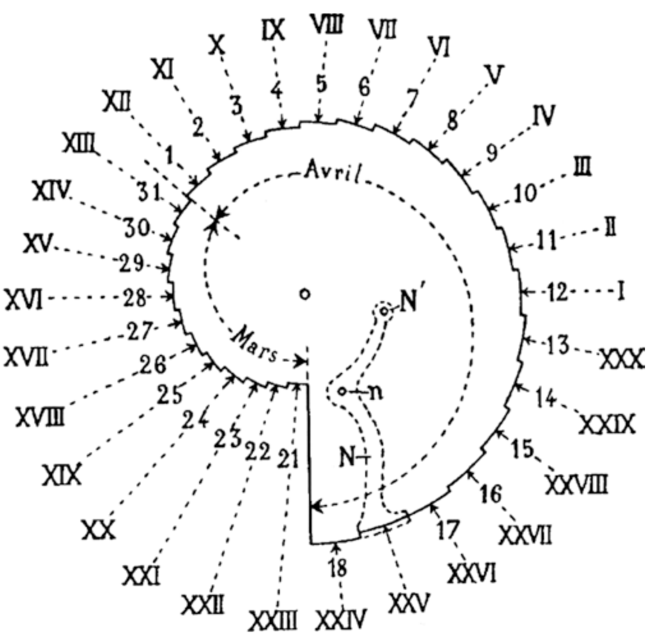



**Abb. 5.32** Epaktenstufenscheibe. Die arabischen Zahlen zeigen die Daten der Ostervollmonde

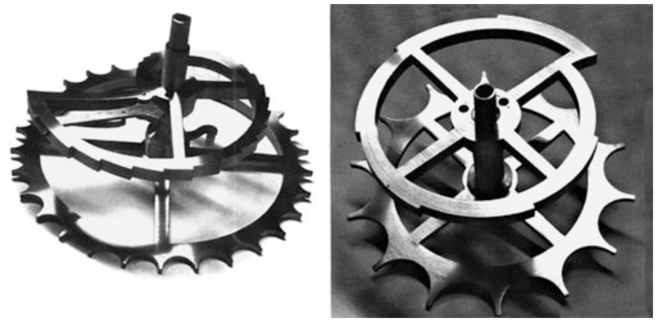


**Abb. 5.33** Die Epaktenstufenscheibe und die Stufenscheibe der Sonntagsbuchstaben

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.

Der 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.

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 Rads 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 7 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. 5.31).

Mit einer Kippvorrichtung und Klinken vollführt er eine Hin- und Herbewegung, die jedes Mal den 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 Rechens 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!

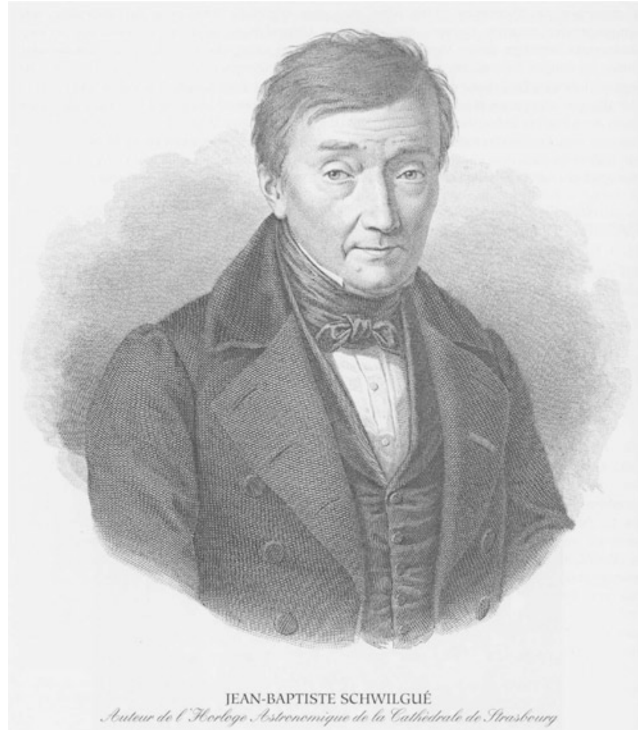



**Abb. 5.34** Schwilgué im Alter von 70 Jahren (Stich von Charles-Auguste Schuler 1846)

# 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.

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.

Daneben wurden weitere Hilfsmittel entwickelt, die das Rechnen vereinfachten. Hierzu gehörten z. B. Einmaleins-Tafeln, bei denen das kleine Einmaleins abgelesen werden konnte. Ferner gehören hierzu Rechenbretter und Rechentücher, die ein Rechnen analog zum Mechanismus des Abakus erlaubten, aber auch trickreich beschriftete Stäbe, die nicht nur Additionen, sondern auch Multiplikationen und Divisionen unterstützten.

Erst im 17. Jahrhundert setzte eine Entwicklung ein, die zu richtigen Rechenmaschinen führte, 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.

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 einige wenige Ausnahmen – durch das Prinzip der wiederholten Addition. Erst später wurden spezielle Multiplikationskörper entwickelt, die das kleine Einmaleins mechanisch realisierten.

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

## 6.2 Der Abakus

Unter einem 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.

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 erst 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 von 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

W.-M. Lippe, *Die Geschichte der Rechenautomaten*,
DOI 10.1007/978-3-642-36191-3_6, 

fünften trennt. In China heißt der untere Bereich der fünf Kugeln „Erde“, der obere mit den zwei Kugeln „Himmel“. Entsprechend ist die Handhabung der verschiedenen Varianten zwar im Prinzip gleich, jedoch leicht unterschiedlich. Im Folgenden wird die Handhabung der chinesischen Variante erläutert. Die Handhabung der beiden anderen Varianten erfolgt analog und kann leicht übertragen werden (Abb. 6.2).

Auch die Römer benutzten den Abakus, wie das Relief in Abb. 6.1 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 sich die Begriffe „Kalkül“, „Kalkulation“ usw. ab. Auch die im Mittelalter und später oft verwendete Formulierung „Rechnen auf den Linien“ ist auf diese Abakusvariante zurückzuführen. Diese Art des Rechnens auf Linien war im Mittelalter weit verbreitet.

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

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

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

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 (Abb. 6.3 und Abb. 6.4).

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

$$
\begin{aligned}
263.195 &= 2\times10^5 + (5+1)\times10^4 + 3\times10^3 + 1\times10^2 + (5+4)\times10^1 + 5\times10^0 \\
&= 2\times100.000 + 6\times10.000 + 3\times1000 + 1\times100 + 9\times10 + 5\times1 \\
&= 200.000 + 60.000 + 3000 + 100 + 90 + 5 \\
&= 263.195.
\end{aligned}
$$

Natürlich wird der Anwender die Zahlen direkt der Reihe nach ablesen und nicht zu der oben beschriebenen umständlichen Rechenmethode mit Zehnerpotenzen greifen. Das Beispiel

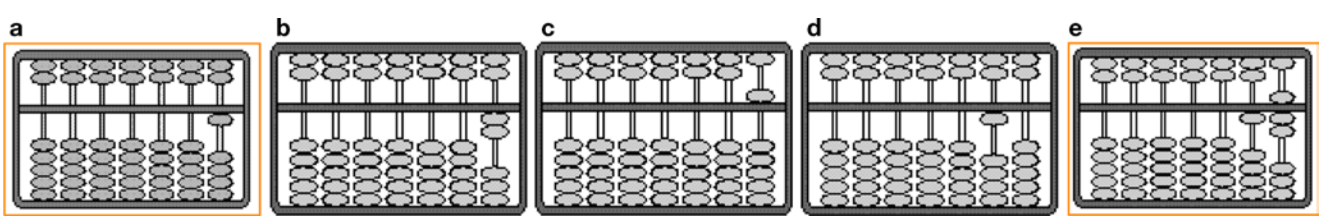


**Abb. 6.3** Die Darstellung verschiedener Zahlen auf dem Abakus. **a** Darstellung der Zahl „1“, **b** Die Zahl „2“, **c** Die Zahl „5“, **d** Die Zahl „10“, **e** Die Zahl „17“ $1 \times 10^1 + 7 \times 10^0 = 17$

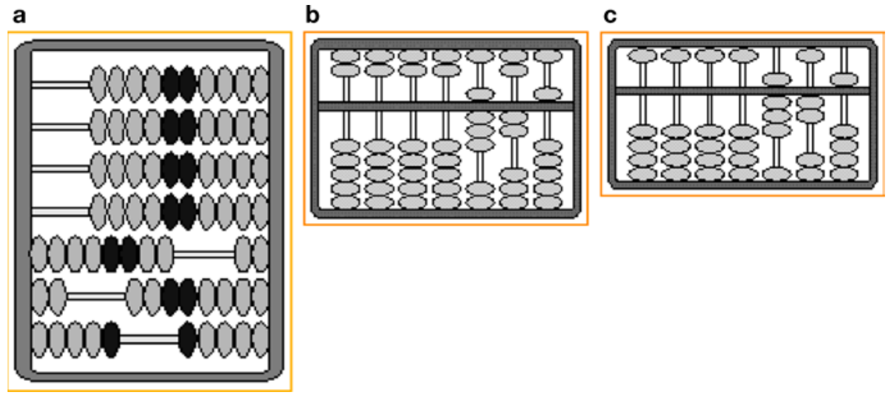


**Abb. 6.4** Die Darstellung der Zahl 825, **a** russischer Abakus, **b** chinesischer Abakus, **c** japanischer Abakus

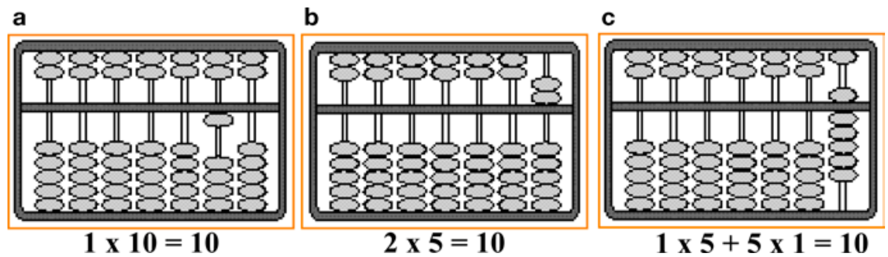



**Abb. 6.5** Unterschiedliche Darstellungen der 10 beim *suan pan*

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 fünfwertig 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, also neun Zähler pro Spalte ausreichend wären. Die Zahl zehn ließe sich also auf mehrere Arten darstellen (Abb. 6.5).

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

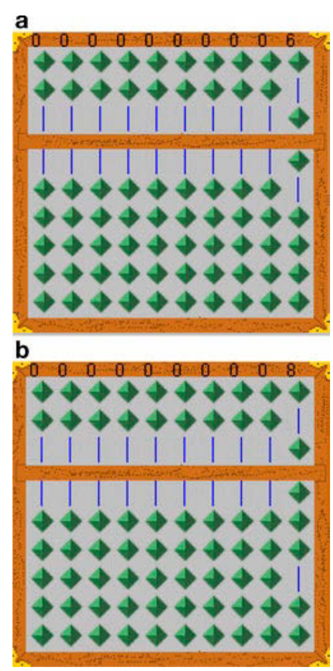


**Abb. 6.6** Addition von 6 und 2

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 (Abb. 6.6). Bei diesem einfachen Beispiel tritt noch kein Übertrag auf.

Falls die zuerst eingestellte Zahl einer Spalte kleiner als 5 ist, das Ergebnis der Addition jedoch größer als 5 wird, tritt ein Fünferübertrag auf. In diesem Fall wird 1 Kugel aus dem oberen Teil nach unten geschoben (an der Querleiste, also 5 addiert), und eine oder mehrere Kugeln werden von der Querleiste wieder weggeschoben, also abgezogen. Dies sei an dem Beispiel

$$4 + 2 = 6$$

erklärt (Abb. 6.7).

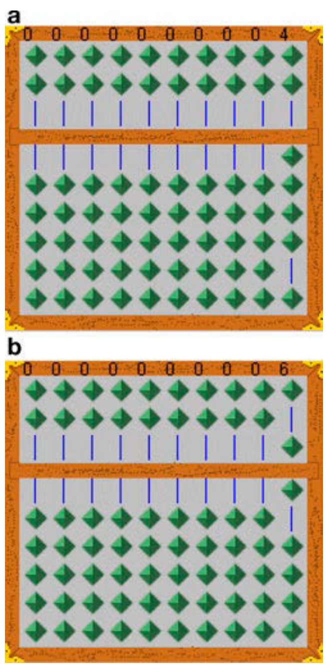



**Abb. 6.7** Einstellen der Zahl „4“ (**a**) und Endergebnis „6“ (**b**)

Durch Verschieben von 4 Kugeln in der Spalte ganz links wird zunächst die Zahl 4 eingestellt. Danach wird 2 addiert: Durch Verschieben der noch verbliebenen untersten Kugel addiert man zunächst 1. Da jetzt keine untere Kugel mehr zur Verfügung steht, muss der Fünferübertrag realisiert werden, indem alle 5 Kugeln nach unten in ihre Ausgangsposition verschoben werden und dafür 1 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 1 der oberen Kugeln nach unten geschoben (Einstellen von „5“) und 3 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).

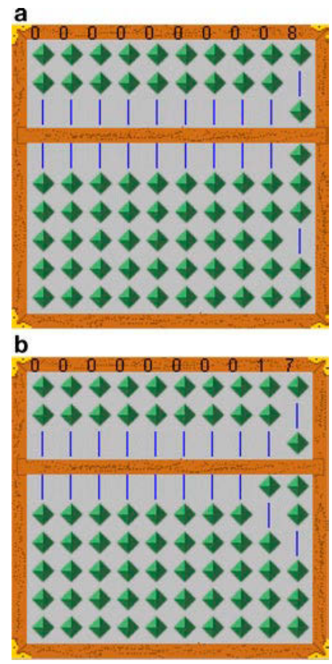



**Abb. 6.8** Einstellen der Zahl „8“ (**a**) und Endergebnis „17“ (**b**)

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

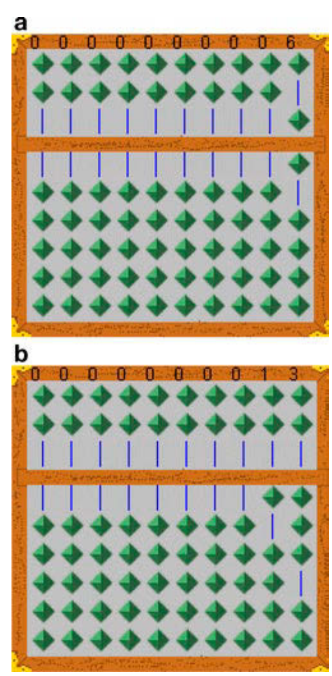



**Abb. 6.9** Einstellen der Zahl „6“ (**a**) und Endergebnis „13“ (**b**)

Es gibt auch Fälle, in denen Kugeln zum unteren Bereich addiert werden, vom oberen Bereich weggenommen werden und 1 Kugel zur Nachbarspalte addiert wird. Wenn man 7 zur 6 addiert ($+2-5+10$), werden 2 Kugeln im unteren Bereich addiert, 1 Kugel im oberen Bereich weggenommen und 1 Kugel zur linken Nachbarspalte addiert (im unteren Bereich) (Abb. 6.9).

Mit dem Abakus können auch Subtraktionen durchgeführt werden. Indirekt wurde dies bereits bei der Addition 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).

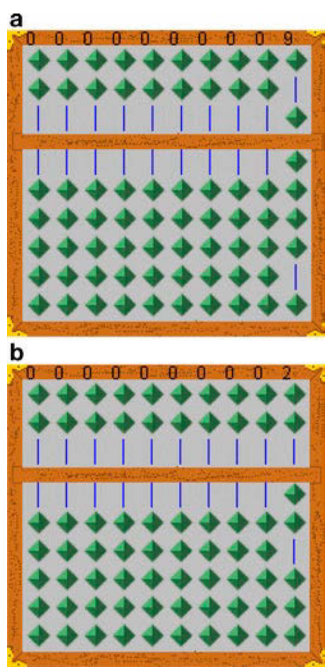



**Abb. 6.10** Ausgangspunkt für $9-7$ (**a**) und Endergebnis (**b**)

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 und eine Kugel vom oberen Bereich weggeschoben werden. Dies sei an dem Beispiel

$$7-4=3$$

erklärt.

Subtrahiert man 4 ($+1-5=-4$) von 7 (dargestellt durch 1 Kugel im oberen Bereich und 2 Kugeln im unteren (kleiner als 4, der Subtrahend)), dann wird 1 Kugel zum unteren Bereich addiert ($+1$) und 1 Kugel wird vom oberen Bereich weggenommen ($-5$). Übrig bleiben 3 Kugeln, die das Endergebnis darstellen (Abb. 6.11).

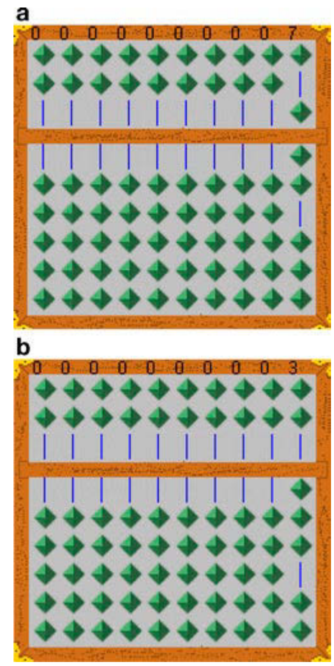



**Abb. 6.11** Ausgangspunkt für $7-4$ (**a**) und Endergebnis (**b**)

Falls die Zahl in einer Spalte kleiner ist als der Subtrahend, muss 1 Kugel für die Zehnerstelle weggenommen und ferner muss 1 Kugel vom unteren Einerbereich und 1 Kugel muss im oberen Einerbereich dazugezählt werden. Dies sei an dem Beispiel

$$13-4=9$$

erklärt (Abb. 6.12).

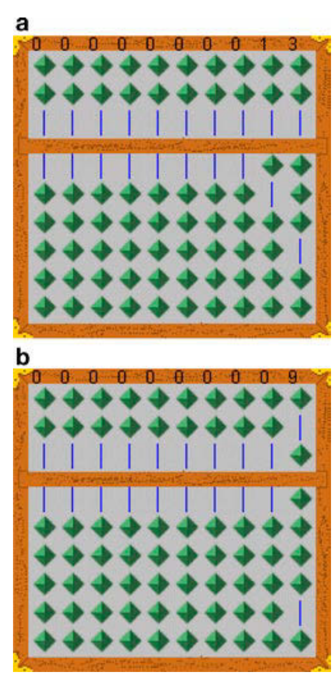



**Abb. 6.12** Ausgangspunkt für $13-4$ (**a**) und Endergebnis (**b**)

Bei 13 − 4 ist 4 der Subtrahend. Hierbei ist – nach der Einstellung der „9“ – in der Einerspalte die 3 kleiner als die 4. Somit muss 1 Kugel für die Zehnerstelle weggenommen werden. Da −4 = −5 + 1 ist, muss ferner 1 Kugel vom unteren Einerbereich dazu genommen werden („1“), und 1 Kugel muss im oberen Einerbereich 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).

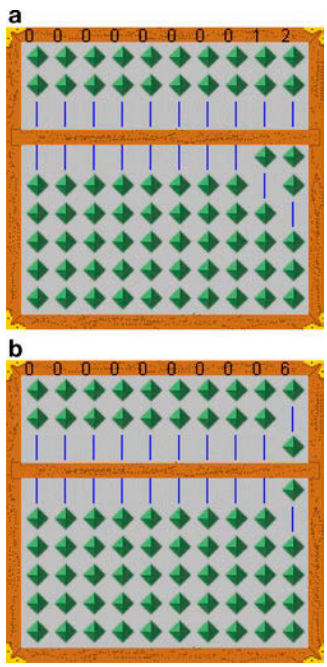


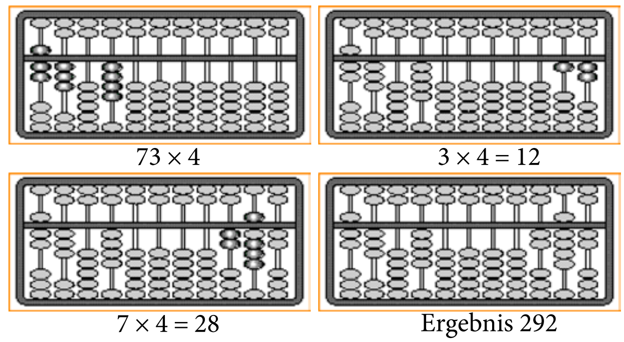

**Abb. 6.13** Ausgangspunkt für 12 − 6 (**a**) und Endergebnis (**b**)

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.

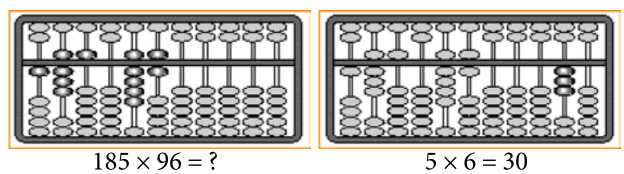
Als erstes Beispiel sei 73 mit 4 zu multiplizieren. Dazu wird in der ersten Spalte eine 7, in der zweiten eine 3 und in der vierten eine 4 gesetzt. Die dritte Spalte wird zur Trennung freigehalten.

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.

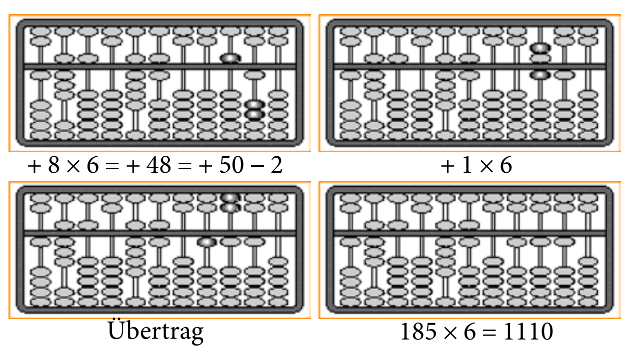



In den beiden vorletzten Spalten steht somit 29. Damit lautet das Gesamtergebnis mathematisch korrekt 292.

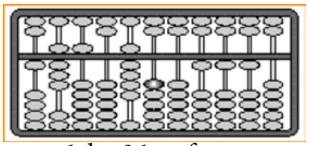
Als schwierigeres Beispiel sei nun die Aufgabe gestellt, 185 mit 96 zu multiplizieren. Die Vorgehensweise bleibt identisch zu obengenanntem Beispiel: Zuerst wird die 185 ganz links, dann die 96 mit einer Spalte Trennung eingegeben.



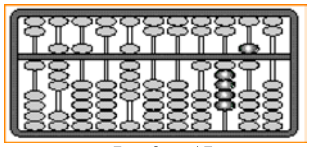

Nun wird die 5 der 185 mit der 6 der 96 multipliziert. Dies ergibt 30, die ganz rechts eingegeben wird. Im Folgenden wird ebenso verfahren: Die 8 wird mit der 6 multipliziert, die entstehende 48 wird eine Spalte weiter links addiert. Aus Kugelmangel muss hier 50 addiert und 2 abgezogen werden. Gleichermaßen 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 1110 sind das Ergebnis der Multiplikation 185 × 6.




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.

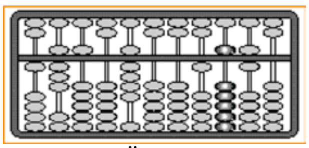


6 der 96 entfernt

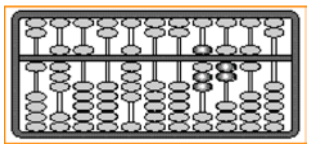


5 × 9 = 45

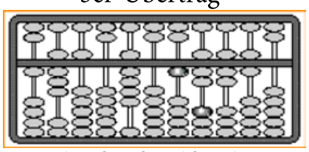
Mit der verbleibenden 9 der 96 wird nun ebenso verfahren wie vorher, das Produkt wird aber eine Spalte weiter links eingegeben. Also: 5 × 9 ergibt 45, 8 × 9 ergibt 72, 1 × 9 gibt 9.



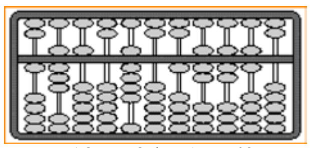
5er-Übertrag



8 × 9 = 72



1 × 9 = 9 = 10 − 1



185 × 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.

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

Zum Rechnen verwendete man statt eines Abakus vor allem Rechenbretter und Rechentücher. Die Abb. 6.14 zeigt das sog. Bayrische Rechentuch, welches sich heute im Nationalmuseum in München befindet.

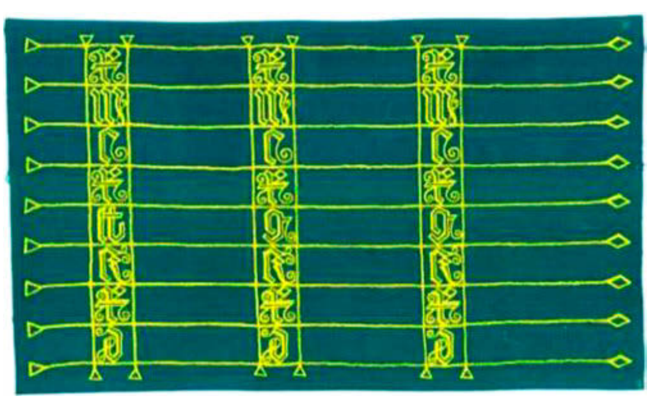


**Abb. 6.14** Bayrisches Rechentuch

Das Tuch hat eine Größe von 71 × 41 cm und ist aus grünem Stoff gefertigt. Auf ihm sind gelbe Schnüre und Münzbuchstaben eingestickt. Ferner enthält es Münzfelder für Pfund- und Guldenrechnung. Als Tuch konnte es leicht zusammengerollt und damit einfach transportiert werden. Es war damit die ideale Rechenhilfe für Beamte, die draußen auf dem Land Steuern und Abgaben berechnen mussten.

Für die Popularisierung des Ziffernrechnens in der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts waren im deutschsprachigen Raum vor allem die Rechenbücher (Abb. 6.15, 6.16, 6.17) von *Adam Riese* (1492–1559) von Bedeutung.


**Abb. 6.15** Erstes Rechenbuch von Adam Riese

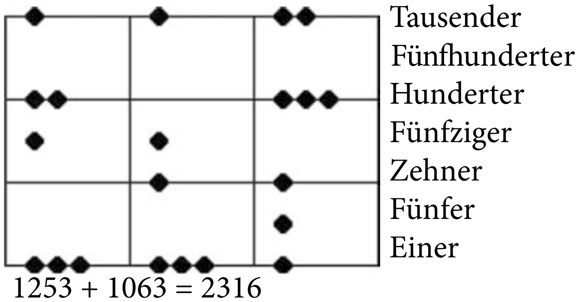



**Abb. 6.16** Addition auf Linien nach Adam Riese

Die von Riese beschriebenen Methoden unterscheiden sich wegen der unterschiedlichen Bedeutung der Linien bzw. Kugeln (Steine) von denjenigen, die beim Abakus verwendet wurden. Abbildung 6.16 zeigt die Berechnung von 1253 + 1063 = 2316.

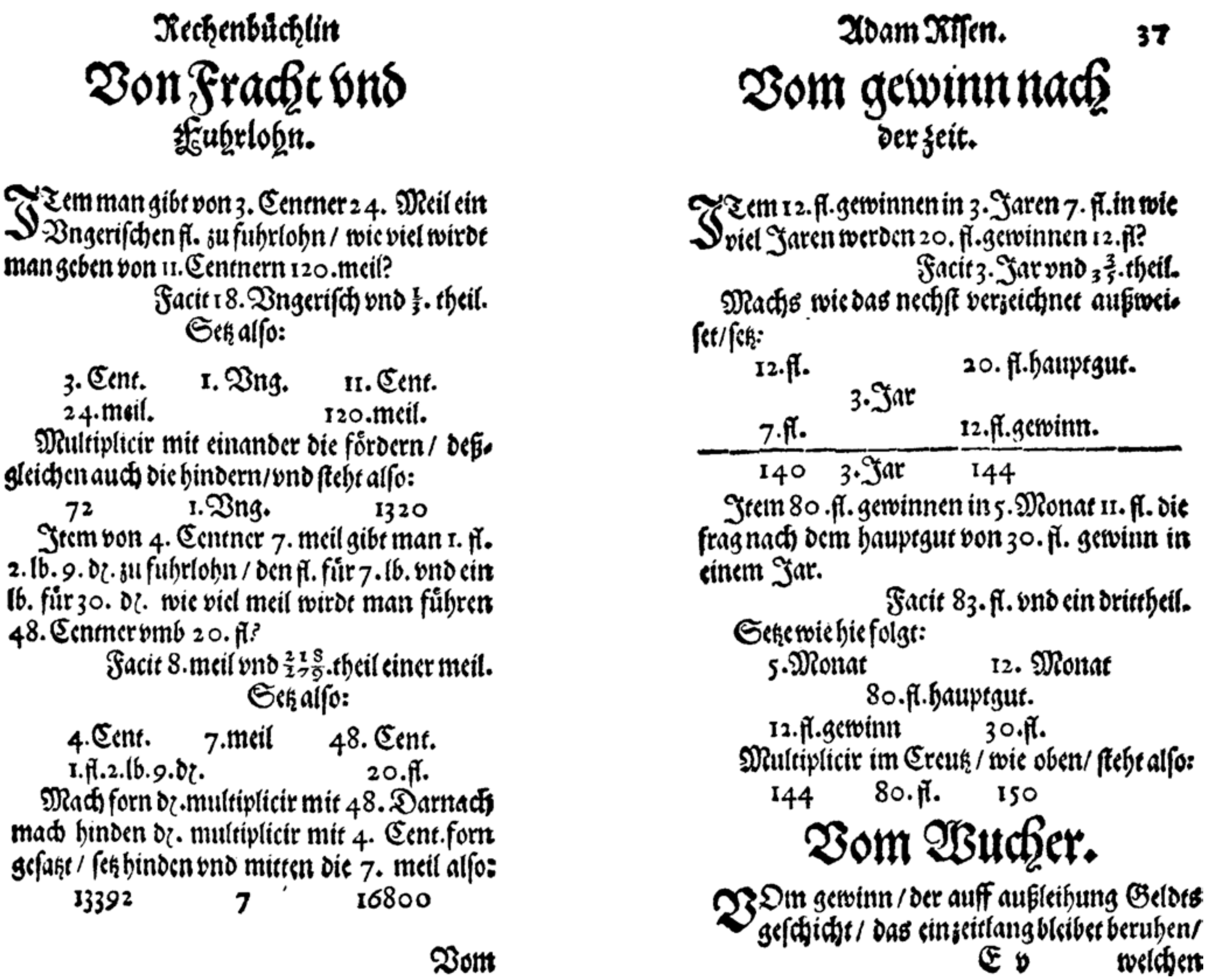
Wie ersichtlich, rechnete man mit drei Spalten. In den beiden ersten Spalten befinden sich die beiden Summanden, in der dritten Spalte das Endergebnis. Die Linien bedeuteten Einer, Fünfer, Zehner usw.

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

## 6.3 Pythagoreische Rechentafeln

Einmaleins-Tafeln sind im Wesentlichen seit dem Altertum in Gebrauch. Sie finden sich bereits bei den Sumerern. Auch von *Pythagoras* (ca. 580–500 v. Chr.) sind sie überliefert und wurden deshalb häufig nach ihm benannt.

Möchte man zwei Ziffern multiplizieren, z. B. 6 × 7, so liest man am entsprechenden Kreuzungspunkt innerhalb


Rechenbüchlin

Von Fracht vnd Fuhrlohn.

Item man gibt von 3. Centner 24. Meil ein Vngerischen fl. zu fuhrlohn / wie viel wirdt man geben von 11. Centnern 120. meil?
Facit 18. Vngerisch vnd ⅓. theil.
Setz also:
3. Cent. 1. Vng. 11. Cent.
24. meil. 120. meil.
Multiplicir mit einander die fördern / deßgleichen auch die hindern / vnd steht also:
72 1. Vng. 1320
Item von 4. Centner 7. meil gibt man 1. fl. 2. lb. 9. dz. zu fuhrlohn / den fl. für 7. lb. vnd ein lb. für 30. dz. wie viel meil wirdt man führen 48. Centner vmb 20. fl?
Facit 8. meil vnd $\frac{218}{279}$. theil einer meil.
Setz also:
4. Cent. 7. meil 48. Cent.
1. fl. 2. lb. 9. dz. 20. fl.
Mach forn dz. multiplicir mit 48. Darnach mach hinden dz. multiplicir mit 4. Cent. forn gesatzt / setz hinden vnd mitten die 7. meil also:
13392 7 16800
Vom

Adam Risen. 37

Vom gewinn nach der zeit.

Item 12. fl. gewinnen in 3. Jaren 7. fl. in wie viel Jaren werden 20. fl. gewinnen 12. fl?
Facit 3. Jar vnd $\frac{3}{35}$. theil.
Machs wie das nechst verzeichnet außweiset / setz:
12. fl. 20. fl. hauptgut.
3. Jar
7. fl. 12. fl. gewinn.
140 3. Jar 144
Item 80. fl. gewinnen in 5. Monat 11. fl. die frag nach dem hauptgut von 30. fl. gewinn in einem Jar.
Facit 83. fl. vnd ein drittheil.
Setze wie hie folgt:
5. Monat 12. Monat
80. fl. hauptgut.
12. fl. gewinn 30. fl.
Multiplicir im Creutz / wie oben / steht also:
144 80. fl. 150

Vom Wucher.

Vom gewinn / der auff außleihung Geldes geschicht / das ein zeitlang bleibet beruhen /
E v welchen

**Abb. 6.17** Auszug aus einem Rechenbuch von Adam Riese aus dem Jahr 1574

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 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. 6.18** Pythagoreische Rechentafel und Berechnung von $6 \times 7 = 42$

der Tafel das Ergebnis ab, im Beispiel das Ergebnis 42 (Abb. 6.18). 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.

Ein Beispiel: Zur Multiplikation von 357 mit 6 verfährt man wie folgt: Aus der Tafel bestimmt man nacheinander die Ergebnisse von $6 \times 7$, $6 \times 5$ und $6 \times 3$ und schreibt die abgelesenen Werte um jeweils eine Stelle nach links versetzt untereinander. Danach addiert man spaltenweise auf:

| | |
|---|---|
| | 357×6 |
| 1. Schritt: Ablesen von $6 \times 7$ und notieren | 42 |
| 2. Schritt: Ablesen von $6 \times 5$ und notieren | 30 |
| 3. Schritt: Ablesen von $6 \times 3$ 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) (Abb. 6.19) vereinfachte die Multiplikation mit den Rechentafeln, indem es ihm gelang, durch eine einfache mechanische Vorrichtung die Zwischenschritte der stellenweisen Einzelmultiplikationen mit ihrem versetzten Notieren zu vermeiden.

