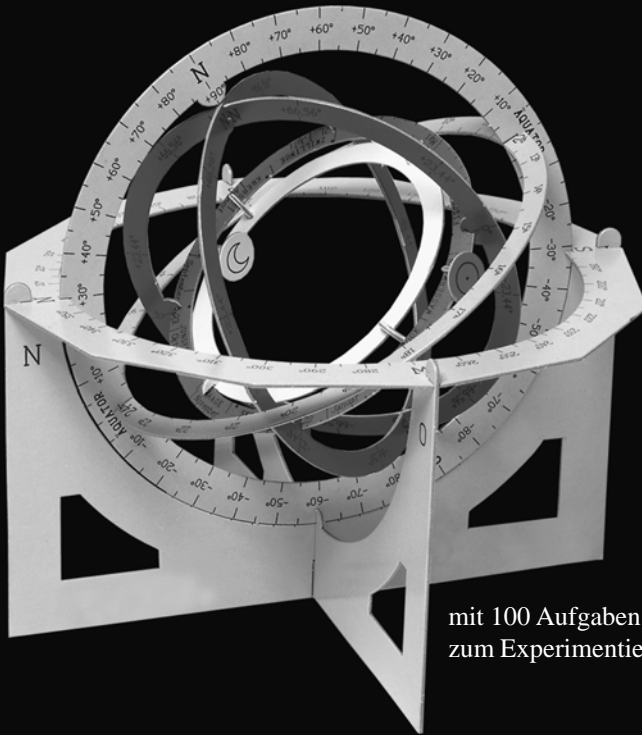


Klaus Hünig

Einführung in die Himmelskunde



mit 100 Aufgaben
zum Experimentieren


mit dem Tischplanetarium
von AstroMedia ✨


© Klaus Hünig

Inhaltsverzeichnis

A. Die AstroMedia* Tischplanetarien	3
B. Vorbereitung	4
1. Die Einzelteile des AstroMedia* Tischplanetariums	4
2. Der richtige Zusammenbau	5
3. Einstellen, Bewegen und Ablesen des Tischplanetariums	6
C. Die Bewegungen am Himmel	8
1. Der Horizont	8
2. Ortsbestimmungen auf der Himmelskugel	9
3. Das Horizont-Koordinatensystem	11
4. Die tägliche Bewegung der Himmelskugel	12
5. Das Äquator-Koordinatensystem	13
6. Die Drehung des Fixsternhimmels und die Bewegungen der Planeten	14
7. Die Jahresbahn der Sonne auf der Ekliptik	16
8. Die Dämmerung	18
9. Das Ekliptik-Koordinatensystem	19
10. Der Tierkreis	19
11. Das Platonische Jahr	21
12. Der Mond	22
13. Mondbahn und Mondknoten	25
14. Sonnen- und Mondfinsternisse	27
D. Eine Reise um die Welt nach Norden und nach Süden	28
1. Am nördlichen Polarkreis	28
2. Am Nordpol	29
3. Am nördlichen Wendekreis	30
4. Am Äquator	31
5. Auf der südlichen Erdhälfte	32
E. Sternzeit, Sonnenzeit, Uhrzeit	33
1. Jahr und Schaltjahr	33
2. Das Osterdatum	33
3. Sternzeit und Sonnenzeit	33
4. Zonenzeiten und Zeitzonen	36
5. Das Tischplanetarium als Sonnenuhr	37
F. Anhang	38
1. Geschichtliches zur Armillarsphäre	38
2. Literaturhinweise	39

A. Die AstroMedia Tischplanetarien

Das AstroMedia  Tischplanetarium wurde aus der seit dem Altertum bekannten Armillarsphäre entwickelt, die bis ins 16. Jahrhundert für die Astronomen das wichtigste Instrument zur Beobachtung, Berechnung und Erklärung von Gestirnspositionen war. Armillarsphären gehören heute zu den kostbarsten Ausstellungsstücken in naturwissenschaftlichen Museen.

Das AstroMedia  Tischplanetarium wurde für heutige Bedürfnisse neu konstruiert und setzt die jahrhundertealte Tradition der Armillarsphäre als unübertroffen einfaches, klares und aussagekräftiges Demonstrationsgerät der himmlischen Bewegungsvorgänge aus der Sicht des irdischen Beobachters fort. In vielen Schulen gehört es inzwischen zu den Standard-Lehrmitteln.

Das Kleine Tischplanetarium

Höhe ca. 15 cm, Bausatz aus stabilem gestanztem Karton. Einfacher Zusammenbau, flach zerlegbar. Mit einem Himmelsglobus.

Das Große Tischplanetarium

aus 6mm Holz-Verbundwerkstoff, ca. 68 cm hoch. Handbemalt in den gleichen Farben wie das Kleine Tischplanetarium, flach zerlegbar.

Das Große Tischplanetarium eignet sich besonders als Demonstrationsmodell für Schule und Erwachsenenbildung, das Kleine Tischplanetarium für die Hand des Schülers oder Kursteilnehmers. Die Kombination von beiden im Unterricht erlaubt es, die Teilnehmer an einer eigenen, selbstgebauten Armillarsphäre selbständig „Experimente“ anstellen zu lassen. Die 100 kursiv gedruckten Aufgaben in diesem Heft sind als Anregung für die selbständige Arbeit wie auch als Fundgrube für den Unterrichtenden gedacht.

Mit dem Tischplanetarium lassen sich besonders gut die folgenden Gebiete der beobachterzentrierten Astronomie darstellen:

- Die horizontbezogene Bewegung des Himmels in allen geographischen Breiten der Erde
- Auf- und Untergänge der Sternbilder und aller mit bloßem Auge sichtbaren Sterne in allen geographischen Breiten
- Die Tag- und Nachtbögen von Sonne und Mond, ihre Auf- und Untergangszeiten und der Wechsel der Tages- und Jahreszeiten in allen geographischen Breiten
- Die Bewegungen von Sonne und Mond vor dem Fixsternhintergrund
- Das Wandern der Mondknoten und ihre Bedeutung bei Finsternissen
- Die wichtigsten astronomischen Koordinatensysteme
- Das Tischplanetarium als äquatoriale Sonnenuhr

Die Darstellungen und Aufgaben in diesen Handreichungen beziehen sich vorwiegend auf das geozentrische, genauer: beobachterzentrierte Weltbild mit der Erde bzw. dem Beobachter im Mittelpunkt, weil dies hilft, das von uns unmittelbar Erlebte auch zu verstehen und damit die notwendige Ergänzung zur gängigen heliozentrischen Weltanschauung zu schaffen. Während in früheren Jahrhunderten diese Sichtweisen als konkurrierend, ja sich ausschließend gesehen wurden, kann man sie heute als gleichberechtigt nebeneinander betrachten, jedes gültig für seinen jeweils definierten Standpunkt.

B. Vorbereitung

1. Die Einzelteile des AstroMedia* Tischplanetariums

- **Sockelgestell** (grau): Zwei gekreuzt ineinandergesteckte Hälften.
- **Horizont** (grau): Zwölfeckiger waagerechter Ring mit Gradmarkierungen für das Azimut im Abstand von 10° von N über O, S und W zurück nach N
- **Meridianring** (hellblau): Steht aufrecht im Sockelgestell, kann auf jeden Breitengrad eingestellt werden. Markierungen im Abstand von 10° für die Deklination, vom Himmelsnordpol ($+90^\circ$) über den Himmelsäquator (0°) zum Himmelssüdpol (-90°).
- **Stundenwinkelring** (hellblau): Steckt rechtwinklig im Meridianring und markiert zugleich den Himmelsäquator auf der Himmelskugel, der dort nicht durch einen eigenen Ring dargestellt wird. Stundenmarkierungen von 0^h bis 24^h .
- **Himmelskugel** (dunkelblau): Im Meridianring drehbar gelagerte Gitterkugel aus zwei sich rechtwinklig schneidenden Ringen, welche den Stundenkreisen bei 0° , 90° , 180° und 270° (auf dem Himmelsäquator gemessen) entsprechen. Gradmarkierungen bei $+66,56^\circ$, $+23,44^\circ$, 0° , $-23,44^\circ$ und $-66,56^\circ$ Deklination.
- **Ekliptik = Sonnenbahn** (rot): Steckt um $23,44^\circ$ zum Himmelsäquator geneigt in der Himmelskugel. Gradmarkierungen alle 30° beginnend bei 0° (= Frühlingspunkt), Datumsangaben zum Sonnenstand und die Ausdehnung der Tierkreis-Sternbilder. Das Kleine Tischplanetarium zeigt die 30° -Markierungen als Punkte.
- **Mondbahn** (weiß): Steckt verschiebbar und um 5° geneigt in der Ekliptik. Die runden Halterungen an den Schnittpunkten von Sonnen- und Mondbahn entsprechen den Mondknoten.
- **Sonnen- und Mondreiter** (rot und weiß): Die Sonne sitzt außen auf der Sonnenbahn, der Mond innen auf der Mondbahn. Beim Großen Tischplanetarium haften sie magnetisch, beim Kleinen Tischplanetarium klemmen sie mit ihrer Steckhalterung. Dort, wo sich Ekliptik und Himmelsringe kreuzen, wird die Sonne außen auf den Himmelsring gesetzt. Die Durchmesser von Sonnen- und Mondscheibe sind im Maßstab etwa 30-fach vergrößert.
- **Sternglobus** (liegt dem Kleinen Tischplanetarium als Ausschneidebogen bei): Die 8 Segmente mit Sternen und Sternbildern, von denen je vier zu zwei Halbkugeln zusammengeklebt und dann entweder einzeln oder gemeinsam über die Himmelskugel gestülpt werden, zeigen sowohl auf der Innen- als auch auf der Außenseite die 1400 hellsten Sterne des Himmels und alle Sternbilder, dazu den Himmelsäquator mit der Einteilung in Rektaszension von 0^h bis 24^h (gestrichelte Linie, 1 Strich = 10^{min}) und die Ekliptik (Linie aus kleinen Kreisen, je 1 für jede Tagesposition der Sonne) mit den Monatsersten (JAN = 1. Januar, FEB = 1. Februar usw.). Die Außenseite, auf welcher die Sternbilder zwangsläufig seitenverkehrt dargestellt sind, enthält darüber hinaus noch die Namen von Sternen und Sternbildern.
Hinweis: Zum Kennenlernen und Aufsuchen der Sternbilder am Himmel bietet sich die kuppelförmige Sternkarte „Der Große Sternenhimmel“ an (siehe Literaturhinweise S. 39).

2. Der richtige Aufbau

- **Meridianring und Stundenwinkelring:** Wenn der Meridianring so im Sockelgestell steht, dass **N (= der Himmelsnordpol) oben** ist, muss diejenige Seite des Stundenwinkelringes nach oben zeigen, auf welcher **die Stundenzahlen im Uhrzeigersinn** aufsteigen. Die N-Marke des Meridianringes ist immer etwas zum N-Punkt des Horizonts hin geneigt (siehe dazu auch S. 6), und die 12^h-Marke des Stundenwinkelringes zeigt in die entgegengesetzte Richtung, zum S-Punkt des Horizonts, weil in dieser Richtung die Sonne steht, wenn es 12 Uhr Mittag ist (Wahre Ortszeit WOZ, siehe dazu S. 34).
 - **Himmelskugel:** Die beiden Ringe müssen polrichtig ineinanderstecken, d.h. beide **N**-Markierungen auf der einen, beide **S**-Markierungen auf der anderen Seite. Die Himmelskugel muss dann drehbar und ebenfalls polrichtig im Meridianring stecken.
 - **Ekliptik = Sonnenbahn:** Wenn die Himmelskugel mit ihrem N-Pol nach oben zeigt, muss diejenige Seite der Ekliptik nach oben zeigen, auf welcher **die Monatsangaben entgegen dem Uhrzeigersinn** aufeinander folgen. Beim 21. Juni muss die Ekliptik die Himmelskugel an der +23,44°-Marke berühren, beim 22. Dezember an der -23,44°-Marke.
 - **Sternglobus** (nur Kleines Tischplanetarium): Wird nur bei Bedarf angebracht. Die Halbkugeln werden so auf die aus dem Meridianring gelöste Himmelskugel gestülpt, dass sich die Ekliptiklinie des Sternglobus (= Linie aus kleinen Kreisen) mit dem Ekliptikring des Tischplanetariums deckt und die Monatsangaben bei beiden übereinstimmen. Damit die Halbkugeln nicht verrutschen, können die Randlaschen des Sternglobus um den Himmelsring geschlagen werden. Oft wird nur eine Halbschale verwendet, damit man auch in sie hineinblicken kann, denn nur auf der Innenseite stehen die Sterne seitenrichtig. Der überstehende Klebefilm an den Pol-Enden der Halbschalen werden beim Einsetzen des Sternglobus von den Achsnadeln des Meridianringes durchstochen. Das gibt einen so guten Halt, dass man auch auf die Randlaschen der Halbschalen verzichten und sie abschneiden kann.
- Das Kleine Tischplanetarium lässt sich mit wenigen Handgriffen zerlegen und kann so auch in der Büchertasche transportiert werden. Mit etwas Geschick können sogar die beiden Halbkugeln des Sternglobus zu einem leicht transportablen „Schiffchen“ zusammengeklappt werden.

3. Einstellen, Bewegen und Ablesen des Tischplanetariums

■ **Stellung des Betrachters:** Wenn sich der Betrachter in Gedanken in den Mittelpunkt des Horizontringes versetzt und von innen in die Himmelskugel blickt, dann entspricht dies genau dem Anblick des echten Himmelsgewölbes. Anders als in der Natur kann er beim Tischplanetarium auch verfolgen, was sich unter dem Horizont abspielt.

■ **Geographische Breite:** Das Tischplanetarium ist auf denjenigen geographischen Breitengrad φ (griechisch: *phi*) eingestellt, der auf dem Meridianring im Zenit (an der höchsten Stelle) erscheint. Nördliche geographische Breiten entsprechen den positiven Gradzahlen, südliche den negativen. Beim genauen Ablesen hilft ein Blick auf die gegenüberliegende Stelle, nur ist da das Vorzeichen umgekehrt. Der Himmelsnordpol (N-Punkt des Meridianringes) ist immer zum N-Punkt des Horizonts hin geneigt, denn Norden ist immer dort, wohin der Himmelsnordpol zeigt.

Aufgabe 1

Stellen Sie das Tischplanetarium auf die folgenden geographischen Breiten φ ein:

Nordpol	$\varphi = + 90,0^\circ$
Hammerfest	$\varphi = + 70,7^\circ$
Nördlicher Polarkreis	$\varphi = + 66,6^\circ$
Stockholm	$\varphi = + 59,3^\circ$
Moskau	$\varphi = + 55,8^\circ$
Mainz	$\varphi = + 50,0^\circ$
Paris	$\varphi = + 48,0^\circ$
München	$\varphi = + 48,1^\circ$
New York	$\varphi = + 40,8^\circ$
Peking	$\varphi = + 39,9^\circ$
Alexandria	$\varphi = + 31,2^\circ$
Jerusalem	$\varphi = + 30,8^\circ$
Nördlicher Wendekreis	$\varphi = + 23,4^\circ$
Mexico City	$\varphi = + 19,4^\circ$
Bangkok	$\varphi = + 13,7^\circ$
Singapur	$\varphi = + 1,3^\circ$
Südlicher Wendekreis	$\varphi = - 23,4^\circ$
Kapstadt	$\varphi = - 33,9^\circ$
Melbourne	$\varphi = - 37,8^\circ$
Südl. Polarkreis	$\varphi = - 66,6^\circ$
Südpol	$\varphi = - 90,0^\circ$

Aufgabe 2

Stellen Sie das Tischplanetarium auf die geographische Breite Ihres Heimortes ein. Wenn Sie sie nicht kennen, schauen Sie sie in einem Atlas nach.

Aufgabe 3

Lässt sich das Tischplanetarium auch auf geographische Breiten einstellen, bei denen der Himmelsnordpol nicht nach Norden geneigt ist?

- **Drehsinn der Himmelskugel:** Die Himmelskugel dreht sich immer so, dass die Sonne, dargestellt durch den Sonnenreiter auf der Ekliptik, im Osten aufgeht und im Westen untergeht, unabhängig davon, ob der Himmelsnord- oder der Himmels-südpol über dem Horizont steht.
- **Datum:** Es gilt die Datumsangabe, bei welcher der Sonnenreiter auf dem Ekliptikring steckt. Wenn der Sternglobus verwendet wird, kann man das Datum statt am Sonnenreiter an den kleinen Kreisen der Ekliptiklinie ablesen: Jeder Kreis entspricht einem Tag, die Monatsersten sind mit Zahlen angegeben.
- **Tageszeit:** Diejenige Zeitangabe auf dem Stundenwinkelring, welcher der Sonnenreiter am nächsten steht, gibt die Tageszeit an, allerdings nicht in Mitteleuropäischer Zonenzeit MEZ, sondern in Wahrer Sonnenzeit (= Wahre Ortszeit WOZ, siehe dazu S. 34). Wenn sich der Sonnenreiter auf einer Winter- oder Sommerposition und damit nicht in der Ebene des Stundenwinkelrings befindet, denkt man sich einen Kreis, der durch die beiden Pole der Himmelskugel und durch die Sonne geht. Wo er den Stundenwinkelring schneidet, liest man die Uhrzeit ab. Man kann auch, was dasselbe ist, die kürzestmögliche Verbindungslinie vom Sonnenreiter zum Stundenwinkelring ziehen. Bei Verwendung des Sternglobus gilt statt des Reiters die gedachte Sonnenposition auf der Ekliptiklinie.

