

+++++

G N O M O N I K

- antike wissenschaft der zeitmessung -

Als älteste Wissenschaft der Zeitmessung gilt die Lehre von den Sonnen -
uhren -die Gnomonik -.Sie hat viele Epochen durchgemacht und basierte zu
allen Zeiten auf sorgfältigen Beobachtungen.

Nach den uralten Gesetzen, von denen uns VITRUVIUS und auch PTOLEMAEUS in
ihren Schriften berichten, folgte eine "Gnomonik der Neuzeit", die ihrer
seits bis zum heutigen Tag vielerlei Veränderungen erfahren hat. Auch war
die Gnomonik an den jeweiligen Gedankengebäuden der astronomischen Wissen
schaften stets beteiligt.

Dass die Sonnenuhren, als ehrwürdiges Geistesgut längst vergangner Zeiten
auch heute noch beliebt sind, beweist welch ansprechende Vorstellung von
ihnen ausgeht, wohl über die Grösse und Schönheit der astronomischen Wis
sensschaften, und vielleicht an das schöne Wort von Emanuel Kant erinnern:

"dem gestirnten Himmel über uns und
dem moralischen Gesetz in uns "

Es ist ausserordentlich interessant, was die Sonnenuhren zu bieten haben,
welch Wissen ihnen inne wohnt und wieviele Kenntnisse der Astronomie man
sich über ihre Grundlagen aneignen kann.

Kurios ist die Tatsache, dass die Sonnenuhr im Prinzip von keiner moder
nen technischen Uhr, sei es selbst eine Präzisionsuhr, eine Quarzuhr oder
Atom-Uhr, in einem Punkt übertroffen werden kann. Sämtliche Geräte und -
Zeitmesser, welche unter dem Begriff Uhren zusammengefasst sind, können -
die Zeit, auf die man sie einstellt, entsprechend ihrem System mehr oder
weniger präzise bewahren. Selbst Messen, beziehungsweise neu ermitteln, kön
nen all diese Uhren die Zeit jedoch nicht. Die Sonnenuhr kann es. Wenn sie
scheinbar "steht", weil die Sonne fehlt, so "geht" sie doch weiter; be
ziehungsweise ermittelt stets von neuem, wo wir mit der Zeit und den Ge
schehnissen im Weltall stehen. Die Sonnenuhr ist somit ein Instrument zur
Zeitbestimmung. Womit auch zu erklären ist, weshalb die Sonnenuhren, ob -
wohl es schon seit etwa 900 Jahren mechanische Uhren gibt, bis Ende des -
19 Jahrhunderts noch in Gebrauch waren. Den mechanischen Uhren mangelte es

darán, die Stunden und Minuten über einen langen Zeitraum genau genug zu bewahren. Stets mussten sie erneut eingestellt werden, und wonach? nach den Sonnenuhren; ihrer Angabe der Kulmination der Sonne, dem Höchststand über dem Ort der Sonnenuhr, was ebenfalls dem sogenannten astronomischen Mittag entspricht.

Dieser "astronomische Mittag" lässt sich sehr leicht ermitteln, mit einer Vorrichtung, wie sie zu Abbildung 1 beschrieben steht. Es ist der Moment des kürzesten Schattens am Tage und der Umkehrpunkt seiner Richtung von West nach Ost. Die Genauigkeit des ermittelten Zeitwertes hängt sehr von der Konstruktion und Qualität des Instrumentes -der Sonnenuhr- ab. Leider ist dieses Zeitmass, von einem astronomischen Mittag zum andern, von einem Tag zum andern im Verlaufe des Jahres nicht von zeitlich gleicher - Dauer. Man bezeichnet dieses Zeitmass als die "wahre Sonnenzeit". Sie weicht von der gebräuchlichen Normalzeit stark ab. Weshalb die Sonnenuhren auch oft in den Verdacht geraten, dass sie völlig falsch gingen. Die Sonnenuhren gehen aber nicht falsch, sondern sie zeigen ein völlig anderes Zeitmass an, als der Betrachter auf seiner Armbanduhr mitführt.

Es gibt folgende Zeitmasse:

" <u>WAHRE SONNENZEIT</u> "	" <u>MITTLERE SONNENZEIT</u> "	" <u>STERN-ZEIT</u> "
" <u>NORMALZEIT</u> "	" <u>WELTZEIT</u> "	

Tage der
Die "wahren Sonnenzeit" gelten von einem "astronomischen Mittag" bis zum andern. Bis also nach einer Erdumdrehung die Sonne wiederum über einen bestimmten Ort ihren Höchststand erreicht, hat.

Die Tage der "mittleren Sonnenzeit" entsprechen einem gedachten Zeitmass, welches von der "wahren Sonnenzeit" abgeleitet ist. Es handelt sich um eine Korrektur der "wahren" Zeit auf Abschnitte -Tage- von gleichbleibender Dauer während des ganzen Jahres.

Nur diese "mittlere Sonnenzeit" ermöglichte es die mechanischen Uhren in Betrieb zu nehmen und mit einem Zifferblatt einheitlicher Abstände der Unterteilungen -Stunden und Minuten- zu versehen. Eine mechanische Uhr zu bauen, die die "wahre Sonnenzeit" anzeigen sollte, verlangt einen allerhöchst komplizierten Mechanismus und existiert nur als Kuriosum hoher Uhrmacherskunst.

Zur Erklärung der Erstehung des "mittleren" Sonnentages denkt man sich eine "zweite" Sonne, die, während die wirkliche Sonne mit ungleicher Geschwindigkeit die Ekliptik durchläuft, sich mit stets gleicher Geschwindigkeit im Himmelsäquator fortbewegt. Beide "Sonnen" lässt man im gleichen Moment durch den Frühlingspunkt der Tag- und Nachtgleiche des Äquators --

gehen und sich nach Ablauf eines Jahres genau zu derselben Zeit wieder begegnen. (Diese Angabe ist zwar astronomisch nicht ganz präzise, hat jedoch den Vorzug einer leichten Uebersicht zwischen den Verhältnissen der "mittleren" zur "wahren" Sonne.).

