wissenschaft in die schulen!

Schwarze Venus vor der Sonne

Nur wenigen Generationen war es bisher vergönnt, einen Durchgang unseres inneren Nachbarplaneten vor der Sonne zu verfolgen. Von Mal zu Mal brachte das seltene Himmelsereignis neue wissenschaftliche Erkenntnisse ans Licht. So lohnt sich auch am 5./6. Juni 2012 der Blick in den Himmel.

Von Felicitas Mokler

IN KÜRZE

- Sehr selten läuft die Venus vor der Sonne vorbei. Seit der ersten Vorhersage eines Transits durch Kepler vor rund 400 Jahren war dies erst sieben Mal der Fall.
- Die beiden Venusdurchgänge des 18. Jahrhunderts boten eine neue Gelegenheit, die Astronomische Einheit zu messen und damit die Dimensionen des Sonnensystems zu bestimmen.
- Der Venusdurchgang im Juni 2004 wurde erstmals auch mit Weltraumobservatorien beobachtet: So ließ sich das Rätsel um den Tröpfcheneffekt endgültig lösen.

Die strahlend helle Venus, die wir auch als Abend- oder Morgenstern kennen, übt seit jeher eine besondere Faszination auf die Menschen aus. Einst in verschiedenen Mythologien vergöttert, wurde unser Nachbarplanet im Laufe der Zeit zu einem heiß begehrten Forschungsobjekt. Der Blick in die Historie zeigt, wie die Transitereignisse es den Forschern erlaubten, in neue Dimensionen des Weltalls vorzustoßen. Während die Astronomen im 18. und 19. Jahrhundert den Venusdurchgang dafür nutzten, die Ausmaße des Sonnensystems zu bestimmen, ziehen sie heutzutage aus dem Ereignis sogar Schlüsse für die Suche nach extrasolaren Planeten.

Allerdings ereignen sich Venusdurchgänge relativ selten, aber wenn, dann gleich im Doppelpack. Zum einen liegt dies an der räumlichen Orientierung von Erd- und Venusbahn, deren Bahnebenen um 3,4 Grad zueinander geneigt sind. Zum anderen sind die Bahnperioden der beiden Planeten verschieden lang. Während die Erde die Sonne einmal in 365,256 Tagen umrundet, braucht die Venus dafür nur 224,701 Tage. Daher überholt der innere Planet die Erde alle 583,2 Tage, das heißt, er läuft in unterer Konjunktion zwischen Erde und Sonne hindurch. In den meisten Fällen zieht die Venus von der Erde aus gesehen dabei nördlich oder südlich an der Sonne vorbei. Wenn sich die untere Konjunktion aber auf der Schnittgeraden der beiden Bahnebenen, der Knotenlinie, oder ein wenig daneben ereignet, durchquert die Venus die Sichtlinie zu unserem Zentralstern und wir können einen Durchgang beobachten.

Stets in den Tagen um den 7. Juni und den 8. Dezember durchschreitet die Erde die Knotenlinie der Venus, im Sommer den absteigenden und im Winter den aufsteigenden Knoten im Blick (siehe Grafik rechts). An diesen Daten ereignen sich Venusdurchgänge jeweils paarweise im Abstand von acht Jahren – einer Periode, die auch ungefähr dem Fünffachen der Zeitspanne zwischen zwei unteren Konjunktionen entspricht. Dabei ist die Abweichung zwischen acht Erdenjahren (2922,0 Tage) und zwei unteren Konjunkti-



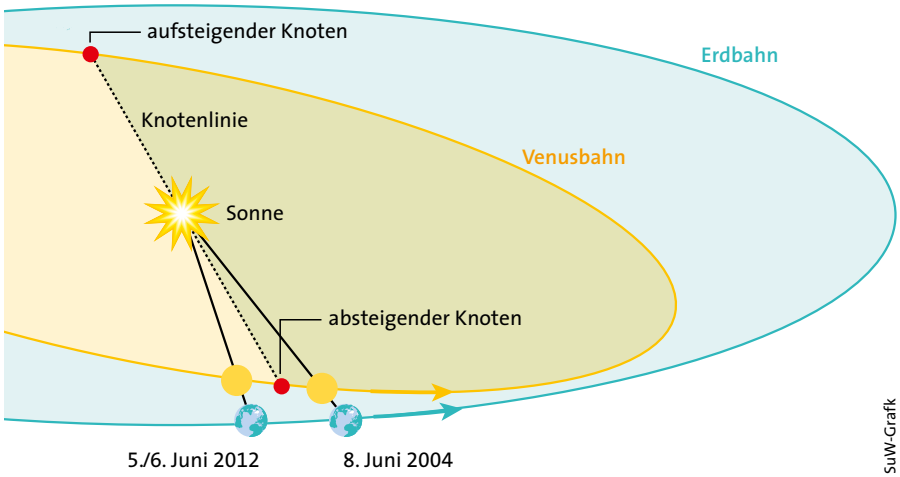
Das schwarze Venusscheibchen wird im Juni dieses Jahres – ähnlich wie 2004 – mit einem Winkeldurchmesser von rund einer Bogenminute vor der Sonne sichtbar sein. Dabei wird es etwa 0,1 Prozent der scheinbaren Sonnenfläche bedecken.

Stefan Seip

onen (2919,6 Tage) gerade so gering, dass zwei Transits in Folge sichtbar sind. Nach weiteren acht Jahren steht die Erde mit mehr als 1,6 Tagen aber zu weit von der Knotenlinie entfernt, als dass die Venus während der unteren Konjunktion noch unsere Sichtlinie zur Sonne durchkreuzen würde. Der nächste Venusdurchgang ereignet sich dann erst wieder nach 121,5 beziehungsweise 105,5 Jahren, wenn die Erde sich im gegenüberliegenden Knotenpunkt befindet. Dort wiederholt sich dann die achtjährige Doppelung. Ein vollständiger Durchgangszyklus von 8, 121,5, 8 und 105,5 Jahren vollzieht sich in insgesamt 243 Jahren.

Planeten auf bekannten Bahnen

Das Wissen um die Planetenbewegungen, welches für die Vorhersage derartiger Himmelsereignisse notwendig ist, reicht in unserer abendländischen Kultur rund 400 Jahre zurück. Damals wurde Johannes Kepler (1571–1630) Assistent des Hofastronomen Tycho Brahe (1546–1601) in Prag. Er studierte die Planetenpositionen, die Brahe über mehr als 20 Jahre hinweg verfolgt und gewissenhaft aufgezeichnet hatte. Wenngleich noch ohne Fernrohr als Hilfsmittel durchgeführt, waren seine Beobachtungen äußerst exakt. Kepler gelang es, daraus die mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Planetenbahnen, die drei keplerschen Gesetze, abzuleiten – in der damaligen Zeit ein Geniestreich. Nach



SuW-Grafik

Ein Durchgang findet dann statt, wenn die Venus in unterer Konjunktion nahe der Knotenlinie zwischen Erde und Sonne hindurchzieht. Durchläuft die Venus dabei den absteigenden Knoten, ist der Transit im Juni zu sehen, wie in den Jahren 2004 und 2012 der Fall. Steht sie dagegen während einer unteren Konjunktion im aufsteigenden Knoten, ist der Transit im Dezember zu beobachten.

