

Das Projekt „Venustransit 2004“

von Udo Backhaus

Beobachtung und Messung von Durchgängen der Venus vor der Sonne boten lange Zeit die Gelegenheit zur genauesten Messung der Entfernung zwischen Erde und Sonne. Wenn auch die Astronomische Einheit heute mit anderen Methoden sehr viel genauer bestimmt worden ist, so bot doch der auf der geografischen Länge von Deutschland optimal beobachtbare Durchgang am 8. Juni 2004, der erste seit 1882, eine ausgezeichnete Möglichkeit, mit modernen Methoden die historischen Messungen nachzuvollziehen und internationale Zusammenarbeit zwischen Schulen, Amateurastronomen und Universitäten einzuüben.

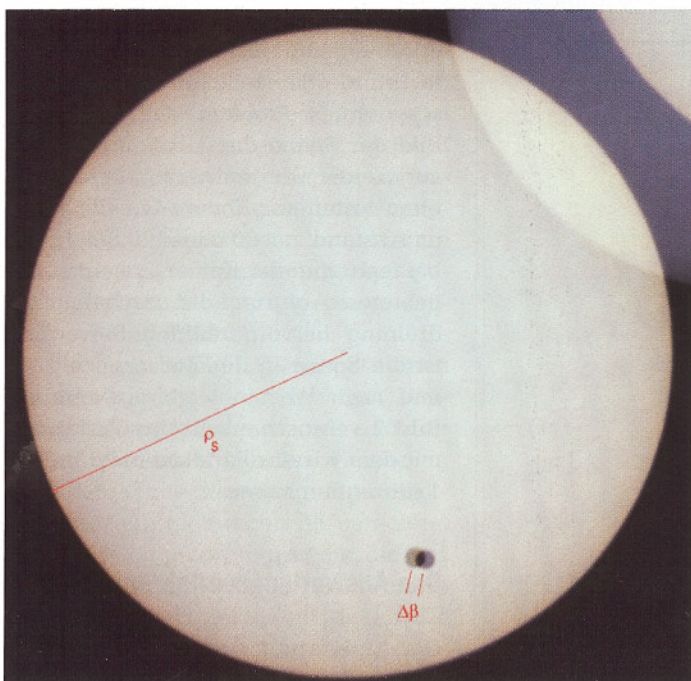
Das Projekt und sein Ziel

Die Entfernung zur Sonne ist so schwierig zu messen, dass erst bei den Venustransits 1761 und 1769 durch genaue Beobachtung dieser seltenen Ereignisse, trotz zahlreicher, z. T. unerwarteter Schwierigkeiten, ein genauer Wert für den Abstand Erde-Sonne, die so genannte Astronomische Einheit, gewonnen werden konnte. Um einen Venustransit zur Bestimmung der Sonnenentfernung nutzen zu können,

muss er von möglichst vielen weit voneinander entfernten Orten auf der Erde aus beobachtet werden, deren geografische Positionen genau bekannt sein müssen. Dabei müssen die von den verschiedenen Orten aus gleichzeitig beobachteten Positionen der Venus vor der Sonne oder die genauen Zeitpunkte des Eintritts und/oder des Austritts der Venus miteinander verglichen werden.

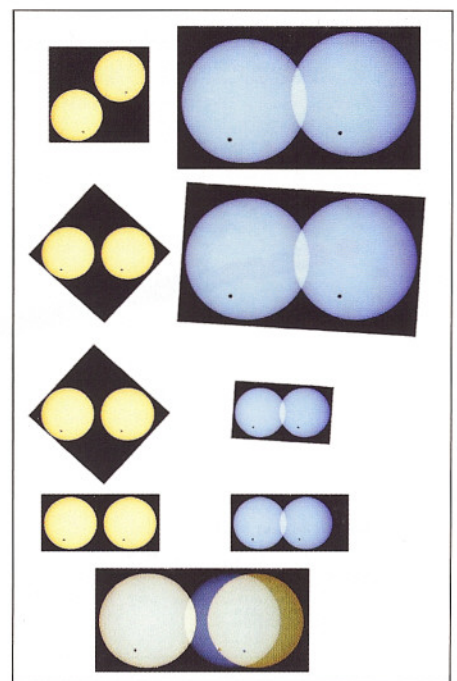
Der Vergleich weltweit gewonnener Daten ist heute durch die Mög-

