

SPEKTRUM

Mitteilungsblatt der
Fachgruppe

Spektroskopie

der Vereinigung der
Sternfreunde e.V.

Ausgabe Nr. 35 (2008)

Einzelheft: 3,50 Euro (plus Porto)

Herausgeber: Ernst Pollmann

Emil Nolde Straße 12

51375 Leverkusen

Impressum

Das Mitteilungsblatt SPEKTRUM erscheint halbjährlich als Kommunikationsorgan der Fachgruppe SPEKTROSKOPIE der Vereinigung der Sternfreunde e.V.
Für den Inhalt sind die Autoren selbst verantwortlich.

Kontakt

Ernst Pollmann
Emil Nolde Straße 12
51375 Leverkusen

Fax: 0403603038949
eMail: ErnstPollmann@aol.com
Telefon: 0214-91829

Bankverbindung:

Konto Nr. 202029344; Bankleitzahl 37551440; Sparkasse Leverkusen

Inhalt

Seite

Bernd Hanisch	Von einem Monochromator, der im Labor nicht mehr sein durfte und auf dem Schrott noch nicht sein sollte.....	1
Roland Bücke	Die Anwendung der Kreuzkorrelation auf die Radialgeschwindigkeitsbestimmung astronomischer Objekte	5
Roland Bücke	Erste Ergebnisse der Radialgeschwindigkeitsmessungen von September 2006 bis Dezember 2007 an γ Cas.....	8
Lothar Schanne	Ermittlung der Bahnelemente von Doppelsternen aus Radialgeschwindigkeitsmessungen.....	12
Urs Flükiger	Impressionen zum Einführungskurs „Astrospektroskopie“ in der Starkenburg-STW Heppenheim am 16.2.08.....	21
Ernst Pollmann	Programm zur Spektroskopietagung vom 2.4.5.08.....	23
Hinweis:	Teil 2 des Beitrages „Ein Verfahren zur Subtraktion des Hintergrundes für spaltlose Flash-Spektren“ erscheint aus aktuellem Anlass erst in Nr. 36	

Von einem Monochromator, der im Labor nicht mehr sein durfte und auf dem Schrott noch nicht sein sollte ...

Ein Erfahrungsbericht über die ersten Schritte mit einem Lichtleiterspektrographen

(von Bernd Hanisch, Lebus)

Es muss nicht immer etwas Schlimmes passiert sein, wenn das Telefon klingelt! Diese Erfahrung habe ich an einem Januartag im Jahr 2006 gemacht, als mir telefonisch mitgeteilt wurde, dass in einem Analytiklabor die Verschrottung eines Atomspektrometers von Zeiss unmittelbar bevor steht. Unverzüglich begab ich mich mit einem Werkzeugkoffer an den Tatort, um zu retten, was zu retten wert war: den Monochromator samt zweier Gitter und Spalt. Die gesamte, etwa 25 kg wiegende Anordnung konnte komplett entnommen werden. Natürlich war klar, dass dieser Monochromator allein wegen seines Gewichtes, aber auch wegen seiner Abmessungen nicht unmittelbar an meinen Zeiss-Meniscas 180/1800 anzubauen war. Somit blieb mir, der ich bisher 25 Jahre lang ausschließlich mit Objektivprismen Sternspektren beobachtet hatte, nichts anderes übrig, als den berühmten Sprung ins kalte Wasser zu wagen und das Sternenlicht mit Hilfe eines Lichtleiters in den Spektrographen zu befördern. Nachfolgend ein kurzer Bericht über meine ersten Erfahrungen mit diesem Spektrographen.

Das Fernrohr

Als „Lichtsammler“ benutze ich einen Zeiss-Meniscas 180/1800 auf einer Zeiss Ib-Montierung. Am Okularende ist eine alte Spiegelreflexkamera (EXA Ib) angeschraubt. Anstelle der Kamerarückwand ist ein Holzplättchen angebracht, in welchem der Lichtleiter so steckt, dass sich seine Vorderseite genau in der Filmebene der Kamera befindet, siehe Abb.1. Mit Hilfe des Klappspiegels der Kamera kann dann der Stern nach Sicht fokussiert werden. Außerdem befindet sich zur Markierung der Lage des Sternes nach der Einkopplung in den Lichtleiter auf der Gegengewichtseite des Fernrohrs ein Leitrohr Refraktor 63/840 mit einem beleuchteten Netzkreuzokular (s.u.).



Abb. 1: Anschluss des Lichtleiters fernrohrseitig

Der Lichtleiter

Als Lichtleiter wird eine 5 m lange Multimode Stufenindex Faser aus Quarz/Quarz mit 110 μm Innendurchmesser und einer numerischen Apertur (NA) von $0,22 \pm 0,02$ verwendet (Fa. Sachsenkabel Gornsdorf). Die in einem 2,8 mm Kabelmantel befindliche Faser ist beidseitig mit einem Standardstecker EST6-127-036S konfektioniert.

Der Spektrograph

Das Herzstück des Spektrographen ist der schon erwähnte Zeiss-Monochromator in Ebert-Aufstellung (siehe Abb.2). Dabei wurde die ursprüngliche Anordnung so verändert, dass an der Stelle, an der sich einst der Eintrittsspalt befand, nun justierbar das spektrographenseitige Ende des Lichtleiters mündet (1). In Position (2) ist der Kollimatorspiegel mit einer Brennweite von 300 mm sichtbar. Position (3) zeigt das 54 mm x 54 mm Gitter, das in einem Gitterwechsler wahlweise mit 2604 Strich/mm (auf 220 nm geblazed) bzw. mit 1302 Strich/mm (auf 500 nm geblazed) eingeschwenkt werden kann. Auf Position (4) sieht man den Abbildungsspiegel mit einer Brennweite von 357 mm. In Position (5) befindet sich (hier nicht abgebildet) genau an der Stelle, an der sich einst der Austrittsspalt des Spektrographen befand, auf einem Mikroskopschlitten justierbar eine objektivlose Digitalkamera EOS 20 D von Canon. Deren Chip ist 22,5 mm x 15 mm groß und hat 3504 x 2336 Pixel zu je 6,4 µm x 6,4 µm. Schließlich verfügt der Spektrograph noch über einen von außen bedienbaren Präzisionsgittertrieb zur Einstellung der Wellenlänge (siehe Position 6)

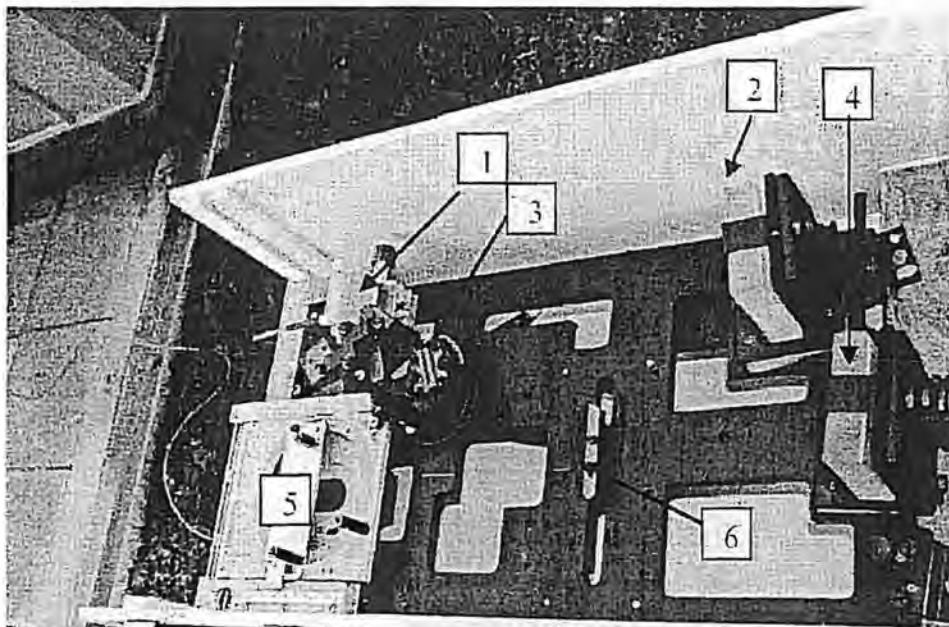


Abb. 2: Der Spektrograph

Mit dieser optischen Anordnung wird bei Verwendung eines 1300 L/mm-Gitters eine Dispersion von 0,12 Å/Pixel bzw. von 18,8 Å/mm erreicht. Dies bedeutet, dass auf dem Chip der OS 20 D mit einer Aufnahme etwa 420Å. abgebildet werden.

Das Ergebnis eines ersten Tests mit den Hg-Linien einer Leuchtstofflampe zeigt Abb. 3. Das Spektrum wurde 1 s bei 100 ISO belichtet. In Richtung der grünen Hg-Linie bei 5460,74 Å ist eine gewisse Unschärfe (wahrscheinlich eine Verkippung der Kamera) sichtbar.

Ein erster Test unter freiem Himmel erfolgte durch die Aufnahme eines Sonnenspektrums als Reflexionsspektrum des Mondes (Abb. 4). Im Vergleich zur Aufnahme von Sternspektren war es hier wegen der großen hellen Fläche des Mondes noch relativ einfach, das Licht in den Lichtleiter zu bekommen. Abb. 4 zeigt ein solches Spektrum im Bereich von H β bis zu den grünen Mg-Linien. Es wurde 30 s bei 400 ISO belichtet.

