Und sie dreht sich doch : gibt es Beweise für die Bewegung der Erde?

Autor(en): **Roth, Hans**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **66 (2008)**

Heft 347

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-897832

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

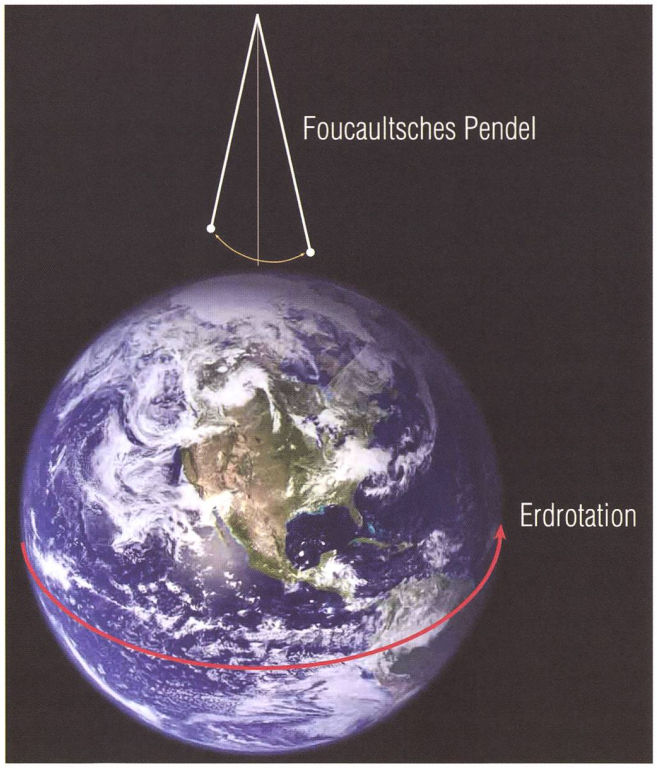
http://www.e-periodica.ch

Und sie dreht sich doch

Gibt es Beweise für die Bewegung der Erde?

Von Hans Roth

Erst vor 400 Jahren begann sich die Überzeugung durchzusetzen, dass die Erde nicht im Mittelpunkt des Universums ist und nicht still steht, sondern verschiedene Bewegungen ausführt. Von der Anschauung her ist es ja auch kaum zu glauben, dass wir uns wegen der täglichen Rotation der Erde um ihre Achse dauernd mit rund Schallgeschwindigkeit bewegen sollen! Da liegt die Frage auf der Hand, ob man diese Bewegungen nicht wenigstens indirekt feststellen kann.



Figur 1: Ein foucaultsches Pendel ist ein langes Fadenpendel mit einer grossen Pendelmasse, mit dessen Hilfe die Erdrotation anschaulich nachgewiesen werden kann. Es schwingt frei, unabhängig der Erdrotation. Auf einen Raum bezogen, scheint das Pendel mit der Zeit seine Ausschlagrichtung zu ändern. In Wirklichkeit hat sich aber der Boden «unter» dem Pendel gedreht. (Grafik: Thomas Baer)

Die Rotation um die Erdachse lässt sich mit einem «ausdauernden» Pendel nachweisen. Das Pendel will seine Schwingungsebene gegenüber dem Weltall beibehalten, auch wenn sich die Erde unter ihm bewegt. Das Experiment wurde 1849 von Jean Bernard Léon Foucault im Panthéon in Paris durchgeführt, wir konnten es im Mai 2000 in der Kirche Villmergen wiederholen (es existiert eine Videoaufzeichnung davon): In einer Stunde drehte sich die Pendelebene um etwas mehr als 10°, was dem theoretischen Wert entspricht. Könnte man ein solches Pendel am Nordpol aufstellen, würde sich seine Schwingungsebene in 24 Stunden einmal ringsherum drehen. Am Äquator verschwindet der Effekt, die Pendelebene bleibt immer fest. In der geografischen Breite φ beträgt die Dauer für einen vollen Umlauf der Schwingungsebene $24h / \sin(\varphi)$. Ein anderes Experiment zum Beweis der Erdrotation ist das Fallenlassen einer Metallkugel aus grosser Höhe. Da die Kugel beim Start weiter vom Erdmittelpunkt entfernt ist, ist ihre Bewegung gegenüber dem Weltraum etwas schneller als die des Bodens, auf den sie fällt. Sie wird deshalb ein bisschen östlich des Lotpunktes zu Boden fallen. Das Experiment wurde erstmals 1802 von Johann Friedrich Benzenberg im Michaeliskirchturm in Hamburg durchgeführt. Er liess Kugeln aus einer Höhe von 76 m fallen, sie schlugen etwa 9 mm östlich vom Lotpunkt auf.

