Präsentation der Professoren

Orts- und Zeitangaben in der Astronomie Ⓤ

Inhaltsverzeichnis

Überblick....2
Entfernungseinheiten....3
Entfernungsberechnung....4
Koordinatensysteme....6
Bewegungen der Erde....13
Zeitrechnung....17
Cgs-System....18

Überblick

Ortsangaben

In der Astronomie beschäftigt man sich mit unvorstellbar großen Distanzen. Wenn man die Einheit Meter benutzt, erhält man schnell so große Zahlen, dass man sich darunter überhaupt nichts mehr vorstellen kann. Daher benutzt man innerhalb unseres Sonnensystems meistens die Astronomische Einheit (Entfernung zur Sonne) und in der Galaxie die Einheit Parsec (Ungefähre Entfernung zum nächsten Stern). Für noch größere Entfernungen gibt es noch Kiloparsec (1000 Parsec), Megaparsec (1 Million Parsec) und Gigaparsec (1 Milliarde Parsec).
Um die genaue Position eines Objektes zu bestimmen, muss man zusätzlich noch wissen, wo sich dieses Objekt befindet. Beim Horizontalsystem teilt man einfach den Himmel den man sieht in Abschnitte. Das ist ungünstig, weil diese Methode davon abhängt, wo sich der Beobachter befindet. Also ist die es vernünftiger, die Koordinaten der Erde auf den Himmel zu projizieren (Äquatorialsystem). Das funktioniert aber deshalb nicht über einen längeren Zeitraum, weil sich die Sterne aufgrund der Erdrotation ständig bewegen. Deshalb verwendet man zur Darstellung Koordinaten des Äquatorialsystems vom 21.März (Frühlingsbeginn) und bewegt sie mit der Erde (Rotation + Sonnenbahn + Nutation…) mit.

Zeitangaben

Unsere Zeitrechnung wird von zwei astronomischen Ereignissen bestimmt: dem Jahr (Drehung der Erde um die Sonne) und dem Tag (Rotation der Erde um sich selbst). Die Erde dreht sich in einem Jahr nicht genau 365 mal um sich selbst, sondern 365,2421… (die Zahl hat unendlich viele Nachkommastellen). Erschwerend kommt hinzu, dass die Drehung der Erde um sich selbst (zwar auf kurze Zeit unmerklich aber doch) langsamer wird. All diese Effekte müssen mit Schalttagen und Schaltsekunden ausgeglichen werden. Für astronomisch präzise Messungen müssen diese Schalttage und Schaltsekunden genauso wie die Zeitzonen noch aufgeteilt werden (Unterschied zwischen wahrer und mittlerer Sonnenzeit). Da das viel Rechenarbeit erfordert, ignorieren viele Astronomen die Jahre und zählen nur noch die Tage (Julianisches Datum). Nicht mit dem Julianischen Kalender zu verwechseln(!). Dabei sind auch die Teile des Tages keine Stunden oder Minuten mehr sondern Nachkommastellen.

Andere Einheiten

Abseits von Ort und Zeit ist es in der Astronomie üblich, mit dem cgs-System zu arbeiten. Dieses System funktioniert so ähnlich wie das SI-System. Ihr werdet im Verlauf eures Astronomiestudiums noch von einigen Konstanten hören, die durch das cgs-System einfachere Zahlen liefern, sodass man weniger leicht Schlampigkeitsfehler macht.

Entfernungseinheiten

Astronomische Einheit (AU) oder (AE)

Diese Einheit wird oft verwendet um Distanzen innerhalb unseres Sonnensystems anzugeben. Eine Astronomische Einheit ist definiert als der mittlere Abstand zwischen dem Mittelpunkt der Erde und dem Mittelpunkt der Sonne. Eine Astronomische Einheit entspricht in etwa $1{,}5 \times 10^8$ km, das heißt, der Umfang der Erde entspricht weniger als 1/100AU.

Parsec (pc)

Man verwendet diese Einheit oft, um Entfernungen innerhalb einer Galaxie anzugeben. Die Entfernung von nahen Sternen misst man mit Hilfe von sogenannten Parallaxen: Wenn die Erde eine halbe Umkreisung um die Sonne gemacht hat, sieht man den Stern aus einem etwas anderen Winkel, er scheint also verschoben. Ein Parsec ist eine Entfernung, bei der Stern um eine Bogensekunde (1/3600°) verschoben erscheint. Das entspricht in etwa der Entfernung zu unserem nächsten Stern (3×10^{13} km oder 2×10^6AU). Für noch größere Distanzen verwendet man die Einheiten Kiloparsec (1000 Parsec Kpc), Megaparsec (1 Million Parsec Mpc) und Gigaparsec (1 Milliarde Parsec Gpc), obwohl sich ein Gigaparsec eigentlich gar nicht im beobachtbaren Universum ausgeht.

Grad (°), Bogenminute (‘) und Bogensekunde (“)

Um Größen am Himmel anzugeben, verwendet man oft die Einheit Grad. Dabei wird der Himmel analog zum Kreis in 360 Grad unterteilt. Da die meisten Himmelsobjekte kleiner als ein Grad sind, unterteilt man Grad nochmals analog zur Stunde in 60 Bogenminuten bzw. 3600 Bogensekunden.

Lichtjahr (Ly)

Um die Einheit Parsec zu verstehen, muss man erst einmal wissen, wie eine Sternparallaxe funktioniert. Deshalb werden Distanzen in Science-Fiction-Büchern oder populärwissenschaftlichen Werken oft auch in Lichtjahren angegeben. In der Astronomie kommt diese Einheit eher selten vor. Ein Lichtjahr bezeichnet die Strecke, die das Licht im Vakuum in einem Jahr zurücklegt. ($9{,}5 \times 10^{12}$ km oder 1/3pc). Das ist ziemlich viel: Zum Vergleich: Das Licht kann in einer Sekunde 6 mal die Erde umrunden. Analog zum Lichtjahr werden manchmal auch Lichttage, Lichtminuten und ähnliche Einheiten verwendet.