Die fingierte Sonne wird also jeden Tag um dieselbe Grösse $\frac{1}{365,2422}$ des ganzen Umfanges des Aequators = $0^{\circ} 59' 8,3''$ unter den Sternen fort rücken. Die Dauer eines ihrer, durch zwei aufeinander folgende Meridian-durchgänge bestimmten Tage, wird immer gleich sein und ein taugliches Zeitmass abgeben.

Da aber nur die wahre Sonne beobachtet und aus ihrem Stundenwinkel die Zeit hergeleitet werden kann, findet sich in allen astronomischen Jahrbüchern eine Tafel berechnet, welche den Zeitunterschied zwischen der Kulmination der "wahren" und der "mittleren" Sonne bis auf hundert Teile einer Sekunde genau angibt. Nach diesen Tabellenwerten hat man die Möglichkeit, durch Hinzufügen oder Abziehen dieser Zeitdifferenzen aus dem "wahren" Sonnentag einer Sonnenuhr die m i t t l e r e Zeit zu ermitteln. Dieser Vorgang wird als ZEITGLEICHUNG - aequatio temporis - benannt und ihre Formel ist:

$$mZ - wZ = a ; \quad mZ - a = wZ \quad (\text{dabei kann } a \text{ positiv oder negativ sein}) .$$

Die Zeitgleichung ist zwar nicht absolut unveränderlich, doch weicht sie von einem mittleren Wert nur um einige Sekunden ab. Für den bürgerlichen Gebrauch ist die Differenz so gering, dass eine entsprechende Mittelwert-tabelle direkt auf das Zifferblatt einer Sonnenuhr aufgetragen werden kann.

Bei der Sternzeit ist ein Sterntag die Zeit, welcher ein Fixstern bedarf um seinen scheinbaren Bahnkreis vollständig zu durchwandern. Da nun alle Sterne fest und unbeweglich am Himmel erscheinen und sich auch scheinbar um uns bewegen, ist für alle Sterne ein Sterntag ebenfalls in 24 Stunden, jede dieser in 60 Minuten und wiederum jede Minute in 60 Sekunden eingeteilt und die Länge eines beliebigen Teiles desselben durch den Winkel gemessen, den der durch den Stern und Pol gelegte Stundenkreis mit dem Meridian macht. Dieser Stundenwinkel des Sterns, der beim Durchgang desselben durch den Meridian gleich Null ist und von da bis zur nächsten Kulmination desselben immer wächst und somit alle 360° der Kreisbahn durchläuft, ist der eigentliche ZEIGER DER FROSSEN WELTENUHR . Von der Sternzeit wird die heutige moderne Zeitmessung hergeleitet und sie wird laufend von mehreren Zeitdiensten bekannter Sternwarten ermittelt. Als Instrumente dienen sogenannte photographische Zenit-Teleskope

die automatisiert und Lochbandgesteuert, ohne Anwesenheit eines Beobachters den Durchgang von gleichzeitig 30 bis 40 Sternen registrieren. Interessant ist die Erkenntnis, dass die Sterntage kürzer sind als die Sonnentage. Da sich die Erde in einer elliptischen Bahn um die Sonne bewegt, so folgt aus dem zweiten Keplerschen Gesetz, dass ihre Bahngeschwindigkeit in den verschiedenen Punkten der Bahn auch verschieden gross sein muss. Im Perihelium (Sonnennähe) bewegt sich die Erde schneller und im Aphelium (Sonnenferne) langsamer. Vom Perihel zum Aphel wird die Bahngeschwindigkeit täglich abnehmen vom Aphel bis zum Perihel hingegen täglich steigen. So wird auch an den beiden Uebergangspunkten ein Maximum und ein Minimum erreicht. Diese Bewegung der Erde, die sich uns im Fortrücken der Sonne unter den Sternen zeigt, hat zur Folge, dass die Sonne nach unseren Beobachtungen mit ungleicher Geschwindigkeit unter den Sternen fortrückt, und dass der "wahre" Sonnentag länger ist sein muss als der Sterntag. Auch die Sonnentage unter sich können somit nicht von gleicher Länge sein, weshalb die "zweite" Sonne für die Sonnenuhren erdacht wurde, welcher mit gleicher Geschwindigkeit um die Erde wandert und den "mittleren" Sonnentag beschert.

Dieser "mittlere" Sonnentag ist das Zeitmass, welches auch als "Ortszeit" von den ersten Räderuhren (Turmuhren) angezeigt wurde. Diese örtlich geordnete Zeit war gut und ein grosser Fortschritt bis es vor etwa einem Jahrhundert, verkehrstechnisch nicht mehr tragbar war, dass jeder Ort an seiner, der geographischen Lage entsprechenden, Ortszeit fest hielt. Denn auch die Ortszeit verspätet sich für jeden Ort der westlicher von einem anderen liegt. Die 12-Uhr Mittagsstunde der Ortszeit von Zürich beispielsweise tritt etwa 4 Minuten später ein, als die Mittagsstunde der Ortszeit von Basel. Um auch diesen Differenzen Herr zu werden und Fahrpläne für die Eisenbahn etc. aufstellen zu können, wurde die Normalzeit, oder auch Zonenzeit genannt, zu Gesetz erhoben. Es ist ansich kein zusätzliches Zeitmass, sondern lediglich eine Ordnung, wonach ein grösseres Gebiet, eine Zone (ein Land, eine Insel) unter eine in etwa in der Mitte liegende Ortszeit gestellt wird. So entspricht die Ortszeit des 15. Längengrades der "Mittel-Europäischen Zonenzeit" (MEZ), welche in Deutschland als Normalzeit gilt. Der Nullgrad-Meridian wurde für die "West-Europäische-Zonenzeit" massgebend und gleichzeitig auch als "Greenwich-Zeit" die sogenannte Weltzeit. Diese offiziell auch als "Greenwich-Mean-Time" (GMT) bezeichnete "mittlere" Ortszeit des Null-Meridian, bildet die Basis im gesamten Weltverkehr des Navigationswesens der Luft- und Seefahrt wie auch im ---

Weltfunkverkehr der Polizei, Presse und Wetterstationen.

