Beobachtungsort Antarktis

Verkehrte Welt – der Sternhimmel für Beobachter auf der Südhalbkugel

Beobachter auf der Südhalbkugel der Erde werden nicht nur mit einem fremdartigen Sternenhimmel, sondern auch mit einem teilweise andersartigen Erscheinungsbild der „himmlischen Bewegung“ konfrontiert. Man muss aber nicht gleich in den Süden reisen, um die Andersartigkeit zu erleben, man kann sie ausgehend von der Kenntnis des nördlichen Sternenhimmels vorhersagen.
Die Gestirne gehen auf der Nord- wie auf der Südhalbkugel am Osthorizont auf und am Westhorizont unter, weil die Erde nun mal von West nach Ost rotiert. Die Richtung ihrer oberen Kulmination ist jedoch verschieden. Während die Sterne für den Nordhalbkugelbeobachter im Süden ihre größte Höhe erreichen, tun sie dies für den Beobachter auf der Südhalbkugel im Norden. Dies führt dazu, dass die Sonne auf ihrem Tagbogen von rechts nach links läuft (Blick Richtung Norden), während sie auf der Nordhalbkugel mit Blickrichtung Süden von links nach rechts läuft (vorausgesetzt, dass sich der Tagbogen der Sonne noch dem Kulminationshorizont zuordnen lässt). Aber auch der Blick zum Himmelssüdpol, d. h. zu den um diesen kreisenden Sternen, zeigt eine scheinbare tägliche Drehung des Südhimmels (entgegen dem Uhrzeigersinn), die der des Nordhimmels (im Uhrzeigersinn) entgegengesetzt verläuft. Die Nachführung eines mitgenommenen Fernrohrs muss also auch einen „Rückwärtsgang“ haben. Für die Ausrichtung der Polachse der Fernrohrmontierung findet sich am Südhimmel kein Stern, wie es der Polarstern am Nordhimmel zur Zeit ist. Die Polarsternmethode zur groben Ausrichtung der Stundenachse einer parallaktischen Fernrohrmontierung wird deshalb nicht anwendbar sein. Die Richtung der Erdrotation, des Mondumlaufs und des Umlaufs der Planeten um die Sonne wird bei uns im Norden aus Sicht vom ekliptikalen Nordpol definiert (entgegen dem Uhrzeigersinn, siehe Abb. 1). Mit der „auf den Kopf gestellten“ Sichtweise ändert sich das. Auch die gewohnten Phasengestalten des Mondes, die sich für den Nordhalbkugelbeobachter mit Hilfe einer Eselsbrücke ihrem „Entwicklungszustand“ zuordnen lassen, erscheinen seitenverkehrt. Dies gilt ebenso für die Phasengestalten der Planeten.
Die „verkehrte Welt“ des südlichen Sternenhimmels lässt sich ausgehend von der Kenntnis des gewohnten nördlichen Himmels und mit etwas räumlichem Vorstellungsvermögen einfach beschreiben (mit Hilfe der Gegenüberstellung). In Abb. 1 findet sich dazu eine **kleine Aufgabe** samt Lösung. Im Folgenden wird ein **Modell** eingeführt, welches dazu die nötige Vorstellungsgrundlage liefern kann.

