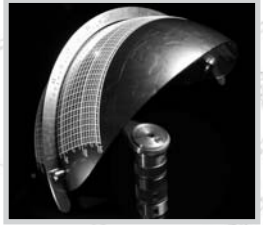




Helios
ASTRONOMISCHES
MUSEUM
HAMBURG

Die Sonnenuhr HELIOS



Die Sonnenuhr von Carlo Heller ist ein aufsehenerregendes, ästhetisches, wetterfestes und handwerklich außerordentlich liebevoll gefertigtes Präzisionsobjekt, das die jahrtausendealte Idee der Zeitmessung durch den Lauf der Erde um die Sonne in einem neuen Licht erstrahlen läßt.

Nils Schiffhauer
Frankfurter Allgemeine Zeitung
4. September 2001

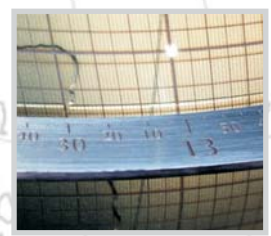
Ausgabe 2 | 1. September 2002

Inhalt

Das kosmische Uhrwerk	[03]
Entwicklungsgeschichte	[15]



Das kosmische Uhrwerk



Ein neues Funktionsprinzip

Die Sonnenuhr **HELIOS** arbeitet nach einem weltweit einzigartigen Prinzip, das zum Patent angemeldet ist. Der in die Uhr eingebaute Hohlspiegel reflektiert das Sonnenlicht und projiziert das Abbild der Sonnenscheibe als Lichtpunkt auf den Schirm der Sonnenuhr.

Auf seiner Skala gibt der Lichtpunkt die minutengenaue Mitteleuropäische Zeit (MEZ) und das Datum an. Der Schirm ist als Weltkugel gestaltet. Der Lichtpunkt wandert über den Globus und zeigt, wo die Sonnenstrahlen gerade senkrecht auf die Erde treffen. Man spricht vom subsolaren Punkt auf der Erdoberfläche. Die Sonne steht dort im Zenit und wirft keinen Schatten.

Erst das neue Funktionsprinzip - die Projektion des Sonnenlichts auf einen Globusschirm - macht es möglich, mit einem Höchstmaß an Präzision gleichzeitig die Mitteleuropäische Zeit, das Datum und die scheinbare Wanderung der Sonne anzuzeigen. Subsolarer Punkt, Tageswanderung, Jahreszeiten, Wendekreise, Tagnachtgleiche - die Sonne selbst macht diese Naturphänomene auf der Sonnenuhr sichtbar.

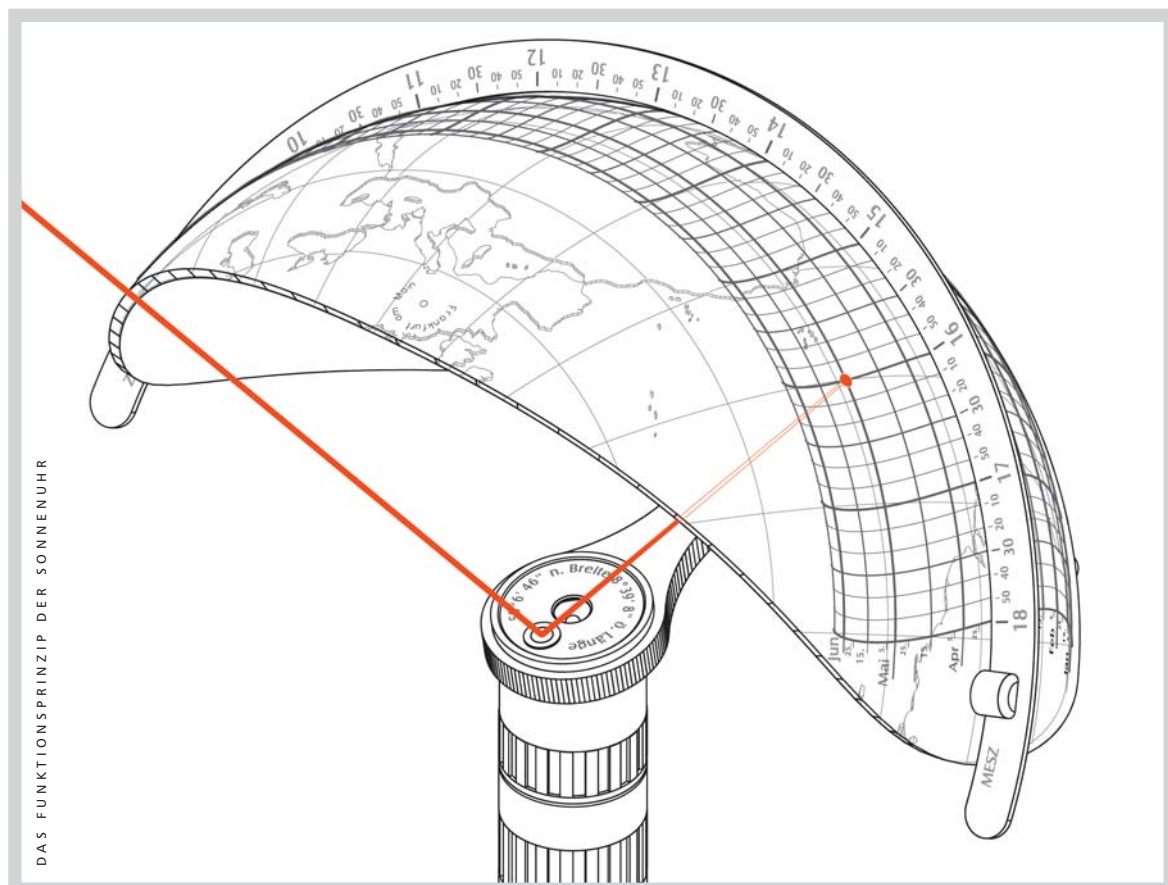
Das kosmische Uhrwerk

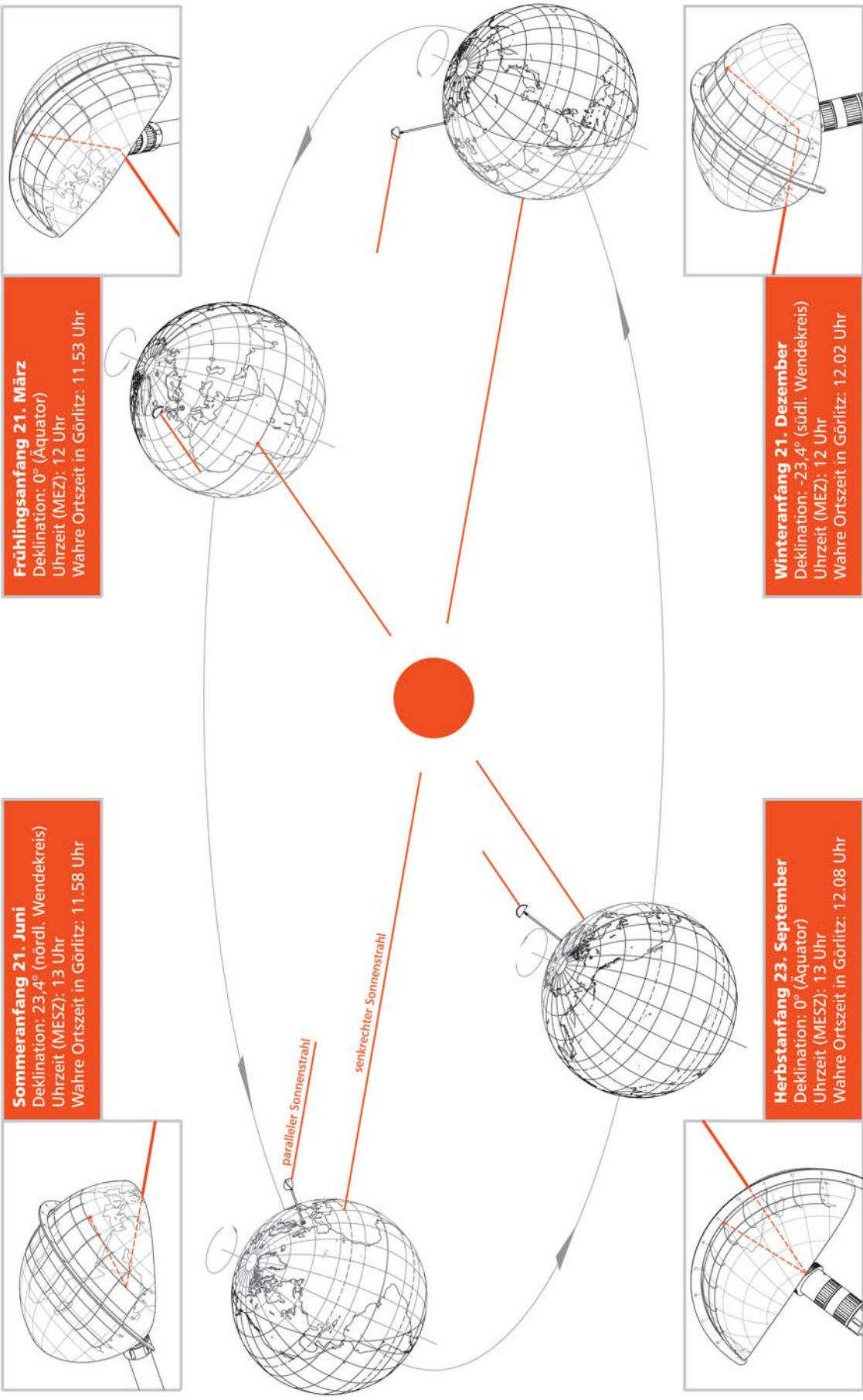
Die Bewegung der Erde auf ihrer elliptischen Bahn um die Sonne und um die eigene Achse ist das gigantische kosmische Uhrwerk, das die Sonnenuhr antreibt - präzise und beständig. Der Zeiger ist das Sonnenlicht. In jedem Moment kommt es aus einer anderen Richtung und trifft in einem anderen Winkel auf den Spiegel der Sonnenuhr.

