

Erna Padelt
**Mit dem Meßrad
um die Welt**



Erna Padelts

**Mit dem Meßrad
um die Welt**

Kleine Geschichte

von der

Kunst des Messens

Der Kinderbuchverlag Berlin

Illustrationen von Brigitte N. Kröning

ISBN 3-358-00375-2

Meßkunst, unser unentbehrlicher Helfer

Meßtechnik im Alltag

Die Uhr beherrscht unseren gesamten Tagesablauf. Jeden Morgen mahnt uns der Wecker, rechtzeitig aufzustehen und zur Schule oder zum Arbeitsplatz zu gehen. In der Schule werden Unterricht und Pausen nach der Uhr geregelt. Ähnlich ist es am Nachmittag zu Hause oder im Hort. Immerzu müssen wir die Uhr befragen, um nichts zu versäumen.

Auch in der Küche gibt es vieles zu messen, sei es das Wasser für den Kaffee, das Mehl, das Fett und den Zucker für den Kuchen. Hier sind Waage und Meßbecher unentbehrlich. Sogar die Thermometer der Backröhre und des Kühlschranks müssen abgelesen werden, damit nichts verdirbt. Noch wichtiger ist das Fieberthermometer. Es hilft uns bei Erkrankungen erkennen, ob es sich nur um eine leichte Unpäßlichkeit handelt oder um eine Erkrankung, bei der wir einen Arzt holen müssen. Weit mehr als im Haushalt benötigt man Meßgeräte in der Industrie und im Handel. Für Kraftfahrer sind Geschwindigkeitsmeßgeräte (Tachometer), Kilometerzähler und Füllstandsanzeiger des Kraftstofftanks wichtig. An der Tankstelle wird der Kraftstoff über einen Volumenzähler gezapft, der dem Tankwart die abgefüllte Menge und deren Preis anzeigt. Ebenso mißt man den Verbrauch von Stadtgas, elektrischer Energie und Wasser mit entsprechenden Zählern. Die Post erhebt für die Beförderung von Briefen und Paketen Gebühren entsprechend deren Masse, die sich mit eigens dazu bestimmten Waagen ermitteln läßt. Für Ferngespräche berechnet sie Gebühren nach Zeit und Entfernung (Tarifzone).

Bei Bastelarbeiten benötigen wir ebenfalls Meßgeräte: Winkelmesser, Lineal, Meßschieber und Gliedermaßstab,

der zuweilen noch Zollstock genannt wird, weil er früher einmal nach Zoll, einem alten Längenmaß, geteilt und beziffert war.

Beim Sport geht es ohne Meßgeräte schon gar nicht. Wir brauchen Stoppuhren, um Laufzeiten zu messen, Meßbänder um Sprung- und Wurfweiten, Maßstäbe, um Sprunghöhen zu bestimmen. Sogar die Masse einzelner Sportgeräte, zum Beispiel von Rennrodelschlitten und Hanteln, wird mittels Waagen kontrolliert. Manche Sportler, wie Rennreiter und Boxer, müssen vor dem Wettkampf auf die Waage steigen, damit man ihre Masse feststellen kann.

Jeder Einkauf ist mit direkten oder indirekten Messungen verknüpft. Wir kaufen Kleiderstoffe nach Metern, Nahrungs- und Genußmittel nach Kilogramm oder Litern oder deren Vielfachen und Teilen, zum Beispiel $\frac{1}{2}$ Liter Milch, 250 Gramm Butter, 5 Kilogramm Kartoffeln.

Die höchste Stufe des Messens beherrschen die Bezwingler des Kosmos. Bemannte und unbemannte Raumflugkörper sind mit einer Vielzahl von Meßgeräten ausgerüstet. Während des Fluges übermitteln diese Tausende von Meßwerten an die Bodenstationen, wo sie für eventuelle Korrekturen der Flugbahn maßgebend sind. Andere geben Auskunft über die Beschaffenheit des kosmischen Raumes und der Himmelskörper.

Von den vielfältigen Messungen wollen wir uns in diesem Büchlein nur mit den wichtigsten Größen der Mechanik beschäftigen, das sind Länge, Masse und Zeit. Sie sind zugleich Ausgangsgrößen für alle übrigen Größenarten der Mechanik, wie Fläche, Volumen, Geschwindigkeit und Beschleunigung. Außerdem hängen viele weitere Größen, beispielsweise der Elektrizität, des Lichtes, der Strahlung, der Akustik und der Temperatur, eng mit ihnen zusammen.

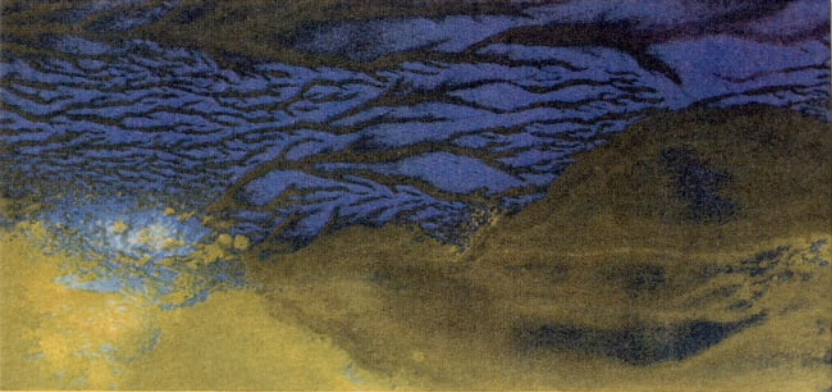
Wie die Menschen messen lernten

Ehe sich die Menschen Maße schufen, um bestimmte Eigenschaften von Körpern zu messen, was vor etwa 10 000 Jahren begann, kannten sie nur allgemeine Mengenbegriffe wie Armvoll, Handvoll, Bündel, Haufen. Dazu kamen wenig später Korb, Kanne, Schale und ähnliches. Alle diese Maße waren nicht einheitlich festgelegt oder untereinander vergleichbar. Dennoch reichten solche allgemeinen Maßbegriffe damals aus. Meist genügte es, wenn die Jagdbeute oder der Ertrag der gemeinsamen Beerenlese so verteilt wurden, daß die Angehörigen der Sippe bei der Verteilung reihum je ein Stück oder eine Handvoll bekamen, bis der Vorrat erschöpft war. Dazu brauchten die Menschen noch nicht einmal zählen zu können.

Das änderte sich, als die Menschen bemerkten, daß Nachbarsippen etwas besaßen, was sie selbst nicht hatten, ihnen aber begehrenswert erschien, zum Beispiel andere Haustiere oder andere Früchte. Der Tauschhandel begann. Zunächst tauschte man vermutlich Stück gegen Stück. Bald jedoch legte man den Dingen einen gewissen Wert bei. Damit jeder Tauschpartner zu seinem Recht kam, wurden bereits in der Urgesellschaft Beziehungen festgelegt, beispielsweise eine Handvoll Salz gegen einen Korb Korn, denn Salz war wesentlich seltener und darum wertvoller als Getreide.

Schon hier zeigte sich, daß die Handvoll sehr unterschiedlich war und von der Körperbeschaffenheit des einzelnen Menschen abhing. Um Streit zu vermeiden, brauchte man deshalb „neutrale“, von der körperlichen Verschiedenheit der Menschen unabhängige Maße.

Nach allem, was die Archäologen, die Altertumsforscher, bei Ausgrabungen über die Entwicklungsgeschichte der Menschheit erkundet haben, ist anzunehmen, daß die ersten Maße Volumenmaße waren. Vermutlich machten die Menschen schon damals einen Unterschied zwischen Maßen für



trockene Güter und solchen für Flüssigkeiten. Beeren, Feldfrüchte und Getreide aller Art maß man mit Körben und ähnlichen durchlässigen Behältnissen; Öl und Wein dagegen konnten nur mit undurchlässigen Gefäßen gemessen werden. Dafür standen zunächst nur Muschelschalen, Schädeldecken und Hörner von Tieren zur Verfügung, in tropischen Gegenden meist auch noch Schalen von Früchten, zum Beispiel von Kokosnüssen. Ihnen allen haftete der gleiche Fehler an, ihr Fassungsvermögen war unterschiedlich.

Die Entwicklung des Messens und der Meßgeräte vollzog sich ebenso wie die kulturelle Entwicklung in engem Zusammenhang mit der jeweiligen Gesellschaftsordnung und in Abhängigkeit von den Bedürfnissen der Gesellschaft. In der Urgesellschaft begannen die ersten großen Arbeitsteilungen, zuerst in Ackerbauern und Viehzüchtern, später kamen dazu noch Handwerker und Händler. Erst zu dieser Zeit entstand ein echter Bedarf an allgemeingültigen Meßmitteln. Namentlich brauchten Baumeister und Händler gleichbleibende Maße, die einen, um ihre Mauern gleichmäßig hoch und dick zu bauen, die anderen, um gleiche Mengen abgeben oder annehmen zu können. Dieses Bedürfnis verstärkte sich, als Könige und Priesterfürsten den Landbesitz der Bauern vermessen ließen, um Abgaben und Steuern entsprechend der bebauten Ackerfläche zu erheben. Je weiter sich Landwirtschaft, Handwerk und Handel entwickelten, desto größer wurde das Verlangen nach besseren und genaueren Meßgeräten. Auch die aufkeimende Wissenschaft, besonders die Astronomie, benötigte Meßgeräte und Meßverfahren.

Andererseits übten die Erfindungen der Menschen, die unsere Welt verändern halfen, zu allen Zeiten einen ent-

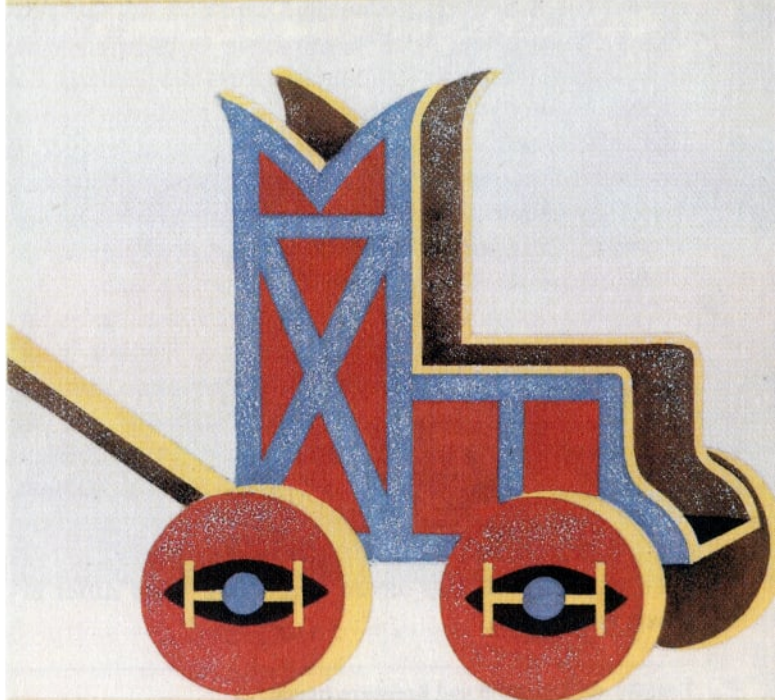
scheidenden Einfluß auch auf das Meßwesen aus. So war die Fertigung von undurchlässigen Volumenmaßen erst möglich, nachdem unsere Vorfahren gelernt hatten, das Feuer zu beherrschen und zielgerichtet zu nutzen. Das war nämlich die Voraussetzung für die Anwendung der frühen Erfindungen der Menschheit: der Töpferscheibe und des Brennens von Ton sowie des Schmelzens von Metallen aus Erz. Damit konnte man nach Bedarf Schüsseln und Töpfe sowie Volumenmeßgeräte jeder Form und Größe, später auch Ziegel für den Hausbau fertigen. Das aus Erz und erzhaltigem Gestein erschmolzene Metall erwies sich als sehr nützlich zum Herstellen besserer Waffen und Ackergeräte, zum Beispiel von Sicheln und Pflügen; man schuf daraus aber auch Längenmaßstäbe. Später kamen noch Hebel für Waagen verschiedener Art dazu, wie wir sie aus zahlreichen bildlichen Darstellungen kennen.

Nicht weniger bedeutungsvoll war die Erfindung des Rades, die wir etwa 3500 vor unserer Zeitrechnung ansetzen müssen. Sein Vorläufer, die Rolle, diente schon frühzeitig zum Heben großer Lasten, wie etwa beim Bau der Pyramiden in Ägypten. Später nutzte man das Rad zum Bau schneller Transportmittel. Das Zahnrad wurde erst ungefähr 3000 Jahre nach dem Rad erfunden.

Mehr noch beeinflusste die Erfindung des Hebels den technischen Fortschritt. Zuerst verwendete man ihn wahrscheinlich nur als Tragstock, wie er verschiedentlich noch heute in Ostasien benutzt wird. Später diente er als unentbehrlicher Teil vieler Geräte, wie der Hebezeuge und insbesondere der Hebelwaagen.

Eine weitere Voraussetzung für das Messen und die Angabe von Meßergebnissen war das Vorhandensein von Zahlen-

Älteste Erfindungen: Töpferscheibe (oben) und Wagenrad (unten)

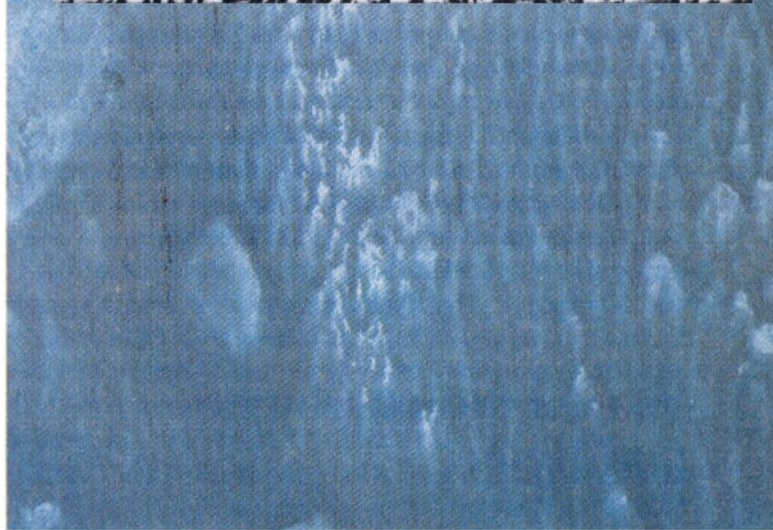


und Schriftzeichen. Beide haben ihren Ursprung im Gebiet der großen Flüsse Euphrat und Tigris, auch als Mesopotamien oder Zweistromland bekannt, sowie des Nils in Ägypten und des Indus in Indien. Mesopotamiens wurde im Altertum von Sumerern, Akkadern, Babyloniern und Assyern bewohnt.

Im 4. Jahrtausend vor unserer Zeitrechnung entstand hier in Vorderasien aus einer wesentlich älteren Bilderschrift die älteste bekannte Schreibschrift, die Keilschrift. Die Anfänge des ältesten, wie das unsere auf dem Stellenwert beruhenden Zahlensystems zeichneten sich bereits etwa 1000 Jahre zuvor ab. Das läßt vermuten, daß man schon wesentlich früher begonnen hatte zu zählen. Dieses Zahlensystem war auf der Zahl 60 aufgebaut und wird deshalb Sexagesimalsystem genannt. Noch gegenwärtig erinnern uns die Teilung der Stunde in 60 Minuten und die Teilung des Kreises in 6 mal 60 Grad oder 360 Grad an dieses System. Das am Euphrat gelegene Babylon war zudem lange Zeit hindurch Mittelpunkt der Baukunst der Antike. Zeugnisse davon bewundern wir heute im Pergamonmuseum in Berlin, besonders Reste alter Tempelbauten und der Prozessionsstraße mit riesigen Mosaiken aus glasierten Ziegeln.

Das zweite Zentrum der kulturellen Entwicklung im Altertum war Ägypten, das Land beiderseits des Nils. Auch dort entstanden eine Bilderschrift und Zahlen sowie zahlreiche bedeutende Bauten, von denen die Pyramiden und die Statuen der Sphinx am bekanntesten sind. Unser Zahlensystem, das Dezimalsystem, das auf der Zahl 10 aufbaut, stammt aller Wahrscheinlichkeit nach aus dem Stromland des Indus und des Brahmaputra, wo auch später die Null oder sifr entstand. Das davon abgeleitete Wort Ziffer erinnert noch daran.

Tontafel mit Keilschrift und Kreisberechnung



Um eine Vorstellung alter Maße und ihrer Abmessungen zu vermitteln, sind in diesem Büchlein deren Zahlenwerte in unseren heutigen Maßeinheiten angegeben. Wenn hier also Längen in Kilometer, Meter, Zentimeter und Millimeter, Massen in Tonne, Kilogramm und Gramm angegeben werden, so sind vor allem die Bruchteile, wie Milligramm, im Altertum nicht gemessen worden, denn einerseits kannte man so kleine Teile noch gar nicht, und andererseits verfügte man damals nicht über Meßgeräte, die so geringe Teile hätten messen können. Alle Umrechnungen sind rechnerisch entstanden und deshalb stets als „Ungefährmaße“ zu betrachten.

Zusammen mit den ersten Maßverkörperungen entstanden fast überall auch solche, die besser und exakter gearbeitet waren als die Maße des täglichen Gebrauchs. Solche genaueren Maße wurden im Altertum meist in Tempeln aufbewahrt. Dort glaubte man sie unter göttlicher Obhut, insbesondere da, wo man Gottheiten ihre Entstehung zu verdanken wähnte. Häufig galten diese Maße auch als „heilig“. Heute nennen wir sie Normale; sie dienen zum Vergleich mit Maßen geringerer Genauigkeit, haben also eine ähnliche Aufgabe wie schon lange vor unserer Zeitrechnung.

Von der Steinwurfweite zum Meter

Es begann mit Weitenschätzungen

Für die Menschen der Urgesellschaft, die mit ihrer Horde gemeinsam Pflanzen und Früchte sammelten oder auf die Jagd gingen, bestand kaum Veranlassung, Längenmessun-

gen vorzunehmen. Man zog am Morgen gemeinsam aus, suchte Eßbares und kümmerte sich nicht um Entfernungen. Erst als die Menschen begannen, seßhaft zu werden und einfache handwerkliche Arbeiten zu verrichten, zu spinnen und zu weben, ergab sich hin und wieder die Notwendigkeit, Längen zu messen, beispielsweise die Breite des Webstuhls festzustellen oder die Länge eines Gewebes zu prüfen. Die Aufnahme von Beziehungen zu Nachbarsippen machte schließlich auch Entfernungsangaben notwendig.

Nachdem man gelernt hatte, Tiere mit Steinen oder Speeren zu erlegen, konnten Steinwurf- und Speerwurfweite als Entfernungsmaße gewertet werden. Später, als auch Pfeil und Bogen benutzt wurden, kam die Bogenschußweite dazu. Trotzdem waren solche Angaben ziemlich unbestimmt, da sie zumeist von der Geschicklichkeit und dem Leistungsvermögen des einzelnen Menschen abhingen. Selbst das Abschreiten einer Entfernung und das Zählen von Schritten war keine annähernd genaue Messung, solange es für die Schrittweite kein unmittelbares Vergleichsmaß gab. Noch in unseren Tagen spricht man von einer Wegstunde und meint damit die Strecke, die ein Mensch während einer Stunde zurücklegen kann. Für einen guten Fußgänger sind das 6 Kilometer. Nicht zufällig gab der Schalksnarr Till Eulenspiegel einem Wanderer, der ihn fragte, wie lange er zum nächsten Ort zu laufen hätte, zunächst keine Antwort. Er wartete ab, bis sich der Wanderer in Bewegung gesetzt hatte und schätzte nach dessen Tempo die Zeit, die er brauchen würde.

In Süd- und Ostasien legte man der Entfernungsschätzung häufig das Hörvermögen zugrunde. Auf Kalimantan (Borneo) war der Hühnerschrei, in Indien der Kuhschrei Entfernungsmaß für die Strecke, über die diese Tierlaute gehört werden konnten. Und in Tibet kannte man noch im vorigen Jahrhundert das Entfernungsmaß „eine Tasse Tee weit“.

Erst 1921 brachten Teilnehmer einer Himalaja-Expedition in Erfahrung, daß damit die Strecke bezeichnet wurde, die von einem Menschen in der Zeit zurückgelegt werden kann, in der eine Tasse Tee, kochend gebrüht, bis zur Trinkfähigkeit abgekühlt ist. Dabei sollen „drei Tassen Tee weit“ ungefähr 5 englischen Meilen, also etwa 8 Kilometern entsprechen haben.

Der Mensch nimmt am Menschen Maß

Den ersten entscheidenden Anstoß zu genauerer Längenmessung gaben vermutlich die Baumeister, denn sie waren gezwungen, bei ihrer Arbeit bestimmte Maße einzuhalten. Außerdem verlangten sie Maße, die ihnen jederzeit ohne Umstände zur Verfügung standen. Es lag deshalb nahe, als Längenmaß zunächst die menschliche Hand zu wählen, da sie jederzeit „greifbar“ war. Darüber hinaus vereinte die Hand verschiedene Längenmaße: die flache Hand mit oder ohne Daumen, die geballte Faust mit oder ohne eingezogenen Daumen, die Fingerbreite und die Länge eines Fingergliedes. So konnte zum Beispiel die Höhe einer Mauer gemessen werden, indem man die beiden Fäuste abwechselnd übereinander legte und zählte, wie oft das nötig war, um die Mauerkrone zu erreichen. So verfahren auch noch die Bergleute vor etwas mehr als einhundert Jahren, um die Mächtigkeit von Flözen abzuschätzen.

Als weitere von der Hand abgeleitete Länge kennen wir die Spanne; das ist bei gespreizten Fingern der Abstand der Spitze des Daumens von der Spitze des kleinen Fingers. (So groß war also der spannenlange Hansel in dem bekannten Kinderlied!) Die Elle umfaßte den Abstand der Spitze des Mittelfingers vom Ellenbogen und der Fuß den Abstand der Ferse von der Spitze des großen Zehs. Klafter schließlich nannte man die Entfernung der Spitzen der Mittelfinger bei

seitlich ausgestreckten Armen und Halbklafter die der Spitze des Mittelfingers von der Körpermitte.

Aus Überlieferungen wissen wir, daß schon in der Frühzeit bestimmte Beziehungen der einzelnen Körpermaße des Menschen zueinander bekannt waren. Man rechnete zum Beispiel die Spanne als ein Achtel, den Fuß als ein Sechstel und die Elle als ein Viertel der Gesamtkörperlänge sowie die Schrittlänge als halbe Körperlänge. Einzelne solcher Beziehungen benutzen wir noch heute. Weiß jemand beim Kauf von Strümpfen seine Schuhgröße nicht, so mißt die Verkäuferin den Umfang seiner Faust mit eingezogenem Daumen, denn diese beiden Längen sind gleich.

Wie bereits erwähnt, sind die Körpermaße der einzelnen Menschen recht unterschiedlich. Die Spanne eines Menschen mit langen schlanken Händen ist beispielsweise länger als die eines Menschen mit kurzer fleischiger Hand. Bei Bau-leuten mögen solche Unterschiede oft genug Anlaß zu Streitigkeiten gewesen sein. Stellen wir uns einmal vor, zwei Maurer erhielten den Auftrag, gemeinsam einen Torbogen zu bauen, dessen senkrechte Seitenmauern nach unserem Maß 1,8 Meter hoch sein sollten. Da eine Spanne etwa 22 Zentimetern entspricht, wären das rund 8 Spannen. Hatte nun einer der beiden Maurer eine Spanne von nur 21 Zentimetern, der andere aber von 23 Zentimetern, so ergab sich für die Höhe der beiden Mauern eine Differenz von nicht weniger als 16 Zentimetern!

Solche Unterschiede traten bei allen vom menschlichen Körper abgenommenen Maßen auf. Da die Arbeit der Handwerker Genauigkeit verlangte, forderten sie als erste gleichbleibende Maße. Allem Anschein nach legten deshalb Könige und Priesterfürsten bereits in der Epoche der Sklavenhaltergesellschaft ihre eigenen Körpermaße als allgemeingültig fest und erklärten sie zu „königlichen“ Maßen. Die Verkörperungen solcher Maße oder Maßstäbe wurden

meist aus Rohr, Holz oder Bambus, in Ausnahmefällen auch aus Elfenbein hergestellt.

Diese Urmaße, auch Normale genannt, bewahrte man meist im Tempel einer bestimmten Gottheit unter Aufsicht der Priester oder in Verwaltungsgebäuden unter Bewachung hoher Beamter auf. Handwerkern und anderen Interessierten standen Nachbildungen an geschützten öffentlichen Plätzen für die Überprüfung eigener Maße zur Verfügung.

Babylonischer Fuß und Ägyptische Elle

Bevorzugte Längenmaße waren im Altertum Fuß und Elle. Das älteste bekannte Längennormal ist der Babylonische Fuß, der in Vorderasien weit verbreitet war. Er ist uns durch Ausgrabungen im Süden des alten Mesopotamien bekannt geworden. Die Archäologen fanden unter anderem mehrere gleiche Statuen des Gudea. Er war um 2100 vor unserer Zeitrechnung Herrscher und oberster Priester des Stadtstaates von Lagasch, wo er zahlreiche Großbauten errichten ließ. Eine dieser Statuen befindet sich heute in den Sammlungen des Louvre in Paris. Sie wird von den Franzosen „Prince Géomètre“ genannt, das heißt etwa Königlicher Baumeister oder Vermessungsingenieur. Gudea, sitzend dargestellt, hält nämlich auf seinem Schoß den Aufriß eines Gebäudes. Damit wollte der Schöpfer dieser Statuen vermutlich auf dessen Bautätigkeit hinweisen. An dem herabhängenden Gewand sind in Keilschrift bezeichnete Längenteilungen angebracht.

Besonders auffällig ist die ungewöhnliche Größe der Füße, möglicherweise ein versteckter Hinweis darauf, daß sie ein wichtiges Maß verkörperten. Sie sind 26,45 Zentimeter lang

Darstellung des Babylonischen Fußes an der Sitzstatue des Gudea



und in 16 Fingerbreiten zu je etwa 16,5 Millimeter unterteilt. Das kleinste Maß entspricht ungefähr 1 Zentimeter; aber für ein so kleines Maß hatte man vermutlich nicht einmal einen Namen.

