

Was leistet die Sonnenscheibe ?

Mithilfe dieses Instrumentes kann der Benutzer für jeden Ort auf der Welt und für jeden Tag des Jahres den Zeitpunkt des Sonnenaufgangs und des Sonnenuntergangs berechnen. In den meisten Fällen ist die Abweichung zu den Angaben eines Astronomieprogrammes oder den Daten des Astronomischen Instituts der Universität Bern kleiner als drei Minuten. Die Daten von

http://www.aiub.unibe.ch/content/services/sunrise_and_sunset/index_ger.html

waren übrigens die Grundlage für die Berechnung der Sonnenscheibe. Es ist uns kein Analogrechner bekannt, der Ähnliches leistet.

Warum sind denn die Zeiten nicht jedes Jahr dieselben ?

Die stärksten Schwankungen rühren daher, dass das Jahr nicht in eine ganze Anzahl von Tagen aufgeteilt werden kann. Daher rutschen astronomisch klar definierte, jährlich wiederkehrende Ereignisse wie z.B. die Frühlings-Tagundnachtgleiche im Kalender herum. Der astronomische Frühlingsbeginn kann auf den 20. oder auf den 21. März fallen, in ganz seltenen Fällen sogar auf den 19. März ! Die Kurven auf der Sonnenscheibe sind daher nach einem mittleren Jahr gerechnet, also nicht nach einem Schaltjahr oder einem Jahr, welches einem Schaltjahr direkt vorangeht. Die Fehler, die sich daraus ergeben, sind unbedeutend für Beobachtungsorte nahe beim Äquator, sie können aber in hohen Breiten grösser werden als 3 Minuten.

Es gibt maximal 5 Korrekturen, die dafür sorgen, dass die Sonne nicht an jedem Tag um 06:00 auf- und um 18:00 untergeht. Zwei davon sind auf die (willkürliche) Einteilung der Welt in Zeitzonen sowie auf die geographische Länge des Beobachtungsortes innerhalb seiner Zeitzone zurückzuführen. Die entsprechenden Korrekturwerte sind einfach zu ermitteln, die Sonnenscheibe braucht man dazu noch nicht. Zusammen liefern die beiden Korrekturen die Differenz der bürgerlichen Normalzeit (BüNZ) zur mittleren Ortszeit (MOZ) des Beobachtungsortes.

1. Die Sommerzeit

Willkürlich werden alle Uhren zum Beispiel vom letzten Märzsonntag bis zum letzten Oktobersonntag um 1 Stunde vorgestellt. Dadurch geht die Sonne beispielsweise statt um 04:25 erst um 05:25 auf, und statt um 19:30 geht sie erst um 20:30 unter.

Wir müssen sowohl zur Aufgangs- als auch zur Untergangszeit eine Stunde addieren!

2. Die Zonenlage

Würden wir in Prag auf 15 Grad östlicher Länge wohnen, so wären Zonenzeit (MEZ für mitteleuropäische Zeit) und mittlere Ortszeit (MOZ) identisch. In Frauenfeld auf 9 Grad östlicher Länge haben wir dieselbe Zeit wie in Prag, aber die Erde muss sich 6 Grad weiterdrehen, bis die Sonne bei uns im Süden steht !

Die Erde dreht sich in 24 h um 360°, in einer Stunde also um 15° und in 4 Minuten um 1°. Liegt der Beobachtungsort wie Frauenfeld 6° westlich vom Referenz-Längengrad seiner Zeitzone, so müssen also morgens wie abends 6·4 Minuten addiert werden. Je westlicher wir in unserer Zeitzone liegen, umso grösser ist die Korrektur. Am Atlantik bei Santiago de Compostela macht das schon eine 'Verspätung' von 96 Minuten aus ! Liegen wir östlich vom Referenzmeridian, so müssen pro Längengrad natürlich 4 Minuten subtrahiert werden. Auf der letzten Seite dieser Anleitung findet sich eine Karte mit den Zeitzonen der Erde.