Das Bild auf der folgenden Seite zeigt die Erde auf ihrer jährlichen Umlaufbahn, jeweils zu Beginn der **vier Jahreszeiten**. In diesem Beispiel steht die Sonnenuhr fest montiert in Frankfurt am Main und folgt der Bewegung der Erde um die Sonne und um die eigene Achse. Die Sonnenstrahlen beleuchten eine Hälfte der Erdoberfläche, dort ist es Tag.

Eingezeichnet ist der Sonnenstrahl, der senkrecht auf die Erde trifft und verlängert genau durch ihren Mittelpunkt geht. Ein Beobachter, der sich gerade an diesem Ort befindet, sieht die Sonne im Zenit.

Ein weiterer Sonnenstrahl gelangt auf den Spiegel der Sonnenuhr und projiziert ein Abbild der Sonne als Lichtpunkt auf den Anzeigeschirm.





Zum Frühlingsanfang am **21. März** steht die Sonne senkrecht über dem Äquator. Der Höhenwinkel der Sonne zur Äquatorebene, die sogenannte Deklination, beträgt 0° . Die Tag-Nachtgrenze verläuft durch die Pole der Erde. Auf der ganzen Welt ist der Tag genauso lang wie die Nacht, man spricht von der Tagnachtgleiche. Der Lichtpunkt auf der Sonnenuhr zeigt die reale Situation im Kosmos: er überquert zeitgleich den auf dem Globus eingezeichneten Äquator.

Drei Monate später, es ist der **21. Juni**, ist die Erde um 90° weiter gewandert. Die Erdachse hat ihre Richtung beibehalten und ist genau der Sonne zugeneigt. Der Mittelpunkt des Lichtkegels der Sonne trifft auf den nördlichen Wendekreis, die Deklination der Sonne beträgt $23,4^\circ$. Auf der nördlichen Hemisphäre ist Sommeranfang und längster Tag im Jahr.

Die Sonnenstrahlen treffen in steilem Winkel auf den Spiegel der Sonnenuhr auf, der Lichtpunkt hat auf der Zeit- und Datumsskala seinen höchsten Stand erreicht. An diesem Tag läuft er - wie auch die Sonne in der Realität - auf dem nördlichen Wendekreis entlang. Zur Sommersonnenwende wird der Anzeigeschirm für die bisher aufsteigende Sonne gegen den für die jetzt absteigende Sonne ausgetauscht.

Ab sofort nimmt die Deklination der Sonne kontinuierlich ab, am **23. September** - zum Herbstanfang - überquert sie wieder den Äquator und am **21. Dezember** erreicht sie ihre südlichste Bahn, den südlichen Wendekreis. Die Sonnenstrahlen treffen auf die Sonnenuhr im flachen Winkel auf, der Lichtpunkt bewegt sich auf der Datumslinie, die dem 21. Dezember zugeordnet ist. Es ist Winteranfang und es wird Zeit, die Sonnenuhr wieder mit dem für den Winter und Frühling gültigen Anzeigeschirm auszurüsten.

Die Sonnenuhr zeigt die Mitteleuropäische Zeit (MEZ) bzw. die Mitteleuropäische Sommerzeit (MESZ). Die MEZ ist die in den meisten europäischen Ländern gültige Normalzeit. Sie bezieht sich auf den 15. Längengrad östlich von Greenwich.

In allen vier Darstellungen der Erde ist es gerade 12 Uhr MEZ bzw. 13 Uhr MESZ. Demzufolge könnte man erwarten, dass alle Orte, die auf dem 15. Längengrad liegen, gerade Mittag haben. Das heißt, dass die Sonne ihren höchsten Punkt über dem Horizont erreicht hat und genau im Süden den Meridian passiert.

Wir betrachten die Erde am 21. März: Wider Erwarten steht die Sonne um 12 Uhr MEZ noch östlich des 15. Längengrads. Eine klassische Sonnenuhr mit erdachsparelem Schattenstab, die in Görlitz auf dem 15. Längengrad steht, würde 11.53 Uhr wahre Ortszeit (WOZ) anzeigen. Auch zum Sommer-, Herbst- und Winteranfang ist die WOZ in Görlitz früher oder später als 12 Uhr. Nur an vier Tagen im Jahr steht die Sonne um 12 Uhr MEZ, zum Zeitpunkt des wahren Mittags, genau im Meridian des 15. Längengrads.

Die wahre Ortszeit, auch Sonnenzeit genannt, ist also keine gleichmäßige Zeit und folglich ungeeignet für die Zeitmessung mit mechanischen Uhren.

Daher hat man bereits im 18. Jahrhundert eine gemittelte Zeit, die mittlere Ortszeit (MOZ), eingeführt. Sie geht von einer fiktiven, sich gleichförmig auf dem Himmelsäquator bewegenden Sonne aus und umfasst alle Orte auf dem gleichen Längengrad.

Die Erfindung der Eisenbahn im Zuge der industriellen Revolution im 19. Jahrhundert ermöglichte Reisen über große Strecken. Die Notwendigkeit von überregionalen Zugfahrplänen führten im nächsten Schritt zur weiteren Vereinheitlichung der Zeit: die Einführung der in Zeitzonen gültigen Normalzeit durch eine internationale Vereinbarung im Jahr 1884.

Die Zeitzonen liegen jeweils eine Stunde auseinander, genau die Zeitdauer, die die Sonne für ihre scheinbare Wanderung über der Erde für 15 Längengrade benötigt.

Auf der Sonnenuhr sind der Nullmeridian durch Greenwich, auf den sich die Weltzeit bezieht, und die Meridiane östlich und westlich im Abstand von 15° als Repräsentanten der Zeitzonen eingezeichnet. Die Mitteleuropäische Zeit ist als die mittlere Ortszeit am 15. Längengrad östlich von Greenwich definiert.

Die Sonnenuhr **HELIOS** gibt die Mitteleuropäische Zeit an, so dass in allen vier gezeigten Positionen der Erde (auf Seite 5) 12 Uhr MEZ bzw. 13 Uhr MESZ auf der Zeitskala direkt ablesbar ist.

Die auf der Sonnenuhr **HELIOS** ablesbaren Daten gehen über das normale Maß weit hinaus und werden im nächsten Abschnitt an einem Beispiel erläutert.

Die Funktionen der Sonnenuhr

Das Bild auf Seite 8 veranschaulicht die Funktionen der Sonnenuhr **HELIOS** in einer Momentaufnahme am 1. April 2002, 13 Uhr MESZ (12 Uhr MEZ). Links sieht man Erde und Sonne, so wie ein Astronaut das kosmische Uhrwerk in diesem Moment aus dem Weltraum sehen würde. Der parallele Sonnenstrahl, der auf den Spiegel der Sonnenuhr trifft, projiziert ein Bild der Sonne genau an die Stelle auf den Anzeigeschirm, an dem die Sonne senkrecht über der Erde steht.

Aus Sicht eines Betrachters, der auf die Sonnenuhr schaut (rechte Abbildung, Seite 8), wird auf der Uhr exakt die Situation dargestellt, die sich dem Astronauten am 1. April 2002 um 13 Uhr MESZ bietet.

Im Einzelnen können direkt abgelesen werden:

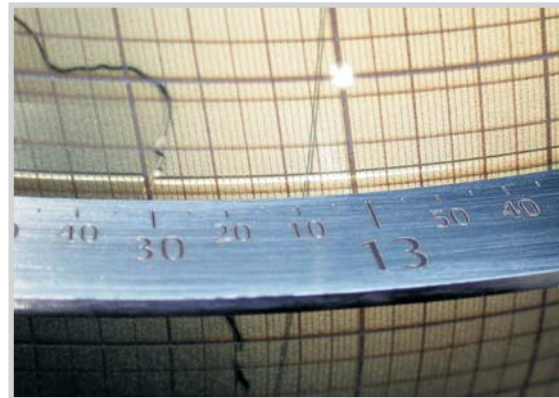
- > **Standort: Wiesbaden.** Der Standort der Sonnenuhr ist seinen geografischen Koordinaten (50°5'34" nördliche Breite, 8°13'20" östliche Länge) entsprechend auf der Weltkugel eingezeichnet. Für diesen Standort wurde die Sonnenuhr berechnet und gefertigt, nur dort geht sie genau.



