



Die Landschaftskulisse von Todtnauberg im Schwarzwald in Richtung der Schweizer Alpen dient als Bezugshorizont des im folgenden beschriebenen kleinen Fotoprojektes zur Bestimmung der Sterntagesdauer.

Was ist Sternzeit?

Zur Bestimmung der Sterntagesdauer mit Strichspuraufnahmen

Burkard Steinrücken, Westfälische Volkssternwarte und Planetarium Recklinghausen, Stadtgarten 6, 45657 Recklinghausen, steinruecken@sternwarte-recklinghausen.de

Durch die mündlichen Berichte von *Captain Kirk* für das Logbuch des Raumschiffs *Enterprise* ist der Begriff „Sternzeit“ allseits bekannt. Kaum jemand weiß jedoch, dass „Sternzeit“ ein mit echtem Sinn behafteter Fachausdruck der Sphärischen Astronomie ist. In diesem kurzen Aufsatz wird die Sternzeit und ihre Basiseinheit, der „Sterntag“, erklärt. Man kann den Sterntag auch mit einfachsten Mitteln selbst schnell bestimmen.

Die Teilung des Tages in Temporal- und Äquinoktialstunden

Als naturgegebene Grundlage der Zeitählung dient uns der Tag. In heutiger Konvention ist er die Zeitspanne, die von Mitternacht bis Mitternacht vergeht. Zur Mitternacht steht die Sonne tief unterhalb des Horizontes in der Nordrichtung. Bereits in der Antike wurde der Tag in zweimal zwölf Stunden eingeteilt. Zunächst in zwölf Nachtstunden, die die Spanne von Sonnenuntergang bis Sonnenaufgang in zwölf gleiche Teile teilen, später auch der lichte Tag in zwölf Tagstunden. Diese Einteilung der Hell- und Dunkelphase in jeweils zwölf Untereinheiten galt über das ganze Jahr - trotz der unterschiedlichen Dauer der Nacht. Die Nachtstunden des Winters waren ungleich länger als die des Sommers, denn im Winter verbleibt die Sonne länger unterhalb des Horizontes als an einem Sommertag.

Die Wurzeln der Zwölfteilung sind in den Dekanen der Ägypter zu sehen, mit denen die völlige Dunkelheit der Nacht durchmessen wurde. Durch die Beobachtung der Aufgänge zwölf geeigneter heller Sterne, der sog. „Dekansterne“, teilte man die Dunkelspanne in zwölf Teile (Abb. 1). Auch die Babylonier erfanden eine der Zwölfteilung nahekommende Zeitstruktur für die Nacht. Sie wurde in drei Nachtwachen zu je einer Großstunde, die aus vier Stunden besteht, geteilt. Eine winterliche Nachtwache dauerte entsprechend der größeren Verweildauer der Sonne unterhalb des Horizontes länger als eine sommerliche Nachtwache in kurzen Nächten.

Von dieser strengen und im Jahreslauf ständig veränderlichen Zeiteilung des lichten und dunklen Abschnitts des Tages in je zwölf Stunden, „Temporalzeit“ genannt, hat man sich längst verabschiedet. Dennoch scheint das Temporalzeitempfinden das ursprünglichere zu sein und es findet sich z.B. in reiner Form in den Zeilen eines Briefes vom 27. 3. 2001 wieder, der von Schulkindern einer zweiten Klasse aus Waltrop / Westfalen zur Klärung einer Frage bezüglich der Tag-Nacht-Gleiche an die Sternwarte Recklinghausen gesandt wurde:

Liebe Leute von der Sternwarte. Wir, die Kinder von der Klasse 2a, Kardinal-von-Galen-Schule, wollen wissen: Wann wirklich Frühlingsanfang ist? Im Kalender steht der 20. März. Dann dachten wir, dass Frühlingsanfang ist, wenn 12 Tag und 12 Nacht Stunden gleich sind. Können Sie uns helfen? Ja oder nein?

(Unterstreichung vom Autor dieses Artikels)

Heute teilen wir, unabhängig von der Jahreszeit, die Zeitspanne zwischen zwei unteren Kulminationen der Sonne, also Mitternachtsständen, in 24 gleichlange Stunden. Sie werden auch „Äquinoktialstunden“ genannt, weil sie den veränderlichen Temporalstunden zur Zeit der Tag-und-Nachtgleichen am 21. März und 23. September entsprechen. An diesen zwei Tagen im Jahr steht die Sonne ebenso lange über dem Horizont wie unterhalb, und die temporalen Nachtstunden gleichen in ihrer Länge den temporalen Stunden des lichten Tages. (Bis auf eine kleine Brechung dieser Symmetrie durch die Lichtbrechung in der Lufthülle, welche die Sonne am Horizont anhebt und den lichten Tag einige Minuten verlängert. Darauf zielte die Frage der Grundschulkinder ab!)

