



Venus vor der Sonne

Ein seltenes Rendezvous

VON MARTIN J. NEUMANN



Am 8. Juni 2004 wird der Planet Venus vor der Sonne vorüberziehen. Ein derartiges Ereignis ist so selten, dass es kein heute lebender Mensch jemals gesehen hat. Es bietet die außergewöhnliche Chance, die Bewegung unseres Nachbarplaneten innerhalb weniger Stunden zu verfolgen und gleichzeitig eines der interessantesten Kapitel der Geschichte der Astronomie nachzuerleben.

Venus bei Nacht und bei Tag

Im Frühjahr 2004 schmückte ein brillanter Himmelskörper mit ruhigem Glanz den westlichen Abendhimmel. Es war der Planet Venus – das hellste Objekt nach Sonne und Mond. Seit jeher zieht der »Morgen- und Abendstern« die Blicke aller Menschen auf sich – ganz gleich, ob sie sich eingehender mit Himmelserscheinungen befassen oder nicht. Venus ist zeitweise derart hell, dass Gegenstände die nach Ende der Dämmerung von ihr

beleuchtet werden, einen deutlich sichtbaren Schatten werfen.

Laien verwechseln sie zuweilen mit einem künstlichen Flugkörper und wollen anfangs kaum glauben, dass es sich bei dem strahlend hellen Objekt um einen Planeten handelt. Zur Zeit seines größten Glanzes ist der Nachbarplanet der Erde sogar am blauen Tageshimmel mit bloßem Auge als Lichtpunkt zu sehen.

In den kommenden Wochen wird sich die Venus am Himmel der Sonne nä-

hern, wobei sich die abendlichen Sichtbarkeitsbedingungen drastisch verschlechtern. Doch schon am 8. Juni sehen wir Venus wieder, denn an diesem Tag begegnet sie der Sonne und wird für die Dauer mehrerer Stunden als schwarzer Punkt vor ihr vorüberziehen. Dieses Ereignis, ein so genannter Venustransit, war zuletzt im Jahr 1882 zu beobachten, und kein Naturfreund sollte sich den für uns vielleicht einmaligen Anblick der »schwarzen Venus« entgehen lassen!

Die Geometrie der Transits

Die Erde bewegt sich innerhalb von 365,256 Tagen um die Sonne, die Venus benötigt hierfür nur 224,701 Tage. Deshalb kommt es alle 583,92 Tage zu einem Überholvorgang, wobei sich Venus zwischen Erde und Sonne befindet. Man spricht von der »Unteren Konjunktion«. Allerdings sehen wir Venus währenddes-

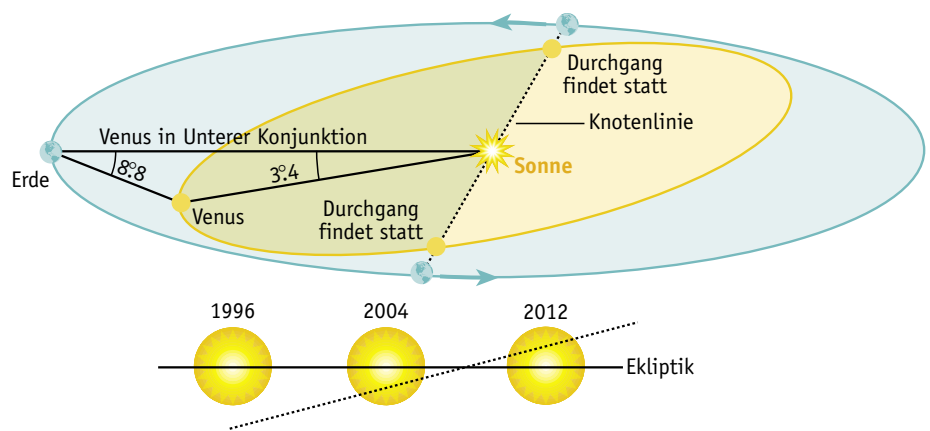


◀ Erstmals wurde ein Venusdurchgang am 4. Dezember 1639 detailliert beobachtet. Dieses im 19. Jahrhundert entstandene Gemälde des englischen Malers Ford Madox Brown zeigt den vom Anblick der schwarzen Venus gefesselten Beobachter William Crabtree. Die Sonne befand sich zum Zeitpunkt der Beobachtung nur 5° über dem Horizont. (Bild: Manchester Art Gallery)

▼ Die Venus- und die Erdbahn sind gegeneinander geneigt. Deshalb kann ein Venustransit nur dann eintreten, wenn sich Venus und Erde nahe der Knotenlinie der Venusbahn befinden. 1996 wurde die ideale Stellung knapp verfehlt. Die nächsten Termine sind der 8. Juni 2004 und der 6. Juni 2012.

sen nur selten genau vor der Sonne: Der letzte Venusdurchgang ereignete sich am 6. Dezember 1882. Der Grund für die lange Wartezeit von 121,5 Jahren liegt darin, dass die Ebenen der Venus- und der Erdbahn um $3,4^\circ$ gegeneinander geneigt sind. Deshalb zieht Venus während einer Unteren Konjunktion zumeist mehrere Grad nördlich oder südlich an der Sonne vorbei. Die Winkeldistanz kann hierbei mehr als 8° betragen, was 16 scheinbaren Sonnendurchmessern entspricht. Damit sich ein Venusdurchgang vor der Sonne – ein so genannter Transit – ereignen kann, müssen sich Erde, Venus und Sonne jedoch nahezu exakt auf einer Linie befinden. Dies ist nur dann möglich, wenn sich Venus während ihrer Unteren Konjunktion auf oder nahe der Schnittlinie beider Bahnebenen, der so genannten Knotenlinie, befindet (siehe Abb. rechts). Die Erde kreuzt die Knotenlinie der Venusbahn in den Tagen um den 7. Juni und den 6. Dezember: Im Juni durchquert die Erde die Ebene der Venusbahn von Nord nach Süd, im Dezember ist es umgekehrt.

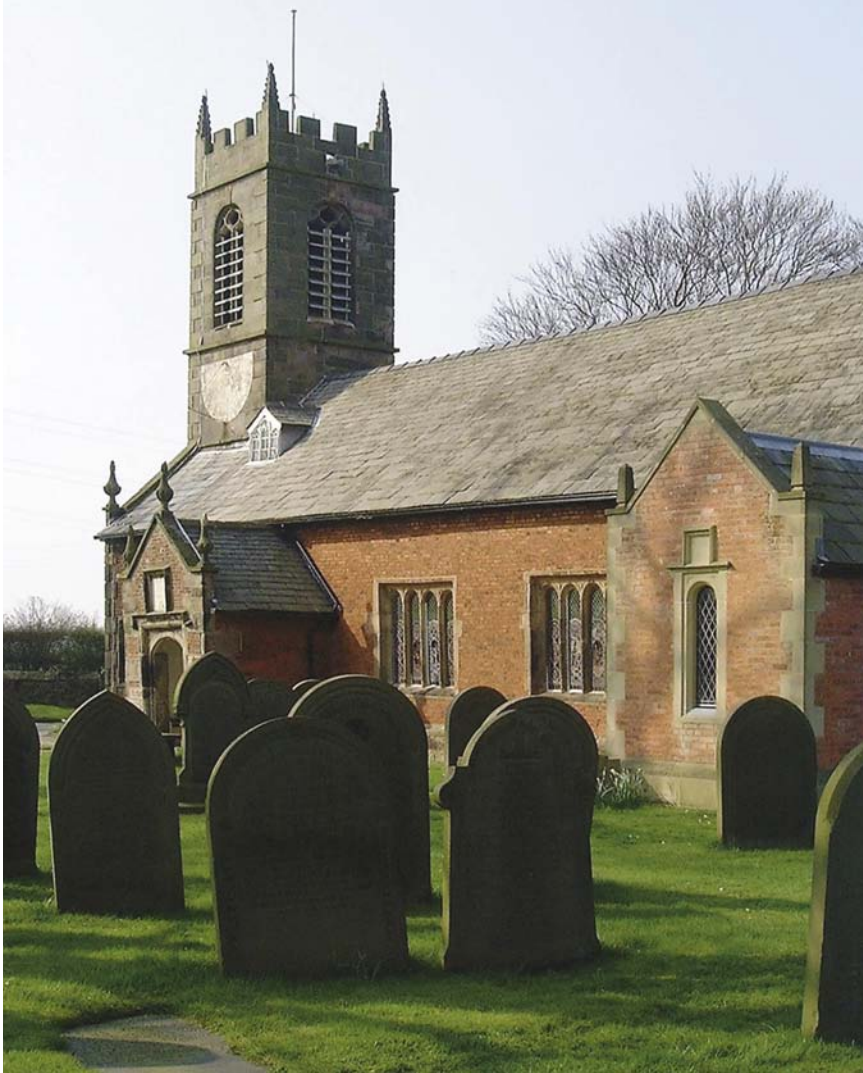
Erreicht die Erde die Knotenlinie der Venusbahn nur einen einzigen Tag vor oder nach der Unteren Konjunktion, so wandert die Venus während des Transits bereits nicht mehr durch die Mitte der Sonnenscheibe, sondern zieht neun Bo-



genminuten entfernt an ihr vorüber. In diesem Fall bewegt sich die Venus während des Transits entlang einer Sekante über die Sonnenscheibe hinweg. Aufgrund der Bahnneigung und des scheinbaren Sonnendurchmessers darf die Abweichung vom Zeitpunkt der idealen Position (d. h. Erde, Venus und Sonne exakt in einer Linie) 1,6 Tage nicht überschreiten.

