

Der Venustransit 2004

Eine einmalige Chance zur Vernetzung von Wissen, Verfahren und Menschen

Aus der Vermessung eines Venustransits von verschiedenen Orten der Erde aus ließ sich lange Zeit der genaueste Wert für die Entfernung zwischen Erde und Sonne ableiten. Nach 122 Jahren wird Venus am 8. Juni wieder vor der Sonne vorbeiziehen.

Was kann man selbst tun, um aus den eigenen Beobachtungen Hinweise auf die endliche Entfernung zur Sonne schließen zu können? Was muss man bereits alles wissen, um aus Messergebnissen die Sonnenentfernung berechnen zu können?

Ein internationales Projekt hat sich zum Ziel gesetzt, alle in die Auswertung einfließenden Größen selbst zu messen und dadurch astronomisches Grundwissen auf eigene Erfahrungen zu gründen und durch Ausrichtung auf ein gemeinsames Ziel miteinander zu vernetzen.

1 Einleitung

Am 8. Juni 2004 wird Venus, von der Erde aus betrachtet, von Ost nach West vor der Sonnenscheibe vorbeiziehen. Ein solcher so genannter Venustransit gehört zu den seltensten exakt vorhersagbaren astronomischen Ereignissen [10]: Kein lebender Mensch hat schon einen solchen beobachtet, weil im gesamten vergangenen Jahrhundert kein einziger stattfand, und wir werden, am 6. Juni 2012, höchstens noch eine weitere Gelegenheit bekommen. Überhaupt sind bisher nur fünf Venustransits von Menschen beobachtet worden (1639, 1761, 1769, 1872, 1882).

Venusdurchgänge haben in der Entwicklung der modernen Astronomie eine zentrale Rolle gespielt, weil aus ihrer Vermessung für ca. 100 Jahre der genaueste Wert für die Entfernung zur Sonne gewonnen wurde.

2 Die Astronomische Einheit

Im 18. und 19. Jahrhundert wurden zahlreiche Expeditionen in alle Gegenden der Erde ausgestattet und durchgeführt, von denen aus die Astronomen einen der sehr seltenen Venusdurchgänge vor der Sonne hofften beobachten zu können. Aus den Messwerten wollten sie einen besseren Wert für die Sonnenentfernung ableiten ([3], [8], [9]).

Warum gaben die Regierungen vieler Länder so viel Geld aus, und warum nahmen die Astronomen die Strapazen solcher Expeditionen auf sich [5]? Und warum ist es auch heute noch wichtig, nicht nur den Zahlenwert der Astronomischen Einheit zu wissen, sondern auch etwas über die Methoden, mit denen er immer präziser gemessen wurde?

Das sich in den Anstrengungen von Regierungen und Menschen ausdrückende Interesse an der Entfernung zur Sonne hatte sowohl naturwissenschaftliche als auch wirtschaftliche Gründe [2]:

- *Wenn man die Sonnenentfernung kennt, kann man die Größe des ganzen Sonnensystems bestimmen:*
Durch Winkelmessungen am Himmel ist es relativ leicht möglich, die Bahnradien, bzw. die großen Halbachsen der Planetenbahnen zu bestimmen. Bei diesen Messungen ergeben sich jedoch nur Entfernungsverhältnisse. Die Struktur des Sonnensystems wird dadurch zwar bestimmt, der Maßstab aber bleibt unbekannt. Seit COPERNICUS diente der Abstand zwischen Erde und Sonne als Maßstab. Der aus der Antike übernommene Wert für diese Entfernung war aber um etwa den Faktor 20 zu klein – und damit das ganze Sonnensystem!
- *Wenn die Entfernungen im Sonnensystem bekannt sind, ist es möglich, die astrophysikalischen Eigenschaften der Sonne und der Planeten zu bestimmen:*
So ergibt sich z. B. die Größe der Sonne und der Planeten aus ihrer scheinbaren Größe am Himmel. Die Masse der Sonne kann mit Hilfe des Gravitationsgesetzes berechnet werden. Und die gesamte Strahlungsleistung der Sonne kann aus der auf der Erde gemessenen Solarkonstanten abgeleitet werden.
- *Wenn die absoluten Entfernungen im Sonnensystem bekannt sind, können präzisere Vorhersagen der Bahnbewegungen des Mondes gemacht werden:*
Die Kenntnis der absoluten Entfernungen macht es möglich, die Störungen der Mondbahn zu berücksichtigen, die auf der Gravitationswechselwirkung mit den Planeten beruhen. Das war die Bedingung für genaue astronomische Navigation, eine lebenswichtige Voraussetzung für weltweiten Seeverkehr [6].
- *Der Abstand zwischen Erde und Sonne bildet auch die Basis für die Messung der Entfernung der Fixsterne.*
Deshalb ist die Entfernung zur Sonne nicht nur der Maßstab für die Größe des Sonnensystems, sondern sogar für die Dimensionen des gesamten Weltalls: die so genannte *Astronomische Einheit*.