Das Aufstellen mehrerer gleicher Statuen machte die darauf angegebenen Maße als gesetzliche Normale jedem Bürger von Lagasch, insbesondere den Baumeistern, jederzeit zugänglich. Man konnte hingehen und seine eigenen Maßstäbe durch Vergleich mit den auf den Statuen angegebenen Maßen überprüfen.

Etwa aus der gleichen Zeit stammt ein anderes Längennormal, die sogenannte Nippur-Elle, eine Doppelelle, benannt nach dem Ort, wo sie bei Ausgrabungen gefunden worden war. Es ist ein kupferner Normalmaßstab. Seine Länge beträgt etwa 110 Zentimeter, seine Masse 41 Kilogramm. Die Einteilung in Fingerbreiten, Handbreiten, Fuß und Ziegel beweist, daß auch in Nippur mit dem Fuß gerechnet wurde und dort die Baukunst in hohem Ansehen gestanden haben muß, sonst hätte es kein besonderes Maß für Ziegel gegeben. Im übrigen ist das auf der Nippur-Elle angegebene Fußmaß etwas größer als das des Gudea. Dieser Unterschied ist kaum verwunderlich, denn der Träger des Urmaßes in Nippur war ein anderer als in Lagasch.

Bei neueren Ausgrabungen hat man ein noch jüngeres Fußmaß gefunden, das mit dem des Gudea übereinstimmt, aber bereits in 100 Linien, das kleinste Längenmaß jener Zeit, unterteilt ist. Bemerkenswert ist dabei die dezimale Teilung anstelle der sonst üblichen sexagesimalen. Eine Linie entsprach etwa 2,6 Millimetern.

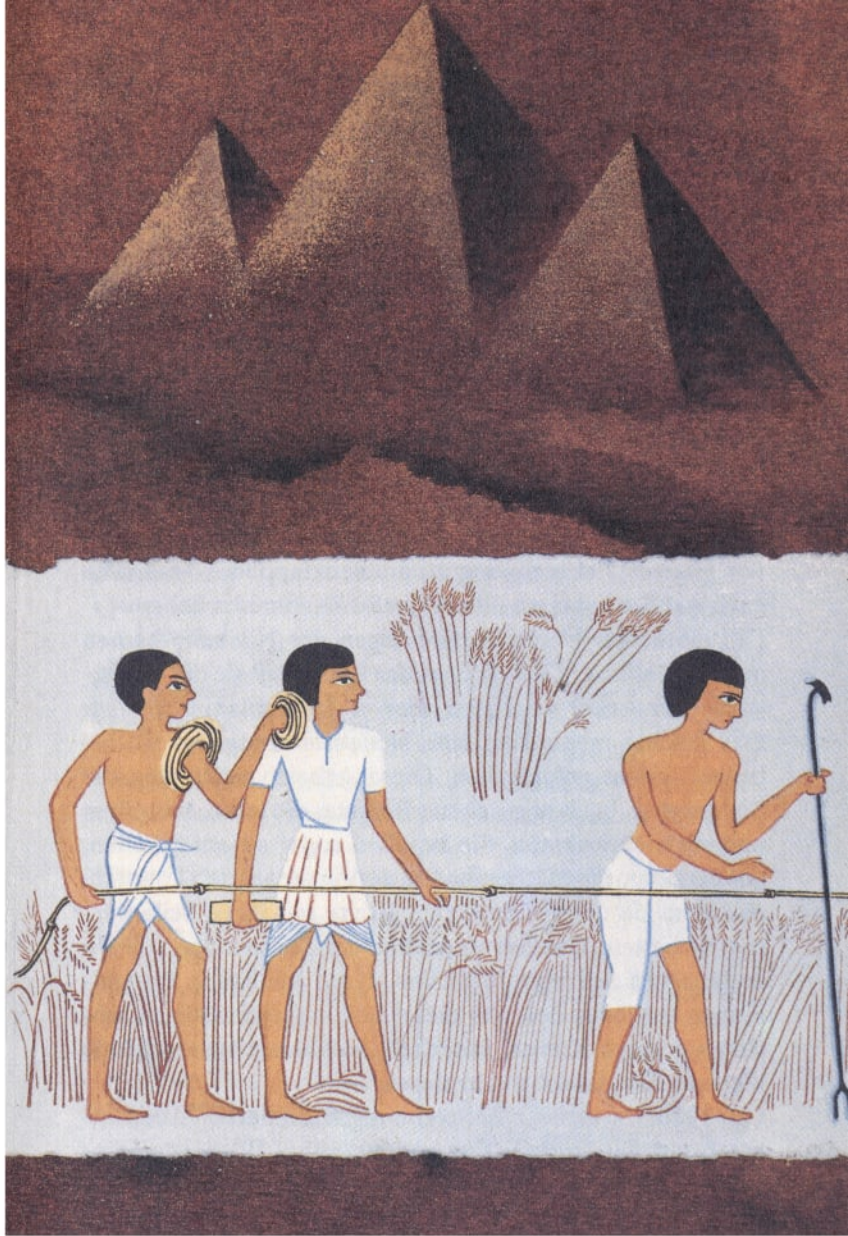
Zur Zeit des altbabylonischen Königs Hammurapi (1728 bis 1686 v. u. Z.) benutzten die sogenannten Ackervorsteher

Teilstück einer Ägyptischen Elle (oben) und Hieroglyphen ägyptischer Längenmaße (unten)

zum Ausmessen des Landbesitzes der Bauern längere Maßstäbe nach Art der Meßplatten. Diese „hohen Rohre“ hatten eine Länge von 6 Ellen. Dem Namen nach muß angenommen werden, daß die Maßstäbe aus Rohr oder Bambus gefertigt waren. Bei der Vermessung der Äcker beschränkte man sich auf das Feststellen von Länge und Breite, indem man jeweils zwei Maßstäbe im rechten Winkel aneinanderlegte. In schriftlichen Überlieferungen wird auch von Doppelrohren sowie Seilen mit einer Länge von 10 Doppelrohren gesprochen. Da diese aus Hanf oder Binsen bestanden, sind keine Reste solcher Maße erhalten geblieben.

Der neubabylonische König Nebukadnezar II. (605 bis 562 v. u. Z.) ließ in der Hauptstadt Babylon ebenfalls gewaltige Bauwerke errichten. Dazu gehörte die bereits erwähnte Prozessionsstraße mit dem bekannten Löwenfries. Besonders erwähnenswert sind die dabei verwendeten gleich großen Ziegel, die alle nach derselben Norm hergestellt worden waren. Nebukadnezar bestätigte die Ziegelnorm der Nippur-Elle, änderte aber die Anzahl der zugehörigen Fingerbreiten von 19 auf 16, das heißt, er vergrößerte das Maß Fingerbreite. Seit seiner Herrschaft gab man in Babylon die Höhe von Gebäuden nur noch in der Anzahl der Ziegel-lagen an; das genügte vollauf.

Auch die hochentwickelte Baukunst der Ägypter wäre ohne entsprechende Maße und mathematische Kenntnisse kaum möglich gewesen. Die ägyptischen Pyramiden gehörten in der Welt der Antike zu den Sieben Weltwundern, weil sie zu ihrer Zeit technische Höchstleistungen darstellten. Als grundlegendes Längenmaß galt die Ägyptische „königliche“ Elle. Sie war dem Körper eines Pharaos entnommen. Ihre Länge betrug etwa 52 Zentimeter, aber die der „gemeinen“



Elle nur 45 Zentimeter. Letztere galt im täglichen Leben, namentlich im Handel. Abgaben an Könige und Priester mußten mit der königlichen Elle gemessen werden. Es wurde also ganz offensichtlich „mit zweierlei Maß gemessen“, für Lieferungen an die Herrscher des Staates mit dem großen, für das arbeitende Volk dagegen mit dem kleinen.

Die Normale der königlichen Elle bewahrten die Priester im Tempel auf, um ihre Unantastbarkeit zu gewährleisten. Meist waren es künstlerisch gestaltete sechs- oder achtkantige Maßstäbe mit reichen Goldverzierungen. Die in Hieroglyphen bezeichneten Teilungen entsprachen den babylonischen. Über Normale der gemeinen Elle ist nirgends etwas vermerkt.

Interessant ist, daß ägyptische Bauleute bereits um 1400 vor unserer Zeitrechnung zusammenklappbare Maßstäbe nach Art der heutigen Gliedermaßstäbe benutzt haben.

Die jährlichen Überschwemmungen der Nilebene kamen meist mit solcher Gewalt über das Land, daß sie die Grenzsteine der Äcker wegrissen oder in den Schlamm spülten. Das machte regelmäßig eine Neuausmessung des fruchtbaren Bodens erforderlich. Diese Arbeit verrichteten die Seilspanner, hoch angesehene Beamte, die lesen, schreiben und rechnen konnten. Sie besaßen sogar schon Tabellen, aus denen sie die Flächeninhalte der Äcker ablesen konnten, nachdem sie deren Länge und Breite mit ihren Seilen ermittelt hatten. Das Berufszeichen der Seilspanner war ein aufgerolltes Seil von 100 Ellen. Nach bildlichen Darstellungen aus jener Zeit war dieses Seil in gleichmäßigen Abständen durch Knoten unterteilt. So vermochte man auch kleinere Längen sofort abzulesen.

Um 1800 vor unserer Zeitrechnung ließ Pharao Amenemhet I. auf der Nilinsel Elephantine einen Wasserstandanzeiger oder Pegel bauen, damit die Ägypter daran das Ansteigen des Nilwassers vor der jährlichen Überschwemmung

beobachten konnten. Auf diese Weise war es möglich, die Bewohner des Nillandes rechtzeitig vor dem Hochwasser zu warnen. Die Zwölferteilung des Pegels wurde später durch eine Dezimalteilung ergänzt.

Gegenüberstellung babylonischer und ägyptischer Längenmaße und ihre Umrechnung in unsere Einheiten

BABYLON		ÄGYPTEN	
Name	um-gerechnet	Name	um-gerechnet
1 Fingerbreite	1,72 cm	1 Finger	1,87 cm
2 Fingerbreiten	3,45 cm	2 Finger	3,75 cm
3 Fingerbreiten	5,17 cm	3 Finger	5,63 cm
4 Fingerbreiten = 1 Hand	6,90 cm	1 Handbreite = 1/7 große Elle = 1/6 kleine Elle	7,50 cm
5 Fingerbreiten	8,62 cm	1 Hand	9,38 cm
6 Fingerbreiten	10,34 cm	1 Faust = 1/4 kleine Elle	11,26 cm
8 Fingerbreiten	12,07 cm	2 Handbreiten	15,00 cm
12 Fingerbreiten = 3 Hand	20,69 cm	1 kleine Spanne = 1/2 kleine Elle	22,50 cm
14 Fingerbreiten	24,14 cm	1 große Spanne = 1/2 große Elle	26,00 cm
15 Fingerbreiten = 1/2 Elle	25,86 cm		
16 Fingerbreiten = 1 Fuß	27,58 cm	2/3 kleine Elle	30,00 cm
19 Fingerbreiten = 1 Ziegel	32,76 cm		
20 Fingerbreiten	34,48 cm	1 Oberarm = 5/7 große Elle	37,14 cm
30 Fingerbreiten = 1 Elle	51,59 cm	1 kleine Elle	45,00 cm
		1 große Elle	52,00 cm

BABYLON		ÄGYPTEN	
Name	um-gerechnet	Name	um-gerechnet
1 Elle	49,50 cm	1 Rute	1,80 m
1 hohes Rohr = 6 Ellen	2,97 m	50 Ellen	26,00 m
1 Doppelrohr = 1 Gar	5,94 m	1 Stadion	185,00 m
1 Halbseil = 60 Ellen	29,70 m	1 Parasange	5,50 km
1 Seil = 120 Ellen	59,40 m	12 000 Königs- ellen	624,00 km
1 Meile = 1800 Gar	1,07 km		

Babylonische und Ägyptische Maße im Mittelmeerraum

Die Bewohner Palästinas, namentlich die Israeliten, standen unter dem Einfluß sowohl der Babylonier als auch der Ägypter. Zwar lag ihr Land dem Babylonischen Reich näher, doch sind zahlreiche ägyptische Einflüsse unverkennbar. Als Quelle dient uns hier vor allem das Alte Testament der Bibel, eine der ältesten Sammlungen von Sagen. Bei der Beschreibung der Arche des Noah – einem Schiff mit allerlei Getier und einigen Menschen, auf dem diese die sogenannte Sintflut, eine gewaltige Überschwemmung, überlebten – werden deren Abmessungen ebenso wie die des Tempels zu Jerusalem in Ellen angeführt. Dabei galten 6 Ellen als 1 Rute. Auch die Hebräer unterschieden zwischen einer „großen Elle“ zu etwa 55 Zentimeter Länge und einer „kleinen Elle“ zu ungefähr 49,5 Zentimeter. Diese Werte lagen zwischen den babylonischen und den ägyptischen Werten.

Zur Ausmessung ihrer Felder benutzten die Hebräer sogenannte Rohre und Stäbe, was vermuten läßt, daß diese nach ihren Verkörperungen benannt waren. Als Maß für Entfernungen wird die Tagesreise zu 200 ägyptischen Stadia (Stadia = Plural von Stadion) erwähnt; das entsprach 37 Meilen zu je 1000 Doppelschritt. Die Normalmaße oder messurah, auch heilige Maße genannt, wurden im Tempel zu Jerusalem unter Obhut der Hohenpriester aufbewahrt.

An auffallend vielen Stellen des Alten Testaments finden wir Hinweise auf den Gebrauch falscher Maße zu betrügerischen Zwecken. Ihren Anwendern drohte man mit einem Strafgericht Gottes und harten irdischen Strafen. Einen Erfolg scheinen diese Drohungen kaum gehabt zu haben.

Auch in Persien galten Fuß und Elle als Längenmaße. Herodot, einer der ältesten griechischen Geschichtsschreiber (484 bis 425 v. u. Z.), berichtet, daß die Perser zum Ausmessen der Königsstraße zwischen Susa, der Hauptstadt von Elam, und Sardes, der Hauptstadt Lydiens, ein Längenmaß von 10 000 königlichen Ellen, auch Párasange genannt, benutzt hätten. Da dies einer Strecke von rund 5,6 Kilometern entspricht, wäre es interessant gewesen zu erfahren, wie man bei dieser Messung verfahren ist. Leider wurde darüber ebensowenig bekannt wie über die Beschaffenheit des Maßes selbst.

Wesentlich verfeinerte Längenmaße finden wir erst Mitte des 1. Jahrtausends unserer Zeitrechnung in Arabien. Die gesellschaftliche Entwicklung dieses Landes war bemerkenswert. Durch seine Karawanenstraßen, die nach Indien und China führten, nahm Arabien eine wichtige Stellung ein. Seine Einwohner handelten unter anderem mit Edelsteinen, Seide und Gummi. Hier lebten hervorragende Gelehrte der Medizin und der Mathematik. Die astronomischen Kenntnisse der Araber waren für jene Zeit bedeutend und wurden von anderen Völkern übernommen.

Auch Handwerk und Kunsthandwerk gelangten zu hoher Blüte. Ihre Vertreter schufen sich feinere Maße, um genauer arbeiten zu können. Kleinstes Längenmaß waren die Kamelhaardicke zu etwa 0,7 Millimeter und als nächstes die Gerstenkornbreite zu nicht ganz 2 Millimeter.

Im 9. Jahrhundert erlangte die Schwarze Elle des Kalifen Al Mamun, der ein Sohn des bekannten Harun ar-Raschid von Bagdad war, Berühmtheit. Sie wurde bei der vermutlich ersten unmittelbaren Vermessung der Erde (siehe Seite 44) als Normal benutzt. Diese Elle hatte eine Länge von 27 Gerstenkornbreiten, was etwa 52 Millimetern entspricht. Möglicherweise stellte das bereits einen Versuch dar, von den Körpermaßen des Menschen abzukommen.

Im übrigen gab es in Arabien eine besonders große Anzahl gebräuchlicher Längenmaße. Das dürfte darauf zurückzuführen sein, daß Arabien im 1. Jahrtausend unserer Zeitrechnung – ähnlich wie zuvor Palästina – durch seine vielseitigen Beziehungen auch die Maße der angrenzenden Staaten benutzte.

Die Griechen haben die Mehrzahl ihrer Maße von den Ägyptern übernommen, die ihnen Vorbild und Inbegriff aller Weisheit waren. Viele griechische Gelehrte hatten ihr Wissen auf ägyptischen Priesterschulen erworben, dabei die in Ägypten üblichen Längenmaße kennengelernt und sie später in ihre Heimat verpflanzt. Neu sind dagegen das 100-Fuß-Maß zu etwa 30,83 Meter und das Stadion zu 600 Fuß, also rund 190 Meter. Die Wettkampfbahn in Olympia, das nach dem Maß benannte Stadion, eine der ältesten Sportstätten des Altertums, hatte demgegenüber eine Länge von 192 Metern. Diese Länge wurde später das Standardmaß für alle Sportstadien der Welt. Bei den alten olympischen Spielen mußten die mit Pferden bespannten Rennwagen eine Strecke von 24 Stadia zurücklegen, und die Läufer hatten zweimal die Länge des Stadions zu laufen.

Die Griechen kannten bereits ein großes Entfernungsmaß, nämlich für die Strecke, die ein Schiff mit Segeln und Riemen an einem Tag zurückzulegen vermochte, den Dromos. Seine Länge ist nicht bekannt. Aus alten griechischen Schriften wissen wir, daß zur Wegmessung Meßplatten benutzt worden sind, doch haben die Archäologen bisher noch keine gefunden. Da sie wahrscheinlich aus leicht verrottendem Werkstoff hergestellt waren, haben sie die Zeiten nicht überdauert. Ein anderes Entfernungsmaß der Griechen war der Schoinos. Seine Länge betrug 60 Stadia zu je 6 Plethron oder Furchenlängen, die jeweils 100 Fuß betrug, insgesamt also etwa 11 Kilometer. Die Athener nannten ihre Normale Prototypmaße und bewahrten sie auf der Burg von Athen, der Akropolis, auf.

Um 300 vor unserer Zeitrechnung übernahmen die Römer einen großen Teil der griechischen Maße, obwohl sie vor ihren Kontakten mit den Griechen bereits ein eigenes Maßsystem hatten, von dem uns aber nichts Näheres bekannt geworden ist. Die Normalmaßstäbe der Römer galten als heilige Maße und wurden auf dem Kapitol in Rom, einer Tempelburg, aufbewahrt. Dort waren an mehreren Stellen Kopien des Fußes in Form von Marken eingemeißelt, so daß jeder römische Bürger bei Bedarf seine eigenen Maße mit den gesetzlich festgelegten vergleichen konnte.

In Rom gab es erstmals spezielle Maße mit unterschiedlichen Teilungen für verschiedene Berufsgruppen. Architekten und Baumeister bevorzugten Fingerbreite, Spanne und Fuß, Geographen Doppelschritt und Meile oder Miliare, Landwirte den griechischen Fuß und den Doppelschritt. Die riesige Ausdehnung des Römischen Reiches über einen großen Teil von Europa und weite Landesgebiete rund um das Mittelmeer verlangte neben einem ausgedehnten Straßennetz auch entsprechende Wegemaße. Unter diesen war die Rute zu 10 Fuß das wichtigste Längenmaß; es wurde



durch eine Meßplatte verkörpert. Der im 1. Jahrhundert unserer Zeitrechnung lebende römische Architekt und Techniker Vitruv soll bereits einen Wegmesser oder Taxameter, eine Art Meßwagen, konstruiert haben, mit dem man Wegstrecken bequem ausmessen konnte. Sein Taxameter war in mehreren Exemplaren vorhanden und soll auf verschiedenen Straßen eingesetzt worden sein. Vitruv wird auch die Erfindung eines Wasserfahrzeugs zum Messen von Wasserwegen zugeschrieben.

Um das Jahr 500 unserer Zeitrechnung gab Kaiser Justinian die römischen Normale in die Obhut der Kirche von Konstantinopel, der Hauptstadt des Oströmischen Reiches. Zugleich erhielten Kirchen großer Städte Kopien dieser Normale, so daß die Bürger in den verschiedenen Landesteilen Gelegenheit hatten, ihre Maße mit Kopien von Normalen zu vergleichen.

Bronzene Normalmaßstäbe fanden Archäologen auch gelegentlich bei Ausgrabungen der durch einen Ausbruch des Vesuvs im Jahre 79 unserer Zeitrechnung verschütteten Städte Pompeji, Herculaneum und Stabiae.

Längenmaße in Ostasien

In China und Japan gab es um 2700 vor unserer Zeitrechnung Maße, die ihrer Entstehung nach von denen im Mittelmeerraum wesentlich abwichen. Das chinesische Maßsystem beruhte auf der Länge des Weizenkorns. 10 Weizenkornlängen entsprachen etwa 1 Zoll (Fingergliedlänge), 100 Hirsekornlängen der Länge des Fußes. Das Li kam rund 575 Metern gleich.

Ähnlich wie in Mesopotamien und Ägypten, gab es um

1000 vor unserer Zeitrechnung auch in China Beamte für die Landmessung. Erste Wegstreckenzähler soll es bereits um 200 vor unserer Zeitrechnung gegeben haben, es waren Meilenzähler für Mietwagen. Sie entstanden, lange bevor man in Europa an dergleichen dachte.

In Japan war die Fingergliedlänge oder das Zoll Ausgangsmaß, unterteilt in 10 000 Rin. Das Rin entsprach der Dicke des Fadens eines Seidenraupenkokons. Der Staku oder Fuß hatte eine Länge von 30 Zentimetern. Das Ken oder der Klafter umfaßte lediglich 1,80 Meter, was möglicherweise mit der kleineren Körpergröße der Japaner begründet werden kann. Für Tiefenmessungen – wichtig für Inselbewohner – gab es das 5 Fuß lange Hiro.

Längenmaße im europäischen Raum

Fuß- und Ellenmaße gelangten durch die Eroberungszüge der Römer nach Nordeuropa, wo in den unterjochten Gebieten römische Bürger angesiedelt wurden. Diese hatten die Aufgabe, Abgaben und Tribute für den Sieger einzutreiben. Dabei verwendeten sie selbstverständlich römische Maße.

Zu etwa der gleichen Zeit entstanden erste Maße, die mit der Arbeit beziehungsweise der Leistung von Menschen oder Tieren zusammenhingen. Das betraf vor allem den Ackerbau mit Flächenmaßen, wie Tagewerk, Morgen, Acker, Joch und ähnlichen, die in vielen Teilen Europas bis zur letzten Jahrhundertwende erhalten blieben. Sie werden von alten Menschen auf dem Lande sogar noch heute gebraucht, obwohl sie uns keinerlei Anschauung mehr vermitteln.

Im Reich Karls des Großen galt seit 789 der Karlsfuß als

Die Festlegung des Yard in den Jahren 1101 und 1215



Grundmaß der Länge, also wieder einmal ein königliches Maß. Wir kennen allerdings keine unmittelbare Verkörperung davon, wohl aber ein Vielfaches, die Toise zu 6 Karlsfuß. Dieser Maßstab bestand aus Eisen und war 1,95 Meter lang. Demnach müßte der Karlsfuß, auch Königsfuß genannt, eine Länge von 32,5 Zentimetern gehabt haben. Den in lateinischer Sprache herausgegebenen Kapitularien, einer Sammlung von fränkischen Herrschern erlassener Verordnungen, ist zu entnehmen, daß die Mehrzahl der in Gallien gebräuchlichen Maße – außer Fuß noch Elle und Zoll – auf römischen Maßen beruhte.

Einer der Nachfolger Karls des Großen ordnete im Jahr 864 an, daß die Maße aller Städte und Orte seines Reiches mit den im Palast des Königs in Paris hinterlegten Urmaßen oder Etalons (Muttermaßen) verglichen sein mußten. Zur Nachprüfung ihrer Richtigkeit dienten in Klöstern und Rathäusern hinterlegte Kopien der Urmaße. Sie waren entweder in Wände eingemeißelt oder auch als unmittelbare Verkörperungen an Stadt-, Kirchen- oder Rathaustoren für jedermann zugänglich angebracht. Solche Normale sind noch heute zu sehen, beispielsweise in Erfurt, Braunschweig, Goslar, Wolfenbüttel und Wien.

Mit dem Niedergang des Frankenreiches ging auch die zeitweise Einheitlichkeit der Maße in diesem Gebiet verloren. Trotz wiederholter Versuche gelang es nicht, das Aufkommen örtlich gebundener Maße zu verhindern. Es entwickelte sich eine Vielfalt gleichnamiger, in ihren Abmessungen aber unterschiedlicher Maße.

In Angelsachsen (etwa das Gebiet des heutigen Englands) galt seit der Invasion der Römer deren Fuß als Grundlage aller Längenmessungen. Daneben behaupteten sich der angelsächsische Klafter zu 4 Ellen oder 6 Fuß sowie bei den Tuchmachern der halbe Klafter. Im Jahre 1101 führte König Henry I. das Gyrd ein, den Abstand zwischen seiner Nasen-

spitze und dem Ende seines Daumens bei waagrecht ausgestrecktem Arm. Diese Länge ließ er durch sein Zepter verkörpern. So entstand der Eindruck, das später Yard genannte Maß sei nach der Länge des Zepters festgelegt worden. In einem der grundlegenden Gesetze Englands bestimmte König Johann ohne Land 1215 einheitliche Maße für sein Reich. Etwa 200 Jahre später wurde die Länge von drei getrockneten Gerstenkörnern aus der Mitte einer Ähre als Inch oder Zoll festgelegt. Damit wurde das vom menschlichen Körper abgeleitete Maß abgelöst. Zwischen Yard, Foot (Plural: Feet) und Inch (Plural: Inches) bestand folgende Beziehung: $1 \text{ Yard} = 3 \text{ Feet} = 36 \text{ Inches}$. Sie gilt noch heute.

Die Verkörperung des Yard war zu diesem Zeitpunkt ein Bronzemaßstab, der als „Standard“ in Westminster Abbey, einer alten Abteikirche und Begräbnisstätte englischer Herrscher, aufbewahrt wurde. Um die Maße den Bürgern zugänglich zu machen, ließ man unter anderem im Pflaster des Londoner Trafalgar-Square eine Bronzeplatte ein mit den Längen von 3 Feet bis zum in 10 Teile geteilten Inch. Auch Königin Elisabeth I. (1558 bis 1603) legte das Yard neu fest. Es galt fast dreihundert Jahre lang. Durch Parlamentsbeschluß wurde es 1758 als königliches Standardmaß bestätigt, aber bald danach durch eine Kopie ersetzt. Als diese bei einem Brand des Parlamentsgebäudes verloren ging, mußte 1837 ein neues Yard hergestellt werden. Es ist 914,4 Millimeter lang und wird gegenwärtig im Keller des Parlamentsgebäudes in London als britisches Urnormal aufbewahrt.