Die bislang genannten Definitionen der Tagesstunden beziehen sich auf den Sonnenlauf, der die Lichtverhältnisse von Tag und Nacht und damit auch den Zyklus des bürgerlichen Lebens bedingt und regelt. Die Sonne ist aber ein vor der Sternenkulisse des Weltalls stetig wandernder Stern, der jeden Tag neben anderen Hintergrundsternen der Milchstrasse steht (Abb.2). An dieser scheinbaren Bewegung ist nichts offenkundig Auffälliges; nur wer sich für die Sternbilder interessiert, wird merken, dass von Monat zu Monat andere Sternbilder zu gleicher Stunde den sternklaren Nachthimmel schmücken. Man sieht ja nachts den Teil der Sternensphäre, in dem die Sonne nicht steht. Sternbilder in der Sonnennähe wandern mit ihr über den hellen Himmel des lichten Tages und bleiben wegen ihrer Lichterfülle, die auch den ganzen Tageshimmel erfüllt, unsichtbar. Erst wenn die Sonne in andere Regionen des Himmels weitergewandert ist, werden auch solche Sterne zu nächtlich sichtbaren Leuchten, die nach Untergang der Sonne in der Abenddämmerung auftauchen. Die Sonne macht allerdings keine wirkliche Wanderung am Sternenhimmel, sondern es ist der Umlauf der Erde um die Sonne, der eine scheinbare Wanderung der Sonne, dem Zentralgestirn in der Mitte der Erdumlaufbahn vor den Rängen der entfernten Sternenkulisse, vortäuscht (Abb. 3). Weil die Erde für ihren Umlauf 365,24422 Tage benötigt, schließt sich nach Ablauf dieser Spanne auch der Kreis der scheinbaren Sonnenbahn am Himmel. Die Erde läuft ein wenig ungleichmäßig – mal schneller mal langsamer – um die Sonne, weil sie keinen perfekten Kreis macht, sondern tatsächlich eine Ellipse nach etwas komplizierteren Bewegungsgesetzmäßigkeiten abschreitet. Dies wird jedoch im folgenden ignoriert und eine mittlere gleichförmige Bewegung angenommen. Unter dieser Voraussetzung legt die Sonne im Mittel pro Tag eine Winkelspanne von $360^\circ/365,24422$ Tagen = $0,98565^\circ/\text{Tag}$ auf dem 360° messenden Gesamtkreis zurück, der auch Tierkreis oder Ekliptik genannt wird, weil die Tierkreissternbilder die anschauliche Kulisse dieser scheinbaren Sonnenbahn bilden und Sonnen- und Mondfinsternisse nur auf dieser „Spur“ auftreten können. Die Richtung des scheinbaren Sonnenlaufs erfolgt entgegengesetzt ihrer täglichen Wanderung von Ost nach West. Das sieht man daran, dass jenes Sternbild, welches in der Abenddämmerung am Westhorizont noch eben erkannt werden kann, in den Folgewochen in den Abendstunden tiefer und tiefer hinab sinkt, bis es in der hellen Horizontnähe beim Sonnenuntergangsort nicht mehr sichtbar ist. Die Sonne wandert in dieses Sternbild hinein, so dass es vom Nachthimmel verschwindet. Im Osten steigen dafür neue Sternbilder empor und stehen nach und nach bei der Erstbeobachtung in der Abenddämmerung auf höheren Ständen. So gibt es in jeder Jahreszeit im Westen verschwindende Sternbilder, die in den Vormonaten die Szenerie des Himmels beherrschten und im Osten neu aufziehende, deren schönste Zeit noch kommt.

Denkt man sich die Sonne mit einem am Tage sichtbaren Stern zeitgleich beim Höchststand im Süden, so ist einen Tag später die Sonne um die besagte Winkelspanne vom $0,98565^\circ$, die etwa ihrem doppelten Winkeldurchmesser entspricht, nach links, also in östlicher Richtung

weitergewandert. Die schnellere tägliche Drehung des Sternenhimmels, die durch die Drehung der Erde um die eigene Achse vorgetäuscht wird, wird also am Folgetag den nun etwas rechts der Sonne stehenden Stern etwas früher über den Meridian, den Vertikal in Südrichtung, führen als die Sonne. Die Zeitspanne zwischen zwei oberen Kulminationen eines Sterns auf dem Südmeridian kann als Bezugsmaß für eine neue Zeitzählung – den Sterntag - zugrunde gelegt werden. Der Sterntag ist somit um jene Spanne kürzer als der Sonnentag, um den die Meridianpassage der Sonne gegenüber der Passage eines Sterns, mit dem sie am Vortag gleichauf lag, verzögert ist.

Diese Verzögerung ist die ins Zeitmaß umgewandelte Winkelspanne von $0,98565^\circ$, also 4 Minuten mal $0,98565^\circ/\text{min} = 3$ Minuten 56 Sekunden. Die Umrechnung basiert auf der Konvention, dass die Sonne für die volle Umdrehung von 360 Grad 24 Stunden Sonnezeit benötigt. Folglich schreitet sie auf ihrer Tagesbahn in 1 Stunde 15° , in 4 Minuten 1 Grad, voran.