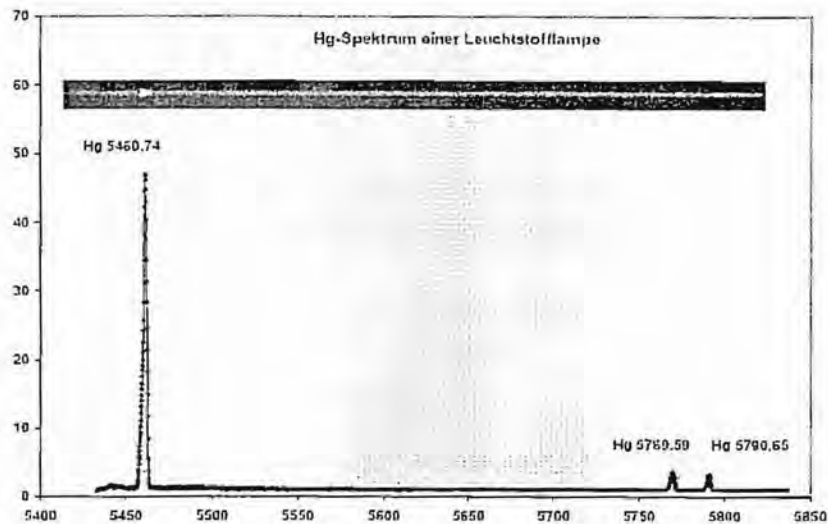


Abb. 3: Spektrum einer Leuchtstofflampe

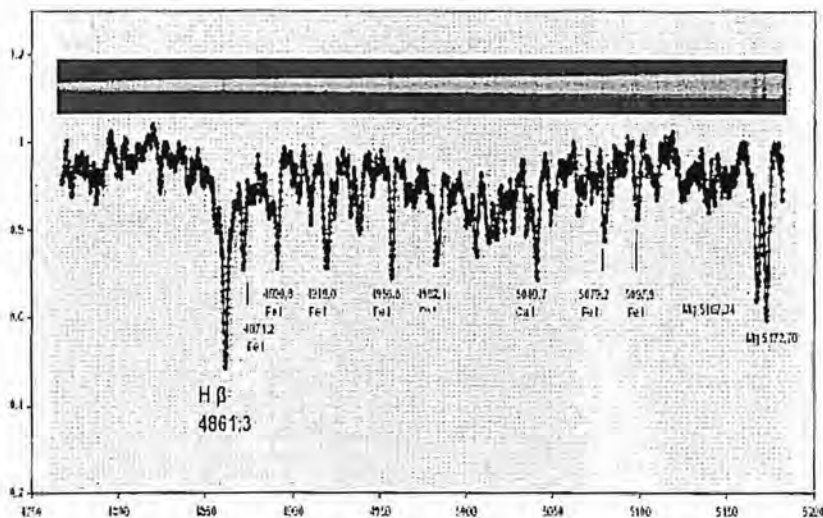


Abb. 4: Sonnenspektrum als Reflexionsspektrum des Mondes

Aufnahme von Sternspektren

Bei der Gewinnung von Sternspektren mit dieser Anordnung gehe ich wie folgt vor:

1. Sofern nicht vorhanden, sehr exakte Justage des Fernrohrs herstellen (Scheinern)
2. Visuelle Scharfstellung des Sterns auf der Mattscheibe der Spiegelreflexkamera und damit auf die Eingangsebene des Lichtleiters, danach Auslösen des Verschlusses auf Dauerbelichtung
3. Visuelle Grobjustage des Sterns auf das etwa 3 mm große Loch des fernrohrseitigen Lichtleiteranschlusses (Lichtleiter vorher abstecken)
4. Feinjustage des Sterns auf die 100 μm Öffnung des Lichtleiters. Dazu Lichtleiter anstecken und solange Justieren, bis es am spektrographenseitigen Ende hell wird. (Dieses Justieren dauert meist etwas, der Effekt des Hellwerdens ist aber z.B. bei Sternen der 3. Größe noch deutlich zu sehen.)
5. Diese Position des Sterns im Leitrohr merken und während der gesamten Aufnahmezeit halten, d.h., exakt nachführen.
6. Lichtleiter in den Spektrographen einführen,

Spektrographengehäuse schließen und Belichtung beginnen. Abb. 5 zeigt ein erstes so aufgenommenes Spektrum des Arktur im Bereich der grünen Mg-Linien.

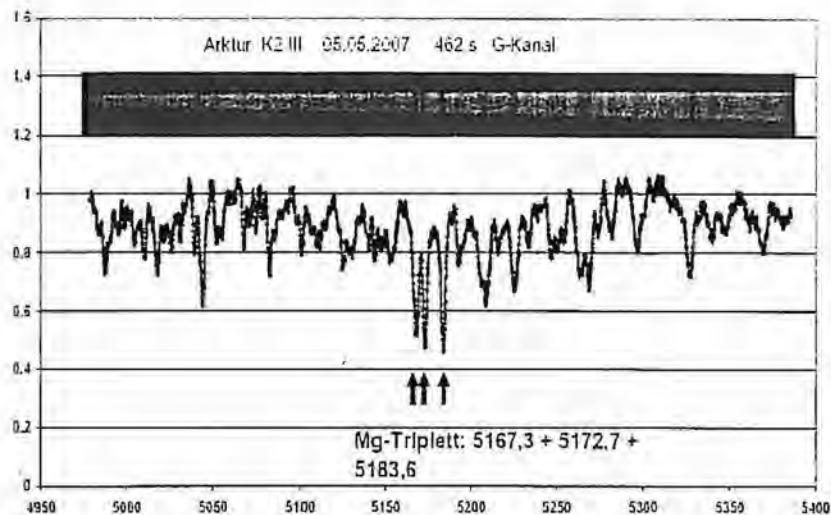


Abb. 5 Spektrum des Arktur im grünen Spektralbereich, 462 s bei 400 ISO belichtet

Leider ist auch in diesem Fall das Spektrum nicht über den gesamten Bereich scharf. Im günstigsten Fall handelt es sich, wie bei der Diskussion von Abb. 3 bereits angedeutet, um eine Verkippung der Kamera. Allerdings kann es auch sein, dass die Spiegeloptik von vornherein nicht über eine Länge von 22,5 mm gleichmäßig scharf abbildet, da ursprünglich (im A-tomspektrometer) lediglich auf einen maximal 1 mm großen Austrittsspalt abgebildet wurde.

Nach den ersten Versuchen sehe ich mit diesem Spektrographen folgende **Chancen**:

- die zur Verfügung stehende Dispersion von $0,12 \text{ \AA/Pix}$ stellt eine deutliche Erweiterung meiner bisher vorhandenen Beobachtungsmöglichkeiten dar
- er kann relativ problemlos auch an größere Fernrohre mit $f/10$ angebracht werden (mehr Licht, schwächere Sterne)
- für sehr helle Objekte (Sonne) kann mit dem 2400 L/mm -Gitter eine doppelt so hohe Dispersion erreicht werden
- da der Lichtleiter quasi einen Spalt darstellt, bietet dieser Spektrograph auch alle Vorteile eines Spaltspektrographen

Allerdings sollen an dieser Stelle auch die auftretenden **Probleme** nicht verschwiegen werden:

- möglicherweise wird das Spektrum auf einem 22,5 mm langen Chip in Gänze niemals scharf abgebildet werden. Hier wäre über eine alternative Abbildungsoptik nachzudenken.
- die Justage des Beugungsscheibchens auf die Öffnung des Lichtleiters ist unter den beschriebenen (provisorischen) Bedingungen schwierig, aber nicht unmöglich
- Dieser Spektrograph ist in Verbindung mit dem Zeiss-Meniscas 180/1800 lediglich zur Spektroskopie der hellsten Sterne geeignet.
- die Verwendung einer noch engeren Faser (ev. $50 \mu\text{m}$), die ein besseres Auflösungsvermögen zur Folge hätte, scheidet unter den gegebenen Bedingungen wegen des zu geringen Lichtangebots aus

Alles in allem will ich diesen Spektrographen noch weiter testen und optimieren und dabei Erfahrungen sammeln. Für den Schrott war es für dieses Gerät jedenfalls allemal zu früh.
An dieser Stelle nochmals ganz herzlichen Dank an Roland Bücke für die Beratung hinsichtlich der Wahl des Lichtleiters.

Die Anwendung der Kreuzkorrelation (KK) auf die Radialgeschwindigkeitsbestimmung astronomischer Objekte

(von Roland Bücke, Hamburg)

Bewegt sich ein Objekt auf der Sichtlinie zum Beobachter mit der Geschwindigkeit v_r , so bewirkt der Dopplereffekt die Verschiebung des gesamten Spektrums auf der Wellenlängenskala um den Betrag $\Delta\lambda$ gemäß Formel (1).

$$\Delta\lambda = \lambda_0 \cdot \frac{v_r}{c} \quad (1)$$

Hierin sind λ_0 die unverschobene Wellenlänge und c die Lichtgeschwindigkeit.

Aus Formel (1) gehen zweierlei Eigenschaften der Dopplerverschiebung hervor:

1. Die Dopplerverschiebung ist ein sehr kleiner Effekt, da die zahlenmäßig große Konstante c im Nenner des Quotienten v_r / c steht und
2. der Betrag der Dopplerverschiebung ist wellenlängenabhängig.

Die erste Eigenschaft erfordert entsprechend der angestrebten Messgenauigkeit eine sehr präzise Kalibrierung der Spektren. Die zweite Eigenschaft, die Wellenlängenabhängigkeit der Dopplerverschiebung, wird weiter unten im Abschnitt „praktische Realisierung der KK“ noch einmal Berücksichtigung finden.

Die Dopplerverschiebung kann mit unterschiedlichen Methoden bestimmt werden; entweder durch die Vermessung geometrischer Merkmale einzelner Spektrallinien - oftmals durch Anpassung einer Gaußfunktion - oder durch Vergleich eines kompletten Wellenlängenbereichs mit einem Referenzspektrum mittels KK. Welche der genannten Methoden zur Anwendung kommen sollte, lässt sich nicht pauschal beantworten. Dies hängt u. a. ab von der Beschaffenheit (Spektralklasse) des Spektrums, des von der Spektralaufnahme abgedeckten Wellenlängenbereichs und der Fragestellung, die untersucht werden soll.

Beispielsweise beobachtet man bei Cepheiden häufig unterschiedliche Radialgeschwindigkeitsamplituden für die verschiedenen Metalle, da die Absorptionslinien in unterschiedlicher Tiefe der Sternatmosphäre entstehen. Derartige „line-level-effects“ können natürlich nur durch Messmethoden an einzelnen Linien nachgewiesen werden. Im Gegensatz hierzu kommen die Vorteile der KK bei der Beobachtung von spektroskopischen Doppelsternen oder bei der Suche nach Exoplaneten zum Tragen, da die Genauigkeit bzw. die Nachweisempfindlichkeit von Radialgeschwindigkeitsperioden in Zeitserien mit der Zahl der untersuchten Linien zunimmt.

Mit der KK werden auf sehr effiziente Weise alle spektralen Linien im korrelierten Spektralbereich erfasst. Im Zweifelsfall müssen die verschiedenen Methoden auf ihre Eignung getestet werden. Meine eigene Beobachtungsreihe an Polaris ergab zum Beispiel keine signifikante Genauigkeitssteigerung der KK im Vergleich zum Gaußfit an den 10 stärksten Linien. Der Zeitgewinn bei der Auswertung ist allerdings beträchtlich. Die Auswertung einer Zeitserie von ca. 130 Spektren des kurzperiodischen Delta-Scuti-Sterns beta Cas mit seinen weniger starken Linien wäre hingegen ohne die Anwendung der KK undenkbar gewesen.

