

# **Universitäts- und Landesbibliothek Tirol**

## **Die Kultur der Gegenwart**

ihre Entwicklung und ihre Ziele

Astronomie

**Hartmann, J.**

**1921**

Die Zeitmessung. Von J. Hartmann

# DIE ZEITMESSUNG.

VON

J. HARTMANN.

Notwendigkeit  
einer genauen  
Zeitmessung.

I. Die Entwicklung der Zeitmessung im Altertum. Ohne genaue Einteilung der Zeit, ohne einheitliche, übereinstimmende Zeitangaben wäre die moderne Kultur undenkbar. Es wäre keine Verabredung zu gemeinschaftlichem Tun möglich, kein auf die Minute geordneter Verkehr und überhaupt keine ökonomische Ausnutzung der Zeit, wenn nicht die Astronomie eine zuverlässige, von jeder Willkür freie Einteilung des Tages lieferte. Wesentlich höhere Ansprüche an eine scharfe Zeitbestimmung als der öffentliche Verkehr stellen noch manche Gebiete der Wissenschaft. Während für den am pünktlichsten geregelten Betrieb von Post und Eisenbahnen stets die Zeitangabe auf die Minute genügt, erfordern viele wissenschaftliche Aufgaben die Messung winziger Bruchteile einer Sekunde. Durch das sogenannte absolute Maßsystem werden jetzt alle Kräfte und alle physikalischen Eigenschaften der Körper in den drei Einheiten Gramm, Zentimeter und Sekunde ausgedrückt, und man nimmt daher an, daß die Sekunde eine ebenso unveränderliche, genau bestimmbare Maßeinheit sei wie ein Gramm und ein Zentimeter. Dabei besteht aber der fundamentale Unterschied, daß die Beträge der Längeneinheit, des Meters, und der Masseneinheit, des Kilogramms, in sogenannten Normalmaßen hergestellt und für fortwährende Vergleichung und Benutzung aufbewahrt werden können, wodurch sowohl die Zuverlässigkeit der Normalen selbst als auch die einheitliche Größe aller von ihnen genommenen Kopien und die Übereinstimmung der mit diesen ausgeführten Messungen in hohem Grade verbürgt wird. Ganz anders ist es mit der Zeiteinheit. Die Zeitintervalle werden mit einer guten Uhr gemessen, von der man jedoch niemals ohne weiteres annehmen kann, daß sie absolut richtig gehe. Vielmehr muß der Gang der Uhr in jedem einzelnen Falle durch astronomische Beobachtungen, sogenannte Zeitbestimmungen, kontrolliert werden, und man muß daher von jeder solchen Zeitbestimmung eine ähnliche Zuverlässigkeit verlangen, wie sie die Vergleichen eines Maßstabes mit dem Normalmeter besitzen.

Erforderliche  
Genauigkeit der  
Reproduktion  
der Zeiteinheit.

Beispiel der  
Pendelmessung

Ein Beispiel wird das sofort klar zeigen. Die Anziehungskraft der Erde, die Schwerkraft, ist infolge der Gestalt und Rotation des Erdkörpers von Ort zu Ort verschieden, und ihr Wert bzw. die durch sie bewirkte Be-

schleunigung wird durch die sogenannten Pendelbeobachtungen gemessen, indem man die Schwingungsdauer eines Pendels von bekannter Länge genau ermittelt. Die Schwerebestimmung mit Hilfe des Pendels besteht aus zwei verschiedenen Aufgaben, erstens einer Längenmessung, nämlich der Vergleichung des benutzten Pendels mit einem Normalmeter, und zweitens einer Zeitmessung, nämlich der Messung der Dauer einer Pendelschwingung durch Vergleichung dieser Schwingungen mit den Angaben einer Uhr, deren Gang durch astronomische Zeitbestimmungen ermittelt wird. Nun läßt sich die Messung der absoluten Länge des Pendels etwa mit einer Genauigkeitsgrenze von einem Millionstel ihres ganzen Betrages ausführen, und eine ähnliche Sicherheit muß man also auch von der Messung der Schwingungsdauer verlangen, wenn die Genauigkeit der ganzen Schwerebestimmung von derselben Größenordnung sein soll. Die hier geforderte Genauigkeit, ein Zeitintervall bis auf ein Millionstel seines Betrages, also z. B. den Zeitraum einer Stunde bis auf eine Dreihundertstelsekunde richtig zu messen, wird nun von den jetzigen astronomischen Zeitbestimmungen mit Leichtigkeit erreicht. Um den Gang der für die Messung der Schwingungsdauer benutzten Uhr zu kontrollieren, macht man nämlich am Abend vor und am Abend nach den Pendelmessungen eine astronomische Zeitbestimmung, die die an den Angaben der Uhr anzubringende Verbesserung mit einer Sicherheit von etwa einer Vierzigstelsekunde liefert. Sind diese beiden, die Pendelmessung einschließenden Zeitbestimmungen zufällig im entgegengesetzten Sinne je um eine Vierzigstelsekunde fehlerhaft, so wird im ungünstigsten Falle das ganze Intervall zwischen den Zeitbestimmungen, also die Dauer des Tages, um eine Zwanzigstelsekunde, um  $0^s,05$ , falsch gefunden werden. Da nun der Tag 86400 Sekunden hat, so beträgt der Irrtum  $\frac{0,05}{86400} = 0,0000058$ , mithin erst ein halbes Millionstel des ganzen Intervalls; mit dieser Genauigkeit ist der Gang der Uhr astronomisch bestimmt, und mit gleicher Genauigkeit kann die so kontrollierte Uhr zur Messung von Zeitintervallen verwendet werden, wobei nur vorausgesetzt werden muß, daß ihr Gang während des ganzen Zeitraumes zwischen den beiden Zeitbestimmungen völlig unveränderlich bleibt.

Die hier als Beispiel besprochenen Pendelmessungen stellen von allen physikalischen Beobachtungen die höchsten Anforderungen an die Genauigkeit in der Messung eines Zeitintervalls. Für andere Bedürfnisse der Wissenschaft und des Verkehrs genügt eine weit geringere Schärfe, und es reicht z. B. bei der Messung von Geschwindigkeiten wie bei der Prüfung von Schußwaffen, von Fahrzeugen und in ähnlichen Fällen aus, die Zeitintervalle mit einer guten Uhr zu messen, deren Gang nur nach den öffentlichen Zeitangaben einigermaßen berichtigt ist.

Wird nicht die Messung eines Zeitintervalls, sondern die absolute Angabe eines Zeitpunktes verlangt, so ist die astronomische Zeitmessung ebenfalls allen Anforderungen gewachsen. Für den öffentlichen Verkehr, nament-

Erforderliche  
Genauigkeit der  
absoluten Zeit-  
bestimmung.

lich für den Eisenbahnbetrieb sollen die Zeitangaben der Uhren innerhalb einer Minute richtig sein. Dieselbe Fehlergrenze genügt auch für die meteorologischen Beobachtungen von Wind und Wetter. Wesentlich höhere Anforderungen stellen schon gewisse geophysikalische Beobachtungen, die erdmagnetischen und seismischen Registrierungen. Die Uhrenindustrie verlangt zur Regulierung und Prüfung der Präzisionsuhren, insbesondere der Marine-Chronometer, Zeitangaben, die stets auf wenige Zehntelsekunden zuverlässig sein müssen. Die äußerste Genauigkeit in der absoluten Zeitbestimmung wird jedoch bei den eigenen Arbeiten des Astronomen erforderlich. Wo die Zeitmessung, wie im nächsten Abschnitte dieses Werkes näher ausgeführt wird, zur Ortsbestimmung dient, also am Himmel zur Messung der Rektaszensionen, auf der Erde zur Bestimmung der geographischen Längen, da sucht man die Messung der absoluten Zeit auf einzelne Hundertstel einer Sekunde sicher zu gestalten. Und auch das gelingt der modernen Astronomie.

Historische  
Entwicklung  
der Zeitmessung.

Jedoch nicht immer waren die Ansprüche an eine genaue Zeitmessung so groß. Der öffentliche Verkehr spielte sich früher in so gemächlichen Formen ab, daß es auf mehrere Minuten, ja auf Viertel- und halbe Stunden nicht sonderlich ankam; in den meisten Gebieten der Wissenschaft hatte sich das Bedürfnis nach exakten Zeitangaben noch nicht geltend gemacht, und nur für ihren eigenen Bedarf waren die Astronomen jederzeit bemüht, die Zuverlässigkeit der Zeitmessung so weit zu vervollkommen, als es die technischen Hilfsmittel jeder Epoche eben ermöglichten. Es ist interessant, die allmähliche Entwicklung der Zeitmessung von ihren ersten primitiven Anfängen bis zu ihrer gegenwärtigen Vollendung in Kürze zu überblicken.

Der Tag ist  
das fundamen-  
tale Zeitmaß.

Tag und Nacht mit ihren Gegensätzen von Licht und Finsternis, von Erwärmung und Abkühlung sind von jeher für alle Erdenbewohner, und zwar nicht nur für die Menschheit, sondern auch für die Tier- und Pflanzenwelt die natürlichen Einheiten gewesen, die die Zeit, den ruhelosen Verlauf der Erscheinungs- und Empfindungswelt, in kleinere, für die erste rohe Beobachtung nahezu gleiche, zählbare Abschnitte teilten. Und so finden wir bei allen Völkern und zu allen Zeiten den „Tag“, die Zusammenfassung des hellen Tages und der Nacht, als die fundamentale Zeiteinheit, nach deren Ablauf sich jedesmal zahllose biologische Vorgänge wiederholen und innerhalb deren deshalb die Hauptfunktionen des primitiven Lebens, Wachen und Schlafen, Arbeit und Nahrungsaufnahme mit einer gewissen Regelmäßigkeit verteilt sind. Es ist bemerkenswert, daß bei den meisten Völkern, gerade wie im Deutschen, das Wort „Tag“ eine zweifache Bedeutung hat, indem es einmal im Gegensatze zur Nacht nur den lichten Tag bezeichnet, sodann aber auch, als bürgerlicher oder Kalendertag, für die Zusammenfassung von Tag und Nacht gebraucht wird. In der ursprünglichen Vorstellung gehört eben zu jedem Tage eine Nacht, und nur die Tage wurden gezählt und bezeichnet. Gewisse Anzahlen von Tagen wurden dann unter Anlehnung an die auffälligen Erscheinungen des Mondlaufes und des Wechsels der Jahreszeiten zu größeren Zeiteinheiten, zu Wochen, Monaten und Jahren, zusammengefaßt.

Aber da sich die zuletzt erwähnten Erscheinungen viel weniger deutlich markieren als die Anfänge von Tag und Nacht, so konnten die Zeitmaße des Monats und des Jahres erst viel später, auf einer höheren Kulturstufe, nach ihrer wahren, in Tagen ausgedrückten Dauer festgestellt werden, und außerdem konnte sich eine große Mannigfaltigkeit in der Art der Zählung und Berechnung dieser längeren Zeitabschnitte ausbilden, wie das in dem vorhergehenden Kapitel über die Zeitrechnung eingehend dargelegt worden ist.

Aber auch innerhalb des einzelnen Tages war die Verteilung der Tätigkeit je nach Land, Klima und Völkerschaft verschieden, und dementsprechend haben sich ursprünglich eine Anzahl verschiedener Einteilungsarten des Tages entwickelt. Schon der Zeitpunkt, mit welchem man die Zählung eines neuen Tages begann, ist nicht überall einheitlich gewählt worden. Als natürliche Einteilungspunkte des Tages boten sich von selbst dar: der Anfang und das Ende des hellen Tages, die man entweder mit dem Aufgang und Untergang der Sonne oder auch mit dem Beginn der Morgendämmerung und dem Ende der Abenddämmerung zusammenfallen lassen konnte; ferner der Mittag, der Zeitpunkt des höchsten Sonnenstandes und des kürzesten Schattens, endlich die Mitte der Nacht, die zunächst hauptsächlich in der Vorstellung existierte, dann aber auch aus der Stellung der Gestirne bestimmt werden konnte. Tatsächlich hat jeder dieser vier Termine auch als Anfang der Tageszählung gedient.

Ursprünglich und naturgemäß wurde wohl fast überall die Zählung des neuen Datums mit dem Beginn des lichten Tages angefangen, so daß die zugehörige Nacht auf den hellen Tag folgte. So war es in Ägypten, und für das griechische und römische Altertum hat dies Bilfinger überzeugend nachgewiesen. Der eigentliche Träger des Datums war der Geschäftstag, zu dem noch die vorausgehende Morgendämmerung und die nachfolgende dunkle Nacht gerechnet wurde. Von dieser natürlichen Zählweise wurde nur da abgewichen, wo besondere Gründe dafür vorlagen. So bildete sich in der römischen Rechtspflege die Vorstellung von dem um Mitternacht erfolgenden Datumwechsel aus, die ja von der eben erwähnten morgentlichen Epoche nicht sehr verschieden ist, vor ihr aber den Vorzug der unveränderlichen Lage hat. Auch in China wird von alters her der Tag von Mitternacht abgezählt. Die Juden und Mohammedaner, deren Kalender sich streng dem Mondlauf anschließt, beginnen ihre Monate mit dem Sichtbarwerden der schmalen Mondsichel in der Abenddämmerung, und mit dem Anfange des Monats mußten sie daher auch den der Tage auf die Abenddämmerung verlegen. Namentlich im religiösen Kultus dieser Völker ist das deutlich ausgesprochen, und von dem jüdischen Ritus wurden die Festfeiern der christlichen Kirche und hiermit die Zählweise der Wochentage beeinflusst. Jeder Sonn- und Festtag beginnt mit der Vesper des vorhergehenden Tages und endigt mit der Vesper des Festtages selbst, und die mit den höchsten Festtagen verbundenen nächtlichen Feiern, die Vigilien, werden in der vorhergehenden, nicht in der folgenden Nacht abgehalten. Als eine direkte Folge

Verschiedener  
Beginn der  
Tageszählung

1. mit dem  
Morgen,

2. mit Mitter-  
nacht,

3. mit dem  
Abend,

dieser christlich-kirchlichen Tageszählung ist wohl auch die eigentümliche Einrichtung der weiter unten noch zu besprechenden „italienischen Uhr“ mit ihrer nach Sonnenuntergang beginnenden Stundenzählung zu betrachten.

4. mit Mittag.

Eine Zählung des Datums vom Mittage an würde für den bürgerlichen Verkehr äußerst unbequem und unpraktisch sein, da dann die Geschäfte desselben Werktages, je nachdem sie am Vor- oder Nachmittag ausgeführt sind, zu zwei verschiedenen Tagen zu rechnen wären. Nur bei der Tätigkeit des Astronomen liegen die Verhältnisse anders. Da der bei weitem größte Teil der astronomischen Beobachtungen während der Nacht ausgeführt wird, so wäre es unbequem und könnte zu Irrungen Anlaß geben, wenn während der Nacht, etwa um Mitternacht, ein neues Datum einträte. Daher beginnen die Astronomen seit Ptolemäus (150 n. Chr.) die Zählung des Tages am Mittag und zwar 12 Stunden nach dem jetzt üblichen Beginn desselben bürgerlichen Datums. Nur im Laufe des Nachmittags stimmen daher astronomisches und bürgerliches Datum überein, von Mitternacht bis Mittag ist dagegen die astronomische Bezeichnungsweise gegen die bürgerliche um einen Tag zurück.

Die jetzt im öffentlichen Verkehr überall gebräuchliche Zählung der Tage von Mitternacht zu Mitternacht war eine unabweisbare Folge der nach und nach immer schärfer werdenden öffentlichen Zeitmessung mittels der Räderuhren. Mit diesen den ganzen Tag jahraus jahrein in gleich lange Stunden teilenden Apparaten konnte sich auf die Dauer der mit dem wechselnden Sonnenstande im Laufe des Jahres stark veränderliche Tagesbeginn zur Morgen- und Abendzeit nicht vertragen, und so blieb von den vier besprochenen Anfangsterminen nur die Mitternacht als allgemein brauchbar übrig.

Primitive Einteilung des Tages in kleinere Abschnitte,

Als Vorläufer einer eigentlichen Einteilung des Tages haben wir die Bezeichnungen einzelner Tageszeiten zu betrachten, wie sie z. B. Homer benutzt: ἠώς die Morgenröte, μέσον ἡμαρ Mittag, δαίλη Abenddämmerung, ἔσπερος Abend, νύξ Nacht, ἀμφιλύκη νύξ Morgengrauen. Wie gering selbst während der Blütezeit des griechischen Altertums noch die Ansprüche an eine genauere Einteilung der Tageszeit waren, kann man daraus erkennen, daß das einzige Hilfsmittel zur Zeitbestimmung im στοιχείον, der Messung der Länge des eigenen Schattens bestand, wobei die Füße als Maß dienten.

in 8 Teile,

Einen ersten Fortschritt zur genaueren Zeitmessung bilden die verschiedenen Versuche, die Dauer des hellen Tages und die der Nacht für sich in eine Anzahl gleicher Teile zu teilen. Um die Wachposten im Feldlager regelmäßig abzulösen, teilten die Griechen die Nacht von Sonnenuntergang bis Sonnenaufgang in 4 Wachen, deren Dauer mit einer Wasseruhr (κλεψύδρα) gemessen wurde; auch im römischen Heere findet sich derselbe Brauch. Ebenso wurde der lichte Tag in Rom in 4 Teile geteilt, und es bestand die alte Sitte, daß der Amtsdienner des Prätors diese Hauptzeiten laut ausrief.

in 12 Doppelstunden,

Unsere jetzige Einteilung des Tages in 24 Stunden ist wohl auf zwei Quellen zurückzuführen, die sich im Altertum unabhängig voneinander und gleichzeitig entwickelt haben. Bei den Babyloniern bestand eine Tagestei-

lung in 12 gleiche Abschnitte, die also je 2 unserer Stunden entsprechen und darum als Doppelstunden bezeichnet werden. Ihre Entstehung mag einerseits in dem durch Vorderasien weitverbreiteten, bis in die Sumerische Zeit zurückreichenden Sexagesimalsystem begründet sein, andererseits aber wohl auch in der Zwölftteilung des Tierkreises. Denn da angenähert 12 Umläufe des Mondes in einem Jahre enthalten sind, so bewegt sich die Sonne in der Ekliptik in jedem Monat um etwa ein Zwölftel des ganzen Umkreises fort, und aus diesem Grunde wurde die ganze Sonnenbahn in die 12 Zeichen des Tierkreises eingeteilt. Die 12 Sternbilder des Tierkreises boten nun ein leichtes Mittel zur genäherten Zeitbestimmung dar. Für jeden Monat war der Ort der Sonne in der Ekliptik bekannt; wenn nun nachts das diesem Orte gegenüberliegende Tierkreiszeichen seinen höchsten Stand am Südhimmel hatte, also kulminierte, dann war es Mitternacht; bei der Kulmination des nächsten Zeichens war es eine Doppelstunde, ein Zwölftel des Tages, später und so für jedes Zeichen eine Doppelstunde mehr. Auf diese Weise mußte ganz von selbst eine Einteilung des Tages in 12 Doppelstunden entstehen, die durch den sexagesimalen Charakter der Zahl 12, ihre Teilbarkeit durch 2, 3 und 4 noch unterstützt und befestigt wurde. Auch die Chinesen und Japaner haben diese Zwölftteilung des ganzen Tages. Daneben kannten die Babylonier noch eine zweite Sexagesimalteilung, die den ganzen Tag in 6 Teile und jeden von diesen in 60 Abschnitte teilte, die also der jetzt noch gebräuchlichen Einteilung des ganzen Kreises in 360 Grade entsprach; jeder dieser Zeitgrade wurde weiter in 60 Minuten, die Minute in 60 Sekunden, die Sekunde in 60 Terzien geteilt. Diese Tagesteilung war aber lediglich in der wissenschaftlichen Astronomie üblich, während man im öffentlichen Leben nur die 12 Doppelstunden kannte.