Aufgabe 4

Stellen Sie das Tischplanetarium auf die Breite Ihres Heimatortes ein und setzen Sie den Sonnenreiter auf den 21. Juni (da muss er außen auf dem Himmelsring sitzen). Lassen Sie diesen dann in Monatsschritten durch den Juli, August usw. wandern, bis er wieder am 21. Juni angekommen ist. Lassen Sie die Himmelskugel nach jeder Einstellung eine volle Umdrehung machen.

Aufgabe 5

Bei welchem Datum erreicht die Sonne den höchsten, bei welchem den tiefsten Stand über dem Südpunkt des Horizonts?

Aufgabe 6

Bei welchem Datum taucht sie am tiefsten unter den Nordpunkt des Horizonts hinab, bei welchem am wenigsten?

Aufgabe 7

Bei welchem Datum geht die Sonne genau im Osten auf und im Westen unter?

Aufgabe 8

Stellen Sie den Meridianring auf die geographische Breite φ Ihres Heimatortes ein. Setzen Sie den Sonnenreiter auf den 1. Mai und drehen Sie die Himmelskugel, bis derjenige Himmelsring, welcher durch die mit „21. Juni“ markierte Stelle der Ekliptik geht, sich mit dem Meridianring im Süden deckt. Welche Tageszeit zeigt das Tischplanetarium jetzt an? Setzen Sie den Sonnenreiter auf den 1. Juni, den 1. August, den 1. Oktober und den 1. Januar und wiederholen Sie den Versuch.

C. Die Bewegungen am Himmel

1. Der Horizont

Als Horizont bezeichnen wir die Linie in unserem Gesichtsfeld, in welcher sich Himmel und Erde begegnen. Diese von der Natur gestaltete Linie nennen wir auch den **natürlichen Horizont**. Von jedem Standpunkt sieht er anders aus. Jeder Mensch steht im Mittelpunkt seines eigenen Horizonts, und der verändert sich sofort, wenn er sich bewegt. Im Gebirge wird der Horizont weiter, wenn ich auf einen Bergesgipfel steige, und kleiner, wenn ich ihn vom Tal aus betrachte. Aus einem Brunnenschacht betrachtet schrumpft er zu einem kleinen Kreis zusammen, auf hoher See dagegen wird er zu einer waagerechten Linie, der „Kimm“. Der Horizont auf dem Meer kommt dem am nächsten, was man den **idealen** oder **mathematischen Horizont** nennt. Er ist keine in der Natur vorhandene, sondern eine gedachte waagerechte Linie, welche die Himmelskugel in zwei gleich große Hälften teilt. Bei astronomischen Betrachtungen spielt fast immer nur diese Horizontlinie eine Rolle. Sie wird durch den Horizontring des Tischplanetariums dargestellt.

Man kann auch von einer **Horizontscheibe** sprechen: Das ist das mit den Augen überschaubare Stück Erdoberfläche, welches vom Horizont begrenzt wird und in dessen Mittelpunkt der Betrachter steht. Durch die Größe der Erde erscheint es uns in der Regel nicht kugelförmig gewölbt, sondern flach. Die Orientierung am Horizont erfolgt nach den vier Himmelsrichtungen („Kardinalpunkte“):

■ **Norden** ist derjenige Punkt am Horizont, welchem der Himmelsnordpol am nächsten liegt. In unseren gemäßigten nördlichen Breiten liegt der Himmelsnordpol etwa auf halber Höhe zwischen dem Horizont und dem Zenit (siehe dazu auch S. 11).

- **Süden** liegt gegenüber und ist auf der nördlichen Erdhälfte der Punkt am Horizont, über welchem die Sonne mittags ihren höchsten Stand erreicht.
- **Osten und Westen** sind die Punkte auf dem Horizont, wo dieser vom Himmelsäquator geschnitten wird (im Tischplanetarium wird seine Lage angedeutet durch den Stundenwinkelring).

Wenn man eine Himmelsrichtung kennt, sind die anderen damit auch bekannt. Hier sind einige Methoden, wie sich die Himmelsrichtungen bestimmen lassen:

- **Bei Tag:** Man richtet den Stundenzeiger der Armbanduhr auf die Sonne und denkt sich eine Linie, die den Winkel zwischen dem Stundenzeiger und der 12^h-Linie des Zifferblattes halbiert. Sie zeigt ungefähr nach Süden. Wenn die Uhr auf Sommerzeit umgestellt ist, muss man eine Stunde von der abgelesenen Zeit abziehen und sich den Stundenzeiger an der entsprechenden Stelle denken. Je weiter westlich entfernt man sich dabei vom 15. östlichen Längengrad befindet, umso ungenauer wird diese Methode; auch funktioniert sie nur in unseren und den nördlichen Breiten. An der französischen Atlantikküste betrüge die Abweichung über 15°! (S. a. das Kapitel über die Zeitzonen S. 36)
- **Bei Tag:** Ein spitzer Stab wird senkrecht im Mittelpunkt einiger konzentrischer Kreise aufgestellt. Die Verbindungslinie der zwei Stellen, wo die Schattenspitze des Stabes einen Kreis morgens und abends berührt, liegt genau ost-westlich, die Verbindung ihrer Mitte mit dem Fuß des Stabes nord-südlich. Diese Methode ist sehr alt und war schon den indischen Astronomen bekannt („Indischer Kreis“).

- **Bei Tag:** Mit dem Tischplanetarium als Sonnenuhr (Siehe Aufgabe 100, S. 37).
- **Morgens und abends:** An den Tagundnachtgleichen (21. März, 23. September) geht die Sonne genau im Osten auf und im Westen unter.
- **Nachts:** Der rechte der drei Gürtelsterne des Sternbildes „Orion“ liegt auf dem Himmelsäquator und geht deshalb genau im Osten auf und im Westen unter.
- **Nachts:** Die Richtung, in welcher der Polstern liegt, ist Norden (siehe S. 12).

Aufgabe 9

Bestimmen Sie die vier Himmelsrichtungen an dem Ort, an dem Sie sich gerade befinden, und drehen Sie das Tischplanetarium, bis seine Himmelsrichtungen mit denjenigen Ihres momentanen Horizonts übereinstimmen. Verfahren Sie bei allen folgenden Versuchen genau so.

Aufgabe 10

Begeben Sie sich ins Freie und verfolgen Sie mit ausgestrecktem Arm die natürliche Horizontlinie, indem Sie den Arm, der Linie folgend, auf und ab bewegen. Tun Sie dann das Gleiche mit dem idealen Horizont und finden Sie heraus, wo die beiden am stärksten und wo sie am geringsten voneinander abweichen.

Aufgabe 11

Gibt es weitere auffällige Sterne, die in der Nähe des Himmelsäquators liegen? Schauen Sie dazu den Sternglobus an und machen Sie sich eine Liste oder kleine Skizzen, die Sie dann bei Himmelsbeobachtungen verwenden können.

2. Ortsbestimmungen auf der Himmelskugel

Um den Ort eines Gestirns am Himmel zu beschreiben, benötigt man **Koordinaten**, also Bezugslinien, ähnlich wie auf der Erde. Eine solche Linie ist zugleich eine Gerade und ein Kreis, denn sie befindet sich ja auf einer Kugel und hat damit, anders als eine Gerade auf einer ebenen Fläche, eine Krümmung. Man nennt eine solche Bezugslinie einen **Großkreis**. Ein Großkreis entsteht immer dann, wenn eine Bewegung auf einer Kugeloberfläche solange ohne Abweichung geradeaus läuft, bis sie in sich zurückgekehrt ist. Man kann einen Großkreis auch als den größten auf einer Kugel möglichen Kreis bezeichnen. Auf der Erde ist z.B. der Äquator ein solcher Großkreis. Vom Mittelpunkt einer Kugel aus betrachtet - und die Himmelskugel kann ja überhaupt nur von innen betrachtet werden - sind Großkreise nicht gekrümmt, sondern gerade. Jeder Großkreis auf einer Kugel teilt diese in zwei gleich große Hälften. Der Erdäquator hat daher auch seinen Namen (lateinisch:

aequator = „der Gleicher“, „der in gleiche Hälften Teilende“). Es liegt dabei in der Natur der Kugelgestalt, dass es zu jedem Großkreis zwei Pole geben muss, das sind die zwei Punkte, die in der Mitte der beiden Kugelhälften liegen, den jeweils größtmöglichen Abstand zu ihrem Bezugs-Großkreis haben und sich genau gegenüber stehen.

Zur Bestimmung einer Gestirnsposition werden immer zwei Zahlenangaben (Koordinaten) benötigt. Man braucht dazu einen **Bezugskreis**, der ein Großkreis sein muss, mit seinen beiden Polen als den **Bezugspunkten**, und dann noch einen nur gedachten halben Großkreis, der von dem einen Pol durch den Stern zum anderen Pol läuft und damit den Bezugs-Großkreis rechtwinklig schneidet. Auf dem Bezugskreis gibt es eine Gradeinteilung (meist von 0° bis 360°) mit einer vereinbarten Stelle als 0° -Position. Der Winkelabstand zwischen dieser 0° -Position und der Stelle, wo sich der

Bezugskreis und der halbe Gestirns-Großkreis schneiden, ist die eine Koordinate, die andere der Winkelabstand vom Gestirn zum Bezugskreis.

Gestirnspositionen lassen sich nur mit Winkeln messen, weil ja auf der Himmelskugel ein Messen mit Längenmaßen nicht möglich ist und deshalb die Position eines Sternes durch die Richtung angegeben wird, in der man ihn anvisiert. Das Winkelmaß macht keine Aussage über absolute Längen, sondern nur über die Positionsverhältnisse der Sterne untereinander.

Der **Winkelabstand** zwischen einem Stern und einem beliebigen anderen Punkt ist derjenige Winkel, den die Blickstrahlen zu diesen beiden Punkten gemeinsam bilden, vom irdischen Beobachter in der Mitte der Himmelskugel aus gesehen. Man kann sich das gut mit den Armen verdeutlichen, indem man den einen Arm auf einen Stern, den anderen auf den am nächsten darunter gelegenen Punkt auf dem Horizont richtet. Der Winkel, den die Arme bilden, ist der Winkelabstand des Sterns über dem Horizont, weil er den Abstand des Sterns nicht im Längenmaß, sondern als Winkel angibt.

Das Winkelmaß wird meist in Grad angegeben, 360° ist ein Vollkreis. Ein Grad wird in 60 Bogenminuten und eine Bogenminute in 60 Bogensekunden unterteilt. Mit modernen Geräten lassen sich selbst kleinste Winkelabstände erstaunlich genau bestimmen. Für die Himmelsbeobachtung mit dem bloßen Auge genügen einige **Faustregeln**:

Bei ausgestrecktem Arm bedeckt

- die abgewinkelte Hand mit angelegtem Daumen etwa 10°
- die abgewinkelte und zur Spanne gespreizte Hand ca. 20°
- die Kuppe des kleinen Fingers ca. 1°

Im Laufe der Geschichte sind drei wichtige Koordinatensysteme entstanden, die nebeneinander Verwendung finden: Das Horizont-, das Äquator- und das Ekliptik-Koordinatensystem.

Aufgabe 12

Sie können sich die Ortsbestimmung auf einer Kugel deutlich machen, indem Sie nur den Meridianring, ohne Himmelskugel, in den Horizontring einsetzen, mit der „N“-Markierung genau oben. Dann wäre der Horizontring der Bezugs-Großkreis und „N“ und „S“ auf dem Meridianring wären die zu diesem Großkreis gehörenden Pole. Für einen Stern, der auf der Meridianlinie liegt, wäre der Meridianring der Gestirns-Großkreis: Er geht durch beide Pole und diesen Stern und schneidet den Bezugs-Großkreis rechtwinklig bei 0° und 180° . Es sind unendlich viele solcher Gestirns-Großkreise möglich, so viele, wie es Sterne gibt. Sie schneiden den Bezugs-Großkreis dann jeweils an zwei anderen gegenüberliegenden Stellen, z.B. bei 10° und 190° , 45° und 225° usw.

Nicht alle Arme sind gleich lang und nicht alle Hände sind gleich breit! Überprüfen Sie die Genauigkeit der Faustregeln an Ihrer Hand und merken Sie sich eventuelle größere Abweichungen:

Aufgabe 13

Wird der Durchmesser der Vollmondscheibe (30 Bogenminuten = $\frac{1}{2}^\circ$) zweimal von der Kuppe des kleinen Fingers bedeckt? Ergibt die Kuppe eines anderen Fingers vielleicht einen genaueren Wert?

Aufgabe 14

Wird der Abstand zwischen den beiden hinteren „Kastensternen“ des Großen Wagens Dubhe und Merak (= ca. 5°) zweimal von der Handbreite bedeckt?

Aufgabe 15

Wird der Abstand zwischen dem mittleren „Deichselstern“ Mizar und dem vorne oben liegenden „Kastenstern“ Megrez (= ca. 10°) von einer Handbreite bedeckt?

3. Das Horizont-Koordinatensystem

Von den drei genannten astronomischen Koordinatensystemen hat das horizontale den direktesten Bezug zum Menschen als Beobachter. Neben dem **Horizont** als Bezugs-Großkreis kennt das Horizont-Koordinatensystem als Bezugspunkte den **Zenit** am höchsten Punkt des Himmelsgewölbes über dem Haupte des Beobachters und den **Nadir** gegenüber unter seinen Füßen. Die Koordinaten sind die **Höhe** und das **Azimet**.

Mit der **Höhe** h wird der Winkelabstand eines Gestirns über dem Horizont angegeben. Für eine Position direkt auf dem Horizont ist $h = 0^\circ$ und für die Stellung im Zenit $+90^\circ$. Negative Höhenwerte bezeichnen eine Stellung unter dem Horizont, der Nadir hat demnach eine Höhe von -90° . Auf dem Tischplanetarium lässt sich die Höhe eines Gestirns am leichtesten ablesen, wenn es genau im Süden oder im Norden am Meridianring steht. Nur dürfen da nicht die Werte direkt abgelesen, sondern müssen neu ab Horizontring nach oben bzw. unten gezählt werden (es sei denn, der Meridianring ist für den Nordpol eingestellt). Wenn ein Gestirn bei seiner Wanderung über den Himmel die größte Höhe erreicht, spricht man von seiner (oberen) **Kulmination**. Bei uns kulminieren Sonne, Mond und alle Planeten ebenso wie die meisten Sterne im Süden. Die untere Kulmination ist der Durchgang durch den unteren Meridiankreis, das ist dann bei uns meist unter dem Horizont, außer bei den zirkumpolaren Sternen, die beide Kulminationen über dem Horizont haben (s. S. 15).

Ein Kreis auf der Himmelskugel, der höher oder tiefer als der Horizont liegt und zu diesem parallel verläuft, heißt **Höhenparallel** (oder, mit seinen wohlklingenden arabischen Namen, **Azimetalkreis** oder **Almukantarat**). Er ist kein Großkreis. Ein gedachter Großkreis, der durch Zenit und Nadir geht und den Horizont im rechten

Winkel schneidet, wird als **Vertikalkreis** bezeichnet. Der durch den Süd- und Nordpunkt des Horizontes gehende Vertikalkreis heißt **Meridian** (lateinisch: *meridies* „Mittag“) oder **Mittagslinie**, weil auf dieser Kreislinie die Sonne am Mittag ihre obere Kulmination hat. Sie wird beim Tischplanetarium durch den Meridianring dargestellt.

Das **Azimet** a wird entlang des Horizontes gemessen und gibt den horizontalen Winkelabstand zwischen dem Fußpunkt eines Vertikalkreises und dem Nordpunkt des Horizontes an, wobei von Norden über Osten, Süden und Westen zurück nach Norden von $a = 0^\circ$ bis $a = 360^\circ$ gemessen wird. Das entspricht den Gradangaben auf dem Horizontring des Tischplanetariums. Bis vor einiger Zeit herrschte eine andere Vereinbarung vor, nämlich nicht vom Nordpunkt, sondern vom Südpunkt aus von 0° bis 360° zu messen.

Das horizontale Koordinatensystem ist unter anderem deshalb wichtig, weil mit ihm die augenblickliche Position eines beliebigen Gestirns, seine Auf- und Untergangszeiten und seine Kulmination bestimmt werden können, ebenso wie die Dauer der Morgen- oder Abenddämmerung. Es spielt für die astronomische Ortsbestimmung in der Navigation eine große Rolle. Ein Gestirnsstand, der mit diesen Koordinaten angegeben wird, hat immer nur Gültigkeit für einen ganz bestimmten Ort der Erde zu einer ganz bestimmten Zeit.

Aufgabe 16

Stellen Sie das Tischplanetarium auf die geographische Breite φ Ihres Heimortes ein, setzen Sie den Sonnenreiter auf eine der $+23,44^\circ$ -Markierungen der Himmelskugel, drehen Sie diese langsam und bestimmen Sie das Azimet des Reiters, wenn seine Mitte den Horizont a) im Osten, b) im Westen schneidet.

Aufgabe 17

Stellen Sie das Tischplanetarium auf die geographische Breite φ Ihres Heimatortes ein und bestimmen Sie die Höhe des Himmelsnordpols. Welche allgemeine Beziehung besteht zwischen der geographischen Breite φ eines Ortes und der Höhe h des Himmelsnordpols? - Für Mathematiker: Beweisen Sie diesen Zusammenhang unter Verwendung geometrischer Überlegungen! Sie können dabei einen Erdglobus verwenden, den Sie so drehen, dass Ihr Wohnort genau oben liegt. Markieren Sie die Horizontebene mit einem Stück Pappe. Fertigen Sie eine Zeichnung an und vergleichen Sie dann die Winkel, indem Sie Wechselwinkel, Stufenwinkel usw. suchen.

