

Astronomy On-Line: Measuring the Distance to the Sun

U. Backhaus, Universität Koblenz

1 Einleitung

In der zweiten Hälfte des Jahres 1996 veranstaltete die European Association for Astronomy Education (EAAE) in Zusammenarbeit mit dem European Southern Observatory (ESO) ein weltweites Astronomieprojekt im Internet, „the World’s Biggest Astronomy Event on the World Wide Web“: **Astronomy On-Line**. Es ermöglichte Schulen, Lehrern, Amateur- und Berufsastronomen miteinander zu kommunizieren und am Beispiel der Astronomie internationale Zusammenarbeit „in Echtzeit“ und die Vorzüge, aber auch die Probleme der modernen Kommunikationstechnik zu erleben.

Astronomy On-Line ([5], alle Projektbeschreibungen, Ergebnisse und Informationen sind bis auf weiteres zugänglich) eröffnete den Zugang zu wichtigen astronomischen Daten und Informationen und bot die Möglichkeit, Beobachtungsanträge an Großobservatorien zu stellen. Insbesondere stellte es den Rahmen für Projekte europäischer oder gar weltweiter Zusammenarbeit zur Verfügung.

Als ich von dem Projekt erfuhr, sah ich die einzigartige Möglichkeit, zu „eigenen“ Meßwerten für die Bestimmung der Entfernung zwischen Erde und Sonne zu kommen, die als **Astronomische Einheit** eine zentrale Bedeutung für die gesamte Astronomie besitzt und deren Messung jahrhundertlang die Beobachtungs- und Auswertungstechnik vorantrieb.

Wegen der Größe der Sonnenentfernung sind alle darauf beruhenden geometrischen Effekte so klein, daß ihre Beobachtung und Messung extrem schwierig sind. Seit aber im Frühjahr 1996 zwei Schülergruppen in Dänemark und Portugal die Entfernung des (der Erde allerdings extrem nahe gekommenen) Kometen Hyakutake gemessen hatten ([9]) und Erwin Heiser durch Aufnahmen von Barnards Pfeilstern mit dem 7m-Cassegrain-Teleskop des Naturwissenschaftlichen Vereins Osnabrück gezeigt hatte, daß mit moderner CCD-Technik sogar Fixsternparallaxen in die Reichweite großer Amateurteleskope gekommen sind ([4]), wußte ich, daß mit moderner Amateurausrüstung ausreichend genaue Positionsbestimmungen an Kleinplaneten möglich sein müßten, um über Parallaxenbestimmungen die Sonnenentfernung ableiten zu können.

Zusammen mit den Mitgliedern der AstroAG Koblenz und in enger Zusammenarbeit mit der Astronomischen Arbeitsgemeinschaft Osnabrück initiierte ich deshalb das Projekt „**Measuring the Distance to the Sun**“ ([6], [8]). Über dieses Projekt, seine wesentlichen Ergebnisse und über die vielfältigen Erfahrungen, die wir bei der Arbeit mit dem Internet und der Zusammenarbeit mit Amateuren und Großobservatorien gesammelt haben, werde ich hier kurz berichten¹.

¹Die vollständigen Dokumente sind in [1] zusammengefaßt. Dieser Bericht kann von Interessenten in Koblenz angefordert werden.

2 Das Projekt

Die Astronomische Einheit ist eine der wichtigsten Größen der Astronomie. Sie bildet die Grundlage nicht nur für die Bestimmung der Größe des Weltalls, sondern auch für die Messung der astrophysikalischen Eigenschaften der Planeten, der Sonne und anderer Sterne. Da sie schwierig zu messen ist, gibt es bis heute kaum eine Möglichkeit, in der Schule zu eigenen Meßwerten zu kommen ([2]).