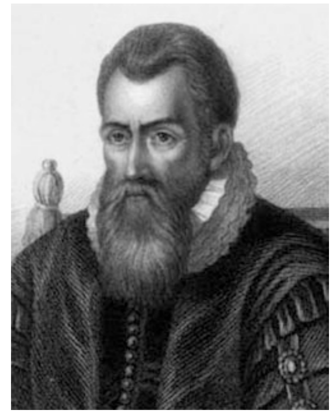


**Abb. 6.19** John Napier

Im Jahr 1617 veröffentlichte er eine Abhandlung mit dem Titel *Rhabdologia sive numerationis per virgulas,* in der er seine Rechenstäbe vorstellte. Napier trennte in seiner Einmaleins-Tafel jeweils die Zehner- und die Einerstelle durch Diagonalen, sodass oben die Zehnerziffer und unten die Einerziffer steht. Danach zerschnitt er die Tafel in senkrechte Streifen und klebte diese auf Holzstäbe (Abb. 6.20, 6.21). Sodann fertigte er von jedem dieser neun Stäbe mehrere Kopien an. Damit ließen sich nun beliebige Multiplikationen und Divisionen wesentlich einfacher durchführen.

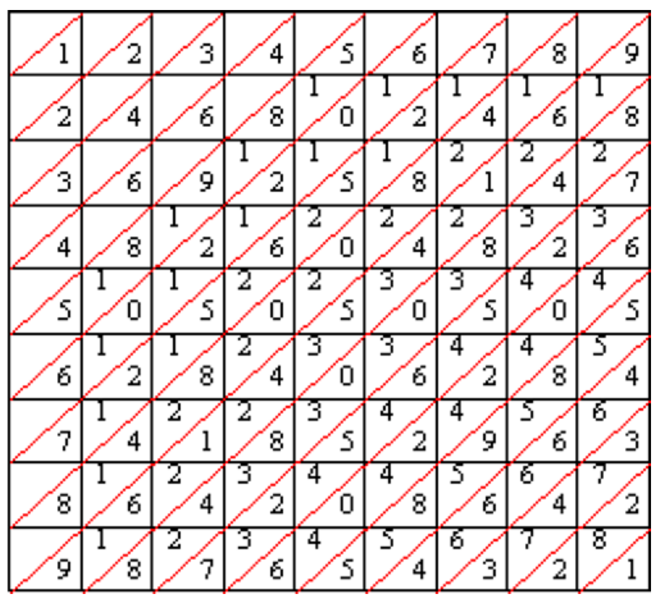



**Abb. 6.20** Die Anordnung der Zahlen auf der Rechentafel durch Napier

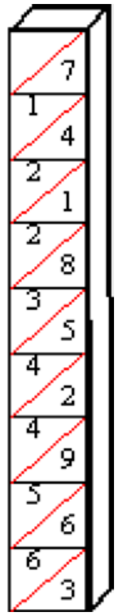


**Abb. 6.21** Rechenstab mit dem Einmaleins der Sieben

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

Betrachten wir Abb. 6.22 als Beispiel für die Berechnung von 6827 × 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.

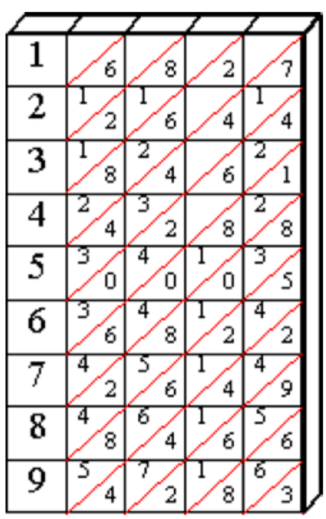
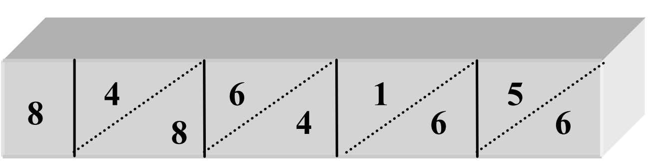


**Abb. 6.22** Anordnung der Stäbe zur Berechnung von 6827 × 8

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 Übertrags (Abb. 6.23).

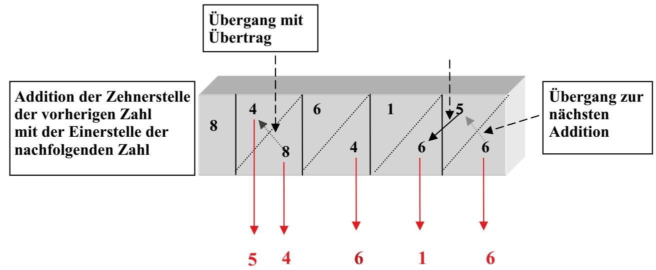



**Abb. 6.23** Ergebnis der Multiplikation

Als Ergebnis liest man 54.616 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 × 328 erläutert:

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

Als Ergebnis erhält man 2.239.256.

Mit den napierschen Rechenstäben konnte auch die Division vereinfacht werden. Dies sei am Beispiel der Division

25.608.077 : 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 25.608 passt (3 mal);
- nun rechnet man 3 mal 6827 und zieht dieses Ergebnis von 25.608 ab (ergibt 5127);
- die nächste Ziffer (0) wird heruntergeholt (ergibt 51.270);
- nun schaut man wieder, wie oft 6827 in 51.270 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, sodass man nur noch vergleichen muss (Abb. 6.24). Beim obigen Beispiel

$$25.608.077 : 6827$$

muss man folgendermaßen vorgehen:

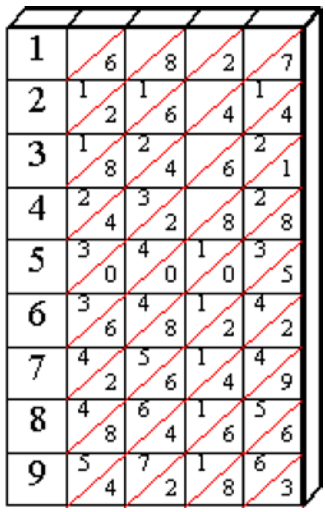



**Abb. 6.24** Division mit napierschen Stäben

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 25.608 passt. Man liest ab, dass 6827 mal 3 die Zahl 20.481 ergibt, 6827 mal 4 aber schon 27.308, 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 51.270 (vgl. oben). Wir sehen, dass 6827 mal 7 den Wert 47.789 ergibt, 6827 mal 8 aber schon 54.616. Folglich ist der zweite Divisor die 7, usw.

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 (Abb. 6.25, 6.26). Sie inspirierten eine Vielzahl von Wissenschaftlern und Ingenieuren zu Weiterentwicklungen.

**Abb. 6.25** Napiersche Rechenstäbe in einem Holzkasten zur Aufbewahrung (Original)

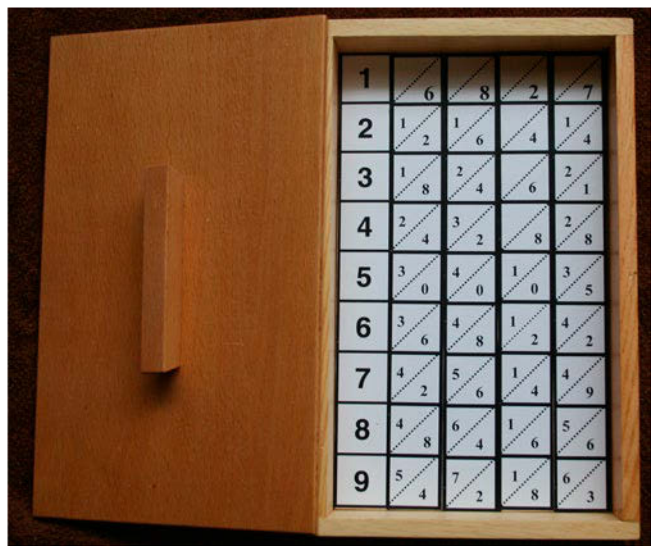


**Abb. 6.26** Nachbau von napierschen Rechenstäben anlässlich der Ausstellung „2000 Jahre Rechnergeschichte“ in der IHK Münster durch Schreiner Theo Kampermann, Altenberge/Deutschland

## 6.5 Der schottsche 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 trat der 19-Jährige in den Jesuitenorden ein und wurde zum Studium nach Würzburg gesandt. Dort widmete er sich der Philosophie und lernte einen seiner Professoren, den Jesuitenpater Athanasius Kircher, näher kennen.

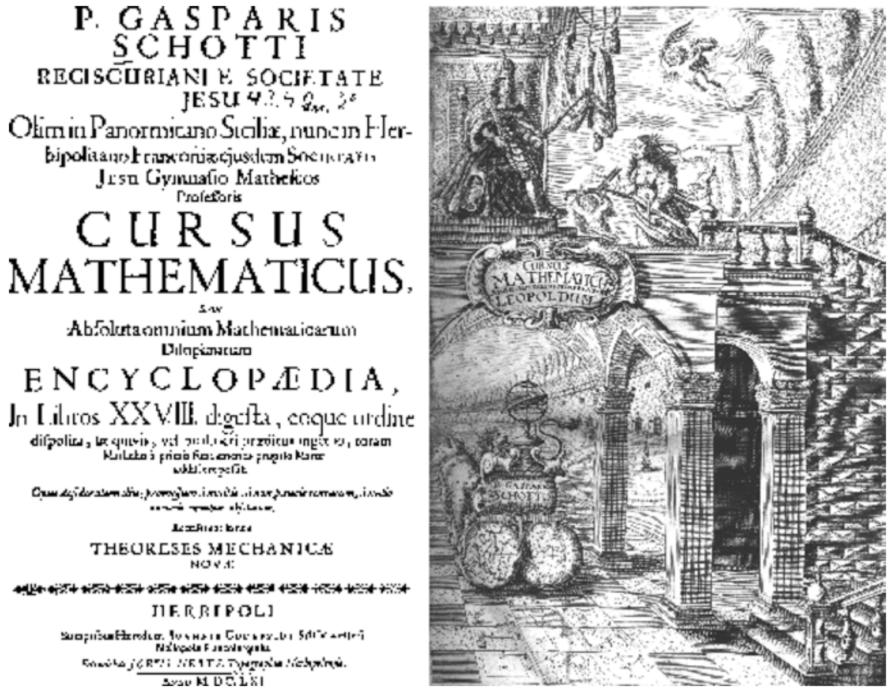



**Abb. 6.27** Titelbild des Cursus Mathematicus

Im Jahre 1631 bricht der 30-jährige 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 folgte. Gesichert ist jedoch die Beendigung seines Studiums der Philosophie, Theologie und Mathematik im sizilianischen Palermo. In Sizilien verbrachte Schott die nächsten zwei Jahrzehnte und lehrte meist Philosophie, Moraltheologie und Mathematik in Palermo, obwohl er sich auch zwei Jahre in Trapani aufhielt.

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

Im Jahre 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 Fürstbischof 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.

In seinen letzten Lebensjahren war Schott hauptsächlich damit beschäftigt, die Masse angesammelten Materials zu veröffentlichen. Zwischen 1658 und 1666 verfasste er elf Werke. Als umfassendstes gilt der *Cursus Mathematicus* (Abb. 6.27) von 1661, in dem er auf etwa 650 Seiten das gesamte mathematische Wissen seiner Zeit gründlich darstellte.

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.

Im Jahre 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 Rektorenstelle am Kolleg in Heiligenstadt an. Schott lehnte seinerseits mit dem Hinweis auf seine geschwächte Gesundheit ab. 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 Jahren in Würzburg.

Zwei Jahre nach seinem Tod erscheint 1668 das *Organum Mathematicum*, in dem Schott seine *Cistula* („Rechenkasten") (Abb. 6.28 und Abb. 6.29) beschreibt. Es handelt sich dabei um einen Apparat zum Multiplizieren und Dividieren.

**Abb. 6.28** Mathematischer Schrein mit schottschem Rechenkasten (oben)

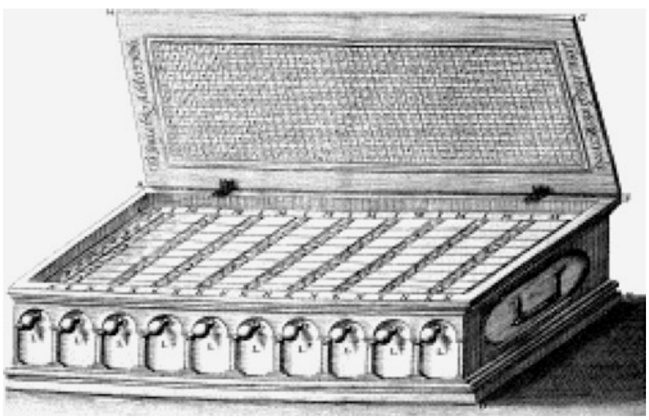


**Abb. 6.29** Schottscher Rechenkasten aus dem Organum Mathematicum

Mit diesem Rechenkasten gelang Schott eine Vereinfachung des Rechenvorgangs. Im Innern des Rechenkastens befanden sich zehn – horizontal drehbar gelagerte – Zylinder, auf denen Streifen nach dem Vorbild der napierschen Rechenstäbe aufgeklebt waren. Durch Drehen der Stäbe konnte man hier die benötigten Zahlen einstellen, während bei Napier die Stäbe immer wieder ausgetauscht werden mussten.

Jeder der Zylinder trug nebeneinander die Einmaleins-Reihen der Zahlen 1 bis 9, die Breite der Kastenabdeckungen war jedoch so gewählt, dass jeweils nur eine Reihe pro Zylinder sichtbar war. Linien auf den Abdeckungen überbrückten den konstruktiv bedingten Abstand zwischen den Reihen. Die Innenseite des Deckels enthielt eine zusätzliche Additions-Subtraktions-Tafel, um die vom Nutzer noch durchzuführenden Additionen und Subtraktionen zu erleichtern.

Wie bereits erwähnt, beruhte der Rechenkasten auf dem Prinzip der napierschen Rechenstäbe. Daher sei nur ein kurzes Beispiel aufgeführt (Abb. 6.30 und Abb. 6.37).

Um 593.856 mit 7 zu multiplizieren, stellte man mithilfe der Drehknöpfe den Rechenkasten so ein, dass die Zahl 593.856 in der obersten Reihe erschien (die nicht benötigten Spalten wurden auf Null eingestellt). Da man mit 7 multiplizieren will, konnte man nun einfach in der siebten Zeile das Ergebnis von rechts nach links ablesen. Dazu wurden – wie bei den napierschen Stäben üblich – die beiden Ziffern aus je einer roten Raute addiert. Ist das Ergebnis zweistellig, wird die Zehnerstelle zur nächsten Raute addiert. Das Ergebnis lautet 4.156.992.

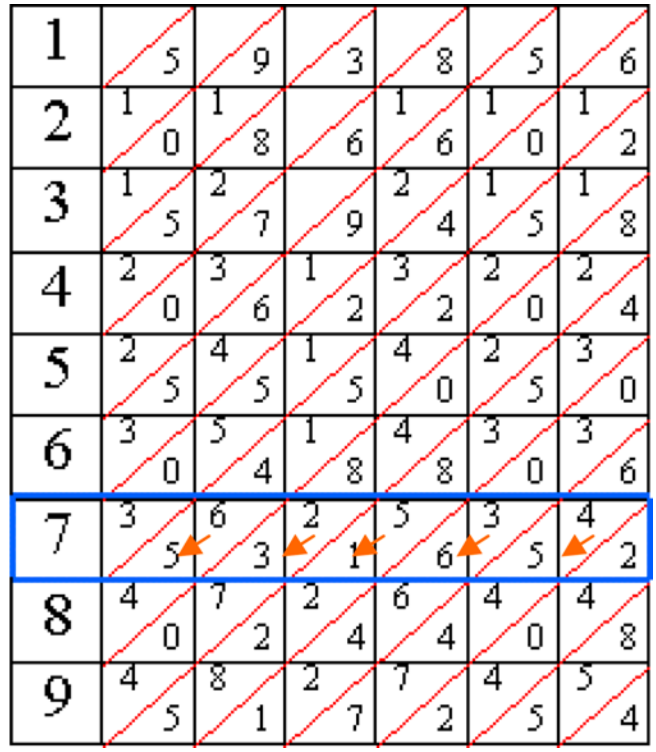



**Abb. 6.30** Multiplikation von 593.856 × 7 mithilfe des schottschen Rechenkastens

Schotts Rechenkasten wurde 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 19. Jahrhunderts noch verbessert, obwohl zu dieser Zeit eine Vielzahl von ausgereiften Rechenmaschinen auf dem Markt war. So entwickelte der französische Eisenbahningenieur *Henri Genaille* Multiplizierstäbe (Abb. 6.31 und Abb. 6.37), die er in Zusammenarbeit mit dem Mathematiker *Edouard Lucas* auf den Markt brachte. Dieses geschah lange nach Schickard, Pascal und Leibniz. Dennoch breiteten sich die Stäbe Genailles als einfaches Rechengerät aus und waren bis in die 1920er-Jahre im Einsatz.

Die Stäbe eignen sich zum einfachen Multiplizieren eines mehrstelligen Faktors mit einem einstelligen Faktor. Zum Addieren eines mehrstelligen Faktors mit einem weiteren mehrstelligen Faktor muss jeder Faktor einzeln multipliziert

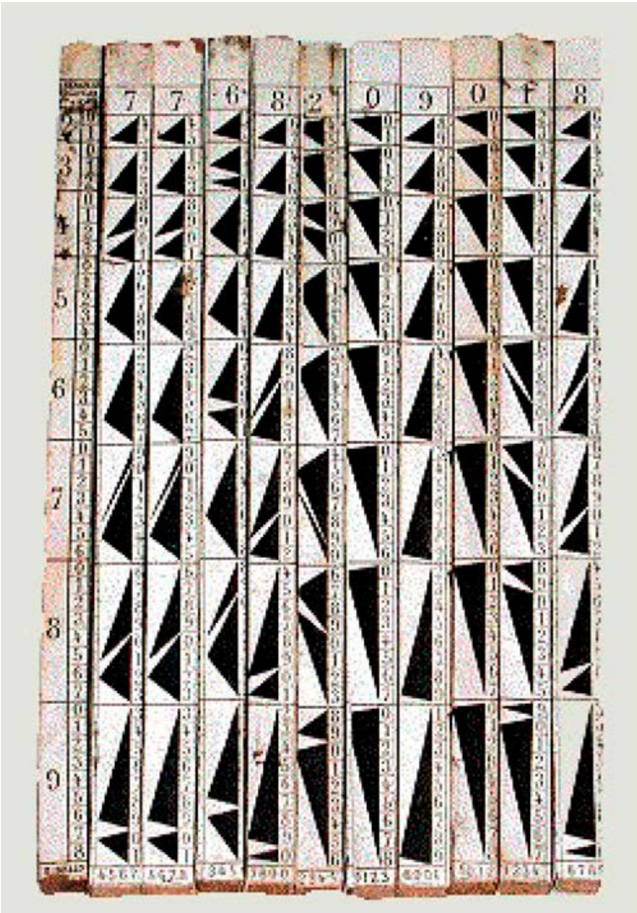


Abb. 6.31 Stäbe von Genaille

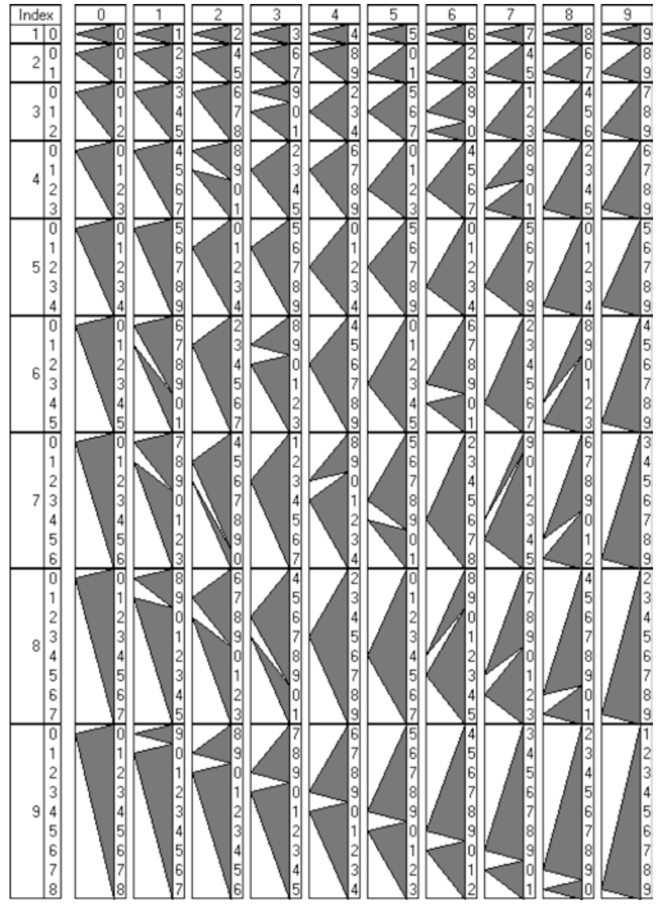


Abb. 6.32 Prinzipieller Aufbau der Multiplizierstäbe von Genaille

und am Ende alle Produkte aufsummiert werden, ähnlich der heute üblichen und bekannten Art der schriftlichen Multiplikation.

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 Fachs finden wir eine Spalte mit untereinander stehenden Ziffern (Abb. 6.32).

Allerdings gab es bereits vorher ähnliche Geräte. So beschreibt *Theodor Ludwig Jordan* in seiner *Beschreibung mehrerer von ihm erfundener Rechenmaschinen. Erster Teil: Maschinen ohne Räderwerk und Rechentafeln. Stuttgart 1798* Multiplizierhilfen auf der Basis von Tafeln, die über das System der napierschen Stäbchen hinausgehen. Hiervon entwickelte er drei verschiedene Ausführungen. Jordan wurde am 29. Januar 1765 geboren. In den Jahren 1790–1793 war er *Conrector* in Speyer und von 1793 bis 1800 *Präceptor* der lateinischen Schule in Schorndorf. Er starb im Jahr 1811.

Der Österreicher *Carl Schönbichler* stellte in der Wiener Zeitung aus dem Jahre 1846 eine Erfindung vor mit *Multiplications-Register für die Decimalrechnung, eine Rechenmaschine zur unmittelbaren Erlangung aller Producte aus den Multiplicatoren von 1 bis 10, in jedem Multiplicandus von weniger als elf Ziffern.*

Die Durchführung einer Multiplikation mithilfe der Multiplizierstäbe von Genaille sei an dem Beispiel

$$7531 \times 5 = 37.655$$

erläutert (Abb. 6.33).

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 37.655 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.

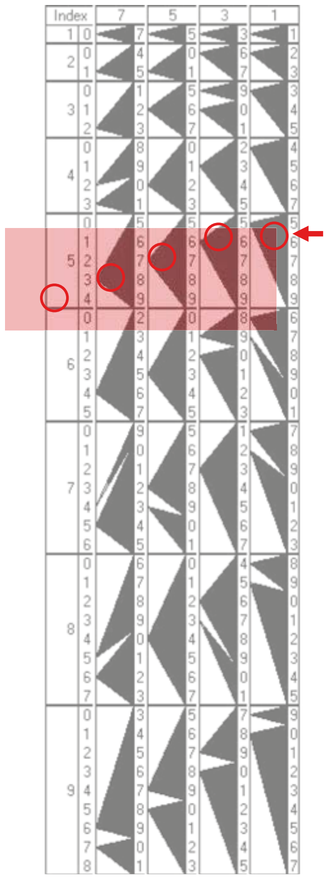



**Abb. 6.33** Durchführung der Multiplikation 7531 × 5

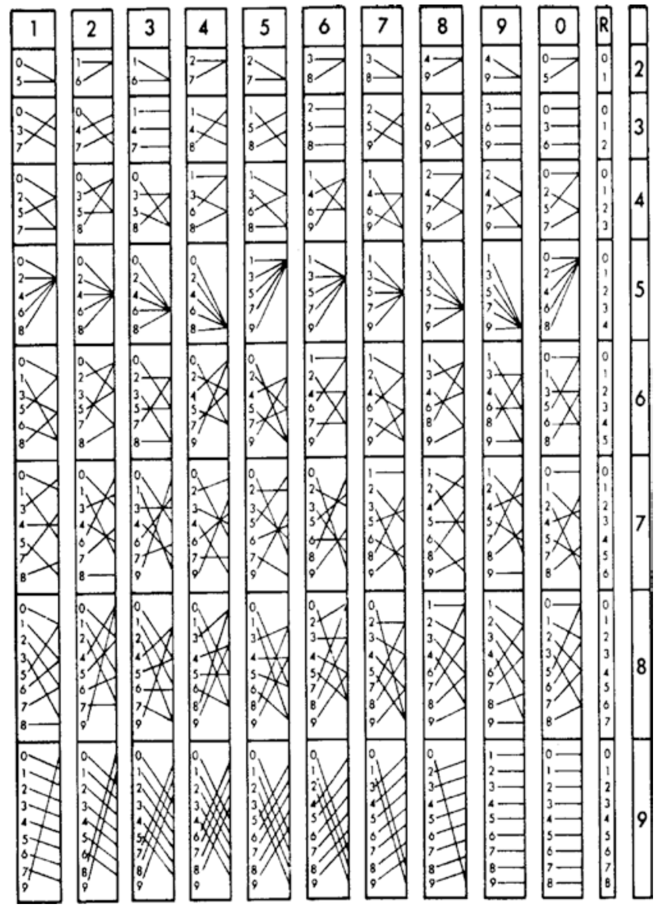



**Abb. 6.34** Genailles Stäbe für die Division

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. 6.34).

Die Vorgehensweise bei der Division sei an dem Beispiel

$$6957 : 6 = 1159 \text{ Rest } 3$$

erläutert (Abb. 6.35).

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 15 verschiedene Instrumente für unterschiedliche Anwendungen, die auf dem Prinzip der Stäbe von Genaille beruhen.

Abbildung 6.36 zeigt die Kombination eines Geräts zum Addieren und Subtrahieren mit einer Einrichtung zum Multiplizieren mithilfe von Genaille-Stäben, die klappbar angeordnet sind. Diese Maschine wurde 1895 von *Léon Bollée* konstruiert.

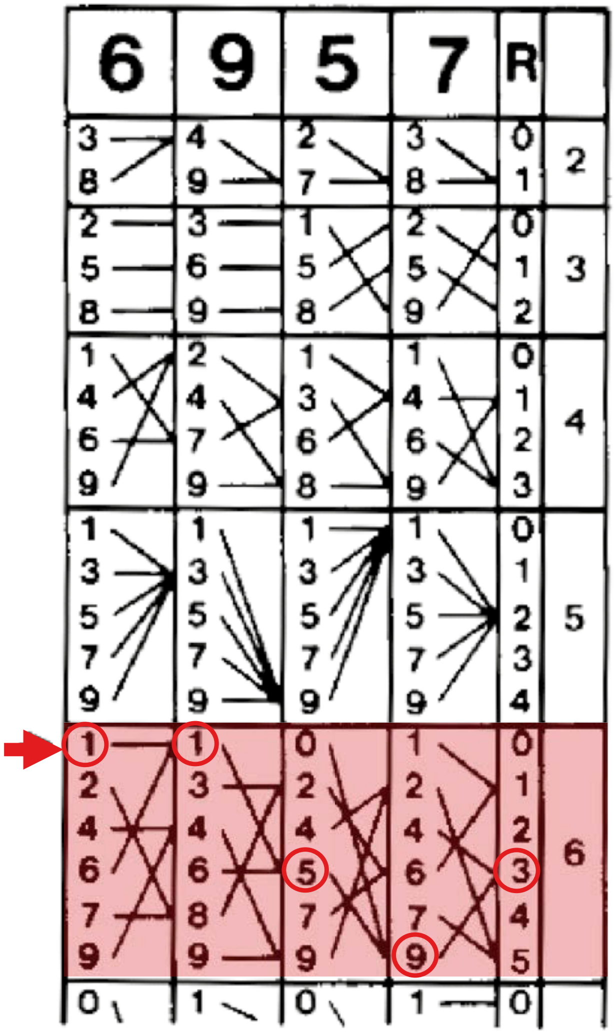



Abb. 6.35 Durchführung der Division 65.957 : 6

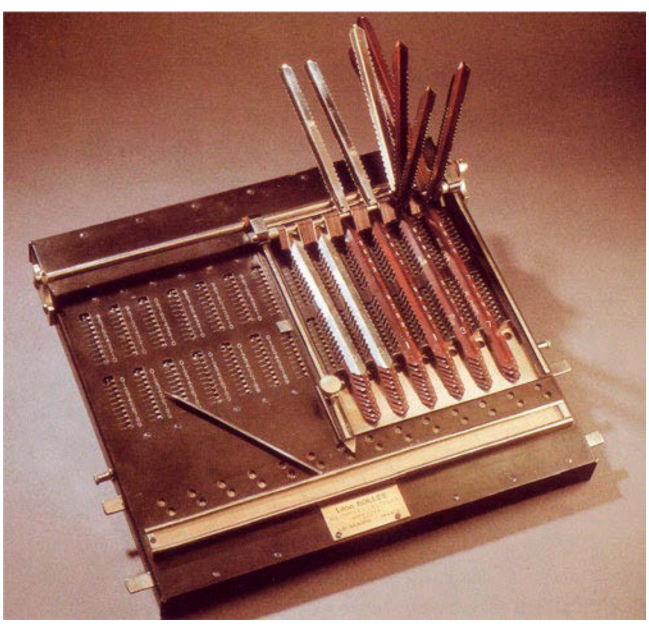
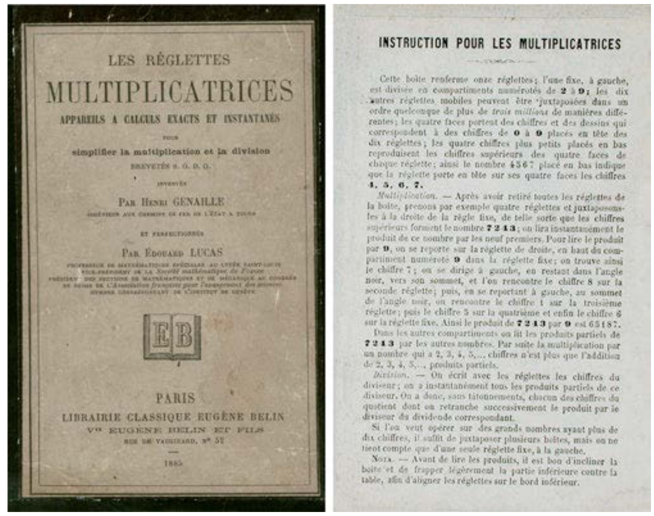


Abb. 6.36 Arithmograf von Bollée



LES RÉGLETTES
MULTIPLICATRICES
APPAREILS A CALCULS EXACTS ET INSTANTANÉS
POUR
simplifier la multiplication et la division
BREVETÉS S. G. D. G.
INVENTÉS
PAR HENRI GENAILLE
ET PERFECTIONNÉS
PAR ÉDOUARD LUCAS
PARIS
LIBRAIRIE CLASSIQUE EUGÈNE BELIN
V[ve] EUGÈNE BELIN ET FILS
RUE DE VAUGIRARD, N° 52
1885

INSTRUCTION POUR LES MULTIPLICATRICES

Cette boite renferme onze réglettes; l'une fixe, à gauche, est divisée en compartiments numérotés de **2** à **9**; les dix autres réglettes mobiles peuvent être juxtaposées dans un ordre quelconque de plus de *trois millions* de manières différentes; les quatre faces portent des chiffres et des dessins qui correspondent à des chiffres de **0** à **9** placés en tête des dix réglettes; les quatre chiffres plus petits placés en bas reproduisent les chiffres supérieurs des quatre faces de chaque réglette; ainsi le nombre 4567 placé en bas indique que la réglette porte en tête sur ses quatre faces les chiffres **4, 5, 6, 7.**

*Multiplication.* — Après avoir retiré toutes les réglettes de la boite, prenons par exemple quatre réglettes et juxtaposons-les à la droite de la règle fixe, de telle sorte que les chiffres supérieurs forment le nombre **7243**; on lira instantanément le produit de ce nombre par les neuf premiers. Pour lire le produit par **9**, on se reporte sur la réglette de droite, en haut du compartiment numéroté **9** dans la réglette fixe; on trouve ainsi le chiffre 7; on se dirige à gauche, en restant dans l'angle noir, vers son sommet, et l'on rencontre le chiffre 8 sur la seconde réglette; puis, en se reportant à gauche, au sommet de l'angle noir, on rencontre le chiffre 1 sur la troisième réglette; puis le chiffre 5 sur la quatrième et enfin le chiffre 6 sur la réglette fixe. Ainsi le produit de **7243** par **9** est 65187.

Dans les autres compartiments on lit les produits partiels de **7243** par les autres nombres. Par suite la multiplication par un nombre qui a 2, 3, 4, 5,... chiffres n'est plus que l'addition de 2, 3, 4, 5,... produits partiels.

*Division.* — On écrit avec les réglettes les chiffres du diviseur; on a instantanément tous les produits partiels de ce diviseur. On a donc, sans tâtonnements, chacun des chiffres du quotient dont on retranche successivement le produit par le diviseur du dividende correspondant.

Si l'on veut opérer sur des grands nombres ayant plus de dix chiffres, il suffit de juxtaposer plusieurs boîtes, mais on ne tient compte que d'une seule réglette fixe, à la gauche.

NOTA. — Avant de lire les produits, il est bon d'incliner la boite et de frapper légèrement la partie inférieure contre la table, afin d'aligner les réglettes sur le bord inférieur.

Abb. 6.37 Beschreibung der Rechenstäbe durch Genaille und Lucas

# Die ersten Rechenmaschinen

# 7

Vermutlich stammt das erste brauchbare Konzept zur Realisierung eines automatischen Zehnerübertrags von Leonardo da Vinci. Im *Codex Madrid* und im *Codex Atlanticus* finden sich Skizzen und Erläuterungen, die ein Räderwerk beschreiben, welches beim Erreichen einer „9" das nächste Rad automatisch um eine Stelle weiterdreht. 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 ist 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 Jahre 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. 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 von Rechenmaschinen umfasst die Sprossenradmaschinen. Erstmalig entwickelt wurden sie von Polenius in Padua im Jahr 1709. Verbessert wurden sie maßgeblich durch Roth aus Paris (englisches Patent angemeldet 1843), F.S. Baldwin aus 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 & 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 C. 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.

## 7.1 Der Rechner von Leonardo da Vinci

Das Verdienst, den Übergang von Rechengeräten zu Rechenmaschinen mit einem automatischen Übertrag zu realisieren, gebührt einem Zeitgenossen von Napier, Schickard. Die prinzipielle Idee hatte jedoch vermutlich schon ein vor Schickard lebendes Genie, Leonardo da Vinci (Abb. 7.1).

**Abb. 7.1** Leonardo da Vinci

W.-M. Lippe, *Die Geschichte der Rechenautomaten*,
DOI 10.1007/978-3-642-36191-3_7, © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

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.

