# Warum waren die Jupitermonde wichtig? : Galileis Monde und die Lichtgeschwindigkeit

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

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **67 (2009)**

Heft 354

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-897308

**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**

Warum waren die Jupitermonde wichtig?

# Galileis Monde und die Lichtgeschwindigkeit

Von Hans Roth

*Erst mit dem Fernrohr konnten die Jupitermonde beobachtet werden. Systematische Beobachtungen der Monde erlaubten dann, erstmals die Entfernung der Sonne in der richtigen Grössenordnung zu bestimmen. Und mit dieser Kenntnis war es Olaf Rømer möglich, als erster die Lichtgeschwindigkeit zu bestimmen – ebenfalls mit Hilfe der Jupitermonde!*

*Olaf Christensen Rømer war ein dänischer Astronom. Bekannt wurde er durch den ersten Nachweis, dass die Lichtgeschwindigkeit endlich und nicht unendlich gross ist, beziehungsweise durch die Anleitung, wie die Lichtgeschwindigkeit durch Beobachtung der Jupitermonde berechnet werden kann.*

Bei ihrem Kreisen um Jupiter gelangen die Monde auch immer wieder in den Schatten Jupiters, es gibt Mondfinsternisse, wie wir sie von unserem Mond kennen. Allerdings treten sie häufiger auf. Io, Europa und Ganymed werden sogar bei jedem Umlauf verfinstert, Kallisto nur, wenn ihre Bahnebene nahe genug an die Sonne herankommt. Dies geschieht bei einem Jupiterumlauf von 5.2 Jahren während zwei Perioden von je etwa 1.5 Jahren.

Alle Verfinsterungen treten, in einem Amateurfernrohr beobachtet, schlagartig ein: der Mond verschwindet plötzlich, wie wenn ein Lichtschalter betätigt würde. Das kann man aber nur gut beobachten, wenn die Erde etwas neben der Verbindungslinie Sonne-Jupiter steht (Abbildung 1). Denn wenn Jupiter in Opposition zur Sonne steht, sehen wir den Schattenkegel Jupiters nicht. Beim Eintritt in den Jupiterschatten verschwinden dann die Monde auch gleich hinter dem Planeten, und diese Zeiten können nicht so präzis gemessen werden, weil sich die Monde am Jupiterrand nicht gut abheben.

Wenn nun aber die Verfinsterungspunkte etwas neben Jupiter liegen, können diese Zeiten sekundengenau beobachtet werden. Sie sind unabhängig vom Standort auf der Erde und konnten damit als Zeitsignale zur Synchronisation der Uhren verwendet werden.

Diese Synchronisation löste ein Problem der damaligen Zeit. Während sich die geografische Breite problemlos aus der Beobachtung von Sternkulminationen ergibt, braucht es für die geografische Länge die Bestimmung einer Zeitdifferenz. Man muss wissen, wieviel früher oder später ein Stern am Beobachtungsort kulminiert, verglichen mit einem bekannten Ort, z. B. Greenwich. Nach der Entdeckung der Jupitermonde konnte man jetzt die Uhren an beliebigen Standorten abgleichen und damit die geografische Länge bestimmen. Allerdings galt dies nur auf dem Festland, noch nicht auf Schiffen. Die Konstruktion einer genügend genauen transportablen Uhr gelang ja erst Harrison 1759.

### Die Bestimmung der Astronomischen Einheit

Seit Kepler kannte man die gegenseitigen Verhältnisse der Bahnachsen der Planeten. Es fehlte aber noch die Bestimmung einer solchen Länge in einer absoluten Einheit, z. B. in Meilen oder auch in Erdradien – denn die Grösse des Erdradius' war ja seit dem Altertum bekannt (Eratosthenes, 276 – 194 v.Chr.). Die Astronomen geben bis heute die Astronomische Einheit (AE), also den Abstand Sonne-Erde, als «Sonnenparallaxe» an. Das ist ein Winkel, nämlich derjenige, unter dem ein Erdradius von der Sonne aus erscheint. Bis 1672 galt der Wert von Aristarch (ca. 310 – 230 v.Chr.), den dieser in einem Trigonometrielehrbuch mit 3° angab. Er führte zu einer Sonnendistanz, die nur gerade 19 mal grösser war als die Distanz zum Mond (der richtige Faktor ist etwa 400).