Tanzende Sterne

Nun ist aber die Drehung um die eigene Achse nicht die einzige Bewegung der Erde. Für den jährlichen Umlauf um die Sonne ist es schwieriger, Beweise zu finden, obwohl die Geschwindigkeit dieser Bewegung sehr viel grösser ist: die Erde saust ja mit 30 km pro Sekunde um die Sonne.

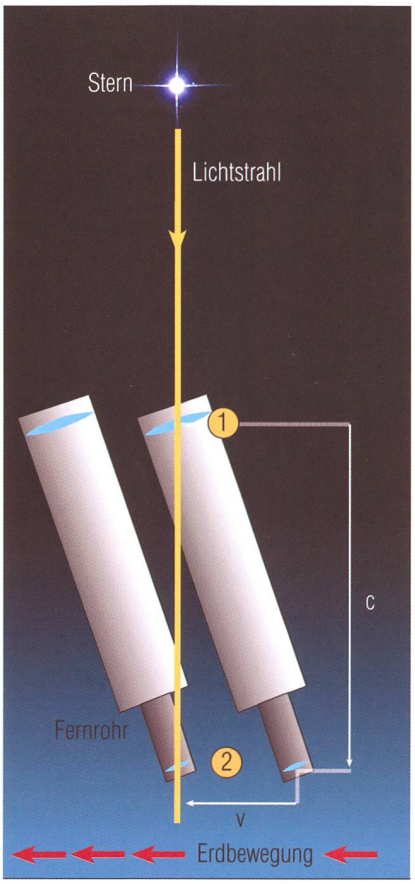
Es gibt zwar auch hier einige Effekte, aber die meisten sind für uns Amateure unmessbar klein. So ist die Erde ja im Laufe eines Jahres unterschiedlich weit von den Fixsternen entfernt, die Sternbilder sollten also ihre Form etwas ändern. Wenn die Erde von der Sonne aus in Richtung eines bestimmten Sternbildes steht, müsste uns dieses ein bisschen grösser erscheinen. Dass dieser Effekt nicht beobachtet werden kann, war vor 400 Jahren ein Argument gegen das neue Weltbild.

Erst 1838 konnte Friedrich Wilhelm Bessel messen, um wie viel sich die Richtung zu einem nahen Fixstern ändert, wenn er zu verschiedenen Jahreszeiten beobachtet wird. In unserer Abbildung 3 ist dargestellt, warum und wie sich diese Richtung im Laufe eines Jahres ändert. Der Winkel π, die so genannte Parallaxe des Sterns, betrug aber nur 0.3 Bogensekunden! Auch bei den allernächsten Sternen ist er kleiner als eine Bogensekunde. Zum Vergleich: die beiden Komponenten von ε Lyrae sind 200 Bogensekunden voneinander entfernt. Sie sind selbst wieder Doppelsterne mit einem Abstand von je etwas über 2 Bogensekunden.

Bessel hatte Erfolg dank eines besonderen Okulars. Dieses «Heliometer» wurde ursprünglich zur Vermessung des Sonnendurchmessers

verwendet, es eignet sich darüber hinaus aber allgemein zur exakten Messung kleiner Winkel. Im Prinzip wird das Okular in zwei Hälften zersägt; die beiden Teile werden, gegeneinander drehbar, wieder zusammengebaut. Die Verdrehung wird mit einer Mikrometerschraube gemessen. Nun kann man z.B. die Bilder zweier Doppelsternkomponenten zur Deckung bringen und die Verdrehung exakt ablesen. Bessels Okular wurde übrigens von Joseph von Fraunhofer gebaut.