Der Sterntag, der ebenso wie der Sonnentag in 24 Stunden unterteilt wird, ist folglich etwas kürzer als der Sonnentag. Die Sternzeitzählung mit ihren Sterntagen läuft nach und nach mit der Sonnenzeitzählung außer Takt, bis nach Ablauf eines Sonnenjahres wieder ein übereinstimmender Stand von Sonne und Sternenhimmel beobachtet werden kann.

Erstellung und Auswertung der Messaufnahmen

Der kürzere Sterntag äußert sich in einem täglich um 3 Minuten 56 Sekunden anwachsenden Vorsprung der Sterne vor der Sonne, der sich leicht fotografisch nachweisen lässt, wenn man von Tag zu Tag bei der gleichen Sonnenzeit eine Sternfotografie desselben Himmelssausschnitts macht und diese Aufnahmen später vergleicht. Man muss darauf achten, dass man bei der Auswertung die Fotografien räumlich richtig zuordnen kann, um das Ausmaß des täglichen Vorsprungs der Sterne entnehmen zu können. Diese Forderung lässt sich leicht erfüllen, wenn man alle Sternfotos immer vom selben Ort fotografiert und den natürlichen Landschaftshorizont als Bezugslinie mit aufnimmt. Bei der Auswertung mit dem Diaprojektor oder am Computer lassen sich dann alle Sternpositionen mit Hilfe des Horizontes in ihrer relativen Lage rekonstruieren.

Die Sternaufnahmen werden in der Dunkelheit etwa 10 Minuten belichtet. Ein Stern erscheint dann auf der Fotografie als Strich, denn die Erdrotation führt ihn im Belichtungszeitraum merklich weiter. Der ortsfeste Horizont, der ja nicht selbst leuchtet, sondern nur als Silhouette vor dem durch Streulicht ein wenig erhellten Horizont Himmel erscheint, wird dann gut sichtbar. Für die genaue Sternzeitmessung wird noch eine Zeitmarke auf die Strichspuren gesetzt. Jeweils zur gleichen Uhrzeit (in Sonnenzeit) wird an allen Aufnahmetagen das Objektiv für einige Sekunden abgedeckt. So bekommt die Strichspur eine kleine Lücke, die den Sternstand zum Abblendezeitpunkt markiert. Drei dieser Aufnahmen, die vom 1. bis 5. Januar 2002 in Todtnauberg im Schwarzwald entstanden und jeweils um 18.20.00 MEZ kurz abgeblendet wurden, sind in der Abbildung 4 gezeigt. Die Aufnahmen wurden anhand der Horizontkulisse so ausgerichtet, dass die markanten Alpenspitzen auf jeder Aufnahme senkrecht untereinander stehen. Der wachsende Vorsprung der Sterne ist anhand der täglich weiter nach Westen verlagerten Sternspuren, die immer zwischen 18.11 Uhr und 18.21 Uhr aufgezeichnet wurden, sofort zu sehen.

Die Zeitmarken sind auf den Strichspuren durch gelbe Punkte kenntlich gemacht. Die Aufnahmen entstanden leider auf einem schwanken Balkonboden, der immer dann nachgab, wenn man zum Abblenden nahe an das Objektiv herantreten musste. Deshalb ist die Genauigkeit der Sterntagbestimmung im vorliegenden Fall durch diesen unerwarteten Störeinfluss begrenzt. Zur Bestimmung des Zeitdefizites des Sterntages gegenüber des Sonnentages ist der Winkelabstand der Zeitmarken von Tag zu Tag entlang der Sternbahn zu ermitteln. Diese Winkeldifferenzen entsprechen jedoch nicht sogleich dem gesuchten Zeitdefizit, weil die Sterne nicht auf dem Himmelsäquator stehen. Man erkennt das daran, dass

die Strichspuren nicht gerade verlaufen, sondern eine Wölbung nach oben besitzen. Bei den zwei markierten Sternen handelt es sich um *Delta-Piscinus Australis* (rechts) und *Gamma Scuptloris*. Sie besitzen die südlichen Deklinationen (Winkelabstände zum Himmelsäquator) von $-32,54^\circ$ (*d PsA*) und $-32,53^\circ$. Da Sterne in Polnähe in gleichen Zeitabschnitten kürzere Strichspuren erzeugen als Äquatorsterne, ist die Länge der Strichspur zwischen zwei Zeitmarken noch vom Deklinationseffekt zu bereinigen. Dies geschieht durch die Division der gemessenen Strecke durch den Kosinus der Deklination. Das Referenznormal zur Winkelmessung wird ebenfalls der Aufnahme entnommen. Das benachbarte Sternpärchen *Delta-Piscinus Australis* (oben) und *Gamma-Piscinus Australis* besitzt eine Deklinationsdifferenz von $0,336^\circ$.

