

Die Merkurtransits 2016 und 2019 und die Astronomische Einheit

von Udo Backhaus

Die Beobachtung des Merkurtransits im Jahr 2016, die Messung des Parallaxeneffektes des Merkur und die Ableitung der Entfernung zwischen Erde und Merkur waren Ziele eines Projektes, das Amateurastronomen und Profis, aber auch Lehrer mit ihren Schülern per Internet miteinander verband. Es beteiligten sich Partner aus allen Erdteilen, von denen aus der Transit zu sehen war. Im November 2019, beim letzten Merkurtransit bis 2032, soll das Projekt noch einmal wiederholt werden.

Einleitung

Am 9. Mai 2016 durchlief Merkur, während er die Erde bei seinem Umlauf um die Sonne überholte, gerade den absteigenden Knoten seiner Bahn. Dabei lief er so genau zwischen Sonne und Erde hindurch, dass er von der Erde aus vor der Sonne beobachtet werden konnte (**Bild 1, 3. Umschlagseite**). Dieser sogenannte Merkurtransit fand für Europa nachmit-

tags und abends statt (13:10–20:45 Uhr MESZ) und konnte deshalb fast optimal beobachtet werden. Das Ende des Transits allerdings ließ sich vom amerikanischen Kontinent aus besser verfolgen.

Der Transit bot eine Gelegenheit, die Beobachtungen an den Venustransits 2004 und 2012 (<http://www.venus2012.de>, [5]) zu wiederholen und erneut zu versuchen, durch Vergleich der Messungen über die Erde verteilter Beob-

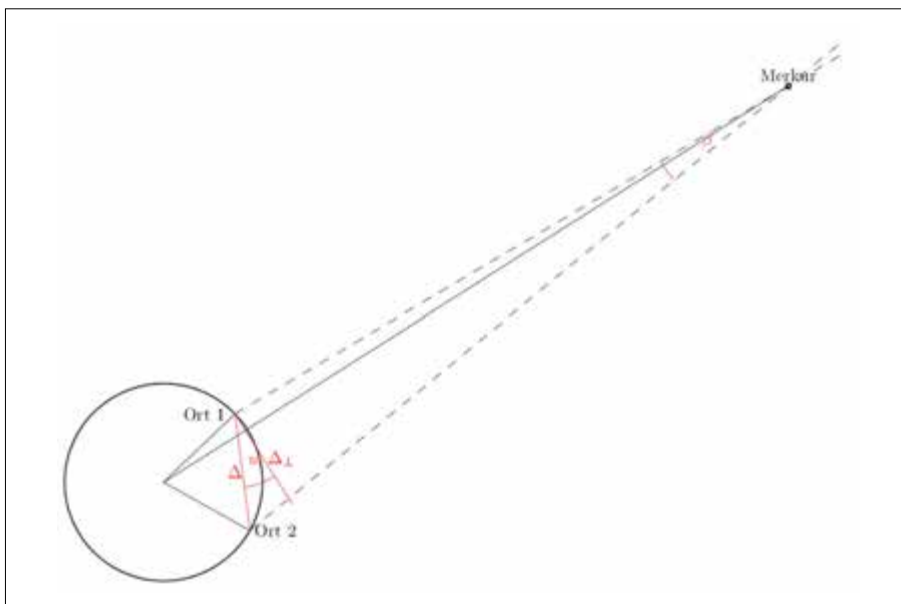
achter eigene Messwerte für Merkurs Abstand von der Sonne zu erhalten – und damit für den Abstand zwischen Erde und Sonne, die sogenannte **Astronomische Einheit**. Allerdings war damit zu rechnen, dass befriedigende Ergebnisse deutlich schwieriger zu erzielen sein würden als bei den Venustransits. Würde der im Vergleich zur Venus viel kleinere Parallaxeneffekt an Merkur sichtbar gemacht werden können? Würde es gelingen, den Effekt präzise genug zu messen? Dazu mussten genaue Prozeduren für die Aufnahmen formuliert und von den Teilnehmern auch befolgt werden.

An dem von der Universität Duisburg-Essen aus organisierten Projekt (<http://www.venus2012.de/transit-of-mercury2016>) beteiligten sich Partner von Indien bis Nord- und Südamerika.

Venustransits und die Astronomische Einheit

Der Abstand zwischen Erde und Sonne ist der Maßstab für die Bestimmung der Größe unseres Sonnensystems. Er bildet außerdem die Basis für die Messung der physikalischen Eigenschaften der Sonne wie Größe und Masse und für die geometrische Entfernungsmessung an nahen Fixsternen. Seit dem 17. Jahrhundert wurden deshalb große Anstrengungen unternommen, zu einem möglichst genauen Zahlenwert zu gelangen. Weltweite Beobachtungen an den Venustransits des 18. und 19. Jahrhunderts ([6], [8]) führten für über hundert Jahre zu den besten Messwerten für die Astronomische Einheit.

Inzwischen gibt es zwar wesentlich genauere Messmethoden. Trotzdem sind die Organisation und Durchfüh-

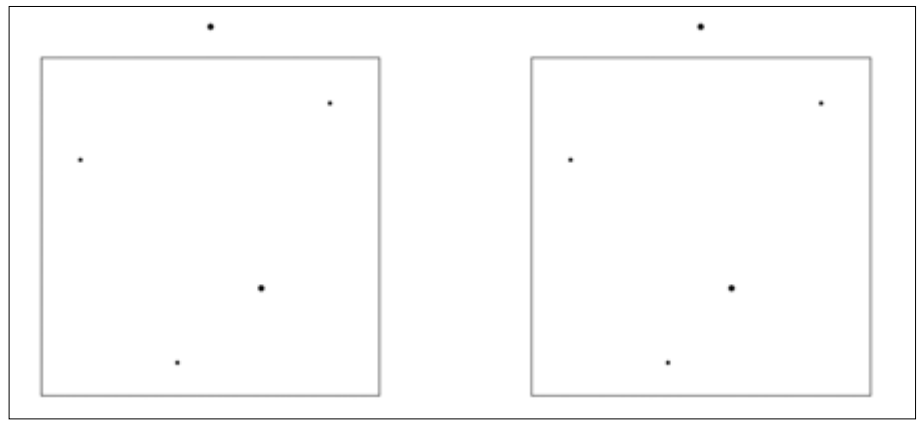


2 Dasselbe Objekt wird von verschiedenen Orten aus in unterschiedlichen Richtungen gesehen. Sie unterscheiden sich um den Winkel β , den sogenannten Parallaxenwinkel, der durch den linearen Abstand Δ (genauer: durch seine projizierte Länge Δ_{\perp}) zwischen den Beobachtungsorten entsteht.