Der 24 Stundentag dieser "Weltzeit" beginnt, wenn die Sonne die internationale DATUMSGRENZE -am 180.Längengrad- passiert. Zwölf Stunden später, wenn die Sonne unter dem Nullgrad-Meridian -dem Längengrad von Greenwich- steht, ist es "Weltmittag". Diese "Greenwich Mean Time" ist einzig und allein als "Weltzeit" anzusprechen und eines der wesentlichsten Hilfsmittel der Zeitbestimmung im interkontinentalen Verkehr und der Weltraumfahrt.

Das erste Zeitmessgerät des Menschen zur Feststellung der Tagesstunden war unsres Wissen der Schatten, den ein senkrechter~~x~~ aufgestellter Stock bei Sonnenschein auf den Boden wirft. Es ist anzunehmen, dass es ^{bald} ~~schon~~ dem nachdenkenden Menschen auffiel, dass sich sein eigener Schatten im Verlaufe des Tages veränderte. Sie konnten beobachten, dass der Schatten von morgens an nach und nach kürzer wurde, um die Mitte des Tages ein Minimum erreichte, und von da ab wieder wuchs bis zum Untergang der Sonne. Mit dieser Erkenntnis liess sich die Länge des Schattens, den der eigene Körper warf, mit dem Zeitverlauf des Tages in Einklang bringen. Ausgemessen nach der Länge des Fusses ergab sich damit wohl die erste Grundlage zu einer Zeitangabe. "Sie lud ihn -auf vier Fuss- zum Essen ein, und wenn gleich der Erbetene um einen Kopf grösser war als sie, so mass er seinen Schatten auch mit einem längeren Fuss."

Eine der Weiterentwicklungen des Schattenlängenmasses als Zeitangabe ist in den Obeliskten zu erkennen, die noch heute, besonders in Italien, auf öffentlichen Plätzen anzutreffen sind. Sicherlich waren es dann auch diese feststehenden Steinsäulen, die durch ihre Schattengrafik bald den Hinweis lieferten, dass nicht nur die Schattenlänge, sondern die wandernde Richtung des Schattens als Zeitmass verwendbar ~~XXXX~~ ist.

Die Einteilung der Tagesstunden nach der Richtung des Schattens, wonach alle späteren Sonnenuhren eingerichtet sind, führte auch sofort zu viel genaueren Ergebnissen. Die richtige Aufzeichnung der Stundenmarkierung und ihrer Winkelwerte wurden damit allerdings weit schwieriger als beim Schattenlängenmass, und man darf die so entstandenen Sonnenuhren als eine bewundernswerte und grosse Erfindung des Menschen vor der Zeit Christi bezeichnen. Einen Erfinder der Sonnenuhren namhaft zu machen ist bis heute jedoch noch nicht möglich geworden. Es ist anzunehmen, dass die Chinesen bereits seit 2679 Jahren v.Chr. die Sonnenuhren gekannt haben.

Das sich besonders die Griechen schon in sehr frühen Zeiten mit der Theorie der Sonnenuhren eingehend befasst haben, folgt aus den zahlreich erhalten

gebliebenen Sonnenuhren selbst, von denen viele eine Genauigkeit in der Berechnung und Konstruktion aufweisen, die nur auf mathematischem Wege erreicht werden konnte. Vorallem die Methodik der älteren Konstruktionen setzte umfassendes mathematisch-astronomisches Wissen voraus; hingegen den "neueren" Sonnenuhren (etwa ab dem 14. Jahrhundert) mit einem Schattenstab der parallel zur Erdachse steht.

Diese bedeutende Erfindung in der Gnomonik, den Schattenstab oder ~~XXXXXXXX~~ P o l o s (annähernde Uebersetzung aus dem Griechischen) parallel zur Erdachse zu richten, ist bezüglich ihrer Herkunft ebenfalls in Dunkel gehüllt.

Etwa im 15. Jahrhundert gelangten die Sonnenuhren zu gewerbsmässiger Herstellung. Ihre Handwerker nannten sich meist Kompassmacher, woraus zu entnehmen ist, dass der Kompass und die Sonnenuhr in einem sehr bestimmten Zusammenhang stehen. Vorallem dann, wenn es sich um jene Sonnenuhren handelt die mit auf die Reise genommen wurden. Sie mussten schliesslich an jedem Ort ~~XXXXX~~ neben der Polhöhenangleichung des Polos ($90^\circ - \varphi$ = geographische Breite) erneut in Nord-Süd Richtung gebracht werden.

In Museen und Privatsammlungen befinden sich noch heute viele schöne Reise-Klapp- oder Taschensonnenuhren, die glücklicherweise erhalten geblieben sind, und von der Hohen Kunst der damaligen Kompassmacher Zeugnis ablegen.