Über den Rechner von Leonardo war lange Zeit nichts bekannt. Erst als 1967 die Bedeutung zweier zueinander passender Zeichnungen aus dem *Codex Madrid* und einer aus dem *Codex Atlanticus* erkannt wurde, konnte man auf die tatsächliche Idee Leonardos zur Konstruktion einer Rechenmaschine zurückschließen (Abb. 7.2). 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 *Codex Atlanticus*.

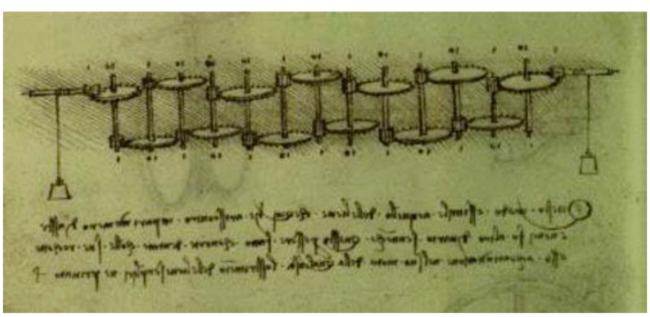


**Abb. 7.2** Zeichnung Leonardos zur Konstruktion einer Rechenmaschine

Dr. Guatelli hatte im Auftrag der IBM in den Jahren zuvor eine Reihe von Modellen, aufbauend auf Zeichnungen von Leonardo da Vinci, nachgebaut. Er interpretierte die Zeichnungen als die Basis für eine Additionsmaschine, die automatisch den Zehnerübergang realisieren konnte. Im Jahre 1968 konstruierte er in Boston einen entsprechenden Nachbau, wobei er die Skizzen folgendermaßen interpretierte: Leonardos Rechner besteht aus 13 Rädern mit Zahlenwerten von 1 bis 10. Die Drehung eines Rades über die 9 hinaus bewirkt, dass sich das Rad der nächsthöheren Stelle von 0 auf 1 bewegt, während sich das ursprüngliche Rad weiterdreht, sodass automatisch ein Übertrag stattfindet.

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

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

Somit war Leonardo da Vincis Rechenmaschine möglicherweise die erste ihrer Art. Man kann mit relativ hoher Sicherheit annehmen, dass sie nur ein theoretisches Modell war und zu Leonardos Zeit nie gebaut wurde. Über den Verbleib des Nachbaus von Dr. Guatelli ist leider nichts bekannt. Vermutlich verstaubt er 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 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 Dreißigjährigen 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. Im Jahr 1617 begegnet er zum ersten Mal Kepler. Der erkennt sofort seine hohe Begabung, regt ihn zur Fortsetzung mathematischer Studien an und schätzt ihn zeitlebens insbesondere als erfindungsreichen Mechanicus und ausgezeichneten Zeichner und Kupferstecher.

In Abb. 7.4 ist Schickard mit einem von ihm gebauten Handplanetarium (Abb. 7.5) zu sehen. Es dürfte das weltweit erste *copernicanische* Planetarium sein. Erst 1977 erkannte *Ludolf von Mackensen* seine Funktion und konstruierte einen Nachbau.


**Abb. 7.4** Wilhelm Schickard

Der württembergische Herzog Friedrich setzte sich 1619 für eine Professur Schickards an der Universität Tübingen für Hebräisch ein. Aufgrund dieser Fürsprache wird Schickard als Professor für Hebräisch, Aramäisch und andere biblische Sprachen an die Tübinger Universität berufen. Er arbeitete eng mit *Michael Mästlin* zusammen, dem alten, berühmten Mathematiker und Astronomen, dem Lehrer Keplers, einem der ersten Astronomen, die sich entschieden zur kopernikanischen Lehre bekannten. Im Jahre 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 kartografische 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. Im Jahre 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 am 23. Oktober 1635 an der Pest. Sein kleiner Sohn wurde einen Tag nach ihm begraben.

### 7.2.2 Die Entdeckung der Maschine und ihre Rekonstruktion

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

Hammer berichtete über Unterlagen, die er zumeist schon vor dem Krieg gefunden, aber nicht ausgewertet hatte, aus denen hervorging, dass nicht der große Franzose Blaise Pascal 1642 die erste Rechenmaschine im modernen Sinne dieses Worts gebaut hat, sondern vielmehr in dessen Geburtsjahr 1623 bereits ein Tübinger Professor, Wilhelm Schickard, dies leistete (Abb. 7.6).


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

Hammer legte diese spärlichen Unterlagen dem Kongress vor und referierte kurz über die Umstände des Funds und seine Bedeutung. Er schloss mit der Bemerkung, wie die Maschine, von der eine kleine Federskizze – eine lange verlorene Anlage zu einem Brief Schickards 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 zeigen die Abb. 7.7 und 7.8.

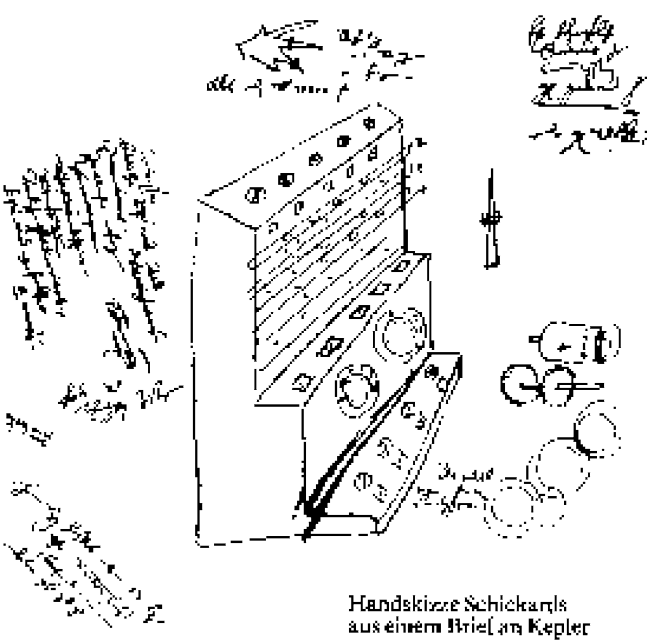



**Abb. 7.7** Zeichnung von Schickard mit Skizze der Rechenmaschine

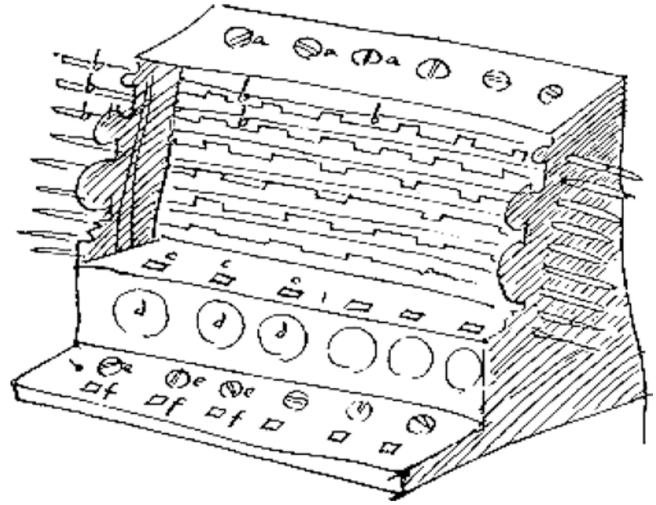


**Abb. 7.8** Detail der Zeichnung

Zwei Tage später widerfuhr es *Bruno Baron v. Freytag Löringhoff* (Abb. 7.19), einem der Teilnehmer dieses Kongresses, dass ihm früh am Morgen nach einer weinseligen Nacht bei erneuter Betrachtung dieser Quellen in wenigen Sekunden alles klar wurde. Der Kongressleiter, Prof. J. E. Hofmann, der Mathematikhistoriker und bekannte Bearbeiter des Leibniz-Nachlasses, gab v. Freytag Gelegenheit, noch in den letzten Stunden des Kongresses seinen Rekonstruktionsvorschlag unter allgemeiner Zustimmung vorzutragen.

Selbstverständlich entstand nun der Wunsch, eine Rekonstruktion herzustellen und zu erproben. Das war leichter gesagt als getan und wäre ohne viel Hilfe von mancherlei Seite nie zustande gekommen. Kleine Missgeschicke hielten die Fertigstellung auf, und so wurde es Januar 1960, bis das erste Exemplar im Auditorium maximum der Tübinger Universität endlich einem großen Publikum vorgeführt werden konnte (Abb. 7.9).

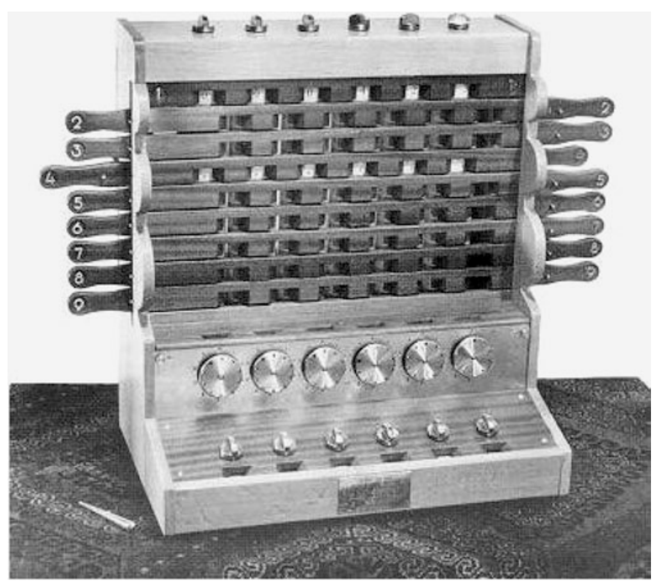


**Abb. 7.9** Der Nachbau durch Bruno Baron v. Freytag Löringhoff


**Abb. 7.10** Die Komponenten der Maschine

### 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.

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 Napierstäbe (Walzen), von denen er sechs vollständige Sätze auf Zylinder schrieb. Zum anderen konstruierte Schickard im unteren Teil ein separates, händisch einzustellendes Speicherwerk als Merkvorrichtung, in dem Zwischenergebnisse abgelegt werden konnten (vergleichbar einem Register heutiger moderner Maschinen) (Abb. 7.10 und 7.11).

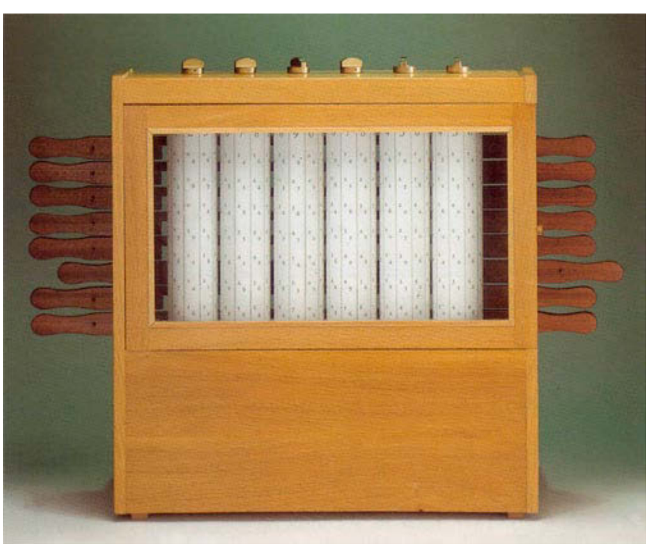


**Abb. 7.11** Rückansicht mit den sechs Walzen

Über die Funktion der Walzen ist viel spekuliert worden. Zum einen können sie sicherlich wie Napierstäbe benutzt werden. Im Rahmen eines Gesprächs im Januar 1987 zwischen Prof. v. Freytag Löringhoff und *Prof. Matthias Schramm* zur Frage, ob Schickard die napierschen Stäbe 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 Transkription zeigte eine Idee zu einem Gerät zur Unterstützung astronomischer Berechnungen. Mithilfe 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 (dem 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 erstellte während eines Irlandaufenthalts Bruno v. Freytag Löringhoff den in Abb. 7.12 abgebildeten Prototyp.

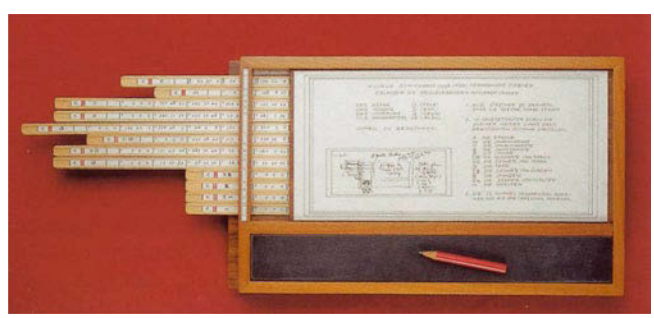


**Abb. 7.12** Rekonstruktion zur Demonstration der Einsatzfähigkeit der schickardschen Stäbchen als astronomische Rechenstäbchen

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 zum 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).

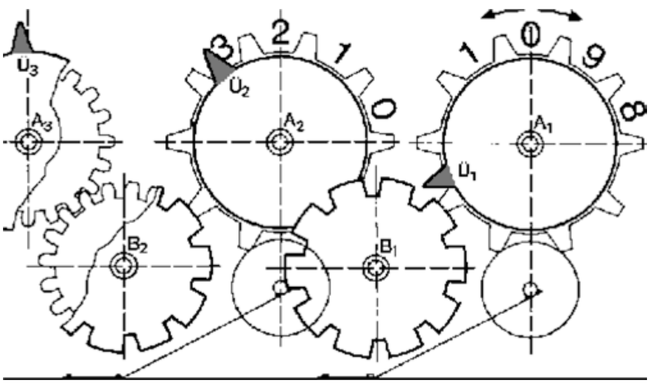



**Abb. 7.13** Die Details zur Realisierung des Zehnerübertrags

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.

### 7.2.4 Funktionsweise

Die Rechenmaschine von Schickard ist primär eine Zwei-Spezies-Maschine, das heißt, sie ist zur Durchführung von Additionen und Multiplikationen ausgelegt. Darüber hinaus besitzt sie Einrichtungen, die die Durchführung von Multiplikationen und Divisionen unterstützen und vereinfachen. Prinzipiell geht man bei Additionen und Multiplikationen folgendermaßen vor: Die sechs Fenster, die in den einzelnen Rechenwerken nebeneinander liegen, entsprechen jeweils den Ziffern einer sechsstelligen Zahl. Verändert werden können diese Ziffern jeweils einzeln durch Rechts- bzw. Linksdrehen.

**Addition und Subtraktion** Bei der Addition werden die zu addierenden Zahlen nach rechts 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.

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 Zehnerübertragung dort mit dem Hebel nur in einer Drehrichtung funktionierte, sodass für die Subtraktion die Ziffern im entgegengesetzten Drehsinn auf die Zahnräder aufgetragen werden mussten.

Hier einige Beispiele: Zur Addition von 123 + 102 stellt man zunächst im Additionswerk 0 0 0 1 2 3 ein und addiert 102, indem man bei den Einsern 2 und bei den Hundertern 1 dazu addiert (weiterdrehen der dargestellten Zahl).

Zur Subtraktion 1000 − 20 stellt man zunächst im Additionswerk 0 0 1 0 0 0 ein und subtrahiert 20, indem man bei den Zehnern 2 subtrahiert (Drehen in entgegengesetzter Richtung).

**Multiplikation und Division** Die Multiplikationsvorrichtung besteht aus sechs nebeneinander angeordneten, drehbaren Zylindern, auf denen jeweils das kleine Einmaleins in der abgebildeten Art und Weise aufgeschrieben ist: Im Prinzip handelt es sich hier somit um Napierstäbe (Abb. 7.14).

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 einfachen 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, sodass das Ergebnis dort abzulesen ist.

**Abb. 7.14** Die Beschriftung der Zylinder

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 02 | 04 | 06 | 08 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 00 |
| 03 | 06 | 09 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 | 27 | 00 |
| 04 | 08 | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 | 32 | 36 | 00 |
| 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 00 |
| 06 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 | 54 | 00 |
| 07 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | 49 | 56 | 63 | 00 |
| 08 | 16 | 24 | 32 | 40 | 48 | 56 | 64 | 72 | 00 |

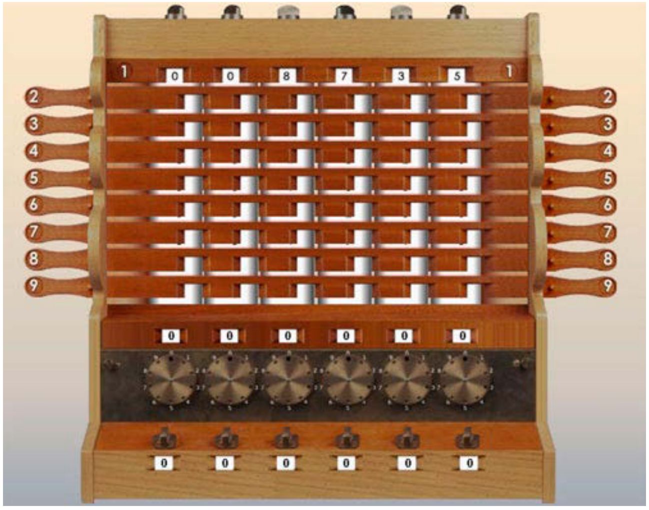


**Abb. 7.15** Einstellen von 8735 (1. Schritt)

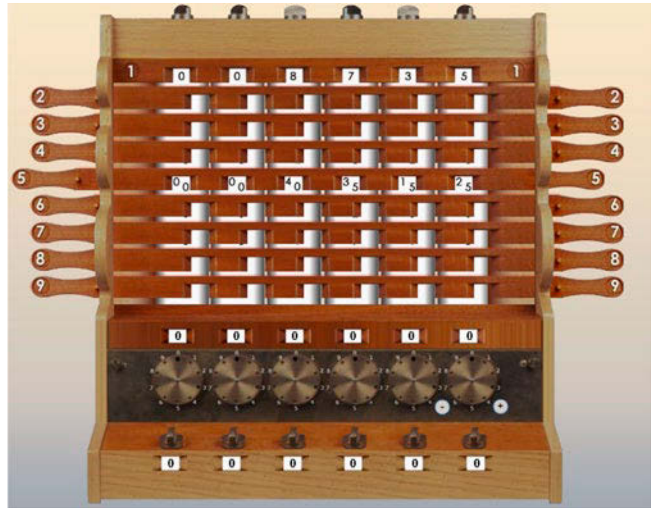


**Abb. 7.16** Ziehen des fünften Schiebers (2. Schritt)

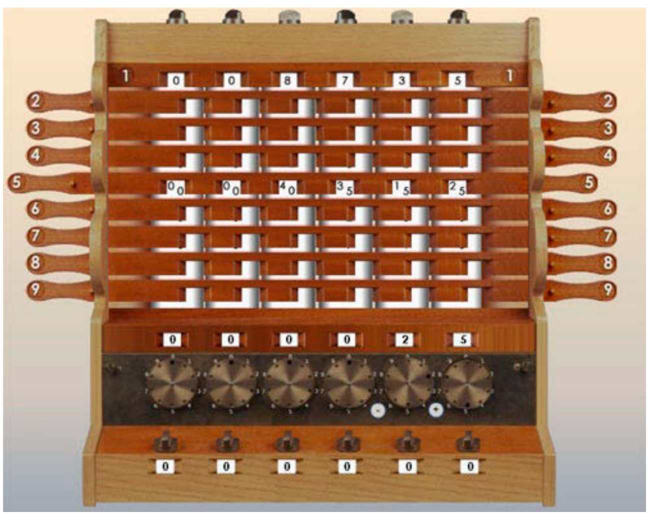


**Abb. 7.17** Eindrehen von „25“

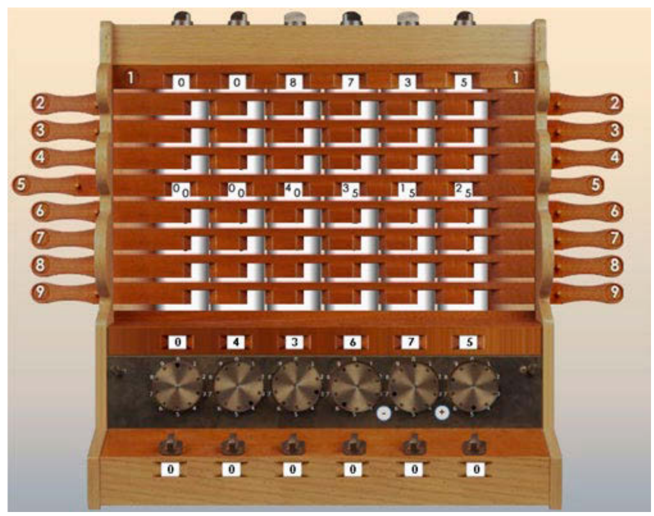


**Abb. 7.18** Ablesen des Endergebnisses

Ein Beispiel: Zur Multiplikation der Zahlen 8735 und 5 werden nacheinander die folgenden Schritte durchgeführt:

*1. Schritt:* Man dreht den Zylinder, sodass 8735 im Anzeigefeld erscheint (Abb. 7.15).

*2. Schritt:* Da mit der Zahl 5 multipliziert werden soll, zieht man jetzt den fünften Schieber: Es erscheint ganz rechts die Zahl „25“ (= 5 × 5). Daneben nacheinander (von rechts nach links) die Zahlen „15“, „35“ und „40“ (Abb. 7.16).

*3. Schritt:* Die erschienene Zahl „25“ wird in das Addierwerk eingedreht (Abb. 7.17). Im Ergebniswerk erscheint die „5“ und der Übertrag ist „2“.

*4. Schritt:* Jetzt wird die Zahl „15“ in das Addierwerk eingedreht. Die Zahl 15 erscheint als zweite Zahl von rechts im 2. Schritt. Im Ergebniswerk erscheint „075“ und der Übertrag ist „1“.

*5. Schritt:* Jetzt wird die Zahl „35“ in das Addierwerk eingedreht. Die Zahl 35 erscheint als dritte Zahl von rechts im 2. Im Ergebniswerk erscheint „0675“ und der Übertrag ist „3“.

*6. Schritt:* Jetzt wird die Zahl „40“ in das Addierwerk eingedreht. Die Zahl 40 erscheint als vierte Zahl von rechts im 2. Im Ergebniswerk erscheint „03675“ und der Übertrag ist „4“. Das Gesamtergebnis ergibt somit 43.675 (Abb. 7.18).

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 mithilfe einer Subtraktion 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: Als Beispiel seien die einzelnen Schritte zur Division der Zahl 8757 durch die Zahl 9 aufgeführt.

*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 (= 6) und die nächste Ziffer von 8757 zum Ergebnis hinzugefügt. Die „9“ wird festgehalten.

$$\begin{array}{l} 8757:9=9 \\ \underline{81} \\ \;\;65 \end{array}$$

*3. Schritt:* Die Zahl 63 = 9 × 7 (liegt am nächsten bei 65) wird von „65“ subtrahiert und die „7“ wird festgehalten. Wieder wird die nächste Ziffer von 8757 zum Ergebnis hinzugefügt.

$$\begin{array}{l} 8757:9=97 \\ \underline{81} \\ \;\;65 \\ \;\;\underline{63} \\ \;\;\;\;27 \end{array}$$

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

$$\begin{array}{l} 8757:9=973 \\ \underline{81} \\ \;\;65 \\ \;\;\underline{63} \\ \;\;\;\;27 \\ \;\;\;\;\underline{27} \end{array}$$

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.*

Die Maschine von Schickard war offensichtlich funktionstüchtig und enthielt wichtige Funktionsprinzipien. Sie eignete sich allerdings nur beschränkt für den alltäglichen Einsatz als Rechenmaschine, denn sie enthielt keine Vorrichtungen, die das tägliche sichere Arbeiten ermöglichten. So fehlt der Maschine von Wilhelm Schickard die Möglichkeit, Energie für den Zehnerübertrag jeder Dezimalstelle zu speichern. Das bedeutet, dass die Rechnung 9 + 1 einfach zu bewältigen ist, jedoch 9999 + 1 einen hohen Kraftaufwand erfordert und vermutlich zu Verklemmungen der Maschine geführt hat.

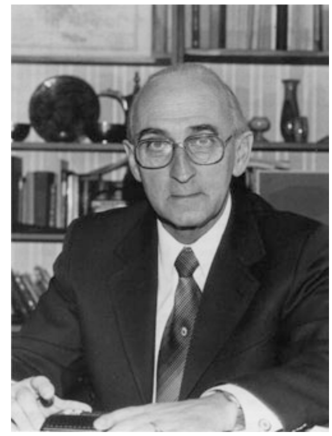


**Abb. 7.19** Prof. Dr. Bruno Baron v. Freytag Löringhoff

## 7.3 Der Rechner von Pascal

Eine ähnliche Motivation wie bei Schickard, der seinem Freund Keppler helfen wollte, lag bei Blaise 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 viel 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.

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, sodass 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 regelmäßig mit einem Kreis von Geometrikern der französischen Akademie und im Alter von 16 Jahren war er mit seinen mathematischen Studien bereits so weit fortgeschritten, dass er seine ersten Veröffentlichungen über Kegelschnitte machte. Neben der Mathematik wandte Pascal sich auch der 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 frühen Tod im Jahre 1662 in Paris.

Seine Rechenmaschine (Abb. 7.20 und Abb. 7.22) entwarf er im Alter von 19 Jahren für seinen Vater zur Erleichterung seiner Arbeit. Mithilfe der Maschine konnten Addition und Subtraktion, nicht aber Multiplikation oder Division, ausgeführt werden. Das Prinzip der Maschine wird noch heute in Kilometerzählern verwendet. Die erste Beschreibung dieser Maschine findet sich in Diderots Enzyklopädie von 1751.

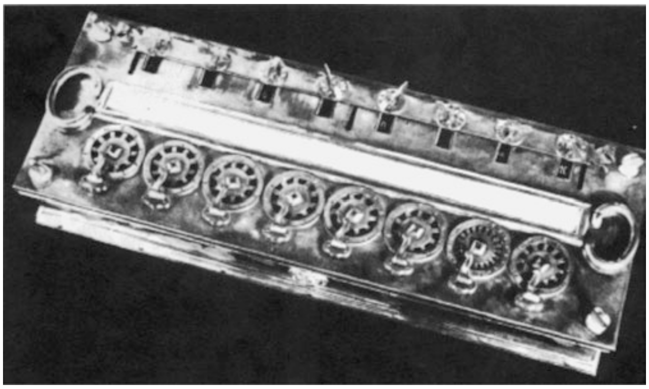


**Abb. 7.20** Die Addiermaschine von Pascal (Einstellung der Summanden mit Griffel)

Es ist verschiedentlich spekuliert worden, ob Pascal (Abb. 7.21) Informationen über die Maschine von Schickard hatte. Dies war vermutlich nicht der Fall, denn zum einen findet sich in keiner 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.

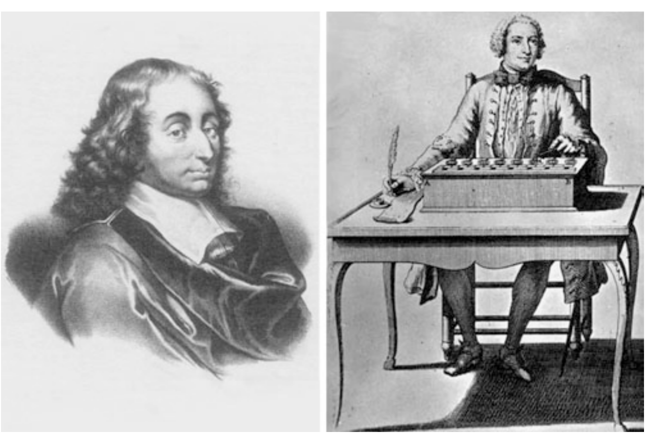


**Abb. 7.21** Blaise Pascal in zeitgenössischen Darstellungen

Pascal ließ seine Rechenmaschine in ca. 50 Exemplaren bauen, von denen heute noch neun existieren. Jede von ihnen war ein Unikat. 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 Hofs bewegte, entwickelte aus der Mode des Glücksspiels heraus auch die Grundzüge der Wahrscheinlichkeitsrechnung.

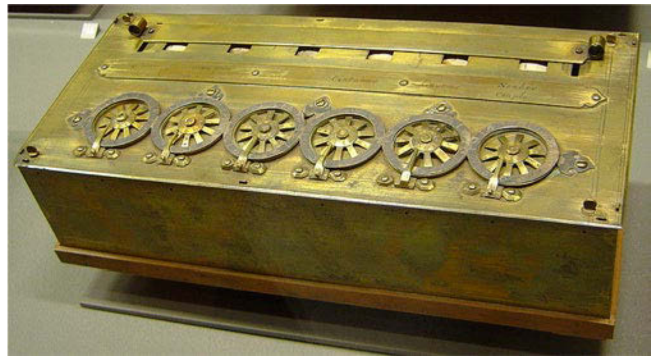


**Abb. 7.22** Nachbau der Rechenmaschine von Pascal

Auch die Rechenmaschine von Pascal arbeitete mit zehnstufigen Zahnrädern. Die Maschine bestand aus acht Einstellrädern, auf jedem sind die Ziffern von 0–9 abgetragen. Jedes Einstellrad entspricht einer Dezimalstelle der zu addierenden bzw. zu 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 Rads wird das links daneben liegende Rad automatisch um eine Stelle weitergedreht.

Abbildung 7.23 veranschaulicht die Wirkungsweise.

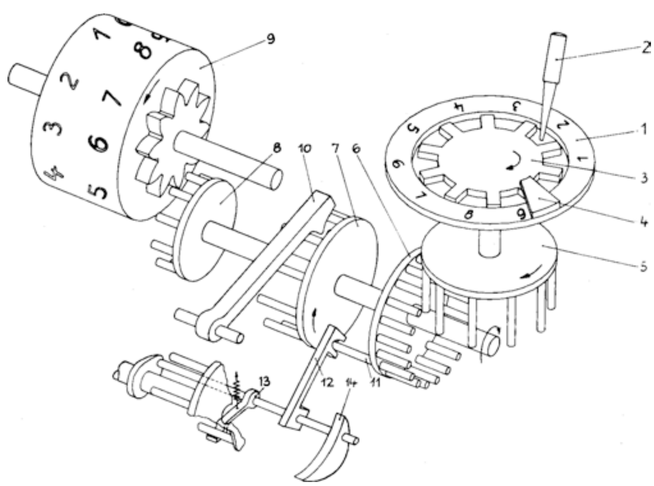



**Abb. 7.23** Wirkungsweise der Maschine von Pascal

Die Einstellung der Zahlen erfolgte mit einem Griffel (Nr. 2). Innerhalb des Kranzes 1, der mit Ziffern versehen war, befand sich ein Rad 3, welches über eine Achse mit dem weiteren Mechanismus verbunden war. Der Griffel wurde in die zur einzustellenden Zahl gehörende Ausbuchtung des Rades 3 gesteckt und dieses bis zum Anschlag 4 gedreht. Über die Räder 5, 6, 7 und 8 wurde diese Drehung direkt auf das Ziffernrad 9 übertragen. Der Arm 10 diente zur Zentrierung des

Radsatzes. Für den Zehnerübertrag waren die Teile 11, 12, 13 und 14 zuständig. Die Stange 11 nahm die Gabel 12 mit und bewegte sie zusammen mit dem Gewicht 13 nach oben. Bei dem Durchgang von 9 auf 0 verlässt die Stange 11 die Gabel und der Mechanismus wurde durch das Gewicht wieder nach unten gezogen und die Schaltklinge 14 schaltete die nächste Dezimalstelle um eine Einheit weiter.

Aufgrund des Hebelmechanismus für den Zehnerübertrag konnten jedoch die Zahnräder durch den Griffel nicht nach links gedreht werden, um so die Subtraktion zu realisieren. Die Subtraktion erfolgte dadurch, dass auf der Zahlenreihe reziproke Ziffernreihen aufgetragen waren. Wollte man subtrahieren, verschob man eine Abdeckplatte und stellte den reziproken Wert ein.

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 funktionierte somit folgendermaßen: Zunächst wird der Minuend eingedreht, dann der Subtrahend (das Eindrehen erfolgt analog zur Addition). Hier wird beim Übergang eines Einstellrads 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 Addiermaschinen ist zu beachten, dass die meisten Maschinen nicht für das Dezimalsystem ausgelegt sind. Da sie ursprünglich für die Berechnung von Steuern entwickelt wurden, liegt vielen von ihnen das System der damaligen französischen Währung zugrunde: 12 Deniers bildeten einen Sous, 20 Sous die Haupteinheit. Darum hatten bei diesen Maschinen das erste Rad 12, das zweite 20 und alle weiteren 10 Zähne. Es existieren auch Maschinen für das englische Währungssystem.

Obwohl die Rechenmaschinen von Pascal praktisch eingesetzt wurden, waren sie konstruktions- und fertigungsbedingt mit einigen Unzulänglichkeiten behaftet (Abb. 7.24). Pascal selbst schrieb 1645 ein *Hinweis für diejenigen, die Neugierde empfinden, die Rechenmaschine kennenzulernen und sich ihrer zu bedienen*:

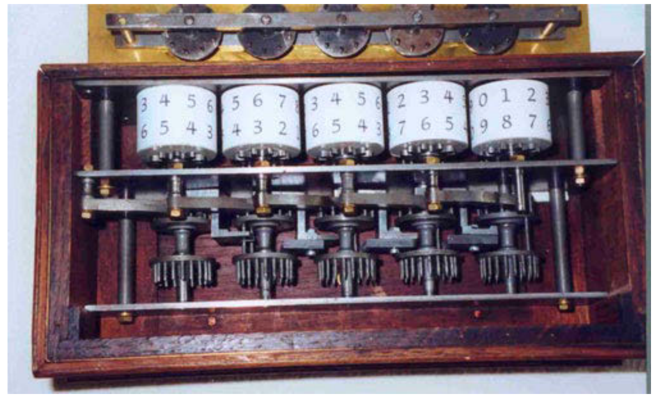


**Abb. 7.24** Innerer Aufbau der Addiermaschine von Pascal

> […] *Solltest auch du manchmal deinen Verstand daran erprobt haben, Maschinen zu erfinden, so wird es mir nicht schwerfallen, dich davon zu überzeugen, dass die Form, die das Instrument in seinem jetzigen Zustand besitzt, nicht der ersten Verwirklichung des Einfalls entspricht, den ich zu diesem Gegenstand gehabt habe; ich hatte die Ausführung meines Vorhabens mit einer Maschine begonnen, die nach Baumaterial und Form von dieser sehr verschieden war und die (wiewohl sie schon einigen Beifall fand) mich dennoch nicht völlig befriedigte; sodass ich, indem ich sie allmählich verbesserte, aus ihr unmerklich eine zweite machte und aus dieser, um immer noch auftretenden Mängeln, die ich nicht dulden konnte, Abhilfe zu verschaffen, eine dritte, die mit Federkraft arbeitet und in ihrer Konstruktion sehr einfach ist.*
>
> […] *Nichtsdestoweniger fand ich, sie fortgesetzt verbessernd, immer neue Gründe, sie zu verändern; und indem ich überall irgendeinen Fehler erkannte, hier ein Arbeitshemmnis, dort eine Holprigkeit des Triebwerks oder die Neigung, allzu leicht durch Witterungseinflüsse oder beim Transport zu Schaden zu kommen, brachte ich schließlich die Geduld auf, mehr als fünfzig verschiedene Modelle zu bauen, einige aus Holz, andere aus Elfenbein und Ebenholz, wie andere aus Kupfer, bevor ich zur Fertigstellung jener Maschine gelangte, die ich jetzt der Öffentlichkeit übergebe* […].
>
> *Und nun (lieber Leser), nachdem ich glaube, sie endlich in die richtige Form gebracht zu haben, sodass du selbst, wenn es dich gelüstet, sie kennenzulernen, dich ihrer bedienen kannst, bitte ich dich, einverstanden zu sein, wenn ich mir die Freiheit nehme zu hoffen, dass du allein schon dem Einfall, eine dritte Methode zur Ausführung aller arithmetischen Operationen zu finden, die vollkommen neuartig ist und nichts mit den beiden üblichen Methoden der Feder und der Zählsteine zu tun hat, ein wenig Achtung, dir zu gefallen und behilflich zu sein, Dank wissen wirst für die Mühe, die ich darauf gewandt habe, alle Operationen, die nach den bisherigen Methoden mühsam, verwickelt, langwierig und wenig zuverlässig sind, leicht, einfach, schnell und sicher zu machen.*

Die Rechenmaschinen von Blaise Pascal besaßen insbesondere den technischen Nachteil, dass bei ihnen Sperrklinken eine freie Drehbarkeit der Zahnräder verhinderten.

