

Die Aalener Sonnenuhr

Gebrauchsanleitung



We make it visible.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	1
1. Einsatz Ihrer Aalener Sonnenuhr	2
2. Erläuterung der Bauteile	4
3. Grundeinstellungen	5
4. Anwendungsbereiche	6
4.1 Bestimmung der Himmelsrichtungen	6
4.2 Bestimmung der Uhrzeit	7
4.3 Sonnenstandbestimmung	8
4.4 Venus- und Mondverfolgung und weitere Versuche	9
5. Erfahrungen mit der Sonnenuhr	14

Vorwort

Dankeschön, dass Sie sich zum Kauf dieser Aalener Sonnenuhr entschieden haben. Auf den folgenden Seiten werden Sie Schritt für Schritt mit der Bedienung der Sonnenuhr vertraut gemacht, wobei Sie deren vielfältigen Anwendungsgebiete kennenlernen werden. Die Ihnen vorliegende Sonnenuhr wurde nach Ideen von Hermann Zeuner entwickelt. Der Gymnasialprofessor a.D. ist zugleich auch Fachberater für Mathematik, Physik und Astronomie an einem Aalender Gymnasium und Ehrenmitglied der Astronomischen Arbeitsgemeinschaft Aalen e.V. Bei der Realisierung der Sonnenuhr waren ehemalige Aalener Abiturienten als auch Studentengruppen der Hochschule für Technik und Wirtschaft in Aalen beteiligt. Daraus ergibt sich auch der Name „Aalener Sonnenuhr“. Ihre endgültige

Gestalt erhielt die Sonnenuhr in der Berufsausbildung der Firma Carl Zeiss in Oberkochen.



Bitte lesen Sie die Gebrauchsanweisung sorgfältig durch und beachten Sie deren Hinweise.

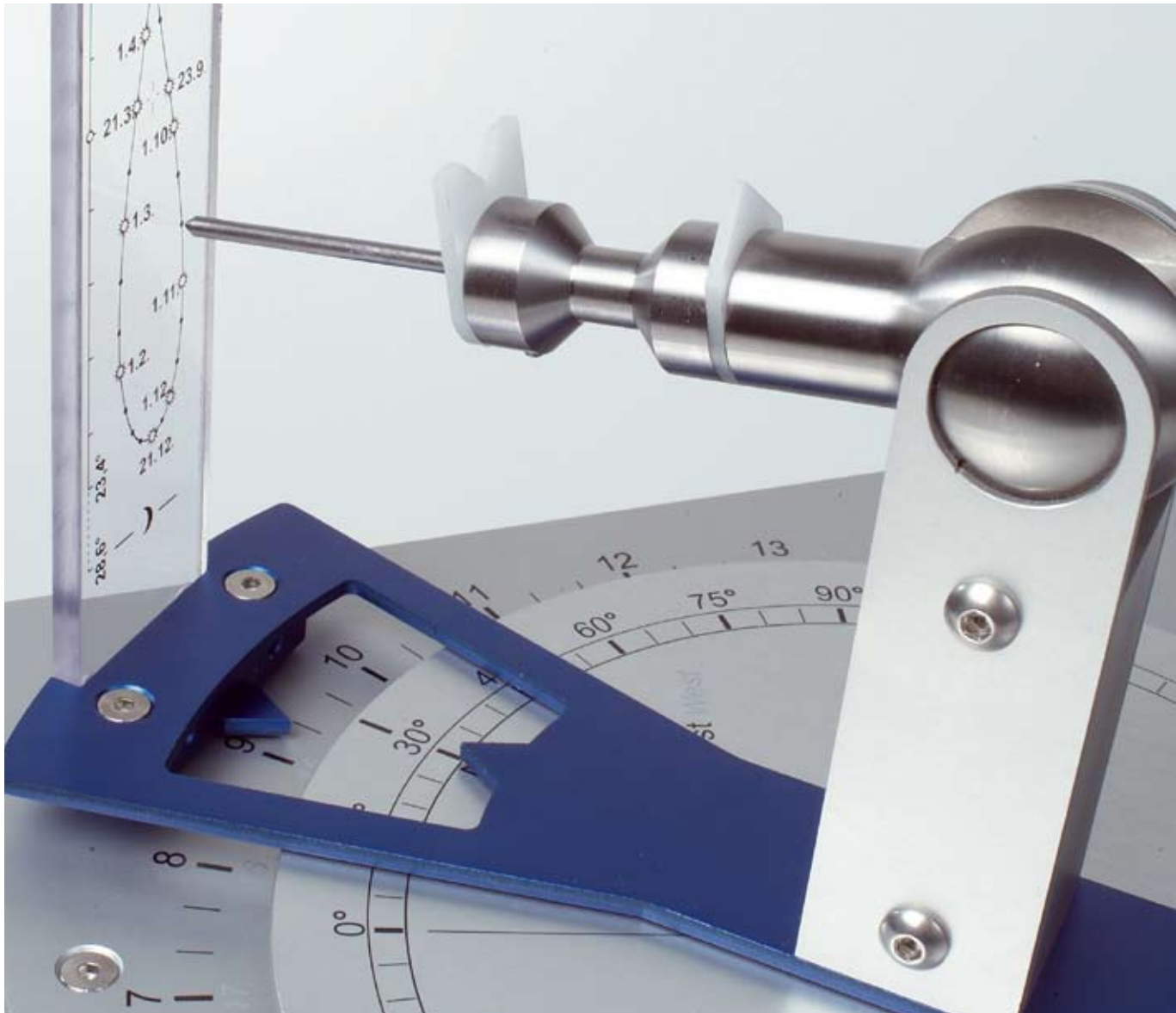


Beim Gebrauch der Sonnenuhr müssen Sie es unbedingt vermeiden in die Sonne zu schauen. Dies könnte sonst zum Verlust des Augenlichts führen.



Bitte bewahren Sie diese Gebrauchsanweisung gut auf.