Die Orientierung der Sonnenuhren

Der Wert einer Sonnenuhr hängt von der richtigen Lage in bezug auf eine gedachte Erdachse und Horizontebene ab, und auch alle weiteren Berechnungen der Zifferblätter ergeben sich aus dieser Grundlage. Die speziellen Benennungen wie: "Horizontal-Uhr", "Vertikal-Uhr", "Aequatoriale-Uhr" oder "Polare-Uhr", ergeben sich ebenfalls aus Position der Sonnenuhr zur Erdoberfläche. Die graphische Darstellung (Abb.) zeigt auf einem Vielflächenkörper die gebräuchlichsten Arten von Sonnenuhren und lässt ihre zur Erdachse gebundene Stellung gut erkennen. Die Systeme unterscheiden sich danach, ob die verlängerte Zifferblattebene zum Horizont, zum Zenit, zu einem der Pole oder zum Aequator eine Parallele bildet. An diesem sogenannten "Sonnenuhrenhaus" lässt sich recht gut erkennen, was alle Sonnenuhren gemein haben, sofern sie nach dem 15. Jahrhundert entstanden sind. Und zwar stehen sämtliche Schattenstäbe parallel zueinander und auch parallel zur gedachten Erdachse. Würde man das Sonnenuhrenhaus am Nordpol oder Südpol aufstellen, so würden sämtliche Schattenstäbe senkrecht gen Himmel stehen und mit der Horizontalebene einen rechten Winkel bilden. ~~XXXXXXXX~~
zeichnungen der

Am Aequator aufgestellt, würden alle Schattenstäbe parallel zur Horizontebene stehen. Auf allen Breitengraden zwischen den Polen und dem Aequator, dem Bereich der "schiefen Sphäre", verhalten sich die Schattenstäbe zur Zifferblattebene in der Art wie das "Sonnenuhrenhaus" (Abb.) erkennen lässt.

Die für jeden Schattenstab notwendige Parallele zur Erdachse ergibt sich, wenn man diesen um den Winkel der geographischen Breite des Standortes einer Sonnenuhr aus der Horizontebene aufrichtet und nach Norden orientiert.

Es besteht ferner ein einheitlicher geometrischer Zusammenhang zwischen den Stundenlinien auf den Zifferblättern aller Sonnenuhrsysteme des "Sonnenuhrenhauses". Der Ausgangspunkt ist stets ein Kreis, der in 24 Sektoren von je 15° geteilt wird. Jedes der in Frage kommenden Bogenstücke ist gleich dem Weg, den der Schatten eines im Mittelpunkt rechtwinklig aufgestellten Schattenwerfers in einer Stunde "wahrer Sonnenzeit" wandert, vorausgesetzt, dass die Ebene des Teilkreises parallel zur Äquatorebene steht. Die Abbildung zeigt ein Modell aus welchem die Harmonie der Stundenlinien auf verschiedenen Flächen hervor geht. Eine weitere geometrische Konstruktion aller Stundenlinien aus einem Vollkreis heraus lässt die Abbildung erkennen. Die Rangordnung der eingezeichneten Stunden zahlen bezieht sich dabei ausschliesslich auf Sonnenuhren der nördlichen Breitengrade der Erde. Auf der südlichen Halbkugel - etwa in Südamerika - müssten die Eintragen der Stundenzahlen auf den Zifferblättern in umgekehrter Reihenfolge vorgenommen werden, weil dort ^{auch} der Schatten in umgekehrter Richtung voranschreitet.

Ausser den Stundenlinien der "wahren Sonnenzeit" wie sie aus den Konstruktionen der Abbildungen und hervorgehen, lässt sich die Sonnenuhr mit einigem Geschick noch zu einer Vielzahl weiterer Indikationen heranziehen. Man kann die Differenz der Zeitgleichung (mittlere Werte) die zur direkten Angabe der "mittleren Sonnenzeit" (Ortszeit) führt und die Zonenzeitdifferenz einzeichnen; eine Kalendereinteilung mit Zodiak und Tierkreiswinkel anbringen, sowie die Tageslängenangabe markieren.

Die Werte einer Zeitgleichungstabelle können auf verschiedene Weise übertragen und eingezeichnet werden. Es genügt jedoch, wenn die Markierung nur um die Mittagslinie herum, dem 12-Uhr Stundenwinkel, angebracht wird, da die Differenz am gleichen Tag, praktisch auch die gleichen zu den übrigen Vor- und Nachmittagsstunden sind. Voraussetzung für derartige Indikationen ist, dass das Zifferblatt genügend gross genug ist, wie jene Äquatorial- in Frankfurt (Abb.) ~~XXX~~ Durchmesser 3,60 m, in Basel (Abb.) Durchmesser

2,50 m und jene Aequatorial-Uhr in Zürich (Abb.) mit einem Durchmesser des Zifferblattes von 2,20 m. Von der Grösse hängt es auch ab, ob man die täglichen Differenzen eintragen kann, oder aber nur jeweils den Wert der Monatsmitte. Soll die normale Kalenderfolge erhalten bleiben, mit Januar oben beginnend und mit Dezember zu unterst (Frankfurter Zifferblatt) so ergeben sich praktisch bei Monatsmitte-Angaben 12 Zifferblatteinteilungen übereinander. Sollte die Differenz der Zeitgleichung ~~1/24~~ für jeden Tag des Jahres angegeben sein, so müssten sogar komplette 365 Einteilungen übereinander vorhanden sein.