Die KK funktioniert allerdings nur, wenn die miteinander korrelierten Spektren möglichst ähnlich sind. Je mehr sich die beiden Spektren voneinander unterscheiden, desto flacher verläuft das Korrelationsmaximum. In der Praxis verwendet man als Referenzspektrum, auch Maske (engl. template) genannt, ein Spektrum eines Sterns gleicher Spektralklasse, ein synthetisch errechnetes Spektrum oder ein Spektrum des Objektes selbst.

Die Kreuzkorrelation (KK)

Mit der KK wird der Grad der Übereinstimmung zweier Spektren in Abhängigkeit von deren gegenseitiger Verschiebung bestimmt. Man ermittelt die Größe der Verschiebung des Spektrums bzw. des Vergleichsspektrums (beides führt zum gleichen Ergebnis, wenn man die Richtung der Verschiebung beachtet), die notwendig ist, um eine maximale Übereinstimmung der korrelierten Spektren zu erzielen. Das Maß der Übereinstimmung ist durch den Korrelationskoeffizienten definiert (Gl. 2). Dieser wird errechnet, indem von den in diskreter Form vorliegenden Intensitätswerten $i=1,2,\dots,n$ der Spektren A und B die Produkte der jeweils positionsgleichen Stützstellen auf der Wellenlängenachse gebildet und diese über den Korrelationsbereich anschließend aufsummiert werden:

$$c = \sum_{i=1}^n A_i \cdot B_i \quad (2)$$

Wird nun das Spektrum B schrittweise von Stützstelle zu Stützstelle gegenüber dem Spektrum A verschoben, erhält man mit der Verschiebung s die Korrelationsfunktion $c(s)$:

$$c(s) = \sum_{i=1}^n A_i \cdot B_{i-s} \quad (3)$$

Aus der Position des Maximums der Korrelationsfunktion erhält man die Dopplerverschiebung der Spektren zueinander (Abb. 1).

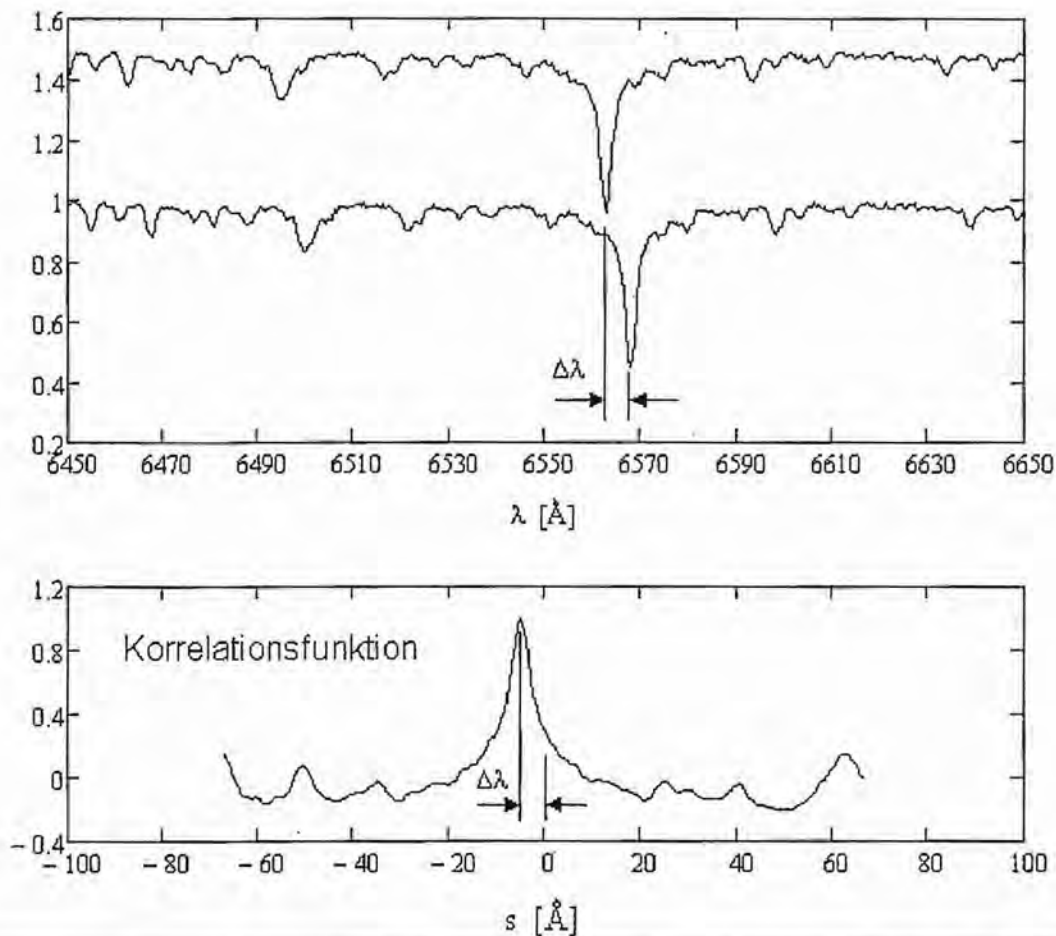


Abb. 1: Zwei Spektren mit einer Dopplerverschiebung von $5 \text{ \AA}$ (oben). Kreuzkorrelation der beiden Spektren (unten).

Die KK kann auch in einer normierten Form ausgeführt werden, so dass das Maximum von $c(s)$ den Wert 1 annimmt und mit abnehmender Korrelation gegen 0 geht:

$$c(s) = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})(B_{i-s} - \bar{B})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (B_{i-s} - \bar{B})^2}} \quad (4)$$

Hierin sind $\bar{A}$ und $\bar{B}$ die arithmetischen Mittelwerte der Intensitäten der Spektren im Korrelationsbereich. Eine weitere Möglichkeit der KK besteht in der Anwendung der diskreten Fouriertransformation. Wir ersetzen A_i und B_i durch die Fouriertransformierten $F(K)$ und $G(K)$. Die Korrelationsfunktion (3) lautet dann mit der komplex konjugierten $G(k)^*$ von $G(k)$:

$$c(k) = F(k) \cdot G(k)^* \quad (5)$$

Praktische Realisierung der KK

Die exakte Durchführung der KK ist aus mehreren Gründen etwas komplizierter als oben dargestellt. Wie eingangs schon erwähnt, ist die Dopplerverschiebung $\Delta\lambda$ wellenlängenabhängig, d.h. je langwelliger die Spektrallinien sind, desto größer sind auch ihre Dopplerverschiebungen. Da die KK aber ein linearer Vorgang ist, muss diese Abhängigkeit von der Wellenlänge beseitigt werden. Dies erreicht man durch Logarithmieren der Wellenlängen; man ersetzt also die Spektren $F(\lambda)$ durch $F(\ln\lambda)$. In einem weiteren Schritt wird durch Interpolation die neue Wellenlängenchse $\ln\lambda$ äquidistant unterteilt – die Stützstellen haben dann die gleichen Abstände. Dieser Vorgang wird auch als „resampling“ bezeichnet. Mit den so vorbereiteten Spektren kann dann die KK mit den Gleichungen 3 oder 4 durchgeführt werden. Die Korrelationsfunktion besitzt ein Maximum an der Stelle

$$\Delta s_{\max} = (v_{r,A} - v_{r,B}) \cdot c \quad (6)$$

Die gesuchte Radialgeschwindigkeit v_r des Spektrums A ist dann

$$v_{r,A} = c \left(\Delta s_{\max} - \frac{v_{r,B}}{c} \right) \quad (7)$$

$v_{r,B}$ - Radialgeschwindigkeit des Referenzspektrums

Will man eine bestimmte Genauigkeit der RV-Bestimmung erreichen, müssen die Abstände der Stützstellen entsprechend klein sein. Zum Beispiel darf die Schrittweite bei einer Auflösung von 1 km/s bei der H α -Linie 0,02 Å nicht überschreiten. Die Anzahl der Stützstellen steigt demzufolge mit zunehmender Genauigkeit und größer werdendem Spektralbereich so stark an, dass sich die Rechenzeit nicht mehr vernachlässigen lässt. Alternativ zu einer sehr großen Anzahl der Stützstellen kann das Maximum der KK-Funktion auch durch Anfitten einer Gaußfunktion oder durch nichtlineare Interpolation zwischen den Stützstellen bestimmt werden. Da die Korrelationsfunktion nicht streng symmetrisch sein muss, kann es allerdings bei der Anwendung der Gaußfunktion zu leichten Abweichungen kommen.

Abschließend möchte ich noch anmerken, dass ich durch die Anwendung der diskreten Fouriertransformation im Vergleich zur Anwendung der Formeln (3) oder (4) keine Verkürzung der Rechenzeit erzielen konnte.

Erste Ergebnisse der Radialgeschwindigkeitsmessungen von September 2006 bis Dezember 2007 an γ Cas

(von Roland Bücke, Hamburg)

1. Einführung

γ Cas ist der hellste Emissionslinienstern der Spektralklasse B an der nördlichen Hemisphäre. Obwohl dieser Stern seit einigen Jahrzehnten intensiv beobachtet wird, sind viele Fragen zum physikalischen Verständnis dieses komplexen Sternsystems nicht restlos geklärt. Das Langzeitmonitoring der zeitlich veränderlichen Emissionslinien, das durch Mitglieder unserer Fachgruppe durchgeführt wird, ist deshalb für die weitere Erforschung nicht zu unterschätzen. In diesem Aufsatz möchte ich erste Ergebnisse meiner Radialgeschwindigkeitsmessungen an der H α -Linie vorstellen, die bei einer Fortführung der Beobachtungen - vielleicht ebenso wie das Langzeitmonitoring - einen Beitrag zum Verständnis des Systems γ Cas können.

Als erste konnten Harmanec et. al. [1] 2000 eine Radialgeschwindigkeitsperiode von 203^d nachweisen, die auf die Existenz eines schon früher vermuteten Begleiters von γ Cas zurückzuführen ist. Bestätigt wurde dieses Ergebnis von Miroshnichenko et. al. [2] 2002. γ Cas ist also ein spektroskopischer Doppelstern mit nur einem Spektrum – das Spektrum der zweiten Komponente ist bisher nicht nachweisbar ebenso wie ihre Natur bis dato ungeklärt ist. Es könnte sich um ein kompaktes Objekt (Weißer Zwerg oder Neutronenstern), aber auch um einen „normalen“ Stern handeln. Die aus den bisherigen Beobachtungen durch Harmanec und Miroshnichenko abgeleiteten Bahnparameter stimmen gut überein, zeigen aber im Detail Differenzen (Tabelle 1), so dass für eine Präzisierung dieser Ephemeriden weitere Beobachtungen erforderlich sind.