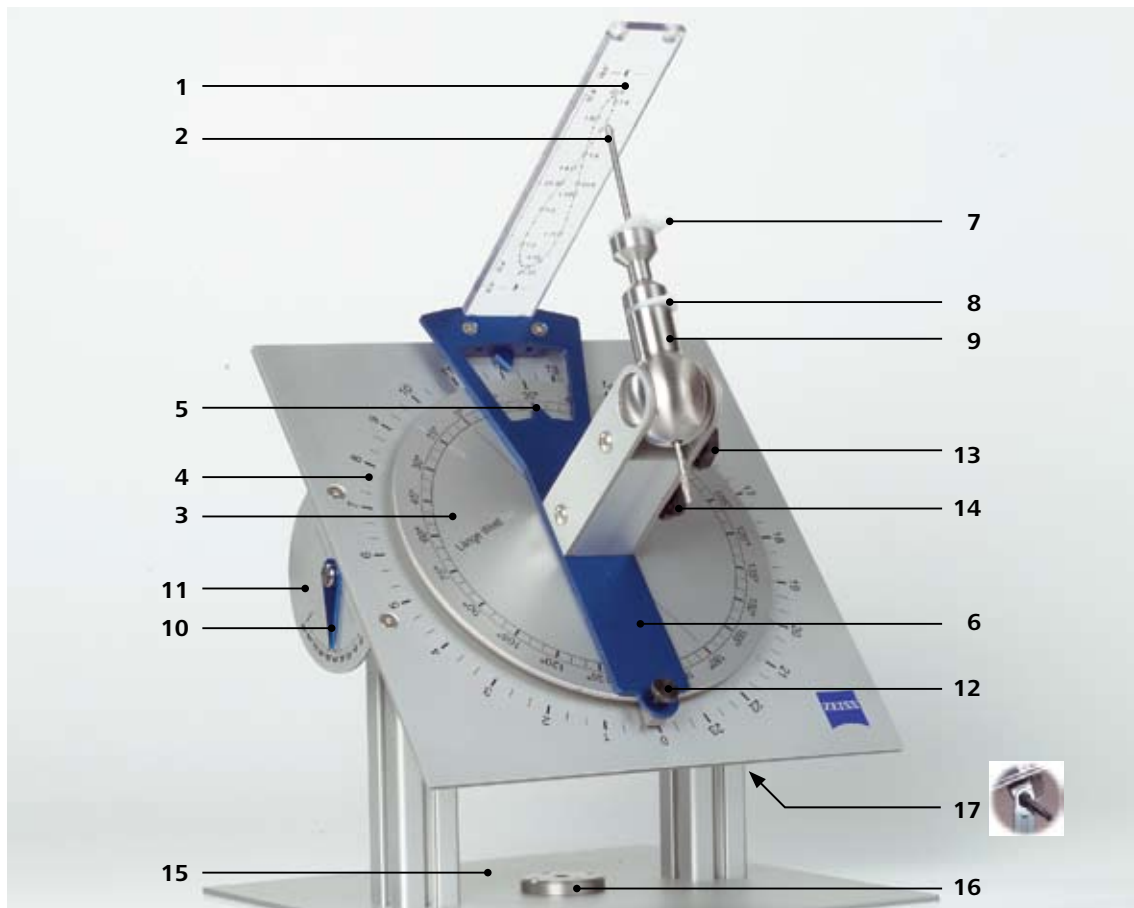
1. Einsatz Ihrer Aalener Sonnenuhr



Die Aalener Sonnenuhr ist ortsunabhängig und kann daher zu jeder Zeit an jedem beliebigen Ort verwendet werden. Aufgrund dieser Mobilität ist es notwendig für den realen oder gedachten Ort, an dem man die Sonnenuhr verwenden will, bestimmte Größen wie geografische Länge und Breite sowie die Nordrichtung einzustellen.

Die Sonne selbst muss aber nicht unbedingt scheinen. (Mehr ab Seite 6.)

2. Erläuterung der Bauteile



	Bezeichnung	Funktion
1	Analemma Kurve	Einstellen des Datums
2	Sonnwärtszeiger (SWZ)	Zeiger zur Bestimmung des Sonnenstandes
3	Zeigerscheibe	Skala für geografische Länge
4	Zifferblatt	24-Stundenskala für mittlere Ortszeit
5	Stellstrahl mit Pfeil	Zum Einstellen der geografischen Länge des Aufstellungsortes, zugleich „MOZ –Zeiger“
6	blauer Stellzeiger	Verbindung Sonnwärtszeiger und Analemma Kurve
7	Kimme	Teil der Visiereinrichtung des Sonnwärtszeigers
8	Korn	Teil der Visiereinrichtung des SWZ
9	Gelenkgabel	Gelenk für SWZ
10	BreitENZEIGER	Zum Einstellen der geografischen Breite des Aufstellungsortes
11	Breitenskala	Skala für geografische Breite
12	Rändelmutter	Zur Fixierung des blauen Stellzeigers
13	Feststellschraube 1	Zur Fixierung des Kugelgelenkes
14	Feststellschraube 2	Zur Fixierung des Uhrwerks
15	Quadratische Grundplatte	Grundplatte mit aufgedruckten Himmelsrichtungen
16	Stativgewinde	Zur Montierung auf einem Stativ
17	Feststellhebel	Zur Fixierung der Breitereinstellung

3. Grundeinstellungen

3.1 Grundlegend zu beachten

Stellen Sie vor Benutzung der Sonnenuhr fest, ob sich der Aufstellungsort auf der Nord- oder Südhalbkugel der Erde befindet. Für die Einstellung der geografischen Breite und Länge, der Himmelsrichtungen und für das Ablesen der Uhrzeiten gelten

- 1** für Aufstellungsorte auf der nördlichen Halbkugel die schwarzen Zahlen und Bezeichnungen
- 2** für Aufstellungsorte auf der südlichen Halbkugel die grauen Zahlen, Bezeichnungen und Pfeilrichtungen.
- 3** Die Breitenskala gilt sowohl für die nördliche als auch die südliche Halbkugel. Bei Verwendung auf der Südhalbkugel muss der Träger der Analemmakurve vom Stellzeiger abgeschraubt, umgedreht und dann so befestigt werden, dass statt dem „21.6.“ (dünnere Teil der Kurve) der „21.12.“ (dickere Teil der Kurve) nach oben zeigt. Beachten Sie deshalb beim Wiederanschrauben die richtige Lage der Senklöcher im Kurventräger.

Stellen Sie die Aalener Sonnenuhr stets auf eine waagrechte Unterlage.

3.2 Verschiedene Grundeinstellungen für alle Anwendungen

1 Ausrichtung der Sonnenuhr in Nord-Südrichtung

Drehen Sie die Sonnenuhr solange, bis der auf der Grundplatte aufgebrachte Pfeil nach Norden zeigt. Das gilt für die Nord- und Südhalbkugel gleichermaßen.

Das Feststellen der tatsächlichen Himmelsrichtungen gelingt mit Hilfe der Sonnenuhr selbst (siehe Punkt Himmelsrichtungen) oder mit einem Kompass.

2 Geografische Breite

Um die geografische Breite einzustellen, lockern Sie

den Verstellhebel unterhalb vom Ziffernblatt. Dann schwenken Sie es bis der Breitenzeiger auf die gewünschte Breite zeigt. Ziehen Sie nun den Verstellhebel wieder fest.

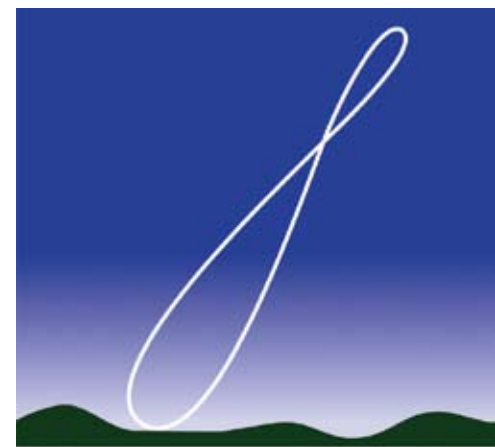
3 Geografische Länge

Zur Einstellung fixieren Sie das Uhrwerk durch Festdrehen der Feststellschraube 2. Lockern Sie anschließend die Rändelmutter am Stellzeiger. Dann drehen Sie die Zeigerscheibe bis die gewünschte Länge beim Stellstrahl steht. Ziehen Sie nun die Rändelmutter wieder fest. Die Feststellschraube 2 kann wieder gelockert werden. Am Stellstrahl können Sie dann immer die mittlere Ortszeit (MOZ) für den eigenen Ort ablesen.