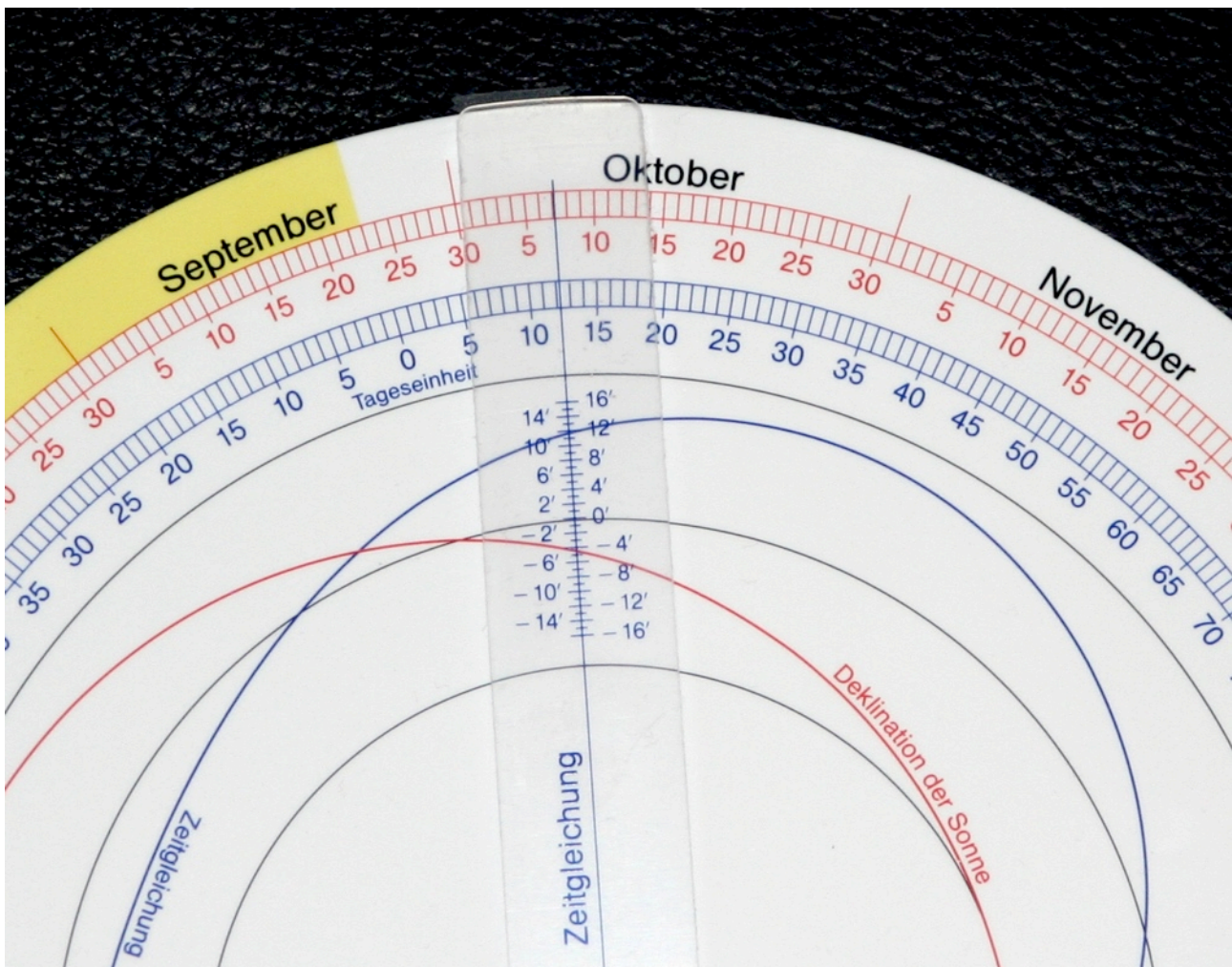
Die ersten beiden Korrekturen reflektieren also einfach die Zuordnung des Beobachtungsortes zu einer Zeitzone und seine Lage innerhalb derselben. Technisch gesprochen bestimmen wir die Differenz MOZ - BüNZ. In Frauenfeld macht das während der Sommerzeit 1h 24 min aus, die Sonne steht also erst etwa um 13:24 im Süden. Aber auch das stimmt noch nicht ganz, wir sollten noch die nächste Korrektur berücksichtigen, die sogenannte *Zeitgleichung*. Und da brauchen wir erstmals unsere Sonnenscheibe.

3. Die Zeitgleichung

Die Tage der Zonenzeit und auch diejenigen der *mittleren* Ortszeit sind alle gleich lang. Tatsächlich variiert aber die Dauer eines Sonnentages etwas, und diese kleinen Änderungen können sich bis zu 16 Minuten aufsummieren. Diese Differenz der *wahren* Ortszeit (WOZ) zur *mittleren* Ortszeit (MOZ) hat den altherwürdigen Namen "Zeitgleichung". Nur im Mittel ist die wahre Ortszeit (WOZ) identisch mit der mittleren Ortszeit, die Abweichungen in beiden Richtungen gleichen sich über ein Jahr hinweg aus. Geht die 'wahre Sonne' der 'mittleren Sonne' voraus, so finden eben der Sonnenaufgang und auch der Sonnenuntergang um die entsprechende Anzahl Minuten früher statt.

Diese unterschiedlichen Tageslängen haben zwei Gründe: Zum einen die unterschiedliche Geschwindigkeit der Erde auf ihrer elliptischen Bahn um die Sonne, und zum anderen die Tatsache, dass die Erdachse nicht senkrecht steht auf der Erdbahn.

Den Korrekturwert für die Zeitgleichung (WOZ - MOZ) lesen Sie für jedes Datum im Jahr auf der blauen Skala des Zeigers beim Schnittpunkt mit der blauen Kurve ab. Sowohl die Skala als auch die Kurve sind mit "Zeitgleichung" beschriftet. Stellen wir den Zeiger z.B. auf den 7. Oktober ein, so lesen wir ab, dass die Sonne dann ziemlich genau 12 Minuten *früher* statt auf die mittlere Ortszeit. Sonnenaufgang und Sonnenuntergang finden also 12 Minuten *früher* statt als es bei einem gleichmässigen Lauf der Sonne um die Erde (resp. der Erde um die Sonne) zu erwarten wäre. Wir müssen morgens wie abends 12 Minuten subtrahieren.