Entfernungsberechnung

Berechnung kleiner Entfernungen mittels Parallaxe

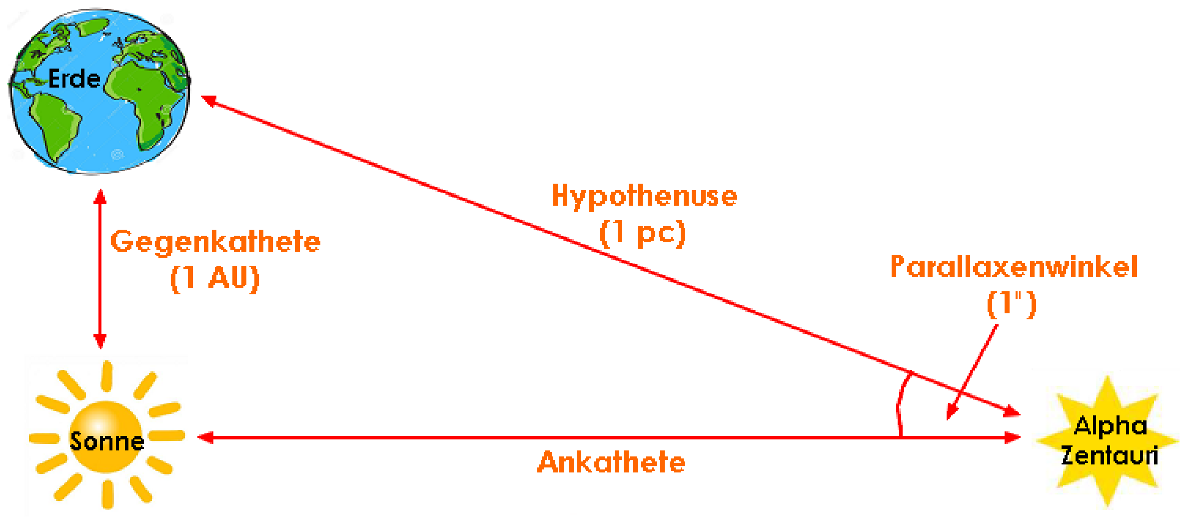

Abb. 2.1.: Entfernungsberechnung mittels Sternparallaxe
Erde, Sonne und Stern stellen ein rechtwinkeliges Dreieck dar. Aus der Schule wissen wir

$$\sin\varphi = \frac{GK}{H}$$

In unserem Fall ist die Gegenkathete (GK) die Entfernung zwischen Erde und Sonne also 1AU. Phi (φ) ist der Parallaxenwinkel und der ist in unserem Beispiel eine Bogensekunde. Aber Bogensekunden sind keine SI-Einheit also müssen wir den Winkel in Bogenmaß umrechnen. Ein voller Kreis hat 360° oder 2π Bogenmaß. Wenn man das durch 360 dividiert, weiß man, dass 1° = π/180rad entspricht. Nach Division durch 3600 erhält man 1" = π/648000rad. Den Sinus kann man bei kleinen Winkeln mit dem Winkel in Bogenmaß annähern, also kann man einsetzen:

$$\frac{\pi}{64800} = \frac{1{,}5 \times 10^{11}}{H}$$

Wenn man aus dieser Formel H errechnet, erhält man 3×10^{16}m und diese Entfernung entspricht einem Parsec.

Mit dieser Methode konnte die Raumsonde GAIA den Abstand von allen Sternen in unserer Galaxie berechnen. Bei den Sternen außerhalb unserer Milchstraße geht das nicht mit dieser Methode, weil der Parallaxenwinkel so klein ist, dass er mit unseren derzeitigen Geräten nicht messbar ist.

Berechnung mittlerer Entfernungen mittels Standardkerzen

Standardkerzen sind Erscheinungen, von denen man die tatsächliche Helligkeit kennt, ohne die Entfernung zu kennen. Beispielsweise weiß man, dass ein weißer Zwerg immer bei der gleichen Masse kollabiert, weil dann die Gravitation größer als die Restenergie der Kernfusion ist. Aus der Masse kann man die Helligkeit bestimmen. Wie groß die tatsächliche Helligkeit ist, weiß man, weil es weiße Zwerge gibt, die so nah sind, dass man ihre Entfernung mit Hilfe einer

Parallaxe errechnen kann. Dennoch ist man sich nicht sicher, ob die Supernovae wirklich auch schon im frühen Universum die gleiche Leuchtkraft gehabt haben. Heute wird jeden Tag durchschnittlich eine Supernova festgestellt. In unserer Milchstraße kommt immerhin noch 3 mal pro Jahrhundert eine Supernova vor. Aus der Entfernung und der scheinbaren Helligkeit (Helligkeit von der Erde aus gesehen) kann man die tatsächliche Helligkeit berechnen, weil das Licht in Abhängigkeit von der Entfernung schwächer wird. Wenn man einen weißen Zwerg, der weiter weg ist, kollabieren sieht, kann man aus der Helligkeit - von der Erde aus gesehen - auf die Entfernung des weißen Zwergs schließen.
Ein weiteres Beispiel für eine Standardkerze sind die Cepheiden. Das sind veränderliche Sterne die immer die gleiche Periode-Leuchtkraft-Beziehung haben. Aus der Periode (die man problemlos messen kann), kann man also die tatsächliche Leuchtkraft errechnen. Wieder kann man die tatsächliche mit der scheinbaren Leuchtkraft der Cepheiden vergleichen und damit die Entfernung der Cepheiden messen.
Sterne die messbare gravitative Auswirkungen auf solche Standardkerzen haben, müssen auch in ungefähr der gleichen Entfernung sein. Bei noch größeren Entfernungen sind alle Standardkerzen zu klein, um sichtbar zu sein.

Berechnung großer Entfernungen mittels Rotverschiebung

Das Universum dehnt sich aus, deshalb entfernt sich alles, was weit genug von uns entfernt ist. (Bei näheren Objekten ist das nicht unbedingt der Fall, weil die gravitativen Auswirkungen der Objekte aufeinander stärker, als die Ausdehnung des Universums sind). Wenn sich ein Stern sehr weit weg befindet, entfernt er sich fast mit Lichtgeschwindigkeit. Die kurzwelligen blauen Lichtwellen erreichen uns nicht mehr, weil sie durch zu viele kurze Wellen einen weiteren Weg zu uns haben. Die langwelligeren roten Lichtstrahlen schaffen es aber noch bis zu unserem Auge. Deshalb erscheint uns der Stern rotverschoben. Durch die Position der Spektrallinien weiß man, in welcher Wellenlänge der Stern normalerweise strahlen würde. Mit der Formel

$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda}$$

kann man die Rotverschiebung ausrechnen, wobei λ für die gemessene Wellenlänge und λ_0 für die verschobene Wellenlänge steht.

Erklärung des Spektrums im Instrumenteskriptum ⓘ

Auch Relativbewegungen kann man mit Hilfe der Rotverschiebung messen: Wenn sich ein weit entfernter Stern auf die Erde zu bewegt, ist er weniger rotverschoben, als wenn er sich von uns wegbewegt. Seine Geschwindigkeit kann man mit folgender Formel berechnen:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v_r}{c}$$

wobei λ die Wellenlänge $\Delta\lambda$ die Änderung der Wellenlänge v_r die Radialgeschwindigkeit und c die Lichtgeschwindigkeit ist.