- > **Uhrzeit: 13 Uhr MESZ.** Die Uhrzeit liest man, indem man die Zeitlinie, auf der der Mittelpunkt des Lichtpunkts steht, zum Zeitring verfolgt und dort die MESZ zuordnet.

Der Zeitring ist auswechselbar, je nachdem ob die MEZ oder die MESZ gültig ist. Auf der Zeitskala ist für jede Minute eine Linie eingezeichnet, auf dem Zeitring sind alle fünf Minuten abgetragen.

- > **Zeitgleichung: - 3 min 54 s.** Die Zeitgleichung ist die Differenz aus der wahren und der mittleren Ortszeit.



Im obigen Bild zeigt der Lichtpunkt 13 Uhr MESZ (12 Uhr MEZ) an, das entspricht definitionsgemäß 12 Uhr mittlerer Ortszeit (MOZ) am 15. Längengrad. Dieser verläuft im Foto schräg zu den Zeitlinien. Erreicht der Lichtpunkt diesen Meridian, ist dort 12 Uhr wahre Ortszeit (wahrer Mittag). Die Zeitgleichung ist genau die Zeit, die der Lichtpunkt benötigt, um den Weg von der 13 Uhr-Linie bis zum 15. Längengrad zurückzulegen.

Mit der Zeitgleichung lässt sich die wahre Ortszeit am 15. Längengrad um 13 Uhr MESZ (12 Uhr MOZ) ermitteln:

$$\begin{aligned} \text{WOZ} &= \text{MOZ} + \text{Zeitgleichung} = \\ &12:00:00 \text{ Uhr MOZ} - 3 \text{ min } 54 \text{ s} = \\ &11:56:06 \text{ Uhr WOZ} \end{aligned}$$

Uns interessiert auch die WOZ in Wiesbaden. Die Längengraddifferenz beträgt:

$$15^\circ - 8^\circ 13' 20'' = 6^\circ 46' 40''$$

Die Sonne wandert in einer Stunde 15°, also braucht sie für einen Längengrad vier Minuten.

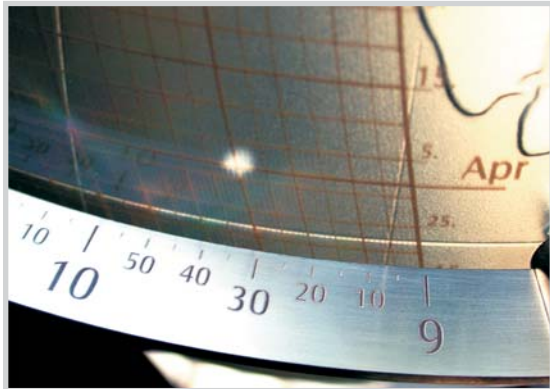
Die Zeitdifferenz ist damit:

$$6^\circ 46' 40'' \times 4 \text{ min}^\circ = 27 \text{ min } 7 \text{ s}$$

Die WOZ am Standort der Sonnenuhr ist:

$$\begin{aligned} &11:56:06 \text{ Uhr} - 27 \text{ min } 7 \text{ s} = \\ &11:28:59 \text{ Uhr} \end{aligned}$$

Das ist die Zeit, die eine klassische Schattensonnenuhr in Wiesbaden um 13 Uhr MESZ anzeigen würde.



- > **Datum: 1. April.** Die Datumslinie, auf der der Lichtpunkt steht, wird nach rechts oder links verfolgt. Sie entspricht der Bahn, die die Sonne an diesem Tag entlang wandert (siehe Fotofolge auf Seite 10).

Der Monatsname steht auf der Linie, die dem 1. des Monats zugeordnet ist. Es folgt alle fünf Tage eine Datumslinie, an der das Tagesdatum steht.

- > **Jahreszeit: Frühling.** Wir haben aufsteigende Sonne, erkennbar am nach Norden hin zunehmenden Datum. Der Lichtpunkt befindet sich nördlich des Äquators. Es ist Frühling auf der nördlichen Hemisphäre und Herbst auf der Südhalbkugel.
- > **Subsolarer Punkt: Berbérati (Zentralafrikanische Republik).** Hier treffen die Sonnenstrahlen senkrecht auf die Erde. Ein Erdbewohner, der sich in diesem Moment dort aufhält, sieht die Sonne genau im Zenit stehen. Eine Ortsbestimmung würde die geografischen Koordinaten 4°33'48" nördliche Breite, 15°58'35" östliche Länge ergeben. Der Lichtpunkt befindet sich an dieser Stelle auf dem Globus der Sonnenuhr.
- > **Wahrer Mittag: 15°58'35" östliche Länge.** Berbérati und alle Orte, die auf dem Längengrad liegen, auf dem sich der Lichtpunkt gerade befindet, haben wahren Mittag. Die Sonne erreicht ihren Tageshöchststand, sie kulminiert. In der Navigation ist das der ideale Zeitpunkt zur Ortsbestimmung. Geografische Breite: Zu diesem Zweck würde der Erdbewohner in Berbérati die Höhe der Sonne über dem Horizont mit dem Sextanten messen. Die Deklination der Sonne (ihre Höhe zur Äquatorebene) entnimmt er einem nautischen Jahrbuch für den 1. April 2002 und bestimmt die geografische Breite:

$$\text{Breite} = 90^\circ - \text{Höhe} + \text{Deklination} = 90^\circ - 90^\circ + 4^\circ 33' 48'' = 4^\circ 33' 48''$$

Geografische Länge: Diese errechnet der Erdbewohner in Berbérati aus dem Zeitunterschied der sogenannten Weltzeit (Universal Time UT1 = MEZ - 1h) zur mittleren Ortszeit (MOZ) in Berbérati. Die Weltzeit bezieht sich auf den Nullmeridian, der durch die Sternwarte in London-Greenwich geht und gleichzeitig der Ausgang für die Zählung der geografischen Länge ist. Auf seiner Uhr liest der Bewohner in Berbérati zum Zeitpunkt des wahren Mittags (12 Uhr WOZ) die Weltzeit 11 Uhr UT1 ab. Die Zeitgleichung zur Bestimmung der mittleren Ortszeit (MOZ) entnimmt er einem nautischen Jahrbuch und rechnet

$$\begin{aligned} \text{Zeitunterschied} &= \\ \text{UT1- MOZ} &= \\ \text{UT1- WOZ} + \text{Zeitgleichung} &= \\ 11\text{Uhr} - 12\text{Uhr} - 3\text{ min } 54,3\text{ s} &= \\ - 63\text{ min } 54,3\text{ s} & \end{aligned}$$

wie folgt:
Die Sonne legt in einer Stunde 15° zurück, benötigt also für einen Längengrad vier Minuten:

$$\begin{aligned} \text{Länge} &= \text{Zeitunterschied} / 4\text{ min}^\circ = \\ -63\text{ min } 54,3\text{ s} / 4\text{ min}^\circ &= \\ 15^\circ 58' 34,5'' \text{ östliche Länge} & \end{aligned}$$

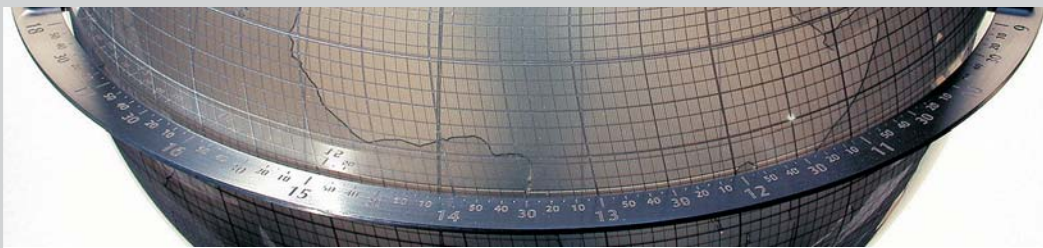
Die Berechnungsgrundlagen der Sonnenuhr

Der scheinbaren Ungleichmäßigkeit der wahren Ortszeit liegen exakte Gesetze der Bewegung der Erde um die Sonne und um ihre Achse zugrunde. Bereits Kepler schreibt in seiner 1609 veröffentlichten *Astronomia nova*, dass die Erdbahn eine Ellipse ist. In einem ihrer Brennpunkte steht die Sonne.

