

# Die langwierige Suche nach der Sonnenparallaxe : historische Bedeutung der Venustransite

Autor(en): **Baer, Thomas**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **62 (2004)**

Heft 321

PDF erstellt am: **24.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-898327>

## **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.

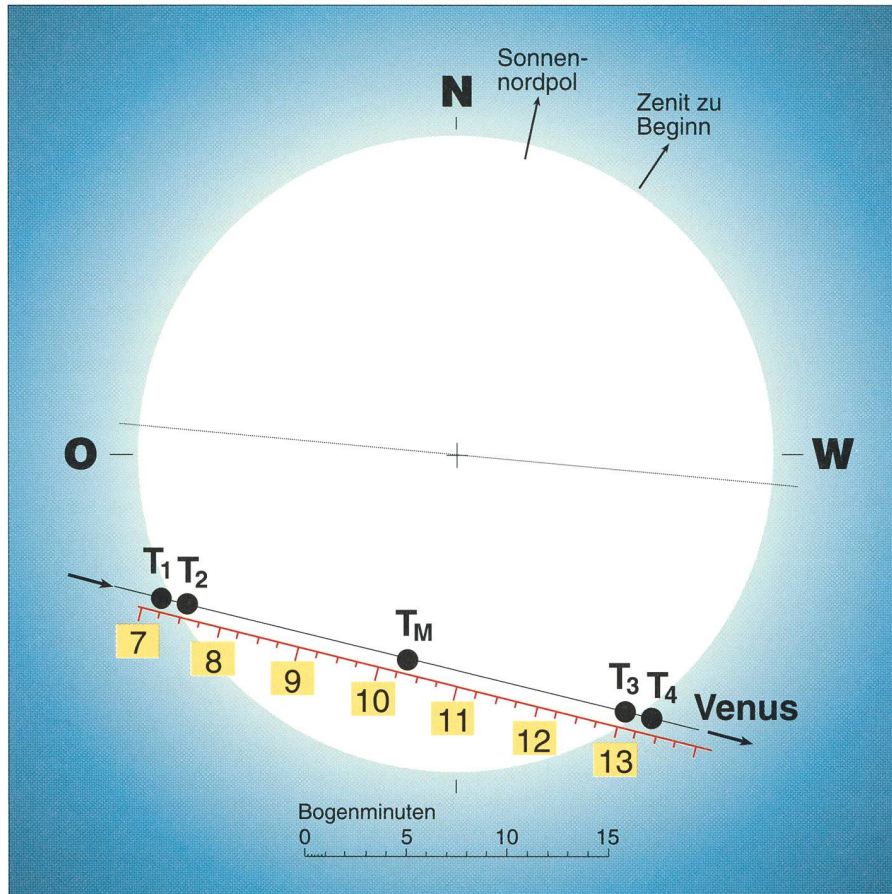
## **Haftungsausschluss**

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.