Eine brauchbare Zwischenlösung ist jedoch möglich wenn zu oberst das Datum der Wintersonnenwende steht, die Mittellinie von den beiden Daten der Frühlings- und Herbst- Tagundnachtgleiche geführt wird und zu unterst das Datum der Sommersonnenwende auftritt. Hierbei ist das Zifferblatt nurmehr über 6 Monate hoch und die Differenz der Abweichung zum Mittelwert der "mittleren" Sonne bildet eine Schleife; gemäss Abb. Entwicklung einer Zeitgleichungskurve. Es zeigt sich, dass die senkrechten Bahnen der Schleife im Verlaufe des Jahres nicht gleich lang sind. Jedes dieser 12 Bogenstücke entspricht einem Zwölftel der Ekliptik; einem der zwölf 30° Sektoren des Zodiaks. In der Mitte der Schleife ergibt sich die Aequinotiallinie, der Waage und Widderbahn im oberen Teil rechts die Herbstzeichen Skorpion und Schütze, zu oberst der Wendekreis des Steinbock, danach die Winterzeichen Wassermann und Fische. Nach unten rechts folgen die Frühlingszeichen Stier und Zwillinge bis zum Wendekreis des Krebs und wiederum aufwärts die Sommerzeichen Löwe und Jungfrau.

Um den Wert des Abstandes der Schleife von der mittleren senkrechten Linie weicht folglich im Verlaufe eines Jahres der "mittlere" Mittag von dem "Wahren" Mittag ab. Wobei die Höchstwerte im Februar mit $+14' 20''$ und im November mit $16' 22''$ erreicht werden und an vier anderen Tagen im Jahr - am 15. April, 15. Juni, 1. September und 25. Dezember - gleich Null ist. Es sind die Schnittpunkte der Kreisbahn der gedachten "mittleren" Sonne und der elliptischen, ~~XXXX~~ sich scheinbar um die Erde bewegenden Bahn der "wahren" Sonne.

Eine ausserordentliche Bereicherung erfährt eine Sonnenuhr mit dem Zifferblatt einer Schleife der Zeitgleichung, wenn der Schattenwerfer an einer vorberechneten Stelle ein Loch erhält. Solch ein Lochgnomon bewirkt, dass auf dem Zifferblatt nicht nur ein Schatten projiziert wird, sondern in mitten dessen ein kleiner Lichtpunkt erscheint. Damit wird die Sonnenuhr nicht nur zu einem Zeitmesser für die "wahren" und "mittleren" Stunden, sondern auch zu einem Kalenderindikator.

Bei einer äquatorialen Sonnenuhr liegt die Unterbrechung des Gnomons genau im Mittelpunkt der Äquatorebene, sodass die Bahnebene der Sonne zur Zeit der Frühlings- und Herbst-Tagundnachtgleiche - demnach am 21. März und 23. September - mit dem Schattenwerfer (Lochgnomon) einen rechten Winkel bilden; wie es aus der Abbildung zu erkennen ist. Neigt sich die Bahn bis zur Wintersonnenwende - am 22. Dezember -, so wird der Lichtpunkt $23^{\circ} 27'$ über der mittleren Querlinie der Zifferblatteinteilung projiziert und im Gegensatz zur Zeit der Sommersonnenwende - am 22. Juni - $23^{\circ} 27'$ darunter. Nimmt die Deklination der Sonne zwischen der Äquatorebene und dem nördlichen Wendekreis des Krebs ständig zu, so herrscht Frühling, nimmt die Deklination von da aus nach der Äquatorebene wieder ab, so herrscht Sommer. Wird die Deklination der Sonne zwischen dem Äquator und dem südlichen Wendekreis des Steinbocks immer grösser, so ist es Herbst, und nimmt sie nach dem Äquator hin wieder ab, ist es Winter. Wie erwähnt, sind auch die Tageslängen auf dem Zifferblatt einer Sonnenuhr anbringbar. Die Erfahrung zeigt, dass die Sonne nicht jeden Tag im Jahr genau in östlicher Richtung aufgeht, sondern dass sie zum Beispiel am 22. Dezember in südöstlicher Richtung den Tag eröffnet und ihn mit ihrem untergang in südwestlicher Richtung beendet. Ohne Berücksichtigung des Dämmerzustandes ergeben sich während dieser Zeit für Mittel-Europa 8 Stunden Tag und 16 Stunden Nacht. Von Tag zu Tag verschiebt sich danach der Aufgangspunkt mehr nach Osten und der Untergangspunkt mehr nach Westen, so dass auch die Tagesstunden zunehmen und die Nachtzeit kürzer wird, bis schliesslich beide Hälften den Ausgleich von 12 Stunden erreicht haben und die Sonne genau im Osten aufgeht und im Westen untergeht. Von diesem Tag ~~XXX~~ des Frühlingsäquinoktiums an, steigt die Tagesbahn der Sonne noch weiter, so dass ihr Aufgang täglich weiter nordöstlich beobachtet werden kann und ihr Untergang täglich weiter nordwestlich; sodass auch die Tagesstunden noch täglich zunehmen und die Nachtstunden weniger werden. Wird nach der Kalenderrechnung der 22. Juni gezählt, so hat die Sonnenbahn in ihrem Rotationsraum den Wendepunkt des Krebses erreicht, und es können 16 Stunden Tag und nur noch 8 Stunden Nacht gezählt werden. Von diesem Tag der Sommersonnenwende an, rücken die Aufgangspunkte täglich wieder nach Osten zu und die Untergangspunkte nach Westen, bis schliesslich wiederum die Tagundnachtgleiche erreicht ist, die Zeit des Herbstäquinoktiums. Sehr interessant sind ferner die hyperbolischen Bahnen die der Lichtpunkt eines Lochgnomons oder die Spitze eines Schattenwerfers beschreiben. Je nach der dazugehörigen Zifferblattfläche und der entsprechenden Deklination

der Sonne sind sie völlig verschieden, und zwar entstehen neben der Geraden Kurven aus dem Bereich der Kegelschnitte. Diese Zusammenhänge zwischen der Sonnenbahn und den Schattenkurven auf verschiedenen Ebenen zeigt die schematische Darstellung der Abbildung . Die Entstehung dieser hyperbolischen Bahnen findet ihren Ursprung in der Neigung der Erdachse zur Bahnebene. Diesem Neigungswinkel von $66\frac{1}{2}^{\circ}$ verdanken wir das Auftreten der vier Jahreszeiten -Frühling, Sommer, Herbst und Winter-.