4 Datum

Stellen Sie das aktuelle Datum (Tag, Monat) ein, indem Sie es bei der Analemmakurve des Kurventrägers mit der Spitze des Sonnwärtszeigers SWZ anvisieren.

Die Genauigkeit der Einstellung können Sie durch Ausfahren der Spitze des SWZ optimieren.



Einzelne Punkte der 8-förmigen Analemmakurve erhält man, wenn man mit geeignetem Filter die Sonne bei feststehender Kamera auf das selbe Stück Film durch ein ganzes Jahr hindurch immer wieder bei der gleichen mittleren Ortszeit (MOZ) fotografiert.

4. Anwendungsbereiche

4.1 Bestimmung der Nord-Südrichtung ohne Kompass

➔ Diese Bestimmung ist nur bei Sonnenschein möglich

Bekannt sein müssen die dazugehörige Grundeinstellung
Geografische Breite des Aufstellungsortes	Siehe 3.2.1
Geografische Länge des Aufstellungsortes	Siehe 3.2.2
Aktuelles Datum und Uhrzeit	Siehe 3.2.4

Nachdem die in der Tabelle aufgelisteten Grundeinstellungen durchgeführt wurden, sind noch folgende Schritte zu unternehmen: Stellen Sie die momentane Uhrzeit (nach Ablesen von einer mechanischen oder digitalen Uhr) auf dem Zifferblatt ein.

Achtung: Auf der Zeigerscheibe Ihrer Sonnenuhr sind außerhalb der Längenteilung 2 Zeiger für Zonenzeiten angebracht; nämlich bei 15 Grad östlicher Länge für MEZ (mitteleuropäische Zeit) und bei 30 Grad östlicher Länge für MESZ (mitteleuropäische Sommerzeit). Befindet sich der Aufstellungsort in einem mitteleuropäischen Land, ist beim Vergleich mit der Uhr, die Sie bei sich tragen, nicht die MOZ beim Stellstrahl maßgebend, sondern einer der beiden Zeiger auf der Zeigerscheibe für die Zonenzeiten.
... für die mitteleuropäische Zeit (nachfolgend bezeichnet als MEZ)
... bzw. die mitteleuropäische Sommerzeit (nachfolgend bezeichnet als MESZ)

Würden Sie die Sonnenuhr an einem anderen Ort der Erde, z.B. in New York zur Bestimmung der Nord-Südrichtung benutzen wollen, so wäre dort die Eastern-Standard-Time (EST) die Zonenzeit, das ist die MOZ für die geografische Länge 75 Grad West.

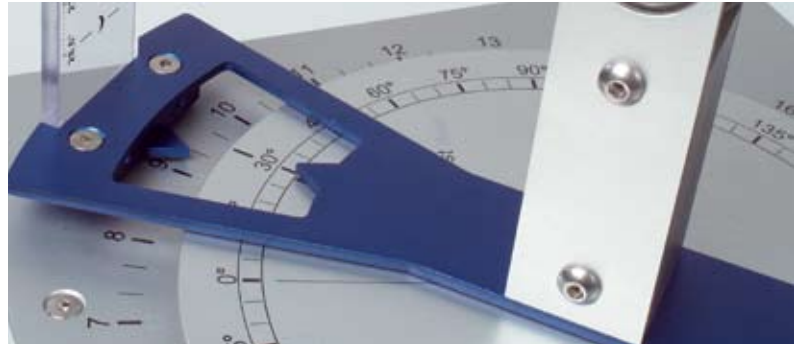
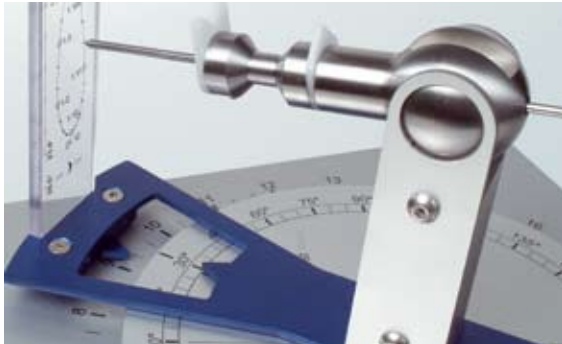
Hierfür können Sie einen zusätzlichen Zeiger auf der Zeigerscheibe anbringen.

Richten Sie die Spitze des SWZ auf das aktuelle Datum auf der Analemmakurve. Dann drehen Sie die gesamte Sonnenuhr solange, bis diese Spitze zur Sonne zeigt. Hierbei bietet die Visiereinrichtung mit Kimme und Korn eine Hilfe: Wenn nämlich die Richtung stimmt, entsteht auf dem „Dach“ des Kornes ein kleines beleuchtetes Quadrat, während der Rest des Kornes im Schatten der Kimme bleibt. Die Seitenlänge für das Quadrat entspricht der halben Dachlänge des Kornes.

Die Richtungszeiger auf der Grundplatte zeigen jetzt, entsprechend der Kennzeichnung, die Nord-Südrichtung an (schwarz auf der nördlichen und grau auf der südlichen Erdhälfte).

Tipp

Für die künftige Benutzung der Sonnenuhr am selben Ort ist es empfehlenswert, die Umrisse der Grundplatte sowie die festgestellten Himmelsrichtungen dort entsprechend zu kennzeichnen.



4.2 Bestimmung der Uhrzeit

Bekannt sein müssen dazugehörige Grundeinstellungen
Nord-Südrichtung am Aufstellungsort	Siehe 3.2.1
Geografische Breite des Aufstellungsortes	Siehe 3.2.2
Geografische Länge des Aufstellungsortes	Siehe 3.2.3
Datum des Aufstellungszeitpunktes	Siehe 3.2.4

Nachdem die in der Tabelle aufgelisteten Grundeinstellungen durchgeführt wurden, ist folgendermaßen fortzufahren:

Lockern Sie vorübergehend die Feststellschraube 2 und drehen Sie dann das Uhrwerk solange, bis der SWZ zur Sonne zeigt. Hierbei bietet die aus Kimme und Korn bestehende Visiereinrichtung eine Hilfe, da auf der Spitze des Korns das kleine beleuchtete Quadrat entsteht, während der Rest des Korns im Schatten der Kimme bleibt.

Dieser Zustand wird als exakte Messsituation bezeichnet. Auf dem Zifferblatt lässt sich nun beim Stelstrahl bzw. einem Zeigerstrahl die momentane Uhrzeit ablesen.

Achtung: Wird die Sonnenuhr in einem mitteleuropäischen Land aufgestellt, ist es die Anwendung der MOZ auf einem Stelstrahl nicht nötig, sondern es kann gleich ein Zeigerstrahl auf der Zeigerscheibe verwendet werden.