Indem Lernende etwas über die Geschichte der Sonnenentfernung und die Probleme bei ihrer Messung erfahren, erwerben sie nicht nur allmählich ein Gefühl für die fast unvorstellbare Größe des Weltraumes. Sie können an diesem Beispiel etwas darüber lernen, »was es heißt, Physik (und Astronomie) zu betreiben« und »wie es überhaupt möglich war (und heute noch ist), so etwas zu wissen« (WAGENSCHNIG).

3 Die geometrische Parallaxe

Wenn man an der ausgestreckten Hand einen Gegenstand, z. B. einen Apfel, vor sich hält, ein Auge schließt und den Kopf hin- und herbewegt, beobachtet man, dass sich der Apfel scheinbar vor den weit entfernten Gegenständen der Umgebung bewegt, und zwar immer gerade in der entgegengesetzten Richtung wie der eigene Kopf. Diese scheinbare Positionsveränderung, die so genannte *parallaktische Bewegung*, beruht auf der sich ändernden Blickrichtung.

Dieser Parallaxeneffekt ist jedem aus dem täglichen Leben, z. B. vom Bahn- oder Autofahren bekannt: Die Gegenstände der Umgebung bleiben umso schneller zurück, je näher sie sind, d. h. sie bewegen sich bei Vorwärtsfahrt relativ zu den weiter entfernten Gegenständen nach hinten. Der Effekt ist umso kleiner, je weiter der Gegenstand entfernt ist. Er kann deshalb zur Entfernungsbestimmung herangezogen werden.

Tatsächlich ist die Parallaxe ein wesentliches Hilfsmittel zum dreidimensionalen Sehen: Die beiden Augen nehmen verschiedene Bilder auf, in denen sich die relativen Positionen der Gegenstände zueinander etwas unterscheiden. Im Gehirn werden diese beiden Bilder zu einem dreidimensionalen Bild verarbeitet. Bei großen Entfernungen helfen die parallaktischen Verschiebungen bei Bewegung, sich einen Eindruck von der Tiefenstaffelung zu verschaffen.

Der Parallaxenwinkel β eines Gegenstandes ist der Unterschied in den Blickrichtungen zweier Beobachter, die ihn ansehen. Oder anders ausgedrückt: β ist der Winkel, unter dem der Abstand Δ der beiden »Aufnahmeorte«, z. B. der beiden Augen oder der beiden Observatorien, von dem Gegenstand aus erscheinen (Abb. 1). Steht die Verbindungslinie senkrecht auf der Richtung zum Gegenstand, dann gilt offensichtlich die folgende Beziehung:

$$\tan \frac{\beta}{2} = \frac{\frac{\Delta}{2}}{d} \Rightarrow d = \frac{\frac{\Delta}{2}}{\tan \frac{\beta}{2}} \quad (1)$$

Ist die Entfernung sehr groß, die Parallaxe sehr klein, dann gilt näherungsweise

$$d \approx \frac{\Delta}{\beta} \quad (2)$$

Die Messung der so genannten trigonometrischen Parallaxe ist auch heute noch das sicherste Verfahren, die Entfernungen astronomischer Objekte zu bestimmen.

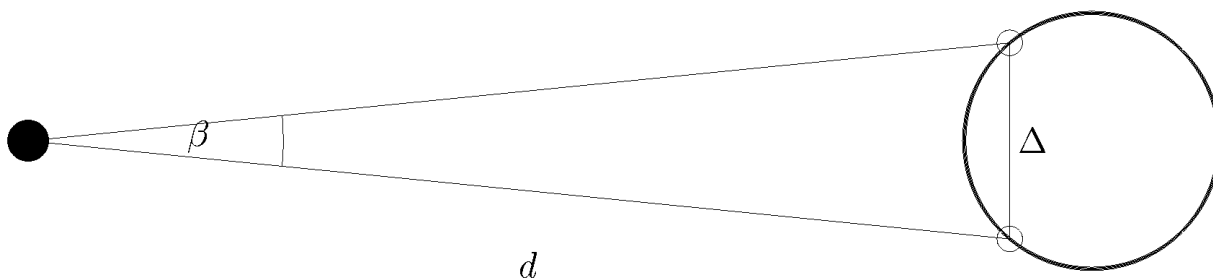


Abb. 1. Zum Zusammenhang zwischen dem Parallaxenwinkel β , Abstand der Beobachtungsorte Δ und der Objektentfernung d