2. Beobachtung und Datenreduktion

Die Spektren wurden mit einem Newtonsystem von 20cm Öffnung und einem via Lichtleiter angekoppelten Gitterspektrographen aufgenommen. Dispersion und spektrale Auflösung betragen 0,6 Å/Pixel bzw. 1,9 Å. Der Lichtleiter hat einen Kerndurchmesser von 200 μ m. Die gekühlte CCD-Kamera ist mit einem Linearsensor mit 2048 Pixeln ausgestattet. Die Integrationszeit der Aufnahmen lag überwiegend im Bereich von 150 bis 300 Sekunden. Jede Spektralaufnahme wurde von Ne-Kalibrierspektren flankiert. Da das S/N dieser Aufnahmen mit typischerweise 60 bis 90 für genaue Messungen zu gering ist, sind Wiederholungsaufnahmen erforderlich. Von den jeweiligen Beobachtungsbedingungen abhängig, liegen deshalb jeder Radialgeschwindigkeitsbestimmung 3 bis 11 Wiederholungsaufnahmen zugrunde. Diese Beobachtungstechnik hat bei der Radialgeschwindigkeitsbestimmung gegenüber der Langzeitintegration mehrere Vorteile: die Kalibriergenauigkeit erhöht sich, da zeitliche Instabilitäten durch zwischengeschaltete Kalibrierenaufnahmen einen geringeren Einfluss haben, eventuelle Ausreißer in den Messwertreihen erkannt werden und aus der Streuung Rückschlüsse auf die Zuverlässigkeit einer Messung gezogen werden können.

Die Bestimmung der Dopplerverschiebung kann im aufgenommenen Wellenlängenbereich von 6300 – 6700 Å nur an der H α -Linie erfolgen, da das Spektrum keine weiteren Linien ausreichender Stärke aufweist. Die Auflösung der Spektren ist für die Wiedergabe von Details im Profil der H α -Linie zu niedrig, so dass sich die Gaußfunktion zur Approximation an die Intensitätsverteilung und damit zur Wellenlängenbestimmung gut eignet (Abb. 1). Dies wird durch die geringe Streuung der Messwerte für die jeweilige Aufnahmeserie einer Beobachtung bestätigt, welche sich typischerweise im Bereich von 0,4 bis 0,8 km/s bewegt.

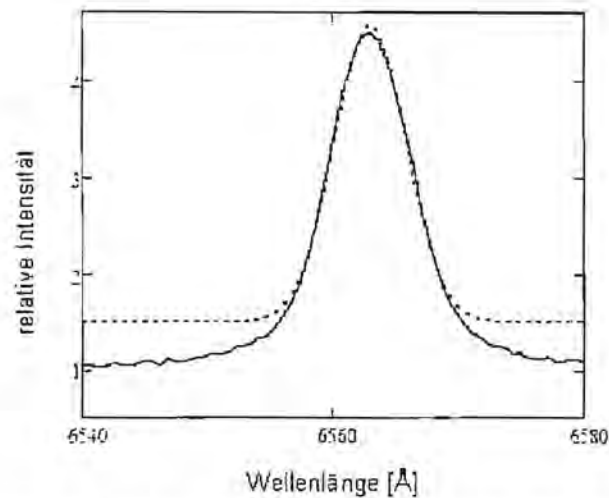


Abb. 1: Emissionslinie H α (durchgezogene Linie) mit Gaußfit (gepunktete Linie)

3. Ergebnisse

An die Messwerte wurde iterativ eine Radialgeschwindigkeitskurve, wie sie sich aus einer Keplerbahn ergibt, angefitet (Abb. 2). Die Abweichungen der Messwerte von dieser Kurve sind in Abb. 3 dargestellt. Die Regressionsgerade zeigt den langfristigen Trend der Radialgeschwindigkeiten im Beobachtungszeitraum. Dieser Trend ist auf Profiländerungen der H α -Linie zurückzuführen [2], die sich auf die Position der angefiteten Gaußfunktion auswirken. Nach Abzug dieses Trends, der für den ausgewerteten kurzen Zeitabschnitt durch eine Gerade gut wiedergegeben wird, erhält man durch erneute Anpassung der Radialgeschwindigkeitskurve (Abb. 4) die für den gegenwärtigen Stand der Beobachtungen wahrscheinlichsten Bahnparameter (Tab. 1). Das zugehörige Phasendiagramm zeigt die Abb. 5.

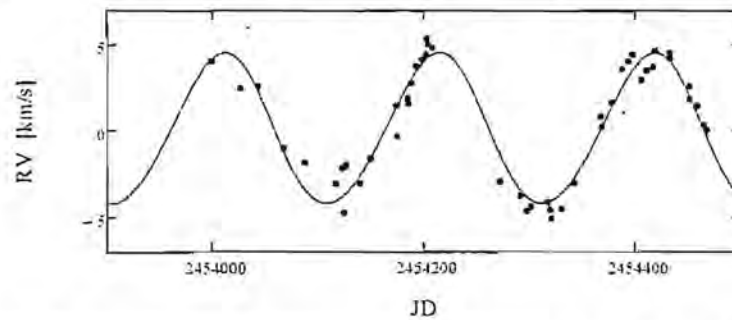


Abb. 2: Radialgeschwindigkeitsmesswerte mit Radialgeschwindigkeitskurve

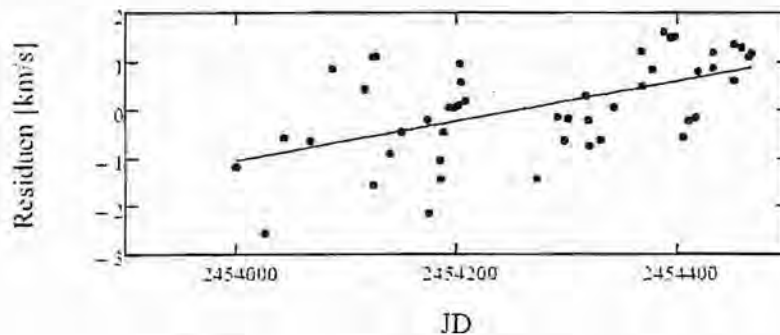


Abb. 3: Residuen der 1. Kurvenanpassung

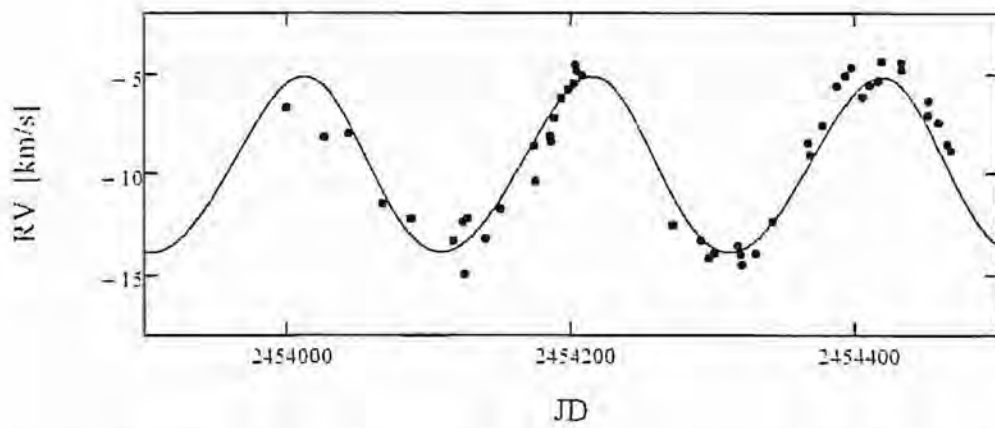


Abb. 4: Radialgeschwindigkeitsmesswerte nach Abzug des langfristigen Trends mit Radialgeschwindigkeitskurve

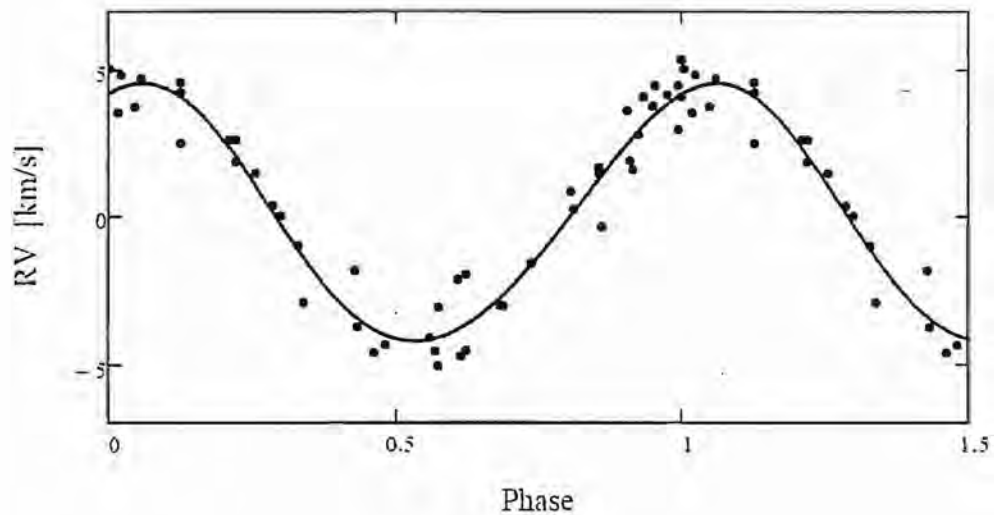


Abb. 5: Phasendiagramm

		1993-2000 [1]	1997-2002 [2]	2006-2007
P [Tage]		203.59 +/-0.29	205.50 +/-0.38	203.0
T_{per}		2450578.7 +/-4.2	...	2454237.30
T_{max}		...	2450541.2 +/-2.5	2454215.0
e		0.26	0.00	0.06
ω [°]	47.9 +/-8.0	...	45	
K_1 [km/s]	4.68 +/-0.25	3.80 +/-0.12	4.38	
rms [km/s]	1.455	0.936	0.824	
Anzahl Spekt.	272	162	48	

Tabelle 1: Bahnparameter aus [1] und [2] sowie aus den eigenen Messungen

4. Diskussion

Die Messgenauigkeit liegt mit einem RMS-Wert von 0,82 km/s auf dem selben Niveau wie in [2]. Obwohl die Standardabweichung des Mittelwertes der Wiederholungsmessungen wesentlich kleiner (typisch zwischen 0,1 und 0,3 km/s) ist und theoretisch eine genauere Kurvenanpassung erlauben sollte, scheint ein Limit erreicht zu sein, dass durch die kurzzeitigen Profiländerungen der H α -Linie vorgegeben ist.