- ... für die MEZ
- ... bzw. die MESZ

Ablesen gleichzeitig bestehender Uhrzeiten verschiedener Orte weltweit:

1. Voraussetzung hierfür ist der eben erläuterte „exakte Messsituation“ genannte Zustand am Aufstellungsort (siehe 4.1).
2. Außerdem müssen folgende Kenntnisse über die Lage des fremden Ortes vorliegen:
 - Liegt der Aufstellungsort auf westlicher oder östlicher geografischer Länge?
 - Liegt der Aufstellungsort auf der nördlichen oder südlichen Erdhälfte?
 - Verwenden Sie die entsprechende Hälfte der Zeigerscheibe und berücksichtigen Sie die Farbe für die Erdhälfte des Aufstellungsorts.
 - Welche geografische Länge hat die Zonenzeit des betreffenden Ortes?
 - Denken Sie sich nun einen Zeigerstrahl bei der geografischen Länge der Zonenzeit für diesen Ort und lesen Sie auf dem Zifferblatt die gesuchte Uhrzeit ab.

4. Anwendungsbereiche



4.3 Sonnenstandbestimmung

Was ist das?

Der Sonnwärtszeiger SWZ zeigt dorthin, wo die Strahlen von der Sonne herkommen und auf dem Erdboden ankommen. Mit dem so ermittelten Sonnenstand lässt sich die Sonnenscheindauer bestimmen.

Derartige Untersuchungen können im Alltag allerlei Anwendung finden. Beispielsweise für die geplante Anbringung von Solaranlagen, die Wahl des richtigen Bauplatzes oder einfach für die Planung eines Festes im Freien. Aber auch bei der Rekonstruktion eines Verkehrsunfalls kann die Sonnenuhr eingesetzt werden: so kann man beispielsweise ermitteln, ob ein am Verkehrsunfall beteiligter Autofahrer von der Sonne geblendet wurde.

Nach dem Einstellen eines Datums (siehe 3.2.4) auf der Analemmakurve dreht man das Uhrwerk. An-

schließend lässt sich mit dem Sonnwärtszeiger der Lauf der Sonne am Himmel für das eingestellte Datum verfolgen.

Das Uhrwerk wird solange gedreht, bis sich der gedachten verlängerten Richtung des SWZ ein Objekt in den Weg stellt. Dann wissen Sie, dass beim eingestellten Datum zu der jetzt abgelesenen Uhrzeit der Aufstellungsort schattig ist, obwohl an diesem Tag die Sonne scheint.

Achtung: Befindet sich der Aufstellungsort in einem mitteleuropäischen Land, ist nicht die MOZ auf dem Stellstrahl abzulesen, sondern bei einem der auf der Zeigerscheibe aufgedruckten Zonenzeitzeiger ... die MEZ oder die MESZ.

Dieser Vorgang lässt sich beliebig oft für unterschiedliche Daten, Zeitpunkte und Zeiträume wiederholen.

Bekannt muss sein dazugehörige Grundeinstellungen
Himmelsrichtungen des Aufstellungsortes	Siehe 3.2.1
Geografische Breite des Aufstellungsortes	Siehe 3.2.2
Geografische Länge des Aufstellungsortes	Siehe 3.2.3

So geht man vor:
Wenn 3.2.1, 3.2.2 und 3.2.3 stimmt, stellt man SWZ

gemäß 3.2.4 auf das Datum auf der Analemmakurve.
Dann dreht man das Uhrwerk.

4.4 Venus und Mondverfolgung am Taghimmel

Bekannt muss sein dazugehörige Grundeinstellungen
Himmelsrichtungen des Aufstellungsortes	Siehe 3.2.1
Breitengrad des Aufstellungsortes	Siehe 3.2.2
Längengrad des Aufstellungsortes	Siehe 3.2.3

Es ist sinnvoll, die Sonnenuhr auf einem Stativ zu befestigen. Nachdem die in der Tabelle aufgelisteten Grundeinstellungen durchgeführt wurden, sind nun noch folgende Schritte vorzunehmen: Als Voraussetzung für die Verfolgung der Laufbahn der Venus oder des Mondes müssen diese zuerst am Himmel ausgemacht werden. Die Venus ist oftmals morgens hoch am Osthimmel zu sehen, schon bevor die Sonne aufgeht.

Wenn dies der Fall ist, empfiehlt es sich nach Ablesen von einer mechanischen oder digitalen Uhr das Uhrwerk zuerst auf diese momentane Uhrzeit einzustellen. Drehen Sie also an der Analemmauhr bis der entsprechenden Zonenzeitzeiger die Zeit Ihrer Uhr anzeigt.

Achtung: Befindet sich der Aufstellungsort der Sonnenuhr in einem mitteleuropäischen Land, ist nicht die MOZ auf dem Stellstrahl abzulesen, sondern bei einem der auf der Zeigerscheibe aufgedruckten Zonenzeitzeiger ...
die MEZ oder
die MESZ.

Fixieren Sie das Uhrwerk mit der Feststellschraube 2. Funktionieren Sie dann den SWZ zum Planetwärts-Zeiger um. Dies erreichen Sie, indem Sie die Feststellschraube 1 lockern und den SWZ drehen, um über Korn und Kimme zur Venus bzw. zum Mond zu zielen (sicher am Kurventräger vorbei!). Diese Zeigerstellung wird nicht verändert, wenn nach dem Einstellen späterer Uhrzeiten beim Zielen über Korn und Kimme der Planet immer wieder am Himmel gesucht wird. So lässt

sich seine Laufbahn am Himmel für diesen Tag verfolgen. An den darauffolgenden Tagen wird Venus wieder morgens am Osthimmel aufgehen und weiter am Taghimmel zu verfolgen sein. Der Planet Venus ist in dieser Zeit „Morgenstern“. Beachten Sie, dass Venus dabei immer westlich von der Sonne ist. Ein halbes Venusjahr später ist Venus sicher östlich von der Sonne und deshalb als „Abendstern“ am westlichen Himmel zu sehen. Dann stellt man die Analemmauhr auf die betreffende Uhrzeit und zielt mit dem SWZ (jetzt wieder Planetwärts-Zeiger) über Korn und Kimme zur Venus und kann sie bis zum Untergang verfolgen. (Dazu würden Sie SWZ gar nicht benötigen, da der Himmel noch dunkler wird). Mit der gleichen Zeigereinstellung für SWZ können Sie die Venus an den folgenden Tagen schon um einiges früher als am Abend suchen und mit der etwas veränderten Uhrzeit wieder verfolgen, wenn Sie Venus gefunden haben. (Mit den Planeten Jupiter oder Merkur ist vielleicht Vergleichbares möglich).

Ähnliches ist auch mit dem Mond zu machen, wenn Sie ihn gelegentlich am Tag sehen. Aber wenn Sie seine Bewegung mit Uhr und SWZ verfolgen, bleibt er beim Nachführen mit Hilfe der Uhrzeit bald hinter dem Zeiger zurück. Am nächsten Tag ist die Verspätung schon fast 1 Stunde. Wenn Sie dies berücksichtigen, können Sie ihn am hellen Tag auch wieder finden trotz Sonnenschein.

Achtung:
Beim Zielen über Korn und Kimme darf der Planetwärts-Zeiger nicht zur Sonne am Himmel gerichtet sein.

4. Anwendungsbereiche

Lieber Freund dieser Aalener Sonnenuhr!