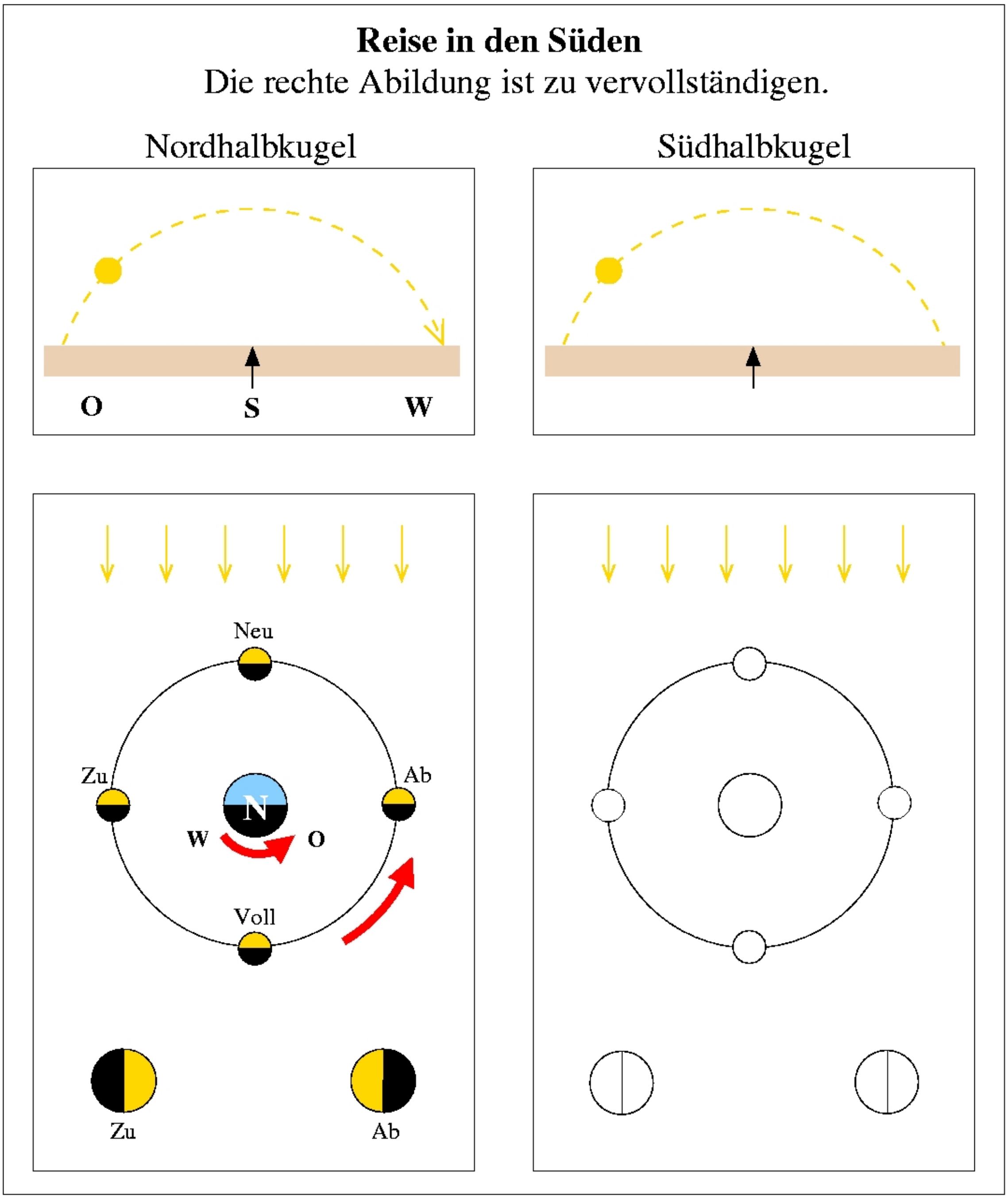


Abbildung 1 – Vorstellungsübung: Oben: Tagbogen der Sonne für einen Beobachter auf der Nordhalbkugel und auf der Südhalbkugel. Unten: Blick auf die Mondbahn vom ekliptikalen Nordpol (Blick auf den Nordpol der Erde, links) und vom ekliptikalen Südpol (Blick auf den Südpol der Erde, rechts). Die im unteren Bildteil dargestellten zwei Phasenbilder zeigen den Anblick des kulminierenden Halbmondes am Himmel. Es wird ersichtlich, dass die Eselsbrücke, welche die jeweilige Ausbauchung der altdeutschen Buchstaben a und z mit dem „Bauch" des abnehmenden und des zunehmenden Mondes in Zusammenhang bringt, nur auf der Nordhalbkugel gültig ist (und dort auch nur weiter nördlich problemlos funktioniert). Ausgehend von der links dargestellten Beobachtungssituation auf der Nordhalbkugel ist die Situation auf der Südhalbkugel abzuleiten. Die rechte Darstellung ist entsprechend zu vervollständigen. Zur Lösung. ©: Olaf Fischer, CC BY-SA 3.0.