Diese wurden durch die Schwerkraft unten gehalten. Dies führte dazu, dass die Maschine unter dem Phänomen des „Überschleuderns" litt. Das Problem ist, dass sich Zahnräder oder ganze Getriebe als träge Masse auch ohne Antrieb weiterbewegen, mit dem Resultat, dass das Rechenergebnis verfälscht wird, da die Maschine bei Addition 1 oder mehr zu viel zählt.

## 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 von 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, der 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 (Abb. 7.25) 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 Europäer, der noch alle Gebiete des Wissens beherrschte.

**Abb. 7.25** Freiherr Gottfried Wilhelm von Leibniz

Im Jahr 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 Veröffentlichungen. 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. Während 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 zurückzuführen. 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 Differenzialrechnung, 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 von 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 (Abb. 7.26), 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 wirklich funktionsfähigen Vierspeziesmaschine.

**Abb. 7.26** Rechenmaschine von Leibniz

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.

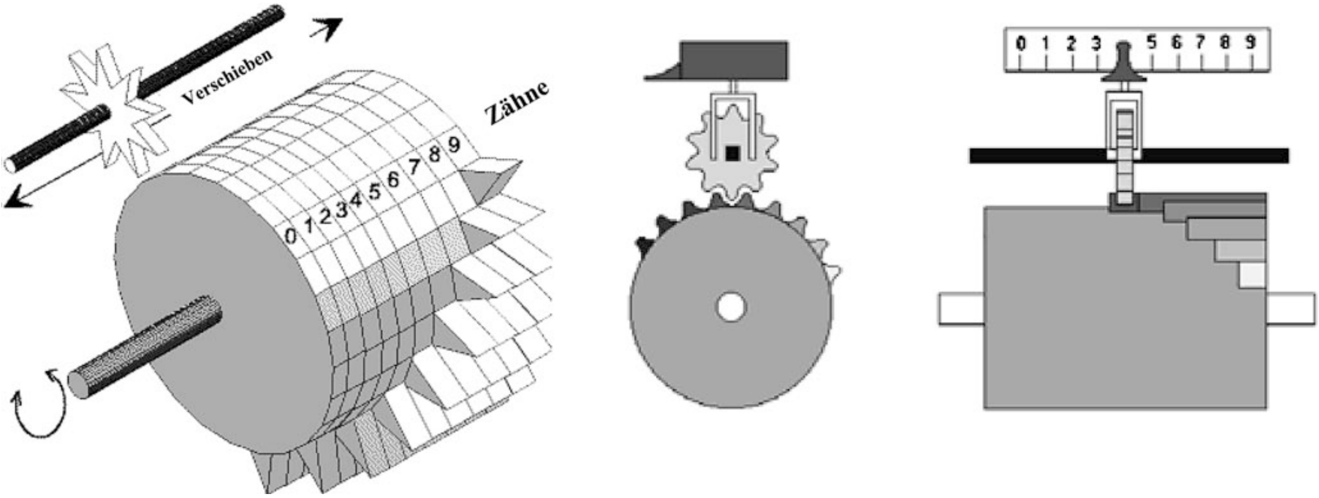



**Abb. 7.27** Prinzip der Staffelwalze

### 7.4.2 Aufbau der Maschine

Die Maschine besteht aus drei Teilen, dem Einstellwerk, dem Übertragungswerk und dem Zählwerk. 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 Zahnrads wird bei einer Umdrehung der Staffelwalze dieses um 0 bis 9 Zähne weitergedreht. Abbildung 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 Zahnrads eingestellt. Dabei lässt das Zahnrad je nach erwünschter Zahl eher oder später einen Eingriff zu und dreht somit die Walze nur um so viele Stellen weiter, wie Zähne einhaken.

Jede 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 mehr jede einzelne Ziffer von Hand eingestellt werden muss.

Der Umsetzung liegt folgende mathematische Idee zugrunde: Um eine Multiplikation mehrstelliger Zahlen vorzunehmen, ist es möglich, diese jeweils um eine Zehnerstelle verschoben wiederholt zu addieren. Abbildung 7.28 macht dies 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** | × | **2** | **3** | **1** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 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 Multiplikand jeweils auf die Einer-, Zehner-, Hunderterstellen 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).

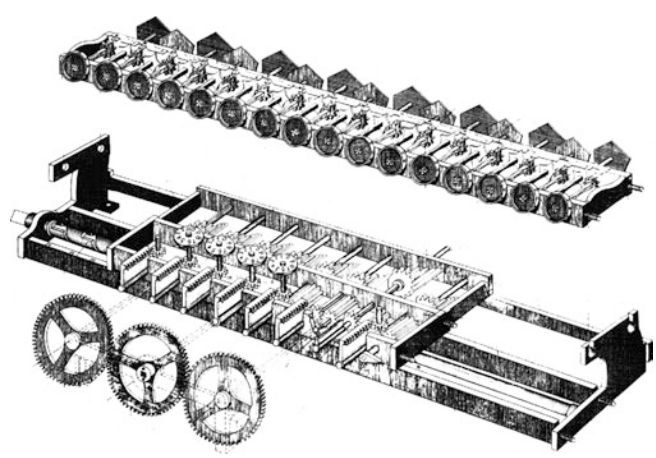


**Abb. 7.29** Prinzipieller Aufbau der leibnizschen Rechenmaschine

### 7.4.3 Arbeitsweise

Die Arbeitsweise der Maschine sei noch einmal detaillierter erläutert.

Eine Zahl wird stellenweise eingegeben, sodass 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, sodass 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 Zehnerübertrag vorbereitet und danach der Zählwerkschlitten um eine Stelle nach rechts verschoben, sodass die zweite Ziffer eingegeben werden kann. Das wiederholt sich so lange, bis die letzte Ziffer der zu addierenden bzw. zu subtrahierenden Zahl eingegeben ist (Abb. 7.30).

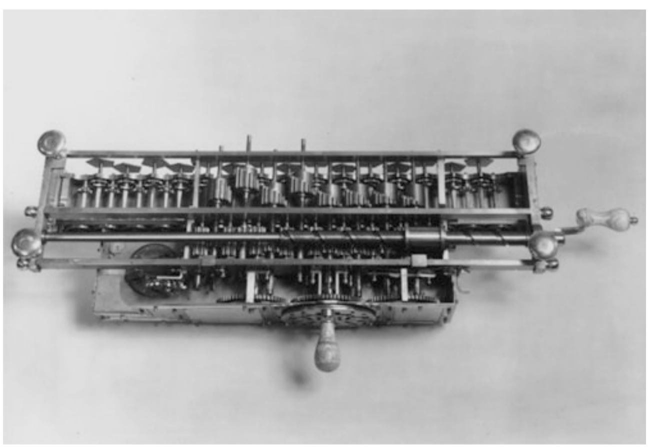


**Abb. 7.30** Blick in das Innere der Maschine

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.

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, sodass die der gedrückten Taste entsprechende Ziffer im Anzeigefeld erscheint.

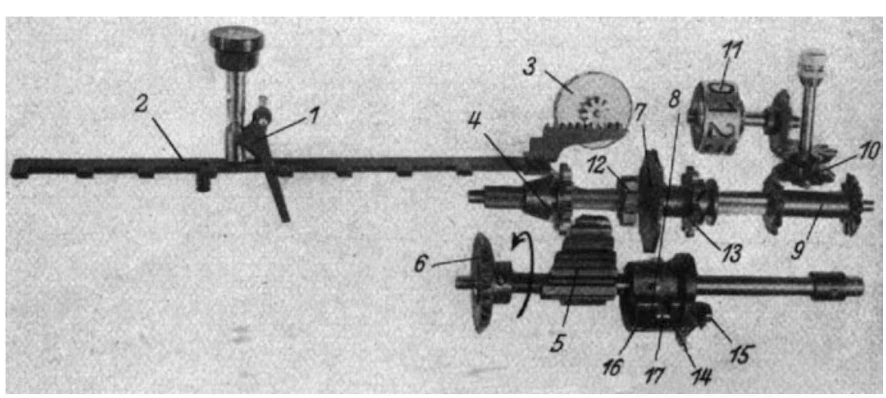
Beim Löschen der Taste wird das Ziffernrad im Anzeigewerk durch eine Zugfeder wieder auf 0 gestellt. Die Verschiebung der Stange 2 nach rechts bewirkt auch eine entsprechende Verschiebung des auf der Vierkantwelle verschiebbar gelagerten Stellrades 4 nach rechts.

Nun tritt das wesentliche Element der Staffelwalzenmaschine, die Staffelwalze 5, in 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 Ziffer *n* 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, in dem der Staffelwalzeneingriff aufhört, legt sich das Sperrrad 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, sodass 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

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



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 Sperrrad 7 wieder frei. Der Zählwerkschlitten wird nun um eine Stelle nach rechts verschoben, und die Eingabe der nächsten Ziffer kann erfolgen (Abb. 7.31).

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

Damit war die Rechenmaschine von Leibniz die erste vollautomatische Vierspeziesmaschine zur vollautomatischen Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division (Abb. 7.32).

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

## 7.5 Sonstige Entwicklungen

### 7.5.1 Sir Samuel Morland

Im Jahr 1625 wurde Sir Samuel Morland (Abb. 7.33) als Sohn eines Geistlichen in Berkshire, England geboren. Von 1677 an wohnte er in Vauxhall im zentralen London und 1684 zog er in ein Haus in Hammersmith. Er wurde zunehmend blind und verlor ungefähr 1692 sein Sehvermögen. Drei Jahre später starb er am 30. Dezember 1695 und wurde am 6. Januar 1696 in der Kirche von Hammersmith begraben. Er war seinerzeit ein sehr berühmter Wissenschaftler, Ingenieur und Erfinder.

**Abb. 7.33** 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 im Jahre 1666 Charles II vorgestellt und anschließend von *Humphry Adanson* in London in einigen Exemplaren hergestellt.

In mehreren Veröffentlichungen (*Instrument for addition*, London 1672; *The Description and Use of two Arithmetic Instruments,* London 1673; *Two arithmetic Instruments*, London 1673) beschreibt er zwei Rechenmaschinen, die offensichtlich Varianten der Pascaline sind. Allerdings realisierte Morland nur einen halbautomatischen Zehnerübertrag. Jede vollständige Umdrehung der Einstellräder wird auf dem darüber liegenden kleinen Resultaträdchen separat vermerkt und muss nach Eingabe des Additionsbetrags nochmals per Hand auf die jeweils linke Scheibe übertragen werden. Morland verzichtete also auf die technischen Probleme des Übertrags. Die Addiermaschine ist sehr kompakt, sie misst 100 mm × 80 mm × 65 mm (Abb. 7.34).

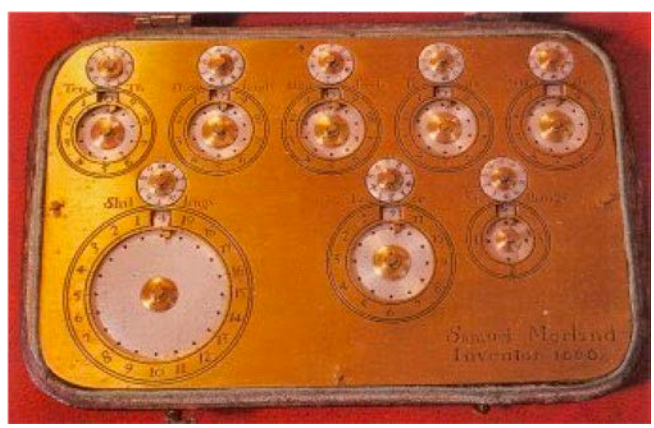


**Abb. 7.34** Addiermaschine von Sir Samuel Morland

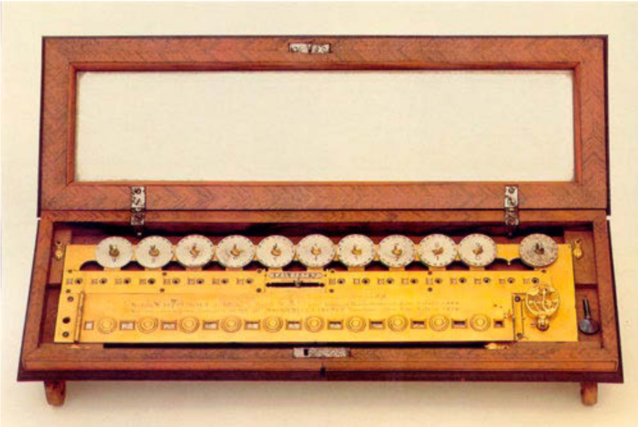


**Abb. 7.35** Multipliziermaschine von Sir Samuel Morland

Wegen der relativ umständlichen Bedienung wurde diese mechanische Addiermaschine jedoch vonseiten vieler seiner Zeitgenossen mit teils sarkastischen Bemerkungen kommentiert.

Die Maschine für das Multiplizieren und das Teilen trägt die Inschrift *Machina nova cyclogica pro multiplicatione* und ebenfalls die Jahreszahl 1666. Diese Maschine wurde von Henry Sutton und Samuel Knibb in London hergestellt und 1679 dem Großherzog der Toskana, Come III, angeboten. Sie befindet sich heute im Besitz des Museo di Storia della Scenza in Florenz (Abb. 7.35).

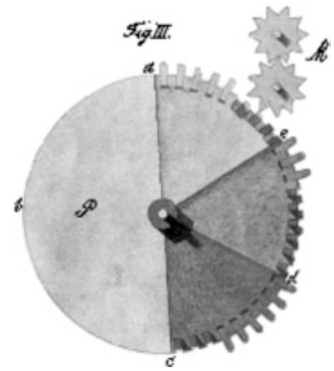
### 7.5.2 Giovanni Polenius

Giovanni Polenius (oder Poleni) wurde am 23.8.1683 in Venedig geboren. Er studierte Philosophie und Theologie in Venedig und begann eine juristische Karriere, wurde dann aber von seinem Vater an die Mathematik und Astronomie herangeführt. Im Jahre 1709 erhielt er einen Lehrstuhl für Astronomie an der Universität von Padua und ab 1715 zusätzlich einen für Physik. Im Jahre 1719 übernahm er als Nachfolger von Nikolaus II. Bernoulli den Lehrstuhl für Mathematik in Padua. Er starb in Padua am 15.11.1761.

Seit 1738 betrieb er ein eigenes Laboratorium, in dem er physikalische Experimente unternahm, über die er dann auch Vorträge hielt. Zu seinen Untersuchungsbereichen zählten, neben der Hydraulik und der Astronomie, auch die Archäologie und die Meteorologie. Viele seiner Ergebnisse fanden auch eine praktische Umsetzung, so seine Untersuchungen zu Schiffsankern, Kränen und Flaschenzügen. Auch war er mit der Entwicklung und praktischen Umsetzung von Bewässerungsprojekten in der Lombardei beschäftigt.

Im Jahr 1709 veröffentlicht er in dem Werk *Johannes Poleni: Miscellanea* in lateinischer Sprache Konstruktionszeichnungen für eine hölzerne Rechenmaschine (Abb. 7.36). Eine deutschsprachige Übersetzung findet sich im *Theatrum arithmetico-geometricum* von Jacob Leupold.

**Abb. 7.36** Klappsprossenrad von Polenius



Äußerlich hat die Maschine Ähnlichkeit mit einer Schwarzwalduhr. Als Besonderheit besitzt sie einen Gewichtsantrieb im Innern, wodurch die Ähnlichkeit mit einer Uhr noch erhöht wird.

Die Maschine funktionierte auf Basis von Zahnrädern mit veränderbarer Zahnanzahl, den sogenannten Sprossenrädern, die sich durch Drehen einer Kurvenscheibe herausschieben lassen. Das Sprossenrad hat gegenüber der Staffelwalze den Vorteil, dass kein raumgreifendes Verschieben von Walzen bzw. Zahnrädern notwendig ist. Die Realisierung seiner Maschine scheiterte an den damaligen Fertigungsmöglichkeiten, sodass Polenius seine Maschine eigenhändig zerstörte. Nachbauten existieren z. B. im Museo della Scienza e della Tecnologia di Milano (Mailand), die von Dr. Guatelli aus New York angefertigt wurde, und im Arithmeum Bonn. Ein weiterer Nachbau erfolgte durch IBM Italia (Abb. 7.37).

**Abb. 7.37** Nachbau von IBM Italia

### 7.5.3 Jacob Leupold

Jakob Leupold wurde am 25. Juli 1674 zu Planitz bei Zwickau in Sachsen als Sohn eines Drechslers geboren und erlernte dort das Tischlerhandwerk. Nach seiner Lehre ging er auf die Universitäten Jena und Wittenberg, um hier Mathematik und Theologie zu studieren. Da seine Eltern ihm das Studium nicht finanzieren konnten, verdiente er sich das Studium durch Nachhilfestunden. Danach wechselte er nach Leipzig, wo er im Adressbuch als „Mechanikus“ geführt wurde. Dieser Name bedeutete damals etwas ganz anderes als heute ein „Mechaniker“. Hiermit bezeichnete man Personen, die ein technisches Studium absolviert hatten, entsprechend dem heutigen Diplom-Ingenieur.

Im Jahre 1715 wird er als „Korrespondierendes Mitglied“ in die „Berliner Akademie der Wissenschaften“ aufgenommen und 1717 erhält er den Titel „Hof-Mechanikus“ sowie die Erlaubnis, einen privilegierten Laden zu eröffnen. Zwei Jahre später wird er Preußischer Kommerzienrat. Im Jahr 1725 erhält er den Titel eines Sächsischen Rates und wird gleichzeitig zum „Wirklichen Bergkommissarius in den sächs. Landen“ ernannt.

In den Jahren 1724 bis 1726 veröffentlichte er unter dem Gesamttitel *Theatrum machinarum* sein umfangreiches Lehrbuch der Mechanik in 10 Bänden. Über 100 Jahre lang gilt dieses ausgezeichnete Werk als eines der besten technischen Nachschlagewerke.

In einem weiteren nachgelassenen Band beschreibt Leupold unter dem Titel *Theatrum Arithmetico-Geometricum* (*Schauplatz der Rechen- und Messkunst*) zum ersten Mal die Geschichte der bis zu dieser Zeit entstandenen Rechenapparate und auch seine eigenen Konstruktionen. So berichtet er über eine seiner eigenen Entwicklungen als „curieuse und gantz neue Rechen-Machine“. Zum ersten Mal wendet Leupold bei dieser Maschine die Dosenform an. Die Konstruktion beruht auf dem Stellsegmentprinzip (Schaltklinge).

In der Konstruktionszeichnung von Abb. 7.38 erkennt man die Details des Zehnerübertrags: Die oberen drei Zahnräder sind Zwischenzahnräder mit einem auf- bzw. untergelagerten Einzahn. Dieser sorgt für den Zehnerübertrag, jedoch nur in Additionsrichtung. Eine bogenförmige Feder ist an der Spitze fest mit dem Einzahn verbunden. Sie gibt bei Rechtsdrehung nach, sodass der Einzahn nur bei Linksdrehung in Aktion tritt und das linke Zahnrad um eine Stelle transportiert. Der Übertrag erfolgt also bei mehreren Überträgen (z. B. von 999 auf 1000) simultan. Um die hierbei auftretenden Kräfte zu bewältigen, war die Maschine mit einer Kurbel ausgestattet.

Das untere Bild von Abb. 7.38 zeigt die Bedieneinrichtung. Die innere Skalenreihe stellt das Einstellwerk, die äußere das Resultatwerk dar. Wie das Einstellwerk, so ist auch das Resultatwerk mit Zeigern zum Einstellen und Löschen versehen. Zur Addition stellt man auf dem Einstellwerk den ersten und auf dem Resultatwerk den zweiten Summanden ein. Dann dreht man die Kurbel zweimal im Gegenuhrzeigersinn und findet die Summe im Resultatwerk. Für die Subtraktion gibt es auf dem Resultatwerk eine Reihe mit Komplementärzahlen.

Bei Multiplikation und Division muss die Kurbel mehrfach gedreht werden und das Einstellwerk gegenüber dem Resultatwerk verstellt werden. Der Ring um die Achse der Kurbel mit den Zahlen 0 bis 9 stellt ein einstelliges Umdrehungszählwerk dar. Will man die auf dem Einstellwerk eingestellte Zahl mit 4 multiplizieren, so steckt man einen kleinen Stift in das Loch neben der 4 auf dem Ring und dreht die Kurbel so lange, bis der Stift beim Anschlag angekommen ist. Nach jeder Stelle muss der Ring manuell auf 0 zurückgestellt werden.

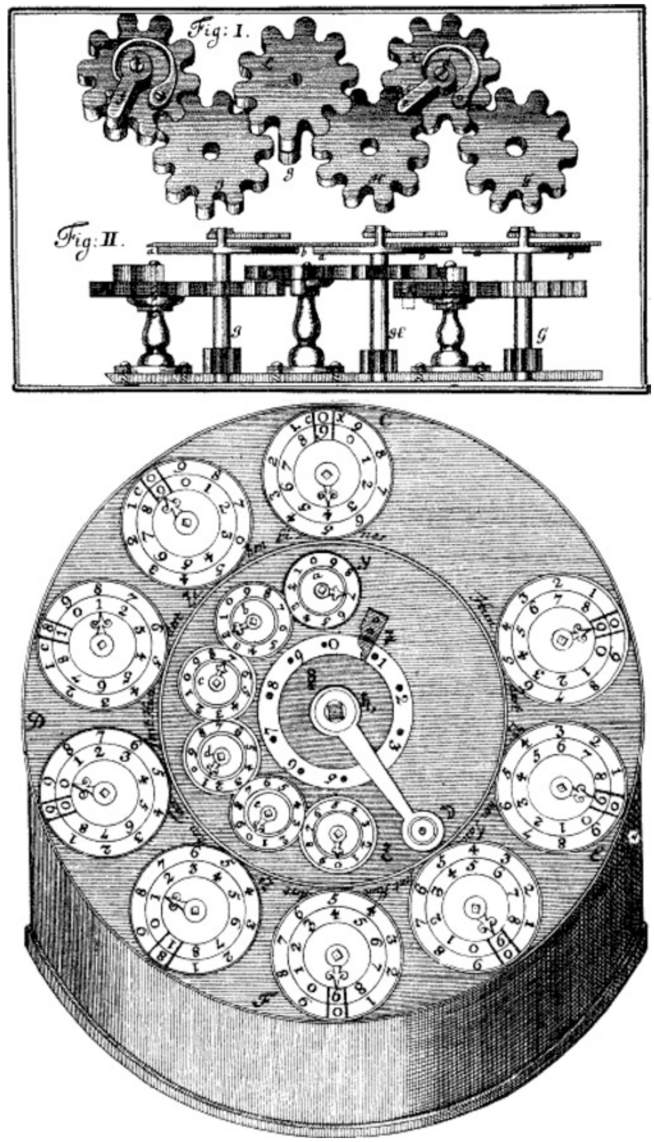


**Abb. 7.38** Konstruktionszeichnung von Jakob Leupold

Neben dieser Maschine, die nur als Bild in seinem Werk erhalten ist, hat er noch einen Rechenapparat gebaut, der aus einer Vereinigung vieler napierscher Rechenstäbe bestand und in Kastenform ausgeführt war. Er selbst nannte den Apparat „Des Autoris Rechen Scheiben nach Arth der Rechen Stäbe“.

### 7.5.4 Antonius Braun

Anton (Antonius) Braun wurde 1686 in Möhringen bei Tuttlingen an der Donau als Sohn eines Uhrmachers geboren und starb am 20. April 1728. Über seine Jugendzeit und seine

Ausbildung ist fast nichts bekannt. Im Jahre 1712 heiratete er Maria Magdalena Stein aus Ettlingen. Belegt sind danach Aufenthalte in Prag um 1719 und in Mailand um 1720. Dort war er jeweils als Instrumentenmacher tätig. Danach ging er nach Wien, wo er ab 1724 die Stellung des „Kammeropticus“ innehatte. Drei Jahre später setzte er sich als Bewerber um die Stelle des kaiserlichen Instrumentenmachers gegen eine stattliche Anzahl von Konkurrenten durch.

Offensichtlich konstruierte er am Hof in Wien zwei auf verschiedenen Prinzipien beruhende Rechenmaschinen. Beide Maschinen sind äußerlich und innerlich völlig verschieden aufgebaut und gestaltet. Als einzige Gemeinsamkeit erscheint die runde Form mit der Kurbel in der Mitte und den konzentrisch angeordneten Ziffernfenstern.

In Zusammenarbeit mit seinem Sohn Anton Braun d.J. (1708–1776) entstand im Jahre 1727 eine trommelartige Sprossenradrechenmaschine nach den Ideen von Giovanni Polinenius (Abb. 7.39). Sie ist Kaiser Karl VI gewidmet und befindet sich heute im Technischen Museum Wien. Von dieser Maschine existiert ferner ein exakter Nachbau im Arithmeum Bonn. Über die Einsatzfähigkeit der Maschine für den Alltagsbetrieb hat man beim Vermessen und Replizieren festgestellt, dass sie nur über drei bis vier Stellen fehlerlos arbeiten konnte: Der Zehnerübertrag funktionierte nicht über eine größere Anzahl von Stellen.

**Abb. 7.39** Sprossenradmaschine von Braun

Nur ein Jahr vor seinem Tod hatte er sich mit dieser Konstruktion die besondere Gunst des Kaisers erarbeitet. Sie enthält eine vielzeilige gravierte Widmung an den Kaiser und auch die selbstbewusste Signatur „Antonius Braun S.C.M. Opticus et mathematicus“ mit dem Jahr der Fertigstellung 1727 fällt auf.

Seine zweite Rechenmaschine arbeitete nach dem Stellsegmentprinzip und war offenbar nach dem Entwurf der leupoldschen Maschine konstruiert (Abb. 7.40). Auch an ihrer Konstruktion war sein Sohn beteiligt. Eindeutig ist die Übereinstimmung der Maschine mit der Beschreibung einer Rechenmaschine in dem 1727 erschienenen Band *Theatrum Arithmetico-Geometricum* von Jacob Leupold (1674–1727), die dieser als seine eigene Erfindung bezeichnet. Man vermutet, dass Braun die leupoldsche Konstruktion schon vor Erscheinen dessen Buches detailliert kennengelernt hatte. Dieser teilte selbst mit, dass er sich *„seit mehr als 20 Jahren“* mit Rechenmaschinen beschäftigt hätte, dass er „vier bis fünf Arten herausgebracht“ hätte und dass er „deren Effect unterschiedlichen Freunden zeigen konnte“.

**Abb. 7.40** Stellsegmentmaschine von Braun

Über das Datum und die genauen Umstände der Herstellung dieser Maschine gibt es zwei Theorien. Die eine besagt, dass er mit der Konstruktion 1727 begann, aber sie nach seinem Tod unvollendet hinterließ. Belegt ist, dass es in Brauns Werkstatt noch eine zweite, unfertige Maschine gegeben hat. Sein Sohn soll sie dann bis zum Jahr 1736 fertiggestellt haben. Als sie kurz danach wieder funktionsuntüchtig wurde, erfolgte ihre Reparatur durch *Philippe Vayringe*.

Die zweite Theorie besagt, dass sein Sohn an der Maschine weiterarbeitete, sie aber nur mithilfe von Philippe Vayringe fertigstellen konnte.

Unbestritten ist, dass Philippe Vayringe einen maßgeblichen Anteil an dieser zweiten Maschine besessen haben muss. Dies zeigt die auf dem Deckel gravierte Inschrift *„BRAVN INVENIT / VAYRINGE FECIT“*, die leider keine Jahreszahl enthält. Philippe Vayringe wurde im Jahr 1684 als Sohn einer armen Bauernfamilie geboren. Nach dem Schulbesuch in Meuse ging er nach Nancy, wo er das Kunstschmiedehandwerk erlernte. Schon früh beschäftigte er sich mit Uhren und mechanischen Geräten. Nachdem er die Tochter einer vermögenden Familie geheiratet hatte, trat er in die Dienste des Herzogs Léopold von Lothringen, der ihm den Titel „Uhrmacher und Maschinenhersteller seiner Majestät“ verlieh. Im Jahre 1731 wurde er Professor für Experimentalphysik an der Akademie in Lunéville. Vom Hof von Lunéville ging er auf Anweisung von Franz Stephan von Lothringen, der später als Franz I. Kaiser des Heiligen Römischen Reiches wurde, nach Florenz, nachdem die europäischen Mächte im Gewirr der Erbfolgekriege den polnischen König mit dem Herzogtum Lothringen entschädigt und den dortigen Herzog mit der Toskana bedacht hatten. Hierbei nahm er auf Bitten des Herzogs einen Umweg über Wien, wo er nach dem Tod Brauns dessen erste Wiener Maschine reparierte. Hierbei soll er diese Reparatur in nur sechs Stunden bewältigt haben. Details über seinen Anteil an der Entstehung der zweiten Maschine sind jedoch nicht überliefert. Er starb 1745 in der Toskana.

Die zweite Maschine befindet sich heute im Deutschen Museum in München. Offenbar war die Maschine völlig vergessen, bis sie dem Deutschen Museum 1925 aus Privatbesitz aus Wien angeboten und verkauft wurde. Zwischen 1986 und 1996 entstanden an der Feintechnikschule Villingen-Schwenningen drei funktionsgetreue Nachbauten dieser Maschine. Eine ist heute im Heimatmuseum Möhringen bei Tuttlingen, die zweite im Arithmeum in Bonn und die dritte, mit einem durchsichtigen Deckel aus Plexiglas ausgestattet, ebenfalls im Deutschen Museum zu sehen. In der Literatur wird diese Maschine häufig als „Leupold-Braun-Vayringe-Maschine“ bezeichnet.

Für seine Verdienste als „Hofopticus und mechanicae mathematicus“ erhielt Anton Braun seinerzeit von Kaiser Karl VI. eine Belohnung von 10.000 Gulden zugesprochen. Ein Ehrenzeichen mit goldenem Kaiserbild und mit 12 Brillanten besetzt ziert auch heute noch die Amtskette der Möhringer Bürgermeister. Mit 6000 Gulden half seine Frau mit, vor ca. 250 Jahren in Möhringen die Braun-Susannsche Stiftung zu gründen, deren Ziel es war, ein Altenheim und ein Krankenhaus für Möhringer Bürger zu schaffen.

### 7.5.5 Christian Ludwig Gersten

Christian Ludwig Gersten wurde im Februar des Jahres 1701 in Gießen geboren. In den Jahren 1733 bis 1744 war er als Professor der Mathematik in Gießen tätig. Durch berufliche und familiäre Streitigkeiten war er offensichtlich so erzürnt, dass er 1744 heimlich die Universität verließ. Von Altona bei Hamburg aus teilte er der Fakultät mit, dass er nicht mehr nach Gießen zurückkehren wolle. Im Jahre 1748 wird er anlässlich einer Reise in Frankfurt am Main verhaftet und zu 12 Jahren milder Haft verurteilt. Die Haft verbringt er auf der Marxburg am Rhein. Nach seiner Haftentlassung lebte er noch 2 Jahre. Er starb am 13. August 1762 in den kümmerlichsten Verhältnissen.

Während seiner Zeit in Gießen entwickelte er eine Addier- und Subtrahiermaschine (Abb. 7.41), die mit Schiebereinstellung ausgerüstet war. Sie wurde im Jahre 1735 fertiggestellt und im gleichen Jahr von Gersten der Royal Society in London vorgeführt. Sie befindet sich heute im Hessischen Landesmuseum zu Darmstadt. Die Maschine besitzt ein sechsstelliges Einstell- und ein siebenstelliges Resultatwerk. Die Schieber können in Schlitzen auf- und abwärts bewegt werden.

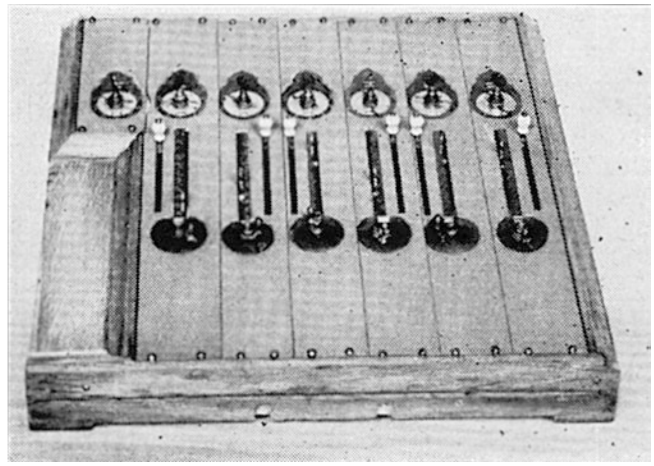


**Abb. 7.41** Addiermaschine von Gersten

Parallel zu diesen Schlitzen liegen gleichartige Schieber, die mit gezahnten Leisten versehen sind. Neben den Zähnen sind der Reihe nach die Zahlen von 0 bis 9 eingraviert. Unter den Schlitzen befinden sich Scheiben, die eine Öffnung enthalten, in der die durch einen Handgriff einstellbaren Zahlen von 0–9 sichtbar sind. Durch diese Einrichtung kann man erkennen, wie oft der betreffende Schieber bewegt worden ist, vergleichbar mit einem Umdrehungszählwerk einer Rechenmaschine. Oberhalb der Schlitze liegen wiederum Scheiben mit jeweils zwei Öffnungen. Die hier sichtbaren Zahlenwerte ergänzen sich jeweils zu 9, d. h. zeigt die untere Öffnung die Zahl 3, so erscheint in der oberen Öffnung die Zahl 6.