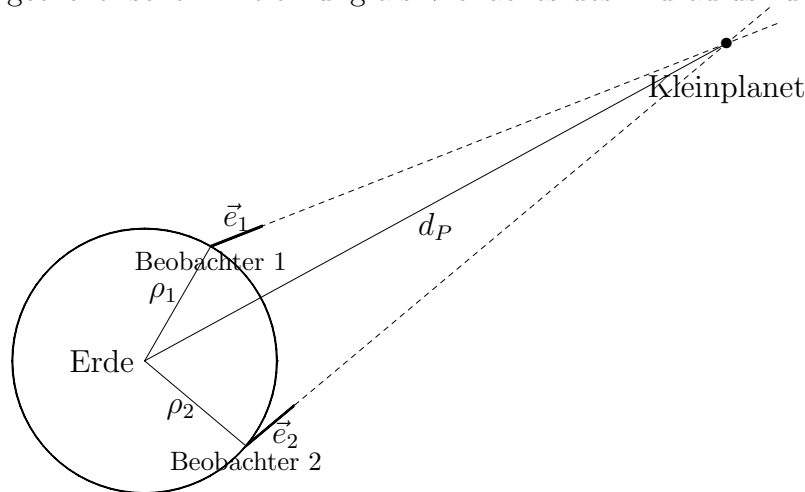
Keplers erste neuzeitliche Abschätzung der Entfernung der Sonne und Cassinis erste Bestimmung beruhten auf Parallaxenmessung an Mars. Im Rahmen von Astronomy On-Line haben wir versucht, dieses Meßverfahren mit moderner CCD-Technik und den Möglichkeiten, die das Internet für schnelle internationale Kommunikation zur Verfügung stellt, auch Amateuren und gut ausgestatteten Schulen zugänglich zu machen und anderen zumindest realistische Maßdaten und Auswertungsverfahren zur Verfügung zu stellen.

Das Prinzip der Messung, aber auch der meisten Details, für die hier der Platz fehlt (siehe dazu [1]), ist einfach zu verstehen:

Ein naher Kleinplanet wird *gleichzeitig* von zwei möglichst weit voneinander entfernten Orten auf der Erde fotografiert. Vermessung seiner Position relativ zu benachbarten Fixsternen auf den Fotos führt zu zwei *topozentrisch äquatorialen Positionen* des Kleinplaneten:

$$(\alpha_i, \delta_i)$$

Diese Positionen definieren zwei Richtungsvektoren \vec{e}_i , die zusammen mit den momentanen Positionen der Observatorien erlauben, den Parallaxenwinkel des Kleinplaneten, und damit seine geozentrischen Entfernung als Vielfaches des Erdradius zu bestimmen:



$$d_P = m r_E$$

Mit Hilfe einer Ephemeridenrechnung ist es möglich, für denselben Zeitpunkt die Entfernung als Vielfaches der Sonnenentfernung zu berechnen:

$$d_P = n AE$$

(das konnten bereits Copernicus und Kepler, ohne den Wert der Astronomischen Einheit zu kennen!).

Nach Kombination der beiden Ergebnisse kann man die Astronomische Einheit als Vielfaches des Erdradius angeben:

$$1AE = \frac{m}{n} r_E.$$

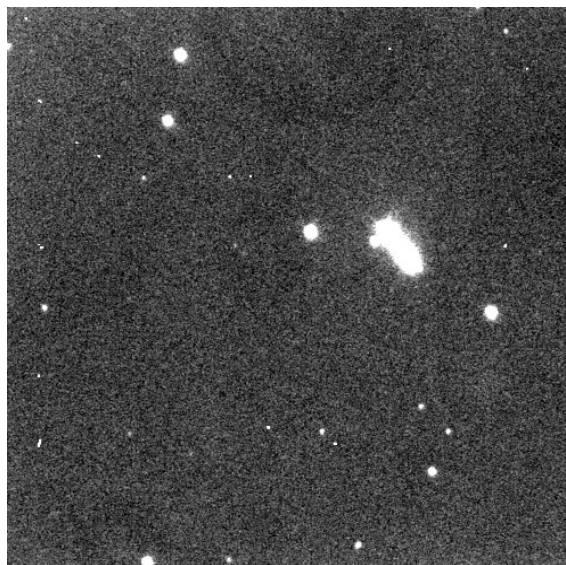
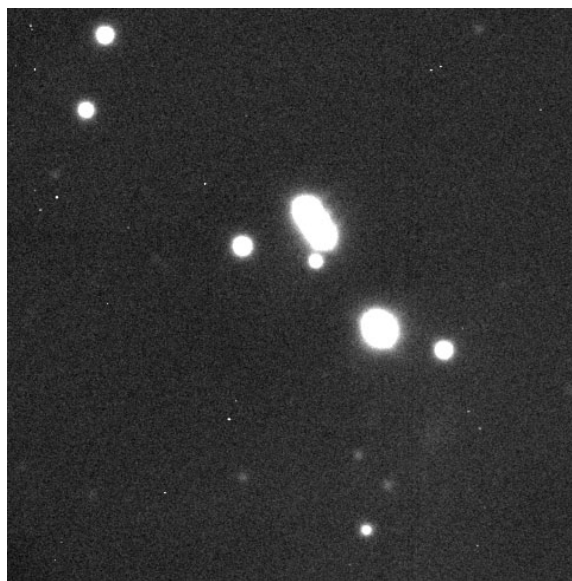
Mit diesem Projekt wollten wir versuchen, Amateur- und Schulsternwarten in aller Welt über das Internet zusammenzuführen und dazu anzuregen, in einer bestimmten Nacht, der sogenannten *heißen Phase* (19./20. oder 20./21. November 1996), drei von uns nach kleinen Entfernungen und unterschiedlichen Helligkeiten ausgesuchte Kleinplaneten (**84 Klio**, 12.1 mag, $d_P = 1.1AE$, **584 Semiramis**, 11.3 mag, $d_P = 1.1AE$, **990 Yerkes**, 15.0 mag, $d_P = 1.4AE$) gleichzeitig zu fotografieren.