Die Bestimmung der Astronomischen Einheit nach Edmond Halley

Der englische Astronom Edmond Halley, ein Zeitgenosse Isaac Newtons, erkannte, dass die gleichzeitige Beobachtung eines Venustransits von verschiedenen Orten der Erde die Bestimmung einer für die Vermessung des Kosmos fundamentalen Größe gestattet: der Astronomischen Einheit (AE). Sie bezeichnet die mittlere Distanz der Erde zur Sonne. Ohne die Kenntnis ihres genauen Zahlenwerts 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 3. keplerschen Gesetz

$$\frac{a_P^3}{T_P^2} = \frac{a_E^3}{T_E^2}$$

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 beispielsweise aus der beobachteten Umlaufzeit des Jupiter (T_P = 11,8 Jahre) dessen mittlere Distanz zur Sonne zu

$$a_P = a_E \cdot \left(\frac{T_P}{T_E}\right)^{2/3} = 5{,}2 \text{ AE}.$$

Um seine Distanz in Kilometern zu ermitteln, muss jedoch bekannt sein, wievielen Kilometern eine AE entspricht.

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

Die Aufgabe besteht nun darin, ϱ zu ermitteln, denn hieraus folgt zusammen mit dem bekannten Durchmesser der Erde die Astronomische Einheit s zu

$$s = \frac{d}{\tan \varrho}.$$

Mit Hilfe der beobachteten scheinbaren Bahnen des Venustransits ergibt sich zunächst der Winkel δ. Er folgt aus dem Vergleich des Winkelabstands der Bahnen mit dem ebenfalls während des Transits bestimmten scheinbaren Durchmesser der Sonne.

Die Größe von D beziehungsweise δ hängt – bei fest vorgegebenen Positionen der Beobachter – nur von den Distanzen Sonne–Venus (q) und Venus–Erde (p) ab. Ihre Summe ist gleich dem gesuchten Abstand s der Erde zur Sonne: $s = p + q$. Hieraus folgt:

$$\frac{p}{q} = \frac{s}{q} - 1.$$

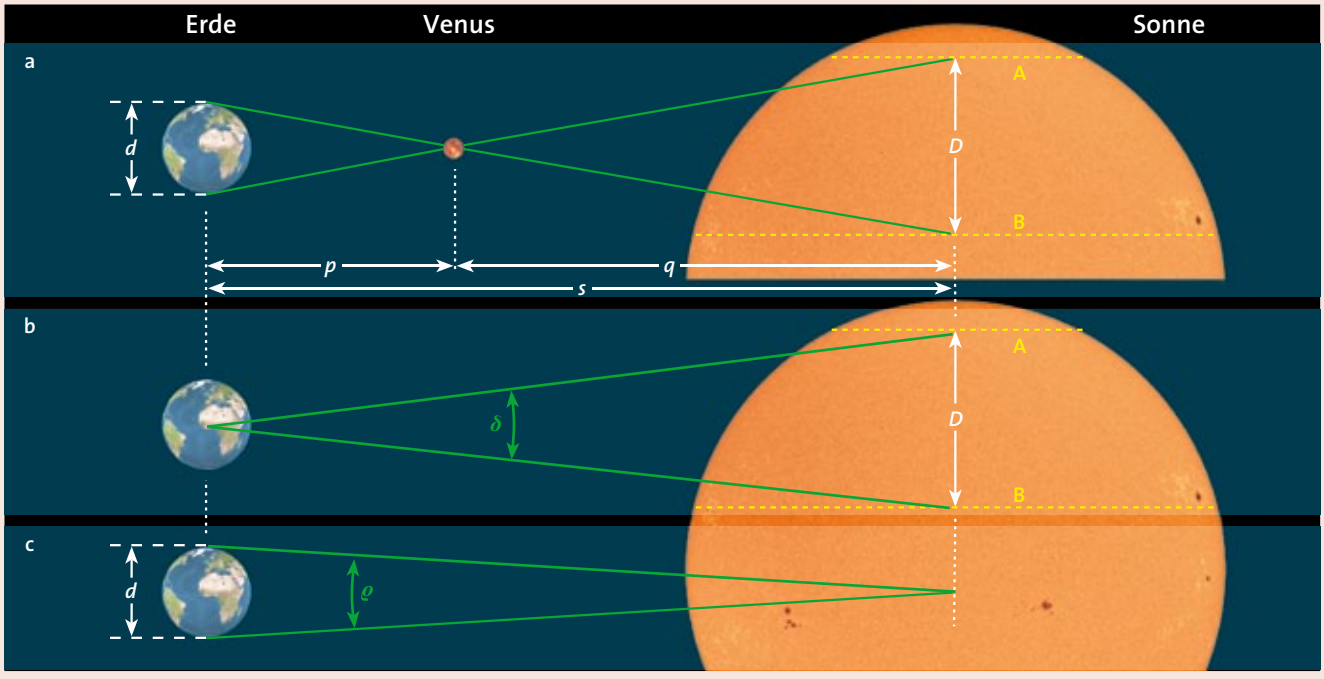
Gemäß der Grafik a verhält sich p zu q wie d zu D:

$$\frac{p}{q} = \frac{d}{D}.$$

Analog ergibt sich aus den Grafiken b und c:

$$\frac{D}{\delta} = \frac{d}{\varrho}$$

Die geometrischen Verhältnisse während der gleichzeitigen Beobachtung eines Venustransits vom Nord- und Südpol der Erde aus. Die Beobachter sehen die Venus auf den gestrichelt eingezeichneten Bahnen A beziehungsweise B vor der Sonne vorüberziehen. Aus der Messung ihres Winkelabstands δ ergibt sich mit Hilfe des 3. keplerschen Gesetzes der von der Sonne aus gesehene scheinbare Erddurchmesser ϱ, aus dem die Astronomische Einheit s folgt.



SuW-Grafik



public domain

Edmond Halley (1656 – 1742)

Mit dieser für kleine Winkel δ und ϱ gültigen Näherung gilt dann $p/q = \varrho/\delta$.