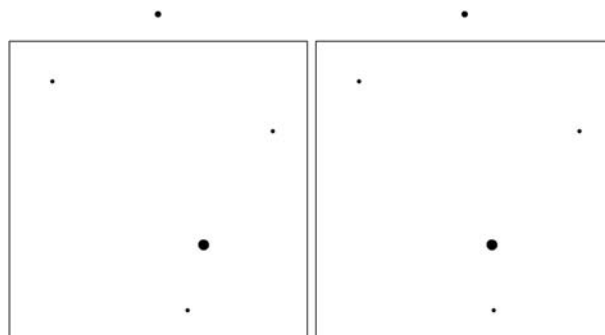


Abb. 2. Parallaktische Verschiebung der Venus gegenüber dem Fixsternhimmel. Diese Verschiebung ist gleich der Venusparallaxe β_V .

Die Parallaxe π eines Objektes des Sonnensystems ist der Winkel, unter dem, von dem Objekt aus gesehen, der Erdradius erscheint. Bei Objekten außerhalb des Sonnensystems bezieht sich die Parallaxe auf den Radius der Erdbahn.

Wenn man die Relativbewegung $\Delta\beta$ vor »unendlich« weit entferntem Hintergrund beobachtet, dann zeigt sie direkt die Parallaxe: $\Delta\beta = \beta$ (s. Abb. 2¹).

Beobachtet man dagegen die parallaktische Bewegung relativ zu einem endlich weit entferntem Hintergrund, dann ist die Relativbewegung kleiner als die Parallaxe: $\Delta\beta = \beta - \beta_H$ (s. Abb. 3).

4 Die Parallaxe der Sonne

Die Sonne ist sehr weit entfernt, ihre Parallaxe deshalb sehr klein: Sie beträgt nur $8,8''$. Das ist der Winkel, unter dem uns eine kleine Münze in 230 m Entfernung erscheint! Erschwerend kommt hinzu, dass kein Hintergrund sichtbar ist, wenn die Sonne am Himmel steht. Es ist deshalb bis heute unmöglich, die Sonnenparallaxe direkt geometrisch zu bestimmen.

¹ Die Abbildungen 2 und 3 sind Stereobilder. Sie rufen einen stereoskopischen Eindruck hervor, wenn man sie mit dem so genannten Parallelblick betrachtet, so dass die mit den beiden Augen gesehenen unterschiedlichen Bilder zu einem Bild verschmolzen werden. Die Punkte über den Bildern können als Hilfe dienen: Der Blick, d. h. die Augenstellung, ist richtig, wenn man zwischen den beiden Punkten genau einen zusätzlichen Punkt sieht. Anfangs ist es günstig, die Augen zunächst sehr nahe an die Bilder heranzuführen und sie langsam zu entfernen, wenn man die richtige Augenstellung gefunden hat.

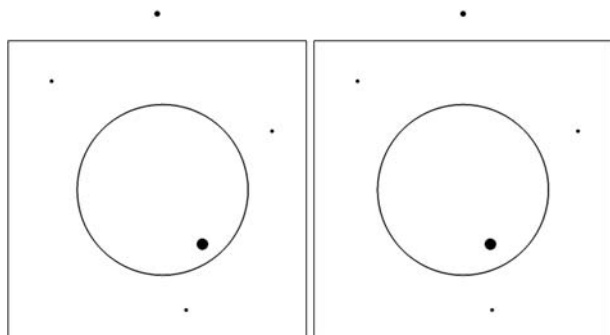


Abb. 3. Parallaxische Verschiebung von Venus und Sonne. Die Verschiebung der Venus relativ zur Sonnenscheibe ist kleiner als relativ zu den Sternen in Abb. 2. Sie entspricht der Differenz $\beta_V - \beta_S$.

Die Grundidee der geometrischen Messung der Entfernung zur Sonne besteht darin, die Parallaxe eines anderen Körpers des Sonnensystems zu bestimmen und dessen Entfernung anschließend, z. B. mit Hilfe des 3. Kepler'schen Gesetzes, auf die Sonnenentfernung hochzurechnen.