3 Ergebnisse

Leider fanden sich wenige Schülergruppen. Wir stellten deshalb im Rahmen von Astronomy On-Line an die **Europäische Südsternwarte (ESO)** in La Silla einen Beobachtungsantrag. Das war unser Glück; denn in beiden Nächten war in ganz Europa der Himmel von dichten Wolken verhangen. Erst nach einigen Tagen erfuhren wir, daß dem **Observatoire de Haute-Provence (OHP)** im äußersten Süden Frankreichs einige Bilder von Semiramis gelungen waren und daß auch La Silla fast gleichzeitig Aufnahmen aller drei Kleinplaneten gemacht hatte.

Die folgenden Bilder zeigen diese Aufnahmen, die wir mit Hilfe der erkennbaren Fixsterne subpixelgenau „übereinandergelegt“ haben. Die Bilder haben eine Größe von etwa 500*500 Pixel und zeigen einen Himmelsausschnitt von etwa 4'*4'.

Semiramis am 21. November 1996:

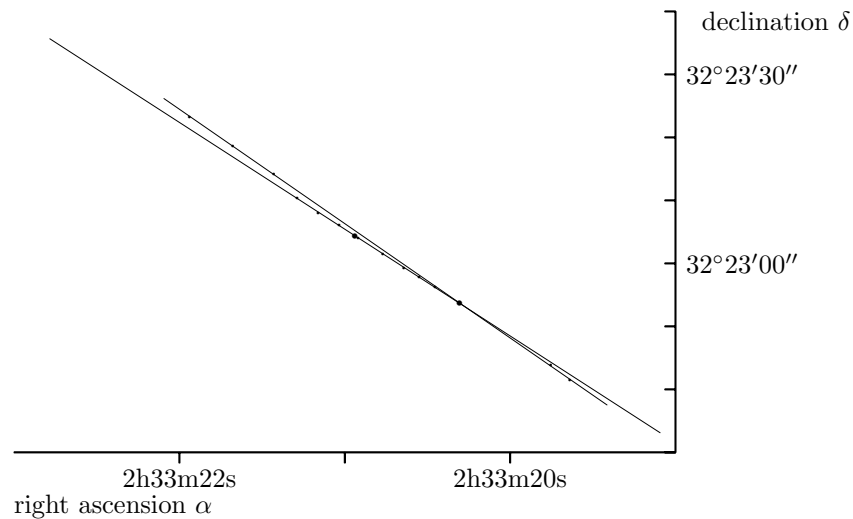


a) Haute-Provence, 1:12 UT, 1:21 UT, 1:29 UT, 2:25 UT, 2:30 UT

b) La Silla, 8 Aufnahmen zwischen 1:48 UT und 2:16 UT

Die ESO-Bilder füllen gerade die (wahrscheinlich durch Wolken bedingte) Beobachtungslücke zwischen den OHP-Bildern. Deshalb gibt es keine zwei Bilder, deren Aufnahmezeitpunkte genügend genau übereinstimmen. Deshalb reduzierten wir beide Serien auf einen gemeinsamen Zeitpunkt: **2.00 UT**. Dazu paßten wir die Positionen mit der Methode der kleinsten Quadrate an Geraden an und interpolierten:

$$\begin{aligned} \text{OHP: } \dot{\alpha} &= -0.030\text{s/min}, \dot{\delta} = -0.54''/\text{min} \implies \bar{\alpha} = 2\text{h}33\text{m}20.516\text{s}, \bar{\delta} = 32^\circ 22' 57.53'' \\ \text{ESO: } \dot{\alpha} &= -0.031\text{s/min}, \dot{\delta} = -0.52''/\text{min} \implies \bar{\alpha} = 2\text{h}33\text{m}20.939\text{s}, \bar{\delta} = 32^\circ 23' 04.39'' \end{aligned}$$



Eigenbewegung von Semiramis, beobachtet von La Silla bzw. Haute Provence

Aus diesen Werten folgt, zusammen mit der berechneten geozentrischen Entfernung von $d_P = 0.972AE$, mit Hilfe unseres in [7] als Pascal-Quelltext angegebenen Algorithmus eine Sonnenparallaxe von

$$\pi_S = 5.6''.$$

Wie kann sich aus so exzellenten Bildern ein, verglichen mit dem wahren Wert von $\pi_S = 8.794''$, um mehr als 50% falscher Wert ergeben? An unserem Algorithmus konnte es nicht liegen; der hatte sich in Vortests mehrfach als korrekt erwiesen.