Durch Auswanderer gelangten die englischen Maße nach Nordamerika, wo sie später ebenfalls gesetzlich anerkannt wurden.

Interessanter als die Entwicklung der Längenmaße im fränkischen und angelsächsischen Raum ist für uns die auf

deutschem Boden. Nachdem der Versuch, den Karlsfuß verbindlich einzuführen, gescheitert war, galten zunächst meist die alten römischen Maße weiter. In Mitteleuropa blieben Meßkunst und Meßtechnik lange Zeit hindurch Stiefkinder der Wissenschaft. Erst der sächsische Arzt und Naturforscher Georgius Agricola (1494 bis 1555) bemühte sich, Fragen der Maße und deren Ursprung und Entwicklung zu erforschen. Dabei beschränkte er sich im allgemeinen darauf, die vor allem im alten Griechenland und im Römischen Reich benutzten Maße zusammenzutragen; als Arzt interessierten ihn die Maße der Arzneikunde natürlich am meisten.

Bis Anfang des 19. Jahrhunderts galt in deutschen Landen der Fuß zu etwa 29,6 Zentimeter als Standardmaß; er wurde in einigen Landstrichen auch Schuh oder Schuch genannt. Da sowohl weltliche als auch kirchliche Herrscher gegen Zahlung entsprechender Gebühren Maß- und Münzrechte erteilten, wuchs die Anzahl gleichnamiger Maße ständig. Dabei wurde das Ursprungsmaß häufig geändert, um einen Unterschied gegenüber Nachbarorten zu haben. Diese Abwandlungen waren so zahlreich, daß das Sprichwort aufkam „Jedes Ländchen hat sein Quentchen, eigne Maße hat fast jede deutsche Stadt“. So ist es kaum verwunderlich, wenn in allen Kreisen der Bevölkerung der Wunsch nach einheitlichen Maßen immer lauter erklang.

Um 1600 machte ein Stadtschreiber, der sich viel mit Maßen beschäftigen mußte und den es wahrscheinlich ärgerte, dauernd umrechnen zu müssen, in einer „Geometrey“ den Vorschlag, die Rute neu festzulegen. Da 1 Rute = 16 Fuß gerechnet wurde, sollten 16 Leute an einem Sonntag nach dem Kirchgang ohne Ansehen der Person ihre linken Füße hintereinanderstellen, und die so gewonnene Länge wollte der Stadtschreiber als Rute festlegen. Wir wissen allerdings nicht, ob dieser Vorschlag jemals verwirklicht worden ist.

Demgegenüber schlug der Astronom und Mathematiker Johannes Kepler (1571 bis 1630) zur Vereinheitlichung verschiedener Maße deren Rückführung auf ein einziges Längenmaß, den Fuß oder Schuch vor. Er ließ zu diesem Zweck für die Stadt Ulm an der Donau den Ulmer Stantner oder Kepler-Kessel anfertigen, der Längen-, Volumen- und Massemaße vereinigte. Von seiner vielseitigen Verwendbarkeit kündigt der Spruch auf seiner Außenseite:

Zween Schuch mein Tief, ein Ellen mein Quer,
Ein gerechter Aymer macht mich leer.
Dann sind mir vierthhalb Zentner blieben.
Voll Donauwasser wäg ich siben.
Doch lieber mich mit Kernen eich
und 64 Mal abstreich,
so bistu Neunzig Ime reich.
Gos mich Hans Braun 1627.

Ungefähr zur gleichen Zeit wie in Bayern gab es auch in Sachsen Bestrebungen, einheitliche Maße zu schaffen. Nach einer Anordnung des sächsischen Landesherrn galt seit 1558 als Volumenmaß der Dresdener Scheffel. Andere Maße waren zunächst gesetzlich nicht vorgeschrieben. Die meisten Textilkaufleute benutzten als Längenmaß die Leipziger Elle. Im übrigen handelte man in Leipzig Stoffe und Tuche nach Brabanter oder nach Nürnberger Elle, ja man maß sogar nach Pariser Stab. Noch im Jahre 1811 wurde die Dresdener Elle durch einen eisernen Normalmaßstab verkörpert, der 251,136 Linien lang war. Auf diese Weise ergaben 1000 Dresdener Ellen 1744 französische Fuß; einer Elle entsprachen demnach 0,325 Meter. Nach Aufzeichnungen der Familie des Rechenmeisters Adam Ries soll die erste Dresdener Elle eine Kopie der Leipziger Elle gewesen sein, ein Beweis dafür, wie verworren es mit den Maßen war. Wie sich gleichnamige Maße unterschiedlich entwickelt haben, zeigt auch das Beispiel der Meile. Sie beruhte auf



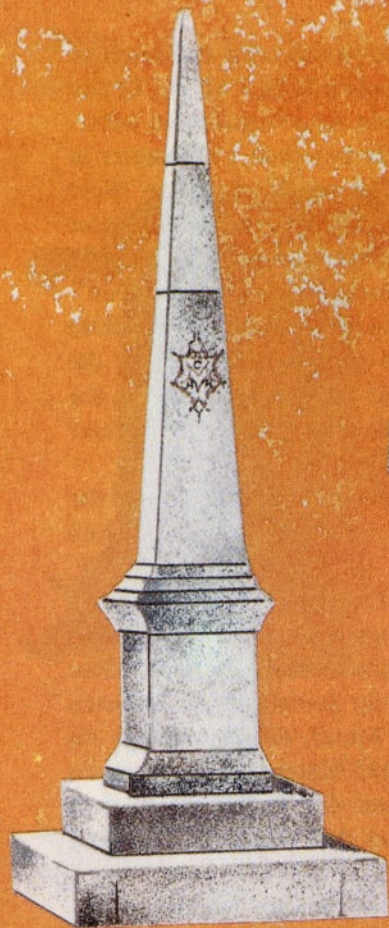
dem alten römischen Maß mille passus oder milliarum zu 1000 Doppelschritt und betrug etwa 1478,7 Meter. In den einzelnen deutschen Ländern war sie schließlich so unterschiedlich, daß sie als Landmeile zwischen 1 Kilometer in Baden und 8,586 Kilometer in Österreich schwankte. Nicht anders war es mit der Postmeile, die zwischen 1,8 Kilometer in Italien und 11,3 Kilometer in Norwegen lag. Dazu kamen in einzelnen Ländern noch die Polizeimeile, die Biermeile – in ihrem Umkreis durfte keine neue Brauerei errichtet werden – sowie schließlich die geographische Meile, die $\frac{1}{15}$ Äquatorgrad entsprach, und die Seemeile als $\frac{1}{60}$ des Äquatorgrades, so daß 1 Seemeile etwa 1852 bis 1855 Meter betrug.

Die Rute (⁰) war in 12 Fuß (') , der Fuß in 12 Zoll (") und der Zoll in 12 Linien (''') unterteilt; das ergab: 1 Rute = 12 Fuß = 144 Zoll = 1728 Linien.

Es handelt sich demnach um ein Duodezimal- oder Zwölfer-system, wie es auch im Münzwesen allgemein üblich war. Für Sonderzwecke gab es zusätzliche Maße, beispielsweise den Faden – ein Tiefenmaß in der Seefahrt – als 1000sten Teil der Seemeile gleich 1,85 Meter, die Kabellänge als 10ten Teil der Seemeile gleich 185 Meter und die Seemeile selbst. In Preußen war dagegen der Faden gleich dem Klafter; er entsprach 6 Fuß oder 1,64 Meter, in Hamburg jedoch 1,92 Meter.

Zusätzlich hatten sich durch das örtliche Handwerk beziehungsweise die geographischen Verhältnisse nur lokal übliche Längenmaße entwickelt, zum Beispiel in Sachsen einerseits Maße für Textilien, insbesondere Garne, andererseits für den Bergbau. Der Garnfaden (Leinen) hatte eine Länge von 4 Ellen, für Garnweifen gab es das Stückgarn zu

Der sogenannte Kepler-Kessel, der Längen-, Volumen- und Massemaße der damaligen Zeit in sich vereinigt



6 Strähn oder 12 Haspel gleich 240 Gebind oder 4800 Faden, so daß das Stückgarn 19 200 Ellen oder 6339,84 Meter maß. Für Wollgarne waren diese Maße anders festgelegt.

Gängigstes Maß im Bergbau war der Lachter, auch Berglachter genannt, ursprünglich ein Maß für das, was ein Mann umklaftern oder mit beiden Armen umfassen konnte, wenn der Vortrieb von Stollen angegeben wurde. Er hatte eine Länge von 80 Zoll, also zwischen 1,9 und 2,1 Meter. Gemessen wurde mit 10 oder 12 Lachter langen geölten Hanfschnüren.

Im Salzbergbau Süddeutschlands galt der Stabel zu 300 Wiener Klaftern, was ungefähr 3792 Metern entsprach.

Um 1800 gab es allein im Land Baden 112 verschiedene Ellen! Und in den anderen deutschen Kleinstaaten war es kaum anders.

Alte Bergbaumaße

Maß	Umrechnung
1 Lachterzoll	24 mm
1 Spann = 10 Lachterzoll	24 cm
1 Lachter = 8 Spann	1,919 m
1 Maß = 28 Lachter	53,73 m

Alte Garnmaße

Maß	Umrechnung
1 Elle	0,33 m
1 Faden = 4 Ellen	1,32 m
1 Gebind = 20 Faden	26,42 m
1 Haspel = 20 Gebind	528,32 m
1 Strähn = 2 Haspel	1056,64 m
1 Stückgarn = 6 Strähn	6339,84 m

Meilensteine an Landstraßen

Nicht genug, daß die Kleinstaaterei die Entwicklung unterschiedlicher Maße besonders begünstigte, auch die einzelnen Herrscher ergriffen zur Erhöhung ihrer Einnahmen aus den Zöllen und der Postbeförderung oft sehr willkürliche Maßnahmen. In Preußen ließ König Friedrich Wilhelm III. im Jahre 1804 die Meile um ein Drittel auf 2000 Ruten verkleinern. Damit stiegen seine Einnahmen, namentlich aus der Personenbeförderung, ebenfalls um ein Drittel, ganz abgesehen davon, daß sein Land nach außen hin plötzlich größer erschien! Dennoch hatte seine Maßnahme einen Vorteil für Preußen: Von diesem Zeitpunkt an galt dort wirklich einheitliches Maß.

In Leipzig, der schon damals bekannten Messestadt, gab es amtlich beglaubigte Längenmaße aus aller Welt. Auf diese Weise konnten fremde Maße jederzeit mit Normalen ihres Ursprungslandes verglichen werden, was Betrügereien weitgehend entgegentwirkte.

1816 erließ der preußische König eine Maß- und Gewichtsordnung, durch die der Fuß wieder Grundlage der Längenmessung wurde. Er hatte eine feste Beziehung zum Pariser Fuß; ein gußeisernes Urnormal verkörperte ihn. Die Endflächen des vierkantigen Maßstabes bestanden aus Saphiren, die in Gold eingebettet waren. Seine richtige Länge sollte dieser Fuß bei 16,25 Grad Celsius haben. In die Geschichte der Meßtechnik ging dieses Normal als „Besselsche Toise“ ein, da der Astronom Friedrich Wilhelm Bessel (1784 bis 1846) wesentlichen Anteil an dessen Gestaltung und Ausführung hatte. Alle übrigen Längenmaße, wie Rute, Elle, Faden und Meile, wurden an diesen Normalmaßstab „angeschlossen“, das heißt auf ihn bezogen oder mit ihm verglichen. So war wenigstens in Preußen das Maßsystem einheitlich.

Erheblich ungünstiger lagen die Verhältnisse in Österreich. Grundmaß der Länge war dort die Wiener Elle. Daneben

wurden der Werkschuh als Abwandlung des Fußes und der Klafter bevorzugt. Auch hier hatte es verschiedentlich Bestrebungen zur Vereinheitlichung der Maße gegeben, die jedoch keine bleibende Wirkung erzielten.

In Rußland benutzte man zunächst die gleichen Längemaße wie bei den Nachbarn. Viel Sorgfalt legte man auf Wegemarkierungen. An der 164 Werst (etwa 175 Kilometer) langen Fernstraße von Narva nach Petersburg (heute Lenin-grad) standen alle Werst Straßensäulen, an denen die Entfernungen in beiden Richtungen angezeigt waren. 1835 erließ der Zar einen Befehl, durch den er die alten russischen Maße außer Kraft setzte und an ihrer Stelle die Maße Großbritanniens, der damals größten Handelsmacht der Welt, einführte. Als Grundmaß der Länge galt danach der Saschen zu 3 Feet.

Alte russische Längen- und Wegemaße

Maß		Umrechnung	
1 Saschen	= 3	Arschin	2,134 m
1 Arschin	= 16	Werschok	0,7112 m
1 Fut	= 12	Djujim	0,3048 m
1 Werschok	= 1,75	Djujim	4,445 cm
1 Djujim	= 10	Linija	2,54 cm
1 Linija	= 10	Totschka	2,54 mm
1 Totschka			0,254 mm
1 Milija*)	= 7	Werst	7,469 km
1 Werst*)	= 500	Saschen	1,067 km

*) Wegemaß

Dieses System wurde 1918 durch die Sowjetmacht abgeschafft und durch das metrische System ersetzt. Dieses baut auf dem Meter als Grundeinheit der Länge auf.

In Frankreich spielten zwei Normale eine Rolle bei der Entwicklung seines Maßsystems: die Aune oder Pariser Elle

zu 3 Fuß 7 Zoll und 8 Linien (= 524 Linien), die als königliches Maß galt, und die Toise du Châtelet, ein eiserner Maßstab von 6 Karlsfuß Länge (etwa 1,95 Meter). Er hatte als Begrenzungen zwei Vorsprünge, zwischen die zu vergleichende Maßstäbe eingeschoben wurden. Im übrigen vollzog sich die Entwicklung der Maße in Frankreich ähnlich wie in anderen Ländern; die Vielfalt der Maße war kaum noch zu überbieten.

Längengradmessungen

Bisher haben wir uns nur mit der Entwicklung der Längemaße zum Messen verhältnismäßig kleiner Abstände und Entfernungen befaßt. Diese Maße reichten aber nicht aus, wenn es galt, den Abstand weit entfernter Körper wie der Sterne zu bestimmen. Bereits im 11. Jahrhundert vor unserer Zeitrechnung hatten die in Mesopotamien beheimateten Chaldäer zur Angabe der Entfernung zweier Gestirne voneinander das Winkelmaß Grad als 360sten Teil des Vollkreises festgelegt.

Später beschäftigten sich die Griechen mit astronomischen Problemen. Sie erkannten etwa 400 vor unserer Zeitrechnung die Kugelgestalt der Erde. 296 vor unserer Zeitrechnung teilte ein griechischer Astronom und Naturforscher die Erdkugel in Längen- und Breitengrade, um danach die Lage von Ortschaften bezeichnen zu können. Sogar den Umfang der Erde berechnete man. Ein anderer Astronom entdeckte, daß man am Tage der Sonnenwende in Syene (heute Assuan) den Boden der Brunnen sehen konnte und daß ein in die Erde gesteckter Stab zur Mittagszeit keinen Schatten warf. Aus diesen Tatsachen schloß er, daß Syene auf dem Wendekreis der Sonne liegen müsse. Da er auch den höchsten Sonnenstand von Alexandrien kannte, berechnete er den Abstand der Breitenkreise von diesen beiden

Städten zu 5000 Stadien. Einen Längengradunterschied konnte er nicht feststellen, so daß sich seiner Meinung nach beide Städte auf demselben Meridian befanden.

Unmittelbare Meridianmessungen auf der Erde nahmen erstmals die Araber im Jahre 830 unserer Zeitrechnung mit der Schwarzen Elle vor. Leider waren die Vorbereitungen dazu so mangelhaft, daß kein befriedigendes oder vergleichbares Ergebnis erzielt wurde. Die nächste und zugleich erste Gradmessung auf europäischem Boden kam durch die Franzosen 1552 zustande. Um die erforderlichen Längenmessungen zu vereinfachen, hatte der Arzt und Naturforscher I. F. Fernel ein Meßrad konstruiert, mit dem die Umdrehungen des Rades gezählt werden konnten. Der Abstand der Städte Amiens und Paris betrug danach 68 096 Schritt oder 57 070 Toisen, was 111,3 Kilometern entspricht. Etwa ein halbes Jahrhundert später maß der Niederländer Snellius den Bogen zwischen Alkmaar und Bergen op Zoom. Dabei wandte er erstmals das Verfahren der Triangulation an. Zu diesem Zweck wird die Erdoberfläche des zu vermessenden Gebietes in Dreiecke zerlegt, und außer einer Seite, der Basis, werden nur Winkel gemessen. Snellius benutzte dazu einen Eisenmaßstab von 1 holländischen Rute zu 12 Fuß, der in 1000 Teile geteilt war. Er ermittelte mit ihm einen Meridiangrad zu 55 021 Toisen.

Wenige Jahre später unternahm ein Engländer eine Gradmessung zwischen London und York – teils mit Meßrad, teils mittels Triangulation – ohne befriedigendes Ergebnis. Anders ging der französische Astronom Jean Picard (1620 bis 1682) zu Werke; er maß die Strecke zwischen Amiens und Malvoisine mittels Triangulation und verwendete dabei für seine Winkelmessungen zum ersten Mal Fernrohre. Als Normalmaßstäbe oder Basisstangen dienten ihm zwei hölzerne Nachbildungen der Toise. Weitere Gradmessungen in Frankreich folgten. Sie führten zu der überraschenden

Erkenntnis, daß die Erde keine vollkommene Kugel, sondern an den Polen abgeplattet ist.

Das Meter wird als Naturmaß eingeführt

Unterdessen gingen die Bemühungen, ein Naturmaß als Grundmaß der Länge zu finden, weiter. In diesem Zusammenhang hatte ein Niederländer bereits um 1600 auf die Vorteile einer dezimalen Teilung von Maßen hingewiesen. Schließlich machte ein Franzose den Vorschlag, den 60sten Teil der Länge eines Erdmeridians als „Miliare“ zum Grundmaß zu erklären. Der Physiker Christian Huygens empfahl 1664 die Länge des Sekundenpendels, doch wies ein französischer Astronom nach, daß dessen Länge von der geographischen Breite abhängt und somit keine Naturkonstante ist.

Der französische Bischof und Staatsmann Talleyrand schlug der französischen Nationalversammlung 1790 vor, ein neues Maßsystem zu schaffen, um der Vielfalt der Maße in Frankreich ein Ende zu machen. Es sollte auf einem Naturmaß beruhen, damit es jederzeit wiederhergestellt werden könnte. Auf Veranlassung einer Kommission von Wissenschaftlern der französischen Akademie der Wissenschaften einigte man sich schließlich auf den 10 000sten Teil eines Erdmeridianquadranten (Viertelkreis) als Grundeinheit der Länge. Eine nochmalige, genauere Meridianmessung war unerlässlich. Sie sollte zwischen Dünkirchen an der französischen Nordküste und Barcelona an der spanischen Nordostküste erfolgen, da beide Städte auf demselben Meridian und in Meereshöhe liegen. Als die Arbeiten abgeschlossen waren, hatte man für den Viertelkreis eine Ge-

Meßwagen von A. F. Zürner (oben) und Meßrad von I. F. Fernel (unten)



samtlänge von 5 130 740 Toisen ermittelt. Dem 10 000sten Teil, der 443,296 Linien betrug, gab man den Namen Meter, was im Griechischen Maß bedeutet.

Im Juni 1799 wurde dem französischen Staatsarchiv eine Verkörperung des Meters in Gestalt eines „in der Schweißhitze zusammengehämmerten“ flachen Endmaßstabes aus Platinschwamm übergeben. Er sollte bei 0 Grad Réaumur (= 0 Grad Celsius) richtig sein. Ein zweites Exemplar erhielt das Pariser Längenmeßlaboratorium der Akademie der Wissenschaften als Arbeitsetalon. Vom Meter sollten Flächen-, Volumen- und Massemaße abgeleitet werden. Das neue System erhielt den Namen metrisches System. Die erste Definition des Meters lautete: Ein Meter ist bei der Temperatur des schmelzenden Eises (0 Grad Réaumur) gleich dem 10 000sten Teil des Erdmeridianquadranten.

Da es nicht genügt, Längen nur in Metern zu messen, legte die Kommission, die das Meter berechnet hatte, eine Anzahl Vorsilben (Vorsätze) fest, die, mit dem Meter zusammengefügt, dezimale Vielfache und Teile desselben bezeichnen sollten. Um den Namen der Längen nicht immer ausschreiben zu müssen, was besonders in Zusammenhang mit Zahlenangaben unbequem ist, wurden Kurzzeichen für das Meter (m) und für die Vorsätze (Dezi = d = 1/10, Zenti = c = 1/100, Milli = m = 1/1000 und Dekka = D – später durch da ersetzt – für das 10fache, Hekto = h für das 100fache und Kilo = k für das 1000fache) eingeführt. So ergeben sich folgende Vielfache und Teile des Meters:

Kilometer	1 km = 1000 m
Dezimeter	1 dm = 0,1 m
Zentimeter	1 cm = 0,01 m
Millimeter	1 mm = 0,001 m

Obwohl das Meter in Frankreich gesetzlich festgelegt war, konnte es sich zunächst nicht einbürgern. Man wehrte sich insbesondere gegen die dezimale Teilung, die nach der seit

Jahrhunderten üblichen Zwölferteilung nachteilig erschien, da 10 nur durch 2 und 5, nicht aber durch 3, 4 und 6 ohne Rest teilbar ist. Dazu kam, daß der einfache Bürger gar nicht einsehen konnte, welche Vorteile ihm das neue Maßsystem bringen sollte. Er war, wie allgemein üblich, allem Neuen gegenüber mißtrauisch und ablehnend, zumal es ihm nur Ungelegenheit brachte. Heute können wir die Dezimalrechnung kaum entbehren, und das Meter ist vermutlich die auf der Erde am meisten gebrauchte Längeneinheit.

Als Belgien und die Niederlande, die unmittelbaren Nachbarstaaten Frankreichs, das neue Maßsystem bereits mit Erfolg anwandten, vermochte es sich in seinem Ursprungsland erst durchzusetzen, nachdem im Jahre 1837 ein Gesetz erlassen worden war, das die Benutzung anderer Einheiten nach dem 1. Januar 1840 endgültig verbot.

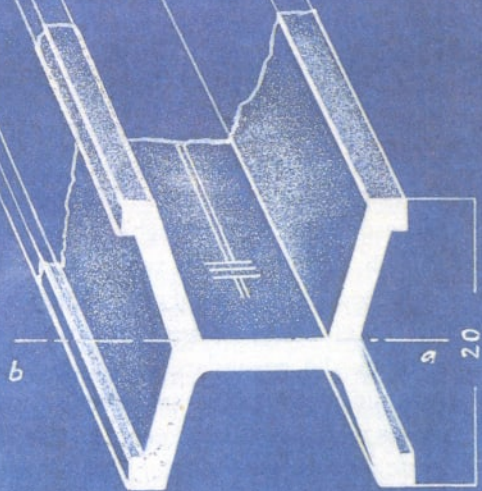
In Deutschland verhielten sich die einzelnen Staaten gegenüber dem neuen System unterschiedlich. Die meisten wollten erst einmal abwarten, wie es sich weiterentwickeln würde. Einen besonderen Vorstoß unternahm die Bergakademie Freiberg, indem sie sich 1821 einen Normalmaßstab von 1 Meter Länge aus Paris kommen ließ, um damit ihre Lachter auszumessen. Diese sollten von diesem Zeitpunkt an auf eine Länge von 2 Metern umgestellt werden. Preußen hatte es nach Einführung der Besselschen Toise, die mit dem Pariser Meter verglichen war, nicht sonderlich eilig, sein mühsam aufgebautes Maßsystem wieder aufzugeben. Und Sachsen beschloß in Übereinstimmung mit dem Deutschen Zollverein, einer wirtschaftspolitischen Vereinigung von 18 Staaten unter Preußens Führung, zunächst ebenfalls an seiner Elle festzuhalten. Erst als sich der 22 Staaten umfassende Norddeutsche Bund durch seine Maß- und Gewichtsordnung dem metrischen System anschloß, konnte auch Preußen nicht länger zurückstehen. Dabei wurde die Meile gleich 7500 Meter oder 7,5 Kilometer erklärt.

Die Umstellung auf das neue Maßsystem verschlang gewaltige Geldmittel. Zunächst schaffte man entsprechende Verkörperungen oder Prototypen an. Da diese aus dem kostbaren Platin bestanden, hatten sie einen entsprechend hohen Preis. Außerdem mußten allein in Preußen mehr als 3000 alte Landesmaße aus dem Verkehr gezogen und durch metrische ersetzt werden. Das ging zu Lasten der Benutzer der Maße, und diese widersetzten sich natürlich so lange wie möglich. Verstöße gegen die neue Regelung ahndete man schließlich mit hohen Geldstrafen. Nach Gründung des Deutschen Reiches wurde das metrische System ab 1. Januar 1872 für den gesamten Staat verbindlich, und nach dem 1. Januar 1876 durften keine alten Maße mehr im Handel und im Verkehr benutzt werden. Ähnlich spielte sich die Einführung der Einheiten des metrischen Systems überall ab.

Vom Naturmaß zum Meter-Etalon

Die aus Platinschwamm hergestellten Meterprototypen erwiesen sich bei längerer Benutzung als wenig geeignet. Einerseits waren diese flachen Endmaßstäbe leicht zu verbiegen, zum anderen zeigten die Endflächen ihrer Begrenzungsebenen durch das Antasten mit Fühlhebeln beim Vergleich mit anderen Maßen kleine Eindrücke, so daß die Messungen an Genauigkeit einbüßten. Schließlich war das porige Material durch Luft- und Feuchtigkeitsaufnahme gefährdet. Verschiedene Wissenschaftler erhoben deshalb Bedenken und verlangten eine Überprüfung des Urmeters. Nach längerem Hin und Her kam in Paris endlich ein Treffen von 17 Vertretern der Anwenderstaaten zustande, das im Jahre 1875 zum Abschluß der Internationalen Meterkon-

Querschnitt des Meterprototyps von 1889



vention führte. Sie gilt noch heute, doch mußte sie inzwischen mehrmals ergänzt und erweitert werden.