Ergebnis

Durch Überlagerung der Bilder lässt sich am Computer eine Skizze mit allen Zeitmarken in relativer Lage zum Bezugshorizont erstellen (Abb. 5). Beliebige Abstände der Zeitmarken eines Sterns sind jeweils ganzzahlige Vielfache des täglichen Zeit- bzw. Winkeldefizits. Bestimmt man alle möglichen Abstände und mittelt die Ergebnisse, so erhält man für das Zeitdefizit zwischen Sterntag und Sonnentag 244 ± 10 Sekunden (2σ -Fehlergrenze). Das Ergebnis ist innerhalb der Fehlergenauigkeit verträglich mit dem erwarteten Wert von 236 Sekunden.

Angesichts der Probleme bei der Erstellung der Messaufnahme verspricht eine kompliziertere Auswertung unter Berücksichtigung der Zentralprojektion der Sternkoordinaten auf der Aufnahme keine nennenswerte Verbesserung im Ergebnis.

Der Frühlingspunkt als Zeiger der Sternzeituhr

Jeder Zeitpunkt des 24-stündigen Sonnentages lässt sich nicht nur mit der bürgerlichen Sonnenzeit, sondern auch durch die Angabe der Sternzeit und des Kalenderdatums klassifizieren. Als Uhrzeiger für den Sternzeitstand wird jedoch nicht etwa ein besonders heller Stern gewählt, sondern jener Ort der Himmelssphäre, an dem die Sonne am 21. März steht, wenn sie von der Südhemisphäre kommend den Äquator in nördlicher Richtung überschreitet (Abb. 2). Dieser Ort der Sternensphäre wird „Frühlingspunkt“ genannt. Die Sternzeit ist als „Stundenwinkel des Frühlingspunktes“ eindeutig definiert. Der Sterntag beginnt mit 0 Uhr Sternzeit, wenn der Frühlingspunkt in oberer Kulmination auf dem Südmeridian steht. Der Stundenwinkel des Frühlingspunktes ist dann Null. Der Stundenwinkel wächst im Verlauf der Zeit. Bei einem Stundenwinkel von $90^\circ = 6 h$ steht der Frühlingspunkt im Westpunkt des Horizontes, bei $180^\circ = 12 h$ im Nordpunkt in unterer Kulmination und bei $270^\circ = 18 h$ im Ostpunkt des Horizontes. Nach Ablauf von 24 Stunden Sternzeit bzw. 23 Stunden 56 Minuten 4 Sekunden Sonnenzeit steht der Frühlingspunkt wieder in der oberen Kulmination. Die Sternzeituhr und die Sonnenzeituhr stimmen nur am 23. September überein, wenn die Sonne im Herbstpunkt um 0 Uhr Sonnenzeit in unterer Kulmination steht und der dem Herbstpunkt gegenüberliegende Frühlingspunkt zeitgleich um 0 Uhr Sternzeit in der oberen Kulmination sich befindet.

Der Frühlingspunkt ist ein abstrakter Koordinatenpunkt an der gedachten Himmelssphäre, dem keine physische Realität etwa in Form eines leuchtenden Sterns zukommt. Man kann den Stundenkreis des Frühlingspunktes, der von dort bis zum Himmelspol verläuft und der der eigentliche Sternzeitzeiger ist, schnell finden, wenn man sich geeignete Referenzsterne einprägt, die auf oder in der Nähe dieses Stundenkreises stehen. Der Polarstern, der letzte Stern im Himmels-W der Kassiopeia (*Beta-Cassiopeiae*) und die beiden im Pegasus-Quadrat links stehenden Sterne *Gamma-Pegasi* und *Alpha-Andromedae* erfüllen diese Bedingung. Denkt man sich eine Großkreisverbindung dieser vier Sterne, so zeigt sie ungefähr auf den

Frühlingspunkt, der eine Seitenlänge des Pegasus-Quadrates unterhalb des linken Randes dieses Sternbildes steht (Abb. 6). Diese Sternzeituhr liest man am besten beim Blick zur Polarregion des Himmels ab. Man denkt sich die Verbindungslinie von *Polaris* und *Beta-Cassiopeiae* als Zeiger und liest den Zeigerstand auf einer imaginären Skala um den Polarstern so, wie man es bei einer gewöhnlichen Uhr machen würde, der der Minutenzeiger fehlt. Der Zeiger der Sternzeituhr dreht sich aber in 24 Stunden entgegen des Uhrzeigersinns einmal ganz herum, nicht bereits in 12 Stunden, wie wir es von den gebräuchlichen Zeigeruhren kennen. Der abgelesene Uhrenstand der natürlichen Sternzeituhr des Himmels ist deshalb zunächst an der Nordrichtung zu spiegeln und dann noch zu verdoppeln. Ein Beispiel: Steht der Sternzeitzeiger in einer Stellung, die auf einer herkömmlichen Uhr 1 Uhr entspricht, so erhält man die Sternzeit $2 \times 11 \text{ Uhr} = 22 \text{ Uhr}$. Aus der Ablesung 7 Uhr wird eine Sternzeit von $2 \times 5 \text{ Uhr} = 10 \text{ Uhr}$, aus 4 wird $2 \times 8 = 16 \text{ Uhr}$, u.s.w.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:

Zwei Ausschnitte aus den Sternreliefs des Hathor-Tempels in Dendera / Ägypten aus dem ersten vorchristlichen Jahrhundert. Oben sind Sternbilder des Tierkreises erkennbar, der Skorpion (links) und der Schütze, dargestellt als Zentaurus. In der unteren Zeile des Reliefs sind die Sterngottheiten der Dekane mit ihren Barken in systematischer Prozession gezeigt. Sie versinnbildlichen den regelmäßigen Lauf der Sonne durch den Tierkreis und das Verfließen der Nachtstunden durch ihre stete Fahrt über den dunklen Himmelsozean.