Venustransits können sich paarweise im Abstand von acht Jahren ereignen: Die Erde benötigt für acht Umläufe um die Sonne 2922,0 Tage. Dies entspricht nahezu dem Fünffachen (2919,6 Tage) des Zeitintervalls zwischen zwei aufeinanderfolgenden Unteren Konjunktionen. Dieses Zeitintervall wird auch als die Synodische Umlaufzeit der Venus bezeichnet. Auf-

grund dieser Synchronisierung wiederholen sich die Unteren Konjunktionen alle acht Jahre an ähnlichen Positionen der Erdbahn. Deshalb wird nach dem Transit vom 8. Juni 2004 am 6./7. Juni 2012 wiederum ein Ereignis beobachtbar sein. Da die Synodische Umlaufzeit jedoch nicht exakt der Dauer von acht Erdumläufen entspricht, wird nach weiteren acht Jahren, also im Jahr 2020, der kritische Zeitabstand von 1,6 Tagen überschritten: Venus wandert an der Sonnenscheibe vorbei, und es werden mehr als einhundert Jahre vergehen, bis sie wieder als schwarzer Punkt vor dem hellen Tagesgestirn vorüberzieht. Entsprechend verhielt es sich im Jahr 1996, also acht Jahre vor dem Transit von 2004.



◀ Die Kirche Much Hoole, St. Michael's, in der Jeremy Horrocks als Geistlicher wirkte. (Bild: Tony Boughen)



▶ Ein im 19. Jahrhundert in Much Hoole entstandenes Kirchenfenster erinnert an die erste systematische Beobachtung eines Venusdurchgangs am 4. Dezember 1639 durch Jeremy Horrocks. Die durch ein Altarkreuz teilweise verdeckte Inschrift lautet: »Ecce gratis plenum spectaculum et tot votorum materiem« (Dies ist das gnadenvolle Schauspiel und der Gegenstand so vieler Gelübde). (Bild: Tony Boughen)

Viel häufiger als Venus ist Merkur vor der Sonne sichtbar – und dies, obwohl die Neigung seiner Bahn gegen die Erdbahnebene deutlich größer ist als die der Venusbahn. Der Grund hierfür liegt darin, dass die mittlere Distanz des Merkur zur Sonne erheblich geringer ist als jene der Venus. Somit ist der erd zugewandte Teil der Merkurbahn leichter auf die Sonne zu projizieren als der entsprechende Teil der Venusbahn.

Keplers Vermächtnis

Die erste detaillierte Beobachtung eines Venustransits vor der Sonne gelang dem jungen englischen Geistlichen und Amateurastronomen Jeremy Horrocks im 17. Jahrhundert. 1639 hatte der damals Zwanzigjährige die Rudolphinischen Tafeln Johannes Keplers studiert. Diese von Kepler zu Ehren seines »Arbeitgebers« des römisch-deutschen Kaisers Rudolphs II., König von Böhmen, benannten und 1627 veröffentlichten Tabellen sollten noch mehrere Jahrhunderte lang die Grundlage zur Berechnung von Planetenstellungen bilden.

Jeremy Horrocks stellte fest, dass sich Venustransits nur überaus selten ereignen. Umso größer muss seine Überraschung gewesen sein, als er im Oktober 1639 zu dem Ergebnis kam, dass Venus bereits wenige Wochen später, am 4. De-

zember, erneut vor der Sonne vorüberziehen würde.

Er beobachtete den Transit mit Hilfe eines Fernrohrs vom Fenster seines Wohnhauses, Carr House, in dem kleinen nord-englischen Ort Much Hoole aus. Seine Beobachtungen hielt Horrocks minutiös fest und verfasste hierüber ein Buch mit dem Titel »Venus in sole visa«. In Much Hoole befindet sich auch die Kirche St. Michael's, in welcher der Geistliche wirkte. Hier erinnern noch heute mehrere im 19. Jahrhundert entstandene Glasfenster an die Begebenheit. Zu sehen ist Horrocks neben einem projizierten Bild der Sonne, auf dem die Venus als kleine schwarze Scheibe zu erkennen ist.

Bis zum Tag des Transits war Horrocks nur wenig Zeit geblieben, um weitere Beobachter über das bevorstehende Himmelsereignis zu informieren. Jedoch ist überliefert, dass sein nahe bei Manchester lebender Freund William Crabtree, der ebenfalls ein Fernrohr besaß, noch rechtzeitig davon erfuhr. Leider hatte Crabtree bei seinem Versuch weniger Glück als Horrocks, denn aufgrund starker Bewölkung konnte er die Sonnenscheibe erst kurz vor Sonnenuntergang inspizieren. Nachdem die Wolken die Sonne freigeben hatten, muss die Erscheinung der schwarzen Venus Crabtree derart gefesselt haben, dass er zunächst vergaß,

seine Beobachtung aufzuzeichnen. Ein während der Jahre 1881–1888 entstandenes Gemälde des englischen Künstlers Ford Madox Brown, welches heute in der Manchester Town Hall sowie in der Manchester Art Gallery zu bewundern ist, gibt diese Stimmung eindrucksvoll wieder. Für den 2. Januar 1641 hatte Crabtree ein Treffen mit Horrocks vereinbart, in dem die beiden das Gesehene diskutieren wollten, doch dieses kam nicht mehr zu Stande, da Horrocks tags zuvor verstarb.

Die Jagd nach der Astronomischen Einheit

Die nächsten Venusdurchgänge sollten sich erst in den Jahren 1761 und 1769 ereignen. Doch diesmal planten Astronomen in ganz Europa, die Erscheinung zu

Die Bestimmung der Astronomischen Einheit nach Edmond Halley

Edmond Halley, ein Zeitgenosse Isaac Newtons, erkannte, dass die gleichzeitige Beobachtung eines Venustransits von verschiedenen Orten der Erde aus die Bestimmung einer für die Vermessung des Kosmos fundamentalen Größe gestatten: die Astronomische Einheit (AE). Sie bezeichnet die mittlere Distanz der Erde zur Sonne. Ohne die Kenntnis ihres genauen Zahlenwertes könnten wir Distanzen im Sonnensystem und zu den Sternen nur in Vielfachen des Abstands Erde–Sonne angeben. Wir müssten uns also damit begnügen, aus dem dritten Keplerschen Gesetz $a_p^3/T_p^2 = a_E^3/T_E^2$ die Distanz a_p eines Planeten aus seiner beobachteten siderischen Umlaufzeit T_p nur in AE angeben zu können und nicht etwa in Kilometern. Ist a_E die Distanz Erde–Sonne ($a_E = 1$ AE) und T_E die Umlaufzeit der Erde um die Sonne ($T_E = 1$ Jahr), so ergibt sich z. B. aus der beobachteten Umlaufzeit des Jupiter ($T_p = 11.8$ Jahre) dessen mittlere Distanz zur Sonne zu $a_p = a_E (T_p/T_E)^{2/3} = 5.2$ AE. Um seine Distanz in Kilometern zu ermitteln, muss jedoch bekannt sein, wieviele Kilometer einem AE entsprechen.

Zur Bestimmung der AE argumentierte Halley nun wie folgt: Von zwei verschiedenen Orten der Erde aus gesehen zieht Venus auf unterschiedlichen scheinbaren Bahnen A und B vor der Sonne vorüber, welche parallel zueinander im Abstand D verlaufen (Abb. Teil a). Dieser Abstand erscheint von der Erde aus unter dem Winkel ϱ (Abb. Teil b). Vereinfachend wird im Folgenden angenommen, dass sich die Beobachter am Nord- bzw. Südpol der Erde befinden, d. h. dass sie genau einen Erddurchmesser d voneinander entfernt sind.

Von der Sonne aus gesehen erscheint der Erddurchmesser unter dem Winkel ϱ (Abb. Teil c). Die Aufgabe besteht nun darin, ϱ zu ermitteln, denn hieraus folgt zusammen mit dem bekannten Durchmesser der Erde die Astronomische Einheit s zu: $s = d/\tan \varrho$.