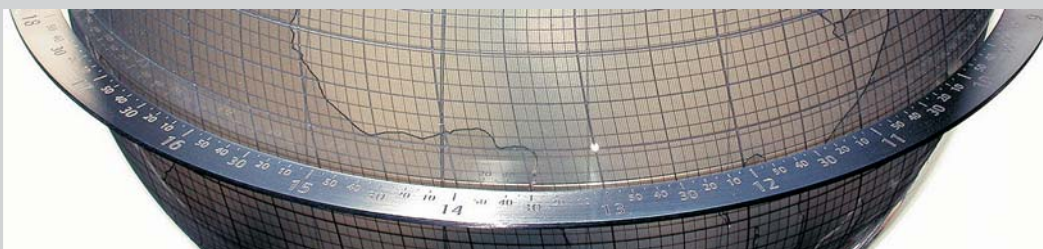
Die Erde bewegt sich am schnellsten, wenn sie der Sonne am nächsten ist, am langsamsten im sonnenfernsten Punkt. Diese Geschwindigkeitsunterschiede und die Tatsache, dass die Erdachse zur Erdbahn um 23,4° geneigt ist, führen dazu, dass der Sonnentag mal kürzer und mal länger als 24 Stunden ist. Also geht die wahre Ortszeit gegenüber der mittleren Ortszeit mal vor und mal nach.



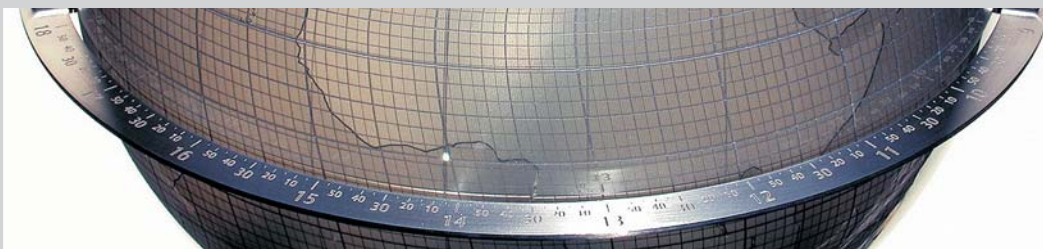
10:38 Uhr MESZ +++ Sonne im Zenit: $4^{\circ} 31' 31''$ N $51^{\circ} 29' 00''$ O +++ Indischer Ozean



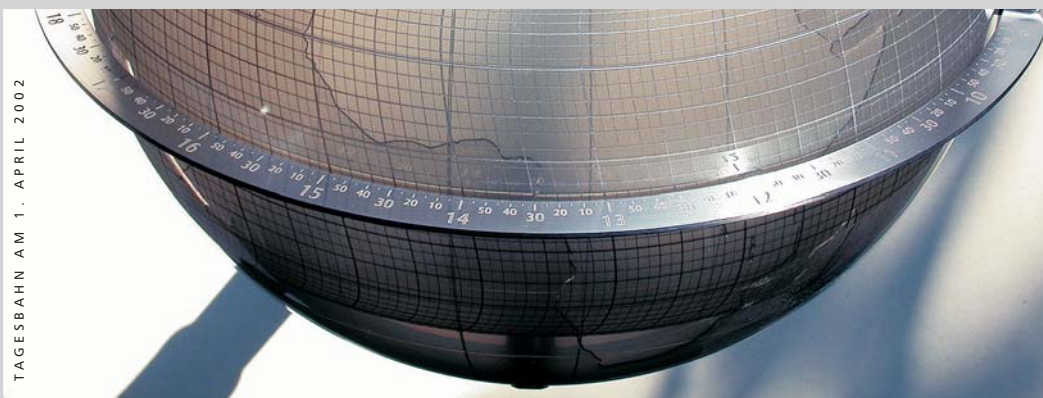
11:30 Uhr MESZ +++ Sonne im Zenit: $4^{\circ} 32' 21''$ N $38^{\circ} 28' 50''$ O +++ Äthiopien



13:00 Uhr MESZ +++ Sonne im Zenit: $4^{\circ} 33' 48''$ N $15^{\circ} 58' 35''$ O +++ Zentralafrikanische Republik



14:03 Uhr MESZ +++ Sonne im Zenit: $4^{\circ} 34' 48''$ N $0^{\circ} 13' 21''$ O +++ Durchgang Nullmeridian südlich Ghana



15:30 Uhr MESZ +++ Sonne im Zenit: $4^{\circ} 36' 12''$ N $21^{\circ} 31' 55''$ W +++ Atlantischer Ozean

TAGESBAHN AM 1. APRIL 2002

Das kosmische Uhrwerk, das die Sonnenuhr **HELIOS** antreibt, ist der Urmaßstab unserer irdischen Zeit.

Auch die Atomuhren werden regelmäßig durch das Einfügen oder Entfernen einer Schaltsekunde mit der Erddrehung synchronisiert.

Die naturbedingten Gangschwankungen der Bewegung der Erde um die Sonne und ihre Achse sind im voraus exakt erfassbar. Die Zeit- und Datumsskala der Sonnenuhr wird berechnet, indem für jeden Tag und jede Minute im Jahr die scheinbare Position der Sonne bestimmt wird. Die scheinbare Position der Sonne ist der Winkel, in dem die Sonne am Himmel des Aufstellungsorts beobachtet wird. In diesem Winkel treffen die Sonnenstrahlen auch auf den Spiegel der Sonnenuhr und werden auf den Schirm projiziert. Dem Projektionsort, der Stelle an dem der Lichtpunkt zu sehen ist, wird die entsprechende Zeit und das Datum zugeordnet.

Die präzise Berechnung der scheinbaren Position der Sonne und des Projektionsorts auf dem Schirm für einen bestimmten Zeitpunkt im Jahr erfolgt in drei Schritten:

- > Berechnung der Position der Sonne, gesehen vom Erdmittelpunkt aus (scheinbare geozentrische Position): Grundlage ist die Bewegung der Erde um die Sonne und die eigene Achse (Keplersche Gesetze). Dabei führen verschiedene Einflußgrößen zu Unregelmäßigkeiten. Die elliptische Erdbahn wird durch die Anziehungskräfte des Mondes und der Planeten gestört.

Auch die Erdachse erfährt durch die Anziehungskraft der Sonne eine langfristige Veränderung ihrer Lage zur Erdbahnebene (Präzession). In der Berechnung wird die aktuelle Neigung zugrunde gelegt. Auch das Licht auf seinem 150 Millionen Kilometer langen Weg zur Erde wird durch physikalische Phänomene beeinflusst, die Abberation des Lichts und die Lichtlaufzeit gehen als Berechnungsgröße ein.

- > Berechnung der Position der Sonne, gesehen von der Sonnenuhr aus (scheinbare topozentrische Position): Die Uhr ist mit der eingebauten Wasserwaage horizontal zum Aufstellungsort ausgerichtet. Die geografischen Koordinaten sind bekannt.

Aus der geozentrischen Position der Sonne kann dann die topozentrische Position, die Himmelsrichtung (Azimut) und die Höhe der Sonne am Aufstellungsort, bestimmt werden. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass infolge der Brechung der Lichtstrahlen in der Erdatmosphäre (Refraktion) die Sonne höher am Himmel erscheint. Bei niedrigen Sonnenständen kann die Strahlenablenkung bis zu einem halben Grad betragen.

- > Das Sonnenlicht wird im Spiegel nach den Regeln des Reflexionsgesetzes im dreidimensionalen Raum reflektiert und als Lichtpunkt auf den Schirm geworfen. Dazu muss die Lage des Spiegels zur Horizontebene bekannt sein. Damit der Lichtpunkt an der richtigen Stelle auf dem Anzeigeschirm ankommt und die exakte Zeit und das Datum anzeigt, hat ein spezielles Laser-Fertigungsverfahren in Verbindung mit genauen optischen Messmethoden entwickelt.

Die scheinbare geozentrische Position der Sonne wird mit einer Genauigkeit von einer Winkelsekunde (3.600 Winkelsekunden = 1 Winkelgrad) berechnet. Diese hohe Genauigkeit wird im Jahr, für das die Sonnenuhr gefertigt wird, erzielt. Der Lichtpunkt überquert auf die Sekunde genau die entsprechende Zeitlinie.

Hinsichtlich der Dauergenauigkeit ist die Sonnenuhr der Quarzuhr deutlich überlegen. Im ersten Jahr geht sie ganz genau und weicht selbst in 100 Jahren maximal ± 30 Sekunden ab. Die Gangabweichung einer Quarzuhr beträgt ± 1 Sekunde pro Woche, in einem Jahr kann sie also bereits fast eine Minute vor oder nach gehen.

Die Genauigkeit der Sonnenuhr

Eine klassische Sonnenuhr mit erdachsparem Schattenstab (Polstab) misst die Erddrehung relativ zur Sonne, den sogenannten Stundenwinkel. Die Zeit, die sie anzeigt, wird daher auch Sonnenzeit genannt. Jeden Tag zeigt sie mittags, die Sonne steht dann im Süden, 12 Uhr wahre Ortszeit (Sonnenzeit) an. Die Stunden vormittags und nachmittags sind dazu um 15° pro Stunde nach Osten bzw. Westen versetzt. Eine naturgegebene Zeit, nach der man sich bis zum Beginn der Neuzeit gerichtet hat.