Aufgaben der Mitgliedstaaten der Meterkonvention sind die Überwachung und Förderung des metrischen Systems und dessen Ergänzung entsprechend den Bedürfnissen von Wissenschaft, Technik und Wirtschaft. Die wissenschaftlichen Arbeiten und Aufgaben werden durch das Internationale Bureau für Maß und Gewicht erledigt. Es hat seinen Sitz im Pavillon de Breteuil in Sèvres bei Paris. Dort arbeiten Wissenschaftler verschiedener Fachrichtungen aus mehreren Staaten unter Anleitung eines Direktors. Sie alle sind ausgezeichnete Fachleute auf speziellen Gebieten des Meßwesens.

Spätestens alle sechs Jahre finden Generalkonferenzen für Maß und Gewicht statt. An ihnen nehmen Wissenschaftler der Mitgliedstaaten teil; als höchstes Gremium beraten sie über wichtige Fragen der physikalisch-technischen Maßeinheiten, sie geben Rechenschaft über Fortschritte auf ihrem Fachgebiet und empfangen neue Anregungen.

Die erste Aufgabe des Internationalen Bureaus für Maß und Gewicht bestand darin, neue Meterprototypen zu schaffen. Um die aufgetretenen Mängel der ersten Prototypen, insbesondere die Verbiegbarkeit, zu vermeiden, entschied es sich für einen Stab mit X-förmigem Querschnitt und Strichbegrenzungen auf seiner Mittelrippe. Das neue Material war eine Legierung aus 90 Prozent Platin und 10 Prozent Iridium, die besonders widerstandsfähig ist. Bei der Berechnung des Meters war ein Fehler gemacht worden, so daß dieses nicht den 10 000sten Teil des Viertelkreises verkörperte. Demzufolge war der neue Maßstab, dessen Länge mit der des ersten Prototyps übereinstimmte, keine Verkörperung des Naturmaßes von $1/10\,000$ Viertelkreis mehr, sondern nur noch ein Muttermaß oder Etalon beziehungsweise ein Prototyp.

Den Mitgliedstaaten der Meterkonvention wurden auf Anforderung solche neuen Prototypen vom Internationalen Bureau für Maß und Gewicht geliefert. Damals (1889) erhielt Deutschland durch Los den Maßstab Nummer 18. Er befindet sich heute in Obhut des Bereichs Meßwesen des Amtes für Standardisierung, Meßwesen und Warenprüfung der DDR. Bei Bedarf können die Prototypen in Paris nachgeprüft werden, damit ihre Richtigkeit gewährleistet bleibt. Unser Urmaßstab erhielt vor einigen Jahren zusätzlich eine Millimeterteilung, die bei 20 Grad Celsius richtig ist.

Neue Naturmaße des Meters

Der Engländer Isaac Newton (1643 bis 1727) und der Deutsche Joseph Fraunhofer (1787 bis 1826) hatten entdeckt, daß sich „weißes Licht“ – wie das Sonnenlicht – in ein Farbband oder Spektrum zerlegen läßt, wenn es durch ein Prisma geleitet wird, und daß jedes farbige Licht einer bestimmten Wellenlänge entspricht. Es lag deshalb nahe, derartige Wellenlängen als Längennormale zu verwenden.

In den Jahren 1892/93 unternahmen Mitarbeiter des Internationalen Bureaus für Maß und Gewicht erste Versuche, das Meter durch die Wellenlängen von verdampftem Kadmium darzustellen. Die Wellenlänge dieses Schwermetalls beträgt nur 0,643 846 96 Mikrometer (Tausendstel Millimeter). Für die Messung war eine sehr komplizierte Apparatur erforderlich. Andere Physiker wiederholten den Versuch und kamen zu dem gleichen Ergebnis. Daraufhin beschloß die 7. Generalkonferenz für Maß und Gewicht im Jahre 1927 eine zweite Meterdefinition: Das Meter ist gleich 1 553 164,16 Wellenlängen der roten Kadmiumlinie. Dazu kamen zusätzliche Bestimmungen über Temperatur (15 Grad Celsius), Druck (101 325 Pascal) und Kohlensäuregehalt der Luft (0,03 Volumenprozent).

Damit hatte man endlich eine Möglichkeit gefunden, sehr kleine Längen äußerst genau zu messen. Das erwies sich besonders bei der industriellen Längenmessung zum Ausmessen von Kleinteilen im Austauschbau als vorteilhaft. Darunter verstehen wir das Ersetzen unbrauchbar gewordener Teile durch industriell gefertigte Ersatzteile ohne zusätzliche Bearbeitung. Dafür sind natürlich außerordentlich sorgfältig eingestellte und arbeitende Maschinen erforderlich.

Die Wissenschaftler gaben sich jedoch nicht damit zufrieden, eine brauchbare Wellenlänge für Meßzwecke gefunden zu haben. Sie forschten weiter und fanden, daß sich die orange-farbene Linie des Kryptons, eines Edelgases, noch besser anwenden läßt. Daraufhin beschloß die 11. Generalkonferenz für Maß und Gewicht 1960 folgende Meterdefinition: Das Meter ist gleich 1 650 763,73 Wellenlängen der orange-farbenen Linie des Kryptons im Vakuum, also im luftleeren Raum. Die zur Darstellung des Meters hierbei notwendige Apparatur ist weit komplizierter als die für die rote Kadmiulinie. Nach dieser Definition konnte man das Meter mit einer bis dahin unvorstellbaren Genauigkeit darstellen. Im Laufe der Zeit entstand jedoch der Wunsch nach einer noch höheren Präzision. Die rasche Entwicklung von Wissenschaft und Technik erforderte immer genauere Messungen – man denke nur an die astronomische Forschung und an die Raumfahrt.

In der Zwischenzeit hatte man eine neue Lichtquelle, den Laser, entwickelt und im Laufe der Zeit so vervollkommnet, daß mit bestimmten Lasertypen, den stabilisierten Gaslasern, noch wesentlich stabilere Spektrallinien erzeugt werden konnten. Zudem verfügte man über Atomuhren (siehe Seite 128/129). Mit ihnen läßt sich die Zeit und damit auch die Frequenz – das ist die Anzahl der Schwingungen in einer bestimmten Zeit – so präzise bestimmen, daß die

dabei erzielte Genauigkeit viel größer ist, als sie für das Meter erreicht worden war. Die Sekunde, unsere Zeiteinheit, war etwa 10 000mal genauer meßbar als das Meter.

Mit den damals genauesten Werten von Meter und Sekunde wurde nun die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts im Vakuum, die Lichtgeschwindigkeit, ermittelt. Wir erinnern uns: Die Lichtgeschwindigkeit ist die größte überhaupt mögliche Geschwindigkeit; sie ist eine Naturkonstante, das heißt, ihr Wert ist unveränderlich. Daß der angegebene Wert seit der ersten Messung im Jahre 1676 häufig geändert wurde, lag allein an der noch unvollkommenen Meßtechnik. Heute kann man guten Gewissens sagen, daß der derzeit genaueste Wert von 299 792 458 Meter je Sekunde mit einer so großen Sicherheit feststeht, daß es äußerst unwahrscheinlich ist, ihn nochmals ändern zu müssen.

Nun tat man einen entscheidenden Schritt: Man setzte diesen Wert der Lichtgeschwindigkeit als genau fest und definierte das Meter neu. Nach der neuen, von der 17. Generalkonferenz für Maß und Gewicht 1983 angenommenen Definition ist das Meter die Strecke, die das Licht in der Zeit von $1/299\,792\,458$ Sekunde durchläuft.

Der technische Aufwand für die Darstellung des Meters nach der neuen Definition ist so hoch, daß er nur an wenigen Staatsinstituten der Welt betrieben werden kann. Genauigkeit hat eben ihren Preis. Es muß aber auch gesagt werden, daß diese neue Definition Auswirkungen nur an der Spitze der Forschung haben wird. Für uns ändert sich nichts, denn auf die Meßgeräte, mit denen wir normalerweise umgehen, hat die winzige Verbesserung der Genauigkeit keinen Einfluß.

Die wichtigsten Vielfachen und Teile des Meters sind: Kilometer, Dezimeter, Zentimeter, Millimeter (vergleiche Seite 48) sowie Mikrometer ($1\ \mu\text{m} = 10^{-6}\ \text{m}$), Nanometer ($1\ \text{nm} = 10^{-9}$) und Pikometer ($1\ \text{pm} = 10^{-12}\ \text{m}$).

Waagen und Wägestücke in 10 Jahrtausenden

Die Waage als Sinnbild

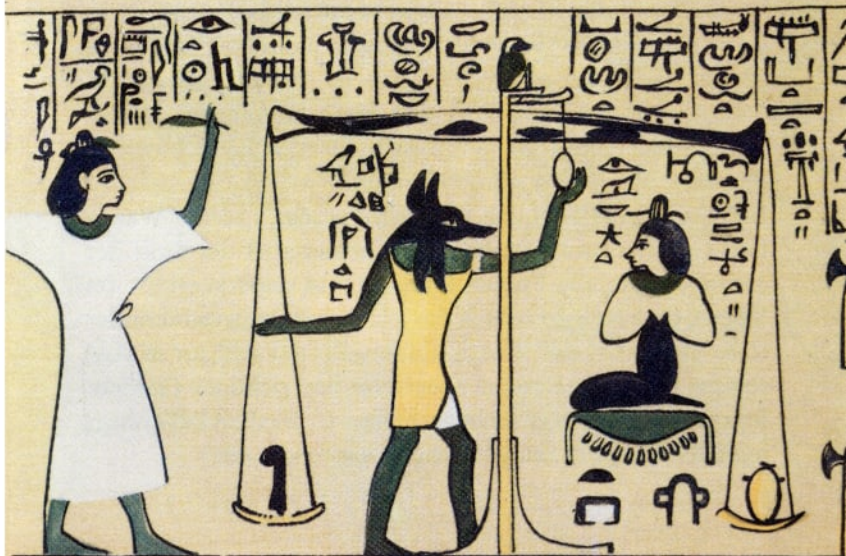
Legen wir auf die Schale einer gleicharmigen Hebelwaage eine Masse von 50 Gramm, so erzielen wir nur dann eine Gleichgewichtslage, wenn wir auf die andere Schale ebenfalls 50 Gramm legen. Wollen wir also die Masse eines Körpers feststellen, müssen wir auf die zweite Schale so viele Wägestücke geben, bis diese der Masse des Körpers gleich sind. Diesen Zustand nennen wir Einspiellage.

Die Waage in der Gleichgewichtslage wurde den Menschen sehr früh zu einem Sinnbild. Sie haben das Zeichen der Waage \simeq sogar in den Tierkreis der Sternbilder aufgenommen, wo es die Tagundnachtgleiche, den Herbstanfang, symbolisiert. Nach den Vorstellungen der Antike trat die Sonne zu diesem Zeitpunkt den Weg in die Unterwelt an, was mit zunehmender Dunkelheit einherging.

Seit dem frühen Altertum gilt die gleicharmige Hebelwaage als unbestechliches Meßgerät. Schon durch geringe Belastung auf einer Seite, etwa durch einen kleinen Kieselstein, kann sie aus dem Gleichgewicht gebracht werden. Bilder solcher Waagen finden wir in Totenbüchern der Ägypter aus dem 2. Jahrtausend vor unserer Zeitrechnung. Dabei diente die Waage zur Seelenwägung. Nach altägyptischen Vorstellungen wurden nämlich die Taten des Menschen bei seinem Eintritt in das Totenreich von einem Gott der Unterwelt gewogen. Diesem Glauben zufolge kam das Herz des Menschen oder seine Seele in einer Urne auf die eine Seite der

Die Waage als Sinnbild der Gerechtigkeit: Justitia (oben) und altägyptische Totenwaage (unten)

JUSTITIA



Zweihebelwaage, und das Wahrzeichen der Gerechtigkeit, eine Vogelfeder, belastete die andere Seite der Waage. Wurden das Herz oder die Seele „als zu leicht befunden“, so sollten sie einem Schakal zum Fraß vorgeworfen werden. In einem Totenbuch finden wir die Beteuerungen: „Ich habe die Gewichte der Handwaage nicht vergrößert, ich habe das Lot der Standwaage nicht hinuntergeschoben!“ Daraus kann man schließen, daß es damals schon kleine und große Ausführungen von Hebelwaagen gab: die kleine Handwaage, wie sie Geldwechsler benutzten, und die für größere Lasten benutzte stehende Waage mit Lot zur Kontrolle ihrer senkrechten Stellung. Außerdem scheint man bereits allerlei „Kniffe“ gekannt zu haben, die Anzeige der Waage nach dem Ermessen ihrer Besitzer zu beeinflussen, was einmal mittels zu großer oder zu kleiner Wägestücke, zum anderen durch Verlagerung des Drehpunktes erreicht werden konnte. Wir finden das in alten Schriften bestätigt durch viele Hinweise auf „falsche Waagen“. Einer der jüdischen Propheten spricht sogar von einer „Trugwaage“. Möglicherweise ist damit eine Waage mit hohlem Waagenhebel gemeint, in dem Quecksilber je nach Bedarf in die linke oder die rechte Seite des Hebels verlagert werden konnte.

Im Alten Testament der Bibel wird gesagt, „rechte Waage und Gewicht sind vom Herrn“ – gemeint ist der Gott der Juden – und „alle Pfunde im Sack sind seine Werke“. Im Koran, dem Religionsbuch des Islam, liest man unter anderem: „Gott hat die Waage aufgestellt, auf daß ihr in Ansehung der Waage nichts übertretet und richtiges Gewicht führet und die Waage nicht vermindert.“ In allen Fällen sagt man der Waage einen göttlichen Ursprung nach.

Die Waage als Sinnbild der Verknappung und Not: einer der apokalyptischen Reiter, der sogenannte Hungerreiter, von Albrecht Dürer



Die Waage als Symbol der Gerechtigkeit wurde von jüngeren Religionslehren übernommen. Sie galt aber zugleich als Sinnbild der Verknappung und des Elends; es heißt zum Beispiel in der Bibel „... daß sie ihr Brot essen müssen nach Gewicht“. Um 1500 griff der Maler und Grafiker Albrecht Dürer dieses Motiv auf und stellte seinen „Hungerreiter“ mit einer zweiarmigen Hebelwaage in der Hand dar. Noch heute finden wir die Waage als Symbol der Gerechtigkeit oder des Rechtes an alten Gerichtsgebäuden, Kirchen und Rathäusern.

Urformen der Waage

Niemand weiß genau, wann und wo Waagen erfunden worden sind. Wie mögen sie entstanden sein? Wahrscheinlich suchten die Menschen Gegenstände hinsichtlich ihrer Masse zu vergleichen, indem sie diese in je eine Hand nahmen, die Arme zur Seite streckten und nun abschätzten, was schwerer wog. Der menschliche Körper diente dabei als Stütze und die beiden Arme als gleich lange Hebel.

Ebenso ist es denkbar, daß sich die Waage aus dem Tragstock entwickelt hat. Er konnte über eine Schulter oder, wie beim Wassertragen, über beide Schultern gelegt werden. Beides war im Altertum so verbreitet wie noch gegenwärtig in einigen Gebieten Ostasiens.

Im Gegensatz zu der Entwicklung im Mittelmeerraum und in Mesopotamien scheint in Ostasien zuerst die Einschalenwaage mit zwei ungleich langen Hebeln entstanden zu sein. Vermutlich hat es sogar eine noch frühere Form der Einschalenwaage gegeben. In verschiedenen alten Sprachen stimmen nämlich die Bezeichnungen für Waagen und Wäge-



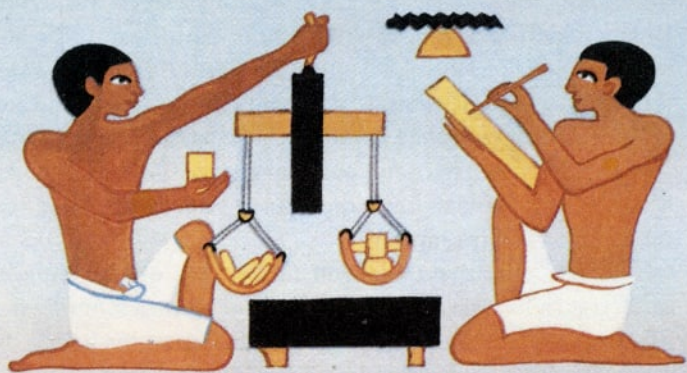
stücke überein. Wir können deshalb annehmen, daß diese ursprünglich eine Einheit gebildet haben und nicht getrennt auftraten. Ein Beispiel dafür ist das griechische Wort Talent. Zur Zeit des Dichters Homer, um 800 vor unserer Zeitrechnung, bezeichnete es die Waage, das Gewogene, eine bestimmte Masse sowie einen dieser Masse entsprechenden Geldbetrag, verkörpert durch einen Silberbarren. Ähnlich bedeutete im alten Rom das Wort Libra die Waage selbst, den Massebetrag 1 Pfund – damals 327,45 Gramm – und einen Betrag an barem Geld.

Vor einigen Jahren entdeckten Indienreisende bei einem in Assam lebenden Volksstamm, den Nagas, Waagen, bestehend aus nur einer einzelnen Schale, die mit Schnüren an einem Hebel hing, der gegen eine senkrechte Fläche abgestützt werden konnte. Mit derartigen Waagen kann jeweils nur eine bestimmte Masse gewogen werden. Wahrscheinlich hat man solche Waagen schon in frühester Zeit zur Verteilung von Korn und Früchten verwendet. Sie würden dann gewissermaßen eine „Urwaage“ darstellen. Aus ihr könnte sich sowohl die ungleicharmige Einschalenwaage als auch die gleicharmige Zweischaalenwaage entwickelt haben.

Gleicharmige Waagen im Altertum

Die Wiege der gleicharmigen Hebelwaage ist im Gebiet der großen Kulturen in Afrika und Mesopotamien zu suchen. Wir kennen diese Waagen lediglich aus bildlichen Darstellungen. Wahrscheinlich haben sie beim Eintreiben von Tributen und Abgaben unterworfenen Völker eine Rolle gespielt. Waagen selbst sind noch nicht gefunden worden; offensichtlich waren sie aus leicht verrottbarem Material

Altägyptische Darstellungen der Zweischaalenwaage:
Handelswaage (oben) und Wollwaage (unten)



hergestellt, beispielsweise Gestelle und Hebel aus Holz, Wägeschalen und Schlaufen aus Leder oder Bast. Lediglich einige steinerne Normalwägestücke sind in die Hände der Altertumsforscher gelangt. Vor wenigen Jahrzehnten fand man in oberägyptischen Gräbern Wägesteine, deren Alter von den Wissenschaftlern auf mindestens 9000 Jahre geschätzt wird. Danach hätte die älteste Waage ein Alter von mindestens 10 000 Jahren.

Die ersten primitiven Waagen mögen aus einem einigermaßen geraden Ast mit einer Kerbe zur Kennzeichnung der Mitte und Feldsteinen als Wägestücken bestanden haben. In einer Darstellung ägyptischer Teppichweberinnen ist eine Wollwaage mit richtigen Schalen und scheibenartigen, vielleicht schon metallenen Wägestücken zu sehen. Der älteste bekannte Waagenhebel aus rötlichem Kalkstein wurde in einem ägyptischen Grab gefunden; sein Alter wird auf etwa 7000 Jahre geschätzt. Er hatte drei Bohrungen für die Schnüre, an denen die Schalen befestigt und die Waage aufgehängt wurden.

Als den Menschen die Herstellung von Bronze gelungen war, gingen sie dazu über, Waagenhebel aus diesem Werkstoff anzufertigen, da er eine bessere und zierlichere Formgebung gestattete. Altägyptische Darstellungen zeigen Totenwaagen dieser Art: hohe Waagen mit schlanken Hebeln, an deren Enden die langen Schnüre der Schale hängen. Zuweilen befindet sich in der Nähe des Dreh- und Aufhängepunktes ein Lot zur Kontrolle der senkrechten Stellung. Später verwendete man statt dessen eine metallene Schere mit einer Zunge, die es gestattete, das Einspielen der Waage besser zu beobachten.

Aus Ägypten sind nur verhältnismäßig kleine Masseein-

Älteste bekannte Wägestücke in Form einer Birne (oben) und einer schlafenden Ente (unten)



heiten bekannt, das Deben zu 91 Gramm sowie sein zehnter Teil, das Kite oder Loth. Erst später gesellte sich die aus dem assyrisch-babylonischen Sexagesimalsystem stammende Mine zu 603 Gramm dazu. Metalle, besonders Gold und Silber, waren Zahlungsmittel und mußten ebenfalls gewogen werden. Als Vergleichsmassen dienten aus Bronze gegossene Tierfiguren, wie Löwen und Stiere. Man hatte sie Göttern geweiht und glaubte sich auf diese Weise gegen Betrügereien sichern zu können. Um 900 vor unserer Zeitrechnung kamen Metallbarren und Scheiben auf. Sie waren durch Kerben und Schriftzeichen als staatlich anerkannt gekennzeichnet und bereiteten den Übergang zu Münzen als Zahlungsmitteln vor.

Wie in Ägypten fand man auch im Gebiet des ehemaligen Mesopotamien keine Überreste von Waagen, sondern nur Wägestücke. Das älteste babylonische Wägestück, ein Normal aus Lagasch, schätzt man auf 5000 Jahre. Seine Form ähnelt einer Birne mit einer Bohrung im schmalsten Teil. Es ist aus sorgfältig poliertem Stein gearbeitet und trägt das Siegel des Hohenpriesters Dudu. Die Inschrift lautet auf deutsch: „Eine Mine Lohn in Wolle“. Seine Masse von 680,5 Gramm entspricht nicht den sonst bekannten Minen. Wahrscheinlich handelt es sich um ein Abgabe-Normal, das gewöhnlich größer als das alltägliche Masse-Normal war.

Die uns bekannte älteste bildliche Darstellung einer Waage zeigt das Relief eines hethitischen Geldwechslers aus dem 3. Jahrtausend vor unserer Zeitrechnung. Der Hethiter hält in einer Hand eine kleine Handwaage mit beutelartigen Behältnissen, in der anderen einen Beutel zum Aufbewahren von Geld und Wägestücken. Als solche dienten neben Getreidekörnern auch Johannisbrotkerne, Qirat genannt. Aus

Etwa 5000 Jahre alte Darstellung eines hethitischen Geldwechslers mit Handwaage



diesem Wort entstand im Griechischen Karaton, das im deutschen Wort Karat als Vergleichsmasse für Edelmetalle und Edelsteine erhalten geblieben ist.

Zu den bekanntesten Wägestücken gehören steinerne schlafende Enten mit einer Masse von 60,5 Kilogramm sowie liegende assyrische Löwen aus Bronze. Diese verkörperten je nach der Füllung mit Gerste, Öl oder Wasser Massen von 24, 28 oder 32 Kilogramm, die alle den Namen Talent hatten. Sie waren ebenso wie die Mine zugleich Münzwerte. Größere Waagen, die wir ebenfalls nur aus bildlichen Darstellungen kennen, scheinen zusammenlegbar gewesen zu sein. Vermutlich wurden sie auf Feldzügen mitgeführt, um Tribute damit zu wägen.

Wie bei den Längenmaßen unterschied man auch bei den Masseeinheiten große und kleine. Beispielsweise betrug die Masse einer großen oder schweren Mine um 725 vor unserer Zeitrechnung etwa 1000 Gramm, die der kleinen Mine aber nur die Hälfte. Im gleichen Verhältnis standen die Talente zueinander.

Von den Hebräern wissen wir aus schriftlichen Aufzeichnungen, daß sie ein gestaffeltes System von Massewerten hatten. Am bekanntesten ist das Schekel zu 11 Gramm und das heilige Schekel zu 16 Gramm. Ihr Talent hatte 49 Kilogramm, ihre Mine 0,8 Kilogramm Masse.

Die gleicharmige Hebelwaage kam über Ägypten nach Griechenland. Aus der Zeit des Übergangs vom 2. zum 1. Jahrtausend vor unserer Zeitrechnung blieb eine Keramikschale erhalten, auf der dargestellt ist, wie ein König von Kyrene, einer griechischen Siedlung im Gebiet des heutigen Libyen, Sylphiumkraut, einen wichtigen Handels- und Ausfuhrartikel, abwägt. Die von ihm benutzte Waage hat keine tragende Stütze, sondern ist an einem Balken aufgehängt. An den metallenen Hebeln hängen, durch jeweils vier Stricke befestigt, rechteckige Wägeschalen.

Von Griechenland aus gelangten zweischalige Hebelwaagen um 500 vor unserer Zeitrechnung nach Rom. Hier erhielten sie den Namen *Bi lanculae* (zwei Schalen), möglicherweise im Gegensatz zu bereits vorhandenen Einschalenwaagen. Aus der römischen Bezeichnung entstand dann das Wort *Balance*, das in mehreren Sprachen noch heute für Zweischalenwaagen gebräuchlich ist. Bei uns erinnert das Wort *balancieren* (ins Gleichgewicht bringen) daran.

Ungleicharmige Waagen im Altertum

Über den Ursprung der ungleicharmigen Waage ist noch weniger bekannt als über den der gleicharmigen. Sie ist in Ägypten etwa um 1400 vor unserer Zeitrechnung nachweisbar.

Vor ungefähr 100 Jahren fanden Archäologen in Italien eine etwa 50 Zentimeter lange Bronzestange und dicht daneben eine fast 2 Kilogramm schwere Bleikugel mit einem Eisenhaken. Der Bronzestab war auf drei Seiten von rechts nach links mit Marken und Bezifferungen versehen. Die Ziffern hatten zwar eine gewisse Ähnlichkeit mit den römischen, stammten aber, wie sich herausstellte, von den Etruskern, einem Volk, das im 3. Jahrhundert vor unserer Zeitrechnung von den Römern unterworfen worden ist. Ohne Zweifel handelte es sich bei dem Fund um Reste einer Waage mit versetzbarem Wägestück, die wir Laufgewichtswaage nennen. Ihre Konstruktion setzte zumindest einfache mathematische Kenntnisse der Hebelgesetze voraus.

Nach dem Prinzip der ungleicharmigen Hebelwaage werden in Ostasien noch gegenwärtig Goldwaagen mit elfenbeinerne Hebel und eingesetzten kleinen Silberstiften als Markierung der Skalenteilung verwendet. Sie haben meist drei Aufhängepunkte, so daß sie drei Wägebereiche umfassen. Das Anhängewägestück aus Bronze wird gewöhnlich an einer dünnen seidenen Kordel befestigt.



