

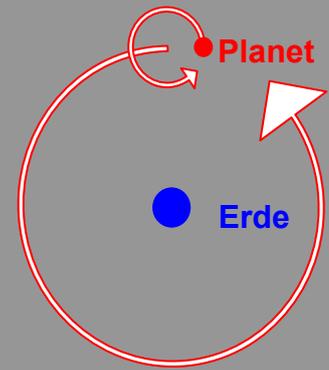
Geschichte der Astronomie

Prähistorische Astronomie



Die Bewegungen von Sonne und Mond sind Zeitgeber für Kalender

Griechen



Die Sonne und alle Planeten kreisen auf Epizykeln um die Erde.

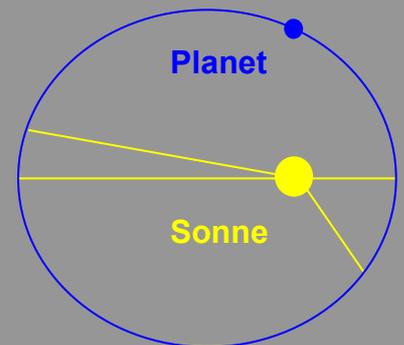
PTOLEMAIOS

Neuzeit



„Die Bewegungen von Körpern in einem gegebenen Raum sind untereinander die gleichen, ob sich der Raum in Ruhe befindet oder ob er sich konstant auf einer geraden Linie bewegt.“ GALILEI

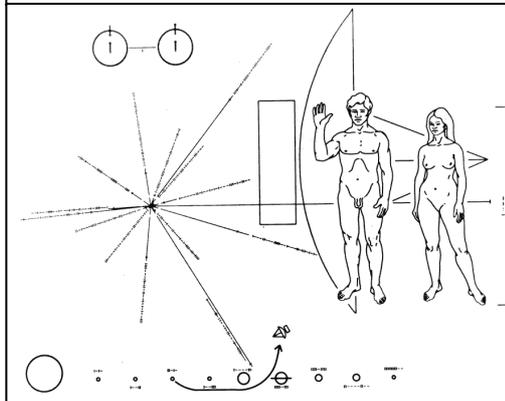
Kepler



Planeten laufen auf Ellipsen um die Sonne.

Die grau unterlegten Zeilen sind Grundwissen.

18. bis 20. Jahrhundert



„Ethik ist eine bis ins Unendliche erweiterte Verantwortung.“

ALBERT SCHWEITZER

Quellen

PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

Autore J. S. NEWTON, Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheseos
Professore Lucasiano, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. P. P. Y. S., Reg. Soc. P. R. Æ. S. S.
Julii 5. 1686.

[Andere Datei](#)

Exkurse

- Winkelgeschwindigkeit
- Zentripetalkraft
- Corioliskraft
- Mechanische Modelle der Weltbilder
- Rechenmaschinen, Differentialgetriebe
- Drehbare Sternkarten
- Ellipsen, Großkreise
- sphärischer Exzess
- Fernrohre
- Sonnenuhren
- Gezeiten

Altsteinzeit

Die prähistorischen Menschen hatten kaum künstliches Licht, also lange, dunkle Nächte. So waren ihnen die grundlegenden Bewegungen am Himmel vertraut:

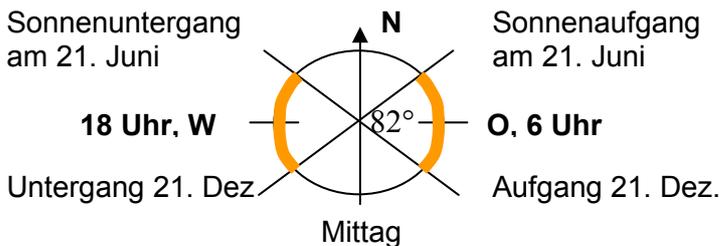
- Die tägliche Bewegung der Sonne vom Aufgang im Osten über den höchsten Stand am „Mittag“ im Süden bis zu ihrem Untergang im Westen (von der Nordhalbkugel aus gesehen).
- Die Sterne, geordnet in Sternbildern. Sie scheinen sich ebenfalls wie der Zeiger einer Uhr von Osten nach Westen um den Himmelsnordpol zu drehen (zur Zeit um den Polarstern).
- Auch im Lauf eines Jahres dreht sich der Sternenhimmel: An einem Winterabend sieht er aus als in einer Herbstnacht.
- Die wiederkehrenden Mondphasen, die sich als Zeitmaß für einen (synodischen) Monat aufdrängen: ☽ ☾, ☾ ☽, ☽ ☾.
- Die jahreszeitliche Veränderung des Sonnenstands:

Die Wintertage sind kurz, zur Wintersonnenwende kommt die Sonne nicht sehr weit über den Horizont. Zur Sommersonnenwende vollführt sie einen großen Bogen und steht mittags hoch am Himmel. Im Frühjahr und im Herbst sind Tage und Nächte gleich lang. → [Äquinoktium](#).

A₁: Berechne α , den höchsten Stand der Sonne (siehe Bild).

Jungsteinzeit

Mit dem Übergang zum Ackerbau werden Kalender für Aussaat und Ernte wichtig; mit der Erfindung der Schrift können Beobachtungsreihen über viele Generationen geführt werden. Genauere Messungen und daraus folgend genauere Vorhersagen sind Herrschaftswissen. Anlagen wie in Goseck oder Stonehenge dienen einerseits der Beobachtung, andererseits zur Demonstration des daraus resultierenden Machtanspruchs. Sie ermöglichen, die Sonnenwenden und damit den Jahresanfang taggenau zu datieren.