lichkeiten der elektronischen Kommunikation per Telefon, E-Mail oder Internet kein Problem mehr, und die Beobachtungsmöglichkeiten (erst recht die Möglichkeiten zu Fotografie oder Filmaufnahmen) selbst von Schulen und Amateuren sind den historisch-wissenschaftlichen ebenbürtig oder überlegen. Das hier beschriebene Projekt [1] nutzte deshalb den Venustransit 2004, um Schulen, Amateure, Planetarien und wissenschaftliche Institutionen weltweit zur Kooperation mit dem Ziel anzuregen, aus Beobachtungsdaten, die mit relativ einfachen Mitteln selbst gewonnen wurden, zu einem eigenen Wert für die Astronomische Einheit zu gelangen. Dabei stand im Vordergrund, die Teilnehmer zu gemeinsamen Forschungsaktivitäten zu animieren, internationale Kommunikation (auf Englisch) einzuüben, die historischen Schwierigkeiten bei Messung und Auswertung nachzuvollziehen und ein intensives Einarbeiten in einen größeren zusammenhängen-



1 Legt man gleichzeitig aufgenommene Fotos aus Namibia und Deutschland mit übereinstimmender Orientierung übereinander, so hat Venus etwas unterschiedliche Positionen vor der Sonne. Das Verhältnis dieser Verschiebung zum Sonnenradius ist die entscheidende Messgröße.

2 Bearbeitungsschritte zweier Fotos aus Essen und Namibia, deren Ergebnis in Bild 1 dargestellt ist





3 Ausmessung der Venuspositionen am Computer durch Anpassung von Kreisen

Die (einfache) Theorie ist ausführlich in [1] und [4] dargestellt worden. Die eigentliche Messgröße bei diesem Verfahren ist der Abstand $\Delta\beta$ zweier Venusscheibchen, die von verschiedenen Orten aus aufgenommen wurden, genauer: das Verhältnis $f = \Delta\beta/\rho_s$ dieses Abstandes zum Winkelradius ρ_s der Sonne. Der Zusammen-

hang mit der gesuchten Entfernung d_s zur Sonne wird durch die folgenden beiden Gleichungen hergestellt:

$$\pi_s = \frac{R_E}{\Delta} \frac{1}{\sin w} \left(\frac{r_E}{r_V} - 1 \right) \rho_s f \quad (1.1)$$

$$d_s = \frac{R_E}{\pi_s}$$

Dabei sind R_E der Erdradius, Δ der lineare Abstand der beiden Beobachter, r_E und r_V die Radien der Erd- bzw. Venusbahn um die Sonne und w der Winkel, den die geradlinige Verbindung der beiden Beobachter mit der Richtung zur Venus einschließt. π_s schließlich ist die so genannte Sonnenparallaxe, d. h. der Winkel, unter dem der Erdradius erscheint, wenn er von der Sonne aus betrachtet wird.

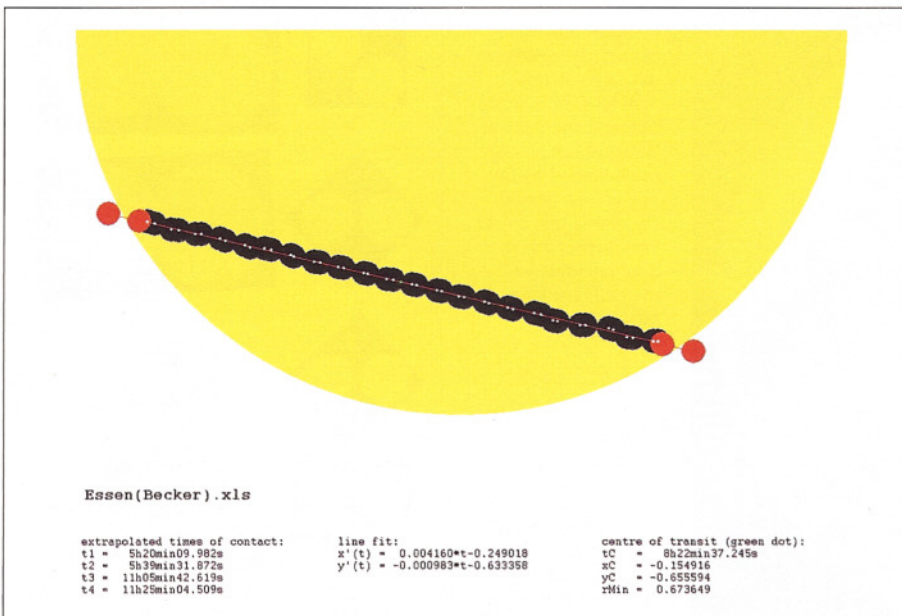
den Problemkreis der Astronomie zu initiieren. Im Gegensatz zu anderen weltweiten Projekten (siehe insbesondere [7] und [8]), die sich auf die Messung und Auswertung der Kontaktzeiten konzentrierten, zielte dieses Projekt darauf, an verschiedenen Orten der Erde zu exakt gleichen Zeitpunkten aufgenommene Fotos zu gewinnen. Wenn man solche Fotos mit gleicher Größe und Orientierung übereinander legt, machen sie den Parallaxeneffekt der Venus direkt sichtbar (Bild 1) und erlauben eine mathematisch einfache Auswertung. Die Auswertung gewinnt zusätzlich dadurch an Anschaulichkeit, dass auf genau analoge Weise die Entfernung zum Mond gemessen werden kann [2].