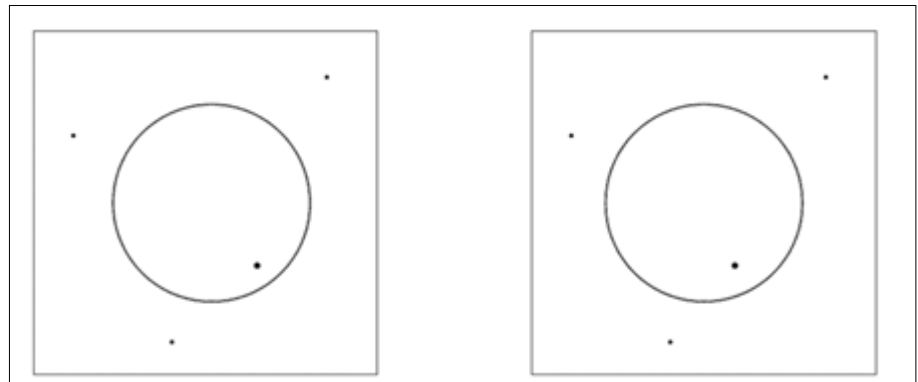
rung der Reisen und Messungen und die Auswertung der Messergebnisse hart am Rande des menschlich, ökonomisch, politisch, technisch und wissenschaftlich Möglichen, nicht nur wissenschaftshistorisch von großem Interesse, sondern auch für die Didaktik der Astronomie und Physik. Für den Nachvollzug der Messungen sind Reisen durch die Möglichkeiten der modernen Kommunikation überflüssig geworden, und die Messungen selbst und ihre Auswertung sind heute durch moderne Verfahren wie Digitalfotografie und Computeralgorithmen sehr viel einfacher und genauer als im 18. und 19. Jahrhundert.

Aus Anlass der Venustransits der Jahre 2004 und 2012 wurden deshalb weltweite Projekte (z.B. [5]) mit dem Ziel durchgeführt, die historischen Messungen mit modernen Methoden zu wiederholen. Sie führten nicht nur zu recht befriedigenden Ergebnissen für die Astronomische Einheit. Wichtiger noch waren die Erkenntnisse, die die Teilnehmer dabei über die historischen Mess- und Auswertungsmethoden und ihre Probleme gewinnen konnten, die Erfahrungen, die sie mit modernen Verfahren sammeln konnten, und die Faszination, die sie bei der internationalen Kooperation erfahren haben.

Leider sind Venustransits so selten, dass kein jetzt lebender Mensch noch einen mit eigenen Augen wird beobachten können. Transits des Planeten Merkur treten häufiger auf, die nächsten in den Jahren 2019 und 2032. Sie können im Prinzip in gleicher Weise beobachtet und ausgewertet werden



3 Die parallaktische Verschiebung eines Planeten relativ zu den Fixsternen. Durch stereoskopisches Sehen nimmt man den Planeten *vor* den Fixsternen wahr. Bei dem Bildpaar handelt es sich um ein Stereobild. Der räumliche Effekt stellt sich ein, wenn man die beiden Bilder mit auf unendlich eingestellten Augen betrachtet: Die Augenstellung ist richtig, wenn man zwischen den beiden Punkten über den Bildern nur noch einen zusätzlichen Punkt sieht.

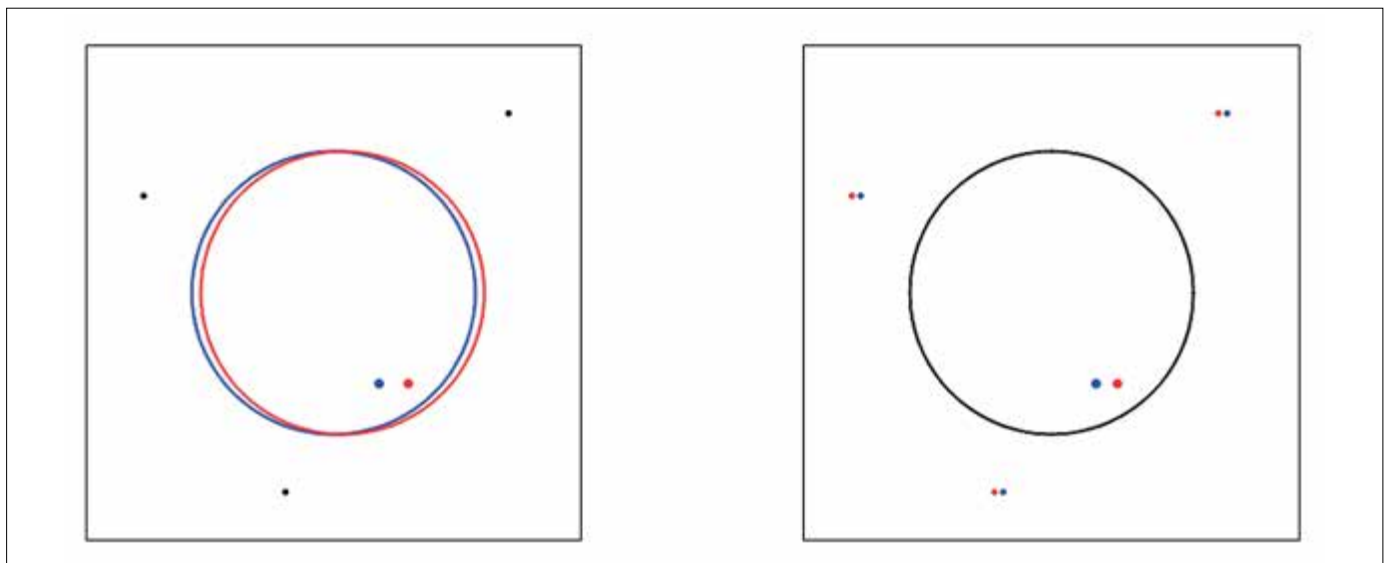


4 Die parallaktische Verschiebung von Planet und Sonne relativ zu den (eigentlich unsichtbaren) Fixsternen. Bei einem Venustransit beträgt die Sonnenparallaxe etwa 30%, bei einem Merkurtransit sogar bis zu 60% der Planetenparallaxe.

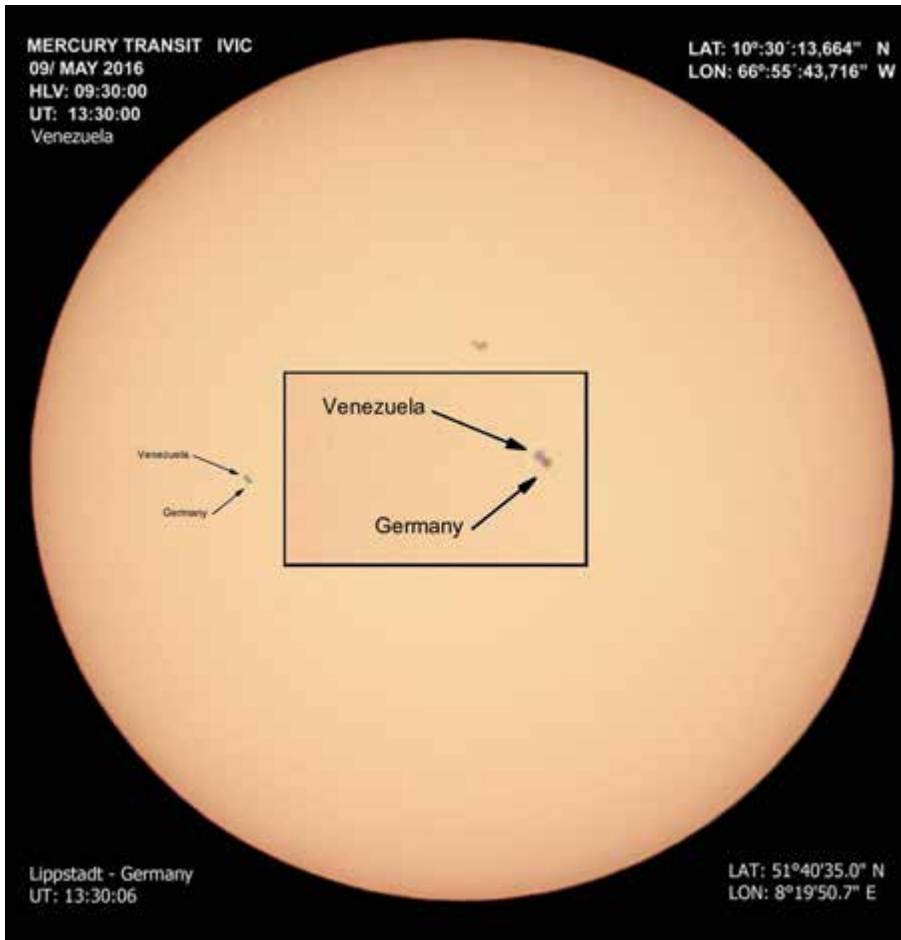
wie Venustransits. Allerdings sind sie schwieriger zu beobachten, weil Merkur viel kleiner als Venus ist und während eines Transits fast doppelt so weit von der Erde entfernt ist wie Venus bei ihren Transits. Deshalb ist der auftretende Parallaxeneffekt deutlich kleiner und erfordert zu seiner Messung noch größere Sorgfalt.