- **Mars**, längst nicht so hell wie die Sonne und in Oppositionsstellung nur etwa halb so weit von der Erde entfernt, war der erste Körper, an dem diese Idee erfolgreich umgesetzt wurde. 1672 gelang es CASSINI in Paris, RICHER in Cayenne und FLAMSTEED in London, den Parallaxenwinkel von Mars zu etwa $25,5''$ zu bestimmen und daraus auf eine Sonnenparallaxe von nicht mehr als $10''$ zu schließen [4].
- **Venus** kommt in der unteren Konjunktion der Erde noch deutlich näher als Mars. Allerdings ist sie in dieser Stellung in der Regel unbeobachtbar. Bei den sehr seltenen Transits allerdings ist sie vor der Sonne gut zu sehen und ihre Position relativ zur Sonnenscheibe im Prinzip auch gut messbar. Nach der Beobachtung eines Merkurtransits im Jahre 1677 machte deshalb HALLEY 1716 den Vorschlag, den nächsten Venustransit des Jahres 1761 von den verschiedensten Orten der Erde aus zu vermessen, um die Sonnenentfernung so genau wie möglich zu bestimmen.
- Manche **Kleinplaneten** kommen der Erde noch näher als Venus. Wegen ihrer geringen Größe ist zusätzlich ihre Position noch genauer zu bestimmen. Im Jahre 1931 gelang an Eros, bei einem Abstand von nur 0,15 AE, eine sehr genaue Bestimmung der Sonnenparallaxe. Allerdings konnte diese inzwischen auch mit physikalischen Methoden bestimmt werden.

5 Geometrie des Venustransits

Für zwei Beobachter an verschiedenen Orten der Erde sieht ein Venusdurchgang unterschiedlich aus: Die Venus tritt zu etwas unterschiedlichen Uhrzeiten vor die Sonne und verlässt sie auch nicht gleichzeitig. Und im selben Moment hat die Venus nicht genau dieselbe Position auf der Sonnenscheibe.

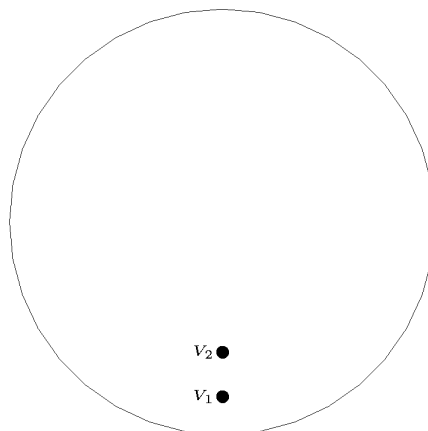


Abb. 4. An verschiedenen Orten der Erde simultan aufgenommene, auf dieselbe Größe skalierte und mit gleicher Orientierung übereinander gelegte Fotos von Venus vor der Sonne. Der Parallaxeneffekt ist stark übertrieben.

Dieser Parallaxeneffekt kann bemerkt werden, wenn

- man die Länge der Transitsehn dadurch bestimmt, dass man die Ein- und Austrittszeitpunkte sekundengenau misst oder
- wenn zwei simultan aufgenommene Fotos des Ereignisses auf dieselbe Größe skaliert und mit derselben Orientierung übereinander gelegt werden (Abb. 4).

Bei der üblichen Erklärung dieser parallaxischen Verschiebung (siehe z. B. [10]), erheben sich Fragen:

- Warum stellt die gemessene Verschiebung nicht den Parallaxenwinkel von Venus dar?
- Natürlich wirft die Venus keine »Schatten« auf die Sonne. Wie kann man dann ihren Abstand von der Erde aus beobachten? Wo befinden sich die Projektionen tatsächlich – auf der Sonnenoberfläche oder auf einer Ebene, z. B. durch den Sonnenmittelpunkt? Welche Orientierung hat diese Ebene?
- Von verschiedenen Positionen auf der Erde aus betrachtet erscheint doch auch die Sonne an etwas unterschiedlichen Positionen vor dem Sternenhimmel. Muss dieser Effekt nicht berücksichtigt werden?

Tatsächlich kann man weder die Venus vor der Sonne beobachten, noch ihre Projektionen auf ihrer Oberfläche. Stattdessen können am Himmel nur Winkel beobachtet und gemessen werden. So hat für die beiden Beobachter die Venus unterschiedliche Positionen relativ zur Sonnenscheibe, in der in Abbildung 5 dargestellten Situation z. B. verschiedene Winkelabstände β_1 bzw. β_2 von der Sonnenmitte. Diese beiden Winkel können Abbildung 4 entnommen werden, wenn man den Abbildungsmaßstab mit Hilfe des Durchmessers der Sonnenscheibe bestimmt. Der Abstand der beiden Venus-scheibchen relativ zur Sonne ist dann gerade die Winkeldifferenz $\Delta\beta = \beta_1 - \beta_2$.