Aufgabe 18

Wie groß sind Azimut und Höhe des Sonnenreiters in Aufgabe A16, wenn er a) genau im Süden, b) genau im Norden steht?

Setzen Sie für die folgenden Untersuchungen den Sternglobus ein, falls Sie nicht auch so zu einem Ergebnis kommen:

Aufgabe 19

Überlegen Sie, wie man in der Natur das Azimut und die Höhe der Sonne bestimmen könnte. Hinweis: Nehmen Sie dazu einen senkrecht stehenden Schattenstab, einen Kompass und einen Winkelmesser.

Aufgabe 20

Gibt es ein Feld auf der Himmelskugel, dessen Sterne nicht über dem südlichen, sondern über dem nördlichen Horizont ihre obere Kulmination haben?

Aufgabe 21

Kann man den Meridianring auf eine geographische Breite einstellen, bei welcher das Feld der im Norden kulminierenden Sterne ebenso groß ist wie das Feld der im Süden kulminierenden?

Aufgabe 22

Gibt es eine Einstellung für den Meridianring, bei welcher kein einziger Fixstern kulminiert? Welche geographische Breite φ wäre das, d.h. wie groß müsste da die Polhöhe sein?

4. Die tägliche Bewegung der Himmelskugel

In unseren nördlichen Breiten, die man die „gemäßigten“ oder „mittleren“ nennt, weil wir etwa gleich weit entfernt vom Nordpol und dem Äquator leben, steht die Achse der Himmelskugel schräg nach Norden geneigt. Der **Himmelsnordpol** steht etwa auf halbem Weg zwischen dem Nordpunkt des Horizonts und dem Zenit. Die Höhe des Himmelsnordpols über dem Horizont eines bestimmten Ortes bezeichnet man als dessen **Polhöhe**. Sie ist identisch mit der geographischen Breite φ .

In der Natur lässt sich der Himmelsnordpol leicht finden, wenn man das bekannte Sternbild *Großer Wagen* (= *Großer Bär*)

aufsucht und die beiden hinteren Sterne des „Wagenkastens“ *Dubhe* und *Merak* in Richtung der Öffnung dieses Kastens $5\frac{1}{2}$ mal verlängert. Dort steht der **Polarstern**, der nur 85 Bogenminuten vom Himmelsnordpol entfernt ist. Das entspricht etwa $1\frac{1}{2}$ Vollmondbreiten oder, bei ausgestrecktem Arm, etwas weniger als der Kuppe des kleinen Fingers.

Im Verlauf eines Tages dreht sich die Himmelskugel einmal um die eigene Achse, immer von Ost nach West. Der **Himmelsäquator** schneidet den Horizont immer genau im Osten und im Westen.

Aufgabe 23

Stellen Sie den Meridianring auf die geographische Breite Ihres Heimatortes ein. Wie viel Grad liegen zwischen Zenit und Himmelsnordpol? Wie groß ist die Polhöhe? Gibt es zwischen den beiden einen Zusammenhang?

Aufgabe 24

Nehmen Sie die nächste Gelegenheit wahr, im Freien den Himmelsnordpol aufzusuchen und stellen Sie anhand der Faustregeln fest, wie hoch er über dem Horizont steht.

5. Das Äquator-Koordinatensystem

Bei diesem Koordinatensystem ist der Bezugskreis der **Himmelsäquator**, jene gedachte Linie, welche die Himmelskugel in zwei gleich große Hälften teilt und dessen Lage das Tischplanetarium durch den Stundenwinkelring anzeigt. Die beiden Bezugspunkte sind der **Himmelsnordpol** und der **Himmelsüdpol**. Ein durch die beiden Pole laufender und senkrecht den Himmelsäquator schneidender Kreis heißt **Stundenkreis** (nicht zu verwechseln mit dem Stundenwinkelring des Tischplanetariums), ein durch ein Gestirn parallel zum Himmelsäquator laufender Kreis **Höhenparallel**. Die Koordinaten sind die **Deklination** und die **Rektaszension** bzw. der **Stundenwinkel**.

Mit der **Deklination** δ (griechisch: *delta*) wird der senkrechte Winkelabstand eines Gestirns zum Himmelsäquator angegeben, und zwar positiv bei Gestirnen nördlich und negativ bei Gestirnen südlich des Himmelsäquators. Sie beträgt maximal $+90^\circ$ (Himmelsnordpol) und -90° (Himmelsüdpol). Ein Punkt auf dem Himmelsäquator hat $\delta = 0^\circ$ Deklination. Einige ausgewählte Deklinationswerte sind auf den Ringen der Himmelskugel angegeben.

Mit dem **Stundenwinkel** t oder τ (griechisch: *tau*) wird der Winkel zwischen dem Stundenkreis, der durch das Gestirn geht, und dem Südmeridian bezeichnet. Trotz seines Namens ist er kein Zeitmaß, sondern ein Winkelmaß. Man misst entweder von 0° bis 360° in Richtung W, N, O und S, der Drehrichtung des Himmelsgewölbes

entsprechend, oder nach W positiv, nach O negativ. Der Stundenwinkel wird allerdings meist nicht in Grad, sondern in Stunden, Minuten und Sekunden angegeben (24h entsprechen 360° , 1h entspricht 15° , 4^{min} entsprechen 1° usw.), wie beim Tischplanetarium, wo er sich am Stundenwinkelring ablesen lässt. Weil dieser aber im Süden nicht 0^{h} sondern 12^{h} anzeigt, muss man beim dort abgelesenen Wert 12 Stunden abziehen bzw. dazuzählen, um den Stundenwinkel zu bekommen.

Meistens wird aber bei der Positionsbestimmung eines Gestirns statt mit dem Stundenwinkel lieber mit der **Rektaszension (AR)** α (griechisch: *alpha*) gearbeitet. Sie wird von $\alpha = 0^\circ$ bis $\alpha = 360^\circ$ oder, in Stunden ausgedrückt, von $\alpha = 0^{\text{h}}$ bis $\alpha = 24^{\text{h}}$ auf dem Himmelsäquator gemessen, vom **Frühlingspunkt** aus nach Osten (d.h. also entgegen der Zählweise auf dem Stundenwinkelring und mit der Datumszählung auf der Ekliptik). Der Frühlingspunkt ist derjenige Punkt auf Himmelsäquator und Ekliptik (Sonnenbahn), wo die Sonne am 21. März steht, dem Zeitpunkt der Frühlings-Tagundnachtgleiche. Zu diesem Zeitpunkt tritt die Sonne von der Süd- auf die Nordhalbkugel des Himmels über, ihre Deklination ist 0° . Er wird mit dem Symbol Υ gekennzeichnet.

Auf dem Sternglobus ist der Himmelsäquator mit seiner Einteilung in 24 Stunden Rektaszension gut erkennbar; Striche und Lücken entsprechen jeweils 10^{min} . Das Äqua-

tor-Koordinatensystem ist das in der Astronomie am häufigsten verwendete, weil es im Gegensatz zum Horizont-System zeit- und ortsunabhängig ist. Alle Sternatlanten verwenden diese Koordinaten, in Sternkatalogen wird die Stellung eines Gestirns fast immer nur in äquatorialen Koordinaten angegeben, und die meisten astronomischen Fernrohre sind so montiert, dass mit den äquatorialen Daten ein Stern rasch und exakt angepeilt werden kann.

Aufgabe 25

Wie lauten Deklination und Rektaszension derjenigen Punkte auf der Himmelskugel, wo die Himmelsringe von der Sonnenbahn geschnitten werden (21. März, 21. Juni usw.)?

Aufgabe 26

Wie groß ist der Stundenwinkel der Sonne, wenn der Sonnenreiter auf den Positionen 21. März, 15. Juli, 1. Oktober und 3. Februar steht und die Sonne gerade untergeht? Berücksichtigen Sie, dass Sie sich manchmal einen Großkreis durch die Himmelspole und die Sonne denken müssen, um die Zeit auf dem Stundenwinkelring abzulesen. Der Stundenwinkel wird ab südlicher Meridianlinie gezählt.

6. Die Drehung des Fixsternhimmels und die Bewegungen der Planeten

Die von der Erde aus wahrnehmbare Himmelskugel besteht natürlich nicht aus zwei sich kreuzenden Ringen wie im Tischplanetarium. Sie bietet sich dem Auge als eine unendlich weit entfernte Hohlkugel dar, an deren Inneren die **Fixsterne** angeheftet erscheinen. Die Fixsterne verändern ihre Position nicht, sie sind „fixiert“ - daher ihr Name. In sehr langen, über Jahrtausende gehenden Zeiträumen verschieben sich zwar auch ihre Positionen etwas, aber das kann hier unberücksichtigt bleiben.

Die **Sonne**, der **Mond** und die **Planeten**, die sogenannten **Wandelsterne** (griechisch: *planetes* „umherschweifend“), sind dagegen nicht an einen festen Ort auf der Himmelskugel gebunden. Sie wandern jeder mit seiner eigenen Geschwindigkeit und eigenen, leicht abweichenden Bahn auf dem Hintergrund des Fixsternhimmels. Am schnellsten schafft es der Mond, einmal die Himmelskugel zu umrunden und wieder den gleichen Stundenkreis zu erreichen (gut 27 Tage), am langsamsten ist Pluto

(248 Jahre). Sonne, Mond und Planeten machen also die tägliche Bewegung der Himmelskugel mit, verändern aber gleichzeitig ihre Lage auf ihr. Die Bahn, entlang welcher sie sich bewegen, liegt in einem Bereich ca. 7° zu beiden Seiten der Ekliptiklinie, nur Pluto kann sich noch weiter von ihr entfernen. Den jeweiligen Stand der Planeten kann man in einem Jahrbuch mit **Ephemeriden**, den Listen der Positionskoordinaten der Planeten, entnehmen oder noch einfacher dem entsprechenden Jahrgang einer grafischen Ephemeride, z.B. den Planetenbahnen von AstroMedia[®] (siehe Literaturhinweise S. 39).

Zu einem beliebigen Zeitpunkt ist immer nur eine Hälfte der Himmelskugel sichtbar, nämlich die über dem Horizont liegende; deshalb spricht man da auch vom „Himmelsgewölbe“ und meint damit die sich über die Horizontscheibe wölbende Halbkugel.

Die Himmelskugel dreht sich in knapp 24 Stunden einmal um ihre Achse (genauer:

in 23 Stunden 56 Minuten - siehe dazu auch den Abschnitt über die Sternzeit (S. 33). Dabei gehen ständig Sterne am östlichen Horizont auf und am westlichen unter. Manche bleiben allerdings immer über oder unter dem Horizont. Weil diese sich auf runden Feldern rings um die beiden Pole der Himmelskugel befinden, nennt man sie **zirkumpolare Sterne**. Je nach geographischer Breite sind diese Felder unterschiedlich groß. Allgemein gilt, dass an einem beliebigen Ort der Erde alle Sterne über dem Horizont sichtbar werden, mit Ausnahme derjenigen des unter dem Horizont gelegenen zirkumpolaren Feldes. Bei uns sind das immerhin nur 20% der Himmelskugel, die unsichtbar bleiben.

Mit den Sternglobus-Halbschalen lässt sich die Größe der zirkumpolaren Sternfelder feststellen, ebenso die Auf- und Untergangsorte der Sterne und Sternbilder am Horizont. Diese Orte bleiben immer gleich, sie verändern sich im Jahreslauf nicht, im Gegensatz zu den Auf- und Untergangsorten der Wandelsterne.

Aufgabe 27

Stülpen Sie erst die eine, dann die andere Hälfte des Sternglobus über die Himmelskugel oder bringen Sie noch besser beide Hälften gleichzeitig an, was aber etwas schwierig ist. Stellen Sie den Meridianring wieder auf die geographische Breite Ihres Heimatortes ein.

Aufgabe 28

Welche Sternbilder bleiben während einer vollen Umdrehung des Sternglobus immer über dem Horizont, wenigstens teilweise?

Aufgabe 29

Welche Sternbilder tauchen nie oder nur teilweise über den Horizont auf, bleiben also für uns Mitteleuropäer immer ganz oder fast ganz unsichtbar?

Aufgabe 30

Welches dieser beiden zirkumpolaren Felder ist größer? Oder sind sie gleich groß?

Aufgabe 31

Welche Sternbilder überqueren während einer vollen Drehung des Sternglobus den Zenit?

Aufgabe 32

Wie viele Stunden ist das Sternbild Skorpion während einer vollen Umdrehung des Sternglobus über dem Horizont zu sehen? Gehen Sie von der Sichtbarkeitsdauer des Sternes Antares aus.

Aufgabe 33

Wie viele Stunden ist das Sternbild Stier während einer Umdrehung über dem Horizont zu sehen? Gehen Sie von der Sichtbarkeitsdauer des Sternes Aldebaran aus.

7. Die Jahresbahn der Sonne auf der Ekliptik

Von der **täglichen Wanderung** der Sonne über den Himmel von Ost nach West und in der Nacht unter dem Horizont wieder zurück von West nach Ost, die sie gemeinsam mit der Himmelskugel vollzieht, muss unterschieden werden die **jährliche Wanderung** der Sonne auf dem Hintergrund des Fixsternhimmels, die sie auf der **Ekliptik** macht. „Ekliptik“ bedeutet im Griechischen „Verfinsterungslinie“, weil die Positionen der sich verfinsternden Sonne oder des Mondes immer auf dieser Linie liegen.

Die **tägliche Wanderung** der Sonne wird auf dem Tischplanetarium durch die Drehung der Himmelskugel dargestellt, die immer so erfolgt, dass der Sonnenreiter an den Zahlen des Stundenwinkelringes in aufsteigender Folge vorbeizieht. Die **Jahreswanderung** der Sonne wird durch das Verschieben des Sonnenreiters entsprechend dem Datum auf dem Ekliptikring nachvollzogen. Auf dem Sternglobus entspricht der Abstand von einem kleinen Kreis zum nächsten der Wanderung während eines Tages.

Bei ihrer Jahresbewegung läuft die Sonne auf dem Hintergrund des Fixsternhimmels auf ihrer Bahn im Laufe eines Jahres einmal ganz herum. Sie durchquert dabei die zwölf **Sternbilder des Tierkreises** (die man nicht mit den **Sternzeichen des Tierkreises** verwechseln darf! Siehe dazu auch S. 19).

Könnte man am 21. März (Frühlingsanfang) im Augenblicke des Sonnenuntergangs die Drehung der Himmelskugel für ein ganzes Jahr anhalten, würde man die Sonne in kleinen Schritten (etwa 1° pro Tag) über den Himmel wandern sehen, von rechts (Westen) nach links (Osten), was ein halbes Jahr dauern würde. Danach wäre ein halbes Jahr lang Nacht, während die Sonne unter dem Horizont von Osten nach Westen liefe. Wir sähen während dieser Zeit immer die gleichen Sternbilder an der selben Stelle des

Himmelsgewölbes stehen. Dieses Weiterwandern der Sonne um etwa 1° pro Tag ist dafür verantwortlich, dass unser Tag nicht die 23 Stunden 56 Minuten dauert, von denen auf S. 14 die Rede ist, sondern 24 Stunden (siehe dazu auch den Abschnitt über die Sternzeit S. 33).

Die Ekliptik ist, wie der Himmelsäquator, ein Großkreis. Sie ist gegen ihn um $23,44^\circ$ geneigt; diesen Winkel bezeichnet man als die **Schiefe der Ekliptik**. Sie entspricht, heliozentrisch betrachtet, der Neigung der Erdachse in Bezug auf die Ebene der Erdbahn um die Sonne. Während der Himmelsäquator (bzw. beim Tischplanetarium der Stundenwinkelring, der sich zwar nicht mitdreht, aber die Lage des Himmelsäquators auf der Himmelskugel anzeigt) immer gleich hoch am Himmel steht und den Horizont stets genau im Westen und im Osten schneidet, vollführt die Bahn der Sonne, die Ekliptik, wegen ihrer Schiefe einen immer währenden Tanz um die Erde, sie „eiert“ sozusagen pro Tag einmal um sie herum.

Es ist nicht leicht, aber wichtig und lohnend, sich das tägliche Tanzen der Ekliptik deutlich zu machen. Hätte die Sonne nicht diese um $23,44^\circ$ versetzte Bahn, sondern liefe sie z.B. auf dem Himmelsäquator, d.h. auf der Höhe des Stundenwinkelringes, so wäre jeder Tag des Jahres gleich lang, und zwar an jedem Ort der Erde. So können aber unterschiedlich lange Tage und Nächte und damit die Jahreszeiten entstehen.

Der Schnittpunkt, welchen die Ekliptik mit dem Himmelsäquator dort bildet, wo die Datumsangaben zum Himmelsnordpol hin aufsteigen, heißt **Frühlings- oder Widderpunkt** Υ ($\lambda = 0^\circ$ auf der Ekliptik und $\lambda = 0^\circ$ auf dem Äquator; zur Erklärung der ekliptikaln Breite λ s. S. 19). Hier steht die Sonne am 21. März (Frühlingsanfang). Der gegenüberliegende Schnittpunkt ist der **Herbst- oder Waagepunkt** ♎ , ihn über-

quert die Sonne am 23. September (Herbstanfang). Am **Sommerpunkt** ($\lambda = 90^\circ$) und am **Winterpunkt** ($\lambda = 270^\circ$) steht sie am 21. Juni (Sommeranfang) und am 22. Dezember (Winteranfang). Diese beiden Punkte sind jeweils $23,44^\circ$ vom Himmelsäquator entfernt, wie man am Meridianring ablesen kann. Diese Deklination $\delta = \pm 23,44^\circ$ ist die größte Entfernung, die die Sonne zum Himmelsäquator einnehmen kann.