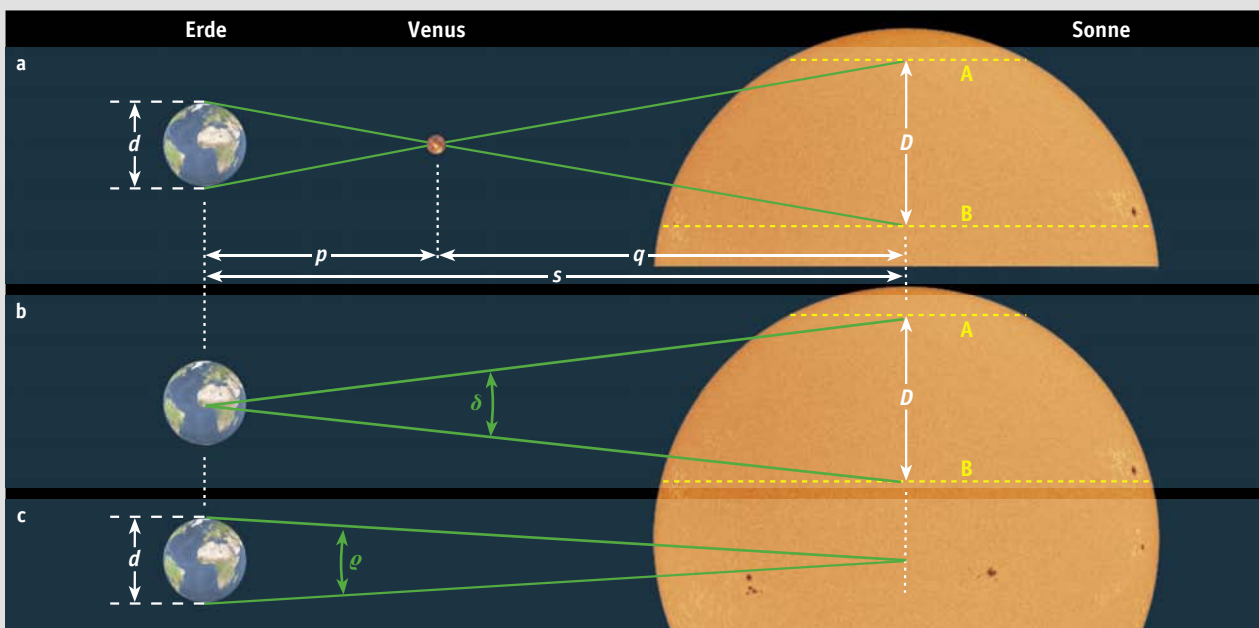
Mit Hilfe der beobachteten scheinbaren Bahnen des Venustransits ergibt sich zunächst der Winkel δ . Er folgt aus dem direkten Vergleich des Winkelabstands der Bahnen mit dem ebenfalls während des Transits bestimmten scheinbaren Durchmesser der Sonne. Allgemein hängt die Größe von D bzw. δ – bei fest vorgegebenen Positionen der Beobachter – nur von den Distanzen Sonne–Venus (q) und Venus–Erde (p) ab. Ihre Summe ist gleich dem Abstand Erde–Sonne (s), d. h. der Astronomischen Einheit: $s = p + q$. Hieraus folgt: $p/q = s/q - 1$. Gemäß Teil a der Abb. verhält sich p zu q wie sich d zu D verhält: $p/q = d/D$. Aus b und c folgt analog: $D/\delta = d/\varrho$ (für kleine Winkel δ und ϱ).

▼ Die geometrischen Verhältnisse während der gleichzeitigen Beobachtung eines Venustransits vom Nord- und Südpol der Erde aus. Die Beobachter sehen Venus auf den gestrichelt eingezeichneten Bahnen A bzw. B vor der Sonne vorüberziehen. Aus der Messung ihres Winkelabstands δ ergibt sich mit Hilfe des dritten Keplerschen Gesetzes der von der Sonne aus gesehene scheinbare Erddurchmesser ϱ , aus dem die astronomische Einheit s folgt.



Somit ist $p/q = \varrho/\delta$. Das Verhältnis s/q ist durch das dritte Keplersche Gesetz gegeben: $s^3/q^3 = T_E^2/T_V^2$, d. h. $s/q = (T_E/T_V)^{2/3}$. Mit den bekannten Umlaufzeiten von Erde $T_E = 365$ Tage und Venus $T_V = 225$ Tage ergibt sich $s/q = 1.38$ und damit $\varrho = 0.38 \delta$. Durch die Messung von δ ist somit ϱ und daraus die AE bestimmbar. Der Winkel $\varrho/2$ wird auch als »Horizontalparallaxe der Sonne« bezeichnet.

Diese Überlegungen mögen das Prinzip verdeutlichen, doch in der Praxis sind die Rechnungen erheblich komplizierter, da sich die beiden Beobachter nicht an den Polen der Erde befinden. Ein derartiger Versuch hätte auch keinen Sinn, da sich Venustransits nur im Juni und im Dezember ereignen, wobei der Süd- bzw. der Nordpol der Erde im Dunkeln liegen. Formeln für den allgemeinen Fall zweier an beliebigen Orten der Erde postierter Beobachter finden sich im Internet (siehe »Weitere Informationen«).



beobachten, um eine für die Vermessung des Kosmos fundamentale und bis dahin nur ungenau bekannte Größe abzuleiten: den mittleren Abstand der Erde zur Sonne – die Astronomische Einheit (AE). Bereits im Jahr 1716 hatte Edmond Halley in den »Proceedings of the Royal Astronomical Society« (Mitteilungen der Königlich-Astronomischen Gesellschaft) ein Verfahren beschrieben, nach dem die Astronomische Einheit durch die gleichzeitige Beobachtung eines Venustransits von unterschiedlichen Orten der Erde aus bestimmt werden konnte.

Die Beobachter sehen Venus während des Transits auf unterschiedlichen Bahnen vor der Sonne vorüberziehen. Aus der scheinbaren Winkeldistanz dieser Bahnen, der so genannten Parallaxe, sowie dem bekannten Abstand zwischen den Beobachtern, lässt sich zunächst die Distanz zwischen Erde und Venus berechnen. Hieraus folgt, gemeinsam mit den bekannten Umlaufzeiten von Venus und Erde, mit Hilfe des 3. Keplerschen Gesetzes der Wert der AE (siehe Kasten auf Seite 25).

Venustransits erschienen Halley für die Bestimmung der AE besser geeignet als Merkurtransits. Zwar passiert der innerste Planet, Merkur, häufiger die Sonnenscheibe als Venus, doch ist er auch weiter von der Erde entfernt, so dass seine Parallaxe kleiner ausfällt. Die damalige Technik gestattete jedoch keine für die Bestimmung der AE hinreichend genaue Ermittlung der Parallaxe des Merkur. Heutzutage wäre eine befriedigende Messung mittels Satellitenaufnahmen jedoch ohne weiteres möglich (siehe Abb. unten).

Die Früchte seiner Ideen konnte Halley nicht mehr ernten, denn er verstarb zwanzig Jahre bevor sich der nächste Venustransit ereignen sollte. Doch das von ihm hinterlassene Werk »A Plain Method of finding the Distances of all Planets from the Sun by the Transit of Venus over the Sun's Disc in 1761« hatte kommenden Generationen von Astronomen den Weg zur Bestimmung der AE gewiesen. So brachen in jenem Jahr zahlreiche Expeditionen nach unterschiedlichen Teilen Europas und Asiens auf, um den Transit zu beobachten.

Eine wissenschaftlich wertvolle Beobachtung des Transits bot damals bedeutende Herausforderungen: Abgesehen von den Gefahren weiter Reisen, die vielleicht mit den heutigen Risiken einer bemannten Mondmission vergleichbar sind, stellte sich das technische Problem einer genauen Zeitmessung. Zu Halleys Zeit gab es noch keine photographischen Platten, die nach der Beobachtung des Transits zum Ausmessen der Venusparallaxe herangezogen werden konnten. Um diese zu ermitteln, hätten weit voneinander entfernte Beobachter die jeweilige Position des Planeten auf der Sonnenscheibe gleichzeitig messen müssen. Die Gleichzeitigkeit konnte jedoch mangels schneller Kommunikationsmöglichkeiten zwischen den Stationen nicht gewährleistet werden. Deshalb forderte das Halleysche Verfahren nicht die Messung der Winkelkoordinaten der Venus bezüglich der Sonnenscheibe, sondern die Messung der Ein- und Austrittszeiten des Transits. Aus ihnen konnte die jeweilige scheinbare Bahn der Venus rekonstruiert und die gesuchte Parallaxe berechnet werden.