Ziel des Projektes war, nicht nur die parallaktische Verschiebung der Venus zu messen, sondern auch alle Größen selbst zu bestimmen, die zur Ableitung der Sonnenentfernung erforderlich sind. Das Projekt enthielt deshalb Teilprojekte, deren Ziele es waren, den Bahnradius von Venus, den Erdradius und den Winkelradius der Sonne zu messen und die eigene geographische Position selbst zu bestimmen ([1], [5]). Vorbereitende Projekte zielten ein Jahr zuvor auf den Merkurtransit und widmeten sich der Einübung der fotografischen Methode.

An dem Projekt beteiligten sich etwa 100 Personen und Gruppen, die zwar auf Deutschland konzentriert waren, sich aber über die ganze Welt (von Sri Lanka bis Peru und von Schweden bis Südafrika) verteilten. Die meisten Teilnehmer waren Schülergruppen, Lehrer und Amateurastronomen. Es beteiligten sich aber auch einige Planetarien und universitäre Institute.

Die Venusparallaxe sichtbar gemacht

Weil Sonne und Venus unterschiedlich weit von der Erde entfernt sind, hat Venus relativ zur Sonne etwas unterschiedliche Positionen, wenn sie von weit entfernten Orten auf der Erde aus gleichzeitig fotografiert wird (Bild 1). Der Effekt kann aber nur sichtbar gemacht und ausgemessen werden, wenn die Vergleichsbilder exakt denselben Abbildungsmaßstab aufweisen und die Bilder der Sonne genau gleich orientiert sind. Insbesondere die zweite Anforderung stellt für Amateure ein schwieriges Problem dar, weil dem Bild der Sonne die Ausrichtung nicht angesehen werden kann. Dieses Problem lösten wir, indem wir die Fotos im Abstand von 90 oder 120 Sekunden bei feststehender Kamera zweimal belichteten. Aufgrund der durch die Erdrotation hervorgerufenen Bewegung ist die Sonne in der Zwischenzeit genau nach Westen weiter gewandert. Bild 2 veranschaulicht das Verfahren, mit dem wir das Parallaxenbild in Bild 1 gewonnen haben.



4 Die Venuspositionen auf allen in Essen aufgenommenen Fotos

Das Auswertungsverfahren

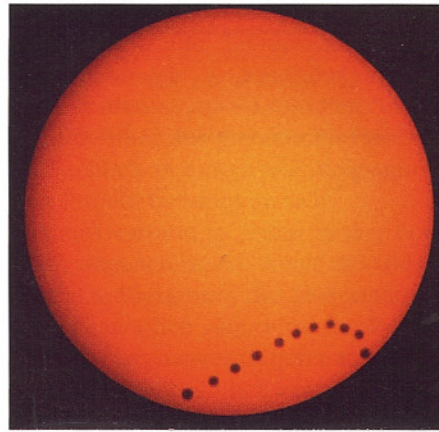
Die Auswertung der überlagerten Fotos in Bild 1 ergibt, bei Verwendung

5 Die Überlagerung von Essener Bildern, die mit parallel zum Horizont ausgerichteter Kamera aufgenommen wurden, zeigt einen gebogenen Venuspfad über die Sonne (links). Nach Drehung aller Bilder in Ost-West-Richtung wird aus diesem Pfad eine gleichförmig durchlaufene Gerade.

der im Rahmen des Projektes selbst bestimmten Werte für ρ_s , r_v/r_E und den Abstand Δ zwischen Essen und der Internationalen Amateursternwarte (IAS) in Namibia, eine Sonnenparallaxe von 9,1" und damit für die Entfernung zwischen Erde und Sonne einen Wert von 144.000.000 km [5]. Ein so guter Wert ist bei Vergleich zweier Einzelbilder jedoch Zufall. Der zu messende Effekt ist so klein, das Vergleichsverfahren so empfindlich, dass nur die Berücksichtigung möglichst vieler Bilder und die sorgfältige Minimierung systematischer und statistischer Fehler zu verlässlichen Ergebnissen führen kann. Die Schritte des Verfahrens sollen im Folgenden skizziert werden. Für eine ausführlichere Darstellung sei auf ein im Internet zu findendes internes Papier verwiesen, in dem das Verfahren für die Auswertung des Projektes erläutert wurde [1].

