

0.0 Inhaltsverzeichnis

1.0 Einleitung.....	3
2.0 Astronomische Koordinaten.....	6
2.1 Das Horizontsystem.....	6
2.2 Das Äquatorsystem.....	7
2.3 Das Ekliptiksystem.....	10
2.4 Das Heliozentrische System.....	10
2.5 Das galaktische System.....	11
2.6 Koordinatentransformation.....	11
2.7 Die Veränderung von Koordinaten.....	12
2.8 Präzession und Nutation.....	14
2.9 Gestirnsörter.....	15
2.10 Sternkarten und Sternkataloge.....	15
3.0 Die scheinbare Bewegung der Gestirne.....	17
3.1 Die tägliche Bewegung der Gestirne.....	17
3.2 Die jährliche Bewegung der Gestirne bzw. der Sonne.....	18
3.3 Der Sternenhimmel in den vier Jahreszeiten.....	20
3.4 Zeit und Kalender.....	25
3.5 Astronomische Orts- und Zeitbestimmung.....	28
4.0 Schlusswort.....	30
5.0 Literatur- und Bilderverzeichnis.....	31

1 Einleitung

Alle astronomischen Erscheinungen und Objekte werden an einer scheinbaren Himmelskugel beobachtet. Im Mittelpunkt dieser Himmelskugel befindet sich die Erde. Für einen Beobachter auf der Erde sieht es so aus, dass alle astronomischen Erscheinungen und Objekte an die Innenseite eines Himmelsgewölbes projiziert sind. In der Astronomie wird die scheinbare Himmelskugel als exakte Kugel mit einem unendlichen Radius angenommen. In dieser Betrachtung bildet die Erde zwar den Mittelpunkt, wird jedoch als ausdehnungsloser Punkt angenommen. Mit Hilfe dieser Kugel können nun astronomische Koordinaten eingeführt werden. Dies geschieht mit Hilfe von sogenannten Großkreisen auf der Kugeloberfläche, welche sich aus dem Schnitt einer Ebene mit der Kugel ergeben. Sobald eine Ebene durch den Mittelpunkt der Kugel geht, so ist der Radius des Großkreises gleich dem Kugelradius. Alle anderen Schnitte zwischen einer Ebene und einer Kugel werden Kleinkreise genannt.

Es gibt mehrere Möglichkeiten, die Kugel in zwei Hälften zu teilen. Zunächst kann die Horizontlinie als Großkreis herangezogen werden. Die Horizontlinie hängt vom Ort eines Beobachters ab. Sie verläuft durch alle Himmelsrichtungen (Nord, Ost, Süd, West). Die obere Halbkugel erscheint dem Beobachter dann als Himmelsgewölbe mit allen sichtbaren astronomischen Objekten und Erscheinungen. Die untere Halbkugel ist für diesen unsichtbar. In diesem System befindet sich der Beobachter im Mittelpunkt. Eine durch den Beobachter verlaufende Lotlinie würde senkrecht über ihm das Himmelsgewölbe durchstoßen. Dieser Durchstoßpunkt wird als Zenit bezeichnet. Der Zenit befindet sich für einen bestimmten Beobachter immer direkt über ihm. Die Verlängerung dieser Lotlinie nach unten würde die unsichtbare untere Himmelskugel genau unterhalb des Beobachters durchstoßen. Dieser Durchstoßpunkt wird als Nadir bezeichnet. Zenit und Nadir liegen sich also genau gegenüber. Ein Großkreis kann in 360 Grad eingeteilt werden. D.h. 360° bedeuten einmal den Umlauf dieses Großkreises. Vom Zenit zur Horizontlinie ist es ein Viertelgroßkreis von 90° Länge. Von der Horizontlinie zum Nadir ist es wiederum auch ein Viertelgroßkreis von 90°. D.h. Zenit und Nadir sind 180° an der scheinbaren Himmelskugel voneinander entfernt. Streng genommen müsste noch zwischen wahren und scheinbarem Horizont unterschieden werden. Dieser Unterschied ist allerdings minimal. Im Falle des wahren Horizonts geht die Horizontebene durch den Erdmittelpunkt, im Falle des scheinbaren Horizonts geht die Horizontebene durch die Augen des Beobachters. Alle Großkreise, welche durch den Zenit und den Nadir verlaufen, schneiden den Horizont in einem rechten Winkel. Diese Kreise werden daher auch als Vertikalkreise bezeichnet. Auf dem Horizont gibt es vier Punkte, welche durch die vier Himmelsrichtungen definiert werden: Nordpunkt, Ostpunkt, Südpunkt, Westpunkt. Der wichtigste Vertikalkreis ist der sogenannte Meridian (Ortsmeridian) bzw. Himmelsmeridian. Dieser verläuft durch den Nord- und den Südpunkt. Er teilt die Himmelskugel in eine östliche und in eine westliche Hälfte. Der Vertikalkreis, welcher durch den Ost- und den West-Punkt des Horizonts verläuft, wird als Erster Vertikal bezeichnet.

Aufgrund der Erdrotation gehen die Gestirne im Osten auf, erreichen am Meridian ihre höchsten Punkte an der Himmelskugel und gehen im Westen wieder unter. Der Durchgang eines Gestirns durch den Meridian wird als Kulmination bezeichnet. Ein Gestirn durchläuft den Meridian während einer Erdrotation, welche uns natürlich als entsprechende Drehung der Himmelskugel erscheint, zweimal. Einmal über dem Horizont. Von der Nordhalbkugel aus gesehen ist dies der Südpunkt und von der Südhalbkugel der Erde gesehen der Nordpunkt. In diesem Fall wird von oberer Kulmination gesprochen. Zum anderen unter dem Horizont, wenn das Gestirn vom Beobachter aus gesehen untergegangen ist und daher unbeobachtbar ist. In diesem Fall wird von der unteren Kulmination gesprochen. Zwischen einer oberen und einer unteren Kulmination liegt also genau eine halbe Erdumdrehung bzw. eine halbe Drehung der scheinbaren Himmelskugel.

Die Erdachse kann in beiden Richtungen scheinbar verlängert werden, so dass sie in beiden Richtungen die Himmelskugel durchstößt. Im Falle der Nordhalbkugel wird dieser Durchstoßpunkt

als Himmelsnordpol bezeichnet. Dieser befindet sich etwa $0,75^\circ$ entfernt vom sogenannten Polarstern, dem letzten Deichselstern des Kleinen Wagens (inoffizielle Bezeichnung) bzw. des Kleinen Bären (offizielle Bezeichnung). Im Falle des südlichen Durchstoßpunktes wird vom Himmelsüdpol gesprochen. Allerdings befindet sich in seiner Nähe kein hellerer Stern. Der südliche Himmelspol liegt im Sternbild Oktant. Alle Gestirne scheinen sich aufgrund der Erdrotation um einen dieser beiden Himmelspole zu bewegen. Die Neigung dieser Himmelspole gegen die Horizontebene wird als Polhöhe bezeichnet und ist gleich der geografischen Breite des Beobachtungsortes. Die scheinbare Verlängerung der Erdachse wird als Himmelsachse bezeichnet.

Statt der Horizontebene kann auch der Himmelsäquator als Großkreis herangezogen werden. Dieser unterteilt die scheinbare Himmelskugel in eine nördliche und eine südliche Hälfte. Die Ebene des Himmelsäquators als Großkreis durchläuft den Beobachtungsort und steht senkrecht zur Himmelsachse. Der Himmelsäquator kann auch als Projektion des Erdäquators auf die scheinbare Himmelskugel angesehen werden. Auf der Nordhalbkugel der Erde ist der über dem Horizont befindliche Teil des Himmelsäquators ein geneigter Halbkreis, welcher den Horizont im Ost- und im Westpunkt schneidet sowie im Schnittpunkt mit dem Meridian im Süden seine größte Höhe erreicht. Der Neigungswinkel h_q der Ebene des Himmelsäquators gegen die Horizontebene ist eine Funktion der geografischen Breite φ des Beobachtungsortes. Es gilt:

$$h_q = 90^\circ - \varphi$$

(1)

Alle Großkreise, welche durch die beiden Himmelspole verlaufen, schneiden den Himmelsäquator in einem rechten Winkel und werden als Stundenkreise bezeichnet. Nach dieser Definition ist auch der Meridian ein Stundenkreis.

Zwecks der Festlegung von Astronomischen Koordinaten wird auf dem Himmelsäquator ein besonderer Punkt benötigt. Auf der Erde entspricht dieser Punkt dem Nullmeridian, von dem aus die geografische Länge nach Osten und Westen gezählt wird. Dieser verläuft definitionsgemäß durch die Sternwarte Greenwich in London. Im Falle des Himmelsäquators wird ein Punkt benötigt, welcher an der scheinbaren Drehung der Himmelskugel teilnimmt. Es ist der Schnittpunkt zwischen dem Himmelsäquator und der scheinbaren Sonnenbahn am Sternhimmel (Ekliptik), wo die Sonne den Himmelsäquator von Süd nach Nord durchschreitet. Dieser Punkt wird als Frühlingspunkt bezeichnet und befindet sich heute im Sternbild der Fische. Der Himmelsäquator und die Ekliptik als Großkreise sind gegeneinander um $23,44^\circ$ geneigt, was als Schiefe der Ekliptik bezeichnet wird. Dieser Neigungswinkel entspricht der Neigung der Erdachse gegenüber der Erdbahnebene. Der zweite Schnittpunkt zwischen Himmelsäquator und Ekliptik liegt im Sternbild Jungfrau und heißt Herbstpunkt. Vor etwa 2000 Jahren lagen der Frühlingspunkt im Sternbild Widder und der Herbstpunkt im Sternbild Waage, so dass heute noch von Widderpunkt und Waagepunkt gesprochen wird. Diese Bezeichnungen werden auch in der Astrologie noch verwendet.

Schon seit Jahrtausenden wurden Sterne zu sogenannten Sternbildern zusammengefasst. So stammen viele der noch heute gültigen Bezeichnungen am nördlichen Sternenhimmel aus der babylonischen und der griechischen Mythologie. Der südliche Himmel hingegen konnte erst aufgrund von entsprechenden Seereisen erkundet werden. Aus diesem Grund tragen die Sternbilder des südlichen Sternenhimmels hauptsächlich Namen aus der Nautik und der Technik. Zum Teil wurden die Sternbilder willkürlich und je nach Quelle unterschiedlich festgelegt. Um hier zu einer internationalen Einheitlichkeit und Vergleichbarkeit zu kommen, legte die Internationale Astronomische Union (IAU) im Jahre 1922 zunächst 88 Sternbilder an der Himmelskugel verbindlich fest. Im Jahre 1925 wurde der Astronom Eugène Joseph Delporte (1882 – 1955) von der IAU damit beauftragt die Grenzen dieser Sternbilder an der Himmelskugel festzulegen. Die von den

Sternbildern definierten Bereiche wurden von ihm durch horizontale und vertikale Linien voneinander abgegrenzt. Im Jahre 1928 wurden diese Grenzen von der IAU für verbindlich erklärt und gelten unter Berücksichtigung der durch die Präzession der Erdachse (Taumelbewegung der Erdachse aufgrund der Gezeitenwirkung durch Sonne und Mond) hervorgerufenen Koordinatenverschiebungen bis heute fort. Die Namen der 88 Sternbilder wurden endgültig und verbindlich im Jahre 1930 durch die IAU festgelegt. Viele Einzelsterne, besonders die hellen, tragen ebenfalls Eigennamen, welche überwiegend aus dem arabischen und dem griechischen Kulturkreis stammen. Ursprünglich wurden die Sterne in der Reihenfolge ihrer Helligkeit mit Buchstaben des griechischen Alphabets bezeichnet. So erhielt der hellste Stern in einem Sternbild die Bezeichnung „Alpha“, wie zum Beispiel „Alpha-Centauri“. Der zweihellste Stern erhielt die Bezeichnung „Beta“, der dritthellste „Gamma“ usw. Aufgrund der Anzahl von Sternen, welche dann vor allem durch die Teleskopbeobachtungen zunahm, wurden dann auch lateinische Buchstaben und Zahlen verwendet. Die griechischen oder lateinischen Buchstaben bzw. die Zahlen werden dann in der Regel in Verbindung mit der Abkürzung der lateinischen Bezeichnung des Sternbildes verwendet. So trägt der Stern Beteigeuze im Orion die Bezeichnung α Ori. Andere Beispiele sind γ Eri (im Erdidanus) oder 61 Cyg (im Sternbild Schwan, lateinisch: Cygnus). Durch die moderne Beobachtungstechnik gibt es heute eine so große Anzahl an Sternen, dass sie einfach eine bestimmte Katalognummer erhalten. Unterschiedliche Kataloge enthalten in der Regel ihre spezifischen Nummerierungen. Manche sind willkürlich gewählt oder geben bestimmte Daten wieder, etwa die Koordinaten des Sterns.

2 Astronomische Koordinaten

So wie auf der Erdkugel können auch auf der Himmelskugel Koordinatensysteme festgelegt werden. Die astronomischen Koordinaten ermöglichen die genaue Angabe eines Punktes auf der Himmelskugel. Es gibt verschiedene Koordinatensysteme, doch handelt es sich in der Regel um Kugelkoordinaten. Bei diesen Koordinaten handelt es sich fast ausschließlich um Winkelangaben, wobei die Scheitelpunkte dieser Winkel zumeist im Kugelmittelpunkt, also beim Beobachter, angelegt sind.

Bei allen astronomischen Kugelkoordinaten bilden die Achse und die Grundebene sowie ein frei wählbarer Leitpunkt auf dem Grundkreis, welcher sich als Schnittlinie der Grundebene mit der Kugel ergibt, die Basis. Die Achse und die Grundebene stehen senkrecht aufeinander und verlaufen durch den Kugelmittelpunkt. Die Verlängerung dieser Achse durchstößt die Kugel an zwei Punkten. Diese Durchstoßpunkte werden als die Pole des Kugelkoordinatensystems bezeichnet. Die Grundebene teilt die Kugel in zwei Hälften. Im Falle der astronomischen Kugelkoordinatensysteme kann die Grundebene zum Beispiel der Horizont oder der Himmelsäquator sein. Im ersten Fall durchstößt die Achse den Zenit und den Nadir an der Himmelskugel, im zweiten Fall durchstößt die Himmelsachse als Verlängerung der Erdachse den nördlichen und den südlichen Himmelspol. Der Abstandswinkel von der Grundebene und der Richtungswinkel, welcher von einem bestimmten Leitpunkt aus gemessen wird, bilden die Koordinaten.