Doch ein Problem blieb bestehen: Halleys Verfahren setzte die genaue Kenntnis der räumlichen Distanz zwischen den Beobachtern voraus. Diese musste aus den geographischen Koordinaten der Beobachtungsstationen berechnet werden. Die Ermittlung des Längengrades erforderte wiederum eine genaue Zeitmessung, und man hoffte, dass die Messgenauigkeit der

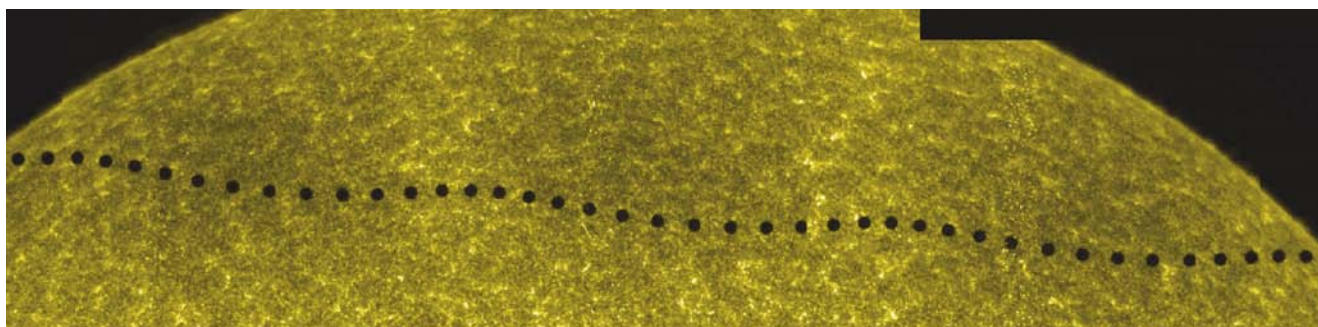
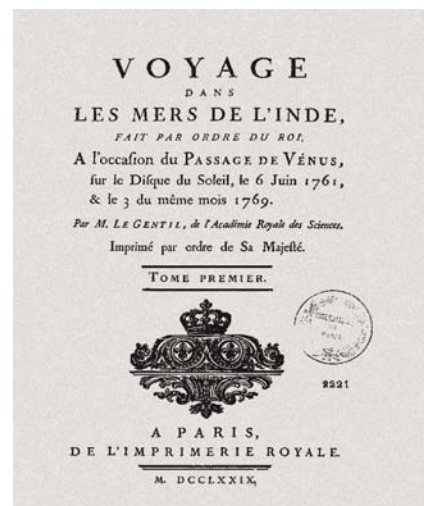
Uhren auf dem Seeweg von Europa in unterschiedliche Klimazonen akzeptabel blieb. Jedoch veränderten sich die mechanischen Eigenschaften der empfindlichen Instrumente, weswegen die von Halley prognostizierte Genauigkeit der Astronomischen Einheit von 0.2% niemals erreicht wurde.

Ein Pechvogel auf Weltreise

Die vielfältigen Gefahren, denen damalige Astronomen seinerzeit ausgesetzt waren, lassen sich eindrucksvoll anhand der Reise eines französischen Wissenschaftlers illustrieren: Guillaume Joseph Hyacinthe Jean-Batiste Le Gentil de La Galaisière (1725–1792), kurz »Le Gentil« genannt. Der Siebenjährige Krieg tobte, und Le Gentil nutzte ein französisches Truppentransportschiff, um nach Batavia, dem heutigen Jakarta, zu gelangen. Unterwegs kam ein Befehl aus Paris, nachdem das Schiff den Kurs zu ändern und Pondicherry, Indien, anzusteuern hatte. Dort rangen britische und französische Truppen um die militärische Vorherrschaft. Bereits vor Le Gentils Ankunft war Pondicherry gefallen, und der Transport sollte umkehren. Dennoch erhielt der Astronom eine perfekte Sicht auf den Venustransit – allerdings vom Deck des schwankenden Schiffes aus, wo keine wissenschaftlich wertvollen Messungen möglich waren. Er beschloss, bis zum nächsten Transit, der sich acht Jahre später ereignen sollte, im ostasiatischen

▶ Titelbild des Reiseberichts von Le Gentil. (Bild: Observatoire de Paris)

▼ Während des Merkurtransits am 7. Mai 2003 sah der Satellit TRACE aufgrund seiner Bewegung um die Erde die scheinbare Bahn des Merkur als Wellenlinie. Das Bild entstand bei der Wellenlänge 160 nm, der zeitliche Abstand zwischen den Einzelaufnahmen betrug etwa 450 s. (Bild: Stanford-Lockheed Institute for Space Research und NASA)





Raum zu bleiben und konnte diesmal von Pondicherry aus beobachten. Die Briten zeigten sich sogar kooperativ und stellten ihm ein 3-Zoll-Linsenteleskop zur Verfügung. Doch am Morgen des Transits, dem 2. Juni 1769, herrschte schlechtes Wetter. Unter einem bewölkten Himmel betete Le Gentil um ein Wunder, das nicht eintrat. Erst eine halbe Stunde nach dem Austritt der Venus riss der Himmel auf. Traurig begab sich der Pechvogel auf den Rückweg nach Frankreich, erlitt dabei zweimal Schiffbruch – und überlebte. Zu Hause angekommen, musste er feststellen, dass man ihn für tot erklärt hatte, und seine Verwandten sich anschickten, sein Vermögen unter sich aufzuteilen.

Die Mehrheit der Astronomen blieb jedoch von einem derartigen Pech verschont. So konnten Wissenschaftler aus Deutschland, Österreich, England, Spanien, Frankreich und Russland den Transit des Jahres 1769 von mehr als 80 Stationen der Erde aus detailliert beobachten, wobei ihnen insgesamt mehr als 150 Messungen gelangen. Als Wert der Astronomischen Einheit ergab sich die Distanz von 153 Millionen Kilometern, was mehr als zwei Prozent größer als der tatsächliche Wert ist.

Captain Cook und der Schwarze Tropfen

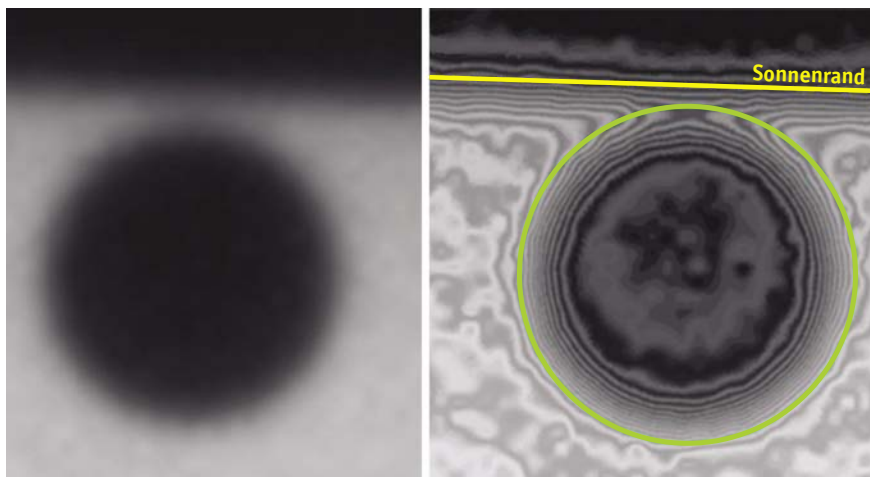
Eine der bekanntesten Persönlichkeiten unter den Forschungsreisenden jener Zeit war der englische Kapitän James Cook. Mit dem Schiff Endeavour und Charles Green vom Royal Greenwich Observatory an Bord, war er im Auftrag des wissenschaftlich interessierten Königs William III. nach Tahiti aufgebrochen. Hier hatten

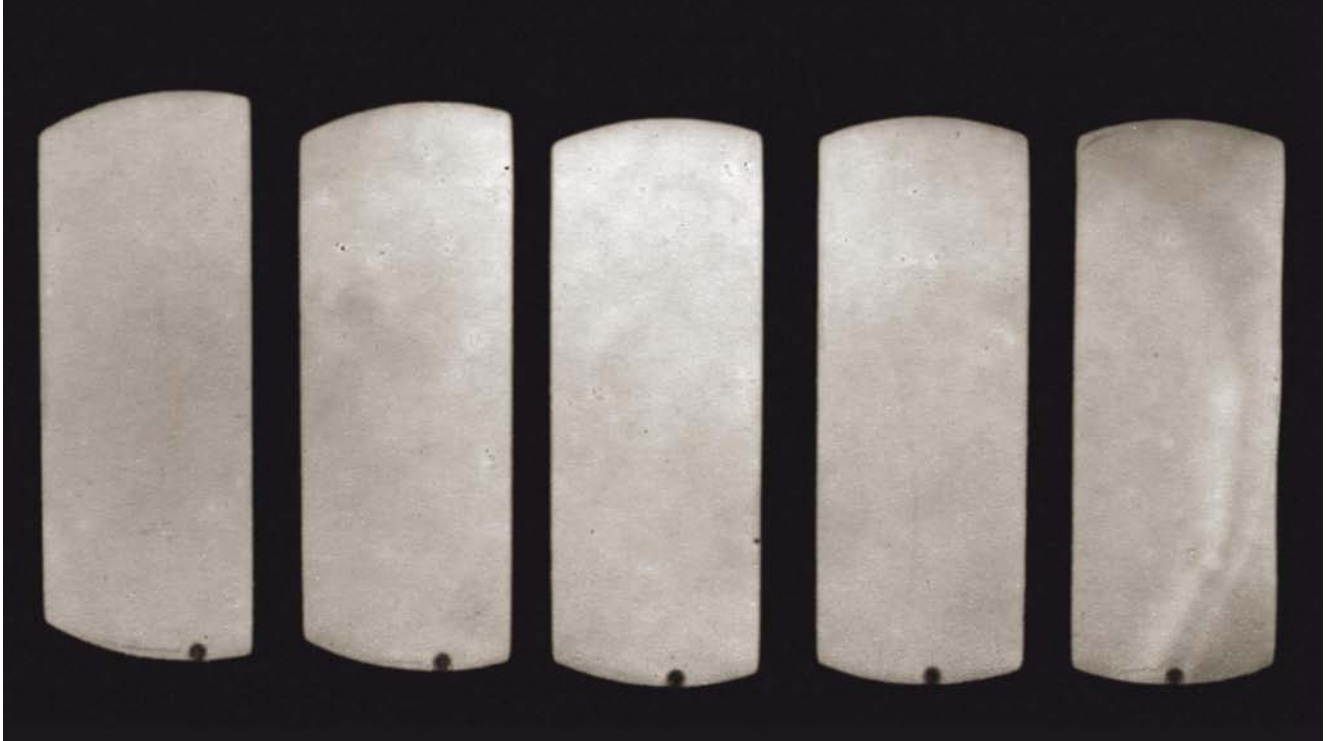
sie 1769 den Beobachtungsstützpunkt »Fort Venus« errichtet. Kurz nach Beginn des Transits, als sich die Venus noch nahe dem Sonnenrand befand, wurden sie Zeugen eines Effekts, der bereits 1761 unangenehm in Erscheinung getreten war: Zwischen der Planetenscheibe und dem Sonnenrand zeigte sich eine schmale dunkle Verbindungsbrücke, die den Umriss des Scheibchens für kurze Zeit tropfenförmig erscheinen ließ. Dieses Phänomen sollte sich für die Astronomen als ein echter »Wermutstropfen« erweisen, denn es verhinderte eine genaue Bestimmung der Ein- und Austrittszeiten, wie sie das von Halley erdachte Verfahren forderte. Die in seiner Veröffentlichung von 1716 prognostizierte geringe Fehlertoleranz der Astronomischen Einheit von nur 0,2 % konnte deshalb niemals erreicht werden.