Abbildung 2:

Der scheinbare Sonnenlauf durch den Tierkreis (Ekliptik) in geozentrischer Sichtweise. Von der Erde betrachtet steht die Sonne am 21. März im Frühlingspunkt und am 23. September im Herbstpunkt.

Abbildung 3:

Der scheinbare Sonnenlauf in heliozentrischer Sichtweise. Wegen des Erdumlaufs erscheint die Sonne einem irdischen Beobachter täglich an einem anderen Ort der gedachten Sternensphäre (Himmelskugel).

Abbildung 4:

Strichspuraufnahmen vom 1., 2. und 5. Januar 2002 (von oben nach unten). Die Aufnahmen entstanden im Schwarzwaldort Todtnauberg zwischen 18.11 und 18.21 MEZ. Die Zeitmarken, die durch Ablendung um 18.20.00 MEZ erzeugt wurden, sind gelb markiert.

Abbildung 5:

Durch die ortsrichtige Überlagerung aller Bilder mit Zeitmarken anhand Referenzhorizontes erhält man eine auswertbare Darstellung der Messaufnahmen. Der Deklinationsunterschied zweier Sterne bildet das Referenznormal für alle Winkelabstände.

Abbildung 6:

Der Uhrzeiger der himmlischen Sternzeituhr verläuft vom Polarstern über den letzten Stern des Himmels- W 's an der linken Seite des Pegasus-Quadrates entlang bis zum Frühlingspunkt.