Erforderlich ist die Konstruktion der hyperbolischen Bahnen, wenn man die Tierkreislinien ebenfalls auf dem Sonnenuhrzifferblatt astronomisch richtig einzeichnen will.

Die Korrektur die notwendig ist um das Zifferblatt mit den Angaben der "mittleren" Sonnenzeit, schlussendlich noch der Normalzeit anzupassen ist recht einfach. Vorallem schon deswegen, weil diese Differenz für alle Zeiten konstant bleibt. Befindet sich eine Sonnenuhr beispielsweise an einem Ort des 8. Längengrades östlich von Greenwich, so beträgt der geographische Abstand zwischen dem "mittleren" Mittag am Ort der Uhr und dem "mittleren" Mittag des massgeblichen Normalzeit-Meridians (in diesem Fall 15° Ost = "Mittel-Europäische-Zonenzeit") genau 7° . Ein Längengrad entspricht in bezug auf den Gesamtumfang der Erde einem Zeitmasswert von 4 Minuten, was zu einer Differenz des Beispiels von insgesamt $7 \text{ mal } 4 = 28$ Zeitminuten führt. Mit anderen Worten gesagt, der Mittag des 15. Längengrades Ost tritt 28 Minuten früher ein als der Mittag am 8. Längengrad, dem Standort der Sonnenuhr. Diese charakteristische Verschiebung des Zifferblattes bei einer Äquatorialuhr zur Angleichung an die Normalzeit ist in der Abbildung veranschaulicht.

Das die Sonnenuhr letztlich, als ehrwürdiges Geistesgut längst vergangener Zeiten, auch einen Platz als Schmuckstück moderner Kunst des 20. Jahrhunderts einzunehmen vermag, lassen die Abb. 24, 25 und 31 erkennen.

der Sonne sind sie völlig verschieden, und zwar neben der Geraden ~~kurven~~
Kurven aus dem Bereich der Kegelschnitte .

Die Konstruktion der Hyperbelbahnen läßt ihren Ursprung in der Neigung der Erdoberfläche zur Bahnebene. Dieses Neigungswinkel von $66\frac{1}{2}^\circ$ verdanken wir das Auftreten der vier Jahreszeiten - Frühling, Sommer, Herbst und Winter. Erforderlich ist die Konstruktion der hyperbolischen Bahnen, wenn man die die Tierkreislinien ebenfalls auf dem Sommerkreislerlaß astronomisch richtig einzeichnen will.

Die Korrektur die notwendig ist um das Äquatorlaß mit den Angaben der "mittleren" Sonnenzeit, schlussendlich noch der Normalzeit anzupassen ist recht einfach. Vor allem schon deswegen, weil diese Differenz für alle Orte konstant bleibt. Bezieht sich eine Sonnenuhr beispielsweise auf einen Ort des 8. Längengrades Ostlich von Greenwich, so beträgt der geographische Abstand zwischen dem "mittleren" Mittag am Ort der Uhr und dem "mittleren" Mittag des massgeblichen Normalzeit-Meridians (in diesem Fall 15° Ost = 15 Minuten) genau 1° . Ein Längengrad entspricht in der Regel auf den Gesamtumfang der Erde einem Zeitmesswert von 4 Minuten, was einer Differenz des Beispielns von insgesamt 7 mal $4 = 28$ Minuten führt. Mit anderen Worten gesagt, der Mittag des 15° Längengrades Ost tritt 28 Minuten früher ein als der Mittag am 8. Längengrad, dem Standort der Sonnenuhr. Diese charakteristische Verschiebung des Äquatorlaßes bei einer Äquatorlinie zur Aufzeichnung an die Normalzeit ist in der Abbildung veranschaulicht.

Das die Sonnenuhr letztlich, als ehrwürdiges Gedenkmal längst vergangener Zeiten, auch einen Platz als Schmuckstück moderner Kunst des 20. Jahrhunderts einnehmen vermag, lassen die Abb. 24, 25 und 26 erkennen.

Untertitel der AbbildungenAbb. 1

Um eine brauchbare Mittagslinie fest zu legen, bringt man einen senkrecht errichteten Stab als Gnomon auf eine ~~XXXXXXXX~~ Fläche, die mit der Horizontalebene den Winkel der geographischen Breite φ bildet. Am Kopf des Gnomon sollte sich ein kleines Loch befinden. Um den Fusspunkt des Gnomon zieht man eine beliebige Anzahl konzentrischer Kreise auf der schrägen Fläche. Wird diese Vorrichtung mit der Lochöffnung des Gnomon nach Süden gerichtet, so wird im Kernschatten des Gnomon ein kleiner Lichtpunkt auf der Ebene mit den Kreisen erscheinen. Während der Vormittagsstunden, von Westen kommend, wird dieser kleine Lichtpunkt die einzelnen Kreise auf der Ebene schneiden und am Nachmittag nach Osten hin wieder heraustreten. Werden die Ueberschnidungen von Lichtpunkt und Kreis genau markiert und letztlich einer mit dem andern durch eine Linie verbunden, so entsteht eine Hyperbel. Durch Verbindung der östlichen und westlichen Punkte des jeweils gleichen Kreises, entstehen eine Reihe paralleler Linien, wie aus der Skizze ersichtlich ist. Die Verbindungslinie der Halbierungspunkte jener Parallelen muss durch den Fusspunkt des Gnomon führen, sie ist die Mittagslinie. Diese Methode erreicht an den Tagen der Sonnenwende ein mathematisch sehr genaues Resultat, weil zu dieser Zeit die Sonne ihre Deklination nur ganz wenig ändert.