Parallaxenmessung bei Planetentransits

Die Bestimmung der Entfernung eines Objektes durch Messung seiner geometrischen Parallaxe beruht auf dem Umstand, dass man das Objekt von verschiedenen Orten aus in etwas unterschiedlicher Richtung sieht (**Bild 2**).



5 Die Überlagerung der beiden Teilbilder des Bildes 4 zeigt links die parallaktischen Verschiebungen von Planet *und* Sonne. Die Überlagerung der beiden Bilder der Sonne (rechts) führt zu einer *kleineren* Verschiebung des Planeten, aber zusätzlich zu einer Verschiebung der Fixsterne.

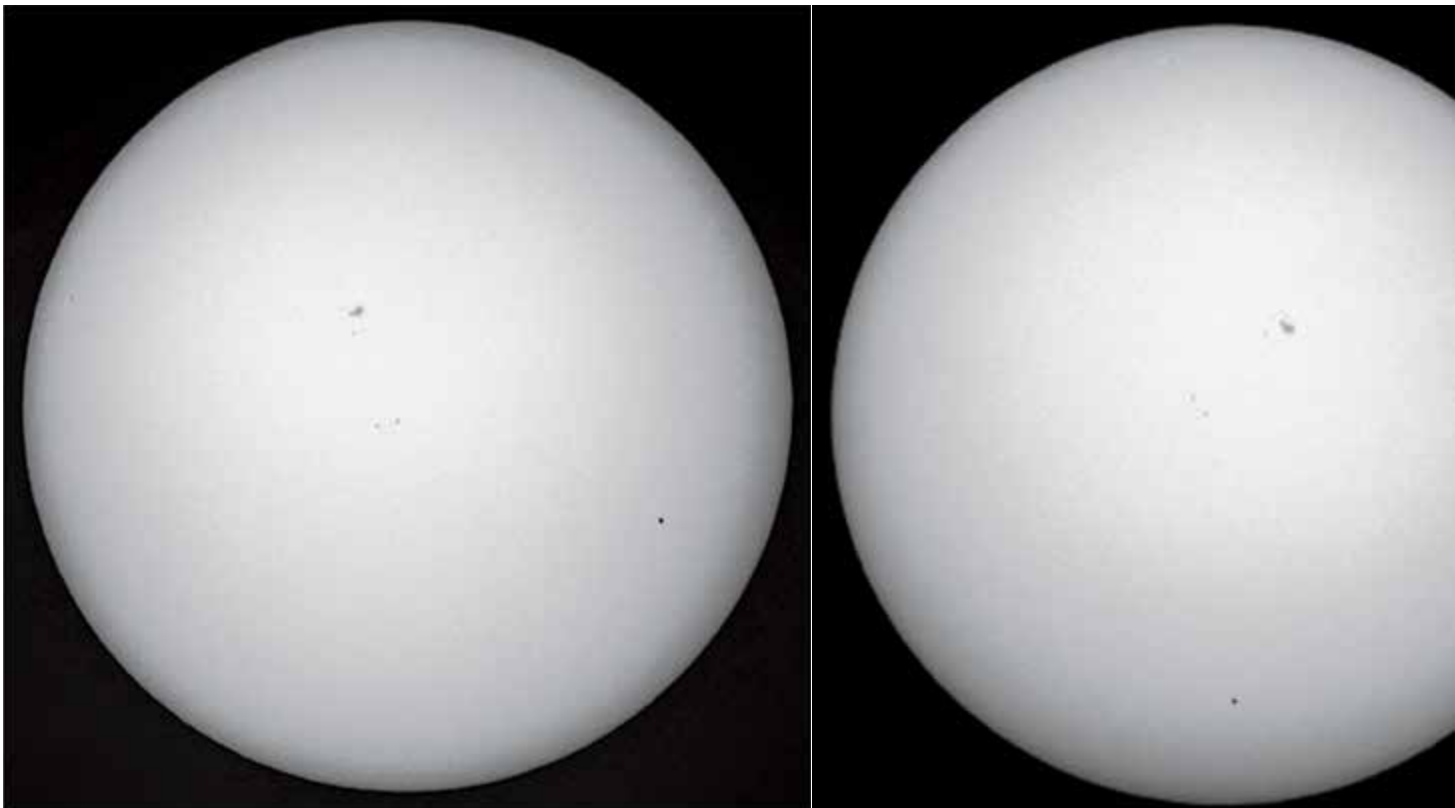


6 Überlagerung der Bilder, die um 13:30 UT in Caracas (*Enrique Torres*) und Lippstadt (*Ronald Schüneck*) aufgenommen wurden.

Dieser Effekt ist umso kleiner, je größer die Entfernung des Objektes ist, und umso größer, je weiter die beiden Beobachtungsorte voneinander entfernt sind. Bei astronomischen Objekten, wie den Planeten unseres Sonnensystems, wird die parallaktische Verschiebung *relativ zum Hintergrund der viel weiter entfernten Fixsterne* gemessen (**Bild 3**).

Die Parallaxe der Sonne kann nicht auf diese Weise gemessen werden, weil die Sonne so hell ist, dass sie die Sterne in ihrer Umgebung überstrahlt. Außerdem ist ihre Entfernung so groß, dass der Effekt fast unmessbar klein ist. Bei einem Transit misst man stattdessen die Entfernung eines Planeten vor der Sonne. Er ist der Erde zum Zeitpunkt des Transits viel näher als die Sonne. Dabei tritt allerdings ein Problem auf, das in der Literatur oft übersehen wird: Die parallaktische Verschiebung des Planeten wird *relativ zur Sonne* gemessen. Die Sonne aber zeigt selbst einen Parallaxeneffekt (**Bild 4 und 5**)! Berücksichtigt man diesen Effekt nicht, misst man den Parallaxenwinkel des Planeten zu klein, überschätzt also seine Entfernung von der Erde – und damit den Abstand der Sonne von der Erde.