Zunächst werden alle an einem Beobachtungsort aufgenommenen Fotos mit einem Computerprogramm ausgemessen (Bild 3). Die gemessenen Venuspositionen werden anschließend in eine Excel-Tabelle übertragen, sodass eine Ausgleichsgerade berechnet werden kann, die die bestmögliche Anpassung der Venusbewegung an eine geradlinig gleichförmige Bewegung liefert. Die grafische Darstellung der gemessenen Positionen und der Ausgleichsgeraden liefert einen ersten Eindruck von der Qualität der Fotos und Messungen (Bild 4). Mit dieser Auswertung ist es nachträglich möglich, die mit azimutal ausgerichteter Kamera gewonnenen Aufnahmen so zu drehen, dass sie aussehen, als wären sie mit einer parallaktischen Montierung aufgenommen worden (Bild 5).

Die so gewonnenen Venuspositionen können auf die folgenden drei Weisen mit Ergebnissen, die an anderen Orten gewonnen wurden, verglichen und daraus die zugehörigen parallaktischen Verschiebungen $\Delta\beta$ berechnet werden. Computerprogramme, die diese Rechenschritte erledigen, wurden innerhalb des Projektes entwickelt. Sie stehen, zusammen mit anderen Materialien im Internet zur Verfügung [1].

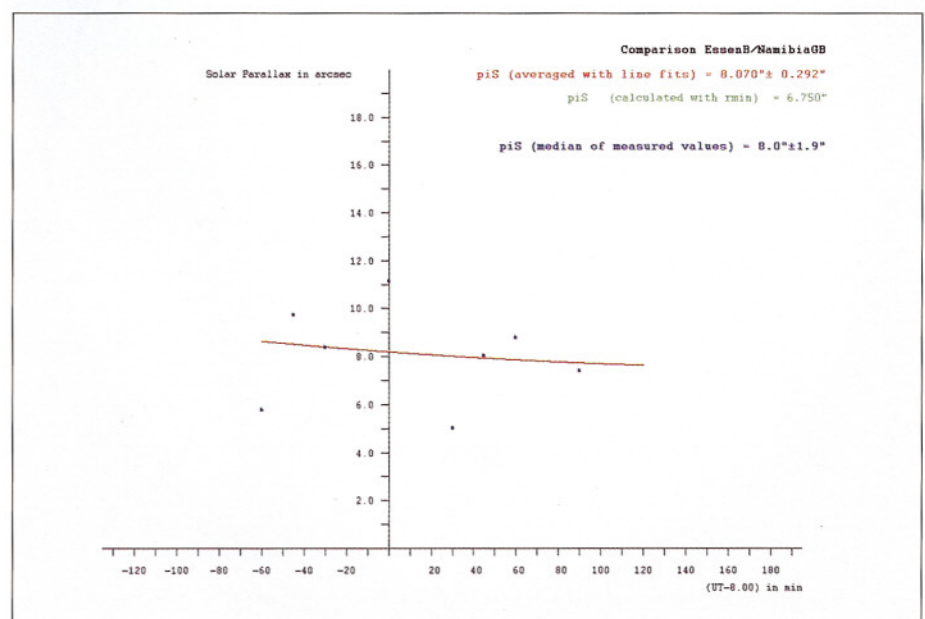


1. Der Abstand der Venuspositionen auf allen exakt gleichzeitig aufgenommenen Fotos wird bestimmt und der Mittelwert der sich daraus ergebenden Werte für die Sonnenparallaxe berechnet (in den folgenden Abbildungen: „piS (median of measured values)“).
2. Mit Hilfe der Ausgleichsgeraden wird der minimale Abstand des Venusscheibchens von der Mitte der Sonnenscheibe ermittelt. Dieser Vorschlag wurde von einem Projektteilnehmer (B. Steintrücken) gemacht. Die Idee dahinter war, im Falle nur weniger Fotos ersatzweise die Differenz der Minimalabstände als parallaktische Verschiebung zu werten („piS (calculated with rmin)“). Die Animation auf der Startseite [1] des Projektes veranschaulicht, dass diese Annahme berechtigt, aber nur näherungsweise richtig ist.