Die Normalwägestücke wurden auch früher pfleglich behandelt und ihre Ausführung wurde zudem mit besonderem Eifer betrieben. Ausgangs des 3. Jahrhunderts vor unserer Zeitrechnung gab es beispielsweise in China anhängbare Eichwägestücke aus geschnittener Jade in Kegel- oder Würfelform. Sie zeigen auf ihren Außenflächen geltende Gesetze, die eine Erneuerung einer bereits 3000 Jahre zuvor erlassenen Verordnung sein sollen, so daß ihr Alter 6000 Jahre betragen müßte.

Von den Griechen wurde eine Abart der Laufgewichtswaagen, der Besemer, beschrieben. Seine Eigenart besteht darin, daß nicht das Wägestück versetzt wird, sondern der Aufhängepunkt, der jeder Punkt des Hebels sein konnte. Dieser war als dicker Balken mit Kerben oder als Doppelschiene gestaltet, in die hinein die Aufhängeeinrichtung, meist nur ein Haken, gehängt wurde. Die Gegenmasse bildete üblicherweise den Kopf der Schiene beziehungsweise des Balkens.

Bei Ausgrabungen fand man unter anderem auch einen Besemer aus römischer Zeit mit Zwölferteilung der Uncia, einer alten römischen Masseinheit. Der Gleichgewichtspunkt war besonders markiert. Bei unbelasteter Waage mußte die Lastschale eine Masse von rund 400 Gramm haben. Solche Waagen waren noch während des Mittelalters in Kleinasien und bei den Persern sowie in Nordeuropa weit verbreitet.

Waagen und Wägestücke im Mittelalter

Gleicharmige und ungleicharmige Waagen gelangten durch die Eroberungszüge der Römer nach Nordeuropa und in

Römische Laufgewichtswaage, um 1000 v. u. Z.



廿八日
初九日
初十日
十一日
十二日
十三日
十四日
十五日
十六日
十七日
十八日
十九日
二十日
二十一日
二十二日
二十三日
二十四日
二十五日
二十六日
二十七日
二十八日
二十九日
三十日

皇朝
御製

皇朝
御製

皇朝
御製

皇朝
御製

den Vorderen Orient. Da es keinerlei Veranlassung gab, die bestehenden Waagenarten umzugestalten, erhielten sie sich jahrhundertlang fast unverändert. Außerdem war der Handel in der Zeit der Völkerwanderung in Asien sowie in Nord- und Osteuropa eingeschränkt; zu dieser Zeit entschied allein das Schwert.

Wesentlich ungestörter lebten zu dieser Zeit die Völker Kleinasiens. Die 622 durch Mohammed begründete Religionslehre des Islam bewirkte den Zusammenschluß der arabischen Stämme und breitete sich in der Folgezeit bis nach Süd- und Westeuropa aus. Die Araber waren unter anderem sehr geschäftstüchtige Handelsleute und infolgedessen bei kostbaren Wägegütern auf genaue Wägungen bedacht. Sie erfanden zwar keine neuen Waagentypen, verbesserten jedoch die Genauigkeit der Waagen. Außerdem schufen sie für den Handel mit Drogen wesentlich kleinere Masseeinheiten und entsprechende kleine empfindliche Zweischaalenwaagen. Ihre kleinsten Masseeinheiten waren das Weizenkorn zu 0,05 Gramm und das Gerstenkorn zu 0,07 Gramm. Dazu kamen das bereits erwähnte Qirat sowie das Birhem zu 3,25 Gramm.

Allem Anschein nach waren die Araber auch die ersten, die sich mit wissenschaftlichen Problemen der Waage befaßten. Im 11. Jahrhundert entstanden auf arabischem Boden Schriften über die „Waage der Weisheit“, wie sie eine besonders genau wägende Waage ihrer Zeit nannten.

Die Völkerwanderung führte zur Gründung neuer Staaten, auch in Europa. Gleichzeitig entstand ein großes Verlangen nach erweiterten Handelsbeziehungen. So stieg der Bedarf an Waagen und Wägestücken für allerlei Handelsgüter. Im Frankenreich führte Karl der Große als Normalwägestück

Altchinesisches Eichwägestück aus Jade mit der Maß- und Gewichtsordnung des Kaisers Shih Huang Ti

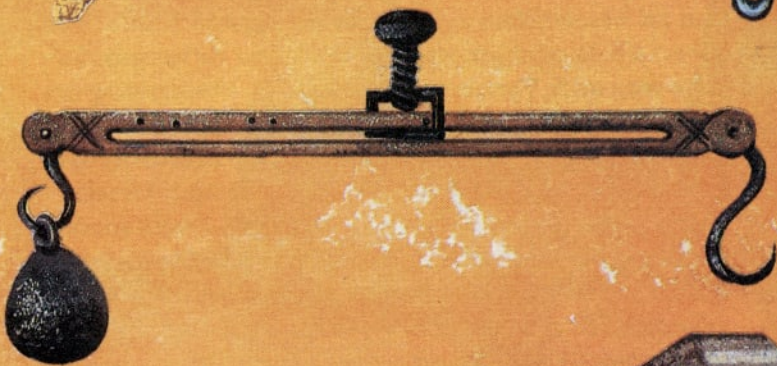
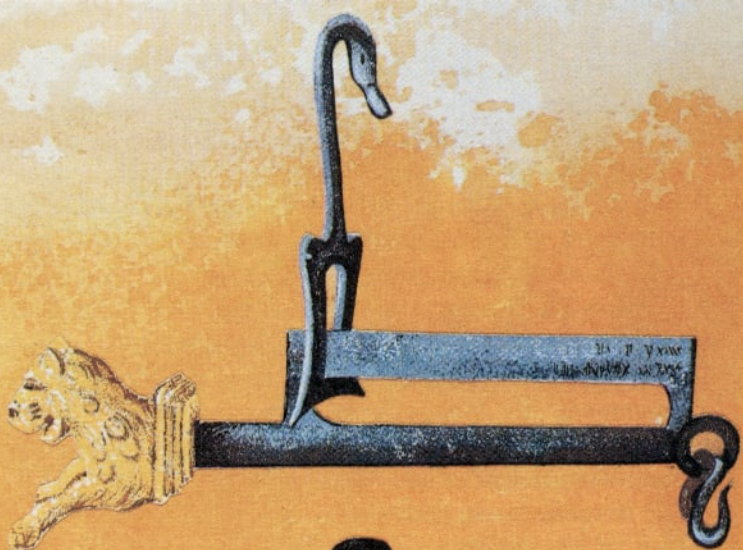
das Karlsfund ein. Es wurde durch die Pile de Charlemagne verkörpert. Das war ein Einsatzwägestück mit einer Gesamtmasse von rund 360 Gramm und entsprach damit ungefähr der alten römischen Libra. Die in einem Hohlkörper untergebrachten becherartig ineinandergesetzten Teilmassen waren so abgestimmt, daß sie zusammen die gleiche Masse hatten wie der Hohlkörper als größtes Einzelstück. In Frankreich entwickelte sich daraus das Livre, das folgendermaßen unterteilt war:

1 Livre (Pfund) = 2 Marcs (Mark) = 16 Onces (Unzen)
= 128 Gros (Drachmen) = 384 Denier (Skrupel) = 9216
Grain (Körner) = 489,51 Gramm.

Diese Masseinheiten hatten das gleiche Schicksal wie die Längeneinheiten jener Zeit, sie waren bald von Land zu Land und von Ort zu Ort unterschiedlich. Als im Mittelalter das Kunsthandwerk aufkam, wurden die Wägestücke, namentlich die Umschlußkörper der Einsatzwägestücke, mit vielen Verzierungen versehen. Dabei kam niemandem der Gedanke, daß gerade diese Verzierungen Staub- und Schmutzteilchen aufnehmen oder, wenn sie blank geputzt wurden, Masseteile verlieren könnten. So war es unvermeidlich, daß die Masse derartiger Normalwägestücke schon nach kurzer Zeit nicht mehr stimmte.

Neue Waagenkonstruktionen gab es in dieser Zeit nicht; lediglich die Hebel wurden nun auch künstlerisch gestaltet, wie bei der sogenannten Schwertwaage, deren Hebel man einem kostbaren Schwert nachgebildet hatte. Charakteristisch für diese Epoche war bei den gleicharmigen Waagen die in einer Schere schwingende Zunge zum besseren Beobachten der Einspiellage.

Abarten der Laufgewichtswaage, sogenannte Besemer:
aus römischer Zeit (oben) und skandinavische Formen aus dem Mittelalter
(darunter)



Einer der ersten, die die Wichtigkeit von Wägungen für die Wissenschaft erkannten, war der Kardinal von Kues an der Mosel. Sein 1450 erschienenes Werk „Versuche mit der Waage“ sollte Laien die vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten der Waage zum Erlangen wissenschaftlicher, auch medizinischer, Erkenntnisse aufzeigen. Er fand heraus, daß die in der Hand gehaltene Waage in ihrer Genauigkeit nicht befriedigt. Deshalb wies er in seinen Schriften Wege zur Weiterentwicklung der Mechanik, ohne die eine Vervollkommnung der Waage nicht gelingen konnte. Ähnliche Vorschläge machte in Italien der Künstler, Baumeister, Naturwissenschaftler und Philosoph Leonardo da Vinci.

Der Bergbau beschränkte sich im mittelalterlichen Deutschland im wesentlichen auf die Gewinnung von Kupfer und Silber. Als es gelungen war, den Abbau zu verbessern, forderte man auch Verfahren zur genaueren Bestimmung des Metallgehaltes von Erzen, die man Probieren nannte. Es war für das Prüfen der Abbauwürdigkeit von Erzadern ebenso wichtig wie für das Herstellen gleichmäßiger Metallzusammensetzungen (Legierungen). Zu diesem Zweck wurden die Erzproben ursprünglich durch Trocknen, Zerkleinern, Rösten und Schmelzen untersucht, was ziemlich viel Material erforderte. Jetzt wollte man mit möglichst geringen Proben auskommen. Dazu brauchte man kleinere und empfindlichere Waagen. So konstruierte man kleine gleicharmige Hebelwaagen mit feinem Hebel und leichten Schalen. Zu jeder solchen Waage gehörte ein Satz entsprechend kleiner Wägestücke. Sie waren nach Massewerten gestuft und wurden meist in samtausgekleideten hölzernen Etais aufbewahrt. Die Wägestücke aus Messing hatten die Form quadratischer Klötze.

Einsatzwägestücke mit künstlerisch gestaltetem Umschlußkörper



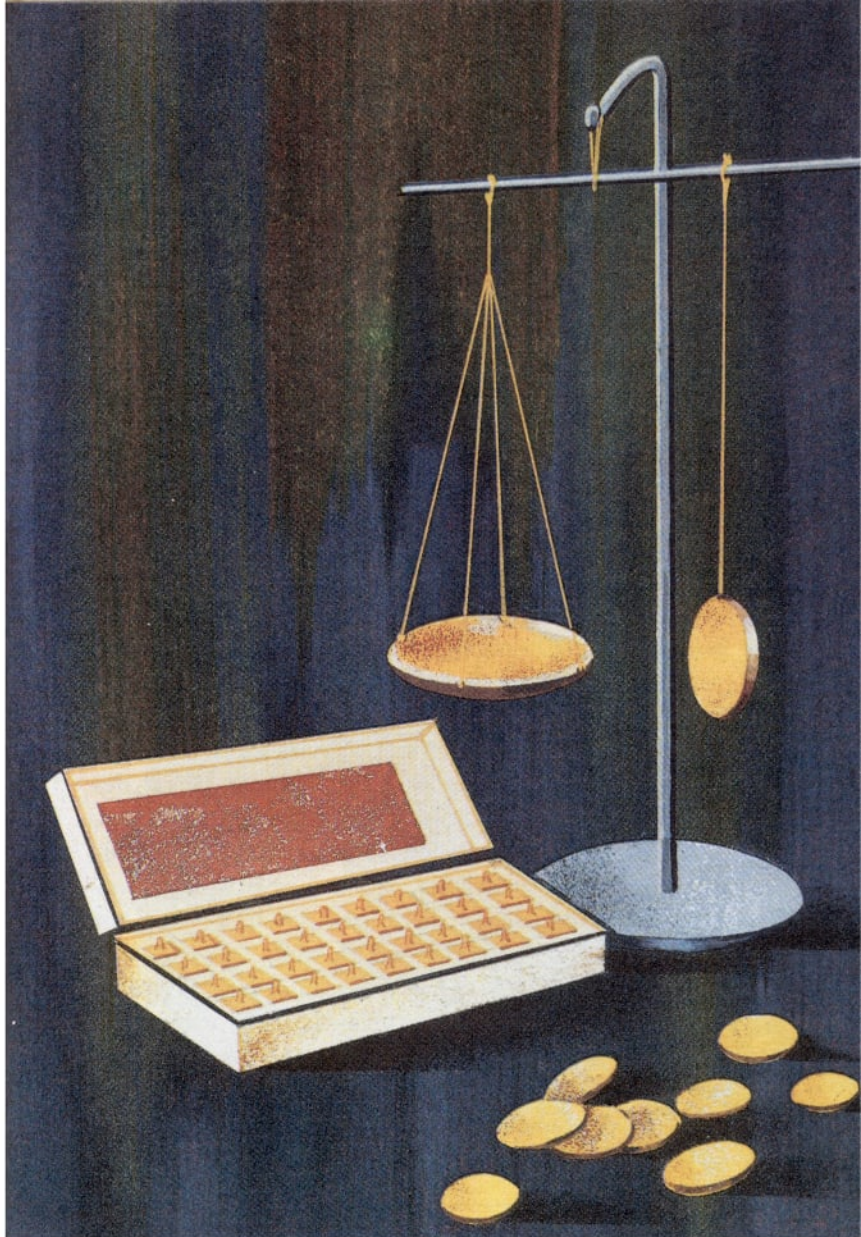
Da Handwaagen nicht genügend sichere Ergebnisse lieferten, hängte man die Waagen an passende Gestelle. Später versah man sie mit einer Aufzugseinrichtung, die es gestattete, die Schalen zu belasten, wenn sie auf der Tischplatte ruhten. Erst danach zog man sie mittels einer Kordel so hoch, daß sie frei schwingen konnten. Schließlich ging man dazu über, solche feinen Waagen vor Zugluft und damit vor zusätzlichen Schwingungen zu schützen, indem man sie in einen halboffenen Kasten einbaute. Es waren die ersten Vorläufer unserer Präzisions- oder Analysewaagen, ohne die kein chemisches Laboratorium heute auskommt.

Da sich das Prinzip des Aufzugs und der Belastung der Waage in Ruhestellung bei kleinen Waagen gut bewährte, wandte man es bald auch für Großwaagen an, beispielsweise bei Mehlwaagen. Hier erfolgte der Aufzug mittels Kurbel. Für den Waagemeister bedeutete das eine erhebliche Arbeitserleichterung, da er die schweren Säcke nicht mehr auf die frei schwingende Waage zu heben brauchte.

Mit dem Anwachsen von Handel und Verkehr nahm die Anzahl und Größe der Frachtwagen zu. Das verlangte den Einsatz von Waagen höherer Tragfähigkeit und spezieller Art.

Da zum Ausgleich der Masse der Wägegüter immer mehr Wägestücke erforderlich wurden und es Schwierigkeiten gab, sie auf den Auswägeschalen unterzubringen, besann man sich auf den Vorteil der ungleicharmigen Hebelwaagen und fertigte solche jetzt für große Lasten.

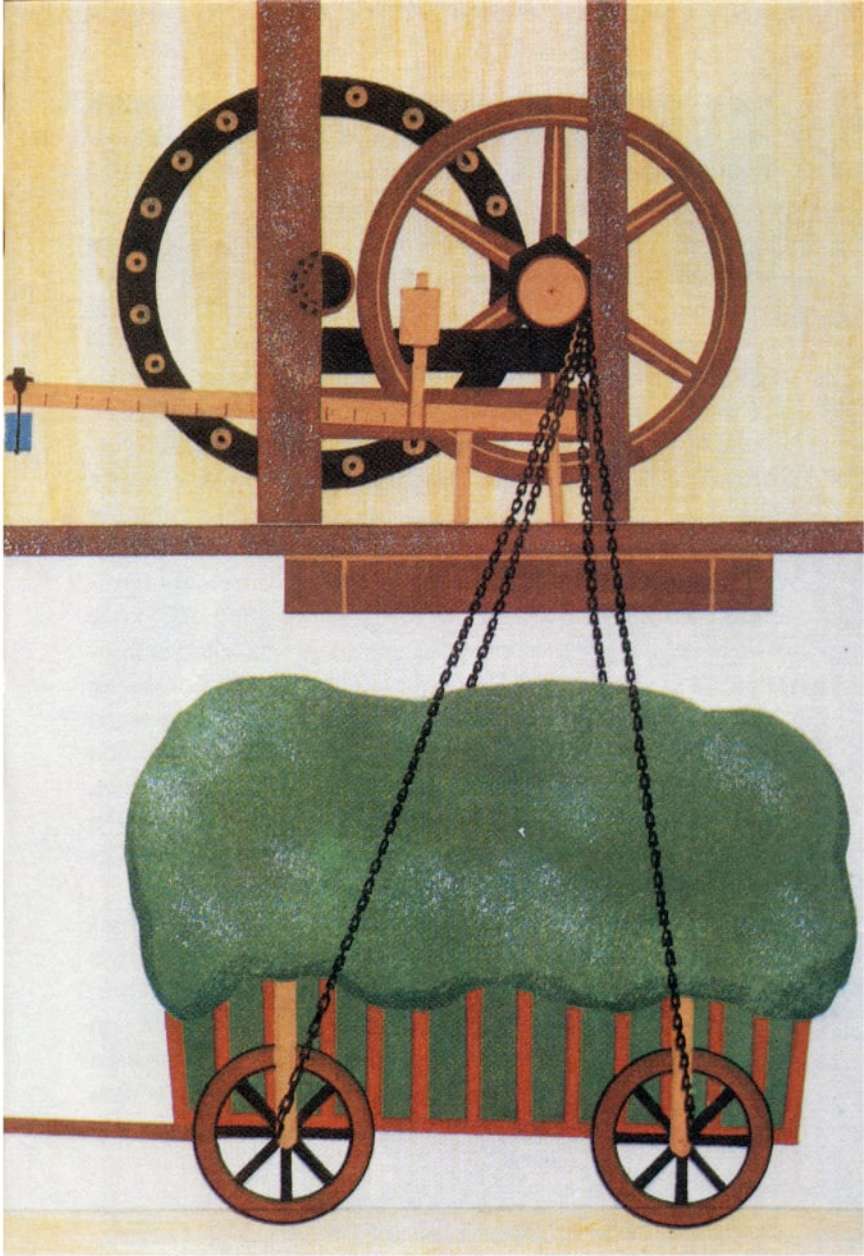
Mit der Entdeckung neuer Erdteile setzte der Überseehandel ein und damit ein steigendes Bedürfnis nach technisch vervollkommenen Wägeeinrichtungen. Über lange Zeit hinweg mußten die aus dem Ausland eingeführten Waren



während des Transportes mehrmals umgeladen und an der Grenze jedes Kleinstaates wieder gewogen werden. Das bedeutete viel Zeitverlust und zusätzlichen Arbeitsaufwand. Bald erhob man daher die Forderung, die Ladung samt Frachtwagen zu wägen. Zu diesem Zweck war die ungleich-armige Waage besonders geeignet. Eine der ersten Konstruktionen war 1718 die sogenannte Leipziger Heuwaage. Ihr Erbauer nannte sie eine Schnellwaage, weil damit ein mit Heu beladener Wagen, ein Fuder, gewogen werden konnte. Eine derartige Waage im Waagenmuseum von Balingen funktioniert noch heute. Sie ist zweigeschossig gebaut; im Erdgeschoß wird die zu wägende Fuhre in die Tenne eingefahren, mit eisernen Ketten an dem kurzen Hebelarm aufgehängt und mittels großer Hubräder dann so weit angehoben, bis sie frei über dem Boden schwebt. An dem langen Auswägehebel läßt sich durch ein verschiebbares Massestück die Waage in die Einspiellage bringen. Da die Masse des Wägestücks bekannt ist und seine Entfernung vom Drehpunkt des Hebels an diesem selbst abgelesen werden kann, braucht die Masse des Wägegutes nur noch berechnet zu werden. Davon abzuziehen ist schließlich die Masse des leeren Fahrzeugs, die meist ohnehin feststeht.

Da das Wägen auf öffentlichen Waagen stets gebührenpflichtig war, ergab sich infolge der nun schneller aufeinanderfolgenden Wägungen, beispielsweise in Leipzig zur Zeit der Messe, eine beträchtliche Mehreinnahme für den Stadtsäckel. Nach diesem Muster legten sich viele Städte sogenannte Ratswaagen zu, an denen amtlich beauftragte Waagemeister ihr verantwortungsvolles Amt ausübten.

Die im 16. Jahrhundert verbesserte Stahlerzeugung und -bearbeitung ermöglichte endlich auch das Herstellen von



Spiral- und Schraubenfedern. Nachdem entdeckt worden war, daß sich Federn unter Belastung ausdehnen beziehungsweise zusammendrücken lassen und die Ausdehnung beziehungsweise das Zusammendrücken einer Feder der angehängten oder aufgelegten Last proportional ist, lag es nahe, auch diese Erscheinung als Maß für Massen zu nutzen. Wird hinter der Feder eine Skale befestigt, so läßt sich diese mit bestimmten Massen einmessen. Man markiert zu diesem Zweck die Stellung einer der Windungen bei unterschiedlicher Massebelastung. Damit ist die Federwaage fertig.

Aus solchen Anfängen entwickelten sich nach und nach verschiedene Waagentypen. Zu ihnen gehört beispielsweise die sogenannte Mondwaage. Ihr Hauptteil ist eine in einem metallenen Ring angebrachte gebogene Blattfeder, an der die Last angreift. Vor einer Skale in Form einer Mondichel schwingt ein Zeiger, der sich entsprechend der Masse der angehängten Last einstellt. Derartige Waagen verwendete man bis vor wenigen Jahrzehnten zur Rationierung des Heus für Pferde; sie wurden deshalb Rationierwaagen genannt. Einen ähnlichen Typ mit Schraubenfeder zwischen senkrechten Skalen benutzte man früher im Lumpenhandel. Die Genauigkeit dieser Waagen ließ jedoch zu wünschen übrig, so daß sie sich nur für Waren geringen Wertes eigneten, deren Wägung nicht viel Zeit erfordern durfte.

Daneben hatten sich inzwischen Waagen für die verschiedensten Zwecke herausgebildet. Dazu zählten unter anderen Münz- oder Goldwaagen. Wie schon mehrfach erwähnt, standen die Münzwerte bis ins 19. Jahrhundert in engem Zusammenhang mit den Massewerten. Betrüger versuchten häufig, die aus Gold oder Silber hergestellten Münzen zu „kürzen“, indem sie diese am Rande abschabten oder ab-

Sogenannte Nürnberger Waage des Adam Kraft





schnitten. Da Banken und Sparkassen keine beschädigten und minderwertigen Münzen annahmen, waren die Kaufleute gezwungen, sich gegen Betrug zu sichern, indem sie einzunehmende Münzen „auf die Goldwaage legten“. Dafür verwendeten sie kleine wippenartige Waagen, auch Dukatenwaagen genannt, und verglichen das eingenommene Stück mit einem speziellen Münzwägestück. Erwies sich die Münze als zu leicht, so gab man sie dem Käufer einfach zurück.

Eine spezielle Form eines Wägestückes für Gold war in Ghana noch bis in jüngere Zeit eine kleine metallene Gazelle.

Fortgeschrittene Kenntnisse in der Mechanik und neue mathematische Methoden führten zur Konstruktion von Waagen mit verzweigten Hebeln. Bei diesen verteilt sich die Wirkung der Last auf ein Hebelsystem, das wenig Raum beansprucht. Nach diesem Prinzip entstand in Paris die erste oberhalbige Tafelwaage mit dem Hebelsystem unterhalb der Wägeschalen. Zwei einander gegenüberliegende Zungen zeigen die Gleichgewichtslage an. Noch vor einigen Jahren waren derartige Waagen in Einzelhandelsgeschäften und älteren Haushalten gebräuchlich. Mit ihnen konnten bis 10 Kilogramm gewogen werden.

Wesentliche Verbesserungen gab es bei den Laufgewichtswaagen, die sich für viele spezielle Anwendungsgebiete eigneten, beispielsweise als Personen- oder als zusammenlegbare Waagen. Meist handelte es sich dabei aber um Einzelentwicklungen, die der Allgemeinheit wenig Nutzen brachten.

Waagen und Wägestücke seit dem 18. Jahrhundert

Mitte des 18. Jahrhunderts war die Vielfalt der benutzten Masseinheiten ebenso groß wie bei den Längeneinheiten. Allein in Baden zählte man etwa 80 verschiedene Pfunde. Dazu kam eine Fülle von zusätzlichen Massemaßen für spezielle Zwecke. Am gebräuchlichsten waren im Handel die „Krämergewichte“, für Arzneimittel die „Apothekergewichte“, für Ärzte die „Medizinalgewichte“ und für Erzanalysen die „Probiergewichte“. Einzelne dieser Massemaße haben sich in Großbritannien und in den USA bis in die Gegenwart erhalten. In Rußland galten von 1835 bis 1918 die englischen Masseinheiten.

Alte russische Masseinheiten

Maß		Umrechnung
1 Berkowetz	= 10 Pud	163,8 kg
1 Pud	= 40 Funt	16,38 kg
1 Funt	= 32 Lut	0,409 kg
1 Lut	= 3 Solotnik	12,8 g
1 Solotnik	= 96 Dolja	4,26 g
1 Dolja		44,43 mg
1 Last (im Schiffbau)	= 240 Pud	3,931 t

Zur Wägung von beladenen Fuhrwerken tauchten Mitte des 18. Jahrhunderts in England und der Schweiz Brückenwaagen auf. Die „Brücke“ war eine als große Plattform ausgebildete Wägeschale in Höhe der Straße. Das Hebelwerk befand sich in einer darunterliegenden Grube. Der Vorteil gegenüber der Heuwaage bestand darin, daß das Fuhrwerk nicht mehr angehoben zu werden brauchte, sondern unmittelbar auf die Brücke auffahren konnte. Damit das Wetter die Wägung nicht beeinflusste, hatte man die Waage in einem besonderen Häuschen untergebracht. Aus diesen Anfängen entwickelten sich in den ersten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts Fuhrwerkswaagen, wie sie zum Teil noch heute

als Ratswaagen bestehen und auch in der Landwirtschaft Verwendung finden. Ihr besonderer Vorteil ist die verkürzte Wägezeit.