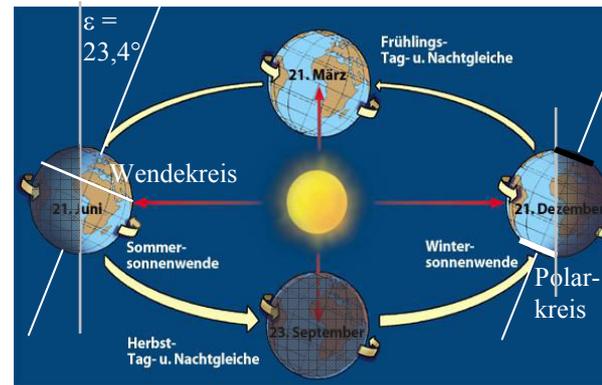


Bronzezeit

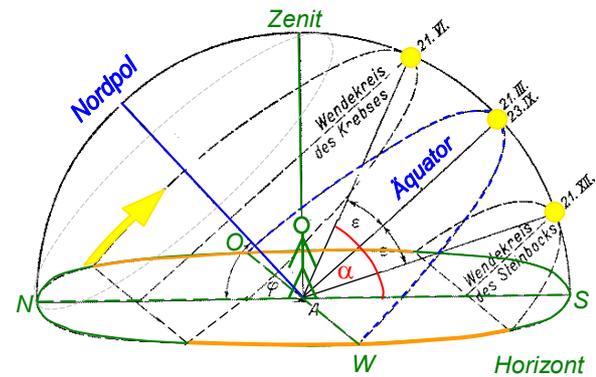
Die Länge eines synodischen Monats mit durchschnittlich etwa $29\frac{1}{2}$ Tagen ist kein Teiler eines Jahres. Es werden Möglichkeiten untersucht, beide Zeitmaße im Kalender zu vereinen:

- Altägypten (wie der Französische Revolutionskalender): Die Nilflut beginnt, wenn der Sirius gemeinsam mit der Sonne am Morgenhimmel aufgeht. 12 Monate zu je 30 Tagen plus fünf zusätzliche Tage am Jahresende für 365 Tage. Ohne Schaltjahre ist ein Jahr etwa $\frac{1}{4}$ Tag zu kurz, so dass sich das Datum der Nilflut immer weiter verschiebt: Nach 1460 Jahren um ein ganzes Jahr. Später werden dagegen Schaltjahre eingeführt, aber im religiösen Streit wieder abgeschafft.
- Nebra, -2100 (Hypothese): Wenn im Frühjahr die Plejaden wieder sichtbar werden, beginnt zum nächsten Neumond das neue Jahr (ähnlich wie heute Ostern)?

Jahreszeiten und Erdachse, heliozentrisch



Die Bahn der Sonne zu Sonnenwenden und Tag- und Nachtgleiche, geozentrisch



φ = nördliche Breite, in Lauf $49,5^\circ$
 $\varepsilon = 23,4^\circ$, „Schiefe der Ekliptik“

Megalithen von Stonehenge, England



Himmelscheibe von Nebra, Sachsen-Anhalt



- Auch am Taghimmel stehen unsichtbar die Sterne.

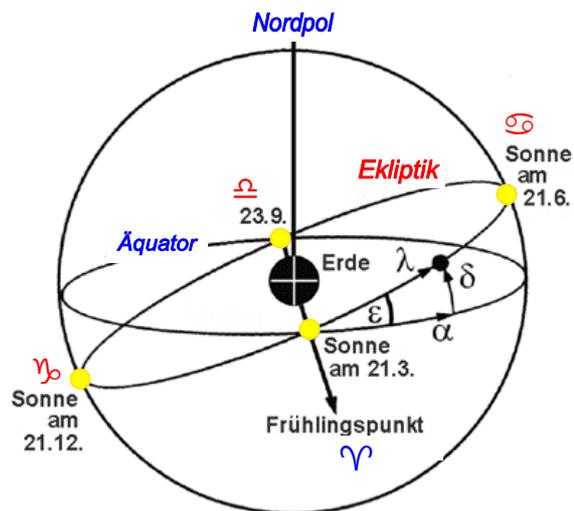
Die Sonne wandert in einem Jahr durch die zwölf Sternbilder des Tierkreises (der → [Ekliptik](#)).

- Der Frühlingspunkt ♈ liegt dort, wo die Sonne am 21. März über den Himmelsäquator tritt. Das definiert - nach dem Pol - die zweite Richtung im Koordinatensystem.

- Mesopotamien: 12 · 30 Tage ergeben 360 = 2 · 2 · 2 · 3 · 3 · 5 Tage. Der Kreis wird in 360° und die Tierkreis-Sternbilder in 12 · 30° eingeteilt. Das Sechzigersystem verwenden wir heute noch.

Babylonische Astronomen messen später die Periodendauern über viele Jahrhunderte so genau, dass sie die komplexen Überlagerungen trennen und Sonnen- und Mondfinsternisse voraussagen können (Saroszyklus). Thales lernt von ihnen. Nach einem siderischen Monat von 27,322 d = 27 d 7 h 43 min steht der Mond wieder vor dem gleichen Sternenhintergrund.

Die Planeten wandern relativ zu den Fixsternen. Unklar bleibt noch, warum ihre Winkelgeschwindigkeit nicht konstant ist und sie manchmal ein paar Wochen lang ihre Richtung umkehren.



Äquatoriales Koordinatensystem

A₂: Erkläre, wie die Mondphasen zustande kommen!

Griechen

Die schnelleren Himmelskörper werden von äußeren Sphären getragen, die langsameren von inneren (die Fixsterne brauchen 23 h 56 min, der Mond 24 h 49 min für einen Umlauf).

[Aristoteles](#), -350, der bedeutendste Philosoph der Geschichte

Bewegungen erfolgen entweder naturgemäß oder naturwidrig: Nur Lebewesen bewegen sich aus eigenem Antrieb. Alles andere wird entweder von etwas bewegt oder es strebt geradlinig seinem natürlichen Ruhepunkt entgegen und kommt dort zum Stillstand: Wasser und Erde zum Mittelpunkt der Erde(!), dem Zentrum der Welt, Feuer und Luft nach oben. Je schwerer ein Körper ist, desto schneller fällt er.

Beispiel: Die gewaltsame Bewegung eines Steins beim Wurf dauert nur so lange, wie ihre Ursache wirkt. Die schleudernde Hand führt zur Kompression der Luft, die den Stein nach dem Verlassen der Hand weitertreibt, bis sie sich verliert.