2.1 Das Horizontsystem

Beim Horizontsystem wird die Grundebene durch die Horizontebene bzw. der Grundkreis durch den Horizont des Beobachters gebildet. In diesem System bilden der Zenit und der Nadir die beiden Pole. Als Leitpunkt dient in der klassischen Astronomie der Südpunkt, durch den der Himmelsmeridian verläuft. In anderen Bereichen der Astronomie, etwa der Radioastronomie, wird auch der Nordpunkt verwendet. Die Koordinaten heißen Höhe und Azimut. Bei der Höhe handelt es sich um den Abstandswinkel bzw. den Winkelabstand des Gestirns vom mathematischen Horizont. Genau am Horizont beträgt der Winkel 0° , am Zenit, der maximal möglichen Höhe, beträgt der Winkelabstand 90° . Im Falle des Azimut handelt es sich um den Richtungswinkel bzw. den Winkelabstand des Schnittpunktes zwischen dem Vertikalkreis und dem Horizont vom Leitpunkt. Gezählt wird vom Südpunkt aus in Richtung Westen bzw. vom Nordpunkt aus in Richtung Osten (0° bis 360°). Im ersten Fall sind der Südpunkt 0° , der Westpunkt 90° , der Nordpunkt 180° und der Ostpunkt 270° . Im letzten Fall sind der Nordpunkt 0° , der Ostpunkt 90° , der Südpunkt 180° und der Westpunkt 270° . Die Höhe eines Gestirns kann auch durch den Abstand vom Zenit angegeben werden. In diesem Fall wird von der Zenitdistanz z gesprochen. Wenn h die Höhe des Gestirns bezogen auf den Horizont ist, dann gilt für die Zenitdistanz z :

$$z = 90^\circ - h$$

(2)

Gestirne mit einer negativen Höhe bzw. mit $h < 0^\circ$ befinden sich unter dem Horizont. Das Horizontsystem ändert sich in Abhängigkeit vom Ort und Zeitpunkt der Beobachtung. Die Polachse hängt zum einem vom Beobachtungsort ab. Zum anderen Ändern sich die Höhe und das Azimut eines Gestirns aufgrund der Erdrotation mit der Zeit. Zwar kann die Lotrichtung, die Richtung der Polachse, sehr genau bestimmt und damit eine hohe Koordinatengenauigkeit erreicht werden. Allerdings können keine orts- und zeitunabhängigen Koordinaten für Gestirne angegeben werden.

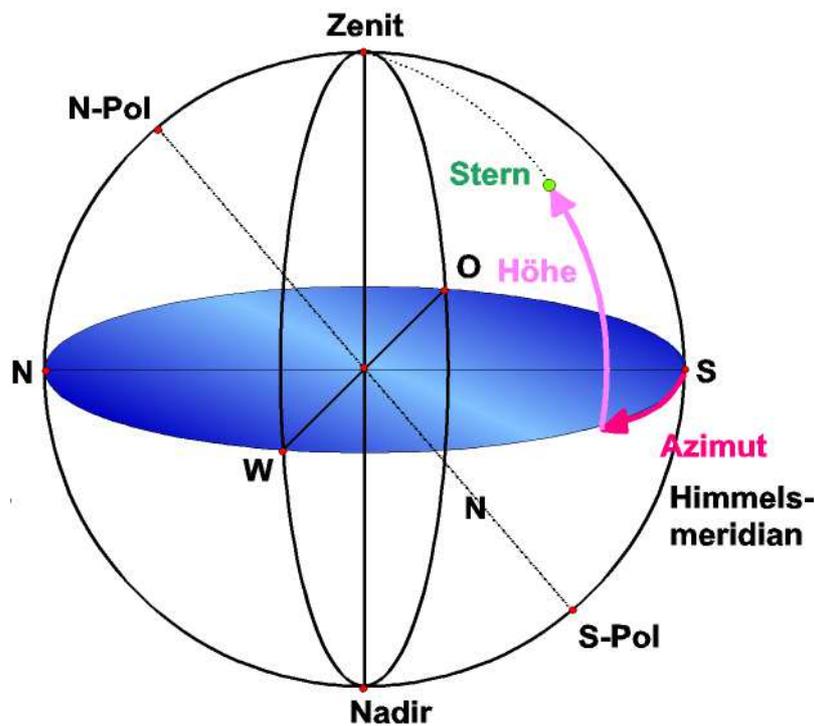


Bild 1: Das Horizontsystem / Quelle: Wikipedia

2.2 Das Äquatorsystem

Mit dem Äquatorsystem werden die Nachteile des Horizontsystems nach und nach behoben. Grundkreis ist der Himmelsäquator und die Polachse verläuft durch den nördlichen und den südlichen Himmelspol. Allerdings gibt es zwei Systeme, das ruhende und das rotierende Äquatorialsystem.

Im ruhenden Äquatorialsystem gilt der südliche Schnittpunkt des Himmelsäquators mit dem Himmelsmeridian als Leitpunkt. Insofern besteht hier noch eine gewisse Vergleichbarkeit mit dem Horizontsystem, nur dass die jeweiligen Grundkreise (Horizont und Himmelsäquator) verschieden sind. Der Leitpunkt des ruhenden Äquatorsystems ist Orts- und Zeitabhängig, er befindet sich für einen bestimmten Beobachter in Ruhe und nimmt nicht an der Drehung der Himmelskugel teil. Der Abstandswinkel vom Himmelsäquator wird als Deklination δ bezeichnet und in Gradmaß angegeben. Nach Norden wird die Deklination positiv, nach Süden negativ gezählt. Der Himmelsäquator selbst hat definitionsgemäß die Deklination 0° . Der Richtungswinkel, der Abstand vom Leitpunkt, im ruhenden Äquatorsystem wird wie im Falle des Horizontsystems von Süd nach West gezählt und als Stundenwinkel bezeichnet. D.h. der Stundenwinkel wird in Richtung der scheinbaren Drehung des Sternenhimmels gezählt. Genau im Himmelsmeridian als Leitpunkt hat ein Gestirn den Stundenwinkel 0° . Im Westpunkt hat es den Stundenwinkel 90° , im Nordpunkt einen von 180° , usw. Ebenso wie im Horizontsystem können auch im ruhenden Äquatorsystem keine absoluten Koordinaten für ein Gestirn angegeben werden. Diesen Nachteil behebt erst das rotierende Äquatorialsystem. Ein Nachteil des Äquatorsystems ist, dass die direkte Messung seiner Koordinaten nur mit eingeschränkter Genauigkeit möglich ist.

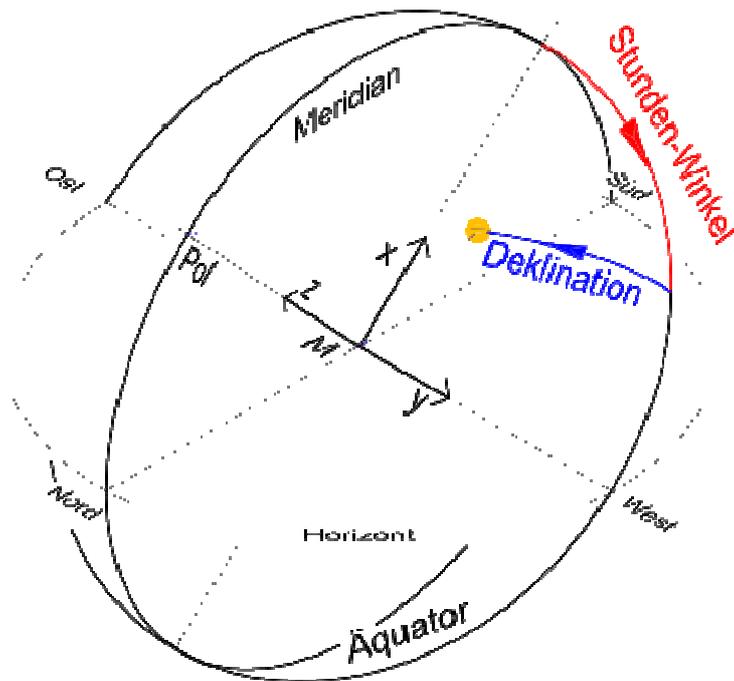


Bild 2: Das ruhende Äquatorsystem / Quelle: Wikipedia

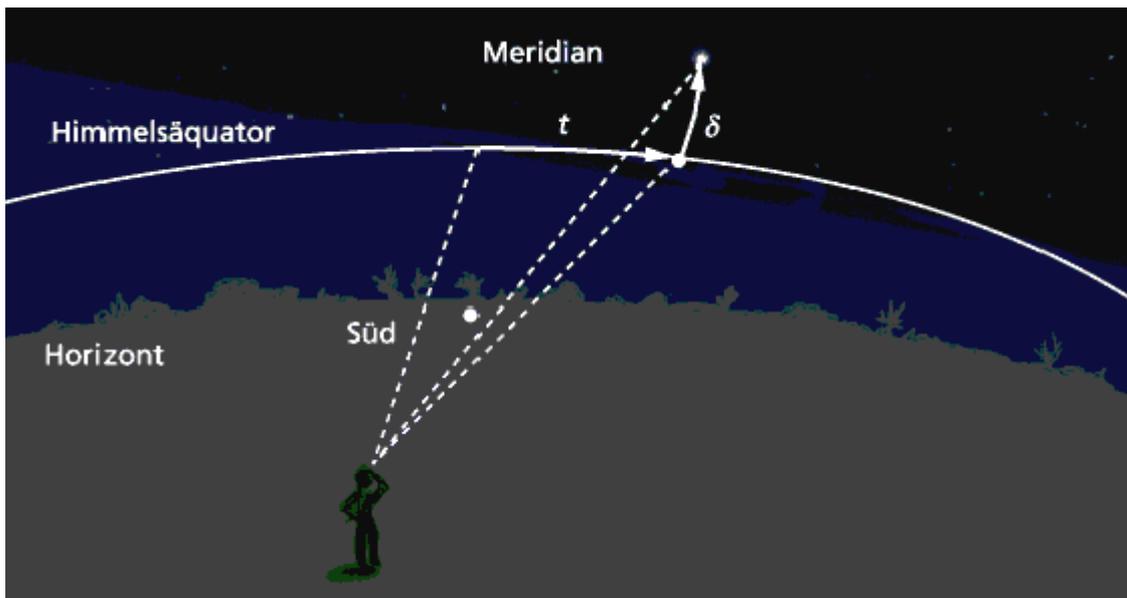


Bild 3: Das ruhende Äquatorsystem für einen Beobachter / Quelle: Wikipedia

Im rotierenden Äquatorialsystem ist der sogenannte Frühlingspunkt als Leitpunkt des Systems festgelegt. Hierbei handelt es sich um einen der beiden Schnittpunkte zwischen der scheinbaren Sonnenbahn am Sternhimmel, der sogenannten Ekliptik, mit dem Himmelsäquator. Im Frühlingspunkt überschreitet die Sonne den Himmelsäquator von Süd nach Nord. Damit endet auf der Nordhalbkugel der Erde auch der kalendarische Winter und der kalendarische Frühling beginnt. Der Frühlingspunkt liegt im Sternbild der Fische und nimmt an der Drehung der scheinbaren Himmelskugel teil. Nun haben wir ein vollständiges Koordinatensystem, welches an der Drehung des Sternhimmels teilnimmt. Wie im ruhenden Äquatorsystem wird der Abstandswinkel als Deklination δ bezeichnet und in Gradmaß angegeben. Hier verhält sich alles genauso wie im Falle des ruhenden Äquatorsystems. Der Richtungswinkel, der Abstand eines Gestirns vom Frühlingspunkt, wird als Rektaszension bezeichnet und entgegen der täglichen Drehung der scheinbaren Himmelskugel gezählt. Allerdings wird hierfür in der Regel nicht mehr ein Gradmaß

verwendet, sondern ein Zeitmaß von 0 bis 24 Stunden, wobei sich eine Stunde in 60 Minuten und eine Minute in 60 Sekunden unterteilt. Allerdings wird in seltenen Fällen die Rektaszension auch in Gradmaß (0° bis 360°) angegeben. Das rotierende Äquatorsystem ist unabhängig vom Ort und vom Zeitpunkt der Beobachtung. Die Gestirne haben festgelegte Koordinaten in diesem System. Mit Hilfe der aktuellen Sternzeit, welche nachfolgend erläutert wird, können die Gestirne zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort an der scheinbaren Himmelskugel aufgefunden werden. Hierbei ist die Summe aus dem Stundenwinkel τ des Gestirns und seiner Rektaszension α gleich der Sternzeit Θ :

$$\Theta = \alpha + \tau$$

(3)

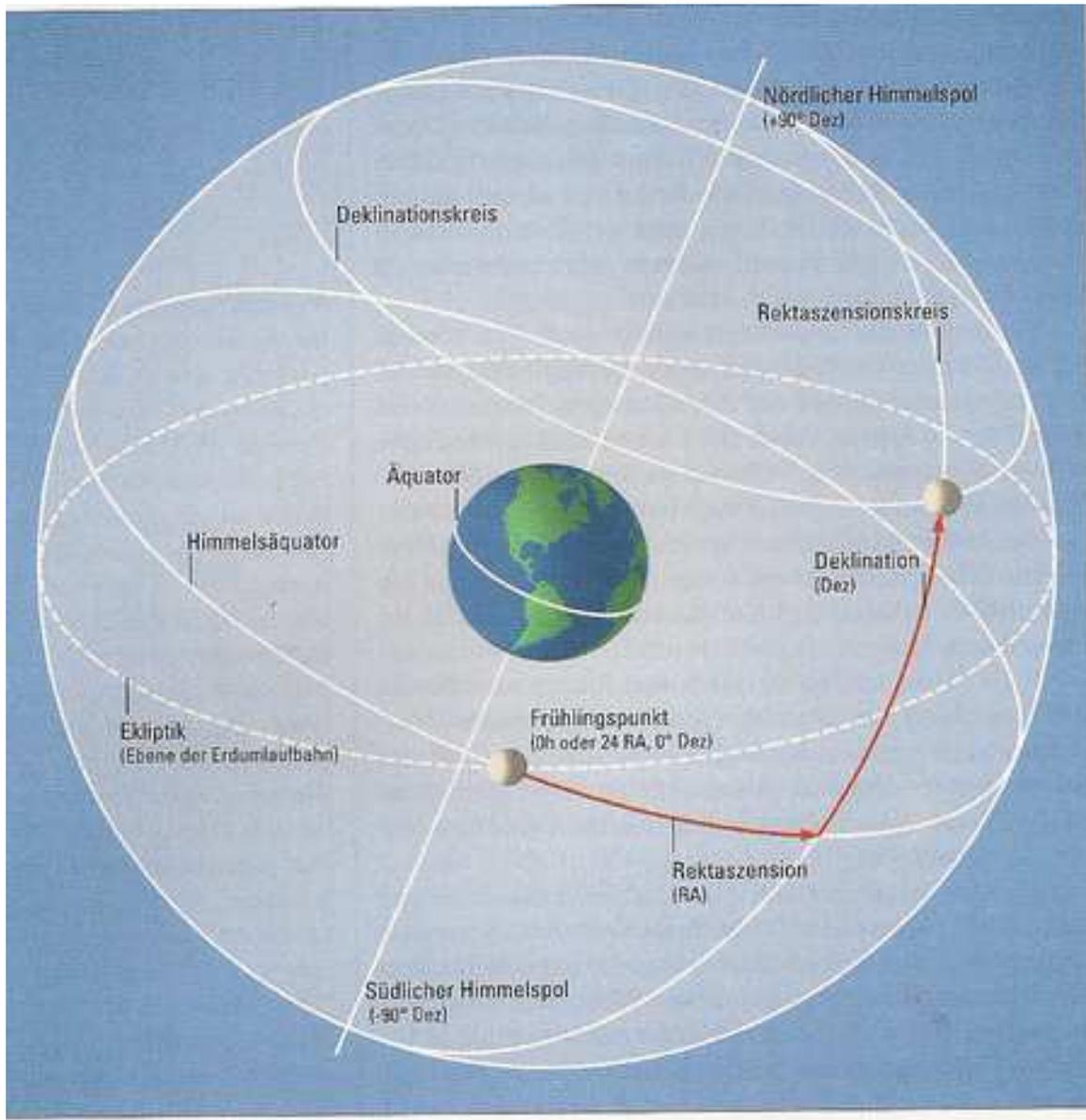


Bild 4: Das rotierende Äquatorsystem / Quelle: Wikipedia

Der Stundenwinkel τ eines Gestirns hängt natürlich von der geografischen Länge und dem Beobachtungszeitpunkt ab. Die Sternzeit ist gleich dem Stundenwinkel des Frühlingspunktes. Wenn der Frühlingspunkt durch den Himmelsmeridian geht, dann beträgt die Sternzeit = 0:00 Uhr.

