

[\[Frühere Kalender\]](#) [\[Julianische Datum\]](#) [\[Bürgerliche Zeit\]](#) [\[Die Erdatmosphäre\]](#) [\[Die Masse\]](#) [\[Tabelle\]](#) [\[Ekliptik\]](#) [\[Drehimpuls\]](#) [\[Die Krümmung\]](#) [\[Deklination \$\delta\$ \]](#) [\[Analemma\]](#) [\[Polhöhe\]](#) [\[Die Weltzeit\]](#) [\[Gewicht\]](#) [\[Albedo\]](#) [\[Präzession\]](#) [\[Die Relativitätstheorie\]](#) [\[Annäherung des Kalenderjahres ans Sonnenjahr\]](#) [\[Keplersche Gesetze\]](#) [\[Kulmination\]](#) [\[Wackeln der Pole\]](#) [\[Tatsächlich\]](#) [\[Cäsiumuhr\]](#) [\[Astronomisches\]](#) [\[Geodätisches\]](#) [\[Himmelskunde\]](#) [\[Die Hölle auf Erden\]](#) [\[Magnetfeld der Erde\]](#) [\[irdischer Tag\]](#) [\[was ist Zeit\]](#) [\[Einstein\]](#) [\[Frühlingspunkt\]](#) [\[Foucaultsches Pendel\]](#)

Erde gesehen aus dem Weltraum während der **Sonnenfinsternis** vom 30. Juni 1973. Man sieht den Schatten genau um 12 Uhr mit dem dunklen Zentralteil dort, wo die Finsternis total und mit der helleren Umgebung dort, wo die Finsternis partiell war. Im Durchschnitt tritt alle **18 Monate** irgendwo auf der Erde eine totale Sonnenfinsternis ein. Seit mehreren tausend Jahren weiß man, dass Finsternisse im Abstand von **18 Jahren 11 Tagen 8 Stunden**, im so genannten **Saroszyklus** wiederkehren. Da der Zyklus nicht auf eine ganze Zahl ausgeht, finden die Finsternisse nicht alle am gleichen Ort auf der Erdoberfläche statt. Die überzähligen acht Stunden in der Länge des Zyklus bewirken, dass sich jede Finsternis **120° westlich** der vorhergegan genen ereignet, so dass das Finsternisgebiet fast genau nach **54 Jahren und 34 Tagen**, wiederkehrt. An einen bestimmten Ort ereignet sich allerdings eine totale Sonnenfinsternis im Durchschnitt nur einmal **in 360 Jahren**.

Erde, einer der **neun** Planeten unseres Sonnensystems, von der Sonne aus der **dritte**. In Masse, Dichte und Größe, ist die Erde der benachbarten Venus am nächsten verwandt. Sie ist von einer Atmosphäre umgeben. Die vorherrschende Auffassung der Kosmogonie geht dahin, dass sich die Erde, zusammen mit den anderen Planeten und der Sonne aus einen in turbulenter Bewegung befindlichen **Urnebel** gebildet habe. Dieser Bildungsvorgang muss sich vor **fünf** bis **sechs Milliarden** Jahren abgespielt haben.

Astronomisches: Die gegenseitige Anziehung von Sonne, Erde und Mond halten Erde und Mond in Ihren Bahnen. Sonne und Mond üben **Drehmomente** auf die Erde aus, die als **Präzession** und **Nutation** in Erscheinung treten, deformierende Kräfte wirken als Gezeiten, Licht und Materiestrahlung der Sonne sind entscheidend für das Leben auf der Erde, für Variationen des erdmagnetischen Feldes, für Polarlicht und Ionosphäre, Klima und Witterung. In einem Jahr durchläuft die Erde eine **elliptische Bahn** um die in einen Brennpunkt stehende **Sonne**. Der mittlere Abstand Sonne- Erde ist **149, 598 000 Km**; im Perihel (**am 3.1.**) ist er um 2,5 Mill. Km kleiner, im Aphel (**am 3.7.**) um ebensoviel größer.

Im Laufe eines Tages dreht sich die Erde um eine durch ihren Schwerpunkt gehende Achse. Die Erdachse schneidet die Oberfläche im Nordpol und Südpol. Sie bildet mit der Erbahn (Ekliptik) einen Winkel von **66°33'** und mit einer auf der Ekliptik senkrechten Geraden einen Winkel von **23°27'** (**Schiefe der Ekliptik**). Hierdurch entstehen die Unterschiede der **Jahreszeiten**. Der Winkel schwankt in Jahrtausenden um **7°**, eine Ursache von Änderungen der Bestrahlung und Klimaschwankungen.

Sieht man von der langsamen **Präzession** ab, so ist die Richtung der Erdachse im Raum bis auf unmessbar kleine Winkel **unveränderlich**, doch verlagert sie sich im Erdkörper periodisch um messbare Beträge (**Polbewegung**). Große Veränderungen (**Polwanderung**) sind umstritten.

Vom Nordpol gesehen, dreht sich die Erde **entgegen** dem Uhrzeigersinn. Die Umdrehungsdauer beträgt im Mittel **86 164, 098 sec** (24 Sternzeitstunden + 0,008 sec) und schwankt wegen Massenverschiebungen um einige Tausendstel sec. Eine säkulare Zunahme der Länge des Jahrhunderts um **59,9 sec/Jahrh.** wird der **Gezeitenreibung** zugeschrieben (**Akzeleration**). Die Erdrotation wirkt auf Luftbewegungen und

Meeresströmungen (barisches Windgesetz, Ablenkung der Passatwinde) ein; Einflüsse auf geologische Vorgänge (Polflucht) sind umstritten.

Denkt man sich die Unregelmäßigkeiten der obersten Erdschichten beseitigt, so hat der Erdkörper die Gestalt eines abgeplatteten **Rotationsellipsoids**, dessen kleine Achse mit der mittleren Lage der Rotationsachse zusammenfällt. Zur Orientierung dient das geographische Netz, dessen Breitenkreise (**Parallelkreise**) dem Äquator parallel sind. Die Meridiane verlaufen **senkrecht** zu ihnen und gehen durch **beide Pole**. Die Meridiane sind Ellipsen, können aber als Kreise (**Längenkreise**) angesehen werden, wenn es auf die Erdabplattung nicht ankommt. Man zählt die **Breite** vom Äquator aus Polwärts von **0° bis 90°**, die **Länge** vom Meridian von **Greenwich** ostwärts und westwärts von **0° bis 180°**, auch oft nur **ostwärts** von **0° bis 360°**. Besondere Breitenkreise sind die **Wendekreise** des Krebses (**23°27' N**) und des Steinbocks (**23°27' S**), über denen die Sonne zur Sommer- und Wintersonnenwende **senkrecht** steht und die beiden Polarkreise (**66°33' N und S**), bis zu denen herab **Polartag** und **Polarnacht** vorkommen.

Geodätisches: Größe und Gestalt der Erde ermittelt man aus geodätischen Grundmessungen, Schweremessungen und der Beobachtung künstlicher Erdsatelliten. Figur der Erde (**Geoid**) ist diejenige Niveauläche des Schwerefeldes, die auf den Ozeanen mit der mittleren ungestörten Meeresoberfläche (Meeresniveau) zusammenfällt. Sie steht überall auf der Lotrichtung senkrecht und ist **Bezugsfläche** für Höhen- und Tiefenangaben auf der **Erde**. Das nach der Erdachse ausgerichtete **Rotationsellipsoid**, das sich dem Geoid am besten anpasst, heißt mittleres **Erdellipsoid**. Die Abweichungen des Geoids vom Erdellipsoid (**Geoidundulationen**) dürften ***- 100 Meter** kaum übersteigen. Die dem mittleren Erdellipsoid inhaltsgleiche Kugel heißt **Erdkugel**.

Die **Krümmung** ihrer **Oberfläche** macht sich schon in **geringen** Entfernung bemerkbar: Der Abstand der Erdkugel von einer ihrer **Berührungsebenen** beträgt **7,8 cm** in **einen Kilometer** und schon **7,8 m** in **10 Km** Entfernung vom Berührungspunkt.

Das zur Zeit berechnete **Ellipsoid** hat eine große Halbachse **a = 6378160 m**, die kleine Halbachse **b = 6356775 m** und die Abplattung von (a-b) : a = **1:298,25**. Diese Angaben beruhen auf Messungen und müssen von **Zeit zu Zeit** dem neuesten Stand **angepasst** werden.

[\[nach oben\]](#)

Foucaultsches Pendel

auch gyroskopisches Pendel, nach dem französischen Physiker Jean Foucault benanntes Pendel, mit dem sich die Erdrotation nachweisen lässt. Mit seinem Pendelversuch brachte Foucault 1851 im Pariser Pantheon öffentlich den experimentellen Beleg für die Rotation der Erde um ihre eigene Achse. Bei der Ausführung des Versuchs ließ er besondere Sorgfalt walten, um die Schwingungseigenschaften des Pendels zu optimieren. Foucault verwendete einen schweren Pendelkörper von 28 Kilogramm, der an einem 67 Meter langen, dünnen Draht aufgehängt war. Das hohe Gewicht des Pendelkörpers stabilisierte die Pendelbewegung und machte sie dadurch weniger anfällig gegen Störungen durch Luftströmungen oder Verdrillung des Drahts. Die Länge des Pendels hingegen ermöglichte eine große Schwingungsperiode (16,5 Sekunden) und lieferte einen relativ großen Pendelausschlag.

Nachdem das Pendel im Pantheon in Schwingung versetzt wurde, behielt es aus der Sicht der Beobachter nicht die ursprüngliche Richtung bei. Relativ langsam, aber kontinuierlich drehte sich die Schwingungsebene im Uhrzeigersinn. Um diese langsame Änderung sichtbar zu machen, befand sich feuchter Sand im Bereich des maximalen Pendelausschlages, in dem eine dünne Spitze am Pendelkörper bei jeder neuen Schwingung die momentane Position markierte. Innerhalb einer Stunde wich die Schwingungsebene um ungefähr elf Grad von der ursprünglichen Richtung ab.