## Die langwierige Suche nach der Sonnenparallaxe

# Historische Bedeutung der Venustransite

THOMAS BAER

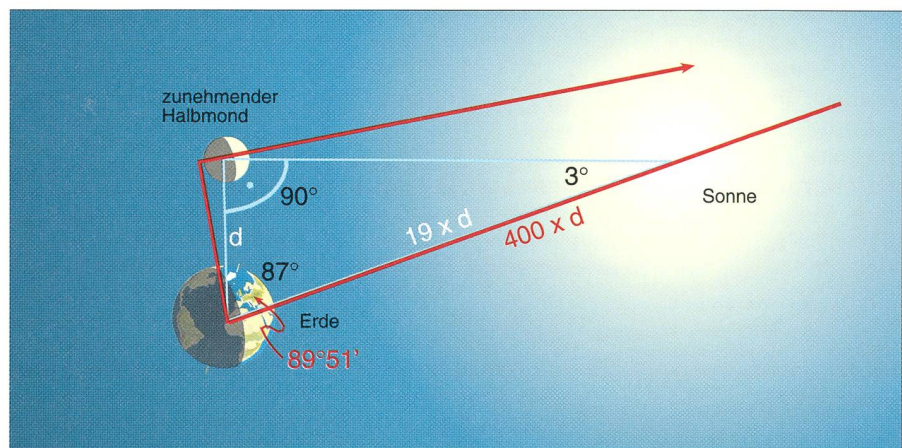


Figur 4: Venustransit vom 8. Juni 2004 mit den Kontaktzeiten  $T_1$  (07:20 Uhr MESZ),  $T_2$  (07:40 Uhr MESZ),  $T_M$  (10:22 Uhr MESZ),  $T_3$  (13:04 Uhr MESZ),  $T_4$  (13:23 Uhr MESZ).  
(Grafik: THOMAS BAER)

Wie ein roter Faden zieht sich das Problem der Entfernungsmessung durch die Geschichte der Astronomie. Einen neuen Impuls zu dessen Lösung gab EDMOND HALLEY, der vorschlug, den Venustransit zur Ermittlung der Sonnendistanz von zwei weit auseinanderliegenden Orten auf der Erde zu beobachten.

ARISTARCH VON SAMOS (ca. 310 – 230 v. Chr.) versuchte, die Sonnendistanz über die Mondstanz zu ermitteln. Dazu mass er den Winkel zwischen Sonne und zunehmendem Halbmond auf  $87^\circ$ . In Einheiten der Mondstanz  $d$  ausgedrückt, resultierte daraus eine 19-fache Sonnendistanz. Heute wissen wir, dass dieser Wert gut das Zwanzigfache beträgt. ARISTARCHS Messungen waren ungenau;

Figur 5: ARISTARCH VON SAMOS nutzte die Geometrie des Dreiecks zur Ermittlung der Sonnendistanz in Einheiten der Mondstanz. (Grafik: THOMAS BAER)



der Winkel zwischen Sonne – Erde und Halbmond beträgt nämlich fast  $90^\circ$  (genau  $89^\circ 51'$ ). Andere Zeitgenossen ermittelten genauere Werte (Figur 5).

Erst die Keplergesetze machten es möglich, die Abstände der Planeten in Astronomischen Einheiten [AE] darzustellen. JOHANNES KEPLER (1571-1630) beschreibt in seinem dritten Gesetz die Beziehung zwischen den Planetenumläufen um die Sonne und ihrer Abstandsverhältnissen. Wenn man die bekannten Umlaufzeiten [U] quadriert und ins Verhältnis zur dritten Potenz des Abstandes [a] stellt, lässt sich aus der dritten Wurzel von  $U^2$  der Abstand als Verhältnis der mittleren Entfernung Sonne – Erde bestimmen. Mars beispielsweise läuft in 1.88 Jahren einmal um die Sonne. Wird dieser Wert quadriert, so bekommt man 3.53. Daraus die dritte Wurzel gezogen, ergibt eine Distanz von 1.524 AE. Das Unbefriedigende war, dass es sich bei dieser Angabe um einen relativen Abstand in einer damals noch «unbekannten Grösse» handelte und nicht um eine wahre Länge, zum Beispiel in Kilometern. Es ist, als wanderten wir nach einer Karte ohne Massstab von A nach B, wissen also nicht, wie weit die Wanderung in Wirklichkeit ist!