Von den Babyloniern hat Griechenland dieses Zeitmaß der Doppelstunden übernommen, wie Herodot (II 109) ausdrücklich bezeugt: „Die Sonnenuhren und die Zwölftteilung des Tages haben die Griechen von den Babyloniern kennen gelernt.“ Wann der Übergang zu der Teilung des ganzen in 24 Stunden. Tages in 24 Stunden gemacht worden ist, läßt sich nicht nachweisen, jedoch ist hierbei wohl außer dem von Herodot behaupteten babylonischen Einfluß noch ein solcher von Ägypten her erfolgt. Denn in Ägypten bestand von alters her eine eigentümliche 24-Teilung des ganzen Tages: der lichte Tag und die Nacht wurden für sich je in 12 Stunden geteilt, die natürlich im allgemeinen nur innerhalb der Tageszeit und innerhalb der Nachtzeit untereinander gleich waren, während zwischen Tag- und Nachtstunden ein mit der Jahreszeit wechselnder Unterschied bestand. Man nennt diese Stunden Temporalstunden. Da sich nun in Griechenland seit der alexandrinischen Zeit genau diese Temporalstunden vorfinden, so darf man wohl mit Sicherheit ägyptischen Einfluß annehmen. Von Griechenland gelangte ihre Kenntnis nach Rom, von wo sie sich in der ganzen christlichen Welt verbreitete, so daß bis in das 14. Jahrhundert der Tag auf diese Art eingeteilt worden ist.

Die Temporal-  
stunden.

Sonderbar erscheint es unserm heutigen hochentwickelten Zeitsinn, daß diese schwerfällige Einrichtung der Temporalstunden mehrere Jahrtausende lang die ganze zivilisierte Welt beherrscht hat. Denn wie vom Sommer zum Winter die Dauer des Tages immer kürzer, die der Nacht immer länger wurde, so mußte auch die Länge der einzelnen Stunden am Tage entsprechend kleiner, in der Nacht größer werden. So beträgt für Rom die Dauer des längsten Tages  $15^h 5^m$ , die des kürzesten nur  $8^h 55^m$ , und es mußten also die kurzen Stunden der Wintertage beinahe nur halb so lang sein als die langen Sommerstunden; in unserm jetzigen Zeitmaß ausgedrückt dauerte die Temporalstunde im Sommer  $1^h 15^m$ , im Winter nur  $45^m$ . Es machte besondere Schwierigkeiten, die in ihrer Länge fortwährend wechselnden Stunden zu messen, und man kann sich denken, daß es auch nur mit einer gewissen Annäherung gelang, den veränderlichen Tag immer in die 12 Stunden einzuteilen. Aber trotzdem darf man sagen, daß die Temporalstunden für die damalige Kulturstufe das am besten passende Zeitmaß waren. Der Unterschied zwischen Tag und Nacht, der durch die moderne Beleuchtungstechnik immer mehr verwischt wird, hatte zu jenen Zeiten eine für das ganze öffentliche Leben durchaus maßgebende Bedeutung; alle wichtigen Arbeiten und Geschäfte mußten bei Tageslicht erledigt werden, und daher war es nur natürlich, daß man den hellen Tag als eine von der Nacht ganz verschiedene Zeit behandelte, beide getrennt in je 12 Stunden teilte und die Zählung des Datums mit dem Morgen begann. Dazu kam, daß die gebräuchlichen Hilfsmittel der Zeitmessung am Tage und in der Nacht verschieden waren — am Tage die Sonnenuhren, nachts die Wasseruhren und der Sternhimmel —, so daß schon aus diesem Grunde nach Sonnenuntergang mit einer neuen Zeitmessung und -einteilung begonnen werden mußte. Erst die allgemeinere Verbreitung der Räderuhren hat hierin Wandel geschaffen.

Römische und  
christliche  
Horen.

Zu den Römern war die Zwölftteilung des lichten Tages von den Griechen wohl im Jahre 293 v. Chr. mit der ersten Sonnenuhr übergegangen, und auch die griechische Bezeichnung *hora* für die Stunde bürgerte sich in Rom ein, wo sie sich mit der schon erwähnten volksüblichen Vierteilung des Tages verband, so daß man nun die *hora tertia*, *sexta* und *nona* als Kardinalteilpunkte des Tages antrifft. Diese römische Zeiteinteilung verbreitete sich auch über die Provinzen, und so kommt es, daß sie auch den Zeitangaben des Neuen Testaments zugrunde liegt; man erinnere sich z. B. an das Gleichnis von den Arbeitern im Weinberge (Matth. 20). Die christliche Kirche machte dann diese Vierteilung des Tages in der Form der *horae canonicae* zur Grundlage ihrer Gebets- und Gottesdienstordnung; die Pfarr- und Klosterkirchen verkündeten diese Horen durch Glockenzeichen, die zwar zunächst das Laienpublikum an die regelmäßigen Gebete und Gottesdienste erinnern sollten, sodann aber auch zur Regelung der ganzen bürgerlichen Tageseinteilung benutzt wurden. Man hatte vom 5. Jahrhundert an folgende Glockenzeichen:

1. die Matutin im dritten Viertel der Nacht,
2. die Prima bei Tagesanfang,
3. die Tertia um Mitte des Vormittags,
4. die Sexta um Mittag,
5. die Nona um Mitte des Nachmittags,
6. die Vespera eine Stunde vor Sonnenuntergang,
7. das Completorium beim Tagesschluß.

Das sind dieselben Zeiten, nach denen noch heute die Breviergebete der katholischen Geistlichen geordnet und benannt sind. In den allgemeinen Sprachgebrauch sind die Worte Mette von Matutin und Siesta von Sexta übergegangen. Im Laufe der Zeit traten einige Veränderungen in der Bedeutung dieser kirchlichen Zeiten ein, von denen die wichtigste darin besteht, daß die Sexta mehr und mehr zurücktrat, während die Nona auf den Mittag rückte (13. bis 15. Jahrhundert); aus dieser Zeit leitet sich das englische Noon für Mittag her.

Die Einteilung des bürgerlichen Tages nach den durch die Glocken-Die Äquinoktial-zeichen verkündeten kirchlichen Horen beherrscht das ganze Mittelalter, bis sich im Anfang des 14. Jahrhunderts die Schlaguhren zunächst in Italien, dann auch rasch in andern Ländern verbreiteten und den Anlaß zur Einführung der gleichmäßigen Einteilung des ganzen Tages in 24 Stunden gaben. Wohl war die schon Ptolemäus bekannte Teilung des Tages in 24 gleich lange Stunden niemals ganz verloren gegangen, aber ihr Gebrauch beschränkte sich auf die astronomischen Arbeiten, während das öffentliche Leben nach den Temporalstunden geordnet war. Nur zweimal im Jahre, zur Zeit des Frühlings- und Herbstäquinoktiums, wenn Tag und Nacht gleich lang waren, hatten die Temporalstunden am Tage und in der Nacht gleiche Dauer; sie hatten dann ihre mittlere Länge und waren den Stunden gleich, die sich bei der Einteilung des ganzen Tages in 24 gleiche Stunden ergaben. Letztere gleichförmige Zeiteinteilung bezeichnete man deshalb auch als Äquinoktialstunden.

Bei der erwähnten Einführung dieser gleichmäßigen Tagesteilung am Ausgange des Mittelalters mögen wohl mehrere Ursachen bestimmend gewesen sein. Zunächst möchte man fast glauben, daß in den früheren Jahrhunderten der Zeitsinn der Allgemeinheit noch so wenig entwickelt war, daß man keinerlei Anstoß an dem ungleichförmigen Zeitmaß der Temporalstunden nahm. Für unsere Vorstellung gehört es untrennbar zu dem Begriffe des Messens, daß das Maß konstant, aus gleichen Teilen zusammengesetzt sei. Wenn man jetzt von unserm gleichförmigen Zeitmaße plötzlich zu den Temporalstunden zurückkehren wollte, so würde das der größte Teil des Publikums aller Bevölkerungsschichten sofort höchst unangenehm empfinden. Das Bewußtsein der Notwendigkeit eines solchen gleichförmigen Zeitmaßes, wie es z. B. für die Entlohnung nach der Zeit bemessener Arbeitsleistungen gebraucht wird, mag nun in jener Zeit, als Handel und Verkehr zur Blüte des städtischen Bürgertums führten, besonders rege geworden sein. Schon hatte

Gründe  
für deren Ein-  
führung:

1. Bedürfnis  
eines unabhängi-  
gen, gleichförmigen  
Zeitmaßes,

man in den Städten neben den kirchlichen Glockenzeichen eine große Menge anderer rein bürgerlicher Glockensignale eingeführt, um die verschiedenen Tätigkeiten der Bevölkerung in Einklang zu erhalten. Aber je lebhafter sich die kaufmännischen und gewerblichen Betriebe entfalteten, um so mehr mußte sich das Bedürfnis einer selbständigen, von der Kirche unabhängigen, gleichmäßigen Zeiteinteilung geltend machen. Dieses Bedürfnis führte im Anfange des 14. Jahrhunderts an vielen Orten zur Aufstellung öffentlicher Schlaguhren.

2. Einführung  
der Schlaguhren.

Erst die Anbringung des Schlagwerkes an den Räderuhren drängte gewaltsam zur Einführung eines gleichförmigen Zeitmaßes hin. Mit dem Prinzip der gleichmäßig gehenden Räderuhren hätte sich zur Not das System der Temporalstunden noch vereinigen lassen. Man brauchte ja nur den durch das Räderwerk gleichförmig bewegten Zeiger auf einem den verschiedenen Temporalstunden entsprechend geteilten und mit der Jahreszeit wechselnden Zifferblatte spielen zu lassen; derartig ungleichförmig geteilte Zifferblätter waren schon bei den Wasseruhren zur Anwendung gekommen. Solange man die öffentlichen Zeitzeichen wie bei den Römern durch Ausrufen oder später durch Anschlagen der Glocken mit der Hand nur nach den Angaben des Zifferblattes einer Uhr gab, kam es also auf die Gleichförmigkeit der Stundenteilung nicht weiter an. Erst als man mit den Räderuhren ein automatisches Schlagwerk verband, war man vor die Entscheidung gestellt, entweder dieses Räderwerk in einer recht komplizierten Weise für die ungleichförmigen Stunden einzurichten oder aber zu einer dauernden Benutzung der ja durchaus nicht ganz unbekanntem gleichförmigen Äquinoktialstunden überzugehen. Man wählte allgemein den letzteren Weg.

Verschiedene  
Zählung der  
Äquinoktial-  
stunden.

Die Überführung der alten in die neue Zeiteilung gab nun wieder zu einigen lokalen Eigentümlichkeiten Anlaß, die hier kurz erwähnt werden müssen, da sie noch jahrhundertlang dem öffentlichen Leben charakteristische Formen verliehen haben. Die Zählung der Temporalstunden hatte zweimal am Tage, des Morgens und des Abends, von neuem begonnen. Man stand also zunächst vor der Wahl, auch bei der neuen Zeiteinteilung entweder an jedem Tage die Stunden zweimal von 1 bis 12 zu zählen oder einmal von 1 bis 24, was eigentlich der Teilung des ganzen Tages in 24 gleiche Stunden jetzt besser entsprach. Ferner konnte man im Zweifel sein, von welchem Zeitpunkte an die Zählung beginnen sollte, entweder wie die Temporalstunden von Morgen oder Abend oder aber, was einer gleichmäßigen Teilung aller Tage allein entsprach, von Mittag oder Mitternacht. Das Bestreben, von der althergebrachten Zeitrechnung möglichst viel beizubehalten, hat da auf verschiedene uns jetzt recht sonderbar anmutende Systeme der Stundenzählung geführt.

Die italienische  
Uhr.

In Italien, wo die Schlaguhren zuerst eingeführt wurden, behielt man den oben erwähnten christlichen Tagesbeginn mit Sonnenuntergang bei und zählte die Stunden von 1 bis 24. So entstand die eigentümliche, namentlich durch Goethes Schilderung allgemeiner bekannt gewordene sogenannte „italienische Uhr“, die sich in Italien bis in die ersten Jahrzehnte des vorigen

Jahrhunderts erhalten hat, aber auch in Böhmen, Österreich und Schlesien eine Zeit lang benutzt wurde. Gewiß mochte diese Art der Stundenzählung gerade in Italien auch einige Vorteile haben, wie Goethe anschaulich hervorhebt: „Wie viele Handwerker arbeiten vor den Häusern auf freier Straße ... wie mancherlei geschieht auf den Märkten, Plätzen und in den Höfen! Daß bei einer solchen Lebensart der Moment, wo die Sonne untergeht und die Nacht eintritt, allgemeiner entscheidend sein müsse als bei uns, wo es manchmal den ganzen Tag nicht Tag wird, läßt sich leicht einsehen. Der Tag ist wirklich zu Ende; alle Geschäfte einer gewissen Art müssen auch geendigt werden.“ Aber diesem Vorteile standen doch auch erhebliche Nachteile gegenüber: im Sommer, bei hoher Sonnendeklination, ist die Zeit von Mittag bis Sonnenuntergang länger als von da bis Mitternacht, im Winter ist es umgekehrt. Zählt man die Stunden daher von Sonnenuntergang oder, wie es Sitte war, eine halbe Stunde nach Sonnenuntergang an, so mußten sich im Laufe des Jahres die Zeitpunkte von Mittag, Mitternacht und Sonnenaufgang erheblich verschieben. In Rom betrug diese Verschiebung für Mittag und Mitternacht 3 Stunden, für den Sonnenaufgang sogar 6 Stunden, von 8 $\frac{1}{2}$  Uhr im Sommer bis 14 $\frac{1}{2}$  Uhr im Winter. Aber noch schlimmer als diese Verschiebung einiger Tageszeiten, die sich auch bei unserer heutigen Stundenrechnung nicht vermeiden läßt, war es jedenfalls, daß das Zeitmaß selbst sowie der Anfang der Zählung nicht unveränderlich waren, so daß die Uhren, um die gewünschten Stunden zu zeigen, fortwährend verstellt werden mußten. Wie Delambre noch im Jahre 1814 berichtet (*Astronomie théorique et pratique* III 688), verstellte man die Uhren nicht täglich, sondern ließ den Fehler auf eine Viertelstunde anwachsen, um dann diesen Betrag auf einmal zu korrigieren. An manchen Orten pflegte aber auch einfach der Türmer die Uhr auf 24 Stunden zu stellen, wenn er glaubte, daß der nötige Grad der Dunkelheit eingetreten sei, wodurch die Zeitangaben nicht nur vom Sonnenstande, sondern auch von der Bewölkung abhängig wurden — gewiß keine ideale Zeitmessung. Erst zwischen 1825 und 1830 gingen die italienischen Städte zu der auch bei uns üblichen Rechnung nach mittlerer Ortszeit über; der Tag wurde um Mitternacht begonnen und in 24 gleich lange Stunden geteilt, die zweimal von 1 bis 12 gezählt wurden.

Nahe gleichzeitig mit der „italienischen Uhr“ oder dem „ganzen Zeiger“ entstanden bei der Einführung gleichmäßiger Stunden um die Mitte des 14. Jahrhunderts noch mehrere andere Arten der Stundenzählung, indem hier die eine, dort die andere Eigentümlichkeit der alten Temporalstunden beibehalten wurde. Die Nürnberger Uhr, die ebenfalls bis in das 18. Jahrhundert im Gebrauch war, behielt die getrennte Zählung der Tag- und Nachtstunden bei; da aber die Stunden nun nicht mehr die wechselnde Länge der Temporalstunden hatten, sondern gleich lang waren, so mußte die Zwölfzahl aufgegeben werden. Im Sommer zählte man am Tage von 1 bis 16 Uhr, nachts von 1 bis 8 Uhr, umgekehrt im Winter tags 8 Stunden, nachts 16. Die Kalender enthielten Angaben, zu wieviel Stunden jeder Tag zu rechnen war.

Die Nürnberger  
Uhr.

Die halbe Uhr.

Die größte Bedeutung für alle spätere Zeit hat aber die sogenannte „halbe oder kleine Uhr“ oder der „halbe Zeiger“ erlangt. Bei dieser wurden täglich zweimal 12 Stunden gezählt, und zwar beginnend mit Mitternacht und Mittag. Da letztere Zeitpunkte im Laufe des ganzen Jahres sehr nahe gleiche Abstände voneinander behalten, so entspricht die Zählung von ihnen als Anfangspunkten am besten einer gleichmäßigen Einteilung der Zeit, und sie vertrug sich am vollkommensten mit dem gleichförmigen Gange der Uhren. Diese Zeitzählung taucht ebenfalls kurz vor 1400 auf, und sie verbreitete sich zunächst über Deutschland, Frankreich, Spanien und England. Man geht wohl nicht fehl, wenn man annimmt, daß für die immer weitere Ausbreitung dieser Stundenteilung der Einfluß der Uhrmacher maßgebend gewesen ist, die an den Pendel- und Taschenuhren die gleichmäßige Teilung in 12 Stunden am bequemsten anbringen konnten. Auch in Nürnberg selbst, einer Hauptstätte der Uhrmacherskunst, befanden sich um 1611 neben der oben erwähnten „großen Uhr“ schon zwölf Schlaguhren, die die Stunden nach der „kleinen Uhr“ schlugen. Nach dem Schwinden der italienischen Uhr treffen wir daher im 19. Jahrhundert fast überall die von Mitternacht an gerechnete halbe Uhr an.

Die türkische Uhr.

Nur in der Türkei hat sich noch lange eine der mohammedanischen Zeitrechnung angepaßte Abart der halben Uhr — eine Mittelart zwischen dieser und der italienischen Uhr — erhalten. Man teilte zwar auch den ganzen Tag in 24 gleich lange Stunden, zählte aber nach Sonnenuntergang mit dem Rufe des Muezzins vom Minaret beginnend zunächst 12 derselben als Nachtstunden, dann die andern 12 als Tagstunden; der Beginn der Tagstundenzählung fiel demnach nur zweimal im Jahre mit dem wirklichen Tagesanfang zusammen, mußte sich aber sonst, wie schon bei der italienischen Uhr bemerkt wurde, bis zu mehreren Stunden von ihm entfernen. Übrigens schlugen auch in Italien die Uhren nicht bis 24, sondern nur bis 12, und man zählte in der zweiten Hälfte des Tages 12 hinzu. In Italien ist man seit dem 1. November 1893 wieder zu einer den modernen Erfordernissen angepaßten Form der ganzen Uhr zurückgekehrt, indem man von Mitternacht beginnend die Stunden bis 24 zählt.

Die Zählung der halben Uhr von Mitternacht und Mittag schloß sich in den bisher besprochenen Kulturepochen immer streng an den Lauf der Sonne an: es war in jedem Orte Mittag, wenn die Sonne ihren höchsten Stand am Himmel erreichte. Man bezeichnet dies jetzt als die Rechnung nach „wahrer Ortszeit“. Seit dem Beginn des 19. Jahrhunderts vollzog sich dann der Übergang zur „mittleren Ortszeit“, der wieder mit einer Verschärfung der Zeitmessung verbunden war. Bevor wir jedoch diese Weiterentwicklung besprechen können, wird es notwendig sein, auf die Grundlagen der astronomischen Zeitmessung selbst näher einzugehen.

Kants Definition der Zeit.

II. Die Grundlagen der Zeitmessung. Eine erschöpfende Definition des Begriffes „Zeit“ zu geben, überläßt der Astronom gern dem Philosophen.

Nur einige Gedanken mögen hier geäußert werden. Wenn Kant in seiner Kritik der reinen Vernunft (§ 6) sagt: „Die Zeit ist nicht etwas, was für sich selbst bestünde oder den Dingen als objektive Bestimmung anhinge, mithin übrig bliebe, wenn man von allen subjektiven Bedingungen der Anschauung derselben abstrahiert“ . . . „Die Zeit ist nichts anders als die Form des innern Sinnes, d. i. des Anschauens unserer selbst und unsers innern Zustandes“ . . . „Hierin besteht also die transzendente Idealität der Zeit, nach welcher sie, wenn man von den subjektiven Bedingungen der sinnlichen Anschauung abstrahiert, gar nichts ist“ . . ., so dürfte er wohl kaum mehr die allgemeine Zustimmung finden. Denn wenn auch einmal alles organische Leben in der ganzen Welt vernichtet würde, so daß jede Möglichkeit der subjektiven Anschauung fortfiel, so könnte trotzdem der zeitliche Verlauf der Dinge, also z. B. die Bewegung der Himmelskörper, ungehindert weiter fortbestehen. Nur wenn jede Veränderung aufhört, dann hört auch die Zeit auf. Ich möchte die Zeit als die einzige a priori unabhängig veränderliche Größe bezeichnen, die einzige an sich stets unabhängige Variable, wie der Mathematiker sagen würde, die daher notwendige Bedingung für jede Veränderung ist. Denn wenn sich überhaupt irgend etwas ändert, dann ändert sich gewiß auch die von keiner Bedingung abhängige Variable, dann existiert also die Zeit. Nach dieser Definition kann die Zeit also auch nicht von der Bewegung des Beobachters oder von der Lichtgeschwindigkeit abhängig sein, wie das eine moderne physikalische Theorie behauptet. Denn selbst angenommen, daß etwa der Gang unserer Uhren dadurch, daß sich die Erde mit einer Geschwindigkeit von 30 km in einer Sekunde in einer Richtung, ein halbes Jahr später ebenso schnell in der entgegengesetzten Richtung im Raume fortbewegt, irgendwie beeinflußt würde, so würden die Astronomen doch diesen Einfluß, sobald er praktisch oder theoretisch nachgewiesen worden wäre, durch geeignete Berechnung korrigieren, genau so, wie sie jetzt etwa den Einfluß von Änderungen des Luftdruckes oder der Temperatur berücksichtigen. Das Wesen und der Verlauf der Zeit selbst kann durch keinen physikalischen Einfluß betroffen werden.