Dieser Versuch ist für die Öffentlichkeit an zahlreichen Orten wiederholt worden, z. B. 1852 Kölner Dom und auf der Pariser Weltausstellung im Jahre 1855. Die Richtungsänderung des Pendels ist auf die Erdrotation zurückzuführen. Nicht die Schwingungsebene des Pendels dreht sich, wie es den Anschein hat, sondern der Boden unter dem Pendel.

Das Ausmaß der Richtungsänderung hängt von der geographischen Breite des Ortes auf der Erde ab. Ist ein Pendel genau über dem Nord- oder Südpol aufgehängt, so dreht sich die Erde vollständig unter der Schwingungsebene weg, d. h., für einen Beobachter am Pol scheint sich das Pendel in 24 Stunden einmal um 360° zu drehen. Ein unabhängiger Beobachter aus dem Weltraum würde jedoch feststellen, dass es

seine ursprüngliche Richtung beibehält. Mit abnehmenden Breitengrad auf der Erde wird die Drehung der Pendelebene pro Tag geringer, bis am Äquator überhaupt keine Drehung mehr stattfindet.

Dort schwingt das Pendel unverändert in der vorgegebenen Richtung. Geht man über den Äquator hinweg auf die andere Erdhalbkugel, nimmt das Ausmaß der Drehung zu größeren Breiten hin wieder zu. Ihre Richtung kehrt sich jedoch bei diesem Übergang um. Auf der Nordhalbkugel dreht sich die Schwingungsebene im Uhrzeigersinn, auf der Südhalbkugel umgekehrt. [\[nach oben \]](#)

Die Hölle auf Erden

Während wir den fernen Mars erkunden, ist das innere unseres eigenen Planeten noch immer ein Rätsel: eine Gluthölle, die uns auf ganz erstaunliche Weise vor außerirdischen Angriffen schützt. Seit Europas "Beagle 2" und der Nasa-Rover "Spirit" auf dem Mars angekommen sind, vergleicht man unseren Nachbarn gern mit der Erde. Hier der Mount Everest mit fast 9.000 Meter Höhe, dort der Olympus Mons, ein riesiger, 25.000 Meter hoher Vulkan. Hier ein blauer Planet mit sehr viel flüssigem Wasser, dort ein staubiger roter, ganz ohne. Ein Marsjahr dauert fast zwei Erdenjahre. Die Erde hat nur einen Mond, der Mars hat zwei.

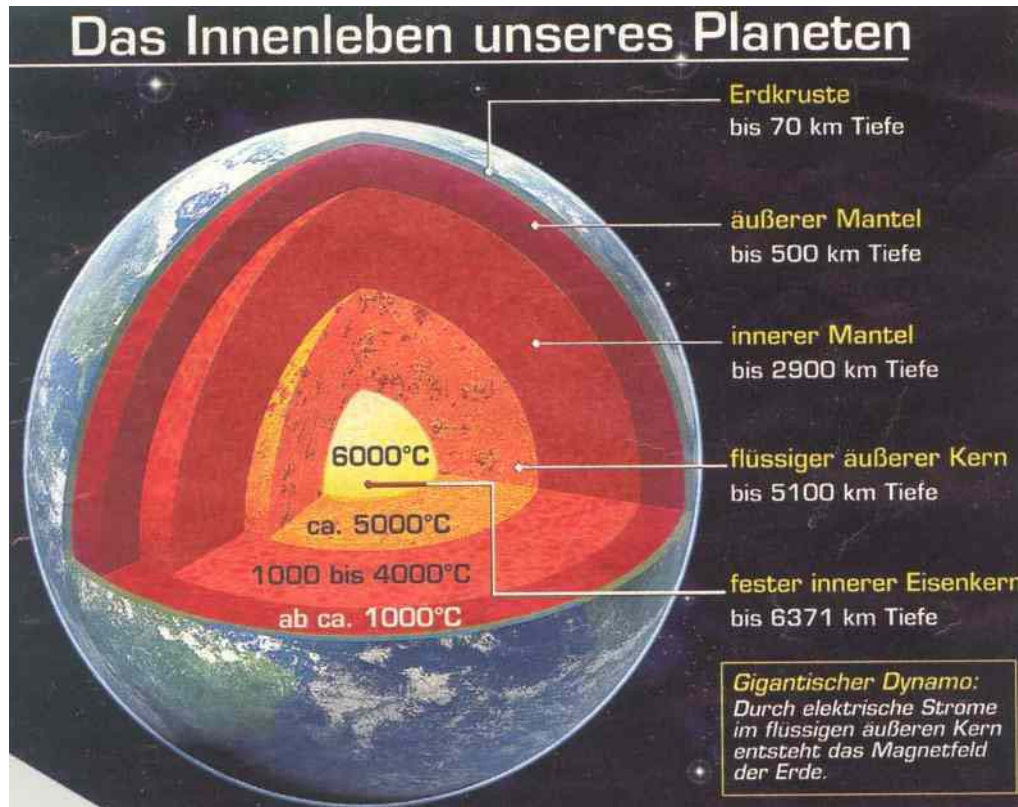
Einer der wichtigsten Unterschiede ist aber, dass dem Mars das Magnetfeld fehlt: Ein Schutzschirm, der bei uns die gefährliche Strahlung der Sonnenwinde wie ein unsichtbares Schild ablenkt und weitgehend von der Oberfläche fernhält. Forscher grübeln seit langem, warum dem roten Planeten dieser Schutzschirm fehlt. Denn das ist einer der Gründe, weshalb irdisches Leben auf dem Mars nur wenig Chancen hat. Und dieses Schicksal könnte die Erde eines fernen Tages auch ereilen. Die Wissenschaftler wüssten viel mehr darüber, wenn es gelänge, ein 6.000 Kilometer tiefes Loch in unsere Erde zu bohren und all das zu untersuchen, was man auf dem Weg dorthin fände. Aber selbst die kühnsten "menschlichen Maulwürfe" kamen bisher gerade einmal in eine Tiefe von elf Kilometer: Mini-Löcher in der Erdkruste, die immerhin auch schon zwischen zwei (unter dem Meer) und 70 Kilometer dick ist.

Dennoch: Dort unten, wo der Mensch sich früher die Hölle vorstellte, schlummert in der Gluthitze von mehreren tausend Grad auch das Geheimnis unseres Magnetschirms. Schwingungsmessungen zeigen, dass der Erdmantel bis in eine Tiefe von circa 2.900 Kilometer aus zähflüssigem Stein besteht. Kleine "Spritzer" davon treten in Form von Magma bei Vulkanausbrüchen hervor. Unter diesem Mantel, so wird vermutet, ist eine mehr als 2.000 Kilometer dicke Schicht aus flüssigem Metall, in deren Mitte ein fester Eisenkern schwimmt. Und dieses flüssige Metall dürfte für den Strahlenschutzmantel der Erde verantwortlich sein. Durch ständige Umwälzungen in der weiß glühenden Metallbrühe und die "eiernde" Drehbewegung der Erde um ihre Achse, entsteht elektrischer Strom, der wie ein gigantischer Dynamo ein riesiges Magnetfeld erzeugt.

Die Geologen fasziniert aber noch ein weiteres Rätsel, wie Dr. Gerhard Duma, Erdmagnetismus-Experte an der Wiener Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, erklärt: "Alle paar hunderttausend Jahre, kehrt sich das Magnetfeld unserer Erde um. Dann wandert der magnetische Südpol in einer langen Reise zum Nordpol hinauf und in ein paar hunderttausend Jahre später zieht es ihn wieder nach Süden zurück.

Die Erde und ihre Bewohner haben diese Wanderlust der Pole offenbar gut überstanden, obwohl in der schutzlosen Übergangsphase viele Jahre lang die aggressive Weltraumstrahlung bis zum Boden prasselt. Aber beim letzten Mal, das immerhin schon 780.000 Jahre her ist, gab es noch keine empfindlichen Computer oder Satelliten, die ein solches Strahlen-Bombardement nicht überstehen würden. Prof. Bruno Meurers, Geophysiker an der Uni Wien: "Obwohl sich unser Magnetfeld in den letzten 150 Jahren recht stark abgeschwächt hat, brauchen wir uns über einen elektronischen Supergau keine Sorgen zu machen. Das Feld ist zwar nicht vorhersagbar, aber wenn es sich umpolt, dann dauert das sehr, sehr lange.

Eine Reise zum Mittelpunkt der Erde würde viele Fragen klären, bleibt aber wohl eine der letzten Phantasien von Science-Fiction-Altstar Jules Vernes, die der Mensch noch nicht umgesetzt hat. Vielleicht dauert's aber nicht mehr lange: Ein US-Forscher plant seit verganginem Jahr, einen 200 Meter langen Keil aus flüssigem Eisen bis zum Erdkern zu treiben. Eine darin eingebettete Sonde soll Informationen bringen.



Magnetfeld der Erde Alles, was man über das Erdinnere zu wissen glaubt beruht auf indirekten Messungen. Bis jetzt war niemand dort. Entlang der magnetischen Feldlinien um den Globus entstand vor Milliarden Jahren, der nach dem Physiker James Van Allen benannte Strahlungsgürtel. Gefährliche Teilchen werden dort "eingefangen". Der Sonnenwind (Pfeile von links) verformt das Magnetfeld. Ohne Erd-Magnetfeld gäbe es bei uns den elektronischen Supergau.