Die Bahnparameter stimmen mit den Literaturwerten gut überein. Die moderaten Abweichungen sollten zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch keinen Anlass zu weiter führenden Aussagen geben. Dafür ist die Datenbasis noch zu schmal. Die vorliegenden Beobachtungsergebnisse geben aber Anlass zu der Hoffnung, dass die erzielte Messgenauigkeit ausreicht, um bei einer Fortführung der Kampagne zur Präzisierung der aktuell verfügbaren Bahnparameter beitragen zu können.

Literatur

- [1] Harmanec, P. et. al., Properties and nature of Be stars, XX. Binary nature and orbital elements of γ Cas, Astron. Astrophysics 364, L85-L88 (2000)
- [2] Miroshnichenko, A.S., Bjorkman, K.S., Krugov, V.D., Binary Nature and Long-Term Variations of γ Cassiopeiae, The Astronomical Society of the Pacific, 114:1226-1233, 2002

Ermittlung der Bahnelemente von Doppelsternen aus Radialgeschwindigkeitsmessungen

© Dr Lothar Schanne
Hohlstrasse 19, D-66333 Völklingen)

29. Januar 2008

1 Zusammenfassung

Es wird eine Methode zur Bestimmung von Bahnelementen von Doppelsternsystemen vorgestellt, die sich auf Radialgeschwindigkeitsmessungen stützt. Mangels ausreichender großer eigener Datensätze werden Messwerte an Mizar A von Fehrenbach (1961) verwendet. In diesem ersten Teil werden Schätzwerte für die Bahnelemente nach der Methode von Irwin berechnet.

2 Kurze Beschreibung des Doppelsternsystems Mizar A

Mizar wurde bereits 1650 von Riccioli als erster visueller Doppelstern beschrieben. Die beiden Komponenten A und B sind $14,4''$ voneinander entfernt und besitzen die Magnituden 2,4 und 4,0. Später war dieses Doppelsternsystem auch das erste, das fotografiert wurde (1857 durch G.P. Bond, Harvard). Und dann wurde die helle Komponente A (ein A2 Stern) auch noch der erste entdeckte spektroskopische Doppelstern (1889, Pickering). Er bemerkte im Spektrum des Sterns, dass sich die Linien regelmäßig mit einer Periode von 20,5 Tagen aufspalten und wieder zusammengehen. Später wurde dann festgestellt (1908, E.B. Frost), dass auch die Komponente B ein spektroskopischer Doppelstern ist ($P = 182,33$ d), wir es also insgesamt mit einem Fünffachsystem zu tun haben!

3 Die Beschreibung der Raumkurven der Komponenten von Doppelsternen durch Bahnelemente

Entsprechend den Keplerschen Gesetzen umlaufen die beiden Komponenten eines Doppelsterns ihren gemeinsamen Schwerpunkt auf elliptischen Bahnen, die in einer Ebene liegen. Zu jedem Zeitpunkt stehen sich die Komponenten genau gegenüber (auf einer Verbindungslinie durch den Schwerpunkt). Die Bahnebene liegt im Allgemeinen schräg zur Tangentialebene (= tangentielle Ebene an die Himmelskugel in der Sichtlinie des Beobachters). Die Verhältnisse sind in Abb. 1 schematisch veranschaulicht.

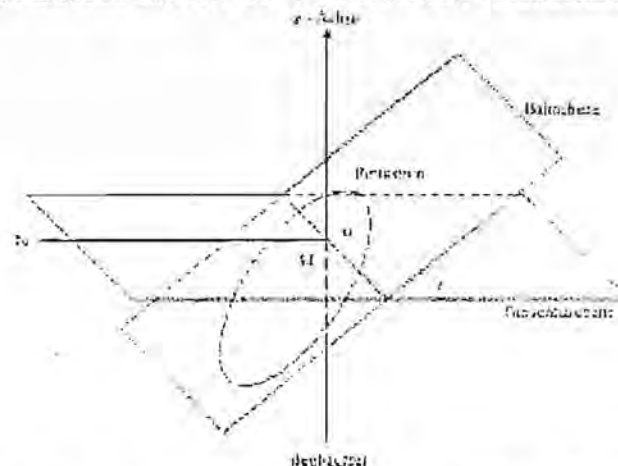


Abbildung 1 Definition der geometrischen Bahnelemente (aus Dissertation Schweickardt, Heidelberg 2000)

Die *Orientierung* der Bahn wird durch drei geometrische Bahnelemente eindeutig festgelegt (Abb. 1):

- i : Inklination (Winkel zwischen Bahnebene und Tangentialebene)
- ω : Periastronlänge (Winkel zwischen aufsteigendem Knoten und Periastron)
- Ω : Positionswinkel der Knotenlinie von Bahn- und Tangentialebene relativ zum Himmelsnordpol.

Um den Ort einer Komponente zu einem gegebenen Zeitpunkt berechnen zu können ist noch zusätzlich die Kenntnis der vier dynamischen Bahnelemente erforderlich:

- P : Bahnperiode (in Zeiteinheiten, meist Tage)
- e : Numerische Exzentrizität der Bahnellipse
- T_0 : Zeitpunkt eines Periastrondurchganges
- a : Große Halbachse der Ellipse

Radialgeschwindigkeitsmessungen zeigen lediglich die auf die Sichtlinie projizierten Bewegungen. Andererseits ergeben astrometrische Messungen die auf die Tangentialebene projizierten Geschwindigkeiten (als Zeitableitung von Koordinatenänderungen). Aus beiden können theoretisch die absoluten Bahnelemente ermittelt werden.

Eine mathematische Ableitung führt für die spektroskopisch messbaren Radialgeschwindigkeiten auf die folgenden Zusammenhänge¹:

$$v_{\text{rad}} = \gamma + K (e \cos \omega + \cos(\omega + v)) \quad (1)$$

mit

$$K = (2\pi/P) a \sin i / \sqrt{1-e^2} \quad (2)$$

Die messbare Radialgeschwindigkeit v_{rad} besteht aus zwei Komponenten: Die Systemgeschwindigkeit γ des Schwerpunkts und die aus der Orbitalbewegung resultierende Geschwindigkeit $K (e \cos \omega + \cos(\omega + v))$. K ist die halbe Radialgeschwindigkeitsamplitude, v ist die wahre Anomalie (der zeitabhängige Winkel vom Periastron bis zur Komponente, durchläuft in einer Periode 0 bis 360°).

Während bei kreisförmigen Bahnbewegungen die absolute Geschwindigkeit eines Objekts konstant bleibt - die messbare Radialgeschwindigkeit (= projizierte Geschwindigkeit auf die Sichtlinie) hat dann einen streng sinusförmigen symmetrischen Verlauf - werden bei elliptischen Bahnen die Zusammenhänge komplexer (transzendent).

In (1) ist nur die wahre Anomalie (v) zeitabhängig. Alle anderen Größen sind Konstanten. Die Zeitabhängigkeit von v lässt sich mit der exzentrischen Anomalie E und der transzendenten Keplerschen Gleichung darstellen:

$$\tan(E/2) = \sqrt{(1-e)/(1+e)} \tan(v/2) \quad (3)$$

$$E - e \sin E = (2\pi/P) (t - T_0) \quad (4)$$

Wegen der Transzendenz der Gl. (4) lassen sich die Bahnparameter über die Gleichungen (1) bis (4) nur iterativ an die Messwerte anpassen. In einer solchen Prozedur werden dann die Bahnparameter K_1 , e , ω , γ und T_0 ermittelt.

Wenn P unabhängig bestimmt wird, lässt sich mit (2) aus K_1 die Größe $a_1 \sin i$ berechnen, das ist die projizierte Halbachse der Bahnellipse (für die zweite Komponente $a_2 \sin i$ analog

¹ Die Zusammenhänge sind in dem Klassiker R.G. Aitken, *The Binary Stars*, 1935, bestens erläutert.

aus K_2). Die Inklination i und damit a_1 selbst sind aus spektroskopischen Messungen nicht zu berechnen.

4 Sichtung des Datenmaterials

Am Beispiel von Radialgeschwindigkeitsmessungen des spektroskopischen Doppelsterns Mizar A (Typ SB2) (Messwerte aus Fehrenbach 1961^{II}) wird die Ermittlung der Bahnelemente mit einer auch dem Amateur zugänglichen Methode (Irwin^{III}) beschrieben.

Datum [JD]	Radialgeschwindigkeit RV [km/s]	
	Primärkomponente	Sekundärkomponente
2437016.413	45.6	-54.1
2437030.480	21.3	-29.9
2437031.451	28.6	-40.5
2437032.490	32.1	-44.8
2437033.376	42.0	-50.3
2437035.448	54.1	-62.2
2437036.554	50.7	-63.2
2437037.500	21.5	-38.5
2437038.474	-48.6	33.8
2437039.523	-78.8	70.4
2437043.478	-38.7	31.8
2437044.460	-29.4	17.6
2437045.521	-20.4	10.3
2437103.527	-61.1	46.3
2437104.420	-50.7	34.1
2437121.358	-80.8	64.9
2437124.355	-60.6	40.8

Tabelle 1 Radialgeschwindigkeiten der Komponenten

Die gemessenen baryzentrischen Radialgeschwindigkeiten beider Komponenten sind in Tabelle 1 aufgeführt (Fehrenbach 1961).

Werden die Messwerte gegen das Datum aufgetragen ergibt sich Abb. 2.