Je nachdem, wo bei ihrer jährlichen Wanderung auf der Ekliptik die Sonne gerade steht, sind ihre Tag- und der Nachtbögen unterschiedlich groß. So kommt es, wie erwähnt, zu den Jahreszeiten. Zugleich ändern auch die Auf- und Untergangspunkte der Sonne ihren Ort am Horizont: im Sommer liegen sie viel nördlicher und im Winter viel südlicher als Ost- und Westpunkt. Man bezeichnet diesen Abstand als die **Abendweite** und **Morgenweite** der Sonne. Auch die Dämmerungsdauer verändert sich je nach Jahreszeit - das alles bewirkt die Schiefe der Ekliptik.

Die Jahreswanderung der Sonne bewirkt noch etwas: Die Sternbilder, in deren Nähe sie sich gerade befindet, gehen ja morgens mit ihr auf und abends mit ihr unter. Dadurch bleiben sie für uns so lange unsichtbar, bis die Sonne weiter gewandert ist. So kommt es, dass es typische Sommer-, Herbst-, Winter- und Frühlingssternbilder gibt. Das sind dann diejenigen, die dem jeweiligen Ort der Sonne mehr oder weniger gegenüber liegen und damit nachts am Himmel stehen, wenn die Sonne ihre Bahn unter dem Horizont zieht.

Aufgabe 34

Stellen Sie das Tischplanetarium wieder auf die Breite Ihres Heimatortes ein, setzen Sie den Sonnenreiter nacheinander auf den Frühlings-, Sommer-, Herbst- und Winterpunkt und untersuchen Sie, wie sich die Tag- und Nachtbögen der Sonne verändern. Nehmen Sie auch Sonnenpositionen zwischen diesen vier Punkten dazu.

Aufgabe 35

Wie lang dauert ein Tag, wie lang eine Nacht an jedem dieser vier Daten, gemessen jeweils ab Sonnenauf- bzw. Untergang (= Scheibenmitte des Reiters auf Horizontlinie)? Lesen Sie die Dauer am Stundenwinkelring ab.

Aufgabe 36

Wann ist **Sommersonnwende** (= der längste Tag des Jahres)? Wann **Wintersonnwende** (= kürzester Tag)? Wann ist die **Frühlings-**, wann die **Herbsttagundnachtgleiche** (Tag und Nacht haben die gleiche Länge)?

Aufgabe 37

Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Tages- und der Nachtdauer im Sommer und der Nacht- und der Tagesdauer im Winter?

Aufgabe 38

Wie groß ist die Höhe h der Sonne an jedem dieser vier Daten, wenn sie mittags den Meridian im Süden überquert?

Aufgabe 39

In welcher Jahreszeit ändern sich die Längen von Tag und Nacht am raschesten, in welcher am langsamsten? Stecken Sie dazu den Sonnenreiter jeweils auf einen Termin zwei Wochen vor und zwei Wochen nach Frühlings-, Sommer-, Herbst- und Winteranfang und vergleichen Sie die Dauer von Tag und Nacht.

Aufgabe 40

Wo am Horizont geht die Sonne zu den Anfängen der vier Jahreszeiten auf und unter? Ermitteln Sie das Azimut a der Auf- und Untergangspunkte sowie die Abend- und Morgenweite der Sonne.

Aufgabe 41

Welche Sternbilder sind jeweils am südlichen Horizont besonders gut sichtbar, wenn die Sonne auf den vier oben genannten Punkten ihrer Bahn steht und es 22 Uhr ist? Einige, nämlich die Sternbilder des Tierkreises, können Sie auf der Ekliptik ablesen. Für die anderen brauchen Sie den Sternglobus. Schreiben Sie sich ihre Namen als „Sommersternbilder“, „Herbststernbilder“ usw. auf, damit Sie sie sich gut merken können.

8. Die Dämmerung

Wenn es für den normalen Bürger schon dunkel ist, empfindet das der Seemann durchaus noch als dämmerig, und der Astronom, dem die Nacht gar nicht finster genug sein kann, erst recht. Deshalb unterscheidet man zwischen **bürgerlicher**, **nautischer** und **astronomischer Dämmerung**. Als bürgerliche Dämmerung bezeichnet man die Zeit, welche die Sonne vom Beginn des Sonnenuntergangs bis zu einem Stand 6° unter dem Horizont benötigt. Man sieht dann die ersten hellen Sterne. Bei der nautischen Dämmerung sind es 12° unter dem Horizont, bei der astronomischen Dämmerung, auf welche völlige Dunkelheit folgt, sind es 18° . Für die Morgendämmerung gilt das entsprechend.

Je nach dem, wo die Sonne der Jahreszeit entsprechend gerade auf der Ekliptik steht, sind ihre **Auf- und Untergangswinkel** flacher oder steiler. Damit verlängert oder verkürzt sich auch die Dauer der Dämmerung und damit auch der eigentliche Sonnenuntergang, das Verschwinden der Sonnenscheibe hinter dem Horizont. .

Wie erwähnt, müssten Sonnen- und Mondreiter des Tischplanetariums eigentlich viel kleiner sein, nämlich $\frac{1}{2}^\circ$ im Durchmesser, das ist nur halb so groß wie der Punkt auf der Sonnenscheibe beim Kleinen Tischplanetarium. Um nicht unhandlich zu werden, sind die Scheiben etwa 30 mal größer als sie maßstäblich sein müssten; vom Inneren des Tischplanetariums aus betrachtet messen sie etwa 15° .

Deshalb kann man sagen, dass die bürgerliche Abenddämmerung beginnt, wenn der Punkt auf dem Sonnenreiter die Horizontlinie überquert und etwa so lange dauert, wie noch ein Teil der Scheibe des Sonnenreiters über den Horizont ragt. Entsprechend gilt für die Morgendämmerung, dass sie beginnt, wenn die Scheibe des Reiters die Horizontlinie berührt, und endet, wenn der Punkt den Horizont erreicht hat.

Aufgabe 42

Stellen Sie das Tischplanetarium auf Ihren Heimtort ein, setzen Sie den Sonnenreiter nacheinander auf den 21. März, 21. Juni, 23. September und 22. Dezember und bestimmen Sie die Dauer der bürgerlichen Morgendämmerung an jedem dieser Tage. Sie müssen dabei von der Seite über den Horizontring auf den Sonnenreiter peilen. Wann ist die Dämmerungsdauer am längsten, wann am kürzesten?

Aufgabe 43

Versuchen Sie, an einem Winkelmesser, den Sie außen gegen den Horizont halten, während Sie die Sonne aufgehen lassen, den Winkel zwischen Horizont und der Bewegungslinie der Sonne für die oben genannten 4 Termine abzulesen. Sie müssen wieder von der Seite peilen. Wann sind die Auf- und Untergangswinkel am kleinsten, wann am größten?

Aufgabe 44

Was fällt Ihnen im Vergleich der Aufgangswinkel und der Dämmerungsdauer an diesen vier Terminen auf? Könnte man eine allgemeine Regel daraus ableiten, wie sich Aufgangswinkel und Dämmerungsdauer zueinander verhalten?

Aufgabe 35

Wie unterscheidet sich die Dämmerungsdauer am Morgen von der am Abend?

9. Das Ekliptik-Koordinatensystem

Die Bezugslinie ist hier der Großkreis der **Ekliptik**. Entsprechend gibt es auch einen **ekliptikalen Nord-** und einen **ekliptikalen Südpol**.

Mit der **ekliptikalen Breite β** (griechisch: *beta*) wird der Abstand von der Ekliptik angegeben, positiv nach Norden, negativ nach Süden.

Die **ekliptikale Länge λ** (griechisch: *lambda*) wird vom Frühlingspunkt an ostwärts von 0° bis 360° gemessen. Dieses Koordinatensystem findet vor allem bei der Bestimmung von Mond- und Planetenpositionen Verwendung und spielt heute vorwiegend in der Astrologie noch eine größere Rolle.

Die Gradangaben der Ekliptik lassen sich beim Kleinen Tischplanetarium anhand der 12 Punkte auf der Innenseite des Ekliptikringes abschätzen: Der Punkt beim 21. März ist $\lambda = 0^\circ$, jeder weitere ist 30° vom vorhergehenden entfernt. Gezählt wird in Richtung der Datumsangaben.

Aufgabe 46

Nehmen Sie die Himmelskugel mit darübergehaltenem Sternglobus in die Hand und drehen Sie sie so, dass die Ekliptiklinie waagrecht liegt. Bestimmen Sie jetzt, in welchen Sternbildern Nord- und Südpol der Ekliptik ihre ungefähre Lage haben.

Aufgabe 47

Können Sie abschätzen, wie viel Grad die ekliptikalen Pole von den äquatorialen Himmelpolen entfernt sind? Können Sie diesen Abstand vielleicht sogar genau angeben? Dann können Sie die Ekliptikpole auf dem Sternglobus markieren.

10. Der Tierkreis

Bei ihrer Wanderung entlang der Ekliptik durchquert die Sonne die 12 **Sternbilder des Tierkreises**, die man nicht mit den 12 **Sternzeichen des Tierkreises** verwechseln darf, wie sie z.B. bei Geburtstagsangaben benutzt werden, auch wenn die Tierkreis-Sternbilder die gleichen Namen haben wie die Tierkreis-Sternzeichen und die gleichen Symbole für sie verwendet werden:



Widder
Aries



Krebs
Cancer



Waage
Libra



Steinbock
Capricornus



Stier
Taurus



Löwe
Leo



Skorpion
Scorpio



Wassermann
Aquarius



Zwillinge
Gemini



Jungfrau
Virgo



Schütze
Sagittarius



Fische
Pisces

- Mit den **Tierkreis-Sternbildern** sind die sichtbaren Sternbilder gemeint, durch welche die Ekliptik verläuft. Da sie von sehr unterschiedlicher Ausdehnung sind, ist der Eintritt der Sonne in die Sternbilder und auch ihre Verweildauer in ihnen sehr uneinheitlich:

Sternbild	latein. Name	ekliptikale Länge λ	Sonneneintritt	Verweildauer
Widder	<i>Aries</i>	029° - 053°	19.04.	24 Tage
Stier	<i>Taurus</i>	053° - 089°	13.05.	38 Tage
Zwillinge	<i>Gemini</i>	089° - 117°	20.06.	29 Tage
Krebs	<i>Cancer</i>	117° - 138°	19.07.	22 Tage
Löwe	<i>Leo</i>	138° - 173°	10.08.	35 Tage
Jungfrau	<i>Virgo</i>	173° - 219°	15.09.	47 Tage
Waage	<i>Libra</i>	219° - 237°	01.11.	18 Tage
Skorpion	<i>Scorpio</i>	237° - 268°	19.11.	30 Tage
Schütze	<i>Sagittarius</i>	268° - 298°	19.12.	30 Tage
Steinbock	<i>Capricornus</i>	298° - 326°	18.01.	27 Tage
Wassermann	<i>Aquarius</i>	326° - 351°	14.02.	25 Tage
Fische	<i>Pisces</i>	351° - 029°	11.03.	39 Tage

- Dagegen sind die **Tierkreis-Zeichen** nur die Namen für die zwölf 30°-Abschnitte der Ekliptik, wie sie auf dem Kleinen Tischplanetarium durch Punkte auf der Innenseite markiert sind, und stehen damit für die Stationen der Sonne im Jahreslauf. Wie man durch den Vergleich der beiden Listen sieht, sind die Sternzeichen gegenüber den Sternbildern gleichen Namens um etwa 30° verschoben (zu den Ursachen siehe S. 21). Die Verweildauer der Sonne ist in jedem dieser Abschnitte fast, aber nicht ganz gleich lang, nämlich etwa 30½ Tage. Die Schwankung hängt mit der Zeitgleichung zusammen (siehe dazu S. 34).

Sternbild	latein. Name	ekliptikale Länge λ	Sonneneintritt	
Widder	<i>Aries</i>	000° - 030°	21.03.	= Frühlingsanfang
Stier	<i>Taurus</i>	030° - 060°	20.04.	
Zwillinge	<i>Gemini</i>	060° - 090°	21.05.	
Krebs	<i>Cancer</i>	090° - 120°	21.06.	= Sommeranfang
Löwe	<i>Leo</i>	120° - 150°	23.07.	
Jungfrau	<i>Virgo</i>	150° - 180°	23.08.	
Waage	<i>Libra</i>	180° - 210°	23.09.	= Herbstanfang
Skorpion	<i>Scorpio</i>	210° - 240°	23.10.	
Schütze	<i>Sagittarius</i>	240° - 270°	22.11.	
Steinbock	<i>Capricornus</i>	270° - 300°	22.12.	= Winteranfang
Wassermann	<i>Aquarius</i>	300° - 330°	20.01.	
Fische	<i>Pisces</i>	330° - 360°	19.02.	

Weil der **Frühlingspunkt**, der Schnittpunkt von Ekliptik und Himmelsäquator, zugleich der Punkt ist, an welchem die Sonne in das Zeichen (nicht Sternbild) des Widders eintritt, wird er traditionell auch **Widderpunkt** genannt und durch das Widdersymbol Υ gekennzeichnet. Die Tierkreiszeichen spielen heute vor allem in der Astrologie noch eine Rolle.

Einige kleine Gedächtnisstützen zu den Tierkreiszeichen:

- Wenn die Sonne in das Zeichen **Krebs** eintritt ($\lambda = 90^\circ$), hat das Jahr mit der Sommersonnwende seinen Höhepunkt erreicht und die Tageslänge entwickelt sich wieder zurück; das Jahr geht von nun an sozusagen im „Krebsgang“.
- Wenn die Sonne in das Zeichen der **Waage** eintritt ($\lambda = 180^\circ$), ist Herbst-Tagundnachtgleiche: Tag und Nacht halten sich die Waage.
- Der **Steinbock** ist ein Tier, welches mit anbrechendem Tag den starken Drang verspürt, in die Höhe zu steigen und die Niederungen hinter sich zu lassen. Wenn die Sonne in das Zeichen Steinbock eintritt ($\lambda = 270^\circ$), am Tag der Wintersonnwende, beginnen die Tage wieder länger zu werden: das Jahr beginnt seinen Aufstieg.

Aufgabe 48

In welchem Sternbild (nicht Sternzeichen) verweilt die Sonne am längsten, in welchem am kürzesten? Erklären Sie die Schwankungen anhand der Ekliptiklinie auf dem Sternglobus.

Aufgabe 49

Zählen Sie die Tage, die zwischen den vier Jahreszeitenanfängen liegen, und vergleichen Sie sie. Was fällt Ihnen auf?

Aufgabe 50

Was bedeutet es, wenn jemand sagt, er sei ein „Wassermann“ oder ein „Krebs“? Schauen Sie nach, in welchem Sternbild und in welchem Sternzeichen des Tierkreises die Sonne stand, als Sie geboren wurden. Ist es derselbe Name? Welcher der beiden entspricht besser der astronomischen Realität?

11. Das Platonische Jahr

Wie schon die griechischen Astronomen des Altertums wussten, ist der Frühlingspunkt, der Schnittpunkt von Himmelsäquator und Ekliptik, nicht unveränderlich. Er bewegt sich, wenn auch sehr langsam, entlang der Ekliptik und wandert dabei unmerklich durch die Sternbilder des Tierkreises. Er verschiebt sich entgegengesetzt zu der jährlichen Wanderung der Sonne, also vom Stier durch den Widder und die Fische in den Wassermann usw. Heute steht er im Sternbild Fische. Für einen vollen Umlauf benötigt er 25.770 Jahre, das sind 2.147,5 Jahre pro Tierkreiszeichen. Um nur ein Grad weiterzuwandern, braucht der Frühlingspunkt fast 72 Jahre! Man nennt dieses Weiterrücken die **Präzession des Frühlingspunktes** und die 25.770 Jahre eines ganzen Umlaufs ein **Weltenjahr** oder **Platonisches Jahr**.

Zur Zeit des antiken Griechenlands befand sich der Frühlingspunkt etwa an der Grenze zwischen Fische und Widder. Damit deckten sich die Tierkreis-Sternbilder damals noch in etwa mit den Abschnitten der Tierkreiszeichen. Durch die Präzession des Frühlingspunktes liegt heute das **Sternzeichen** Widder ($\lambda = 0^\circ - 30^\circ$) zum großen Teil im **Sternbild** Fische ($\lambda = 351^\circ - 29^\circ$). Auch die anderen Sternzeichen sind gegenüber ihren Sternbildern um etwa ein Sternbild verschoben.

12. Der Mond

So wie bei der Sonne unterschieden werden muss zwischen ihrer **täglichen Bahn** gemeinsam mit dem Fixsternhimmel über und unter dem Horizont und ihrer **jährlichen Bahn** auf dem Fixsternhimmel durch den Gürtel der Tierkreissternbilder, muss beim Mond zwischen seiner **täglichen** und seiner **monatlichen Bewegung** unterschieden werden.