4. Datum und geographische Breite

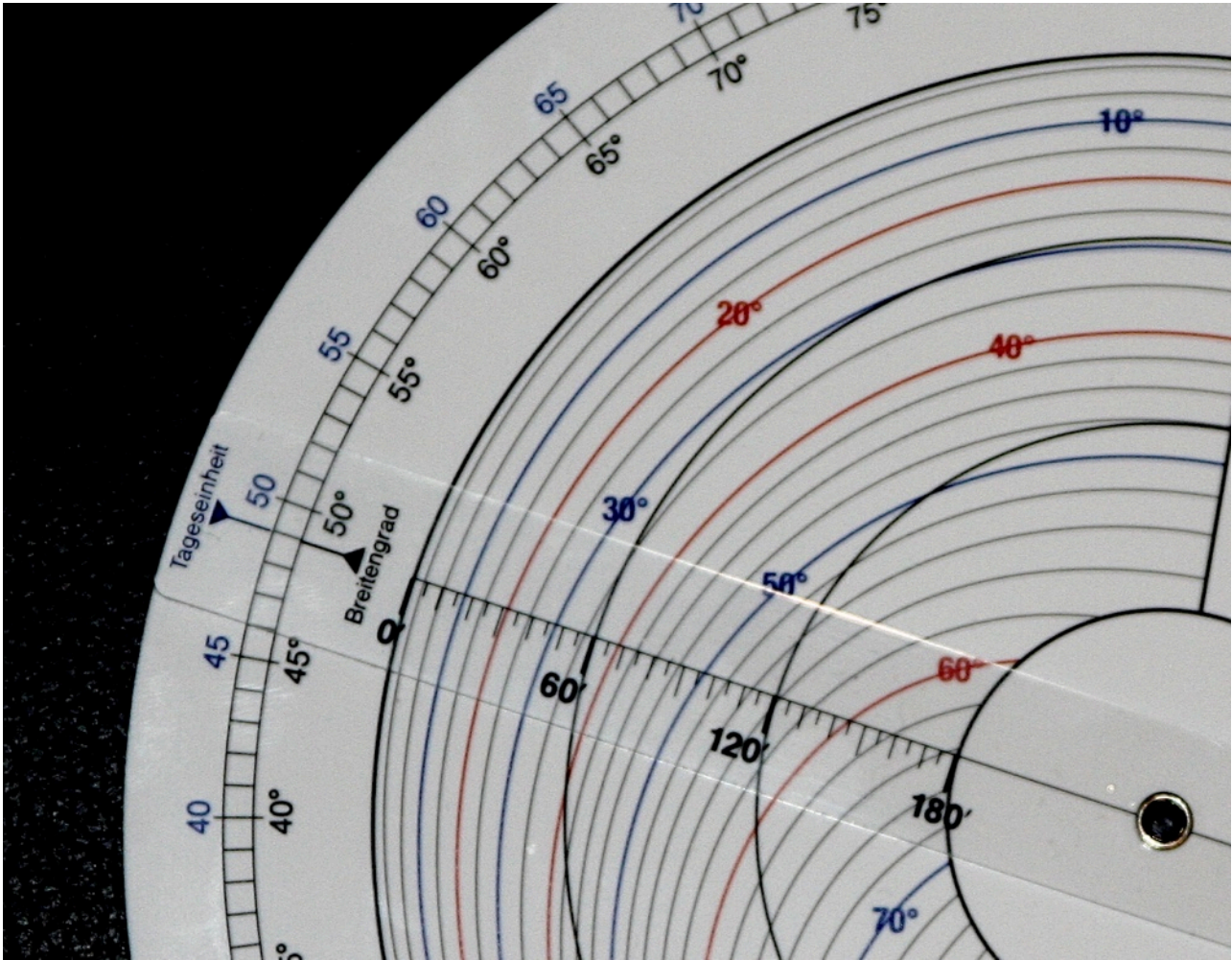
Den grössten Einfluss auf den Zeitpunkt des Sonnenauf- und Untergangs haben natürlich die Jahreszeit und der Breitengrad, auf welchem das Phänomen beobachtet wird. Im Nordsommer sind die Nächte umso kürzer, je näher das Datum beim 21. Juni liegt und je grösser die geographische Breite des Beobachtungsortes ist. Der Effekt kann so gross sein, dass die Sonne gar nicht mehr untergeht und daher in diesen Tagen auch nicht mehr aufgehen kann: Wir sehen dort die berühmte Mitternachtssonne. Im Winter kann es entsprechend Nächte geben, die sehr lang sind, oder die Sonne zeigt sich tagelang gar nicht mehr. Die Sonnenscheibe erlaubt es, die Stärke dieses Effekts für jeden Tag im Jahr und jeden Ort auf der Erde, der mehr als einige Breitengrade von den Polen weg liegt, recht genau abzulesen.

Betrachten wir das gelb unterlegte **Sommerhalbjahr**, das ja etwa vom 21. März bis zum 23. September dauert (in einem Schaltjahr kann das Frühlingsäquinoktium auch auf den 20. März fallen). Auf der inneren blauen Skala startet dort eine Zählung von "Tageseinheiten". Diese laufen von 0 bis 90 (90 wird am 'längsten Tag' erreicht) und dann wieder zurück bis 0. An den Tagen mit dem blauen Wert 29 (also am 22. April und am 22. August) sind der Einfluss des Datums genau gleich gross, durch die gleichmässig geteilte blaue Skala konnten wir eine gewisse Symmetrie in die Tabelle bringen, welche die direkte Tageszählung nicht aufweist, da eben die wahren Sonnentage nach 3. unterschiedlich lang sind. So ist übrigens das Sommerhalbjahr insgesamt fast 8 Tage länger als das Winterhalbjahr (was natürlich nur für die Bewohner der Nordhalbkugel gilt ...).