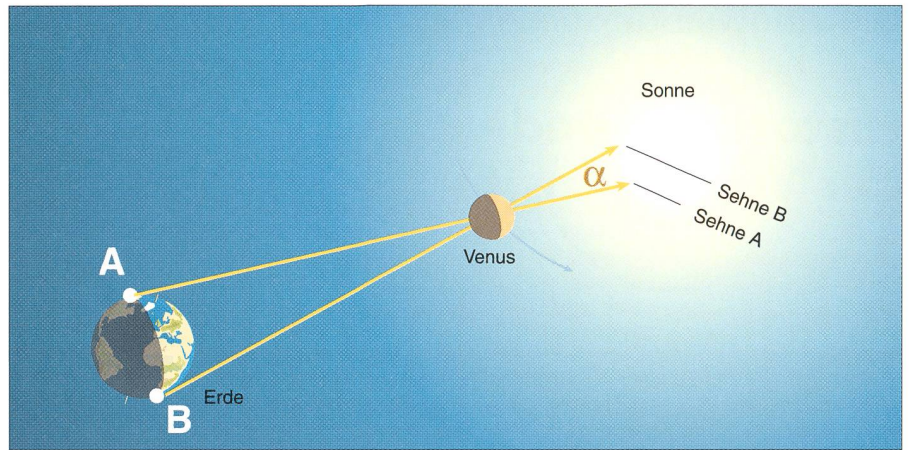
Im Altertum waren die Transite von Merkur und Venus noch unbekannt. Erst KEPLER wies auf diese seltenen Phänomene hin, was EDMOND HALLEY (1656-1742) auf die Idee brachte, Venusdurchgänge zur Ermittlung der Sonnendistanz zu beobachten. Von zwei auf der Erde weit auseinander liegenden Punkten aus gesehen, müsste sich die Sonnenposition gegenüber der Fixsternkulisse minim verschieben. Da Venus in der unteren Konjunktion näher an der Erde steht als die Sonne, müsste der Winkel, unter dem man den Planeten sieht, grösser ausfallen als von der Sonne aus betrachtet. Bei

einem Transit überstreicht Venus für jeden Beobachtungsort eine geringfügig andere Sehne. Gelingt es, und das war HALLEYS Ansatz, diesen Winkel zu messen, so liesse sich nach den Regeln der Trigonometrie die sogenannte Sonnenparallaxe  $\pi$  ermitteln, sofern die Länge der Basislinie der beiden Beobachter A und B bekannt ist (Figur 6). Die Venusentfernung liess sich also direkt in Kilometern errechnen, und weil auch die Astronomische Einheit bekannt war (nach dem 3. Keplergesetz), konnte man erstmals auch die Entfernung Erde-Sonne in Kilometern darstellen.

Nur die praktische Umsetzung war schwierig: Die direkte Messung des sehr kleinen Winkels  $\alpha$  erforderte eine hochpräzise zeitliche Synchronisation. Mechanische Pendeluhrn, die man auf monatelangen Seereisen erst nach deren Rückkehr miteinander vergleichen konnten, gingen meist ungenau, Funkverbindungen gab es nicht, und verschiedentlich machte auch das Wetter bei der Beobachtung des Transits einen Strich durch die Rechnung. HALLEY lieferte eine raffinierte Lösung: Statt die Sonnenparallaxe  $\pi$  (Winkel, unter dem man vom Sonnenzentrum den Äquatorradius der Erde sieht) über den Winkel  $\alpha$  direkt zu ermitteln, schlug er vor, die exakten Zeiten der Kontakte (Ein- und Austritt aus der Sonnenscheibe) zu messen. Je nach Beobachtungsort dauerte der Vorübergang etwas kürzer oder länger. Da die unterschiedlichen Sehnen parallel über die Sonnenscheibe verlaufen, kann die Winkeldistanz zwischen ihnen direkt aus den Zeiten kalkuliert werden.

### Ergebnisse früherer Venustransite

Bisher wurden erst fünf Venustransite von Menschen beobachtet, und nur die vier letzten, jene von 1761, 1769, 1874 und 1882 wurden zur Bestimmung der Sonnenparallaxe genutzt (Figur 7). Nach den Rudolfinischen Tafeln sagte KEPLER für den 7. November 1631 einen Merkur- und für den 6. Dezember 1631 einen Venusdurchgang voraus. Er selber konnte diese beiden Ereignisse nicht mehr selber verfolgen, denn KEPLER starb am 15. November 1630. Der französische Astronom PIERRE GASSENDI beobachtete indessen den angekündigten Merkurtransit mittels Projektion von Paris aus. Angespornt durch das Ereignis wollte er auch den Venusdurchgang am 5./6. Dezember 1631 verfolgen, vergebens, wie sich herausstellen sollte. Wenn immer die Wolken aufrissen, spähte er nach der Sonne und dem «schwarzen Punkt», doch er konnte nicht ahnen, dass dieser Transit von Europa aus unbeobachtbar blieb.