Größenordnungen

	Länge	Anschaulich
Anschaulicher Maßstab	**6000km**	**Erdradius = 1mm**
Sonnenradius	700.000km	Ein Lineal
Astronomische Einheit	150 Millionen km	Hörsaal - Eingang
Entfernung Sonne-Neptun	40 AU	Sternwarte - Martinstraße
Entfernung zum nächsten Stern	1 pc	Mehr als 1 Erdumrundung

	Länge	Anschaulich
Anschaulicher Maßstab	**1pc**	**Entfernung zum nächsten Stern = 1mm**
Radius der Milchstraße	8,3 kpc	Rand des Hörsaal
Entfernung zum Andromedanebel	0,8 Mpc	Sternwarte - Aumannplatz
Durchmesser eines Galaxienhaufens	1 Mpc	Sternwarte - Martinstraße
Entfernung zum nächsten Quasar	8 Mpc	Sternwarte - Stephansplatz
Größe des sichtbaren Universums	15 Mpc	Sternwarte - Erdberg

Koordinatensysteme

Um jemand anderem mitzuteilen, wo genau sich ein Stern befindet, benötigt man ein Koordinatensystem. In der Astronomie werden immer Polarkoordinaten verwendet: Der Radius gibt die Entfernung an und die beiden Winkel dienen zur Auffindung des Sterns am Himmel. Die Winkel werden je nach Koordinatensystem von unterschiedlichen Punkten und in unterschiedliche Richtungen gemessen, stehen aber immer im rechten Winkel aufeinander und haben immer die gleiche Entfernung zur Erde.

Erklärung von Polarkoordinaten im Rechenmethodenskript (Seite 35) Ⓤ

Anmerkung: In diesem Kapitel ist, falls nicht explizit anders angegeben, mit „Pol" immer der Pol bezüglich der Drehachse gemeint und nicht der magnetische Pol.

Horizontalsystem

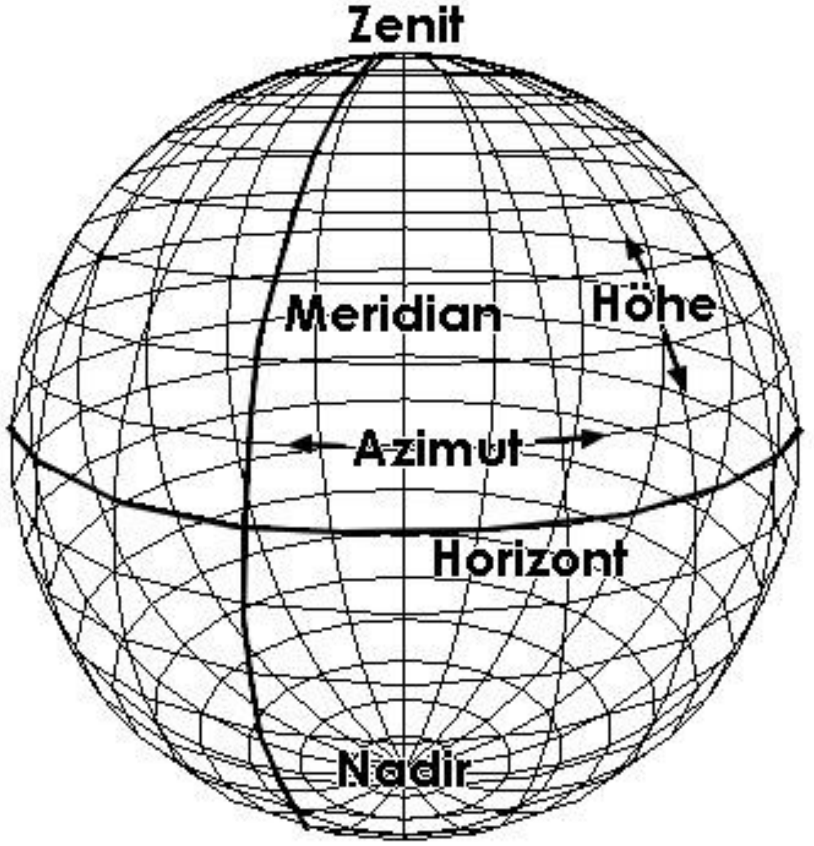

Abb. 2.2.: Horizontalsystem

Der Azimut wird parallel zum Horizont gemessen, die Höhe orthogonal dazu. Der Meridian ist eine gedachte Linie zwischen Nord- und Südpol, von der der Azimut weg gemessen wird. In der Fachsprache nennt man den Nordpol Zenit und den Südpol Nadir.

Äquatorialsystem

Das Horizontalsystem kann nur verwendet werden, wenn alle Beobachtungen am selben Ort gemacht werden. An einem anderen Ort befindet sich schließlich der Horizont an einer anderen Stelle. Um Ortsunabhängige Angaben zu machen, benötigt man das Äquatorialsystem.

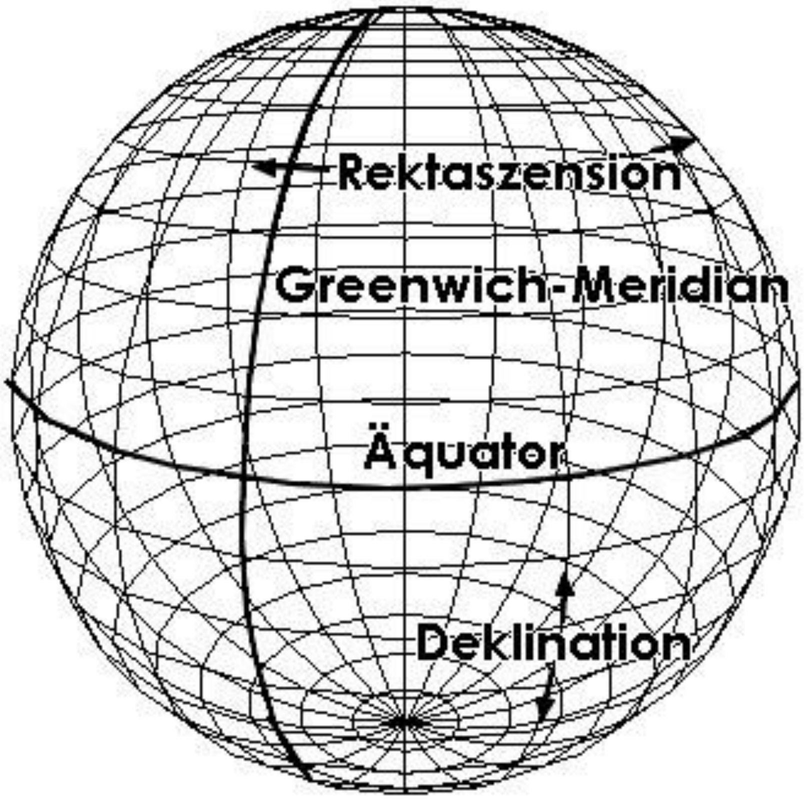

Abb. 2.3.: Äquatorialsystem
Das Äquatorialsystem entspricht dem System auf der Erdoberfläche, nur dass die Koordinaten auf den Himmel „projiziert“ sind: Das Koordinatensystem beginnt am Schnittpunkt des Greenwich-Meridians mit dem Äquator. Die Deklination wird vom Äquator aus parallel zum Greenwich-Meridian gemessen, die Rektaszension vom Greenwich-Meridian aus parallel zum Äquator.