Auf der Suche nach der Parallaxe fand James Bradley bereits 1725 am Stern γ Draconis einen unerwarteten anderen Effekt, der auch als Beweis der jährlichen Bewegung um die Sonne dienen kann: die Aberration des Sternlichts. Der Sachverhalt ist in der Abbildung 2 dargestellt: weil das Licht nicht unendlich schnell durch das Fernrohr läuft, muss man dieses etwas vorwärts neigen, vorwärts gemeint im Sinn der Bewegungsrichtung der Erde. Beobachtet man ein halbes Jahr später denselben Stern, braucht es eine Neigung in der entgegen gesetzten Richtung. Es ist nicht einfach ein Hin und Her, vielmehr beschreiben die Sternpositionen im Laufe eines Jahres Ellipsen, deren grosse Halbachsen etwas mehr als 20 Bogensekunden betragen. Der Winkel ist deutlich grösser als die



Figur 2: In der Zeit, die das Licht zum Durchlaufen des Fernrohrs braucht, hat sich die Erde etwas weiter bewegt. Das muss durch eine Neigung des Fernrohrs kompensiert werden. (Grafik: Thomas Baer)

Parallaxen, aber man kann ihn nicht gegenüber den benachbarten Sternen messen, weil diese alle auch solche Ellipsen beschreiben. Man braucht also ein fest montiertes Instrument, mit dem absolute Winkelmessungen in dieser Grössenordnung möglich sind. Bradley verwendete dazu ein Fernrohr, das fest an einer Hauswand befestigt war.

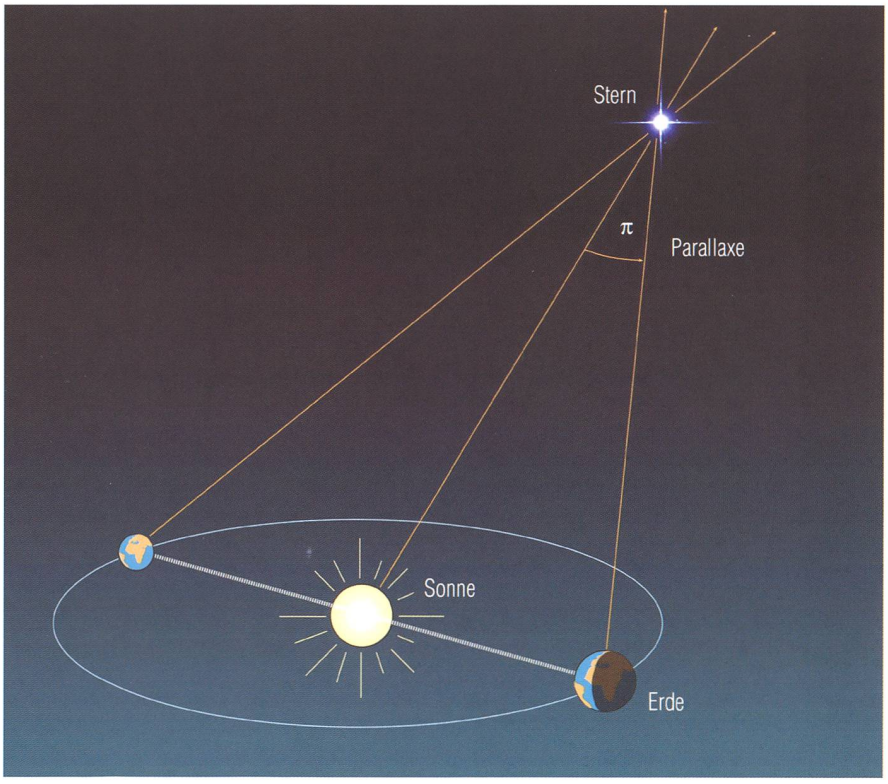
Wenn man die Lichtgeschwindigkeit kennt (z.B. aus einem Drehspiegelexperiment nach Foucault) kann man mit der Aberrationskonstante (den bereits erwähnten 20.49551 Bogensekunden) die Geschwindigkeit der Erde und damit auch den Radius der Erdbahn berechnen. Historisch verlief die Erkenntnis in anderer Reihenfolge: aus der günstigen Marsopposition 1672 wurde die Sonnenentfernung bestimmt, zusammen mit den Jupitermondverfinsterungen bekam Ole Rømer 1676 einen ersten Wert für die Lichtgeschwindigkeit. Daraus hätte man, so man daran gedacht hätte, auch