Wir fanden die Ursache, als wir die gemessenen Positionen mit berechneten Werten verglichen: Dabei zeigte sich eine gute Übereinstimmung mit den ESO-Positionen. Alle OHP-Positionen weichen dagegen *systematisch* von den theoretischen Werten ab, und zwar im Mittel um

$$\overline{\Delta\alpha} = 0.208s, \quad \overline{\Delta\delta} = 3.81''.$$

Aufgrund der Eigenbewegung von Semiramis entspricht diese Abweichung einer Zeitdifferenz von

$$\Delta t = -7\text{min!}$$

Tatsächlich ergibt sich nach einer solchen Korrektur eine Sonnenparallaxe von

$$\pi_S = 8.5''.$$

Die Diagramme zeigen die so korrigierte beobachtete Eigenbewegung von Semiramis und die zugehörigen Parallaxeneffekte in Rektaszension und Deklination:

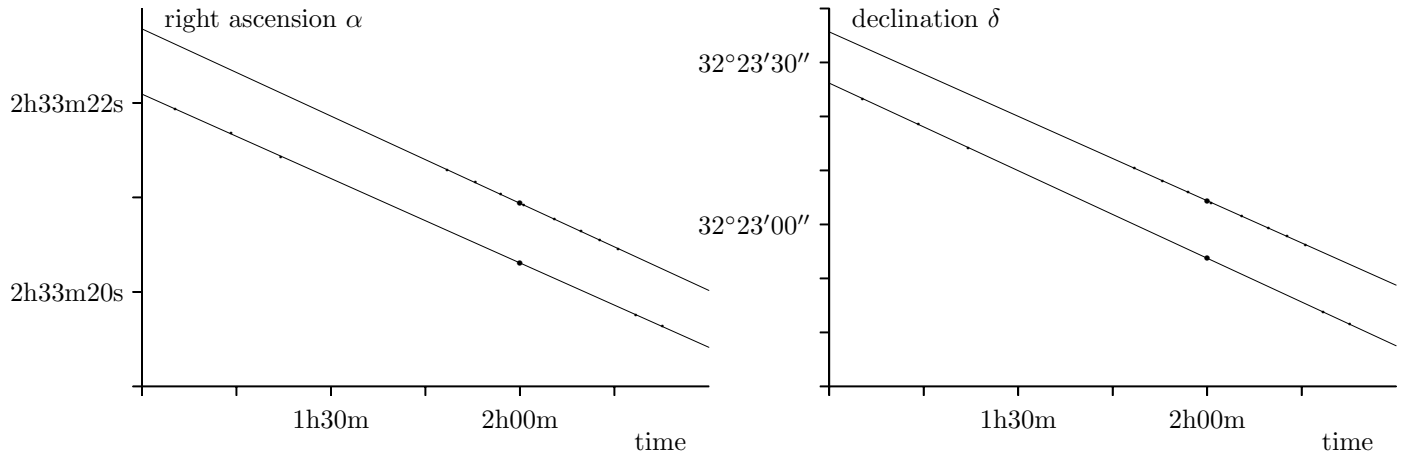
Nach einer Zeitkorrektur um $\Delta t = -8\text{min}$, die zu gleich großen Abweichungen zwischen Theorie und Messung bei den ESO- und den OHP-Bildern führt, ergibt sich sogar

$$\pi_S = 8.9''.$$

Tatsächlich wurde diese Interpretation der Daten einen Tag später per e-mail bestätigt:

Anfrage (U. Backhaus): „*I think we found the reason (for the difference described above): You should take care for the clock in your observatory (or, at least, of the computer): Most likely, it gains about 7-8 minutes. ... Are we right?*“

Antwort (M. Dennefeld): „I had indeed noticed a 7 minutes difference between the computer clock and the UT! ... My correction of 7 min is approximate only, it could be a little more. ...“



Parallaxeneffekt von Semiramis in Rektaszension und Deklination

Nach sorgfältiger Auswertung der Bilder erhalten wir deshalb die folgenden Werte und abgeschätzten Fehlerintervalle für die Entfernung zur Sonne:

$$\pi_S = 8.7'' \pm 0.2'' \implies$$

$$1\text{AE} = 23700r_E \pm 2.3\% = 151 \text{ Mio. km} \pm 3 \text{ Mio. km}$$

Wir hatten dabei eine Basislänge (Abstand La Silla – Haute-Provence, gesehen von Semiramis) von ziemlich genau $1.5r_E$ zur Verfügung, die bei Semiramis zu einem Parallaxenwinkel von $13.2''$ führte.