Der parallaxische Winkel $\Delta\beta$ wird also nicht absolut, sondern durch zwei Messungen relativ zur Sonnenscheibe gemessen. Er ist deshalb kleiner als der Parallaxenwinkel der Venus, da die Winkel nicht gegen den

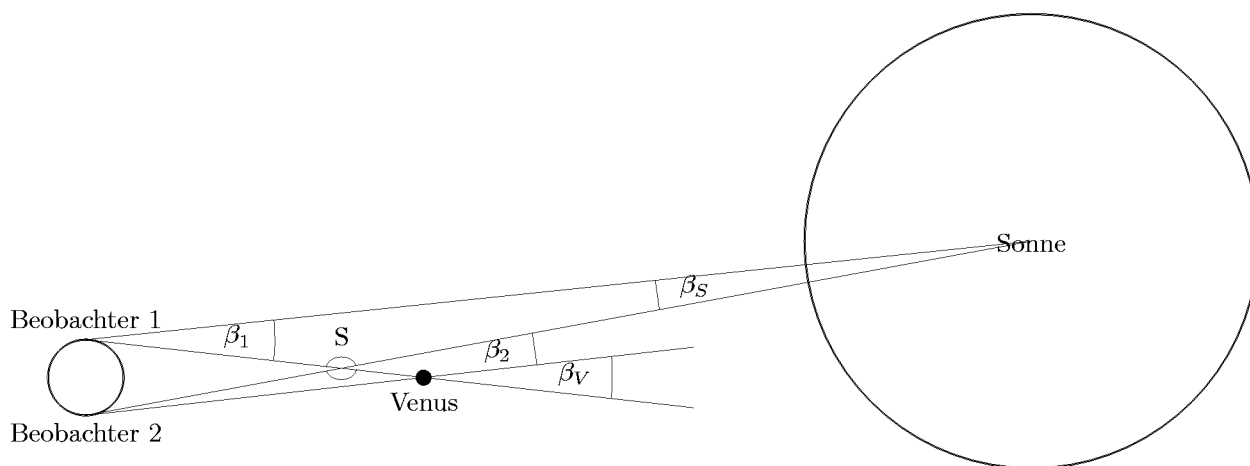


Abb. 5. Für die beiden Beobachter hat Venus unterschiedliche Positionen relativ zur Sonnenscheibe, hier dargestellt als Winkelabstände β_1 bzw. β_2 von der Sonnenmitte.

(unendlich fernen) Sternenhintergrund, sondern relativ zur Sonne gemessen werden, die selbst Parallaxe zeigt (s. Abschnitt 3).

Seien β_S bzw. β_V die Winkel, unter dem der Abstand der beiden Beobachter von der Sonne bzw. von der Venus aus erscheint, die aktuellen Parallaxenwinkel von Sonne und Venus also. Dann entnimmt man der Abbildung 5 die folgende Beziehung:

$$\beta_S + \beta_1 = \beta_V + \beta_2 \quad (3)$$

$$\Delta\beta = \beta_1 - \beta_2 = \beta_V - \beta_S \quad (4)$$

Beide Winkelsummen ergänzen nämlich (einmal im Dreieck Beobachter 1 – S – Sonnenmittelpunkt, andernfalls im Dreieck Beobachter 2 – S – Venus) die bei S eingezeichneten Scheitelwinkel zu 180.

6 Ableitung der Sonnenentfernung

Die Bestimmung der Sonnenentfernung beruht auf folgendem Gedankengang:

- Zur Berechnung benötigt man die Sonnenparallaxe π_S , d. h. den Winkel, unter dem der Erdradius von der Sonne aus gesehen erscheint.

- Ebenso gut geeignet ist der Winkel β_S , unter dem der Abstand zweier beliebiger Beobachter von der Sonne aus erscheint. Voraussetzung ist allerdings, dass man den Abstand der beiden Beobachter kennt.
- Statt β_S lässt sich leichter der größere Winkel β_V messen, unter dem der Abstand der beiden Beobachter von der näheren Venus aus erscheint. Wenn man die Abstandsverhältnisse kennt, kann man die beiden Winkel ineinander umrechnen.
- Den bei der Venus liegenden Winkel β_V kann man aus den beiden auf der Erde gemessenen Winkeln β_1 und β_2 berechnen.