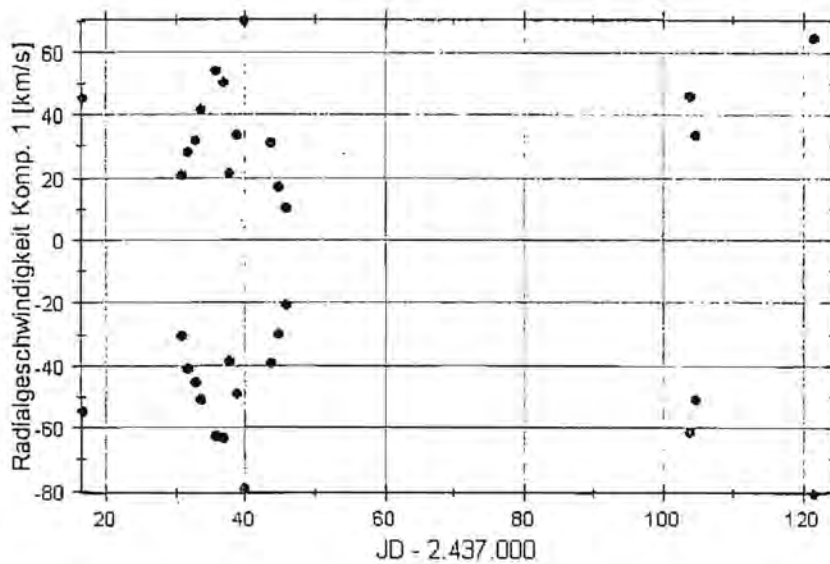


Abbildung 2 Auftragung der Radialgeschwindigkeiten (aus Fehrenbach 1961) gegen das Datum (blau = Primärkomponente, rot = Sekundärkomponente)

Allgemein sind in einem solchen Diagramm nur schwierig Periodizitäten zu erkennen. Erst wenn die Messwerte in einem Phasendiagramm angeordnet sind, wird die Regelmäßigkeit der Bahnbewegung deutlich. Dazu muß die Periode P als erstes Bahnelement ermittelt sein. Dann lassen sich alle Messwerte auf eine Periode reduzieren und im Phasendiagramm Abb. 3 ordnen².

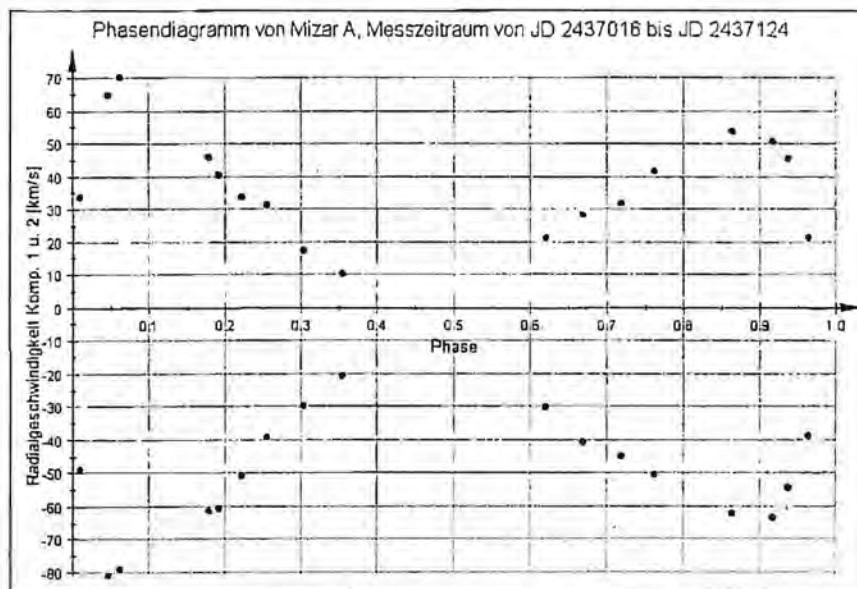


Abbildung 3 Phasendiagramm (blau : Primärkomponente, rot: Sekundärkomponente)

5 Unabhängige Ermittlung der Periode

Wie ermittelt man nun diese Periode P aus dem Datensatz?

Eine Möglichkeit ist die Anwendung der TSA (time series analysis = Zeitserienanalyse). Dafür ist beispielsweise das PC-Programm Peranso geeignet, das von Amateuren bei photometrischen Messungen zur Periodenbestimmung eingesetzt wird³.

² Für Abb. 3 wurde der Literaturwert $P = 20.5386$ d verwendet (Fehrenbach 1961).

³ <http://www.peranso.com/>

In den Abb. 4 und 5 werden die Periodenfenster für die RV beider Komponenten gezeigt.

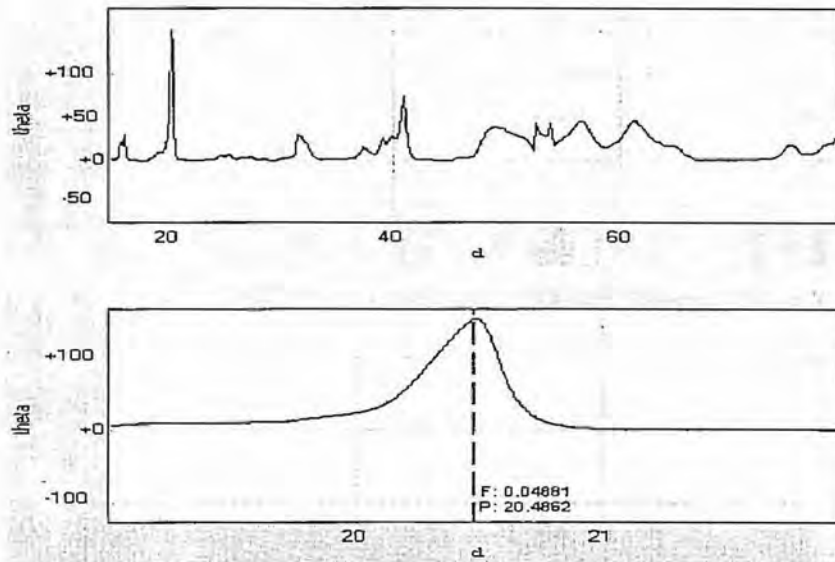


Abbildung 4 Periodenfenster Primärkomponente (Peranso, Methode ANOVA, 5harm.)

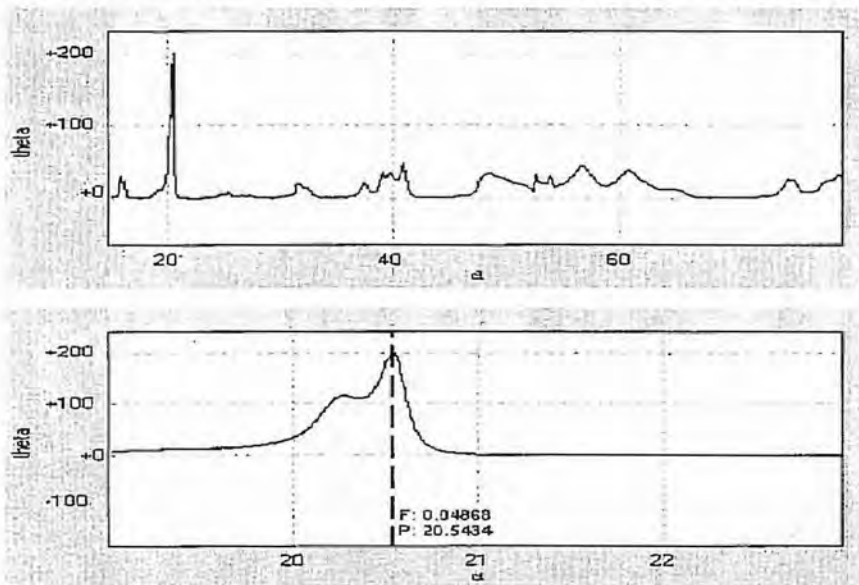


Abbildung 5 Periodenfenster Sekundärkomponente (Peranso, Methode ANOVA, 5 harm.)

Im jeweiligen Übersichtsfenster (obere Hälfte der Abb. 4 und 5), das die Perioden innerhalb 15 bis 80 d umfasst, ist ein Peak um 20 d dominierend. Wird die Analyse auf den Bereich um 20 d verfeinert ergeben sich die Perioden zu 20.4862 und 20.5434 d, im Mittel **20.5184 d**.

6 Ermittlung der Bahnelemente

Mit diesem vorläufigen Schätzwert für P lassen sich die Messdaten auf eine Periode reduzieren. Dazu werden die RV's aller Messwertpaare (RV, JD) umgerechnet:

$$rv = (t-T)/P - \text{trunc}((t-T)/P) \quad (5)$$

In (5) beutet `trunc()`, dass die Kommastellen abgeschnitten werden und die verbleibende Ganzzahl verwendet wird. Mit Gleichung (5) werden alle RV in reduzierte rv überführt, die in einer Phase von 0...1 liegen. Den Messwerten wird also eine normierte cyclische Zeitkoordinate zugeordnet. Für T wurde in beliebiger Weise der Zeitpunkt der ersten Messung (JD 2437016.413) verwendet. Allerdings muss für die Ermittlung des richtigen Phasendiagramms der Zeitpunkt des Periastrondurchgangs T_0 bekannt sein. Da T ersatzweise beliebig gewählt wurde, ergibt sich aus den rv nach (5) ein phasenverschobenes Phasendiagramm (Abb. 6), das aber seinen Zweck erfüllt: Die Schätzung weiterer Bahnparameter.

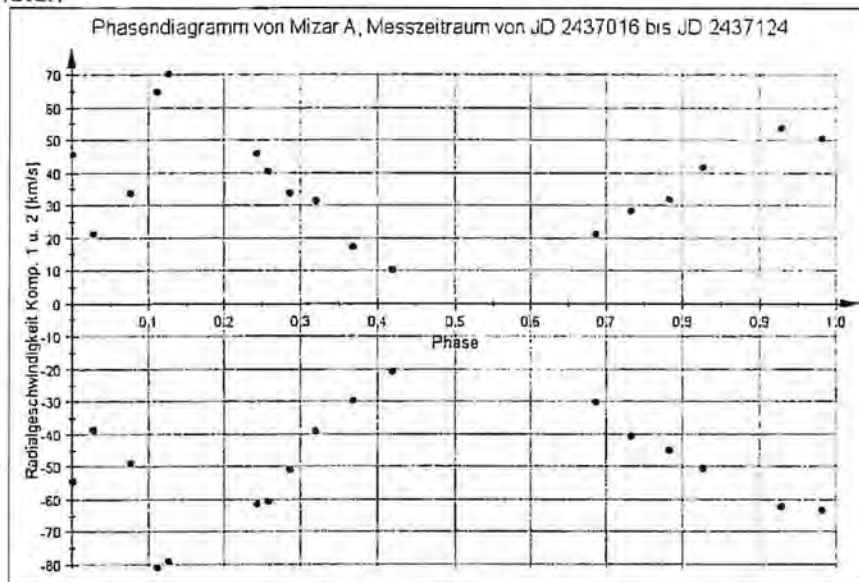


Abbildung 6 Phasenverschobenes Phasendiagramm (blau : Primärkomponente, rot: Sekundärkomponente)

Im Folgenden wird die Vorgehensweise nach Irwin (1952) verwendet, die den Vorteil hat, dass aus charakteristischen Punkten der rv -Kurven in Abb. 6 relativ einfach Schätzer für weitere Bahnelemente gewonnen werden können.