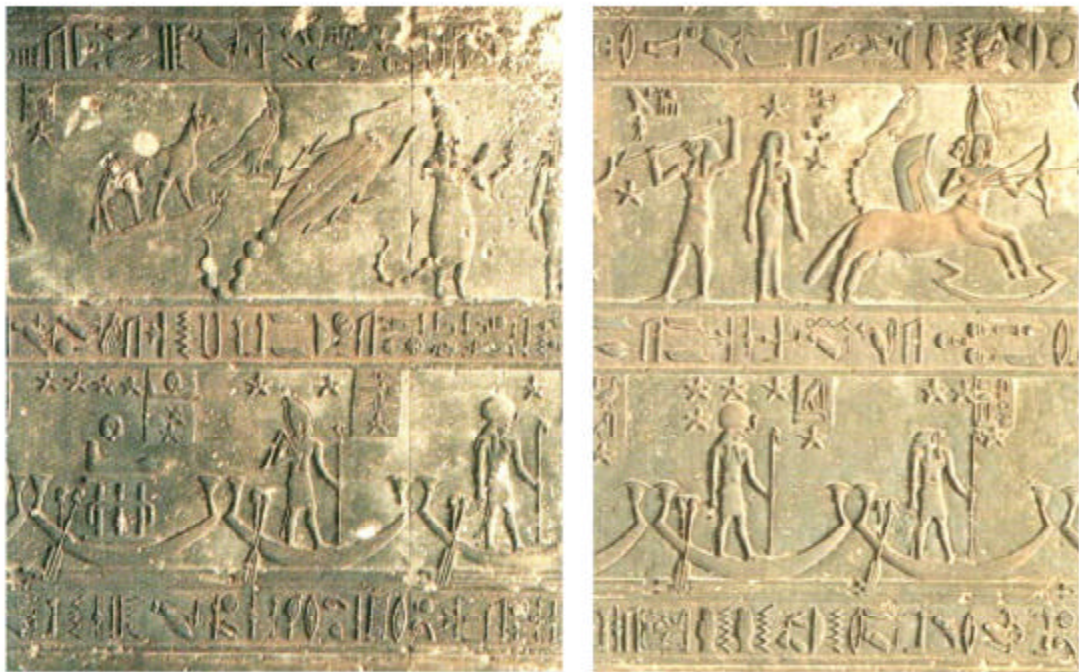


Abb. 1

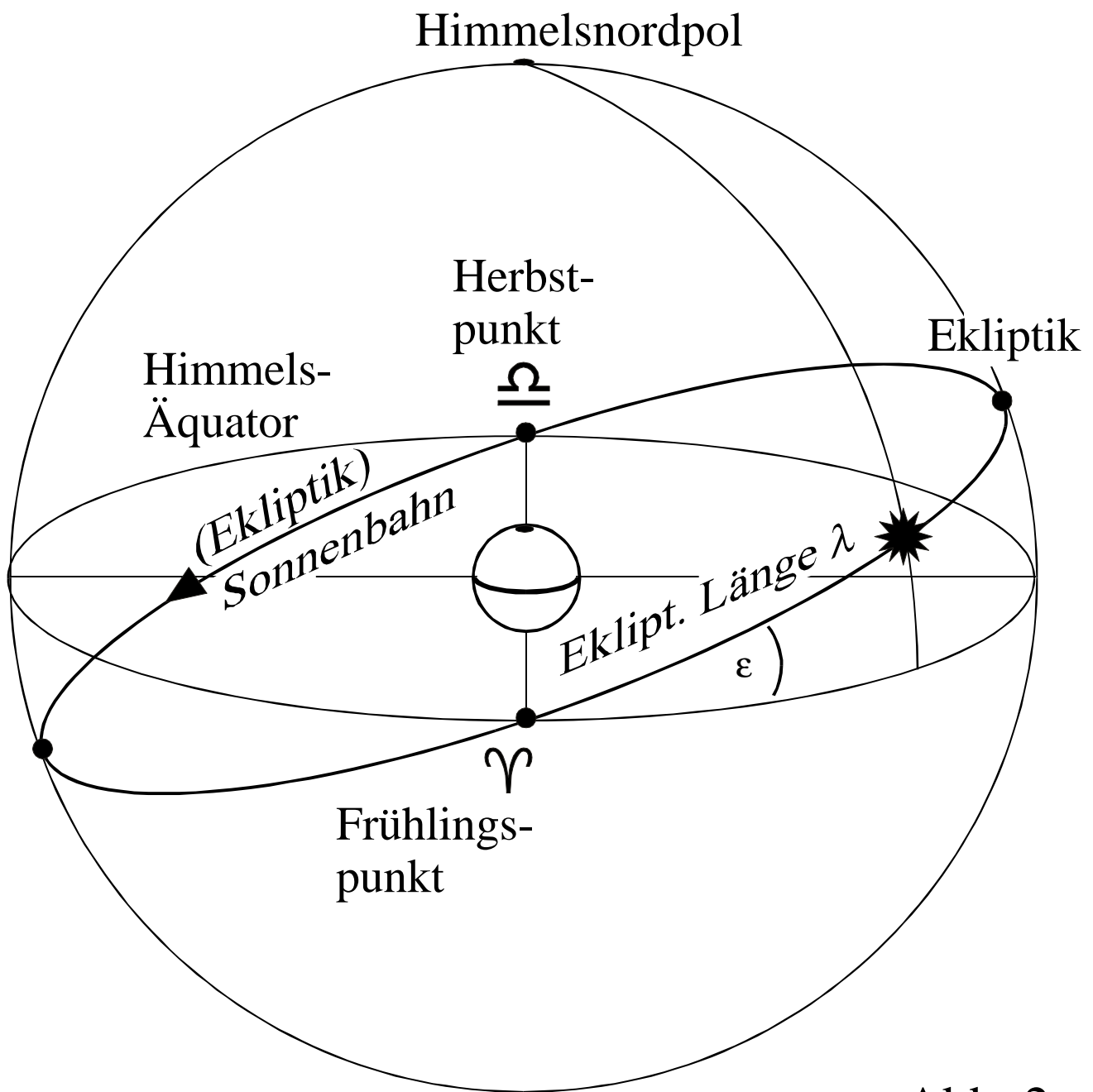