Täglich bewegt er sich, wie die Sonne, mit der Himmelskugel von Ost nach West und unter dem Horizont zurück von West nach Ost. Monatlich aber zieht er auf seiner Bahn (der weiße Ring im Tischplanetarium) in der gleichen Richtung wie die Sonne durch den Tierkreis, aber mit der gut dreizehnfachen Geschwindigkeit: er benötigt im Durchschnitt nur 27 Tage, 7 Stunden und 43 Minuten, um wieder an der selben Stelle des Fixsternhimmels zu erscheinen (**siderischer Monat**, von lateinisch *sider* „Gestirn“). Könnte man das Himmelsgewölbe im Augenblick des Mondunterganges anhalten, so würde man den Mond im Verlaufe eines siderischen Monats auf dem Hintergrund des Fixsternhimmels von rechts (Westen) nach links (Osten) wandern sehen. Dann würde er unter dem Horizont hinweg nach Westen laufen und dort nach Ablauf der genannten Zeit wieder auftauchen.

Er bewegt sich dabei so rasch über den Fixsternhimmel, dass man schon nach weniger als einer Stunde sehen kann, wie er seine Position im Verhältnis zu benachbarten Sternen verändert hat. In einer Stunde legt er etwa $\frac{1}{2}^\circ$ zurück, das entspricht immerhin einer Vollmondbreite!

Immer, wenn der Mond, von der Erde aus gesehen, der Sonne genau gegenüber steht, wird seine für uns sichtbare Hälfte voll beschienen, und wir haben **Vollmond**. Man bezeichnet diese Stellung auch als **Opposition** von Sonne und Mond. Oppositionen kommen auch bei den anderen Wandelsternen vor.

Einen siderischen Monat nach Vollmond, also nach den genannten 27 Tagen und fast 8 Stunden, steht der Mond zwar wieder im selben Sternbild, aber da die Sonne inzwischen um ca. 27° auf der Ekliptik weitergerückt ist, braucht der Mond noch gut zwei Tage, bis er ihr wieder gegenüberstehen kann. So dauert es im Schnitt 29 Tage, 12 Stunden und 44 Minuten von Vollmond zu Vollmond (**synodischer Monat** von griech. *synodos* „Zusammenkunft“). Der synodische Monat mit seinen $29\frac{1}{2}$ Tagen ist der eigentliche Mondmonat wie wir ihn kennen und wie er in manchen Kulturen dem Kalender zugrunde gelegt wurde.

Das Wandern des Mondes auf seiner Bahn kommt auch darin zum Ausdruck, dass sich Auf- und Untergang des Mondes um durchschnittlich 50 Minuten pro Tag verspäten.

Steht der Mond von der Erde aus gesehen vor der Sonne, so dass sie ihn von hinten bescheint, dann wendet er uns seine dunkle Seite zu und geht praktisch mit der Sonne gemeinsam auf und unter. Er wird dadurch für 4 bis 5 Tage unsichtbar. Bei seiner größtmöglichen Annäherung an die Sonne spricht man von **Neumond**: Der Mond wird da sozusagen neu geboren, weswegen man den Mondmonat auch ab Neumond rechnet. Wenn zwei Planeten in größter Nähe beieinanderstehen, spricht man von einer **Konjunktion**. Bei Neumond stehen Mond und Sonne in Konjunktion.

Hat sich der Mond wieder um einen Viertelkreis von der Sonne entfernt, dann scheint sie ihn von uns aus gesehen auf seiner rechten Seite an, und wir sprechen vom **zunehmenden Halbmond**. Als **abnehmender Halbmond** erscheint er uns, wenn er sich der Sonne wieder bis auf einen Viertelkreis angenähert hat. Diesen Abstandswinkel von 90° nennt man auch **Quadratur**. Sie kommt auch bei den anderen Wandelsternen vor.

Die vier charakteristischen Erscheinungsformen des sich wandelnden Mondes bezeichnet man als die **Mondphasen** und die Verwandlung des Mondes von einem Neumond zum nächsten Neumond als eine **Lunation**. Die Dauer seit dem letztvergangenen Neumond ist das **Mondalter**:

- 0 Tage = ● **Neumond**
- 7,40 Tage = ☾ **Erstes Viertel**
(zunehmender Halbmond)
- 14,75 Tage = ○ **Vollmond**
- 22,10 Tage = ☽ **Letztes Viertel**
(abnehmender Halbmond)
- 29,50 Tage = ● **Neumond** = 0 Tage

Tabelle der Neumondtage:

01.01.1995	04.07.1997	06.01.2000	10.07.2002	12.12.2004	15.06.2007
30.01.1995	03.08.1997	05.02.2000	08.08.2002	10.01.2005	14.07.2007
01.03.1995	02.09.1997	06.03.2000	07.09.2002	09.02.2005	13.08.2007
31.03.1995	01.10.1997	04.04.2000	06.10.2002	10.03.2005	11.09.2007
29.04.1995	31.10.1997	04.05.2000	04.11.2002	08.04.2005	11.10.2007
29.05.1995	30.11.1997	02.06.2000	04.12.2002	08.05.2005	10.11.2007
28.06.1995	29.12.1997	01.07.2000	02.01.2003	06.06.2005	09.12.2007
27.07.1995	28.01.1998	31.07.2000	01.02.2003	06.07.2005	08.01.2008
26.08.1995	26.02.1998	29.08.2000	03.03.2003	05.08.2005	07.02.2008
24.09.1995	28.03.1998	27.09.2000	01.04.2003	03.09.2005	07.03.2008
24.10.1995	26.04.1998	27.10.2000	01.05.2003	03.10.2005	06.04.2008
22.11.1995	25.05.1998	26.11.2000	31.05.2003	02.11.2005	05.05.2008
22.12.1995	24.06.1998	25.12.2000	29.06.2003	01.12.2005	03.06.2008
20.01.1996	23.07.1998	24.01.2001	29.07.2003	31.12.2005	03.07.2008
19.02.1996	22.08.1998	23.02.2001	27.08.2003	29.01.2006	01.08.2008
19.03.1996	20.09.1998	25.03.2001	26.09.2003	28.02.2006	30.08.2008
18.04.1996	20.10.1998	23.04.2001	25.10.2003	29.03.2006	29.09.2008
17.05.1996	19.11.1998	23.05.2001	23.11.2003	27.04.2006	29.10.2008
16.06.1996	18.12.1998	21.06.2001	23.12.2003	27.05.2006	27.11.2008
15.07.1996	17.01.1999	20.07.2001	21.01.2004	25.06.2006	27.12.2008
14.08.1996	16.02.1999	19.08.2001	20.02.2004	25.07.2006	26.01.2009
13.09.1996	17.03.1999	17.09.2001	20.03.2004	23.08.2006	25.02.2009
12.10.1996	16.04.1999	16.10.2001	19.04.2004	22.09.2006	26.03.2009
11.11.1996	15.05.1999	15.11.2001	19.05.2004	22.10.2006	25.04.2009
10.12.1996	13.06.1999	14.12.2001	17.06.2004	20.11.2006	24.05.2009
09.01.1997	13.07.1999	13.01.2002	17.07.2004	20.12.2006	22.06.2009
07.02.1997	11.08.1999	12.02.2002	16.08.2004	19.01.2007	22.07.2009
09.03.1997	10.09.1999	14.03.2002	14.09.2004	17.02.2007	20.08.2009
07.04.1997	09.10.1999	12.04.2002	14.10.2004	19.03.2007	18.09.2009
06.05.1997	08.11.1999	12.05.2002	12.11.2004	17.04.2007	18.10.2009
05.06.1997	07.12.1999	11.06.2002	12.12.2004	16.05.2007	16.11.2009

Aufgabe 51

Setzen Sie die Sonne auf das nächste Neumonddatum (siehe Tabelle) und stecken Sie den Mondreiter an die Stelle auf der weißen Bahn, die der Neumond-Phase entspricht. Das Tischplanetarium soll auf die Breite Ihres Heimatortes eingestellt sein.

Aufgabe 52

Lassen Sie die Sonne gut 7 Tage weiterwandern und auch den Mond um so viel, wie er in dieser Zeit zurücklegt. Jetzt müsste er einen Viertelkreis (90°) von der Sonne entfernt stehen. Wiederholen Sie diese Schritte und ermitteln Sie so, wann der Mond mit dem Ersten Viertel, als Vollmond oder mit dem Letzten Viertel sichtbar ist.

Aufgabe 53

Stellen Sie für jede Phase die Tageszeit fest, zu welcher der Mond auf- und untergeht. Zum AbleSEN der Tageszeit siehe S. 7.

Aufgabe 54

Stellen Sie ebenfalls für jede Phase fest, mit welchem Azimut der Mond auf- und untergeht und mit welcher Höhe h er über dem Südhorizont kulminiert.

Aufgabe 55

Setzen Sie den Sonnenreiter auf den 22. Dezember und den Mondreiter so, dass der Vollmond dargestellt wird. Wie viel beträgt die Höhe h der Sonne mittags 12 Uhr, und wie viel die des Mondes um Mitternacht? Was fällt Ihnen auf?

Aufgabe 56

Setzen Sie den Sonnenreiter auf den 21. Juni und den Mondreiter wieder auf Vollmond. Wie sieht es jetzt mit den Höhen von Sonne und Mond mittags und um Mitternacht aus? Haben Sie den Vollmond im Sommer schon einmal so gesehen?

Finden Sie einige allgemeine Regeln:

Aufgabe 57

Wo steht der Vollmond, bezogen auf den Horizont, wenn die Sonne auf-, und wo, wenn sie untergeht? Wo steht er um Mitternacht? Ist er am Tage sichtbar?

Aufgabe 58

Wo steht die Sonne, wenn der (meist nur schwach sichtbare) zunehmende Halbmond gerade im Osten aufgeht, und wo, wenn er gerade untergeht?

Aufgabe 59

Welche Phase hat der Mond, wenn er um Mitternacht auf-, und welche, wenn er um Mitternacht untergeht?

Aufgabe 60

Wenn der Mond im Süden steht und die Sonne a) gerade auf- oder b) gerade untergeht: welche Mondphasen müssen das dann sein?

Prüfen Sie die Regeln nach:

Aufgabe 61

Setzen Sie die Sonne auf den 5. Mai und den Mond auf $\lambda = 135^\circ$ im Sternbild Krebs. Welche Phase hat der Mond? Wo steht er bei Sonnenaufgang, am Mittag, abends und um Mitternacht?

Aufgabe 62

Wiederholen Sie den Versuch und setzen Sie dabei die Sonne auf den 22. Oktober und den Mond auf $\lambda = 120^\circ$.

13. Mondbahn und Mondknoten

Die Bahn des Mondes deckt sich nicht mit derjenigen der Sonne. Sie schneidet sie an zwei gegenüberliegenden Stellen, den **Mondknoten**, und ist um gut 5° gegen sie geneigt. Dort, wo der Mond die Sonnenbahn von der südlichen zur nördlichen Himmels-hälfte überquert, liegt der **aufsteigende Mondknoten**, symbolisiert durch Ω , gegenüber der **absteigende** Υ . Durch die Bahnneigung kann ein Vollmond um Mitternacht sogar noch um diese 5° höher am Südhimmel stehen als es die Sonne zur entgegengesetzten Jahreszeit könnte, aber er kann auch entsprechend tiefer stehen. So erklärt sich der manchmal ungewöhnlich hoch stehende Winter- oder tief stehende Sommervollmond.

Das ist aber nur in manchen Jahren so. Der Grund dafür liegt darin, dass die Mondknoten auf der Ekliptik wandern, und zwar entgegengesetzt zur Laufrichtung von Mond und Sonne auf dem Fixsternhimmel. Das ist, wie bei der Präzession des Frühlingspunktes (s. S. 21), in absteigender Folge der Grad- und Datumsangaben auf dem Ekliptikring. Pro Jahr sind es etwa $19,5^\circ$. Ein voller **Mondknotenlauf** dauert durchschnittlich 6793 Tage, das sind 18 Jahre, 7 Monate und etwa 10 Tage. So kommt es, dass sich immer nach etwa $18\frac{1}{2}$ Jahren eine besonders hohe oder tiefe Vollmondstellung wiederholt.

Tabelle der Mondknotenpositionen

Angegeben ist die ekliptikale Länge λ für den **aufsteigenden Mondknoten** in halb-jährlichem Abstand, Zwischenwerte lassen sich schätzen:

1.1.1981: 133°	1.7.1993: 251°	1.1.2007: 350°
1.7.1981: 123°	1.1.1994: 241°	1.7.2007: 340°
1.1.1982: 113°	1.7.1994: 231°	1.1.2008: 330°
1.7.1982: 104°	1.1.1995: 222°	1.7.2008: 321°
1.1.1983: 94°	1.7.1995: 212°	1.1.2009: 311°
1.7.1983: 84°	1.1.1996: 202°	1.7.2009: 301°
1.1.1984: 75°	1.7.1996: 193°	1.1.2010: 292°
1.7.1984: 65°	1.1.1997: 183°	1.7.2010: 282°
1.1.1985: 55°	1.7.1997: 173°	1.1.2011: 272°
1.7.1985: 46°	1.1.1998: 164°	1.7.2011: 263°
1.1.1986: 36°	1.7.1998: 154°	1.1.2012: 253°
1.7.1986: 26°	1.1.1999: 144°	1.7.2012: 243°
1.1.1987: 16°	1.7.1999: 135°	1.1.2013: 234°
1.7.1987: 7°	1.1.2001: 106°	1.7.2013: 224°
1.1.1988: 357°	1.7.2001: 96°	1.1.2014: 214°
1.7.1988: 348°	1.1.2002: 86°	1.7.2014: 205°
1.1.1989: 338°	1.7.2002: 77°	1.1.2015: 195°
1.7.1989: 328°	1.1.2003: 67°	1.7.2015: 185°
1.1.1990: 318°	1.7.2003: 57°	1.1.2016: 176°
1.7.1990: 309°	1.1.2004: 48°	1.7.2016: 166°
1.1.1991: 299°	1.7.2004: 38°	1.1.2017: 156°
1.7.1991: 290°	1.1.2005: 28°	1.7.2017: 147°
1.1.1992: 280°	1.7.2005: 19°	1.1.2018: 137°
1.7.1992: 270°	1.1.2006: 9°	1.7.2018: 127°
1.1.1993: 260°	1.7.2006: 359°	1.1.2019: 118°

Um die ekliptikale Länge λ eines Mondknotens auf dem Sonnenring des Kleinen Tischplanetariums aufzusuchen, orientiert man sich an den 12 Punkten auf der Innenseite der Ekliptik. Der beim Frühlingspunkt (21. März) gelegene Punkt zeigt $\lambda = 0^\circ$ ekliptikaler Länge an, die weiteren liegen im Abstand von 30° . Die Zählung steigt mit den Datumsangaben.

Aufgabe 63

Schieben Sie den aufsteigenden Mondknoten auf die Position $\lambda = 0^\circ$ (Frühlingspunkt). Schauen Sie auf der Tabelle nach, wann er zum letzten Mal da stand und wann er das nächste Mal dort stehen wird. Prüfen Sie nach, wie hoch dann der Vollmond am 22. Dezember um Mitternacht über dem Horizont Ihres Heimatortes steht.

Aufgabe 64

Wiederholen Sie den Versuch, aber mit dem aufsteigenden Mondknoten auf $\lambda = 180^\circ$ (Herbstpunkt).

14. Sonnen- und Mondfinsternisse

Die Sonne ist etwa 400 mal größer als der Mond, aber zugleich ist sie auch um den gleichen Faktor weiter von uns entfernt. Dadurch hat die Sonnenscheibe von der Erde aus gesehen in etwa den gleichen Durchmesser wie die Mondscheibe. Das ist sehr erstaunlich, denn die Wahrscheinlichkeit, dass sich solche Verhältnisse rein zufällig ergeben, ist verschwindend gering.

Eigentlich müsste sich die Sonne für uns jedes mal bei Neumond verdunkeln, weil sich dann die Mondscheibe vor sie schieben würde. Ebenso müsste bei jedem Vollmond eine Mondfinsternis eintreten, weil der Mond in den Schatten eintreten würde, den die Erde auf ihrer sonnenabgewandten Seite in den Weltraum hinaus wirft. Das ist aber offensichtlich nicht so.

Wie sich am Tischplanetarium ablesen lässt, trifft es zwar zu, dass eine Sonnenfinsternis nur bei Neumond und eine Mondfinsternis nur bei Vollmond eintreten kann, aber da diese beiden Phasen des Mondes nur selten auf einen der Mondknoten fallen, führt ihn seine um 5° geneigte Bahn meistens aus der direkten Linie zwischen Sonne und Erde heraus.

Finsternisse finden also nur statt, wenn Volloder Neumond auf einen der Mondknoten zu liegen kommen. Bei einer exakten Mondknotenposition entsteht eine **totale** Finsternis, steht der Mond nur knapp neben dem Knoten, wird nur ein Teil des Mondes bzw. der Sonne verfinstert und man spricht von einer **partiellen Finsternis**.

Bedingt durch seine elliptische Bahn ist der Mond auf seinem Gang um die Erde nicht immer gleich weit von ihr entfernt. Man unterscheidet die Positionen größter Erdferne (**Apogäum**) und größter Erdnähe (**Perigäum**). Bei großer Erdferne des Mondes entsteht statt einer totalen Sonnenfinsternis eine **ringförmige Sonnenfinsternis**, weil der Mond dann von der Erde aus gesehen etwas kleiner erscheint und von der Sonnenscheibe ein schmaler Rand sichtbar bleibt.