Wie ist es möglich, unter diesen Umständen die Parallaxe der Sonne aus der



7 Übereinanderlegen zweier Fotos aus Kalifornien (*Glenn Schneider*, links) und Deutschland (*Udo Backhaus*, Mitte) durch Skalieren und Verschieben (rechts).

Verschiebung von Merkur relativ zur Sonne zu bestimmen?

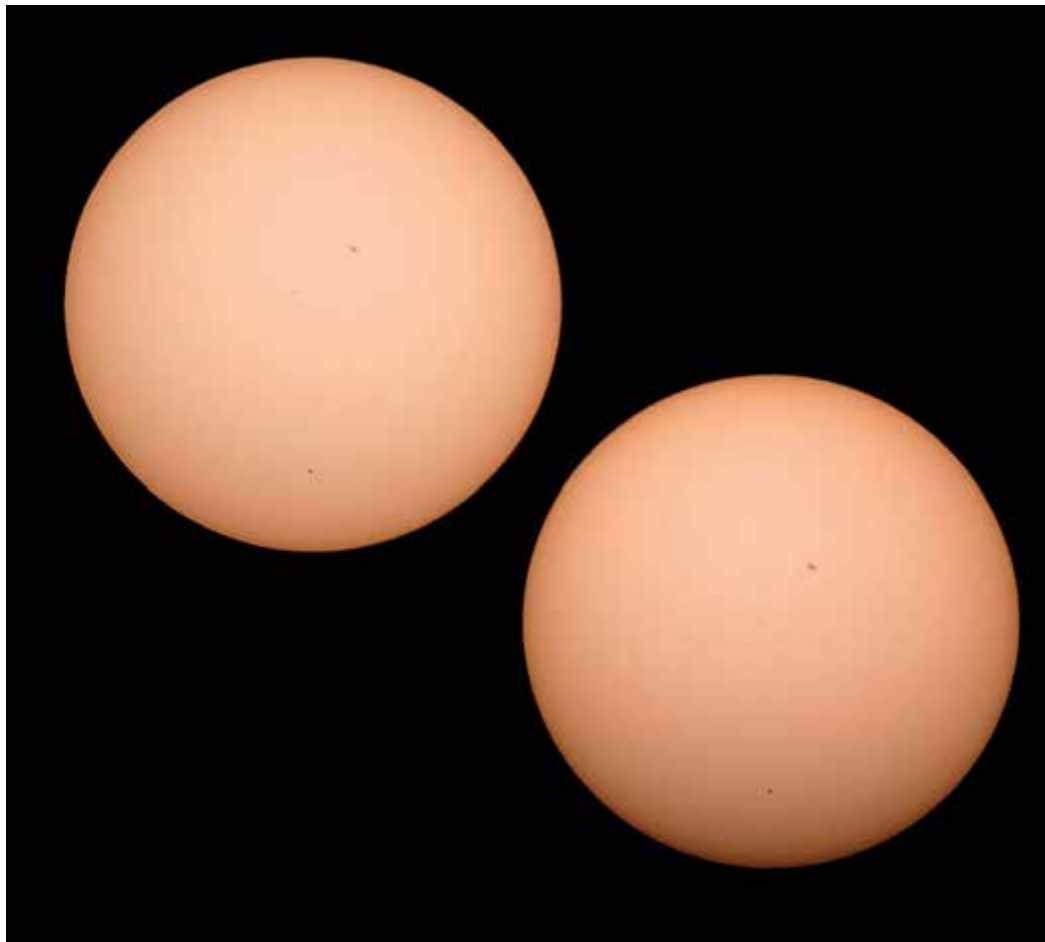
Ableitung der Sonnenparallaxe

Der auf der Überlagerung gleichzeitig aufgenommener Fotos (**Bild 6**) gemessene Winkelabstand zwischen den beiden Merkurscheibchen ist nicht die parallaktische Verschiebung Merkurs gegen den Fixsternhimmel, weil die Sonne selbst Parallaxe zeigt. Diese wurde jedoch durch das Übereinanderlegen der beiden Sonnenbilder eliminiert. Die Parallaxe der Sonne lässt sich aber berücksichtigen, da sich Merkur und Sonne durch den Wechsel zwischen den Beobachtungsorten *in dieselbe Richtung* verschieben. Merkurs relativ zur Sonnenscheibe gemessene Verschiebung $\Delta\beta$ ist deshalb um die Verschiebung der Sonne kleiner als die *relativ zum Hintergrund der Fixsterne* gemessene parallaktische Verschiebung des Merkur β_M :

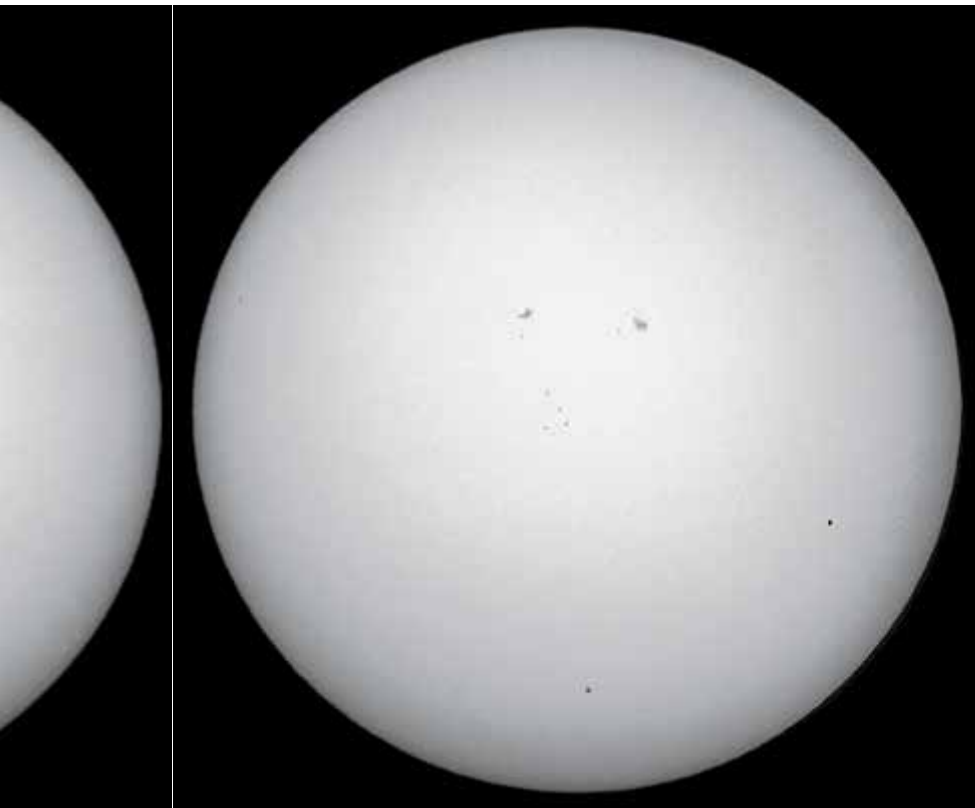
$$\beta_1 + \beta_M = \beta_2 + \beta_S \Rightarrow$$

$$\Delta\beta = \beta_2 - \beta_1 = \beta_M - \beta_S = \frac{r_E}{r_E - r_M} \beta_S - \beta_S \Rightarrow$$