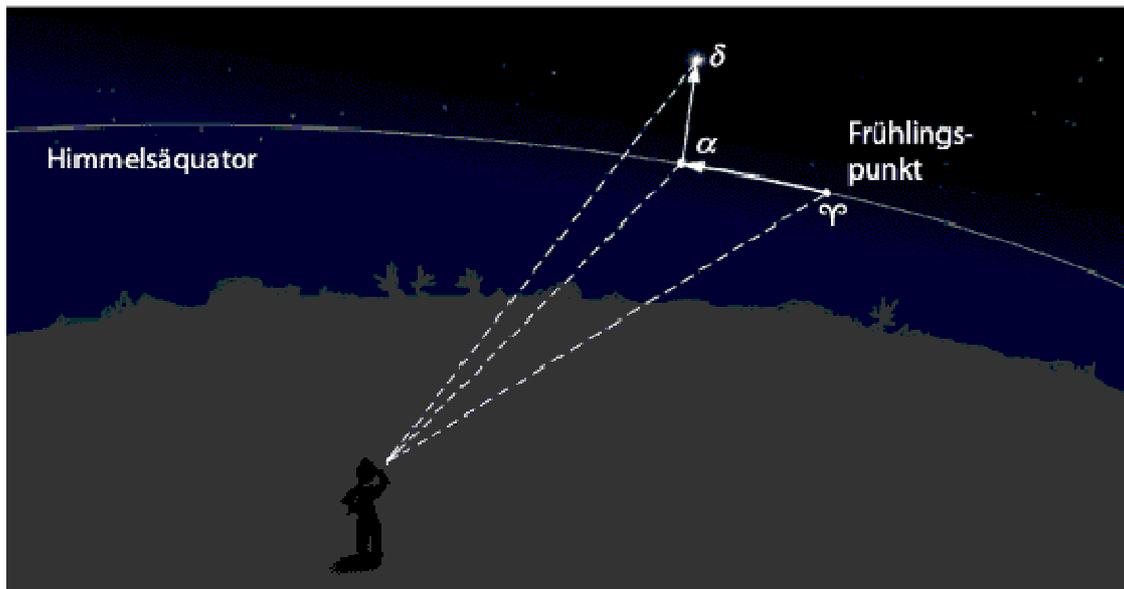


Bild 5: Das rotierende Äquatorsystem für einen Beobachter / Quelle: Wikipedia

2.3 Das Ekliptiksystem

Im Ekliptiksystem ist der Grundkreis die Ekliptik, welche die scheinbare Bahn der Sonne an der scheinbaren Himmelskugel ist. Damit ist die Ekliptik auch die Erdbahnebene, auf welche sich auch die Neigungen der Planetenbahnen um die Sonne beziehen. Da diese relativ gering sind, bewegen sich auch alle Planeten des Sonnensystems im Bereich der Ekliptik an der scheinbaren Himmelskugel. Der Mond bewegt sich ebenfalls in diesem Bereich. Die Achse des Systems verläuft durch den Beobachter und steht senkrecht zur Ekliptikebene bzw. Erdbahnebene. Die beiden Durchstoßpunkte der Achse der Ekliptik an der scheinbaren Himmelskugel werden als Pole der Ekliptik bezeichnet. Es gibt einen nördlichen Pol der Ekliptik, welcher sich im Sternbild des Drachen befindet und einen südlichen, welcher sich im Sternbild Goldfisch befindet. Alle Großkreise, welche die Pole der Ekliptik durchlaufen, schneiden die Ekliptik im rechten Winkel. Diese werden als Längengrade bezeichnet. Auch im Falle des Ekliptiksystems wird der Frühlingspunkt als Leitpunkt verwendet. Die Koordinaten des Systems werden als ekliptikale Breite β und als ekliptikale Länge λ bezeichnet. Die ekliptikale Breite ist der Abstandswinkel bzw. der Winkelabstand eines Gestirns von der Ekliptik. Wie im Falle der Deklination wird dieser in Gradmaß angegeben, nach Norden positiv und nach Süden negativ gezählt. Die ekliptikale Länge ist der Richtungswinkel bzw. der Winkelabstand des Schnittpunktes zwischen dem Längengrad eines Gestirns und der Ekliptik vom Frühlingspunkt. Wie im Falle der Rektaszension wird dieser entgegen der scheinbaren Drehung der Himmelskugel bzw. der Gestirne am Himmel gezählt, jedoch in Gradmaß angegeben. Das Ekliptiksystem wird vor allem für die Beschreibung der Bewegungen von Objekten des Sonnensystems verwendet.

2.4 Das Heliozentrische System

Im Gegensatz zum Ekliptiksystem befindet sich der Mittelpunkt des Heliozentrischen Systems, durch welchen die Achse verläuft, nicht im Beobachter sondern im Sonnenmittelpunkt. Den Grundkreis des Systems bildet wiederum die Ekliptik, die Pole sind wiederum die beiden Pole der Ekliptik. Der Leitpunkt des Systems ist auch wieder der Frühlingspunkt. Die Koordinaten des Systems sind wie im Ekliptiksystem definiert. Ebenfalls analog erfolgt die Zählung dieser Koordinaten. Die Bezeichnung dieser Koordinaten lautet für den Abstandswinkel „heliozentrische Breite“ und für den Richtungswinkel „heliozentrische Länge“. Ebenso wie das Ekliptiksystem wird das Heliozentrische System für die Beschreibung der Bewegungen von Objekten des Sonnensystems verwendet.

2.5 Das Galaktische System

Im Galaktischen System ist die Symmetrieebene der Galaxis (Milchstraße) die Grundebene und der Mittelpunkt dieses Systems liegt im Erdmittelpunkt. Die Schnittebene der Grundebene bzw. der Symmetrieebene der Galaxis mit der scheinbaren Himmelskugel wird als galaktischer Äquator bezeichnet, welcher als Grundkreis des Systems dient. Der nördliche Pol des Galaktischen Systems befindet sich im Sternbild Haar der Berenike, der südliche im Sternbild Bildhauer. Als Leitpunkt dient der Schnittpunkt des galaktischen Äquators mit der Verbindungslinie Sonne – Zentrum der Galaxis. Das Zentrum der Galaxis liegt von der Erde aus gesehen im Sternbild des Schützen. Die Koordinaten des Systems werden als galaktische Breite und als galaktische Länge bezeichnet. Das Galaktische System dient zur Beschreibung der Bewegung und Verteilung von Objekten in der Galaxis, also hauptsächlich von Sternen. Konkret werden die Dynamik und die Verteilung der Sterne im Raum beschrieben. Doch auch die Struktur der Galaxis selbst wird mit Hilfe der galaktischen Koordinaten beschrieben.

2.6 Koordinatentransformationen

Die Koordinaten des einen Systems können in die eines anderen Systems umgerechnet werden. In diesem Fall wird von sogenannten Koordinatentransformationen gesprochen. Dies ist oft erforderlich. So ist ein bestimmtes Koordinatensystem zur Beobachtung eines bestimmten astronomischen Objektes geeigneter als ein anderes. Wenn dann jedoch die Koordinaten nur für ein bestimmtes System angegeben sind, dann muss es entsprechend umgerechnet werden. Allen astronomischen Koordinatensystemen ist gemeinsam, dass es sich um Kugelkoordinaten handelt. Die Koordinatentransformation, die Umrechnung der Koordinaten des einen Systems in ein anderes, erfolgt mit Hilfe der Grundgleichungen der sphärischen Geometrie. Nachfolgend zunächst eine Zusammenfassung der bereits eingeführten Größen:

- Deklination δ (Einheit: Grad, nördliche Deklinationen werden positiv und südliche negativ gezählt)
- Rektaszension α (Einheit: Grad)
- Stundenwinkel τ (Einheit: Grad)
- Schiefe der Ekliptik ε (Einheit Grad)
- Ekliptikale Breite β (Einheit: Grad)
- Ekliptikale Länge λ (Einheit: Grad)
- Höhe h (Einheit: Grad)
- Azimut a (Einheit: Grad, gezählt von Süd über West)
- Geografische Breite des Beobachtungsortes φ (Einheit Grad, nördliche Breiten werden positiv und südliche Breiten negativ gezählt)

Für die Umrechnung vom rotierenden Äquatorsystem in das Ekliptiksystem gilt:

$$\tan(\alpha) = [\sin(\alpha) \cdot \cos(\varepsilon) + \tan(\delta) \cdot \sin(\varepsilon)] / \cos(\alpha)$$

(04)

$$\sin(\beta) = \sin(\delta) \cdot \cos(\varepsilon) - \cos(\delta) \cdot \sin(\varepsilon) \cdot \sin(\alpha)$$

(05)

Für die Umrechnung vom Ekliptiksystem in das rotierende Äquatorsystem gilt:

$$\tan(\alpha) = [\sin(\lambda) \cdot \cos(\varepsilon) - \tan(\beta) \cdot \sin(\varepsilon)] / \cos(\lambda)$$

(06)

$$\sin(\delta) = \sin(\beta) \cdot \cos(\varepsilon) + \cos(\beta) \cdot \sin(\varepsilon) \cdot \sin(\lambda)$$

(07)

Für die Umrechnung vom ruhenden Äquatorsystem in das Horizontsystem gilt:

$$\tan(\alpha) = \sin(\tau) / [\cos(\tau) \cdot \sin(\varphi) - \tan(\delta) \cdot \cos(\varphi)]$$

(08)

$$\sin(h) = \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\delta) \cdot \cos(\tau) \cdot \cos(\varphi)$$

(09)

Für die Umrechnung vom Horizontsystem in das ruhende Äquatorsystem gilt:

$$\tan(\tau) = \sin(\alpha) / [\tan(h) \cdot \cos(\varphi) + \sin(\varphi) \cdot \cos(\alpha)]$$

(10)

$$\sin(\delta) = \sin(\varphi) \cdot \sin(h) - \cos(\varphi) \cdot \cos(h) \cdot \cos(\alpha)$$

(11)

Die Umrechnung des ruhenden und des rotierenden Äquatorsystems untereinander erfolgt mit Gleichung (03). Für die Gleichungen (4), (6), (8) und (10) gilt folgende Quadrantenregel:

Nenner	Zähler	Ergebnis liegt im
positiv	positiv	1. Quadranten
positiv	negativ	2. Quadranten
negativ	negativ	3. Quadranten
negativ	positiv	4. Quadranten

2.7 Die Veränderung von Koordinaten

Die Koordinaten eines Gestirns verändern sich aufgrund verschiedener Einflüsse. Diese Einflüsse werden aufgrund der Bewegung der Gestirne, z.B. der Erde um die Sonne, infolge der Verlagerung der Grundebene oder des Leitpunktes des zugrundeliegenden Koordinatensystems und der Erdatmosphäre hervorgerufen. Nachfolgend soll auf verschiedene Einflüsse eingegangen werden.

Das Licht der Gestirne wird beim Durchgang durch die Atmosphäre gebrochen, was als Refraktion bezeichnet wird. Zunächst bewegt sich der Lichtstrahl durch den luftleeren Weltraum. Beim Auftreffen auf die Atmosphäre bewegt sich dieser zunehmend durch die immer dichter werdenden Luftschichten, so dass es zur Refraktion kommt und der Lichtstrahl des Gestirns gekrümmt ist. Das Gestirn erscheint dann nicht mehr exakt in seinen tatsächlichen Koordinaten, wie sie ohne Erdatmosphäre gemessen würden, sondern in Richtung der im Beobachtungsort an die Kurve gelegten Tangenten. Im Ergebnis ist die scheinbare Höhe (gemessen mit Erdatmosphäre) des Gestirns daher größer als seine wahre Höhe (gemessen ohne Erdatmosphäre). Nur im Zenit der Himmelskugel wirkt sich die Refraktion nicht aus. Abhängig ist die Refraktion vom Luftdruck und der Lufttemperatur. Bereits in kleinen Atmosphärenschichten führen schnelle Änderungen der Luftdichte, etwa durch turbulente Strömungen, zu rasch wechselnden Werten für die Refraktion.

Neben einer konstanten Refraktion, wie sie durch eine ruhige Atmosphäre hervorgerufen wird, gibt es daher auch eine variable Refraktion. Diese hat eine Amplitude zwischen 0,5 und 5 Bogensekunden (1 Grad (°) = 60 Bogenminuten (′), 1 Bogenminute = 60 Bogensekunden (″)) und wird als Richtungsszintillation oder Seeing bezeichnet. Die Frequenz der variablen Refraktion ist kleiner als ein Hertz.