Abb. 2

Weil die Erde neben ihrer Eigenumdrehung auch noch um die Sonne wandert, ist der Sönnentag länger als der Sterntag. Steht ein Ort bei P1 heute genau unter der Sonne, so ist der gleiche Ort in Relation zur Sonne erst bei P2 wenn sich die Erde um 360 Grad danach gedreht hat, ein Tag vergangen ist. Folglich muss sich die Erde um rund gerechnet noch 1° weiter drehen, damit der gleiche Ort bei P3 wieder genau unter der Sonne steht. Und zwar weil sich im gleichen Zeitraum die Erde auch noch nahezu 1° weiter auf ihrer Bahn um die Sonne bewegte.

Abb. 3

Mutmasslich die erste "öffentliche Uhr", eine Steinsäule als Schatten-Längenmesser.

Abb. 4

Reise-Sonnenuhr in Buchform und um den Hals zu hängen. Sie arbeitet als Horizontaluhr für die Polhöhe 48° nördl. Breite; im Deckel befindet sich ein Wegzeiger, der in Verbindung mit dem Sonnenstand zur Orientierung der Wegrichtung dienen konnte. Hergestellt 1585, vermutl. von Ulrich Schniep in München.
-Sammlung "Mathematisch-Physikalischer Salon" in Dresden /Sachsen-

Untertitel zu den AbbildungenAbb. 5

"tragbare Horizontal- und Vertikal-Sonnenuhr, aufklappbar aus Elfenbein; vermutlich 16. Jahrhundert aus Süd-Deutschland.

-Sammlung "Mathematisch Physikalischer Salon" in Dresden/Sachsen

Abb. 6

Silberne Taschen-Sonnenuhr mit Kompass. Der kleine Schattenwerfer ist Fächerartig für die Breite von 40° , 45° und 50° nördlich verstellbar. Analog dazu, sind auch drei verschiedene Stundenaufzeichnungen vorhanden.

Durchmesser 6,8 cm ; gezeichnet Chapotot Paris, 18. Jahrhundert.

Sammlung "Rijksmuseum voor de Geschiedenis der Natuurwetenschappen" in Leiden / Holland

Abb 7

Kupferne Taschen-Sonnenuhr mit silbernem Zifferblattring. Der Polos ist schwenkbar und der Zifferblattring entsprechend der geographischen Breite aus der Horizontalebene verstellbar. Es handelt sich folglich um das System einer "aequatorial-Uhr". Grösse 7 mal 7 cm, Herstellungsort Augsburg 2.Hälfte des 17. Jahrhunderts, der Name des Herstellers ist unleserlich.

Sammlung "Rijksmuseum voor de Geschiedenis der Natuurwetenschappen" in Leiden/ Holland.

Abb. 8

Vergoldete Taschen-Sonnenuhr mit einer Vorrichtung der Indikation als Horizontal-Uhr und als Vertikal-Uhr (Polarorientation von 0 bis 90 Grad)

Durchmesser 7,5 cm, gezeichnet mit "Gemaect 't Amsterdam by Joost de Beer"

Sammlung "Rijksmuseum voor de Geschiedenis der Natuurwetenschappen" in Leiden / Holland.

Abb. 9

Vergoldete Sonnenuhr und Sternuhr mit Kalendarium, zusammenklappbar für die Reise. Herstellungszeit 1514, Hersteller nicht bekannt.

Sammlung "Mathematisch Physikalischer Salon" in Dresden / Sachsen.

Abb. 10

Aequatorial-Sonnenuhr mit Stunden- und Minutenangabe mittels eines Sonnenvisier, Polhöhe verstellbar, Grundplatte mit Kompass und Lot (Pendel); hergestellt ca. 1730 von Andreas Pfab.

Sammlung "Mathematisch Physikalischer Salon" in Dresden / Sachsen

Untertitel zu den Abbildungen

Abb. 11

Ein Vielflächenblock, ein sogenanntes Sonnenuhrhaus, lässt die zur Erdachse gebundene Stellung der Schattenstäbe und ihrer Auffallflächen (Zifferblätter) erkennen. 1= vertikale Süduhr; 2= polare Süduhr; 3= Horizontaluhr; 4= Aequatorialuhr; 5= vertikale Norduhr; 6= polare Westuhr;

Abb. 12

Die Harmonie der Stundenwinkel eines parallel zur Erdachse gerichteten Polos auf einer horizontalen, aequatorialen, vertikalen und polaren Ebene.

Abb. 13

Verstellbare Aequatorial-Sonnenuhr zur Verwendung auf allen Längen- und Breitengraden der nördlichen Hemisphäre. Der Polos und das Zifferblatt sind auf beiden Seiten vorhanden, wobei das obere Zifferblatt für die Sommermonate und das untere für die Wintermonate zur Ermittlung dient.

Hersteller

im Jahre

Sammlung "Staatliche Kunstsammlungen Kassel" in Kassel

Abb. 14

Geometrische Konstruktion aller Stundenwinkel aus einem Vollkreis einer aequatorialen Ebene für eine vertikale, polare und horizontale Zifferblattfläche. Die Rangordnung der eingezeichneten Stundenzahlen bezieht sich auf Sonnenuhren für die nördliche Hälfte der Erde, auf der südlichen Halbkugel müssten die Eintragungen der Zahlen in umgekehrter Reihenfolge vorgenommen werden.

Abb. 15

Kurve der Zeitgleichung aus einem sogenannten Tierkreiswinkel entwickelt. Die Senkrechten Linien entsprechen jeweils einem Abstand von 5 Zeitminuten vor beziehungsweise nach dem astronomischen Mittag -Kulmination der Sonne-.