Die Sonnenuhr **HELIOS** gibt die Mitteleuropäische Zeit an, eine vom Menschen erdachte Zeit, die ihm für das tägliche Leben geeignet schien.

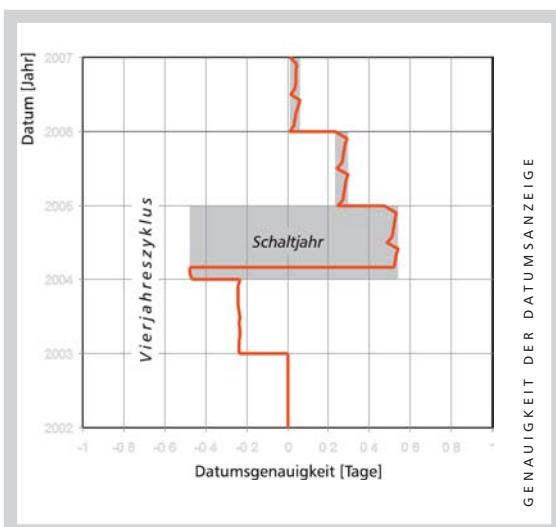
Um diese Zeit exakt anzeigen zu können, berücksichtigt die Sonnenuhr **HELIOS** nicht nur die Erddrehung, sondern auch die jährliche Wanderung der Erde um die Sonne.

Seit Jahrtausenden haben sich die Menschen damit beschäftigt, ein optimales Zählsystem der Tage im Jahr zu finden, den Kalender. Der heute am weitesten verbreitete Gregorianische Kalender teilt das Jahr in 365 Tage ein. Ausgehend vom Frühlingsanfang (Frühlingspunkt) dauert der Umlauf der Erde um die Sonne 365,242 Tage (tropisches Jahr), so dass der Kalender alle vier Jahre einen Schalttag, den 29. Februar, vorsieht. Mit dieser Korrektur beträgt das Kalenderjahr 365,25 Tage, ist also etwas zu lang. Um diese Restdifferenz auszugleichen, wird zur Jahrhundertwende der Schalttag weggelassen, außer wenn das volle Jahrhundert glatt durch 400 teilbar ist.

Damit wird erreicht, dass das Kalenderjahr über einen langen Zeitraum mit dem tropischen Jahr übereinstimmt und dass dadurch der Beginn der Jahreszeiten nicht verschoben wird.

Die Datumsanzeige der Sonnenuhr **HELIOS**, die durch den natürlichen Umlauf der Erde um die Sonne gesteuert wird, folgt dem tropischen Jahr und zeigt die gerade aktuelle Differenz zum Kalenderjahr an.

In der folgenden Grafik wird die Genauigkeit der Datumsanzeige einer für das Jahr 2002 berechneten Sonnenuhr dargestellt.



Zum Jahreswechsel am 1.1.2003 um 0:00 Uhr ist das Jahr für die Sonnenuhr noch nicht vorbei, es läuft noch um einen viertel Tag länger. Dann steht die Sonne wieder am gleichen Ort wie am 1.1.2002 um 0:00 Uhr.

Wenn am 1.1.2003 die Sonne aufgeht, kann man auf der Sonnenuhrskala diese Differenz von circa einem viertel Tag ablesen, der Lichtpunkt läuft knapp unter der Datumslinie. Am 1.1.2004 geht das Datum um einen weiteren viertel Tag nach. 2004 ist ein Schaltjahr, so dass sich am 29.2.2004 das Datum um einen Tag in die andere Richtung verschiebt. Die Uhr geht jetzt um einen halben Tag vor. 2005 springt sie wieder um einen viertel Tag zurück und 2006 erreicht sie fast die ursprünglichen Verhältnisse des Jahres 2002. Eine Restabweichung bleibt, da der Schalttag die Differenz nicht vollständig ausgeglichen hat. Die Restabweichung wächst im Laufe der Vierjahreszyklen an, bis sie zur Jahrhundertwende 2100 durch Weglassen des Schalttags kompensiert wird.

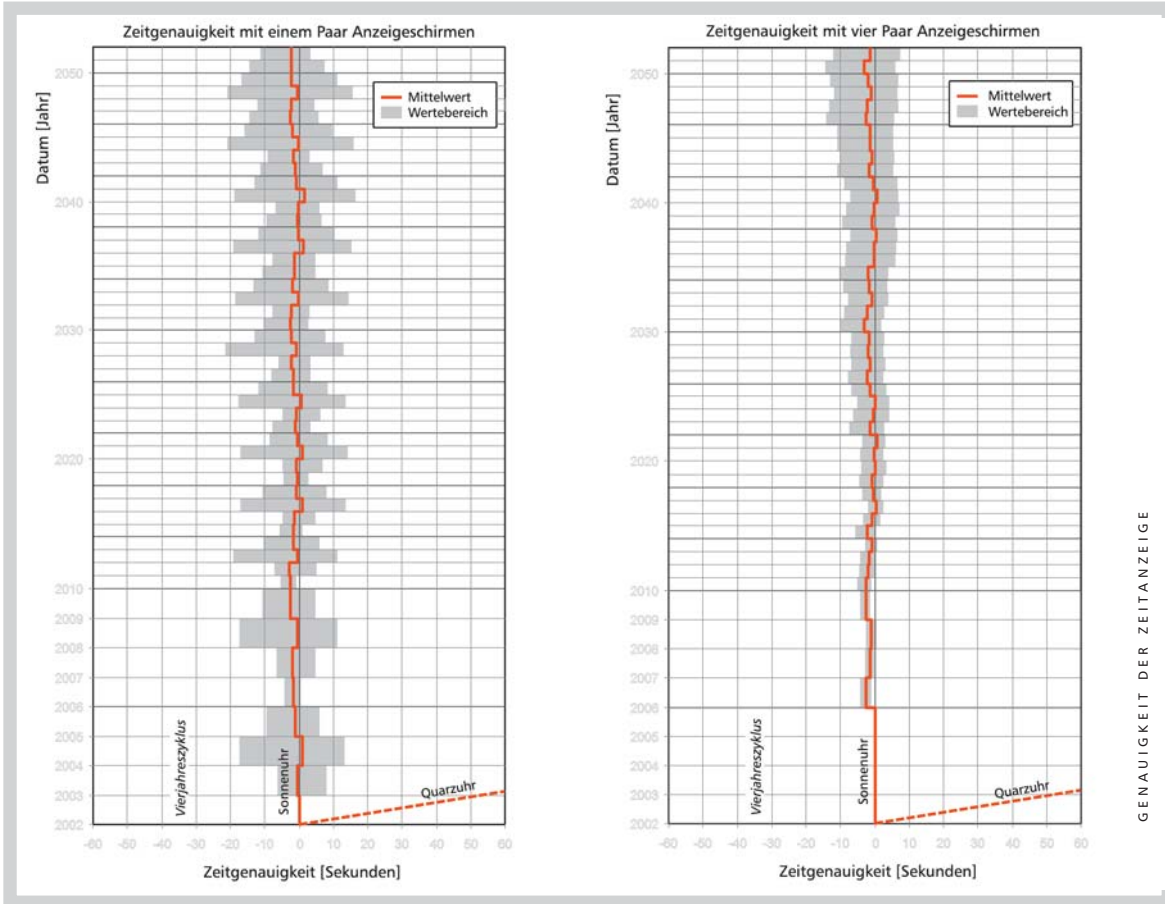
Die Zeitanzeige wird auch durch die Datumsverschiebung beeinflusst, sie wirkt sich aber vergleichsweise geringfügig aus. Die obere Grafik auf der nächsten Seite (Genauigkeit der Zeitanzeige) zeigt, dass die maximale Abweichung in den nächsten 50 Jahren innerhalb von 20 Sekunden bleibt, der Mittelwert sogar innerhalb von 3 Sekunden.

Stattet man die Sonnenuhr **HELIOS** mit vier Paar Anzeigeschirmen für einen Vierjahreszyklus aus, kann man die Synchronisation der Datumsanzeige mit dem Gregorianischen Kalender verbessern.