Betrachten wir nun das Verhältnis s/q. Es ist durch das dritte keplersche Gesetz gegeben:

$$\frac{s^3}{q^3} = \frac{T_E^2}{T_V^2} \text{ und damit } \frac{s}{q} = \left(\frac{T_E}{T_V}\right)^{2/3}.$$

Mit den bekannten Umlaufzeiten der Erde, T_E = 365 Tage, und der Venus, T_V = 225 Tage, ergibt sich

$$\frac{s}{q} = 1{,}38$$

und damit $\varrho = 0{,}38\ \delta$. Durch eine Messung von δ lässt sich somit ϱ und anschließend mit der bekannten Distanz zwischen den Beobachtern, dem Erddurchmesser d, die Astronomische Einheit $s = d/\tan\varrho$ bestimmen. 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 Beobachter nicht an den Polen der Erde befinden. Ein derartiger Versuch wäre auch nicht sinnvoll, da sich Venustransits nur im Juni und im Dezember ereignen, wobei der Südpol beziehungsweise der Nordpol der Erde im Dunkeln liegen. Formeln für den allgemeinen Fall zweier an beliebigen Orten der Erde postierter Beobachter finden sich im Internet.

MARTIN J. NEUMANN

Brahes Tod im Jahre 1601 führte Kepler die Beobachtungen als dessen Nachfolger fort und berechnete die Himmelspositionen der Planeten voraus. Das daraus entstandene Tabellenwerk ging als Rudolfinische Tafeln, benannt nach Kaiser Rudolf II., Keplers Dienstherrn, in die Geschichte der Astronomie ein. Für über 100 Jahre sollte es Astronomen als zuverlässigste Referenz dienen.

Auf dieser Grundlage ließen sich auch selten auftretende und zuvor nicht beobachtete oder bedachte astronomische Ereignisse vorhersagen. So erschloss sich Kepler der Venusdurchgang im Jahre 1631. Jedoch war es ihm nicht mehr vergönnt, diesen noch zu erleben. Von Deutschland aus war dieser Transit nicht zu sehen, denn er ereignete sich zu dort nachtschlafender Zeit. Und unter den übrigen Astronomen hatte sich die Kunde wohl nicht weit genug herumgesprochen, so dass dieser Transit unbeobachtet blieb.

»Venus in sole visa«

Indessen studierte der junge englische Geistliche und Astronom Jeremiah Horrocks (1619 – 1641) die Rudolfinischen Tafeln. Im Herbst 1639 fand er heraus, dass, bei aller Seltenheit dieser Konstellation, schon bald ein weiterer Transit eintreten würde, noch am 4. Dezember desselben Jahres. Er beobachtete die an der Sonne vorüberziehende Venus von seinem Heimatort, dem nordenglischen Much Hoole, aus. Vor allem stand ihm dafür auch erstmals ein Fernrohr zur Verfügung. Seine Manuskripte »Venus in sole visa«, die teilweise später von Johannes Hevelius (1611 – 1687) veröffentlicht wurden, sind die einzige schriftlich überlieferte Quelle dieses ersten beobachteten Durchgangs. Horrocks Freund und Kollege William Crabtree verfolgte das Ereignis ebenfalls, und zwar vom südlicheren Manchester aus, was ihm auf Grund des unbeständigen Wetters aber nur teilweise gelang. Zu einem ausführlichen Austausch mit Horrocks über die Beobachtungen kam es jedoch nicht mehr, da dieser kurz vor dem dazu vereinbarten Treffen verstarb. Weitere Beobachtungsaktivitäten zu diesem Transit sind nicht überliefert. Insgesamt also eine recht magere Ausbeute.

Das nächste Transitpaar in den Jahren 1761 und 1769 sollte weitaus mehr Aufmerksamkeit erlangen. Rund 50 Jahre nach dem vorherigen Durchgang erkannte der britische königliche Astronom Edmond Halley (1656 – 1742) die Bedeutung der Durchgangsbeobachtungen für die Entfernungsbestimmung im Sonnensystem. Denn die Abstände der Planeten von der Sonne waren damals noch nicht bekannt, und das 3. keplersche Gesetz lieferte nur die Verhältnisse der Bahnradien der Planeten, aber keine absoluten Werte. Kannte man hingegen etwa die Astronomische Einheit, also die Entfernung zwischen Erde und Sonne, ließen sich auch die mittleren Halbachsen der übrigen Planetenbahnen berechnen. Halley schlug vor, die beiden nächsten Venusdurchgänge zu nutzen, um mittels der Parallaxenmethode und dem 3. keplerschen Gesetz die Astronomische Einheit zu bestimmen und daraus die weiteren Dimensionen des (damals bekannten) Sonnensystems.

Diese Methode erklärte er in seiner Dissertation »A plain method of finding the distance of all planets from the Sun by the transit of Venus over the Sun's disc«, die in einem ähnlichen Werk von James Ferguson (1710 – 1776) im Jahr 1761 erschienen ist. Halley legte der Royal As-

Historische Venusdurchgänge

Datum	Uhrzeit	Aktivitäten
7. Dezember 1631	03:51 – 06:47 UT	Von Johannes Kepler vorhergesagt. Blieb unbeobachtet, da der Transit in Europa bereits vor Sonnenaufgang endete.
4. Dezember 1639	14:57 – 21:54 UT	Nur zwei Beobachter in England belegt (Jeremiah Horrocks und William Crabtree).
6. Juni 1761	02:02 – 08:37 UT	Erste Expeditionen; Tröpfcheneffekt verhindert genaue Bestimmung der Astronomischen Einheit.
3./4. Juni 1769	19:15 – 01:35 UT	Rund 80 Expeditionen aus Europa, u.a. James Cooks Seereise nach Tahiti.
9. Dezember 1874	01:49 – 06:26 UT	Erste fotografische Beobachtungen eines Venustransits.
6. Dezember 1882	13:57 – 20:15 UT	Erneut zahlreiche Expeditionen mit verbesserten Instrumenten.
8. Juni 2004	05:13 – 11:26 UT	Millionen Menschen verfolgen den Venustransit.

Theaterstück: »James Cook, Tahiti und die Venus«

Von Lutz Clausnitzer

Historischer Hintergrund: Noch in der Mitte des 18. Jahrhunderts hatte man nur vage Vorstellungen von den absoluten Entfernungen der Planeten von der Sonne. Deren Verhältnisse zueinander waren jedoch aus dem 3. keplerschen Gesetz bekannt. Nun sollten Forscher den Venusdurchgang des Jahres 1769 von verschiedenen Orten der Erde aus beobachten, um aus den gemessenen Parallaxen den Abstand Sonne–Erde zu gewinnen. Eigens zu diesem Zweck wurden Expeditionen und Flotten in alle Welt entsandt.

Am 26. August 1768 verließ Captain James Cook mit seinem Schiff Endeavour den Hafen von Plymouth (Südengland), um am 14. April des folgenden Jahres vor Tahiti in der Südsee zu ankern. Zur Mannschaft gehörten der Astronom Charles Green und der astronomisch geübte Botaniker Daniel Solander aus Schweden.