### 7.5.6 Philipp Matthäus Hahn

Philipp Matthäus Hahn (Abb. 7.42) wurde am 25.11.1739 in Ostfildern-Scharnhausen bei Stuttgart als zweites von zehn Kindern geboren. Von 1749 bis 1754 besuchte er die Lateinschulen in Esslingen und in Nürtingen. Von 1756 bis 1760


**Abb. 7.42** Philipp Matthäus Hahn

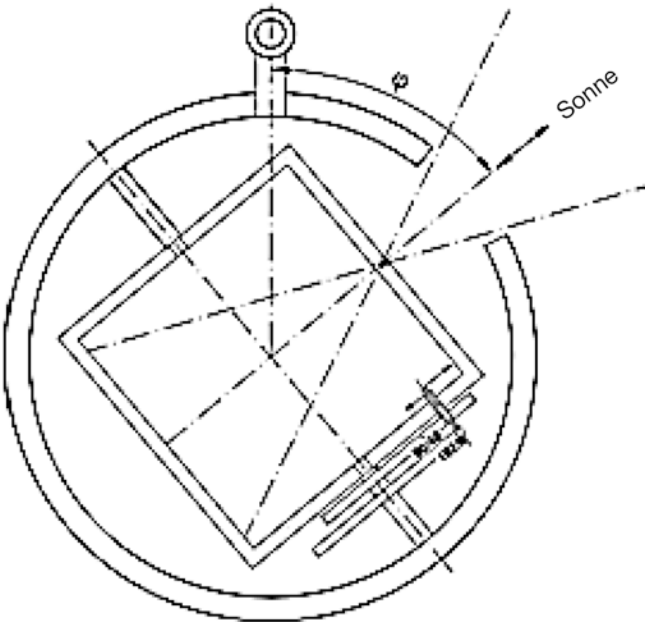



**Abb. 7.43** Schema der Öhrsonnenuhr

studierte er an der Universität Tübingen Theologie. Nach dem Vikariat erhielt er bereits 1764 im Alter von 25 Jahren seine erste Pfarrstelle in Onstmettingen auf der Schwäbischen Alb. Im Jahre 1774 starb seine Frau Anna Maria bei der Geburt ihres siebten Kindes. Ein Jahr später heiratete er Beata Regina, eine Tochter des Pfarrer-Originals Johann Friedrich Flattich, mit der er noch weitere Kinder hatte.

Schon früh zeigte er ein ausgeprägtes Interesse für Himmelsbeobachtungen und technische Geräte.

In Onstmettingen richtete er sich eine Werkstatt für den Bau von Waagen, Uhren und astronomischen Maschinen ein. Hierbei half ihm sein Jugendfreund Philipp Gottfried Schaudt, der die handwerkliche Umsetzung seiner Konstruktionen übernahm. Die erste aus Messing und Eisen gefertigte astronomische Uhr ließ sich der Landesherr, Herzog Carl Eugen, vorführen, und bestellte anschließend eine größere Maschine für die Bibliothek des Ludwigsburger Schlosses. Herzog Carl Eugen, der ihn als „Uhrmacher Gottes" bezeichnete, sorgte auch dafür, dass er 1781 eine Pfarrei in Echterdingen übernehmen konnte, wo er am 2. Mai 1790 verstarb. Wie aus seinen Tagebüchern ersichtlich ist, nahm er seinen Beruf als Pfarrer sehr ernst.

So nahm er sich die Zeit, seine theologischen Gedanken und seine Predigten für den Druck vorzubereiten; dies auch dann noch, als ihm von seiner Kirchenbehörde ein Publikationsverbot auferlegt wurde. Die Werkstattarbeit betrieb er nebenher als Hobby und als Ablenkung von seinen theologischen Studien, aber doch „zum Ruhme Gottes". Er selbst erfand, entwickelte und konstruierte die Produkte, und seine Mechaniker setzten sie dann in konkrete Objekte um.

Es entstanden in der Werkstatt u. a. Neigungswaagen, Sonnenuhren, Großuhren, Taschenuhren und Rechenmaschinen. So wurde er durch seine speziellen Sonnenuhren bekannt, deren erstes Exemplar 1763 entstand. Bei diesem Typ, der *Öhrsonnenuhr* (Abb. 7.43), erfolgte die Einstellung der Polhöhe an einem kardanisch aufgehängten Meridianring. An einem drehbaren Rahmen, der in diesem Meridianring parallel zur Erdachse gelagert ist, ist auf einer Seite innen die Zeitgleichungskurve angebracht.

Die gegenüberliegende Fläche besitzt zwei kleine Öffnungen (Öhre), die der Uhr ihren Namen geben und durch die – bei richtiger Einstellung – das Sonnenlicht auf die Kurve der Zeitgleichung fällt (Monatstag), sodass Stunde und Minute auf dem emaillierten Zifferblatt abgelesen werden können. Diese Uhren wurden den mechanischen Großuhren zur Einstellung und Kontrolle der Ortszeit beigegeben.

Die Motivation für die Konstruktion von Rechenmaschinen lag in seinen Konstruktionen von astronomischen Maschinen und Uhren. Diese Geräte mit den mechanisch angetriebenen Planetensystemen erforderten eine Vielzahl von Berechnungen zur Ermittlung der Zahnradgetriebe, insbesondere zeitaufwendige Multiplikationen und Divisionen mit vielziffrigen Zahlen.

Vermutlich wurden in der Werkstatt von Hahn unter der Leitung seines Schwagers Schuster fünf Maschinen fertiggestellt, je eine mit 9, 12, 14 und zwei mit 11 Stellen. Vorhanden sind heute noch die 11-stellige Maschine (im Besitz des Württembergischen Landesmuseums Stuttgart), die Hahn an den Herzog von Württemberg verkauft hat, und die 12-stellige des Museums für Technik und Arbeit in Mannheim, die wahrscheinlich um 1810 an das Haus Urach verkauft wurde. Die 14-stellige Maschine wurde im Zweiten Weltkrieg zerstört. Allerdings existiert noch ein Foto aus dem Jahre 1935. Die 9-stellige und die zweite 11-stellige Maschine gelten heute als vermisst. Es spricht manches dafür, dass zwei alte Fotos der 11-stelligen Maschine zugeordnet werden können. Diese Maschine, die in der Literatur oft als „Beireis-Maschine" benannt wird, ist mehrfach in Hahns Tagebüchern erwähnt und war um 1900 im Besitz der Technischen Universität Berlin. Der Preis für eine Rechenmaschine war beachtlich. Während bei Hahn eine Waage oder Sonnenuhr für 8 Gulden das Stück zu haben war, sollte seine Rechenmaschine 20.000 Gulden kosten!

Abbildung 7.44 zeigt die 11-stellige Ausführung. Man erkennt die kreisförmige Anordnung der Zählwerke um die zentrale Antriebskurbel für die Staffelwalzen. Abbildung 7.45 zeigt den inneren Aufbau.

Die Rechenmaschinen von Hahn beruhen auf dem Prinzip der Staffelwalzen. Beim Drehen der Kurbel im Uhrzeigersinn bewegt ein Zahnbogen die Sägezahnräder, sodass die auf den Vierkantachsen verschiebbar gelagerten Staffelwalzen mitgedreht werden. Die Staffelwalzen werden je nach einzustellender Ziffer 0, 1, 2, …, 9 mithilfe von Einstellstäben um entsprechende Teilstrecken angehoben. Sie übertragen mittels der Abgreifräder den eingestellten Wert in das Hauptzählwerk (Resultatwerk), das aus den 11 größe-

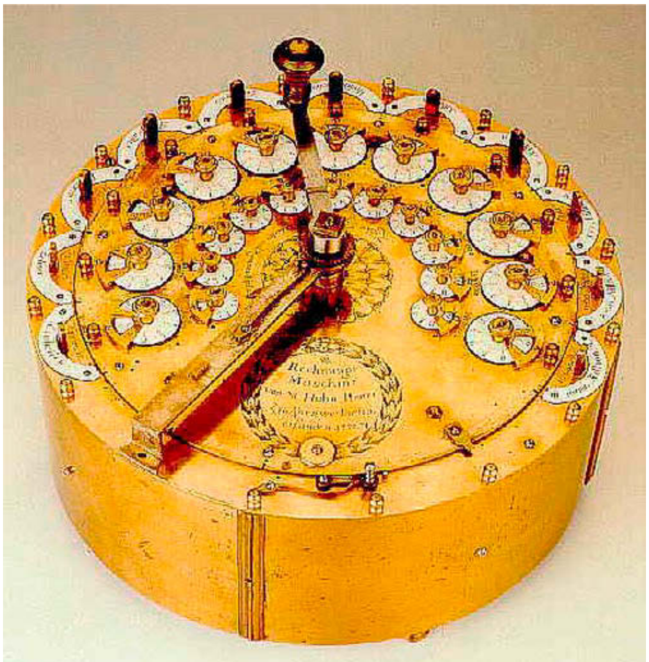


**Abb. 7.44** Rechenmaschine Hahns aus dem Jahr 1770

ren emaillierten Scheiben auf dem drehbaren Mittelteil der Maschine besteht. Das Umdrehungszählwerk wird aus kleineren Scheiben gebildet und durch ein Stirnradgetriebe mit einem Einzahn betätigt. Der Mittelteil der Maschine mit den beiden Zählwerken kann gegenüber dem Außenteil mit dem Einstellwerk verdreht werden. Eine Falle und Aussparungen sorgen für die richtige Stellung der Werke zueinander.

Das für alle Rechenmaschinen besonders schwierige und entscheidende Problem des Zehnerübertrags löste Hahn durch die Aufteilung in eine Vorbereitungsphase und eine Ausführungsphase: Die Vorbereitung des Zehnerübertrags erfolgt beim Übergang einer Stelle des Resultatwerks von 9 nach 0 (entsprechend 10). Dabei nimmt der Stift a (siehe Abb. 7.46 bzw. Abb. 7.47) die Hebelkombination b/c mit, wobei die Trägerscheibe f freigegeben wird und sich, bedingt durch eine Federkraft, im Uhrzeigersinn um etwa 35° dreht. Ein an der Trägerscheibe befestigter Hebel e macht diese Drehung mit und schwenkt mit dem Schaltstift m in die Bahn des großen Schaltbogens 9 (siehe auch Abb. 7.45).

Die Ausführung des Zehnerübertrags erfolgt erst beim Weiterdrehen der Kurbel. Hierbei drückt die Kante n über den Schaltstift m den Schalthebel e und die mit ihm verbundene Trägerscheibe f in die Ausgangslage zurück. Dabei nimmt der auf f befestigte Zahn h das Zehnerschaltrad o der nächst höheren Stelle um eine Teilung mit, sodass der dortige Wert um 1 vergrößert wird. Erreicht die Trägerscheibe f wieder ihre Ausgangslage, wird sie durch den Arretierstift d fixiert.

Besonders bemerkenswert sind auch Hahns Gedanken zu durch Dampfmaschinen betriebenen Fahrzeugen. In seinen Unterlagen finden sich Überlegungen zu einer „Maschine, die einen Wagen allein durch Wasser und Feuer ohne weitere Hilfe über Berge und Täler in beliebiger Geschwindigkeit bewegen könnte“. Damit war er nach da Vinci einer der ersten, der konkrete Überlegungen zur Nutzung der Dampfkraft anstellte. Leider fehlten ihm die Geldmittel zur Ausführung dieses Versuches.

Hahn beschäftigte sich auch mit der Konstruktion einfacher Addiermaschinen. Drei Exemplare, die bisher verschollen sind, werden in Hahns schriftlichen Aufzeichnungen erwähnt (Abb. 7.48). Möglicherweise ist eines im Besitz des Arithmeum in Bonn. *Jacob Auch*, ein Mitarbeiter in der Werkstatt von Hahn, hat mehrere solcher „Scheibenaddierer“ hergestellt, von denen wiederum drei Exemplare heute noch nachweisbar sind.

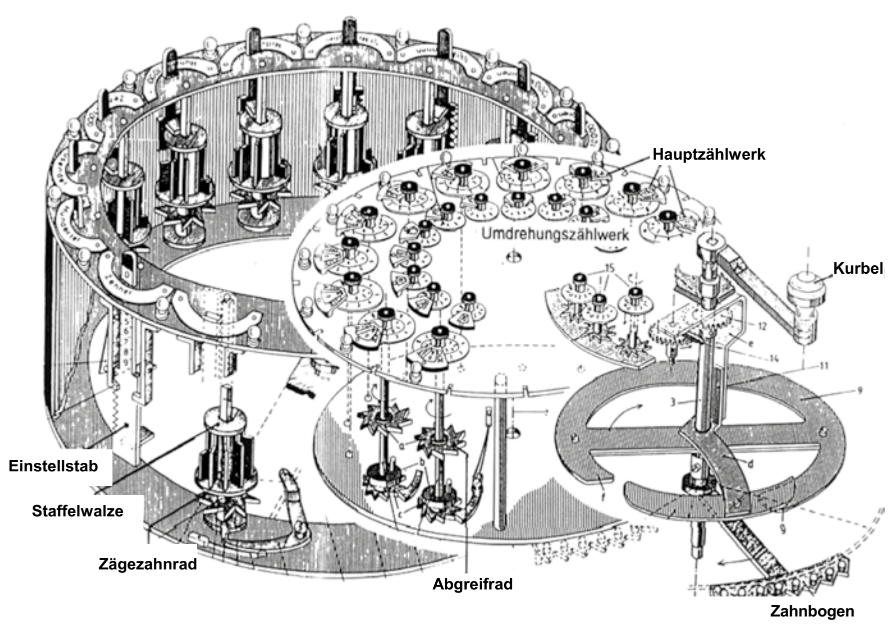



**Abb. 7.45** Innerer Aufbau einer Rechenmaschine von Hahn

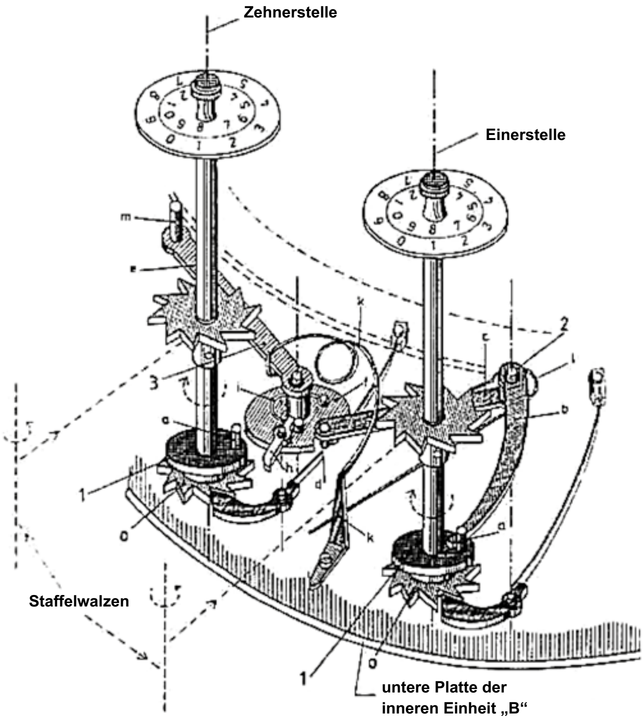



**Abb. 7.46** Einer- und Zehnerschaltung mit den Zehnerschaltteilen in Ruhestellung

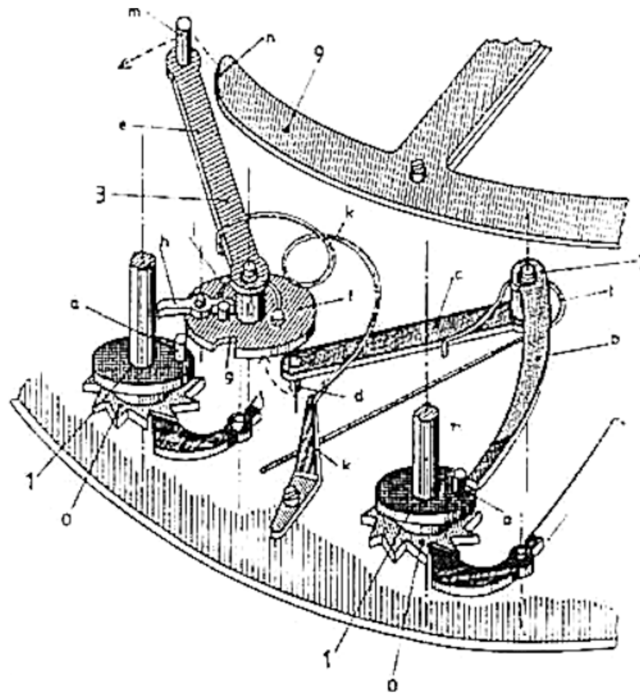


**Abb. 7.47** Die Zehnerschaltung in vorbereiteter Stellung. Ausführung der Zehnerschaltung durch Bogen 9

**Abb. 7.48** Matthäus Hahn Museum, Albstadt/Onstmettingen

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

### 7.5.7 Johann Christoph Schuster

Johann Christoph Schuster (1759–1823) war ein Schüler und Schwager des württembergischen Pfarrers und Mechanikers Philipp Matthäus Hahn. Er hatte in seiner Lehrzeit neben dem Uhrenbau auch die Herstellung der von Hahn erfundenen zylinderförmigen Rechenmaschine erlernt. Ab 1786 arbeitete er als selbstständiger Uhrmacher, zunächst im fränkischen Westheim, dann in Uffenheim und schließlich ab 1797 als Mechanicus und Hofuhrmacher in Ansbach.

Schusters älteste Rechenmaschine wurde 1792 in Uffenheim fertiggestellt und ist von den Rechenmaschinen von Hahn noch kaum zu unterscheiden. Von 1805 bis 1820 entwickelte Schuster in Ansbach aber eine eigene Konstruktion, die technisch zwar auf Hahns Entwurf basierte, die sich aber durch eine Komprimierung der Baugruppen und durch eine größere Bedienungsfreundlichkeit auszeichnete. Die ersten zwei Rechenmaschinen, die noch den Konstruktionen von Hahn sehr ähnlich sind, sind noch vorhanden.

In den letzten Jahren vor seinem Tod baute Schuster die auf der Briefmarke in Abb. 7.49 wiedergegebene dritte Rechenmaschine in einer verbesserten Bauweise. Im September 1999 gelangte diese Rechenmaschine mit maßgeblicher Unterstützung durch die Kulturstiftung der Länder, der Universität Bonn, der Alfred Krupp von Bohlen und Halbach-Stiftung und den Beauftragten der Bundesregierung für Angelegenheiten der Kultur und der Medien ins Arithmeum nach Bonn.


**Abb. 7.49** Rechenmaschine von Schuster auf einer deutschen Briefmarke

Da im Arithmeum auf die Funktionstüchtigkeit der Exponate besonderer Wert gelegt wird, wurde die Rechenmaschine von Johann Christoph Schuster vor der offiziellen Übergabe durch den Bundeskanzler im März 2000 ein halbes Jahr lang restauriert und ist nun wieder funktionstüchtig. Sie stellt eines der letzten Artefakte aus der vorindustriellen Ära des maschinellen Rechnens dar.

### 7.5.8 Sonstige Konstruktionen

Neben den bisher aufgeführten Rechenmaschinen entstanden im 17. und 18. Jahrhundert eine ganze Reihe von weiteren Konstruktionen. Meistens waren es Nachbauten, aufbauend auf den Konstruktionsprinzipien von Schickard, Pascal und Leibniz mit gewissen Verbesserungen oder der Versuch, verschiedene Konzepte, wie die Rechenstäbe von Napier und die obigen Konstruktionsprinzipien, zu kombinieren. Zu den meisten dieser Konstruktionen finden sich heute leider nur noch vage Hinweise. Einige dieser Konstruktionen, über die es etwas detailliertere Informationen gibt, seien im Folgenden noch vorgestellt.

#### Die Maschine von Grillet

René Grillet, auch nach seiner Geburtsstadt Rouen in der französischen Normandie als René Grillet de Rouen bekannt, war als königlicher Uhrmacher unter dem Sonnenkönig Ludwig XIV. tätig. Im Jahre 1673 gibt er in einem kleinen Buch mit dem Titel *Curiositéz mathematiques de l'invention du Sr Grillet horlogeur a Paris* die Erfindung einer neuen Rechenmaschine bekannt. Im Jahre 1678 beschreibt er diese Maschine in einem im Le Journal des Sçavans erschienenen Artikel näher. Er stellte zwischen 1673 und 1681 diese Maschine mehrmals an verschiedenen Orten in Frankreich und den Niederlanden vor (Abb. 7.50).

Die Maschine ist gemäß seiner Beschreibung eine Kombination von Napierstäben zur Vereinfachung der Multiplikation (analog zum schottschen Rechenkasten) und einer Addiermaschine nach dem Prinzip der Maschine von Pascal. Über letztere äußerte er sich wenig begeistert: „*Cette machine ne saurait servir dans l'usage ordinaire, et ne peut passer que pour une curiosité de cabinet*". Über seine eigene Konstruktion bemerkt er dagegen: „*La machine que j'ai inventée n'a point ces incommodités-là*."

Von dieser Maschine sind zwei Exemplare erhalten, die sich jetzt im Musée des Arts et Métiers in Paris befinden.

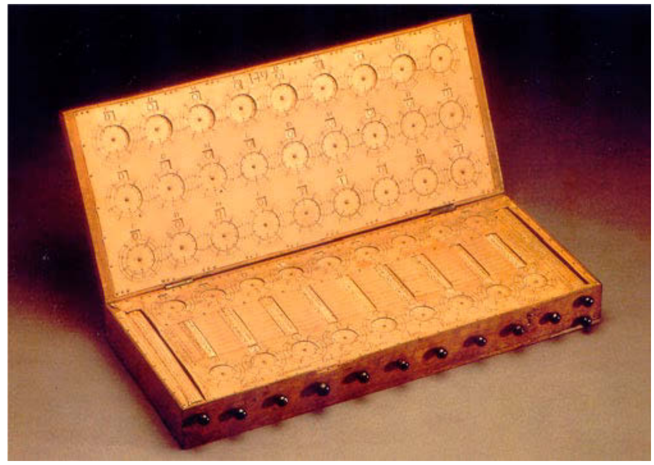


**Abb. 7.50** Die Rechenmaschine von Grillet

Dieses Museum wird vom Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM) unterhalten, einer anerkannten französischen Hochschule, die dem französischen Ministerium für Erziehung, Hochschulwesen und Forschung zugeordnet ist und den Status eines „grand établissement" genießt. Das CNAM wurde während der französischen Revolution im Jahr 1794 von dem französischen Geistlichen und Abgeordneten des Nationalkonvents Henri Grégoire (Abbé Grégoire) gegründet.

Diese Maschinen sind zwar kompakter als die Rechenmaschinen von Pascal, aber in den beiden erhaltenen Exemplaren findet sich keine Vorrichtung für einen automatischen Zehnerübertrag. Somit bleibt es ein Geheimnis, welche Fähigkeiten die Maschinen von Grillet besaßen.

#### Die Maschinen von de Lépine

Im Nationalmuseum der Amerikanischen Geschichte in Washington befindet sich eine Rechenmaschine, auf der u. a. als Inschrift „DE LEPINE – INVENIT ET FECIT – 1725" eingraviert ist (Abb. 7.51). Über den Konstrukteur ist praktisch nichts bekannt. Man weiß nur, dass im 18. Jahrhundert *Jean Antoine Lépine* als berühmter Uhrmacher in Frankreich tätig war. Er wurde am 18. November 1720 in Challex (Frankreich) geboren. Nach einer Uhrmacherausbildung ging er 1744 nach Paris. Dort arbeitete er in der Werkstatt von André Charles Caron. Im Jahre 1756 heiratete er die Tochter von Caron und wurde dessen Teilhaber. Seine Meisterprüfung legte er 1762 ab. Von Louis XV. wurde er zum Königlichen Hofuhrmacher ernannt. Diesen Titel behielt er auch unter Ludwig XVI. und unter Napoleon. Um 1780 eröffnete er eine Werkstatt in der von Voltaire gegründeten Uhrmacher-Kolonie Ferney. Später leitete er auch diese „Uhrenfabrik". Nach Voltaires Tod verfiel jedoch diese Uhrenfabrik und wurde geschlossen. Lépine kehrte daraufhin nach Paris zurück und wurde Partner des Königlichen Hofuhrmachers Claude-Pierre Raguet. Ab 1789 arbeitete er am Place des Victoires 12, bis seine Augen es nicht mehr zuließen, zu arbeiten. Er verstarb 1814 in seiner Wohnung in der Rue St. Anne in Paris.

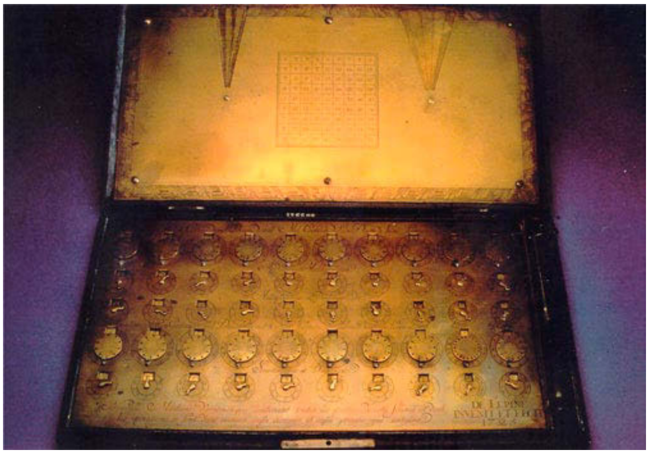


**Abb. 7.51** Rechenmaschine von Lépine, Nationalmuseum der Amerikanischen Geschichte, Washington

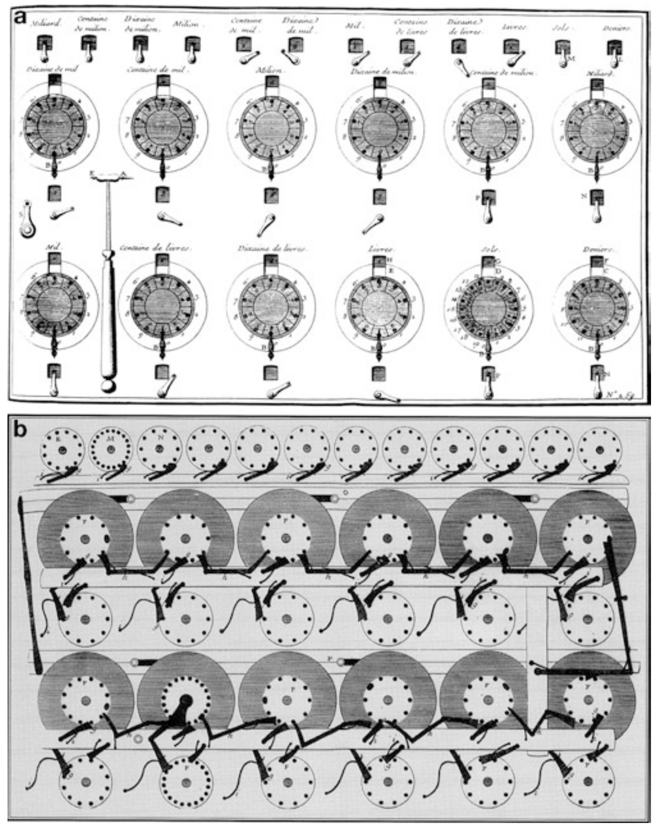


**Abb. 7.52** Die Maschine von de Lépine. **a** Bedienoberfläche der sechsrädrigen Ausführung, **b** Darunterliegender Mechanismus

Jean Antoine Lépine galt als Meister der Raumausnutzung. So verbesserte er u. a. die Konstruktion des Federhauses, indem er dieses verzahnte und damit den Antrieb über Kette und Schnecke entbehrlich machte. Dies ermöglichte ihm den Bau von sehr flachen Uhren. Zu Lépines Lebzeiten entstanden in seiner Werkstatt rund 6000 Taschenuhren, von denen nicht ganz 200 erhalten sind.

Da er jedoch nicht im Alter von fünf Jahren diese Maschine konstruiert haben kann, kann über seinen Bezug zu dieser Maschine nur spekuliert werden. So ist es denkbar, dass er diese Maschine nach seinem Eintritt in die Uhrmacher-Kolonie Ferney unvollständig vorgefunden hat, um und sie dann fertigzustellen und danach seinen Namen einzugravieren. Denkbar ist auch, dass sein Vater, über den es keine weiteren Informationen gibt und der eventuell auch Uhrmacher war, diese Maschine konstruiert hat.

Offensichtlich war diese Maschine jedoch kein Einzelstück, sondern es hat mehrere Ausführungen dieser Maschine gegeben. Die Maschine des Nationalmuseums der Amerikanischen Geschichte in Washington besitzt zehn Einstellräder in Reihe. Überliefert ist auch eine Beschreibung einer entsprechenden Maschine mit sechs Einstellrädern (Abb. 7.52). In der technischen Konzeption entsprechen sie den Maschinen von Pascal, wobei zusätzlich die Möglichkeit zur Speicherung von Zwischenergebnissen besteht.

## Die Maschinen von Stanhope

Charles Stanhope, 3. Earl Stanhope (*3. August 1753; †15. Dezember 1816) (Abb. 7.53) war ein britischer Politiker und Wissenschaftler. Er besuchte das Eton College und studierte an der Universität Genf Mathematik. Im Jahre 1774 heiratete Stanhope die Schwester von William Pitt, Lady Hester Pitt. Mit dieser hatte er drei Töchter. Nach dem Tod seiner Frau im Jahr 1780 heiratete er im folgenden Jahr Louisa Grenville, die einzige Tochter und Erbin des Diplomaten und Gouverneurs Henry Grenville. Aus der zweiten Ehe entstammten drei Söhne, unter ihnen Philip Henry Stanhope, 4. Earl Stanhope, ein bekannter Politiker, Diplomat und Autor. Er verstarb 1816 auf seinem Landsitz Chevening.

**Abb. 7.53** Charles Stanhope

Bereits 1772 wurde Stanhope in die Royal Society aufgenommen. Neben verschiedenen anderen Erfindungen entwickelte er drei Typen von Rechenmaschinen, die von James Bullock gefertigt wurden.

Im Jahr 1775 vollendete er eine technisch eigenständige und voll funktionstüchtige Rechenmaschine für die vier a

b

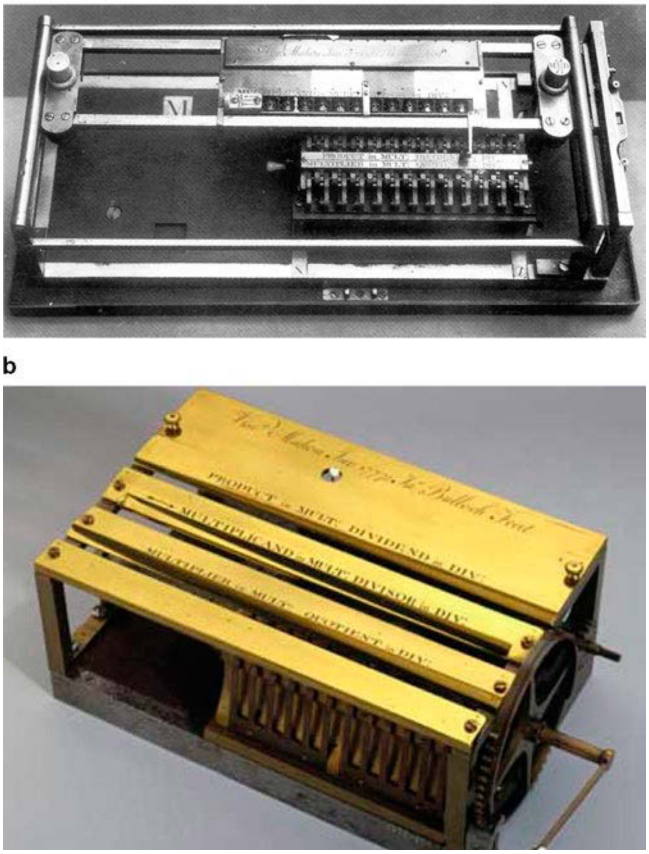


**Abb. 7.54** Die beiden ersten Maschinen von Stanhope. **a** Modell 1775, **b** Modell 1777

Grundrechenarten. Dieses Modell besitzt Zylinder, die den Staffelwalzen von Leibniz ähneln. Auf den Walzen befinden sich Streifen mit 1–9 Zähnen. Insgesamt gibt es 12 Walzen, die auf Achsen in einem beweglichen Schlitten montiert sind. In einem besonderen Zähler wird automatisch die Anzahl der Schlittenbewegungen erfasst, um hierdurch die Multiplikation bzw. Division zu steuern.

Der Zehnerübertrag war in zwei Operationsschritte aufgeteilt: eine Vorbereitungsphase und eine Ausführungsphase. Hierdurch konnten die benötigten Kräfte bei der Realisierung des Zehnerübertrags deutlich gesenkt werden.

Das im Jahr 1777 entstandene zweite Modell ist ebenfalls eine Vierspeziesmaschine und eine Weiterentwicklung der ersten Maschine mit einer ganzen Reihe von Verbesserungen und Änderungen (Abb. 7.54). So besitzt sie anstelle des beweglichen Schlittens einen auf einer Achse beweglichen Zylinder.

Es ist nicht bekannt, wie viele Exemplare von diesen Maschinen gebaut wurden. Überliefert ist, dass Charles Babbage über ein Exemplar verfügte. Von beiden Modellen befindet sich jeweils ein Exemplar im Science Museum in London.

Im Jahr 1780 konstruiert er noch eine einfachere Maschine, die nur Additionen und Subtraktionen durchführen konnte und viele Ähnlichkeiten zu einer Pascaline aufweist (Abb. 7.55). Sie wurde offensichtlich für kaufmännische Anwendungen ausgelegt. Insgesamt besitzt sie 12 Einstellscheiben, die mit einem Griffel bedient werden. Die acht linken Scheiben dienen zur Einstellung der Beträge. Sie sind markiert mit *HM* (hundred millions), *XM* (ten millions), *M* (millions), *HAT* (hundred thousands), *T* (thousands), *H* (hundreds) und *X* (tens). Die rechten vier Scheiben tragen die Markierungen des damaligen englischen Währungssystems, wie es bis 1971 in Gebrauch war. Die Markierungen sind *L* (pounds), *S* (shillings), *D* (pence) und *F* (farthings), da 4 Farthings einen Penny, 12 Pennies einen Shilling und 20 Shilling ein Pfund ergaben.