Die erste Bestimmung der Sonnenparallaxe in der richtigen Grössenordnung gelang Giovanni Domenico Cassini durch die Beobachtung der günstigen Marsopposition vom 8. September 1672. Cassini war Direktor der Pariser Sternwarte und beobachtete zusammen mit Picard und Rømer von Frankreich aus, während Jean Richer nach Cayenne geschickt worden war. Dabei entdeckte Richer übrigens, dass eine Pendeluhr in Äquatornähe langsamer geht als im Norden (eine Entdeckung, die der Erfinder der Pendeluhr, Christiaan Huygens, als Un-

sinn abtat). Die Idee Cassinis war, dass durch die gleichzeitige Beobachtung von zwei weit auseinanderliegenden Standorten die Parallaxe des relativ nahe stehenden Mars bestimmt werden könnte (es ging dabei um einen Richtungsunterschied von etwa 25", das entsprach gerade etwa dem scheinbaren Durchmesser des Planeten bei dieser Opposition). Mit den Keplerschen Gesetzen liess sich dann die Sonnenentfernung daraus berechnen. Die geografische Länge von Cayenne wurde durch Beobachtung der Jupitermondverfinsterungen bestimmt, womit auch die Uhren synchronisiert wurden. So konnte der Mars von Paris und Cayenne aus gleichzeitig beobachtet werden, eine Vorbedingung für die Messmethode (Abb. 2).

Zunächst ergaben sich aber keine brauchbaren Daten. Erst später destillierte Cassini aus allen Beobachtungsdaten eine Sonnenparallaxe von 9.5" heraus, vermutlich durch geschickte Auslese von Werten, die einander in ihrer Gesamtheit eigentlich widersprachen bzw. gar keine Parallaxe erkennen liessen. Etwas mitgeholfen bei dieser Auswertung dürfte auch das Ergebnis von Flamsteed (damals Royal Astronomer in Greenwich) haben: Dieser hatte bei derselben Marsopposition die tägliche Parallaxe des Mars, also die scheinbare Verschiebung der Marsposition wegen der Tagesbewegung des Beobachtungsorts gemessen, aber als Ergebnis nur erhalten, dass die daraus abgeleitete Sonnenparallaxe kleiner als 10" sein müsse.

Die Astronomen rechnen heute mit einer Sonnenparallaxe von 8.794143".

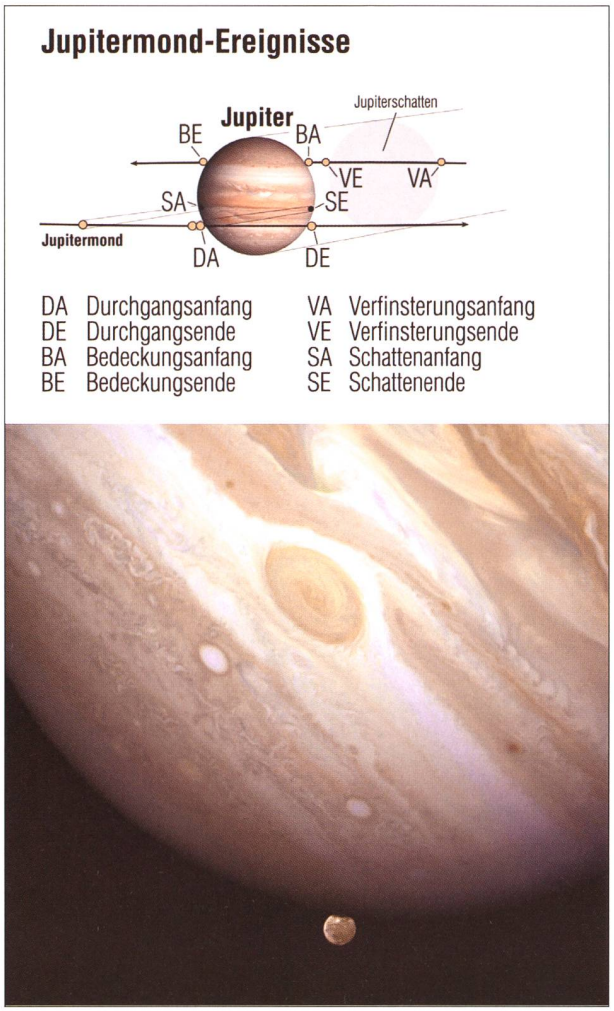



*Abbildung 1: In der Grafik oben ist schematisch dargestellt, wie es zu den Jupitermond-Ereignissen kommt. All diese Erscheinungen sind in einem Fernrohr mit grosser Brennweite mühelos zu beobachten. Besonders reizvoll sind Schattendurchgänge vor der Planetenscheibe. Das Bild unten zeigt den Beginn einer Bedeckung des Mondes Ganymed im April 2007. (Bild: Hubble Space Telescope/NASA)*