Figur 6: HALLEYS Idee, den kleinen Winkel  $\alpha$  zu messen, erwies sich in der Praxis als äusserst schwierig. Ab 1761 wurden weltweit Messungen durchgeführt, die anfänglich sehr unbefriedigend waren. (Grafik: THOMAS BAER)

Fast wäre der acht Jahre später folgende Venustransit am 4. Dezember 1639 einem Rechenfehler KEPLERS wegen unbeobachtet geblieben (er sagte voraus, Venus würde die Sonnenscheibe knapp verfehlen), hätten die Berechnungen JEREMIAH HORROX aufgrund von Ephemeridentafeln des belgischen Astronomen PHILIP VAN LANDSBERGE (1561 – 1632) nicht für diesen Tag einen Transit ergeben. Tatsächlich konnte er Venus unmittelbar vor Sonnenuntergang ab 4.15 pm UTC vor dem Tagesgestirn sehen! HORROX ermittelte einen Venusdurchmesser von  $1'12''$ .

EDMOND HALLEY – selber hatte er keinen Venusdurchgang erlebt – starb im Jahre 1742 und rief, an die Royal Society gerichtet, auf, die bevorstehenden Venustransite von 1761 und 1769 zu beobachten. Nicht weniger als 120 Astronomen leisteten dem Aufruf Folge und beobachteten das Ereignis am 6. Juni 1761 weltweit. Von Neufundland bis zum Kap der Guten Hoffnung und von Wien bis Tobolsk (Sibirien) fanden Beobachtungen statt. Doch leider waren die Resultate enttäuschend: An mancher Station, so auch auf Rodriguez und St. Helena, wo französische und englische Expeditionsteams hinreisten, beeinträchtigte schlechtes Wetter die Beobachtung. Ausserdem gab es ein weiteres Problem, mit dem niemand gerechnet hatte. Beim 2. und 3. Kontakt, zu dem sich Venus hätte vom inneren Sonnenrand lösen bzw. vereinigen sollen, entstand auf einmal eine «Schattenbrücke» zwischen dem dunklen Planetscheibchen und dem Sonnenhintergrund! Erst rund 50 Sekunden nach der Kontaktzeit erschien der Lichtstreifen zwischen Venus und Sonnenrand! Dieses Phänomen des «schwarzen Tropfens» verfälschte die Messungen der exakten Kontaktzeiten erheblich. Bei diesem einzigartigen Phänomen handelt es

sich um eine Wirkung der atmosphärischen Turbulenz im Zusammenspiel mit der Beugung der Teleskopoptik und nicht, wie oft angenommen wird, um Beugungs- und Lichtbrechungseffekte in der Venusatmosphäre.

Die Ergebnisse waren entsprechend ernüchternd: Statt die Astronomische Einheit auf eine Genauigkeit von 0.15% zu ermitteln, wie HALLEY es sich vorgestellt hatte, errechnete man eine Sonnendistanz zwischen 125.3 und 154.7 Millionen Kilometern, dies nur, weil die Sonnenparallaxe zwischen  $10.5''$  und  $8.5''$  schwankte.

Die nächste Gelegenheit bot sich schon am 3. Juni 1769, auf die man noch umfassendere Vorbereitungen traf. Erneut schwärmten sechzehn Expeditionsteams in alle Teile der Welt aus, unter ihnen auch die von Captain JAMES COOK (1728-1779) kommandierte Reise nach Tahiti, wo ALEXANDER DALRYMPLE und CHARLES GREEN den Transit verfolgten.

Über 80 Stationen lieferten mehr als 150 Einzelmessungen, aber dennoch schwankte die Sonnenparallaxe zwischen  $8.3''$  und  $8.8''$ . JOHANN ENCKE rechnete 1824 aus allen Daten der Transite von 1761 und 1769 einen Mittelwert der Sonnenparallaxe von  $8.578''$ , präzierte sie elf Jahre später auf einen Wert von  $8.571''$ . Daraus liess sich die Astronomische Einheit neu auf 153.5 Millionen Kilometer bestimmen, was sich als immer noch erheblich zu gross erweisen sollte.