Rektaszensionssystem

Für laufende Beobachtungen scheitert das Äquatorialsystem daran, dass sich die Sterne nicht immer am gleichen Ort am Himmel befinden. Schließlich dreht sich die Erde um die eigene Achse und um die Sonne und dabei blicken wir immer in eine andere Richtung, selbst wenn wir vom gleichen Ort der Erdoberfläche in die gleiche Richtung schauen. Für zeitunabhängige Beobachtungen benötigt man das Rektaszensionssystem:

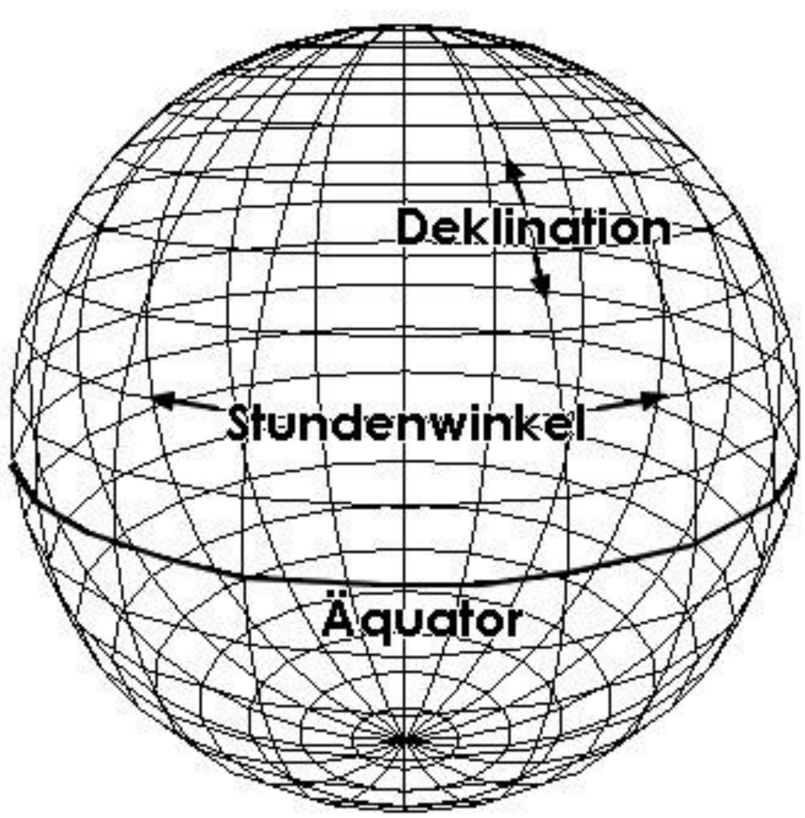

Abb. 2.4.: Rektaszensionssystem

Am 21. März um 12:00 stimmt das Rektaszensionssystem exakt mit dem Äquatorialsystem überein. Sonst drehen sich alle Koordinatenachsen mit dem Fixsternhimmel mit. Den Schnittpunkt zwischen Äquator und dem drehenden Pendant zum Greenwich-Meridian nennt man Frühlingspunkt. Um leichter zu erkennen, wann ein Stern „aufgeht“, hat man die Unterteilung nicht in 360° sondern in 24 Stundenwinkel festgelegt. Wenn man 360° = 24h durch 24 dividiert, weiß man, dass 1 Stundenwinkel 15° entspricht. Um von Stundenwinkel auf Grad zu kommen, muss man also mit 15 multiplizieren.

Ekliptikales System

Das Äquatorialsystem ist auch unpraktisch, weil man sich auf einen Referenzpunkt bezieht, der eigentlich nur 1 Mal im Jahr vorhanden ist. Also vergleicht man die Sterne mit einem Referenzstern und nicht mit einem Punkt auf der Erdoberfläche. Dafür hat man sich naheliegenderweise die Sonne ausgesucht.

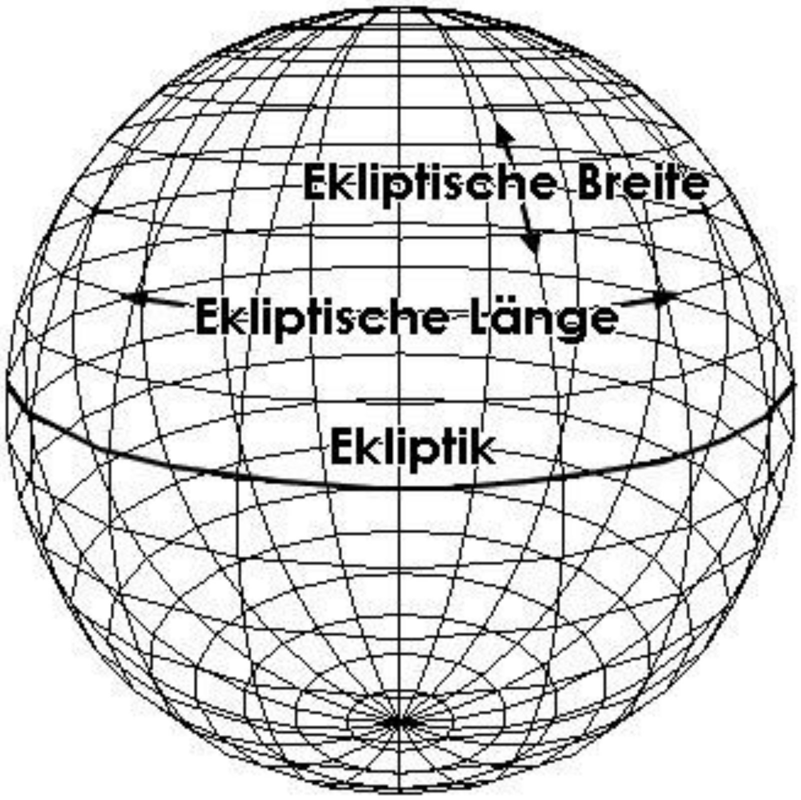

Abb. 2.5.: Ekliptikales System
Die scheinbare Bahn der Sonne am Himmel nennt man Ekliptik. Die ekliptische Länge misst man in einem rechten Winkel von der Ekliptik, die ekliptische Breite misst man parallel zur Ekliptik. Die Ekliptik ist im Vergleich zum Äquator um 23° geneigt, das heißt man muss immer 23° zur Deklination dazurechnen, um vom Rektaszensionssystem zum Ekliptikalen System zu gelangen.