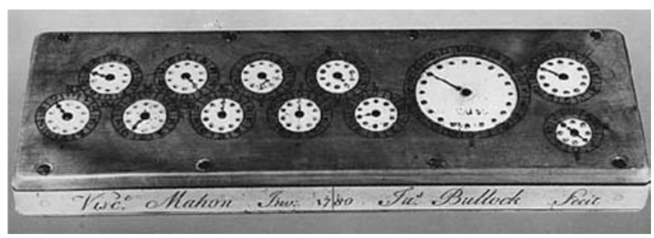


**Abb. 7.55** Stanhopes Addier- und Subtrahiermaschine von 1780

# 8 Die Weiterentwicklung der Rechenmaschinen

## 8.1 Der Übergang zur industriellen Produktion

Aus dem 17. und 18. Jahrhundert sind mehr als 20 Konstrukteure von mechanischen Rechengeräten bekannt. Zum einen handelte es sich um einfache Addiergeräte, die überwiegend im kaufmännischen Bereich eingesetzt wurden, und zum anderen um Vierspeziesmaschinen, die für den Einsatz in wissenschaftlichen Bereichen vorgesehen waren. Alle Maschinen wurden in Handarbeit als Einzelstücke oder in höchstens einer Handvoll Exemplaren hergestellt.

Erst Mitte des 19. Jahrhunderts begann der Übergang zur industriellen Produktion, verbunden mit laufenden Verbesserungen und der Entwicklung neuer Techniken. Als erster war es *Charles Xavier Thomas* aus Colmar/Elsass, der Rechengeräte in größerer Stückzahl herstellte. Die hohen Produktionskosten der damaligen Maschinen waren dann für viele Konstrukteure und Erfinder ein Anlass, sich um neue Wege im Rechenmaschinenbau zu bemühen und die Konstruktionen den Bedürfnissen einer Massenproduktion anzupassen. Ab ca. 1870 begannen weitere Firmen mit der industriellen Produktion von Rechenmaschinen. Der sich Ende des 19. Jahrhunderts abzeichnende wirtschaftliche Erfolg dieser Unternehmen führte zu einer stürmischen Entwicklung vieler Konkurrenzmodelle, die auf unterschiedlichstem Wege versuchten, die bestehenden Patente zu umgehen und damit zu einer Weiterentwicklung beitrugen.

Eine wesentliche Erweiterung des Einsatzspektrums erbrachte die Kombination von Rechenmaschinen mit Druckeinrichtungen. Im Jahr 1889 erhielt *D. E. Felt* erstmalig ein Patent auf eine Rechenmaschine mit Druckeinrichtung. Das erste Exemplar dieser Maschine mit Namen *Comptograph* wurde im Dezember 1889 an die Merchants & Manufacturers National Bank of Pittsburgh, PA, verkauft. Sie befindet sich jetzt in der Smithsonian Institution in Washington, D.C. Die Ausstattung mit Druckeinrichtungen beschränkte sich jedoch zunächst ausschließlich auf Addiermaschinen. Erst nach dem ersten Weltkrieg erscheinen die ersten Vierspeziesmaschinen mit Druckeinrichtung auf dem Markt. Der Chefkonstrukteur der deutschen Firma ASTRA, *Lorenz Maier*, baute ab dem Jahr 1936 das Modell 9 in einer Versuchsserie. Es handelte sich um eine druckende Addiermaschine mit schneller Multiplizier- und Dividiereinrichtung. Remington Rand und Olivetti sind zur selben Zeit dabei, aus Zweispeziesmaschinen den druckenden Vierspeziesrechner zu entwickeln.

Ein weiterer wichtiger Schritt war der Einsatz von Elektromotoren zum Antrieb der Maschinen. Der Motor ersetzte die Handkurbel. Der Vorteil lag in der Schonung des Materials durch den gleichmäßigen Lauf und die Entlastung des Bedienungspersonals von den starken Federkräften, gegen die die Handkurbel bewegt werden musste. Im Jahr 1901 entwickelte *Frank C. Rinche* eine druckende Addiermaschine, die elektrisch angetrieben wurde. Das Patent hierfür erhält er im Jahr 1903. Die erste verkaufsfähige Maschine erscheint 1904, die *Universal Accountant*. Die erste Vierspeziesmaschine mit elektrischem Antrieb ist eine Konstruktion des Österreichers *Alexander Rechnitzer*, dem eine motorbetriebene, automatisch rechnende Maschine 1902 in Deutschland patentiert wurde. Rechnitzer siedelte später in die USA über, wo er seine Maschine weiter verbesserte. Diese Maschine, mit dem Namen *AUTARITH* gerät jedoch in Vergessenheit. Auch die von dem Amerikaner *Emory S. Ensign* um 1907 herausgebrachte Maschine gleichen Namens mit eigener Tastatur für die Multiplikation („Wahltastatur“) und Elektroantrieb blieb nur kurze Zeit in Produktion.

Der letzte bedeutsame Schritt war die Vollautomatisierung, durch die komplexere Berechnungen wie Multiplikationen und Divisionen nicht mehr durch mehrmalige Kurbelumdrehungen ausgeführt werden mussten. Der erste fabrikmäßig produzierte Automat war der *Mercedes Euklid Mod. 7* aus dem Jahre 1913 (Abb. 8.1).

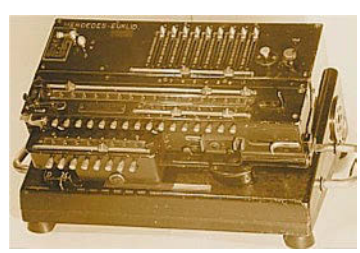



**Abb. 8.1** Mercedes Euklid, 1913

W.-M. Lippe, *Die Geschichte der Rechenautomaten*,
DOI 10.1007/978-3-642-36191-3_8, © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

Tabelle 8.1 gibt einen Überblick über die bis Ende des 19. Jahrhunderts wichtigsten Entwicklungen und die Anzahl der noch erhaltenen Originale bzw. der Nachbauten.

**Tab. 8.1** Entwicklung mechanischer Rechenmaschinen

| Jahr | Konstrukteur | Maschinentyp | Originale | Nachbauten |
|---|---|---|---|---|
| Ca. 1500 | Da Vinci | Addiermaschine | 0 | 1 |
| 1623 | Schickard | Addiermaschine | 0 | Vorhanden |
| 1642 | Pascal | Addiermaschine | 8 | 2 |
| 1659 | Burattini | Addiergerät | 1 | 0 |
| 1666 | Morland | Addiergerät | 2 | Vorhanden |
| 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 | Quadratwurzelmaschine | 0 | 0 |
| 1820 | Schuster | Staffelwalze | 2 | 2 |
| 1820 | Thomas | Staffelwalze | 1 | 0 |

**Tab. 8.1** *(Fortsetzung)* Entwicklung mechanischer Rechenmaschinen

| Jahr | Konstrukteur | Maschinentyp | Originale | Nachbauten |
|---|---|---|---|---|
| 1850 | Gonella (I) | Addiermaschine | 1 | 0 |
| 1851 | Schilt (H) | Tastenaddierer | 1 | 0 |
| 1857 | Hill (US) | Addiermaschine | 1 | 0 |
| 1867 | Bunjakowski ® | Addiermaschine | 1 | 0 |
| 1868 | Webb (US) | Scheibenaddierer | div. | 0 |
| 1870 | Groesbeck (US) | Scheibenaddierer | div. | 0 |
| 1872 | Baldwin (US) | Sprossenrad | 1 | 0 |
| 1873 | Dobesch & Masseur (Ö) | Staffelwalze | 5 | 0 |
| 1873 | Hebentanz (U) | Tastenaddierer | 2 | 0 |
| 1874 | Pullen (E) | Addiermaschine | 1 | 0 |
| 1874 | Odhner (S) | Sprossenrad | 1 | 0 |
| 1877 | Dietzschold (D) | Schaltklinke | 2 | 0 |
| 1878 | Burkhardt (D) | Staffelwalze | div. | 0 |
| 1879 | Heyde & Büttner (D) | Schaltklinke | 1 | 0 |
| 1882 | Tschebischew ® | Rechenmaschine | 1 | 0 |
| 1883 | Bouchet (US) | Tastenaddierer | 2 | 0 |
| 1884 | Spalding (US) | Tastenaddierer | div. | 0 |
| 1885 | Edmondson (E) | Staffelwalze | 3 | 0 |
| 1885 | Felt (US) | Schwinghebel | 1 | 0 |
| 1886 | Odhner (S) | Sprossenrad | div. | 0 |
| 1886 | Selling (D) | Nürnb. Scheren | 5 | 0 |
| 1886 | Duschanek (D) | Staffelwalzen | 2 | 0 |
| 1887 | Felt (US) | Schwinghebel | div. | 0 |
| 1888 | Bollée (F) | Mult.-Körper | 4 | 0 |
| 1889 | Felt (US) | Schwinghebel + Drucker | 2 | 0 |
| 1889 | Büttner (D) | Sprossenrad | 2 | 0 |
| 1891 | Shattuck (US) | Tastenaddierer | 2 | 0 |
| 1892 | Esser (D) | Sprossenrad | 1 | 0 |
| 1892 | Burroughs (US) | Addierm. + Drucker | div. | 0 |
| 1892 | Brunsviga (D) | Sprossenrad | div. | 0 |
| 1893 | Rapid (US) | Zahnstangenadd. | div. | 0 |
| 1893 | Steiger (H) | Mult.-Körper Millionär, | div. | 0 |
| 1894 | Küttner (D) | Sprossenrad | div. | 0 |
| 1894 | Heinitz (D) | Addierm. + Drucker | 1 | 0 |
| 1895 | Strassberger (D) | Staffelwalze | div. | 0 |

## 8.2 Die technischen Prinzipien

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

- Sprossenradmaschinen,
- Proportionalhebelmaschinen und
- Staffelwalzenmaschinen.

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

### 8.2.1 Sprossenradmaschinen

Eine Sprossenrad-Rechenmaschine besteht im Wesentlichen aus einem Satz Sprossenräder, einem Zählwerk und einem Ergebniswerk. Für jede Stelle des Eingabewerts existiert ein Sprossenrad. Jedes Sprossenrad ist von 0 bis 9 einstellbar, dabei werden 0 bis 9 „Zähne" aus dem Rad ausgefahren. Mit einer Kurbel sind die Sprossenräder drehbar, für jeden ausgefahrenen „Zahn" wird die entsprechende Stelle des Ergebniswerks – je nach Drehrichtung – erhöht oder erniedrigt. Wird der Zehner über- oder unterschritten, wird ein „Merker" gesetzt und die nächste Stelle um 1 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, sodass man durch Schieben des Schlittens nach rechts das zehn-, hundert-, tausend- etc. -fache des Eingabewerts 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. 8.2).

Von Gottfried Wilhelm Leibniz ist eine Skizze überliefert, die wohl den ersten bekannten Entwurf eines Sprossenrads darstellt (Abb. 8.3). Es wird vermutet, dass er dieses Sprossenrad neben der später von ihm verwendeten Staffelwalze als Antrieb für seine Rechenmaschinen erwogen hat. Die Inschrift lautet *„Dens mobiles d' une Roue de Multiplication"* (in der Übersetzung „die beweglichen Zähne eines Multiplizierrads"). Von einer konkreten Herstellung bzw. Verwendung ist jedoch nichts bekannt.

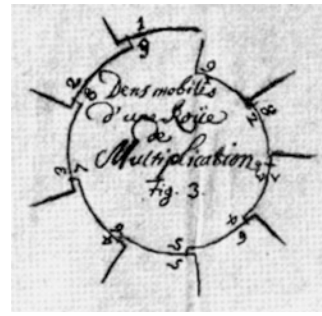



**Abb. 8.3** Skizze von Leibniz

Daher gilt der Italiener *Polenius*, Professor für Astronomie und Mathematik an der Universität Padua, als Erfinder des Sprossenrads. Er hatte als Erster die Idee, ein Sprossenrad mit beweglichen Zähnen zu entwerfen, die sich durch Verdrehen einer Kurvenscheibe herausschieben lassen. Er baute ein funktionsfähiges Modell aus Holz, das maximal dreistellige Zahlen verarbeiten konnte. Im Jahre 1709 hat Polenius in dem Werk *Johannes Poleni, Miscellanea* eine Sprossenrad-Rechenmaschine beschrieben, die mit einem Gewichtsantrieb versehen war.

Das Sprossenrad hat gegenüber der Staffelwalze den Vorteil, dass kein raumgreifendes Verschieben von Walzen bzw. Zahnrädern notwendig ist. Allerdings gelang erst dem Instrumentenbauer *Antonius Braun* 1727 in Wien der Bau einer arbeitsfähigen Rechenmaschine mit Sprossenrad für alle vier Grundrechenarten. Diese war die erste im Dauerbetrieb wirklich zuverlässig funktionierende Rechenmaschine überhaupt. Alle Maschinen der vorhergehenden Konstrukteure litten mehr oder weniger am Problem der ungenügend ausgereiften Feinmechanikerkunst, sodass deren Maschinen recht unzuverlässig arbeiteten.

Im Pariser *Musée National des Techniques* befinden sich zwei runde Sprossenradmaschinen des französischen Arztes *Didier Roth* (Abb. 8.4). Sie stammen aus den Jahren 1841 und 1848. Hierfür erhielt er im Jahr 1843 ein englisches Patent.

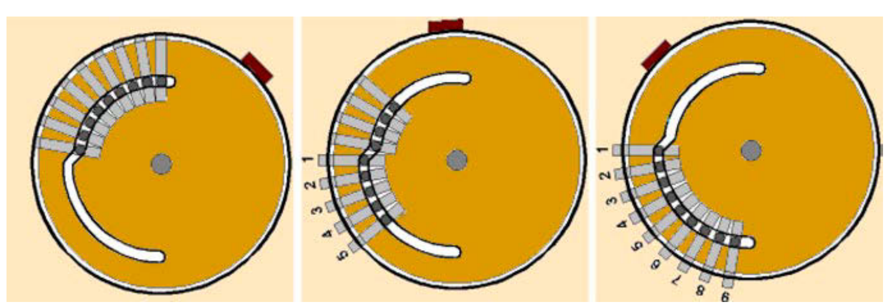



**Abb. 8.2** Prinzip des Sprossenrads

**Abb. 8.4** Sprossenrad von Roth

Im gleichen Jahr ließ sich auch *David Isaac Wertheimber* in England eine Sprossenradmaschine patentieren (Abb. 8.5). Über eine Herstellung ist jedoch nichts bekannt. Das später von Odhner verwendete Sprossenrad weist jedoch eine große Ähnlichkeit mit der Konstruktionsskizze von Wertheimber auf.

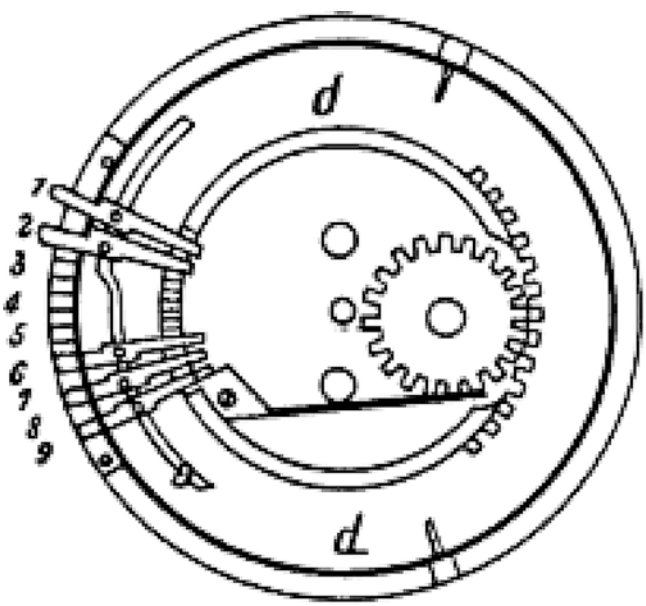



**Abb. 8.5** Zeichnung aus dem englischen Patent No. 9816 von Wertheimber

Dem Amerikaner *Frank Stephen Baldwin* wurde am 2. Februar 1875 ein Patent für eine Sprossenradmaschine mit der Nr. 159.244 erteilt. Besonders bemerkenswert ist, dass bei den Patentzeichnungen auch ein Druckwerk für diese Maschine enthalten ist. Obwohl die Maschine für eine Serienproduktion konzipiert war, wurden nie größere Stückzahlen produziert. Die Maschine soll zu teuer und für mechanische Fehler anfällig gewesen sein.

### 8.2.2 Proportionalhebel

*Christel Hamann* erfand 1905 den Proportionalhebel. Hierbei sind 10 Zahnstangen in einem Parallelogramm gelagert. Beim Schwenken des Antriebshebels (Schwinghebel) werden sie jeweils um 0 bis 9 Zähne verschoben. Ein verschiebbares Zahnrad wird mit der gewünschten Zahnstange in Eingriff gebracht und um die entsprechende Anzahl Zähne mitgenommen. Abbildung 8.6 zeigt die Anordnung für eine Ziffer, Abb. 8.7 die Anordnung für mehrere Ziffern.

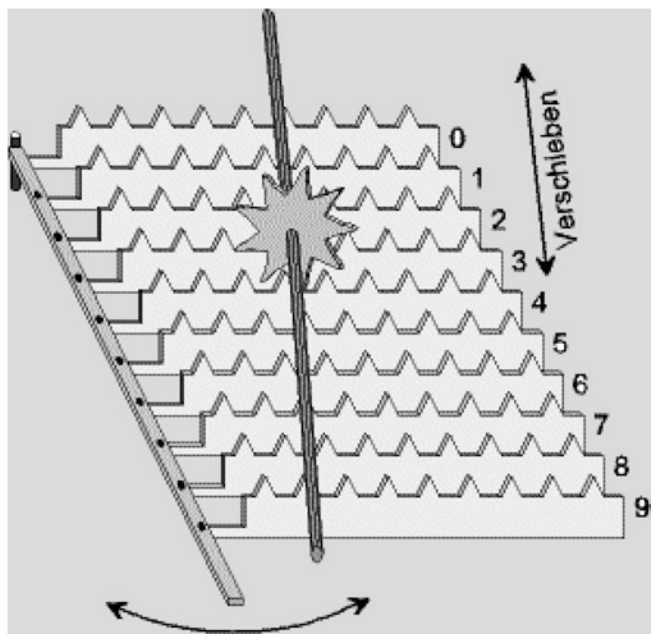



**Abb. 8.6** Proportionalhebel

Der Schwinghebel besitzt zwei Fixierpunkte, die wahlweise als der Zustand Addition bzw. Subtraktion eingesetzt werden. Abbildung 8.7 zeigt oben die Addition und unten die Subtraktion. Die Verschiebung der Zahnstangen wird mittels kleiner verschiebbarer Zahnräder im Einstellwerk abgegriffen und zum Resultatwerk übertragen. Die Subtraktionen werden mittels Komplementzahlen ausgeführt. Dies ist möglich, weil sich die Verschiebungen jeder Zahnstange bei Addition und Subtraktion zu 9 ergänzen. Eine kleine zehnte Zahnstange führt die bei Subtraktionen notwendige 1 in die Rechnung ein.

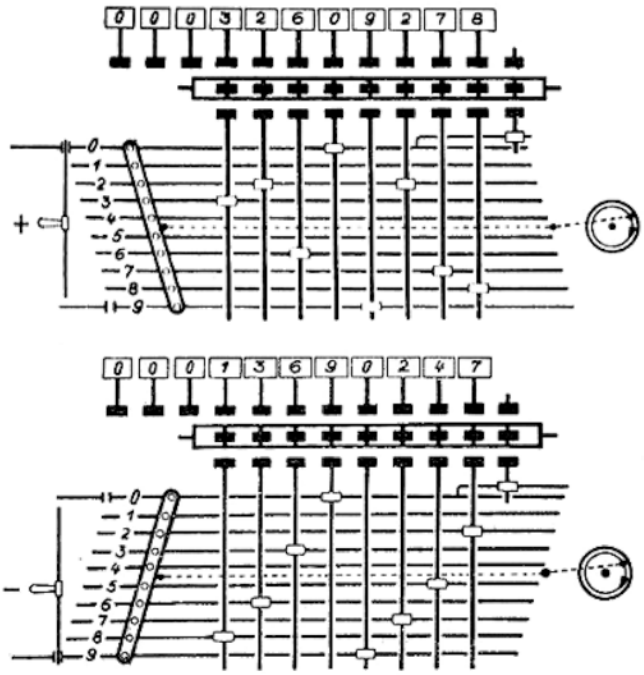



**Abb. 8.7** Addition und Subtraktion

### 8.2.3 Staffelwalzen

Wie bereits erwähnt, bauten auf dem Prinzip der Leibnizchen Rechenmaschine weitere Varianten und Fortentwicklungen auf. Mit der Staffelwalze von Leibniz konnte die Multiplikation vereinfacht werden, da der Benutzer sich keine Zwischenwerte merken musste.

Wollte der Benutzer multiplizieren, beispielsweise 837 × 231, so musste er die drei Teilprodukte 837 × 2, 837 × 3 und 837 × 1 im Kopf ausrechnen und jeweils um eine Stelle verschoben addieren. Pascals Maschine half nur bei der Addition der Teilprodukte. Schickards Maschine unterstützte dagegen auch die Multiplikation insofern, als man bei ihr die Teilprodukte nicht im Kopf berechnen musste, sondern von Napier-Skalen ablesen konnte.

Die Multiplikation von 837 × 231 konnte jedoch auch anders durchgeführt werden. Man gab die Zahl 837 einmal von der Einerstelle aufwärts, danach dreimal von der Zehnerstelle aufwärts und zum Schluss noch zweimal von der Hunderterstelle aufwärts ein. So konnte die Multiplikation ausschließlich durch mehrfache Addition der gleichen Zahl durchgeführt werden (Tab. 8.2).

Das Problem hierbei war, dass jeder dieser Summanden individuell in das Zählwerk eingedreht werden musste. Dies war nicht nur zeitaufwendig, sondern mindestens ebenso fehlerträchtig wie die Multiplikation im Kopf. Allerdings ist dieses Prinzip maschinell leichter umzusetzen als das erste.

Benötigt wird für dieses Verfahren ein Mechanismus, der es erlaubt, die erste Zahl (837) nur einmal einzustellen und dann beliebig oft – versetzt – in ein Zählwerk „einzudrehen".

**Tab. 8.2** Multiplikation durch Additionen

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 8 | 3 | 7 |
| | | | 8 | 3 | 7 | |
| | | | 8 | 3 | 7 | |
| | | | 8 | 3 | 7 | |
| | | 8 | 3 | 7 | | |
| + | | 8 | 3 | 7 | | |
| | **1** | **9** | **3** | **3** | **4** | **7** |

Leibniz sah für jede Stelle einer Zahl eine eigene Staffelwalze vor und trieb alle durch eine gemeinsame Kurbel an.

Wenn der Benutzer nun im Einstellwerk die 837 eingab, konnte er mit einer Umdrehung der Kurbel die ganze Zahl ins Resultatwerk einspeisen. Durch mehrmaliges Drehen der Kurbel wurde die gleiche Zahl ohne erneutes Einstellen nochmals addiert. Da das Resultatwerk außerdem gegenüber dem Einstellwerk verschoben werden konnte, war die Beispielrechnung jetzt durch eine Einstellung, sechs Kurbeldrehungen und zwei Stellenverschiebungen zu erledigen (Abb. 8.8).

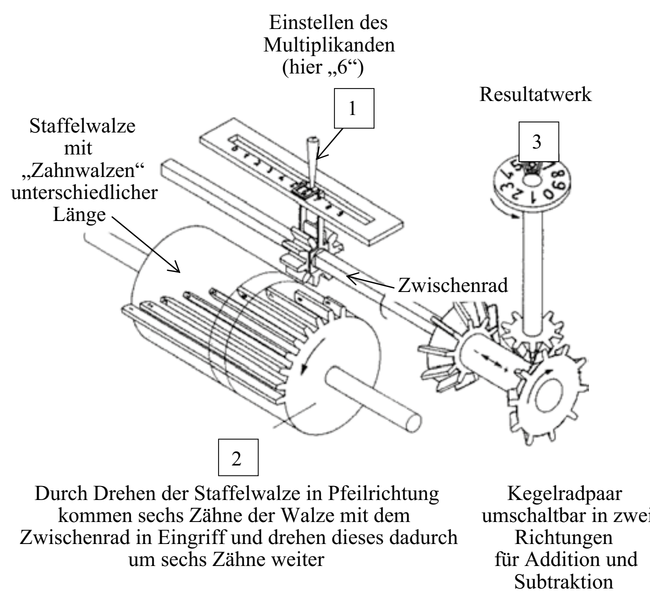



**Abb. 8.8** Prinzip der Staffelwalze

### 8.2.4 Multiplikationskörper

Mit der Idee eines Multiplikationskörpers soll sich schon Leibniz befasst haben. Bis zur Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert wurden mehrere Ausführungen von Multipliziermaschinen entworfen. Bekannt wurden die Maschinen von

- Ramón Verea 1878,
- Eduard Selling 1886–1903,

- Léon Bollée 1889 und
- Otto Steiger und Hans W. Egli.

Der in New York lebende Spanier *Ramon Verea* (1838–1899) entwickelte 1878 eine Multiplikationskörperrechenmaschine, von der vermutlich nur ein Prototyp gebaut wurde.

Statt die Multiplikation mit einer einstelligen Zahl durch mehrfache Addition zu bewerkstelligen, stellte der französische Automobilkonstrukteur und Erfinder Léon Bollée 1888 die Idee vor, dies mithilfe eines Multiplikationskörpers auf einen Schlag zu erledigen. In den Jahren 1888 bis 1892 baute er drei Modelle von Rechenmaschinen mit einem *Einmaleinskörper*, die jedoch recht unhandlich in der Bedienung waren.

Der Schweizer *Otto Staiger* erhielt 1892 ein Patent auf ein in Metall gegossenes 1 × 1 bis 9 × 9 (Abb. 8.9). Zusammen mit *W. Egli* baute er seine Millionär zwischen 1893 und 1935. Sie war damit die erste in Serie gebaute Multipliziermaschine, die in größeren Stückzahlen verkauft wurde.

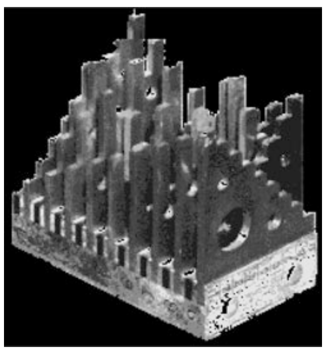


**Abb. 8.9** Multiplikationskörper (in Metall gegossen)

## 8.3 Die Entwicklung in Frankreich

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 für das englische Währungssystem abgeändert waren. Die erste „industrielle" serienmäßige Herstellung von mechanischen Ziffernrechenmaschinen wurde 1920 in Paris von *Charles Xavier Thomas* (1785–1870) aufgenommen. Thomas war Direktor zweier Versicherungsunternehmen. Als solcher erkannte er die Bedeutung der Ziffernrechenmaschinen und verfügte über die notwendigen Geldmittel, eine Produktionsstätte einzurichten.

Die Maschinen von Thomas beruhten auf dem von Leibnitz und Hahn entwickelten Staffelwalzenprinzip (Abb. 8.10). Die Rechenmaschinen trugen den Namen *Arithmomètre.* Sie funktionierten zuverlässig, waren jedoch zu ihrer Zeit Hochtechnologie und konnten nur in Paris gewartet und repariert werden. 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 16-stellige Maschine kostete ca. 500 Francs – relativ hoch war und Thomas selbst bei diesem Preis keinen Gewinn machte.

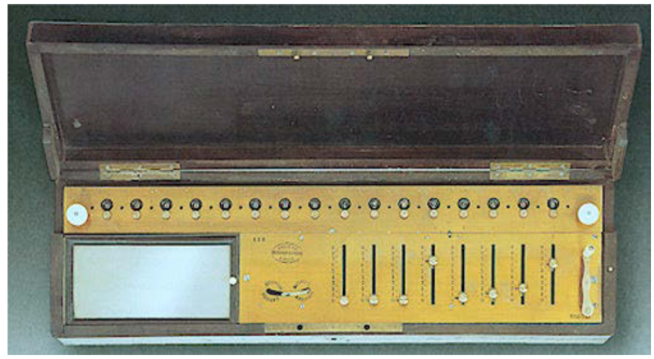


**Abb. 8.10** Die Rechenmaschine von Thomas

*Léon Bollée* (1870–1913) war ein französischer Automobilproduzent, Konstrukteur von Rechenmaschinen, Erfinder und der Sohn des Glockengießers und Automobilpioniers Amédée Bollée. Im Jahr 1887 begann Bollée, an drei verschiedenen Rechenmaschinen zu arbeiten – einer *direktmultiplizierenden Rechenmaschine*, einer *Rechentafel* sowie dem *Arithmographen*. Bollée war der erste, dem die Konstruktion einer direktmultiplizierenden Rechenmaschine gelang (Abb. 8.11). Mit dieser gewann er eine Goldmedaille auf der Pariser Ausstellung 1889. Das System wurde in Frankreich, Belgien, Deutschland und Ungarn patentiert. Die Maschinen blieben jedoch Einzelstücke. Nach ihm wurde das Institut International d'Informatique Léon Bollée in Ho-Chi-Minh-Stadt, der Hauptstadt Vietnams, benannt.

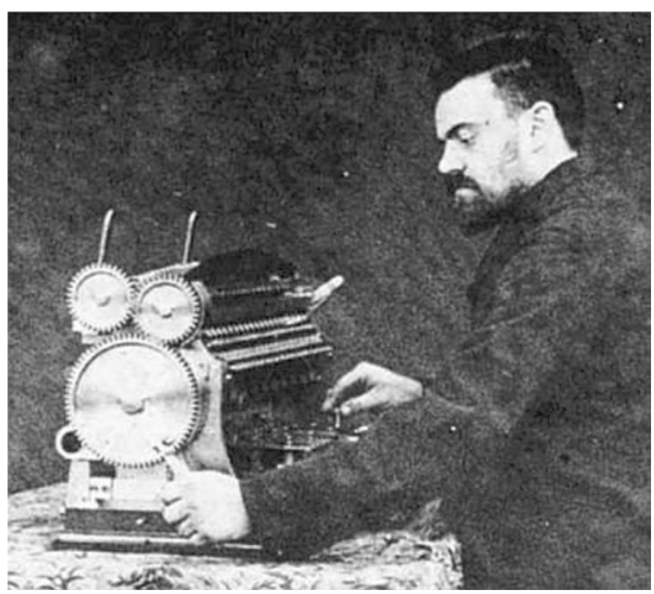


**Abb. 8.11** Léon Bollée vor seiner Rechenmaschine

## 8.4 Die Entwicklung in Russland und Schweden

Die Erfindung des Sprossenradsystems geht auf *Willgodt Theophil Odhner* zurück. Er wurde am 11 August 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/Russland.

Da ihn seine Erfahrungen mit einer Thomas-Maschine nicht befriedigten, kam 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 aufgebaute Rechenmaschine (Abb. 8.13), sondern auch die entsprechenden Werkzeuge und Fertigungseinrichtungen.

Odhner konnte im Jahre 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“ (Abb. 8.12). 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.

**Abb. 8.12** Logo der Odhner-Fabrik


**Abb. 8.13** Odhner-Sprossenrad-Rechenmaschine

Bereits 1894 entstand neben dem alten Fabrikgebäude eine neue Fabrik. Neben den Rechenmaschinen wurden dort Druckmaschinen, Düsen für Ölbrenner und Phonografengetriebe 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 1950er-Jahre Odhner-Maschinen nachgebaut, allerdings ohne offizielle Lizenz.

## 8.5 Die Entwicklung in der Schweiz

Der aus St. Gallen, Schweiz, stammende und in München lebende Ingenieur *Otto Steiger* (1858–1923) entwickelte zu Beginn der 1890er-Jahre eine Rechenmaschine mit einem Multiplikationskörper. Für diese Maschine erhielt er ein Patent mit der Nummer 72.870. In ihm waren die Teilprodukte $1 \times 1$ bis $1 \times 9$ physikalisch gespeichert. Man kann sich diesen Multiplikationskörper als eine rechteckige Einmaleinstafel vorstellen. Anstelle jeder Produktzahl stehen zwei Stangen hervor, deren Längen dem Betrag der Einer- und der Zehnerziffer dieser Produktzahl entsprechen. Der Multiplikationskörper wurde während einer Kurbeldrehung zweimal abgetastet, um zuerst die Zehner- und dann die Einerziffern der benötigten Teilprodukte zu erhalten. Damit war eine besonders schnelle Multiplikation bzw. Division möglich.

Für dieses Konzept erhielt er im Jahre 1892 ein deutsches Patent. In den folgenden Jahren erhielt er entsprechende Patente in der Schweiz, Frankreich, den USA und Kanada. Danach setzte er sich mit dem Fabrikanten *Hans W. Egli* aus Zürich (Abb. 8.14) zusammen, der die Maschine zur Produktionsreife weiterentwickelte. Die erste Maschine wurde im Jahr 1893 fertiggestellt und ab dem Jahr 1895 wurde sie in der Fabrik von Egli in Serie gebaut. Die ersten Maschinen wurden unter dem Namen *Excelsior* vertrieben. Sie wurde mit nur 4 bis 6 Einstellschiebern und 10 Stellen im Ergebnis gebaut. Wahrscheinlich wollte man den Preis der Maschinen niedrig halten und erst einmal die Nachfrage testen.

**Abb. 8.14** Hans W. Egli


**Abb. 8.15** Kasteninschrift

Später wurden die Maschinen im deutschsprachigen Raum unter dem Namen „*Millionär*“, im englischsprachigen Raum unter dem Namen „*The Millionaire*“ und im französischsprachigen Raum unter dem Namen „*Le Millionair*“ vertrieben (Abb. 8.20). Die Gründe für diese Namenswahl sind unbekannt.

Die Maschinen wurden in verschiedenen Größen angeboten. Der Unterschied bestand in der Anzahl der Stellen im Einstellwerk, in der Kontrollreihe und in der Resultatreihe. Später hat man auch Tasten statt Schieber für das Einstellwerk vorgesehen, die Kommastecker durch Kommaleisten ersetzt und die Maschine in einen Metallkasten eingebaut (die ersten Maschine hatten einen Holzkasten) (Abb. 8.15). Für die Maschinen wurden später auch ein elektrischer Antrieb und ein Arbeitstisch angeboten.

Eine kleine handliche Rechenmaschine war die Millionär nicht. Schon die 8 × 8 × 16-stellige mit Handbetrieb war ohne die seitlichen Griffe 67 cm breit, 31 cm tief, 20 cm hoch und wog 36 kg. Maschinen mit größerer Stellenzahl und Antrieb durch einen Elektromotor waren noch erheblich schwerer (Abb. 8.16).

In den ersten Jahren des 20. Jahrhunderts waren bereits 2000 Maschinen in Gebrauch, die letzte von insgesamt 4655 Stück wurde im Jahr 1935 verkauft.