Aus Abb. 6 werden grafisch die maximale und die minimale Geschwindigkeit der Komponenten 1 (blau) und 2 (rot) abgeschätzt:

$$V_{1\max} = 54 \text{ km/s} \quad V_{1\min} = -80.5 \text{ km/s}$$

$$V_{2\max} = 70.5 \text{ km/s} \quad V_{2\min} = -63 \text{ km/s.}$$

Die mittleren Geschwindigkeiten V_{1m} und V_{2m} [km/s] betragen dann:

$$V_{1m} = 1/2 \cdot (V_{1\max} + V_{1\min}) = -13,25 \text{ km/s}$$

$$V_{2m} = 1/2 \cdot (V_{2\max} + V_{2\min}) = 3,75 \text{ km/s}$$

Dann berechnen sich die Konstanten K_1 und K_2 [km/s] zu

$$K_1 = V_{1\max} - V_{1m} = 67,25 \text{ km/s}$$

$$K_2 = V_{2\max} - V_{2m} = 66,75 \text{ km/s}$$

Alle rv 's der Komponenten werden jetzt auf die mittlere Geschwindigkeit V_{1m} bzw. V_{2m} bezogen und mit K_1 bzw. K_2 normiert (identisch $\cos(\omega + v)$ in Gl. (1)). Damit lässt sich ein neues „normiertes“ Phasendiagramm plotten (Abb. 7).

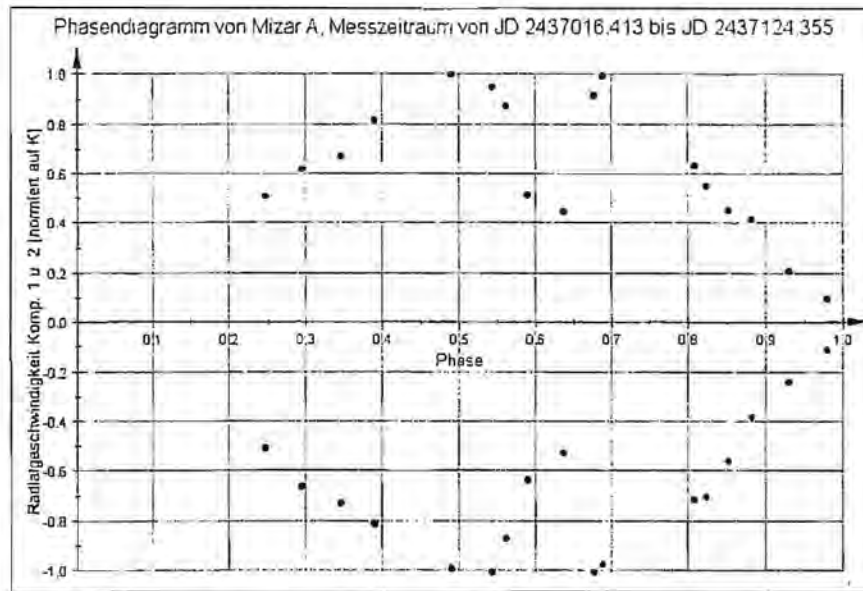


Abbildung 7 Normiertes Phasendiagramm

Bei der Methode nach Irwin werden bestimmte Werte aus der Abb. 7 entnommen: Die Maxima und Minima, die Nullstellen und die Werte bei der relativen $r_v = 0,7$. Mit den so ermittelten Phasen für diese r_v werden mittels vorausberechneter Wertetabellen Wertepaare (e, ω) erzeugt, die in einer Grafik aufgetragenen Schnittpunkte ergeben. Aus der Streuung der Schnittpunkte und einem gemitteltem Schnittpunkt aus den 3 bis 9 Kurven ergeben sich dann Schätzwerte für e und ω .

Die Phasen der charakteristischen Punkte⁴ in Abb. 7 betragen für die Primärkomponente $a = 0, b = 0,35, c = 0,48, d = 0,57, e = 0,61, f = 0,65, g = 0,67, h = 0,82, i = 1,02$. Daraus ergibt die graphische Auswertung nach der Methode Irwin die Schätzwerte für

$\omega_1 = 110 \pm 20^\circ$ und $e_1 = 0,48 \pm 0,035$

und für die Sekundärkomponente

$a=0,61, b=0,66, c=0,685, d=0,78, e=1,02, f=0,31, g=0,54, h=0,58, i=0,62$.

$\omega_2 = 285 \pm 10^\circ, e_2 = 0,50 \pm 0,05$.

Wegen der festen Phasenbeziehung $\omega_2 - \omega_1 = 180^\circ$ lassen sich beide ω zu einem verbesserten Wert mitteln:

$\omega_1 = 107,5^\circ \quad \omega_2 = 287,5^\circ$

Aus der Beziehung

$$y = V_m - K e \cos \omega$$

berechnet sich die Systemgeschwindigkeiten zu

$$y_1 = -3,54 \text{ km/s} \quad y_2 = -6,28 \text{ km/s}$$

Da es nur eine Systemgeschwindigkeit gibt, können sie zur Systemgeschwindigkeit y gemittelt werden:

$$y = -4,9 \text{ km/s.}$$

Die projizierten Halbachsen der Ellipsen berechnen sich zu

$$a_{1\text{ini}} = 13750 K_1 P \sqrt{(1-e_1^2)} = 16.644.509$$

$$a_{2\text{ini}} = 13750 K_2 P \sqrt{(1-e_2^2)} = 16.309.028$$

⁴ Das sind die Phasen der normierten r_v

0..0,7..10,7..0..-0,7..-1..0,7..0 Primärkomponente.

0..- 0,7..-1..-0,7..0..0,7..1..0,7..0 Sekundärkomponente

Aus den bisher ermittelten Größen lässt sich auch ein Zeitpunkt T_0 der Periastronpassage bestimmen. Dazu werden zuerst die Geschwindigkeiten V_P zu diesem Zeitpunkt nach der folgenden Beziehung berechnet:

$$V_P = V_m + K \cos \omega$$

Daraus resultieren $V_{P1} = -33,5 \text{ km/s}$ und $V_{P2} = 23,8 \text{ km/s}$. Laut Abb.2 ist dieses Wertepaar etwa für $JD = 38 + 2437000$ zu erwarten (Schätzwert).

Werden nun die Messwerte zusammen mit den aus den oben ermittelten Bahnelementen und $T_0 = 38 + 2437000$ berechneten Radialgeschwindigkeitskurven dargestellt, ergibt sich Abb. 8.

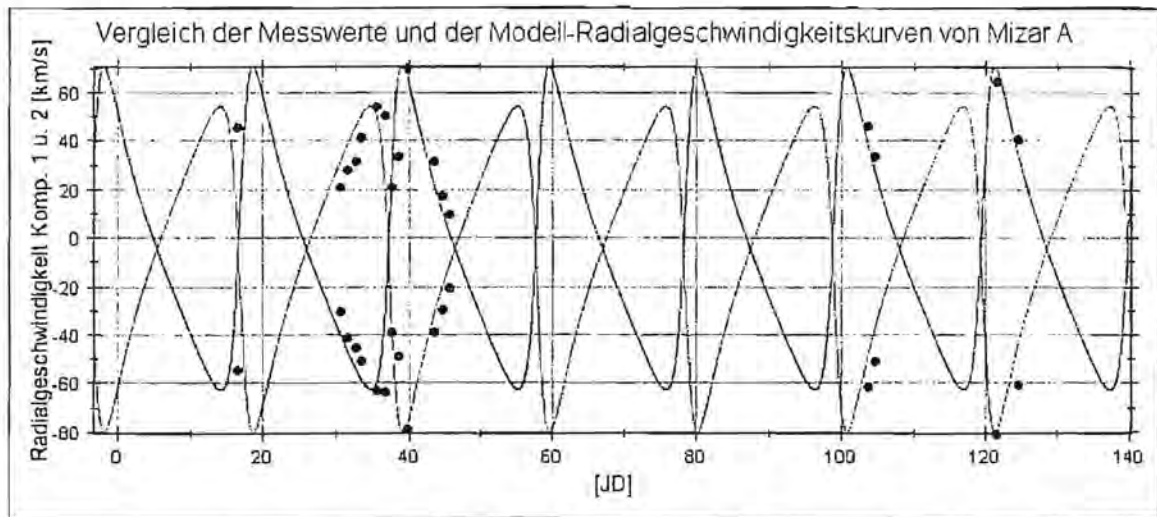


Abbildung 8 Vergleich der RV-Messwerte und der aus den ermittelten Bahnelementen berechneten RV-Kurven

Deutlich ist eine Horizontalverschiebung zu sehen, wobei allerdings der Verlauf der Messwerte gut wiedergegeben wird.

Durch Variation von T_0 von 38 auf 38,7 wird die Horizontalverschiebung behoben und die Kongruenz von Messwerten und berechneten Radialgeschwindigkeitskurven ist jetzt befriedigend (Abb. 9)⁵.

Damit ist ein vorläufiger Datensatz der Bahnelemente des Mizar A Systems aus den Messwerten von Fehrenbach bestimmt, der in einem weiteren Schritt durch Anwendung differentieller Korrekturen (least squares) noch verbessert werden kann. Dies ist umfänglich einem weiteren Artikel vorbehalten.

Die Tabelle 2 vergleicht die hier ermittelten Bahnelemente mit den genaueren aus der Literatur.

⁵ Für die Berechnungen wurde ein in MuPAD geschriebenes Arbeitsblatt entwickelt.