Es ist Samstagvormittag und Sie sitzen bei einer frisch aufgebrühten Tasse Kaffee in ihrem Garten. Vor sich auf dem Tisch haben Sie Ihre neu erworbene Sonnenuhr stehen. Am Gartenzaun zum Nachbargrundstück taucht Ihr Nachbar auf und entdeckt natürlich sofort Ihren Neuerwerb. Auf seine Frage hin, um was es sich bei diesem Stück handelt, teilen Sie ihm mit, es handle sich um eine Sonnenuhr, mit deren Hilfe man (im Gegensatz zu normalen Sonnenuhren) mittlere Zeiten bestimmt. „Gewöhnliche“ Sonnenuhren können nur die wahre Sonnenzeit zeigen, was meistens der Ortszeit entspricht. Beides passt nicht zu der Zeit, welche Ihre Armbanduhr anzeigt. Anschließend zeigen Sie ihm die Analemmakurve mit den Datumsangaben. Schnell versteht er, dass der Juni deshalb ganz oben steht, weil für die nördliche Hälfte der Erde um 12 Uhr mittags die Sonne am höchsten steht. Die „missratene“ 8-Kurve ist für ihn anfangs etwas verwirrend, aber es leuchtet ihm ein, dass diese Form u.a. daher rührt, dass die Erdachse schräg steht und die Geschwindigkeit der Erde für die nördliche Erdhälfte bei ihrem Umlauf um die Sonne im Winterhalbjahr etwas größer ist als im Sommer. – Jetzt stellen Sie für den Nachbar die Spitze des SWZ auf das Zentrum von ♁ in der Mitte der Analemmakurve. ♁ steht für die mittlere Sonne, die unabhängig vom Datum für die ganze Erde immer um 6.00 Uhr MOZ genau im Osten auf- und um 18.00 Uhr MOZ im Westen untergeht. Diese Bewegung im Uhrzeigersinn darf der Nachbar mit Ihrer Sonnenuhr ausführen. ♁ steht am Mittag im Süden am höchsten. Nun erklären Sie ihm, dass man für die Südhalbkugel nicht nur die Kurvenplatte um 180° drehen muss, sondern auch die ganze Sonnenuhr. Deshalb ist ♁ mittags im Norden am weitesten vom Horizont entfernt. Der Lauf der Sonne geht für die südliche Erdhälfte von Ost über Nord nach West im Gegenuhrzeigersinn. Entsprechendes gilt dort für alle Gestirne.

Ihr Nachbar fragt: „Brauchen Sie denn keinen Kompass, um die Südrichtung ganz genau zu bestimmen?“ – Als Antwort fragen Sie nach der Zeit, die seine Uhr

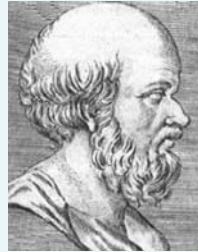


Die weltweit mögliche Zeitmessung ist eigentlich nur eine der Anwendungen, welche diese Sonnenuhr bietet. Viel interessanter ist es, dass man bei jeder Gelegenheit die Tageslaufbahn der Sonne in Abhängigkeit von Datum und geografischer Breite ermitteln kann. Wenn wir wieder unser Beispiel nehmen ist heute der 12. April und es ist inzwischen 12.30 MESZ. Der Nachbar soll zeigen, wo hier die Sonne am Himmel stehen würde, wenn der eigene Standort am Nordpol wäre. – Für ihn kein Problem, er schwenkt das Zifferblatt, damit der Breitenzeiger $90^\circ N$ anzeigt. Das Zifferblatt ist waagrecht und der SWZ zeigt die im Lauf des Tages praktisch konstante Höhe von etwa 9° (geschätzt an der Skala neben der Analemmakurve) über dem Horizont. – Bei welcher geografischen Breite ist heute am 12. April erstmals Mitternachtssonne? Wenn Sie dem Nachbar mit der Bemerkung helfen, dass Sonnenaufgang dort genau im Nordpunkt sein muss, zielt er mit dem SWZ genau nach N, schwenkt das Zifferblatt so, dass der SWZ waagrecht ist und liest an der Breitenskala den Wert ab. Anschließend zeigt er die insgesamt oberhalb vom Horizont verlaufende Tagesbahn. Interessant ist die Höhe im Vergleich mit dem umgebenden eigenen Horizont!

jetzt zeigt. Diese Zeit, vielleicht 11.35 Uhr MESZ darf er mit dem MESZ-Zeiger am Ziffernblatt einstellen, dazu das heutige Datum, mit der Spitze des SWZ, z.B. 12. April an der Analemmakurve. Anschließend soll er Ihre auf der waagrechten Tischfläche stehende Sonnenuhr drehen bis das kleine Quadrat auf dem Korn erscheint. Damit hat er die Sonnenuhr für die Zeitmessung richtig aufgestellt und kann ihre Anwendung gleich erproben. Er sucht also entlang der heutigen Sonnenlaufbahn Hindernisse (Bäume, Dächer, Hauswände), wo die Sonne verschwinden oder hervorkommen kann. Diese Zeiten werden für die spätere Überprüfung heute oder näherungsweise auch an den folgenden Tagen notiert. – Sie diskutieren gleich gemeinsam das Thema Genauigkeit unter einigen Aspekten wie „Unterscheidung des auf dem Korn des SWZ beleuchteten kleinen Quadrats von einem kleinen Rechteck“ oder „wie genau läßt sich die Nord-südrichtung einstellen und die geografische Länge“, wobei 1° Längenunterschied 4 Minuten für die Zeitmessung bedeutet. Er wird überrascht sein, wenn Sie sagen, dass eine „5 Minuten-Genauigkeit“ auf Anhieb möglich ist. Die Zeitdauer zwischen 2 Ereignissen kann noch genauer ermittelt werden.

Ihr Nachbar soll nun verschiedene Tagesbahnen kennen lernen für die nördliche Sonnenwende am 21.Juni.

Am Nordpol verläuft an diesem Tag die waagrechte Bahn $23,5^\circ$ hoch. Das übertrifft die Höhe eines 8 m hohen benachbarten Hauses, das 20 m von Ihrem Gartentisch entfernt ist. Am nördlichen Polarkreis leuchtet an diesem Tag die Mitternachtssonne. Speziell bei $66,5^\circ$ N (am nördlichen Wendekreis) zum ersten und zugleich zum letzten Mal, nämlich Sonnenaufgang um 0,00 Uhr WOZ im N, Kulmination um 12.00 Uhr WOZ, 47° hoch im S und Sonnenuntergang um 24 Uhr MOZ, wiederum im N. Nun geht die Reise von Nord nach Süd: An diesem Tag der nördlichen Sommersonnenwende nimmt die Taglänge stetig ab, von 24 Stunden in der Polarregion auf genau 12 Stunden am Äquator. Das kann der Nachbar schrittweise erkennen und bestätigen. Er kippt das Zifferblatt ab $66,5^\circ$ zu immer