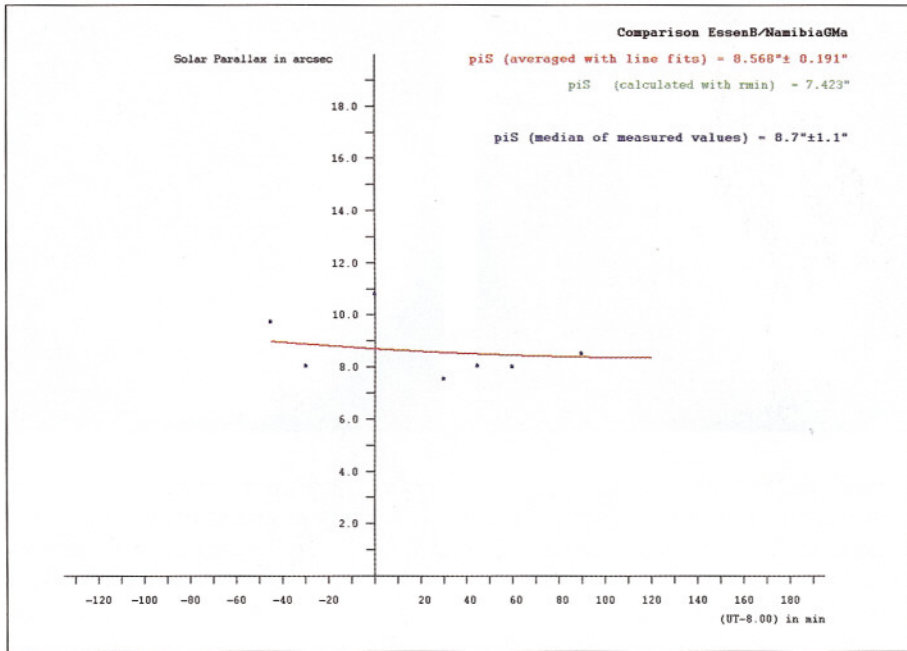
3. Mit Hilfe der Ausgleichsgeraden werden gemittelte Positionen für alle vollen Viertelstunden berechnet und daraus ein gemittelter Wert für π_s berechnet („piS (averaged with line fits)“).

Als sehr empfindliche Qualitätskontrolle konnten die eigenen Bilder ausgemessen und vorab mit theoretisch berechneten Positionen für den Erdmittelpunkt verglichen werden.

Werden auf diese Weise die Fotos aus Namibia und Essen verglichen (Bild 6), ergibt sich ein weniger guter Wert als beim Ausmessen des Einzelvergleichs in Bild 1. Diese Erfahrung veranlasste uns, mehrere Aufnahmeserien von verschiedenen Personen ausmessen zu lassen. Tatsächlich zeigte sich, dass das erzielbare Ergebnis sehr von der Sorgfalt beim Ausmessen abhängt: Die in Bild 7 dargestellten Ergebnisse beruhen auf denselben Fotos wie die in Bild 6!