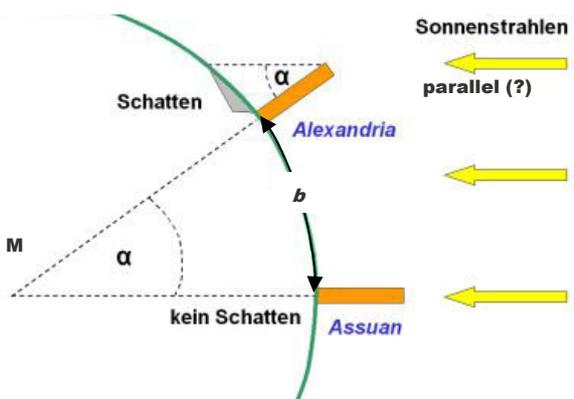
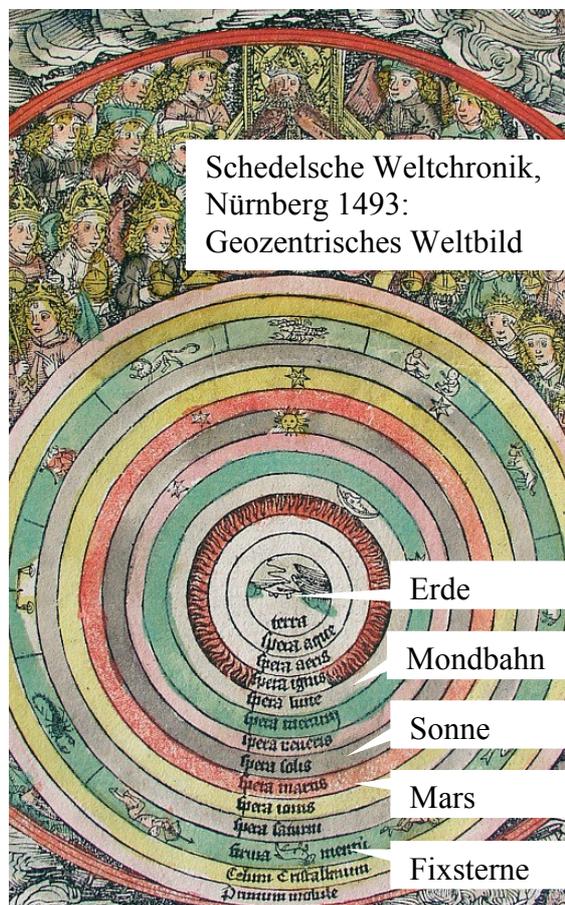
Das fünfte Element (quintessenz) ist der Äther des Himmels, dort gelten andere Gesetze: Er bewegt sich kreisförmig und ewig.

[Eratosthenes](#), -250

Während mittags die Sonnenstrahlen senkrecht in einen Brunnen bei Assuan scheinen, bilden sie mit einem Obelisken in Alexandria einen Winkel von $7,2^\circ = \frac{360^\circ}{50}$. Die Entfernung beider Orte beträgt 5000 Stadien, vielleicht zu je 167 m.

A₃: Berechne aus diesen Angaben den Erdumfang!

Eratosthenes erkennt, dass die Tageslängen außer von der Jahreszeit auch von der geographischen Breite abhängen. Er bestimmt die Wendekreise und die Polarkreise. Caesar lässt dies 200 Jahre später nach der Eroberung Britanniens prüfen. Er führt die von Eratosthenes vorgeschlagene Kalenderreform durch, nach der jedes vierte Jahr 366 Tage haben soll.



Aristarch, -300

1. Seit Aristoteles (also auch im Mittelalter!) ist bekannt, dass die Erde eine Kugel ist. Er erkennt nämlich, dass ihr Schatten bei einer Mondfinsternis immer die Form einer Kreisscheibe hat, egal aus welcher Richtung sie beleuchtet wird. Den Durchmesser der Erde ermittelt Aristarch als das etwa 2,9-fache des Monddurchmessers (tatsächlich: 3,7-fach).

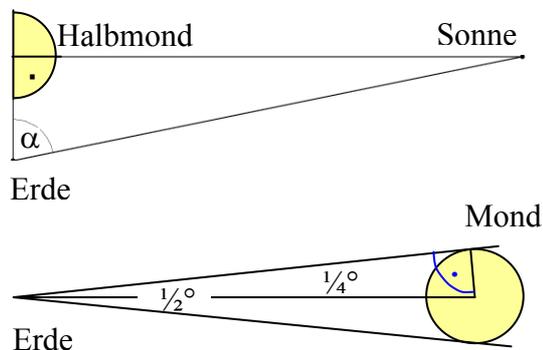
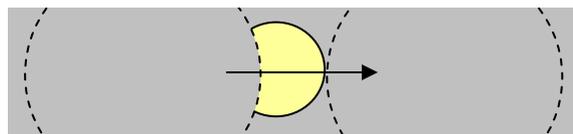
2. Der Vollmond erscheint unter einem Winkel von $\frac{1}{2}^\circ$. $r_M \Rightarrow \overline{EM}$
 3. Bei Halbmond ist der Winkel Mond-Erde-Sonne größer als 87° (tatsächlich ist er $89^\circ 51'$). $\overline{EM} \Rightarrow \overline{SE}$
 4. Die Sonne erscheint von der Erde aus betrachtet unter dem gleichen Sehwinkel wie der Mond, also $\frac{1}{2}^\circ$. $\overline{SE} \Rightarrow r_S$

Er folgert: Die Erde kreist um die viel größere Sonne

Das erscheint seinen Zeitgenossen unglaublich:
 Warum bemerkt man dann bei der Rotation keinen Fahrtwind?

A₄: Bestimme mit Eratosthenes' und Aristarchs Überlegung den Durchmesser der Sonne (heute mit sinus)!
 Ergebnis > 85 000 km, tatsächlich beträgt er 1,4 Mio km.