Am nördlichsten Punkt der Insel, der noch heute »Point Venus« heißt, errichteten sie eine Beobachtungsstation und protokollierten am 3. Juni 1769 den Venusdurchgang.

Auf einem alten Tisch mit zwei Stühlen befinden sich ein Globus, ein Sextant, ein Handteleskop, ein Tagebuch und Schreibzeug (Gänsefeder). Weiterhin gibt es eine berußte Glasplatte, ein extra stehendes Fernrohr und ein Schild mit der Aufschrift »Tahiti, 3. Juni 1769«. An einem Baumstamm, der zum Beispiel aus einem Kartenständer hergerichtet werden kann, ist ein Sonnenbild befestigt, vor dem etwa 30 Zentimeter entfernt ein Tischtennisball als Venus hängt. Die drei Männer sind historisch kostümiert. Cooks Haupt ziert ein Dreispitz. Cook und Green sitzen am Tisch. Cook schreibt im Tagebuch. Green beschäftigt sich mit dem Sextanten. Solander schaut durch das Fernrohr.

Solander *(noch immer durch das Fernrohr blickend)*: »Captain Cook, warum mussten wir eigentlich um die halbe Welt segeln, nur um diesen schwarzen Punkt auf der Sonne zu sehen?«

Cook *(noch über das Tagebuch gebeugt)*: »Herr Solander, erstens ist das Ereignis bei uns zu Hause in England gar nicht zu beobachten, weil dort jetzt Nacht und somit die Sonne nicht zu sehen ist.«

Solander *(sieht nun interessiert zu Cook)*: »Hm. Und zweitens?«

Cook *(sich zu Solander wendend)*: »Wir reisen im Auftrag der Londoner Royal Society, und viele Expeditionen sind auf mehreren Kontinenten und in allen drei Weltmeeren unterwegs. Alle wollen die genauen Zeitpunkte bestimmen, wann die Venus die Sonnenscheibe erreicht und wieder verlässt.«

Solander *(jetzt zu Green)*: »Und wozu soll das gut sein, Herr Astronom Green?«

Green *(geht zu dem Modell mit der Sonne und der Venus und erläutert daran)*: »Wenn man die Venus auf der Sonnenscheibe sieht, steht sie in Wirklichkeit weit vor der Sonne. Beobachtet man das Ereignis von verschiedenen Orten der Erde aus, so scheint die Venus den Sonnenrand zu unterschiedlichen Zeitpunkten zu passieren. Wenn alle Expeditionen mit ihren Aufzeichnungen nach England zurückgekehrt sind, können die Mathematikusse daraus errechnen, wie weit die Erde von der Sonne entfernt ist. Dann kann man auch den Abstand der anderen Planeten von der Sonne ermitteln und sich eine Vorstellung von der Größe des Sonnensystems machen.«

Solander *(wieder durchs Fernrohr blickend)*: »Aha. – In der Tat eine geniale Idee. – Dann dürften wir heute recht genaue Zeitpunkte bekommen, denn die Sicht ist gut. Zwei Sonnenflecken sind scharf zu sehen.«

Solander geht ein paar Schritte vom Fernrohr weg und schaut gelangweilt umher.

Green *(zu Cook)*: »Da wird sich die Society freuen. Hoffentlich bleibt das Wetter so!« – *(Jetzt zu Solander)* »He, Solander, Sie sollen auf die Sonne aufpassen und nicht in der Gegend herumgucken. Sonst verpassen wir es noch!«

Solander schrickt zusammen und geht rasch wieder auf Posten.

Solander *(durchs Fernrohr sehend)*: »Entschuldigung. Wird nicht wieder vorkommen.« *(Nach einigen Sekunden:)* »Ich glaube ..., mir scheint ... Ja, jetzt! Zeit protokollieren! – Der Sonnenrand hat eine Delle. – Die Venus beginnt, sich vor die Sonne zu schieben.«

Cook schreibt, greift dann zum Handfernrohr und richtet es zur Sonne.

Green *(sieht kurz durch eine rußgeschwärzte Glasplatte gen Sonne, geht aber dann zu Solander und sagt)*: »Solander, lassen Sie mich mal.« (*Dieser gewährt.)*

Green: »Richtig, jetzt ist schon die halbe Venus drin.«

Cook: »So, nun passen Sie genau auf, ab wann die Venus ganz in der Sonnenscheibe liegt. Auch diesen Zeitpunkt müssen wir so genau wie möglich festhalten!«

tronomical Society (London) nahe, den bevorstehenden Venustransit von mehreren Standorten über den Globus verteilt zu beobachten, deren Abstände genau bekannt waren. Dann sollte sich die Astronomische Einheit mit Hilfe des 3. keplerschen Gesetzes auf 0,2 Prozent genau bestimmen lassen, so Halleys Prognose (zur Bestimmung der Astronomischen Einheit siehe Kasten S. 36).

Wissenschaftliches Großprojekt

Dank der Veröffentlichungen durch die Astronomical Society verbreitete sich die Nachricht der bevorstehenden Ereignisse 1761 und 1769 nun in der gesamten westlichen Gelehrtenwelt. Erstmals in der Geschichte der Astronomie oder gar der Naturwissenschaften fanden sich Wissenschaftler aus verschiedenen Lagern zusammen. In nationaler und teilweise auch internationaler Zusammenarbeit planten sie groß angelegte Beobachtungskampagnen. Europäische Astronomen etwa beobachteten den zweiten der beiden Durchgänge von rund 80 Stationen über den Globus verteilt und führten dabei mehr als 150 Messungen durch. Darunter sind wohl die bekanntesten in die Geschichte eingegangenen Expedi-

Er übergibt Green sein Handteleskop und setzt sich wieder über das Protokoll. Nun schaut Solander wieder durchs Fernrohr, Green durchs Handfernrohr.

Solander *(nach einer Weile)*: »Achtung, die Venus ist schon fast vollkommen drin. – Zeit ablesen, wenn ich ›jetzt‹ sage! – A-c-h-t-u-n-g ... Jetzt! – Nun löst sich die Venusscheibe vom Sonnenrand und beginnt über die Sonne zu wandern.«

Cook *(die Zeiten aufschreibend)*: »Hervorragend, ich habe die Zeiten genau protokolliert.«

Cook *(geht nun zu Solander)*: »So, nun will ich mir das auch einmal ansehen.«

Solander macht Platz. Nun beobachtet Cook, und die beiden Männer schauen ihm zu.

Cook *(nach einer Weile, nachdenklich)*: »Herr Solander, haben Sie auch diesen Saum um die Venus gesehen?«

Solander: »Ja, richtig, darüber habe ich mich auch schon gewundert. Was mag es bedeuten?«

Die Männer stellen sich zu einer Gesprächsrunde auf.