Heute ist bekannt, dass der Schwarze Tropfen aufgrund der beugungsbegrenzten Winkelauflösung des verwendeten

▲ Dieses Ölgemälde des englischen Malers William Hodges (1744–1797) zeigt die Schiffe der Expedition von James Cook in der Bucht Matavai, Tahiti, während der Beobachtung des Venustransits von 1769. (Bild: Rue des Archives, The Granger Collection New York und Eso)

▼ Die Ursache des Tropfeneffekts demonstriert diese Aufnahme von Merkur vor der Sonne am 15. 11. 1999, die mit dem Satelliten TRACE entstand. Rechts ist die Isophotendarstellung des linken Bildes gezeigt. Die Randverdunkelung der Sonne und die auflösungsbedingte Unschärfe des Teleskops täuschen dem Beobachter eine Verbindung zwischen der Planetenscheibe und dem Sonnenrand vor. (Bild: Gerard Schneider et al./NASA)





▲ Photographien eines Venusdurchgangs entstanden erstmals im Jahr 1874. Venus ist hier am unteren Rand der Sonne als kleine schwarze Scheibe zu sehen. Der Tropfeneffekt ist auch hier erkennbar. (Bild: IMCCE)

▼ Die Zeiten des Sonnenauf- und -untergangs (SA bzw. SU) sowie des ersten bis vierten Kontakts der Venus Scheibe mit dem Sonnenrand und der Mitte des Transits in UT (MESZ = UT + 2h). Die Größen h_1 bis h_4 sowie h_m bezeichnen die Höhe der Sonne über dem Horizont zum jeweiligen Zeitpunkt.

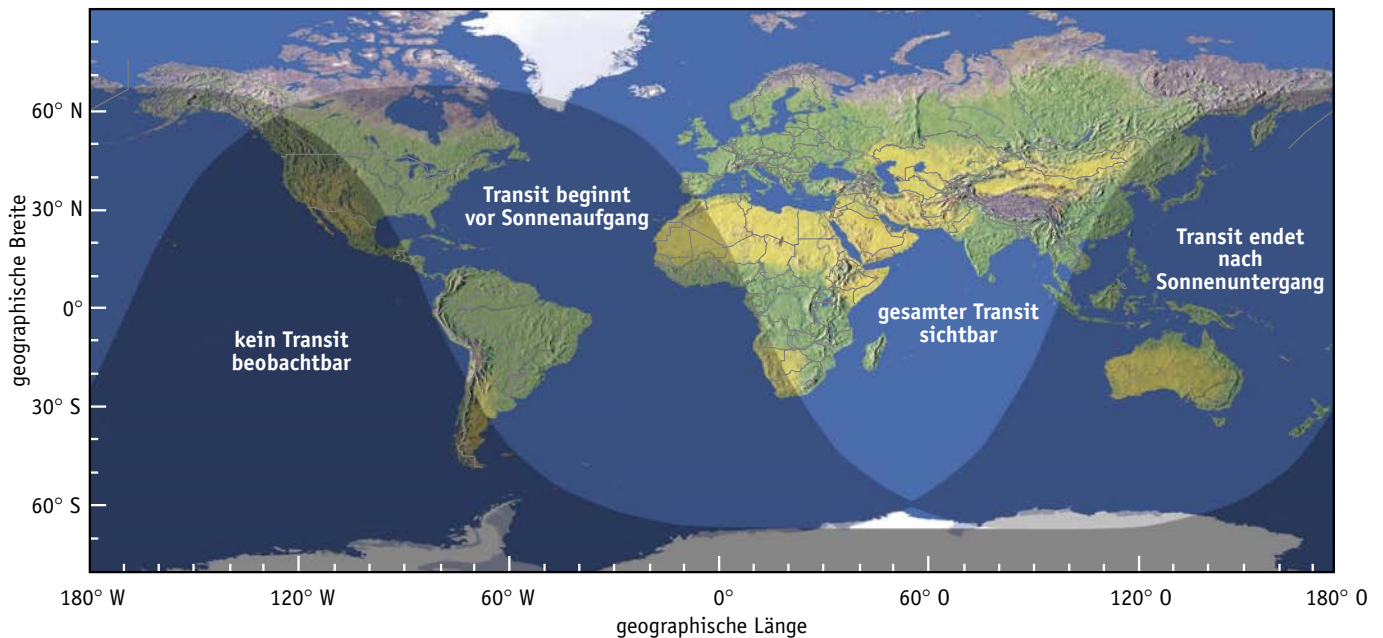
Teleskops in Verbindung mit der Randverdunkelung der Sonne entsteht. Dies ist das Ergebnis einer Untersuchung von Glenn Schneider und Mitarbeitern vom Steward Observatory der University of Arizona. Sie konnten den Effekt während des Merkurtransits vom 15. November 1999 nachweisen (siehe Abb. Seite 27). Mit dem Satelliten TRACE (Transition Region Coronal Background Explorer) hatten sie den Eintritt des Planeten vor die Sonnenscheibe beobachtet. Einflüsse der irdischen Luftunruhe oder einer Planetenatmosphäre konnten hierbei naturgemäß ausgeschlossen werden. Doch der Schwarze Tropfen zeigte sich ebenfalls.

Bei den historischen Venusbeobachtungen war der Tropfeneffekt zusätzlich durch die Luftunruhe der Erdatmosphäre verstärkt worden, die Venusatmosphäre

spielte hierbei jedoch keine Rolle. Sie offenbarte sich erstmals während des Transits von 1761, als der russische Astronom Michail Lomonossov entdeckte, dass die Planetenscheibe während des Eintritts von einem hellen Lichtsaum umgeben war – in der Venusatmosphäre gebrochenes Sonnenlicht.

Die bis heute letzten Gelegenheiten, Venus vor der Sonne zu beobachten, boten sich 1874 und 1882. Allerdings wurden sie aufgrund des Tropfenphänomens nicht von allen Astronomen wahrgenommen. So verzichteten Österreich und weitere Staaten 1882 gänzlich darauf, Expeditionen zu entsenden. Zudem wurde inzwischen eine andere Methode zur Bestimmung der AE mit hoher Genauigkeit praktiziert: Die Positionen des Mars sowie naher Asteroiden konnten von verschied-