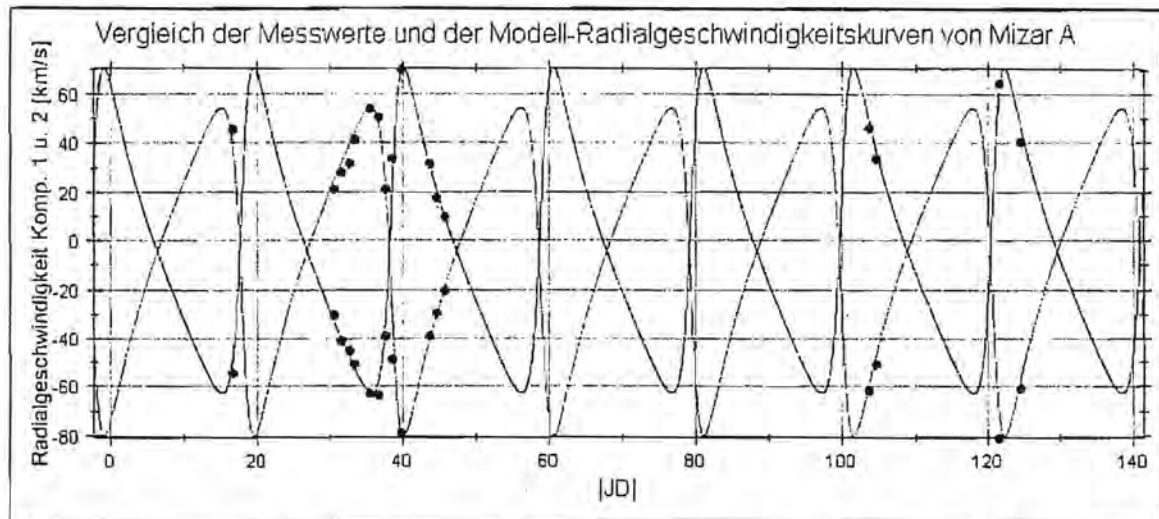


Abbildung 9 Vergleich der RV-Messwerte und der aus den ermittelten Bahnelementen berechneten RV-Kurven unter Verwendung eines verbesserten Zeitpunkts für die Periastronpassage ($T_0 = 2.437.028,7$ JD)

Tabelle 2 Vergleich der ermittelten Bahnelemente mit Literaturdaten

Bahnelement	Dieser Artikel	Fehrenbach 1961	Cesco 1946 ^{iv}	Hadley 1912 ⁶
Periode P [d]	20,5184	20,53860	20,53860 ± 0,00003	
Systemgeschwindigkeit γ [km/s]	-4,91	-5,64 ± 0,15	-6,39 ± 0,41	-7,22
K_1 [km/s]	67,25	68,80 ± 0,79	65,33 ± 0,88	71,65 ± ,69
K_2 [km/s]	66,75	67,70 ± 0,91	66,99 ± 0,88	69,21 ± 0,56
e	0,49	0,537 ± 0,04	0,541 ± 0,006	0,53248 ± 0,00530
ω_1 [°]	107,5	104,16 ± 1,15	103,29 ± 1,13	105°35',9 ± 1°33',8
T [JD]	2437038,7	2436997,212 ± 0,022	2431636,591 ± 0,032	
$a_1 \sin i$ [km]	16,6*10 ⁶	16,5 *10 ⁶	15,3*10 ⁶	17,31*10 ⁶
$a_2 \sin i$ [km]	16,3*10 ⁶	16,2 *10 ⁶	15,7*10 ⁶	16,39*10 ⁶

Herrn Roland Bücke sei für die zahlreichen Diskussionen und die freundschaftliche Zusammenarbeit gedankt, die mir den Einstieg in dieses für Amateure schwierige Thema wesentlich erleichtert haben.

Literatur

- ⁱ Vgl. beispielsweise Burnhams Celestial Handbook, Vol III, S. 1953 ff
ⁱⁱ C. Fehrenbach, L. Prevot, Publ. Obs. Haute Provence, 5, 26, 83 ff (1961)
ⁱⁱⁱ John B. Irwin, ApJ 116, 218-226 (1952)
^{iv} Carlo U. Cesco, ApJ 104, 287- 290 (1946)

⁶ In IV zu finden (Tab. 3).

Impressionen zum Einführungskurs „Astrospektroskopie“ in der Starkenburg-Sternwarte Heppenheim am 16.2.08

(von Urs Flükiger, Ersingen, Schweiz)

Gegen 4.30 Uhr reisst mich der Radiowecker mit fetziger Musik aus einem astronomisch tiefen Schlaf. Pünktlich zur vereinbarten Zeit von 5.30 Uhr trifft Hugo Kalbermatten, von Bitsch kommend, mit dem von ihm in Wohlen abgeholten Peter Schlatter bei mir in Ersingen ein und wir starten umgehend in Richtung Heppenheim an der Bergstrasse, zwischen Heidelberg und Darmstadt.

Die Fachgruppe Spektroskopie des VdS führt dort unter der Leitung des Vorsitzenden - Ernst Pollmann - einen Einführungskurs in Astrospektrografie durch und geniesst für diesen Anlass Gastrecht in der Sternwarte Starkenburg in Heppenheim. Obwohl mir Peter Schlatter in seiner Funktion als Vorsitzender der Astronomischen Gesellschaft Bern bereits bekannt ist, sehe ich ihn heute das erste Mal und es gibt viel zu diskutieren über Beruf, Astronomie, Gott und die Welt und die gut dreistündige Fahrt vergeht wie im Fluge.

Auch astronomisch kommen wir auf die Kosten. Kurz vor Karlsruhe steigt Jupiter, darauf Venus und schliesslich die Sonne hinter dem Horizont auf. Peter Schlatter und ich können uns als Beifahrer diesem Schauspiel - das in einem farbenprächtigen Himmel statt findet - voll widmen, während Hugo Kalbermatten souverän das Fahrzeug in Richtung Heppenheim steuern muss. Etwas nach 8.30 Uhr kommen wir in unserem Zielort an. Zuerst fahren wir die Starkenburgstrasse hoch zur Sternwarte und da wir diese noch geschlossen vorfinden, suchen wir uns in Heppenheim eine Möglichkeit, um die verbleibende Zeit mit bei einem Kaffee zu verbringen. Beim Bahnhof finden wir nach längerer Suche einen geöffneten Imbiss.

Eine Stunde später nehmen wir den kurzen Weg zur Sternwarte wiederum unter die Räder und schreiten die letzten paar Meter vom Parkplatz zur Sternwarte hinauf. Ein bissig kalter Wind weht uns um die Ohren und wir sind für die warmen Jacken dankbar. Wir "Ausländer" werden von Ernst Pollmann, Lothar Schanne und all den anderen Anwesenden herzlich begrüsst. Hugo Kalbermatten kennt die meisten der Anwesenden aus der Fachgruppe bereits von früheren Anlässen; ich einen Teil der Gesichter von den Avatars im Forum Spektroskopie.

Bei der Planung des Kurses ist anfänglich von ungefähr zehn Personen ausgegangen worden; gekommen sind schliesslich über zwanzig Interessierte. Ein klarer Hinweis auf die grosse Nachfrage eines solchen Anlasses! Es wird eng im Schulungsraum der Sternwarte. Nach der Begrüssung durch Ernst Pollmann beginnt Günter Gebhard mit seiner Präsentation. Er zeigt uns die Möglichkeiten, die Geräte, die Verarbeitung und die Auswertung bezüglich der Astrospektroskopie auf. Seine kompetente und humorvolle Art macht diese allgemein eher trockene Materie zu einem würzigen Genuss. Vielen Dank an Günter Gebhard.

Nach einer mir sehr kurz erscheinenden Zeit gibt's eine Kaffeepause, die Peter Schlatter und ich für eine von Matthias Busch (vom Verein der Sternwarte Starkenburg) geführte Besichtigung der Sternwarte nutzen. Neben den tollen Geräten lernen wir auch Etliches aus der Geschichte und über die Arbeiten der Sternwarte - Schwerpunkt Kleinplaneten - kennen.

Apropos: Im Vorfeld hat mir Peter Geffert (Schriftführer der Sternwarte Starkenburg) eine Urkunde des Asteroiden „Eliane“ anfertigen lassen, die ich als Souvenir "meiner" Eliane mitbringen möchte. Ich gelte diese Arbeit mit einer Spende an den Sternwartenverein ab.

Nach der Kaffeepause übernimmt Lothar Schanne das Publikum. Bis zur Mittagspause stellt er seinen selbstgebauten Spektrografen und seine Sternwarte vor und zeigt die Erstellung von Spektrografien auf. Die Fragen der Teilnehmer sind so vielfältig wie interessant und die Zeit vergeht viel zu rasch; so dass Günter Gebhard - offensichtlich geplagt durch einen Hohlraum im Bauch – Lothar Schanne auf den Stand der Uhrzeiger aufmerksam machen muss.

Gegen 13 Uhr wandert unsere illustre Gruppe zum Restaurant "Starkenburg" hoch. Hier lerne ich anhand eines Tischnachbarn die für mich schwer verständliche schwäbische Sprache „in Reinkultur“ kennen, was aber der gegenseitigen Sympathie überhaupt keinen Abbruch tut. Nach der Stärkung wandern wir wiederum zur Sternwarte zurück und Peter Geffert erzählt mir Historisches über die Starkenburg und den Stolz der Mitglieder der Starkenburg- Sternwarte über die von ihnen entdeckten Kleinplaneten.

Lothar Schanne zeigt uns am Nachmittag wie die aufgenommenen Spektren weiter bearbeitet werden können. Zuerst die "spaltlosen" Aufnahmen mit der Linux- Software MIDAS / OPA und nach einer kurzen Kaffee- und Kuchenpause die "Spaltaufnahmen" - für mich und Peter Schlatter hinsichtlich des bestellten DADOS- Spektrografen interessant - mit den Programmen ASTROART, IRIS und VISUALSPEC.

Nach 16 Uhr verabschieden sich die ersten Teilnehmer. In einer allgemeinen Diskussion beschliessen wir, dass uns Lothar Schanne per Email Rohspektren zukommen lässt, damit wir diese als Übung bearbeiten können. Im Forum wird ein zusätzlicher Ordner "Heppenheim" eröffnet werden, wo auftauchende Fragen und Schwierigkeiten besprochen werden können.

Es ist vorgesehen, im kommenden Herbst einen ergänzenden Kurs durchzuführen, in dem eigene oder auch fremde Spektren bearbeitet und spezifische Probleme diskutiert werden.

Gegen 17 Uhr steht noch eine Besichtigung der Sternwarte Starkenburg an. Da Peter Schlatter und ich diese bereits am Vormittag unter der Führung von Matthias Busch absolvieren konnten und Hugo Kalbermatten diese bereits von früheren Besuchen her kennt, beschliessen wir, die Heimreise ins Auge zu fassen. Ich bin sicher, nicht das letzte Mal an einem Anlass dieser kompetenten und kameradschaftlichen Gruppe teilgenommen zu haben. Ich verabschiede und bedanke mich besonders bei Ernst Pollmann und Lothar Schanne für ihr ausserordentliches Engagement (Günter Gebhard hat uns bereits vor einer Stunde verlassen) und freue mich auf ein Wiedersehen. Infolge des anstehenden Rückreiseverkehrs befürchteten wir einige Verkehrsbehinderungen, die sich glücklicherweise nicht einstellen und so können wir zügig in Richtung eines herrlichen Sonnenuntergangs - mit satten, spektrografischen Farben - und hochstehendem Halbmond fahren und kommen kurz vor 21 Uhr in Ersigen an. An dieser Stelle auch vielen Dank an Hugo Kalbermatten für seine kompetente Dienstleistung als Taxifahrer.