Äquatorradius = große Halbachse a	6 378 160 m
halbe Drehachse = kleine Halbachse b	6 356 775 m
Abplattung	1 : 298,25
Länge des Äquators	40 075 161 m
Länge eines Meridians	40 007 818 m
1 Äquatorgrad	111 320 m
1 mittl. Meridiangrad	111 133 m
Oberfläche	509 088 842 Km ²
Volumen	1 083 218 990 000 Km ³
Masse	5, 973* 10 ²⁴ Kg
mittl. Dichte	5, 514 g*cm ⁻³
Beschleunigung am Äquator	978, 032 Gal *
Beschleunigung am Pol	983, 218 Gal *
durchschnittliche Temperatur an der Erdoberfläche	14, 3° C

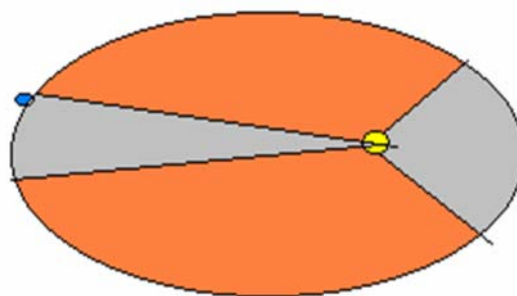
* 1 Gal = 1 cm/sec²

Nach Ptolemäus (100-180) ruht die Erde im Mittelpunkt des Universums, während sich Mond, Sonne und Planeten auf Umlaufbahnen bewegen. Diese Ansicht wurde bis zur Mitte des 16. Jahrhunderts allgemein akzeptiert. Als Nikolaus Kopernikus (1473-1543) damals einwandte, dass sich im Mittelpunkt die Sonne befinden müsse, erhob sich heftiger Widerspruch. Schließlich wurde diese Ansicht akzeptiert. In einer Hinsicht jedoch teilte Kopernikus Ptolemäus' Meinung: Er baute die Planetenbahnen aus Kreisen auf. Beide Theorien litten jedoch an einem großen Mangel, sie sagten die Stellungen der Planeten nicht genügend genau voraus. Die wahre Natur der Planetenbahnen wurde schließlich von Johannes Kepler (1571-1630) im frühen 17. Jahrhundert auf geklärt, als er drei Beziehungen zur Beschreibung der Planetenbewegung veröffentlichte.

Keplersche Gesetze

Sie werden gewöhnlich Keplersche Gesetze genannt. K1, jede Planetenbahn ist eine Ellipse mit der Sonne in einem Brennpunkt.

K2, der Radiusvektor eines Planeten zur Sonne überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen. Daraus folgt, dass sich die Geschwindigkeit eines Planeten längs seiner Bahn verändert.



Sie ist am größten im Perihel, in dem Punkt, in dem sich der Planet der Sonne am nächsten befindet. Unsere Erde befindet sich am 3. Jänner jeden Jahres im Perihel. Das ungefähre Zusammenfallen mit dem Beginn des Kalenderjahres ist zufällig. Schließlich K3, für die Planeten sind die Quadrate der Umlaufzeiten den Kuben der großen Halbachsen ihrer Bahnen proportional. (Umlaufzeiten in Jahre, Entfernungen in AE).

Nicht unerwähnt soll hier der dänische Astronom Tycho Brahe (1546-1601) sein, der mit seinen Geräten, unter anderen seiner "Armillarsphäre", die zum Anvisieren und Verfolgen von Sternen und Planeten benutzt wurde, sorgfältige Messungen von Planetenörtern durchführte. In seinem letzten Lebensjahr arbeitete er in Prag mit Kepler zusammen, dem er die kostbaren Daten vermachte. Acht Jahre nach Brahe's Tod und überwältigender Rechenarbeit stellte Kepler seine beiden ersten Gesetze vor, zehn weitere Jahre dauerte es, bis Kepler sein drittes Gesetz formulieren konnte. Dieses harmonische Gesetz

verknüpft die Planetenbahnen mit der Erde und untereinander. Am Rande vermerkt: zwischen 1576-1596 zeichnete Tycho ein exaktes Sternverzeichnis und maß die Bewegungen der Planeten mit bemerkenswerter Genauigkeit. Tycho erkannte, dass das ptolemäische System einfach nicht funktionieren konnte." *Doch glaubte er nicht, dass sich die Erde bewege*", und arbeitete als Kompromiss ein System aus, in dem sich die Planeten um die Sonne bewegten, während sich die Sonne ihrerseits um die Erde drehte. Diese empirisch abgeleiteten Gesetze waren eine große Leistung, Kepler konnte aber nicht das "Warum" erklären. Erst die Newtonsche (1643-1727) *Mechanik und Schwerkraft* lieferte eine sehr genaue Beschreibung der Bewegungen im Sonnensystem, wenn man auch im Falle der Merkurbahn die Allgemeine Relativitätstheorie Albert Einsteins (1879-1955) heranziehen muss. [\[nach oben\]](#)

Ekliptik

Während die Fixsterne ihre gegenseitige Lage am Himmelsgewölbe nicht ändern, , durchwandert die Sonne innerhalb eines Jahres einen größten Kreis, dessen Ebene den Himmelsäquator unter einem Winkel von $23^{\circ}27'$ schneidet und dessen eine Hälfte auf dem nördlichen und dessen andere Hälfte auf dem südlichen Teil der Himmelkugel liegt. Dieser größte Kugelkreis heißt Ekliptik, der Winkel E die **Schiefe der Ekliptik**.

Die Bewegung der Sonne auf der Himmelkugel ist nur eine scheinbare und hat ihre Ursache in der wirklichen Bewegung der Erde innerhalb eines Jahres. Der mittlere Halbmesser der Erdbahn ist im Vergleich zum Halbmesser der Erde ungefähr 23 470 mal so groß, so dass die Sehstrahlen von jedem Punkt der Erde gegen die Sonne und das Himmelsgewölbe als parallel zueinander angesehen werden können. Wenn wir daher die Sonne von einem bestimmten Beobachtungsort der Erde aus an das Himmelsgewölbe projizieren, so durchläuft die Sonne die Ekliptik, deren einzelne Teile nach den verschiedenen Sternbildern in ihrer Gesamtheit Tierkreis oder Zodiakus genannt werden. Der eine Endpunkt der Schnittlinie zwischen Äquator und Ekliptikebene, in dem die Sonne am 21. März steht, heißt der **Frühlingspunkt**.

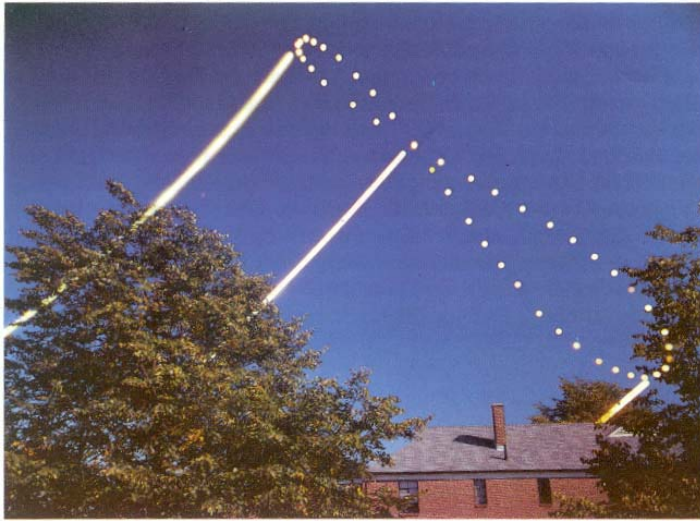
Die Erdbahn liegt in einer Ebene, die durch die Sonne geht und Ekliptik genannt wird. Die Bahn jedes anderen Planeten befindet sich auch in einer solchen Ebene, die um einen kleinen Winkel zur Ekliptik geneigt ist. Da dieser Winkel klein, aber nicht Null ist, gelangt ein Planet auf seiner Bahn über und unter die Ekliptik. Jeder Planet bewegt sich auf seiner Umlaufbahn in der gleichen Richtung wie die Erde. Die Rotationsachse der Erde steht nicht senkrecht auf der Ekliptik, sondern ist um einen Winkel von $66^{\circ}33'$ geneigt. (**Komplement zur Schiefe der Ekliptik**) Die Achse zeigt in eine Richtung, die fest im Raum verbleibt, während die Erde auf ihrer Bahn umläuft. Das **Sommersolstitium** ist der Zeitpunkt des Jahres (22. Juni), zu dem die Sonne auf ihrer nördlichsten Position erscheint. Sie steht dann senkrecht über der nördlichen Breite von $23^{\circ}27'$; die Linie, die alle Punkte mit dieser Breite verbindet, wird Wendekreis des Krebses genannt. Sechs Monate später, beim **Wintersolstitium** (22. Dezember) steht die Sonne am weitesten südlich; sie befindet sich senkrecht über der südlichen Breite von $23^{\circ}27'$ (Wendekreis des Steinbocks). Zweimal im Jahr erscheint die Sonne senkrecht über dem Äquator, zum **Frühlingsäquinoktium** am 21. März und zum **Herbstäquinoktium** am 23. September. Da die Ekliptik die scheinbare tägliche Drehung der Himmelkugel mitmacht, so beschreibt die Sonne eine Schraubenlinie, die in den beiden Wendekreisen ihre größte Entfernung vom Äquator erreicht. Die schräge Stellung der Erdachse bewirkt also die Änderung der Entfernung der Sonne vom Äquator; diese Entfernung wird im Winkelmaß gemessen und heißt die

Deklination δ

der Sonne für den betreffenden Tag. Sie wird auf der nördlichen Hälfte der Himmelkugel als positiv (+) auf der südlichen Hälfte als negativ (-) gezählt. Die tägliche Änderung der Deklination der Sonne bedingt auch die tägliche Änderung der Tagbogenlänge der Sonne und den Wechsel der Jahreszeiten. Durch das Verhältnis der Stablänge zur Schattenlänge eines senkrecht zum Horizont aufgestellten Stabes, kann beim Meridiandurchgang der Sonne, der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen gegen den Horizont und damit die größte Sonnenhöhe für den betreffenden Tag bestimmt werden. Ein solcher Stab heißt **GNOMON**.