Galaktisches System

Theoretisch könnte man das Ekliptikale System auch außerhalb unseres Sonnensystems anwenden. Dadurch, dass die Milchstraße praktisch eine Scheibe ist, die im Vergleich zur Ekliptik geneigt ist, würden die Winkel mit zunehmender Entfernung immer größer werden. Wenn man wissen möchte, wie sehr sich ein Objekt in der galaktischen Scheibe aufhält, ist es praktischer, statt der Ekliptik die galaktische Scheibe als Bezugssystem zu verwenden.

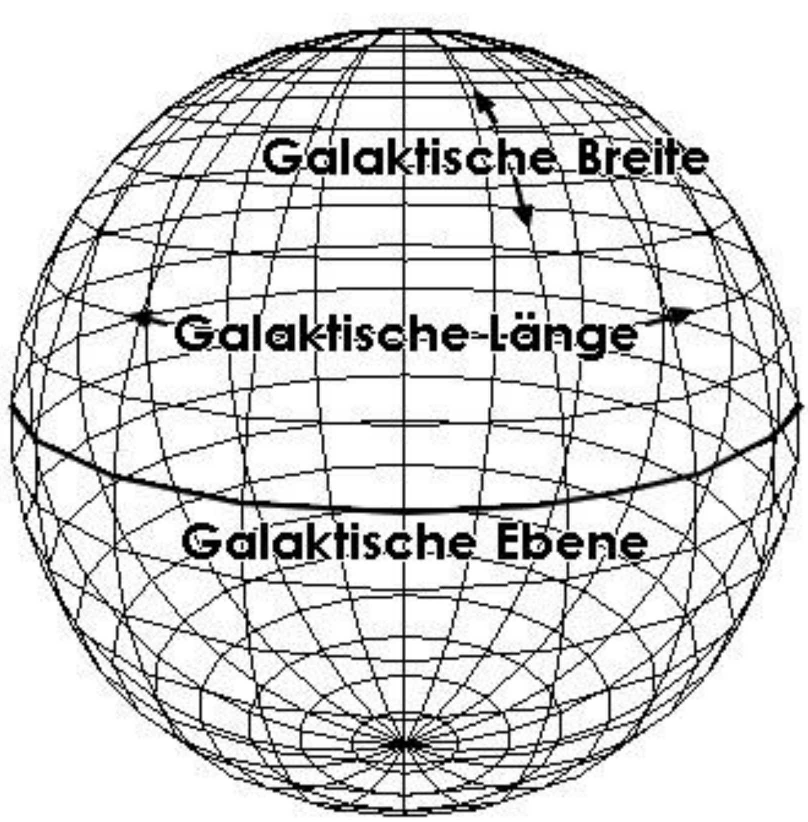

Abb. 2.6.: Galaktisches System
Die galaktische Länge wird parallel und die galaktische Breite normal auf die galaktische Ebene gemessen. Im Vergleich zur Ekliptik ist die galaktische Ebene um 57° geneigt, das heißt man muss immer 57° zur Ekliptischen Länge dazurechnen um vom Ekliptikalen System zum Galaktischen System zu gelangen.

Überblick

	Grundkreis	Nullpunkt	Koordinaten
Horizontalsystem	Horizont	Meridian	Azimut A Höhe h
Äquatorialsystem	Äquator	Meridian	Deklination δ Rektaszension a
Rektaszen-sionssystem	Äquator	Frühlingspunkt	Stundenwinkel t Deklination δ
Ekliptikales System	Ekliptik	Frühlingspunkt	Ekliptische Länge λ Ekliptische Breite β
Galaktisches System	Galaktische Ebene	Richtung zum galaktischen Zentrum	Galaktische Länge l Galaktische Breite b

Sternbilder

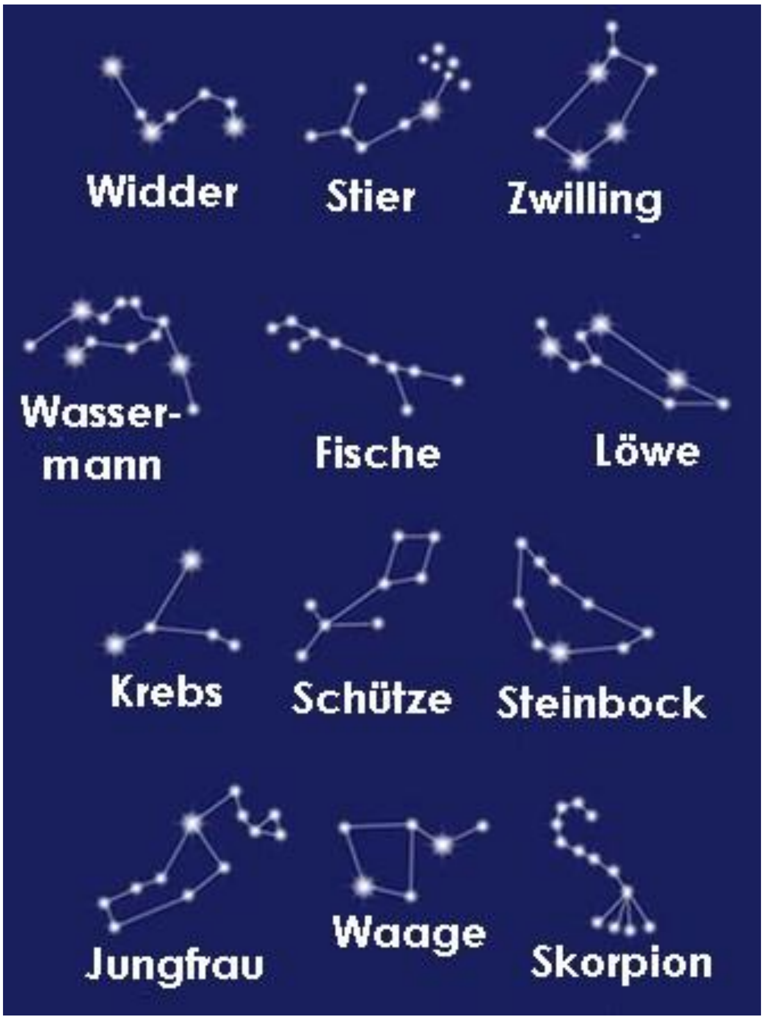

Abb. 2.7.: Sternbilder

Sternbilder sind Bereiche auf dem Himmel, in der die scheinbare Anordnung der sichtbaren Sterne mit viel Fantasie wie ein Gegenstand aussieht. Deshalb nennt man sie auch Sternbilder, weil die Sterne praktisch ein Bild auf dem Himmel zeichnen. Diese Sternbilder sind historisch gewachsen, weil man ihnen früher Bedeutungen zugeschrieben hat. Oft hat man

geglaubt, dass die Sterne irgendwelche Götter darstellen oder Entwicklungen auf der Erde beeinflussen.
Heute verwendet man Sternbilder nur selten, meistens verwendet man zur Positionsbestimmung eines Sterns Koordinatensysteme. Man verwendet sie aber immer noch zum Beispiel zur Benennung von variablen Sternen. Deshalb hat man zur klaren Abgrenzung der Sternbilder am Himmel Sternbildgrenzen (ähnlich wie Ländergrenzen) gezogen, damit man den Stern klar zuordnen kann.