Ort	SA	SU	1. Kontakt	h_1	2. Kontakt	h_2	Mitte	h_m	3. Kontakt	h_3	4. Kontakt	h_4
Athen	3:02	17:47	5:19:58	24°	5:39:33	28°	8:22:36	60°	11:04:19	73°	11:23:34	70°
Bombay	0:31	13:44	5:16:15	64	5:35:13	68	8:18:39	73	11:02:33	35	11:21:38	31
Buenos Aires	10:56	20:49	–	–	–	–	–	–	11:32:50	2	11:32:50	6
Edinburgh	3:27	20:56	5:19:37	12	5:39:33	14	8:22:20	37	11:03:42	55	11:23:17	56
Frankfurt am Main	3:16	19:33	5:19:54	17	5:39:43	20	8:22:31	45	11:03:53	62	11:23:20	63
Helsinki	1:01	19:38	5:19:00	27	5:38:45	30	8:20:57	47	11:02:19	52	11:21:52	51
Madrid	4:41	19:47	5:20:23	5	5:40:15	9	8:23:50	39	11:05:28	67	11:24:52	70
Moskau	0:45	18:12	5:18:50	34	5:38:28	37	8:20:36	55	11:02:06	53	11:21:34	51
New York	9:25	0:25	–	–	–	–	–	–	11:05:54	17	11:25:52	20
Oslo	1:57	20:35	5:19:17	20	5:39:08	23	8:21:32	42	11:02:51	53	11:22:2	53
Paris	3:48	19:52	5:20:01	12	5:39:53	15	8:22:52	42	11:04:16	63	11:23:45	64
Peking	20:47	11:40	5:13:12	69	5:32:23	66	8:15:02	37	10:59:24	6	11:19:00	3
Rom	3:34	18:44	5:20:11	17	5:39:55	21	8:23:01	51	11:04:33	71	11:23:53	71
Santa Cruz de Tenerife	6:08	20:00	–	–	–	–	8:25:07	28	11:07:24	63	11:26:46	67
Schwetzingen	3:21	19:29	5:20:00	17	5:39:38	20	8:22:34	45	11:04:02	63	11:23:19	63
Singapur	22:59	11:09	5:12:09	68	5:30:52	67	8:15:41	39	11:02:20	1	–	–
Sydney	20:56	6:52	5:07:22	17	5:26:09	14	–	–	–	–	–	–
Tokyo	19:26	9:54	5:11:14	55	5:30:28	51	8:13:46	18	–	–	–	–
Warschau	2:15	18:55	5:19:33	25	5:39:16	28	8:21:46	51	11:03:08	60	11:22:35	59
Windhoek	5:22	16:20	–	–	5:37:15	1	8:24:50	32	11:10:32	44	11:29:16	44



denen Orten der Erde aus gleichzeitig gemessen werden. Aus ihrer scheinbaren Positionsverschiebung vor dem Hintergrund der Fixsterne ließ sich die gesuchte Größe berechnen. Dennoch brachen 1882 noch viele Expeditionen auf, um den Venusdurchgang mittels der damals noch neuen Himmelsphotographie im Bild festzuhalten, und insgesamt gelangen dabei mehr als 500 000 Messungen. Über einige Unternehmungen jener Jahre berichtet Hilmar W. Duerbeck ausführlich ab Seite 34 in diesem Heft.

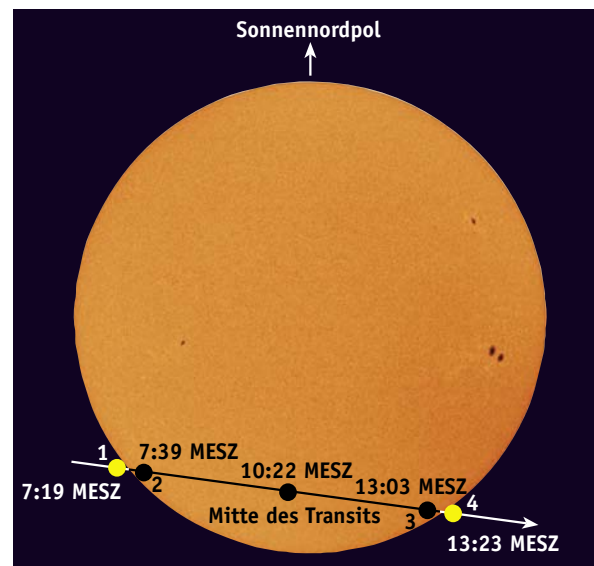
Der 8. Juni 2004

Gutes Wetter vorausgesetzt, wird der Venustransit vom 8. Juni 2004 von ganz Mitteleuropa, Afrika, dem Nahen Osten und großen Teilen Asiens aus in voller Länge sichtbar sein (siehe Abb. oben). In Frankfurt am Main geht die Sonne um 5:16 MESZ auf, die erste Berührung des Venusscheibchens (1. Kontakt) erfolgt um 7:19:54 MESZ. Zu diesem Zeitpunkt wird die Sonne 17° über dem Horizont stehen. Um 7:39:43 MESZ ist die Venus vollständig in die Sonnenscheibe eingetreten, und um 10:22:31 MESZ ist die Mitte des Transits erreicht. Die Sonne befindet sich jetzt 45° hoch über dem Horizont. Der Austritt des Venusscheibchens beginnt um 13:03:53 MESZ (3. Kontakt) und endet um 13:23:20 MESZ. Zu diesem Zeitpunkt befindet sich die Sonne 63° über dem Horizont. Für andere Orte Europas ändern sich die Kontaktzeiten nur um wenige Minuten, weitere Angaben bietet die Tabelle links.

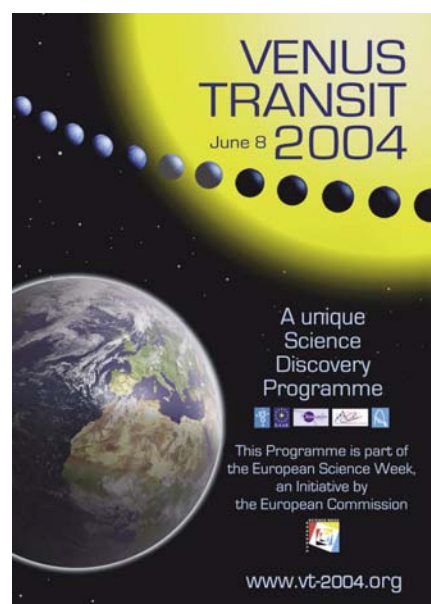
Wer den Transit detailliert beobachten möchte, ist eingeladen, an der Kampagne VT-2004 der Europäischen Südsternwarte (Eso) teilzunehmen. Sie organisiert gemeinsam mit dem Observatoire de Paris, der European Association for

▶ Beobachtbarkeit des Venustransits vom 8. Juni 2004. In Europa, Afrika und Asien wird das Ereignis in voller Länge beobachtbar sein. (Bild: TerraForma/SuW)

▶ Der Verlauf des Venustransits vom 8. Juni 2004. Der scheinbare Durchmesser der Venus beträgt $58''$, was rund 3% des Sonnendurchmessers von $1887''$ entspricht.



Astronomy Education und dem Astronomischen Institut der Akademie der Wissenschaften der Tschechischen Republik ein Bildungsprogramm und koordiniert zu diesem Thema europaweite Beobachtungsaktivitäten. Sternwarten, Schüler, Lehrer, Planetarien, Astronomische Vereinigungen, aber auch interessierte Laien sind eingeladen, mit einem Teleskop oder via Internet an der Kampagne teilzunehmen. Zu diesem Zweck gestaltet die Eso unter www.eso.org/vt-2004 eine englischsprachige Webseite, die Informationen zur Geschichte der Transit-Expeditionen, Anleitungen zu eigenen Beobachtungen, über die mathematischen Zusammenhänge zur Bestimmung der Astronomischen Einheit sowie über regionale Veranstaltungen bietet. Zusätzlich gestaltet in jedem Mitgliedsland der Eso ein Koordinator eine entsprechende Webseite in der Landessprache. Der Koordinator für Aktivitäten in Deutschland ist Hubertus Wöhl, Kiepenheuer-Institut für Sonnen-



▶ Plakat der europaweiten Beobachtungskampagne VT-2004 der Europäischen Südsternwarte Eso.

Öffentliche Beobachtung an historischer Stätte

Wer den Venustransit am 8. Juni 2004 in einer historisch geprägten Umgebung erleben möchte, ist eingeladen, das Ereignis im reizvollen Garten des Schlosses Schwetzingen zu beobachten. Vor der Orangerie im Schlossgarten hatte der Jesuitenpater Christian Mayer 243 Jahre zuvor, am 6. Juni 1761, seine Beobachtungsinstrumente aufgestellt, um einen Venustransit zu verfolgen. Damit wurde er zum Begründer der astronomischen Forschung in der Kurpfalz. Vom Kurfürsten Carl Theodor zum Hofastronomen ernannt, richtete Mayer anschließend in Mannheim eine Sternwarte ein, aus der schließlich die heutige Landessternwarte auf dem Heidelberger Königstuhl hervorging.



▲ Die Orangerie im Schlossgarten von Schwetzingen. (Bild: Uwe Reichert)

Im Schlossgarten werden Teleskope aufgestellt, mit denen die Besucher den Transit verfolgen können. Darüber hinaus können eigene für die Sonnenbeobachtung ausgerüstete Geräte mitgebracht werden. Da das Wetter Mitteleuropas sehr wechselhaft sein kann, ist geplant, Bilder anderer Beobachtungsstationen via Internet zu empfangen. Somit besteht eine gute Chance, den Transit auch bei bewölktem Himmel erleben zu können. Ergänzt wird die Veranstaltung durch eine Ausstellung historischer astronomischer Instrumente sowie durch informative Präsentationen rund um das Thema »Venustransit«.

▲ Sicht auf den Eingangsbereich des Schlosses. Im Hintergrund der Königstuhl. (Bild: Uwe Reichert)

Das Schloss befindet sich in der Stadtmitte von Schwetzingen, ca. 10 km westlich von Heidelberg, und ist über die Autobahnen A 5 und A 6 bequem erreichbar.