Abb. 2

Himmelskugel

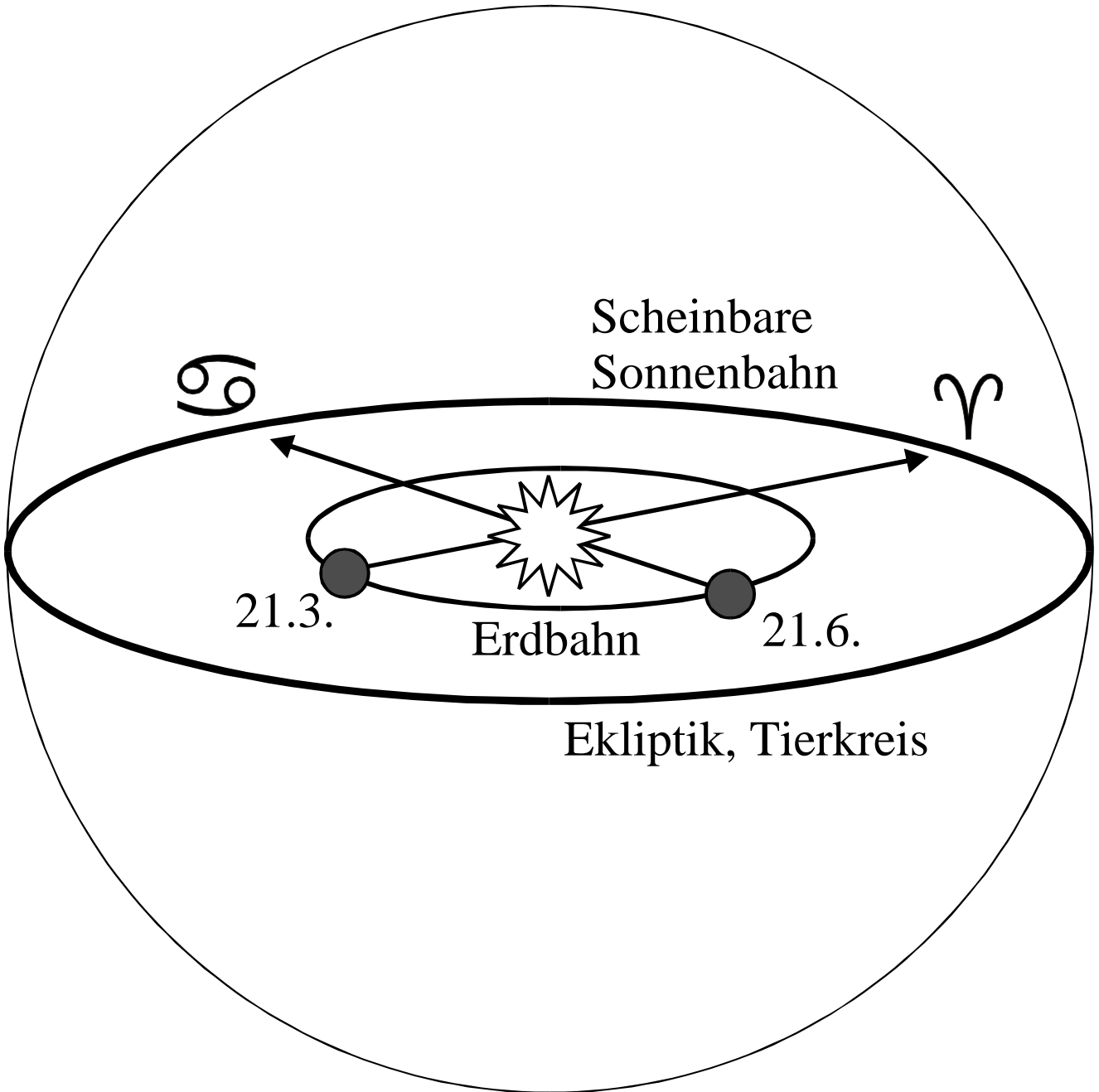


Abb. 3



Abb. 4