Einführung in das Modell vom Flaschenglobus

Der Flaschenglobus (siehe Abb. 2) ist ein sehr gut angenommenes Modell zur Veranschaulichung und Demonstration grundlegender Idealisierungen und Zusammenhänge der sphärischen Astronomie. Ein kugelförmiges Glasgefäß (hier Rundkolben) soll die scheinbare Himmelskugel repräsentieren. Im Zentrum der Kugel sollte man sich zunächst die Erdkugel (z.B. in Form eines Tischtennisballs) vorstellen. Die zur scheinbaren Himmelskugel hin verlängerte Rotationsachse der Erde bildet die Polachse, welche die Himmelskugel in den entsprechenden Himmelspolen trifft. Der gleichermaßen erweiterte Erdäquator bildet an der scheinbaren Himmelskugel den Himmelsäquator. Die Kugeloberfläche des Modells erlaubt sowohl die Darstellung von gedachten Punkten und Linien der sphärischen Astronomie (Himmelspole, Himmelsäquator, Ekliptik, ...) als auch von beobachtbaren Objekten. Wird der Flaschenglobus zur Hälfte mit Wasser gefüllt, so erhält man durch die Wasseroberfläche eine modellhafte Repräsentation der Horizontebene bzw. des mathematischen Horizonts entlang der Berührungslinie zwischen Wasser und Kolbenwand. Eine z. B. aus Pappe gefertigte Horizontschürze verdeckt den unsichtbaren Teil der scheinbaren Himmelskugel und ermöglicht die Modellierung eines natürlichen Horizonts (Silhouette von Bergen, Häuser, ...). Der Modellnutzer hat sich nun mittig auf die Horizontebene zu versetzen, die geozentrisch liegen soll, also die Erde in ihrem Zentrum schneidet. Der Tischtennisball als Erde kann nun entfernt werden. Neue Punkte und Linien können gezeigt werden. Die Lage der Polachse, d. h. der Fußpunkt des Himmelspols am Horizont gibt je nach Erdhalbkugel den Nord- oder den Südpunkt vor. Der Zenitpunkt wird anschaulich. Ebenso kann der Meridian als der spezielle Großkreis durch die Punkte Nord, Süd und Zenit gezeigt werden. Die Erscheinung des Sternenhimmels (z. B. die Größe der zirkumpolaren Sternenhimmelsregion) kann in Abhängigkeit davon studiert werden, wie die Ebene des Himmelsäquators und die Horizontebene zueinander geneigt sind. Die Neigung der Polachse in Bezug zur Horizontebene kann als abhängig von der geografischen Breite erkannt werden.

Schließlich kann die scheinbare tägliche Drehung des Sternenhimmels durch Drehen des Flaschenglobus um die Achse des Glasstabs (Polachse) entgegen der Drehrichtung der Erde simuliert werden. Damit lassen sich dann Vorgänge wie Aufgang, Untergang, Kulmination und Meridiandurchgang. demonstrieren.