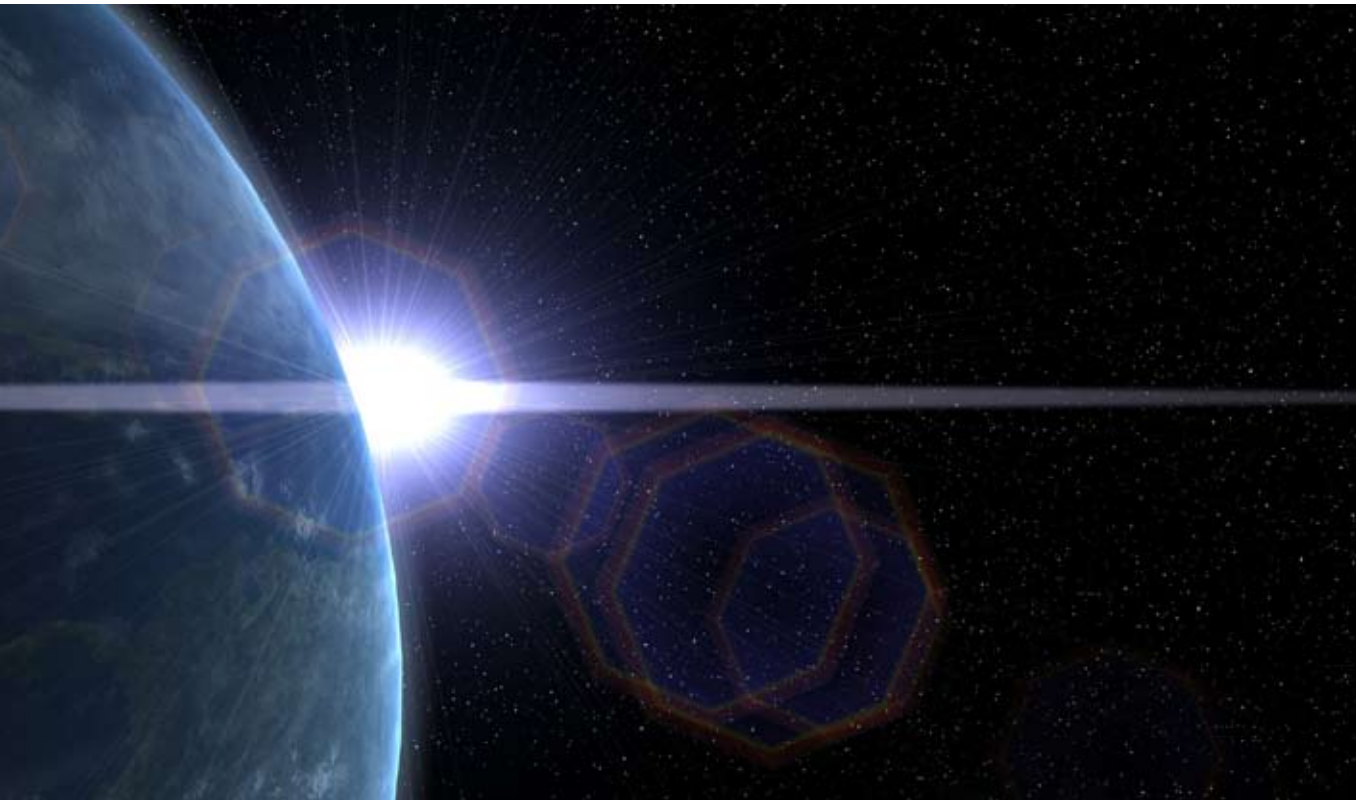


Der Höchststand der Sonne zur Zeit der Sommersonnenwende war auch wichtig für die frühe Bestimmung des Umfangs der Erde durch den griechischen

Gelehrten Eratosthenes (ca. 276 – 195 v.Chr.). Er wusste, dass in Syrene (heute Assuan $23,5^\circ$ N) die Sonne sich bei ihrem Höchststand im Wasser eines senkrechten Brunnen-schachtes spiegelt, während im $7,2^\circ$ weiter nördlichen Alexandria zur gleichen Zeit ein „Gnomon“, d.h. ein senkrechter Schattenstab auf dem waagrechten Boden einen messbaren nach Norden gerichteten Schatten erzeugte. Ihr Nachbar kann bei $23,5^\circ$ N den SWZ in „Richtung Zenit“ stellen und mit einer Taschenlampe „Sonnenstrahlen“ in den Schacht schicken und $7,2^\circ$ weiter nördlich mit SWZ den Schatten erzeugen, aus dem der Unterschied der geografischen Breite folgt. Die zu $7,2^\circ$ Längenunterschied gehörige Wegstrecke war ja bekannt.

kleineren geografischen Breiten, dreht den SWZ jeweils in die Waagrechte für Sonnenaufgang und dann für Sonnenuntergang und ermittelt so die Laufzeit der Sonne oberhalb des Horizontes. Am Äquator selbst, d.h. bei der Breite 0° ist der Sonnenaufgang im Osten um 6.00 Uhr WOZ, die praktisch vertikale Bahn der Sonne erreicht um 12.00 Uhr WOZ den Zenit. Um 18.00 Uhr WOZ ist Sonnenuntergang im Westen. – Bei dieser steilen Laufbahn ist die Sonne 1 Stunde später schon 15° unter dem Horizont. Das erklärt die kurze Dämmerung am Äquator und in der gesamten tropischen Region. Analog dazu ist es verständlich, dass im hohen Norden die Dämmerung nach Sonnenuntergang noch lange andauert, so dass dort im Hochsommer keine Sterne oder Polarlichter zu sehen sind.

4. Anwendungsbereiche



Das Sommerhalbjahr ist ja mit der Sonnenwende nicht zu Ende - es gibt einige interessante Fragen, welche für die Monate bis zum Herbst aufkommen, die aber jeder, der das bisherige verstanden hat, mit Hilfe der Sonnenuhr beantworten kann.

Deshalb nur noch als letztes Datum für die nördliche Erdhälfte: 23.09. – Der Nachbar hat rasch den SWZ auf das neue Datum gestellt und sofort 6.00 Uhr WOZ für den Sonnenaufgang und 18.00 Uhr WOZ für den Sonnenuntergang ermittelt. Das Ergebnis wundert ihn nicht, denn er weiß aus seiner Schulzeit noch, dass am 23.09. Tag-und-Nacht-Gleiche ist. Er versteht auch, warum die Sonnenuhr dieses Ergebnis liefern muss, denn die Sonnenwenden am 23.09 und 21.03. sowie die mittlere Sonne \oplus stehen ja neben einander bei der Analemmakurve. (Sie haben dieselbe Deklination gegenüber dem (Himmels)äquator sagen die Astronomen.)

Sie verabschieden den Nachbarn, er solle die Sonnenuhr mit nach Hause nehmen und dort ausprobieren,

wie die Tag-und-Nacht-Gleiche bei verschiedenen Breiten vor allem auch in der Polarregion abläuft. Erklären Sie ihm des Weiteren, er könne außerdem im dunklen Raum parallele Strahlen einer hellen Taschenlampe auf einen kleinen Erdglobus mit schräger Erdachse richten und die Schattengrenze betrachten. Er wird herausfinden, dass immer genau die Hälfte der Erdoberfläche beleuchtet ist, wenn die (Sonnen)strahlen auf der Erdkugel ankommen. Für die Verwendung im Süden muss die Sonnenuhr umgebaut werden. Das besorgt Ihr Nachbar zuhause. Er stellt die Uhr am Äquator auf 12.00 Uhr MOZ, blickt von oben auf die Kurvenplatte, schraubt sie ab und nach Drehung um 180° wieder fest. Dabei bleiben alle Senklöcher oben.