Sonnen- und Mondfinsternisse sind in mancher Hinsicht gegensätzliche Erscheinungen: Der sich verfinsternde Vollmond bleibt als solcher sichtbar, wenn auch nur schwach, und gibt ein rötlich-braunes Licht von sich. Bei einer Sonnenfinsternis dagegen wird die Sonnenscheibe von einer schwarzen Mondscheibe richtig abgedeckt. Während Mondfinsternisse von der halben Erdoberfläche gleichzeitig gesehen werden können, nämlich überall da, wo gerade Nacht ist, weil ja der Vollmond nur nachts zu sehen ist, sind Sonnenfinsternisse immer nur auf dem kleinen Teil der Erdoberfläche sichtbar, auf den der Schatten des Mondes fällt, was natürlich nur bei Tag möglich ist. Dieser Schattenfleck ist nur einige Hundert km im Durchmesser groß, weil sich der vom Mond ausgehende Schattenkegel zur Erde hin stark verjüngt. So kommt es, dass Sonnenfinsternisse, obwohl sie etwas häufiger sind als Mondfinsternisse, trotzdem vom einzelnen Menschen viel seltener erlebt werden können. Von den 21 Sonnenfinsternissen zwischen 1990 und 2000 fand etwa ein Drittel in menschenleeren Gegenden statt, und nur eine war in Mitteleuropa sichtbar (11. August 1999).

Sonnen- und Mondfinsternisse treten oft in Gruppen auf, die einen etwa 15-tägigen oder einen etwa halbjährigen Abstand haben.

Sonnen- und Mondfinsternisse in Mitteleuropa bis 2020

Mit Dauer, Datum und Finsternismitte in MEZ/MESZ.

T = total, P = partiell, R = ringförmig.

Grau unterlegt: In Mitteleuropa sichtbar.

Mond	P	05:15	28.07.1999	13:34
Sonne	T	02:37	11.08.1999	12:35
Mond	T	05:22	21.01.2000	05:43
Mond	T	06:18	16.07.2000	15:55
Mond	T	05:14	09.01.2001	21:20
Sonne	T	(Afrika)	21.06.2001	
Mond	P	05:29	05.07.2001	16:55
Sonne	T	(Afrika)	04.12.2002	
Mond	T	05:10	16.05.2003	05:39
Sonne	P	01:45	31.05.2003	05:26
Sonne	T	(Antarktis)	23.11.2003	
Mond	T	06:07	09.11.2003	02:16
Mond	T	05:19	04.05.2004	22:29
Mond	T	05:57	28.10.2004	04:03
Sonne	R	(Mittelam.)	08.04.2005	
Sonne	P	02:33	03.10.2005	10:09
Mond	P	04:24	17.10.2005	13:03
Sonne	P	01:58	29.03.2006	12:41
Mond	P	04:18	07.09.2006	20:51
Mond	T	06:09	04.03.2007	00:20
Mond	T	05:31	28.08.2007	12:37
Mond	T	05:43	21.02.2008	04:25
Sonne	P	01:27	01.08.2008	11:31
Mond	P	05:34	16.08.2008	23:09
Sonne	T	(Ostasien)	22.07.2009	
Mond	P	04:15	31.12.2009	20:22
Mond	P	05:26	26.06.2010	13:38
Sonne	T	(Südamerika)	11.07.2010	
Mond	T	05:39	21.12.2010	09:16
Sonne	P	02:30	04.01.2011	09:18
Mond	T	05:40	15.06.2011	22:12
Mond	T	06:00	10.12.2011	15:31
Mond	P	04:34	04.06.2012	12:02
Sonne	T	(Südpazifik)	13.11.2012	
Mond	P	04:12	25.04.2013	22:07
Sonne	T	(Afrika)	03.11.2013	
Mond	T	05:48	15.04.2014	09:47
Mond	T	05:21	08.10.2014	12:54
Sonne	P	02:20	20.03.2015	10:38
Mond	T	06:02	04.04.2015	13:59
Mond	T	05:14	28.09.2015	04:46
Sonne	T	(Indonesien)	09.03.2016	
Mond	P	05:05	07.08.2017	20:20
Sonne	T	(USA)	21.08.2017	
Mond	T	05:21	31.01.2018	14:29
Mond	T	06:18	27.07.2018	22:21
Mond	T	05:15	21.01.2019	06:11
Sonne	T	(Südamerika)	02.07.2019	
Mond	P	05:38	16.07.2019	23:30
Sonne	T	(Südamerika)	14.12.2020	

Aufgabe 65

Stellen Sie die letztvergangene und die nächste Mond- und Sonnenfinsternis auf dem Tischplanetarium dar, indem Sie zuerst die Lage des aufsteigenden Mondknotens auf der Ekliptik einstellen (siehe dazu S. 25) und dann den Sonnenreiter aufs Datum und den Mond auf Neu- oder Vollmondstellung bringen. Stellen Sie fest, in welchem Sternbild die Verfinsternung stattgefunden hat bzw. stattfinden wird.

Aufgabe 66

Wie oft kommt es in der Tabelle vor, dass eine Sonnen- und eine Mondfinsternis einen zeitlichen Abstand von etwa 14 Tagen haben? Stellen Sie ein solches Finsternispaar auf dem Tischplanetarium nach, indem Sie Sonne und Mond gleichzeitig von der einen zur nächsten Finsternisposition wandern lassen, und versuchen Sie, eine Erklärung dafür zu finden.

Aufgabe 67

Wie oft kommt es in der Tabelle vor, dass eine Sonnen- und eine Mondfinsternis einen zeitlichen Abstand von etwa einem halben Jahr haben? Gehen Sie wie im vorherigen Versuch vor, um eine Erklärung zu finden.

D. Eine Reise um die Welt nach Norden und nach Süden

1. Am nördlichen Polarkreis

Der nördliche Polarkreis liegt auf der geographischen Breite $\varphi = 66,56^\circ$, 12 Breitengrade weiter nördlich als Flensburg, das entspricht 2 mal der Entfernung München-Flensburg. Er liegt noch $23,44^\circ$ vom Nordpol entfernt, das sind noch einmal knapp 4 mal diese Entfernung. Der Himmelsäquator schneidet dort den Horizont mit $90^\circ - 66,56^\circ = 23,44^\circ$. Der Teil der Himmelskugel, welcher nie über dem Horizont auftaucht, ist deutlich größer als in unseren gemäßigten Breiten.

Die Auf- und Untergangswinkel der Gestirne, auch die der Sonne, sind flacher geworden. Zur Sommersonnwende geht die Sonne nicht unter (**Mitternachtssonne, Polartag**), zur Wintersonnwende nicht auf (**Polarnacht**).

Stellen Sie das Tischplanetarium auf den nördlichen Polarkreis $\varphi = +66,56^\circ$ ein.

Aufgabe 68

Setzen Sie die Sonne auf den 1. Juni, lassen Sie sie dann in 10-Tage-Schritten bis zum 10. Juli weiterwandern und drehen Sie dabei die Himmelskugel. Wie lange dauern jeweils Tag und Nacht, und wie lange dauert die Dämmerung (siehe dazu S. 18)?

Aufgabe 69

Wiederholen Sie den Versuch, aber beginnen Sie am 1. Dezember und gehen Sie bis zum 10. Januar.

Aufgabe 70

Wie lange dauern Tag und Nacht und die Dämmerung am 21. März und am 23. September?

Aufgabe 71

Vergleichen Sie die Werte der vorangehenden Versuche mit denen Ihres Heimatortes. Welche Unterschiede finden Sie besonders bemerkenswert?

Aufgabe 72

Stellen Sie die Abend- und Morgenweiten der Sonne (siehe dazu S. 17) durch das Jahr hindurch fest, indem Sie den Sonnenreiter jeweils auf den 20. eines jeden Monats setzen. Was fällt Ihnen im Vergleich zu Ihrem Heimatort auf?

Aufgabe 73

Stellen Sie fest, wie die Bahn des Vollmondes über und unter dem Horizont zur Zeit der Sommer- und der Wintersonnwende verläuft, wenn der aufsteigende Mondknoten in der Nähe von $\lambda = 90^\circ$ (Sommerpunkt) liegt.

Aufgabe 74

Wiederholen Sie den Versuch mit dem aufsteigenden Mondknoten auf $\lambda = 0^\circ$ (Frühlingspunkt) und $\lambda = 180^\circ$ (Herbstpunkt)

Aufgabe 75

Drehen Sie die Himmelskugel, bis der Frühlingspunkt den Horizont im Osten berührt. Was fällt Ihnen an der Lage der Ekliptik auf? Können Sie erklären, warum das so sein muss?

Aufgabe 76

Wie groß ist das Feld der zirkumpolaren Sterne am Polarkreis im Vergleich zu Ihrem Heimatort?

Aufgabe 77

Finden Sie mit Hilfe des Sternglobus heraus, welche Sternbilder bei uns zwar sichtbar sind, am Polarkreis aber nicht über dem Horizont auftauchen.

2. Am Nordpol

Der Nordpol hat die geographische Breite $\varphi = +90^\circ$. Hier deckt sich der Himmelsäquator mit dem Horizont (beim Tischplanetarium liegt der Stundenwinkelring bündig im Horizontring). Der Himmelsnordpol steht genau im Zenit. Alle Sterne beschreiben Kreise, die parallel zum Horizont verlaufen (= Azimutalkreise, s. S. 11), und bewegen sich dabei von links nach rechts, also im Uhrzeigersinn. Kein Stern kulminiert mehr. Die südliche Himmelshälfte bleibt stets unter dem Horizont und damit auch der südliche Teil der Ekliptik.

Auf der nördlichen Erdhälfte ist immer dann Mittag, wenn die Sonne genau im Süden steht. Am Nordpol kann man aber an der Sonne nicht mehr ablesen, wann Mittag ist. Einmal, weil sie keinen erkennbaren Mittagshöchststand hat, aber auch deshalb nicht, weil man nicht sagen kann, in welcher Richtung Süden liegt: bekanntlich blickt man vom Nordpol, wohin man sich auch wendet, immer nach Süden. Die Sonne steht also immer, zu jeder Tageszeit, im Süden.

Streng genommen gibt es am Nordpol nur noch diese eine Himmelsrichtung, den Süden. Damit ist Süden keine eigentliche Richtung mehr, die man sich als Linie zum Südpunkt des Horizontes vorstellen könnte, sondern eine Fläche: die ganze vom Horizont eingeschlossene sichtbare Erdscheibe. Auch Norden ist keine Richtung mehr, sondern nur noch ein Punkt, nämlich der Standort des Beobachters. Osten und Westen als die Auf- und Untergangsorte der Sonne gibt es dagegen nur noch als Kreise, die sich mit dem Horizont decken, oder, genauer, nur noch als Bewegungsrichtungen: Osten ist immer da, wo die Sonne gerade herkommt, also links von ihr, und Westen da, wo sie sich hinbewegt, also rechts von ihr.

Wenn man unter einem Tag, genauer: einem Sonnentag die Zeit versteht, die durch zwei Nächte begrenzt wird, kann man sagen, dass am Nordpol Tag und Nacht je ein halbes Jahr dauern (**Polartag** und **Polarnacht**), mit wochenlangen Abend- und Morgen-Dämmerungszeiten. Es vergeht ein volles Jahr, bis alle „Tageszeiten“ stattgefunden haben: der Morgen (= Frühjahrsdämmerung), der Mittag (= Sommer) usw. Anders ausgedrückt: Am Nordpol gibt es keine einzelnen Tage mehr, sondern nur noch den einen Zeitrhythmus des Jahres. Das Jahr hat gewissermaßen die Gestalt eines Tages angenommen, es ist zum Tag geworden.

Stellen Sie das Tischplanetarium auf den Nordpol $\varphi = +90^\circ$ ein.

Aufgabe 78

Setzen Sie den Sonnenreiter auf den 21. Juni (Sommersonnwende) und lassen Sie die Himmelskugel eine 24-Stunden-Umdrehung machen. Lassen Sie ihn dann weiterwandern, bis er einmal durchs Jahr gewandert ist. Wie lange dauern die Zeiten der „Morgen-“ und „Abenddämmerung“ (siehe dazu S. 18)?

Aufgabe 79

Lassen Sie die Sonne kontinuierlich vom 1. April zum 1. Mai wandern und drehen Sie dabei die Himmelskugel. Stimmt es wirklich, dass die Sonne jeden Tag auf einer Kreisbahn parallel zum Horizont (= Azimutalkreis) läuft, wie es die Fixsterne tun, oder könnte man ihre Bahn noch genauer beschreiben?

Aufgabe 80

In welchen Monaten ist am Nordpol der Mond, wenn er nahe einem seiner Knoten sieht, als Vollmond sichtbar, und in welchen nicht?

Aufgabe 81

Ist es möglich, dass sowohl die Sonne als auch der Vollmond über dem Horizont stehen? Ermitteln Sie mit Hilfe der Mondknoten-Tabelle auf S. 25, in welchen Jahren dies das nächste Mal sein wird.

Aufgabe 82

Prüfen Sie anhand des Sternglobus nach, welche Sternbilder, die bei uns über dem Horizont stehen können, am Nordpol niemals auftauchen. Sie müssen die Halbkugeln dazu nicht unbedingt über die Himmelskugel ziehen.

Aufgabe 83

Wie groß sind die Felder der südlichen und nördlichen Zirkumpolarsterne?

3. Am nördlichen Wendekreis

Hier beträgt die geographische Breite $\varphi = +23.44^\circ$. Der nördliche Wendekreis heißt auch **Wendekreis des Krebses**, weil die Sonne, wenn sie am 21. Juni im Tierkreiszeichen des Krebses und damit am nördlichen Wendepunkt ihrer Bahn angekommen ist, hier im Zenit senkrecht über dem Betrachter steht. Der Winkel zwischen Stundenwinkelring bzw. Himmelsäquator und Horizont beträgt $66,56^\circ$. Das Gebiet der zirkumpolaren Sterne ist auf eine kleine Scheibe zusammengeschmolzen. Die Dämmerungszeiten sind viel kürzer als bei uns, in wenigen Minuten wechseln heller Tag und dunkle Nacht. Tag- und Nachtzeiten unterscheiden sich über das Jahr hin viel weniger als im Norden.

Mit dem Überschreiten des Nördlichen Wendekreises betreten wir die geographische Zone der **Tropen**, die man astronomisch als dasjenige Gebiet charakterisieren kann, in welchem die Sonne mindestens einmal im Jahr senkrecht steht und das sich von hier über den Äquator bis zum **südlichen Wendekreis (Wendekreis des Steinbocks, $\varphi = -23,44^\circ$)** wie ein Gürtel um die ganze Erde erstreckt.

Stellen Sie das Tischplanetarium auf den nördlichen Wendekreis $\varphi = +23,44^\circ$ ein.

Aufgabe 84

Setzen Sie den Sonnenreiter auf $\lambda = 90^\circ$ (21. Juni). Wie groß ist der Auf- und Untergangswinkel der Sonne (siehe dazu S. 18)? Wie groß sind Abend- und Morgenweite der Sonne (siehe dazu S. 17)? Wie lange dauern Tag und Nacht und die Dämmerung? Vergleichen Sie die gefundenen Werte mit denen Ihres Heimatortes. Welche Unterschiede kommen Ihnen besonders groß vor?

Aufgabe 85

Wiederholen Sie den Versuch mit dem Sonnenreiter auf $\lambda = 270^\circ$ (22. Dezember). Wie groß ist der Unterschied zwischen dem längsten und dem kürzesten Tag des Jahres?

Aufgabe 86

Drehen Sie die Himmelskugel so, dass der Frühlingspunkt (21. März) den Horizont im Westen berührt. Wie ist die Lage der Ekliptik, bezogen auf den Horizont? Können Sie erklären, warum das so sein muss? Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem von Aufgabe 75.

Aufgabe 87

Wie liegt, bei gleicher Einstellung des Tischplanetariums, die Mondsichel mit ihrer Öffnung über dem Horizont, wenn die Sonne auf dem 10. März und der Mond bei $\lambda = 15^\circ$ im Sternbild Fische steht? Haben Sie die Mondsichel schon einmal so ähnlich gesehen, vielleicht in einem südlichen Land?

4. Am Äquator

Hier beträgt die geographische Breite $\varphi = 0^\circ$. Am Äquator bietet sich uns nicht nur klimatisch, sondern auch astronomisch der vollkommene Gegensatz zu den Verhältnissen am Nordpol: Der Himmelsäquator (beim Tischplanetarium der Stundenwinkelring) steht rechtwinklig auf dem Horizont. Der Himmelsnordpol liegt jetzt genau im Nordhorizont, und am Südhorizont ist der Himmelssüdpol aufgetaucht. Alle Sterne beschreiben über dem Horizont Halbkreise um die beiden Pole. Im Verlauf von 24 Stunden gehen sie alle auf und wieder unter.

Auf die Sonne bezogen bedeutet der senkrechte Auf- und Untergang kürzeste Dämmerungszeiten und eine gleichförmige Tages- und Nachtdauer. Das wiederum schließt Jahreszeiten aus, wie sie durch einen jährlichen Wechsel der Sonnenscheindauer hervorgerufen werden.