Im Verhältnis zur Lichtgeschwindigkeit von $c = 299.792.448$ m/s ist die Bahngeschwindigkeit der Erde von rund 30.000 m/s nicht mehr vernachlässigbar. Ähnlich wie senkrecht nach unten fallender Regen von einem schnell fahrenden Auto aus betrachtet mit einem bestimmten Winkel schrägt gegen die Windschutzscheibe auftrifft, ändert sich auch der Einfallswinkel des Lichtstrahls eines Gestirns aufgrund der Bahnbewegung der Erde. Dieser Vorgang wird als Aberration bezeichnet. Im Falle der durch die Bahnbewegung der Erde hervorgerufenen Aberration wird von einer jährlichen Aberration gesprochen, da die Erde für einen Bahnlauf ein Jahr benötigt. Aufgrund der Bewegung der Erde unterscheidet sich die Beobachtungsrichtung zu einem Gestirn um einen kleinen Winkel, gegenüber der Richtung, in welcher das Gestirn von einer ruhigen Erde aus gesehen würde. Dieser kleine Winkel wird als Aberrationswinkel bezeichnet. Für den Aberrationswinkel σ gilt:

$$\sigma = \kappa \cdot \sin(\xi)$$

(12)

Hierbei ist κ die Aberrationskonstante in Bogensekunden mit dem Wert $\kappa = 20,49552''$ und der Winkel zwischen Blickrichtung zum Gestirn und Bewegungsrichtung in Grad. In Folge der Aberration ändern sich die Koordinaten Deklination und Rektaszension eines Gestirns entsprechend mit einer jährlichen Periode. Auf der scheinbaren Himmelskugel beschreibt das Gestirn dann im Laufe eines Jahres eine kleine scheinbare Ellipse. Diese Aberrationsellipse hat die große Halbachse a_a und die kleine Halbachse b_a . Beide Größen werden in Bogensekunden angegeben. Zusammen mit der ekliptikalen Breite β und der Aberrationskonstanten κ gilt:

$$a_a = \kappa$$

$$b_a = \kappa \cdot \sin(\beta)$$

(13)

Neben der Bahnbewegung der Erde führt auch die Rotation der Erde zu einer Aberration. In diesem Fall wird von einer täglichen Aberration gesprochen. Die Konstante der täglichen Aberration ist von der geografischen Breite des Beobachtungsortes abhängig. Aufgrund der täglichen Aberration erfolgt die Kulmination eines Gestirns, also sein Durchgang durch den Himmelsmeridian, um einen geringen Betrag verfrüht.

Die Bewegung der Erde um die Sonne wie auch die Erdrotation haben noch einen weiteren Effekt zur Folge, welcher als Parallaxe bezeichnet wird. Aufgrund dieses Effektes beschreiben Sterne kleine Ellipsen an der scheinbaren Himmelskugel. Konkret werden die scheinbaren Bewegungen von Sternen gegenüber weiter entfernten Sternen betrachtet. Bekannt ist, dass sich nahe Objekte gegenüber weiter entfernten Objekten verschieben, wenn der Beobachter seinen Standort wechselt. Beim Fahren mit dem Auto kann das gut beobachtet werden. Die Bäume am Straßenrand huschen schnell vorbei, während die weit entfernten Bäume zunächst kaum ihren Standort zu ändern scheinen. Im Prinzip passiert das auch mit nahen Sternen gegenüber weiter entfernten bei der Rotation der Erde (tägliche Parallaxe) und der Bewegung der Erde um die Sonne (jährliche Parallaxe). Wird ein relativ naher Stern betrachtet, so verändert dieser im Verlauf eines Jahres seine scheinbare Position gegenüber den weiter entfernten Sternen. Der Winkel, unter dem diese

Veränderung der scheinbaren Position erscheint, wird mit π bezeichnet. Wenn a die große Halbachse der Erdbahn und r die Entfernung des Sterns von der Sonne ist, so gilt für die jährliche Parallaxe π :

$$\sin(\pi) = a/r$$

$$(14)$$

Eine Parallaxe von $1''$ hätte ein Stern in einer Entfernung von 3,26 Lichtjahren. Der nächste Stern Proxima Centauri ist 4,3 Lichtjahre von der Sonne entfernt. Damit haben alle Sterne eine Parallaxe kleiner als $1''$. Die Entfernung von 3,26 Lichtjahren wird als 1 Parsec (pc) bezeichnet. Wenn r in Parsec und in Bogensekunden angegeben wird, so vereinfacht sich Gleichung (14) zu:

$$r = 1/\pi$$

$$(15)$$

Der nächste Stern Proxima Centauri hat mit $\pi = 0,77''$ die größte Parallaxe. Mit zunehmender Entfernung des Sterns von der Sonne wird auch seine Parallaxe immer kleiner. Zwischen einem fiktiven Beobachter im Erdmittelpunkt und einem tatsächlichen auf der Erdoberfläche erscheint ein Stern in Blickrichtung auch leicht verschoben. Im Falle einer Erdrotation, also an einem Tag, beschreibt der Stern vor diesem Hintergrund ebenfalls eine kleine Parallaxe. In diesem Fall wird von der täglichen Parallaxe π_t gesprochen. Diese ergibt sich aus dem Erdradius R in km, der Entfernung des Sterns zum Erdmittelpunkt in km und der Höhe h des Gestirns in Grad:

$$\pi_t = [R \cdot \cos(h)]/r$$

$$(16)$$

Die tägliche Parallaxe erreicht ihren größten Wert, wenn das Gestirn am Horizont und vom Erdäquator aus beobachtet wird. Der Erdradius ist am Äquator größer als an jedem anderen Ort, so dass auch die tägliche Parallaxe dort am größten ist. Eine entsprechend am Äquator und Horizont gemessene Parallaxe wird als Äquatorhorizontparallaxe bezeichnet.

2.8 Präzession und Nutation

Eine weitere Veränderung der astronomischen Koordinaten wird durch die Präzession und die Nutation bewirkt. Die Erde ist keine exakte Kugel, sondern ein Ellipsoid. Die Gravitation von Sonne und Mond greifen an diesen Erdellipsoid an. Dadurch kommt es zu einer langsamen Verlagerung der Erdachse. Dies führt im Ergebnis auch zu einer Verlagerung der Äquatorebene der Erde und damit verändert sich auch die Grundebene des Äquatorsystems. Doch auch die anderen Planeten im Sonnensystem beeinflussen die Erde, so dass sich auch die Lage der Ekliptik ändert. Die Gesamtheit dieser Veränderungen besteht aus einem langperiodischen Anteil, welcher als Präzession bezeichnet wird, und einem kurzperiodischen Anteil, der sogenannten Nutation.

Die Präzession der Erdachse kann mit einem rotierenden Kreisel verglichen werden. Die Schwerkraft greift den Kreisel an, so dass dieser zu Boden kippen würde. Allerdings verhindert die Rotation des Kreisels das Kippen. Im Widerstreit der Kräfte taumelt die Achse und beschreibt dabei einen Umlauf um einen definierten Mittelpunkt. Im Falle der Erdachse ist dies ähnlich. Sonne und Mond greifen gravitativ den Erdellipsoiden an. Die Erdachse fängt an zu Taumeln und beschreibt daher eine Kreisbewegung um einen definierten Mittelpunkt, den Pol der Ekliptik. Eine Periode dauert allerdings 25.800 Jahre. Zum heutigen Zeitpunkt ist die Erdachse auf den Polarstern ausgerichtet. Aufgrund der Verlagerung der Erdachse wird sich das jedoch ändern. Im Jahre 9000 wird der Stern Deneb im Sternbild Schwan die Rolle des Polarsterns einnehmen und im Jahre 13000 der Stern Wega im Sternbild Leier. Aufgrund der Präzession der Erdachse bewegt sich der Frühlingspunkt um 50,37 Bogensekunden pro Jahr auf der Ekliptik zurück. So lag der

Frühlingspunkt vor rund 2.000 Jahren noch im Sternbild Widder, weshalb dieser Punkt noch heute als Widerpunkt bezeichnet wird. Heute liegt er im Sternbild der Fische. In der Zukunft wird der Frühlingspunkt in das Sternbild Wassermann wandern. Für einen Gesamtlauf durch die Ekliptik bzw. den Tierkreis benötigt der Frühlingspunkt 25.800 Jahre, eben die Präzessionsperiode der Erdatmosphäre.

Aufgrund der Präzession sind das Äquatorsystem und das Ekliptiksystem in der Zeit veränderlich und damit zeitabhängig. Daher müssen die Koordinaten für einen bestimmten Zeitpunkt festgelegt werden. In Sternkarten und Sternkatalogen wird dafür eine bestimmte Normalepoche festgelegt. In der Regel sind das derzeit Anfang 1950 oder Anfang 2000.

Die Präzession wird von einer Schwankung des Himmelspols mit einer Periode von 18,6 Jahren um einen gedachten mittleren Himmelspol überlagert. Dies wird als Nutation bezeichnet. Auch diese wird durch die gravitativen Einflüsse von Sonne und Mond hervorgerufen. Im Ergebnis wird dadurch die durch Präzession hervorgerufene Kreisbahn des Himmelspols um den Pol der Ekliptik zu einer Wellenlänge mit einer Amplitude von wenigen Bogensekunden verzerrt.

Die Sterne haben ebenfalls eine Eigenbewegung. Sie bewegen sich um das Zentrum der Galaxis (Milchstraße). Kurzfristig sind keine Veränderungen feststellbar. Langfristig werden die Sterne am Sternenhimmel aufgrund ihrer Eigenbewegung ihre Positionen verändern und sich damit auch die bestehenden Sternbilder auflösen. Die Eigenbewegung wird in Bogensekunden pro Jahr angegeben. Die größte Eigenbewegung hat Barnards Pfeilstern mit einem Wert von $10,34''/\text{a}$.

2.9 Die Gestirnsörter

Die Position eines Gestirns an der scheinbaren Himmelskugel wird in Koordinaten angegeben und als sein Ort bezeichnet. Die gemessenen Koordinaten geben den tropozentrischen Ort, also den Ort bezogen auf der scheinbaren Himmelskugel an. Unter Berücksichtigung der Refraktion sowie der täglichen Aberration und der täglichen Parallaxe ergibt sich zunächst der scheinbare Ort. Hierbei ist noch zu erwähnen, dass die tägliche Parallaxe nur bei astronomischen Objekten des Sonnensystems messbar ist. Der wahre Ort eines Gestirns ergibt sich erst unter Berücksichtigung der jährlichen Aberration und der jährliche Parallaxe. Der mittlere Ort eines Gestirns ergibt sich, wenn die Nutation berücksichtigt wird. Durch Berücksichtigung der Präzession kann der mittlere Ort korrigiert werden, so dass sich der wahre Ort für einen bestimmten Zeitpunkt (eine bestimmte Normalepoche) ergibt.

2.10 Sternkarten und Sternkataloge

Auf Basis von Sternkatalogen werden Sternkarten für verschiedenste Zwecke erstellt. Eine Sternkarte ist die Darstellung eines Teils oder der gesamten scheinbaren Himmelskugel mit allen beobachtbaren Objekten bis zu einer bestimmten Gesamthelligkeit. Eine Sternkarte kann für einen bestimmten Zeitpunkt angegeben werden und dann auch alle zeitlich veränderlichen Objekte, etwa die Position der Planeten des Sonnensystems, beinhalten. Wenn eine Sternkarte allerdings für einen längeren Zeitraum gelten soll, dann dürfen die zeitlich veränderlichen Objekte nicht eingetragen werden. Streng genommen ändern sich aufgrund der Eigenbewegung auch die Positionen der Sterne, so dass eine Sternkarte, wie bereits erwähnt wurde, immer für eine bestimmte Normalepoche gilt. Derzeit sind dies die Normalepochen 1950 und 2000. Allerdings sind die Änderungen bezogen auf ein Menschenleben relativ klein, so dass sie nicht weiter auffallen.

Grundlage für jede Sternkarte ist ein astronomisches Koordinatensystem. In der Regel wird das rotierende Koordinatensystem verwendet, gelegentlich auch das Ekliptiksystem oder das galaktische System. Sternkarten können auf verschiedene Weise erstellt werden. Von Hand gezeichnet, maschinell bzw. computertechnisch erstellt oder auf fotografischem Wege erstellt

3 Die scheinbare Bewegungen der Gestirne

Die scheinbare tägliche Bewegung der Gestirne ist tatsächlich eine Widerspiegelung der Erdrotation. Die Erde rotiert einmal in $23^{\text{h}} 56^{\text{m}} 4,10^{\text{s}}$ um ihre eigene Achse. Diese Bewegung ist eingebettet in eine jährliche Bewegung der Gestirne, welche durch die Bewegung der Erde um die Sonne hervorgerufen wird. Die Erde benötigt für einen Umlauf um die Sonne rund 365,25 Tage. Für die genaue Festlegung dieses Sonnenjahres ist allerdings ein bestimmter Bezugspunkt notwendig. So kann z.B. der sonnennächste Punkt der Erdbahn, das sogenannte Perihel, herangezogen werden. Doch auch die Differenz zwischen zwei Sonnendurchgängen durch den Frühlingspunkt oder der Bezug auf einen beliebigen Stern auf der Ekliptik kann herangezogen werden. Die scheinbare Bewegung der Gestirne am Himmel, sowohl die tägliche als auch die jährliche, ist im Ergebnis eine Überlagerung der Rotations- und der Bahnbewegung der Erde.