Eine Abart mit ungleich langen Hebeln ist die noch heute gebräuchliche Dezimalwaage; man benutzt sie in Gemüseverkaufsstellen zum Abwägen von Kartoffeln sowie im Kohlenhandel. Wie schon der Name sagt, besteht zwischen Last- und Auswägeseite ein Verhältnis von 10 : 1. Wenn eine Masse von 50 Kilogramm abgewogen werden soll, so braucht man auf der Auswägeseite nur 5 Kilogramm.

Als Erfinder dieser Waage wird ein Benediktinermönch genannt, der als Uhrmacher bekannt war. Ihm hatte die Regierung von Baden 1818 den Auftrag erteilt, eine Fahrzeug-Brückenwaage zu bauen, die an der Hauptstraße aufgestellt werden sollte, vermutlich zur Erhebung von Wegezoll. Er konstruierte eine solche Waage mit einem Masseverhältnis von 100 : 1, also eine Zentesimalwaage. Später erfand er eine tragbare Brückenwaage mit dem Verhältnis 10 : 1. Zu diesem Zeitpunkt war das dezimale Übersetzungsverhältnis noch ziemlich ungewöhnlich, da im allgemeinen das Duodezimalsystem vorherrschte. Möglicherweise war hier schon der Einfluß des neuen metrischen Maßsystems wirksam.

Etwa um die Wende zum 19. Jahrhundert wurden von lombardischen Waagenbauern ebenfalls Dezimalwaagen, diesmal aber bewußt in Übereinstimmung mit dem metrischen System, gefertigt. Etwa gleichzeitig tauchten erste Dezimalwaagen mit zusätzlicher Schale für die Erweiterung des Wägebereiches auf, die später sehr verbreitet waren. Auf Rollen gesetzt, erhielt man transportable Waagen. Die Zentesimalwaage fand in Deutschland wenig Beachtung, um so mehr jedoch in Rußland, wo sie lange Zeit wichtigste Großwaage war.

Nachdem sich die Waagenbauer von den herkömmlichen

Bauformen gelöst hatten, kamen für die verschiedensten Bedürfnisse in Industrie, Handel und Verkehr immer mehr Spezialwaagen und Neuerungen auf den Markt. Die einfache Brückenwaage erhielt beispielsweise mit einer Umzäunung ihre Qualifikation als Waage für lebendes Vieh. Sie ist in der Landwirtschaft, im Viehhandel und auf Schlachthöfen unentbehrlich. Zum Wägen von Flüssigkeiten, so in Brauereien und Melkereien, erhielt die Lastschale die Form einer Mulde, einer tiefen Schale oder eines Behälters.

Mit steigender Höchstlast der Waagen benötigte man immer größere Wägestücke. Da sie zunächst von Menschen transportiert und auf die Waage gehoben werden mußten, durfte ihre Masse höchstens 100 Kilogramm betragen. Außerdem mußten sie Handhaben erhalten, damit man sie bequem erfassen konnte. So kamen gußeiserne Wägestücke in Form gerader Kreiszyylinder, aber auch Quader und sechseckige Formen auf, deren Handhaben so umgelegt werden konnten, daß die Wägestücke, übereinandergestapelt, nicht ins Rutschen kamen. Um den erforderlichen Aufwand an Muskelkraft beim Bewegen der Wägestücke herabzusetzen, ging man dazu über, die Ausgleichsmassen feststehender Waagen, wie der Fuhrwerkswaagen, in diese einzubauen. Mittels mechanischer Schalteinrichtungen am Waagengehäuse konnten sie auf die Auswägehebel abgesetzt werden, weshalb diese Waagen Schaltgewichtswaagen genannt wurden. Wir finden dieses Prinzip zum Beispiel bei großen Fuhrwerks- und Gleiswaagen, wengleich durch entsprechende elektrische Einrichtungen inzwischen wesentlich vervollkommenet. Ein anderes Problem ergab sich durch den verstärkten Güterverkehr mit Eisenbahn und Lastkraftwagen, in neuerer Zeit natürlich auch mit Flugzeugen: das Wägen von Massengütern. Anfangs genügte es, jedes Stück einzeln zu wägen, was vor allem auf dem Weg von der Werkhalle zum Transportgefährt geschah. Häufig war auch ein mehr-

maliges Umladen und wiederholtes Wägen erforderlich, also zeit- und kraftaufwendige Arbeit. Zwar benutzte man hin und wieder auch Kräne, mit denen man das Transportgut von einem Fahrzeug unmittelbar auf ein anderes umladen konnte – sollte es aber gewogen werden, so mußte man es zunächst auf eine Waage absetzen und danach erneut aufnehmen. Aus dem Bestreben, diesen Vorgang zu vereinfachen, entstanden Kranwaagen. Sie waren entweder mit einer Laufgewichts- oder mit einer hydraulischen Einrichtung als Druckwaagen ausgerüstet. Bald danach baute man Waagen in Laufkatzen von Seilzügen und in Drehkräne mit Auslegern. In den letzten Jahren entstanden elektronische Kranwaagen, die es gestatten, die hängende Last während des Transports zu bestimmen. Sie vereinfachen den Wägevorgang und ermöglichen ihn ohne zusätzlichen Zeitaufwand.

Eine weitere Rationalisierung brachten die Container, deren Leermasse bekannt ist, und Spezialwaagen zum Wägen von Gütern, zum Beispiel Rohkohle, auf einem rollenden Laufband.

Um 1763 erfand ein Pfarrer in Baden, der ein eifriger Bastler war, ein neues Wägeprinzip. Er konstruierte für den Hausbedarf eine Einschalenwaage mit drei Wägebereichen und einem versetzbaren Wägestück für Pfund, Loth und Quentchen. Die unveränderliche Ausgleichsmasse bewegte über eine Spirale einen Zeiger, der vor einem mit einer Skale versehenen Viertelkreis oder Quadranten schwingt. Der Erfinder nannte seine Waage „eine bequeme Hauswaage“, weil sie an jeder senkrechten Fläche angebracht und ohne Vorbereitung und Wägestücke in Betrieb genommen werden konnte.

Niemand ahnte damals, daß diese Quadrantenwaage eine bahnbrechende Neuheit im Waagenbau einleitete. Aus ihrer Konstruktion entstand nämlich die Neigungswaage. Wir

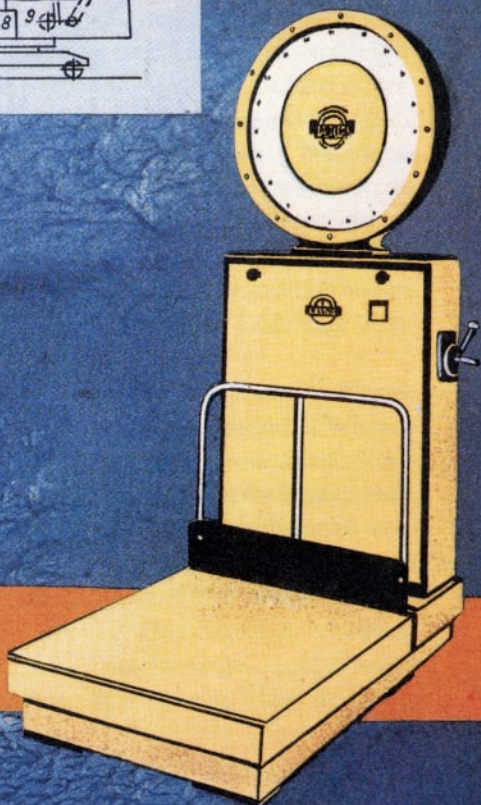
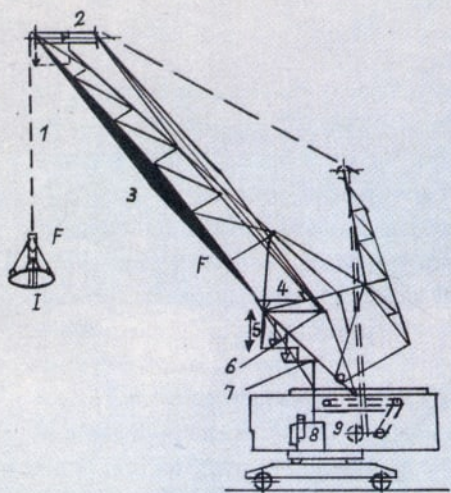
begegnen ihren vielen Ausführungen in Verkaufsstellen sowie als Briefwaage. Sie läßt sich zahlreichen Verwendungszwecken anpassen. Besonders begehrt sind die mit Preisrechnern versehenen modernen Waagen dieser Art; sie zeigen mit der Masse zugleich den Preis an – der Kilogrammpreis kann jeweils eingestellt werden – und nehmen dem Verkaufspersonal zeitaufwendige Rechenarbeit ab.

Häufig sind Neigungswaagen mit Verpackungsautomaten und Preisauszeichnungseinrichtungen gekoppelt, beispielsweise für das automatische Abpacken von Wurst und Fleisch. Bei der Post dienen sie als Päckchenwaagen, bei der Eisenbahn und auf dem Flughafen als Gepäckwaagen, in Melkereien mit Behältern als Milchwaagen. Die Industrie verwendet sie in Verbindung mit Dosiereinrichtungen, beispielsweise bei der Herstellung von Plasten. Neigungseinrichtungen können auch mit Schaltgewichtswaagen zu Neigungsschaltgewichtswaagen gekoppelt werden, die als Tischwaagen in Lebensmittelverkaufsstellen nützliche Dienste leisten, insbesondere, wenn sie eine Preisskala haben. Die Neigungseinrichtung zeigt dabei die Teile des Kilogramms an.

Im ersten Viertel des 18. Jahrhunderts begannen die Naturwissenschaften, sich im allgemeinen zu messenden Wissenschaften zu entwickeln. Seitdem gibt es wesentliche Fortschritte auf allen Gebieten der Technik, auch im Waagenbau, vornehmlich bei den Waagen für die sich stürmisch entwickelnde Chemie und die quantitative Analyse. Diese war von dem russischen Gelehrten Michail Wassiljewitsch Lomonossow (1711 bis 1765) begründet worden. In seinem Laboratorium standen sechs gleicharmige Hebelwaagen unterschiedlicher Höchstlast. Eine davon hatte er in ein

Quadrantwaage, Vorläufer der Neigungswaage





„Kämmerchen“ gesetzt, um sie vor der Einwirkung schädlicher Gase und Dämpfe zu schützen. Lomonossow ging es darum, sehr kleine Massen mit großer Genauigkeit zu bestimmen, mit denen er chemische Reaktionen nachzuweisen gedachte. Eine seiner Waagen hatte eine Höchstlast von 1 Solotnik, das entspricht 4,26 Gramm. Sie war, wie er selbst schreibt, so empfindlich, daß schon bei Belastung mit einem Sandkorn ein deutlich sichtbarer Ausschlag erfolgte. Der Hebel dieser Waage war schmal, lang und leicht, die kleinen Schälchen hingen an ganz dünnen Fäden. Mit ihr hatte Lomonossow die erste Feinwaage gebaut. Seit dieser Zeit gehört sie zur unentbehrlichen Ausrüstung aller Chemielaboratorien der Welt.

Erst 20 Jahre später setzte der französische Chemiker Antoine Laurent Lavoisier (1743 bis 1794) die Arbeiten zur quantitativen Bestimmung chemischer Reaktionen fort. In Rußland führte der bekannte Forscher Dmitri Iwanowitsch Mendelejew (1834 bis 1907) die Arbeiten Lomonossows weiter. Da er sich mit der Bestimmung der Atommassen verschiedener Elemente befaßte, war auch er auf feinste Wägungen angewiesen. Ihm verdanken wir wichtige Erkenntnisse über die Theorie der Waagen, wobei er auf Ergebnisse des Schweizer Mathematikers Leonhard Euler (1707 bis 1783) zurückgreifen konnte. Ihre Untersuchungen bezogen sich vor allem auf die zweckmäßigste Gestaltung der Hebel von Feinwaagen, die erheblich von der für große Waagen abweicht. Mendelejew interessierte sich außerdem dafür, wie man die Schwingungen der Schalen von Feinwaagen weitgehend verhindern kann.

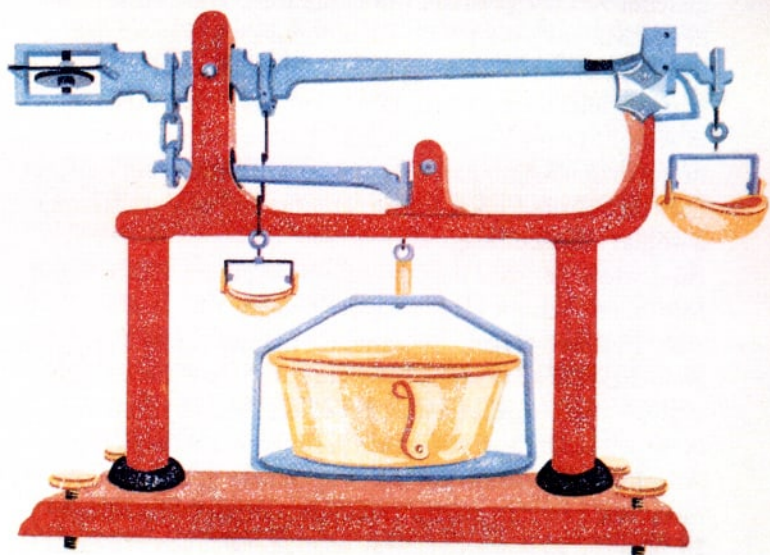
Aus diesen Anfängen entwickelten sich unsere heutigen

Modernere Waagenformen: Seilzugwaage (oben) und Neigungswaagen für kleinere und größere Massen (unten)

Feinwaagen, die zuweilen auch Mikrowaagen oder Analysewaagen, fälschlich sogar „analytische Waagen“ genannt werden. Ihr äußeres Merkmal ist das gläserne Umschlußgehäuse, das die Beobachtung der Waage im geschlossenen Zustand erlaubt. Sie werden für Höchstlasten von 0,5 Milligramm an gebaut und sind vielen Spezialzwecken anpaßbar. Ihr Fehler ist wesentlich kleiner als bei allen anderen Waagenarten. Die Hebel stellt man meist aus Aluminiumlegierungen oder aus Messing her. Eine Reihe von ihnen hat spezielle Ableseeinrichtungen und projizierte Skalen, andere werden mittels Fernrohr abgelesen, einige sind für Fernbedienung eingerichtet. Man muß sie so aufstellen, daß sie sich nicht einseitig erwärmen können – etwa durch Sonneneinstrahlung oder durch Heizeinrichtungen – und gegen Zugluft geschützt sind.

Zu Feinwaagen gehören entsprechend „feine“ Wägestücke, deren Fehler geringer ist als der sonstiger Wägestücke. Für kleine Masseausgleiche bedient man sich dünner Platin- oder Aluminiumblechplättchen, die nur mittels Pinzetten bewegt werden dürfen. Manche Feinwaagen haben für den feinsten Masseabgleich auch sogenannte Reiterskalen, auf denen Reiter – das sind Wägestücke aus Drahtschlaufen – versetzt werden, was meist von außen geschieht, ohne das Gehäuse zu öffnen. Bei besonders feinen Wägungen bringt man solche Waagen in speziellen Wägeräumen unter, in denen stets gleiche Temperatur und gleiche Luftfeuchtigkeit herrschen, so daß äußere Einflüsse weitgehend ausgeschaltet sind.

Zu den jüngsten Waagenarten gehören solche, wie sie die Post zum Ermitteln der Gebühren für Briefe und andere Sendungen nach Masseklassen benutzt. Sie zeigen keine



unmittelbaren Massewerte an, sondern nur die Masseklasse, beispielsweise die zwischen 20 und 250 Gramm; ihr entspricht unsere Gebührenklasse 0,40 Mark im Fernverkehr.

Ähnliche Waagen dienen zum Sortieren von Gegenständen gleicher Art nach Masse, wobei mehrere Waagen verschiedener Masseklasse zu Sortierautomaten zusammengefaßt werden können. Dabei läuft der betreffende Gegenstand von der leichtesten Masseklasse zur nächsthöheren, bis er in seiner Masseklasse angelangt ist. Solche Automaten sortieren in den Kombinat für industrielle Mast zum Beispiel Eier und Broiler nach Masse. Häufig ist ein Verpackungsautomat angeschlossen.

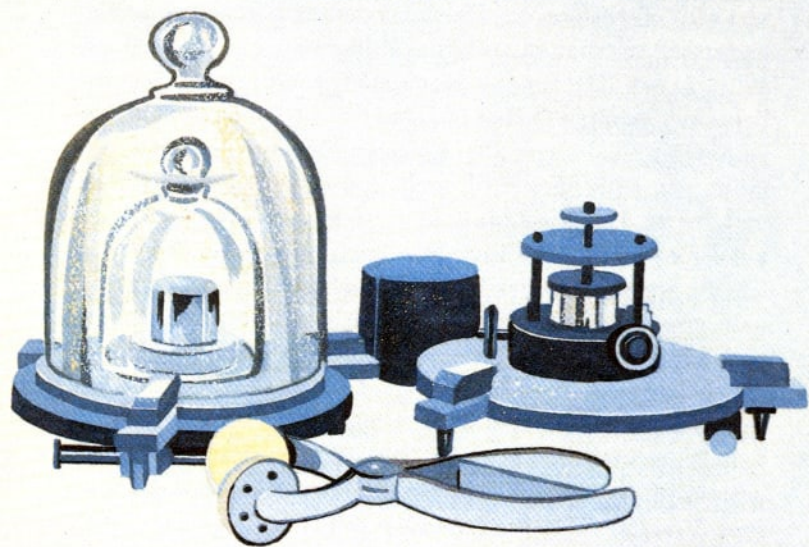
Eine wichtige Rolle in der Industrie spielen Zählwaagen. Mit ihnen werden Gegenstände gleicher Masse abgezählt, zum Beispiel Nägel, Schrauben, Kronenverschlüsse und ähnliches. Diese Waagen haben je eine Schale für die Probe und für die abzuzählenden Teile; die Waage schaltet sich meist selbsttätig aus, wenn eine bestimmte, zuvor eingestellte Anzahl Gegenstände auf die Wägeschale gelangt ist. Auch diese Waagen sind häufig Teil einer Verpackungsanlage.

In neuerer Zeit werden weit weniger Waagen zu Einzelwägungen benutzt als noch vor einem halben Jahrhundert. Waagen sind gegenwärtig oft messende und steuernde Organe innerhalb automatisierter Produktionsvorgänge, beispielsweise in der chemischen Industrie oder bei der Herstellung von Kraftfutter für das Vieh in landwirtschaftlichen Großbetrieben. Im letztgenannten Fall wird die Dosierung der verschiedenen Futteranteile von Spezialwaagen vorgenommen, so daß eine gleichbleibende Zusammensetzung des Futters gewährleistet ist. Ebenso sorgen bei der Herstellung von Arzneimitteln und dergleichen automatische Dosierwaagen dafür, daß stets die gleiche Masse bestimmter Drogen in die Mischbehälter gelangt. Heute gibt es kaum einen Bereich, in dem man ohne Waagen auskommt.

Unsere Masseeinheiten

Zusammen mit dem Meter wurde in Frankreich auch eine neue Masseinheit geschaffen, das Kilogramm. Dieser Name ist von dem griechischen Wort *gramma* abgeleitet, das soviel wie Gegenstand oder Sache bedeutet. Um auch hier ein Naturmaß zu erhalten, sollte das Kilogramm der Masse eines Würfels von 1 Dezimeter Kantenlänge mit reinem Wasser bei seiner größten Dichte (4 Grad Celsius) entsprechen. Es wurde durch einen geraden Kreiszyylinder von 39 Millimeter Höhe und 39 Millimeter Durchmesser aus Platinschwamm verkörpert. Da dieses Material ziemlich porös war und sich auf seiner Oberfläche Lunken zeigten, war es ebensowenig wie die erste Meterverkörperung als Urmaß geeignet. Deshalb ersetzte man es zusammen mit dem Meter durch ein anderes aus Platiniridium von gleichen Abmessungen und gleicher Masse. Auch dieses sogenannte Urkilogramm ist seit diesem Zeitpunkt nur ein Etalon oder Prototyp, aber kein Naturmaß. Seine neue Definition lautet: Das Kilogramm ist die Masse des internationalen Kilogrammprototyps. Von der Einheit Kilogramm selbst dürfen keine Vielfachen und Teile mit den Vorsätzen gebildet werden, da sie bereits den Vorsatz Kilo enthält, statt dessen bildet man Vielfache und Teile mit dem Gramm, wenn es erforderlich sein sollte auch mit der Tonne.

Der 1889 dem Deutschen Reich zugesprochene Prototyp Nummer 22 befindet sich seit 1945 in Obhut des heutigen Amtes für Standardisierung, Meßwesen und Warenprüfung der DDR. Da er während des zweiten Weltkrieges bei einem Bombenangriff beschädigt worden war, erwarb unsere Regierung 1954 einen neuen Prototyp in Paris. Dieser hat die Nummer 55. Er wird unter zwei Glasglocken bei gleichbleibender Temperatur aufbewahrt. Das Pariser Urkilogramm befindet sich im Gewölbe des Pavillon de Breteuil sogar unter drei Glasglocken, wo es vor Beschädigungen



sicher ist. Für die laufenden Arbeiten des Internationalen Bureaus benutzt man ebenso genau geprüfte Arbeitsetalons.

Mit der gesetzlichen Festlegung des Kilogramms als Grundeinheit der Masse wurden in Deutschland alle bis dahin gebräuchlichen Massemaße außer Kraft gesetzt. Das betraf vor allem das Pfund und den Zentner, die Last, das Loth, das Quentchen und das Gran. Einige Jahre später hat man den Zentner (50 Kilogramm) zugunsten des Doppelzentners (100 Kilogramm) abgeschafft, weil der Zentner zum Beispiel in Österreich und in Rußland 100 Kilogramm entsprach. Erst 1958 trat an die Stelle des Doppelzentners in der Deutschen Demokratischen Republik die Dezitonne, um Mißverständnisse auszuschließen. Demzufolge gelten jetzt außer dem Kilogramm (kg):

Tonne	1 t	= 1000 kg
Dezitonne	1 dt	= 100 kg
Dekagramm ¹	1 dag	= 10 g
Gramm	1 g	= 0,001 kg
Milligramm	1 mg	= 0,001 g
Mikrogramm	1 µg	= 0,000 001 g
Karat ²	1 k (Kt)	= 0,2 g

¹ Das Dekagramm oder Deka wird vor allem in Polen, der ČSSR, Ungarn, Österreich und Jugoslawien benutzt.

² Da das Karat nur für Masseangaben im Handel mit Edelmetallen, Edelsteinen und Perlen erlaubt ist, hat es eine geringe allgemeine Bedeutung.

In Rußland galt das bereits auf Seite 86 aufgeführte System von Masseeinheiten. Es wurde 1918 durch die Sowjetmacht abgeschafft und durch das Kilogramm sowie seine Vielfachen und Teile ersetzt.

Kilogrammprototyp mit zwei Glasglocken, Transportbehälter und Zange zum Handhaben

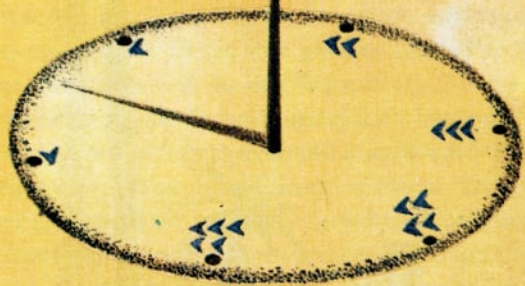
Von der Schattennadel zur Atomuhr

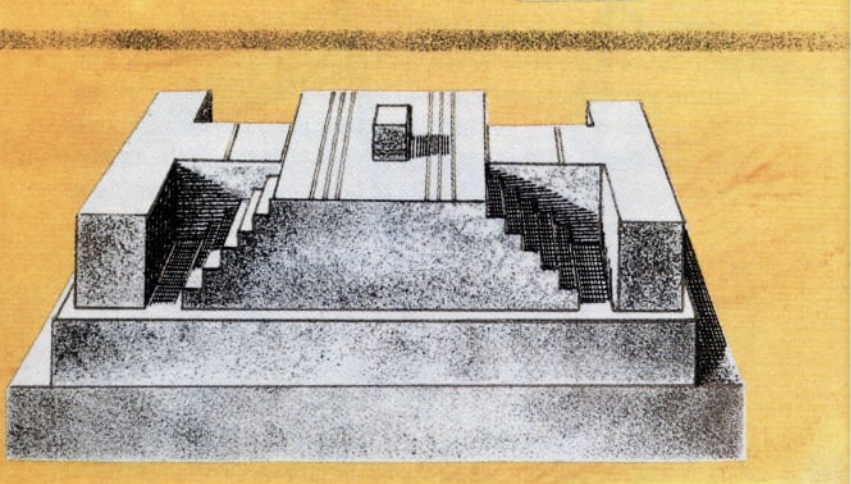
Schattennadel und Sonnenuhr

Seit es Menschen auf unserer Erde gibt, sind sie gezwungen, ihr Leben und ihre Tätigkeit dem Lauf der Sonne anzupassen. Die Einteilung der Zeit in Tage war die erste und ursprünglichste. Doch verhältnismäßig frühzeitig hatten Priester – zu ihrer Zeit zugleich Gelehrte und Sternbeobachter – festgestellt, daß das Gestirn der Nacht, der Mond, seine Gestalt regelmäßig ändert und daß diese Mondphasen gleich lange dauern. Daraus ergab sich neben der Unterscheidung von Tag und Nacht eine weitere Zeiteinteilung, die in Monde oder Monate.

Ein anderes Merkmal zur Zeiteinteilung waren die jahreszeitlichen klimatischen Schwankungen. Sie wiederholten sich nach 12 Monaten und gingen mit bestimmten Naturereignissen einher, beispielsweise dem Erscheinen des Sterns Sirius über dem Horizont, dem Reifen der Gerste oder der Früchte des Johannisbrotbaumes. Eine solche Periode von 365 Tagen nannte man Jahr. Diese drei Zeiteinteilungen haben sich bis heute nicht geändert, wenn man davon absieht, daß wir sie exakter berechnen können.