Green: »Der russische Gelehrte Lomonossow hat diese Erscheinung schon beim vorigen Venusdurchgang beobachtet und gesagt, dass dies wohl die Atmosphäre der Venus sei.«

Solander: »Was, die Venus hat eine Atmosphäre? Erstaunlich! Ob es da auch so etwas wie Menschen gibt?«

Cook: »Das bezweifle ich. Denn wenn die Venus der Sonne näher ist als die Erde, muss es dort auch heißer sein als hier. Da würden die Venusmenschen wohl arg ins Schwitzen kommen!«

Die drei Männer lachen.

Green: »Aber die Schulkinder der Venusbewohner hätten es gut: Sie hätten öfter hitzefrei als ihr!«

Dabei zeigen die drei auf die Zuhörer, lachen abermals und stecken dabei vielleicht auch die Zuschauer an.

LUTZ CLAUSNITZER, Lehrer für Mathematik, Physik und Astronomie, unterrichtete am Geschwister-Scholl-Gymnasium in Löbau. Auch im Ruhestand engagiert er sich für die astronomische Bildung.



Bernd Poitschke

Im Zusammenhang mit der Beobachtung des Venusdurchgangs am 8. Juni 2004 führten Schüler des Geschwister-Scholl-Gymnasiums Löbau das nebenstehende vierminütige Theaterstück auf. Marcus Dippe (als Daniel Solander, links), Johannes Schulz (als Charles Green, Mitte) und Felix Herbig (als James Cook) vermittelten auf diese Weise spielend astronomische Kenntnisse.

tionen jene von Le Gentil de la Galasière (1725 – 1792) zu beiden Transits sowie von Captain James Cook gemeinsam mit dem Astronomen Charles Green und dem astronomisch geschulten Botaniker Daniel Solander zu dem Durchgang im Jahr 1769 (siehe Kasten oben).

Allerdings waren derartige Forschungsreisen zur damaligen Zeit kein leichtes Unterfangen, barg doch der weite Seeweg jede Menge Widrigkeiten und unvorhersehbare Gefahren. Bezeichnend ist hierbei das Schicksal des französischen Astronomen Le Gentil, der per Schiff in Richtung Indonesien aufbrach, um von dort den Durchgang 1761 zu beobachten. Auf Grund von Kriegswirren erreichte er das Eiland nicht, sondern musste den Venustransit von Deck eines Schiffs aus verfolgen. Eine recht wackelige Angelegenheit, die kein wissenschaftliches Arbeiten ermöglichte. Um die Messungen nachzuholen, entschied er sich dafür, den nächsten Transit im Juni 1769 noch unterwegs im südlichen Indien abzupassen. Doch auch diesmal hatte er Pech, denn das Wetter spielte nicht mit. Auf der Heimreise gen Frankreich erlitt der Forscher dann gleich zweifach Schiffbruch – überlebte aber glücklicherweise beide Male.



Philosophical Transactions of the Royal Society, Vol. 61, p. 410, 1771

Bei Eintritt und Austritt vor die Sonnenscheibe scheint die Venus wie ein schwarzes Tröpfchen am Sonnenrand zu kleben. Dieses Tröpfchenphänomen verhinderte lange Zeit eine exakte Messung der Kontaktzeiten und erschwerte so eine genaue Bestimmung der Astronomischen Einheit. Diese Zeichung fertigte Captain Cook auf seiner Expedition mit Green und Solander im Jahr 1769 an.

Ein Abenteuer, wie es kaum noch vorstellbar ist in einer Zeit, in der wir uns nur ins Flugzeug zu setzen brauchen und für Ereignisse wie einen Venustransit oder eine Sonnenfinsternis um die halbe Welt fliegen – sei es nach Australien oder Hawaii, wo wir uns anschließend noch einen entspannten Urlaub gönnen. Vielmehr wären Aufwand und Risiken der früheren Expeditionen wohl eher vergleichbar mit einem bemannten Raumflug heutzutage.

Ein schwarzer Venustropfen

Umso enttäuschender ist es dann, wenn die Messungen nicht so wie geplant gelingen wollen. Ein wesentlicher Bestandteil für die Messgenauigkeit bei der Bestimmung der Astronomischen Einheit waren exakte Zeitangaben zu den vier Kontakten zwischen Venus- und Sonnenrand. Wie Astronomen von den verschiedenen Expeditionen zahlreich berichteten, schien sich das dunkle Venusscheibchen während des Eintritts vor die Sonne nur zäh von deren Rand zu lösen. Zwischen den Rändern beider Himmelskörper tat sich eine dunkle Verbindung auf – einem Wassertropfen gleich hing die Venus am Sonnenrand. Die Verbindung riss erst ab, als der Planet tatsächlich schon deutlich in die Sonnenscheibe hineingewandert war. Ähnliches wiederholte sich während der Austrittsphase beim dritten Kontakt. Aus diesem Grund ließen sich vor allem die beiden inneren Kontakte zeitlich nicht genau festlegen.

Für dieses als »Schwarzer Tropfen« bezeichnete Phänomen kursierten lange Zeit sehr unterschiedliche Erklärungen: Als eine Ursache diskutierten einige Forscher bis Ende des 20. Jahrhunderts eine planetare Atmosphäre. Die Venusatmosphäre, so ihre Vermutung, breche das Sonnenlicht derart, dass der Planetenrand nicht mehr klar definierbar sei.

Tatsächlich offenbart sich die Gashülle der Venus bei einem Transit jedoch in anderer Form: Schon während des Durchgangs 1761 berichtete der Petersburger Universalgelehrte Michail Lomonossow (1711–1765) von einem Lichtkranz, der in Erscheinung tritt, während sich der Planet vor die Sonne schiebt. Ein weiteres Indiz für die Atmosphäre sind die – auch nur selten und kurz nach der neuen Venus zu beobachtenden – Hörnerspitzen. Dabei greifen die Enden der schmalen Planetensichel weiter um den Planeten herum, als es die Phase erlauben würde. Diese beiden Phänomene kommen in der Tat durch die Brechung des Sonnenlichts in der Venusatmosphäre zu Stande.