Dank dieser blauen Skala mit den Tageseinheiten konnten wir das Jahr künstlich in 4 Viertel teilen, die sich symmetrisch verhalten, was mit der gewöhnlichen Tageszählung nicht zu erzielen wäre. Stellen wir also den Zeiger auf das gewünschte Datum (wir wählen den 13. Mai) und lesen die zugehörige blaue Tageseinheit ab. Im Beispiel liefert das 49, wie das folgende Bild zeigt:



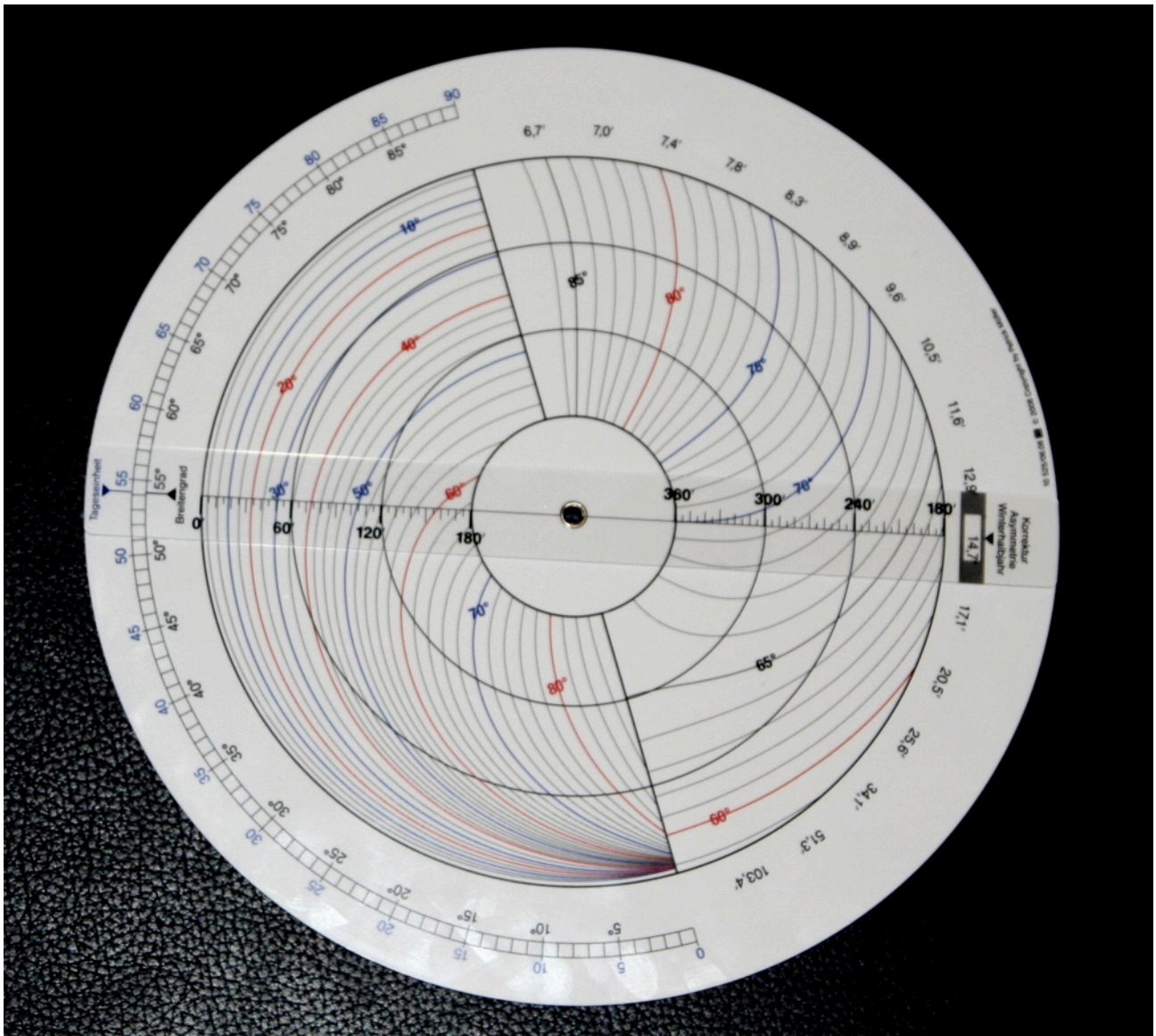
Der Betrag der Korrektur hängt aber nicht nur von dieser Tageseinheit ab, sondern auch noch vom Breitengrad des Beobachtungsortes. Um diesen Einfluss zu ermitteln drehen wir nun die Sonnenscheibe um und stellen den Zeiger mit der blauen Markierung Tageseinheit auf die Marke 49 der äusseren blauen Skala. Dann suchen wir die zum Breitengrad passende spiralförmige Kurve im Innern der Scheibe. Nehmen wir z.B. die graue Linie ausserhalb der mit 50° beschrifteten blauen Kurve. Diese entspricht einem Breitengrad von 47.5° (wir sehen, dass der Bereich zwischen 40° und 50° durch 3 Kurven in 4 Abschnitte geteilt wird, welche daher einer Schrittweite von 2.5° entsprechen):



Die graue Kurve zum Breitengrad 47.5 schneidet den Zeiger (der immer noch auf die blaue Marke 49 zeigt) etwa bei einem Wert von 88 Minuten. Das bedeutet, dass die Sonne an diesem Tag auf dieser Breite 88 Minuten *vor* 06:00 aufgeht und 88 Minuten *nach* 18:00 untergeht, der Tag also 196 Minuten länger ist als 12 Stunden (die anderen Korrekturen 1 - 3 kommen natürlich noch hinzu).