In den Ländern mit dem höchsten gesellschaftlichen Entwicklungsstand des Altertums, also wiederum im Gebiet der großen Flüsse, wurde zuerst beobachtet, daß ein senkrecht in den Boden gesteckter Stab oder ein Baumstumpf bei Sonnenschein einen Schatten wirft, der im Laufe des Tages seine Länge und Richtung ändert. Es dauerte aber einige Jahrtausende, bis Menschen absichtlich einen Stab in den





Boden steckten, um nach dem wandernden Schatten die Tageszeit zu bestimmen. Vermutlich waren es die Sumerer in Mesopotamien vor 7000 Jahren. Sie zogen um den Stab einen Kreis und teilten diesen in 6 gleiche Teile. Die Teilstriche bezeichneten sie in Keilschrift mit 10, 20 usw. bis 60. Entsprechend ihrem Sexagesimalsystem hatte ihr Tag 60 Stunden, die natürlich entsprechend kürzer waren als bei den Ägyptern, deren Tag nur 12 Stunden zählte. Diese benutzten den Schattenwurf von Säulen, Wänden und Stäben als Zeiger ihrer Sonnenuhren. Sie waren zugleich die ersten, die der Nacht ebenfalls 12 Stunden zuordneten, und können als Erfinder des 24-Stunden-Tages gelten.

Erst etwa 2000 Jahre später berichten auch Chinesen von Sonnenuhren. Zum Ausmessen der Länge des kürzesten Schattens bei der Sonnenwende benutzten ihre Astronomen um 300 vor unserer Zeitrechnung Maßstäbe aus Jade, einem besonderen Gestein.

In Ägypten traten um 2000 vor unserer Zeitrechnung an die Stelle einfacher Sonnenuhren Obeliskens oder Nadeln des Pharaos, die dem Sonnengott geweiht waren. Zuweilen standen sie auf Stufen, so daß die Tageszeit aus der Länge des Schattens bestimmt werden konnte, den sie auf diese Fläche warfen. Man kannte sogar schon tragbare Treppensonnuhren. Sie mußten mit ihrer Längsseite in Ost-West-Richtung aufgestellt werden, damit der Schatten des erhöhten Mittelklotzes bei Sonnenaufgang auf die Vorderkante der obersten Stufe fiel. Bis Mittag wanderte der Schatten zum tiefsten Punkt und stieg danach auf der entgegengesetzten Seite nach oben. In der Zeit um 1300 vor unserer Zeitrechnung kannte man in Ägypten wie im vorderen Orient bereits Taschensonnuhren verschiedener Ausführung.

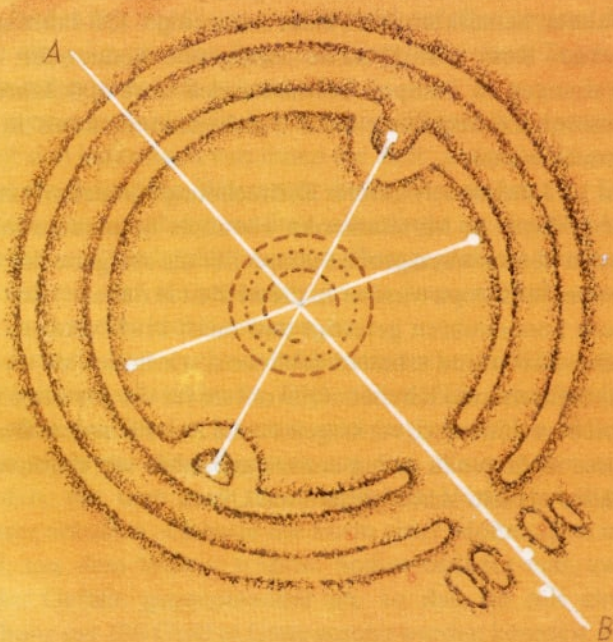
Von den Ägyptern übernahmen die Griechen das Prinzip der Sonnenuhr. Sie nannten diesen Zeitmesser Gnomon, was soviel heißt wie „etwas, das zu einer Erkenntnis verhilft“. Die Griechen verbesserten die Sonnenuhr, desgleichen die Obelisken. Für Sparta bauten sie erstmals einen Gnomon mit einem kleinen Loch an der Spitze, das sie als Sonnenaugen bezeichneten. Fiel die Sonne durch dieses Loch, so bildete sie am Boden einen hellen Fleck ab, dessen Umrisse viel schärfer waren als die breiten, verlaufenden Schatten. Solche Sonnenaugen benutzte man noch im Mittelalter, um zu beobachten, wie die Sonne den Meridian passiert, und daraus die genaue Ortszeit zu bestimmen.

Bis Ende des 19. Jahrhunderts gab es übrigens keine allgemeingültige Zeit, wie gegenwärtig die Weltzeit; man kannte nur Ortszeiten. Daher war ein Zeitvergleich nicht möglich. Auffallend ist es, daß in den Schriften des Altertums trotz Sonnenuhren und entsprechender Stundeneinteilung nirgends eine unmittelbare Zeitangabe zu finden ist. Man umschrieb sie vielmehr, den Vormittag etwa so: „Es war die Zeit, da der Markt sich füllte.“

Im 6. Jahrhundert vor unserer Zeitrechnung waren die astronomischen Kenntnisse der Priester und Gelehrten immerhin so weit fortgeschritten, daß der Zeitpunkt der Sonnenwende vorausberechnet werden konnte. Das beweisen Tempelbauten, die man so ausgerichtet hatte, daß ihre Säulenreihen am Tag der Sonnenwende genau gegen die aufgehende Sonne gerichtet waren, wie in Karnak bei Luxor und wie in der Nähe von Salisbury in England, wo das Stonehenge aus dem 2. Jahrtausend vor unserer Zeitrechnung als Sonnenuhr für einen Tag diente.

Um 400 unserer Zeitrechnung scheint es allgemein üblich

Die Sonnenuhr von Stonehenge: Rekonstruktion (oben) und Lageskizze (unten)



gewesen zu sein, die Schattenlänge des Gnomons in Fuß anzugeben, um danach die Tagesstunde zu bestimmen. Und es gab bereits Tafeln, aus denen der Zusammenhang von Schattenlänge und Uhrzeit in den einzelnen Monaten abzulesen war. Besondere Schwierigkeiten machte die Einteilung des Sonnentages, da dieser im Sommer fast doppelt so lang ist wie im Winter. Sie wurden erst im Mittelalter, mit der Erfindung der Räderuhr, beseitigt.

In Rom erreichte die Gnomotik, die Wissenschaft von den Sonnenuhren, einen ziemlich hohen Stand, obwohl Rom seine früheste Sonnenuhr erst 300 Jahre vor unserer Zeitrechnung erhielt. Diese Uhr war ursprünglich für Sizilien bestimmt und ging demzufolge für Rom falsch. Da die Mittagstunde gewöhnlich durch einen „Zeitverkünder“ ausgerufen wurde, der nicht immer ganz pünktlich seines Amtes waltete, bemerkten den Fehler nur wenige. 150 Jahre später bekam Rom eine Ortszeit anzeigende Sonnenuhr. Ausgrabungen in Pompeji bewiesen, daß dort 100 Jahre vor unserer Zeitrechnung auch Taschensonnenuhren in Gebrauch waren.

Im 14. Jahrhundert unserer Zeitrechnung benutzten Azteken und Mayas in Mittelamerika ebenfalls Sonnenuhren. Bei ihnen übernahmen große Steinpfeiler die Aufgabe der Gnomone. In Europa wurden zu dieser Zeit in nahezu allen Ländern Sonnenuhren gefertigt und meist reich verziert. Einzelne davon sind erhalten geblieben, wir finden sie an alten Rathäusern und Kirchen. Obwohl sie für die jeweilige Ortszeit berechnet sind, vermögen sie die Zeit für unsere Bedürfnisse nicht genau genug anzuzeigen, aber wir erfreuen uns dieser oft sehr schön gestalteten Uhren.

Fließendes Wasser mißt die Zeit

Die Ägypter kannten bereits vor 5000 Jahren Wasseruhren. Sie bauten Einlaufuhren und Auslaufuhren, bei denen das ein- beziehungsweise ausfließende Wasser gemessen wurde. Ebenso sollen die Chaldäer in Südmesopotamien schon frühzeitig ein Gefäß besessen haben, aus dem ein Zwölftel seines Inhalts in der Zeit ausgelaufen sein soll, in der ein Zeichen des Tierkreises von der Erde durchlaufen wurde, also in einem Monat etwa.

Von der Wasseruhr des Königs Amenophis III. um 1400 vor unserer Zeitrechnung wird berichtet, daß sie die Form einer Schale hatte und aus Alabaster bestand. Sie war so berechnet, daß die Auslaufgeschwindigkeit unabhängig von der Füllhöhe blieb, was entsprechende mathematische Kenntnisse voraussetzte. Der Auslauf war unmittelbar über dem Boden mit der Figur eines Hundskopffaffen geziert, der nach einer ägyptischen Sage die Einteilung eines Tages in 12 Stunden veranlaßt haben sollte.

In Assyrien hatte man die Wasseruhren öffentlich aufgestellt, damit sich jedermann von ihnen die Zeit „holen“ und nach ihnen die häusliche Wasseruhr kontrollieren konnte. Die meisten Wasseruhren mußten allerdings regelmäßig beobachtet und nachgefüllt werden. Demgegenüber boten sie den Vorteil, daß sie unabhängig vom Sonnenschein waren und auch nachts funktionierten.

Bekannteste Wasseruhr des Altertums war die Klepsydra, was Wasserdiebin bedeutet. Dieser Name läßt darauf schließen, daß das Wasser langsam und fast verstohlen abfloß. Vermutlich war die Klepsydra aus dem Wasserheber entstanden, mit dem man den häuslichen Vorratsbehältern Wasser entnahm. Er hatte die Form einer Mohnkapsel mit Stiel, aus dem Wasser tropfte. Später ordnete man zwei solche Gefäße gegeneinander an, so daß sie mit einer Drehung um 180 Grad in Gang gesetzt werden konnten. Ein

bedeutender römischer Geschichtsschreiber zu Anfang unserer Zeitrechnung nannte die Klepsydra „Zügel der Beredsamkeit“, weil man sie in Rom dazu benutzte, die Redezeit bei öffentlichen Versammlungen einzuschränken. Sie war keine Uhr im eigentlichen Sinn, sondern ein Kurzzeitmeßgerät. Um eine längere Zeit damit zu messen, bedurfte sie ebenfalls ständiger Wartung. Klepsyden für sehr kurze Zeiten sollen Ärzte des Altertums als Pulsmeßgerät verwendet haben. Spezielle Ausführungen dienten als Wecker.

Zu den bedeutendsten technischen Kunstwerken der Antike gehörte die „Wunderuhr des Ktesibios“, die in einem ägyptischen Tempel aufgestellt war. Sie hatte die Form eines stehenden Zylinders und wurde aus einem großen Behälter ständig mit Wasser versorgt. Die einlaufende Flüssigkeit hob einen Korkschwimmer, auf dem ein Zeigermännchen stand. Daneben war eine sich langsam drehende Trommel mit einer Stundentafel befestigt, an der das Zeigermännchen die Zeit anzeigte. Für die einzelnen Monate hatte sie auswechselbare Stundentafeln, die der unterschiedlichen Stundendauer Rechnung trugen. (Als Tag zählte nämlich die Zeit von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang, die man unabhängig von der Jahreszeit in 12 Stunden unterteilte. Demzufolge waren die Stunden im Sommer wesentlich länger als im Winter.) Sobald das Einlaufgefäß gefüllt war, wurde das Wasser über einen Auslaufhahn abgelassen, und eine neue Füllung begann.

Ein- und Auslaufuhren kannte man auch im fernen China. Darstellungen, die vor etwa 2000 Jahren entstanden sind, zeigen solche Uhren: mehrere übereinander angeordnete Gefäße, deren unteres auf der Innenseite eine Teilung nach Stunden hatte. Das einfachste Modell bestand aus zwei ineinandergesetzten flachen Schalen. Die größere Schale war mit Wasser gefüllt, die kleinere mit einem Loch im Boden

wurde auf die Wasseroberfläche gesetzt. Das Wasser drang in die obere Schale ein, die schließlich zu Boden sank. In diesem Augenblick schlug der sie beobachtende Diener den Gong, leerte die kleine Schale und setzte sie erneut auf die Wasseroberfläche der größeren.

Auch diese Art der Zeitmessung führte zu keiner eigentlichen Zeitanzeige, sondern diente lediglich der Kurzzeitmessung.

Nach Nordeuropa kam die erste Wasseruhr vermutlich um 800 als Geschenk des Kalifen von Bagdad Harun ar-Raschid für Kaiser Karl den Großen. Sie hatte schon einige Räder und ein Schlagwerk für die Stunden sowie bewegliche Figuren. Einzelheiten über ihre Konstruktion sind leider nicht bekannt.

Lunten- und Feueruhren

Luntenuhren sind eine Erfindung der Chinesen, die es verstanden, aus pulverisiertem Holz lange dünne Stäbchen zu pressen. Zündete man die Stäbchen an, so verbrannten sie ganz langsam, ähnlich wie Räucherkerzen. Mittels eingedrückter Nägel konnte man sie unterteilen. Erreichte die Glut einen Nagel, so löste er sich aus dem Stäbchen, und an der Anzahl der abgefallenen Nägel ließ sich feststellen, wie viele Stunden vergangen waren. Legte man das Stäbchen auf eine flache Metallschale und hängte in einem bestimmten Abstand vom schwelenden Ende einen mit zwei Metallkugeln beschwerten Faden darüber, so konnte es sogar als Wecker dienen. Zu diesem Zweck wurde ein größeres Metallbecken daruntergestellt, in das die Kugeln mit lautem Aufschlag fielen, nachdem der Seidenfaden durchgebrannt war. Andere Stäbchen waren nach Stunden Brenndauer unterschiedlich parfümiert; bei ihnen konnte man die Zeit riechen. Schließlich verwendeten die Chinesen auch ein-



fache ölgetränkte Schnüre mit Knoten in regelmäßigen Abständen. Nach der Anzahl der übriggebliebenen Knoten ließen sich die seit dem Anzünden der Schnur vergangenen Stunden errechnen. Solche Brennschnüre verwendeten beispielsweise Soldaten, wenn sie auf Wache zogen. Nach dem Abbrennen von 10 Knoten wurden sie abgelöst.

Auch die Feueruhren hatten ihren Ursprung in China, wo man sie in der Nähe der Großen Mauer benutzte, die gegen Ende des 3. Jahrhunderts vor unserer Zeitrechnung errichtet worden war und von der noch heute Teile erhalten sind. Wächter verbrannten in einer Rinne den von vorüberziehenden Karawanen angefallenen Kamelmist. Die Rinne war mit Stundenzeichen versehen. An der Höhe der Glut lasen die Wächter die Stunden ab und gaben sie den Anwohnern mittels verschiedenfarbiger Fähnchen bekannt.

Feueruhren kannte man auch in Europa. Mönche erfanden nämlich Kerzenuhren, damit sie die Frühmesse nicht verschliefen. Sie hatten herausgefunden, daß Wachskerzen gleicher Dicke eine annähernd gleich lange Brenndauer aufweisen, und machten sich das zunutze, indem sie die Kerzen in regelmäßigen Abständen mit metallenen Ringen oder Nägeln versehen. Sobald diese von der Flamme erreicht wurden, fielen sie in einen daruntergestellten Kerzenteller, was ein metallisches Geräusch verursachte. Das Einmessen dieser Uhren erfolgte mit einer zweiten Kerze gleicher Länge und Dicke.

In späterer Zeit befestigte man an den Kerzen sogar kleine Glocken, deren Aufschlagen unüberhörbar war. Ähnliche Wecker verwendete man auch in vielen Haushalten.

Seit dem Mittelalter diente Öl zum Speisen einfacher Lam-

Einlaufuhr mit zwei Schalen (oben) und Auslaufuhr mit übereinander angeordneten Schalen (unten), beide aus dem alten China



pen. Da sie einen ziemlich gleichmäßigen Ölverbrauch hatten, lag es nahe, sie auch als Uhren zu nutzen. So erhielt der gläserne Ölbehälter eine dem Brennstoffverbrauch entsprechende Stundenteilung. Diese Öluhren waren besonders für die Nacht geeignet, da sie zugleich als Nachtlicht dienten. Ihre Brenndauer betrug etwa 14 Stunden. Solche Uhren sind in Heimatmuseen zu finden.

Das Stundenglas

Eine europäische Erfindung des 13. oder 14. Jahrhunderts ist das Stundenglas, auch Sanduhr genannt. Sie arbeitet nach demselben Prinzip wie die Wasser-Auslaufuhr. Die Sanduhr besteht aus zwei mit der Spitze aufeinandergesetzten gläsernen Kreiskegeln. Ihr Erfinder ist unbekannt geblieben; auf jeden Fall muß er ein geschickter Glasbläser gewesen sein, denn es ist gar nicht so leicht, ein solches Glasgefäß zu blasen, mit einer entsprechenden Menge Sand zu füllen und schließlich mit einem zweiten Gefäß zu verbinden. Zentren der Sanduhrenherstellung bildeten sich in Venedig und Nürnberg.

Die ersten Sanduhren waren für eine Stunde berechnet; später ging man dazu über, solche auch für halbe und Viertelstunden, schließlich sogar für Minuten herzustellen. Sanduhren traf man besonders häufig in Kirchen an, wo sie dem amtierenden Geistlichen die Dauer des Gottesdienstes oder der Predigt anzeigten. Häufig stellte man Stundengläser für $\frac{1}{2}$ und 1 oder für $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ und 1 Stunde zusammen, um Zwischenzeiten einhalten zu können. Sanduhren benutzte man auch in vielen Haushalten, selbst in der Seefahrt waren sie unentbehrlich, solange es keine besseren Uhren für sie

gab. Aus der Seefahrt stammt übrigens die Bezeichnung Stundenglas, denn nach der Anzeige der Sanduhr rief man auf den Schiffen die Stunden aus, damit die Matrosen ihre Wachen nicht versäumten. Die Bekanntgabe der Tageszeit heißt in der Seefahrt noch heute Glasen.

Der Sanduhr haftet der gleiche Fehler an wie der Wasseruhr: Sie mußte fortlaufend gewartet werden, sollte sie nicht nur der Kurzzeitmessung dienen. Es ist deshalb erstaunlich, daß die großen Entdeckungsreisen des 15. und 16. Jahrhunderts gelangen, obwohl Sanduhren die einzigen Zeitmesser waren. Auch Christoph Kolumbus, der Entdecker Amerikas, hatte eine Sanduhr an Bord. Sie war für $\frac{1}{2}$ Stunde berechnet und mußte demnach alle 30 Minuten um 180 Grad gedreht werden.

Trotz sorgfältiger Wartung zeigten sich bei den Sanduhren auf längeren Reisen beträchtliche Fehler, besonders dann, wenn durch anhaltende Bewölkung die Sonne und die Sterne nicht beobachtet werden konnten, so daß jegliche Kontrolle der Ortszeit entfiel. Um 1700 war es einem französischen Kapitän auf einer Nordlandreise neun Tage lang nicht möglich, die Gestirne zu beobachten; er mußte sich ausschließlich auf seine Sanduhr verlassen. Danach stellte sich heraus, daß er sich um mehr als 11 Stunden in der Zeit geirrt hatte. Der tägliche Fehler betrug demnach mehr als eine Stunde. Auch heute sind kleine Sanduhren als Kurzzeitmeßgeräte noch in Gebrauch, beispielsweise in manchen Küchen beim Eierkochen oder gelegentlich im Krankenhaus beim Pulszählen. Weiterhin war es um die Jahrhundertwende in den Fernsprechämtern der Post allgemein üblich, die Dauer von Gesprächen mit einer Dreiminutensanduhr zu messen.

Räderuhren in Europa

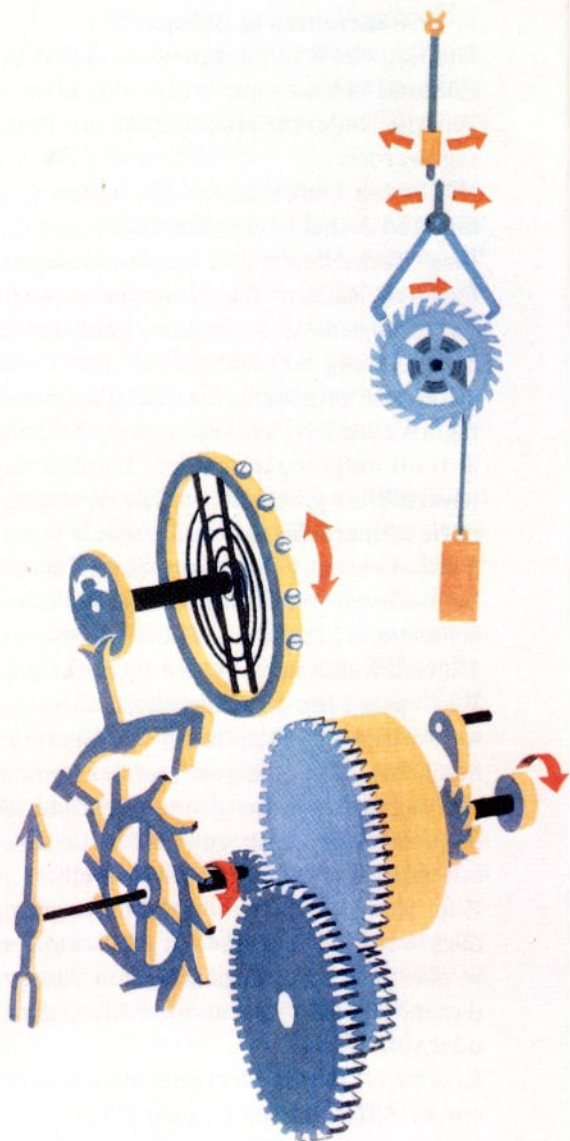
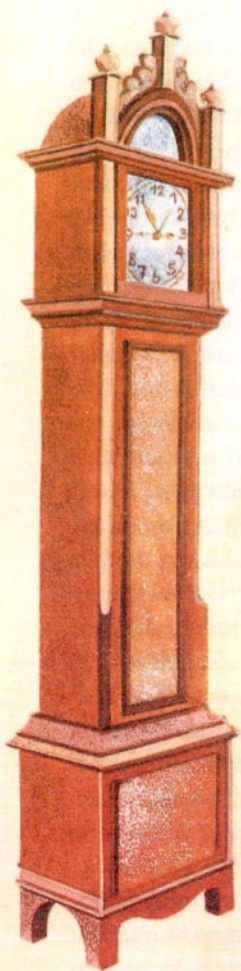
Der Bau von Räderuhren setzte in Europa ein, nachdem das Zahnrad bekannt geworden war, etwa um das Jahr 1000. Wer die Räderuhr erfand, kann mit Bestimmtheit nicht gesagt werden.

Die ersten Uhren dieser Art hatten riesige Ausmaße und konnten deshalb nur in Kirchtürmen untergebracht werden. Ihre Werke bestanden aus nur wenigen, ziemlich roh gefertigten Rädern. Das Stundenrad wurde durch eine Beschwerungs­masse, meist einen Feldstein, angetrieben, dessen Masse häufig 500 Kilogramm oder mehr betrug. Das Seil, an dem sie aufgehängt war, lief über eine Trommel und legte täglich eine Strecke von 10 Metern zurück. Die Uhr mußte also oft aufgezogen werden. Da dies mittels menschlicher Muskelkraft geschah, war die Wartung derartiger Uhren harte körperliche Arbeit. Sie wurde von einem sogenannten Türmer verrichtet, der von seiner Türmerstube aus die Uhr beobachtete. Wenn das Stundenrad um einen Zahn weiter­schaltete, schlug er eine Glocke an und verkündete die Zeit. Danach wußte man, „was die Glocke geschlagen hatte“.

Wichtigste Teile der Räderuhren waren außer dem Stundenrad Antrieb und Hemmung. Die Hemmung sorgte für einen möglichst gleichmäßigen Lauf des Stundenrades. Ihre Ausführung war schwierig und bereitete allen Uhrenbauern Kopfzerbrechen. So entstanden im Laufe der Zeit viele unterschiedliche Formen dieses Teils.

Zum Regulieren der Uhr diente ursprünglich ein horizontales Waagependel, eine Art gleicharmiger Waagenhebel mit je einer Beschwerungs­masse am Ende. Durch Versetzen dieser Massen konnte man den Gang der Uhr beschleunigen oder verzögern.

Erst im 14. Jahrhundert ging man dazu über, die Uhren mit einem Zifferblatt und einem Zeiger zu versehen, was den Einbau weiterer Räder notwendig machte. Später kon-



struierte man Glocken, die zur vollen Stunde mechanisch angeschlagen wurden; so entstand das Schlagwerk.

Als es gelang, die Räderuhr zu verbessern, konnte man den Tag endlich in gleich lange Stunden unterteilen. Die neue Zählweise setzte sich jedoch nur sehr zögernd durch; die meisten Uhrmacher blieben dabei, den Tag und die Nacht in je 12 Stunden unterschiedlicher Dauer zu gliedern. Dazu war eine Einrichtung erforderlich, die es erlaubte, die Uhr im Sommer von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang auf „sehr langsam“ und für die Nachtstunden auf „sehr schnell“ einzustellen. Man setzte täglich zweimal die Reguliermassen am Waagependel um, was zwar keine Schwierigkeiten bot, aber pünktlich getan werden mußte.

Die großen Zifferblätter der Turmuhren boten den Uhrmachern viele freie Flächen für bildliche Darstellungen religiöser Legenden oder für zusätzliche Antriebssysteme, mit denen beispielsweise die Tierkreiszeichen oder die Mondphasen des betreffenden Monats gezeigt wurden. Die meisten Zifferblätter waren für 12 Stunden eingerichtet (Nürnberger Zählweise), nur wenige hatten eine Einteilung in 24 Stunden. Die Zeiger liefen gewöhnlich „im Uhrzeigersinn“, vom Beschauer aus gesehen rechtsherum; es gab aber vereinzelt Uhren, deren Zeiger sich „entgegen dem Uhrzeigersinn“ bewegten, weil man ihre Stundenzahlen linksherum angeordnet hatte. Eins war sämtlichen Uhren dieser Epoche eigen: Sie besaßen alle nur einen Zeiger, den Stundenzeiger.

Standuhr mit Räderwerk und Pendel (links);
Arbeitsweise des Pendels und der Zahnräder (rechts)

Pendeluhr

Im Jahre 1583 stellte der italienische Medizinstudent und spätere Naturforscher Galileo Galilei beim Besuch der Kathedrale zu Pisa fest, daß die Kronleuchter gleichmäßige Schwingungen ausführten. Das veranlaßte ihn, eingehend über diese „Pendel“ nachzudenken, um deren Gesetze zu ergründen. Unter einem Pendel verstehen wir eine an einem Stab oder an einem Seil hängende, frei um einen Drehpunkt schwingende Masse. Galilei kam zu dem Ergebnis, daß Pendel gleicher Länge gleiche Schwingungsdauer haben oder, umgekehrt ausgedrückt, daß die Schwingungsdauer von der Länge des Pendels abhängig ist. Je länger das Pendel, desto langsamer schwingt es. Diese Entdeckung war für die weitere Entwicklung der gesamten Physik sehr wichtig.