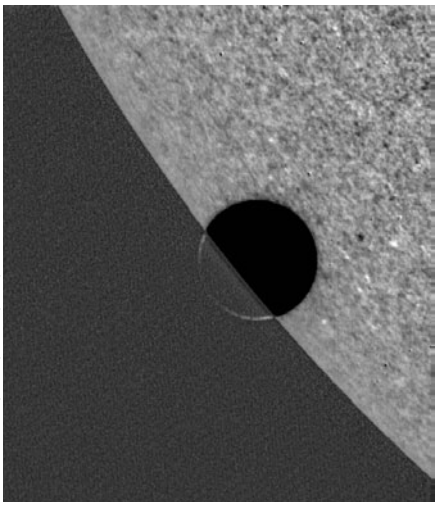
Als Ursachen für die »Tröpfchenbildung« wurden weiterhin die Luftunruhe der Erdatmosphäre, eine optische Täuschung, die Abbildungsfunktion der Teleskope sowie die Mitte-Rand-Verdunklung der Sonne diskutiert. Endgültig lösen lassen sollte sich das Rätsel um das Phänomen des »Schwarzen Tropfens« jedoch erst mit den Mitteln der modernen Raumfahrt.

Trotz dieser messtechnischen Schwierigkeiten war die Astronomische Einheit zu 153 Millionen Kilometer berechnet worden, rund zwei Prozent zu groß, wie wir heute wissen. Zwar entsprach dies nicht Halleys Einschätzungen an Präzision. Verglichen mit modernen Entfernungsmessungen im Universum, wie sie etwa auf der Hubble-Konstanten basieren, war dies dennoch eine enorme Leistung. Denn selbst die Hubble-Zahl ist nur auf fünf Prozent genau bekannt und war bis zu den jüngsten Messungen durch den Satelliten WMAP der NASA mit einem noch größeren Messfehler behaftet.

Beobachten will geübt sein

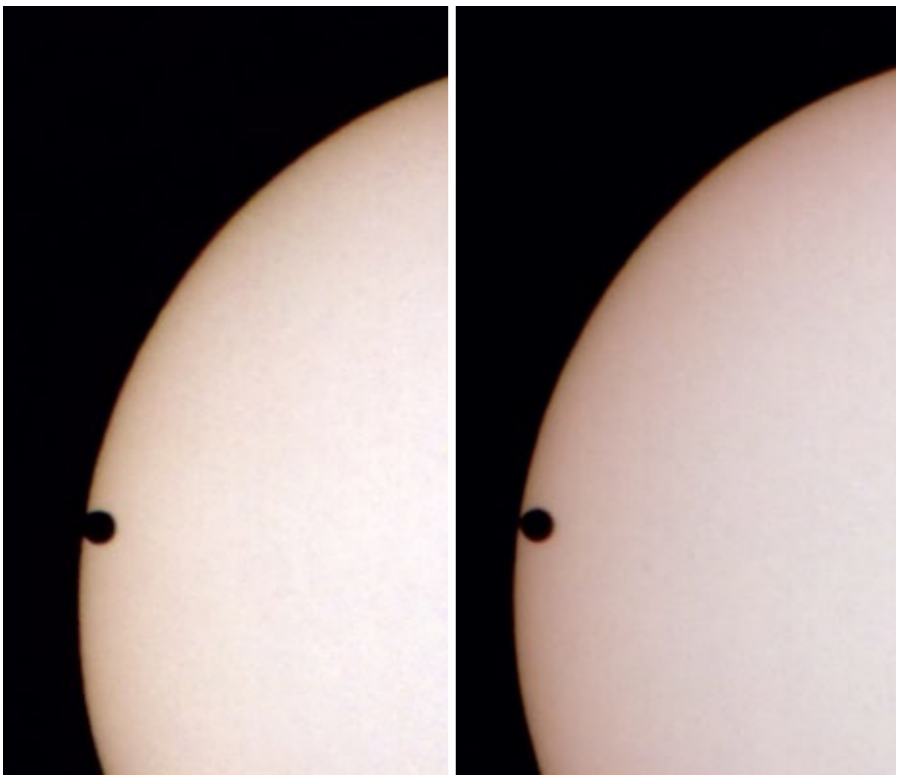
Während der Vorbereitungen auf die nächsten beiden Venusdurchgänge in den Jahren 1874 und 1882 versuchten die Wissenschaftler, dem Problem der Messungenauigkeit beizukommen. Über die Planungen zu den bevorstehenden Beobachtungskampagnen berichtete der »Scientific American« bereits ab dem Jahr 1869 mehrfach eindrücklich. Um die Messungen der an die unterschiedlichen Orte ausgesandten Expeditionen später vergleichen zu können, galt es, all die Forschergruppen mit identischen Beobachtungsgeräten und Zeitmessern auszustatten. Darum war allen voran die Royal Astronomical Society bemüht. Der Astronomer Royal Sir George Airy sorgte dafür, dass diese Instrumente beizeiten zusammenkamen.

Besonderes Augenmerk legte man auf das Tröpfchenphänomen. In der Annah-



Pasachoff et al., 2011, Astr. J., 141, 112

Während die Venus vor die Sonne wandert, säumt ein feiner Lichtkranz den äußeren Planetenrand. Dieses erstmals von Michail Lomonossow 1761 beschriebene Phänomen ist ein direkter Nachweis für die Venusatmosphäre. Diese Aufnahme entstand 2004 mit dem Weltraumobservatorium TRACE.



Uwe Reichert

Der »Schwarze Tropfen« offenbart sich auch auf fotografischen Aufnahmen. Dies ist ein Indiz dafür, dass es sich nicht um eine optische Täuschung handelt. Die beiden Fotos zeigen die Venus um den zweiten Kontakt während des Transits am 8. Juni 2004.

me, es könnte sich tatsächlich um eine optische Täuschung handeln, schlug Airy vor, das Beobachten anhand der Vorübergänge der damals vier bekannten Jupitermonde zu üben. Zudem ersann er eine Apparatur, die einen Venustransit mechanisch simulierte. Alsbald kamen erste Zweifel an der These der optischen Täuschung auf. Denn es zeigte sich, dass der modellierte Tröpfcheneffekt variierte, wenn man diesen mit verschiedenen Optiken betrachtete. Verwendete man eine geringere Vergrößerung, hielt er während der Eintrittsphase länger an und trat auch während der Austrittsphase früher in Erscheinung als bei der Beobachtung mit stärkerer Vergrößerung. Bereits ein Jahr vor dem Transit sollen die Astronomen täglich an dieser Vorrichtung geübt haben, um im Ernstfall bestens mit der Ausrüstung und ihrer subjektiven Wahrnehmung vertraut zu sein.

So starteten auch im 19. Jahrhundert wieder zahlreiche Expeditionen in die ganze Welt mit dem wissenschaftlichen Ziel, die Astronomische Einheit mittels der Parallaxenmethode zu vermessen. Teleskope und Messinstrumente waren mittlerweile sehr viel genauer geworden, und als neues Mittel der Datenaufzeichnung stand außerdem die Fotografie zur Verfügung. Die Aufnahmen machten zeitaufwändige Zeichnungen überflüssig. Zudem erlaubten sie vor allem einen objektiven Vergleich der Beobachtungen im Nachhinein. Damit ließ sich nun auch ausschließen, dass der Tröpfcheneffekt nur eine optische Täuschung des menschlichen Auges war. Denn auf den Fotos war der »Schwarze Tropfen« ebenfalls zu sehen.