Die Zeit ist die unabhängige Veränderliche,

Daher bildet die Zeit auch das gegebene, natürliche Maß jeder Veränderung; wir sagen, eine Veränderung, etwa eine Bewegung, erfolge gleichmäßig, wenn in aufeinanderfolgenden gleichen Zeiträumen gleiche Beträge der Veränderung stattfinden; mehrere Ereignisse finden gleichzeitig statt, wenn ihnen derselbe Wert der unabhängigen Veränderlichen, derselbe Zeitpunkt entspricht. Daraus ergibt sich nun sofort auch die Notwendigkeit einer genauen Zeitmessung und einheitlichen, unzweideutigen Bezeichnung der Zeitpunkte.

dient zum Messen aller Veränderungen,

Nun ist aber die Zeit selbst für uns in keiner Weise direkt wahrnehmbar, wir können sie nur an den Veränderungen entweder in der Außenwelt oder auch in unserer Person selbst — sei es geistig, sei es körperlich — erkennen. Zwar besitzen wir, wohl im Zusammenhang mit den unwillkürlichen rhythmischen Bewegungen unserer Organe, ein schätzungsweises Urteil über

ist aber selbst nicht wahrnehmbar.

die Gleichheit oder relative Länge von Zeiträumen. Allein dieses subjektive Zeitgefühl ist so ungenau und schwankend, es ist so vielen Störungen, ja, vollständigen Hemmungen ausgesetzt, daß darauf unmöglich ein genaues Zeitmaß begründet werden kann.

Definition eines  
physischen Zeit-  
maßes.

Zu einem zuverlässigen Zeitmaß gelangen wir durch die Anwendung eines Satzes, der sich direkt aus dem Kausalitätsbegriff ergibt: Wir nennen zwei Zeiträume gleich, wenn sich in ihnen dieselbe physikalische Veränderung unter genau denselben Bedingungen abspielt. Man könnte also als solchen Zeitraum, als Zeiteinheit, etwa die Zeit definieren, in der unter ganz genau festgehaltenen äußeren Bedingungen ein Körper einen Meter tief fällt, oder die Zeit, in der sich ein bestimmter auf 100 Grad erhitzter Körper um 10 Grad abkühlt, oder die Zeit, in der sich ein bestimmtes Wassergefäß durch eine kleine Öffnung völlig entleert — letzteres Maß treffen wir tatsächlich im ersten Beginn der Zeitmessung an. Allein alle diese Zeitmaße würden an zwei gemeinsamen Übelständen leiden: erstens wäre die vollkommene Gleichheit der äußeren Bedingungen sehr schwer herzustellen, namentlich wenn die Zeitmessung an ganz verschiedenen Orten vorgenommen werden soll, und zweitens würde jeder Versuch immer nur die Messung einer einzelnen Zeiteinheit ergeben: hat sich das Wassergefäß entleert, so muß man es erst wieder füllen, um eine zweite Messung vornehmen zu können, und die Zeit, die während des Füllens verstreicht, entzieht sich der Messung.

Hieraus ergeben sich unmittelbar die Erfordernisse, die ein physikalischer Vorgang erfüllen muß, wenn er praktisch zur Zeitmessung geeignet sein soll: Erstens muß der Vorgang möglichst einfach und von wenigen Bedingungen abhängig sein, deren Erfüllung sich leicht erreichen und kontrollieren läßt; zweitens muß sich der Vorgang, wenn diese Bedingungen erfüllt sind, nicht nur einmal, sondern von selbst immer wieder in gleicher Weise abspielen, und drittens müssen sich die Zeitpunkte, wann der Vorgang jedesmal abgelaufen ist, scharf beobachten lassen. Die Natur bietet uns eine große Anzahl von Erscheinungen dar, die diese Bedingungen mehr oder weniger vollständig erfüllen, und die deswegen gelegentlich auch alle zur Zeitmessung benutzt werden können. Es sind die sogenannten periodischen Bewegungen und Schwingungen. Durch die Verwendung solcher periodischer Vorgänge erlangt die Zeitmessung vollkommene Ähnlichkeit mit der Messung einer Länge: wie man z. B. zur Messung einer Länge von 68 cm die Längeneinheit von 1 cm 68mal hintereinander abträgt, also die Messung auf eine Zählung der Einheiten zurückführt, ebenso hat man, um einen Zeitraum von 68 Sekunden zu messen, nur 68 Schwingungen eines Sekundenpendels abzuzählen. Die Zählung größerer Mengen von Sekunden wird durch unsere Räderuhren erleichtert, mechanische Zählwerke, die 60 Sekunden zu einer Minute, 3600 Sekunden zu einer Stunde und 86400 Sekunden zu einem Tage zusammenfassen. Unsere verschiedenen Uhren benutzen zur Zeitmessung Schwingungserscheinungen, deren halbe Periodendauer in der Nähe von einer Sekunde liegt; sie

Praktische Zeit-  
maße bilden die  
periodischen  
Bewegungen.

beträgt  $\frac{1}{5}$  Sekunde bei den gewöhnlichen Taschenuhren und steigt bis auf etwa 3 Sekunden bei Turmuhren. Schwingungen von längerer Dauer, etwa von einer Minute oder gar einer Stunde, werden zur Zeitmessung nicht benutzt, da bei ihnen, obwohl sie physikalisch herstellbar wären, die vollkommene Gleichmäßigkeit schwerer zu erreichen ist. Wesentlich raschere Schwingungen, bis zu mehreren hundert in einer Sekunde, werden nur bei besonderen physikalischen Versuchen zur Zeitmessung verwendet, wo es sich darum handelt, kurze Zeiträume sehr genau zu messen; statt des Pendels werden dann die Vibrationen einer Stimmgabel oder einer Metallfeder benutzt. Alle astronomischen Präzisionsuhren, die die Grundlage jeder exakten Zeitmessung bilden, besitzen Sekundenpendel, d. h. Pendel, die eine halbe Schwingung — von einer Seite zur andern — in einer Sekunde ausführen. Demnach bildet die Sekunde die vorzüglichste, künstliche Zeiteinheit, während die Minute und die Stunde jetzt nur noch des bequemeren Ausdrucks wegen benutzt werden.

Die Sekunde als wichtigste künstliche Zeiteinheit.

Erst der Tag, die von der Natur selbst dargebotene Zeiteinheit, entspricht wieder einem periodischen Vorgang, nämlich der Umdrehung der Erde um ihre Achse, oder vielmehr den hierdurch bedingten Erscheinungen, dem Wechsel von Tag und Nacht, dem Auf- und Untergang der Sonne oder der Sterne. Entsprechend den oben für die Brauchbarkeit eines Zeitmaßes aufgestellten Bedingungen haben wir nun sowohl für die künstliche Zeiteinheit, die Sekunde, als auch für die natürliche, den Tag, zu prüfen, ob auch die äußern Verhältnisse, unter denen sich die periodischen Vorgänge immer wieder erneuern, hinreichend konstant bleiben, so daß wir uns auf die Unveränderlichkeit dieser zwei Zeiteinheiten verlassen dürfen. Zunächst beschäftigen wir uns mit der natürlichen Zeiteinheit, dem Tage.

Der Tag als wichtigste natürliche Zeiteinheit.

Jeder glaubt wohl zu wissen, was ein Tag ist, und doch ist eine genaue Definition dieser Zeiteinheit durchaus nicht so einfach. Das Grundphänomen für die Entstehung des Tages ist bekanntlich die Rotation der Erde um ihre Achse. Aber schon wenn wir die Dauer einer Umdrehung, die uns hier allein interessiert, genau definieren wollen, begegnen wir den größten Schwierigkeiten. Bei einem sich gleichmäßig um seine Achse drehenden Rade ist es selbstverständlich, was man unter der Umdrehungszeit zu verstehen hat; der Zeiger einer Uhr hat eine Umdrehung vollendet, wenn er wieder zu demselben festen Punkte des Zifferblattes zurückgekehrt ist. Aber im Weltenraume gibt es keinen festen Punkt, von dem man die Drehung der Erde messen könnte, und die Achse, um die sich die Erde dreht, liegt weder im Raume noch auch im Erdkörper selbst unveränderlich fest. Das Problem der Erdrotation bildet einen speziellen Fall der allgemeinen freien Rotation eines Körpers; es ist mathematisch von hohem Interesse und vielfach behandelt worden. An dieser Stelle können nur die wichtigsten Ergebnisse dieser theoretischen Untersuchungen, soweit sie für die Zeitmessung in Betracht kommen, mitgeteilt werden.

Schwierigkeit der genauen Definition des Tages.

Die freie Rotation eines starren Körpers.

Der Schwerpunkt.

Für alle festen und starren Körper, welche Gestalt sie auch haben

mögen, gelten eine Anzahl ganz allgemeiner Gesetze. Zunächst besitzt jeder solche Körper einen Schwerpunkt, der eine zu den Teilen des Körpers unveränderliche Lage hat; unterstützt man den Körper im Schwerpunkt, wie es bei hinreichend leichten Gegenständen, etwa auf einer Nadelspitze, die man im Schwerpunkt einsetzt, geschehen kann, so befindet sich der Körper in jeder beliebigen Lage im Gleichgewicht, er hat nicht das Bestreben sich noch zu drehen; das mag als die Definition des Schwerpunktes dienen, wenn man keine mathematischen Formeln gebrauchen will. Wird ein vollkommen freier, also nirgends unterstützter, starrer Körper, etwa ein geworfener Stein, in Rotation versetzt, so dreht er sich stets um eine gerade Linie, die durch seinen Schwerpunkt geht. Der Schwerpunkt selbst hat, wenn auf den Körper keine äußeren Kräfte, wie z. B. die Anziehungskraft der Erde oder der Luftwiderstand, wirken, nur infolge des anfänglichen Stoßes eine geradlinige, gleichförmige Bewegung; die Rotation dagegen bewegt den Schwerpunkt gar nicht, da sie, wie gesagt, um eine durch diesen Punkt gehende Gerade stattfindet. Diese Gerade nennt man die Drehungs- oder Rotationsachse. Im allgemeinen liegt die Drehungsachse jedoch nicht in dem Körper fest, sondern nur ein Punkt derselben, eben der Schwerpunkt, bleibt fest mit dem Körper verbunden, während ihre Richtung sich innerhalb des rotierenden Körpers fortwährend verändert. Da die Rotationsachse somit in jedem Augenblicke eine andere ist, kann man eigentlich gar nicht mehr von einer einzigen Drehungsachse sprechen; man bezeichnet die Gerade, um die sich der Körper in jedem Augenblicke dreht, als die augenblickliche, momentane oder instantane Rotationsachse.

Die momentane Drehungsachse.

Das Trägheitsmoment.

Denken wir uns nun wieder eine beliebige, im Körper feste, durch den Schwerpunkt gehende gerade Linie, so können wir von jedem einzelnen Massenteilchen des Körpers ein Lot auf diese Gerade fällen, dessen Länge also den Abstand des Teilchens von der Geraden bestimmt. Multiplizieren wir nun die Masse jedes Teilchens mit dem Quadrate seines Abstandes von der Geraden und addieren alle so für sämtliche Massenteilchen des Körpers berechneten Produkte, so ergibt sich eine Zahl, die man das Trägheitsmoment des Körpers in bezug auf jene Gerade als Trägheitsachse nennt. Denken wir uns die Trägheitsmomente für alle beliebigen durch den Schwerpunkt gehenden Trägheitsachsen berechnet, so zeigt es sich, daß von allen diesen unendlich vielen Achsen drei aufeinander senkrecht stehende dadurch ausgezeichnet sind, daß für sie die Trägheitsmomente die größten oder kleinsten aller überhaupt vorkommenden Werte annehmen. Man nennt diese die drei Hauptträgheitsachsen des betreffenden Körpers. Auch diese Eigenschaften hat jeder beliebige starre Körper. Bei regelmäßig geformten Körpern von gleichmäßig verteilter Dichte kann man oft schon aus der äußeren Gestalt beurteilen, wie ihre Hauptträgheitsachsen liegen. So wird bei allen Rotationskörpern, deren Oberfläche man sich durch die Rotation einer ebenen Kurve um eine in ihrer Ebene liegende Achse entstanden denken kann, stets diese Figurachse auch eine der Hauptträgheitsachsen sein. Dieser Fall trifft

Die Hauptträgheitsachsen.

nun bei der Erde zu. Die Erde hat nahezu die Gestalt eines abgeplatteten Rotationsellipsoides, d. h. eines Körpers, den man durch Umdrehung einer Ellipse um ihre kleine Achse erhält, und bei diesem fällt die Hauptachse des größten Trägheitsmoments mit der kleinen Achse des Ellipsoids zusammen, die den geographischen Nord- und Südpol der Erde verbindet. Die beiden anderen Hauptträgheitsachsen liegen in der Ebene des Erdäquators, und die ihnen entsprechenden Trägheitsmomente sind gleich.

Die oben ausgesprochene Regel, daß die Rotationsachse ihre Lage im Körper selbst wechselt, erleidet nur dann eine Ausnahme, wenn sie mit einer der Hauptträgheitsachsen zusammenfällt; in diesem Falle findet dauernd eine gleichmäßige Rotation um diese Achse statt. Bei der Erde ist diese Bedingung nun glücklicherweise so nahe erfüllt, daß erst die schärfsten astronomischen Messungen der letzten Jahrzehnte eine geringfügige Beweglichkeit der Drehungsachse im Erdkörper nachzuweisen vermocht haben. Durch diese Beobachtungen der sogenannten Polhöhenchwankungen ist festgestellt worden, daß sich die instantane Drehungsachse stets innerhalb eines Kreises befindet, den man mit einem Halbmesser von etwa 11 Meter um die Pole des Erdellipsoides beschreibt. Und noch ein anderer Umstand wirkt darauf hin, die Verhältnisse der Erdrotation wesentlich zu vereinfachen: eine Folge der Gleichheit der beiden Trägheitsmomente der äquatorialen Trägheitsachsen ist, wie sich mathematisch zeigen läßt, die vollkommene Konstanz der Drehungsgeschwindigkeit um die dritte, nach den Erdpolen gerichtete Hauptträgheitsachse. Da nun, wie eben gezeigt wurde, die augenblickliche Drehungsachse der Erde stets nur äußerst wenig von dieser polaren Trägheitsachse abweicht, so ergibt sich hieraus eine selbst sehr hohen Anforderungen genügende Gleichmäßigkeit der Erdrotation.

Begründung  
der Konstanz  
der Tageslänge.

Man hat sich vorzustellen, daß die mittlere Dauer eines Tages ganz unveränderlich konstant bleibt; die Dauer eines einzelnen Tages kann aber infolge der Verschiebungen der instantanen Rotationsachse um äußerst kleine Beträge davon verschieden sein, z. B. beträgt für Berlin die größte Änderung der Tageslänge 0,00044 Sekunden, eine Größe, die sich jeder Messung entzieht. Da jedoch diese Abweichungen stets mehrere Monate lang nach derselben Seite hin stattfinden (die Tage sind dauernd zu kurz oder zu lang), so addieren sie sich, so daß schließlich die Bestimmung eines absoluten Zeitpunktes um einen größeren Betrag fehlerhaft wird. Allein auch dieser Fehler kann gewisse, sehr enge Grenzen nicht überschreiten, er beträgt z. B. für Berlin  $\pm 0^s,033$ , für Hammerfest  $\pm 0^s,074$ . Nach dem Erdäquator zu werden diese Zeitfehler immer kleiner, nach den Polen hin jedoch immer größer, und innerhalb des oben erwähnten Kreises von 22 Meter Durchmesser können sie geradezu ungeheuerliche Beträge annehmen: die Dauer eines Tages — wenn wir ihn in der bei uns üblichen Weise definieren wollten — kann dort bis zu 12 Stunden verändert werden, und das Jahr hat für gewisse Punkte innerhalb jenes Kreises nicht 365, sondern 366, das Schaltjahr 367 solcher Tage, die dann natürlich entsprechend kürzer als unsere Tage sein

Größte  
Abweichungen.

müssen. Diese Paradoxa zeigen nur, daß in so unmittelbarer Nähe der Rotationspole die übliche Definition des Tages, von der gleich noch die Rede sein wird, ihre Brauchbarkeit verliert. In allen Kulturländern sind jedoch, wie wir gesehen haben, keinerlei Schwierigkeiten für die Zeitmessung aus den Folgen der Bewegung der Rotationsachse im Erdkörper zu befürchten.

Einfluß äußerer  
Kräfte:

Das bisher Gesagte bezog sich nur auf die freie Rotation der Erde, wie sie stattfinden würde, wenn keine Kräfte von außen auf sie einwirkten. Durch die Anziehung der anderen Himmelskörper, insbesondere des Mondes und der Sonne, werden die Verhältnisse aber wesentlich geändert. Diese äußeren Einwirkungen haben zwei ganz verschiedene Erscheinungen zur Folge, beide so auffällig, daß sie schon im Altertum bekannt waren: die Erscheinungen der Ebbe und Flut und der Präzession. Die Gezeiten, die Ebbe und Flut, bestehen, wenn wir von dem in Wirklichkeit recht komplizierten Verlaufe absehen, in der Hauptsache darin, daß sich das Meer infolge der Anziehung des Mondes auf der Verbindungslinie Erde-Mond zu beiden Seiten der Erde erhebt, zwei hohe Wellenberge, die Flut, bildet, während es senkrecht dazu, also an Orten, wo der Mond im Horizont erscheint, seinen tiefsten Stand, die Ebbe, hat. Ähnliche, aber niedrigere Wellen erzeugt die Anziehung der Sonne. Da diese Flutwellen mit Mond und Sonne von Osten nach Westen um die Erde wandern, so wirken sie durch ihre Reibung verzögernd auf die Drehung der Erde. G. H. Darwin folgert, daß sich die Dauer des Tages infolge der Flutreibung von einem anfänglichen Betrage von etwa 4 Stunden bis auf die jetzigen 24 Stunden verlängert habe, und daß diese Verlangsamung der Rotation noch fort dauert, bis sie endlich einen Maximalwert von 55 Tagen erreicht. Dieser Prozeß der Verlängerung des Tages bis zur Dauer von 2 der jetzigen Monate erfolgt jedoch erst im Laufe von vielen Millionen Jahren. Im gleichen Sinne wirkt auch noch ein anderer Vorgang. Täglich stürzen kleinere oder größere kosmische Massen auf die Erde, sie vermehren andauernd die Masse der Erde und müssen dadurch eine Verlangsamung der Rotation herbeiführen.

Aufsturz meteorischer Massen,

Abkühlung und Verwitterung.

Demgegenüber haben wir von der fortschreitenden Abkühlung und Verwitterung der Erde eine Beschleunigung der Achsendrehung zu erwarten. Die direkte thermische Zusammenziehung der die jetzige Erdkruste bildenden Gesteine kommt dabei allerdings kaum in Betracht. Aber Verwitterung, Erosion und Einstürze sind ununterbrochen tätig, an der Erdoberfläche wie im Erdinnern Gesteins- und Wassermassen an tiefer liegende Orte zu befördern. Das Erdinnere enthält zahlreiche mit heißen, gespannten Dämpfen erfüllte Höhlungen. Wo der Druck dieser Dämpfe durch Abkühlung schwindet, da können wiederum Wasser- und Erdmassen aus höheren Schichten einbrechen, und durch alle diese Vorgänge werden die Trägheitsmomente der Erde verkleinert und ihre Umdrehung beschleunigt. Auch der durch die Sonnenwärme verursachte Kreislauf des Wassers und die Wärmeabstrahlung der Erde sind daher in diesem Sinne zu den äußeren auf die Erde einwirkenden Kräften zu rechnen.