Steht die Sonne am 21. März und am 23. September im Äquator (Tag -und Nachtgleiche, Äquinoktien) dann ist der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen gleich der Äquatorhöhe $\alpha = 90 - \varphi$, $\text{tg } \alpha = \text{AB/BD}$

Analemma



Ein Jahr lang nahm der Fotograf alle 10 Tage zur gleichen mittleren Ortszeit die Sonne auf. Wir sehen, wie sie sich über den Äquator hinweg zwischen den Deklinationen $23,5^\circ$ Nord und Süd hin und her bewegt; Sie bewegt sich auch nach Osten und Westen - ihrer mittleren Position voraus - und hinterherlaufend - und erzeugt so das Analemma, eine Figur, die häufig auf Erdgloben zu sehen ist.

Polhöhe

Die Polhöhe und die geographische Breite eines Ortes sind einander gleich. Die Polhöhe ergänzt die Äquatorhöhe auf 90° . Die Äquatorhöhe ist daher $\alpha = 90 - \varphi$, wobei φ die geographische Breite bedeutet. Die in einen Beobachtungsort an die Erde gelegte Tangentialebene heißt der scheinbare, die parallel dazu durch den Erdmittelpunkt gehende Ebene der wahre Horizont.

Aus dem bei einer Reise nach dem Süden beobachtbaren kleiner werden des Winkels zwischen Polarstern und Horizont, kann man sogar den Erdumfang berechnen. Ein Reisender der nach Süden wandert merkt, dass mit abnehmender Breite die Polhöhe zum Horizont fällt und zwar alle $111,2 \text{ km}$ um 1° . Bei Erreichen des Äquators liegt die Polhöhe genau im Horizont. Umgekehrt, wenn man nach Norden reist, steigt die Polhöhe an.

Wackeln der Pole

Man betrachte eine heutige Sternkarte oder einen Himmelsglobus mit eingezeichneter Ekliptik. Hier findet man den Frühlingspunkt nicht im Sternbild Widder, sondern in den Fischen und den Herbstpunkt im Sternbild Jungfrau. Die Zwillinge umfassen fest die Sommersonnenwende und der Schütze balanciert den Winter über seinen Bogen. Was geht hier vor? Warum heißt es nicht Wendekreis der Zwillinge und Wendekreis des Schützen? Die Abweichung entsteht dadurch, dass das ganze **Koordinatensystem** aufgrund einer Schwankung der Erdachse relativ zu den Sternen rotiert.

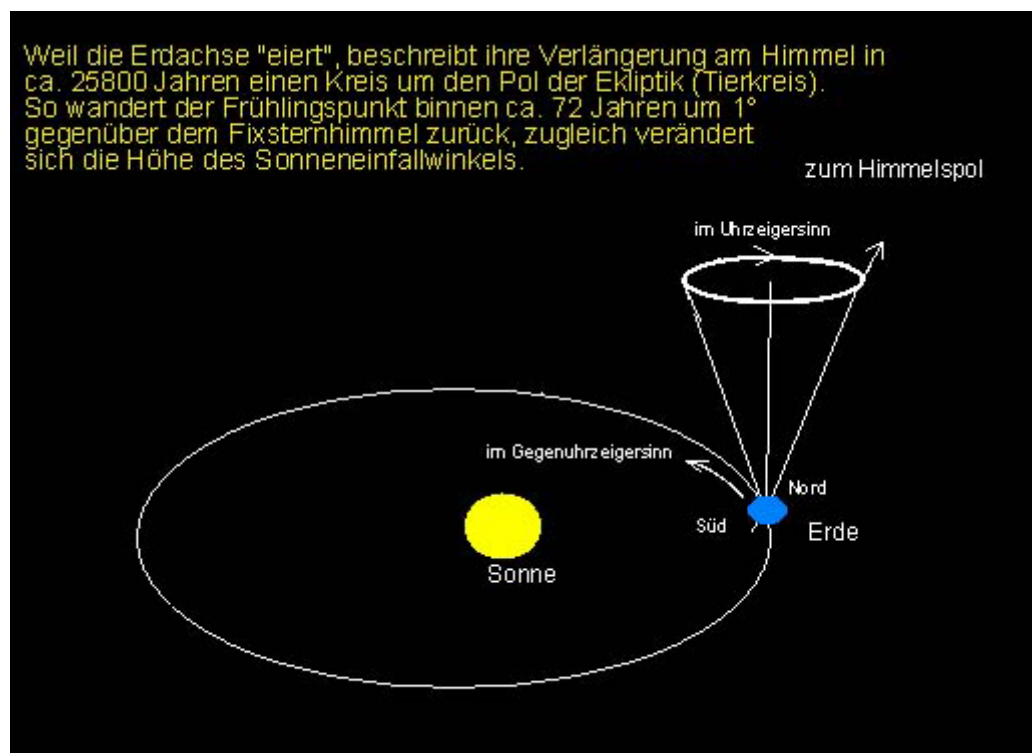
Diese kreiselartige Schwankung nennt man Präzession. Dabei rotiert die Erdachse um die Senkrechte auf der Erdumlaufbahn, wobei sie für einen Umlauf etwa $25\,800$ Jahre braucht. Der Winkel zwischen Erdachse und Senkrechter bleibt dabei stets etwa $23,5$ Grad, doch die Lage der Himmelspole und des Himmelsäquators im Raum wird verändert.

Die physikalische Ursache für die Präzession ist die Gravitationsanziehung, die Sonne und Mond auf den äquatorialen Wulst der Erde ausüben, der etwa 20 km hoch ist und durch die Rotation der Erde entsteht. Infolge der Präzession wandern die Äquinoktial- und Sonnenwendepunkte relativ zu den Sternen mit einer Geschwindigkeit von **50,26 Bogensekunden** pro Jahr westwärts, was ungefähr einem Tierkreissternbild pro $2\,150$ Jahre entspricht. Eine Veränderung von $50,26$ Bogensekunden pro Jahr ist riesig, wenn man bedenkt, dass Positionsgenauigkeiten von $0,01$ Bogensekunden erreicht werden können.

In Sternkatalogen sind gewöhnlich die Koordinaten von Sternen für den Beginn des Jahres 1950.0 angegeben. Doch im neuen Jahrtausend gibt es schon immer mehr Listen für die Standarddepoche 2000

Präzession

Mit einer Periode von rund 25 786 Jahren (*1 Platonisches Jahr*) beschreibt die Erdachse die Mantelfläche eines Kegels; diese Bewegung nennt man Präzession. Die Schiefe bleibt fast konstant, während sich die Richtung der Achse verändert. Das hat die interessante Konsequenz, dass der Polar-Stern nur ein paar hundert Jahre lang über den Nordpol der Erde steht. Relativ zu den Sternen durchwandern die Äquinoktien und die Richtung zum Frühlingspunkt in dieser Zeit einmal die Ekliptik, das heißt, die Tag- und Nachtgleichen rücken jährlich auf der Ekliptik von Osten nach Westen um 50,26" Bogensekunden, der Präzessionskonstante vor. $1\,296\,000''/50,26'' = 25\,786$ Jahre. Dieses Erkenntnis ist keineswegs neu. Sie wurde bereits vor mehr als 2 000 Jahren mit bloßem Auge gewonnen. Im 3. Jahrtausend vor Christus erstellten die Griechen Timocharis und Aristyllus aus Alexandria den wahrscheinlich ersten Sternkatalog, der echte Messungen von Winkelpositionen enthielt. Als dann eineinhalb Jahrhunderte später Hipparchos seinen Katalog verfasste, stellte er fest, dass sich die Winkel zwischen den Sternen und den Äquinoktialpunkten verändert hatten. Zur Zeit von Homer lag der Frühlingspunkt wirklich im Sternbild Aries (Widder), dessen Symbol zur Kennzeichnung dieses Punktes verwendet wird. Zur Zeit steht der Frühlingspunkt in den Fischen.



Die **Präzession** wird hervorgerufen durch die Anziehung von Sonne und Mond auf den Äquatorwulst der Erde, wodurch dieser in die Ebene der Erdbahn und die Erdachse in die Senkrechtstellung zur Erdbahn getrieben wird. Da die Erde infolge ihrer Rotation wie ein Kreisel wirkt, gibt sie dieser Anziehung nicht nach, sondern weicht aus: Ihre Achse läuft mit der Periode der Präzession entlang einem Kegelmantel, dessen Spitze im Erdmittelpunkt liegt. Diese Bewegung hat das rückläufige Wandern des Schnittpunktes des **Äquators mit der Ekliptik** zur Folge (Lunisolar-P). Infolge der Anziehung durch die großen Planeten, wird auch die Schiefe der Ekliptik verändert; Der Frühlingspunkt wird dadurch jährlich um 0.12" in Richtung wachsender Rektaszension verschoben (P. durch die Planeten). Die Summe beider P. bezeichnet man als Allgemeine P. Die Konstanten der P. sind mit der Zeit schwach veränderlich.

Da die Präzession eine Drehung des **sphärischen Koordinatensystems bewirkt**, ändern sich mit ihr auch die Koordinaten der **Gestirne**. Beobachtungen zu einem Zeitpunkt müssen daher auf die eines anderen reduziert werden und umgekehrt; dabei ist auch die Nutation zu berücksichtigen. Die Präzession bewirkt ein Wandern der Pole unter den Sternen, so dass jeder Stern Polarstern werden kann, der um den Betrag der Schiefe der Ekliptik (**23°27'**) vom Pol der Ekliptik entfernt ist. Die Präzession wurde um **150 v. Chr. von Hipparch entdeckt**.

Tatsächlich wird der Frühlingspunkt immer noch als erster Punkt des Widder bezeichnet, obwohl er inzwischen im Sternbild **Fische** liegt.