Der Erdschatten zieht über den Mond



Der Sehwinkel von Mond bzw. Sonne

Hipparch, -150

Hipparch vermisst einen umfangreichen Sternkatalog. Er erkennt, dass sich die Sternbilder des Tierkreises im Lauf von Jahrhunderten verschieben. Heute wissen wir, dass wegen der Präzession der Erdachse (wie bei einem Kreisel) der Himmelsnordpol mit einer Periode von ca. 25 800 Jahren wandert. In der Antike stand also kein Polarstern im Norden.

Mechanismus von Antikythera, -100

Ein antikes mechanisches Rechenwerk aus Zahnrädern, das unter anderem Sonnen- und Mondkalender bestimmt.

Ptolemaios, +150

Die rückläufige Planetenbewegung lässt sich durch eine Überlagerung mehrerer Kreisbewegungen beschreiben.

Geozentrisches Weltbild bis zum Ende des Mittelalters:
 Jeder Planet kreist auf seinem Epizykel, dessen Mittelpunkt um die Erde kreist.

Beispiele:

Die Bahn des Mars liegt außerhalb der Bahn, die die Sonne um die Erde zieht. Er kann nie zwischen ihr und der Erde stehen. Die Bahn der Venus liegt innerhalb der Bahn der Sonne, also steht die Sonne nie zwischen Erde und Venus (siehe *Galilei).

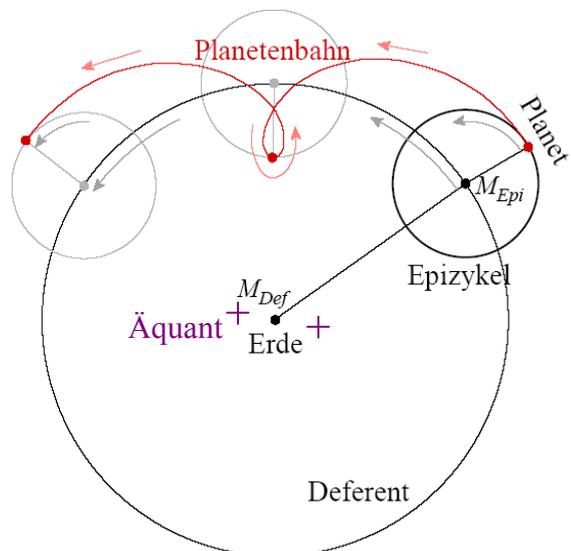
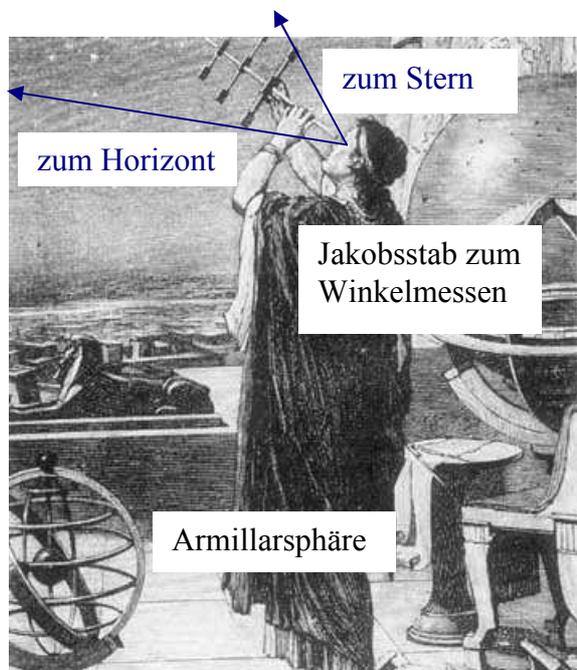
Mit diesen und einigen weiteren Hilfskreisen können alle Beobachtungen der Antike erklärt und sehr genaue Vorhersagen getroffen werden.

Hypatia, +400

Sie vervollkommnet unter anderem das Astrolabium, ein astronomisches Beobachtungs-, Mess- und Rechengerät.

→ Moderne drehbare Sternkarte <http://sternkarte.star-shine.ch/>

Hypatia hält als erste physikalische Experimentalvorträge. Als bedeutendste Forscherin der Spätantike wird sie bei der Heidenverfolgung von einer Bande Mönche grausam ermordet.



Beginn der Neuzeit

In der mittelalterlichen Scholastik zählen vor allem Argumente, die sich auf kirchlich anerkannte Autoritäten berufen. Aber in Konstantinopel und vor allem in Arabien kann das antike Wissen überdauern und wird dort noch ausgebaut. Nach dem Fall von Spanien und Byzanz verbreiten es fliehende Wissenschaftler wieder in Europa.

In der Aufklärung werden eigene Beobachtungen wichtiger als Überlieferungen von Aristoteles oder Interpretationen der Bibel

Eine der führenden Städte in dieser Zeit des Aufbruchs ist Nürnberg mit dem unabhängigen Geist der freien Reichsstadt. Es wird ein mathematisches Zentrum Europas:

Regiomontanus entwickelt Winkelfunktionen (z.B. sinus) für genauere Messungen mit dem Jakobsstab. Seine Instrumente und Tabellen verbessern die Möglichkeiten von Entdeckern wie Kolumbus 1492, nach den Sternen zu navigieren.

Behaim fertigt 1494 den Globus an, weil sich die Erdoberfläche nicht verzerrungsfrei in die Ebene abbilden lässt.

Hervorragende Feinmechaniker stellen Werke her wie die Taschenuhr von Peter Henlein 1510 oder präzise astronomische Messgeräte von Johannes Praetorius um 1570.

1543 wird das Hauptwerk von Nicolaus Kopernikus, [De Revolutionibus Orbium Coelestium](#), in Nürnberg veröffentlicht.

1600 entwickelt Abdias Trew, der Großvater von Christoph Jacob Treu und ein Gegner von Kopernikus, den Jakobsstab weiter: Er erkennt, dass das Zentrum der Streckung nicht am Ende des Stabs, sondern in der Pupille des Beobachters liegt.