Welche dieser Erscheinungen jetzt überwiegt, ob die Verlängerung oder die Verkürzung der Tagesdauer, läßt sich nach dem augenblicklichen Stande der astronomischen Erfahrung durchaus nicht entscheiden. Um durch direkte Beobachtungen die Gleichmäßigkeit der Tageslänge zu kontrollieren, muß man sich nach ähnlichen periodischen Bewegungsvorgängen außerhalb der Erde umsehen. Eine Zeit lang hat man geglaubt, die Umlaufzeit des Mondes um die Erde hierzu verwenden zu können. Aus Zeiten, die über 2000 Jahre zurückliegen, sind uns historisch verbürgte Nachrichten über Sonnen- und Mondfinsternisse erhalten. Rechnen wir mit den uns jetzt bekannten Elementen der Mondbewegung diese Finsternisse nach, so müßten sich, wenn die Länge der Tage inzwischen auch nur um einzelne Sekunden zu- oder abgenommen hätte, merkliche Abweichungen zeigen. Allein die Theorie der Mondbewegung ist selbst so kompliziert, daß wir die Umlaufzeit unseres Satelliten nicht mit dem hier nötigen Grade von Genauigkeit als bekannt voraussetzen dürfen. Theoretisch zeigt es sich vielmehr, daß mit der durch die Flutreibung bewirkten Verlangsamung der Erdrotation auch stets eine Veränderung der Umlaufzeit des Mondes parallel laufen muß, so daß wir unmöglich die eine Erscheinung zur Kontrolle der andern heranziehen dürfen. Erst die Gesamtheit der Bewegungsvorgänge in unserm Sonnensystem liefert uns eine kräftige Stütze für die Überzeugung, daß seit historischen Zeiten eine merkliche Änderung der Tageslänge nicht eingetreten ist. Alle diese Bewegungen messen wir durch unsern mittleren Tag. Wäre nun letzterer nicht von konstanter Dauer, so müßten die Beobachtungen aller Planeten und Satelliten im gleichen Sinne von den Berechnungen abweichen. Nicht ein einziges Mal hat sich eine Spur einer solchen Erscheinung gezeigt, und so müssen wir sagen, daß bisher keinerlei Veränderung der Tageslänge hat nachgewiesen werden können.

Die zweite durch die Einwirkung von Sonne und Mond auf die rotierende Erde hervorgerufene Erscheinung ist die schon von Hipparch (ca. 150 v. Chr.) entdeckte Präzession. Ohne solche äußere Störung würde die Rotationsachse der Erde im Raume eine so gut wie unveränderliche Richtung beibehalten. Der Erdäquator bildet mit der Ekliptik, der Ebene der Bahn, die die Erde um die Sonne im Laufe eines Jahres beschreibt, einen Winkel von etwa  $23\frac{1}{2}^{\circ}$ , den man die Schiefe der Ekliptik nennt; die Gerade, in der sich die Ekliptik und der Äquator schneiden, heißt die Knotenlinie, und die Punkte, in denen diese die Himmelskugel trifft, sind der Frühlings- und Herbstpunkt, so genannt, weil die Stellung der Sonne in diesen Punkten den Anfang des astronomischen Frühlings und Herbstes (21. März und 23. September) bezeichnet. Die Anziehung der Sonne, die sich genau, und des Mondes, der sich sehr nahe in der Ebene der Ekliptik bewegt, wirkt nun dahin, die Äquatorebene in die Ekliptik hineinzuziehen, also die Schiefe zu vermindern, was auch erreicht werden würde, wenn die Erde nicht rotierte. Infolge der Rotation tritt aber eine Erscheinung ein, die wir täglich an einem Kinderspielzeug, dem Kreisel, beobachten können. Die Schwerkraft sucht den auf seiner Spitze

Praktische Prüfung der Konstanz des Tages.

Die Präzession.

Die Ekliptik.

Der Frühlingspunkt.

Präzessions-  
bewegung  
des Kreisels,

der Erde.

tanzenden Kreisel umzuwerfen; aber solange er rasch rotiert, ist das unmöglich, vielmehr nimmt seine gegen die Vertikale geneigte Rotationsachse eine langsame Bewegung um die Vertikale herum an, wobei der Neigungswinkel gegen die Vertikale unverändert erhalten bleibt und die Richtung dieser sogenannten Präzessionsbewegung der Achse um die Vertikale mit der Rotationsrichtung des Kreisels selbst übereinstimmt. Ganz ähnlich verhält es sich mit der Bewegung der Erdachse. Wegen der Erdrotation gelingt es der vereinten Anziehung der Sonne und des Mondes nicht, den Äquator in die Ekliptik hineinzuziehen, vielmehr nimmt die Erdachse bei konstant bleibender Schiefe eine langsame Präzessionsbewegung um die Pole der Ekliptik an. Da aber diese Anziehung die Rotationsachse nicht, wie beim Kreisel, umzuwerfen, sondern vielmehr aufzurichten sucht, so hat die Präzession der Erdachse die zur Erdrotation entgegengesetzte Richtung: der Nordpol der Erde bewegt sich von Osten nach Westen um den Ekliptikpol herum, und dieselbe Bewegung hat der Frühlingspunkt in der Ekliptik. Die Präzession beträgt jährlich etwa 50 Bogensekunden, so daß der Frühlingspunkt erst in 26 000 Jahren einen ganzen Umlauf vollendet.

Die Nutation.

Aber das sind zunächst nur die größten Züge der räumlichen Bewegung der Erdachse. Sonne und Mond stehen nicht immer in konstanter Entfernung von der Erde, so daß die Kraft ihrer Anziehung auf das Erdellipsoid veränderlich ist. Der Mond bewegt sich nicht, wie bisher angenommen, in der Ebene der Ekliptik, sondern in einer etwa 5 Grad dagegen geneigten Bahn, die selbst wieder, infolge der Sonnenanziehung, eine Präzessionsbewegung in 18,6 Jahren um den Pol der Ekliptik ausführt. Um den Pol dieser veränderlichen Mondbahn findet daher eigentlich der von der Mondanziehung herrührende Teil der Präzession der Erdachse und des Frühlingspunktes statt. Man sieht, daß zu der fortschreitenden Präzession aus allen diesen Ursachen noch eine Menge periodisch veränderliche Glieder hinzukommen müssen; die theoretische Astronomie hat diese sämtlich genau berechnet und faßt sie unter dem Namen Nutation zusammen. Endlich liegt auch die Ekliptik selbst im Raume nicht fest, sondern vollführt unter dem Einflusse der Anziehung der übrigen Planeten ebenfalls sehr geringe präzessionsartige Bewegungen, die zwar nicht die Lage der Erdachse im Raume, aber doch den Betrag der Schiefe und die Lage des Frühlingspunktes beeinflussen.

Der mittlere  
Frühlingspunkt.

Aus dem Gesagten erkennt man, wie große Schwierigkeiten sich einer exakten Definition eines Sterntages, der Umdrehungszeit der Erde in bezug auf eine im Raume feste Richtung, entgegenstellen. Eine unter den Fixsternen feste Richtung ist hierzu nicht geeignet, da sich die Stellung aller Fixsterne in bezug auf die Erdachse wegen der Präzession ungleichförmig verändert, selbst wenn man die Präzession des Frühlingspunktes als gleichförmig annimmt. Nur der Frühlingspunkt selbst (oder der Herbstpunkt, den man ebensogut benutzen könnte) behält gegen die Erdachse eine feste Lage bei, da er immer in ihrem Äquator liegt. Faßt man unter der Präzession des Frühlingspunktes alle mit der Zeit gleichmäßig fortschreitenden Glieder seiner

Bewegung, unter der Nutation alle periodischen Glieder zusammen, so hat der nur mit der Präzession behaftete, aber von der Nutation befreite, sogenannte „mittlere“ Frühlingspunkt eine im Raume gleichförmig veränderliche Richtung, und die Stellung der gleichförmig rotierenden Erde gegen diese ebenfalls gleichförmig veränderliche Marke darf nach dem oben Gesagten als ein Maß für die Zeit selbst benutzt werden.

Hiermit sind nun auch die Hauptschwierigkeiten überwunden, die sich der Festsetzung des astronomischen Zeitbegriffs entgegenstellten: Am Himmel haben wir eine zur Zeitmessung geeignete Marke gefunden, und es ist nun nur noch eine ähnliche Festsetzung für die Erdoberfläche zu treffen. Hierzu mögen einige Definitionen teils in das Gedächtnis zurückgerufen, teils schärfer bestimmt werden. Als den Meridian eines Ortes bezeichnet man gewöhnlich diejenige Ebene, die durch die Erdachse und den Beobachtungsort gelegt wird. Das ist aber nicht streng richtig. Die Meridianebene ist in erster Linie eine Vertikalebene, d. h. eine Ebene, die durch die Vertikallinie des Beobachtungsortes gelegt wird. Die Vertikallinien schneiden aber im allgemeinen die Erdachse nicht, sondern gehen in geringen Abständen an ihr vorbei, eine Folge der sogenannten Lotabweichungen, die ihren Grund in den zufälligen Massenverteilungen, Bergen und Tälern der Erdoberfläche haben. Daher ist es auch gar nicht möglich, durch diese beiden sich nicht schneidenden Geraden eine Ebene zu legen. Nun kann man aber durch den Beobachtungsort eine Gerade legen, die der Rotationsachse der Erde parallel ist und die daher das unendlich ferne Himmelsgewölbe in genau denselben Himmelspolen trifft, durch die auch die Erdachse selbst geht; wir können diese Parallele als die lokale Weltachse bezeichnen. Wegen der großen Entfernung der Fixsterne vollziehen sich ihre durch die Erdrotation verursachten scheinbaren Bewegungen genau so, als ob die Rotation um die lokale Weltachse stattfände; nur bei der Sonne, dem Monde und den Planeten ergeben sich geringe Unterschiede, die der Astronom als „tägliche Parallaxe“ dieser Himmelskörper in Rechnung zieht. Durch diese lokale Weltachse und die Vertikallinie wird nun die Meridianebene jedes Beobachtungsortes bestimmt.

Der Meridian.

Da die Rotationsachse im Erdkörper nicht unveränderlich festliegt, so muß auch die ihr parallele lokale Achse und mit dieser die Meridianebene kleine Ortsveränderungen erleiden. Wir sahen oben, daß der Einfluß dieser geringfügigen Lageänderungen der Rotationsachse auf die Zeit in allen Kulturländern vernachlässigt werden darf. Noch kleiner sind die erst in der letzten Zeit nachgewiesenen Richtungsänderungen der Lotlinie, die im Laufe eines Tages durch die veränderliche Stellung des Mondes und der Sonne verursacht werden. Sehen wir daher auch hiervon ab, so ist die Meridianebene an jedem Orte eine mit dem Erdkörper unveränderlich fest verbundene Ebene, die durch die lokale Weltachse und die Vertikallinie des Ortes geht. In unmittelbarer Nähe der Erdpole bilden die letztgenannten beiden Linien einen sehr kleinen Winkel miteinander, und daher kommt es, daß

Lagen-  
änderungen  
des Meridians.

dann eine geringfügige Verschiebung der einen sehr große Änderungen der Lage der Meridiane bewirken kann. Fallen beide Linien genau zusammen, so wird die Lage des Meridians und mit ihr die Ortszeit überhaupt unbestimmbar. In dem Augenblick, da die bewegliche, momentane Rotationsachse durch einen Punkt der Erdoberfläche hindurchwandert, ändert sich dessen Ortszeit plötzlich um zwölf Stunden; schon in der Nähe der Achse wird die Ortszeit schwer bestimmbar.

Der Stunden-  
winkel.

An den Meridian knüpft unmittelbar die astronomische Definition der Zeit an. Legt man eine Ebene durch irgendeinen Stern und die Weltachse, so ist dies die Ebene des „Stundenkreises“ dieses Sterns; den Winkel, den sie mit dem Stundenkreis des Frühlingspunktes bildet, nennt man die „Rektaszension“ ( $\alpha$ ) des Sterns, und den Winkel, den der Stundenkreis des Sterns mit dem Meridiane eines bestimmten Erdortes bildet, den Stundenwinkel ( $\tau$ ) des Sterns an diesem Orte. Man erkennt sofort, daß der Stundenwinkel infolge der Erdrotation im Laufe eines Tages alle Werte von  $0^\circ$  bis  $360^\circ$  durchlaufen muß, und zwar findet seine Zunahme genau proportional der Erdrotation, d. h. nach dem oben Ausgeführten völlig gleichförmig statt. Der Stundenwinkel ist daher vorzüglich als Zeitmaß geeignet und nach der astronomischen Definition ist die Zeit geradezu mit dem Stundenwinkel gewisser

Die Sternzeit.

Punkte des Himmels identisch: die Sternzeit ( $\theta$ ) ist der Stundenwinkel des Frühlingspunktes, die wahre Sonnenzeit ( $w$ ) der Stundenwinkel des Mittelpunktes der Sonnenscheibe. Würde man die Sternzeit als den Stundenwinkel des von der Nutation freien „mittleren“ Frühlingspunktes definieren, so wäre sie nach dem oben Gesagten ein vollkommen gleichförmiges Zeitmaß. Aus praktischen Rücksichten versteht man jedoch unter Sternzeit den Stundenwinkel des mit der Nutation behafteten „wahren“ Frühlingspunktes, und die Sternzeit verläuft daher nicht vollkommen gleichförmig. Diese Unregelmäßigkeit ist jedoch so gering, daß sie für gewöhnlich gar nicht beachtet zu werden braucht. Das größte Glied der Nutation ist  $1^s, 15 \sin K$ , wobei  $K$  die Entfernung des Knotens der Mondbahn vom Frühlingspunkte bezeichnet. Da nun die Mondknoten, wie schon erwähnt, in 18,6 Jahren einen ganzen Umlauf vollenden, so nimmt in dieser Zeit obiges Glied einmal den Betrag  $+ 1^s, 15$ , dann nach 9,3 Jahren den Betrag  $- 1^s, 15$  an. Denken wir uns eine ideal gleichförmig gehende Sternzeituhr, so würde diese daher im Laufe von 18,6 Jahren einmal um obigen Betrag vor- und nachzugehen scheinen. Da jedoch die Sternzeit lediglich bei der Berechnung astronomischer Beobachtungen innerhalb kurzer Zeiträume, eigentlich nur innerhalb eines Tages, benutzt wird, so verliert die erwähnte geringe Ungleichförmigkeit jede Bedeutung.

Die wahre  
Sonnenzeit.

Zu allen absoluten Zeitangaben, bei denen es darauf ankommt, beliebig weit voneinander entfernte Zeitpunkte in Beziehung zu setzen, bedient man sich nur der „mittleren Sonnenzeit“, die von allen Unregelmäßigkeiten befreit, ein nach unsern jetzigen Kenntnissen völlig gleichförmiges Zeitmaß darstellt. Die historische Betrachtung dieses Abschnittes hatte uns (S. 102) bis

zu der Zeit geführt, wo sich die Rechnung nach wahrer Sonnenzeit allgemeine Geltung verschafft hatte. Es war 12 Uhr mittags, wenn die Sonne durch den Meridian des Ortes ging, wenn sie „kulminierte“. Von da an wurden bis zur nächsten Kulmination zweimal 12 gleich lange Stunden wahrer Sonnenzeit gezählt. Diese wahre Sonnenzeit ist jedoch kein gleichförmiges Zeitmaß. Durch unsere bisherigen Betrachtungen ist festgestellt, daß der Stundenwinkel des mittleren Frühlingspunktes gleichmäßig mit der Zeit wächst und sich daher zur Messung der Zeit eignet. Dasselbe gilt auch von jedem Punkte des Himmels, dessen Rektaszension gleichmäßig veränderlich ist, da auch der Stundenwinkel solcher Punkte gleichförmig wachsen muß. Nun ist aber die Bewegung der Sonne in Rektaszension — das Spiegelbild der Bewegung der Erde — durchaus nicht gleichmäßig. Erstens bewegt sich die Sonne nicht längs des Äquators, sondern längs der gegen ihn um  $23\frac{1}{2}$  Grad geneigten Ekliptik. Selbst wenn die Bewegung in der Ekliptik gleichmäßig wäre, so müßte doch die Rektaszension zu den beiden Zeitpunkten, wo die Bewegung dem Äquator parallel erfolgt (21. Juni und 21. Dezember) am raschesten zunehmen, am langsamsten dagegen zu den Zeiten, wo die Sonnenbewegung den größten Winkel mit dem Äquator bildet, d. i. im Frühlings- und Herbstpunkte. Dazu kommt aber zweitens noch, daß sich die Sonne auch in der Ekliptik nicht gleichförmig bewegt. Der größte Teil der Ungleichförmigkeit dieser Bewegung rührt davon her, daß die Erde im Laufe eines Jahres eine elliptische Bahn um die Sonne beschreibt, in der sie am 31. Dezember der Sonne am nächsten steht (Perihel), während am 2. Juli die Entfernung am größten ist (Aphel). Im Perihel ist die Bewegung am raschesten, im Aphel am langsamsten. Dazu kommen dann noch alle die Störungen, die die Bewegung der Erde durch die Anziehung der übrigen Planeten und namentlich des Mondes erleidet. Alle diese Ursachen wirken zusammen, um die Änderung der Sonnenrektaszension und folglich auch die Dauer der wahren Sonnentage ungleichmäßig zu machen.

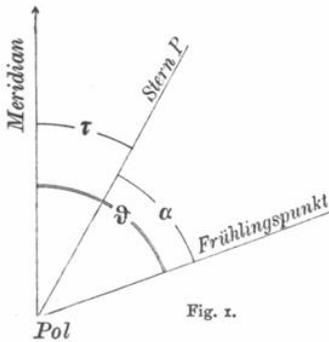
Man hat nun folgende Betrachtung angestellt, um von dieser ungleichförmigen wahren zur gleichförmigen „mittleren“ Sonnenzeit zu gelangen. Man denkt sich außer der wahren Sonne noch eine fingierte „erste mittlere Sonne“ in der Ekliptik laufend, deren Bewegung vollkommen gleichmäßig und so beschaffen ist, daß diese fingierte Sonne gleichzeitig mit der wirklichen durch das Perihel (und auch Aphel) geht. Zu diesem Zwecke muß die Umlaufszeit der fingierten Sonne gleich der mittleren Umlaufszeit der Erde um die Sonne sein. Diese erste mittlere Sonne, die sich in der Ekliptik gleichförmig bewegt, wird zu zwei genau ein halbes Jahr voneinander entfernten Zeitpunkten den Äquator im Frühlings- und Herbstpunkte durchschreiten. Man denkt sich nun noch eine „zweite mittlere Sonne“, die genau dieselbe Umlaufszeit wie die erste besitzt, sich jedoch im Himmelsäquator bewegt, und zwar so, daß sie immer gleichzeitig mit der ersten im Frühlings- und Herbstpunkte ankommt. Der Stundenwinkel dieser zweiten mittleren Sonne ist das, was wir als „mittlere Sonnenzeit oder Ortszeit“ bezeichnen. Rech-

Die mittlere  
Sonnenzeit.

nerisch läßt sich diese Definition noch einfacher ausdrücken: Der als erste mittlere Sonne bezeichnete Punkt hat die „mittlere Länge“ der Sonne, und die Rektaszension der zweiten mittleren Sonne ist gleich dieser mittleren Länge.

Nachdem wir so die Definition der Sternzeit, der wahren und der mittleren Sonnenzeit als Stundenwinkel des Frühlingspunktes, der wirklichen und der zweiten mittleren Sonne kennen gelernt haben, ist es leicht, die Beziehungen aufzustellen, die zwischen diesen drei Zeitmaßen bestehen. Aus der oben gegebenen Definition der Sternzeit  $\theta$  sowie der Rektaszension  $\alpha$  und des Stundenwinkels  $\tau$  eines beliebigen Himmelspunktes  $P$ , die durch nebenstehende Fig. 1 nochmals vor Augen geführt wird, ergibt sich sofort die fundamentale Beziehung

$$\tau = \theta - \alpha$$



Setzen wir hierin  $\tau = 0$ , so folgt, daß die Sternzeit stets gleich der Rektaszension der gerade kulminierenden Sterne ist. Darauf gründet sich die wichtigste Methode der astronomischen Zeitbestimmung mittels der Durchgangsinstrumente im Meridian.