Da die interessierenden Entfernungen von Venus und Sonne im Vergleich zum Durchmesser der Erde sehr groß sind, verhalten sich die Parallaxenwinkel umgekehrt wie die Entfernungen d_V bzw. d_S der Venus bzw. der Sonne zur Erde [s. (2)]:

$$\frac{\beta_V}{\beta_S} = \frac{d_S}{d_V} \quad (5)$$

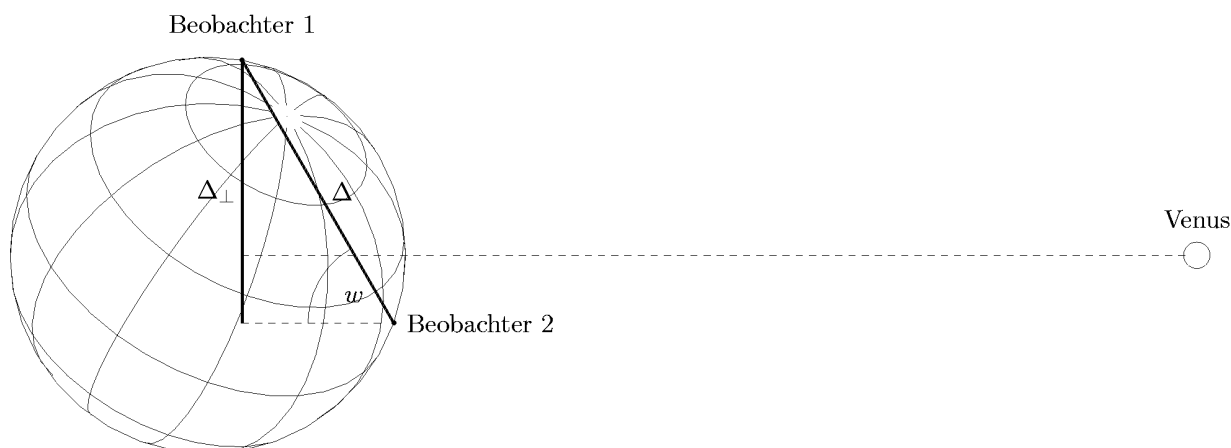


Abb. 6. Für die Bestimmung der Sonnenparallaxe kommt es nicht auf den Abstand Δ der beiden Beobachter an, sondern auf dessen Projektion Δ_\perp parallel zur Richtung zur Venus.

Bezeichnet man die Radien der Bahnen von Erde und Venus um die Sonne als r_E bzw. r_V , wird schließlich aus (4):

$$\Delta\beta = \frac{r_E}{r_E - r_V} \beta_S - \beta_S = \frac{r_V}{r_E - r_V} \beta_S \Rightarrow \beta_S = \left(\frac{r_E}{r_V} - 1 \right) \Delta\beta \quad (6)$$

Tatsächlich misst man den Abstand $\Delta\beta$ nicht absolut, sondern als Bruchteil f des Winkelradius ρ_S der Sonne:

$$\Delta\beta = \frac{\Delta\beta}{\rho_S} \rho_S = f \rho_S \quad (7)$$

Um aus dem Parallaxenwinkel β_S auf die Sonnenparallaxe π_S schließen zu können, muss man den Abstand Δ der beiden Beobachter als Vielfaches des Erdradius kennen, genauer: den Abstand Δ_\perp , den die beiden Beobachter *senkrecht* zur Richtung Erde–Sonne haben (Abb. 6).

Damit ergibt sich zunächst

$$\beta_S = \pi_S \frac{\Delta_\perp}{R_E} = \pi_S \frac{\Delta}{R_E} \sin w \Rightarrow \pi_S = \frac{R_E}{\Delta \sin w} \beta_S$$

und schließlich

$$\pi_S = \left[\frac{R_E}{\Delta \sin w} \left(\frac{r_E}{r_V} - 1 \right) \rho_S \right] f \quad (8)$$

Aus diesem Ergebnis für die Sonnenparallaxe π_S lässt sich der Abstand d_S zur Sonne, die so genannte Astronomische Einheit, folgendermaßen ableiten (vgl. (2)):

$$1 \text{ AE} = d_S = \frac{R_E}{\pi_S} \quad (9)$$

7 Das Internetprojekt »Venus 2004«

Im Jahr 2001 wurde von U. UFFRECHT [7] zu einem internationalen Projekt aufgerufen, das zunächst von Koblenz aus ins Leben gerufen wurde, jetzt aber von Essen aus koordiniert wird [1]. Inzwischen gibt es eine Vielzahl anderer Venusprojekte unterschiedlichster Zielrichtungen (siehe z. B. [11]).