Kontakt: Dr. Martin J. Neumann, Max-Planck-Institut für Astronomie, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg, E-Mail: neumann@mpia.de, Internet: www.spektrum.de/venus

physik, Schöneckstr. 6, D-79104 Freiburg, E-Mail: hw@kis.uni-freiburg.de, Internet: www.kis.uni-freiburg.de/vt-2004/. Interessenten senden eine Mitteilung entweder an diese Adresse oder an vt-2004@eso.org, mit einer Beschreibung ihrer für den 8. Juni vor Ort geplanten Aktivitäten.

Genuss ohne Reue: Die Projektionsmethode

Für das Betrachten des Venustransits gelten die gleichen Vorsichtsmaßnahmen, wie bei allen Sonnenbeobachtungen: Niemals, auch nicht für sehr kurze Zeit, sollte die Sonne mit ungeschützten Augen betrachtet werden, da ihr grelles Licht schwere Schäden der Netzhaut verursachen kann. Von Laien erdachte »Behelfsmethoden«, wie z. B. die Verwendung zweier übereinanderliegender Sonnenbrillen, von Schweißbrillen oder rußgeschwärzter Scheiben sind absolut ungeeignet! Zur Beobachtung des Transits mit bloßem Auge kommen nur Sonnenfinsternisbrillen in Betracht, die in Optikgeschäften und bei namhaften

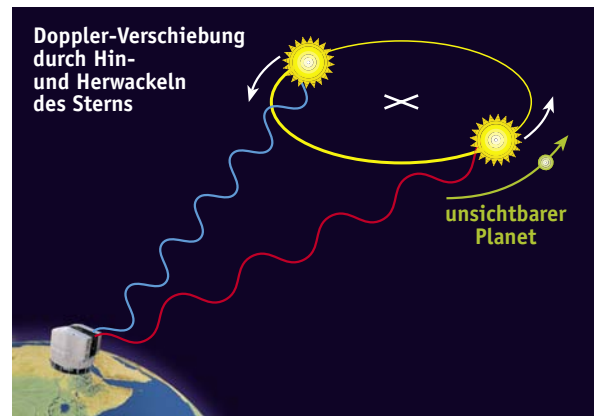
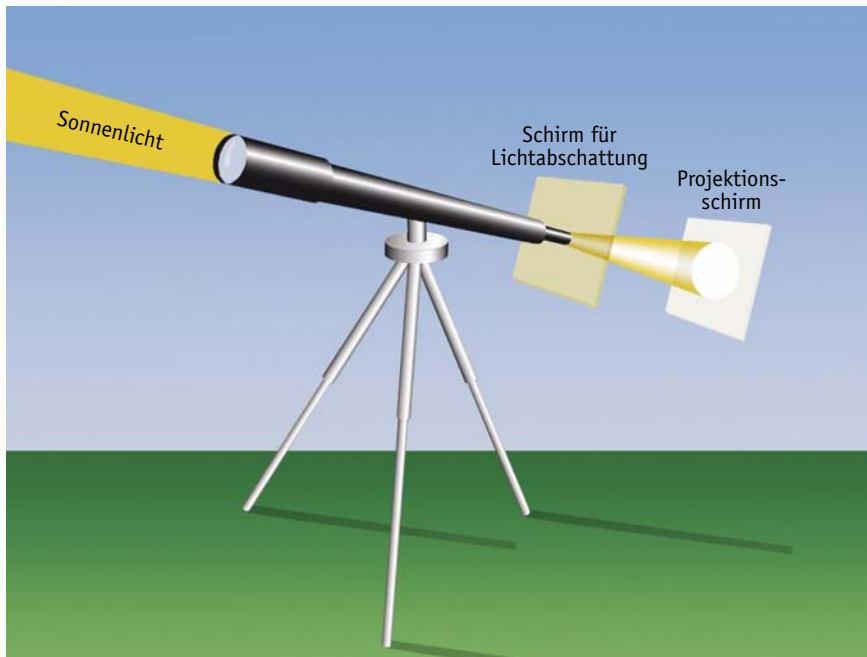
Anbietern astronomischen Zubehörs erhältlich sind. Am sichersten und zugleich am detailliertesten lässt sich der Transit mit Hilfe eines kleinen Teleskops beobachten, welches mit einem Projektionschirm ausgerüstet ist (siehe Abb. rechts oben). Diese Methode bietet den Vorteil, dass man nicht direkt durch das Teleskop in die Sonne blickt. Zudem können hierbei mehrere Personen gleichzeitig beobachten. Wichtig ist, bei dieser Art der Beobachtung nur Okulare mit unverkitteten Linsen, z. B. der preiswerten Bauarten »Huygens« oder »Kellner«, zu verwenden. Anderenfalls könnte die enorme Hitzeentwicklung den Kitt zum Schmelzen bringen und so das Okular beschädigen.

Dieselben Sicherheitsvorkehrungen wie für das Betrachten des Venustransits gelten selbstverständlich auch für das Ausrichten des Teleskops auf die Sonne. Zur Orientierung genügt es, den Schattenwurf des Fernrohr tubes auf den Erdboden oder einer Hauswand zu betrachten und dann, wenn der Schatten des Teleskop tubes seinen kleinsten Durchmesser

erreicht hat, auf den Projektionschirm zu blicken. Sehr nützlich und bequem ist aber auch der Einsatz des von Bernd Weisheit in diesem Heft ab Seite 77 beschriebenen Sonnensuchers. Eine weitere attraktive und preiswerte Möglichkeit, das Ereignis zu verfolgen, bietet das in SuW 5/2004, S. 74, beschriebene »Solarscope«. Der Transit vom 8. Juni bietet bis zum Jahr 2247 die einzige Gelegenheit ein derartiges Ereignis von Europa aus vollständig zu beobachten. Zwar ereignet sich am 6. Juni 2012 ein weiterer Transit, doch dieser ist bereits im Gange, wenn die Sonne in Europa aufgeht. Um hierbei auch den Eintritt der Venus zu beobachten, müssen interessierte Beobachter jedoch nach Asien reisen – etwa in dieselbe Region, in der einst Le Gentil sein Glück versuchte.

Das Abenteuer geht weiter

Aufgrund des Tropfeneffekts ist es nicht möglich, die Astronomische Einheit durch die Beobachtung von Venustransits mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen. Und eine gewisse Ironie mag darin



▲ Eine schematische Darstellung der »Doppler-Wobble-Methode«. Wenn sich der vom Planeten umkreiste Stern uns nähert, sind seine Spektrallinien leicht zum blauen verschoben, wenn er sich von uns entfernt, zum Roten.



▲ Zur gefahrlosen Beobachtung der Sonne durch ein Linsenteleskop wird das Licht auf einen weißen Schirm projiziert.

◀ Das voll aufgebaute Solarscope im Einsatz. Wegen seines geringen Platzbedarfs und geringen Gewichts eignet es sich besonders für die Mitnahme auf Reisen.

liegen, dass die so lange gesuchte Größe im Jahr 1961 – quasi auf Knopfdruck – mit einer zuvor unerreichbaren Präzision bestimmt wurde: durch die Messung der Laufzeit lichtschneller Radarsignale, die an der Venus reflektiert wurden.

Dennoch haben uns die jahrhundertelangen Bemühungen unerschrockener Forscher eine Botschaft von bleibendem Wert hinterlassen: Es ist möglich, unser Weltbild durch die Beobachtung planetarer Transitereignisse grundlegend zu erweitern. Dies geschieht in der aktuellen astronomischen Forschung durch die Suche nach Verfinsterungen fremder Sonnen durch dunkle Begleiter. Die technische Herausforderung besteht hierbei im Nachweis geeigneter Systeme, bei denen die Bahn des Begleiters von der Kante her gesehen wird und somit »Mini-Sternfinsternisse« ermöglicht. Zwar ist die Jagd nach ihnen ähnlich mühsam, wie die Schiffsexpeditionen früherer Astronomen zu fernen Kontinenten. Doch die wissenschaftlichen Perspektiven dieser Forschungsprojekte sind weitaus aufre-