Bewegungen der Erde

Eine große Hürde bei der Messung der wahren Sonnenzeit (aber auch bei der mittleren Sonnenzeit) ist, dass die Erde die vielfältigsten Bewegungen durchführt. Um diese Bewegungen zu verstehen, müssen wir uns erst einmal mit den Kräften auseinandersetzen, die diese Bewegungen auslösen.

Newton'sche Dynamik

Isaac Newton hat sich überlegt, wie Kräfte wechselwirken. Sein Konzept wurde zwar inzwischen schon von der (vor allem für hohe Geschwindigkeiten und große Massen) genaueren Relativitätstheorie ersetzt, gilt aber immer noch näherungsweise für Geschwindigkeiten, die viel kleiner als die Lichtgeschwindigkeit und Massen, die viel kleiner als die Massen eines schwarzen Lochs sind.
Anmerkung: In diesem Skriptum werden nur jene Konzepte erwähnt, die für die Bewegung der Erde entscheidend sind.

Kraft als Änderung des Impulses

Das erste Newton'sche Gesetz, lautet, dass Körper ohne Einwirkung von Kraft in der Bewegung bleiben, in der sie sich befinden. Das widerspricht zwar unseren Vorstellungen, weil wir uns immer in der Atmosphäre aufhalten, wo es Reibung und Luftwiderstand gibt, aber im Weltall ist dieses Gesetz logisch (Schließlich bewegen sich ja auch die Planeten in unserem Sonnensystem immer mit der gleichen Geschwindigkeit weiter). Man kann also den Umkehrschluss ziehen, dass Kraft nur dann auftritt, wenn der Geschwindigkeitsvektor verändert wird und diese Geschwindigkeitsänderung nennen wir Beschleunigung. Im Alltag nennen wir Richtungsänderungen und Verzögerungen nicht Beschleunigung, in der Physik(!) aber schon. Aus der Alltagserfahrung wissen wir, dass wir für eine höhere Beschleunigung oder für die Beschleunigung von mehr Masse auch mehr Kraft brauchen. Um das Rechnen einfach zu machen, definierte Newton die Krafteinheit so, dass gilt:

Kraft = Masse mal Beschleunigung

$$F = ma$$

Der Impuls gibt die Auswirkung an, die ein Gegenstand hat, wenn er abrupt gestoppt wird. Beispielsweise zerstört ein Auto, welches gegen eine Mauer fährt, die Mauer und sich selber. Diese Wirkung nennt man Impuls. Aus dem Alltag wissen wir, je schneller und je massereicher das Auto ist, desto mehr Auswirkungen hat der Zusammenprall. Newton hat die Einheit wieder so einfach wie möglich definiert:

Impuls ist Masse mal Geschwindigkeit

$$p = mv$$

Wir wissen, dass die Beschleunigung die Änderung (Ableitung) der Geschwindigkeit ist. Aus

$$F = ma$$

$$p = mv$$

folgt also, dass auch der Impuls die Ableitung (Änderung) der Kraft ist.

Geschwindigkeit = Rotationsgeschwindigkeit mal Radius

Die Einheit Bogenmaß ist so definiert, dass ein Bogenmaß bei einem Kreis mit einem Radius von einem Meter genau einen Meter lang ist. Bei einem anderen Kreis entspricht die Bogenlänge also dem Radius mal dem Winkel. Die Geschwindigkeit wird gewöhnlich in Meter pro Sekunde und die Winkelgeschwindigkeit in Bogenmaß pro Sekunde angegeben. Da beides durch Sekunde dividiert wird, kann man das genauso umrechnen, wie Meter in Bogenmaß und erhält dadurch

Geschwindigkeit = Radius mal Winkelgeschwindigkeit

$$v = r\omega$$

Der freie Fall

Aus Beobachtungen weiß man, dass, wenn man einen Gegenstand fallen lässt, er immer mit der Fallbeschleunigung g beschleunigt, die von der Masse des Planeten abhängt, es gilt also

Beschleunigung = Fallbeschleunigung

$$a = g$$

Für die Fallgeschwindigkeit gilt das Integral davon, wobei die Integrationskonstante der Anfangsgeschwindigkeit v_0 entspricht. Es gilt also

$$v = gt + v_0$$

Durch erneutes integrieren erhält man die Formel für die Fallhöhe, wobei diesmal die Integrationskonstante die Anfangshöhe x_0 ist. Man erhält also

$$h = \frac{gt^2}{2} + v_0 t + x_0$$

Die Fallbeschleunigung g kann man mit der Formel

$$g = -\frac{GM}{r^2}$$

wobei G in dieser Formel die Gravitationskonstante $6{,}67 \times 10^{-11}$ ist ausrechnen.

Mehr über die Newton'sche Dynamik im Physikskriptum Ⓤ
Mehr über die Newton'sche Dynamik in der Zusammenfassung des Physikskriptums Ⓤ

Wie die Drehung zustande kommt

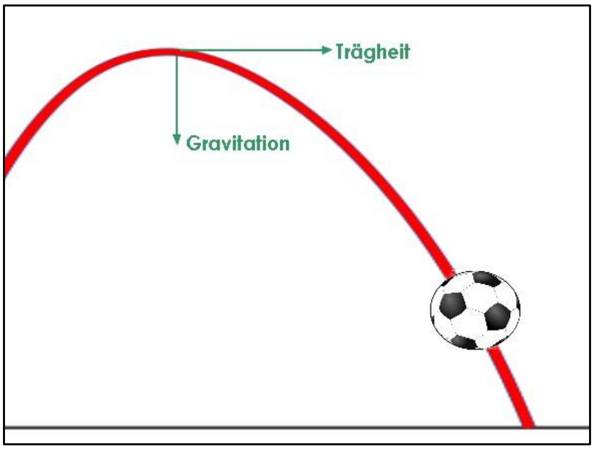

Abb.2.8.: Fallbewegung auf der Erde
Wenn man einem Ball einen Schwung gibt, fliegt er nicht sofort wieder auf den Boden, sondern ändert seine Richtung nur langsam nach unten. Das liegt an der Trägheit (ein Körper versucht immer seinen Bewegungszustand zu behalten)

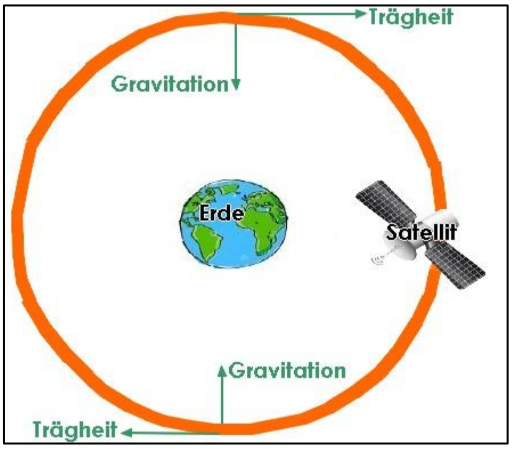

Abb.2.9.: Drehbewegung um die Erde
Bei einem Satelliten, der um die Erde kreist, wirkt die Trägheit ähnlich. Die Gravitation ändert jedoch ihre Richtung genauso schnell wie die Trägheit, sodass der Satellit nicht mehr auf der Erde auftrifft.