Im **Winterhalbjahr** geht die Sonne an den Tagen mit der Tageseinheit 49 (also am 14. November und am 29. Januar) um diese 88 Minuten *später* auf als um 06:00, und um ebendiese 88 Minuten auch *früher* unter als um 18:00 ! Dazu kommen dann wieder die Korrekturen 1 - 3, und zudem muss im Winterhalbjahr noch die *Winterkorrektur* vorgenommen werden, welche im nächsten Abschnitt behandelt wird.

Die Korrektur für das Datum und den Breitengrad kann maximal 6 Stunden = 360 Minuten betragen: Geht die Sonne um mehr als 6 Stunden früher auf als 06:00 und um mehr als 6 Stunden später unter als um 18:00, dann geht sie eben gar nicht mehr auf und unter, sondern steht den ganzen Tag am Himmel. Wann das wo der Fall ist kann ebenfalls aus der Sonnenscheibe herausgelesen werden: Auf 70° nördlicher Breite erreicht die Kurve bei der Tageseinheit 54 den Korrekturwert 360 Minuten (blaue Kurve zur Breite von 70° mit dem Korrekturwert 360' des Zeigers zur Deckung bringen und gegenüber die zugehörige Tageseinheit ablesen). Zur Tageseinheit 54 gehören im Sommer die Daten 18. Mai und 27. Juli. Auf 70° nördlicher Breite geht die Sonne also vom 18. Mai bis zum 27. Juli nie mehr ganz unter ! Die zugehörige Einstellung sehen Sie auf der folgenden Seite:



Die Marke mit 360' liegt auf dem innersten Kreis und ist mit der Kurve zu 70° zur Deckung gebracht worden. Die ersten drei Stunden 'Verfrühung' oder 'Verspätung' liest man also auf der linken Hälfte der Scheibe ab, Werte von 180' bis 360', welche nur in hohen Breiten erreicht werden, liegen in der rechten Hälfte. Der Wert 180' taucht dabei sowohl links am innersten Kreis als auch rechts am äussersten auf, die beiden Stellen müssen sich also bei jedem Breitengrad gegenüberliegen. Die zugehörigen Kalenderdaten zur Tageseinheit 54 müssen Sie natürlich wieder auf der Vorderseite der Sonnenscheibe ablesen.

Nun kommt noch die letzte der 5 Korrekturen, die wir allerdings nur im Winterhalbjahr vornehmen müssen. Beachten Sie aber, dass alle möglichen Kombinationen vorkommen: Tage im Winterhalbjahr **mit** Sommerzeit z.B. anfangs Oktober, Tage im Winterhalbjahr **ohne** Sommerzeit, Tage im Sommerhalbjahr **mit** Sommerzeit und auch noch einige wenige Tage nach dem 20. März im Sommerhalbjahr **ohne** Sommerzeit. Die Sommerzeit braucht auch nicht immer gleich wie in Mitteleuropa geregelt zu sein, da muss man sich für jeden Ort kundig machen.