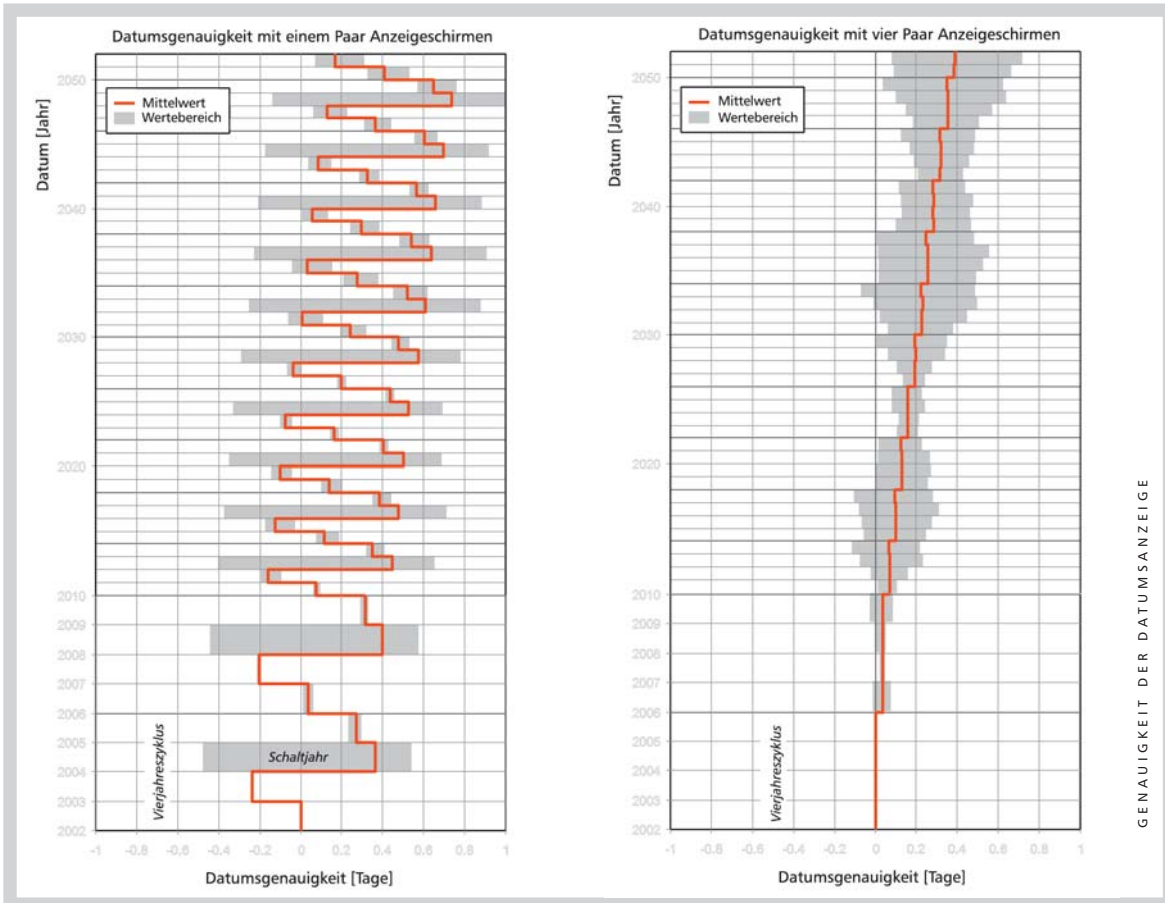
Dazu werden die Schirme der auf- und absteigenden Sonne für jedes Jahr zwischen 2002-2005 gefertigt. Für diese Jahre stimmt die Datumsanzeige exakt. In 2006 wird dann das erste Schirmpaar wieder verwendet, im Folgejahr das zweite und so weiter.

Die Datumsanzeige weicht damit in den Jahren 2006-2009 nur um durchschnittlich 0,03 Tage ab. In der unteren rechten Darstellung auf der Folgeseite ist die Entwicklung bis zum Jahr 2052 zu verfolgen.

In allen Diagrammen ist neben den kalenderbedingten Differenzen die langfristige Veränderung der Erdachslage einbezogen. Die sogenannte Präzession führt zu einer langsamen Verschiebung des Frühlingspunkts, dem Ausgangspunkt des tropischen Jahres.



GENAUIGKEIT DER ZEITANZEIGE



GENAUIGKEIT DER DATUMSANZEIGE

Zum Frühlingsanfang am 20./21. März überschreitet die Sonne den Himmelsäquator (vgl. Das kosmische Uhrwerk, Seite 5). Dieser Schnittpunkt der Ekliptik mit dem Himmelsäquator war in der Antike als Widderpunkt bekannt, denn noch vor 2.000 Jahren lag er im Sternbild Widder.

Heute ist er bereits im Sternbild Fische, in rund 24.000 Jahren wird der Frühlingspunkt durch den ganzen Tierkreis gelaufen sein.

Von allem unbeeinflusst ist die Anzeige der Zenitposition der Sonne auf dem Globus der Sonnenuhr. Das von der Sonne projizierte Bild zeigt stets die tatsächliche Wanderung der Sonne an. Da die Sonnenuhr auf der Erde fest montiert ist, macht sie jede Bewegung unseres Planeten mit und selbst die langfristige Veränderung der Erdachslage (Präzession) wird berücksichtigt.

Der Anzeigebereich der Sonnenuhr

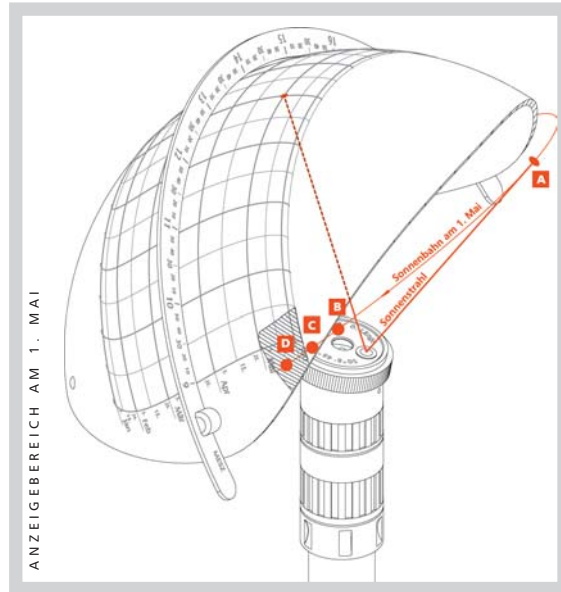
Die Sonne bewegt sich im Laufe des Jahres in einem immens großen Winkelbereich. Die Sonnenstrahlen sollen zu einem möglichst großen Teil auf den Spiegel der Sonnenuhr fallen, sowohl bei niedrigen Sonnenständen im Winter als auch bei hohen im Sommer.

Zur maximalen Lichtausbeute und optimalen Abbildungsqualität des Lichtpunkts wird der Spiegel in der für die geografische Breite am besten geeigneten Neigung angebracht. Für mittlere Breiten (50° nördliche Breite), z.B. für Frankfurt/Main, ist eine Neigung von 10° nach Süden optimal. Je nach Aufstellungsort wird die Spiegelneigung angepasst, in Flensburg beträgt sie 15°, in Venedig 5° und auf den Balearen ist ein horizontaler (0°) Spiegel am besten.

Der Umriss des Anzeigeschirms wird für jeden Aufstellungsort so ausgelegt, dass das Sonnenlicht möglichst ganzjährig auf den Spiegel trifft.

Die Erde dreht sich in 24 Stunden einmal um ihre Achse, folglich bewegt sich die Sonne um die Sonnenuhr und ihr Licht trifft unweigerlich auf den Schirm und nicht mehr auf den Spiegel. In der folgenden Abbildung ist dieses Phänomen dargestellt. Am 1. Mai bewegt sich die Sonne auf der eingezeichneten Bahn.

- > Um 13 Uhr befindet sie sich in Position A, die Sonnenstrahlen treffen auf den Spiegel, werden reflektiert und zeigen auf der Skala die Zeit und das Datum an.



- > Um 17:00 Uhr hat sich die Sonne zur Position B bewegt, die Sonnenstrahlen passieren noch den Schirm.
- > In Position C um 17:25 treffen die Strahlen bereits auf den Schirm, der an dieser Stelle das Licht ohne Ablenkung durchlässt - eine korrekte Zeitanzeige ist also gegeben.
- > In Position D um 17:50 Uhr befindet sich die Sonne über der Zeit- und Datumskala. Der Anzeigeschirm ist in diesem Bereich, der durch die Wendekreise begrenzt wird, mattiert. Das vom Spiegel projizierte Sonnenlicht wird dort gestreut, um die Sichtbarkeit des Lichtpunkts zu verbessern. Das Licht der Sonne, das in Position D in umgekehrter Richtung auf den Schirm trifft, erreicht nur diffus den Spiegel, eine Abbildung der Sonne als Lichtpunkt kommt nicht zustande.

Die schraffiert dargestellte Fläche ist der Bereich, in dem keine Zeitanzeige möglich ist. Auf der anderen Seite des Schirms tritt morgens das gleiche Phänomen auf.

Der begrenzte Anzeigebereich der Sonnenuhr **HELIOS** ist durch ihre Kugelform bedingt. Ihre Zeitskala liegt nicht in einer Ebene, wie z.B. die einer Äquatorialsonnenuhr, sondern sie hat eine dritte Dimension.

Sie berücksichtigt die jahreszeitlich veränderliche Deklination der Sonne und ist dadurch in der Lage, neben der Zeit auch das Datum und die scheinbare Wanderung der Sonne über unserem Planeten anzuzeigen. Das macht die Sonnenuhr **HELIOS** einzigartig.