6 Vergleich der in Essen und in Namibia (v. Grumbkow) aufgenommenen Venuspositionen

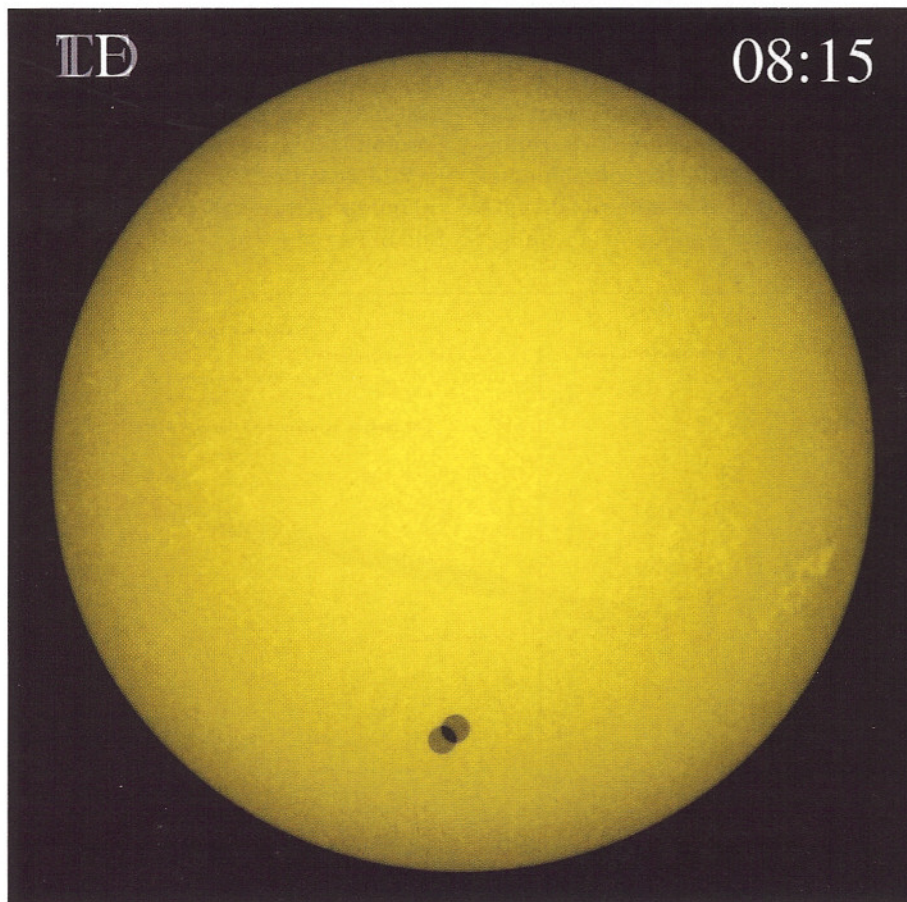


7 Das erneute Ausmessen derselben Fotos führt zu einem deutlich besseren Ergebnis als in Bild 6.

Daten und Ergebnisse

Auswertbare Positionstabellen oder Fotoserien trugen in Deutschland drei Gymnasien (Bad Sobernheim, Mendon und Pforzheim), die Sternwarte Recklinghausen, das Planetarium Os-

nabrück und die Universität Duisburg-Essen mit mehreren Beobachtern und mehreren Auswertern bei. Internationale Ergebnisse erhielten wir von der Deutschen Evangelischen Schule in Kairo, von drei Beobachtern an der Internationalen Amateursternwar-



8 Überlagerung zweier GONG-Aufnahmen aus Learmonth und Teneriffa

te (IAS) in Namibia und aus Isfahan, Iran (je eine Beobachtungsgruppe der Technischen Universität und des Hedayatgaran Research Centers). Weiterhin erhielten wir Ergebnisse von Einzelpersonen in Ulm (Kollege Prof. Rolf Möller auf Dienstreise), in England (Ashtead und Leatherhead), Spanien (Barcelona) und Portugal (Valverde). Da Beobachtungsgruppen in Sri Lanka, auf La Réunion und in Südamerika Pech mit dem Wetter hatten und deshalb nur schlecht oder gar nicht auswertbare Fotos liefern konnten, bemühten wir uns zusätzlich um die Fotos der Sonnenobservatorien der Global Oscillation Network Group (GONG) in Learmonth (Australien), Udaipur (Indien) und auf dem Teide (Teneriffa, Spanien). Tatsächlich stellte GONG auf unsere Anregung ihre kompletten Fotos im Internet zur Verfügung. Mit den in Minutenabstand aufgenommenen und perfekt ausgerichteten (aber eben nicht selbst gemachten!) Fotos ist es besonders einfach, die Venusparallaxe sichtbar zu machen (Bild 8).

Die Ergebnisse werden ausführlich im Internet dargestellt [1]. Hier sollen deshalb wenige „Highlights“ genügen. Die selbst entwickelte Beobachtungs- und Auswertungsmethode hat sich bestens bewährt: Die grafische Darstellung der gemessenen und umgerechneten Venuspositionen (wie in Bild 4) und ihr Vergleich mit den theoretischen Daten für den Erdmittelpunkt (wie in Bild 6) ermöglichten vorab die Einschätzung der gewonnenen Daten und die Kontrolle der Ausmessung.

Die vereinfachte Ableitung der Sonnenparallaxe aus den Minimalabständen zwischen Venus- und Sonnenmittelpunkt führt tatsächlich in einigen Fällen zu ganz befriedigenden Werten für die Sonnenparallaxe.

Die Methode des line fits ermöglicht den Vergleich nur weniger und nicht gleichzeitig gewonnener Fotos. Im Falle ausreichend vieler gleichzeitiger Vergleichspositionen führt sie meist zu besseren Ergebnissen als diese.

Bei sorgfältig durchgeführten Aufnahmeserien führen der Vergleich der Einzelmessungen und die anschließende Mittelwertbildung in der Regel zu guten Resultaten für die Sonnenparallaxe. Der Vergleich der besten Fotoserien führt zu fast perfekter Übereinstimmung mit dem anerkannten Wert der Sonnenparallaxe von $\pi_S = 8,79''$.