Nennen wir ferner  $w$  die wahre Zeit,  $m$  die mittlere Zeit,  $\alpha_{\odot}$  die Rektaszension des Sonnenmittelpunktes und  $L$  die mittlere Länge der Sonne, so ergeben obige Definitionen sofort die Beziehungen

$$w = \theta - \alpha_{\odot}$$

$$m = \theta - L$$

Aus der letzten Gleichung folgt, wenn wir die Sternzeit im mittleren Mittag mit  $\theta_0$  bezeichnen,

$$\theta_0 = L$$

Den Unterschied mittlere Zeit minus wahre Zeit nennt man die „Zeitgleichung“  $z$ , und man hat daher noch

$$m - w = z = \alpha_{\odot} - L = \alpha_{\odot} - \theta_0$$

Die Zeitgleichung, die in astronomischen Kalendern für jeden Tag angegeben wird, ist zu der wahren Zeit, wie sie etwa eine Sonnenuhr angibt, zu addieren, um die mittlere Ortszeit zu erhalten. Sie schwankt im Laufe des Jahres um etwa eine halbe Stunde hin und her, nimmt aber in verschiedenen Jahren an denselben Tagen wenigstens näherungsweise wieder dieselben Werte an. Zur Erläuterung möge folgende Zusammenstellung dienen, die die Grenzwerte der Zeitgleichung in den Jahren 1912 und 1914 für den mittleren Berliner Mittag enthält:

	1912	1914
1. Januar . . . .	+ 3 <sup>m</sup> 12 <sup>s</sup> , 19	+ 3 <sup>m</sup> 26 <sup>s</sup> , 17
12. Februar . . . .	+ 14 26, 01	+ 14 25, 15
16. April . . . .	- 0 8, 27	- 0 2, 18
15. Mai . . . .	- 3 48, 30	- 3 49, 22
14. Juni . . . .	- 0 2, 16	- 0 8, 92
27. Juli . . . .	+ 6 19, 13	+ 6 19, 87
1. September . . . .	- 0 0, 83	+ 0 9, 71
3. November . . . .	- 16 22, 20	- 16 21, 20
25. Dezember . . . .	+ 0 7, 41	- 0 7, 53

Mitte Februar hat also die Sonne fast eine Viertelstunde nach dem mittleren Mittage erst ihren höchsten Stand, und die Nachmittage sind daher fast eine halbe Stunde länger als die Vormittage; umgekehrt ist es im November, wo die Nachmittage bis über eine halbe Stunde kürzer als die Vormittage sind. Das macht sich selbst im bürgerlichen Leben schon bemerklich: Im November klagt man oft, daß es so früh Nacht wird, und im Januar und Februar, daß es gar nicht Tag werden will. Nur bei sehr mäßigen Ansprüchen an die Genauigkeit der Zeitbestimmung — wenn es etwa nur auf die halbe Minute ankommt — darf man ein und dieselbe Tabelle der Zeitgleichung für alle Jahre benutzen; richtiger ist es, stets die für jedes Jahr besonders berechneten Werte anzuwenden.

Das Verhältnis der Sternzeit zur mittleren Zeit ergibt sich aus folgender Überlegung. Die zweite mittlere Sonne vollführt in bezug auf den Frühlingspunkt einen Umlauf um den ganzen Äquator in einem tropischen Jahre oder 365,242199 mittleren Sonnentagen, und zwar findet diese Bewegung von Westen nach Osten, im Sinne der Erdrotation, statt. Das kommt auf dasselbe hinaus, als ob der Frühlingspunkt in derselben Zeit einen Umlauf in der entgegengesetzten Richtung ausführte, und er muß daher in dieser Zeit genau einmal mehr durch den Meridian gehen als die mittlere Sonne, das tropische Jahr muß einen Sterntag mehr erhalten als mittlere Tage. Daraus folgt die Beziehung

Beziehung  
der Sternzeit zur  
mittleren Zeit.

$$366,242199 \text{ Sterntage} = 365,242199 \text{ mittlere Tage,}$$

$$1 \text{ Sterntag} = 23^{\text{h}} 56^{\text{m}} 4^{\text{s}}, 0905 \text{ mittlere Zeit.}$$

Der Frühlingspunkt kulminiert also jeden Tag um 3<sup>m</sup> 55<sup>s</sup>, 9095 früher, man nennt dies die Akzeleration des Frühlingspunktes oder der Fixsterne.

Um ein in Sternzeit gegebenes Zeitintervall in mittlere Zeit zu verwandeln, hat man

von jedem Tage . .	3 <sup>m</sup> 55 <sup>s</sup> , 909
von jeder Stunde .	9 <sup>s</sup> , 830
von jeder Minute .	0 <sup>s</sup> , 164

zu subtrahieren. Ist dagegen ein in Sternzeit gegebener Zeitpunkt  $\theta$  in mittlerer Zeit auszudrücken, so zieht man zunächst von  $\theta$  die Sternzeit  $\theta_0$  im mittleren Mittag ab, die in den astronomischen Ephemeriden für jeden Tag

berechnet ist, und überträgt dann das Sternzeitintervall  $\theta - \theta_0$  nach der eben angegebenen Regel in mittlere Zeit. Auch für diese in der astronomischen Praxis sehr häufige Umrechnung gibt es bequeme Hilfstafeln.

Genäherte  
Umrechnung  
im Kopfe

Um ohne solche Hilfstafel zu jeder gegebenen mittleren Zeit die entsprechende Sternzeit oder umgekehrt im Kopfe näherungsweise zu berechnen, hat man sich nur zu erinnern, daß es am 21. März, wenn die Sonne im Frühlingspunkte steht, im wahren Mittage (oder unter Berücksichtigung der Zeitgleichung, am 23. März im mittleren Mittage) auch  $0^h$  Sternzeit ist, und daß diese in jedem Monat um zwei Stunden, an jedem Tag um  $4^m$  vorwärtschreitet. Auf diese Art kann man leicht die Sternzeit  $\theta_0$  im mittleren Mittage jedes beliebigen Tages auf einige Minuten genau finden. Will man z. B. wissen, wieviel Sternzeit es am 28. Juli abends  $11^h$  mittlerer Zeit ist, so hat man

23. März bis 23. Juli = 4 Monate . . . . .	8 <sup>h</sup>
bis 28. Juli = 5 Tage . . . . .	20 <sup>m</sup>
bis $11^h$ = 0,5 Tage . . . . .	2 <sup>m</sup>
also Sternzeit im mittleren Mittage	8 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup>
	und um $11^h$ abends 19 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> .

Da die Sternzeit gleich der Rektaszension der im Süden kulminierenden Gestirne ist, gibt diese einfache Rechnung auch zu jeder Zeit sofort Aufschluß über die Stellung des Sternhimmels.

Zeitbestimmung  
ohne Instru-  
mente.

III. Die instrumentellen Hilfsmittel und die praktische Ausführung der Zeitmessung. a) Die älteren Methoden. Nur ganz rohe und primitive Zeitbestimmungen lassen sich ohne alle Instrumente ausführen. Wer mit dem Sternenhimmel vertraut ist, dem gelingt es ohne weiteres, direkt aus der Stellung der Gestirne die Sternzeit etwa auf eine halbe Stunde genau abzulesen. Man bedient sich hierzu am bequemsten des bekannten Sternbildes der Cassiopeia, dessen fünf Hauptsterne die Gestalt eines **W** bilden. Denkt man sich eine gerade Linie vom Polarstern nach dem westlichsten der fünf Sterne ( $\beta$  Cassiopeiae), dem rechten Ende des **W**, gezogen, so ist diese der Zeiger auf der großen Himmelsuhr, deren Zifferblatt man sich um den Polarstern als Mittelpunkt in 24 Stunden geteilt denkt, wobei jedoch die Teilung in umgekehrter Richtung der Zifferblätter unserer Uhren verläuft; man denkt sich also oben, nach dem Zenit zu  $0^h$ , links  $6^h$ , senkrecht unter dem Polarstern  $12^h$  und rechts  $18^h$ . Auf diesem Zifferblatte gibt der nach  $\beta$  Cassiopeiae gerichtete Zeiger direkt die Sternzeit an. Hat man diese gefunden, so ist es leicht, daraus nach dem soeben mitgeteilten Verfahren im Kopfe die mittlere Ortszeit zu berechnen.

Die Sternuhr.

Auch andere Gestirne, deren Lage man sich eingepägt hat, lassen sich in ähnlicher Weise benutzen, und auf solche Art mag man sich in früheren Zeiten, als man wegen des Mangels der Uhren noch mehr auf die direkte Beobachtung der Sterne angewiesen und daher besser mit ihnen vertraut war, häufig über die ungefähre Zeit orientiert haben. Im Mittelalter verfer-

tigte man für diesen Zweck besondere „Sternuhren“, bei denen ein Zeiger in die Richtung bestimmter Sterne durch Vergleichung mit dem Himmel eingestellt wurde, worauf man die Sternzeit aus der Lage des Zeigers an erhabenen Knöpfen auf dem Zifferblatt auch im Dunkeln abzählen konnte. Welche Rolle die Sternbilder des Tierkreises bei den ersten nächtlichen Zeitbestimmungen gespielt haben mögen, wurde oben (S. 97) schon erwähnt.

Schwieriger ist es, am Tage ohne alle Instrumente die Zeit nach dem Stande der Sonne zu beurteilen. Das von den Griechen benutzte *τροιχέιον*, das Maß des eigenen Schattens, dürfte ursprünglich kaum ein eigentliches Zeitmaß gewesen sein, welches zur Einteilung des Tages in bestimmte Teile diente, sondern man benutzte die Angabe der Schattenlänge nur, um bei Verabredungen eine leicht erkennbare Tageszeit zu bezeichnen, z. B. lud man den Freund ein, bei einer Schattenlänge von zwölf Fuß zum Essen zu kommen. Erst später brachte man die Schattenlängen in eine feste Beziehung zur Teilung des Tages in die zwölf Temporalstunden, indem man Tabellen entwarf, die für alle Monate die Schattenlänge für die einzelnen Stunden angaben. Solcher „Studentafeln“, deren Angaben, um sie leicht dem Gedächtnis einprägen zu können, nach ganz einfachen, ziemlich fehlerhaften Regeln gebildet waren, sind uns aus dem Altertum mehrere erhalten geblieben. Auch die Anwendung dieser Tafeln teilte nur den Tag in zwölf Abschnitte ein, die jedoch nicht genau gleich lang waren.

Die Länge  
des eigenen  
Schattens.

Eine Einteilung des Tages in gleichmäßige Stunden ergab sich erst durch die Anwendung besonderer Instrumente, deren wir zwei prinzipiell verschiedene Gruppen zu unterscheiden haben. Die Apparate der ersten Gruppe sind eigentliche astronomische Beobachtungsinstrumente, die eine Bestimmung der Zeit aus der Stellung der Gestirne ermöglichen; dahin gehören neben den oben erwähnten Stern- oder Polaruhren alle Sonnenuhren sowie alle späteren zur astronomischen Zeitbestimmung dienenden Instrumente. Die zweite Gruppe umfaßt alle Apparate, die unter Benutzung verschiedener physikalischer Vorgänge zur künstlichen Abmessung gleicher Zeiträume dienen; hierzu sind neben allen Arten der Räderuhren auch die alten Wasser- und Sanduhren zu rechnen.

Die antiken  
Zeitmesser.

Das älteste zur Zeitmessung dienende Instrument, ja das älteste astro-  
nomische Beobachtungswerkzeug überhaupt, ist der Gnomon, der senkrechte auf einer horizontalen Ebene stehende schattenwerfende Stab. Aus der Länge des Schattens ergab sich die Höhe der Sonne; seine geringste Länge entsprach dem wahren Mittag und fiel Tag für Tag genau in dieselbe Richtung, die des Meridians, so daß man auch aus dem Durchgange des Schattens durch diese Richtungslinie an jedem sonnigen Tage eine Bestimmung des wahren Mittags erhielt. Der Gnomon war schon den Babyloniern bekannt, und in China wurden mit demselben schon 1100 v. Chr. Sonnenhöhen gemessen. Die späteste, vollkommenste Form des Gnomons ist noch in den Mittagslinien italienischer Kirchen (so im Dom zu Florenz, Mailand usw.) erhalten: durch eine kleine Öffnung hoch in einer südlichen Wand tritt ein

Der Gnomon.

dünnes Bündel der Sonnenstrahlen ein und formt ein über den Fußboden wanderndes Bild der Sonne, dessen Antritt an die Mittagslinie sich scharf beobachten läßt. Diese einfache Art der Zeitbestimmung vermag den Augenblick des wahren Mittags auf etwa drei Sekunden genau festzustellen, und sie ist daher auch heute noch in vielen Fällen von Nutzen.

Die antiken  
Sonnenuhren.

Sollte der Gnomon außerhalb des Mittags zur Bestimmung der Temporalstunden dienen, so mußte man an ihm nicht, wie bei den jetzigen Sonnenuhren, die Richtung, sondern vielmehr die Länge des Schattens ablesen. Da die Temporalstunden den Tagbogen der Sonne zwischen Aufgang und Untergang stets in 12 gleiche Teile teilten, so ergab sich eine besonders einfache Konstruktion des Zifferblattes, wenn man den Schatten der Gnomonspitze nicht auf einer Ebene, sondern auf einer um diese Spitze beschriebenen, unter ihr liegenden Halbkugel auffing. So entstand die antike Sonnenuhr, deren Erfindung dem Chaldäer Berosus zugeschrieben wird. Es sind sowohl Beschreibungen als auch mehrere Exemplare dieser Uhren selbst erhalten, so daß wir über ihre Konstruktion gut unterrichtet sind. Sie bestanden meistens in einer halbkugelförmigen Aushöhlung einer horizontalen Steinplatte, doch kommen auch kegelförmige und andere Auffangflächen vor; in der Mitte der Halbkugel befand sich die schattenwerfende Spitze eines Stiftes. Bei Sonnenaufgang fiel der Schatten der Spitze auf einen Punkt am oberen Rande der Höhlung (im Westen), mit steigender Sonne wanderte er in derselben hinab, erreichte im Mittag seinen in der Meridianebene liegenden tiefsten Stand und wanderte im Laufe des Nachmittags symmetrisch wieder zum Ostrande der Höhlung empor. Damit diese Vorrichtung nun Temporalstunden anzeigte, hatte man nur die vom Schatten im Laufe eines Tags beschriebene Kurve in 12 gleiche Teile zu teilen. Verband man dann die denselben Stunden entsprechenden Punkte aller Tage miteinander, so erhielt man die Stundenlinien der Uhr, an denen die Zeit nach der Stellung der Schattenspitze abzulesen war.

Die modernen  
Sonnenuhren.

Als man von den Temporalstunden zur wahren Sonnenzeit überging, verlor die antike Sonnenuhr ihre Bedeutung, und seit dieser Zeit verbreitet sich die wohl auch schon den Babyloniern bekannte, noch jetzt übliche Form der Sonnenuhren, bei denen die Zeit durch den Schatten eines zur Erdachse parallelen Stabes angezeigt wird. Dieser Schatten liegt, wie man sofort sieht, in der Ebene des Stundenkreises der Sonne. Da nun zu derselben wahren Zeit die Sonne, wie oben gezeigt wurde, stets wieder in demselben Stundenkreise steht, so wirft der Stab zu derselben wahren Stunde also auch stets wieder denselben Schatten, und man hat nur die Richtung dieses Schattens auf einer beliebigen Fläche an irgendeinem Tage für alle Stunden zu verzeichnen, um dann dauernd an dieser Sonnenuhr direkt die wahre Sonnenzeit ablesen zu können. Schon die arabischen Astronomen hatten die Methoden entwickelt, auf allen möglichen Flächen die Sonnenuhren zu verzeichnen, und seit Sebastian Münsters „Composito horologiorum“ (Basel 1531) und „Fürmalung und künstlich Beschreibung der Horologien“ (Basel 1537)

entstand eine ausgedehnte Literatur über diese Kunst. Die Sonnenuhren wurden, oft in kunstvoller Form, an Kirchen und anderen Gebäuden angebracht oder auf besonderen Pfeilern aufgestellt, aber auch als Taschenuhren konstruiert und dann zur Orientierung mit einem Kompaß versehen.

Mehr vereinzelt wurden später auch verschiedene andere Instrumente zur Bestimmung der Zeit benutzt: die Sonnenringe, mit Kreisteilungen versehene Metallringe von etwa einem Fuß Durchmesser, die freischwebend gehalten entweder zur Ermittlung der Sonnenhöhe oder auch direkt des Stundenwinkels dienten; das Astrolabium oder Planisphaerium, eine ähnlich den jetzigen drehbaren Sternkarten eingerichtete Scheibe, an der man nur die augenblickliche Lage des Sternhimmels einzustellen hatte, um direkt am geteilten Rande die Sternzeit ablesen zu können. Im 18. Jahrhundert baute man mit Räderwerk versehene Sonnenuhren, bei deren Benutzung man nur einen Zeiger (Dioptr) oder ein kleines Fernrohr auf die Sonne zu richten hatte, um dann sofort an Zifferblättern die Stunden und Minuten der wahren Zeit ablesen zu können.

Der Sonnenring.

Das Astrolabium.

Zur Ergänzung der Angaben der Sonnenuhren bei trübem Wetter und bei Nacht besaß bereits das griechische Altertum als künstliche Zeitmesser die Wasseruhren. Gefäße, aus denen durch eine kleine Öffnung langsam das Wasser ausfloß, wurden nicht nur zur Einteilung des Tages benutzt, sondern hauptsächlich, um bei Gerichtsverhandlungen den Rednern der verschiedenen Parteien gleiche Zeit zuzumessen. Doch erwähnt schon Ptolemäus (V, 14) auch ihre Anwendung bei astronomischen Zeitmessungen. Später wurden die Wasseruhren immer kunstvoller ausgestattet; eine gewisse Berühmtheit hat die von Vitruv beschriebene Wasseruhr des Ctesibius erlangt, die — vielleicht das erste mit Rädern versehene Uhrwerk — das ganze Jahr hindurch die ungleichen Temporalstunden richtig anzeigen sollte. Für den nächtlichen Gebrauch traf man noch im 19. Jahrhundert hier und da die trauliche Öluhr an, ein Öllämpchen, dessen Behälter mit einer Stundenteilung versehen war, und die Anwendung der einst weit verbreiteten Sanduhren ist auch heute, allerdings nur zur Abmessung kurzer Zeiträume, noch nicht ausgestorben.

Die Wasseruhren,

Öluhren, Sanduhren.

b) Die Entwicklung der Präzisionsuhren. Doch verlassen wir nun die Zeitmesser der guten alten Zeit, die auch in ihren besten Ausführungen kaum die Minute richtig anzugeben vermochten. Das Bedürfnis nach genaueren Zeitbestimmungen machte sich zuerst im eigenen Betriebe der astronomischen Beobachtungstätigkeit geltend. Die Ungleichförmigkeit der wahren Sonnenzeit hat schon Ptolemäus erkannt. Im dritten Buche des Almagest setzt er auseinander, daß diese Veränderlichkeit des Zeitmaßes vielleicht — nach der Genauigkeit der damaligen Beobachtungen — auf die Erklärung der an der Sonne und „den anderen Planeten“ festgestellten Bewegungen keinen merklichen Einfluß haben würde, dagegen würde beim Monde wegen dessen größerer Geschwindigkeit ein beträchtlicher Fehler entstehen. Daher führte er das gleichförmige Zeitmaß der mittleren Sonnentage in die Astro-

Erste Benutzung der mittleren Zeit.

Übergang  
zu genauerer  
Zeitmessung.

nomie ein. Mit der Zeitbestimmung selbst blieb es jedoch noch jahrhundertelang schlecht bestellt. Wenn am Tage die Sonnenuhren nicht ausreichten, wurde zuweilen die Höhe der Sonne gemessen und als Zeitangabe vermerkt. So berichtete z. B. der ägyptische Astronom Ibn Iunis, daß zu Kairo am 8. Juni 978 eine Sonnenfinsternis begonnen habe, als die Sonne  $56^{\circ}$  hoch über dem Horizont stand. Nicolaus Cusanus (1401—1464) gab in seinem inhaltreichen Dialogus de staticis experimentis an, wie man durch Wägung des aus der Klepsydra ausgeflossenen Wassers genaue Zeitmessungen ausführen sollte. Als man nach der Einführung der Räderuhren von den Temporalstunden zu der schon viel gleichmäßigeren wahren Zeit übergegangen war, wurden die Uhrwerke durch fortwährendes Verstellen mit den Angaben der überall vorhandenen Sonnenuhren in Übereinstimmung gehalten. Aber wegen dieser andauernden Eingriffe in den gleichmäßigen Gang der Uhren konnte letzterer selbst überhaupt nicht genau geprüft und reguliert werden, und somit konnte die ganze Zeitmessung nur eine mäßige Zuverlässigkeit erlangen. Noch aus dem Anfange des 19. Jahrhunderts berichtet Delambre, daß man in Paris dieselbe Stunde von den verschiedenen Uhren eine halbe Stunde lang habe schlagen hören.