$$\beta_S = \left(\frac{r_E}{r_M} - 1 \right) \Delta\beta. \quad (1)$$



8 Zwei Fotos, im Abstand von 2min30s mit feststehender Kamera aufgenommen und nachträglich übereinandergelegt.

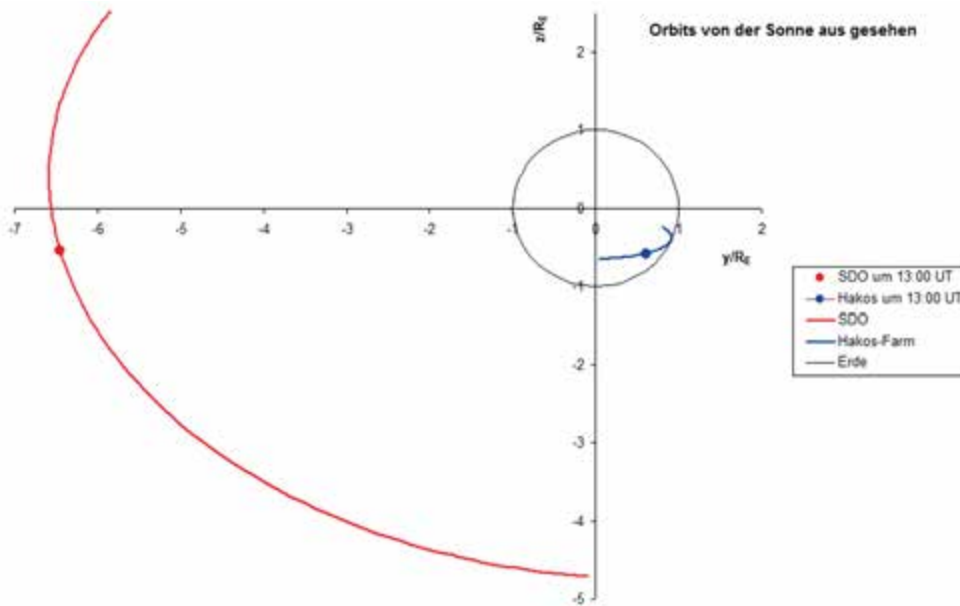


Dabei wurde verwendet, dass der Parallaxenwinkel β umgekehrt proportional zum Abstand des Objektes ist.

Aus dem auf der Sonnenscheibe messbaren Winkelabstand $\Delta\beta$ zwischen den Merkurscheibchen lässt sich also die parallaktische Verschiebung β_S der Sonne berechnen. Voraussetzung ist allerdings, dass man das Verhältnis der Sonnenabstände von Merkur und Erde $\frac{r_M}{r_E}$ zum Zeitpunkt des Transits kennt. Es lässt sich ohne Kenntnis der Astronomischen Einheit selbst bestimmen, z. B. indem man kurz vor oder nach dem Transit Merkurs maximalen Winkelabstand zur Sonne misst. Am Beispiel des Bahnradius der Venus wird das ausführlich in einem Papier zum Venustransit 2004 erläutert [2].

Um nun die Entfernung d_s der Sonne bestimmen zu können, braucht man noch die Basislänge der Parallaxenmessung, also den linearen Abstand Δ zwischen den Beobachtungsorten:

$$d_s = \frac{\Delta}{\tan \beta_s} \approx \frac{\Delta}{\beta_s} \quad (\beta_s \text{ im Bogenmaß}). \quad (2)$$



9 Oben: Gleichzeitige Fotos von der Erde (Hakos-Farm, Rainer Anton) und des SDO mit Hilfe der bekannten Orientierung der SDO-Bilder übereinander gelegt, unten: Die Bahn des SDO-Satelliten um die Erde. Die Positionen des Satelliten und der Hakos-Farm um 13:00 UT sind hervorgehoben.

Dabei wurde vereinfachend angenommen, dass die Verbindungslinie zwischen den Orten senkrecht auf der Richtung zur Sonne steht.

Es ist üblich, die mittlere Entfernung zwischen Erde und Sonne als **Solarparallaxe** π_s anzugeben. Das ist der Parallaxenwinkel der Sonne, der sich auf den Erdradius als Basis bezieht. Die genaue Formel dafür wurde in [3] abgeleitet:

$$\pi_s = \left[\frac{R_E}{\Delta} \frac{1}{\sin w} \left(\frac{r_E}{r_M} - 1 \right) \rho_s \right] f. \quad (3)$$

In dieser Gleichung ist ein Projektionswinkel $w \neq 90^\circ$ berücksichtigt. Außerdem trägt sie dem Umstand Rechnung, dass die parallaktische Verschiebung von Merkur in der Regel als Bruchteil f des Winkelradius ρ_s der Sonne bestimmt wird: $\Delta\beta = f\rho_s$.

Zur Ableitung der Entfernung zur Sonne durch Auswertung realer Transitfotos gibt es eine Praktikumsaufgabe im Internet [4]. Positionen von Venus oder Merkur vor der Sonne können auch durch Simulation mit einem Plane-

tariumsprogramm gewonnen und ausgewertet werden [7].

Das Projekt

Bei unserem Projekt zum Venustransit 2004 (<http://www.didaktik.physik.uni-due.de/~backhaus/Venusproject.htm>) gab es Teilprojekte, in denen alle Größen, die in Gleichung (3) eingehen, selbst bestimmt werden konnten. Beim Merkurprojekt 2016 konzentrierten wir uns allein auf die Messung von Merkurs parallaktischer Verschiebung auf zeitgleich aufgenommenen Transitfotos.

Bei gut belichteten und fokussierten Fotos von verschiedenen Orten der Erde aus ist es kein Problem, sie nachträglich so zu skalieren und zu verschieben, dass die beiden Abbildungen der Sonne exakt übereinanderliegen (**Bild 7**). Dabei wird jedoch deutlich, dass die Bilder unterschiedliche Orientierung haben. Merkurs Verschiebung kann aber nur gemessen werden, wenn die Sonne auf den kombinierten Bildern exakt dieselbe Orientierung hat.

Zur Lösung dieses Problems hatten wir vorgeschlagen, die Sonne *mit festgehaltener Kamera* kurz nacheinander zweimal zu fotografieren und die beiden Bilder anschließend zu überlagern (**Bild 8**). Die gegenseitige Verschiebung der beiden Sonnenbilder zeigt dann die tägliche Bewegung der Sonne aufgrund der Erddrehung – und damit die Ost-West-Richtung. Sie kann exakt gemessen und das Bild dann eingenordet werden.