Ziel dieses Projektes ist es, Schulklassen bzw. schulische Arbeitsgemeinschaften, Gruppen von Amateurastronomen und Sternwarten mit dem Ziel zusammenzuführen, den Venusdurchgang 2004 gemeinsam zu beobachten und zu fotografieren und aus den Beobachtungsdaten die Entfernung zur Sonne mit verschiedenen Verfahren abzuleiten. Das Material soll anschließend so aufbereitet werden, dass es Auswertungen mit unterschiedlichem Anspruch an Genauigkeit und Komplexität zulässt.

Das Projekt wird inzwischen als umfangreiches astronomisches Ausbildungsprojekt dazu genutzt, im Rahmen der internationalen Kooperation alle in die Gleichungen (8) und (9) explizit oder implizit eingehenden Größen selbst zu bestimmen. Dabei soll der Erwerb astronomischen Wissens auf eigene phänomenologische Erfahrungen gestützt werden. Darüber hinaus sollen »Wissensinseln« und Verfahren, die sonst weitgehend isoliert voneinander erworben werden, durch Aus-

richtung auf ein gemeinsames Ziel miteinander vernetzt und internationale Zusammenarbeit über das Internet eingeübt werden.

Gleichungen (8) und (9) fassen zusammen, wie aus der Beobachtung und Messung des Venusdurchganges auf die Entfernung zur Sonne geschlossen werden kann. Sie zeigen, was gemessen und was berechnet werden muss, um die Sonnenparallaxe bestimmen zu können.

- Die eigentliche Messgröße ist der *Winkelabstand* $\Delta\beta$ der Venusscheibchen, deren Position von verschiedenen Orten der Erde aus gleichzeitig relativ zur Sonnenscheibe gemessen wird. Historisch wurde der Winkel aus den unterschiedlichen Durchgangszeiten der Venus berechnet, aus denen (bei bekannter Winkelgeschwindigkeit) die Längen der Sehnen berechnet werden konnten. Da die genügend genaue Bestimmung der Kontaktzeiten wahrscheinlich auch mit modernen Methoden schwierig sein wird, insbesondere aber weil die Auswertung sehr anspruchsvoll ist, konzentriert sich dieses Projekt auf die gleichzeitige Aufnahme der Venus vor der Sonne von sehr weit von einander entfernten Orten (z. B. aus Europa, Indien und Südafrika) aus. Wenn das Ausmessen der entsprechenden Positionen genügend genau gelingt, ist die Auswertung mit elementarer Mathematik möglich. Für die Positionsmessungen muss allerdings die Orientierung der Fotos sehr genau bestimmt werden!

Der Winkelabstand ergibt sich bei der Ausmessung der Fotos zunächst als *Bruchteil* f der (Winkel-) Größe der Sonnenscheibe.

- Um f in einen absoluten Winkel umrechnen zu können, braucht man den *Winkelradius* ρ_S der Sonne. Dafür gibt es ein sehr einfaches, dafür aber nicht sehr genaues Verfahren (Größe von »Sonnentalern«), aber auch anspruchsvollere Methoden (Messung der Zeit, die die Sonne braucht, um sich aufgrund der täglichen Bewegung um ihren eigenen Durchmesser weiter zu bewegen).
- Um den Parallaxenwinkel auf den Erdradius umrechnen zu können, braucht man den *linearen Abstand* Δ der beiden Beobachter als Vielfaches $\frac{\Delta}{R_E}$ des Erdradius. Er wird aus den *geografischen Koordinaten* (φ_i, λ_i) der beiden Beobachter berechnet. Um sie mit astronomischen Methoden zu bestimmen, sind genaue Bestimmungen von Südrichtung, Kulminationshöhen und Kulminationszeiten erforderlich.
- Bei dem Abstand der Beobachter kommt es nur auf die Projektion parallel zur Richtung Erde – Sonne an. Man muss also den *Projektionswinkel* w bestimmen. Dazu muss man
 - die *äquatorialen Koordinaten* (α_S, β_S) der Sonne und
 - die *lokalen Sternzeiten* θ_i an den Beobachtungsorten
 zum Zeitpunkt des Transits kennen.
- Der *Bahnradius* r_V der Venus muss als Bruchteil $\frac{r_V}{r_E}$ des Erdbahnradius bekannt sein, damit aus dem Parallaxenwinkel β_V der Venus auf den Parallaxen-

winkel β_S der Sonne geschlossen werden kann. Gelegenheiten dazu bieten der sich ändernde Winkelabstand der Venus von der Sonne und ihre rückläufige Bewegung vor und nach dem Transit.