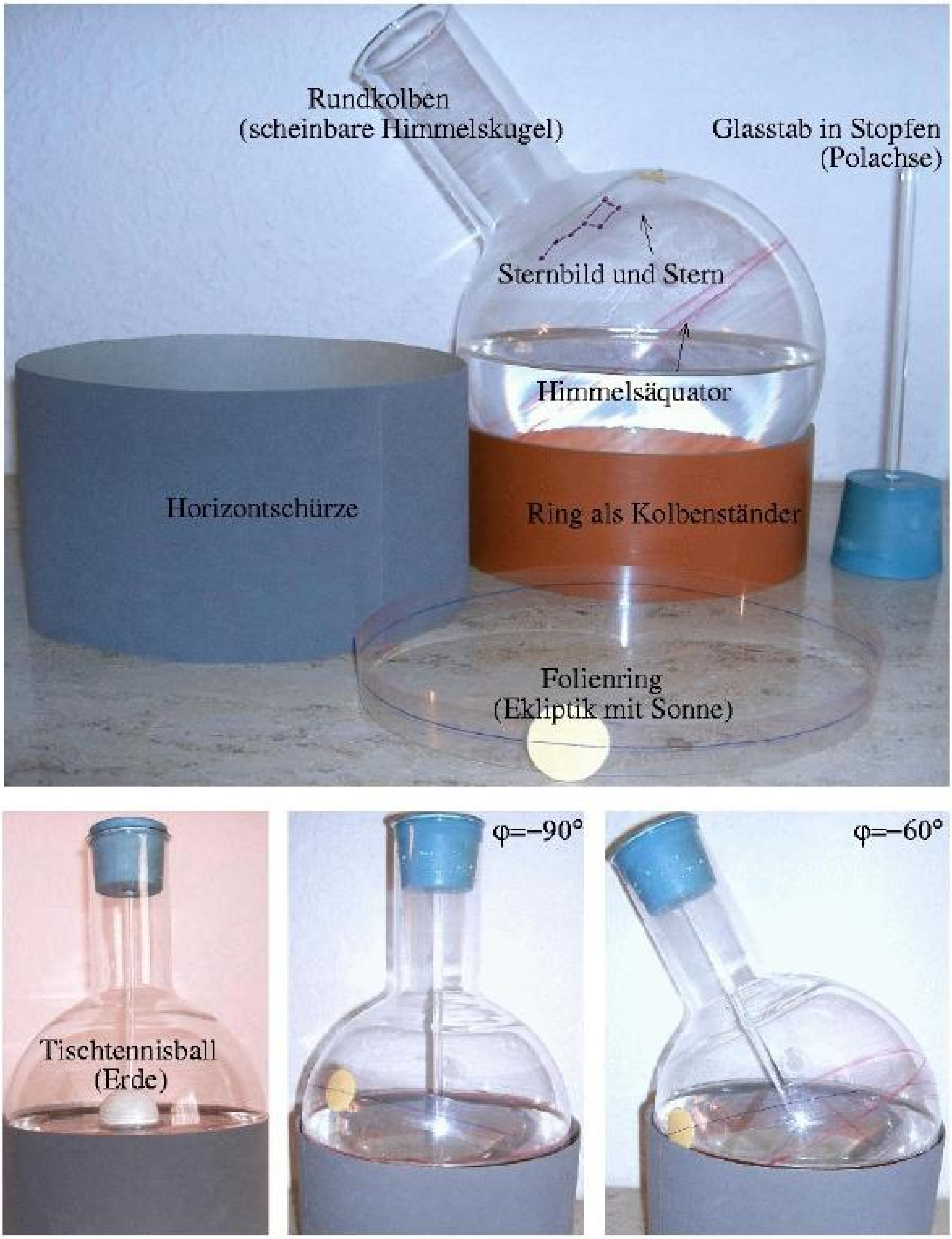


Abbildung 2: Oben: Bestandteile des Flaschenglobus. Unten links: Die Erde „vererbt“ der scheinbaren Himmelskugel den Äquator (Himmelsäquator) und die Rotationsachse (Polachse als Achse der scheinbaren Rotation). Unten rechts: Flaschenglobus zur Demonstration des täglichen (und jährlichen) Sonnenlaufs am Südpol (φ =-90°) und bei der südlichen geografischen Breite von φ =-60°. Der Folienstreifen mit der blau angedeuteten Ekliptik und der Sonnenapplikation wurde so eingestellt, dass die Sonne gerade ihre größte südliche Deklination erreicht hat, d. h. auf der Südhalbkugel der Erde ist gerade Sommeranfang. In der linken Darstellung ist die Sonne gerade über dem Westhorizont erschienen, d. h. sie ist gerade aufgegangen. Die rechte Einstellung gilt für den Südpol. Die Sonne kulminiert dort bei Sommeranfang. ©: Olaf Fischer, CC0.

Die Sonne über der Südpolsternwarte im Flaschenglobus

Mit Hilfe des Flaschenglobus soll nun herausgearbeitet werden, was den Sternwartenstandort Südpol für die Sonnenbeobachtung attraktiv macht.
Zur Demonstration des sich von Tag zu Tag verändernden scheinbaren Sonnenlaufs über den Himmel wird ein Folienring verwendet, der die gedachte Linie der Ekliptik samt der aktuellen Sonnenposition zeigt (Siehe Abb. 2). Der Ring liegt straff, aber noch drehbar am Kugelkolben an. Die Lage der Ekliptik ist mit rund 23,5° festgelegt (Neigung der Äquatorebene in Bezug zur Umlaufebene der Erde). Allein die tägliche Position der Sonne an der scheinbaren Himmelskugel kann durch Drehen des Folienrings um die Ringachse verändert werden. In Abb. 2 wurde der Sommeranfang für die Südhalbkugel eingestellt (Sonne im größten südlichen Abstand zum Himmelsäquator, $\delta_{\text{Sonne}} = -23{,}5°$).
Bei Sommeranfang herrscht südlich vom südlichen Polarkreis (Süd-)Polartag, d. h. die Sonne steht länger als 24 Stunden über dem Horizont. Je südlicher man sich befindet, desto länger ist der Polartag. Am Südpol dauert es ein halbes Jahr, bis die Sonne wieder unter den Horizont gelangt. Ein Sonnenobservatorium direkt am Südpol hätte somit den großen Vorteil der über lange Zeit hinweg dauerhaft beobachtbaren Sonne.
Mit Hilfe des Flaschenglobus lässt sich dies sehr gut demonstrieren. Zunächst sollte man die Situation für einen Beobachter bei einer gemäßigten südlichen Breite zu Sommeranfang auf der Südhalbkugel (am 21. 12., siehe auch Abb. 2) zeigen, wo die Sonne noch auf- und untergeht (siehe dazu **Videoclip 1**). Im nächsten Schritt könnte man den Beobachtungsort zum südlichen Polarkreis verlegen, wo die Sonne zumindest an einem Tag nicht untergeht. Schließlich kann gezeigt werden, wie ein Beobachter am Südpol den Sonnenlauf bei Sommeranfang erlebt (siehe dazu **Videoclip 2**). Dabei wird auch deutlich, dass die die beobachtbare Höhe der Sonne am Südpol dem Betrag ihrer Deklination entspricht, so dass sie dort maximal 23,5° hoch erscheinen kann (obere Kulmination bei Sommeranfang). Diese Beobachtungshöhe ist sonst in der Astronomie unüblich, weil sie mit einer langen zu durchblickenden Luftsäule, die das Licht schwächt und verändert (in der Astronomie Luftmasse genannt), verbunden ist. An dieser Stelle könnte die Frage auftauchen, wie lange die Sonne am Südpol oberhalb einer bestimmten Mindesthöhe (z. B. $h \geq 10°$) beobachtbar ist. Dazu ist es zunächst erforderlich, den jährlichen Deklinationsverlauf der Sonne $\delta_{\text{Sonne}}(t)$ zu beschreiben. Bei Annahme einer Kreisbahn der Erde um die Sonne gilt