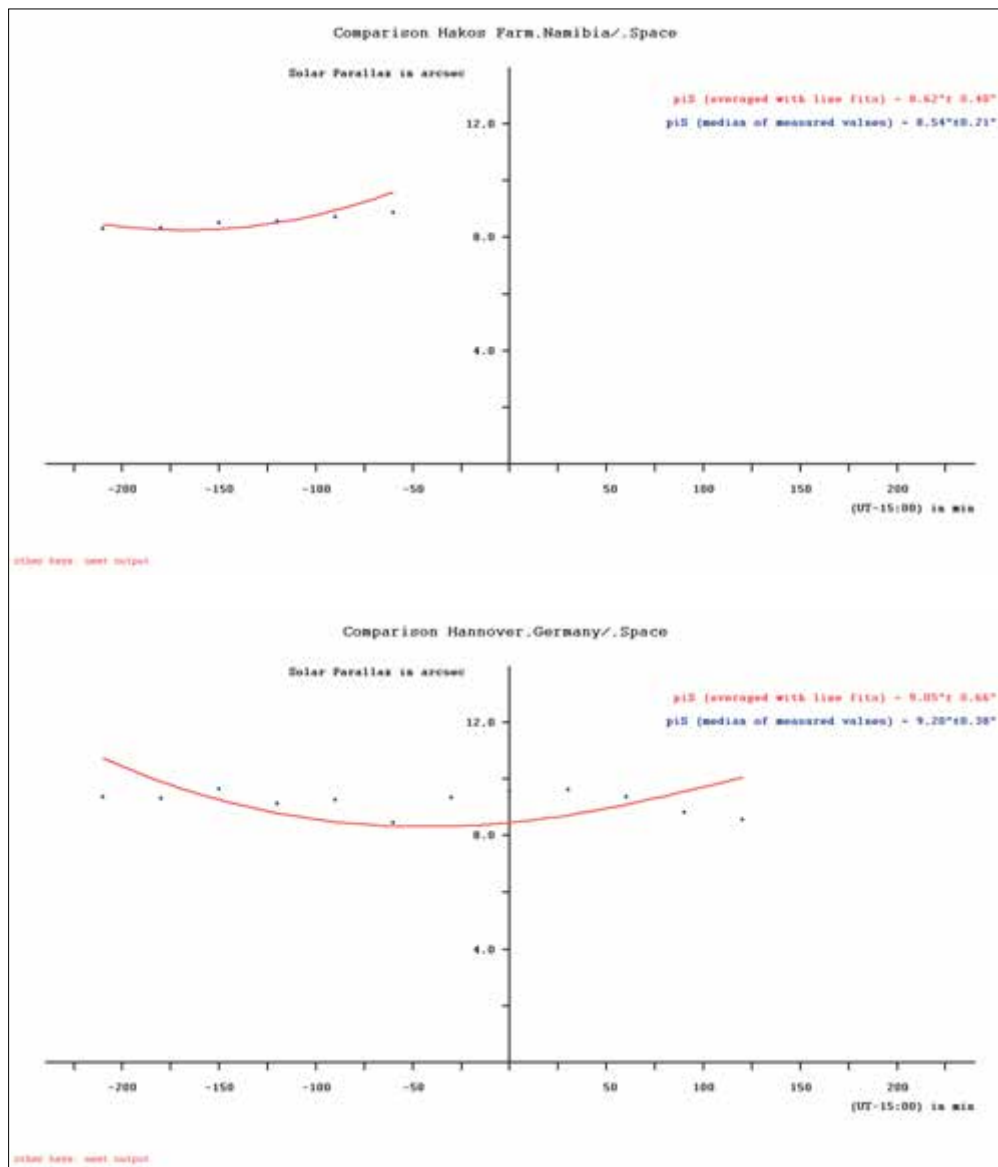
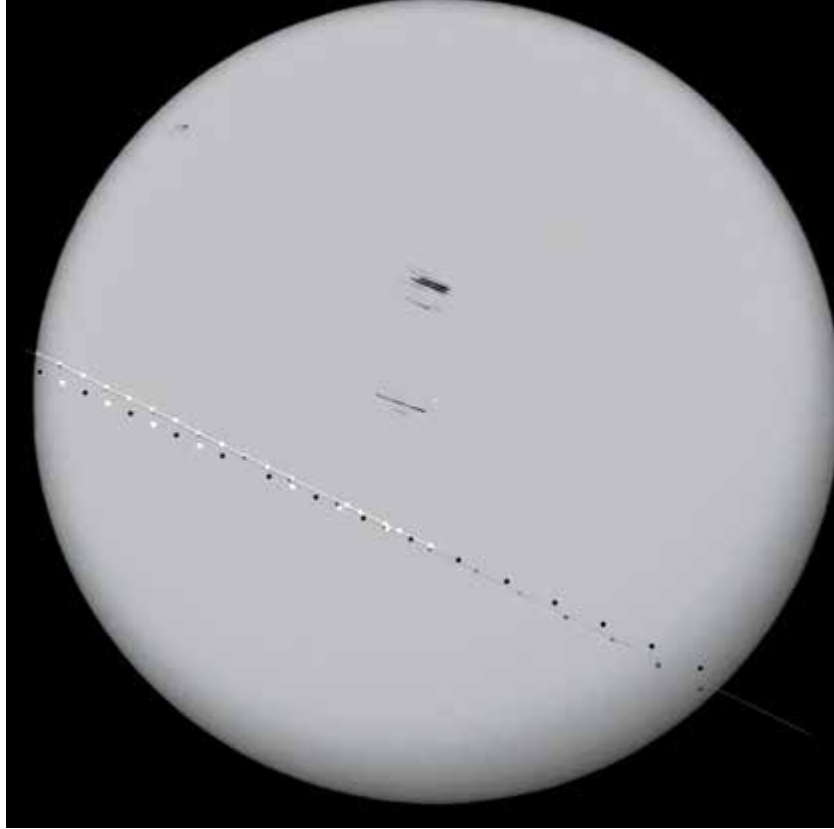
Leider hielten sich die meisten Teilnehmer nicht an den Vorschlag und schickten Einzelfotos. Das Projekt schien deshalb zunächst gescheitert. Zum Glück eröffneten sich aber zwei Lösungsmöglichkeiten:

1. Das Solar Dynamics Observatory (<https://sdo.gsfc.nasa.gov/>) (SDO) der NASA hatte den ganzen Transit in kurzen Zeitabständen von einem die Erde umkreisenden Satelliten aus fotografiert. Da bei diesen Bildern die Rotationsachse der Sonne senkrecht nach oben zeigt, konnten sie mit den Projektfotos kombiniert werden, deren Orientierung bekannt war (**Bild 9**). Um aus solchen Kombinationen die Astronomische Einheit ableiten zu kön-