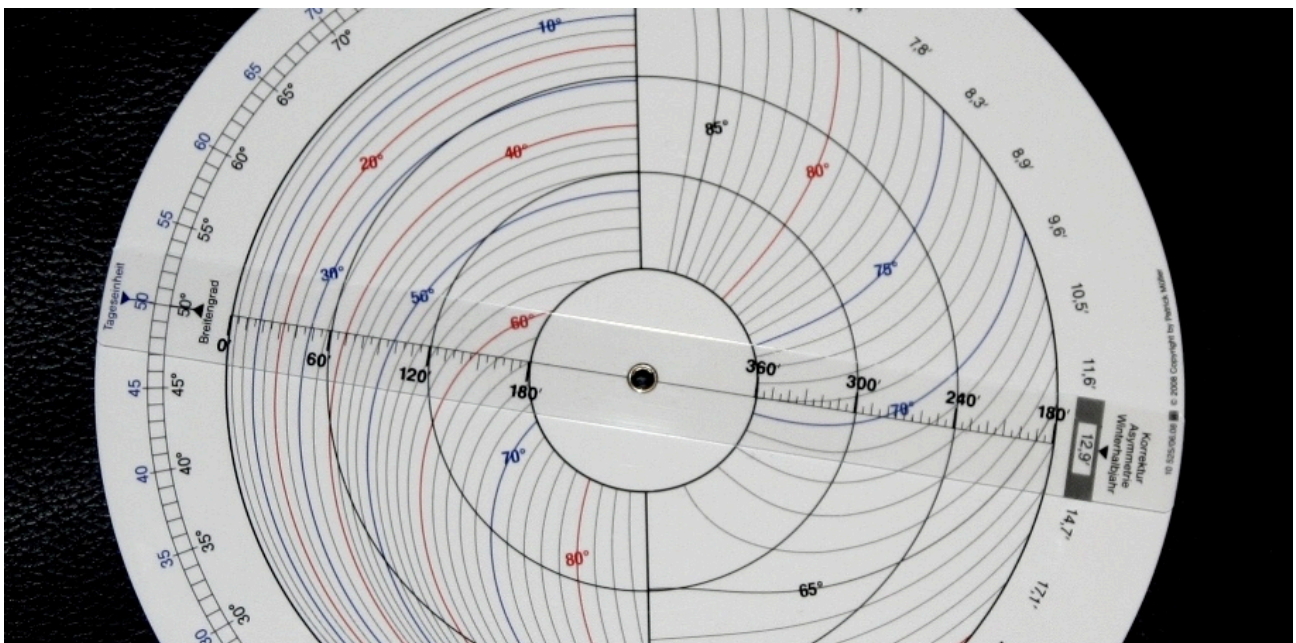
5. Die Winterkorrektur

Würde man den Zeitpunkt des Sonnenaufgangs so definieren, dass die *Mitte* der Sonne gerade im mathematischen Horizont liegen soll, so wären die Effekte nach Punkt vier symmetrisch bezüglich Sommer- und Winterhalbjahr: Wäre der Sonnenaufgang 20 Tageseinheiten vor dem Herbstäquinoktium bei einer bestimmten geographischen Breite beispielsweise 32 Minuten *vor* 06:00, so wäre er mit dieser Definition 20 Tageseinheiten *nach* dem Äquinoktium gerade 32 Minuten *nach* 06:00.

Nun meint man aber mit 'Sonnenaufgang' eher den Moment, in welchem der erste Sonnenstrahl über den Horizont ins Auge des Beobachters gelangt. Die Sonne selber hat einen Winkeldurchmesser von 30 Bogenminuten. Wegen der *Brechung der Lichtstrahlen in der Atmosphäre* sehen wir aber den ersten Strahl schon, wenn die Mitte der Sonne noch 50 Bogenminuten unterhalb des Horizontes liegt! 15 Bogenminuten liefert der Radius der Sonnenscheibe, die anderen 35 Bogenminuten stammen von der Brechung. Diese ist übrigens auch dafür verantwortlich, dass das Bild der Sonnenscheibe in Horizontnähe stark von der Kreisform abweicht. Sonnenaufgang ist also dann, wenn die Sonnenmitte etwa 50 Bogenminuten unter dem mathematischen Horizont steht! Je flacher die Sonne beim Aufgang die Horizontlinie schneidet, umso stärker verschiebt sich durch diesen Einfluss der Zeitpunkt des ersten Lichtstrahls. Am Äquator macht das nicht viel aus, je grösser der Breitengrad aber ist, umso stärker ist der Effekt.

Die Kurven der Sonnenscheibe sind nun so gerechnet, dass der Effekt im Sommerhalbjahr mit 4. schon berücksichtigt ist. Dann ist also keine weitere Korrektur erforderlich. Aber auch im Winterhalbjahr sorgt die Brechung für *längere* Tage (frühere Aufgänge und spätere Untergänge), die Werte von 4. müssen also im Winterhalbjahr noch um eine 'Winterkorrektur' ergänzt werden, deren Wert allein vom Breitengrad des Beobachtungsortes abhängt. Dieser Wert gibt die Zeit an, welche die Sonnenmitte auf jener Breite braucht, um von 50 Bogenminuten unterhalb bis auf 50 Bogenminuten über dem Horizont aufzusteigen. Am Äquator sind das nur etwa 6.7 Minuten, auf einer Breite von 60° macht das aber schon mehr als 17 Minuten aus.

Die Rückseite der Sonnenscheibe offeriert in Schritten von 5° Korrekturwerte; für Breiten, die dazwischen liegen, muss der Wert interpoliert werden. Stellen Sie den Zeiger mit der schwarzen Marke "Breitengrad" beispielsweise auf 50° und lesen Sie dann im Fenster am gegenüberliegenden Ende des Zeigers den zugehörigen Korrekturwert ab (im Beispiel sind das 12.9 Minuten). Bei einer Breite von 47° müssten Sie einen passenden Wert zwischen 11.6 und 12.9 Minuten nehmen, also etwa 12 Minuten. Dieser Wert muss am Morgen subtrahiert und am Abend addiert werden.



Es folgt nun eine Reihe von Beispielen.

1. Sonnenaufgang für	Frauenfeld, 9° Ost und 47.5° Nord	am 8. Mai	
	Start	06:00	
	Sommerzeit + 60'	07:00	
	Zonenlage + 24'	07:24	6-4 min
	Zeitgleichung - 4'	07:20	Sonne geht 3-4' vor
	Datum & Breite - 82'	05:58	Tageseinheit 44.2
	Winterkorrektur keine	05:58	MESZ
2. Sonnenuntergang für	Frauenfeld, 9° Ost und 47.5° Nord	am 1. August	
	Start	18:00	
	Sommerzeit + 60'	19:00	
	Zonenlage + 24'	19:24	6-4 min
	Zeitgleichung + 6'	19:30	Sonne geht 6' nach
	Datum & Breite + 91'	21:01	Tageseinheit 51
	Winterkorrektur keine	21:01	MESZ
3. Sonnenaufgang für	Frauenfeld, 9° Ost und 47.5° Nord	am 10. Oktober	
	Start	06:00	
	Sommerzeit + 60'	07:00	
	Zonenlage + 24'	07:24	6-4 min
	Zeitgleichung - 13'	07:11	Sonne geht 13' vor
	Datum & Breite + 35'	07:46	Tageseinheit 15
	Winterkorrektur - 12'	07:34	MESZ
4. Sonnenuntergang für	Frauenfeld, 9° Ost und 47.5° Nord	am 15. Dezember	
	Start	18:00	
	Sommerzeit keine	18:00	
	Zonenlage + 24'	18:24	6-4 min
	Zeitgleichung - 4'	18:20	Sonne geht 4' vor
	Datum & Breite - 118'	16:22	Tageseinheit 83 (!)
	Winterkorrektur + 12'	16:34	MEZ
5. Sonnenaufgang für	Frauenfeld, 9° Ost und 47.5° Nord	am 20. Januar	
	Start	06:00	
	Sommerzeit keine	06:00	
	Zonenlage + 24'	06:24	6-4 min
	Zeitgleichung + 11'	06:33	Sonne geht 11' nach
	Datum & Breite + 104'	08:17	Tageseinheit 61.5
	Winterkorrektur - 12'	08:05	MEZ
6. Sonnenuntergang für	Frauenfeld, 9° Ost und 47.5° Nord	am 15. Februar	
	Start	18:00	
	Sommerzeit keine	18:00	
	Zonenlage + 24'	18:24	6-4 min
	Zeitgleichung + 14'	18:38	Sonne geht 14' nach
	Datum & Breite - 62'	17:36	Tageseinheit 32
	Winterkorrektur + 12'	17:48	MEZ