3.1 Die tägliche Bewegung der Gestirne

Für einen Beobachter auf der Nordhalbkugel der Erde verläuft diese Drehung von Ost über Süd nach West. Ein Gestirn geht also im Osten auf, erreicht im Süden seinen höchsten Stand (Kulmination) und geht im Westen wieder unter. Verallgemeinert kann auch gesagt werden, dass die Gestirne in der Osthälfte aufgehen und in der Westhälfte untergehen. Ausgenommen die Gestirne, welche sich genau auf dem Himmelsäquator befinden, bewegen sich alle Gestirne auf Kleinkreisen parallel zum Himmelsäquator. Eine vollständige Umdrehung der scheinbaren Himmelskugel entspricht einem Sterntag. Somit ist ein Sterntag etwa vier Minuten kürzer als ein Kalendertag von 24 Stunden. Infolgedessen geht ein Gestirn pro Tag etwa vier Minuten früher auf und unter. Nicht alle Gestirne gehen allerdings für einen bestimmten Beobachtungsort unter. Wenn der Winkelabstand eines Gestirns von einem der Himmelspole geringer ist als der Abstand Himmelspol – Horizont, dann unterschreitet dieses Gestirn nie den Horizont und geht folglich auch nicht unter. In diesen Fällen wird von Zirkumpolarsternen gesprochen. So gehen für einen Beobachter in Mitteleuropa beispielsweise die Sternbilder Großer und Kleiner Bär niemals unter. Auf der anderen Seite bleiben für diesen Beobachter die Zirkumpolarsterne des südlichen Sternhimmels immer unsichtbar. Dies kann auch quantitativ ausgedrückt werden. Zwischen der Deklination δ_z eines ständig sichtbaren Zirkumpolarsterns, der Deklination δ_u eines ständig unsichtbaren Zirkumpolarsterns und der geografischen Breite φ des Beobachtungsortes besteht folgender Zusammenhang:

$$\delta_z > 90^\circ - \varphi$$

$$\delta_u < \varphi - 90^\circ$$

(17)

Der über dem Horizont verlaufende Teil der scheinbaren Bahn des Gestirns an der Himmelskugel wird unabhängig von der Tageszeit als Tagbogen bezeichnet. Der unter dem Horizont verlaufende Teil entsprechend als Nachtbogen. Der Tagbogen eines Gestirns auf dem Himmelsäquator beträgt 180° . Ein entsprechendes Gestirn geht genau im Ostpunkt auf und im Westpunkt unter. Beide Punkte sind auf dem Grundkreis Himmelsäquator genau 180° entfernt. Mit steigendem Abstand vom Himmelsäquator bzw. mit steigender Deklination wird auch der Tagbogen größer. Der Nachtbogen wird entsprechend kleiner. Die Summe aus Tagbogen und Nachtbogen ergibt immer 360° . Zirkumpolarsterne haben einen Tagbogen von 360° und keinen Nachtbogen. Die Höhe des Himmelspols bzw. seine Deklination entspricht der geografischen Breite des Beobachtungsortes. Für einen Beobachter am Äquator haben beide Himmelspole eine Höhe von 0° und liegen genau auf dem Horizont. Damit gibt es für diesen auch keine Zirkumpolarsterne, da alle Gestirne an einem äquatorialen Beobachtungsort auf- und untergehen. Anders sieht es für einen Beobachter am geografischen Nord- oder Südpol der Erde aus. Die Himmelspole haben dort eine Höhe von 90° , befinden sich dort für den Beobachter jeweils im Zenit. Für diesen Beobachter sind alle Gestirne der

zugehörige Himmelssphäre (nördliche oder südliche) zirkumpolar. Mit steigender Entfernung vom geografischen Äquator in Richtung eines der Erdpole werden für einen Beobachter immer mehr Gestirne in der entsprechenden Himmelssphäre zirkumpolar, während immer mehr Gestirne der entgegengesetzten Himmelssphäre für diesen unsichtbar bleiben.

3.2 Die jährliche Bewegung der Gestirne bzw. der Sonne

Ein bestimmtes Gestirn geht im Verlauf eines Jahres zu unterschiedlichen Zeiten auf und unter. Die Sonne bewegt sich relativ zu den Sternen, so dass ein bestimmter Teil des Sternenhimmels am Taghimmel unsichtbar bleibt und der andere Teil sichtbar ist. Die Sonne bewegt sich hierbei durch die sogenannten zwölf Tierkreiszeichen und durch den Schlangenträger. Die scheinbare Sonnenbahn an der Himmelskugel wird als Ekliptik bezeichnet. Es muss hierbei beachtet werden, dass die zwölf in der Astrologie verwendeten Tierkreiszeichen aufgrund der Präzession nicht mehr mit den entsprechenden zwölf Sternbildern übereinstimmen. Die Einteilung der Ekliptik in der Astrologie in zwölf Tierkreiszeichen ist auch nicht Deckungsgleich mit der Abgrenzung der Sternbilder in der Astronomie. So teilt die Astrologie die Ekliptik (Gesamtlänge: 360°) in zwölf gleichgroße Abschnitte von 30° Länge. Diese wurden in Anlehnung an die entsprechenden Sternbilder nach diesen bezeichnet. Nachfolgend die jährliche Bewegung der Sonne durch die astronomischen Sternbilder und in welchem Zeitraum sie dabei ein bestimmtes Sternbild durchläuft. In Klammern, wann die Sonne die zwölf astrologischen Tierkreiszeichen durchläuft.

- Fische 12.03. – 19.04. (18.02. – 20.03.)
- Wider 19.04. – 14.05. (20.03. – 20.04.)
- Stier 14.05. – 21.06. (20.04. – 21.05.)
- Zwillinge 21.06. – 20.07. (21.05. – 21.06.)
- Krebs 20.07. – 10.08. (21.06. – 22.07.)
- Löwe 10.08. – 16.09. (22.07. – 23.08.)
- Jungfrau 16.09. – 31.10. (23.08. – 23.09.)
- Waage 31.10. – 23.11. (23.09. – 23.10.)
- Skorpion 23.11. – 29.11. (23.10. – 22.11.)
- Schlangenträger 29.11. – 18.12. (-)
- Schütze 18.12. – 19.01. (22.11. – 21.12.)
- Steinbock 19.01. – 16.02. (21.12. – 20.01.)
- Wassermann 16.02. – 12.03. (20.01. – 18.02.)

Die Zeitangaben können bis zu zwei Tagen von den angegebenen Daten abweichen. Dies hängt vom genauen Zeitpunkt des Eintritts der Sonne in ein Sternbild oder von einem möglichen Schaltjahr ab.

Der Bereich der scheinbaren Himmelskugel, in welchem sich die Sonne gerade befindet, bleibt für einen Beobachter wie bereits angesprochen unsichtbar und befindet sich am Tageshimmel. Der für einen Beobachter der Sonne genau gegenüber liegende Bereich der scheinbaren Himmelskugel (180°) ist dann besonders gut und die ganze Nacht hindurch beobachtbar. In Abhängigkeit der Jahreszeiten gibt es bestimmte Sternbilder, welche in den Abendstunden besonders gut beobachtbar sind. Zum Beispiel der Löwe im Frühling, der Skorpion, die Leier, der Schwan oder der Adler im Sommer, Andromeda, Pegasus und Perseus im Herbst sowie Orion und der Stier im Winter. Daher werden unterschieden:

- Frühlingssternbilder
- Sommersternbilder
- Herbststernbilder
- Wintersternbilder

Die Ekliptik, die scheinbare Bahn der Sonne an der scheinbaren Himmelskugel, hat zwei Schnittpunkte mit dem Himmelsäquator und erreicht in zwei Punkten den jeweils größten Abstand vom Himmelsäquator. Der erste Schnittpunkt ist der Frühlingspunkt (Frühlingsäquinoktium) im Sternbild Fische. In diesem Punkt überschreitet die Sonne den Himmelsäquator von Süd nach Nord. Der Tag fällt auf den 20. März, kann jedoch auch aus den oben bereits genannten Gründen um bis zu zwei Tagen abweichen. Der Durchgang der Sonne durch den Frühlingspunkt markiert auch den Beginn des kalendarischen Frühlings auf der Nordhalbkugel und den Beginn des kalendarischen Herbstes auf der Südhalbkugel. Der zweite Schnittpunkt ist der sogenannte Herbstpunkt bzw. Herbstäquinoktium. In diesem Punkt überschreitet die Sonne den Himmelsäquator von Nord nach Süd. Dieser Punkt liegt um den 23. September (mit bis zu zwei Tagen Abweichung) und markiert den kalendarischen Herbstanfang auf der Nordhalbkugel bzw. den kalendarischen Frühlingsanfang auf der Südhalbkugel der Erde. In beiden Schnittpunkte ist die Tageslänge gleich der Nachtlänge, so dass auch von Tagundnachtgleiche (Äquinoktium) gesprochen wird.

Nördlich des Himmelsäquators nimmt mit zunehmender Deklination der Sonne, also mit ihrem zunehmenden Abstand von Himmelsäquator, auch die Tageslänge zu. Die Nachtlänge nimmt entsprechend ab. Auf der Südhalbkugel der Erde verhält es sich dann umgekehrt. Die maximal nördliche Deklination der Sonne wird als Sommersonnenwende bezeichnet. Dieser Punkt liegt heute im Sternbild der Zwillinge und wird um den 21. Juni erreicht. Mit Erreichen der Sommersonnenwende beginnt der kalendarische Sommer auf der Nordhalbkugel und der kalendarische Winter auf der Südhalbkugel. An diesem Tag steht die Sonne am höchsten am nördlichen Himmel. Der Tag hat dann auf der Nordhalbkugel seine größte Länge und die Nacht entsprechend die kürzeste Länge. Den größten südlichen Abstand vom Himmelsäquator erreicht die Sonne während der sogenannten Wintersonnenwende im Sternbild des Schützen. Dieser Tag liegt um den 21. Dezember und markiert auf der Nordhalbkugel den kalendarischen Winterbeginn bzw. auf der Südhalbkugel der Erde den kalendarischen Sommerbeginn. An diesem Datum ist der Tag auf der Nordhalbkugel am kürzesten und die Nacht am längsten. Auf der Südhalbkugel verhält es sich dann umgekehrt. Die beiden Wendepunkte der Sonne werden als „Solstitien“ bezeichnet. Die Kulminationshöhe h_k der Sonne für einen Beobachter am Ort mit der geografischen Breite φ in einem der beiden Wendepunkte ergibt sich dann aus der Deklination δ der Sonne in ihren Solstitien ($\delta = 23,4^\circ$ im Sommersolstitium und $\delta = -23,4^\circ$ im Wintersolstitium):

$$h_k = 90^\circ - \varphi + \delta$$

(18)

Für die kalendarischen Jahreszeiten auf der Nordhalbkugel der Erde gilt:

- 20. März - 21. Juni: Frühling
- 21. Juni – 23. September: Sommer
- 23. September - 21. Dezember: Herbst
- 21. Dezember – 20. März: Winter

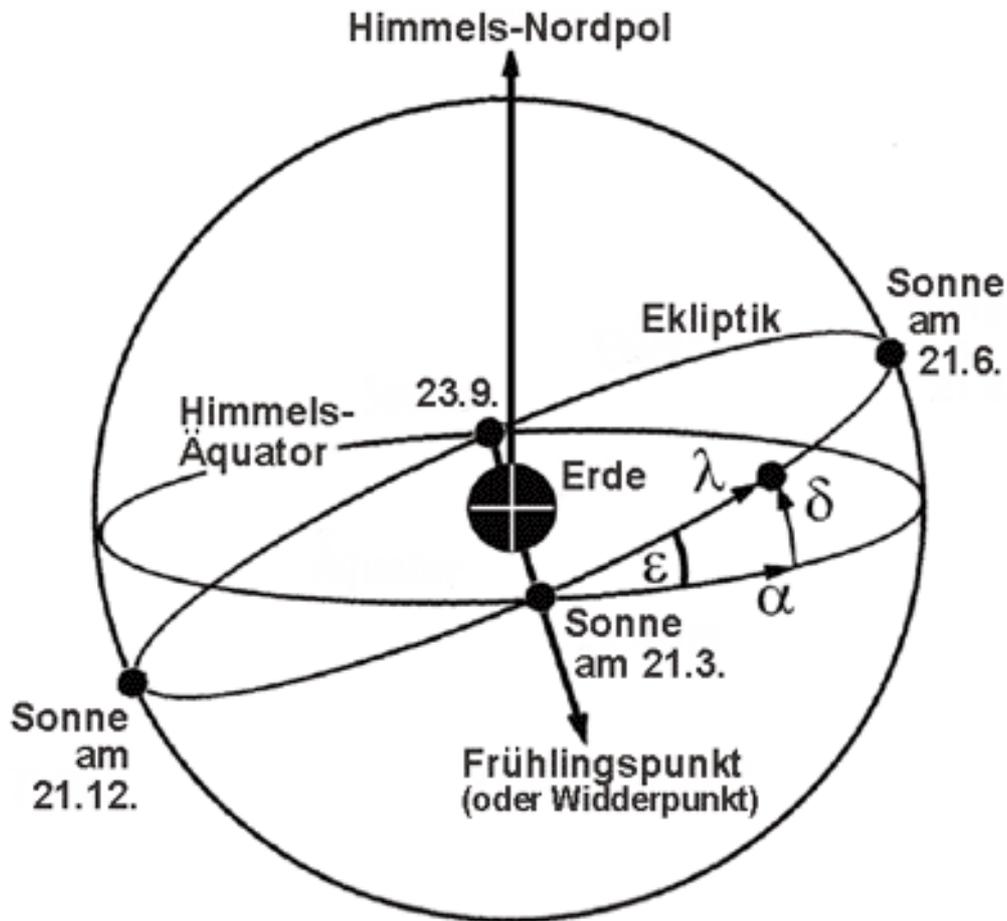


Bild 7: Die jahreszeitliche Position der Sonne an der scheinbaren Himmelskugel /
Quelle: Wikipedia

Wegen der bereits angesprochenen Gründe (Genauer Durchlaufzeitpunkt der Sonne, Schaltjahre) können die angegebenen Daten um bis zu zwei Tagen abweichen. In der Meteorologie und Klimatologie werden die vier Jahreszeiten aufgrund statistischer und wissenschaftlicher Erwägungen wie folgt festgelegt:

- 01. März – 31. Mai: meteorologischer Frühling
- 01. Juni – 31. August: meteorologischer Sommer
- 01. September – 30. November: meteorologischer Herbstbeginn
- 01. Dezember – 28. bzw. 29. Februar: meteorologischer Winterbeginn

3.3 Der Sternenhimmel in den vier Jahreszeiten

Jede Jahreszeit bietet in den Abendstunden charakteristische Sternbilder. Am Morgenhimmel sind bereits die Sternbilder für den Abendhimmel der nachfolgenden Jahreszeiten zu sehen. Auf den nachfolgenden vier Seiten werden die typischen Sternbilder für den jeweiligen Abendhimmel der vier Jahreszeiten am mitteleuropäischen Himmel dargestellt.

Der Frühlingssternenhimmel zeigt vor allem drei helle Sterne, welche nahezu ein rechtwinkliges Dreieck bilden. In der Nähe zum Horizont zeigt sich Spika, der Hauptstern des Sternbildes Jungfrau. Links darüber ist ein hell orangroter Stern zu sehen, Arktur im Sternbild Bootes (Der Bärenhüter). Weiter rechts oberhalb von Spika zeigt sich der helle Regulus (Kleiner König), der Hauptstern des Sternbildes Löwen. Diese drei Sternbilder haben recht einprägsame Figuren. Die Sterne haben unterschiedliche Entfernungen zur Erde. Spika ist 220, Arktur 35 und Regulus 68 Lichtjahre entfernt. Der Schwanzstern des Löwen Denebola ist etwa 62 Lichtjahre entfernt.