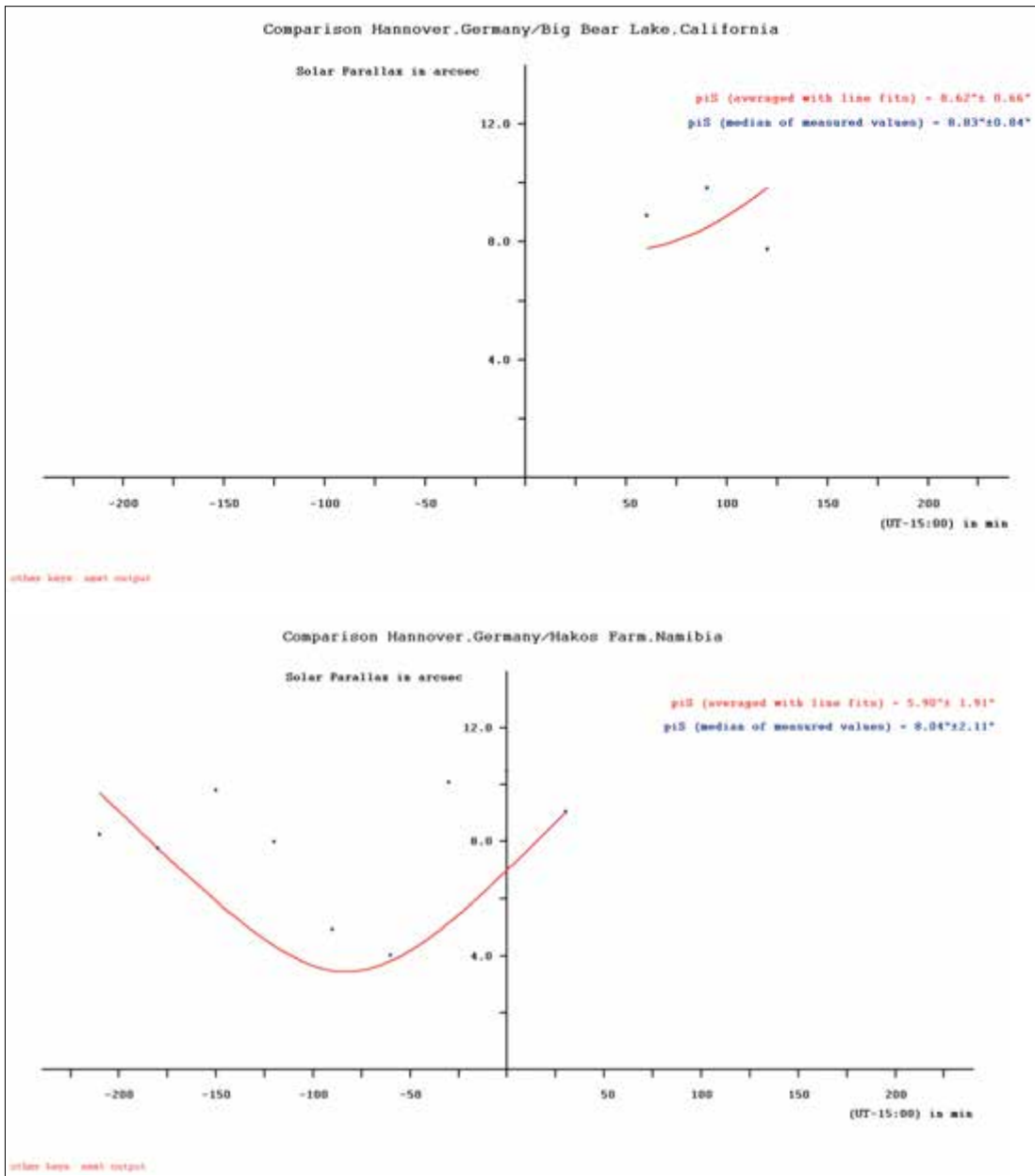
nen, erfragten wir bei der NASA die genauen Bahndaten des Satelliten, damit wir den jeweiligen Ort bestimmen und daraus die zugehörige Basis der Parallaxenmessung bestimmen konnten.

- Die Sonne zeigte am Tag des Transits eine auffällige Fleckengruppe mit scharf begrenzten einzelnen Flecken. Deshalb konnten alle Sonnenfotos so gedreht werden, dass die Sonnenflecken zur Deckung kamen. Da jedoch die Flecken auf den Amateurfotos meist nicht optimal abgebildet waren, insbesondere aber, weil die Fleckengruppe viel näher am Mittelpunkt der Sonnenscheibe lag als die „zweite Sonne“ bei den Doppelbelichtungen, war die Unsicherheit bei der Bestimmung der entsprechenden Drehwinkel recht groß.

10 Kombination der Bildserien aus Hannover (Udo Backhaus) und von der Hakos-Farm (Rainer Anton) mit denen des SDO.



11 Vergleich von Bildserien Erde - SDO: oben: Hakos - SDO ($\text{piS} = 8.6'' \pm 0.4''$), unten: Hannover - SDO ($\text{piS} = 9.2'' \pm 0.4''$).



12 Vergleich von Bildserien Erde – Erde: oben: Hannover – Big Bear Lake, Kalifornien ($\pi_S = 8.6'' \pm 0.7''$), unten: Hannover - Hakos Farm, Namibia ($\pi_S = 8.0'' \pm 2.1''$).

Die Teilnehmer konnten ihre Fotos auf die Projektseite hochladen. Dadurch hatte jeder die Chance, für die eigenen Bilder gleichzeitig aufgenommene Fotos weit entfernter Beobachter zu finden, um aus der Kombination „eigene“ Werte für die Astronomische Einheit ableiten zu können. Entsprechende Algorithmen wurden in Form kleiner Programme und Excel-Tabellen zur Verfügung gestellt.

Ergebnisse und Fazit

Der sich beim Vergleich unserer erdgebundenen Aufnahmen mit denen des SDO zeigende Parallaxeneffekt schien uns zunächst viel zu groß. Erst als wir erfuhren, dass der Satellit die Erde auf

einer *geosynchronen* Bahn umkreist, wurde uns klar, dass die Basis dieser Messung mehr als sechsmal so groß ist wie bei erdgebundenen Aufnahmen. Genaue Auswertungen gelangen dann erst mit den Bahndaten des Satelliten. Sie führten zu insgesamt recht befriedigenden Ergebnissen. Die Auswertung der Überlagerung Hakos – SDO in Bild 9 führt z. B. auf eine Solarparallaxe von $\pi_S = 8.77''$ (korrekter Wert: $\pi_S = 8.794''$), entsprechend einer Astronomischen Einheit von

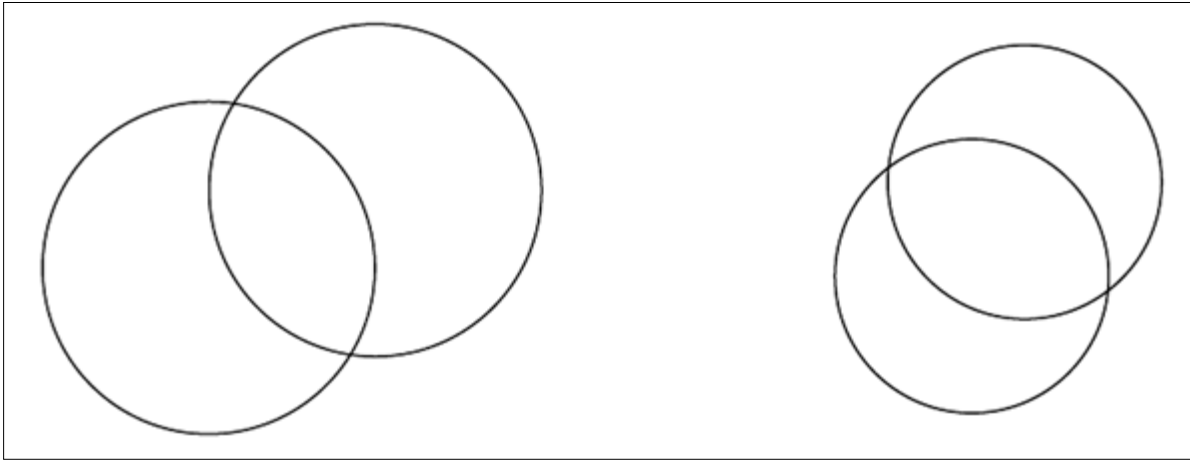
$$1AE = 23519 R_E = 150010000km.$$

Vergleiche zwischen unseren von der Erde aus aufgenommenen Transitfotos sind deutlich kritischer, weil eine hinreichend genaue Ausrichtung der Bil-

der mit Hilfe der Sonnenflecken nur bei perfekten Fotos möglich war. Die in Bild 6 gezeigte Kombination von Fotos aus Caracas und Lippstadt ergibt z. B. eine Solarparallaxe von $\pi_S = 10.5''$.