Schlussbemerkungen

Der Nachvollzug der historischen Beobachtungen und der Versuch, eigene Messdaten zu gewinnen, erwiesen sich als schwieriger, als wir erwartet hatten: Die Ansprüche an die Genauigkeit beim Fotografieren hatten wir unterschätzt, mancher Versuch, die eigene Position oder, in Kooperation mit weit entfernten Partnern, den Erdradius mit Hilfe von Messungen mit einem Schattenstab zu bestimmen, scheiterte zunächst an ungenügenden Absprachen oder zu ungenauen Messungen. Die vielen Pannen bei der Beobachtung des Merkurtransits, die dazu geführt hatten, dass wir nur sehr wenig vergleichbare Daten erhielten, waren typisch für eine „Generalprobe“. Sie trugen aber schließlich wesentlich zum Erfolg des Venusprojektes bei, weil die gewonnenen Erfahrungen weitergegeben werden konnten. Es war gerade Ziel unseres Projektes, solche Probleme kennenzulernen und mit ihnen fertig zu werden. Tatsächliche Messungen sind nun einmal viel komplexer als die in Lehr- und Schulbüchern dargestellten Prinzipien. Aber gerade bei der Auseinandersetzung mit dieser Komplexität erfährt und lernt man, was es heißt, Wissenschaft zu betrei-

ben. Nicht zu ersetzen sind die Erfahrungen, die alle Teilnehmer bei der internationalen Kommunikation und Kooperation sammeln konnten, insbesondere aber das emotionale Erlebnis, maßgeblich an einem weltumspannenden Projekt beteiligt zu sein.

Die Auswertung ist leider immer noch nicht abgeschlossen. Auch die didaktische Aufbereitung des Materials, mit dem es möglich sein wird, die Probleme und die Auswertungen nachzuvollziehen, wird uns noch einige Zeit beschäftigen. Zwei Praktikumsaufgaben, die von Bildern ausgehen, die in diesem Projekt gewonnen wurden, sind bereits verfügbar [1].

Trotzdem ist es jetzt schon Zeit, allen aktiven Teilnehmern zu danken – insbesondere der Gruppe des Städtischen Gymnasiums in Fürstenwalde, ohne deren Internetforum und ohne deren Übersetzungen ins Deutsche und Russische der Teilnehmerkreis kleiner und der Informationsaustausch viel schwieriger gewesen wäre. Weiterer Dank gebührt allen, die viel Zeit in das gründliche Ausmessen der Bilder investiert haben, insbesondere *Jürgen Möllmanns*, *Christoph Ehlers* und unserer Praktikantin *Maria*. Ohne sie wären wir nicht zu so befriedigenden Resultaten gelangt.

Literatur:

- [1] Homepage des Internet Projektes „Observing, Photographing and Evaluating the Transit of Venus, June 8th, 2004“: <http://www.didaktik.physik.uni-due.de/~backhaus/VenusProject.htm>. Die Auswertungsprogramme, eine Anleitung und zwei Praktikumsaufgaben liegen in demselben Verzeichnis (.../~backhaus/Venusproject/stuff/):
- [2] Backhaus, U.: Simultaneously Observing and Photographing the Moon. In: V. Nordmeyer (Hrsg.): Beiträge der Frühjahrstagung der DPG, Bremen 2001, siehe auch <http://www.didaktik.physik.uni-due.de/~backhaus/moonproject.htm>
- [3] Backhaus, U.: Der Venustransit 2004 – Eine einmalige Chance zur Vernetzung von Wissen, Verfahren und Menschen. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 57/4, 217 (2004)
- [4] Backhaus, U.: Der Venustransit 2004 – Beobachtung und Messung der Sonnenparallaxe (vorläufige Version), <http://www.didaktik.physik.uni-due.de/~backhaus/VenusProject/Transit.pdf>
- [5] Backhaus, U.: Der Venustransit 2004 – Forschendes Lernen in einer internationalen Kooperation. In: Computer + Unterricht 57, 34 (2005)
- [6] Backhaus, U., Ohlert, J., Schiffmann, J.: Der Venustransit 2004 – Messung der Astronomischen Einheit. Vorträge auf der Frühjahrstagung der DPG in Berlin 2005
- [7] The Venus Transit 2004, Homepage des Transitprojektes der ESO, <http://www.vt-2004.org>
- [8] School Project Venus Transit, Homepage des Transitprojektes der WDR-Wissenschaftssendung „Quarks & Co.“, <http://www.quarks.de/dyn/17113.phtml>