Auch die letzten beiden Venus-Transite von 1874 und 1882 wurden zur nochmaligen Nachprüfung der Sonnenparallaxe genutzt. Die Fotografie und genauere Messmethoden liessen bessere Resultate erhoffen. Erstmals beteiligten sich am 9. Dezember 1874 auch amerikanische Astronomen an der Beobachtung des Transits. Doch trotz verbesserter Technik variierte die Parallaxe noch

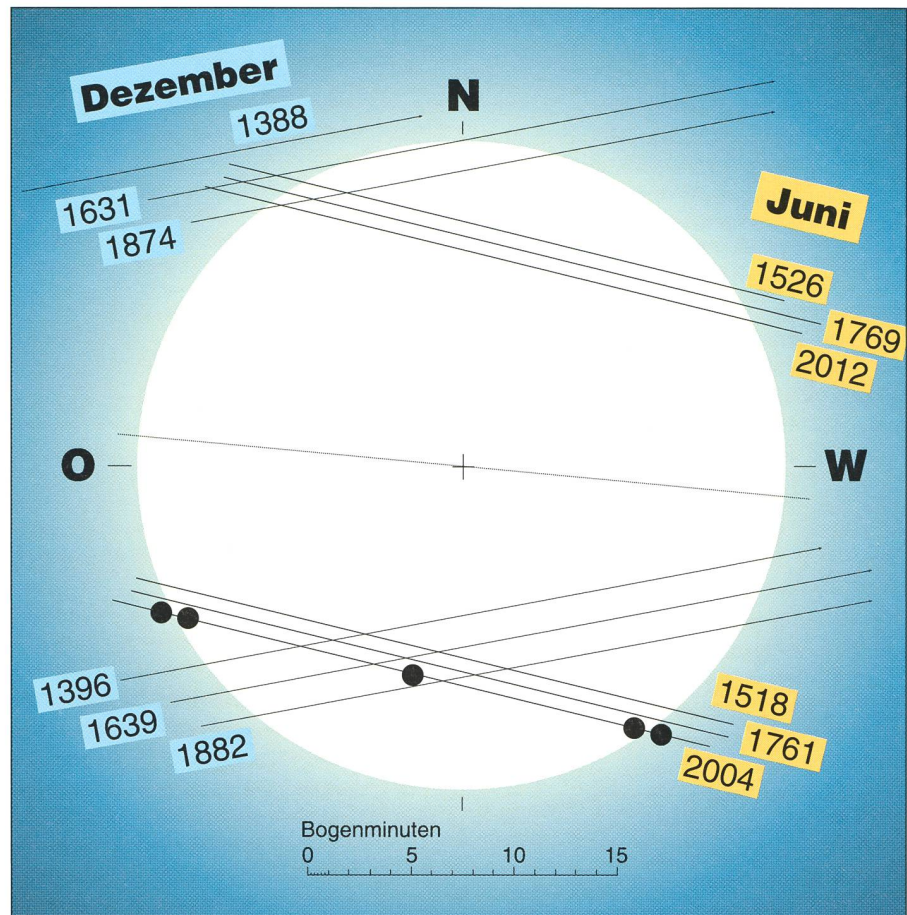
immer zwischen 8.79" und 8.83", was eine Länge der Astronomischen Einheit von 149.7 und 148.9 Millionen Kilometern ergab.

So war die Stimmung auf den letzten Transit am 6. Dezember 1882 gedämpft, doch gab man die Hoffnung nicht auf, den Wert noch einmal zu verbessern. Obwohl LEONARD EULER 1769 einen recht genauen Wert von 8.80" berechnete, publizierte der amerikanische Astronom Simon Newcomb (1835-1909) vom American Nautical Almanac Office in Washington D. C. schliesslich 1890 aufgrund aller ihm damals zur Verfügung stehenden Messdaten einen Wert für die Sonnenparallaxe von 8.79", was einer Länge der Astronomischen Einheit von 149.6 Millionen Kilometern entspricht und dem heutigen Wert recht nahe kommt.