Zweimal im Jahr, nämlich am 21. März und am 23. September, wenn die Sonne den Frühlings- und den Herbstpunkt auf der Ekliptik erreicht, steht sie mittags senkrecht im Zenit. Sie erreicht also zweimal im Jahr ihren Mittags-Höchststand, nicht nur einmal wie bei uns. Am 22. Dezember neigt sie sich mittags am weitesten zum Südhorizont hin, und am 21. Juni, wenn sie in Europa ihren Höchststand hat, neigt sie sich mittags sogar ebenso weit zum Nordhorizont hin. Die Mittwinter-Sonne unterscheidet sich in der Stärke ihrer Strahlung nicht von derjenigen im Mittsommer.

Damit geht einher, dass sich am Äquator die Himmelsrichtungen „Süden“ und „Norden“ nicht mehr wie sonst auf der Erde am täglichen Sonnengang, z.B. am Mittagsstand der Sonne, ablesen lassen. Dafür zeigt hier die Sonne deutlicher als anderswo mit ihrem Auf- und Untergang den Ost- und den Westpunkt an, d. h., der Winkelabstand der auf- oder untergehenden Sonne vom

Ost- bzw. Westpunkt des Horizonts (= die Morgen- und Abendweiten) zeigen übers Jahr hin die geringsten Unterschiede von allen Orten der Erde.

Während es am Nordpol keine Tageszeiten gibt und eigentlich auch nicht einmal mehr den Tag, sondern nur noch das Jahr als einen Zwölfmonats-Tag, ist es am Äquator gerade umgekehrt: Das Jahr mit seinem Jahreszeitenrhythmus ist weitgehend verschwunden, es gibt gewissermaßen nur noch den Tag, der jahraus, jahrein vom Sonnengang und den Temperaturen her gesehen fast gleich verläuft. Den Jahreszeiten der gemäßigten Breiten entsprechen dann hier die Tageszeiten mit ihrem sich oft ähnlich abspielenden Wetterablauf.

Als Beispiel diene die Schilderung eines typischen Tages im tropischen Regenwald, wie er sich nahezu unverändert jeden Tag immer wieder abspielt, vor allem während der Regenzeit:

„Sonnenaufgang um 6 Uhr. Bis gegen 8 Uhr herrscht starker Dunst, das Thermometer zeigt schon 22-23° C an. Um 9 Uhr durchdringt die Sonne allmählich den feuchtgrauen Nebelschleier, die Nässe verdunstet. Gegen 11 Uhr wird es schon drückend heiß, es regt sich kein Lufthauch. Am späten Mittag bricht ein rasendes Gewitter los, bei dem die Wassermassen von einem nachtdunklen Himmel herunterstürzen. Wenn das Unwetter geendet hat, sticht die Sonne zwischen einzelnen Wolken in unbarmherziger Glut auf den durchweichten Boden herab. Dampf Wolken wirbeln auf. Bis zum plötzlichen Untergang der Sonne gegen 18 Uhr kann man in der feuchten Hitze kaum atmen.“ (aus Terra 7, Geographie für Bayern, Klett Verlag 1978, S. 14)

Man sieht: Es gibt nur noch den Tagesrhythmus. Alles, was sonst als Wechsel im Jahresablauf erlebbar ist, am extremsten am Nordpol, ist verschwunden. Dafür hat der Tag Elemente eines Jahreslaufes angenommen, er ist sozusagen selber zum Jahr geworden.

Stellen Sie das Tischplanetarium auf $\varphi = 0^\circ$.

Aufgabe 88

Setzen Sie den Sonnenreiter nacheinander auf den 21. März, den 21. Juni, den 23. September und den 22. Dezember und untersuchen Sie jeweils die Dauer des Tages und der Nacht sowie den Auf- und Untergangswinkel der Sonne (siehe dazu S. 18). Welche Unterschiede lassen sich im Jahreslauf feststellen?

Aufgabe 89

Wie groß sind die Abend- und Morgenweiten der Sonne an diesen vier Daten, d.h. wie stark entfernen sich ihre Auf- und Untergangspunkte vom Ost- und vom Westpunkt des Horizonts?

Aufgabe 90

Wie groß sind die Felder der südlichen und nördlichen zirkumpolaren Sterne? Vergleichen Sie sie mit denen am Nordpol.

Aufgabe 91

Wie lange dauert die Dämmerung an den genannten vier Tagen?

Aufgabe 92

Ist es nur am Äquator möglich, dass die Sonne zweimal im Jahr mittags genau im Zenit steht? Wenn nein, in welchen geographischen Breiten noch?

5. Auf der südlichen Erdhälfte

Die vom Nordpol bis zum Äquator gemachten Beobachtungen gelten auch für die Gegenden vom Äquator bis zum Südpol, nur umgekehrt. So muss derjenige, der südlich der Tropen am Mittag die Sonne sucht, nach Norden statt nach Süden blicken. Sie geht rechts auf, nicht links, und bewegt sich entgegen, nicht mit dem Uhrzeigersinn. Nur die Himmelsrichtungen ihres Auf- und Unterganges, Osten und Westen, sind geblieben. Ihren Höchst- und damit Sommerstand erreicht sie am 22. Dezember, wenn auf der nördlichen Erdhälfte tiefer Winter herrscht. Und wenn am Nordpol der sechsmonatige Polartag anbricht, beginnt am Südpol die lange Polarnacht.

Aufgabe 93

Stellen Sie den Meridianring auf $\varphi = 50^\circ$ (Mainz), setzen Sie den Sonnenreiter auf den 21. März, an dem bei uns der Frühling beginnt, drehen Sie die Himmelskugel und verschieben Sie dabei langsam den Meridianring, bis er die geographische Breite $\varphi = -37,8^\circ$ von Melbourne / Australien anzeigt. Lassen Sie nun die Sonne in Zweimonatsschritten durchs Jahr wandern und beobachten Sie durch Drehen der Himmelskugel, wo die Sonne kulminiert und an welchem Datum die Sonne den größten Tagesbogen hat.

Aufgabe 94

Stellen Sie wieder die Breite von Mainz ein, stecken Sie die Sonne auf den 1. Juli und den Mond auf den 1. September und drehen Sie die Himmelskugel so, dass die Sonne gerade untergeht. Auf welcher Seite (rechts? links?) erscheint dem Beobachter die Mondsichel geöffnet? Verstellen Sie nun den Meridianring auf die Breite von Melbourne. Wo steht jetzt der Mond bei Sonnenuntergang? Wo bei Sonnenaufgang? Auf welcher Seite ist die Mondsichel geöffnet?

E. Sternzeit, Sonnenzeit, Uhrzeit

1. Jahr und Schaltjahr

Die genaue Dauer eines Sonnenjahres, d.h. die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen der Sonne durch den Frühlingspunkt (**tropisches Jahr**), beträgt genau 365 Tage, 5 Stunden, 48 Minuten und 46 Sekunden = 365,2422 Tage. Da aber ein Jahr eine ganze Anzahl von Tagen haben muss, bestimmte schon Julius Caesar 46 v. Chr., dass immer nach drei Jahren mit 365 Tagen ein Schaltjahr mit 366 Tagen eingefügt wird (**Julianischer Kalender**). Das ginge aber nur auf, wenn das Jahr exakt 365,25 Tage hätte. Die Differenz von 365,25 - 365,2422 = 0,0078 Tagen summierte sich in den folgenden 1600 Jahren zu über 12 Tagen, um die der Kalender dann falsch ging. Dieser Fehler wurde 1582 durch die

Kalenderreform von Papst Gregor XIII beseitigt (**Gregorianischer Kalender**). Zunächst wurden damals 10 Kalendertage übersprungen (auf den 4. folgte gleich der 15. Oktober 1582), die Reihenfolge der Wochentage jedoch beibehalten. Dann wurde festgelegt, dass alle Jahre, deren Jahreszahl sich ohne Rest durch 4 teilen lässt, z.B. 1704 oder 1960, Schaltjahre sind, aber Jahre mit einer ganzen Jahrhundertzahl nur dann, wenn sie durch 400 teilbar sind, z.B. 1600 oder 2000. Damit betrug die durchschnittliche Jahreslänge im Gregorianischen Kalender 365,2425 Tage. Die Differenz zum tatsächlichen Sonnenjahr von 0,0003 Tagen summiert sich erst nach etwa 3000 Jahren zu einem Tag.

2. Das Osterdatum

Anders als z.B. Weihnachten liegt das Datum von Ostern nicht fest, und damit auch die Daten der anderen beweglichen christlichen Jahresfeste, die von Ostern abhängen (Aschermittwoch, Pfingsten, Himmelfahrt). Bei seiner Bestimmung wird der Stand der Sonne auf Ihrer Jahresbahn, der Stand des Mondes in Bezug auf die Sonne

(Mondphase) und der Wochentag berücksichtigt. Die Regel zur Bestimmung des Osterdatums, die im Jahre 325 auf dem Konzil von Nicäa erstmals festgelegt wurde, lautet wie folgt: Der Ostersonntag liegt auf dem ersten Sonntag nach dem ersten Frühlings-Vollmond (dem ersten Vollmond nach der Frühlings-Tagundnachtgleiche).

3. Sternzeit und Sonnenzeit

In der Astronomie unterscheidet man **Sternzeit** und **Sonnenzeit**. In 24 Stunden Sternzeit dreht sich das Himmelsgewölbe einmal um seine Achse. Das heißt, dass ein Fixstern nach 24 Stunden Sternzeit von einem bestimmten Ort aus gesehen wieder an der gleichen Stelle zu finden ist, er also die gleichen horizontalen Koordinaten hat.

Auf dem Tischplanetarium ist eine Stunde Sternzeit vergangen, wenn ein Punkt auf der Himmelskugel von einer Stundenmarkierung des Stundenwinkelinges zur nächsten weitergezogen ist. Ein **Sterntag** ist die Zeit, die zwischen zwei oberen Kulminationen des Frühlingspunktes vergeht, d.h. von einer Höchststellung des Frühlingspunktes

im Süden bis zur nächsten. Demnach kann man als Sternzeit auch den Stundenwinkel (siehe dazu S. 13) des Frühlingspunktes bezeichnen, wenn man ihn nicht in Grad, sondern in Stunden und Minuten angibt.

Der Tag, nach welchem wir unser Leben einrichten, ist allerdings nicht der Sterntag, sondern der Sonnentag. Ein **Wahrer Sonnentag** ist die Zeitspanne zwischen zwei unteren Kulminationen der Sonne, also von einer Tiefststellung der Sonne unter dem Horizont zur nächsten. Von ihm leitet sich die **Wahre Sonnenzeit** ab. Ein Ort, der auf einem anderen Längengrad liegt als ein anderer, hat auch seine eigene Wahre Sonnenzeit, die von der des anderen Ortes abweicht. Man nennt sie deshalb auch **Wahre Ortszeit**, abgekürzt **WOZ**.

Da die Sonne täglich auf der Ekliptik um ca. 1° weiterrückt (s. S. 16) und dies etwa 4 Zeitminuten entspricht, dauert ein Sonnentag etwa 4 Minuten länger als ein Sterntag. Den 24 Stunden Sternzeit eines Sterntages entsprechen nur 23 Stunden, 56 Minuten und 4,09 Sekunden Sonnenzeit.

Während die Dauer eines Sterntages so gut wie konstant ist, schwankt die des Sonnentages erstaunlicherweise übers Jahr hin, denn die Sonne beschleunigt und verlangsamt ihren Gang über den Fixsternhimmel mehrmals im Jahr. Diese Veränderung ihrer Laufgeschwindigkeit und damit der Dauer des Wahren Sonnentages ist mit maxi-

mal 15 Sekunden pro Tag zwar nicht groß, aber immer noch so stark, dass es nötig wurde, eine **Mittlere Sonnenzeit**, auch als **Mittlere Ortszeit (MOZ)** bezeichnet, festzulegen, eine künstliche, gleichförmige gemittelte Zeit, bei welcher man von einer fiktiven, gleichmäßig laufenden Sonne ausgeht. Unser 24-Stunden-Tag ist der Jahresmittelwert aus diesen leicht schwankenden Tageslängen. Die von der Sonne abgeleitete, natürliche Wahre Sonnenzeit (= Wahre Ortszeit WOZ) ist eine dynamische, lebendige Zeit, im Gegensatz etwa zur rechnerisch abstrahierten Mittleren Ortszeit MOZ, wie sie z.B. das Uhrwerk eines Chronometers anzeigt. Eine Sonnenuhr in Görlitz (15° östl. Länge), deren 12^h-Linie genau nach Norden weist, zeigt dagegen stets die exakte Wahre Ortszeit für diesen Ort an und geht deshalb gegenüber einem Chronometer am 12. Februar 14^{min} 19^{sek} nach, am 15. Mai 3^{min} 42^{sek} vor, am 27. Juli 6^{min} 28^{sek} nach und am 4. November 16^{min} 27^{sek} vor. Am 16. April, 14. Juni, 2. September und 25. Dezember stimmen Sonnenuhr und Chronometer sie überein. Der Lauf der Wahren Sonnenzeit schwillt an und ab, die Mittlere Sonnenzeit fließt gleichmäßig dahin wie die Sternzeit, welche diese Schwankungen nicht kennt. Man nennt die Differenz zwischen Wahrer und Mittlerer Sonnen- bzw. Ortszeit die **Zeitgleichung**. Mit ihrer Hilfe lässt sich aus der von der Sonne abgelesenen Wahren Ortszeit durch Addition oder Subtraktion die Mittlere Ortszeit errechnen (und umgekehrt):

MOZ = WOZ - Zeitgleichung

WOZ = MOZ + Zeitgleichung

(Vorsicht: wird ein negativer Zeitgleichungswert abgezogen, bedeutet dies, dass sein absoluter Wert addiert wird, denn $-(-x) = +x$)

Die Ursache für die Zeitgleichung liegt, heliozentrisch gesehen, in der Schrägstellung der Erdachse (geozentrisch: der Schiefe der Ekliptik) und der Bahn der Erde um die Sonne, die nicht kreisförmig, sondern elliptisch ist. Bei sonnenferner Stellung läuft

die Erde etwas langsamer, bei sonnennaher etwas schneller um die Sonne (geozentrisch: wenn die Sonne der Erde etwas näher steht, läuft sie etwas schneller über den Fixsternhimmel, und umgekehrt).

Die nachstehende **Zeitgleichungs-Tabelle** zeigt für jeden Monat im fünftägigen Abstand, wann wie viele Minuten und Sekunden zur Mittleren Ortszeit (MOZ) addiert bzw. subtrahiert werden müssen, um die Wahre Ortszeit (WOZ) zu erhalten:

01.01. -3 ^{min} 17 ^{sek}	05.07. -4 ^{min} 23 ^{sek}
06.01. -5 ^{min} 35 ^{sek}	10.07. -5 ^{min} 12 ^{sek}
11.01. -7 ^{min} 42 ^{sek}	15.07. -5 ^{min} 50 ^{sek}
16.01. -9 ^{min} 34 ^{sek}	20.07. -6 ^{min} 15 ^{sek}
21.01. -11 ^{min} 10 ^{sek}	25.07. -6 ^{min} 27 ^{sek}
26.01. -12 ^{min} 27 ^{sek}	30.07. -6 ^{min} 25 ^{sek}
31.01. -13 ^{min} 25 ^{sek}	04.08. -6 ^{min} 7 ^{sek}
05.02. -14 ^{min} 1 ^{sek}	09.08. -5 ^{min} 34 ^{sek}
10.02. -14 ^{min} 17 ^{sek}	14.08. -4 ^{min} 47 ^{sek}
15.02. -14 ^{min} 14 ^{sek}	19.08. -3 ^{min} 46 ^{sek}
20.02. -13 ^{min} 52 ^{sek}	24.08. -2 ^{min} 3 ^{sek}
25.02. -13 ^{min} 14 ^{sek}	29.08. -1 ^{min} 8 ^{sek}
02.03. -12 ^{min} 20 ^{sek}	03.09. +0 ^{min} 24 ^{sek}
07.03. -11 ^{min} 14 ^{sek}	08.09. +2 ^{min} 4 ^{sek}
12.03. -9 ^{min} 58 ^{sek}	13.09. +3 ^{min} 48 ^{sek}
17.03. -8 ^{min} 35 ^{sek}	18.09. +5 ^{min} 35 ^{sek}
22.03. -7 ^{min} 7 ^{sek}	23.09. +7 ^{min} 21 ^{sek}
27.03. -5 ^{min} 36 ^{sek}	28.09. +9 ^{min} 5 ^{sek}
01.04. -4 ^{min} 6 ^{sek}	03.10. +10 ^{min} 43 ^{sek}
06.04. -2 ^{min} 38 ^{sek}	08.10. +12 ^{min} 14 ^{sek}
11.04. -1 ^{min} 14 ^{sek}	13.10. +13 ^{min} 34 ^{sek}
16.04. +0 ^{min} 2 ^{sek}	18.10. +14 ^{min} 42 ^{sek}
21.04. +1 ^{min} 9 ^{sek}	23.10. +15 ^{min} 35 ^{sek}
26.04. +2 ^{min} 6 ^{sek}	28.10. +16 ^{min} 10 ^{sek}
01.05. +2 ^{min} 50 ^{sek}	02.11. +16 ^{min} 26 ^{sek}
06.05. +3 ^{min} 21 ^{sek}	07.11. +16 ^{min} 22 ^{sek}
11.05. +3 ^{min} 38 ^{sek}	12.11. +15 ^{min} 57 ^{sek}
16.05. +3 ^{min} 41 ^{sek}	17.11. +15 ^{min} 10 ^{sek}
21.05. +3 ^{min} 30 ^{sek}	22.11. +14 ^{min} 3 ^{sek}
26.05. +3 ^{min} 6 ^{sek}	27.11. +12 ^{min} 35 ^{sek}
31.05. +2 ^{min} 29 ^{sek}	02.12. +10 ^{min} 50 ^{sek}
05.06. +1 ^{min} 42 ^{sek}	07.12. +8 ^{min} 48 ^{sek}
10.06. +0 ^{min} 46 ^{sek}	12.12. +6 ^{min} 34 ^{sek}
15.06. +0 ^{min} 15 ^{sek}	17.12. +4 ^{min} 12 ^{sek}
20.06. -1 ^{min} 20 ^{sek}	22.12. +1 ^{min} 44 ^{sek}
25.06. -2 ^{min} 24 ^{sek}	27.12. +0 ^{min} 45 ^{sek}
30.06. -3 ^{min} 27 ^{sek}	31.12. -2 ^{min} 41 ^{sek}

Aufgabe 95

Finden Sie heraus, wann sich die Zeitgleichungswerte am stärksten von einem Datum zum anderen verändern.