Kalenderreform

Nach dem julianischen Kalender sind alle durch vier teilbaren Jahre 366 Tage lang. Weil aber ein Jahr nicht $365\frac{1}{4}$ Tage, sondern ca. 365,2422 Tage hat, hat sich der Frühlingsanfang bis ins 16. Jahrhundert um 10 Tage verschoben. Das aber stand im Widerspruch zur Berechnung des Ostertermins und ließ die Christen um ihr Seelenheil bangen. Alle wichtigen Astronomen waren ^{des}/₂ zu einer Kalenderreform eingeladen: Im Jahr 1582 folgte auf den 4. Oktober der 15. Oktober. Daraufhin war die Tag- und Nachtgleiche der folgenden Jahr wieder am 21. März. Im gregorianischen Kalender sind jetzt Hunderterjahre keine Schaltjahre, außer sie sind Vielfache von 400:

2000 hatte einen 29. Februar, 1900 nicht.

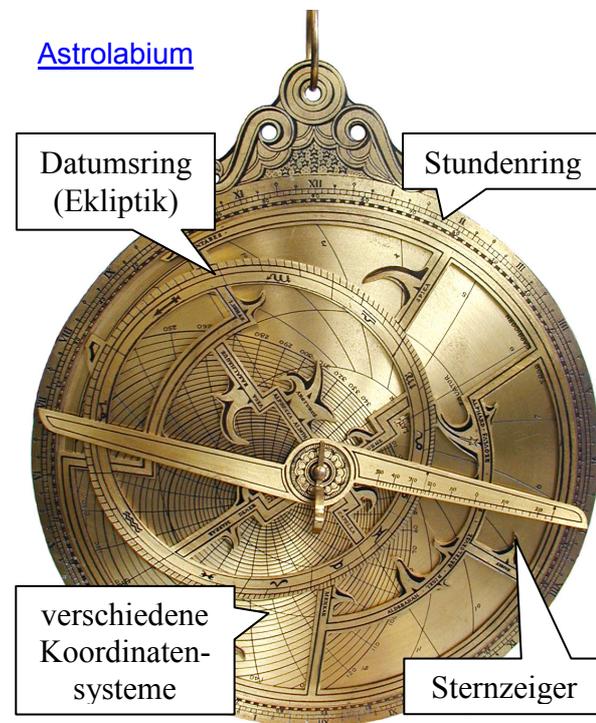
Tycho Brahe, ca. 1580

Tycho Brahe misst die besten Beobachtungsdaten, die mit bloßem Auge möglich sind. In seinem Modell umkreist die Sonne die Erde, die anderen Planeten umkreisen die Sonne.

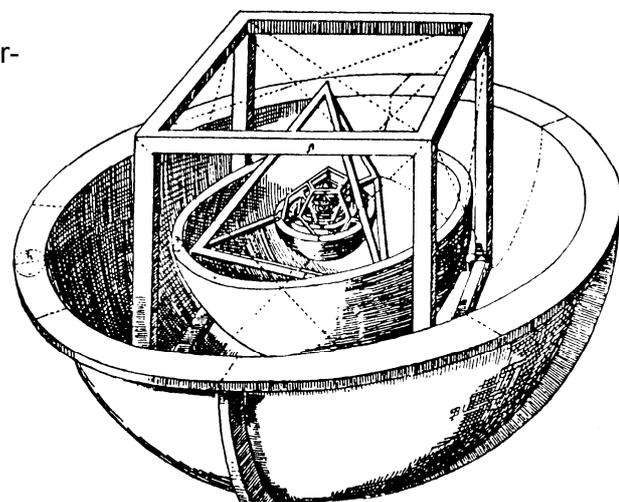
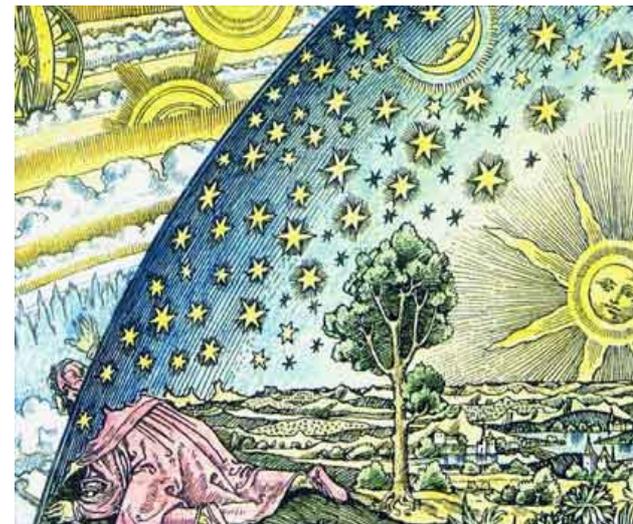
Astrologie

Seit Anbeginn glaubten die Menschen, dass die Konstellation der Sterne einen Einfluss auf ihr Leben habe. Alle wissenschaftlichen Untersuchungen zeigen aber, dass keinerlei Zusammenhang besteht (→ <http://www.wahrsagercheck.de>). Trotzdem war dieser Aberglaube ein wesentlicher Antrieb für astronomische Forschungen in der Antike und im Mittelalter.

Astrolabium



Ausbruch aus der mittelalterlichen Welt, Holzstich von Flammarion, 1888.



Keplers erste Versuche zur Weltharmonie: Um die Planetenbahnen geschachtelte platonische Körper

Die Kopernikanische Wende

[Nicolaus Kopernikus](#), 1509

Er nimmt die Sonne als Mittelpunkt an. Um sie kreisen alle Planeten einschließlich der Erde (heliocentrisches Weltbild).

Dies erklärt die rückläufige Planetenbewegung zwanglos. Allerdings ist die Voraussagequalität wegen der Kreisbahnen anfangs noch nicht überzeugend und ihre Annahmen widersprechen dem gesunden Menschenverstand des Mittelalters, weil zum Beispiel auf der bewegten Erde ein Fahrtwind zu spüren sein sollte. Solange Kopernikus seine Idee nur als Rechenrick darstellt und nicht als wirkliche Beschreibung der Welt, hat auch die Kirche kein Problem damit.