- Schließlich muss man den *Erdradius* R_E kennen, um aus der Sonnenparallaxe gemäß (9) die Entfernung der Sonne ableiten zu können. Auch dazu ist nationale oder internationale Zusammenarbeit erforderlich.

Diesen Aufgaben widmen sich die folgenden Teilprojekte:

1. Measuring the radius of Venus' orbit
2. Determining of the own geographical coordinates and the projected distance of different observers
3. Determining the radius of the Earth
4. Measuring the angular radius of the Sun
5. Exercises in photographing the Sun and exact position measurements on the Sun's disc (Sunspots)
6. The Transit of Mercury on May 7th, 2003

8 Schluss

Inzwischen ist die Vorbereitung des Venustransits in die »heiße Phase« eingetreten. Die ersten Werte für den Radius der Venusbahn sind bereits vor einem Jahr gewonnen worden, und die Gruppen haben erste Kontakte aufgenommen, um den Erdradius und den linearen Abstand untereinander zu bestimmen. Für die Zeit vor dem Transit sind die folgenden vorbereitenden Messungen vorgeschlagen worden:

1. Messung der geografischen Breite
2. Bestimmung der genauen Südrichtung
3. Messung genauer Kulminationszeiten der Sonne oder von Sternen bekannter Rektaszension zur Bestimmung der geografischen Länge
4. Messung des Erdradius mit Partnern gleicher geografischer Breite oder derselben geografischen Länge
5. Bestimmung des Bahnradius der Venus durch Messung des maximalen Winkelabstandes von der Sonne oder durch Auswertung ihrer Rückläufigkeit

6. Übungen in Positionsmessungen auf der Sonne
Am wichtigsten aber wird es sein, Erfahrungen mit der Sonnenfotografie zu sammeln, damit die vorgeschlagenen Doppelbelichtungen zur Bestimmung der Bildorientierung im entscheidenden Moment klappen und die Positionsmessungen nicht durch falsche Belichtung oder schlechte Fokussierung beeinträchtigt werden.

Das Wetter am 8. Juni lässt sich leider nicht planen. Dafür kann man nur die Daumen drücken.

Literatur

- [1] Homepage des Venusprojektes: <http://didaktik.physik.uni-essen.de/~backhaus/VenusProject.htm>
- [2] U. BACKHAUS: Die Entfernung der Sonne. – *Astronomie und Raumfahrt* **35** (1998) Nr. 1, 30.
- [3] K. GUCKELSBERGER: Der vermessene Himmel. – *Physik in unserer Zeit* **32** (2001) Nr. 3, 128.
- [4] A. V. HELDEN: *Measuring the Universe*. – Chicago: The University of Chicago Press 1995.
- [5] E. MAOR: June 8, 2004 – Venus in Transit. – Princeton: Princeton University Press 2000.
- [6] D. SOBEL: *Längengrad*. – Berlin: Berlin Verlag 1996.
- [7] U. UFFRECHT: Die Messung der Astronomischen Einheit. – *Sterne und Weltraum* (2001) Nr. 8, 656.
- [8] R. WOLF: *Handbuch der Astronomie ihrer Geschichte und Literatur*, Zürich 1890–1891. – Nachgedruckt bei Olms: Hildesheim 1973.
- [9] H. WOOLF: *The Transits of Venus – A Study of Eighteenth-Century Science*. – Princeton: Princeton University Press 1959.
- [10] A. ZENKERT: Der Venusdurchgang am 8. Juni 2004. Ein seltenes Naturschauspiel. – *MNU* **57** (2004) Nr. 1, 4.
- [11] Homepage des Venusprojektes der Europäischen Südsternwarte ESO: <http://www.vt-2004.org>

Dr. UDO BACKHAUS ist Professor für Didaktik der Physik am Campus Essen der Universität Duisburg-Essen. Seit langem bildet die Aufbereitung astronomischer Phänomene und Probleme, insbesondere der astronomischen Entfernungsmessung, einen Schwerpunkt seiner Arbeit. Er hat zahlreiche Praktikumsversuche zu diesem Themenbereich entwickelt und mehrfach Internetprojekte initiiert. Anschrift: Fachbereich Physik der Universität Duisburg-Essen, 45117 Essen, udo.backhaus@uni-essen.de