Aufgabe 96

Kleben Sie vier DIN A4-Blätter kariertes Papier zu einem großen rechteckigen DIN A2-Blatt zusammen. Legen Sie es quer vor sich und zeichnen Sie in die Mitte eine waagerechte Linie von etwa 37 cm Länge. Jeder Karoabstand auf dieser Linie entspricht dann einem der 5-Tages-Schritte in der Zeitgleichungsliste. Beschriften Sie die Kästchen entlang der Linie mit den Daten und tragen Sie dann über oder unter jedem Datum den Wert aus der Zeitgleichungsliste ein, indem Sie für 1 Minute 1 cm = 2 Kästchen nehmen, positive Werte nach oben, negative nach unten. Damit sind 30 Sekunden = $\frac{1}{2}$ Minute = 1 Kästchen, 15 Sekunden = $\frac{1}{4}$ Minute = $\frac{1}{2}$ Kästchen. Verbinden Sie dann die Punkte. Was für eine Figur entsteht?

4. Zonenzeiten und Zeitzonen

Die Wahre Ortszeit ist für alle Orte gleicher geographischer Länge gleich, auch wenn sie auf unterschiedlichen Breitengraden liegen. Orte verschiedener geographischer Länge hingegen haben ihren Sonnenhöchststand zu unterschiedlichen Zeiten, weil die Sonne auf ihrer Ost-West-Wanderung um die Erde einen mehr im Westen gelegenen Ort später erreicht als einen im Osten. Für jeden Grad geographischer Länge, um den ein Ort weiter westlich liegt als ein anderer, kulminiert dort die Sonne 4 Minuten später.

Um den Notwendigkeiten unserer modernen, länderumspannenden Zivilisation, z.B. dem Eisenbahnverkehr, Rechnung zu tragen und die Uhren nicht schon bei kleinen Reisen in Ost-West-Richtung umstellen zu müssen, hat man gegen Ende des vorigen Jahrhunderts **Zeitzone** eingeführt. Die ganze Erde wurde dazu in 24 von Pol zu Pol laufende Zonen von 15° geographischer Länge eingeteilt, in welchen die gleiche Zeit („**Zonenzeit**“) gilt. In Deutschland wurde am 1. April 1893 die **Mitteleuropäische Zonenzeit (MEZ)** eingeführt. Sie richtet sich nach der Mittleren, d.h. der über das Jahr hin gemittelten Wahren Ortszeit WOZ, wie sie für 15° östlicher Länge gilt (Görlitz an der deutschen Ostgrenze liegt ziemlich genau auf diesem Längengrad, weshalb man frü-

her auch von „Görlitzer Zeit“ statt von MEZ sprach). Das bedeutet, dass z.B. in Köln, das auf 7° östlicher Länge und damit um 8° weiter westlich als Görlitz liegt, die Sonne $8 \times 4 = 32$ Minuten später aufgeht als dort, obwohl an beiden Orten die gleiche MEZ gilt. Das Zifferblatt einer Sonnenuhr in Köln, auf welcher man statt der Wahren Ortszeit etwa die Mitteleuropäische Zeit ablesen wollte, müsste um diese 32 Minuten korrigiert werden (zusätzlich zur Zeitgleichung, der oben erwähnten Jahresschwankung im Sonnenlauf). In Westspanien weicht die Wahre Ortszeit sogar bis zu 1½ Stunden von der dort gültigen Mitteleuropäischen Zeit ab!

Die auf einer Sonnenuhr gefundene Wahre Ortszeit WOZ kann leicht in Mitteleuropäische Zeit MEZ umgerechnet werden: Für jeden Längengrad, den der Ort, an welchem die WOZ ermittelt wurde, weiter westlich (bzw. östlich) liegt, sind zur WOZ 4 Minuten zu addieren (bzw. von ihr abzuziehen). Davon muss dann noch die Zeitgleichung (siehe Liste) abgezogen werden. (Vorsicht! Wenn eine negative Zahl abgezogen wird, heißt das, dass der absolute Wert dieser Zahl addiert wird.)

Wenn nun $\Delta\lambda$ die Differenz zwischen dem 15. östlichen Längengrad und dem östlichen Längengrad des Ortes ist, gilt die Formel:

$$\text{MEZ} = \text{WOZ} + (4 \times \Delta\lambda)\text{min} - \text{Zeitgleichung}$$

Umgekehrt gilt zur Ermittlung der Wahren Ortszeit aus der MEZ:

$$\text{WOZ} = \text{MEZ} - (4 \times \Delta\lambda)\text{min} + \text{Zeitgleichung}$$

Zur Ermittlung der **Mitteleuropäischen Sommerzeit MESZ**, die bei uns z. Z. jeweils am letzten Sonntag im März beginnt und am letzten Sonntag im Oktober endet, wird zur MEZ eine Stunde hinzugezählt. In der Astronomie arbeitet man meistens mit der **Weltzeit / Universal Time UT**, die

identisch ist mit der **Westeuropäischen Zeit WEZ** und mit der Mittleren Ortszeit MOZ bei 0° Länge, das ist z.B. in Greenwich bei London. Sie hieß deshalb früher auch „**Greenwich Zeit**“ (**Greenwich Mean Time GMT**). Man ermittelt sie, indem man von der MEZ eine Stunde abzieht.

Aufgabe 97

Um wie viel weicht am 2.11. und am 10.2. die WOZ Ihres Wohnortes von der MEZ ab, d.h. wie groß ist die Differenz zwischen einer Sonnen- und einer Armbanduhr? Gehen Sie bei der Berechnung so vor: Finden Sie auf dem Atlas oder anhand einer Tabelle heraus, wie viel Grad östlicher Länge Ihr Wohnort hat, ziehen Sie diese Zahl von 15 ab und nehmen Sie sie mal 4. Das ergibt die Minuten, die Sie von der MEZ abziehen müssen, um die MOZ, die Mittlere Ortszeit zu erhalten. Sie ändert sich übers Jahr hin nicht. Addieren Sie dann den Zeitgleichungsbetrag für das gewünschte Datum aus der Liste, und Sie haben die Wahre Ortszeit für diesen Tag.

Aufgabe 98

Wann kulminiert an diesen beiden Tagen an Ihrem Wohnort die Sonne, ausgedrückt in WOZ (das ist einfach!), MOZ (da kommt die Zeitgleichung ins Spiel), MEZ (da kommt noch die Ortsdifferenz in Längengrad dazu), in MESZ (Sommerzeit) und in UT (Greenwich-Zeit)?

Aufgabe 99

Zeigen Sie am Tischplanetarium, wo die Sonne steht, wenn es an Ihrem Wohnort genau 12 Uhr WOZ, MOZ, MEZ, MESZ und UT ist.

5. Das Tischplanetarium als Sonnenuhr

Das Tischplanetarium ist auch eine zuverlässige und vor allem universell auf der ganzen Erde einsetzbare Sonnenuhr. Hier sind zwei Methoden, das Tischplanetarium als Sonnenuhr zu verwenden:

- Der Meridianring wird auf die geographische Breite des Ortes eingestellt. Der Sonnenreiter wird auf das Tagesdatum, der Mondreiter auf die gegenüberliegende Seite des Ekliptikringes (nicht die Mondbahn) gesteckt, ebenfalls von außen. Es müssen genau 180° zwischen den beiden Reitern auf der Ekliptik liegen. Nun wird das Tischplanetarium in die Sonne auf eine waagerechte Fläche gestellt und solange gedreht, bis die Himmelsrichtungen des Tischplanetariums mit den tatsächlichen übereinstimmen. Jetzt dreht man langsam die Himmelskugel. Wenn der Schatten des Sonnenreiters genau auf die Rückseite des Mondreiters fällt, zeigt der Sonnenreiter am Stundenwinkelring die Wahre Ortszeit WOZ an.
- Man entfernt die Himmelskugel aus dem Meridianring und setzt den Stundenwinkelring wieder in ihn ein. Nun spannt man einen Faden von der N-Markierung des Meridianrings zur S-Markierung und befestigt ihn so, dass er straff sitzt. Danach wird der Meridianring wieder ins

Horizontgestell gesetzt und auf die geographische Breite des Ortes eingestellt, wobei wie immer beachtet werden muss, dass sich der Himmelsnordpol (die N-Markierung) zum Nordpunkt des Horizonts hinneigt. Diesmal muss allerdings, abweichend von der Zusammenbauanleitung auf S. 5, die 24^{h} -Marke des Stundenwinkelringes nach Süden zeigen. Wird nun das Tischplanetarium so auf einer waagerechten Fläche in die Sonne gestellt, dass die Markierungen des Horizontringes mit den Himmelsrichtungen übereinstimmen, dann zeigt der Schatten des Fadens auf dem Stundenwinkelring die Wahre Ortszeit WOZ an.

Da sich bei dieser Sonnenuhr das Zifferblatt (= der Stundenwinkelring) in der Ebene des Himmelsäquators befindet, spricht man hier von einer **äquatorialen Sonnenuhr**. Der Schattenwerfer einer Sonnenuhr heißt **Gnomon**.

Aufgabe 100

Sie können mit der Tischplanetariums-Sonnenuhr auch die Himmelsrichtungen bestimmen, indem Sie vorher wie in der letzten Aufgabe beschrieben die WOZ ermitteln und dann die Sonnenuhr so lange drehen, bis sie diese Zeit anzeigt. Sie ist dann korrekt eingeordnet.

F. Anhang

1. Geschichtliches zur Armillarsphäre

Die Armillarsphäre gehört zu den ältesten astronomischen Geräten der Menschheit. Ihren heutigen Namen hat sie allerdings erst im christlichen Mittelalter erhalten, wo sie *sphaera armillaris* oder kurz *armille* hieß (von griechisch: *sphaira* „Kugel“ und lateinisch: *armilla* „Armreif, Ring“), also eine „Kugel aus Ringen“. Man kann sie als einen Himmelsglobus beschreiben, der auf die Ringe reduziert ist, welche die Hauptkreise der Gestirnsbewegungen darstellen. Bis zur Erfindung des Fernrohrs stellte sie das wichtigste Instrument zur Himmelsbeobachtung dar.

Die früheste Erwähnung der Armillarsphäre nennt die Astronomen Aristyllos und Timocharis in Alexandria im 3. Jhd. v. Chr., die mit ihrer Hilfe einen Sternkatalog aufstellten. Auch der große Astronom Hipparchos von Nikea (ca. 130 v. Chr.) benutzte sie, als er seinen berühmten 1022 Sterne umfassenden Katalog verfasste. Die Armillarsphäre diente teils wie das Tischplanetarium zur Demonstration der Himmelsbewegungen und hieß dann *sphaira krikotē*, meist aber wurde sie als Visiergerät benutzt, um die Winkelabstände von Gestirnen zu vermessen, die zu diesem Zweck über zwei Dioptrien, ähnlich wie Kimme und Korn, angepeilt wurden, und hieß dann *meteoroskopeion*.

Wo der eigentliche Ursprung des Gerätes zu suchen ist, weiß man nicht, aber es ist bekannt, dass es bereits, wenn auch in primitiver Form, bei den Babyloniern, den astronomischen Lehrmeistern der Griechen, zu finden war.

In China wurde schon um Christi Geburt die Armillarsphäre als wichtigstes astronomisches Instrument benutzt. Man verwendete sie zur Beobachtung des Sternenhim-

mels und zur Demonstration der jeweiligen Konstellation, denn es geschah keine wichtige Handlung im alten chinesischen Kaiserreich, für die von den Sterndeutern nicht der günstige Zeitpunkt errechnet worden wäre. Schon im zweiten Jahrhundert n. Chr. versah man die zur Demonstration dienenden Armillarsphären mit einem Antrieb durch Wasserkraft, um sie synchron mit dem Sternenhimmel zu drehen. Man kontrollierte den Gang dieser „Sternenuhr“ durch eine zweite Armillarsphäre in einer Art Observatorium. Der im unteren Stockwerk des turmartigen Gebäudes in einem geschlossenen Raum sitzende Beobachter an der sich drehenden Armillarsphäre rief einem zweiten Beobachter auf dem Dach zu, für welchen Stern sein Instrument im Augenblick den Aufgang oder den Untergang oder den Durchgang durch den Meridian anzeigte. Der Beobachter auf dem Dach gab dann Korrekturen für den Wasserantrieb an.

Bei den Arabern, welche neben den anderen Wissenschaften auch die antike griechische Astronomie aus dem Altertum ins Mittelalter retteten und selbständig weiterentwickelten, genoss die Armillarsphäre als *âlat dât al halaq* („Instrument mit den Ringen“) neben der Astrolabscheibe ganz besondere Wertschätzung. Um die Beobachtungsgenauigkeit zu steigern, vergrößerten sie die Abmessungen der Geräte. In Kairo stand eine Armillarsphäre mit fast 5 m Durchmesser!

In Deutschland wurde die Armillarsphäre erst durch den Astronomen Johannes Regiomontanus (1436 - 1476) bekannt, der viel für die Erneuerung der Astronomie leistete, und es gab seit dieser Zeit kaum eine Darstellung eines Sternkundigen, auf der

2. Literaturhinweise

sie nicht mit abgebildet war. Mit dem Dänen Tycho Brahe (1546 - 1601), einem der letzten großen Astronomen, die das Fernrohr noch nicht kannten, erreichte die Armillarsphäre in Form großer Ringinstrumente ihren Höhepunkt und war als Beobachtungsgerät kaum noch verbesserungsfähig.

In den folgenden Jahrhunderten wurden ihre didaktischen Vorzüge noch geschätzt, aber gegen Ende des 19. Jahrhunderts fielen auch sie völlig in Vergessenheit. Das starke Bedürfnis vieler Menschen unserer Gegenwart, der Welt wieder unmittelbar und nicht nur in der abstrahierenden Methodik der Naturwissenschaften zu begegnen, forderte geradezu eine Wiederentdeckung der Armillarsphäre als einer idealen Hilfe beim Kennenlernen und Verstehen der himmlischen Bewegungsvorgänge.

Die AstroMedia[®] Tischplanetarien können dazu einen Beitrag leisten.

Joachim Herrmann
dtv-Atlas Astronomie
 Deutscher Taschenbuch Verlag
 ISBN 3-423-03006-2
 Sehr übersichtliches und faktenreiches Nachschlagewerk.

Klaus Hünig
Der Große Sternenhimmel
 AstroMedia[®] /SunWatch Verlag
 ISBN 3-935364-05-9
 Kartonbausatz für eine kuppelförmige, verzerrungsarme Sternkarte zur einfachen Orientierung am Himmel.
 Durchmesser 50 cm.

Klaus Hünig
Die Planetenbahnen
 AstroMedia[®] Würzburg
 Großformatige Wandkarte (100 x 27 cm) mit den Bahnen von Sonne, Mond und allen Planeten auf dem Hintergrund des Fixsternhimmels. Erscheint jeden Herbst neu für das folgende Jahr.

Walter Kraul
Erscheinungen am Sternenhimmel
 Verlag Freies Geistesleben
 ISBN 3-7725-1975-X
 Sehr empfehlenswerte, gut verständliche und reich illustrierte Einführung in die Himmelskunde.

Astronomie zum Anfassen

Der Große Sternenhimmel



Dreidimensionale Kuppel-Sternkarte mit einem Durchmesser von 52 cm für eine verzerrungsfreie großformatige Darstellung aller bei uns sichtbaren Sternbilder und Sterne. Durch Spezialdruckfarben leuchten die Sterne im Dunkeln hell auf.

Die Sternenuhr



Dieses prachtvolle Kartonreplikate einer Sternenuhr nach Originalen aus dem 17. Jahrhundert zeigt nachts die Uhrzeit mit Hilfe von Polarstern und Großem Wagen an. Auf der Rückseite befindet sich ein Seemanns-Astrolabium.

Das Newton-Spiegelteleskop



Voll funktionstüchtiges Newton-Spiegelteleskop mit Dobson-Montierung. Tubuslänge: 440 mm, Tubusöffnung: 60 mm. BAADER-Hauptspiegel aus geschliffenem und poliertem Glas und 3 Okulare mit Linsen aus Acrylglas.

Der Sextant



Das klassische Winkelmessgerät der Seefahrer und Entdecker aus sehr stabilem Karton mit zwei unzerbrechlichen Edelstahl-Brillantspiegeln. Ein voll funktionstüchtiges Gerät mit einer Anzeigenauigkeit zwischen 5 und 10 Bogenminuten.

und viele weitere faszinierende Kartonbausätze schon ab 1 Euro

AstroMedia

www.astromedia.de - service@astromedia.de