Es gibt noch andere faszinierende Auswirkungen der Präzession. - Heute liegt zum Beispiel der Himmelsnordpol recht nahe bei **Polaris**, doch das war nicht immer so. In alten ägyptischen Aufzeichnungen wird **Thuban** (Draconis) als Pol- Stern bezeichnet. Der Himmelspol wird bis Anfang des nächsten Jahrhunderts noch näher an Polaris heranrücken und sich dann wieder entfernen. In 14 000 Jahren wird **Wega**, die heute in New York durch den Zenit zieht, den Himmelspol markieren. Auf der Südhalbkugel gibt es zur Zeit keinen Pol- Stern. Doch vor 3 000 Jahren befand sich die **Kleine Magellansche Wolke**, eine, mit bloßem Auge sichtbare Begleitgalaxie unserer Galaxis, an dieser Stelle.

Kulmination der Sonne

Der Zeitpunkt des örtlichen Mittag ist von großer Bedeutung, weil man durch den zeitlichen Abstand von einem örtlichen Mittag zum nächsten örtlichen Mittag den "**wahren Sonnentag**" definiert. Durch Unterteilung der Zeitspanne, die wir Tag nennen, findet man zu Stunden Minuten und Sekunden.

Die markante **Grenzsituation** zwischen zwei unterschiedlichen Verläufen der **Schattenkurve** charakterisiert einen weiteren besonderen **Zeitpunkt**, nämlich den Zeitpunkt der **Frühlings- und Herbst-Tag-und -Nachtgleiche**. Damit ist eine weitere, ganz wesentliche Definition möglich. Der zeitliche Abstand von **einer** Frühlings-Tag -und- Nachtgleiche zur **nächsten** definiert das "**Jahr**" (31 556 925,9 Sekunden)

Cäsiumuhr Der **Standardsekunde** liegt die Zahl der Schwingungen von Atomen verdampften **Cäsiums 133** zwischen zwei Magneten zugrunde.

Frühere Kalender haben das Jahr mit **360** Tagen festgelegt, allerdings haben sich hier die Jahreszeiten **gegen** den Kalender verschoben. Um diesen Nachteil zu beseitigen, haben die Ägypter fünf Tage hinzu gefügt und haben das Jahr mit **365** Tagen angenommen. Aber auch hier haben sich Schwierigkeiten ergeben, weil es offenbar noch immer nicht stimmte; Es hat sich gezeigt, dass die Jahreszeiten nach 40 Jahren dem Kalender um **10 Tage** vorausseilen.

Caesar (100-44) machte zum Jahresbeginn **45 v. Chr.** dem kalendarischen Tohuwabohu der alten Römer ein Ende. Bis dahin hatte man die nach **Mondzyklen** gerechnet und den jahreszeitlichen Stand wenig beachtet und so geriet das Kalendergerüst völlig aus den Fugen. Caesar versicherte sich der Hilfe der besten damaligen Astronomenschule, der von Alexandria, und ließ von **Sosigenes** einen Sonnenkalender entwerfen. Zur Realisierung ordnete Caesar laut Joachim Ekrutt das längste Jahr in der ganzen abendländischen Geschichte an. Das Jahr 46 v. Chr. bekam **445 Tage** zugesprochen, damit die Frühlings-Tagundnachtgleiche endlich wieder in den **Frühling** fiel und erhielt dafür den schönen Namen "**Annus confusionis**". Im zweiten Schritt wurde die Jahreslänge mit **365,25** Tagen festgelegt. Mit Beginn des Jahres 45 v. Chr. der von Julius Caesar begründete Kalender, bekannt als **Julianischer Kalender** mit **365,25** Tagen pro Jahr festgeschrieben und man hat nach 3 Jahren je 365 Tagen ein Schaltjahr mit **366** Tagen eingeschoben. Wir wissen, dass auch diese Festlegung nicht genau gestimmt hat, weil das Jahr nämlich um **11 Minuten und 14 Sekunden** kürzer als 365,25 Tagen ist. Das hatte zur Folge, dass die Frühlings-Tag- und Nachtgleiche nach **vorne** wanderte und zwar alle **128 Jahre um einen Tag**.

0,007802 Akkumulat-Tage/Jahr*86 400"=674" (11'14")

Diese Differenz hat bekanntlich im Jahr **1582** zur Festlegung des **Gregorianischen** Kalenders geführt.

Annäherung des Kalenderjahres ans Sonnenjahr

Kalender	Jahreslänge	Abweichung	
Ägyptisch :	365 d	- 20 926 s	
Julianisch:	365 d + 6 h	+ 674 s	
Gregorianisch :	365 d +5 h + 49 m + 12 s	+ 26 s	(31 556 952) Sekunden
Astronomisch:	365 d +5 h +48 m + 46 s		(31 556 926) Sekunden

Für die antiken Römer war das Herumirren der Jahreszeiten im Kalender beendet, er schien endlich ein getreues Abbild des Himmels, besser gesagt, der jeweiligen astronomischen Situation zu sein. Das Problem schien gelöst. **Doch die 11 Minuten und 14 Sekunden**, kein Viertelstündchen pro Jahr, **kumulierten** allmählich, aber unaufhaltsam. Demnach macht nach Ablauf von gut **128,2** Jahren, die winzige Ungenauigkeit des julianischen Kalenders, **einen vollen Tag** aus. Dabei sollte nicht übersehen werden, dass die Erdbahn dabei als perfektes Uhrwerk gesehen wird, das über die Jahrhunderte sekundengenau läuft.

Papst Gregor der XIII. entschloss sich zu einer Korrektur und akkumulierte die Zeit zwischen 45 vor und 1582 nach Christus mit **zehn Fehltagen**, obwohl die 1 627 dazwischen liegenden Jahre **13 Fehltag**e verlangt hätten . (Waren es Kenntnisse gewagter Thesen über so genannte " Dark Agis" wofür es so gut wie keine Bodenfunde gibt, oder wollte man die Geschichte korrigieren? Das ist eine Frage die viele Historiker interessiert und der im Besonderen Heribert Illig auf der Spur bleibt.)

Papst Gregor der XIII. ließ auf den **4. Oktober 1582** kurzerhand den **15. Oktober 1582** folgen. Alle 400 Jahre sollten ab nun in diesem " Gregorianischen Kalender" **drei Schalttage ausfallen** und zwar an **allen vollen Jahrhunderten** die nicht durch **400 teilbar** waren. Es verbleiben in **400** Jahren durch die Modifizierung nur noch **97**, anstatt **100** Schalttage. Dies gelang durch folgende Zusatzregel; Volle Jahrhunderte sind keine Schaltjahre, außer, wenn sie durch **400** geteilt werden können. Das Jahr 2 000 ist durch 400 teilbar und somit ein Schaltjahr.

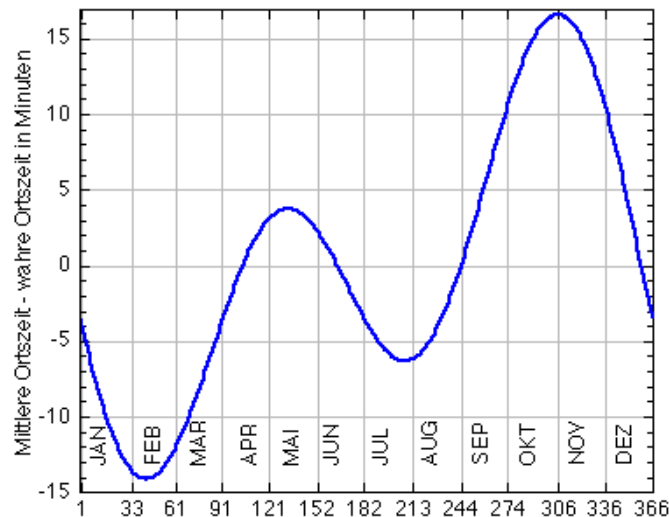
Mit dieser Regel ist die **Jahreslänge** sehr **genau** an das **astronomische Jahr** angepasst; das "Gregorianische Jahr" zählt **365, 2425 Tage** und misst damit **nur** noch **26 Sekunden** mehr, als das tatsächliche Sonnenjahr mit seinen **365, 2422 Tagen**. Bis sich dieser Fehler zu einem vollen Tag, sprich 86 400 Sekunden kumuliert, würden ab der Gregorianischen Kalenderreform **3 323** Jahre vergehen. Wir hätten dann das Jahr **4 905** und ein Akkumulat von einen Ganzen Tag (86 400 Sekunden) zu viel. Um dieses Plus zu bereinigen muss voraussichtlich Tag weltweit gestrichen werden. (und das alle **3 323** Jahre).

Nachdem das Jahr 4 904 ein Schaltjahr ist, könnte man diesen Schalttag eliminieren, Ende 4 905 würde das Akkumulat "Null" betragen, und die neuerliche Kumulierung beginnt somit 4 906. Das wäre eine Lösung, wenn die Menschheit bis dahin keine bessere Lösung findet. Somit wäre das Jahr 4 896 ein Schaltjahr, 4 900 und 4 904 wird nicht geschaltet und das nächste Schaltjahr wäre 4 908.

Kalender sind vor allem eine Kulturleistung, weil sie natürliche und kulturelle Systeme synchronisieren. Tage, Monate und Jahre sind **natürliche Zyklen**; *Wochen, Jahrhunderte und Jahrtausende* jedoch **willkürlich** festgelegte, von Menschen erfundene Zeiträume, die damit auch anfällig für Fälschungen sind. Einen fehlenden Schalttag bemerkt man sehr rasch, was ja zu diesen Kalenderreformen geführt hat. Wenn man aber etwa 300 Jahre übersprungen hätte, würde man das erst nach bestimmten Berechnungen merken.