Diese „kopernikanische Wende“ ist von bahnbrechender kulturgeschichtlicher Bedeutung, weil sie die Sonderstellung der Erde (und damit des Menschen) in Frage stellt.

[Giordano Bruno](#), 1600

Er behauptet, im unendlichen Weltall kreisten Planeten um andere Sterne, und wird in Rom als Ketzler verbrannt.

[Galileo Galilei](#), 1609

Galilei erforscht die Naturgesetze durch Experimente. Damit ist er der Begründer der modernen Physik.

„Das Buch der Natur ist in mathematischer Sprache geschrieben. Ohne Geometrie zu beherrschen, versteht man kein einziges Wort.“

Er findet die Pendel- und Fallgesetze, Trägheit, Auftrieb u.a. Seine Schriften kommen zum Teil auf den Index, das heißt, sie sind Katholiken bei Androhung der Exkommunikation verboten.

1609 hört er von der Erfindung des Fernrohrs in Holland und erfindet es auch. Er erkennt am Himmel:

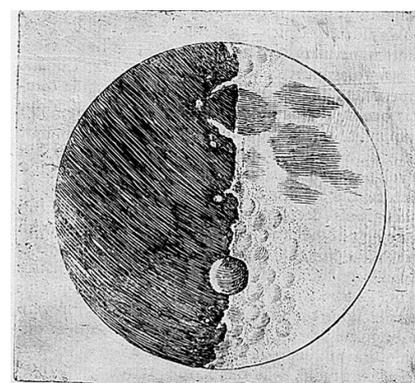
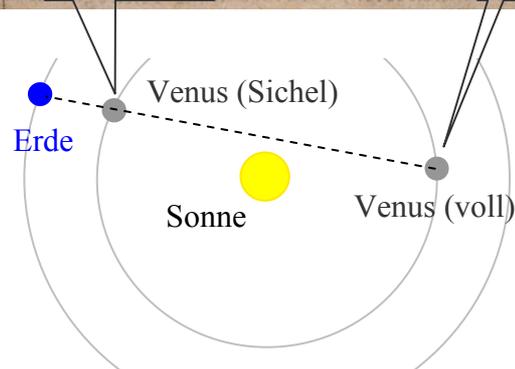
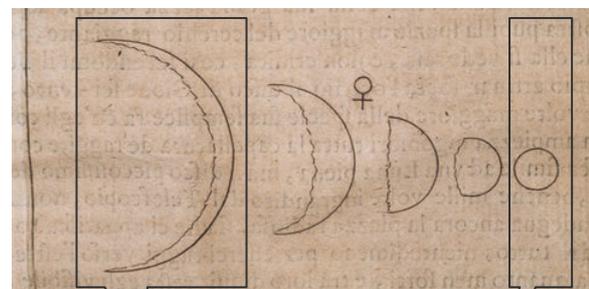
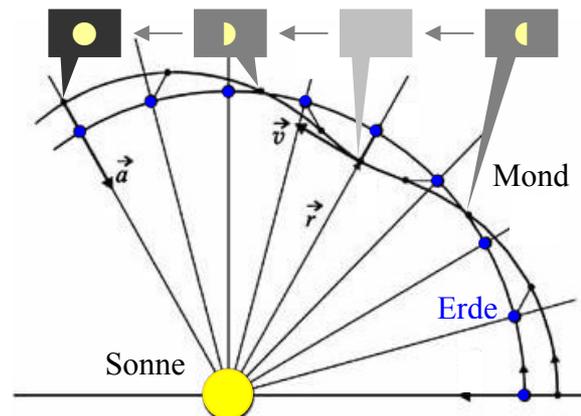
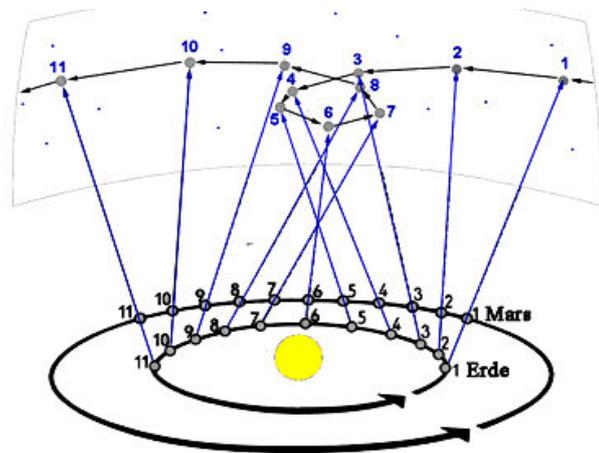
- Eine Supernova ist so weit entfernt wie die Fixsterne.
→ Die Fixsternsphäre ist nicht unveränderlich.
- Die Sonne zeigt Flecken, der Mond Krater.
- Am Himmel stehen nicht vollkommene oder ideale Kugeln.
- Um den Jupiter kreisen vier Monde! (heute: ca. 63)
→ Es gibt also mit dem Jupiter noch ein weiteres Zentrum mit einem System von Himmelskörpern. Einen Tag später entdeckt auch Simon Marius in Ansbach die neuen Monde.
- Die Venus zeigt Phasen, es gibt auch eine volle Venus.
→ Das ist nur möglich, wenn sie manchmal jenseits der Sonne steht (im Widerspruch zu *Ptolemaios).

Seine Erkenntnisse stehen in scharfem Gegensatz zum Aristotelischen und Ptolemäischen Weltbild. Im Angesicht der Folterinstrumente wird er von der heiligen Inquisition gezwungen, seiner Überzeugung abzuschwören, auch, weil er seine Überzeugung noch nicht beweisen kann. Lebenslänglicher Arrest rettet ihn vor dem schlimmeren Vorwurf des Atomismus, demzufolge Körper ihre Form ändern können, aber immer aus dem gleichen Stoff bestehen. Dieser Widerspruch zur Eucharistie brächte ihn sonst mit Sicherheit auf den Scheiterhaufen.

Die Erde rotiert einmal in 24 Stunden um ihre Achse.