Wenn Sie auch Bruchteile von Tagen einstellen, also am Abend schon etwa 0.7 Hinzunehmen, und wenn Sie auch Bruchteile von 'Tageseinheiten' verwenden, können Sie die erreichte Genauigkeit oft noch um eine Minute oder zwei verbessern !

7. Sonnenaufgang für	Reykjavik, 22° West und 64° Nord	am 15. Februar	
	Start	06:00	
	Sommerzeit	keine	06:00
	Zonenlage	+ 88'	07:28
	Zeitgleichung	+ 14'	07:42
	Datum & Breite	+ 119'	09:41
	Winterkorrektur	- 20'	09:21
			22-4 min (!) Sonne geht 14' nach Tageseinheit 32 GMT
8. Sonnenuntergang für	Reykjavik, 22° West und 64° Nord	am 19. Juni	
	Start	18:00	
	Sommerzeit	+ 60'	19:00
	Zonenlage	+ 88'	20:28
	Zeitgleichung	+ 1'	20:29
	Datum & Breite	+ 270'	24:59 (!)
	Winterkorrektur	keine	24:59
			22-4 min (!) Sonne geht 1' nach Tageseinheit 87.5 GMT +1
9. Sonnenaufgang für	Reykjavik, 22° West und 64° Nord	am 20. Juni	
	Start	06:00	
	Sommerzeit	+ 60'	07:00
	Zonenlage	+ 88'	08:28
	Zeitgleichung	+ 1'	08:29
	Datum & Breite	- 270'	03:59
	Winterkorrektur	keine	03:59
			22-4 min (!) Sonne geht 1' nach Tageseinheit 88 GMT +1
10. Sonnenuntergang für	Reykjavik, 22° West und 64° Nord	am 7. Oktober	
	Start	18:00	
	Sommerzeit	+ 60'	19:00
	Zonenlage	+ 88'	20:28
	Zeitgleichung	-12'	20:16
	Datum & Breite	- 56'	19:20
	Winterkorrektur	+ 20'	19:40
			22-4 min (!) Sonne geht 12' vor Tageseinheit 12.2 GMT +1
11. Sonnenaufgang für	Reykjavik, 22° West und 64° Nord	am 10. Dezember	
	Start	06:00	
	Sommerzeit	keine	06:00
	Zonenlage	+ 88'	07:28
	Zeitgleichung	- 6'	07:22
	Datum & Breite	+ 258'	11:40
	Winterkorrektur	- 20'	11:20
			22-4 min (!) Sonne geht 6' vor Tageseinheit 77 GMT
12. Sonnenuntergang für	Reykjavik, 22° West und 64° Nord	am 17. Januar	
	Start	18:00	
	Sommerzeit	keine	18:00
	Zonenlage	+ 88'	19:28
	Zeitgleichung	+ 10'	19:38
	Datum & Breite	- 216'	16:02
	Winterkorrektur	+ 20'	16:22
			22-4 min (!) Sonne geht 10' nach Tageseinheit 61 GMT

13. Sonnenaufgang für	Antananarivo, 47.5° Ost und 19° Süd	am 10. Dezember	
	Start	06:00	
	Sommerzeit	keine (?)	Südsommer !
	Zonenlage	- 10'	-2.5·4 min (!)
	Zeitgleichung	- 6'	Sonne geht 6' vor
	Datum & Breite	- 38'	Tageseinheit 77
	Winterkorrektur	keine !	GMT + 3

14. Sonnenuntergang für	Antananarivo, 47.5° Ost und 19° Süd	am 15. Juni	
	Start	18:00	
	Sommerzeit	keine	
	Zonenlage	- 10'	-2.5·4 min (!)
	Zeitgleichung	+/- 0'	MOZ = WOZ !
	Datum & Breite	- 39'	Tageseinheit 83.4
	Winterkorrektur	+ 8'	GMT + 3

Hier hätten bequem noch einige weitere Beispiele Platz ...