Abb. 16

Geometrische Konstruktion zu einer Aequatorial-Sonnenuhr für "wahre" und "mittlere" Sonnenzeit, Differenz der Zeitgleichung und Kalendarium.

Abb. 17

Entwurf zu einer östlich abweichenden Vertikal-Sonnenuhr mit Berücksichtigung der Zeitgleichung, Markierung der hyperbolischen Schattenbahn des Polos als Kalendarium und ~~XXXXXXXXXXXXXX~~ Abweichung des Ortszeit zum Zonenzeitmeridian.

Untertitel zu den Abbildungen

Abb. 18

Entwurf zu einer westlich abweichenden Vertikal-Sonnenuhr mit Berücksichtigung der Abweichung für die Normalzeit. Die Dreiecke D-E-C und Z-L-H ergeben die Winkelstellung des Polos zur Fassade, bei L befindet sich die Spitze des Polos.

Abb. 19

Schematische Darstellung der Winkelfunktionen, welche durch die Deklination der Sonne zwischen der Äquatorebene und dem Wendekreis von einem Lochgnomon auf der Zifferblattfläche einer Äquatorial-Sonnenuhr projiziert werden.

Abb. 20

Konstruktion von Tierkreiswinkel, Zeitgleichungskurve und Tageslängenmarkierung auf zwei übereinander liegenden Zifferblattflächen (Untergangsseite).

Abb. 21

Grafik der hyperbolischen Bahnen die der Schatten einer Poläusspitze, oder der Lichtpunkt eines Lochgnomon auf verschiedenen Flächen projiziert. Unter I ist die polare Auffallfläche eingezeichnet, unter II die horizontale und unter III die vertikale, so dass die Geraden jeweils XX' in der Ost-Westachse der Himmelsrichtung liegen. Bei den Abweichenden Vertikaluhren hingegen zeigen sich die Projektionen der Schattenlinien im Westen erhoben, wenn die Abweichung östlich ist und umgekehrt, im Osten erhoben, wenn die Abweichung westlich ist.

Abb. 22

Charakteristik der Differenz des Zifferblattes bei einer Äquatorialuhr zwischen dem "mittleren" Mittag des Ortszeitmeridians und des Normalzeitmeridians

Abb. 23

Äquatorial-Uhr in einer Armillarsphäre für "wahre" u. "mittlere" Sonnenzeit, Zeitgleichungstabelle und Sonnenkalendarium, Durchmesser ca. 1,00 m, Entwurf u. Berechnungen L.M.Loske, 1955.

Abb. 24

Horizontal-Sonnenuhr für "wahre" Sonnenzeit in Gestalt moderner Metallplastik 8 mm dick getriebene Kupferplatte, Entwurf u. Berechnung: L.M.Loske, 1954

Abb 25

Horizontal-Sonnenuhr moderner Skulptur, Holz, Aluminium und Mosaik, Entwurf: L.M.Loske, 1960.

Untertitel zu den AbbildungenAbb.26

Aequatorial-Sonnenuhr mit Skalen für die Normalzeit, Durchmesser; 1,80 m , Stahl und Mosaik, Entwurf und Berechnung: L.M.Loske, 1961, aufgestellt vor dem Internationalem Flughafen von Mexiko City.

Abb.27

Aequatorial-Sonnenuhr mit römischen Zahlen für die "wahre" Sonnenzeit und arabischen Zahlen für die "mittlere" Sonnenzeit des Ortszeitmeridian, Kurve der Zeitgleichung und Lochgnomon. Hergestellt in Bronze, Durchmesser 1,85 m, Entwurf und Berechnungen: L.M.Loske, 1957, aufgestellt am Seeufer in Zürich.

Abb. 28

Aequatorial-Sonnenuhr in einer Armillarsphäre für "wahre", "mittlere" und Normalzeit, Sonnenkalendarium und Lochgnomon, Hergestellt in Aluminium eloxiert, Durchmesser ca. 2,50 m , Entwurf und Berechnungen: L.M.Loske, 1956, aufgestellt vor dem Hauptgebäude der "Schweizer Mustermesse" in Basel .

Abb. 29

Grösste und vielseitigste Aequatorial-Sonnenuhr die zur Zeit existiert; am Mainufer der Stadt Frankfurt. Sie besteht aus einer Tonne Kupfer und misst 3,60 m im Durchmesser. Sie verfügt über geätzte Einteilung zur Indikation von: "wahrer" und "mittler" Sonnenzeit am Ort. Differenz der Zeitgleichung und Längengradabweichung für die unmittelbare Bestimmung der Normalzeit für Frankfurt, ferner durch eine drehbare Weltzeitskala, die "wahre" die "mittlere" Sonnenzeit und die Normalzeit für über 200 namentlich aufgeführte Städte des Globus, sowie für jeden nach seiner geographisch, bekannten Lage bestimmbarer Ort auf der Erde. Die 12 Tierkreiszeichen der Aequatorebene stimmen mit der Lage der entsprechenden Tierkreiszeichen und Tierkreis-Sternbildern am Himmel überein.

Aufgestellt im April 1951, Entwurf und Berechnungen: Lothar M. Loske .

Abb. 30

Nahaufnahme der Zifferblätter der "Frankfurter Aequatorial-Sonnenuhr". ~~KKXKXKX~~
Römische Zahlen für die "wahre" Sonnenzeit am Ort, arabische Zahlen ^{und} 12 darüber geordneten Einteilungen mit gemäss der Zeitgleichung berücksichtigten Verschiebungen der Stundenanfänge. Vollkreisskala mit arabischen Zahlen innen und Namensangaben aussen zur Zeitermittlung jeden anderen Ortes auf der Erde. Der Ring ist drehbar und die Einstellung hat nach der im Spruchband (lucem demonstrat umbra) Kalenderskala (aequatio temporis) zu erfolgen.