Um exakt gleichzeitig aufgenommene Transitfotos zu erhalten, waren vor dem Transit feste Aufnahmezeitpunkte in regelmäßigen Abständen festgelegt worden. Diese wurden jedoch von vielen Teilnehmern nicht bzw. nicht mit ausreichender Genauigkeit eingehalten. Bei Bildserien konnten wir jedoch durch lineare Interpolation „Messwerte“ für die verabredeten Zeiten und dadurch zusätzliche auswertbare Wertepaare gewinnen. Eine eindrucksvolle Zusammenfassung solcher Bildserien zeigt **Bild 10**.

Die Auswertung der Linefits so gewonnener Serien von Positionsdaten



13 Parallaxeneffekt bei den Transits 2016 (links) und 2019 (rechts), berechnet am Beispiel Caracas – Hannover.

führte beim Vergleich zwischen den Fotos unseres Projektes mit denen des SDO, **Bild 11** zeigt zwei Beispiele, im Mittel zu dem folgenden Ergebnis für die Sonnenparallaxe:

$$\pi_s = 8.97'' \pm 0.15''.$$

Bild 12 zeigt zwei Beispiele von Vergleichen zwischen Serien erdgebundener Aufnahmen. Die Vergleiche zwischen den Messwerten dieser Serien führten im Mittel zu dem folgenden Ergebnis:

$$\pi_s = 8.2'' \pm 0.5''.$$

Warum die Linefits nicht zu besseren Ergebnissen führten, haben wir nicht klären können.

Durch Auswertung der besten einzelnen Projektfotos mit den am genauesten übereinstimmenden Aufnahmezeitpunkten erhielten wir im Mittel die folgende Sonnenparallaxe:

$$\pi_s = 8.9'' \pm 0.4''.$$

Angesichts der hohen Anforderungen an die Sorgfalt der Teilnehmer und die Qualität der Fotos sind wir mit diesen quantitativen Ergebnissen sehr zufrieden, zumal bereits die Vorbereitungen, das Erlebnis des Merkurtransits, die Erfahrungen, die die Teilnehmer bei der internationalen Zusammenarbeit sammeln konnten, und der qualitative Nachweis der Merkurparallaxe in Erinnerung bleiben werden.

Danksagung

Wir danken allen Projektteilnehmern, die sich an der Vorbereitung und Aus-

wertung beteiligt und Fotos und Messergebnisse auf die Projektseiten hochgeladen haben, insbesondere *Rainer Anton* (der von der Hakos-Farm in Namibia aus fotografierte), *Ronald Schönecke* (Evangelisches Gymnasium Lippstadt), der als erster die Merkurparallaxe sichtbar machte, *Enrique Torres* (Instituto Venezolano de Investigaciones Cientificas IVIC), *Glenn Schneider* und *Jay Pasachoff* (Big Bear Solar Observatory, California), *Martin Junius* (Köln) und *Thomas Kunzemann* (der von der Bretagne aus fotografierte). Besonderer Dank gilt *William D. Pesnell* von der NASA, der mit den Bahndaten des SDO-Satelliten wesentlich zu den ersten Erfolgen beigetragen hat, und *Mauricio Rojas*, der die Statusberichte für die südamerikanischen Teilnehmer ins Spanische übersetzte.

Ausblick: Der Merkurtransit 2019

Im Jahr 2019, am 11. November zwischen 13:40 und 19:10 Uhr MEZ, wird Merkur noch einmal vor der Sonne vorbeilaufen, bevor er bei den unteren Konjunktionen der folgenden 13 Jahre die Sonne verfehlt. Die Uhrzeit ist ähnlich günstig wie 2016. Allerdings wird die Sonne auf der Nordhalbkugel deutlich früher untergehen und die klimatischen Bedingungen im November werden dort deutlich günstiger als im Mai.

Trotzdem haben wir uns entschlossen, eine Wiederholung des Projektes zu initiieren siehe <http://www.transitof-mercury2019.de/>, um die 2016 gemachten Erfahrungen weiterzugeben und zu versuchen, trotz der dann noch schwierigeren Beobachtungsbedingungen gute Ergebnisse zu erzielen. Die größere Merkurentfernung wird näm-

lich 2019 nicht nur dazu führen, dass das Merkurscheibchen um den Faktor 0.82 kleiner sein wird. Wegen des geringeren Unterschiedes zwischen den Entfernungen von Merkur und Sonne von der Erde wird die relativ zur Sonne messbare parallaktische Verschiebung von Merkur sogar um den Faktor 0.64 kleiner als 2016 sein. **Bild 13** veranschaulicht die dadurch nötige größere Genauigkeit, mit der die Bilder der Sonne eingenordet und die Positionen von Merkur gemessen werden müssen.

Literatur

- [1] Backhaus, U.: Die Entfernung der Sonne. In: ASTRONOMIE+RAUMFAHRT im Unterricht 35/1, 30 (1998)
- [2] Backhaus, U.: Der Venustransit 2004 – Beobachtung und Messung der Sonnenparallaxe. <http://www.didaktik.physik.uni-due.de/~backhaus/Venusproject/Transit.pdf>
- [3] Backhaus, U.: Der Venustransit 2004 – Eine einmalige Chance zur Vernetzung von Wissen, Verfahren und Menschen. In: MNU 57/4, 217 (2004). <http://www.didaktik.physik.uni-due.de/~backhaus/AstroMaterialien/Literatur/Venustransit2004MNU.pdf>
- [4] Backhaus, U.: Astronomisches Schlechtwetterpraktikum: Messung der Astronomischen Einheit durch Beobachtung und Auswertung eines Venustransits. <http://www.didaktik.physik.uni-due.de/~backhaus/AstroPraktikum>
- [5] Backhaus, U.; Gabriel, P.; Kersting, T.: Zwei Methoden zur Messung der Entfernung zur Sonne. Aus Anlass des Venustransits 2012 erfolgreich nachvollzogen. In: MNU 67/2, 68 (2014). [http://www.didaktik.physik.uni-due.de/~backhaus/publicat/Venustransit2012 \(MNU 02 14 68-73\).pdf](http://www.didaktik.physik.uni-due.de/~backhaus/publicat/Venustransit2012 (MNU 02 14 68-73).pdf)
- [6] Sobel, D.: Längengrad. Piper: München 2013
- [7] Völker, S.: Venustransit im Klassenzimmer. In: ASTRONOMIE+RAUMFAHRT im Unterricht 54 (2017) 5, S. 20–25
- [8] Wulf, A.: Die Jagd auf die Venus. C. Bertelsmann: München 2012

Prof. i. R. Dr. Udo Backhaus

Fakultät für Physik der Universität Duisburg-Essen
Campus Essen, Didaktik der Physik
45117 Essen
E-Mail: udo.backhaus@uni-due.de

*Der Merkurdurchgang vom 9. Mai 2016,
Bild 1a und b zum Beitrag auf S. 26.*