Julianische Datum Umfassen die Beobachtungen längere Zeiträume, ist es üblich, die Zeit ganz in Tagen zu zählen. Zu diesen Zweck wurde das Julianische Datum eingeführt. Dort werden seit dem **Mittag 12 Uhr Ephemeridenzeit** des 1. Januar des Jahres **4 713** vor unserer Zeitrechnung alle Tage durchnummeriert. (Man muss aber beachten, dass es kein Jahr 0 gibt; dem Jahr 1 v. u. Zeit, folgt unmittelbar das Jahr 1 n. u. Zeit.) Das Julianische Datum des 1. Januar 1975 betrug um Mitternacht (bei Beginn des neuen Jahres) **2 442 413, 5 Tage** = 6 687 Jahre (4 713 + 1 974). **Heute um 13 h 42' 55" des 24. 3. 2000 Greenwicher Zeit** (Weltzeit seit 1925) **beträgt das Julianische Datum präzise 2 451 628, 07147 Tage.**

Die Bürgerliche Zeit beruht auf der Länge eines mittleren Sonnentages. Die Tatsache, dass sich die Erde um die Sonne bewegt, zieht für die Zeitbestimmung eine wichtige Konsequenz nach sich. Wegen ihrer Bahnbewegung muss die Erde, bezogen auf die weitentfernten Sterne, täglich etwas mehr als eine vollständige **Umdrehung** um ihre Achse ausführen, damit sie der Sonne die gleiche Seite zuwendet. Das bedeutet, dass sich die Lage der Sterne langsam verändert, wenn sie an aufeinander folgenden Tagen zur gleichen (bürgerlichen) Zeit beobachtet werden. Da der Astronom mehr an der Zeit interessiert ist, die die Erde für eine Umdrehung relativ zu den weitentfernten Sternen und nicht relativ zur Sonne braucht, ist es für ihn bequemer, **die Sternzeit** und nicht **die Sonnenzeit** zu verwenden. In Einheiten des Sonnentags ausgedrückt hat **ein Sterntag 23h 56min 4,091s**

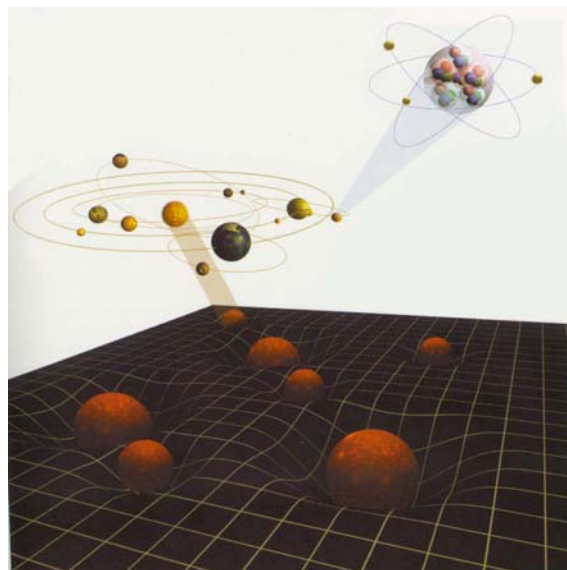


Die Weltzeit ist die Zonenzeit des willkürlich festgelegten nullten Längenmeridians (Meridian von Greenwich). Ein neuer Tag beginnt 180° Grad östlich davon.

Die Relativitätstheorie Einsteins

Die Newtonsche Theorie beschreibt die Gravitation als fernwirkende Kraft. Im Sonnensystem bewährt sie sich gut, lässt sich aber bei starken Gravitationsfeldern nicht mehr anwenden

Die Quantenmechanik beschreibt Erscheinungen auf der atomaren und subatomaren Ebene



Die allgemeine Relativitätstheorie beschreibt die Gravitation als eine Verwerfung der Raumzeit durch die in ihr enthaltene Masse und Energie. Objekte sind bestrebt, sich geradlinig fortzubewegen, aber ihre Bahnen erscheinen gebeugt, weil die Raumzeit gekrümmt ist. (siehe Bild)

Die Erdatmosphäre besteht hauptsächlich aus **Stickstoff** (78 Volumenprozent) und **Sauerstoff** (21 Prozent). Von anderen Bestandteilen haben, Wasserdampf, Argon und Kohlendioxyd den größten Anteil. der mittlere Luftdruck beträgt in Bodennähe 1013 Millibar (mb) oder Hektopascal.


Der Treibhauseffekt hält eine mittlere Oberflächentemperatur von rund **17° Celsius** (290 K) aufrecht, etwa 35° C höher, als es ohne Atmosphäre der Fall wäre. **Die Temperatur** erreicht am **Äquator** etwa **40° C** (313 K) und an den **Polen** rund **-40° C** (233 K), von Extremwerten abgesehen.

Die Atmosphäre der Erde wird in Schichten unterteilt, die untere ist die **Troposphäre**, die sich bis zu einer **Höhe** von etwa **12 Km** ausdehnt. Sie enthält den größten Teil des atmosphärischen Wasserdampfs und Wolken. Weil der Treibhauseffekt in Bodennähe am größten ist, sinkt die Temperatur mit zunehmender Höhe und erreicht ein Minimum von etwa **-56° C** (217 K) in der Tropopause (die obere Grenze der Troposphäre). Darüber befindet sich die **Stratosphäre**, die sich bis auf etwa **50 Km Höhe** ausdehnt. In dieser Schicht steigt mit zunehmender Höhe die Temperatur, bedingt durch die Absorption der Ultraviolettstrahlung der Sonne durch das Ozon.

In der **Mesosphäre** fällt die Temperatur in einer Höhe von **85 Km** wieder auf etwa **-93° C** (180 K). Die verdünnten Gase der nachfolgenden **Thermosphäre** werden durch das Sonnenlicht auf Werte von etwa **927° C** (1200 K) **bei Tag** und **527° C** (800 K) **bei Nacht** erwärmt.

In etwa **500 Km** Höhe verschmilzt diese Schicht mit der **Exosphäre**, aus der leichte Atome, wie Wasserstoff, entweichen können. In Höhen oberhalb von etwa **70 Km** werden durch die Ultraviolett- und Röntgenstrahlung der Sonne Elektronen aus einigen Atomen herausgeschlagen. Dadurch entstehen vier leitende Schichten aus Elektronen und positiven Ionen, die **Ionosphäre**, die bestimmte Radiowellen reflektiert. (0 Kelvin = - 273,15° C 0° C = 273,15 Kelvin)

Gravitative Zusammenhänge der Planeten Tabelle

γ	6,6730E-11	Umlaufgeschw.	Fliehkraft	Gravitation	Schwerebesch.	Radien	Astr. Einh.
		m/sec	Kg	Kg	m/sec ²	Meter	149598000 Km
	Massen	V	F	G	g	r	AE 
M sonne	1,9891E+30				273,4041	6,97E+08	
M merkur	3,3022E+23	47068,67385	1,2211E+22	1,2211E+22	3,7043	2439000	0,3871
M venus	4,8689E+24	35022,1681	5,5186E+22	5,5186E+22	8,8706	6052000	0,7233
M erde	5,9742E+24	29786,3110	3,543E+22	3,543E+22	9,8001	6378000	1,0000
M mars	6,4191E+23	24131,00241	1,640E+21	1,640E+21	3,7120	3397000	1,5237
M jupiter	1,8990E+27	13058,2289	4,160E+23	4,160E+23	24,85705	71400000	5,2028
M saturn	5,6840E+26	9644,201	3,7046E+22	3,7046E+22	10,53593	60000000	9,5388
M uranus	8,6978E+25	6801,055	1,402E+21	1,402E+21	8,9963	25400000	19,1818
M neptun	1,0280E+26	5433,013	6,748E+20	6,748E+20	11,19860	24750000	30,0580
M pluto	1,6000E+22	4743,106	6,1009E+16	6,1009E+16	0,6833	1250000	39,4400
M mond	7,3483E+22	1016,083	1,9647E+20	1,9647E+20	1,6233	1738000	-----

"Drei Äpfel haben"- so sagt der Philosoph Hegel - "großes Unglück angerichtet"
der Apfel der Eva - der Apfel des Paris - der Apfel des Newton.

Die Aussage ist wohl unbestritten, zweifelhaft ist nur, ob Isaac Newton tatsächlich von einem fallenden Apfel zu seinen Ideen über die Schwerkraft und in Folge zu seinem Buch "Principia Mathematica" inspiriert wurde.

Die Masse ist die Menge Materie, die ein Körper enthält. Das Gewicht ist die Gravitationskraft, die auf eine Masse ausgeübt wird. Die Masse ist eine Eigenschaft des Körpers, sein Gewicht ist abhängig von der Schwerebeschleunigung an der Oberfläche des Körpers, auf dem er sich befindet.

Zum Beispiel: Eine Masse von 100 Kg hätte auf der Oberfläche des Mondes nur etwa ein Sechstel des Gewichts wie auf der Erdoberfläche, weil die Schwerkraft auf der Mondoberfläche nur ein Sechstel der Erdoberfläche beträgt. Seine Masse, (die Menge der enthaltenen Materie) bleibt aber unverändert.

Die Erdmasse beträgt $5,9742 \cdot 10^{24}$ Kg, das ist der 332 931. Teil der Sonnenmasse. Daraus kann man ermessen wie groß die Sonnenmasse ist. Die Gesamtmasse der Planeten inkl. Monde beträgt - trotz der Riesenplaneten Jupiter und Saturn - $0,002669082713 \cdot 10^{30}$ Kg das sind in Prozenten ausgedrückt 0,13418531%. Zählt man noch die restlichen Himmelskörper (Satelliten, Asteroiden Meteoriden und sonstige Trümmer des interplanetaren Raumes) hinzu, so ändert sich der Prozentsatz innerhalb der ersten 5 Zahlen nach dem Komma nicht. Die Oberflächenbeschleunigung auf der Sonne ist 27,9 mal höher als auf der Erde. Ein 100Kg schwerer Körper würde dort 2 790 Kg wiegen. Während auf der Erde ein fallender Stein in der ersten Sekunde kaum fünf Meter tief fällt, risse ihn die Sonne, wenn er unmittelbar oberhalb ihrer Oberfläche wäre, in der ersten Sekunde mit nahezu hundertvierzig Metern an sich.