Der Tropfen löst sich auf

»Es ist wahrscheinlich das letzte Mal, dass ein so hoher wissenschaftlicher Aufwand für einen Venusdurchgang betrieben wird. Vermutlich wird es bis zum nächsten Transit 2004 andere und genauere Methoden geben, um die Entfernung zur Sonne zu berechnen«, schreibt der »Scientific American« im Dezember 1882 vorausschauend.

Wie recht sollte der Autor haben, hatte sich doch bis zum Venustransit 2004 längst die Radarmessung zur Entfernungsbestimmung im Sonnensystem etabliert. Zudem bot sich zu diesem Datum erstmals die Gelegenheit, den Venus-

ED-Apochromaten:



NEU! 1.849,-€*

ED 127 Carbon
Die Carbonausführung wiegt nur 6,2kg mit Tauschutzkappe und Rohrschellen, gegenüber 9,9kg im Alutubus! **Und das ohne Aufpreis!**



ED 80

~~979,-€*~~
Jetzt nur:
898,-€*

	ED 80	ED 127 Carbon
Art.Nr.:	0112104	0112130
Öffnung:	80 mm (3,1")	127 mm (5")
Brennweite:	480 mm	952,5 mm
Fotografische Blende:	f/6	f/7,5
Auflösungsvermögen:	1,45"	0,9"
Max. Grenzgröße:	12,0 MAG	13,0 MAG
Max. sinnvolle Vergrößerung:	160-fach	255-fach
Bildfeld im APS-C Format**:	2,86° x 1,9°	1,44° x 0,96°
Tubuslänge (inkl. Taukappe):	48 cm	99 cm
Gewicht:	3,4 kg	6,2 kg
Optisches Design:	3 Linsen mit Luftspalt und ED-Element	
Vergütung der Linsen:	EMD™ (Enhanced Multilayer Deposition)	
Glasmaterial Objektivlinse:	**HOYA® ED Glas - FCD1**	
Auch erhältlich als:	**ED 102** (Art.Nr. 0112104) **1.499€***	

Lieferumfang:
Optischer Tubus; Prismenschiene 360° rotierbar mit Fotoanschlussgewinde ¼" und 3/8" (nur ED 80); Rohrschellen mit Handgriff und Prismenschiene (ED 102/127); 1:10 Crayford-OAZ; 2" Zenitspiegel; 25mm Okular mit 70° GF; Tauschutzkappe (ED 127 in Carbon); Staubschutzdeckel; passender Bildfeldebner mit Kamerabajonett für Canon EOS oder Nikon; 8x50 Sucher beleuchtet mit aufrechtem Bild (nur ED127 Carbon); stabiler Transportkoffer



Optional für ED 80/102:
8x50 Sucher beleuchtet mit aufrechtem Bild. Preis **129,- €**

Star Power!



100° Okulare:

Brennweite:	9mm	14mm	20mm
Art.Nr.:	0218409	0218414	0218420
Augenabstand:	12,5mm	14.5mm	14,4mm
Scheinb. Gesichtsfeld:	100°	100°	100°
Feldblende (virtuell):	15,7mm	24.4mm	34,8mm
Optische Elemente:	9	9	9
Gewicht:	680g	890g	990g
Höhe:	120,0mm	123,5mm	122,5mm
Durchmesser:	59,0mm	69,0mm	69,0mm
Preis:	**399,- €***	**489,- €***	**569,- €***

82° Okulare:

Brennw.:	4,7mm	6,7mm	8,8mm	11mm
Art.Nr.:	0218804	0218806	0218808	0218811
Steck Ø:	1¼"	1¼"	1¼"	1¼"
Preis:	**159,- €***	**159,- €***	**179,- €***	**179,- €***

Brennw.:	14mm	18mm	24mm	30mm
Art.Nr.:	0218814	0218818	0218824	0218830
Steck Ø:	1¼"	2"	2"	2"
Preis:	**179,- €***	**199,- €***	**298,- €***	**329,- €***

Features der 100° und 82° Okulare:
Wasserdicht und stickstoffgefüllt!
Vergütung: EMD™ (Enhanced Multilayer Deposition)
Gehäuse: schwarz eloxiertes Aluminium; Abgedichtet; Stickstoffgefüllt; Edelstahl, konische Sicherungsnut
Sonstiges: Laserbeschriftung mit Seriennummer; Gummiarmierte Griffläche; Gummiaugenmuschel umklappbar; Gewinde für Standard 2" Filter

EXPLORE SCIENTIFIC

MEADE Instruments Europe GmbH & Co. KG
Gutenbergstraße 2 • 46414 Rhede/Westf.
Tel.: (0 28 72) 80 74 - 300 • FAX: (0 28 72) 80 74 - 333
Internet: www.meade.de • E-Mail: info.apd@meade.de

© 2012 Meade Instruments Europe GmbH &Co. KG. Alle Rechte vorbehalten. Änderungen und Irrtümer vorbehalten. *Unverbindliche Preisempfehlung in Euro (D). ** 24 x 16 mm, verwendet bei den meisten Digital Spiegelreflexkameras

durchgang per Satellit zu beobachten. Mit freiem Blick ohne die störende Luftunruhe der Erdatmosphäre ließe sich auch das Rätsel um das Phänomen des »Schwarzen Tropfens« endgültig lösen, so die Hoffnung der Wissenschaftler.

Die zur Sonnenbeobachtung ausgelegte Mission TRACE (Transition Region and Coronal Explorer) der NASA hatte bereits am 15. November 1999 einen der viel häufigeren Merkurtransits verfolgt. Nachdem der Tröpfcheneffekt auch bei Durchgängen dieses Planeten bei bodengebundenen Beobachtungen aufgefallen war, ließ sich eine planetare Atmosphäre als Ursache für dieses Phänomen bereits weitgehend ausschließen, denn Merkur besitzt keine Gashülle.

Da sich aber selbst auf den Satellitenbildern eine Verbindung zwischen Planeten- und Sonnenrand offenbarte, kam die unruhige Erdatmosphäre ebenfalls nicht oder nur in sehr geringem Maße als Ursache in Frage.

Mit den modernen Mitteln der Bildanalyse berechneten die Wissenschaftler die Instrumentenfunktion, die natürlich gegebene Unschärfe der Optik, und korrigierten die Aufnahmen entsprechend. Außerdem glichen sie rechnerisch die Mitte-Rand-Verdunklung an der Sonnenscheibe aus. Damit verschwand auf den Bildern auch das Tröpfchenphänomen, Planeten- und Sonnenrand ließen sich nun klar voneinander abgrenzen.