Heute bedient man sich einer bequemerer Methode, die höchst präzise Distanzmessungen im Sonnensystem zulässt; die Messung der Laufzeit elektromagnetischer Wellen. Aus dem Jahre 1990 haben wir den modernsten Wert der Astronomischen Einheit mit 149.597 Millionen Kilometern, was einer Lichtlaufzeit von 499 Sekunden oder 8 Minuten 19 Sekunden entspricht.

THOMAS BAER

Astronomische Gesellschaft Zürcher Unterland  
CH-8424 Embrach



Figur 7: Die Venus-Transite von 1388-2012. (Grafik: THOMAS BAER)

## Ein Nachtspektakel für die öffentlichen Sternwarten

# Totale Mondfinsternis am Abend des 4. Mai 2004

THOMAS BAER

Nicht nur für den Laien ist das Schauspiel einer totalen Mondfinsternis ein besonderes Ereignis. Auch Amateurastronomen fiebern solchen Phänomenen mit Freude entgegen. In den öffentlichen Publikumssternwarten wird daher am Abend des 4. Mai 2004 viel los sein.

Dass man vom selben Beobachtungsort aus gleich vier totale Mondfinsternisse in Folge beobachten kann, ist eine grosse Seltenheit. In den Jahren 2003 und 2004 kann eine solche Serie von Europa aus miterlebt werden. Letztmals war dies in den Jahren 1949 und 1950 der Fall und wird sich erst 2050/51 wiederholen. Im vergangenen Jahrhundert gab es nur viermal die Situation von einem Quartett totaler Mondfinsternisse, die letzte Serie 1985/86. Interessanterweise fielen die beiden Mondfinsternisse des Jahres 1985 ebenfalls auf den 4. Mai und den 28. Ok-

tober, genau wie 2004! Eine Mondfinsternis ist überall dort von der Erde aus zu sehen, wo der Vollmond zum Finsterniszeitpunkt sichtbar ist.

Optimaler könnte die Mondfinsternis vom 4. Mai 2004 nicht eintreten. Nur kurze Zeit vor Mondaufgang um 20:32 Uhr MESZ tritt der Vollmond in den ohnehin schwierig sichtbaren Halbschatten der Erde ein. Just wenn die partielle Finsternisphase um 20:48.2 Uhr MESZ beginnt, hat sich der Trabant schon ein Stück über den Ost-südost-Horizont gekämpft. Der Erdschatten macht sich im linken Bereich der Mond-

scheibe bemerkbar, und je höher der Mai-Vollmond in den Himmel steigt, desto weniger ist von ihm zu sehen. Die partielle Phase dauert bis um 21:52.1 Uhr MESZ. Interessant wird zu beobachten sein, wie immer mehr Sterne am Firmament funkeln und auf einmal sogar das Band der Milchstrasse sichtbar wird!

Weil durch die Erdatmosphäre, welche wie eine Linse wirkt, vor allem die langwelligen Anteile des Sonnenlichts in den Erdschatten gelenkt werden, verschwindet der Trabant nicht komplett im Dunkeln. Vielmehr färbt sich seine Oberfläche rötlichbraun. Zum Finsterniszeitpunkt befindet sich der Mond fast in Erdnähe, womit eher mit einer dunkleren Erscheinung der Stufe 1 bis 2 nach Danjon gerechnet werden muss. Perigäische Finsternisse fallen tendenziell dunkler aus als apogäische.

Die Totalität dauert mit 1 Stunde und 16 Minuten, verglichen mit der Mondfinsternis vom 9. November 2003, recht lange. Die Grösse der Finsternis beträgt das 1.3090-fache des scheinbaren Monddurchmessers, was bedeutet, dass der südliche Mondrand 31% der Mondgrösse am inneren Kernschattenrand vorbeizieht. Der nördliche Mondrand verfehlt dabei den Erdschattenmittelpunkt nur