4 Erfahrungen und Schlußfolgerungen

Es hat sich als möglich erwiesen, die Sonnenentfernung durch Parallaxenmessungen an Kleinplaneten zu bestimmen, die der Erde auf etwa 1 AE nahe kommen. Die Brennweiten der benutzten Fernrohre lagen zwischen 7m und 9m. Leider ergab sich keine Möglichkeit, das Verfahren auch mit Amateurteleskopen kürzerer Brennweiten zu testen.

Unsere Algorithmen zur Bestimmung der Entfernung des Kleinplaneten und zur Ableitung der Sonnenparallaxe haben sich als richtig und genügend genau erwiesen. Unsere eigenen (nach [3] entwickelten) Verfahren zur Bahnbestimmung müssen allerdings noch verfeinert und mit mehr Eingangsdaten gefüttert werden.

Das Projekt führte zu zahlreichen konkreten „eigenen“ Beobachtungsdaten für die Bestimmung der Sonnenentfernung. Auf ihrer Grundlage lassen sich wichtige Detailprobleme bei der Messung der Astronomischen Einheit studieren und ein recht befriedigender Wert ableiten. Die Genauigkeit der entwickelten Verfahren zeigte sich besonders eindrücklich, als es uns, auf dem Umweg über die (extrem sensitive) Berechnung der Sonnenparallaxe, von Koblenz aus gelang, der Observatoriumsuhr in der Haute-Provence eine Gangungenaugigkeit von 7 Minuten nachzuweisen.

Die Zusammenarbeit mit Schulen und Amateuren in Europa und Amerika erwies sich jedoch als schwieriger als erwartet: Nur zwei Gruppen in Italien und Dänemark nahmen

mit uns Kontakt auf, so daß, nicht nur aus Witterungsgründen, die abschließenden Ergebnisse aus den Aufnahmen des Observatoriums der Europäischen Südsternwarte auf La Silla und des Observatoire de Haute-Provence abgeleitet werden mußten. Dadurch blieb eine zentrale Frage des Projektes, nämlich die nach der Eignung auch kleinerer Amateurteleskope für Parallaxenmessungen, unbeantwortet. Die erreichte Genauigkeit läßt jedoch kaum einen Zweifel daran, daß auch von gut ausgestatteten Schulen und Amateuren geeignete Ausgangsdaten gewonnen werden können und daß eventuell sogar eine Zusammenarbeit zwischen Nord- und Südeuropa zu guten Werten für die Astronomische Einheit führen werden.

Ich will deshalb mit diesem Bericht dazu anregen, die Messungen in naher Zukunft zu wiederholen und dabei an einem zentralen Problem der Astronomie nachzuvollziehen, „woher man so etwas wissen kann“ (Wagenschein), statt sich mit übernommenem Expertenwissen zufrieden zu geben.

Literatur

- [1] U. Backhaus, *Astronomy On-Line: Measuring the Distance to the Sun*, Fachbericht Physik Nr. 24, Universität Koblenz, Februar 1997
- [2] U. Backhaus, *Die Entfernung der Sonne - Bedeutung, Geschichte, Messung*, *Astronomie im Unterricht* 34/3 (1997)
- [3] A. Guthmann, *Einführung in die Himmelsmechanik und Ephemeridenrechnung*, BI Wissenschaftsverlag: Mannheim 1994
- [4] E. Heiser, R. Schröder, *Eigenbewegung und Parallaxe von Barnards Pfeilstern*, *Sterne und Weltraum* 35/5, 388 (1996)
- [5] *Astronomy On-Line*, <http://www.eso.org/astronomyonline>
- [6] *Astronomy On-Line: Measuring the Distance to the Sun*, <http://www.eso.org/astronomyonline/market/collaboration/solpar>
- [7] *Measuring the Distance to the Sun: Pascal Souce Code*, <http://www.eso.org/astronomyonline/market/collaboration/solpar/solpar-par.html>
- [8] *Measuring the Distance to the Sun: Final Report*, <http://www.uni-koblenz.de/~backhaus/aol/finalrep.htm>
- [9] *The Parallax Effect: Comet Hyakutake*, <http://login.dknet.dkl/ags/ags2.html>