Diese Satellitenbeobachtungen belegten also, dass die Hauptursache für das Auftreten des »Schwarzen Tröpfchens« die optischen Eigenschaften des Teleskops sowie die Mitte-Rand-Verdunklung waren. Dies legte die Vermutung nahe, dass selbiges auch für einen Venustransit zutreffen würde und nicht die planetare Atmosphäre die Ursache für das Tröpfchen war. Beobachtungen mit TRACE konnten dies am 6. Juni 2004 bestätigen.

Gleichzeitig tat sich den Wissenschaftlern mit diesem Datum eine Möglichkeit auf, sich auf eine Forschungskampagne ganz anderer Dimension vorzubereiten: Seit fast einer Dekade waren die Astronomen erfolgreich bei der Suche nach extrasolaren Planeten, wofür sie aber bis dahin ausschließlich bodengebundene Teleskope eingesetzt hatten. Nun befanden sich die beiden Weltraumobservatorien Kepler (NASA) und COROT (ESA) in Planung. Sie sollten frei von atmosphärischen Störungen nach kleinsten Helligkeitsschwankungen Ausschau halten, die extrasolare Planeten beim Transit an ihrem Mutterstern hervorriefen. Aber auch Sternenflecken, Protuberanzen oder andere intrinsische Strahlungsschwankungen können solche minimalen Änderungen in der Strahlungsintensität bewirken. Deshalb ist es nicht einfach, die Spur etwa einer fremden Erde um einen fernen Stern auszumachen.

Der Venusdurchgang steht Modell für die Beobachtung extrasolarer Planetentransits mit Satelliten

So nahmen die Astronomen sich zunächst die Venus vor. Mit den Sonnenobservatorien TRACE und ACRIMSAT untersuchten sie während des Transits 2004, wie sich das beobachtete Strahlungsvermögen der Sonne verändert, wenn die Venus eine winzige Teilfläche von ungefähr 0,1 Prozent der scheinbaren Sonnenscheibe verdeckt. Diese Messungen dienten als Grundlage für fotometrische Modelle zur Beobachtung extrasolarer Planetentransits mit geplanten Missionen wie etwa Kepler. So ist bei einem vergleichbaren extrasolaren Planetentransit eine vorübergehende Abschwächung des Sternenlichts um etwa 0,1 Prozent zu erwarten. Inzwischen haben Kepler und COROT mit der Transitmethode 59 beziehungsweise 21 Planeten aufgespürt (siehe auch Artikel auf S. 48 in diesem Heft).

Auch diesen Sommer sollen wieder Teleskope aus dem All die Venus unter die Lupe nehmen, und zwar die ESA-Sonde Venus Express und das Solar Dynamics Observatory der NASA. Dabei interessieren sich die Wissenschaftler vor allen Dingen dafür, welche Eigenschaften der planetaren Atmosphäre sich bei einem Transit besonders bemerkbar machen. Davon erhoffen sie sich Erkenntnisse, die sie für die spektroskopische Untersuchung bei der Suche nach fremden Erden verwenden können.

Es bleibt also spannend, welches Geheimnis uns die Venus vor der Sonne diesmal offenlegen wird. Und auch aus irdischer Sicht ist dieser Venustransit für uns auf alle Fälle eine Reise wert (siehe Artikel S. 45).



FELICITAS MOKLER ist seit Januar 2012 Redakteurin bei »Sterne und Weltraum«. Davor hat sie über Planetenentstehung und Atmosphären von Braunen Zwergen geforscht und war in der Öffentlichkeitsarbeit tätig. Die Astronomie ist für sie eine Leidenschaft.

Literaturhinweise

Bucher, G.: Die Spur des Abendsterns. Die abenteuerliche Erforschung des Venustransits. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt 2011

Duerbeck, H. W.: Venusdurchgänge zu Kaisers Zeiten. In: Sterne und Weltraum 6/2004, S. 34 – 42

Maor, E.: June 8, 2004 Transit of Venus. Princeton University Press, 2000

Neumann, M. J.: Venus vor der Sonne. In: Sterne und Weltraum 6/2004, S. 22 – 32

Uffrecht, U.,: Die Messung der Astronomischen Einheit. In: Sterne und Weltraum, 8/2001, S. 656 – 657

Wepner, W.,: Venusdurchgänge. In: Sterne und Weltraum 12/1984, S. 624 – 625

Unter folgenden Weblinks finden Sie aktuelle Informationen rund um den Venustransit am 5./6. Juni 2012:
www.venustransit.de
www.transitofvenus.org
http://eclipse.gsfc.nasa.gov/transit/venus0412.html
http://eclipse.astronomie.info/transit/venus/index.html

Weitere Weblinks unter:
www.sterne-und-weltraum.de/artikel/1140221

Die neuen Spektrum Spezial

Die neuen themenorientierten Spezialhefte von **Spektrum der Wissenschaft**

Dank der neuen, klar abgegrenzten Spezialheftreihen haben wir die entsprechenden Profile der Sonderhefte gestärkt: mit der **Grünen Reihe** den Bereich *Biologie, Medizin und Kultur* und mit der **blauen Reihe** *Physik, Mathematik und Technik*.





Die grüne Reihe:
Diese Reihe beschäftigt sich mit Themen, die um das Leben im weitesten Sinn kreisen. Sie umfasst insbesondere die Gebiete Biologie, Medizin, Psychologie, Archäologie und Geisteswissenschaften.

Die blaue Reihe:
Diese Reihe behandelt die unbelebte Natur samt Technik. Zu ihr gehören Mathematik, Physik, Astronomie, Chemie, Geowissenschaften, Informatik und technische Disziplinen.

Die Hefte kosten € 8,90 je Ausgabe, als Jahresabo (4 Ausgaben/Jahr und Reihe) € 29,60 inkl. Inlandsversand (ermäßigt auf Nachweis € 25,60). Natürlich können Sie auch beide Spezialreihen im günstigen Kombiabo (8 Hefte/Jahr) zum Preis von € 53,60 inkl. Inlandsversand (ermäßigt auf Nachweis: € 49,60) bestellen.

Unsere Themen 2012:
Wie entscheiden wir? – Januar • *Einblicke in die Nanowelt* – Februar • *Philosophie* – April • *Mathematische Unterhaltungen IV* – Mai • *Alzheimer* – Juli • *Erde 3.0* – August • *Genetik* – Oktober • *Mathematische Struktur der Welt* – November

www.spektrum.de/spezialabo

Spektrum der Wissenschaft
Wissenschaft aus erster Hand

E-Mail: service@spektrum.com
Tel.: 06221 9126-743

Fax: 06221 9126-751
Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH
Slevogtstraße 3–5 | 69126 Heidelberg