Gewicht Erde neu gewogen . Zwei US-Physiker haben die Erde mit Hilfe computergesteuerter Torsionswaagen neu vermessen und festgestellt, dass sie um gleich **sechs Millionen Milliarden Tonnen** leichter als bisher angenommen ist. Das entspricht $6 \cdot 10^{18}$ kg und ändert nur den Multiplikator von $5,9742 \cdot 10^{24}$ auf $5,974194 \cdot 10^{24}$, also um $0,000006 \cdot 10^{24}$ kg . Nur Wissenschaftler werden die Korrektur der Gravitationskonstante für ihre Berechnungen einsetzen. Für den allgemeinen Umgang mit Massen ist sie bedeutungslos. Es ist aber interessant festzuhalten, wie präzise sich die Wissenschaft, mit Hilfe elektronischer Geräte an die Fakten herantastet.

Isaac Newton's wohlbekannte Bewegungsgesetze lauten:

1. Ein sich bewegendes Körper verharrt in dieser Bewegung, es sei denn, eine äußere Kraft wirkt auf ihn ein;
2. Kraft ist gleich Masse mal Beschleunigung;
3. Für jede Kraft gibt es eine gleich große, entgegengesetzt gerichtete Gegenkraft.

Sein berühmtes **Gravitationsgesetz** besagt, dass die gleiche Kraft sowohl einen Apfel zu Boden fallen als auch den Mond um die Erde kreisen lässt. In Wirklichkeit fällt auch der Mond auf die Erde zu, kann uns aber nicht erreichen, da er sich gleichzeitig senkrecht zu seiner Verbindungslinie zur Erde bewegt. **Die Beschleunigung eines fallenden Körpers (g) ist proportional zur Masse der Erde und umgekehrt proportional zum Quadrat seiner Entfernung zum Erdmittelpunkt** (da die Erdanziehung so wirkt, als ob die gesamte Erdmasse im Zentrum konzentriert sei). Es gilt also $g = \gamma \cdot M_{\text{erde}}/r^2$ (Gr. - konstante γ wird im Labor bestimmt.) Die Beschleunigung kann für beliebige Paare sich gegenseitig anziehender Körper verallgemeinert werden und

da $F = M A$ gilt, kann man die zwischen ihnen wirkende Kraft schreiben als $G = \gamma \cdot M_{\text{erde}} \cdot M_{\text{sonne}} / R^2$
 $F = M_{\text{erde}} \cdot V^2_{\text{erde}} / R$

G = Gravitationskraft zwischen Erde und Sonne, F = Flieh oder Zentrifugalkraft.

Der Drehimpuls

Wegen der Erhaltung des Drehimpulses laufen die Planeten schneller, wenn sie sich auf ihren elliptischen Bahnen der Sonne nähern, und langsamer, wenn sie sich entfernen. Somit befinden sich G und F siehe Tabelle immer im Gleichgewicht. Bei Gleichstellung von G und F, lässt sich V berechnen. Das zweite Keplersche Gesetz findet seine Verallgemeinerung im so genannten Prinzip der Erhaltung des Drehimpulses. Man binde einen Stein an eine Schnur und lasse ihn über dem Kopf kreisen. Der Drehimpuls des Steins ist dann definiert, als die Masse des Steins mal seiner Geschwindigkeit mal der Länge der Schnur. Einmal entstanden, ändert sich der Drehimpuls ohne äußere Krafteinwirkung nicht mehr; Wenn man die Schnur verkürzt, erhöht sich eben die Geschwindigkeit des Steins. So dreht sich

auch ein Schlittschuhläufer, der bei der Pirouette seine Arme anzieht, auf magisch anmutende Weise schneller.

Die Krümmung der Erdoberfläche macht sich schon in geringer Entfernung bemerkbar; Der Abstand der Erdoberfläche von einer ihrer Berührungsebenen beträgt 7,8 cm in 1 Km und schon 7,8 m in 10 Km Entfernung vom Berührungspunkt. Der Tiefenwinkel beträgt im ersten Fall $0^{\circ} 00' 16'' 09$ und bei 10Km $0^{\circ} 02' 40'' 89$. Bei 50 Meter Höhe sieht man 25 Km und bei 100 Meter Höhe bereits 38 Km weit. Der Horizont wird mit zunehmender Höhe immer größer. Bei hohen Bergen kann man, wenn man den Tiefenwinkel an die Kimm tangential anlegt, die Höhe des Berges messen, aber auch, unter Berücksichtigung der Strahlenbrechung der Luft (vermindert um $1/13$ sehr weit sehen). Bei Schlachtschiffen des ersten Weltkrieges wählte man für Beobachtungstürme jene Höhen, die den Geschützreichweiten entsprachen. Man sah den Gegner, blieb aber mit dem Schiff hinter dem Horizont. Vorteil hatte die höhere Reichweite.



Westküste Europas und Afrikas vom Satelliten aus gesehen mit fortschreitender Nachtgrenze

Albedo

Die Albedo ist der Quotient aus reflektierter Strahlung (von der Erdoberfläche oder von einem bestimmten Teil von dieser) zur einfallende Sonnenstrahlung, aufsummiert über den ganzen Halbraum und über alle Wellenlängen. Das planetarische Albedo der gesamten Erde beträgt 0,30, d.h. 30% der einfallenden Sonnenstrahlung werden in den Weltraum reflektiert. Einige Werte: frischer Schnee 85%, geschlossene Wolkendecke 60-90%, Wiesen 15-35%, Wälder 10-20%, Wasser (Meer) 5-10%. Die Albedo des Mondes beträgt etwa 12%.

Irdischer Tag

Der irdische Tag dauerte früher nur **18 Stunden**, das fanden US-Wissenschaftler heraus, das Jahr hatte fast 500 solcher Kurztage. Das war freilich vor 900 Millionen Jahren, wie Wissenschaftler der Universität von Arizona in Tucson herausfanden. Sie zählten die Schichten jener Ablagerungen, die von den Gezeiten hinterlassen worden waren. Bekannt ist, dass Ebbe und Flut die Umdrehung der Erde abbremsen. Vor 900 Millionen Jahren war der Mond um 40 000 Km näher der Erde, entsprechend rascher drehte sich die Erde um ihre Achse.

Demnach hatte das Jahr 486, 9895 Tage a **64 800 Sekunden**. Die Gezeitenreibung ist die Ursache für das langsamer werden der Erdrotation. Damit der Drehimpuls erhalten bleibt, muss sich zwangsläufig die Mondbahn vergrößern.

Bei angenommener kontinuierlicher Entwicklung entfernte sich der Mond zu obiger Feststellung um 4,44cm jährlich. Die Gezeiteneffekte im Mondkörper verlangsamten seine Rotation, bis sie mit seiner Bahnbewegung synchronisiert war. Wegen der Erhaltung des Drehimpulses verlangsamte sich auch die Tageslänge zu **86 400 Sekunden (24 Stunden)**. Heute gibt es kein Nettodrehmoment, die Situation ist stabil.

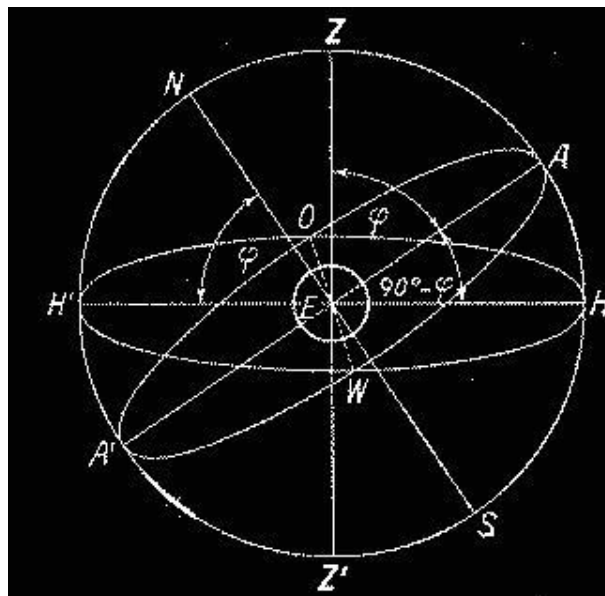
Was ist Zeit

Stunden, Minuten und Sekunden bestimmen unser Leben. Man sagt: " Wo sind die Jahre geblieben" Warum dieses Thema den Menschen so beschäftigt, ist einfach: Wir haben keinen Zeitsinn. Wir merken zwar, dass die Haut Falten bekommt, oder die Haare grau werden, aber in der Selbstwahrnehmung sind wir immer dieselben geblieben. In der Physik heißt es, "Zeit ist vergangen, wenn die Unordnung zugenommen hat" und sie nimmt ständig zu, denn jeder Handgriff verbraucht Energie. Ein beliebtes Beispiel zeigt, dass sich das Rad der Zeit nur in eine Richtung dreht: Eine Tasse, die vom Tisch fällt, zerspringt in zahlreiche Scherben. Man hat aber nie erlebt, dass diese Tasse wieder auf den Tisch zurückgesprungen wäre. So bedeutet Zeit, dass sich eine Sache von einem Zustand zu einem anderen entwickelt. Wenn das nicht so wäre, könnten wir keinen einzigen Vorgang messen.

Am Rand der Forschung steht auch der Begriff der Gleichzeitigkeit. Wann passieren Dinge tatsächlich im selben Moment? Schon Einstein bemerkte in seinen ersten Ausführungen zur Relativitätstheorie, dass man Vergleiche braucht, um überhaupt über Zeit reden zu können. Er hielt fest, dass sich alles maximal mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten kann. Für die Himmelsbeobachtung bedeutet das: Je weiter ein Sternweg ist, desto tiefer sieht man durch sein Licht in die Vergangenheit.

Himmelskunde

Infolge der Erddrehung von West nach Ost zeigt sich einem Beobachter auf der Erde der Himmel mit seinen Gestirnen als eine Kugel, die sich um die verlängerte Erdachse als Weltachse NS von Ost nach West zu drehen scheint. Die Senkrecht zur Erdachse durch den Erdmittelpunkt gelegte Äquatorebene schneidet die Himmelskugel im Himmelsäquator AA'.