A₅: Welche Geschwindigkeit hat ein Punkt

- a) auf dem Äquator b) in Lauf c) bei nördlicher Breite φ ?



Galileis Zeichnung der Mondoberfläche durch das Teleskop

Johannes Kepler, 1609

Kepler findet keine Kraft in Richtung der Planetenbewegung, stattdessen eine Wirkung zum Zentrum der Ellipse hin.

So entdeckt er die drei Keplerschen Gesetze (→ leifiphysik.de):

1. Die Planetenbahnen sind Ellipsen. In einem der beiden Brennpunkte steht die Sonne.
2. Die Verbindungslinie Planet-Sonne überstreicht in gleichen Zeiten gleich große Flächen.
3. Das Verhältnis der Quadrate der Umlaufzeiten zweier Planeten ist genau so groß wie das Verhältnis der dritten Potenzen ihrer großen Halbachsen.

Diese Gesetze erzielen eine perfekte Übereinstimmung sogar mit Tycho Brahes genauesten Werten; sie gelten noch heute.

A₆: Berechne aus der Umlaufzeit des Mars (687 Tage) und dem Abstand Sonne-Erde den Abstand Sonne-Mars!

Es gelingt ihm, seine Mutter im Hexenprozess zu verteidigen, aber sie stirbt ein Jahr nach der Freilassung an den Folgen.

Isaac Newton, ca. 1680

Unter anderem wegen der Entdeckung der Bewegungsgesetze und des Gravitationsgesetzes in ihrer exakten Mathematisierung ist er einer der größten Wissenschaftler aller Zeiten.

„Auf der Erde und am Himmel gelten die gleichen Gesetze.“

Er geht davon aus, dass die gleiche Erdanziehungskraft, die einen Apfel fallen lässt, auch den Mond auf seiner Bahn hält. So folgert er aus der siderischen Umlaufzeit des Mondes von $T = 27,3 \text{ d}$ und der Entfernung des Mondes von 60 Erdradien $r = 60 r_E$ für die Zentripetalbeschleunigung

$$a_r = \frac{F_r}{m} = \frac{m\omega^2 r}{m} = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r = \frac{(2\pi)^2 \cdot 384\,400\,000 \text{ m}}{(27,3 \text{ d} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{d}} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}})^2} = 0,0027 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Newton bemerkt $g = 9,81 \text{ m/s}^2 = 3600 a_r$
 und folgert daraus $F \sim 1/r^2$ (Abstand des Körpers).
 Außerdem ist $F \sim m$ (Masse des Körpers)
 und $F \sim M$ (Masse der Erde).

Damit ergibt sich die Gravitationskraft

$$F_G = G \cdot \frac{Mm}{r^2}$$

mit der

Gravitationskonstante $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg s}^2$.

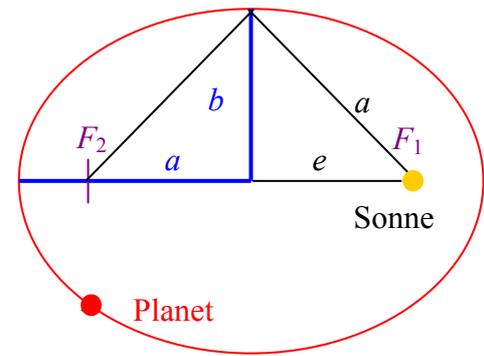
Berechne aus der Gewichtskraft an der Erdoberfläche die Masse der Erde!

$$F_G = G \cdot \frac{Mm}{r_E^2} = mg$$

$$\Rightarrow M = \frac{G \cdot r_E^2}{g} = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

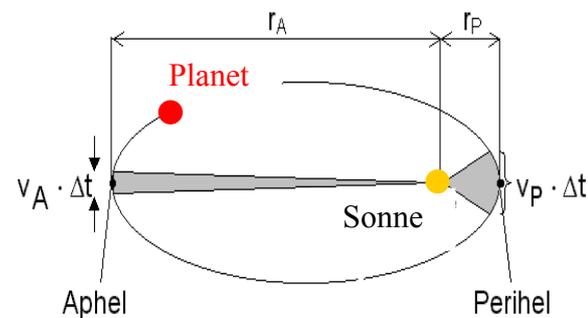
Ein [Modell](#) unseres Sonnensystems im Maßstab 1 : 1 Mrd. gibt es als Fahrradrundweg von Lauf nach Neunhof.

Erstes Keplersches Gesetz



a, b große und kleine Halbachse
 e Exzentrizität
 F_1, F_2 Brennpunkte der Ellipse

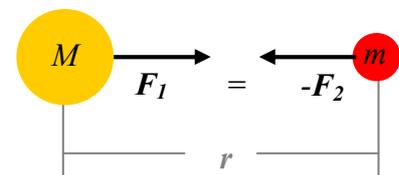
Zweites Keplersches Gesetz



Drittes Keplersches Gesetz

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

Zum Gravitationsgesetz



Erstes Newtonsches Bewegungsgesetz

Ein Körper behält seine Geschwindigkeit in Betrag und Richtung bei, wenn keine Kraft auf ihn wirkt.