## Die Lichtgeschwindigkeit

Cassini hatte Tabellen der Jupitermondverfinsterungen publiziert, womit die Synchronisation der Uhren möglich wurde. Als Rømer diese Tabellen kontrollierte, fiel ihm auf, dass die Zeiten nicht immer stimmten. Manchmal traten die Verfinsterungsereignisse bis 8 Minuten zu früh ein, ein Vierteljahr später entsprachen sie den Tabellenwerten, und weitere drei Monate später hatten sie eine Verspätung von wiederum etwa 8 Minuten. Rømer erkannte nun, dass die Zeiten immer in der Nähe der Opposition zu früh, in der Nähe der Konjunktion zu spät waren. Er zog den richtigen Schluss daraus: wenn Jupiter in Opposition steht, ist die Distanz um eine AE kürzer als im Mittel; in der Konjunktion eine AE länger. Die Zeitunterschiede konnten dadurch erklärt werden, dass das Licht nicht unendlich rasch läuft. Es braucht vielmehr eine Viertelstunde, um den Durchmesser der Erdbahn zurückzulegen (Abbildung 3).

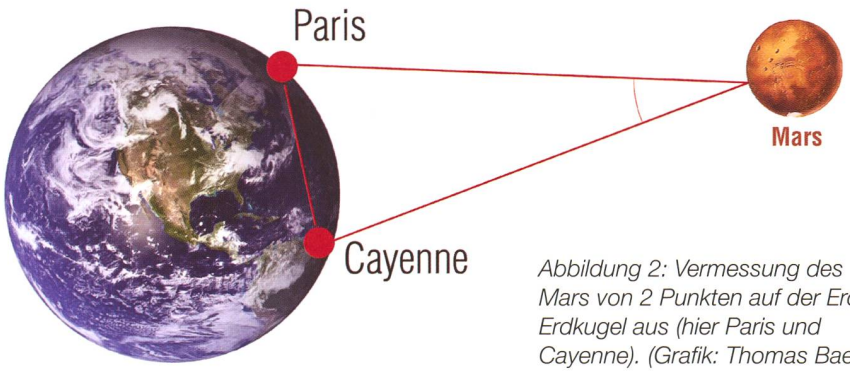



*Abbildung 2: Vermessung des Mars von 2 Punkten auf der Erde Erdkugel aus (hier Paris und Cayenne). (Grafik: Thomas Baer)*

## Nachvollzug durch den Amateur

Die Bestimmung der Verfinsterungszeiten ist heute jedem Amateur problemlos möglich. Man kann also durchaus versuchen, die Römerschen Messungen nachzuvollziehen. Allerdings sollte man eine Messreihe mit immer dem gleichen Instrument und dem gleichen Okular durchführen. Die Verfinsterungszeiten sind nämlich etwas von der Lichtstärke abhängig. Weil die Monde ja nicht als Punkte, sondern als ausgedehnte «Scheibchen» erscheinen, verschwinden sie in grösseren Fernrohren etwas später. Die Zeitverschiebung von Opposition zu Konjunktion bleibt dabei aber gleich.

Damit könnte man auch eigenständig die Astronomische Einheit bestimmen, allerdings auf dem umge-