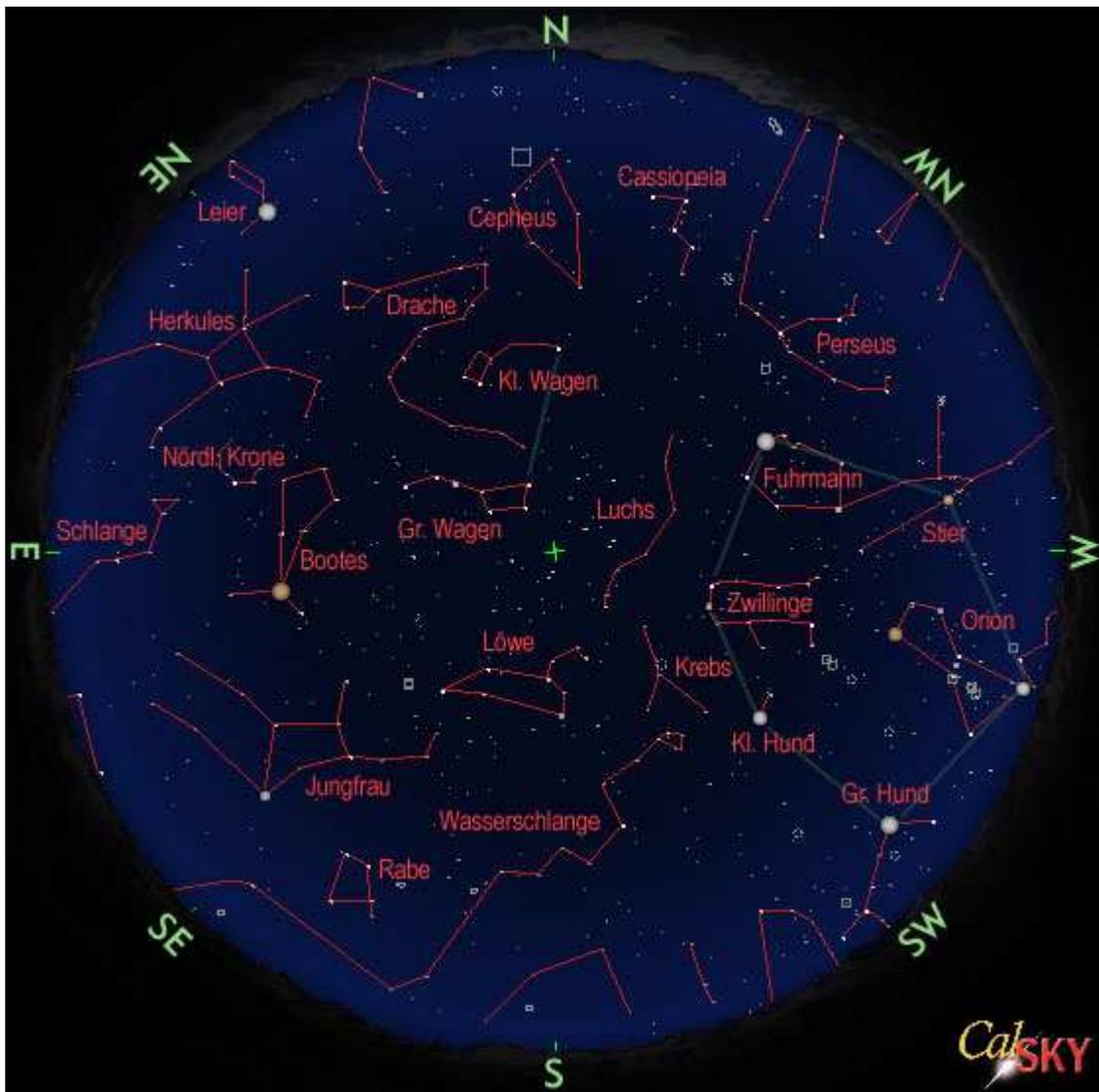


Bild 8: Der Frühlingssternenhimmel / Quelle: Wikipedia (CalSky)

Der Sommersternenhimmel zeigt ebenfalls drei helle Sterne, welche ein Dreieck bilden. Die Hauptsterne Deneb im Schwan, Wega in der Leier und Altair im Adler bilden das sogenannte Sommerdreieck. Der Deneb ist mit 1.200 Lichtjahren relativ weit von der Sonne entfernt, während Wega mit einer Entfernung von 26 Lichtjahren und Altair mit 16 Lichtjahren relativ nah sind. In der Nähe zum südlichen Horizont können die Sternbilder Skorpion und Schütze beobachtet werden. Auffallend ist der Hauptstern des Skorpion, der marsrote Antares mit einer Entfernung von 360 Lichtjahren. Im Sternbild Schützen befindet sich von der Erde aus gesehen das Zentrum der Galaxis (Milchstraße), welches etwa 26.000 Lichtjahre von der Sonne entfernt ist. Die Sternbilder Skorpion und Schütze stehen recht nah am Horizont und sind daher nicht mehr vollständig zu beobachten. Weitere charakteristische Sommersternbilder sind der Herkules sowie der Schlangenträger und die Schlange am rechten (westlichen) Rand des Sommerdreiecks. Die Galaxis bzw. Milchstraße besteht aus vielen Sternen, welche aufgrund ihrer großen Entfernung nur als milchiges Band am Sternhimmel zu erkennen sind. Sie verläuft quer durch das Sommerdreieck bis zum südlichen Horizont herab und ist in diesem Bereich am auffälligsten.

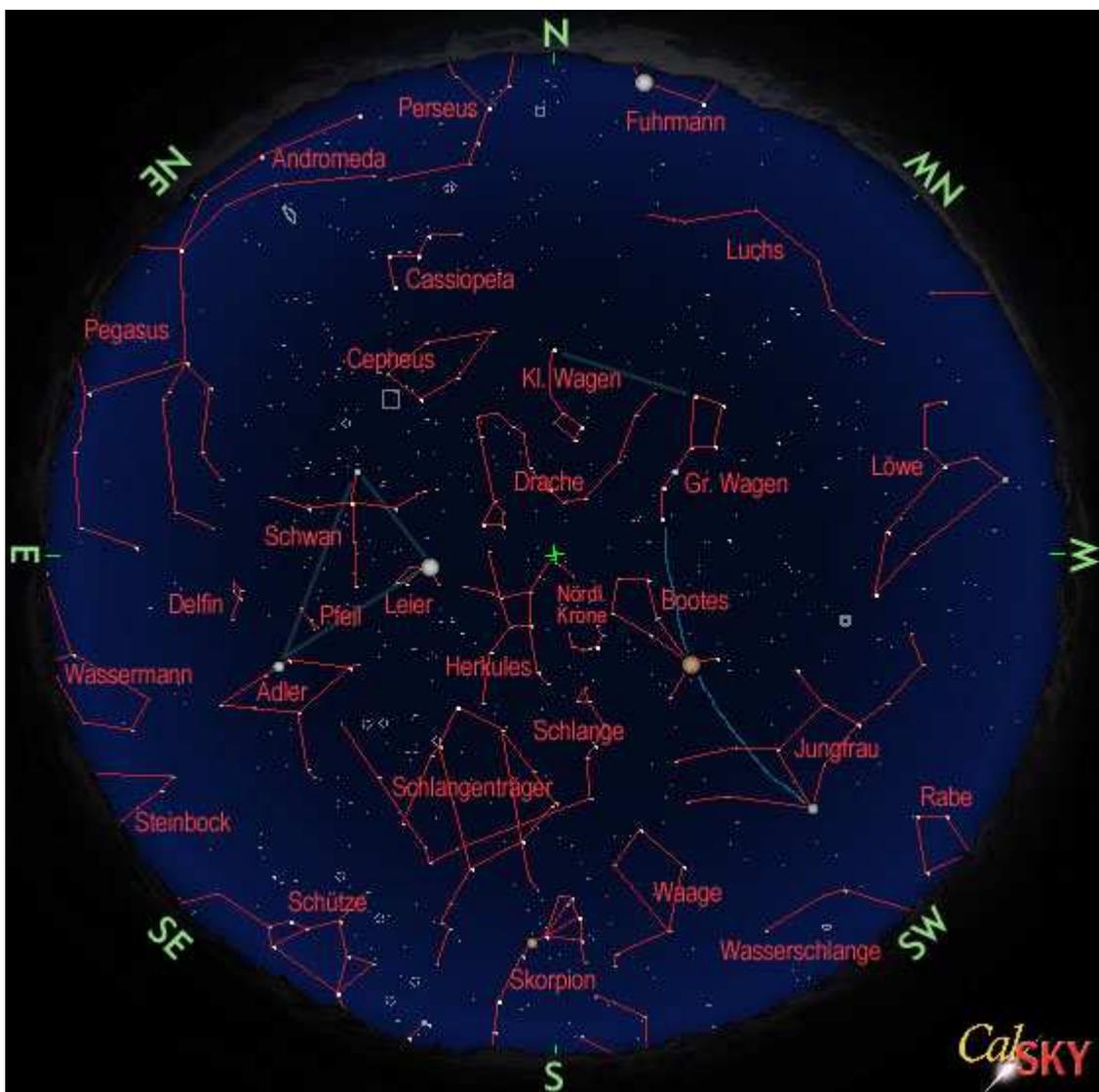


Bild 9: Der Sommersternenhimmel / Quelle: Wikipedia (CalSky)

Der Herbststernenhimmel ist durch Sternbilder geprägt, welche weniger helle Sterne enthalten. Ein charakteristisches Herbststernbild ist Pegasus, zu dem vier mittelhelle Sterne gehören, welche ein Quadrat bilden. Dieses Quadrat wird daher auch als Pegasusquadrat bezeichnet. Streng genommen gehört der linke obere Stern des Pegasusquadrates bereits zum Sternbild Andromeda, welches sich direkt links oben am Pegasus anschließt. Im Sternbild Andromeda befindet sich die relativ bekannte Andromedagalaxie M31 bzw. NGC 224. In der Nähe zum Südhorizont finden sich die Sternbilder Wassermann, Fische und Walfisch. Knapp über dem Horizont ist der relativ einsame Fomalhaut zu erkennen, der Hauptstern im Südlichen Fisch.

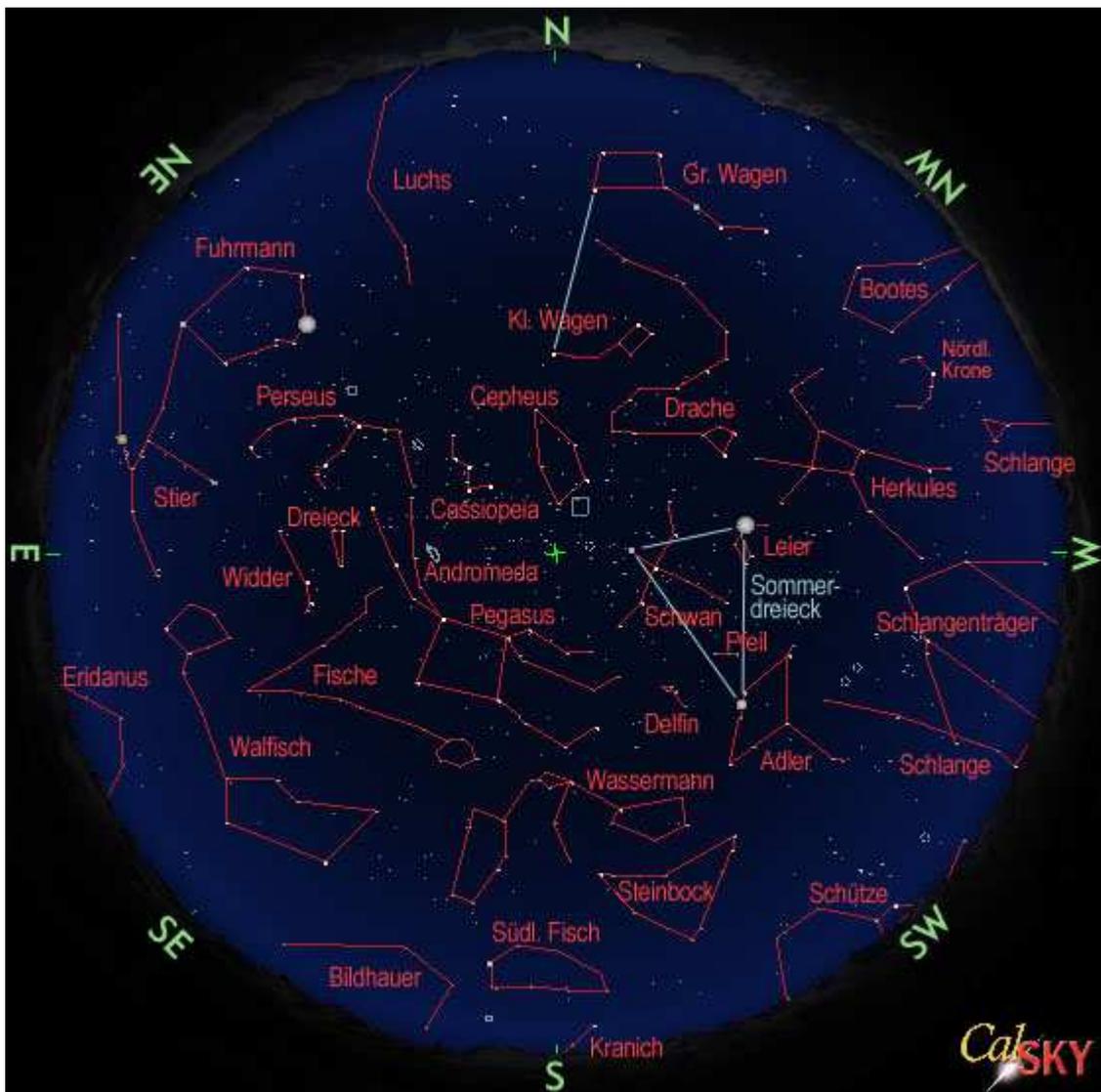


Bild: 10: Der Herbststernenhimmel / Quelle: Wikipedia (CalSky)

Der Wintersternenhimmel zeigt wieder viele helle Sterne und auffällige Sternbilder. Einen zentralen Platz am Wintersternenhimmel nimmt der Himmelsjäger Orion ein. An seiner linken Schulter leuchtet auffällig der rötliche Stern Beteigeuze, welcher etwa 270 Lichtjahre von der Sonne entfernt ist. Der hellste Stern im Orion ist der etwa 650 Lichtjahre entfernte Rigel, der rechte Fußstern des Orion. Im Orion befindet sich der relativ gut sichtbare Orionnebel M42. Auffällig ist auch der Gürtel des Orion, welcher aus drei Sternen besteht. Wenn dieser Gürtel in Gedanken nach links unter verlängert wird, dann trifft dieser auf den Sirius. Der etwa 8,7 Lichtjahre entfernte Sirius ist der Hauptstern im Großen Hund und der hellste Fixstern am Sternenhimmel. Links oberhalb von Sirius befindet sich der etwa 11 Lichtjahre entfernte Prokyon, der Hauptstern des Sternbildes Kleiner Hund. Bei einer Verlängerung des Gürtels nach rechts oben wird der rote Stern Aldebaran, der etwa 53 Lichtjahre entfernte Hauptstern des Sternbildes Stier, erreicht. In der Umgebung von Aldebaran befinden sich mit den Hyaden und den Plejaden zwei auffällige offene Sternhaufen. Sehr hoch am Sternhimmel, in der Nähe des Zenits, befindet sich der etwa 42 Lichtjahre entfernte Stern Kapella, der Hauptstern im Sternbild Fuhrmann. Links unterhalb von Kapella befinden sich die fast gleichhellen Sternen Kastor und Pollux in den Zwillingen. Kastor ist etwa 44 Lichtjahre und Pollux etwa 32 Lichtjahre von der Sonne entfernt. Die Sterne Kapella, Aldebaran, Rigel, Sirius, Prokyon und Kastor bilden das Wintersechseck.