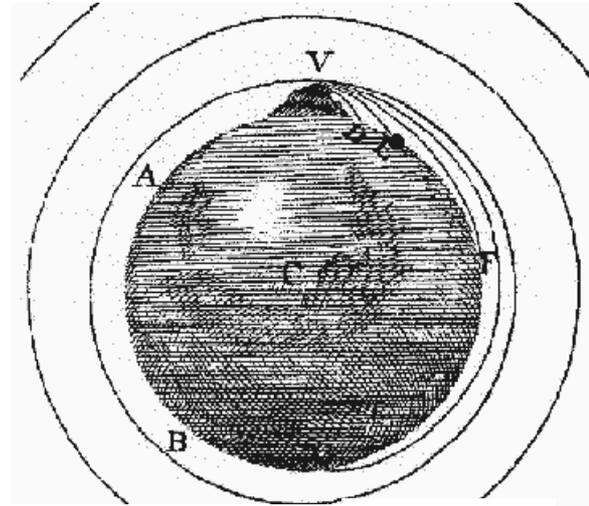
Zweites Newtonsches Bewegungsgesetz

$$F = m \cdot a$$

Drittes Newtonsches Bewegungsgesetz

Kraft = -Gegenkraft

- A₇a) Welche Geschwindigkeit müsste ein Satellit haben, der die Erde in der Höhe ihrer Oberfläche umkreist, wenn es keinen Luftwiderstand gäbe?
(„Erste kosmische Geschwindigkeit“, $7,9 \text{ km/s}$)
- b) Welche Bahn hätte er, wenn er schneller waagrecht abgeschossen würde?
- A₈a) Welche Höhe über der Erdoberfläche hat ein Nachrichtensatellit, der die Erde einmal in 24 Stunden umkreist? Erinnerung: $v = \omega \cdot r$
- b) Welchen Vorteil hat diese „geostationäre Bahn“?
- A₉a) Mit welcher Kraft ziehen sich zwei Menschen an? Wähle sinnvolle Werte für dieses attraktive Potential! (ca. 10^{-6} N)
- b) Schreibe eine Tabellenkalkulation, die aus M , m und r die Gravitationskraft berechnet!



Längenproblem

Für die Kartographie unabdingbar und zur Navigation lebenswichtig ist es, die eigene Position auf der Erdoberfläche bzw. dem Meer zu bestimmen.

Die geographische *Breite* ist sehr einfach direkt aus der Höhe des Polarsterns abzulesen oder, mit einem Sextanten und etwas Rechnen, aus der Höhe der Sonne oder anderer Sterne. Für die geographische *Länge* nützt man aus, dass sich die Erde in jeder Stunde um 15° dreht: Steht die Sonne in London (Greenwich) um 12:00 Uhr UTC am höchsten, so in Nürnberg bei 11° östlicher Länge 44 Minuten früher, um 11:16 Uhr UTC bzw. 12:16 Uhr MEZ. Wenn ein Seefahrer die Uhrzeit von London kennt während zu seiner eigenen Ortszeit Mittag ist, kann er auch seinen Längengrad (Meridian) ermitteln.

Das Längengradproblem haben 1759 genaue Schiffsuhren gelöst. Vorher nützten die Navigatoren zur Zeitbestimmung die vorausberechnete Bewegung des Mondes vor hellen Sternen. Die einzelnen Ortszeiten in Deutschland wurden erst 1890 für die Zugfahrpläne durch die Mitteleuropäische Zeit MEZ ersetzt.

A₁₀: Auf welcher Insel stehen Seeleute, die zur Wintersonnenwende den mittäglichen Stand der Sonne drei Stunden früher als in London und genau im Zenit messen?

A₁₁: Wie viel später als in Lauf geht in Fürth die Sonne auf?



Mit dem Sextant wird die Höhe der Sonne über dem Horizont gemessen. Damit kann man den eigenen Standpunkt bestimmen (siehe A₁₀).

Schlussbemerkung

Kreative Hypothesen brauchen fachkundige und phantasievolle Forscher.

Damit aus den Hypothesen gute Theorien entstehen können, ist es entscheidend, dass sie experimentell überprüft werden.



A₀: Wann steht die Sonne über welchen Orten senkrecht? (Suche auf diesen Seiten eine geeignete Abbildung dazu!)

[Projekt](#) und [Exponate](#) zur Geschichte der Astronomie

[Podcasts](#) zur Allgemeinbildung, auch zur Astronomie.

[Zum Anfang](#)

<http://www.physik.de.rs>

<http://podster.de/view/536/episodes#start>

[RP](#), 16.1.2014

Galaxie M51 mit Begleiter

[Viviani](#), 1661, [Foucault](#), 1851

Nachweis der [Erddrehung](#) über die raumfeste Schwingungsebene eines Pendels.

[Rømer](#), 1676

Beweis, dass die [Lichtgeschwindigkeit](#) * kleiner als unendlich ist. Ihre Bestimmung gelingt mit dem Umlauf der Jupitermonde.

[Bradley](#), 1725

[Aberration](#) des Lichts, der erste eindeutige Beweis für das heliozentrische Weltbild, 20".

[Cook](#), 1769

Entdecker im Pazifik, leitet eine der Expeditionen zur Messung des [Venusdurchgangs](#).

[Herschel](#), 1781

Er entdeckt den [Uranus](#), viele [Nebel](#) und die nicht sichtbare [Infrarotstrahlung](#) der Sterne.

[Cavendish](#), 1797

Bestimmt [G](#) mit der Gravitationsdrehwaage.

[Fraunhofer](#), 1813, [Bunsen](#), [Kirchhoff](#), 1861

Aus dem Farbspektrum lassen sich Aussagen über die [Zusammensetzung der Sterne](#) machen, später über ihr Alter, ihre Geschwindigkeit und vieles andere.

[Bessel](#), 1838

Pferdekopf-
nebel

Bestimmt über die [Parallaxe](#) von 0,3" die Entfernung zu einem Stern.

[Le Verrier](#), [Galle](#), 1846

Le Verrier berechnet aus den Unregelmäßigkeiten der Uranusbahn den Ort von [Neptun](#). Das schreibt er zwei Astronomen. Challis interessiert sich nicht sehr für die Berechnung, der andere, Galle, entdeckt Neptun noch am gleichen Abend.

[Einstein](#), 1905, 1915

[Relativitätstheorien](#), Raumkrümmung

[Hubble](#), 1925

Es findet noch weitere [Galaxien](#) außer unserer Milchstraße und misst Entfernungen: Das Universum [expandiert](#).

[Weiter](#)

[Moderne Astrophysik](#), [Hintergrundstrahlung](#)
[Kosmologie](#), [Urknall](#), [Schwarze Löcher](#),
[dunkle Materie](#), [Raumfahrt](#), [swing by](#)

* $1 \text{ ly} = 1 \text{ Jahr} \cdot c \approx 10^{13} \text{ km}$ Unsere Erde