Galilei folgerte aus seinen Beobachtungen, daß Pendel ein geeignetes Mittel zur Zeitmessung sein müßten. Von da an beschäftigte er sich mit dem Gedanken, wie eine solche Konstruktion aussehen könnte. Gegen Ende seines Lebens machte er Vorschläge für den Bau einer Pendeluhr, die sein Sohn schließlich verwirklichte.

Unterdessen hatte ein Holländer 1658 unabhängig von Galilei eine erste Pendeluhr gebaut. Von nun an zählte das Pendel zu den wichtigsten Bestandteilen der Uhr, denn es verbesserte die Genauigkeit der Räderuhren wesentlich.

Da die Handwerker inzwischen gelernt hatten, kleinere und gleichmäßigere Räder und Zahnräder herzustellen, konnte man jetzt außer Großuhren auch Tisch- und Wanduhren mit Pendel fertigen.

Die Astronomen Nicolaus Copernicus, Tycho Brahe, Galileo Galilei sowie Johannes Kepler schufen wesentliche Voraussetzungen für eine bessere Erforschung der „Himmelsmechanik“. Eine neue Erfindung, das Fernrohr, gestattete es, die Meridiandurchgänge von Gestirnen genauer zu beobachten und die Ortszeiten exakter festzustellen.

Das gewonnene astronomische Wissen veranlaßte befähigte Handwerker, insbesondere Uhrmacher, ihr ganzes Können darauf zu richten, bei der äußeren Gestaltung von Uhren auch astronomische Kenntnisse zu vermitteln. Auf diese Weise entstanden sogenannte astronomische Monumentaluhren. Darunter versteht man Pendeluhren, die außer der Zeitanzeige mittels Zeiger und Zifferblatt Datumsanzeigen, Kalenderwerke, Monduhren und oft auch rädergetriebene bewegliche Figuren haben. Zu den bekanntesten Uhren dieser Art, deren Anfertigung meist viele Jahre in Anspruch nahm, gehören unter anderen die astronomische Uhr im Innern der Marienkirche in Ros̄tock sowie die Aposteluhr am Prager Altstädter Rathaus, die zu besuchen kaum ein Tourist versäumt. Bei der Prager viergeschossigen Uhr marschieren zur vollen Stunde die 12 Apostel am Beschauer vorüber, auch andere Figurengruppen werden mittels Automaten in Bewegung gesetzt, wie der Tod mit Sanduhr und Glocke sowie Engel und Bürger. Diese Uhren sind ein bedredtes Zeugnis alter Handwerkskunst.

Die Entwicklung der Produktivkräfte und das gewachsene Bedürfnis nach verbesserten Transportleistungen verlangten zwangsläufig ein pünktlicheres Einhalten von Terminen, beispielsweise der Abfahrzeiten von Postkutschen. Deshalb war eine genauere Zeiteinteilung dringend erforderlich. So erhielten bereits im Verlauf des 16. Jahrhunderts Zifferblätter großer Uhren Minutenteilungen. Um die Minutenanzeige ablesen zu können, bedurfte es eines zweiten Zeigers. Seit dieser Zeit haben Uhren den großen oder Minutenzeiger und den kleinen oder Stundenzeiger.

Bald darauf gingen die Astronomen dazu über, die Minute in 60 Teile, die *minutae secundae* (später Sekunden genannt), zu unterteilen. Dadurch konnten die Wissenschaftler den Zeitpunkt von Meridiandurchgängen erheblich genauer erfassen, die Zeit also exakter messen.

Eine der bekanntesten kleinen und noch ziemlich unkomplizierten Uhren mit Pendel und Masseaufzug ist die Schwarzwälder Kuckucksuhr in einfachem Gehäuse. Da ihr Pendel ursprünglich vor dem Zifferblatt hin- und herschwang, erhielt es im Volksmund den Namen Kuhschwanzpendel. Die ersten Schwarzwälder Uhren hatten noch Steine zum Masseantrieb; gußeiserne Massen, meist in Form von Tannenzapfen, kamen später auf. Es bürgerte sich auch ein, Wand- und Tischuhren in Gehäuse oder Kästen einzubauen, weshalb diese Uhren oft Kastenuhren genannt wurden. Zu ihnen gehören unter anderen die bei unseren Groß- und Urgroßeltern so beliebten Regulatoren.

Die Pendeluhr wurde im Laufe der Zeit verbessert: Neuartige Pendelhemmungen bewirkten einen gleichmäßigeren Gang der Uhren, und weniger temperaturempfindliche Werkstoffe ließen die daraus gefertigten Pendel gleichmäßiger schwingen. Aus diesen Uhren entstanden im 18. Jahrhundert die Präzisionsuhren. Sie galten bis in die dreißiger Jahre unseres Jahrhunderts als die höchsten Zeitnormale. Ihr Fehler betrug nur $\frac{1}{1000}$ Sekunde je Tag. Das war beachtlich, denn die anderen Räderuhren hatten gewöhnlich einen Fehler von einigen Minuten je Tag.

Federuhren

Als sich die Räderuhren durchzusetzen begannen, entstanden in Anlehnung an die Konstruktion von Waffen- und Türschlössern Metallfedern, die sich spannen und aufrollen ließen. Zunächst brauchte man sie zum Betreiben von „Automaten“; darunter verstand man Figuren und Gegenstände, die sich mittels eines mechanischen Federaufzugs bewegten.



Nun wurden sie zum Antrieb von Uhren benutzt. Sie ersetzten die Aufzugsmasse der Uhren. Vorteilhaft war es, daß die Spannung von Zugfedern nahezu unabhängig von der Anzahl der Windungen ist. An die Stelle der Waagependel trat bei den Federuhren die Unruh, ein hin- und herschwingendes Teil, das durch eine Spiralfeder in Bewegung gehalten wird. Die Hemmung wirkte wieder als Gangregler. Je besser es gelang, kleine und dünne Federn gleichmäßiger Dicke herzustellen, um so kleinere Uhren konnte man fertigen.

See- oder Schiffschronometer

Mit der Entdeckung neuer Kontinente und der Erkundung neuer Seewege verlangte auch die Seefahrt nach besseren und genaueren Uhren. Um die von allen Markierungen freien Wege über die Ozeane zu finden, war es notwendig, die Zeit mindestens so genau zu messen, daß auf einer Fahrt von England nach Westindien keine größeren Längenabweichungen als $\frac{1}{2}$ bis $\frac{2}{3}$ Grad auftraten. Das entsprach einem Zeitmeßfehler von 3 Minuten für die Dauer einer Reise von einigen Wochen. Das aber leistete ausgangs des 16. Jahrhunderts keine noch so gute Uhr!

Auf See bestimmt man den Breitenkreis, auf dem sich das Schiff befindet, mit einem Winkelmeßgerät, dem Sextanten. Dabei wird die Entfernung zweier Sterne oder zwischen Sonne und Kimm (Horizont) als Winkel abgelesen. Zur genauen Standortbestimmung muß man jedoch auch den Meridian oder Längenkreis ermitteln. Dazu ist eine sehr genaue Zeitmessung von der Abfahrt bis zu dem Zeitpunkt der Breitenkreisbestimmung nötig. Pendeluhren eignen sich hierfür nicht, denn sie versagen meist den Dienst, wenn das Schiff schlingert. Erst mit dem Bau kleiner Uhren, deren Gang von der Lage weit weniger abhängig war, konnte es gelingen, eine „seetüchtige“ Uhr zu ersinnen.

Ein Engländer hatte den genialen Einfall, in einer Zugfederuhr die Unruh durch zwei rechtwinklig zueinander angeordnete Hebel, ähnlich zwei sich kreuzenden Waagependeln, zu ersetzen. Außerdem hängte er das Gehwerk kardanisch, das heißt in drei rechtwinklig zueinander angeordneten Ringen auf. Damit wurde das Uhrwerk allseitig drehbar und fast unempfindlich gegen Lageänderungen. Das Seechronometer war erfunden. Nach mehrfachen Funktionsversuchen und Verbesserungen der Konstruktion wurde diese Uhr auf einer Fahrt von Portsmouth nach Lissabon erprobt, ehe man mit ihr eine Reise nach Westindien wagte. Sie bewährte sich. Bald danach in Glashütte noch wesentlich verbessert, beherrschte das Schiffschronometer mehr als 200 Jahre lang die Seefahrt. Sein Fehler betrug etwa $\frac{5}{100}$ Sekunden je Tag.

Gegenwärtig wird die Standortbestimmung auf See mittels Zeitzeichen und anderer Funkverfahren vorgenommen; dennoch führt jedes Schiff ein – meist elektronisches – Chronometer mit, um notfalls danach eine Standortbestimmung vorzunehmen.

Taschen- und Armbanduhren

Einer der ersten, die sich mit dem Bau kleiner Federuhren befaßten, war der Nürnberger Schlossermeister Peter Henlein. Er gilt als Erfinder des „Nürnberger Eies“ (1510). Ihm gelang es, das gesamte Räder- und Schlagwerk einer Uhr in einem Gehäuse von der Größe eines kleinen Balls unterzubringen. Seine Uhr hatte eine Gangzeit von 40 Stunden und vermochte in jeder Lage zu schlagen. Leider scheint keine seiner Uhren erhalten geblieben zu sein, aber Museen wie der Staatliche Mathematisch-Physikalische Salon im Dresdner Zwinger besitzen ähnliche Uhren aus dieser Zeit.

Die Erfindung der Taschenuhr leitete eine neue Epoche in der Herstellung von Kleinuhren ein, die bis heute nicht abgeschlossen ist.

Zum Aufziehen der Uhrfedern benutzte man anfangs einen Schlüssel; erst vor rund 100 Jahren ersetzte man ihn durch die sogenannte Krone, die zugleich das Stellen der Uhr erlaubt. Mit großer Sorgfalt gestalteten die Uhrmacher Zifferblätter und Gehäuse (Kapseln), denn die Taschen- oder Sackuhren galten zunächst vorwiegend als Schmuckstücke. Erst zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden sie ein allgemeiner Gebrauchsgegenstand, auf den niemand mehr verzichten mochte.

Kurz vor dem ersten Weltkrieg vollzog sich der Übergang zur Armbanduhr, die vielfach mit einer Sekundenanzeige, später auch mit einer Datumsangabe versehen wurde. In den letzten 20 Jahren stieg das Verlangen nach Uhren, die man nicht mehr mit der Hand aufziehen muß. Diese automatischen Armbanduhren bleiben bei ständiger Benutzung oft jahrelang in Gang.

Armbanduhren sind kleine Wunderwerke der Mechanik. Jede von ihnen tickt etwa fünfmal in der Sekunde, also an einem Tag 432 000mal. Dabei legt das größte Zahnrad eine Strecke von 11 Kilometern zurück, und die Unruh bewegt sich täglich 54 000mal hin und her, jährlich nahezu 20 000 000mal. Eine solche Uhr ist also unglaublich leistungsfähig. Wir sollten sie jedoch sorglich behandeln und nicht unnötig großen Temperaturschwankungen oder Stößen aussetzen. Sie dankt es uns durch gleichmäßigen Gang und lange Lebensdauer.

Elektrische und elektronische Uhren

Die Entdeckungen und Erfindungen auf dem Gebiet der Elektrizität Anfang des 19. Jahrhunderts beeinflussten auch die Entwicklung der Uhren. Dabei wirkte sich namentlich die enge Verbindung zur Feinmechanik günstig aus. Bereits vor fast 150 Jahren trat ein württembergischer Uhrmacher mit einer elektromagnetischen Pendeluhr an die Öffentlichkeit. Um 1860 begann man in der Schweiz mit der Herstellung elektrischer Präzisionsuhren. Für Großuhren führte man zunächst den elektrischen Aufzug mechanischer Uhren mittels Elektromotoren ein. Der Vorteil besteht nicht allein in der gewaltigen Kraftersparnis für den Menschen, sondern vielmehr in dem gleichmäßigen Aufzug, der bei Handbetrieb niemals zu erreichen ist. Heute sind elektrische Tisch- und Wanduhren eine Alltäglichkeit. Die elektrische Energie für kleinere Uhren liefern Trockenelemente (Monozellen), die das Uhrwerk etwa ein Jahr lang betreiben und dann ausgewechselt werden können.

Für Großbetriebe sind elektrisch betriebene Zentraluhrenanlagen heute unentbehrlich. Sie enthalten als Hauptuhr meist eine Präzisionspendeluhr, nach deren Rhythmus die angeschlossenen Nebenuhren gesteuert werden. Auch die Weltzeituhr am Berliner Alexanderplatz ist einer Hauptuhr angeschlossen, die sich im Zwischengeschoß des S-Bahnhofs befindet und außerdem die anderen öffentlichen Uhren unserer Hauptstadt steuert. Besonders wichtig ist es, daß die Uhren der Verkehrsnetze synchron (zeitgleich) laufen.

Als neue Bauelemente im Uhrenbau haben sich Transistoren und mikroelektronische Schaltungen bewährt. Neben transistorgesteuerten Großuhren gibt es auch solche Tisch- und Wanduhren. An das Wechselstromnetz angeschlossene Synchronuhren betreiben Schaltuhren, die zu bestimmten Zeiten Schaltungen oder Signale auslösen.

Quarzuhren

Das Prinzip jeder Uhr besteht darin, die ablaufende Zeit in kleine Portionen zu zerlegen und diese dann zu zählen. Zur Erzeugung dieser kleinen Zeitportionen eignet sich am besten eine Schwingung, die durch eine Energiequelle aufrechterhalten und durch besondere Einrichtungen möglichst konstant gehalten wird. Es ist schließlich einleuchtend, daß eine Uhr um so genauer geht, je exakter diese Schwingung erfolgt. So hat denn jede Uhr eine Energiequelle, ein Schwingsystem und eine Anzeige. Bei mechanischen Uhren besteht die Energiequelle aus dem Massesstück, das infolge der Erdanziehung nach unten gezogen wird, oder aus der gespannten Stahlfeder; bei elektrischen oder elektronischen Uhren liefert eine Batterie (Monozelle) die Energie. Das Schwingsystem besteht bei mechanischen Uhren aus dem hin- und hergehenden Pendel oder aus der Unruh, die Dreh-schwingungen ausführt; bei elektronischen Uhren erfüllt eine elektrische Schwingung diesen Zweck. Elektrische Schwingungen erzeugt man in Oszillatoren. Leider sind normale Oszillatoren, die aus Transistoren, Widerständen, Kondensatoren und Spulen bestehen, nicht sehr stabil. Zu viele Einflüsse – Temperatur, Feuchte, Entladezustand der Batterie und andere – beeinflussen die Schwingung. So hat man schon beizeiten nach Verfahren gesucht, die elektrischen Schwingungen so zu stabilisieren, daß die Uhren möglichst genau gehen. Zunächst versuchte man es mit der Stimmgabel, die bekanntlich sehr konstante Töne zu erzeugen vermag; sonst würde man sie ja nicht zum Stimmen von Instrumenten verwenden. So benutzte man nun winzig kleine Stimmgabeln zum Regulieren der im Oszillator erzeugten Schwingung. Das war zwar ein Fortschritt, aber man wollte noch genauer gehende Uhren haben.

Da erinnerte man sich daran, daß die französischen Physiker Pierre und Jules Curie 1880 entdeckt hatten, daß bestimmte

Kristalle, darunter auch Quarz, bei Druck oder Verdrehung auf ihren Flächen elektrische Ladungen zeigen. Diese Erscheinung nennt man Piezoelektrizität. Es gilt aber auch das Umgekehrte: Wird an solche Kristalle eine elektrische Spannung angelegt, so verkürzen oder verlängern sie sich. Legt man ein elektrisches Wechselfeld an, so erfolgt die Bewegung der Kristalle rhythmisch, das heißt, sie führen eine mechanische Schwingung aus. Das Besondere ist, daß die Frequenz dieser Schwingung sehr genau eingehalten wird. Piezoelektrische Kristalle eignen sich also hervorragend zum Stabilisieren elektrischer Schwingungen.

1933/34 gelang zwei Berliner Physikern die Konstruktion der ersten Quarzuhr. Sie war groß und schwer. Zum Schutz gegen Erschütterungen und Temperaturschwankungen stellten sie diese Uhr in einem Kellerraum auf. Die Quarzfrequenz betrug 60 Kilohertz, mit anderen Worten, das Quarzplättchen schwang in jeder Sekunde 60 000mal. Diese Wechselfrequenz wurde verstärkt und mit Frequenzteilern so weit herabgesetzt, daß sich damit ein Synchronmotor betreiben ließ, der im Abstand von 1 Sekunde Impulse lieferte.

Eine direkte Zeitanzeige war nicht der Zweck solcher Uhren. Ihre außergewöhnlich hohe Genauigkeit – der Fehler beträgt nur etwa 1 Sekunde in 30 Jahren – machte sie vielmehr als Zeitnormale geeignet. Mit diesen Quarzuhren konnten ihre Erfinder 1936 erstmals feststellen, daß sich die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde ändert.

Heute ist die Quarzuhr etwas Alltägliches. Als Armbanduhr, in Taschenrechnern, sogar in Kugelschreibern ist sie massenweise verbreitet. Das wurde möglich durch große Fortschritte in der Mikroelektronik. Die elektronische Schaltung für die Schwingungserzeugung und vor allem für die Frequenzteilung ist nämlich nur in Form einer integrierten Schaltung in dem kleinen Uhrehäusle unterzubringen, das außer-

dem noch die Batterie (eine Knopfzelle, die einige Jahre Energie spendet) und die Anzeigeelemente enthalten muß.

Quarzuhren arbeiten normalerweise mit einer Frequenz von 32 768 Hertz. Diese „krumme“ Zahl kommt dadurch zustande, daß der Frequenzteiler nur in der Lage ist, die Frequenz der anliegenden Schwingung jeweils zu halbieren; es folgen also 16 384 Hertz, 8192 Hertz und so weiter aufeinander, bis nach 15 Teilungen Impulse im 1-Sekunden-Abstand zur Verfügung stehen.

Da man bei Quarz-Armbanduhren darauf verzichten muß, die Umgebungstemperatur konstant zu halten, sind diese Uhren natürlich nicht annähernd so genau wie die beschriebenen Großuhren. Trotzdem sind sie – sorgfältige Herstellung und sorgfältigen Abgleich vorausgesetzt – wesentlich genauer als mechanische Uhren, so daß der gelegentliche Batteriewechsel in Kauf genommen wird.

Quarzuhren sind sowohl mit der herkömmlichen Anzeige aus Zifferblatt und Zeiger als auch mit einer Ziffernanzeige erhältlich. Die erste bezeichnet man als Analog-, die zweite als Digitalanzeige. Bei der Analoganzeige steuert der aus dem Frequenzteiler kommende Impuls einen winzigen Elektromagneten an, der den Sekundenzeiger jeweils um einen Teilstrich weiterschaltet. Bei der Digitalanzeige hat sich die Flüssigkristallanzeige durchgesetzt; sie verbraucht nur wenig Strom, ist allerdings nur bei ausreichender Beleuchtung erkennbar.

Atomuhren

Nordamerikanische Wissenschaftler fanden 1927 heraus, daß in einem Ammoniakmolekül, das aus drei Wasserstoffatomen und einem Stickstoffatom besteht, das Stickstoffatom mit gleichbleibender Frequenz schwingt. Da die Kon-

stanz der Schwingung noch besser war als beim Quarz, versuchte man damit eine Uhr zu bauen. Das gelang aber erst 1949.

Unterdessen war durch sowjetische und amerikanische Physiker bekannt geworden, daß bestimmte Atome noch viel präzisere Schwingungen ausführen. Als besonders geeignet erwies sich eine Schwingung des Caesiumatoms mit einer Frequenz von 9,192 Gigahertz, das sind 9 192 000 000 Schwingungen in der Sekunde. Diese Schwingung wird in der Caesium-Atomuhr dazu benutzt, die – ohnehin schon hochkonstante – Frequenz einer Quarzuhr noch weiter zu stabilisieren.

Atomuhren sind Einrichtungen, die aus mehreren Schaltschränken bestehen, einen ganzen Raum füllen und einer Uhr im herkömmlichen Sinne nicht mehr ähnlich sehen. Sie haben kein Zifferblatt, sondern liefern nur elektrische Impulse. Die derzeit besten Atomuhren haben eine so hohe Ganggenauigkeit, daß ihr Fehler erst in 1 Million Jahren 1 Sekunde ausmachen würde. Sie sind die genauesten Zeitnormale.

Unsere Zeiteinheiten

Da die Zeiteinheiten astronomischen Ursprungs sind, ist es verständlich, daß Astronomen sie bestimmt haben. Zunächst wurde dabei angenommen, daß die Bewegung der Erde um die Sonne ein konstantes Zeitmaß liefere, weshalb man den Tag als 365sten Teil des Jahres, die Sekunde als 86 400sten Teil des Tages definierte. Später lautete die Definition: Die Sekunde ist der 86 400ste Teil des mittleren Sonnentages.

Nachdem man mittels Quarzuhren Unregelmäßigkeiten in der Erdumdrehung nachgewiesen hatte, erkannten die Astronomen, daß der „mittlere Sonnentag“ eine zu ungenaue Festlegung der Dauer einer Sekunde ergab. Sie be-

schlossen deshalb, sich in Zukunft auf das tropische Jahr zu beziehen. Unter dem tropischen Jahr versteht man die Dauer zwischen zwei aufeinanderfolgenden Tagundnachtgleichen, die jeweils rund 365,242 Tage umfaßt. Danach legten sie die Sekunde als Teil dieses Jahres fest. Damit kam es zu der 1956 beschlossenen neuen Definition der Sekunde. Sie lautet: Die Sekunde ist der 31 556 925,9747ste Teil des tropischen Jahres für 1900. Seither gilt dies in der Astronomie.

Mit der Erfindung der Atomuhr und der damit verbundenen ersten physikalischen Definition der Sekunde, die auch Atomsekunde genannt wird, lösten sich die Physiker und alle Meßtechniker von der astronomischen Definition und übernahmen die Definition durch eine physikalische Konstante (unveränderliche Größe). Die 14. Generalkonferenz für Maß und Gewicht beschloß 1971: Die Sekunde ist die Dauer von 9 192 631 770 Perioden der Strahlung des Cesiumatoms 133.

Als die Astronomen am Ausgang des Mittelalters die Sekunde als *minuta secunda* festlegten, hatten sie die Absicht, die Sexagesimalteilung weiter fortzusetzen. Durch den Astronomen und Mathematiker Johannes Kepler kam um 1600 die dezimale Teilung der Sekunde auf. Sie ist bis zum heutigen Tage beibehalten worden. Von der Sekunde dürfen also Vielfache und Teile mit den Vorsätzen (vergleiche Seite 48) gebildet werden. Davon wird im Bereich der Teile reger Gebrauch gemacht, dagegen sind dezimale Vielfache unbequem und unverständlich. Wir müßten sie ja doch in Minuten und Stunden, wenn nicht Tage umrechnen. Das ist auch der Grund, weshalb auf der ganzen Welt vorläufig diese Einheiten weiter verwendet werden, obwohl sie dem Sexagesimalsystem ihren Ursprung verdanken und nicht in die Dezimalteilung des metrischen Systems zu passen scheinen. Es gilt also:

1 Minute = 60 Sekunden oder:

1 min	=	60 s (früher sec)
1 Stunde	=	60 Minuten = 3600 Sekunden oder:
1 h	=	60 min = 3600 s
1 Tag	=	24 Stunden = 1440 Minuten
		= 86 400 Sekunden oder:
1 d	=	24 h = 1440 min
		= 86 400 s

Von den Zeiteinheiten Minute, Stunde und Tag dürfen mit den Vorsätzen keine dezimalen Vielfachen und Teile gebildet werden.

Abschließend noch eine Bemerkung: Das Lichtjahr ist keine Zeiteinheit, obwohl man es dem Namen nach vermuten müßte. Es ist eine Längeneinheit für die Strecke, die ein Lichtstrahl im Verlauf eines Jahres zurücklegt, das sind 9,46053 Billionen Kilometer, eine unvorstellbar große Entfernung.

Inhalt

Meßkunst, unser unentbehrlicher Helfer	
Meßtechnik im Alltag	5
Wie die Menschen messen lernten	7
Von der Steinwurfweite zum Meter	
Es begann mit Weitenschätzungen	14
Der Mensch nimmt am Menschen Maß	16
Babylonischer Fuß und Ägyptische Elle	18
Babylonische und ägyptische Maße im Mittelmeer- raum	26
Längenmaße in Ostasien	31
Längenmaße im europäischen Raum	32
Längengradmessungen	44
Das Meter wird als Naturmaß eingeführt	46
Vom Naturmaß zum Meter-Etalon	50
Neue Naturmaße des Meters	53
Waagen und Wägestücke in 10 Jahrtausenden	
Die Waage als Sinnbild	56
Urformen der Waage	60
Gleicharmige Waagen im Altertum	62
Ungleicharmige Waagen im Altertum	69
Waagen und Wägestücke im Mittelalter	71
Waagen und Wägestücke seit dem 18. Jahr- hundert	86
Unsere Masseeinheiten	97

Von der Schattennadel zur Atomuhr	
Schattennadel und Sonnenuhr	100
Fließendes Wasser mißt die Zeit	107
Lunten- und Feueruhren	109
Das Stundenglas	113
Räderuhren in Europa	115
Pendeluhren	118
Federuhren	120
See- oder Schiffschronometer	122
Taschen- und Armbanduhr	123
Elektrische und elektronische Uhren	125
Quarzuhr	126
Atomuhr	128
Unsere Zeiteinheiten	129



ISBN 3-358-00375-2



1. Auflage dieser Ausgabe 1989

© DER KINDERBUCHVERLAG BERLIN – DDR 1975

Lizenz-Nr. 304-270/122/88

Gesamtherstellung: Offizin Andersen Nexö, Graphischer Großbetrieb,
Leipzig III/18/38

LSV 7821

Für Leser von 12 Jahren an

Bestell-Nr. 633 231 8

00740

ab 12 J.

Wie es dazu kam, daß sich die Menschen Maße schufen, um Längen zu bestimmen, vielerlei Güter zu wägen und die flüchtige Zeit zu messen – davon berichtet dieses Buch. Es erzählt aus der Geschichte der Meßkunst von ihren ersten Anfängen bis zu unserer hochentwickelten Technik.



ISBN 3-358-00375-2