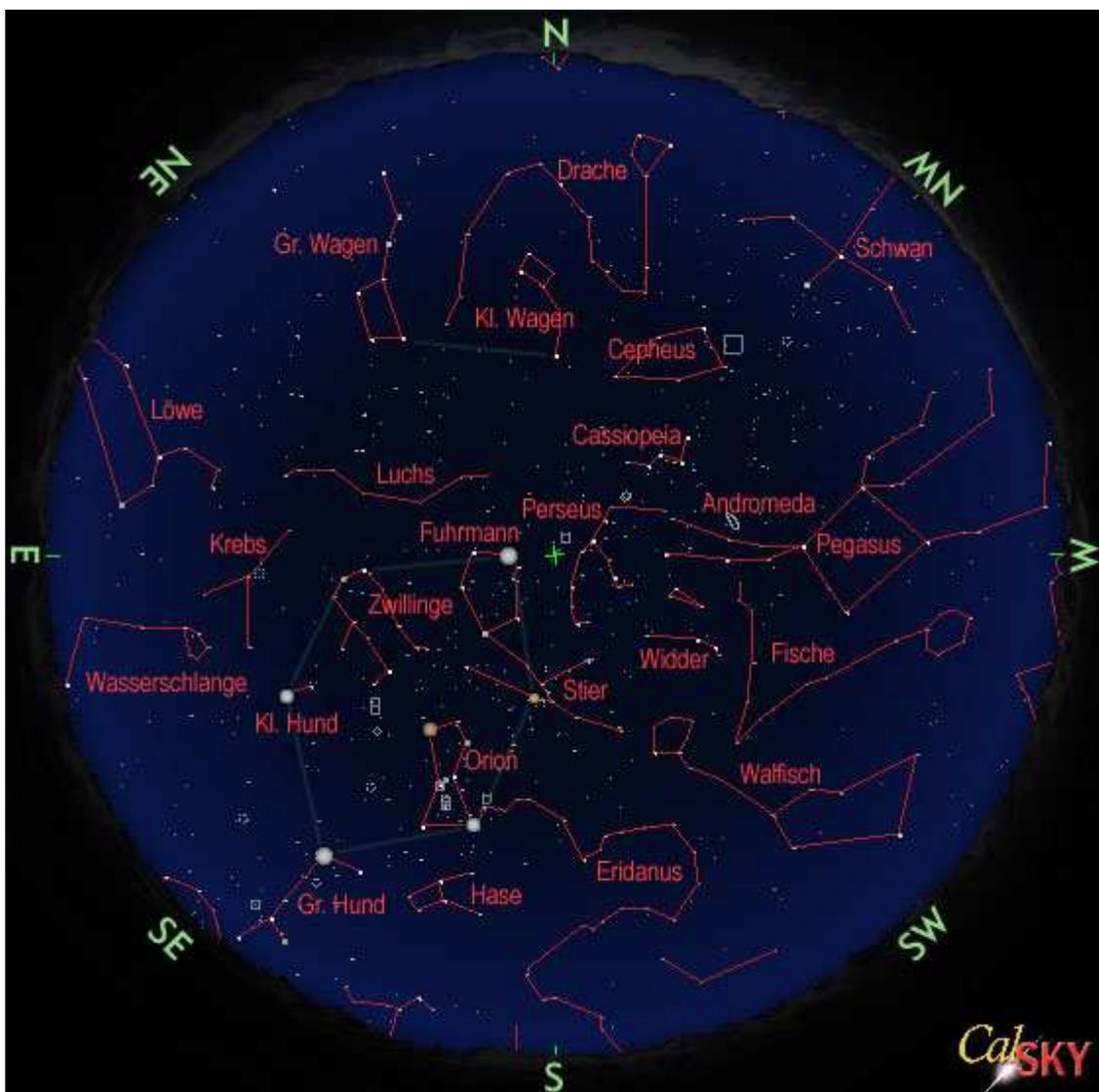


Bild 11: Der Wintersternenhimmel / Quelle: Wikipedia (CalSky)

3.4 Zeit und Kalender

Die Zeit ist eine Größe der Physik, welche durch periodisch ablaufende Vorgänge eingeteilt wird. Die in den vorangehenden Unterkapiteln beschriebenen Bewegungen der Gestirne an der scheinbaren Himmelskugel sind solche periodischen Vorgänge und werden daher schon seit Jahrtausenden zu Zeitmessungen herangezogen. Die physikalische Basiseinheit der Zeit t ist die Sekunde s . Diese Sekunde ist folgendermaßen definiert worden: Eine Sekunde ist die Dauer von 9.192.631.770 Schwingungsperioden der Strahlung, die dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes des Atoms Cäsium 133 entspricht. 60 Sekunden entsprechen einer Minute und 3.600 Sekunden einer Stunde. Ein Tag von 24 Stunden Länge entspricht 86.400 Sekunden.

Aus der Rotation der Erde um ihre eigene Achse ergibt sich die scheinbare tägliche Bewegung der Sonne an der Himmelskugel. Die aus dieser Bewegung abgeleitete Zeiteinteilung heißt Sonnenzeit. Die wahre Sonnenzeit ergibt sich dabei aus der Beobachtung der täglichen scheinbaren Bewegung der Sonne an der Himmelskugel. Die Zeitdauer zwischen zwei unteren Kulminationen der Sonne wird als wahrer Sonnentag definiert. Diese Zeitdauer hat jedoch keinen konstanten Wert. Die Erdbahn ist keine exakte Kreisbahn, sondern eine Bahnellipse. Entsprechend der Entfernung Erde – Sonne schwankt gemäß des zweiten Keplerschen Gesetzes auch die Bahngeschwindigkeit der Erde und damit ist im Ergebnis auch die scheinbare Bewegung der Sonne auf der Ekliptik ungleichmäßig. Der Stundenwinkel t_s der Sonne wird ferner bezüglich des Himmelsäquators gemessen. Himmelsäquator und Ekliptik sind jedoch um $23,44^\circ$ gegeneinander geneigt. Auch dies liefert einen Beitrag zu der ungleichmäßigen Bewegung der Sonne. Für die wahre Sonnenzeit W in Stunden gilt folgender Zusammenhang mit dem Stundenwinkel t_s der wahren Sonne:

$$W = t_s \pm 12 \text{ h} \quad (19)$$

Ein Tag mit konstanter Dauer auf der Erde kann aufgrund der unterschiedlichen Dauer eines wahren Sonnentages nur mithilfe eines sogenannten mittleren Sonnentages definiert werden. Die mittlere Sonnenzeit ergibt sich aus folgender Definition: Die mittlere Sonne bewegt sich mit einer konstanten mittleren Geschwindigkeit auf dem Himmelsäquator und geht gleichzeitig mit der wahren Sonne durch den Frühlingspunkt. In diesem Fall hat der mittlere Sonnentag M eine konstante Länge. Für den mittleren Sonnentag M in Stunden gilt folgender Zusammenhang mit dem Stundenwinkel τ_m der mittleren Sonne:

$$M = \tau_m \pm 12 \text{ h} \quad (20)$$

Streng genommen ist auch die mittlere Sonnenzeit nicht völlig konstant, da auch die Erdrotation nicht völlig gleichmäßig ist. So gibt es Massenverlagerungen im Erdinneren, in der Erdhydrosphäre und in der Erdatmosphäre. Hinzu kommen Veränderungen der Lage der Rotationsachse innerhalb der Erde.

Zwischen der wahren und der mittleren Sonnenzeit gibt es im Verlauf eines Jahres Unterschiede. Die zwischen der wahren und der mittleren Sonnenzeit auftretende Differenz wird als Zeitgleichung Z bezeichnet und kann maximal 16 Minuten betragen.

$$Z = W - M \quad (21)$$

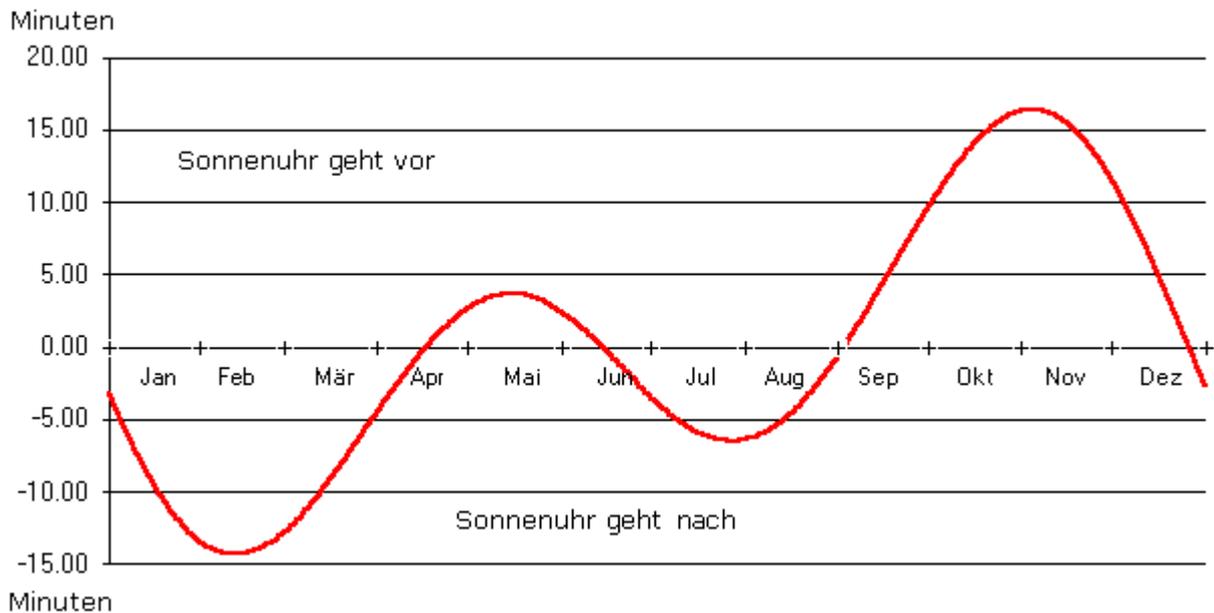


Bild 12: Die Zeitgleichung / Quelle: <http://www.sternwarte-eberfing.de>

Die wahre und die mittlere Sonnenzeit ist immer auf den Meridian des Beobachtungsortes bezogen. Somit hat strenggenommen jeder Ort seine eigene Zeit. In diesem Fall wird auch von der mittleren Ortszeit (MOZ) gesprochen. Konkret haben Orte auf unterschiedlichen geografischen Längen unterschiedliche Ortszeiten. Demnach hat Aurich eine andere Ortszeit als Wilhelmshaven. Die Differenz der geografischen Länge zwischen zwei Orten (in Grad) $\Delta\lambda$ führt zu folgender Differenz der Ortszeiten ΔS dieser Orte:

$$\Delta S = \Delta\lambda/15 \quad (22)$$

Die Ortszeiten sind jedoch für die gesellschaftliche Praxis völlig ungeeignet. Aus diesem Grunde wurde für einen größeren Bereich auf der Erde die sogenannte Zonenzeit eingeführt. Die Zonenzeiten beruhen auf internationalen Vereinbarungen. In der Regel wird die Zonenzeit von der Ortszeit eines zentral gelegenen Meridians in der betreffenden Zone abgeleitet. In der Bundesrepublik Deutschland sowie weiteren Staaten Mitteleuropas gilt die „Mittleuropäische Zeit“ („MEZ“). Diese ist die Ortszeit für 15° östlicher Länge. Die Ortszeit für 0° Länge, für den Meridian, welcher durch die Sternwarte von Greenwich verläuft, heißt „Westeuropäische Zeit“ („WEZ“). Sie ist gleichzeitig auch die Weltzeit (WZ) bzw. Universal Time (UT) oder Greenwich Mean Time (GTM). Die Weltzeit ist auch die universelle Bezugszeit für alle astronomischen Zeitangaben. In der Europäischen Union (EU) gilt bisher auch die sogenannte Sommerzeit. Sie fängt am letzten Sonntag im April an und endet am letzten Sonntag im Oktober. Die Sommerzeit ist jeweils die Zonenzeit plus eine Stunde. Also im Falle der MEZ gilt: Mittleuropäische Sommerzeit (MESZ) = MEZ + 1 h. Die Ortszeit für 30° östlicher Länge wird als Definition für die „Osteuropäische Zeit“ („OEZ“) genommen.

Zeitangaben werden mit Hilfe von sogenannten Atomuhren definiert. Diese Atomuhren sind noch genauer als die Erdrotation. Aus diesem Grunde muss die Atomzeit an die aus astronomischen Beobachtungen ermittelte Zeitskala immer wieder mal angepasst werden. Wenn die Differenz zwischen beiden Zeitskalen mehr als 0,7 Sekunden übersteigt, wird durch Einfügung oder Weglassen einer Sekunde wieder eine Übereinstimmung herbeigeführt. Diese Maßnahmen werden, wenn nötig, immer am 30. Juni oder am 31. Dezember durchgeführt.