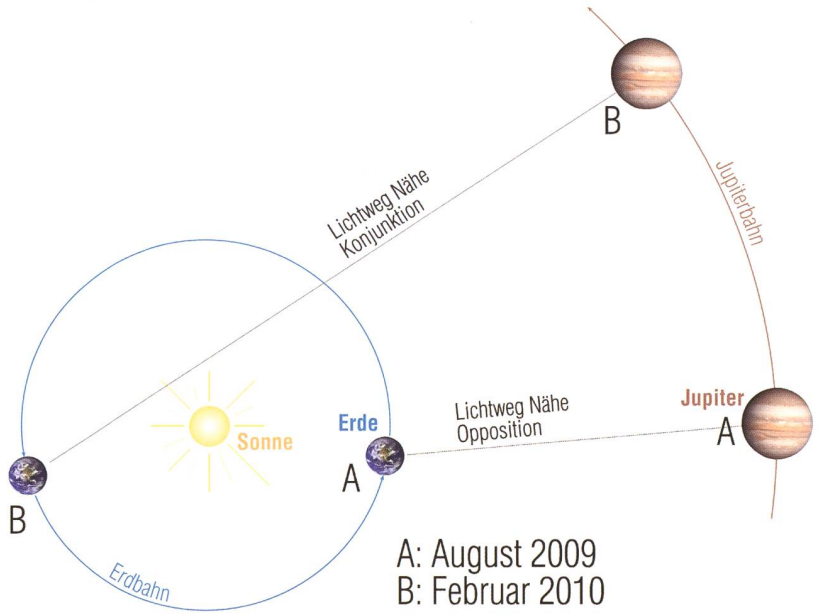


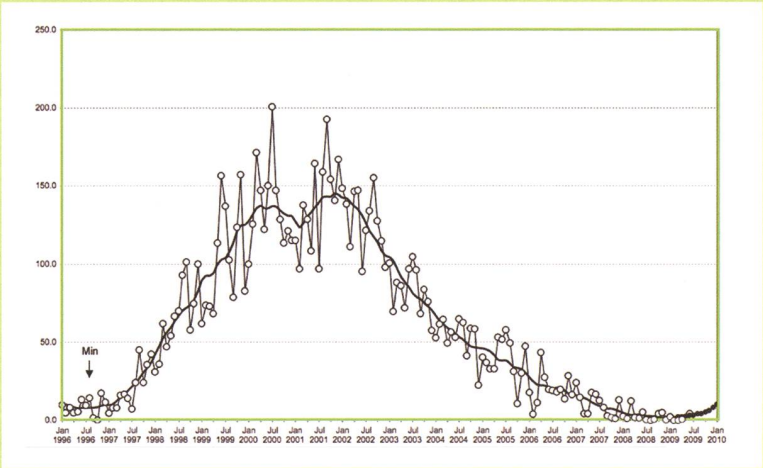

*Abbildung 3: In dieser Darstellung wird der Lichtwegunterschied gezeigt. Wir haben zwei Situationen Anfang August 2009 und im Februar 2010 gewählt. Jupiter ist in diesem Zeitraum etwa 30° weiter auf seiner Bahn gewandert. (Grafik: Thomas Baer)*

kehrten Weg. Die Lichtgeschwindigkeit lässt sich ja heute mit der Drehspiegelmethode (Foucault, 1851) bereits in einem grösseren Raum bestimmen, wodurch sich die Astronomische Einheit als halbes Produkt von Lichtgeschwindigkeit und Zeitverschiebung ergibt.

**Hans Roth**
Marktgasse 10a
CH-4310 Rheinfelden

# Swiss Wolf Numbers 2009

*Marcel Bissegger, Gasse 52, CH-2553 Safnern*




**Mai 2009** — **Mittel: 1.4**

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 00 | 00 | 00 | 04 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| **11** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** | **17** | **18** | **19** | **20** |
| 00 | 00 | 03 | 04 | 12 | 04 | 08 | 04 | 00 | 00 |
| **21** | **22** | **23** | **24** | **25** | **26** | **27** | **28** | **29** | **30** | **31** |
| 00 | 02 | 04 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 09 |

**Juni 2009** — **Mittel: 4.8**

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 19 | 21 | 17 | 13 | 04 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| **11** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** | **17** | **18** | **19** | **20** |
| 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 03 | 00 | 00 | 00 |
| **21** | **22** | **23** | **24** | **25** | **26** | **27** | **28** | **29** | **30** |
| 02 | 15 | 12 | 16 | 02 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |

**Mai 2009**

| Name | Instrument | Beobachtungen |
|---|---|---|
| Barnes H. | Refr 76 | 13 |
| Bissegger M. | Refr 100 | 6 |
| Enderli P. | Refr 102 | 20 |
| Friedli T. | Refr 40 | 21 |
| Friedli T. | Refr 80 | 21 |
| Herzog H. | Refl. 250 | 14 |
| Möller M. | Refr. 80 | 29 |
| Niklaus K. | Refl 250 | 9 |
| Tarnutzer A. | Refl 203 | 14 |
| Von Rotz A. | Refl 130 | 13 |
| Weiss P. | Refr 82 | 24 |
| Willi X. | Refl 200 | 4 |

**Juni 2009**

| Name | Instrument | Beobachtungen |
|---|---|---|
| Barnes H. | Refr 76 | 14 |
| Bissegger M. | Refr 100 | 8 |
| Enderli P. | Refr 102 | 16 |
| Friedli T. | Refr 40 | 20 |
| Friedli T. | Refr 80 | 20 |
| Herzog H. | Refl. 250 | 14 |
| Möller M. | Refr. 80 | 25 |
| Niklaus K. | Refl 250 | 17 |
| Tarnutzer A. | Refl 203 | 16 |
| Von Rotz A. | Refl 130 | 16 |
| Weiss P. | Refr 82 | 28 |
| Willi X. | Refl 200 | 8 |

*Die Sonnenflecken verharrten auch im Mai und Juni auf relativ tiefem Niveau. Allerdings tauchte Anfang Juni und um den 23. herum ein kleineres Grüppchen Sonnenflecken auf. Danach beruhigte sich das Ganze bereits wieder. Ob und wann der 24. Sonnenfleckenzyklus wirklich in Gang kommt, ist schwierig vorauszusagen. Bis Mitte August 2009 war es anhaltend ruhig auf der Sonne. (Grafik: Thomas Baer / Marcel Bissegger)*