Öffentliche  
Einführung der  
mittleren Zeit.

Erst als man zu der vollkommen gleichförmig fortschreitenden mittleren Zeit übergegangen war, konnte die Genauigkeit, deren die nun schon ziemlich vollkommenen Uhren fähig waren, wirklich zur Geltung kommen. Im öffentlichen Verkehr wurde die mittlere Zeit zuerst im Jahre 1780 in Genf auf Veranlassung des dortigen Astronomen Favre eingeführt, sodann 1792 in London, 1810 in Berlin, 1816 in Paris.

Die ersten  
Räderuhren.

Die ersten Räderuhren, die um 1300 auftauchen, besaßen zur Regulierung des Ganges den Balancier oder die Wage, einen horizontal schwingenden an beiden Enden beschwerten Stab, der bei jeder Schwingung das schnellste Rad des Uhrwerks, das sogenannte Steigrad, um einen Zahn weiterrücken ließ, wobei ihm das durch das Gewicht oder die Triebfeder des Uhrwerks bewegte Steigrad jedesmal wieder einen Stoß erteilte und ihn dadurch in Schwingung erhielt. Zwar sind die Schwingungen der Wage, solange die Stoßkraft des Uhrwerks unverändert bleibt, ziemlich konstant, aber jede Änderung der Triebkraft oder der Reibung ändert auch ihre Schwingungsdauer, so daß der Gang jener alten Räderuhren nicht sehr gleichmäßig war. Der erste große Fortschritt bestand daher in der Einführung eines Regulators, der für sich selbst ganz unabhängig von der Kraft des Uhrwerks schon eine eigene Schwingungsdauer hat. Es ist interessant, daß die beiden noch heute bei allen unsren Uhren verwendeten Regulatoren zu gleicher Zeit, vielleicht auch von einem und demselben Manne praktisch eingeführt worden sind. Im Jahre 1602 hatte Galilei gefunden, daß gleich große Schwingungen eines Pendels gleich lange Zeit dauern, isochron sind. Zwar benutzte man das Pendel nun vielfach zum Messen kürzerer Zeiträume, indem man seine Schwingungen zählte, aber die allgemeine Anwendung des Pendels anstatt der Wage zur Regulierung des Ganges der Räderuhren datiert erst

Die Pendel-  
uhren.

seit dem Jahre 1657, als Christian Huygens ein Patent auf diese Erfindung nahm. Allerdings steht es wohl fest, daß auch schon Galilei im Jahre 1641 den Plan zu einer wirklichen Pendeluhr entworfen hat, der jedoch erst zehn Jahre nach seinem Tode praktisch auszuführen versucht wurde, und der 1632 in Kassel gestorbene ausgezeichnete Uhrmacher und Astronom Bürgi scheint schon vor 1612 Uhren mit vertikalem Pendel gebaut zu haben.

Für die Taschenuhren, die um das Jahr 1500 von dem Nürnberger Uhrmacher Peter Henlein erfunden worden waren, hatte man zur Regulierung zunächst ebenfalls die Wage angewendet, die zur Begrenzung ihrer Schwingungen gegen zwei Schweinsborsten schlug. Im Jahre 1658, also fast genau gleichzeitig mit Huygens' Patent erfand der Engländer Robert Hooke die noch jetzt bei allen Taschenuhren gebräuchliche Regulierung durch die „Unruhe“, ein kleines Schwungrad, welches durch eine elastische Spiralfeder an eine Gleichgewichtslage gebunden ist. Die Schwingungen einer solchen Unruhe sind ebenfalls innerhalb gewisser Grenzen isochron. Doch auch diese Erfindung wurde zunächst nicht allgemein bekannt und erst im Jahre 1675 ebenfalls von Huygens, der sie wohl nochmals selbständig gemacht hatte, veröffentlicht.

Die Taschenuhren.

Pendel und Unruhe sind auch heute noch die beiden physikalischen Apparate, die uns zur Herstellung der künstlichen Zeiteinheiten, zur Teilung des Tages in gleich lange kleinere Abschnitte dienen. Es würde hier zu weit von den astronomischen Fragen abführen, wollten wir alle Verbesserungen der Uhren aufzählen, die im Laufe der Jahre eingeführt wurden. Nur die prinzipiell wichtigsten Fortschritte müssen erwähnt werden, da auf ihnen die Sicherheit unserer modernen Zeitmessung zum großen Teil beruht. Alle diese Vervollkommnungen haben immer nur das eine Ziel erstrebt, die oben aufgestellte Grundbedingung für das künstliche Zeitmaß, daß sich alle seine Schwingungen stets unter denselben Umständen vollziehen sollen, mehr und mehr zu erfüllen. Die andauernde Gleichmäßigkeit der Schwingungen der genannten beiden Regulatoren wird nämlich von zwei Seiten her bedroht.

Verbesserung der Uhren.

Erstens würde jeder solche schwingende Körper, wenn man ihn sich selbst überlassen wollte, durch die unvermeidlichen Reibungswiderstände bald zur Ruhe kommen. Es ist deshalb notwendig, daß die Schwingungen fortwährend durch Anstöße von seiten des Uhrwerks unterhalten werden, wodurch die nie ganz konstante Kraft des letzteren nun doch wieder einen gewissen Einfluß auf die Schwingungsdauer des Regulators erlangt. Man ist daher in erster Linie bestrebt gewesen, die Schwingungen des Pendels und der Unruhe möglichst frei zu gestalten, und zu diesem Zwecke hat derjenige Teil der Uhrwerke, der die Verbindung zwischen Regulator und Räderwerk herstellt, die Hemmung oder das Echappement, zahlreiche Verbesserungen durchgemacht. Für die in den Sternwarten benutzten Präzisionspendeluhren existieren jetzt eine ganze Anzahl sogenannter freier Hemmungen, bei denen das Pendel den größten Teil seiner Schwingung völlig losgelöst vom Einflusse des Räderwerks vollführt und nur während einer ganz kurzen Zeit

Die freie Hemmung,

an Pendeluhren,

mit diesem in Verbindung steht, um das Steigrad um einen Zahn weiter-springen zu lassen und gleichzeitig einen neuen geringen Anstoß zu empfangen. Am weitesten ging hierin wohl Riefler in Nesselwang-München, in dessen freier Hemmung das Pendel selbst überhaupt auch nicht mehr für kurze Zeit eine starre Verbindung mit dem Räderwerk erhält. Die Pendel aller besseren Uhren sind jetzt nicht auf einer Schneide oder, wie es auch vielfach geschah, an einem Faden, sondern an einem dünnen Streifen Stahlblech, der Pendelfeder, aufgehängt, die für gewöhnlich mit ihrem oberen Ende zwischen zwei feststehenden Backen des Uhrgehäuses eingespannt ist und bei den Pendelschwingungen entsprechende geringe Biegungen annimmt. Riefler machte diese obere Befestigung der Pendelfeder selbst beweglich und verband sie mit der Hemmung; bei jeder Schwingung erfährt die Feder durch das Räderwerk eine geringe Spannung und unterhält auf diese Weise die Bewegung des sonst völlig ungestört schwingenden Pendels. Andere Konstruktionen suchen die Gleichmäßigkeit des Pendelantriebs dadurch zu erreichen, daß das Uhrwerk nicht selbst auf das Pendel einwirkt, sondern nur kleine Hilfgewichte hebt, die bei jeder Pendelschwingung im passenden Zeitpunkt seitlich auf das Pendel aufgelegt werden und durch ihren stets gleichbleibenden Druck die Pendelschwingung unterhalten. Statt durch das Uhrwerk kann man die Hilfgewichte endlich auch durch Elektromagnete heben, deren Strom durch das Pendel selbst immer zur geeigneten Zeit geschlossen und geöffnet wird. So erhält man den Typus des freischwingenden elektromagnetisch angetriebenen Pendels, dessen Schwingungen durch Zählwerke, die an beliebiger Stelle in den Stromkreis eingeschaltet sind, gezählt und sichtbar gemacht werden können.

an transportablen Uhren.

Noch wesentlich wichtiger als beim Pendel ist die Freiheit der Schwingungen bei den durch eine Unruhe regulierten transportablen Uhren, da die außerordentlich viel leichtere Unruhe durch wechselnde Einwirkungen des Räderwerks stärker gestört werden würde als ein mehrere Kilogramm schweres Pendel. Die Vervollkommnung der transportablen Uhren erhielt dauernd die kräftigste Anregung durch die Bedürfnisse der Seefahrt. Im Jahre 1714 schrieb das englische Parlament einen Preis von 20 000 Pfund aus für ein Mittel, welches die Längenbestimmung zur See bis auf zwei Zeitminuten genau ermöglichte. Die Hälfte dieses Preises errang durch seine jahrzehntelangen Bemühungen um die Konstruktion zuverlässiger Schiffschronometer der englische Uhrmacher Harrison. Als Chronometer bezeichnen wir jetzt tragbare Uhren, die mit einer bestimmten, zuerst von Earnshaw eingeführten Gattung der freien Hemmung, der sogenannten Chronometerhemmung, ausgerüstet sind. Außerdem gehört noch der Ankergang zu den freien Hemmungen und wird vielfach in Präzisionstaschenuhren angewendet.

Die Wärmekompensation.

Neben der Befreiung von den Einflüssen des Räderwerkes mußten aber Pendel und Unruhe noch eine zweite Verbesserung erfahren, um zu exakten Zeitmessern zu werden. Zwar ist bei den Pendelschwingungen die

bewegende Kraft, die Schwerkraft, völlig konstant; allein die Länge des Pendels und mit ihr seine Schwingungszeit ändert sich mit der Temperatur. Ferner ist der hydrostatische Auftrieb eines in Luft schwingenden Pendels und die Masse der mit ihm schwingenden Luft von dem Luftdruck abhängig, so daß auch dieser einen recht merklichen Einfluß auf die Schwingungszeit gewinnt. Bei der Unruhe kommt noch dazu, daß die Elastizität der schwingenden Feder mit der Temperatur veränderlich ist. Um den Einfluß der Temperaturänderungen aufzuheben, konstruierte im Jahre 1722 Graham das Quecksilberpendel, 1726 Harrison das Rostpendel — beide noch jetzt in Gebrauch —, und es war eben die Erfindung der thermisch kompensierten Chronometerunruhe, die letzterem den Gewinn des oben erwähnten Preises ermöglichte. Auch die Luftdruckschwankungen werden am Pendel in verschiedener Weise kompensiert.

Aber alles dieses genügte den in den letzten Jahrzehnten immer höher gestiegenen Ansprüchen der Astronomie nicht mehr. Für gewisse astronomische Untersuchungen ist es von größter Wichtigkeit, daß die Pendeluhr den vierundzwanzigstündigen Tag in absolut gleiche Teile teilt, und daß nicht etwa die Pendelschwingungen während des warmen Tages, wenn auch nur um den winzigsten Bruchteil einer Sekunde anders sind als während der kühleren Nacht. Nun ist es kaum zu erreichen, daß alle Teile der Uhr gleichzeitig den Änderungen der Temperatur folgen, wie es bei der Berechnung der Kompensationen vorausgesetzt werden muß; so wird z. B. das Glasgefäß der Quecksilberpendel seine Temperatur zu langsam ändern, während andererseits die dünne Pendelfeder jede Temperatur sehr rasch annimmt und entsprechend ihre Elastizität ändert. Daher pflegt man jetzt die astronomischen Normaluhren in gleichmäßig temperierten Räumen aufzustellen, in denen namentlich die tägliche Temperaturperiode nicht mehr auftritt. Die neusten Pendel Rieflers bestehen aus einem Stab aus Nickelstahl, welcher einen sehr geringen Ausdehnungskoeffizienten besitzt und daher durch eine verhältnismäßig kleine Messingsäule kompensiert werden kann. Um endlich auch die Schwankungen des Barometerstandes unschädlich zu machen, schließt man diese Präzisionsuhren in einen großen Glaszylinder ein, in dessen Innerem der Luftdruck etwas erniedrigt und konstant gehalten wird. Der Aufzug dieser hermetisch eingeschlossenen Uhren erfolgt automatisch auf elektrischem Wege.

Wie gleichmäßig der Gang einer solchen modernen Präzisionsuhr ist, möge der folgende kleine Auszug aus der Gangtabelle der unter luftdichtem Verschuß und in konstanter Temperatur aufgestellten Rieflerschen Uhr Nr. 56 zeigen, die der Sternwarte Cleveland (Ohio) gehört.

Die „Uhrkorrektion“ ist immer durch astronomische Zeitbestimmungen ermittelt; als Gang bezeichnet man die Änderung der Korrektion in einem Tage, und das positive Vorzeichen gibt an, daß die Uhr zu langsam ging, sie blieb im Mittel an jedem Tage um  $0^s,115$  zurück. Aber weder die Korrektion (auch „Stand“ genannt) noch der Gang bilden ein Maß für die Güte

Die Konstanthaltung von Druck und Temperatur.

Gangtabelle einer modernen Pendeluhr.

Datum	Uhrzeit	Uhrkorrektion	Änderung der Korrektion	Gang in 24 Stunden	Gangänderung	Abweichung vom mittleren Gange
1901 Dez. 17	3 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup>	- 13 <sup>s</sup> ,58	+ 0 <sup>s</sup> ,40	+ 0 <sup>s</sup> ,103		- 0 <sup>s</sup> ,012
21	0 29	- 13,18	+ 2,55	+ 0,094	- 0 <sup>s</sup> ,009	- 0,021
1902 Jan. 17	2 20	- 10,63	+ 1,01	+ 0,126	+ 0,032	+ 0,011
25	2 53	- 9,62	+ 0,53	+ 0,106	- 0,020	- 0,009
30	3 11	- 9,09	+ 0,68	+ 0,135	+ 0,029	+ 0,020
Febr. 4	4 12	- 8,41	+ 0,82	+ 0,135	0,000	+ 0,020
10	6 10	- 7,59	+ 0,70	+ 0,137	+ 0,002	+ 0,022
15	8 52	- 6,89	+ 2,29	+ 0,127	- 0,010	+ 0,012
März 5	9 20	- 4,60	+ 0,58	+ 0,117	- 0,010	+ 0,002
10	7 55	- 4,02	+ 1,00	+ 0,111	- 0,006	- 0,004
19	8 3	- 3,02				

der Uhr, diese erkennt man vielmehr nur aus der Konstanz des Ganges. Die letzte Kolumne der Tabelle zeigt nun, daß diese Normaluhr während eines ganzen Vierteljahres höchstens bis zu 0<sup>s</sup>,022 von ihrem mittleren Gange abgewichen ist. Um diese erstaunliche Gleichmäßigkeit des Ganges vollständig zu würdigen, hat man zu beachten, daß das Pendel in einem Tage 86400 Schwingungen macht, deren Dauer demnach bis auf  $\frac{0^s,022}{86400} = 0^s,0000025$  oder ein Viermilliontel ihres Betrags konstant geblieben ist. Man wird auch hierin wieder einen Beleg für die schon zu Eingang dieses Kapitels mitgeteilte Tatsache erblicken, daß die moderne astronomische Zeitmessung mit den augenblicklich besten Maßvergleichen konkurrieren kann.

c) Die modernen astronomischen Zeitbestimmungen. Wir haben nun noch in Kürze zu betrachten, auf welche Weise der Astronom die augenblickliche Korrektion seiner Uhr durch Himmelsbeobachtungen ermittelt. Nach der oben aufgestellten Definition der Zeit ergeben sich die wichtigsten Methoden der Zeitbestimmung von selbst. Jede Messung des Stundenwinkels eines Gestirns, dessen Rektaszension bekannt ist, liefert eine Bestimmung der Sternzeit. Am einfachsten ist diese Beobachtung, wenn der Stundenwinkel Null ist, wenn das Gestirn also durch den Meridian geht: dann ist die Sternzeit gleich dessen Rektaszension, und wenn der Mittelpunkt der Sonnenscheibe den Meridian passiert, dann ist der wahre Mittag; aus beiden Beobachtungen kann man nach den früher mitgeteilten Beziehungen die mittlere Zeit der Beobachtung berechnen.

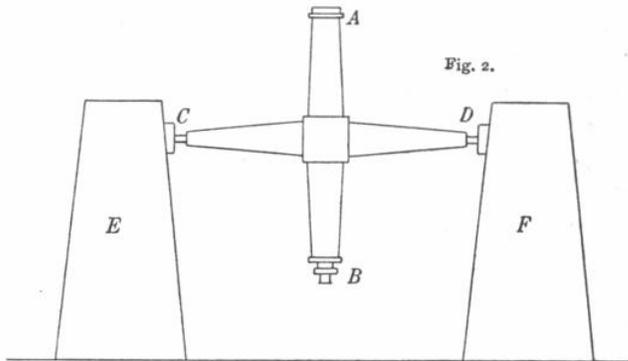
Den Meridiandurchgang der Sonne beobachtete man in früheren Zeiten mit dem Gnomon, der den wahren Mittag bis auf einige Sekunden genau zu liefern vermag, und zu anderen Tageszeiten gaben die Sonnenuhren die wahre Zeit auf einige Minuten an: jedermann machte selbst seine Zeitbestimmung. Durch die Einführung der mittleren Zeit zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurde das gänzlich anders. Nun gaben die Sonnenuhren nicht mehr

die richtige Zeit an, nun gingen mit einem Male die früher so falsch gehenden, immer neu einzustellenden Räderuhren richtiger als die Sonnenuhren. Nun lohnte es auch, die Uhrwerke genauer zu regulieren; und dafür waren wieder genauere Zeitangaben notwendig, als man sie durch die gewöhnlichen Sonnenuhren erhielt. Nur die Sternwarten konnten hinreichend scharfe Zeitangaben liefern, und so vollzog sich mit der Einführung der mittleren Zeit eine erhebliche Verschärfung des allgemeinen Zeitsinns, eine Zentralisation der Zeitbestimmungen: die Sternwarten traten in den öffentlichen Zeitdienst.

Auf den Sternwarten waren inzwischen längst vortreffliche Hilfsmittel zur genauen Zeitbestimmung ausgebildet worden. Die Grundform des noch heute für die Zeitbestimmung wichtigsten Instruments, des Durchgangs- oder Passageninstrumentes im Meridian, führte um das Jahr 1689 der in Pilenborg nahe bei Kopenhagen beobachtende Astronom Olaus Römer ein. Die Konstruktion desselben wird aus Fig. 2 sofort verständlich sein. *AB*

Das Durchgangsinstrument im Meridian.

ist ein recht stabiles, unbiegsames astronomisches Fernrohr von 1 bis 2 m Länge, welches genau senkrecht auf der durch seinen Schwerpunkt gehenden Achse *CD* befestigt ist. Diese ist um zwei in *C* und *D* sichtbare, äußerst sorgfältig gearbeitete zylindrische Stahlzapfen drehbar, die in zwei V-förmigen, an den massiven Steinfeilern *E* und *F*



befestigten Lagern ruhen. Stellt man dieses Instrument nun so auf, daß die Achse *DC* genau horizontal liegt und von Osten nach Westen gerichtet ist, so beschreibt die optische Achse des Fernrohrs die Meridianebene, die im Gesichtsfeld des Fernrohrs durch einen feinen Spinnfaden markiert ist. Denken wir uns das Passageninstrument in allen Teilen vollkommen fehlerfrei, d. h. seine Drehungsachse *CD* genau senkrecht auf der wirklichen Meridianebene und die Visirlinie *AB* genau senkrecht auf *CD*, so hat der beobachtende Astronom nur die Angabe *U* seiner Sternzeituhr in dem Momente festzustellen, wo ein Stern, dessen Rektaszension  $\alpha$  bekannt ist, den Faden im Gesichtsfelde passiert; dann ist direkt  $\alpha - U$  die gesuchte Korrektion, der Stand seiner Uhr. Zur Erhöhung der Genauigkeit beschränkt man sich nicht auf die Beobachtung nur eines Sterns, sondern benutzt deren eine größere Zahl, ferner wird der Durchgang nicht nur an einem genau im Meridian aufgespannten Faden beobachtet, sondern an einem System von 10 bis 20 parallelen Fäden, und endlich hat der Astronom bei jeder Zeitbestimmung noch besondere Messungen zur Ermittlung der oben erwähnten Aufstellungsfehler des Instruments auszuführen.