Neben der Sonne können auch andere Gestirne oder Punkte auf dem astronomischen Koordinatennetz für die Zeiteinteilung herangezogen werden. So ist der Sterntag die Zeitspanne zwischen zwei aufeinanderfolgenden oberen Kulminationen des mittleren Frühlingspunktes, welcher 3 Minuten 56,6 Sekunden kürzer als ein mittlerer Sonnentag ist. Der mittlere Frühlingspunkt ist die Bewegung des Frühlingspunktes ohne die Nutation. Die Sternzeit ist gleich dem Stundenwinkel des mittleren Frühlingspunktes. Zwischen Sternzeit und mittlerer Sonnenzeit gibt es folgenden Zusammenhang:

$$1 \text{ Sterntag} = 24 \text{ h Sternzeit} = 23 \text{ h } 56 \text{ min } 4,1 \text{ s mittlerer Sonnenzeit}$$

$$1 \text{ mittlerer Sonnentag} = 24 \text{ h mittlerer Sonnenzeit} = 24 \text{ h } 3 \text{ min } 56,6 \text{ s Sternzeit}$$

Bei astronomischen Beobachtungen ist es grundsätzlich zweckmäßig die Sternzeit zu verwenden, um zum Beispiel Teleskope auf die richtigen Koordinaten auszurichten.

Der Tag ist die grundlegende Einheit für alle gängigen Kalendersysteme. Tage werden zu Wochen und Monaten zusammengefasst. Das Jahr ist wiederum die Zeitspanne, welche die Erde für einen Umlauf um die Sonne benötigt. Dieser Umlauf spiegelt sich als die scheinbare jährliche Bewegung der Sonne auf der Ekliptik wider. Ganz grob benötigt die Erde rund 365,25 Tagen für einen Umlauf um die Sonne. Die 0,25 Tage ergeben in vier Jahren einen ganzen Tag, so dass alle vier Jahre am 29. Februar ein zusätzlicher Schalttag eingeführt wird. Diese Rundung ist allerdings nicht sehr genau. Je nach Bezugspunkt gibt es folgende Jahresdefinitionen:

- Tropisches Jahr: 365 d 5 h 48 min 46 s (Bezugspunkt: Frühlingspunkt)
- Siderisches Jahr: 365 d 6 h 9 min 10 s (Bezugspunkt: beliebiger Stern auf der Ekliptik)
- Anomalistisches Jahr: 365 d 6 h 13 min 52 s (Bezugspunkt: Perihel der Erdbahn)

Der Unterschied zwischen dem tropischen und dem siderischen Jahr hat seine Ursache in der Präzession. Das Perihel (sonnennächster Punkt) der Erdbahn ist nicht konstant im Raum, sondern bewegt sich ebenfalls aufgrund der Einflüsse durch die anderen Planeten. Dieser Vorgang wird als Perihel-Drehung bezeichnet. Aus diesem Grunde ist das anomalistische Jahr länger als das siderische Jahr.

Das Jahr gliedert sich in Monate. Hierbei ist ein Monat die Zeitspanne, welche der Mond für einen Umlauf um die Erde benötigt. Auch die Monatsdefinition hängt vom Bezugspunkt ab:

- Tropischer Monat: 27 d 7 h 43 min 5 s (Bezugspunkt: Frühlingspunkt)
- Siderischer Monat: 27 d 7 h 43 min 12 s (Bezugspunkt: beliebiger Stern auf der scheinbaren Mondbahn an der Himmelskugel)
- Synodischer Monat: 29 d 12 h 44 min 3 s (Bezugspunkt: Sonne, die Zeitdauer zwischen zwei bestimmten sich wiederholenden Mondphasen)
- Anomalistischer Monat: 27 d 13 h 18 min 33 s (Bezugspunkt: Perigäum bzw. erdnächster Punkt der Mondbahn)
- Drakonitischer Monat: 27 d 5 h 5 min 36 s (Bezugspunkt: Aufsteigender Mondknoten bzw. einer der Schnittpunkte zwischen der Erd- und der Mondbahn)

In den Kalendern sind in der Regel nicht das astronomische Jahr und die astronomischen Monate eingetragen. Der meistverwendete Kalender ist der Gregorianische Kalender, welchen Papst Gregor XIII im Jahr 1582 einführt. Er ist aus dem Julianischen Kalender hervorgegangen, welcher nach

Julius Caesar benannt ist und 46 vor Christus eingeführt wurde. Der Julianische Kalender hat genau 365,25 Tage und ist damit 0,0078 Tage länger als das Tropische Jahr. Selbst mit dem Schaltjahr alle vier Jahre blieb damit eine Differenz bestehen, welche im Jahr 1582 bereits bei 10 Tagen lag. Aus diesem Grunde wurde durch Papst Gregor eine Kalenderreform durchgeführt. Auf dem 04. Oktober 1582 folgte der 15. Oktober 1582, so dass die Differenz von 10 Tagen wieder beseitigt wurde. Damit diese sich nicht mehr aufbaut, wurde der Gregorianische Kalender entsprechend modifiziert.

Auch im Gregorianischen Kalender gibt es grundsätzlich alle vier Jahre ein Schalttag. Jedoch gibt es Ausnahmen von dieser Regel. Jahreszahlen, welche durch 100 ohne Rest teilbar sind, haben keinen zusätzlichen Schalttag. Das betrifft zum Beispiel die Jahre 1800, 1900 und 2100. Hiervon ausgenommen sind alle Jahreszahlen, welche durch 400 ohne Rest teilbar sind. Diese behalten ihre Schalttage. Somit hatte z.B. das Jahr 2000 einen Schalttag. Doch auch der Gregorianische Kalender ist mit seinen 365,2425 um 0,0003 Tage zu lang. Eines fernen Tages muss dies korrigiert werden.

Der islamische Kalender orientiert sich nach dem Mondlauf. Er benutzt Gemeinjahre (Jahre ohne Schalttage) mit 354 Tagen und Schaltjahre mit 355 Tagen Dauer. Der jüdische Kalender ist eine Kombination aus Mond- und Sonnenjahren.

In der Astronomie wird häufig eine durchgehende Zählung von ganzen Tagen verwendet, ohne dass diese zu größeren Einheiten wie Wochen, Monate oder Jahre zusammengefasst werden. Die Einheiten dieses Kalenders werden als Julianisches Datum bezeichnet. Eingeführt wurde dieser Kalender von Julius Scaliger (1484 – 1558), wobei der Zählungsbeginn auf den 01.01.4713 v. Chr. festgelegt wurde. Der Tagesbeginn in diesem Kalender ist 12 Uhr Weltzeit. Der Datumswechsel am Tage resultiert aus der astronomischen Praxis, um einen Wechsel während der (nächtlichen) Beobachtungszeit zu vermeiden. Der große Vorteil des Julianischen Datums ist es, dass sich selbst größere Zeitdifferenzen einfach durch Subtraktion berechnen lassen. Das Julianische Datum für den 01.01.1990, 12 Uhr Weltzeit, ist 2 447 893.0 und für den 01.01.2000, 12 Uhr Weltzeit, 2 451 545.0.

3.5 Astronomische Orts- und Zeitbestimmung

Durch astronomische Beobachtungen lassen sich die geografischen Koordinaten des Beobachtungsortes und damit auch der Zeitpunkt der Beobachtung (Sternzeit) bestimmen. Wenn die Deklination δ eines Gestirns zum Zeitpunkt seines Durchgangs durch den Himmelsmeridian bekannt ist, so lässt sich aus seiner Zenitdistanz z (im Himmelsmeridian) die geografische Breite φ des Beobachtungsortes bestimmen:

$$\varphi = \delta + z$$

(23)

Wenn das Gestirn nördlich des Zenits durch den Himmelsmeridian geht, so gilt:

$$\varphi = \delta - z$$

(24)

Mit der Anzahl der beobachteten Durchgänge eines Gestirns durch den Meridian steigt die Genauigkeit des Ergebnisses. Mit entsprechenden Messgeräten lassen sich Genauigkeiten von einer Bogensekunde und besser erreichen.

Die geografische Länge λ eines Beobachtungsortes kann mit Hilfe der Sternzeit berechnet werden, wenn Θ die Sternzeit des Beobachtungsortes in Stunden und Θ_g die Sternzeit in Greenwich in Stunden angegeben wird, gilt:

$$\lambda = \Theta - \Theta_g$$

(25)

Die geografische Länge in Gradmaß ergibt sich aus der Beziehung $15^\circ = \text{h}$. Die Gleichung (25) leitet sich auch aus der Gleichung (22) ab und gilt auch für die wahre und die mittlere Sonnenzeit. Aus diesem Grunde lässt sich die geografische Länge auch durch den Vergleich der mittleren Sonnenzeit am Beobachtungsort mit einem Zeitzeichen bestimmen. Die geografische Länge von Greenwich hat den Wert 0 h. Östlich von Greenwich werden die geografischen Längen positiv, westlich davon negativ gezählt.

Die Sternzeit Θ ergibt sich gemäß Gleichung (3) $\Theta = \alpha + \tau$ aus astronomischen Beobachtungen. Bei einer Beobachtung direkt im Meridian ist der Stundenwinkel τ gleich Null und Gleichung (3) vereinfacht sich zu: $\Theta = \alpha$. In diesem Fall ist die Sternzeit gleich der kulminierenden Rektaszension. Für eine Umrechnung in Sonnenzeit müssen die geografische Länge und die Sternzeit in Greenwich Θ_{g0} um 0 Uhr Weltzeit (WZ) des gleichen Tages bekannt sein. Es gilt folgender Zusammenhang:

$$\text{WZ} = 0,997\,269\,6 \cdot (\Theta - \Theta_{g0}) - \lambda$$

(26)

In der Praxis wird die Sternzeit von Greenwich aus einem astronomischen Jahrbuch entnommen. Für die Umrechnung in MEZ gilt:

$$\text{MEZ} = \text{WZ} + 1 \text{ h}$$

(27)

4 Schlusswort

Die Abhandlung „Astronomische Koordinaten und Orientierung am Sternenhimmel“ beruht im Wesentlichen auf Kapitel 2 „Orientierung am Sternhimmel“ im „Taschenbuch der Astronomie“ von Dr. Klaus Lindner. Neben weiteren Quellen wurden grundlegende Informationen aus diesem Buch verwendet, das insgesamt eine sehr gute und verständliche Einführung in die Grundlagen der Astronomie bietet.

Astronomische Beobachtung und Forschung mit Hilfe von modernster Beobachtungstechnik setzt geeignete astronomische Koordinatensysteme voraus. Nur mit deren Hilfe kann Beobachtungstechnik auf das gewünschte Objekt ausgerichtet werden. Selbst für die Beobachtung mit bloßem Auge ist die Orientierung am Sternenhimmel wichtig. Im einfachsten Fall erfolgt die Orientierung mit Hilfe der 88 Sternbilder. Darüber hinaus erfolgt eine einfache Orientierung mit dem Horizontsystem. Dies ist für einen bestimmten Beobachtungsort zwar recht einfach und genau, ermöglicht jedoch keine astronomische Ortsbestimmung unabhängig vom Ort und Zeitpunkt der Beobachtung. Hierfür bedarf es eines von der täglichen (Rotation) und jährlichen (Bahn) Bewegung der Erde unabhängigen Koordinatensystems. Zunächst ist das ruhende Äquatorsystem ein Übergang zu einem solchen unabhängigen System, indem es den Himmelsäquator unabhängig von der Bewegung der Erde festlegt. Der Himmelsäquator ist die Spiegelung des Erdäquators an der scheinbaren Himmelskugel bzw. die Ausdehnung der Äquatorebene der Erde bis zur Himmelskugel. Allerdings wird noch ein weiterer Punkt benötigt, welcher unabhängig von der Bewegung der Erde ist. Der sogenannte Frühlingspunkt ist dieser Leitpunkt. Er ist einer der beiden Schnittpunkte der scheinbaren Sonnenbahn am Sternenhimmel (Ekliptik) mit dem Himmelsäquator. Das daraus resultierende rotierende Äquatorsystem ermöglicht die Angaben der Gestirnskoordinaten unabhängig von der Bewegung der Erde.

Mit Hilfe des rotierenden Äquatorsystems kann die Beobachtungstechnik (z.B. optische Teleskope, Radioteleskope, etc) sowohl im Bereich der Amateur-Astronomie als auch im Bereich der astronomischen Forschung durch große Observatorien auf die Koordinaten des Gestirns ausgerichtet werden. Der Übergang vom Amateur in den Forschungsbereich durch Berufsastronomen ist hierbei fließend. Wo es auf großangelegte Beobachtungen ankommt, liefert die Amateurastronomie bis heute wertvolle und wichtige Beiträge. Aus diesem Grunde ist auch die Beschäftigung mit astronomischen Koordinaten und der Orientierung am Sternenhimmel eine grundlegende Voraussetzung. Für spezielle Bereiche in der Astronomie gibt es weitere Koordinatensysteme, wie etwa das Ekliptiksystem oder das galaktische System. Mit Hilfe der Trigonometrie können die Koordinaten von einem System in das andere umgerechnet werden.

Diese Abhandlung wäre ohne die Mitwirkung von Freunden und Kollegen nicht möglich gewesen. So möchte ich insbesondere Ralf Schmidt für seine Mithilfe sehr danken. Ein besonderer Dank gilt auch demjenigen, der diese Abhandlung Korrektur gelesen hat. Doch auch meinen treuen Leserinnen und Lesern möchte ich sehr danken. Trotz aller Theorie zu den Grundlagen der astronomischen Beobachtung möchte ich nochmals darauf verweisen, dass der Sternenhimmel bei entsprechenden Sichtbedingungen eine Pracht und immer eines lohnenden Blickes wert ist. In diesem Sinne wünsche ich eine gute Sicht auf die Sterne.

5 Literatur- und Bilderverzeichnis

Folgende Literatur fand bei der Erstellung dieser Abhandlung Verwendung und kann zur Vertiefung der Thematik empfohlen werden:

- 1) Dr Klaus Lindner; Taschenbuch der Astronomie; 1993
- 2) Joachim Herrmann; Astronomie – Grundlagen der Himmelskunde; 1988.

Bilderverzeichnis:

Titelbild: Wikipedia

Bild 1: Wikipedia

Bild 2: Wikipedia

Bild 3: Wikipedia

Bild 4: Wikipedia

Bild 5: Wikipedia

Bild 6: <http://www.sternfreunde-muenster.de>

Bild 7: Wikipedia

Bild 8: Wikipedia (CalSky)

Bild 9: Wikipedia (CalSky)

Bild 10: Wikipedia (CalSky)

Bild 11: Wikipedia (CalSky)

Bild 12: <http://www.sternwarte-eberfing.de>