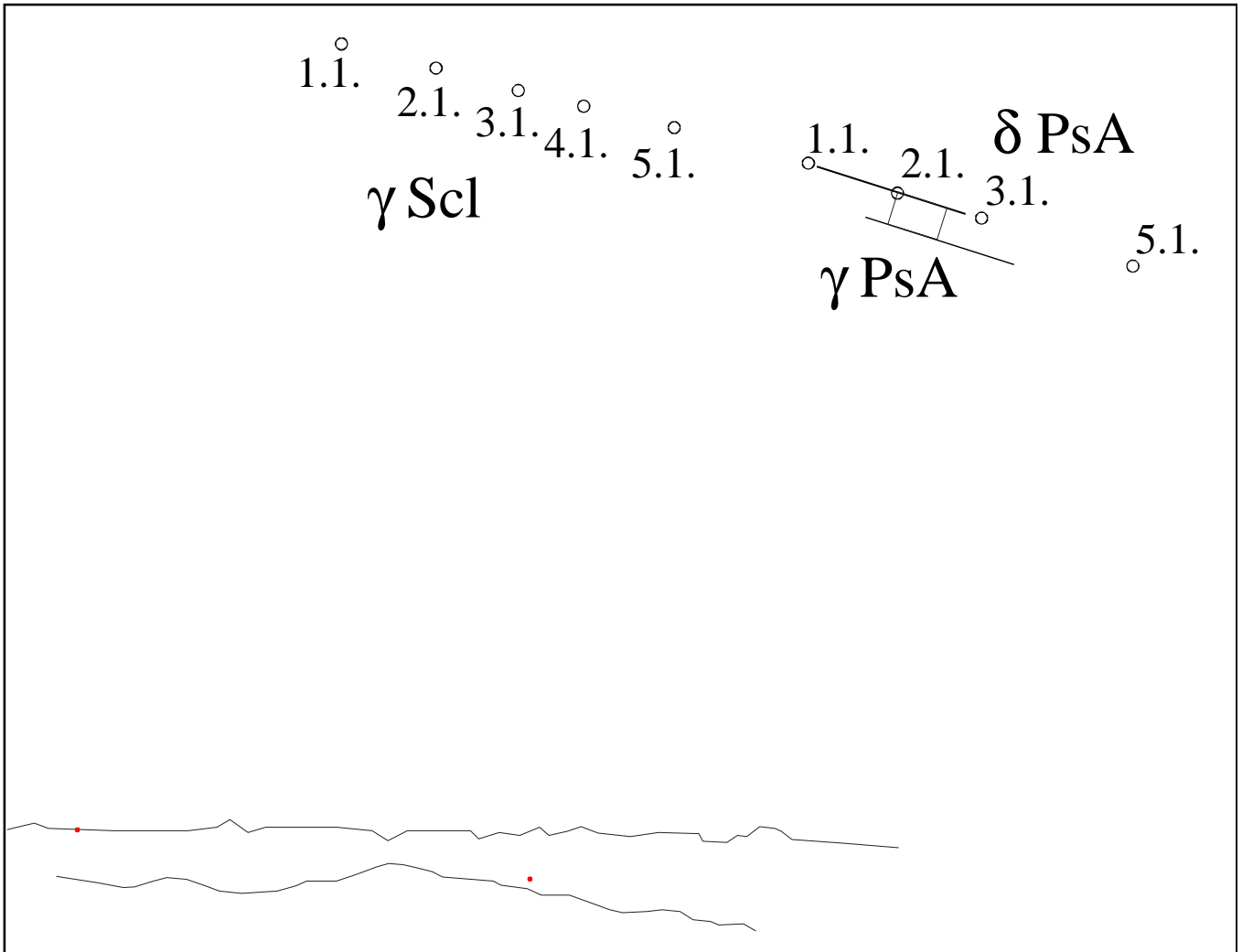


Abb. 5

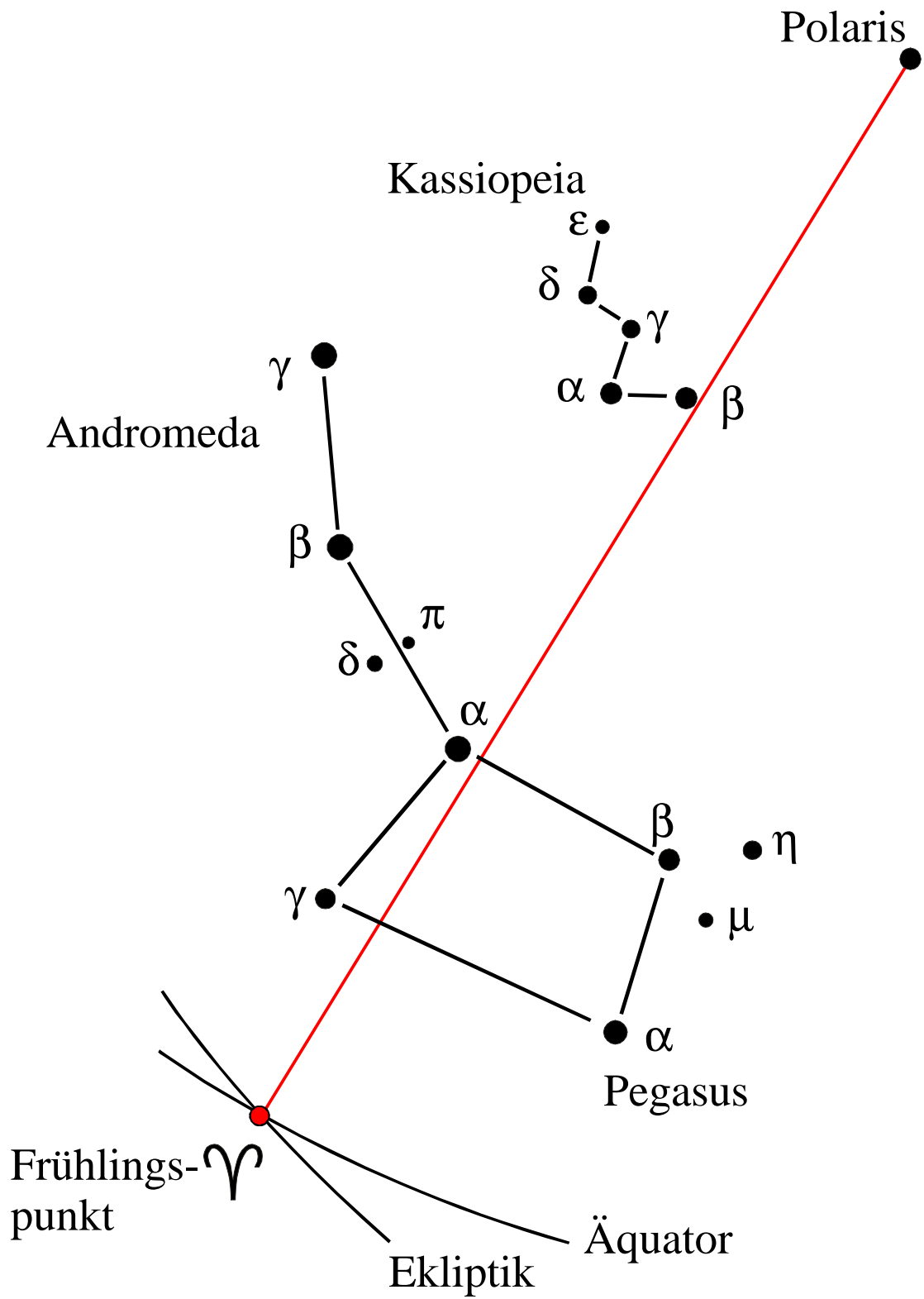


Abb. 6