$$\delta_{\text{Sonne}}(t) = \sin\left(\frac{360°}{365{,}2425\text{d}} \cdot t\right) \cdot 23{,}5°,$$

wobei die Zeit t fortlaufend ab dem Frühlingsbeginn auf der Nordhalbkugel (21. 3.) gezählt wird. So z. B. steht die Sonne am 1. Mai (nach ca. 41 Tagen) bei $\delta_{\text{Sonne}} \approx 15{,}2°$. Auf Grundlage des gegebenen Formalismus kann nun die oben aufgetauchte Frage beantwortet werden (Lösung siehe Lösung zu Aufgabe 2). Fragen nach der Dauer des Sonnenuntergangs oder der bürgerliche Dämmerung am Südpol lassen sich nach dem gleichen Schema beantworten.
Am Flaschenglobusmodell kann auch beobachtet werden, dass sich die Höhe der Sonne während ihrer scheinbaren täglichen Bewegung für den Südpolbeobachter nur sehr langsam verändert, was den Vorteil einer auf wenige Tage bezogen beinahe konstanten Durchsicht (beinahe gleichbleibende zu durchblickende Luftmasse) mit sich bringt. Die Höhenänderung der Sonne für das Sonnenteleskop am Südpol entspricht ihrer Deklinationsänderung $\text{d}\delta_{\text{Sonne}}/\text{d}t$ (man bilde nun die Ableitung von $\delta_{\text{Sonne}}(t)$, Lösungsweg siehe Lösung zu Aufgabe 3). Es gilt

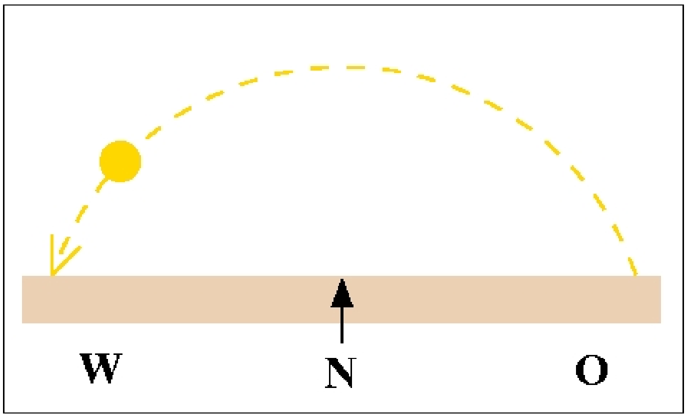
$$\frac{\text{d}\delta_{\text{Sonne}}}{\text{d}t} = \cos\left(\frac{0{,}017202}{\text{d}} \cdot t\right) \cdot 0{,}40426\ {}^{\circ}\!/_{\text{d}}.$$