Am nächsten Tag stellt er die Sonnenuhr so auf den Gartentisch, dass jetzt N nach Norden zeigt. Bei Zifferblatt und Längenteilung gelten jetzt die kursiven Ziffern. Also sitzt der Nachbar heute gegenüber vom Platz des gestrigen Tages und beschreibt die Laufbahn der Sonne am Äquator so: um 6.00 Uhr WOZ ist Son-

nenaufgang im Osten, aber jetzt rechts. Nach 6 Stunden Drehung im Gegenuhrzeigersinn ist die Sonne um 12.00 Uhr WOZ im Zenit. Um 18.00 Uhr WOZ ist Sonnenuntergang im Westen, aber links am Horizont.

Die Reise geht weiter südwärts. Für die südlichen Breiten besteht praktisch noch Tag-und-Nacht-Gleiche. Ihr Nachbar sagt, für einzelne südliche geografische Breiten bräuchte man das nicht nachprüfen, denn der SWZ zeigt auch heute (wie es am Vortag war) parallel zum Zifferblatt, dann geht überall die Sonne um 6.00 Uhr WOZ im Osten rechts auf und um 18.00 Uhr WOZ links im Westen unter. Am Südpol speziell begann gestern die Beleuchtung durch die Sonne für ein halbes tropisches Jahr. Am Nordpol dagegen bleibt die Sonne jetzt gleich ein halbes Jahr lang unter dem mathematischen Horizont.

Dann erzählt der Nachbar, wie er gestern noch im verdunkelten Zimmer mit der hellen Taschenlampe „waagrechte Sonnenstrahlen“ erzeugt und damit seinen kleinen um die schräge Erdachse drehbaren Globus beleuchtet hat, beide gleich hoch über dem Tisch: „Durch die Strahlen von der Lampe war die halbe Erde, wie erwartet, beleuchtet, aber zunächst gehörte auch die Umgebung vom Nord- oder Südpol dazu. So konnte keine rechte Tag-und-Nacht-Gleiche für die ganze Erde entstehen. Deshalb haben wir den Globus an seinem Fuß gedreht, nicht zu weit, sonst wäre der andere Pol samt Umgebung beleuchtet. Die Schattengrenze musste gleichzeitig durch beide Pole verlaufen. Dann verlief sie weiter auch entlang von dem Längengrad der jeweiligen Schattengrenze, wenn man den Globus zur Darstellung des Tagesablaufs ostwärts um seine Erdachse drehte. Da liefen alle Orte mit gleicher geografischer Länge „morgens“ ostwärts aus dem Schatten heraus und nach einem halben Tag in ihrem Westen wieder in den Schatten hinein.“

Offenbar ist Ihr Nachbar bei seinem gestrigen Experiment nicht allein gewesen! Max, sein jüngster Sohn, hatte assistiert und gute Vorschläge gemacht. Er würde gerne bei Ihnen fragen, ob er gelegentlich Ihre Sonnenuhr ausleihen darf, um sie in seiner Schulklasse

zu zeigen. Auch die unterschiedliche Erscheinung der Mondphasen in verschiedenen Gegenden der Erde wäre ein Thema. „Gell, das Symbol bei der schmalen Schleife gilt für den abnehmenden Mond, das andere für den zunehmenden?“ „Ja, aber nur für die Nordhälfte der Erde. Auf der Südhälfte ist es umgekehrt, wie man sofort nachprüfen kann. Die Kurvenplatte ist ja heute für Süden ausgerichtet. Wenn Sie von 12.00 Uhr MOZ ausgehend die Uhr westwärts Richtung 18.00 Uhr MOZ drehen, ist am Horizont der untergehende Mond bei der schmalen Schleife zunehmend. Gestern hätten Sie auf die andere Seite des Tisches dasselbe Mondsymbol vom Mittag zum Sonnenuntergang ebenfalls westwärts bewegt, das Mondsymbol hätte aber den abnehmenden Mond gezeigt. Nach einer Südafrika- oder Australienreise kamen gelegentlich Besucher in unsere Sternwarte und bestätigten entsprechende Beobachtungen mit den Mondphasen.“ – „Und warum sind diese Symbole ausgerechnet 5° vom Schleifenende entfernt?“ – „Dadurch werden die Grenzen für die Bahnen des Mondes beschrieben, gegenüber den extremen Bahnen der Sonne, die bekanntlich bei den Sonnenwenden bestehen: So kommt bei uns ja im Dezember die Sonne nicht hoch über den Horizont. Aber die Mondbahn kann im ganzen Jahr bis zu 5° tiefer verlaufen. Entsprechendes gilt für die höchsten Bahnen: Die höchste Bahn der Sonne für den Sommer der Nordhälfte ist am 21. Juni. Die Mondbahn verläuft immer wieder noch höher, aber höchstens um 5° !“. – „Dann muss Entsprechendes auch für den Vergleich der extremen Stellen am Horizont gelten, also für Auf- und Untergang von Sonne und Mond.“ – „Schon in vorgeschichtlicher Zeit wurde das mit Sicherheit beobachtet, wie Archäologen aus Steinsetzungen schließen konnten. Die betreffenden Stellen für den eigenen Horizont lassen sich mit dieser Sonnenuhr finden, wenn man das Uhrwerk für die Aufgänge zum östlichen beziehungsweise für die Untergänge zum westlichen Horizont dreht.“

5. Erfahrungen mit der Sonnenuhr



Max hat über längere Zeit die Erlaubnis gehabt, zusammen mit Freunden die Sonnenuhr zu benutzen. Das Team nahm sich vor, auch neue Möglichkeiten der Anwendung zu suchen. Dazu besorgten sie ein robustes Stativ. Damit waren sie viel unterwegs und erforschten an verschiedenen Standorten den Lauf der Sonne am Himmel für verschiedene Zeiten des Jahres. Nur so zum Spaß taten sie dies auch für fremde nördliche und südliche geographische Breiten. Sie prüften und bestätigten die seinerzeit im Nachbargarten ermittelten Ergebnisse. Sie erörterten auch die Auf- und Untergangszeiten am mathematischen Horizont. Diesen realisierten sie durch ein waagrecht gehaltenes Lineal, das sie an die Analemmakurve hielten. Dabei fiel ihnen auf, dass bei vorgegebenem Datum und vorgegebener Uhrzeit meist 2 Schnittpunkte entstehen. Das bedeutet, für diese Uhrzeit gibt es an 2 Tagen verschiedene Auf- und Untergangspunkte. (Dasselbe gilt natürlich auch für den realen Horizont). Beim mathematischen Horizont interessierten noch die Berührungspunkte der Analemmakurve. So fanden sie, dass der früheste Sonnenuntergang in Mitteleuropa nicht am kürzesten Tag des Jahres, sondern schon am 10. Dezember stattfindet. Der späteste Sonnenaufgang ist dann am 1. Januar des nächsten Jahres. Entsprechendes fanden die Hobby-Forscher um Max für den frühesten Sonnenauf- oder Untergang im Juni um die Sommersonnenwende herum heraus. Der Effekt ist allerdings viel geringer, weil die Analemmaschleife beim nördlichen Sommer schmaler ist. Für andere Gegenden der ganzen Erde ergeben sich andere Zeiten im Jahr, und die Forscher erwarten zu Recht, dass für

die Südhälfte der Erde auch in dieser Hinsicht Sommer und Winter vertauscht sind.