Die Trägheit fühlt sich in vielen Situationen (zum Beispiel am Karussell) wie eine Kraft an, obwohl das, was man spürt, eigentlich die Abweichung von der Trägheit ist. So einen Eindruck bezeichnet man als Scheinkraft, im konkreten Beispiel ist das die Zentrifugalkraft. Bei den Planeten und Monden ist das ähnlich: Die Trägheit und die Gravitation halten den Körper gravitativ gebunden. Man kann analog zum Karussell auch die Zentrifugalkraft eines Planeten berechnen. Dafür verwendet man die Formel

$$F = mr\omega^2$$

Präzession

Die Erde steht nicht senkrecht auf ihrer Bahn sondern kreiselt mit einer Neigung von 10° im Vergleich zu seiner Umlaufbahn. Der Grund dafür sind die Anziehungskräfte von Sonne und Mond. Für eine solche Kreiselbewegung benötigt die Erde mehr als 25.000 Jahre, wir bekommen dadurch von dieser Bewegung nicht viel mit. Auf längere Zeit macht das schon einen Unterschied, zum Beispiel hatten die alten Griechen noch einen anderen Polarstern als wir, weil damals der Nordpol in die Richtung eines anderen Sterns gezeigt hat. Für die Koordinatensysteme ist das ein Problem, weil sich die Bezugslinien verschieben.

Astronomische Nutation

Die Gezeitenkräfte des Mondes sorgen dafür, dass die Erde immer träger wird und sich deshalb immer langsamer um sich selber dreht. So dauerte zum Beispiel vor 100-Millionen Jahren bei den Dinosauriern der Tag nur 23 Stunden. Die kurzfristigen Auswirkungen sind jedoch gering. Mit ein paar Schaltsekunden kann man die Zeit an die tatsächliche Sonnenzeit anpassen. Gleichzeitig sorgt die langsamere Rotation der Erde dafür, dass sich der Mond immer weiter von der Erde entfernt. Auch dieser Prozess ist für uns unmerklich.

Sonnenfinsternis

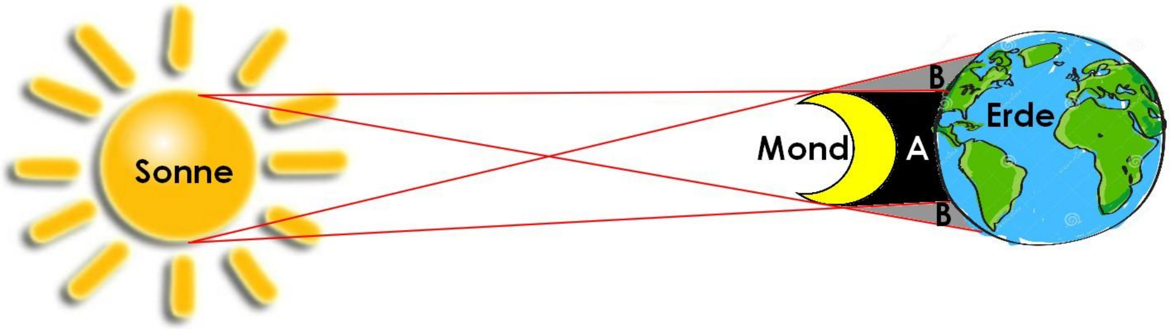

Abb. 2.10.: Sonnenfinsternis
Eine Sonnenfinsternis kommt dadurch zustande, dass der Mond genau vor der Sonne steht und sie dadurch abdeckt. Die Strahlen der Sonne können nicht mehr zur Erde gelangen. Wenn überhaupt keine Strahlen direkt von der Sonne zur Erde kommen können (Bereich A) nennt man sie vollständige Sonnenfinsternis, wenn nur manche Strahlen von der Sonne zur Erde kommen, nennt man sie partielle Sonnenfinsternis (Bereich B). Eine vollständige Sonnenfinsternis kann man nur in einem Umkreis von 250 Metern sehen, größer ist der Schatten des Mondes nicht. Deshalb kommt für uns eine Sonnenfinsternis auch sehr selten vor, obwohl sie weltweit gesehen alle eineinhalb Jahre auftritt. Da der Mond nicht stillsteht, sondern sich mit 1700km/h weiterbewegt ist das Spektakel nach maximal 8 Minuten wieder vorbei.

Mondfinsternis

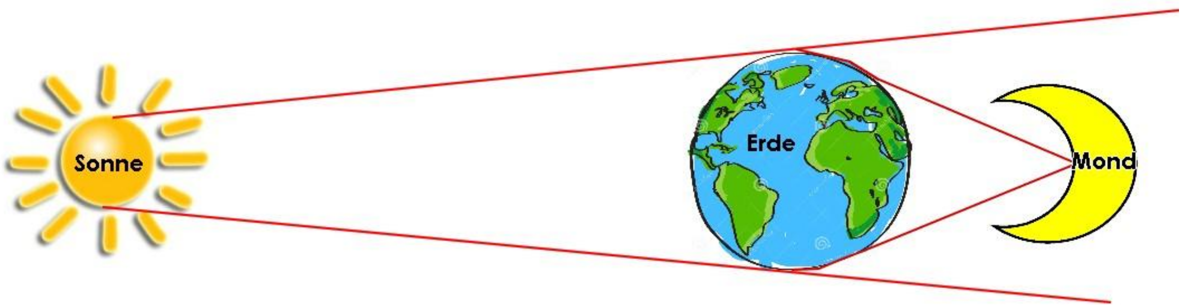

Abb. 2.11.: Mondfinsternis
Bei einer Mondfinsternis steht die Erde zwischen Sonne und Mond, der Mond kann nur noch die Sonnenstrahlen reflektieren, die von der Erde gebrochen worden sind. Das sind hauptsächlich rote Lichtstrahlen, weil die blauen in einem anderen Winkel gebrochen werden. Der Mond erscheint rötlich. Aus dem gleichen Grund erscheint uns auch der Sonnenuntergang (die Lichtstrahlen kommen mit einem flachen Einfallswinkel) rot und tagsüber (die Lichtstrahlen kommen mit einem steilen Einfallswinkel) erscheint uns der Himmel

blau. Nach maximal 2 Stunden ist die Mondfinsternis wieder vorbei. Eine Mondfinsternis kommt - global gesehen - zwei Mal im Jahr vor.