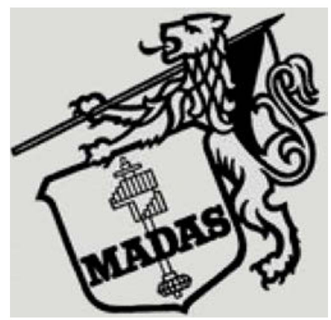
In Australien, wo sie von der Firma Peacock Brothers vertrieben wurden, waren sie nachweisbar bis in die 1960er-Jahre im Einsatz.

**Abb. 8.16** Der Multiplikationskörper

Bei der Firma Egli wurden auch ab 1908 Staffelwalzenmaschinen gebaut. Sie wurden unter der Bezeichnung *Madas* vertrieben (Abb. 8.17, Abb. 8.18). Das Wort Madas setzte sich aus den Anfangsbuchstaben der Wörter *M*ultiplikation, *a*utomatische *D*ivision, *A*ddition, *S*ubtraktion zusammen. Es gab Modelle mit Schieber und mit Volltastatur. Der Betrieb erfolgte je nach Modell von Hand und/oder mit Motorantrieb.

**Abb. 8.17** Madas-Logo 1919


**Abb. 8.18** Madas-Logo 1943




Von der im Jahr 1935 gegründeten Precisa Rechenmaschinenfabrik AG wurde im Jahr 1933 der Prototyp der *Precisa M1* entwickelt (Abb. 8.19).

**Abb. 8.19** Erster Prospekt für die M1


Die Serienproduktion begann ab dem Jahr 1935 in Sengen, später in Winterthur und Zürich-Oerlikon. Die Modellreihe wurde laufend erweitert. Zu den Konstrukteuren gehörten Benninger, Jahnz, Chlouba, Heinze, Jülich und Gelling.

Die Firma übernahm später die Madas-Rechenmaschinenfabrik von H.W. Egli. Im Jahr 1964 fusionierte die Firma mit

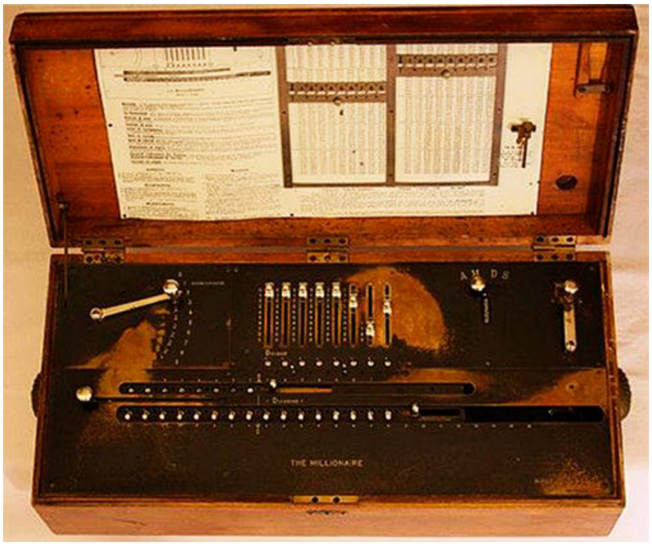



**Abb. 8.20** Eine Millionär aus dem Jahr 1910

der Hermes AG zu der Hermes-Precisa International SA. Die Produktion von Rechenmaschinen erfolgte bis 1978/79.

## 8.6 Die Entwicklung in den USA

Die USA waren in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts der größte Produzent von Rechenmaschinen. Ausschlaggebend hierfür war der große und stetig wachsende Binnenmarkt. Mehr als 20 Hersteller gründeten zwischen 1885 und 1945 Fabriken zu deren Herstellung. Die überwiegende Anzahl der Firmen stellte dabei ausschließlich druckende Addiermaschinen her und beherrschte auf diesem Gebiet den Weltmarkt. Vierspeziesmaschinen wurden lediglich von vier Herstellern produziert:

- die Comptometer,
- die Monroe-Maschinen mit geteilter Staffelwalze,
- die Marchant-Modelle mit zunächst Stellsegmenten und später Proportionalrädern und
- die Friden-Modelle mit Staffelwalzen.

Es ist bemerkenswert, dass jeder Hersteller von Vierspeziesmaschinen auf ein eigenes Maschinensystem setzte.

Die Produktionsmengen waren gewaltig. Aus dem Jahr 1951 sind folgende Zahlen für die Produktion von Rechenmaschinen in den USA überliefert:

- Burroughs beschäftigte ca. 14.000 Menschen in fünf Fabriken,
- Victor stellte 20.000 Maschinen im Monat her und
- Monroe behauptete, weltweit alle vier Minuten eine Rechenmaschine zu verkaufen.

### 8.6.1 Comptometer

Der Comptometer wurde im Jahr 1887 von *Dorr Eugene Felt* (Abb. 8.21) erfunden. Er wurde am 18. März 1862 in Beloit, Rock County, Wisconsin, geboren. Im Jahr 1891 heiratete er Agnes McNulty, mit der er vier Kinder hatte. Er starb am 7. August 1930 in Chicago.


**Abb. 8.21** Dorr Eugene Felt

Im Jahr 1884 begann er mit der Konstruktion einer neuen Rechenmaschine. Der Prototyp war 1885/86 betriebsbereit. Es war die erste mechanische Rechenmaschine, die ausschließlich durch das Drücken von Tasten bedient wurde. Jede Dezimalstelle hatte eine Reihe von 9 Tasten mit den Werten von 1 bis 9. Obwohl der Comptometer hauptsächlich zur Addition und Subtraktion konstruiert war, beherrschte er auch die anderen Grundrechenarten. Alle Dezimalstellen der zu verarbeitenden Zahlen konnten gleichzeitig oder nacheinander eingegeben werden. Durch die gleichzeitige Eingabe konnten die Zahlen im Vergleich zur sequenziellen Eingabe bei heutigen Taschenrechnern wesentlich schneller eingegeben werden.

Da ihm die eigenen Mittel zur Produktion fehlten, schloss er am 28. November 1887 mit dem Geschäftsmann *Robert Tarrant* einen Kooperationsvertrag ab. In diesem Jahr wurden ca. sieben Maschinen hergestellt. Von beiden wurde am 25. Januar 1889 die *Felt & Tarrant Manufacturing Company* gegründet. Der Original-Prototyp und die erste verkaufte Maschine gehören heute zur Sammlung der Simpsonian Institution, USA (Abb. 8.22, 8.23). Gebaut wurden Comptometer-Modelle bis in die Mitte der 1970er-Jahre, wobei sie laufend verbessert wurden. In einigen Bereichen waren Comptometer noch bis in die 1990er-Jahre in Benutzung.

**Abb. 8.23** Comptometer von 1887

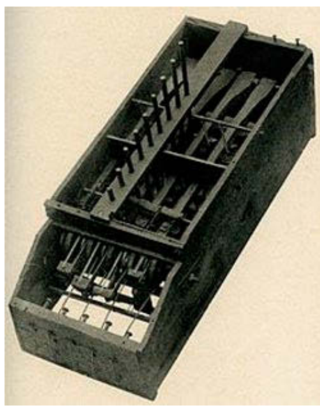


**Abb. 8.22** Der Original-Prototyp

Am 11. Juni 1889 wurde Felt ein Patent über einen *Comptographen* erteilt. Es war ein Comptometer mit zusätzlicher Druckeinrichtung. Im Jahre 1902 gründeten Felt und Tarrant eine weitere Firma. Die Anteile wurden so aufgeteilt, dass beide an je einer Firma die Mehrheit von 51 % besaßen. Felt hielt die 51 % bei der Felt & Tarrant Manufacturing Company, während Tarrant 51 % von der neuen Firma *Comptograph Company* übernahm. Mit Beginn des Ersten Weltkriegs wurden die beiden Firmen wieder zusammengelegt. Alleine von dem 1915 erschienenen Modell F wurden in den ersten fünf Jahren mehr als 42.000 Exemplare produziert. Anfang der 1950er-Jahre wurde die Firma von der *Victor Adding Machine Company* übernommen.

### 8.6.2 Burroughs

*William Seward Burroughs I.* entwickelte in St. Louis, USA, eine eigene Addiemaschine, für die er 1885 ein Patent erhielt. Zusammen mit *Thomas Metcalfe*, *R. M. Scruggs*, und *W. C. Metcalfe* gründete er am 20. Januar 1886 die *American Arithmometer Company.* Ihr erster Präsident wurde W. C. Metcalfe und W. S. Burrougs wurde ihr Vizepräsident. Die Firma produzierte zunächst nur ein Modell, welches sie für 475 $ verkaufte. Im Jahr 1895 wurden bereits 184 Maschinen produziert.


**Abb. 8.24** Das Fabrikgelände in St. Louis 1903

Nach dem Tod von Burroughs am 14. September 1898 wurde im Jahr 1902 *J. E. Boyer* neuer Präsident der Gesellschaft. Er verlegte den Firmensitz im Jahr 1904 nach Detroit. Alle Angestellten wurden zusammen mit ihren Familien an einem einzigen Tag mit einem Sonderzug von St. Louis nach Detroit überführt (Abb. 8.24). Der Firmenname wurde in *Burrougs Adding Machine Company* geändert.

In den folgenden Jahren entwickelte sich die Firma zu dem führenden Hersteller von Addiermaschinen weltweit. Im Jahr 1928 entstand die erste Addiermaschine mit elektrischem Antrieb. Seit den 1950er-Jahren wurde die Firma auch ein führender Hersteller von elektronischen Rechenmaschinen und Computern.

### 8.6.3 Marchant

*Rodney* und *Alfred Marchant* begannen im Jahr 1910 in Oakland, Kalifornien, mit der Rechenmaschinenherstellung. Die Brüder Marchant haben sich zunächst nicht mit der mühsamen Entwicklung eines neuen Schaltsystems aufgehalten. Es muss ihnen daran gelegen gewesen sein, eine gut verkäufliche und relativ schnell herstellbare Rechenmaschine zu fertigen und auf den Markt zu bringen. Sie übernahmen daher als Basis das wohlbekannte Sprossenradsystem. Die erste Fertigung erfolgte in einem verlassenen Schlachterladen in der Market Street. Die erste Maschine trug den Namen „Marchant Standard“. Der erste Kunde war die „The Mountain Copper Comp. of San Francisco“.

Die Firma expandierte und im Jahr 1913 konnten neue Räume in Oakland bezogen werden. Die Firma nannte sich von diesem Zeitpunkt an „Marchant Calculating Machine Company“. Im Jahr 1915 präsentierte sie auf der Panama-Pacific-International-Exposition in San Francisco die erste amerikanische Rechenmaschine mit elektrischem Antrieb (Abb. 8.25).

**Abb. 8.26** C. M. Friden

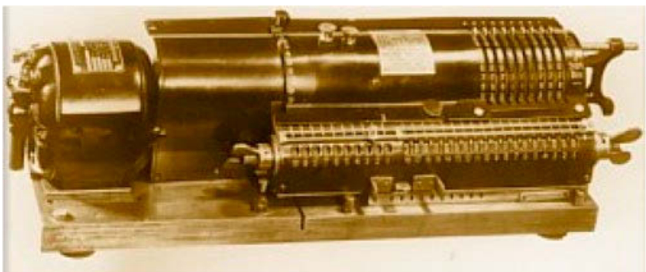


**Abb. 8.25** Erste amerikanische Rechenmaschine mit Elektroantrieb

Chef der Konstruktionsabteilung war damals der Schwede *C. M. Friden* (1891–1945) (Abb. 8.26). Friden war 1913 zunächst für die schwedische Firma, für die er arbeitete, nach London gereist und von dort weiter nach Australien.

Nach Ausbruch des Ersten Weltkriegs reiste er in die USA und trat in die Firma der Marchant-Brüder ein. Unter seiner Leitung wurde im Jahr 1921 für ein neues Schaltsystem eine Patentanmeldung an das US-Patentamt eingereicht. Anschließend baute Marchant ausschließlich Maschinen mit diesem neuen Stellsegmentsystem. Friden verfieß die Firma im Jahr 1934 und gründete eine eigene Firma zur Herstellung von Rechenmaschinen. Die Gründung erfolgte zusammen mit den Partnern Walter S. Johnson, Charles T. Gruenhagen, J. B. Lewis und C. A. Webster.

Im Jahr 1929 trat *H. T .Avery* als Chef des Konstruktionsbüros in den Dienst der Marchant Calculators Inc. Mit den erfahrenen Mitarbeitern aus Konstruktion und Versuch wurde das von ihm erdachte Schaltprinzip „Proportional-Zahnradgetriebe“ (*Proportional Gear Actuator*) ausgearbeitet und später als Patent anerkannt (Patent-Nr. 2.229.630 United States Patent Office). Im Jahr 1933 kamen die ersten neuen Maschinen aus der Montage. Die beiden hervorstechenden Eigenschaften dieser Rechenautomaten waren ein geringes Arbeitsgeräusch und eine hohe Arbeitsgeschwindigkeit (1300 U/min). Daher wurde sie unter dem Namen „Silent Speed“ verkauft.

Während nach dem Zweiten Weltkrieg die Produktion zunächst wieder anstieg (Umsatz 1956: 27,8 Millionen $), verpasste die Firma anschließend den Einstieg in die Elektronik. Die Produktion wurde im Jahre 1973 eingestellt.

## 8.7 Die Entwicklung in Deutschland

### 8.7.1 Die Maschinen von Dietzschold und Burkhardt

*Curt Dietzschold* (1852–1922) 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 (nachweislich mindestens zwei), 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 Dietzscholdischen 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* (Abb. 8.27) mit dem Bau zweier neuer Maschinen. Interessanterweise war Burkhardt ein Studienfreund von Dietzschold und von diesem mit seiner Maschine vertraut gemacht.

**Abb. 8.27** Arthur Burkhardt

Arthur Burkhardt (1857–1918) gründete 1878 eine Werkstatt für Feinmechanik. Im Jahr 1880 heiratete A. Burkhardt Johanna Louise Lange, Tochter des bis heute berühmten Uhrenfabrikanten (Lange & Söhne) Adolf Ferdinand Lange.

Aus dieser Werkstatt entstand später die „Erste Deutsche Rechenmaschinenfabrik“ in Glashütte. Arthur Burkhardt gilt

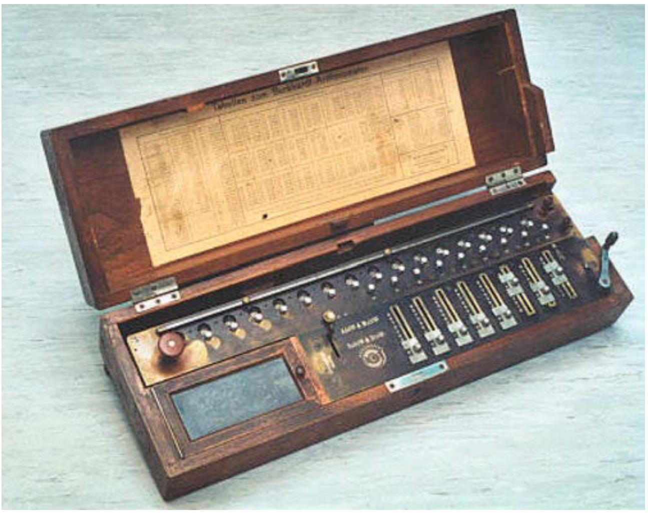


Abb. 8.28 Burkhardt-Arithmometer

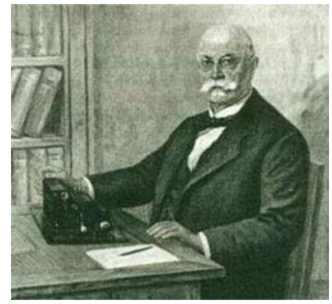
als Begründer der Rechenmaschinenfabrikation in Deutschland. Die ersten beiden Exemplare beinhalteten die Verbesserungsvorschläge von Engel, aber bereits 1879 konnte er in Berlin zwei weitere Maschinen vorstellen, die eigene Verbesserungen von ihm enthielten. Der serienmäßige Bau der Burkhardt-Arithmometer (Abb. 8.28) kam erst um 1885 in Gang, weil bis dahin kaum Nachfrage in Deutschland bestand. Im Jahr 1892 lobte der Geheimrat Prof. Reuleaux öffentlich in einer kleinen Broschüre das Burkhardt-Arithmometer und seine Vorteile gegenüber dem französischen Vorbild. Zu diesem Zeitpunkt waren gerade 500 Maschinen in Glashütte fertiggestellt worden. Die Produktion lief zunächst langsam an. Erst 1892 wurde die 500. Maschine hergestellt. Abnehmer waren vor allem Behörden und Versicherungen. Nach dem Tod von Arthur Burkhardt im Jahr1918 wurde sein Sohn Erich Burkhardt neuer Inhaber.

Drei Mitarbeiter von Arthur Burkhardt – Schumann, Zeibig und Staßberger – gründeten 1895 in Glashütte ein Konkurrenzunternehmen, welches die Staffelwalzenmaschine *Saxonia* herstellte. Beide Firmen schlossen sich 1920 zu den „Vereinigten Glashütter Rechenmaschinenfabriken, Tachometer und Feinmechanische Werke“ zusammen. Dieses Unternehmen ging in der Weltwirtschaftskrise 1929 in Konkurs.

### 8.7.2 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 1892 in Hamburg zum Weitererwerb an. Der einzige Interessent war der Ingenieur Franz Trinks (Abb. 8.29) von der „Nähmaschinenfabrik Grimme, Natalis & Co.“ aus Braunschweig. Er sah hier eine Möglichkeit, die angeschlagene Firma zu sanieren und setzte gegen internen Widerstand durch, dass die Patente und Lizenzen erworben wurden.

Abb. 8.29 Franz Trinks



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 vorangetrieben. 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.

Am 1. August 1883 war der Ingenieur Franz Trinks (1852–1931) in die Braunschweiger Firma Grimme, Natalis & Co (GNC) als Betriebsdirektor eingetreten, die zu dieser Zeit noch eine Nähmaschinenfabrik war.

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.

Am 1. April 1884 wurde er neben Albert Natalis persönlich haftender Gesellschafter. Trinks erfand im Jahr 1892 die „Trinks-Arythmotyp“, die als erste schreibende Rechenmaschine der Welt gilt. Durch diese Erfindung wuchs die Firma unter dem Namen „Brunsviga“ zur größten europäischen Rechenmaschinenfabrik. Im Jahre 1922 wurde Franz Trinks von der TH Braunschweig zum Doktor ehrenhalber (Dr.-Ing. E.h.) ernannt. Im Jahr 1926 ging Trinks in den Ruhestand.

### 8.7.3 Die Hamann-Maschinen

Ein weiterer bedeutender deutscher Konstrukteur mechanischer Rechenmaschinen war der im Jahr 1870 im Oldenburgischen Hammelwarden geborene *Christel Hamann*

(Abb. 8.30). Als 26-Jähriger gründete er eine eigene Firma, die mechanische Geräte herstellte.

**Abb. 8.30** Christel Hamann

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 Jahr 1900 präsentierte er sie unter dem Namen „Gauß" (Abb. 8.31). 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 Liebenwerda unter dem Namen „Mercedes". Insgesamt wurden ungefähr 1000 Exemplare hergestellt.

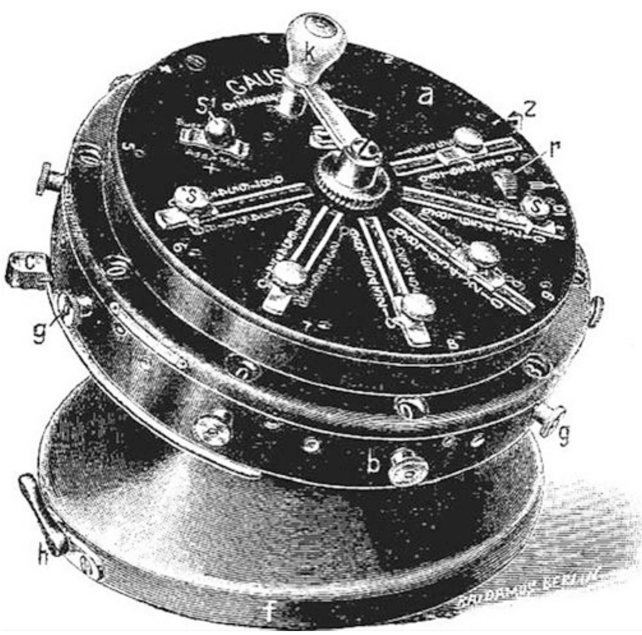



**Abb. 8.31** Die „Gauß"

Mit ihren 12,5 cm Durchmesser wurde sie in der Hand gehalten oder auf einem kleinen Sockel betrieben. Heute wirkt sie wie eine Vorgängerin der „Curta".

In den Jahren 1902 und 1903 entwickelte Hamann ein neues Schaltelement, welches 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 des Proportionalhebels aufbauend entstand 1903 auch das Versuchsmuster einer großen Vierspeziesmaschine. Ihren Einsatz fand diese Maschine in einem Bankhaus. Danach wurde sie über drei Jahrzehnte lang 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 Zeit lang 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.

### 8.7.4 Die Archimedes-Maschinen

In der „Ersten Deutschen Rechenmaschinenfabrik" von Artur Burkhardt lernte auch ab 1895/96 *Reinhold Pöthig* (1877–1955) (Abb. 8.32).

**Abb. 8.32** Reinhold Pöthig

**Abb. 8.33** Hans Sabielny

Am 5.10.1899 trat er als Teilhaber in Constantin Fischers Werkstatt für Präzisionsuhrmacherei und Feinmechanik in Glashütte ein (ab dann: „Fischer & Pöthig“) und wurde am 11.4.1900 ihr Alleininhaber. Ab 1906 fertigte er Rechenmaschinen, die alle den Namen „Archimedes“ trugen. Im Jahre 1912 benannte er seine Firma in „Glashütter Rechenmaschinenfabrik Archimedes, Reinhold Pöthig“ um.

Das erste Modell, die „Archimedes A“, war ihrem Vorbild „Burkhardt“ optisch und technisch sehr ähnlich. Das Nachfolgermodell, „Archimedes B“, erhielt als erste Staffelwalzenmaschine der Welt einen durchgehenden Zehnerübertrag für das Umdrehungswerk. Seine weiteren Konstruktionen zeichneten sich dadurch aus, dass sie im Hinblick auf moderne Fertigungsmethoden konstruiert waren.

Nach dem Ersten Weltkrieg geriet die Firma zunächst in Schwierigkeiten. Die Rettung kam durch *Hans Sabielny* (1882–1965) (Abb. 8.33).

Dieser hatte schon 1909 eine kleine amerikanische Zahnstangen-Addiermaschine umkonstruiert und unter dem eigenen Warenzeichen „Comptatar“ erfolgreich verkauft. Viele Jahre lang wurde sie zunächst bei „Schubert & Satzer“ in Chemnitz produziert, aber ab 1922 stellte Sabielny diese Maschinen in Dresden selbst her. Hans Sabielny übernahm ab dem Jahr 1920 den Vertrieb der „Archimedes“-Maschinen in Deutschland. Später übernahm er auch über seine Firma den Weltvertrieb der „Archimedes“-Maschinen. Da er ein guter Vertreter war und gleichzeitig für eine Reihe von technologischen Verbesserungen sorgte, stieg der Absatz wieder an.

Sabielny war so stolz auf seine Leistungen, dass er etwa ab 1927 – zunächst nur in seiner Werbung – einen neuen Schriftzug entwickelte, der versteckt auf ihn als neuen Konstrukteur hinwies: „ArchimedeS“. Dieses große „S“ war seinem eignen Firmenlogo entlehnt, in dem sich die Initialen H und S erkennen lassen. Wenig später erschien diese Archimedes-Schreibweise auch auf den Glashütter Maschinen und wurde schnell zu einem Markenzeichen, das sich bis in die 1950er-Jahre hinein hielt.

Als es während der Weltwirtschaftskrise zwischen Sabielny und Pöthig zu Unstimmigkeiten kam, trennten sich die Wege. „Archimedes“ stand ohne Sabielnys Vertriebsnetz vor einem großen Problem.

Ab 1930 wurde *Ulrich Eichler*, Schwiegersohn des Firmeninhabers Pöthig, der neue Verkaufsleiter. Neuer Chefkonstrukteur wurde *Wilhelm Kiel*. Er trat 1936 in den Dienst der Firma. Er hatte zuvor bei Hugo Cordt in Leipzig an der Weiterentwicklung der ersten Vierspezies-Buchungsmaschine „Cordt-Triplex“ mitgewirkt und dann in Glashütte einige Jahre lang die Fertigung der „Cordt-Universal“ geleitet. Als diese Fertigung im Jahr 1936 an die Mauser-Werke verkauft wurde, blieb Kiel in Glashütte und übernahm bei Archimedes den Posten des Chefkonstrukteurs.

Nach dem Zweiten Weltkrieg wollte (oder konnte) Firmengründer Reinhold Pöthig mit 63 Jahren seine Heimatstadt nicht verlassen. Die Firma wurde enteignet und zum Teil demontiert. Etwa ab dem Jahr 1951 lief die Produktion von Archimedes-Rechnern in der DDR unter dem neuen Chefkonstrukteur Hänsgen wieder an. Viele Maschinen wurden für den Export hergestellt. Im Jahr 1960 verließ die letzte Archimedes-Staffelwalzenmaschine Glashütte.

Ulrich Eichler und Wilhelm Kiel hatten sich in den westlichen Teil Deutschlands abgesetzt und gründeten in Frankfurt die „Archimedes Glashütter Rechenmaschinenfabrik Reinhold Pöthig“. Für diese Firma meldeten sie mehrere Patente an, die Kiel während des Zweiten Weltkriegs entwickelt hatte.

Die Firma wurde jedoch nie aktiv, da beide als leitende Angestellte bei der Firma „Heinrich Diel, Metall-, Guss- und Presswerke“ tätig waren. Diese Firma begann im Jahr 1952 mit der Serienfertigung von Archimedes-Modellen. Im Jahr 1965 stellte Diehl die Produktion von Staffelwalzenmaschinen ein. Insgesamt wurden von den Archimedes-Modellen 42 Varianten und Typen in einer Gesamtzahl von ca. 85.000 Exemplaren gefertigt. Verkauft wurden sie in 27 Länder (Abb. 8.34).

**Abb. 8.34** Archimedes F Junior (1928)

### 8.7.5 Die Curta

*Curt Herzstark* (1902–988) 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,

Tab. 8.3 Die beiden Ausführungen der Curta im Überblick

| Modell | Jahr | Einstellwerk | Umdrehungszähler | Resultatwerk | Stückzahl |
|---|---|---|---|---|---|
| I | Ab 1947 | 8-stellig | 6-stellig | 11-stellig | 80.000 |
| II | Ab 1954 | 11-stellig | 8-stellig | 15-stellig | 60.000 |

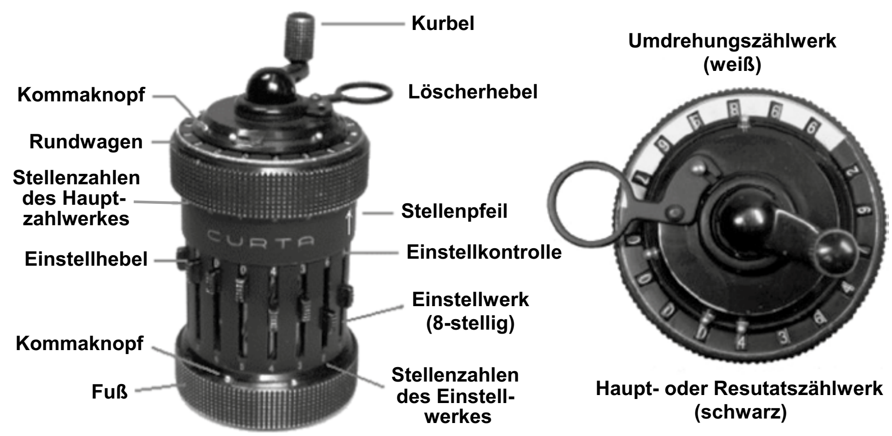



Abb. 8.36 Komponenten der Curta (Typ I)

siehe oben) gefertigt wurden. Überall vernahm er dabei den Kundenwunsch nach einer kleinen Taschenrechenmaschine.

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. Im Jahre 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 Resultatwerk addiert wird (Abb. 8.35).


Abb. 8.35 Verschiedene Curtas

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 II. von Liechtenstein. Er wollte die Industrieproduktion in seinem Land 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 (Tab. 8.3).

Die Curtas waren in den 1950er- und 1960er-Jahren an den deutschen Universitäten im Rahmen der mathematisch-naturwissenschaftlichen bzw. ingenieurswissenschaftlichen Ausbildung stark verbreitet. Der Autor selbst musste 1965 seine Übungen zur Vorlesung „Numerische 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. 8.36).

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 (Abb. 8.37).

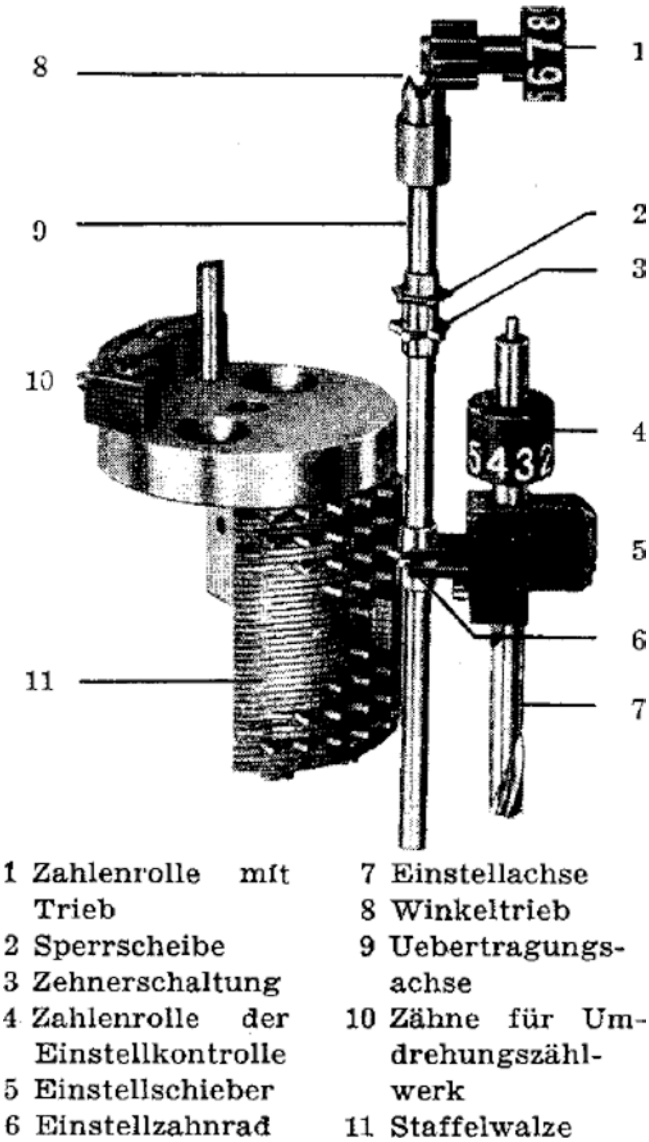



**Abb. 8.37** Blick in das Innere der Curta

**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 Fuß 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 Raste 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 durchnummeriert. 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 Zehnerübertrag 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 Hauptzählwerks 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 Umdrehungszählwerks angezeigt. Entsprechend den sechs Stellen des Umdrehungszählwerks 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 Löschrings 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 mithilfe 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.
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 mithilfe 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 mithilfe der Curta nacheinander notwendig sind, werden im Folgenden am Beispiel

$$54 \times 3 = 162$$

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 mithilfe 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

$$((\text{Dividend}) : (\text{Divisor}) = (\text{Quotient})).$$

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 jedes Mal unverzüglich eine subtraktive Kurbeldrehung zu vollziehen.) Sobald die Zahl 42 im Resultatzählwerk erschienen ist, kann im Umdrehungszählwerk der Quotient 6 abgelesen werden.

# Zeittabelle

## Rechnerentwicklung

| | |
|---|---|
| 82 v. Chr. | Räderwerk von Antikythera: Realisierung bekannter astronomischer Relationen und Perioden mithilfe von Zahnrädern. Enthält bereits ein Differenzialgetriebe 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 und analoger Rechengeräte für astronomische Berechnungen. |
| 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, Gleichkommaarithmetik, Wortlänge 22 Bit. Speichergröße 0,25 KB, davon 600 Bit Programmspeicher und 1400 Bit Datenspeicher, alle in Form von Relais. Rechengeschwindigkeit: ca. 3 s je Multiplikation oder Division (0,3 FLOP/s). |
| 1943–1944 | Bei Bell Telephone und IBM werden Relaisrechner entwickelt (Stibitz, Aiken). |
| 1946 | Eckert, Mauchly, Goldstine: ENIAC, erster vollelektronischer Rechner, ca. 17.000 Röhren und 1500 Relais. Geschwindigkeit ca. 300 FLOP/s (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/s. |
| 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. |

W.-M. Lippe, *Die Geschichte der Rechenautomaten*,
DOI 10.1007/978-3-642-36191-3, © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

### 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, jedoch kein Einsatz. |
| 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 primitiv-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. |

# Literaturverzeichnis


Alex, J. (2007). *Zur Entstehung des Computers – von Alfred Tarski zu Konrad Zuse*. Düsseldorf: VDI-Verlag.

Aquilina, L. (1984). *Die Megalithischen Tempel von Tarxien*. St. Venera, Malta: Alpaprint.

Ascher, M., & Ascher, R. (1997). *Mathematics of the Incas – Code of the Quipu*. New York: Dover.

Aspray, W. (Hrsg.). (1990). *Computing before Computers*. Ames: Iowa State University Press.

Augarten, S. (1985). *Bit by Bit – An Illustrated History of Computers*. London: Allen & Unwin.

Bach, H., & Rieb, J. P. (1992). *Die drei Astronomischen Uhren des Strassburger Münsters*. Schauenburg: Verlag Moritz.

Ballot, C. (1923). *L'introduction du machinisme dans l'industrie Francaise*. Paris: O. Marquandt.

Barnes, J. G. P. (1980). An Overview of Ada. *Software – Practice and Experience*, *10*, 851–887.

Bauer, F. L., & Wössner, H. (1972). The „Plankalkül" of Konrad Zuse: A forerunner of today's programming languages. *Communications of ACM*, *15*(7), 678–685.

Bauer, F. L. (1982). Helmut Schreyer – ein Pionier des „elektronischen" Rechnens. *Informatik Spektrum*, *Informatik Spektrum 01/1982; 5:185-188. Band 5, Heft 1*, 185–188.

Bauer, F. L. (1998). Historische Notizen – Zuse, Antike und der einschrittige Übertrag. *Informatik Spektrum*, *Vol. 21*, 279–281.

Bauer, F. L. (2007). *Kurze Geschichte der Informatik*. München: Wilhelm Fink Verlag.

Baxandall, D., & Pugh, J. (1975). *Calculating Machines and Instruments*. London: Catalogue of the Collections in the Science Museum.