Prof. Dr. Udo Backhaus
Universität Duisburg-Essen
Didaktik der Physik
Universitätsstraße 2
45117 Essen

Nachrichten aus Astronomie und Raumfahrt

UKW-Strahlung macht Dunkle Materie sichtbar

Das Licht von weit entfernten Quellen wird auf dem Weg zu uns durch die Schwerkraft von näher gelegenen Objekten abgelenkt. Diese gravitative Lichtablenkung verzerrt die Bilder von diesen Quellen wie eine entfernte Landschaft, die man durch eine krumme Fensterscheibe oder auf einer gekräuselten Teichoberfläche sieht. Aus der Verzerrung lässt sich die sichtbare und unsichtbare Masse im Vordergrund errechnen. Bislang arbeiteten Forscher nur mit der Verzerrung von Licht aus fernen Galaxien. Wissenschaftler vom Max-Planck-Institut für Astrophysik in Garching haben nun aber ermittelt, dass die gravitative Verzerrung von Radiobildern prägalaktischen Gases viel detailliertere Karten der kosmischen Materieverteilung liefern würde. Die bislang nur verschwommenen, nahezu unbrauchbaren Aufnahmen der optischen Teleskope könnten

Radioteleskope bis zu 20-fach höher auflösen.

Die entsprechenden Radiowellen stammen aus der ersten halben Milliarde Jahre nach dem Urknall, bevor sich die ersten Galaxien bildeten. In diesem Zeitraum bestand die normale Materie aus einem fast gleichmäßig verteilten Gasgemisch von Wasserstoff und Helium mit geringen Dichteschwankungen. Diese schwachen Strukturen beeinflussen jedoch die kosmische Hintergrundstrahlung bei einer für Wasserstoff charakteristischen Wellenlänge von 21 Zentimetern. Da sich das Universum ausdehnt, ist diese Wellenlänge jetzt auf 2 bis 20 Meter angewachsen, was dem UKW-Bereich entspricht.

Je nach Entfernung der Radioquelle ändert sich die Wellenlänge. Ein Radioteleskop kann deshalb diese Strukturen voneinander unterscheiden – bis zu tausend in jeder Richtung. So erhält man viele sehr weit entfernte Strahlungsquellen: die ideale Voraussetzung, um aus der gravitativen Verzerrung die

Masse der davor liegenden Objekte genau zu errechnen. Anders als bisher könnten Forscher mithilfe der Radiowellen auch weit entfernte Strukturen erfassen, die hinter den Galaxien liegen, deren optische Bildverzerrung messbar ist. Außerdem könnte man so ein Bild des frühen Universums erstellen, als es noch keine Galaxien gab.

„Entsprechende Untersuchungen mit sehr großen Radioteleskopen würden eine neue Ära in der Hochpräzisions-Kosmologie einleiten und uns genauer verstehen lassen, wie Galaxien entstehen“, sagt *Simon White* vom MPI für Astrophysik. Sehr hoch aufgelöste Bilder erfordern allerdings gigantische Radioteleskope, etwa ein dicht mit Radioantennen bestücktes Gebiet von etwa 100 Kilometer Durchmesser, das im Idealfall auf der Rückseite des Mondes liegt, wo die Antennen ohne die störenden Einflüsse der Erdatmosphäre arbeiten könnten.

„Um mit Radiowellen neue Ergebnisse zu erzielen, müssen wir aber nicht auf so ein Riesenteleskop war-

ten“, sagt *Simon White*. Neben der Dunklen Materie gibt es noch ein weiteres finsternes Rätsel im Weltall: die mysteriöse Dunkle Energie, welche die Ausdehnung des Universums beschleunigt. Die Wissenschaftler haben gezeigt, dass sich selbst mit einer ungenaueren Massenkarte von kleineren Radioteleskopen die Eigenschaften dieser Dunklen Energie genauer bestimmen lassen als mit allen bisherigen geplanten Methoden.

Die Ergebnisse steigern jedenfalls die Erwartungen an Radioteleskope, die sich derzeit im Bau oder in Planung befinden. Eines der am weitesten gediehenen Projekte ist das Low Frequency Array (LOFAR) in den Niederlanden, das aus Tausenden über ein Netzwerk verbundenen kleinen Radioantennen bestehen soll. Das Max-Planck-Institut für Astrophysik will, zusammen mit anderen deutschen Instituten, beim LOFAR Projekt eine wichtige Rolle übernehmen.

*Max-Planck-Gesellschaft
Presseinformation*