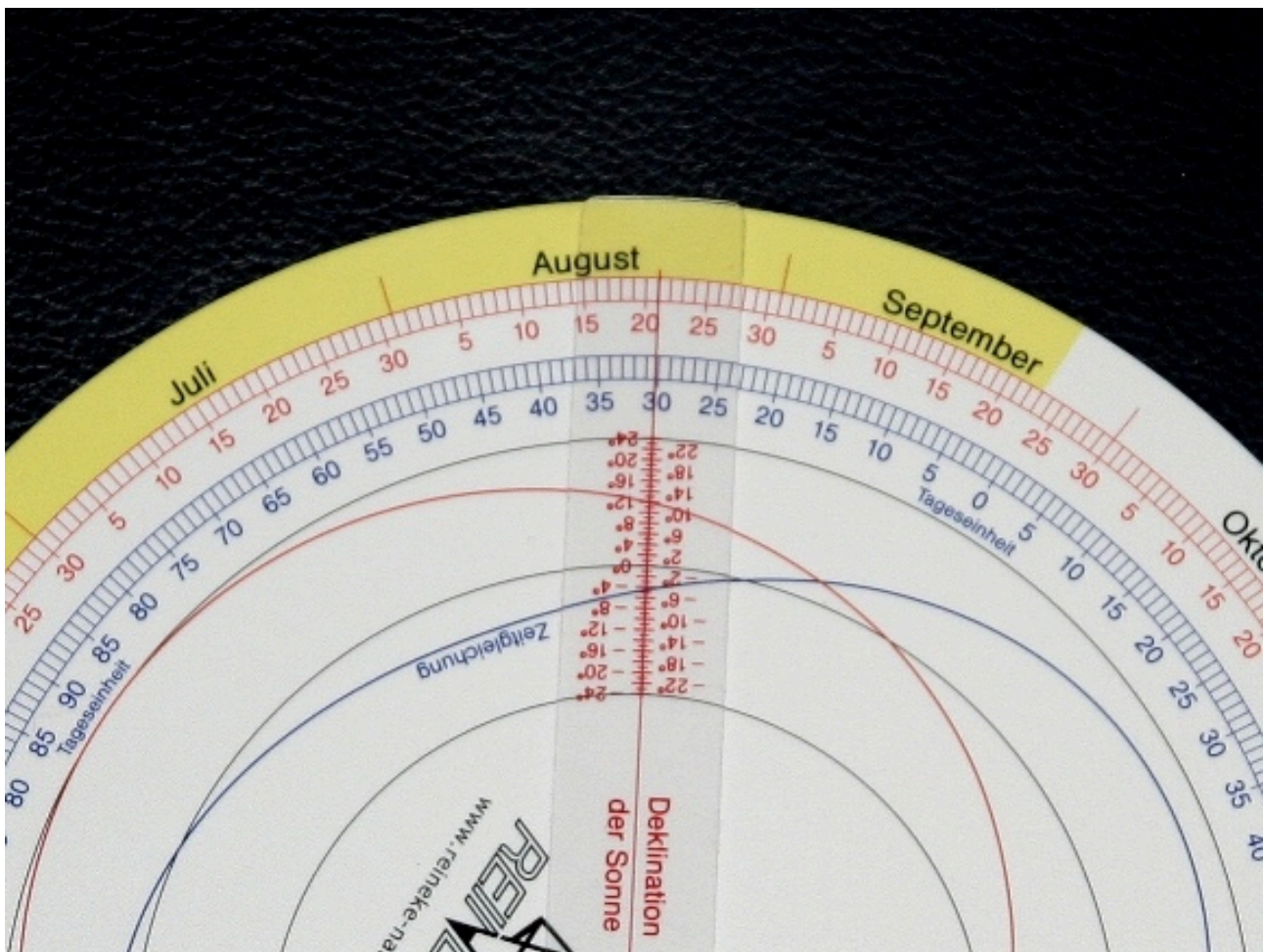
Auf der Frontseite der Sonnenscheibe findet man noch eine rote Kurve, die mit 'Deklination der Sonne' angeschrieben ist. Dazu gehört auch die rote Grad-Skala auf dem drehbaren Zeiger. Der folgende Abschnitt erklärt deren Bedeutung.

Die Deklination der Sonne

Die Astronomen nennen die Höhe eines Gestirns über dem Himmelsäquator seine Deklination. Der Polarstern hat demnach eine Deklination von beinahe 90°. Abweichungen in Richtung des Himmelssüdpols werden mit negativen Werten angegeben. Die Deklination der Sonne ist mithilfe der roten Skala des Zeigers und der roten Kurve auf der Frontseite der Sonnenscheibe für jeden Tag des Jahres herauszulesen.

Definitionsgemäss ist dieser Wert bei den Äquinoktien null - die Sonne überquert dann ja gerade den Himmelsäquator auf ihrer jährlichen Bahn. Am 21. Juni steht sie dann rund 24° über dem Himmelsäquator und damit auch senkrecht über dem nördlichen Wendekreis. Dieser Wert von fast 24° entspricht der Neigung der Erdachse zur Senkrechten auf der Ekliptik. Mit Ekliptik bezeichnen die Astronomen die Bahnebene der Erde - oder, geozentrisch gesprochen, die Bahnebene der Sonne auf ihrem jährlichen Umlauf um die Erde.

Befinden wir uns beispielsweise auf einer nördlichen Breite von 52°, so berechnet sich die Mittagshöhe der Sonne über dem Südpunkt des Horizontes als die Summe von $(90^\circ - 52^\circ)$ und der aktuellen Deklination der Sonne. Am 21. August ist auf diesem Breitengrad die Mittagshöhe der Sonne also $38^\circ + 12^\circ = 50^\circ$. Diese Angabe bezieht sich jetzt auf den Mittelpunkt der Sonnenscheibe, ohne Berücksichtigung der atmosphärischen Brechung.



Die rote Beschriftung der Skala steht leider auf dem Kopf ...