Zeitrechnung

Die meisten Kalender basieren auf astronomischen Ereignissen wie Sonnen-, Mond- oder Tag/Nacht-Zyklen. Schließlich gibt es kaum etwas, das regelmäßiger ist, als die Gestirne im Weltall. Unser Kalender basiert beispielsweise auf zwei Ereignissen: Der Drehung der Erde um die Sonne und der Rotation der Erde um sich selbst. Manche Leute glauben, dass unsere Zeitrechnung auch etwas mit der Drehung des Mondes um die Erde zu tun hat, aber unsere Monate sind im Schnitt etwas länger als die Mondrotation und das addiert sich auf, sodass der Mond überhaupt nichts mit unserem Kalender zu tun hat.

Synchronisation von Tag und Jahr

Auch das Synchronisieren von Tag und Jahr bereitet genug Schwierigkeiten: Das Jahr hat nicht 365 Tage und auch nicht 365,25 Tage sondern es gibt eine unendliche Zahl an Nachkommastellen. Damit das Jahr immer um Mitternacht beginnt, führt man alle 4 Jahre ein Schaltjahr ein. Das ist aber immer noch nicht genau, weil man bis dahin nur die ersten zwei Nachkommastellen berücksichtigt hat. Um genauer zu werden, muss man alle 100 Jahre ein Schaltjahr ausfallen lassen und zwischendurch immer wieder Schaltsekunden einschieben.

Astronomische Zeit

Bei der bürgerlichen Zeit genügt die oben geschilderte Synchronisation, aber die astronomische Zeit muss ganz exakt sein, so dass alle Schalttage und Schaltsekunden in ganz viele kleine Stücke aufgeteilt werden. Aber nicht nur das: Man muss auch berücksichtigen, dass sich die Erde in der Nähe von der Sonne schneller bewegt. Das ist für uns eigentlich sehr praktisch, weil der Winter dadurch um 8 Tage kürzer als der Sommer ist. Auf der Südhalbkugel ist das genau umgekehrt. Die mittlere Zeit, die wir im Alltag messen, setzt voraus, dass sich die Erde immer mit der gleichen Winkelgeschwindigkeit dreht. Die Ablenkung der mittleren Zeit von der wahren Zeit berechnet man, indem man die mittlere Zeit von der wahren Zeit abzieht. Das wird auch Zeitgleichung genannt.

Julianisches Datum

In diesem Skriptum wurde bisher hauptsächlich beschrieben, was es für Probleme auslöst, wenn man versucht, Tag und Jahr zu synchronisieren. Um diesen Schwierigkeiten zu entgehen, hat man in der Astronomie begonnen, die Jahre zu ignorieren und nur noch die Tage zu zählen. Das Ganze nennt man Julianisches Datum und das ist etwas anderes als der Julianische Kalender. Das julianische Datum beginnt am 1. Jänner 4713 vor Christus um 12 Uhr. Es beginnt mit Absicht zu Mittag, weil man zu Mittag nur selten Sterne beobachtet und man so bei Zeitangaben den Tag stehen lassen kann. Von diesem Datum weg zählt man wie viele Tage vergangen sind, ohne irgendwelche größeren Einheiten zu verwenden. Auch kleinere Einheiten verwendet man nicht, das sind dann die Nachkommastellen. Am 14. Oktober 2015 um 15:00 lautete die Julianische Zeit 2457310,125. Das heißt, dass seit dem 1. Jänner 4713 vor

Christus 2457310,125 Tage vergangen sind. Wenn sich etwas vor dem 1. Jänner 4713 ereignet hat, gibt man es auch mit Minuszahlen an.

Cgs-System

Funktion

Das Cgs-System ist ähnlich wie das SI-System aufgebaut: Man kann alle Einheiten aus nur drei Basiseinheiten ausrechnen: Zentimeter, Gramm und Sekunde. So ist beispielsweise die Geschwindigkeit Zentimeter pro Sekunde, also Wegeinheit durch Zeiteinheit.
Wenn beim Herleiten der Einheit eine andere Größe vorkommt, muss man sie trennen. Wenn man beispielsweise die Beschleunigung herleitet, bekommt man zuerst nur Geschwindigkeit pro Zeit. Da die Geschwindigkeit nicht im Cgs-System vorkommt, muss man die Geschwindigkeit ihrerseits in Weg pro Zeit teilen.

$$a = \frac{v}{t} = \frac{s}{t^2} = \frac{cm}{s^2}$$

Das wird schnell komplizierter. Wenn man sich beispielsweise die Kraft ausrechnet erhält man:

$$F = ma = \frac{mv}{t} = \frac{ms}{t^2} = \frac{g\,cm}{s^2}$$

Damit man nicht jedes Mal alle Einheiten hinschreiben muss, denkt man sich - ähnlich wie beim SI-System - auch bei den Cgs-Systemen Abkürzungen aus, für unser Beispiel mit der Kraft ist die Einheit dyn. Im Skriptum werden diese Einheiten erklärt werden, sobald wir sie das erste Mal brauchen.

Umrechnung

Um von cgs-Einheiten auf SI-Einheiten umzurechnen, muss man sie in die Basiseinheiten aufspalten und diese Basiseinheiten umrechnen. Beispiel: Man misst eine Kraft von 100.000 dyn und möchte wissen, wie viele Newton das sind. Zunächst zerlegt man die dyn und die Newton in ihre Basiseinheiten:

$$1\ \text{dyn} = 1\ \frac{g\,cm}{s^2}$$

$$1\ \text{N} = 1\ \frac{kg\,m}{s^2}$$

Dann dividiert man zuerst einmal die 100.000 dyn durch 1.000 um von Gramm auf Kilogramm zu kommen. Jetzt hat man

$$100\ \frac{kg\,cm}{s^2}$$

Dann dividiert man durch hundert um von Zentimeter auf Meter zu kommen und erhält

$$1\,\frac{\mathrm{kg\ m}}{\mathrm{s}^2} = 1\,\mathrm{N}$$

Grund

Der Hauptvorteil des Cgs-Systems ist, dass einige Konstanten, die im SI-System komplizierte irrationale Zahlen sind, im Cgs-System zu einfachen natürlichen Zahlen werden. Im Laufe eurer astronomischen Karriere werdet ihr höchstwahrscheinlich des Öfteren mit solchen Konstanten konfrontiert werden. Dass man als Grundlage nicht die SI-Einheiten verwendet, liegt daran, dass das Cgs-System schon vor dem SI-System entwickelt und seitdem nicht verändert worden ist.