Becker, W. (1995). Frühformen indisch-arabischer Ziffern in einer Handschrift des Soester Stadtarchivs. In Uni-GH Paderborn (Hrsg.), *Soester Beiträge zur Geschichte von Naturwissenschaft und Technik*

Berkeley, E. C. (1949). *Giant brains or machines that think*. New York: John Wiley.

Beutelsbacher, A. (2002). *Kryptologie*. Wiesbaden: Vieweg-Verlag.

Berlinski, D. (2001). *Zhe Advenr of the Algorithm: The Three-Hundred year Journey from an Idea to the Computer*. Carson/USA: Harvest Press.

Bischhoff, J. P. (1990). *Versuch einer Geschichte der Rechenautomaten*. München: Systhema Verlag.

Block, D. (2005). *Astronomie als Hobby*. München: Bassermann Verlag.

Booth, A. D., & Booth, K. H. V. (1953). *Automatic Digital Computers*. London: Butterworths Scientific Publications.

Booth, A. D., & Kathleen, H. V. (1956). *Automatic Digital Calculators* (2. Aufl.). London: Butterworths Scientific Publications.

Braun, T. (2010). Geschichte und Entwicklung des Internets. *Informatik-Spektrum*, *23*(2), 201–207.

Bruderer, H. (2011). Konrad Zuse und die ETH Zürich. *Informatik Spektrum*, *34*(6), 565–576.. Springer-Verlag

Bruderer, H. (2012). *Konrad Zuse und die Schweiz*. München: Oldenburg Verlag.

Buchmann, H. (2003). *Einführung in die Kryptographie*. Berlin/Heidelberg: Springer Verlag.

Byng BPDS *Dartmoor's Mysterious Megaliths*. Baron Jay Publishers,

Chapuis, A., & Droz, E. (1949). *Les automates, figure artificielles d'hommes et d'animeaux; histoire et technique*. Neuchatel: Griffon.

CERN (Hrsg). *Das World Wide Web*. http://public.web.cern.ch/Public/Content/Chapters/AboutCERN/Achievements/WorldWideWeb/WWW-de.html

Cortada, J. W. (1993). *Before the Computer*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Couffignal, L. (1933). *Les machines à calculer, leurs principes et leur évolution*. Paris: Gauthier-Villars.

Croarken, M. (1990). *Early Scientific Computing in Britain*. Oxford: Clarendon Press.

Curti, O. (1982). *Schiffsmodellbau* (6. Aufl.). Bielefeld: Verlag Delius, Klasing & Co..

Davis, M. (2000). *Engines of Logic: Mathematicians and the Origins of the Computer*. New York: W. W. Norton & Company Inc..

de Beauclair, W. (1968). *Rechnen mit Maschinen – Eine Bildgeschichte der Rechentechnik*. Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig, 2. Aufl, Springer Verlag,

De Solla Price, D. J. (1959). An Ancient Creek Computer. *Scintific American*, *1959*(Juni), 60–67.

Dietzschold, C. (1882). *Die Rechenmaschine*. Leipzig: Verlag Schlag.

Ditrich, K. (2000). *Die neue Astronomische Uhr in St. Marien in Lübeck*

Dotzler, B. (1996). *Babbages Rechen-Automaten – Ausgewählte Schriften*. Wien: Springer Verlag.

Dreyer, H. J., & Walter, A. (1946). *Entwicklung mathematischer Instrumente in Deutschland 1939–1945*. Darmstadt: Institut für Praktische Mathematik, TH Darmstadt. Bericht A5

Engineering Research Associates (1950). *High-Speed Computing Devices*. New York: McGraw-Hill Book Comp..

Favier, J., & Thomelin, R. (1963). *La mécanographie, machines à calculer etc*. La Chapelle-Montligeon: Les èditions de Montligeon.

Feldtkeller, E., & Goetzeler, H. (1994). *Pioniere der Wissenschaft bei Siemens – Beruflicher Werdegang und wichtigste Ergebnisse*. Erlangen: Publicis MCD Verlag.

Fischer, K. (1986). *Musik-Museum Burg Linz am Rhein*

Galle, A. (1912). *Mathematische Instrumente*. Leipzig: Teubner-Verlag.

Ganzhorn, W. (1984). *Die geschichtliche Entwicklung der Datenverarbeitung*. Stuttgart: IBM.

Gillies, J., & Cailliau, R. (2002). *Die Wiege des Web – Die spannende Geschichte des WWW* (1. Aufl.). Heidelberg: dpunkt-Verlag. Übers aus dem Amerikanischen von Angelika Shafir

Glade, H., & Manteuffel, K. (1973). *Am Anfang stand der Abacus*. Leipzig: Urania Verlag.

Goldstine, H. (1980). *The Computerfrom Pascal to von Neumann*. Princeton, NJ: Princeton Univ. Press.

Graef, M. (1973). *350 Jahre Rechenmaschinen*. München: Carl Hanser Verlag.

Gray, H. J. (1963). *Digital Computer Engineering*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.

Haas, G. (1961). *Grundlagen und Bauelemente elektronischer Ziffern-Rechenmaschinen*. Eindhoven/NL: Philips Technische Bibliothek.

Hafner, K., & Lyon, M. (2000). *ARPA Kadabra oder Die Geschichte des Internet*. Heidelberg: dpunkt-Verlag. Übers. aus dem Amerikanischen von Gabriele Herbst

Hahn, Ph. M. (1979). *Die Kornwestheimer Tagebücher*. Berlin: W. de Gruyter.

Hahn, Ph. M. (1983). *Die Echterdinger Tagebücher*. Berlin: W. de Gruyter.

Hahn, Ph. M. (1988–1994). *Werkstattbuch I, II, III, IV.* Württembergisches Landesmuseum, Stuttgart

Halacy, D. (1970). *Charles Babbage – father oft the computer*. New York: Crowell-Collier.

Hamann, Ch. (1932). *Über elektrische Rechenmaschinen* Privatdruck

Hartree, D. R. (1949). *Calculating Instruments and Machines*. Champaign, IL: Univ. of Illinois Press.

Hauben, R. (1999). *Über die Entstehung des Internet und die Rolle der Regierung.*http://www.heise.de/tp/r4/artikel/5/5409/1.html,

Haws, D. (1975). *Schiffe und Meere*. Bielefeld: Verlag Delius, Klasing & Co..

Heemskerk, J. N. H. (1995). *Neurocomputers for Brain Style Processing – Design, Implementation and Application*. Leiden: Leiden University. PhD thesis

Held, W. (2009). *Vom Anfang des Informationszeitalters in Deutschland: Geschichten der Zusammenarbeit der Rechenzentren in Forschung und Lehre*. Wissenschaftliche Schriften der WWU Münster. Münster: Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat.

Hennemann, A. (1954). *Die technische Entwicklung der Rechenmaschine*. Aachen: Basten.

Hochschule für Technik, Wirtschaft und Medien Offenburg (Hrsg). *Evonet: Internet History.*http://evonet.mi.fh-offenburg.de,

Hodge, A. (2000). *Alan Turing: The Enigma*. London: Walker Press.

Hoffmann, W. (1962). *Digitale Informationswandler*. Braunschweig: Vieweg Verlag.

Hollingdale, S. H., Tootill, G. C. *Electronic Computers.*Penguine Books, Harmondsworth

Hürter, T. (2006). *Sternenrechner aus dem Meer*. Heft 10, 2006: P. M..

Hyman, A. (1982). *Charles Babbage – Pioneer of the Computer*. Princeton, NJ: Princeton Univ. Press.

Ifrah, G. (1991). *Universalgeschichte der Zahlen*. Frankfurt: Campus Verlag.

Isaacson, W. (2011). *Steve Jobs*. London: Little Brown Book Group.

Joss, H. (1998). *Messrechnen: 350 Jahre Rechenschieber – Elemente der Mathematik*. Basel: Birkhäuser-Verlag.

Kage, M. P. (1988). *Chips – Die Technik unserer Zeit. IBM Enzyklopädie der Informationsverarbeitung*. Stuttgart: IBM Deutschland GmbH.

Kaplan, R. (2000). *Die Geschichte der Null*. Frankfurt: Campus-Verlag.

Karadeniz, B. (2007). *Geschichte des Internet.*http://www.netplanet.org/geschichte/

Kaufmann, H. (1974). *Die Ahnen des Computers*. Düsseldorf: Econ Verlag.

Kay, B. (1995). *Ans Ende der Welt und darüber hinaus – Das Abenteuer die Welt mit dem Schiff zu entdecken*. Köln: Bastei-Lübbe.

Kinkartz, St. (1998). *Die Entstehung des ARPANETund seiner Protokolle.*http://www.friedewald-family.de/Publikationen/ARPANET.PDF

Kippenhahn, R. (2003). *Verschlüsselte Botschaften : Geheimschrift, Enigma und Chipkarte* (3. Aufl.). Reinbeck: Rowohlt Taschenbuch Verlag.

Klamt, J. Ch. (1999). *Sternwarte und Museum im Zeitalter der Aufklärung – Der Mathematische Turm zu Kremsmünster (1749–1758)*. Mainz: Verlag Philipp von Zabern.

Knuth, D. E., & Pardo, L. T. (1976). *The Early Development of Programming Languages*. Computer Science Department: Stanford University. Report STAN-CS-76-562

Korte, B. (1981). *Zur Geschichte des maschinellen Rechnens*. Bonn: Bouvier.

Kühn, K., & Kleine, K. (Hrsg.). (2004). *Dennert & Pape 1872–1975. Rechenschieber und mathematisch-geodätische Instrumente* (S. 1872–1975). München/Germering: W. Zuckschwerdt Verlag GmbH.

Lavington, S. (1988). *The Pegasus Story – A history of a vintage British computer*. London: Science Museum.

Lavington, S. (1980). *Early British Computers*. Manchester: Manchester University Press.

Leavitt, D. (2006). *The Man Who Knew Too Much – Alan Turing and the Invention of the Computer*. New York: Atlas Books.

Lehni, R. (1997). *Die Astronomische Uhr*. Saint Ouen: Editions La Goelette.

Lenz, H. (2005). *Universalgeschichte der Zeit*. Wiesbaden: Matrix Verlag.

Lenz, K. (1932). *Die Rechen- und Buchungsmaschinen*. Leibzig: B.G. Teubner.

Les Editions du Cochet SA (1989). Au pays des Boites à musique et des automates. Sainte-Croix

Liebig, H. (2011). Konrad Zuse, Erfinder des Computers – im Vergleich mit Alan Turing und John von Neumann. *Informatik Spektrum*, *34*(6), 553–564.. Springer-Verlag

Ligonnière, R. (1987). *Préhistoire et Histoire des Ordinateurs*. Paris: Laffont.

Lippe, W. M. (2006). *Soft-Computing – Neuronale Netze, Fuzzy-Logic und Evolutionäre Algorithmen*. Berlin: Springer-Verlag.

Malone, M. S. (1996). *Der Mikroprozessor: Eine ungewöhnliche Biographie*. Berlin: Springer-Verlag.

Marchant, J. (2009). *Decoding the Heavens: Solving the Mystery of the World's First Computer*. Cambridge, Massachusetts: Da Capo Press.

Marguin, J. (1994). *Histoire des Instruments et machines à calculer*. Paris: Hermann Verlag.

Martin, E. (1925). *Die Rechenmaschine und ihre Entwicklungsgeschichte*. Pappenheim: Verlag Johann Meyer.

Martinek, Z., & Rehor, J. (1993). *Mechanische Uhren*. Berlin: Verlag Technik.

Menninger, K. (1979). *Zahlwort und Ziffer*. Göttingen: Vondenhoeck & Ruprecht.

Merzbach, U. (1977). *Georg Scheutz and the First Printing Calculator*. Smithsonian Studies in History and Technology Bd. 36. Washington: Smithsonian Institution Press.

Metropolis, N., Howlett, J., & Rota, G. C. (1980). *A History of Computing in the Twentieth Century*. New York: Academic Press.

Meyer zur Capellen, W. (1941). *Mathematische Instrumente*. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Becker und Erler.

Morrison Ph, & Morrison, E. (1962). *Charles Babbage and his Calculating Machines: Selected Writings*. New York: Dover Publ. Inc..

Munz, A. (1990). *Philipp Mathäus Hahn – Pfarrer und Mechanikus*. Sigmaringen: Jan Thorbecke Verlag.

Murray, F. J. (1961). *Digital Computers*. Mathematical Machines Bd. I. New York: Columbia Univ. Press.

Naumann, F. (2006). *Informatik in der DDR – eine Bilanz*. Lecture Notes in Informatics Bd. T-1. Bonn: Gesellschaft für Informatik.

Naumann, F. (2001). *Vom Abakus zum Internet – Die Geschichte der Informatik*. Darmstadt: Primus Verlag.

Naur, P., Randell, B. (Hrsg). (1968). *Software Engineering*. Report on a Conference held in Garmisch, Oct. 1968, sponsored by NATO

Nesper, E. (1922). *Radio-Schnell-Telegraphie*. Verlagsort: Springer Verlag.

von Neumann, J. (1958). *The Computer and the Brain*. London: New Haven.

Ollivier, G. (1972). *Musee National – Collection de Galéa*. Monaco: Edition Studio Bazzoli.

O'Nuallain, S. (1995). *The Search for Mind*. New York: Ablex Publishing.

O'Regan, G. (2008). *A Brief History of Computing*. London: Springer Verlag.

Pastore, G. (2010). *Il Planitario Di Archimede Ritrovato*. Rom: Eigenverlag.

Petzold, H. (1985). *Rechnende Maschinen – Eine historische Untersuchung ihrer Herstellung und Anwendung vom Kaiserreich bis zur Bundesrepublik*. Düsseldorf: VDI-Verlag.

Petzold, H. (1992). *Moderne Rechenkünstler – Die Industrialisierung der Rechentechnik*. Deutschland: Beck Verlag.

Pincock, S., & Frary, M. (2007). *Geheime Codes*. Bergisch Gladbach: Lübbe Verlag.

Plant, S. (1998). *Nullen und Einsen. Digitale Frauen und die Kultur der neuen Technologien*. Berlin: Berlin Verlag.

Price, D., & de Solla, J. (1975). *Gears from the Greeks: The Antikythera Mechanism – A Calendar Computer from ca. 80 BC*. New York: Science History Publications.

Puhle, M. (Hrsg.). (1992). *Von der Erfindung der Zahl zum Computer*. Magdeburg: Magdeburger Museen.

Randell, B. (1975). *The Origins of Digital Computers*. Berlin: Springer-Verlag.

Reese, M. (2002). *Neue Blicke auf alte Maschinen – Zur Geschichte mechanischer Rechenmaschinen*. Hamburg: Verlag Dr. Kovac.

Richards, R. K. (1957). *Digital Computer Components*. Princeton: Van Nostrand Verlag.

Rode, H., & Hansen, K. H. (1992). *Die Erfindung der universellen Maschine*. Stuttgart: Metzler.

Rojas, R. (Hrsg.). (1998). *Die Rechenmaschinen von Konrad Zuse*. Berlin: Springer-Verlag.

Schneier, B. (1996). *Angewandte Kryptographie*. New York: Wiley.

Schröter, W. (2004). *Wikinger in Amerika.* Magazin für Amerikanistik-Zeitschrift für amerikanische Geschichte, Verlag für Amerikanistik, H 2: 59–62

Seck, F. (Hrsg.). (1978). *Wilhelm Schickard (1592–1635) – Astronom, Geograph, Orientalist, Erfinder der Rechenmaschine* (S. 1592–1635). Tübingen: Verlag J.C.B. Mohr.

Seck, F. (Hrsg.). (1995). *Zum 400. Geburtstag von Wilhelm Schickard*. Sigmaringen: Jan Thorbecke Verlag. Zweites Tübinger Schickard-Symposion vom 25. bis 27. Juni 1992

Siemens (1997). *150 Jahre Siemens*

Singh, S. (2001). *Codes – Die Kunst der Verschlüsselung – Die Geschichte/Die Geheimnisse/Die Tricks*. München: Hanser-Verlag.

Smith, D. E. (1923). *History of Mathematics*. New York: Dover Publications.

Steinbuch, K. (1967). *Taschenbuch der Nachrichtenverarbeitung*. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.

Stifler, W. W. (1950). *High-speed computing devices*. New York: McGraw-Hill.

Swade, D. (1991). *Charles Babbage and his Calculating Engines*. London: Science Museum.

Taton, R. (1969). *Histoire du calcul*. Paris: Press universitaires de France.

Teuscher, C. (2004). *Alan Turing: Life and Legacy of a great Thinker*. Berlin: Springer Verlag.

Trask, M. (1971). *The story of cybernetics*. London: Studio Vista.

Tukey, J. W. (1958). The Teaching of Concrete Mathematics. *The American Mathematical Monthly*, *65*(1), 1–9.

Turk, J. A. V. (1921). *Origin of Modern Calculating Machines*. Chicago: Western Society of Engineers.

Tweedale, G. (1990). *Calculating Machines and Computers*. Shire Album Bd. 247. Princes Risborough, Bucks: Shire Publications.

Urmes, N. M. (1986). *Die Auswirkung der Informationstechnik*. IBM Enzyklopädie der Informationsverarbeitung. Stuttgart: IBM Deutschland GmbH.

Van Donselaar, P. J. (1967). *De Ontwikkeling van elektronische Rekenmachines in Nederland*. Amsterdam: Stichting Nederlands Studiecentrum.

Vogel, K. (1959). *Adam Riese– der deutsche Rechenmeister*. Abhandlungen und Berichte Bd 27 H 3, Deutsches Museum, München

Vollkommer, R. (2006). *Neue Sternstunden der Archäologie*. München: Verlag C. H. Beck.

von Firks, J. (1979). *Wikingerschiffe*. Rostock: VEB Hinstorff Verlag.

von Freitag-Löfinghoff, B. (1958). Über die erste Rechenmaschine. *Physikalische Blätter*, *14*, 361–365.

von Freytag Löringhoff, B. (1960). *Prof. Schickards Tübinger Rechenmaschine von 1623.* Kleine Tübinger Schriften, H 4

Vorndran, E. P. (1982). *Entwicklungsgeschichte des Computers*. Berlin,Offenbach: VDE Verlag.

Walze, A. (1999). *Die Welt der Rechenmaschinen*. Erfurt: Desotron Verlag.

Weinhart, K. (1996). *Informatik Führer durch die Ausstellung*. München: Deutsches Museum.

Wieschebrink, Th. *Die astronomische Uhr im Dom zu Münster.* Aschendorf Verlag, Münster

Wilhelm, R. (2000). *Informatics 10 Years Back, 10 Years Ahead*. Berlin/Heidelberg: Springer Verlag.

Wilkes, M. V. (1956). *Automatic calculating machines*. London: Methuen.

Willers, F. A. (1943). *Mathematische Instrumente*. München: Oldenbourg-Verlag.

Willers, F. A. (1951). *Mathematische Maschinen und Instrumente*. Berlin: Akademie-Verlag.

Williams, M. R. (1985). *A History of Computing Technology*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.

Williams, G. R. (1973). *Das große Buch der Schiffsmodelle – International*. Frankfurt am Main: Umschau Verlag.

Williams, M. R. (1983). From Napier to Lucas: The Use of Napier's Bones in Calculating Instruments. *Ann. History of Computing*, *5*, 279–286

Wittke, H. (1943). *Die Rechenmaschine und ihre Rechentechnik*. Berlin: Wichmann.

Wrixon, F. B. (2000). *Codes, Chiffren & Andere Geheimsprachen*. Köln: Könemann Verlagsgesellschaft mbH.

Zemanek, H. (1958). Mailüfterl – ein dezimaler Volltransistor-Rechenautomat. *Elektrotechnik und Maschinenbau*, *75*(75), S. 457.

Zemanek, H. (1996). Konrad Zuse (22.6.1910–18.12.1995): Ein Nachruf. *Informationstechnik und technische Informatik (ti + ti)*, *1*, 56–58.

Zuse, K. (1969). *Rechnender Raum*. Wiesbaden: Verlag Friedrich Vieweg u. Sohn.

Zuse, K. (1993). *Der Computer – mein Lebenswerk*. Berlin: Springer-Verlag.

# Stichwortverzeichnis


**A**
Abakus VII, 97, 98, 99, 101, 102, 103, 104
Abdschad 23
*Ackermann, Wilhelm Friedrich* 156
*Ada, Augusta King Byron, Countess of Lovelace* 103, 126, 150
*Adanson, Humphry* 126
*Aiken, Hovard Hathaway* 155
*al-Choresmi, Ibn Musa Djafar* 2
*al-Fazari, Ibrahim* 23
Algorithmus 2, 54
*Amenemhet* 18, 73
American Arithmometer Company 147
Analogrechner VII, 11, 57, 66
*Anaximandros von Milet* 73
Antikythera VI, VII, 3, 4, 5, 8, 10, 11, 12, 66, 74, 155
*Apian, Philipp* 61
*Apollonius* 67
Archimedes 5, 12, 30, 33, 34, 61, 113, 150, 151
Arithmomètre 143
*Aryabhata* 21
Astrolabium 5, 23, 62, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 76, 78
AUTARITH 137

**B**
*Babbage, Charles* 1, 31, 75, 136, 155, 156
*Babbage, Henry Prevost* 1, 31, 75, 136, 155, 156
*Backus, John Warner* 156
*Baldwin, Frank Stephen* 113, 139, 141
*Barros, Jao de* 60, 61
*Bauer, F. L.* 41, 129
*Bauer, Karl* 41, 129
*Bäuerle, Mathias* 113
*Beda* 25, 54
Beireis-Maschine 131
*Bell, Gordon* 155
*Bemer, Bob* 48, 53, 78, 90, 116, 127
*Biceps, Mathesis* 38
BINAC 155
Binärzahlen 38
*Blum, Manuel* 28
*Boernave, Jehan* 78
*Bollée, Léon* 111, 112, 139, 143
*Boyer, J. E.* 147
*Brahmagupta* 21, 23
Brahmi-Zahlschrift 20, 21
*Braucourt, Jean de Heinzelin de* 26
*Braun, Antonius* 35, 123, 128, 129, 130, 138, 140, 149
*Braun, Karl-Ferdinand* 35, 123, 128, 129, 130, 138, 140, 149
*Brendan* 56
*Briggs, Henry* 37, 38
Brunsviga 139, 149
Bull 135
*Bull, Fredrik Rosing* 135
*Bürger, Gottfried August* 27, 75, 108, 130
*Bürgi, Jobst* 34, 35, 36, 37
*Bürgi, Jost (Justus)* 34, 35, 36, 37
*Burkhardt, Arthur* 139, 148, 149, 150, 151
Burroughs 139, 146, 147
*Burroughs I, William Seward* 147
Burrougs Adding Machine Company 147

**C**
*Campbell* 65
CDC V
*Ceulen, Ludolph van* 31
Chichén Itzá 47
*Chuquet, Nicolas* 34
*Church, Alonso* 156
Codex Atlanticus 113, 114
Codex Madrid 113, 114
Comptatar 151
Comptograph 137, 147
Comptometer 146, 147
Computer V, 1, 2, 8, 12, 31, 32, 35, 114, 123, 147, 155, 156
Cordt-Triplex 151
Cordt-Universal 151
Coricancha 47, 48
Cortina AG 152
*Coëntre, L.* 57
*Cramer, Steve* 10
*Cros, Charles* 59
Curta 150, 151, 152, 153, 154

**D**
D1 17
*Dasypodius, Konrad* 35, 78, 80, 81, 82
Dasypodius-Uhr 80
*Davis, John* 61, 62
Davisquadrant 61, 62
Diehl 151
*Dietzschold , Curt* 139, 148
*Diophant von Alexandria* 33

**E**
*Eckert, John Presper* 155
*Edwards, Daniel* 27
*Edwards, D.B.G* 27
*Egli, W.* 143, 144, 145
*Eichler, Ulrich* 151
Einmaleinskörper 143
Electrologica X1 V
*English, William* 38
ENIAC 2, 155
*Ensign, Emory S.* 137
*Eratosthenes* 54
Erste Deutsche Rechenmaschinenfabrik 148
Euklid 29, 33, 81, 113, 137, 150
Excelsior 144

**F**
*Felt, Dorr Eugene* 137, 139, 146, 147
*Fibonacci* 23
*Fischer, F.* 53, 151
Fischer & Pöthig 151
*Fleuriais* 59
*Förstermann, Ernst W.* 43
*Fourier, Baptiste Joseph* 29
*Foxon, William* 59
*Fox, P. A.* 59
*Freytag Löringhoff, Bruno Baron v.* 116, 117, 120
*Friden, C. M* 146, 148

**G**
*Galle, Robert* 144
*Gang, Herman* 45, 47, 59, 79, 86, 116, 149
*Gasch, N.* 51
Gauß 29, 150
*Gauß, Carl Friedrich* 29, 150
GE 83, 129
*Geminos von Rhodos* 12
*Genaille, Henri* 109, 110, 111, 112
*Gerson, Levi ben* 59, 60, 61
*Gersten, Christian Ludwig* 130, 138
Gezeitenrechner 64
Glashütter Rechenmaschinenfabrik Archimedes, Reinhold Pöthig 151
*Glave, John* 10
Gnomon 73
*Gödel, Kurt* 156
*Godfrey, Thomas* 64
*Gonella, Tito* 139
*Goodwin, Edward J.* 32
Goseck 44
*Goto, Eiichi* 114
*Grillet, René* 123, 134, 138
Grimme, Natalis & Co. 113, 126, 149
*Groß, Hans* 1, 23, 40, 69, 74, 123, 127, 131
*Guatelli, Dr.* 114, 127
*Gunter, Edmund* 62
Gunter-Quadrant 62
Gwalior 27

**H**
*Habrecht, Isaac* 34, 81, 82
*Habrecht, Josias* 34, 81, 82
*Hadley, John* 64, 65
*Hahn, Philipp Matthäus* 76, 78, 79, 80, 83, 113, 123, 130, 131, 132, 133, 138, 143
*Hamann, Christel* 113, 141, 149, 150
*Hammer, Franz* 113, 116, 126
*Harriot, Thomas* 38
*Henry, Joseph* 18, 37, 49, 127, 135
*Herlin, Chrétien* 80, 81
*Hermann, Johann Martin* 76
*Hermes* 5, 146
*Herodot von Halikarnassos* 57
*Herr, Michael* VI, 18, 28, 43, 47, 49, 80, 115
*Herzstark, Curt* 151, 152
*Hilbert, David* 156
*Hipparchus* 67
*Hoff, Marcian E.* VI, 121
*Hollerith, Herman* 155
*Hooke, Robert* 64
*Hui* 31
*Huylebrouk, D.* 26

**I**
IBM 114, 127, 155
IFIP 1
Informatik V, 1, 2, 40, 51, 73, 156
Integrator 2
Ishango-Knochen 25, 26

**J**
*Jacquard, Joseph-Marie* 156
Jakobsstab 59, 60, 61, 65
*Jones, William* 31
*Jordan, F. W.* 33, 110
*Jordanus, Nemorius* 33
*Jun, Ma* 5, 13, 26, 41, 42, 43, 45, 51, 54, 59, 78, 82, 120, 147, 151

**K**
Kamal 61
*Kanada, Yasumasa* 32, 144
*Kant, Immanuel* 61, 71, 132
Kerbholz 25, 26, 27
Kharosthi-Zahlschrift 20, 21
*Kiel, Wilhelm* V, 57, 151
Kirchenrechner 78, 82, 84, 88, 90, 92, 94, 155
Klappsprossenrad 127
Kompass 36, 56, 58, 68
*Ktresibios von Alexandria* 74
*Kuo, Shen* 58
Kybernetik 1

**L**
*Lambert, Johann Heinrich* 31
*Langenstein, Heinrich von* 60
*Leibniz, Freiherr Gottfried Wilhelm von* VII, 38, 97, 109, 113, 116, 123, 124, 125, 126, 134, 136, 138, 140, 142, 155, 156
*Leonardo von Pisa* 23
*Lépine, Jean Antoine* 134, 135
*Leupold, Jakob* 123, 127, 128, 129, 130, 138
Liber Abaci 24
Liliput 152
*Lindemann, Ferdinand von* 31
Linienrechnen 104
Lochkarten 155

Lochstreifen V
Log 58, 59
Logarithmen 33, 34, 36, 37, 38, 97, 150
Logglas 74
Logleine 59, 74
Logrolle 59
Logscheit 74
Lot 18, 57, 58, 63, 129, 130
*Lucas, Edouard* 109, 112
*Lu, Chao* 32
*Lyon, Richard Francis* 75, 78

**M**
*Mackensen, Ludolf von* 115
Madas 145
Madas-Rechenmaschinenfabrik 145
*Maier, Lorenz* 137
*Marchant, Alfred* 146, 147, 148
Marchant Calculating Machine Company 147
*Marchant, Rodney* 146, 147, 148
Marchant Standard 147
*Maricourt, Petrus Peregrinus* 58
*Marshack, A.* 26
*Massey, Edward* 59
*Mästlin, Michael* 115
*Matthias, Friedrich* 117
*Mauchly, John* 155
*Meller, Harald* 49, 50
Mercedes 113, 137, 150
Mercedes Euklid Mod. 7 137
*Metcalfe, Robert M.* 147
*Metcalfe, Thomas* 147
*Mill, Henry* 6, 29, 49, 51, 84, 139, 143, 145, 146, 148
Millionär 139, 143, 145, 146
Mondzyklus 42, 90, 94
*Morland, Sir Samuel* 113, 123, 126, 127, 138
*Muhammad, al-Fazari ibn Ibrahim* 23
*Müller, Johann* 60, 123, 133, 138
*Müller, Johann Helfrich* 133
*Müller, Johannes* 60, 123, 133, 138
Multiplikationskörper 97, 113, 142, 143, 144, 145

**N**
*Naiera, Antonio* 62
*Napier, Baron John Napier of Merchiston* 34, 37, 38, 105, 107, 109, 113, 117, 118, 126, 134, 142
Nebra VI, 44, 48, 49, 50, 51
*Neckam, Alexander* 58
*Neumann, John von* 155, 156
Newgrange 45
*Newton, Sir Isaak* 64, 75, 123
Nocturlabium 63, 64
*Norman, Robert* 134

**O**
*Odhner, Willgodt Theorphil* 113, 139, 141, 144, 149
Öhrsonnenuhr 131
*O'Kelly, M. J.* 45
Oktant 64, 65
Olivetti 137
*Orden* 108
*Oresme, Nicole* 34
*Ott* 44, 143, 144

**P**
*Pacinoli, Luca* 34
Papyrus Moskau 18
Papyrus Rhind 18, 19, 20, 30
*Pascal, Blaise* VII, 97, 109, 113, 116, 118, 120, 121, 122, 124, 126, 134, 136, 138, 142, 143, 155
*Petrus Peregrinus de Maricourt* 58
*Philoponos, John* 67
Pi 23, 29, 30, 31, 32, 33, 38, 47, 48, 134, 135, 137
*Pingala* 38
*Pitts, Walter* 137
Plankalkül 156
*Platon* 29, 73, 74
*Plinius* 25, 61
Plus 150
*Polenius, Giovanni* 113, 127, 140
Portolane 57
*Pöthig, Reinhold* 150, 151
Proportionalhebelmaschine 140
Proportional-Zahnradgetriebe 148
Proportionalzirkel 36
*Prugner, Nicolaus* 80
*Ptolemy, Claudius* 67
*Pythagoras* 30, 31, 104

**Q**
Quipu 22, 23

**R**
Räderwerk von Antikythera VI, VII, 4, 5, 10, 11, 12, 66, 74, 155
*Ramus, Petrus* 61
Rechenbrett VII, 22, 27, 97, 103, 104
Rechenbuch 23, 103, 104
Rechenschieber 66, 97
Rechentuch 27, 103
Reflexionsinstrumente 64
Remington Rand 137
*Rich* 21, 22, 23, 44, 46, 56, 58, 61, 67, 68, 70, 71, 118, 125
*Riese, Adam* 103, 104, 150
Rigveda 43
*Rinche, Frank C.* 137
*Rudolff, Christoff* 34
*Rutishauser, Heinz* 156

**S**
*Sabielny, Hans* 151
Saxonia 149
*Schickard, Wilhelm* VII, 97, 109, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 120, 121, 124, 134, 138, 142, 155
*Schlosser, W.* 50, 51, 74
*Schönbichler, Carl* 110
*Schott, Caspar* 18, 37, 38, 107, 108, 109
*Schramm, Matthias* 117
Schubert & Satzer 151
*Schuster, Johann Christoph* 131, 133, 134, 138
*Schwilgué, Jean-Baptiste* 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 91, 92, 94, 96, 155
*Scruggs, M.* 147
*Sebokht, Severus* 67
*See, Kuno* 52, 54, 56, 57, 58, 60, 61, 64, 65, 69, 74, 83
SEL 1
Sextant 61, 64, 65, 66
*Shanks, William* 31
*Shen Kuo* 58

*Siemens, Werner von* V
Silent Speed 148
*Smith, J.W.* 65, 137
*Smith, Oberlin* 65, 137
*Solla Price, Derek del* 5, 8
Sonnenzyklus 76, 90, 91
Sprossenradmaschine 113, 129, 140, 141, 149
Stäbe von Genaille 109, 110, 111
Staffelwalzenmaschine 113, 123, 124, 125, 126, 133, 140, 145, 149, 151
*Staiger, Otto* 143
*Stais, Spyridon* 5
*Stanhope, Charles* 123, 135, 136, 138
*Steinbuch, Karl* 1
Stellsegmentmaschine 129
*Stibitz, Georg* 155
*Stiefel, Eduard* 34
*Stifel, Michael* 34, 37
*Stöffler, Johannes* 67, 68
Stonehenge 45, 46
*Sulbasutra* 21
*Synesius von Cyrene* 67

**T**
*Tarrant, Robert* 146, 147
Telefunken V
Tell Harmal 16
*Theon von Alexandria* 67
*Thomas, Charles Xavier* 34, 38, 64, 113, 123, 137, 138, 143, 144, 147, 148, 151
*Thomas, G.E. (Tommy)* 34, 38, 64, 113, 123, 137, 138, 143, 144, 147, 148, 151
*Tibbon, Profat* 67
Triangularinstrument 35, 36
Trinks-Arythmotyp 149
*Trinks, Franz* 149
*Turing, Alan* 156

**U**
Universal Accountant 137

**V**
*Vayringe, Philippe* 129, 130, 138
*Verea, Ramon* 142, 143
Vereinigten Glashütter Rechenmaschinenfabriken, Tachometer und Feinmechanische Werke 149
*Vinci, Leonardo da* 58, 113, 114, 132, 138
*Virasena* 33
*Vitruv* 67
*Vitruvius* 67
*Vlacq, Adriaen* 38
*Volk, Theo* 26, 28, 43, 45, 82

**W**
*Waldo, Clarence Abiathar* 32
*Walther, Alwin* 113
*Wertheimber, David Isaac* 141
*Wrench, John W.* 31
*Wright, Michael* 10, 12

**Y**
*Yu, Zhi* 47

**Z**
Z22 V
Zeitmessung 43, 67, 73, 74, 75
*Zuse, Konrad* V, VI, 155, 156