Höhenmessung.

In Ermangelung eines fest aufgestellten Passageninstruments kann man die Zeit noch auf mancherlei andere Arten bestimmen. Nach dem früher Gesagten wird jede Beobachtung, die zur Ermittlung des Stundenwinkels der Sonne oder eines Sterns dient, auch eine Zeitbestimmung ergeben. So kann man, wie es namentlich auf See stets geschehen muß, die Höhe oder die Zenitdistanz eines Sterns messen und erhält daraus durch eine einfache trigonometrische Rechnung aus dem zwischen dem Zenit, dem Pol und dem Sterne liegenden sphärischen Dreieck den Stundenwinkel des Sterns, also die Zeit. Beobachtet man im Osten und Westen den Durchgang desselben Sterns durch die gleiche Höhe, deren Betrag man gar nicht zu kennen braucht, so liegt mitten zwischen diesen Beobachtungszeiten die Kulminationszeit, wodurch also wieder die Uhrkorrektion ermittelt ist (Verfahren der korrespondierenden Höhen).

Korrespondierende Höhen.

Die Auge-Ohr-Methode.

Die zur Zeitbestimmung oder, wie wir nun schon sagen können, zur Ermittlung der Uhrkorrektion auszuführende astronomische Beobachtung besteht somit letzten Endes immer in einer sogenannten Durchgangsbeobachtung, in der Feststellung der Uhrzeit, zu der ein Stern den Faden im Gesichtsfelde des Fernrohres passiert. Diese Beobachtungen werden auf zwei verschiedene Arten ausgeführt. Entweder zählt der Beobachter, während er in das Fernrohr sieht, nach dem Gehör die einzelnen Pendelschläge der Uhr und schätzt, wenn er den Antritt des Sterns an den Faden wahrnimmt, die diesem Zeitpunkt entsprechenden Zehntel der Pendelschläge. Mit dieser „Auge-Ohr“-Methode gelingt es einem geübten Beobachter, die Uhrkorrektion etwa auf eine Zehntelsekunde genau zu ermitteln.

Der elektrische Chronograph.

Ein zweites wesentlich genaueres Beobachtungsverfahren besteht in der elektrischen Registrierung der beobachteten Fadenantritte. In dem Augenblicke, wo der Beobachter das Bildchen des Sterns genau von dem Faden halbiert sieht, schließt er mit der Hand einen elektrischen Kontakt und bewirkt dadurch, daß zu gleicher Zeit der Elektromagnet des Chronographen ein Zeichen auf einem bewegten Papierstreifen macht. Der Chronograph, eines der wichtigsten Hilfsinstrumente der Sternwarten, ist ganz ähnlich wie die bekannten Morseschen Telegraphenapparate gebaut. Durch ein möglichst gleichmäßig gehendes Räderwerk wird ein Papierstreifen um etwa 1 bis 2 cm in der Sekunde fortbewegt. Während aber der gewöhnliche Morseschreiber nur einen Elektromagneten besitzt, der die gegebenen Signale auf dem Papierstreifen verzeichnet, enthält der astronomische Chronograph deren zwei, die ihre Zeichen dicht nebeneinander auf dem Papier aufschreiben. Der eine dieser Elektromagnete steht nun mit einer Pendeluhr in Verbindung, die bei jeder Pendelschwingung ein kurzes Signal gibt und so den laufenden Streifen in gleiche Zeitintervalle einteilt. Mit dem andern Elektromagneten gibt der Beobachter die oben erwähnten Durchgangszeichen, und außerdem gibt er vor und nach der Beobachtung des Sterns noch Signale von der zu kontrollierenden Normaluhr aus. Auf diese Weise läßt sich auf einige Hundertstelsekunden genau feststellen, zu welcher Zeit der Nor-

maluhr die Meridianpassage des Sterns stattgefunden hat, und damit ist die Uhrkorrektur bestimmt.

Die persönliche Gleichung.

Bei diesem elektrischen Registrier- oder Auge-Hand-Verfahren ist der Genauigkeit der Zeitbestimmung eine Grenze gesetzt durch die sogenannte persönliche Gleichung, d. h. durch die Reaktionsgeschwindigkeit des Beobachters und ihre Ungleichmäßigkeiten. Beobachtet man nämlich mit dem Auge irgendeine momentane Erscheinung, wie das Aufblitzen eines Lichtsignals oder den raschen Vorübergang des Sternbildchens am Faden, und bemüht sich, zu gleicher Zeit ein Zeichen mit der Hand zu geben, so wird zwischen Beobachtung und Zeichengebung stets ein kurzer Zeitraum, etwa  $0^s,1$  bis  $0^s,2$  vergehen. Wäre diese „Reaktionszeit“ für jeden Beobachter völlig konstant, so würde sie keinen Einfluß auf die Zeitbestimmung selbst haben, da gerade zur Elimination dieses Fehlers die Anordnung stets in der oben beschriebenen Weise getroffen wird, daß nämlich die Signale nicht nur vom Fernrohr, sondern auch von der Normaluhr aus durch denselben Beobachter gegeben werden. Ändert sich jedoch die Reaktionsgeschwindigkeit, so werden dadurch kleine, meistens unter  $0^s,1$  liegende Fehler in der Zeitbestimmung entstehen können. Besonders können sich auch die persönlichen Gleichungen mehrerer Beobachter um einzelne Zehntelsekunden unterscheiden, und endlich bleibt auch bei obiger Anordnung stets ein Rest der persönlichen Gleichung in den Zeitbestimmungen erhalten, weil die Reaktionszeit für die verschiedenartigen Beobachtungen am Fernrohr und am Zifferblatt der Normaluhr (Springen des Sekundenzeigers oder gar Abhören der Pendelschläge) etwas verschieden ist.

Um den Einfluß dieser persönlichen Gleichung bei allen Durchgangsbeobachtungen noch weiter herabzudrücken, sind in den letzten Jahren noch zwei neue Beobachtungshilfsmittel eingeführt worden: das unpersönliche Mikrometer und das photographische Durchgangsinstrument. Bei dem zuerst 1886 von Pater J. Braun, dem Direktor der Sternwarte in Kalocsa, vorgeschlagenen, jetzt besonders von der berühmten Hamburger Präzisionswerkstatt von A. Repsold und Söhne ausgeführten unpersönlichen Mikrometer tritt an Stelle der Durchgangsregistrierung das Halten des sich fortbewegenden Sternbildchens auf einem beweglichen Faden. Entweder hat der Beobachter durch dauerndes Drehen an einer Schraube den Faden im Gesichtsfelde fortwährend auf dem Sternbildchen zu halten, oder — bei der vollkommeneren Ausführung des Apparats — dieses Fortbewegen des Fadens wird zum größten Teil von einem Uhrwerk ausgeführt, und der Beobachter hat nur ganz geringe Korrekturen vorzunehmen, um den Faden genau auf der Mitte des Sternbildchens zu halten. Während dieser Fortbewegung des Fadens gibt dann das Mikrometer automatisch die Signale nach dem Chronographen.

Das unpersönliche Durchgangsmikrometer.

Eine vollständige Unabhängigkeit von den persönlichen Beobachtungsfehlern suchen endlich die photographischen Durchgangsinstrumente zu erreichen, von denen hier der 1891 von Pater Hagen S. J. und Prof. Fargis

Die photographischen Durchgangsinstrumente.

S. J. an der Sternwarte des Georgetown-College (Washington) eingeführte Photochronograph und das 1911 an der Göttinger Sternwarte durch Prof. Ambronn konstruierte Durchgangsinstrument erwähnt seien. Bei beiden Apparaten wird direkt hinter das Fadennetz eine photographische Platte gelegt, auf der also der Stern bei seinem Meridiandurchgange eine geradlinige Spur belichtet, die nur an den Stellen der Fäden feine Unterbrechungen zeigt. Um nun die Uhrzeit zu ermitteln, die diesen Unterbrechungen entspricht, hat man nur in der Sternspur einige andere Unterbrechungen zu bekannten Uhrzeiten anzubringen. Indem nun letztere von der Normaluhr selbst auf elektrischem Wege veranlaßt werden, kommt jedes direkte Eingreifen des Beobachters in Fortfall.

Diese photographischen Durchgangsinstrumente sind jedoch vorläufig noch nicht weiter verbreitet und werden nicht zu den regelmäßigen Zeitbestimmungen verwendet, so daß wir im allgemeinen als Grundlage der Zeitbestimmung die vom Astronomen elektrisch registrierte Durchgangsbeobachtung ansehen dürfen. Die Zeitbestimmungen, durch die jedesmal aus mehreren „Zeitsternen“ der Stand der Normaluhr auf wenige Hundertstelsekunden genau kontrolliert wird, werden in Zwischenräumen von vier bis zehn Tagen regelmäßig wiederholt. In der Zwischenzeit kann man sich auf die interpolierten Uhrstände stets innerhalb der Zehntelsekunde verlassen. Erst wenn durch ungünstige Witterung wochenlang die Beobachtungen verhindert werden, können weniger gute Normaluhren von der großen Himmelsuhr ganze Sekunden abweichen. Im Jahre 1912 sind jedoch Einrichtungen getroffen worden, die auch bei anhaltend schlechtem Wetter solche Abweichungen unmöglich machen sollen. Hiermit kommen wir zu der letzten Aufgabe des astronomischen Zeitdienstes, der öffentlichen Verteilung der richtigen Zeitangaben.

Die Chronometerprüfungen.

IV. Die Verwaltung der öffentlichen Zeitangaben durch die Astronomie umfaßt zwei verschiedene Aufgaben, nämlich erstens die Prüfung besserer Uhren nach ihrer Fertigstellung in den Fabriken und zweitens die tägliche Abgabe von Zeitsignalen zur fortwährenden Berichtigung aller öffentlichen Uhren. Die Uhrprüfungen, die sich in der Regel nur auf Präzisionstaschenuhren und auf Seechronometer erstrecken, sind an verschiedenen Sternwarten in großem Maßstabe organisiert, so z. B. an der deutschen Seewarte in Hamburg hauptsächlich für Marinechronometer, an der Leipziger Sternwarte für die sächsische und an der Neuenburger und Genfer Sternwarte für die Schweizer Uhrenindustrie. Die von den Fabrikanten eingelieferten Uhren werden einen Monat (Taschenuhren) bis vier Monate lang (Marinechronometer) täglich mit den Normaluhren der Sternwarte verglichen, sie werden verschiedenen hohen und tiefen Temperaturen ausgesetzt, um ihre Wärmekompensation zu prüfen, die Taschenuhren werden auch in verschiedenen Lagen aufbewahrt, um deren Einfluß auf den Gang zu ermitteln. Die Chronometer werden nach dem Ausfall der Prüfung in verschiedene

Klassen geordnet; jede Uhr erhält ein Attest (Gangregister), welches dem späteren Käufer ein sicheres Urteil über die Güte des Werkes ermöglicht. Der jährliche Chronometer-Wettbewerb der deutschen Seewarte ist mit einer Prämienverteilung verbunden. Es sei bemerkt, daß auch schon unter den gewöhnlichen Präzisionstaschenuhren mit Ankerhemmung Werke vorkommen, die innerhalb des Monats ihren täglichen Gang trotz aller Temperatur- und Lageänderungen innerhalb einzelner Sekunden konstant halten.

Die Einrichtungen zur Abgabe der richtigen Zeit von dem astronomischen Beobachter an das öffentliche Leben haben in dem seit Einführung der mittleren Zeit vergangenen Jahrhundert mancherlei Vervollkommnungen erfahren. Vor der Erfindung des elektrischen Telegraphen wurden in jeder Stadt unabhängige Zeitbestimmungen gemacht, zu allermeist unter Benutzung der überall vorhandenen Sonnenuhren, deren Angaben um die Zeitgleichung verbessert wurden. Auf die dabei unvermeidliche Unsicherheit von mehreren Minuten kam es meistens nicht an. Nur in Städten, die eine Sternwarte besaßen, war man besser daran. Entweder war an der Sternwarte eine öffentlich sichtbare, die richtige mittlere Ortszeit anzeigende Normaluhr angebracht, oder die mit der Wartung der öffentlichen Uhren betrauten Uhrmacher gingen, wie es auch jetzt noch geschieht, etwa wöchentlich einmal zur Sternwarte, um dort die Korrektur einer guten Taschenuhr zu bestimmen, nach der dann die öffentlichen Uhren reguliert wurden. Um auch dem Nichtastronomen etwas genauere Zeitbestimmungen als mittels der Sonnenuhren zu ermöglichen, sind verschiedene einfache Hilfsmittel eingeführt worden, so z. B. Ebles Horoskop, das nach gehöriger Einstellung auf die Sonne die wahre Zeit etwa auf eine halbe Minute genau abzulesen gestattet, ferner Dents Dipleidoskop, Steinheils Passageprisma, Palisas Chronodeik, die einen wohlfeileren Ersatz für das Durchgangsinstrument bilden. Auch die oben erwähnte Beobachtung des Meridiandurchgangs der Sonne an einem großen Gnomon lieferte, sobald die Mittagslinie einmal richtig gezogen war, dauernd gute Zeitbestimmungen. Ein einfaches Verfahren wurde von dem vortrefflichen Bremer Arzt und Astronomen Wilhelm Olbers angegeben, indem er vorschlug, das Verschwinden von Fixsternen hinter senkrechten Mauerkanten von einem festen Standpunkte aus zu beobachten. Solange sich der Ort des Fixsterns am Himmel nicht ändert, findet das Verschwinden immer zu derselben Sternzeit statt, wodurch eine leichte und ziemlich scharfe Kontrolle des Uhrgangs ermöglicht ist.

Wesentlich verbessert wurde die allgemeine Austeilung richtiger Zeitangaben durch die Einführung der elektromagnetischen Telegraphen. Schon im Jahre 1849, kurz nach der Einführung der staatlichen Telegraphenlinien, wurden diese auch zur Regulierung der Uhren aller Telegraphenämter durch tägliche Abgabe eines Uhrzeichens benutzt. Für Deutschland wird dieses Zeichen jetzt im Sommer um 7 Uhr, im Winter um 8 Uhr morgens vom Haupttelegraphenamte in Berlin abgegeben, dessen Normaluhr durch die Sternwarte kontrolliert wird. Auf diese Weise wird der Stand der Uhren

Die öffentliche  
Verteilung  
der richtigen  
Zeitangaben

Benutzung des  
elektrischen  
Telegraphen.

Das  
telegraphische  
Zeitsignal.

Die elektrischen  
Uhren.

aller Telegraphenämter dauernd innerhalb einer Minute richtig gehalten. Noch besser kann in den Städten, die eine Sternwarte besitzen, der öffentliche Zeitdienst auf elektrischem Wege geregelt werden, indem man die öffentlichen Uhren durch Leitungen mit einer Normaluhr der Sternwarte verbindet und sie von da aus reguliert. Dabei kommen im allgemeinen drei verschiedene Systeme in Betracht:

1. Die elektrischen Zifferblätter, die lediglich ein Zeigerwerk besitzen, welches von der Zentralstelle aus auf elektromagnetischem Wege in springenden Sekunden oder Minuten bewegt wird; bei diesem System hat jede Störung des elektrischen Betriebes ein vollständiges Versagen aller Zeitangaben zur Folge, so daß eine sehr sorgfältige Anlage und Überwachung notwendig ist.

2. Selbständige Uhren, deren Zeigerstellung nur etwa täglich einmal oder auch in kürzeren Intervallen durch einen elektromagnetischen Eingriff berichtigt wird, während die Uhr in der Zwischenzeit ganz unabhängig weitergeht; nach diesem System arbeitet die Gesellschaft „Normalzeit“ in Berlin und anderen Orten.

3. Die sympathetischen Uhren, an sich schon sehr nahe richtig gehende Sekundenpendeluhren, deren einzelne Pendelschwingungen auf elektrischem Wege in völliger Übereinstimmung mit den Schwingungen des Pendels der astronomischen Normaluhr gehalten werden. Dieses vortreffliche System, welches in der ganzen Stadt auf Bruchteile einer Sekunde übereinstimmende Zeitangaben ermöglicht, wurde in den Berliner „Normaluhren“ seit 1870 durch Prof. W. Foerster verwirklicht.

Der Zeitball.

Ganz besonderes Interesse an der Abgabe leicht erreichbarer Uhrsignale hat die Schifffahrt, da die Uhr auf hoher See zur Bestimmung der geographischen Länge des Schiffes dient. Daher sind in Hafenstädten und auch sonst an passenden Punkten der Küste Zeitbälle und andere weithin sichtbare Signale angebracht, die zu genau festgesetzten Zeiten ein Zeichen geben, welches ebenfalls meist auf elektrischem Wege von den Sternwarten aus betätigt wird. Als ein Beispiel möge hier der vortrefflich organisierte Zeitdienst der Hamburger Sternwarte (jetzt in Bergedorf) erwähnt werden: dieselbe läßt durch elektrisch kontrollierte Uhren die Zeitbälle in Hamburg (Kaispeicher A), in Cuxhaven und in Bremerhaven fallen, gibt auf Kuhwärder und an den St. Pauli-Landungsbrücken viermal täglich elektrische Lichtsignale und nach den deutschen Kabelstationen in Horta (Azoren), Vigo, Monrovia (Liberia), Teneriffa und Pernambuco Zeitsignale; ferner werden in der Stadt Hamburg zwei sympathetische Uhren innerhalb der Sekunde richtig in Gang gehalten, der Gesellschaft „Normalzeit“, die ihrerseits wieder viele Uhren reguliert, wird jede zweite Sekunde ein elektrisches Signal gegeben, und endlich ist ein telephonisches Zeitsignal eingerichtet, welches es ermöglicht, von jeder mit Hamburg verbundenen Fernsprechstelle aus die Zeitangaben der Hamburger Hauptuhr abzuhören. In jeder Minute ertönt genau von Sekunde 55,0 bis 60,0 mitteleuropäischer Zeit ein langgezogener

Zeitorganisation  
der Hamburger  
Sternwarte.

Ton, dessen Ende also dem Beginn der neuen Minute entspricht. Die Minutenzahl selbst wird unmittelbar nach Schluß des Signals durch schnarrende Geräusche folgender Form angegeben:

·	= 1 <sup>m</sup>	·	— = 6 <sup>m</sup>
··	= 2	··	— = 7
···	= 3	···	— = 8
····	= 4	····	— = 9
·····	= 5	·····	— = 10
	———— = 60 <sup>m</sup>		

Während des übrigen Teils der Minute ertönt zum Zeichen, daß die Verbindung mit dem Zeitsignal hergestellt ist, beständig ein unregelmäßiges Geräusch im Hörrohr und außerdem bei jeder geraden Sekunde ein kurzer Knack. Bei Benutzung des Signals von außerhalb ist die Verbindung in üblicher Weise anzumelden (Hamburg, Gruppe 4 Nr. 10 000) und nur die gewöhnliche Fernsprechgebühr zu zahlen.

Es ist interessant, daß diese große Organisation der Zeitausteilung gerade von Hamburg, der Hauptzentrale des deutschen Seeverkehrs, ausgegangen ist; und auch die beiden neusten nun noch zu besprechenden Fortschritte des öffentlichen Zeitdienstes haben ihre Anregung von seiten des internationalen Verkehrswesens empfangen. Schon bald nach der Einführung der Eisenbahnen machten sich die Unterschiede der Ortszeiten der einzelnen Stationen störend bemerkbar. Das Zugpersonal und jeder Reisende nahm in seiner Taschenuhr die Zeit der Abfahrtsstation mit, und diese wich um so mehr von der Zeit der Ankunftsstation ab, je weiter sich der Zug nach Osten oder Westen bewegte. Bei einer Fahrt von Aachen nach Memel beträgt der Unterschied der Ortszeiten bereits eine volle Stunde. Zur Vermeidung der hieraus erwachsenden Übelstände führten die Bahnverwaltungen bald Einheitszeiten ein, die mit der Ortszeit der Landeshauptstadt oder einer andern nahe der Mitte des Landes gelegenen Stadt übereinstimmend entweder nur, wie z. B. in Deutschland, im innern Dienste verwendet wurden, während die für das Publikum bestimmten Fahrpläne in den Ortszeiten der einzelnen Stationen gedruckt wurden, oder als „Landeszeit“ auch für die Regelung des ganzen übrigen Verkehrs Geltung erlangten, wie z. B. in Frankreich und England. Aber damit waren nur für den Verkehr innerhalb des Landes die Schwierigkeiten beseitigt, bei jeder Überschreitung der Grenze traten nun erst recht große Zeitdifferenzen auf. Vielfach benutzten auch die einzelnen Privatbahngesellschaften besondere Zeiten, wodurch die Verwirrung noch vergrößert wurde; so waren 1879 in der Union und in Canada nicht weniger als 74 verschiedene Bahnzeiten im Gebrauch.