Entwicklungsgeschichte



Erfindergeist im Blut

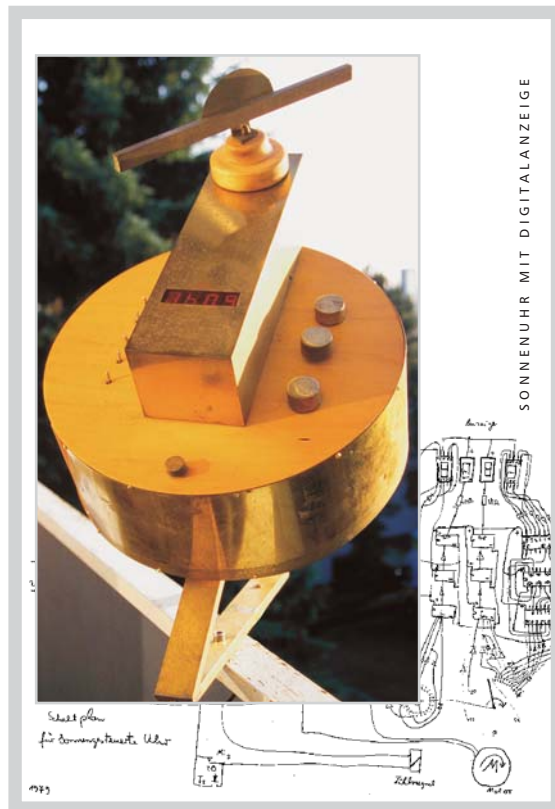
Den Erfindergeist hat er im Blut: Carlo Heller. Der Großvater war an der Entwicklung der Motorsäge beteiligt und ließ sie patentieren. Der Vater gründete in den 50er Jahren ein Unternehmen zur Produktion von Trinkbechern und Verpackungen aus Kunststoff, das sich zum bedeutendsten Anbieter der Branche entwickelte.

17. Januar 1971. Carlo Heller, 11 Jahre alt, beschreibt in seinem Tagebuch ein Naturereignis: "Wir sehen einen Meteoriten, der wie ein abstürzendes Flugzeug herunterschießt und etwa 5 Sekunden zu sehen war." Ein Schlüsselerlebnis, das seine Begeisterung für die Astronomie weckt. Aus der Wiesbadener Stadtbücherei leiht er sich Bücher zum Thema aus und schon bald wagt er sich an den Bau eines Newton-Spiegelteleskops. Bis heute hat er den Briefwechsel seines Vaters mit der Firma Schott zur Beschaffung des Spiegelrohlings aus DURAN 50-Glas aufgehoben.

Heller interessiert vor allem die Himmelsmechanik und der Bau von Messinstrumenten, um die Position von Himmelsgestirnen zu bestimmen. Die Wanderung des Tagesgestirns als Maßstab unserer Zeit fasziniert ihn besonders. Seine erste Sonnenuhr aus Holz mit manueller Korrektur der Zeitgleichung und der Längengraddifferenz entsteht 1976. Drei Jahre später stellt er eine elektronisch gesteuerte Sonnenuhr fertig: Ein parallel zur Erdachse angetriebener Diopter sucht den Himmel ab, bis das Sonnenlicht auf die eingebaute Fozelle trifft. Eine Digitalanzeige gibt dann die Zeit an.

Spiegel auf der Fensterbank

1980 legt er einen Spiegel auf die Fensterbank und beobachtet das reflektierte Sonnenlicht an der Zimmerdecke. Eine Idee ist geboren, die ihn bis heute nicht mehr losgelassen hat. Mit dem programmierbaren Taschenrechner TI59, den er sich für sein Maschinenbaustudium angeschafft hat, berechnet Carlo Heller eine Skala, die er an der Decke aufzeichnet und an der man am reflektierten Lichtfleck die Zeit ablesen kann. Heute weiß er, dass bereits Isaac Newton ähnliche Experimente im Haus seiner Großmutter unternahm. Bald ist die Zimmerdecke zu klein. Nur wenige Stunden können angezeigt werden, da der Abstand vom Spiegel zu groß und der Öffnungswinkel des Fensters zu klein ist.



Schmetterling mit Lichtpunkt

Aus der Zimmerdecke wird ein Projektionschirm, den Heller direkt vor den Spiegel spannt. Der Schirm hat nicht nur einen größeren Anzeigebereich, sondern auch den Vorteil, dass man die Zeit bequem ablesen kann.

1989 stellt Heller seine erste Sonnenuhr mit diesem neuen Funktionsprinzip her. Die Zeitlinien des an einen Schmetterling erinnernden Projektionschirms sind von hinten spiegelverkehrt in das opalfarbene Plexiglas geätzt und mit schwarzer Farbe ausgefüllt. Eine Wiesbadener Elektronikfirma stellt ihm dafür den normalerweise für die Platinenfertigung eingesetzten Fräsplotter zur Verfügung.



Mit einem auf dem ATARI ST geschriebenen Programm erzeugt er die Fräsdaten und stellt vier Schirme her: ein Paar für die aufsteigende und absteigende Sonne mit Winterzeit (MEZ) und ein Paar mit Sommerzeit (MESZ). Noch heute steht das Erstlingswerk auf Hellers Terrasse.

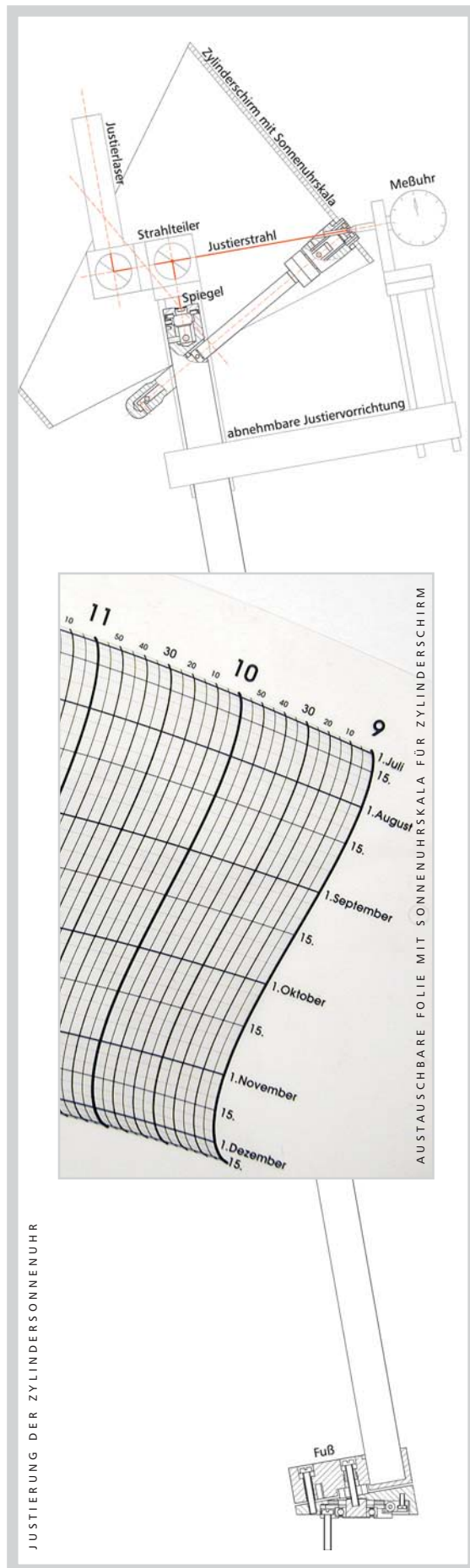


Minutengenaue Zeitanzeige

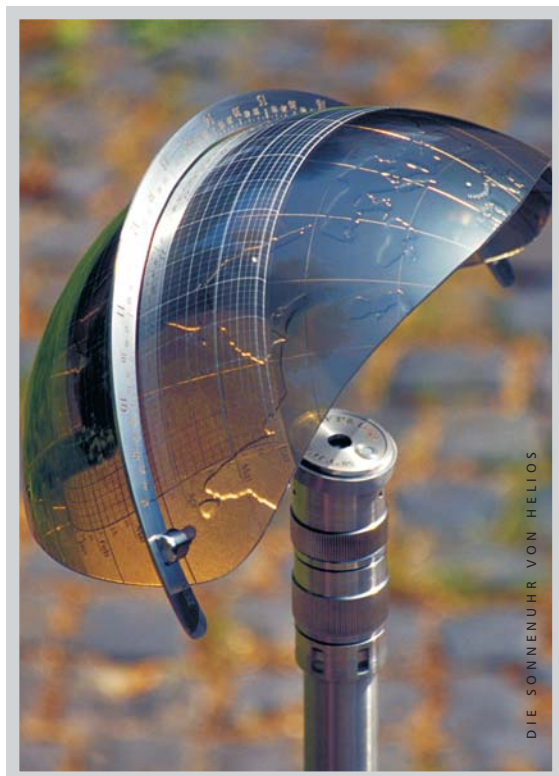
1992 schließt er seine wissenschaftliche Tätigkeit in der Materialforschung an der Technischen Universität in Darmstadt mit der Promotion ab und nimmt eine Stelle in der Automobilzulieferindustrie an. In seiner Freizeit beschäftigt er sich weiter mit der Entwicklung einer Sonnenuhr, die das erste Modell entscheidend verbessern soll.