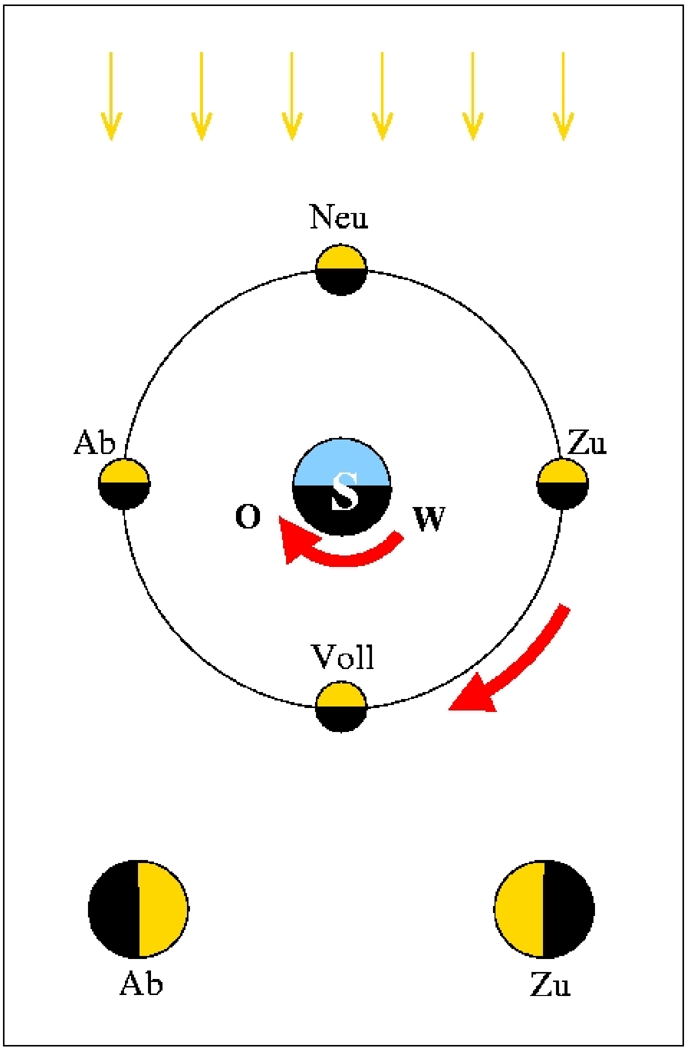
Die Formel zeigt, dass die Änderung der Deklination zur Zeit des Sommeranfangs, also zur besten Beobachtungszeit für die Sonne, am geringsten ist.

Lösungen

Zu Aufgabe 1

Südhalbkugel





Zu Aufgabe 2

Die Sonne steht für den am Südpol stehenden Beobachter mindestens bei 10° Höhe, wenn für ihre Deklination $\delta_{\text{Sonne}} \leq$ -10° gilt.
Entsprechend ergibt sich

$$-10° = \sin\left(\frac{360°}{365{,}2425\text{d}} \cdot t\right) \cdot 23{,}5°.$$

Aus

$$t = \arcsin\left(\frac{-10°}{23{,}5°}\right) \cdot \frac{365{,}2425\text{d}}{360°}$$

erhält man für t 208,2 d und 339,7 d, d. h. die Sonne kann am Südpol über einen Zeitraum von ca. 339,7 d - 208,2 d = 131,5 d (rund 4 Monate) bei einer Höhe $h \geq 10°$ beobachtet werden.

Zu Aufgabe 3

Zur Ableitung von

$$\delta_{\text{Sonne}}(t) = \sin\left(\frac{360°}{365{,}2425\text{d}} \cdot t\right) \cdot 23{,}5°$$

muss das Argument der Winkelfunktion im Bogenmaß ausgedrückt werden. Es ergibt sich

$$\delta_{\text{Sonne}}(t) = \sin\left(\frac{2\pi}{365{,}2425\text{d}} \cdot t\right) \cdot 23{,}5°.$$

Die Ableitung erfordert die Anwendung der Kettenregel. Man erhält

$$\frac{\text{d}\delta_{\text{Sonne}}}{\text{d}t} = \cos\left(\frac{2\pi}{365{,}2425\text{d}} \cdot t\right) \cdot \left(\frac{2\pi}{365{,}2425\text{d}}\right) \cdot 23{,}5°,$$

$$\frac{\text{d}\delta_{\text{Sonne}}}{\text{d}t} = \cos\left(\frac{0{,}017202}{\text{d}} \cdot t\right) \cdot 0{,}40426\ {}^{\circ}\!/_{\text{d}}.$$