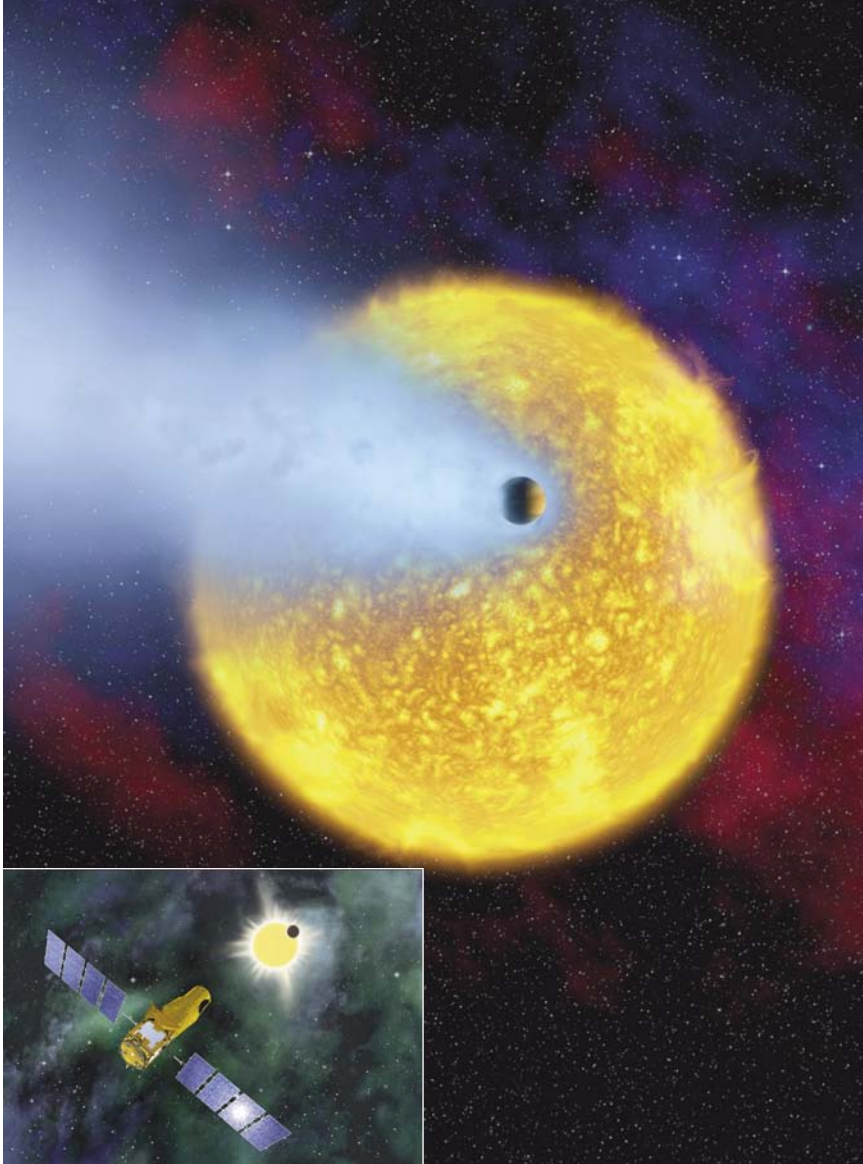
gender, denn die Beobachtung von Transits ermöglicht die Entdeckung erdähnlicher Planeten.

Bislang sind 120 Planeten fremder Sterne bekannt, von denen die meisten durch die »Doppler-Wobble-Methode« entdeckt wurden. Hierbei wird ausgenutzt, dass der Stern und seine Planeten einen gemeinsamen Schwerpunkt umlaufen. Die Bewegung des Sterns macht sich dabei durch ein periodisches Pendeln entlang der Sichtlinie zur Erde bemerkbar. Diesem so genannten »Wobbeln« entspricht aufgrund des Doppler-Effekts eine periodische Frequenzverschiebung der Spektrallinien des Sternlichts. Durch eine hochgenaue Frequenzmessung lassen sich somit indirekt Planeten nachweisen. Bei den bisher entdeckten Welten handelt es sich jedoch vorzugsweise um massereiche Begleiter – heiße jupiterähnliche Planeten, die ihr Zentralgestirn in relativ geringem Abstand umrunden. Die Gravitationswirkung eines derartigen Planeten beeinflusst die Bewegung seines Sterns relativ stark und hinterlässt in dessen Spektrum

eine deutlichere Signatur als massearme Objekte, die ihn in größerer Distanz umlaufen. Die Massen der auf diese Weise entdeckten Planeten liegen zwischen 36 Erdmassen und 13 Jupitermassen. Erdähnliche Planeten blieben diesen Beobachtungen jedoch bislang verborgen.

Die Transitmethode ermöglicht hier einen bedeutenden Fortschritt. Ein »Venustransit« vor einer fernen Sonne würde einen Rückgang ihrer Helligkeit von etwa 2% verursachen. Dies wäre mit heutigen photometrischen Techniken durchaus nachweisbar, und erste Erfolge sind bereits zu verbuchen: Zwei große Exoplaneten, HD 209458 b (s. Abb. S. 32) und OGLE-TR-56 B, verursachen gut messbare Helligkeitsschwankungen. Die Transits von HD 209458 b konnten sogar von Amateurastronomen nachgewiesen werden.

Ein Nachteil der Transitmethode besteht in der relativ geringen Zahl geeigneter orientierter Planetensysteme: Selbst wenn jeder Stern einen Planeten in einer mittleren Distanz von 1 AE besäße, so wäre eine Helligkeitsüberwachung von durchschnittlich 200 Sternen notwendig, um nur ein einziges Transitereignis nachzuweisen. Um die Suche dennoch effizient zu gestalten, haben die Astronomen aufwändige Forschungsprojekte erdacht: So wurden im Juni 2003 mit dem Weltraumteleskop HUBBLE 50 000 Sterne untersucht, was zur Entdeckung von 100 Planeten führen könnte. Die Ergebnisse sollen noch im Jahr 2004 vorliegen. Der für Juni 2006 geplante europäische Satellit CoRoT (Convection, Rotation and Planetary Transits) wird 2 ½ Jahre lang 60 000 Sterne verfolgen und die Entdeckung von Planeten bis herunter zu zweifacher Erdgröße ermöglichen. Nach demselben Verfahren sollen ab 2008 mit dem amerika-



◀ Der Planet HD 209458 b umläuft seinen Zentralstern in einer derart geringen Distanz, dass er allmählich verdampft. Doch das europäische Weltraumobservatorium CoRoT (siehe Inset) und seine Nachfolger werden bei zahlreichen weiteren Sternen nach Transit-Ereignissen erdähnlicher Planeten Ausschau halten und auf diese Weise gastfreundlichere Orte im Kosmos entdecken. (Bild: ESA)

nischen Satelliten KEPLER Planeten von Marsgröße gefunden werden. KEPLER wird 100 000 Sterne und der europäische Satellit GAIA ab 2011 wird sogar eine Milliarde Sterne untersuchen.

Die bisherigen Untersuchungen fremder Sonnensysteme deuten darauf hin, dass etwa sieben Prozent aller Sterne von mindestens einem Planeten begleitet werden. Demnach müssten im gesamten Milchstraßensystem mindestens sieben Milliarden Planeten existieren. Sicherlich wird noch einige Zeit vergehen, bis wir fremde Sonnensysteme direkt beobachten können, um mögliche lebensfreundliche Orte in ihnen auszumachen – etwa durch eine hochauflösende Abbildung und Spektroskopie, wie sie die satellitengestützten Interferometer DARWIN und TERRESTRIAL PLANET FINDER ab 2020 ermöglichen sollen. Doch die Transitmethode bietet den Astronomen bereits heute vielversprechende Möglichkeiten.

Im Jahr 1716 empfahl Edmond Halley zukünftigen Generationen die Beobachtung von Venustransits mit den Worten: »I recommend it again and again to those curious astronomers who will have an opportunity to observing these things.« Dies könnte auch für die gegenwärtige Suche nach fernen Erden gelten. Es sind also nicht allein die historischen Anstrengungen um die Vermessung des Kosmos, sondern auch die aufregenden Perspektiven der modernen astronomischen Forschung, die uns am 8. Juni 2004 einen altbekannten Planeten in neuem Licht erscheinen lassen. □

Weitere Informationen

Thomas Bürke: Aufbruch zu fremden Erden. SuW 7/2003, S. 24.

Eli Maor: June 8, 2004. Venus in Transit. Princeton University Press, 2000. ISBN 0-691-04874-6.

Oliver Montenbruck in: SuW-Basics 1 »Astronomie für Alle«, S. 46. Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg 2002. ISBN 3-936278-24-5.

Michael Moulder, Patrick Moore: Transit – When Planets Cross the Sun. Springer London, 2000. ISBN 1-85233-6218.

Thorsten Neckel, Oliver Montenbruck (Hrsg.): Ahnerts Astronomisches

Jahrbuch 2003. Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg 2002. ISBN 3-936278-16-4.

Dava Sobel: Längengrad. Die wahre Geschichte eines einsamen Genies, welches das größte wissenschaftliche Problem seiner Zeit löste. Btb Berlin, 1998. ISBN 3-442-72318-3.

Ulrich Uffrecht: Die Messung der Astronomischen Einheit. SuW 8/2001, S. 656.

Bernd Weisheit: Solarscope – ein preiswertes Sonnenteleskop. SuW 5/2004, S. 74.

Projekt »VT-2004« der Europäischen Südsternwarte (Eso), mit umfangreichen Informationen rund um das Thema »Venustransit« für Schüler, Lehrer und Amateurastronomen: www.vt-2004.org. Deutschsprachige Version unter www.kis.uni-freiburg.de/vt-2004

Berechnung der Astronomischen Einheit aus der gemessenen Dauer des Venustransits: (deutsch): <http://eclipse.astronomie.info/transit/venus/theorie/>

Informationen zum »Solarscope«: www.solarscope.com

Projekte zur Beobachtung und Auswertung: <http://didaktik.physik.uni-essen.de/~backhaus/VenusProject.htm>



Martin J. Neumann ist Astronom und seit 1997 Redakteur der Zeitschrift

Sterne und Weltraum. Hier bearbeitet er u. a. die Beiträge zur Amateurastronomie.