Das Thema „Sonnenstand“ am Himmel war interessant für Fahrer jeglicher Fahrzeuge, die auf dem Schulweg oftmals geblendet werden. Die gefährlichen Tageszeiten für einzelne Strecken haben sie vor Ort für das ganze Jahr ermittelt.

Ein Lehrer gab dem Forscherteam immer wieder Gelegenheit vor der eigenen Klasse zu berichten und dabei mit der Sonnenuhr zu spielen. Zum Beispiel so: „Dort wird morgen um 8.15 Uhr die Sonne stehen!“

Dann zeigt einer in die Richtung, die der SWZ zeigt, wenn an der Sonnenuhr Datum und Uhrzeit richtig eingestellt sind, und auch die Nordsüdrichtung schon stimmt. Im andern Fall sagen sie: „Wir machen mit Sonnenschein einen Versuch zur Bestimmung der Nordrichtung für ein neues Datum mit aktueller Uhrzeit, wenn jemand einen Kompass dabei hat.“

Auch im Lehrerzimmer der Schule ist die Sonnenuhr ein Gesprächsthema geworden: So fand ein Fachkollege im Buch „Astronomie in Stein“ von R. Drößler über das „Rondell von Tesetice“ (Tesetice-Kyjovice, Südmähren, ehemals Znaim) heraus, dass dort sechs waagrechte Visierlinien zu solchen Auf- oder Untergangspunkten am Horizont zielen, die bei der höchsten oder tiefsten Bahn der Sonne und den zugehörigen höchsten und tiefsten Bahnen des Mondes am Horizont entstehen. Das erfuhr natürlich auch Max, erzählte es seinem

Gartennachbar und ergänzte: „Das müssen doch die Punkte sein, über die am 2. Abend in Ihrem Garten ganz zum Schluss gesprochen wurde!“ Der Nachbar bestätigte es und ergänzte: „Beim Rondell wurden auch 4 Eingänge nachgewiesen. Diese legten die 4 Haupthimmelsrichtungen zur damaligen Zeit fest. Die Nordrichtung ist seither nach Dröbüler auf Grund der Präzession des Frühlingspunktes \wedge um $9,9^\circ$ nach Westen verschoben. Also ist dieses Rondell vor rund 6500 Jahren entstanden. Was es mit der Präzession auf sich hat, danach fragt Ihr Euren Physiklehrer. Er soll Euch mit dem Experimentierkreisel das Nötige zeigen.“ Der Lehrer freut sich, dass er wieder einmal Kreiselversuche machen kann. Für den Physiklehrplan ist der Kreisel leider heutzutage nicht wichtig, für die Astronomie hingegen schon. So entsteht prompt an der Schule eine Jahrgänge übergreifende AG „Astronomie mit Physik“ für Sternfreunde. Der Kreisel ist das erste Thema. Zunächst der kräftefreie Kreisel: Die Richtung seiner Rotationsachse bleibt konstant erhalten. Anwendung die „rotierende Erde“. Max trägt den Kreisel in einer rechteckigen Umlaufbahn um die gedachte „Sonne“, beginnend und endend beim Frühlingspunkt \wedge . Dort steht die Erde am 23.09.- (Die Sonne wäre dann um Mitternacht in der Richtung zu sehen, wo die Erde am 21.03. ist). Die kreisförmige Umlaufbahn im Zimmer beginnt im Osten beim Ort für den 23.09., führt nordwärts zum Ort bei der Wintersonnenwende am 21.12., weiter zur Umkehr im Westen am 21.03., dann zum südlichen Wendepunkt am 21.06. und schließlich zum Ausgangspunkt \wedge zurück. Die schräg stehende Kreiselachse zeigte dauernd in die gleiche Richtung.

Jetzt wird der Experimentierkreisel systematisch betrachtet.

a) Bei diesem Versuch bestand statisch indifferentes Gleichgewicht, bei dem die Kreiselspitze gleich hoch war wie der Schwerpunkt des gesamten Kreisels. So ergab sich die konstante Richtung für die Rotationsachse.

b) Beim labilen Gleichgewicht ist der Schwerpunkt des Kreisels höher als die Kreiselspitze. Das kippende Drehmoment bewirkt für den rotierenden Kreisel eine

Präzessionsbewegung, bei der das freie Ende der Kreiselachse eine Kreisbahn beschreibt.

c) Beim stabilen Gleichgewicht ist der Schwerpunkt tiefer als die Spitze. Das Drehmoment ist also gegenüber (b) entgegengesetzt, ebenso der Drehsinn für die Präzessionsbewegung. Dieser Fall (c) ist in zweierlei Hinsicht astronomisch interessant:

c.1) Die Erde mit Äquatorwulst erfährt kippende Drehmomente u.a. durch den Mond und die Sonne. Dadurch entsteht die Präzession für die Erdachse und damit auch das Fortschreiten für den Frühlingspunkt \wedge . Die volle Umlaufbahn verläuft in den rund 26000 Jahren eines Platonischen Jahres. So lässt sich heute beim Rondell von Tesetice auf das Alter schließen aus der Veränderung der Himmelsrichtungen für die Eingänge gegenüber damals.

c.2) Auch die Erde mit ihrem Mond kann als Kreisel verstanden werden. Die Periode für den Präzessionsumlauf beträgt 18 Jahre und $11 \frac{1}{3}$ Tage (Saroszyklus). Der Mond bewegt sich dabei mit der Amplitude 5° gegenüber der Himmelsäquatorebene zweimal pro Monat auf- und abwärts. Im Lauf eines drakonitischen Monats von 27,1 Tagen durchquert er deshalb die Äquatorebene je einmal im aufsteigenden und absteigenden Knoten. Finsternisse sind bekanntlich nur bei Voll- oder Neumond möglich; zugleich müssen Sonne und Mond hinreichend nahe beim Knoten sein. Aus diesen Werten und Feststellungen lassen sich folgende Beobachtungen verstehen:

Knapp zwei Wochen vor oder nach einer bei uns sichtbaren Mondfinsternis fand oder findet irgendwo auf der Erde wahrscheinlich eine Sonnenfinsternis statt. Erst knapp $\frac{1}{2}$ Jahr später können sich wieder irgendwo auf der Erde Finsternisse ergeben. Wer astronomische Jahrbücher sammelt, kann bestätigen, dass Finsternisse sich im Takt von 18 Jahren und $11 \frac{1}{3}$ Tagen wiederholen, auf der Erdoberfläche um $\frac{1}{3}$ Erddrehung verschoben. Nach 54 Jahren und 34 Tagen entfällt diese Verschiebung auf der Erdoberfläche einigermaßen. Für Schüler ist es reizvoll, diese Feststellungen am Computer mit einem Astronomieprogramm zu bestätigen oder im Detail zu ergänzen.



Carl Zeiss AG
Juniorenfirma
Carl-Zeiss-Straße 22
73447 Oberkochen

Tel.: +49 (0) 73 64 20 - 3043
Fax: +49 (0) 73 64 20 - 4568
cz_juniorenfirma@zeiss.de