schon die Aberration berechnen können.
Bradley wusste zunächst nicht, woher die von ihm gemessene Aberration kam. Dass es nicht die Parallaxe war, erkannte er aus der "falschen" Jahreszeit, die Extrema traten um ein Vierteljahr verschoben ein. Der Sage nach erkannte er den richtigen Sachverhalt, als er auf einem Vergnügungsschiff die Fahne am Mast beobachtete, die beim Wenden jeweils drehte.

Andere Beweise für die Bewegung um die Sonne sind weniger direkt. So wird die Beschreibung der Planetenbewegungen einfacher, wenn man die Sonne (genauer: den Schwerpunkt des Sonnensystems) als Ursprung des Koordinatensystems nimmt. Von der Erde aus betrachtet beschreiben die Planeten ja Schleifenbahnen, sie wechseln auch vor und nach der Opposition die Bewegungsrichtung. Solche Unregelmässigkeiten verschwinden, wenn man die Bahnen auf die Sonne bezieht.
Es gibt noch weitere Bewegungen der Erde, die sie als Teil des Sonnensystems zusammen mit der Sonne und den andern Planeten vollführt. So läuft die Sonne mit 250 km/s um das Milchstrassenzentrum, und zusammen mit der ganzen Milchstrasse bewegt sie sich mit etwa 600 km/s gegenüber der Hintergrundstrahlung, vermutlich wegen der Anziehung durch andere Galaxien.

Hans Roth
Brugstrasse 22
CH-5012 Schönenwerd

hans.roth@alumni.ethz.ch



Figur 3: Die Parallaxe π gibt die Richtungsänderung der Sehlinie an. (Grafik: Thomas Baer)

Gewusst?

Schon Galileo Galilei beschäftigte sich mit der Drehung der Erde. Er glaubte mit dem Phänomen der Gezeiten einen Beweis für die Rotation der Erde um ihre Achse und die Drehung um die Sonne gefunden zu haben. Anhand von verschiedenen Experimenten glaubte Galilei, die Gewässer würden durch die Rotation beschleunigt und dadurch hin- und herbewegt. Erst viel später gelang es Isaac Newton zu beweisen, dass neben der Zentrifugalkraft auch die Anziehungskräfte der Massen von Mond und Sonne für Ebbe und Flut ursächlich sind. Galilei gab sich aber nicht geschlagen und so griff er in seinem Werk «Dialog über die beiden hauptsächlichen Weltsysteme» das alte Argument gegen eine mögliche Erddrehung auf. Seine Überlegung ging dahin, dass ein von einem Turm fallen gelassener Stein bei rotierender Erde entfernt vom Fuss des Turmes auftreffen müsste, vergleichbar eines fahrenden Schiffes. In der Zeit des freien Falls des Steins, dreht sich die Erde gewissermassen unter dem Stein fort.
Im Keller seines Hauses experimentierte der französische Physiker Jean Bernard Léon Foucault 1851 mit einem zwei Meter langen Pendel. Als er es dicht über dem Boden in Schwingung versetzte, bemerkte er nach einer gewissen Zeit, dass es im Verlauf der Zeit seine Richtung änderte. Da eine äussere auf das Pendel einwirkende Kraft auszuschliessen war, war klar, dass sich der Boden drehen musste.

Thomas Baer