Die Einführung  
der Einheits-  
zeiten.

Die Landes-  
zeiten.

Zu dieser Zeit schlug der Chefindenieur der Canadischen Pacificbahn Sandford Fleming vor, die ganze Erde durch 24 Meridiane in ebenso viele Kugelsechsecke zu teilen, deren jedes eine feste, von der mittleren Greenwicher Zeit nur um eine ganze Anzahl von Stunden abweichende „Zonenzeit“ haben sollte. Am 18. Oktober 1883 beschlossen die Verwaltungen der erwähnten amerika-

Die Zonenzeiten

nischen Bahnen, auf allen ihren Linien einen Monat später, am 18. November, die Zonenzeit einzuführen, und auch die großen Städte folgten sofort diesem energischen Vorgehen, indem sie auch für das ganze bürgerliche Leben die Zonenzeit anstatt der Ortszeit übernahmen. Nur in England, welches sich wegen seiner geringen ost-westlichen Ausdehnung besonders für die Einheitszeit eignete, hatte man bereits in den vierziger Jahren allgemein die Zeit der Hauptsternwarte in Greenwich als Landeszeit eingeführt. Ebenso hatte Schweden schon am 1. Januar 1879 die um eine Stunde vermehrte Greenwicher Zeit, unsere jetzige „mitteleuropäische Zeit“ (M.E. Z.), angenommen. Alle andern Länder folgten langsam nach. In Deutschland wurde die M. E. Z. am 1. April 1893 auch als bürgerliche Zeit allgemein eingeführt. Besonders hartnäckigen Widerstand gegen die Benutzung der englischen Zeit leistete Frankreich. Erst 1911 wurde die „heure légale“ beschlossen durch das Gesetz:

L'heure légale en France et en Algérie est l'heure temps moyen de Paris, retardée de neuf minutes vingt et une secondes.

Da die geographische Längendifferenz Greenwich-Paris  $9^m 20^s,94$  beträgt, so stimmt die heure légale praktisch mit der mittleren Greenwicher Zeit (M. Gr. Z.) oder, wie man diese jetzt auch nennt, „westeuropäischen Zeit“ (W.E.Z.) überein. Die in den wichtigeren Ländern jetzt benutzten Einheitszeiten sind aus der nebenstehenden Tabelle zu ersehen.

Die Weltzeit. Die allen Zonenzeiten<sup>1)</sup> zugrunde liegende Greenwicher Zeit wird deshalb auch Weltzeit genannt. War die Einheitszeit auch in erster Linie aus dem dringenden Bedürfnis des Eisenbahn- und Telegraphenverkehrs erwachsen, so brachte sie doch auch für manche Zweige der Wissenschaft Annehmlichkeiten mit sich. So ist jetzt die Übertragung aller in Zonenzeit ausgeführten astronomischen oder geophysikalischen Beobachtungen in Weltzeit außerordentlich erleichtert, und dies kommt immer in Anwendung, wenn Beobachtungen, die an verschiedenen Orten angestellt sind, gemeinsam diskutiert werden sollen. Für andere Fragen rein lokaler Natur, namentlich für alle meteorologischen Erscheinungen, wird dagegen die Ortszeit immer unentbehrlich bleiben.

Die Anwendung  
der drahtlosen  
Telegraphie.

Auf der Basis der Weltzeit konnten nun endlich auch die neusten großartigen Organisationen entstehen, die in den letzten Jahren zur Vereinlichung und Verschärfung aller Zeitmessungen auf der ganzen Erde geschaffen worden sind. Schon bald nach den ersten Erfolgen der drahtlosen Telegraphie wurde von verschiedenen Seiten der Vorschlag gemacht, dieses neue Hilfsmittel auch zur Übertragung genauer Zeitsignale auf weite Entfernungen zu benutzen. Bereits im Jahre 1904 stellten Prof. Albrecht und Wagnach vom Geodätischen Institut in Potsdam Versuche über die Anwendbarkeit der drahtlosen Telegraphie zu exakten Zeitübertragungen an, die so günstig ausfielen, daß im Jahre 1906 dieses Verfahren bereits mit vollem Er-

1) Dieser einmal eingeführte Ausdruck ist eigentlich unrichtig, da die Gebiete gleicher Zeit nicht Kugelzonen, sondern sphärische Zweiecke sind.

Bezeichnung der Zeit	Differenz gegen M. Gr. Z.	Länder
<b>A. Greenwicher Weltzeit-system.</b>		
Alaska (Yukon) Time . . . . .	— 9 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup>	Alaska
Pacific Time (P. T.) . . . . .	— 8 0	Canada, Verein. St. (San. Francisco)
Mountain Time (M. T.) . . . . .	— 7 0	Canada, Verein. St. (Salt Lake City, Denver)
Central Time (C. T.) . . . . .	— 6 0	Canada, Verein. St. (St. Louis, Chicago)
Eastern Time (E. T.) . . . . .	— 5 0	Canada (Quebec), Ver. St. (Boston, New York, Washington), Panama, Bahama-Inseln, Peru, Chile
Atlantic Time (A. T.) . . . . .	— 4 0	Neuschottland, Porto Rico, Martinique, Guadeloupe, frz. Guayana
— — . . . . .	— 2 0	Azoren, Kapverdische Inseln
— — . . . . .	— 1 0	Island, Madeira, Port. Guinea
Mittlere Greenwicher Zeit (M. Gr. Z.) od Westeuropäische Zeit (W. E. Z.)	0 0	Schottland, England, Belgien, Frankreich, Spanien, Portugal, Alger, Togo
Mitteuropäische Zeit (M. E. Z.)	+ 1 0	Norwegen, Schweden, Dänemark, Deutschland, Österreich-Ungarn (Eisenbahnen), Luxemburg, Schweiz, Italien, Bosnien, Serbien, Montenegro, westl. Türkei, Malta, Tunis, Kamerun, Deutsch-Südwestafrika
Osteuropäische Zeit (O. E. Z.) . . . . .	+ 2 0	Bulgarien, Rumänien, östl. Türkei, Ägypten, port. Ostafrika, Deutsch-Ostafrika, brit. Südafrika
Indian Time . . . . .	+ 5 30	Indien, Ceylon
Philippine Time . . . . .	+ 8 0	Chin. Küste, Borneo, Philippinen, Westaustralien
	+ 9 0	Korea, Japan
Guam Time . . . . .	+ 9 30	Guam (Marianen), Nord- und Südaustralien
	+ 10 0	Bismarck-Archipel, deutsch Neuguinea, Queensland, Neusüdwales, Victoria, Tasmania
	+ 11 30	Neuseeland
<b>B. Landeszeiten.</b>		
Meridian von Mexiko . . . . .	— 6 36	Mexiko
„ „ Havanna . . . . .	— 5 29	Cuba
„ „ Quito . . . . .	— 5 14	Ecuador
„ „ Bogota . . . . .	— 4 57	Kolumbien
„ „ Caracas . . . . .	— 4 28	Venezuela
„ „ Cordoba . . . . .	— 4 17	Argentinien
„ „ Montevideo . . . . .	— 3 45	Uruguay
„ „ Rio de Janeiro . . . . .	— 2 53	Brasilien (seit 1913 ebenfalls Stundenzonen)
„ „ Dublin . . . . .	— 0 25	Irland
„ „ Amsterdam . . . . .	+ 0 20	Niederlande
„ „ Athen . . . . .	+ 1 35	Griechenland
„ „ Pulkowa . . . . .	+ 2 1	Europ. Rußland (Eisenbahnen)

folg zur Bestimmung des Längenunterschiedes Potsdam-Brocken verwendet werden konnte. Als mittlerer Fehler einer Zeitübertragung ergab sich dabei

$$\begin{array}{l} \text{mit Leitungsdraht } \pm 0^s,016 \\ \text{drahtlos } \pm 0^s,018. \end{array}$$

Hiermit war die völlige Gleichwertigkeit der drahtlosen Zeitsignale mit den bisherigen elektromagnetischen Signalen erwiesen, und es lag nahe, dieses neue Hilfsmittel allgemein für die Längenbestimmung der Schiffe auf hoher See nutzbar zu machen, indem man zu feststehenden Zeitpunkten Signale von großen Küstenstationen aussandte.

Die ersten derartigen funkentelegraphischen Zeitsignale wurden von der canadischen Funkstation Camperdown bei Halifax seit 1907 gegeben, die

ihre Zeitbestimmungen vom Observatorium in St. John N. Br. erhält. Es folgten dann die Station Arlington der Verein. Staaten, die deutsche Station Norddeich (1910), die vom K. Marine-Observatorium in Wilhelmshaven die richtige Zeit erhält, und kurz nachher die Eiffelturmsignale nach den Zeitangaben der Pariser Sternwarte.

Da alle diese Signale unabhängig voneinander gegeben wurden, so stellten sich bald Unzuträglichkeiten ein; die Stationen störten sich gegenseitig, sie benutzten verschiedene Wellenlängen, so daß immer erst ein längeres Abstimmen der Empfänger nötig war, und namentlich zeigten sich auch Differenzen zwischen den Zeitangaben verschiedener Herkunft. Letztere konnten namentlich für den Seefahrer verhängnisvoll werden, wenn er bei der Abfahrt aus zwei solchen Signalen den Gang seiner Chronometer bestimmte und, nachdem er aus der Reichweite der Signale gekommen war, seine Uhrstände mit diesem fehlerhaften Gange auf längere Zeit extrapolierte. Um diese Übelstände zu beseitigen und die Zeitsignale einheitlich zu gestalten, wurde nahe gleichzeitig und unabhängig von zwei Seiten — vom französischen Fregattenkapitän C. Tissot und vom früheren Direktor der Berliner Sternwarte Prof. W. Foerster — der Vorschlag gemacht, eine internationale Organisation ins Leben zu rufen.

Die internationale Zeitkonferenz 1912.

Auf Veranlassung des Bureau des Longitudes lud daher die französische Regierung zu einer Konferenz ein, die vom 15. bis 23. Oktober 1912 in Paris zusammentrat und von Vertretern der meisten Kulturstaaten besucht war. Aus den eingehenden Verhandlungen und Beschlüssen sei hier folgendes erwähnt:

Die Signale sollen mit derselben Wellenlänge (2500 m) nach einem einheitlichen Schema und nur zu vollen Stunden Greenwicher Zeit gegeben werden. Es wird gewünscht, daß an jeder Stelle der Erdoberfläche wenigstens ein Nacht- und ein Tagsignal wahrnehmbar sei, im allgemeinen jedoch nicht mehr als etwa vier Signale täglich. Zunächst wurden die folgenden Signale in Aussicht genommen, zwischen denen etwa neu hinzukommende einzuschalten wären:

Paris-Eiffelturm	0 <sup>h</sup> M. Gr. Z. Mitternacht
San Fernando (Brasilien)	2
Arlington (Ver. St.)	3
Mogadiscio (Ital. Somaliland)	4
Manila	4
Timbuktu	6
Paris	10
Norddeich	12 Mittag
San Fernando	16
Arlington	17
Massaua (Erythräa)	18
San Francisco	20
Norddeich	22

Die Signale haben im allgemeinen eine Genauigkeit von 0,25, was für die Bedürfnisse der Schifffahrt genügt. Um aber für wissenschaftliche Zwecke, z. B. zur genauen Feststellung der Geschwindigkeit von Erdbebenwellen, eine viel weiter gehende Genauigkeit zu erlangen, sollen sich möglichst viele mit erstklassigem Zeitdienst ausgestattete Sternwarten regelmäßig an der Aufnahme der Signale beteiligen. Jede Sternwarte stellt den Unterschied der Signale gegen ihre eigenen Zeitbestimmungen fest, und alle die so erhaltenen Korrekturen der Signale werden an eine Zentralstelle, das zu gründende Bureau International de l'Heure in Paris, eingesandt, von dieser bearbeitet, und die aus dem gesamten Material gewonnenen Korrekturen werden dann den wissenschaftlichen Untersuchungen zugrunde gelegt. Es ist eine großartige Organisation, die durch die gegenseitige Kontrolle zahlreicher Zeitbestimmungen und vortrefflicher Pendeluhrn überall die größte Genauigkeit und Übereinstimmung der Zeitangaben mit verhältnismäßig geringer Mühe erreichen lassen wird. Es ist nun kein unerfüllbarer Traum mehr, wenn wir annehmen, daß bald alle wissenschaftlichen Zeitangaben auf der ganzen Erde bis auf eine Zehntelsekunde oder noch weniger in Übereinstimmung sein werden.

Das Internationale Zeitamt.

Überblicken wir, auf der Höhe angelangt, noch einmal den Weg, den die Menschheit zurücklegen mußte, um zu dieser Vollendung des Zeitmessungswesens zu gelangen, so sehen wir, wie sich Wissenschaft und Technik die Hand reichten, um einerseits die theoretischen Grundlagen für ein konstantes, gleichförmiges Zeitmaß zu gewinnen und sichere astronomische Beobachtungsmethoden zu entwickeln, andererseits im Bau der astronomischen Beobachtungsinstrumente und der Präzisionsuhren den höchsten Grad der Vollendung zu erreichen. Dabei können wir uns allerdings nicht verhehlen, daß die Fortschritte der öffentlichen Zeitmessung mit einem gewissen persönlichen Opfer des einzelnen erkaufte werden mußten. Jahrtausendlang lebte die Menschheit glücklich nach den primitiven Temporalstunden und kannte keine andere Zeiteinteilung als die durch das natürliche Tageslicht selbst gegebene. Auch die wahre Sonnenzeit schloß sich noch genau dem wirklichen Tage an, Mittag war es in der Mitte des Tages. Der Unterschied bis zu einer Viertelstunde, den dann die Einführung der mittleren Zeit zur Folge hatte, ist zwar im häuslichen Leben gerade bemerkbar, bewirkt jedoch noch keine ernstliche Störung. Anders verhielt es sich bei der Übertragung der Zonenzeit in den bürgerlichen Verkehr. Man hat sich damals lebhaft darüber gestritten, ob man die gewaltsame Einführung der unnatürlichen Zeiteinteilung wagen sollte. Allerdings die Bewohner der großen Städte, Geschäftsleute, Beamte, Industriearbeiter, stehen nur noch in sehr losem Zusammenhang mit der Natur und haben ihre Lebensgewohnheiten längst nach ganz anderen Prinzipien geordnet, so daß es ihnen auf eine Verschiebung des Sonnenauf- und -untergangs um eine halbe Stunde nicht weiter ankommt. Für den Landmann war es dagegen ein empfindlicher Eingriff in altherge-

Rückblick.

brachte Sitten, wenn die Mittagszeit um mehr als eine halbe Stunde verschoben wurde, so daß sie den Tag nicht mehr halbiert. Am schlimmsten ist dies, wenn sich die Zeitgleichung noch zur Abweichung der Zonenzeit addiert. So steigt z. B. in Aachen Mitte Februar die Differenz zwischen dem wahren und dem mitteleuropäischen Mittag auf volle 50 Minuten, die Sonne geht 7<sup>h</sup> 50<sup>m</sup> M. E. Z. auf und 5<sup>h</sup> 50<sup>m</sup> unter, so daß der Nachmittag um volle 1<sup>h</sup> 40<sup>m</sup> länger erscheint als der Vormittag. Doch auch hiermit hat man sich abfinden müssen, denn die Vorteile der einheitlichen Zonenzeit waren für jeden, der am allgemeinen Verkehr beteiligt ist, zu groß und einleuchtend. Unser modernes auf die Sekunde geregeltes Verkehrsleben folgt immer mehr dem Motto: „Zeit ist Geld“, und immer seltener werden die Augenblicke, da man sagen darf: „Dem Glücklichen schlägt keine Stunde.“

## Literatur.

S. 94 f. Historisches über die Tagesanfänge und Tagesteilungen bei den verschiedenen Völkern findet man ausführlich in F. K. GINZELS Handbuch der mathematischen und technischen Chronologie (Bd. I Leipzig, 1906, II 1911). Grundlegende Untersuchungen über die historischen Tageseinteilungen führte G. BILFINGER aus: Der bürgerliche Tag (Stuttgart, 1888); Die antiken Stundenangaben (Stuttgart, 1888); Die babylonische Doppelstunde (Stuttgart, 1888); Die mittelalterlichen Horen und die modernen Stunden (Stuttgart, 1892). Seinen zuverlässigen Quellenforschungen konnte ich an dieser Stelle meistens folgen.

S. 98. Von der ersten römischen Sonnenuhr berichtet PLINIUS, hist. nat. VII, 60: *Princeps Romanis solarium horologium statuisset ante XII annos quam cum Pyrrho bellatum est, ad aedem Quirini, L. Papirius Cursor a Fabio Vestale proditur.*

S. 105. Über die allgemeinen Gesetze der Rotation handelt eingehend das 1910 vollendete Werk F. KLEIN und A. SOMMERFELD, Über die Theorie des Kreisels (Leipzig, Teubner). Speziell die Drehung der Erde wurde unter Zugrundelegung des neusten Zahlenmaterials behandelt in L. DE BALL, Lehrbuch der sphärischen Astronomie (Leipzig, Engelmann, 1912). Eine kritische Zusammenstellung der wissenschaftlichen Grundlagen der astronomischen Zeitmessung nebst Literaturnachweisen gibt F. COHN, Reduktion der astronomischen Beobachtungen (Enzykl. der math. Wiss. VI 2, Leipzig, Teubner, 1905).

S. 108. G. H. DARWIN, Ebbe und Flut, deutsch von A. POCKELS (Teubner, 1911), enthält eine gemeinverständliche Darstellung aller Ergebnisse der Gezeitenforschung sowie die Hinweise auf die wissenschaftlichen Originalarbeiten.

S. 118. Beschreibung verschiedener Uhren sowie die sagenhaften Nachrichten über ihre Erfinder gibt VITRUVIUS, de architectura IX. Über das Stoicheion, die antiken Sonnen- und Wasseruhren, sowie über die Stundentafeln findet man Näheres bei BILFINGER, Die Zeitmesser der antiken Völker; Festschrift zur Jubelfeier des Eberhard-Ludwigs-Gymnasiums in Stuttgart 1886. Eine Aufzählung der bis dahin gefundenen antiken Uhren siehe MARQUARDT, Privatleben der Römer (Leipzig, 1886). Die neuere Literatur über die antiken Zeitmesser findet man in dem vortrefflichen Prachtwerk von BASSERMANN-JORDAN, Die Geschichte der Räderuhr (Frankfurt a. M., 1905); zahlreiche Nachrichten und Abbildungen gibt SAUNIER-SPECKHART, Die Geschichte der Zeitmeßkunst (Bautzen, 1903).

S. 119. Eine Rekonstruktion der Uhr des Ctesibus gibt ARAGO, Astronomie populaire II. Die Nachricht von Delambre daselbst VII.

S. 120 f. Über die Geschichte und die Technik der astronomischen Pendeluhr vgl. den Aufsatz von E. GERLAND in Valentiners Handwörterbuch der Astronomie Band IV. Ferner E. GELCICH, Die Uhrmacherskunst und die Behandlung der Präzisionsuhren (Wien, 1892). Über die Geschichte der Räderuhren sowie über die sogenannten Kunstuhren vgl. BASSERMANN-JORDAN und SAUNIER a. a. O.

S. 124. Die Gangtabelle ist entnommen aus Astronom. Journal Nr. 524 unter Ausschluß der Zeitbestimmungen, die weniger als 4 Tage voneinander entfernt waren: die größeren Lücken sind durch schlechtes Wetter verursacht.

S. 125 f. Die astronomischen Instrumente, Chronograph, Durchgangsinstrument, sind eingehend behandelt in L. AMBRONNS Handbuch der Astronomischen Instrumentenkunde (Berlin, Springer, 1899).

S. 132. Eine vollständige Übersicht des neusten Standes der Zonenzeiten gibt das *Annuaire pour l'an 1913 publié par le Bureau des Longitudes, Paris.*

S. 134. Ein Originalbericht über die Pariser Konferenz findet sich *Comptes Rendus* 155, 867, sowie ausführlich in den *Annales du Bureau des Long.* Bd. 9 (1913). Eine zweite Tagung der Internationalen Zeitkonferenz fand im Oktober 1913 in Paris statt.