Die in einem Beobachtungsort an die Erde gelegte Tangentialebene heißt der scheinbare, die parallel dazu durch den Erdmittelpunkt gehende Ebene der wahre Horizont HH'. Der Winkel H' E N, den die Weltachse mit der Horizontalebene bildet, heißt die Polhöhe. Der Winkel zwischen Äquatorebene und Zenitlinie ZZ' ($\angle A E Z$) ist gleich der geographischen Breite φ des Beobachtungsortes. Da $\angle H' E N$ und $\angle Z E A$ Normalwinkel sind, so folgt daraus: Die Polhöhe und die geographische Breite eines Ortes sind einander gleich. Der Winkel H E A, den die Äquator - mit der Horizontalebene bildet, heißt die Äquatorhöhe. Die Polhöhe (geographische Breite) ergänzt die Äquatorhöhe auf 90° . Die Äquatorhöhe ist daher ($\alpha = 90 - \varphi$).

Während die Fixsterne ihre gegenseitige Lage am Himmelsgewölbe nicht ändern, durchwandert die Sonne innerhalb eines Tages einen größten Kreis, dessen Ebene den Himmelsäquator unter einem Winkel von $\varepsilon = 23^\circ 27'$ schneidet und dessen eine Hälfte auf dem nördlichen und dessen andere Hälfte auf dem südlichen Teil der Himmelskugel liegt. Dieser größte Kugelkreis heißt Ekliptik, der Winkel ε die Schiefe der Ekliptik.

Die Bewegung der Sonne auf der Himmelskugel ist nur eine scheinbare und hat ihre Ursache in der wirklichen Bewegung der Erde innerhalb eines Jahres. Die Jahresbahn der Erde ist eine Ellipse, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht. Die Erdbahn ist als Kreis gezeichnet, da die Exzentrizität der Erdbahn nur 0,0167 beträgt, das heißt, die kleine Halbachse b ist das 0,9997 fache der großen Halbachse a und daher von dieser nicht allzu viel verschieden.

Die Erdachse bildet mit der Erdbahn, die in der Ebene der Ekliptik liegt, einen Winkel von $66^\circ 33'$ (Kompliment zur Schiefe der Ekliptik). Die Lage der Erdachse bleibt bei der Wanderung der Erde um die Sonne stets sich selbst parallel.

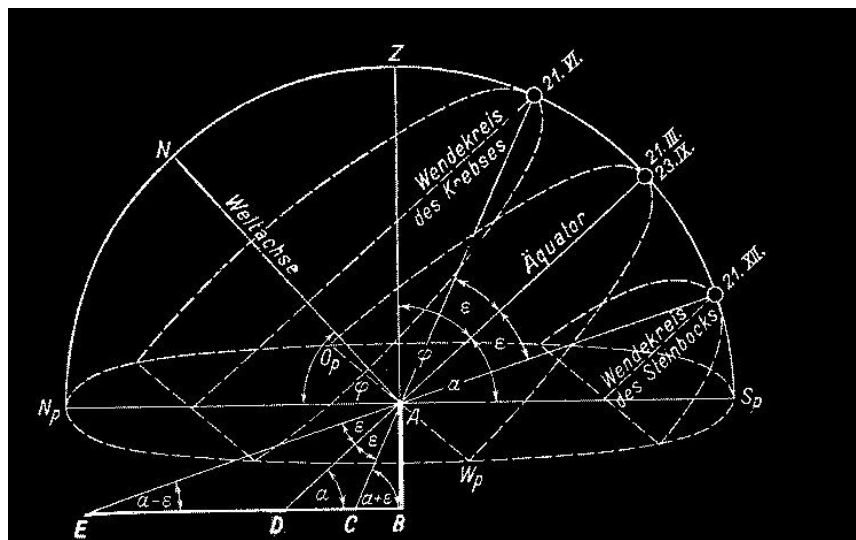
Der mittlere Halbmesser der Erdbahn (149 598 000 Km) ist im Vergleich zum Halbmesser der Erde rund (6370 Km) ungefähr 23470 mal so groß, so dass die Sehstrahlen von jedem Punkt der Erde gegen die Sonne und das Himmelsgewölbe als parallel zueinander angesehen werden können. Wenn wir daher die Sonne von einem bestimmten Beobachtungsort der Erde aus an das Himmelsgewölbe projizieren, so durchläuft die Sonne die Ekliptik, deren einzelne Teile nach den verschiedenen Sternbildern in ihrer Gesamtheit Tierkreis oder Zodiakus genannt werden. Der eine Endpunkt der Schnittlinie zwischen Äquator - und Ekliptikebene, in dem die Sonne am 21. März steht, heißt der **Frühlingspunkt**.

Da die Ekliptik die scheinbare tägliche Drehung der Himmelskugel mitmacht, so beschreibt die Sonne eine Schraubenlinie, die in den beiden Wendekreisen ihre größte Entfernung vom Äquator erreicht. Die schräge Stellung der Erdachse bewirkt also die Änderung der Entfernung der Sonne vom Äquator; diese Entfernung wird im Winkelmaß gemessen und heißt die Deklination δ der Sonne für den betreffenden Tag. Sie wird auf der nördlichen Hälfte der Himmelskugel als positiv (+), und auf der südlichen Hälfte als negativ (-) gezählt. Die tägliche Änderung der Deklination der Sonne bedingt auch die tägliche Änderung der Tagbogenlänge der Sonne und den Wechsel der Jahreszeiten.

Durch das Verhältnis der Stablänge zur Schattenlänge eines senkrecht zum Horizont aufgestellten Stabes, kann beim Meridiandurchgang der Sonne der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen gegen den Horizont und damit die größte Sonnenhöhe für den betreffenden Tag bestimmt werden. Ein solcher Stab heißt GNOMON.

Steht die Sonne am 21. März und am 23. September im Äquator (Tag- und Nachtgleiche, Äquinoktium), dann ist der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen gleich der Äquatorhöhe α

$$\alpha = 90^\circ - \varphi \text{ und } \operatorname{tg} \alpha = AB/BD$$



Steht die Sonne am **21. Juni** im Wendekreis des Krebses (Sommersonnenwende, Solstitium) dann ist der Einfallswinkel $\alpha + \varepsilon$ und $\text{tg} (\alpha + \varepsilon) = AB/BC$

Hat die Sonne am **21. Dezember** den Wendekreis des Steinbocks erreicht (Wintersonnenwende), so ist der Einfallswinkel $\alpha - \varepsilon$ und $\text{tg} (\alpha - \varepsilon) = AB/BE$

Für beliebige Tage des Jahres ist die Sonnendeklination $\pm \delta$, daher der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen beim Meridiandurchgang der Sonne $\alpha \pm \delta$ und $\text{tg} (\alpha \pm \delta) = \text{Stablänge}/\text{Schattenlänge}$

Aus der Beziehung $\alpha = 90^\circ - \varphi$ ist die geographische Breite des Beobachtungsortes $\varphi = 90^\circ - \alpha$ bestimmbar.

US-Raumsonde überprüft Einstein

Nach 45-jähriger Vorbereitung ist die US-Sonde "Gravity Probe B" ins All gestartet. Das 700-Millionen-Dollar-Projekt soll 18 Monate die Erde umkreisen und wichtige Aussagen von Albert Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie überprüfen.

Forscher der Universität Stanford wollen mit Hilfe der Sonde, deren Laufbahn 640 Millionen Kilometer von der Erde entfernt ist, nachweisen, dass sich der Raum langsam um die Erde dreht. Der Kern des Experiments sind vier Gyroskope-sich drehende Quarzkugeln in der Größe von Tischtennisbällen. Für höchste Genauigkeit befinden sie sich bei einer Temperatur nahe dem absoluten Nullpunkt von minus 273 Grad Celsius in einem Vakuumbehälter. "Die ruhigste Umgebung die es je gab", schwärmt NASA-Direktorin Anne Kinney. In der Umlaufbahn werden die Kugeln in Rotation versetzt- ändert sich die Richtung ihrer Rotationsachse im Laufe eines Umlaufs, ist Einsteins Theorie bestätigt.

Spezielle Relativitätstheorie

Eine Theorie, die besagt, dass die physikalischen Gesetze in allen Inertialsystemen gleich sind. Aus ihr folgt weiter, dass die Lichtgeschwindigkeit in jedem Inertialsystem gleich ist, selbst wenn sie sich in relativer Bewegung zueinander befinden. Hieraus ergibt sich, dass die Lichtgeschwindigkeit eine Naturkonstante ist. Die spezielle Relativitätstheorie sagt eine Reihe interessanter Effekte voraus:

1. Zeitverlangsamung: Zwei identische Uhren laufen unterschiedlich schnell, wenn sie sich in relativer Bewegung zueinander befinden (die bewegte Uhr scheint langsamer zu gehen). Die genaue Beziehung lautet:

$$\tau_1 = \frac{\tau_0}{\alpha}$$

in der T_0 die Zeit ist, in der sich die Zeiger der ruhenden Uhr bewegen und T_1 die Zeit bedeutet, in der sich die Zeiger der bewegten Uhr bewegen. Die Größe α ist der relativistische Faktor, der durch die Beziehung untere Formel definiert ist. Darin bedeuten c die Lichtgeschwindigkeit und v die Geschwindigkeit der bewegten Uhr.

$$\alpha = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

2. Längenkontraktion: In einem bewegten System scheinen sich Längen in Bezug auf ein ruhendes System zu verkürzen. Es gilt die Beziehung

$$L_1 = \alpha \cdot L_0$$

3. Massenzunahme Die Masse eines bewegten Körpers ist größer als die eines ruhenden Körpers. Für diesen Sachverhalt gilt die Beziehung

$$M_1 = \frac{M_0}{\alpha}$$