Ein Hohlspiegel ersetzt den Planspiegel, um die Abbildungsqualität des Sonnenlichts zu optimieren. Der vorher ebene Projektionschirm ist nun zylinderförmig, die Skala wird nicht mehr gefräst, sondern lithografisch auf eine Folie gebracht. Eine Justiermechanik mit insgesamt 11 einstellbaren Achsen dient dazu, den Spiegel und den Anzeigeschirm auszurichten. Justierungsaufgabe ist es, die orthogonal in vier Raumrichtungen ausgesandten Lichtstrahlen eines Justier-Lasers mit definierten Markierungspunkten auf dem Schirm in Deckung zu bringen. Auch der Spiegel wird mit dem Justierstrahl ausgerichtet.

Heller hat ein ehrgeiziges Ziel: die minutengenaue Zeitanzeige. Sieben Jahre versucht er mit immer ausgeklügelteren Methoden, das berechnete theoretische Modell aus dem Computer in eine minutengenaue Sonnenuhr umzusetzen.



Er kommt zu der Erkenntnis, dass es nicht möglich ist, den Schirm zum Spiegel mit der erforderlichen Genauigkeit auszurichten: Stimmt die dreidimensionale Winkellage des Schirms, so hat sich dessen Abstand zum Spiegel verschoben und umgekehrt. Die Zeitanzeige der Zylindersonnenuhr ist zwar schon wesentlich genauer als die ihrer Vorgängerin, aber Heller ist noch nicht zufrieden.



DIE SONNENUHR VON HELIOS

Helios

„Mir kam die Idee, nicht eine Theorie in die Praxis umzusetzen, sondern umgekehrt zu verfahren“, erinnert sich Heller an den Durchbruch, der schließlich zur heutigen Ausführung der Sonnenuhr führt. Er kündigt seinen Industriejob, um seinen Traum von der Entwicklung eines marktfähigen Produkts zu verwirklichen und gründet sein eigenes Unternehmen namens Helios.

Noch einmal drei Jahre benötigt er, um sein neues Konzept zu realisieren. Er entwickelt eine Sonnenuhr, die in einem aufwändigen Laser-Fertigungsverfahren in Verbindung mit genauen optischen Messmethoden hergestellt wird und bei der die Justierung des Schirms in den Fertigungsprozess verlagert ist. Die Erfahrungen aus seiner Berufspraxis als Ingenieur kann er beim Eigenbau der Fertigungsanlage erfolgreich einsetzen.



Globusschirm wird ausgeschnitten und gebohrt



Ausrichtung des Hohlspiegels wird gemessen



Laserlicht zeichnet die haarfeinen Linien der Sonnenuhrskala



Geografische Koordinaten werden lasergraviert



Montage des Kopfes, der die Justiermechanik enthält

Er erreicht sein Ziel: die minutengenaue Zeit-
anzeige. Doch das nicht allein, die Sonnenuhr
ist zu einem in Funktion und Design heraus-
ragenden Produkt gereift. Im Mai 2001 star-
tet Carlo Heller die Markteinführung der
Sonnenuhr.

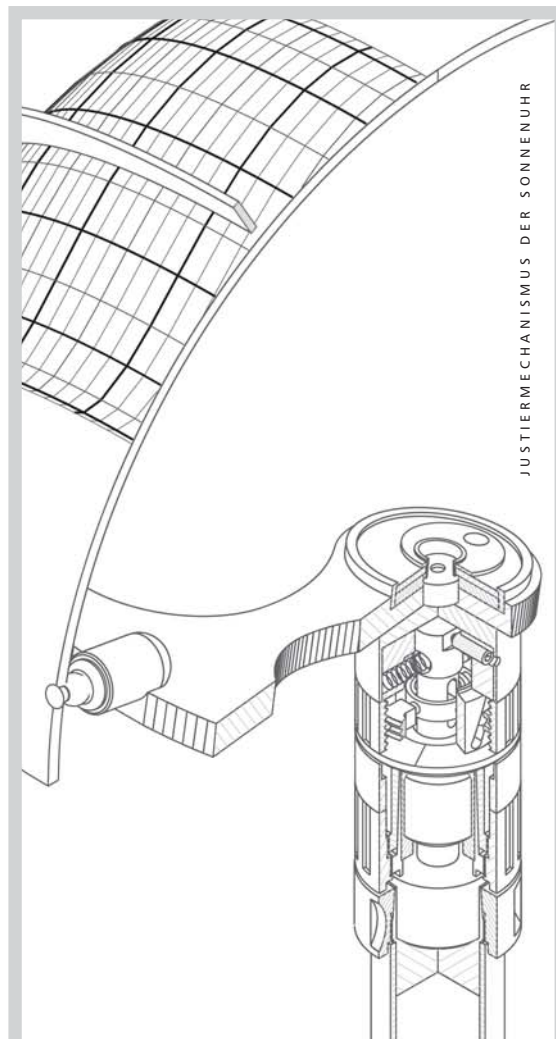
Sie hat einen als Erdglobus geformten
Anzeigeschirm. Das speziell konstruierte
Spritzgussteil aus witterungsbeständigem
Acrylglas wird mit einem Laser so zugeschnit-
ten und gebohrt, dass der Globus für den
vom Kunden gewünschten Aufstellungsort
ausgerichtet ist. Das bedeutet, dass der auf
der Sonnenuhr eingezeichnete Aufstellungs-
ort in der Meridianebene liegt und der von
der Sonne erzeugte Lichtpunkt die Zenit-
position der Sonne auf dem Globus immer
korrekt anzeigt.

Auch die Zeit- und Datumsskala wird für den
Aufstellungsort gefertigt. In ihre Berechnung
gehen die von Helios ermittelten geografi-
schen Koordinaten, die für jeden Zeitpunkt
im Jahr berechnete Position der Sonne und
die Daten der in der Anlage präzise vermes-
senen Sonnenuhr ein. Ein Markierungs-Laser
zeichnet die haarfeinen, weißen Linien der
insgesamt aus 220.000 Datenpunkten beste-
henden Skala. Dabei bewirkt das unsichtbare
Licht des Lasers den dauerhaften Farbum-
schlag im Acrylglas.

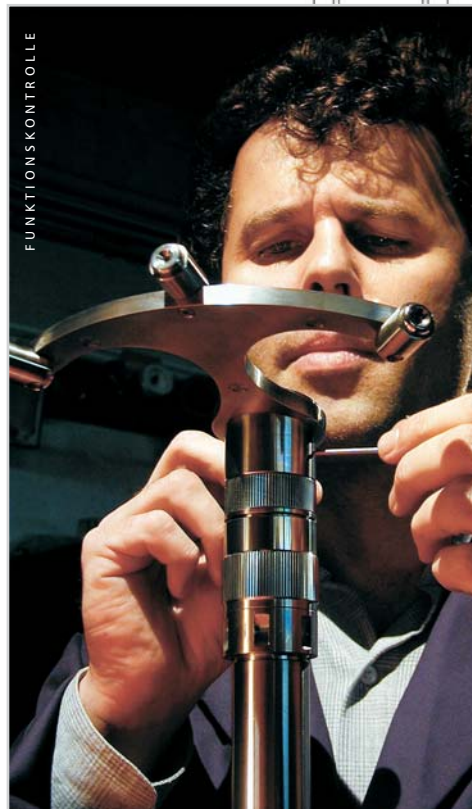
Die Sonnenuhr kann vom Kunden in einfa-
cher Weise am vorgesehenen Standort aufge-
stellt und justiert werden. Die Justierung ist
nur einmalig nötig und wird in zwei Schritten
durchgeführt: die Einstellung der eingebau-
ten Wasserwaage, mit der die Uhr zur Hori-
zontebene ausgerichtet wird, und das Stellen
der Uhrzeit nach einer genau gehenden Uhr.
Abschließend wird die Justierung fixiert und
die Sonnenuhr geht auf Dauer genau.

Die Einstellmechanik ist im Kopf unterge-
bracht, der auch Spiegel und Wasserwaage
enthält. Ein Kugelgelenk kann sowohl für die
Horizontierung geschwenkt als auch mit
einem Untersetzungsgetriebe für die Uhrzeit-
einstellung um die senkrecht ausgerichtete
Hochachse gedreht werden. Die abschließen-
de Klemmung erfolgt über ein Rechts-Links-
Gewinde, das das Kugelgelenk momentenfrei
über eine konische Hülse in der Lage fixiert.

Keine Zeitgleichungstabelle, keine Korrektur-
skala und kein manuell betätigter Schwenk-
ring sind notwendig, um Zeit, Datum und die
Sonnenwanderung über dem Globus direkt
und eindeutig anzuzeigen. Die von Carlo
Heller entwickelte Sonnenuhr bietet durch ihr
außergewöhnliches Funktionsprinzip mehr als
jede andere Bauart des jahrtausendalten
Zeitmessers.



JUSTIERMECHANISMUS DER SONNENUHR



FUNKTIONSKONTROLLE