

Spektroskopische Beobachtungen an Beta Persei (Algol)

Jörg Schirmer

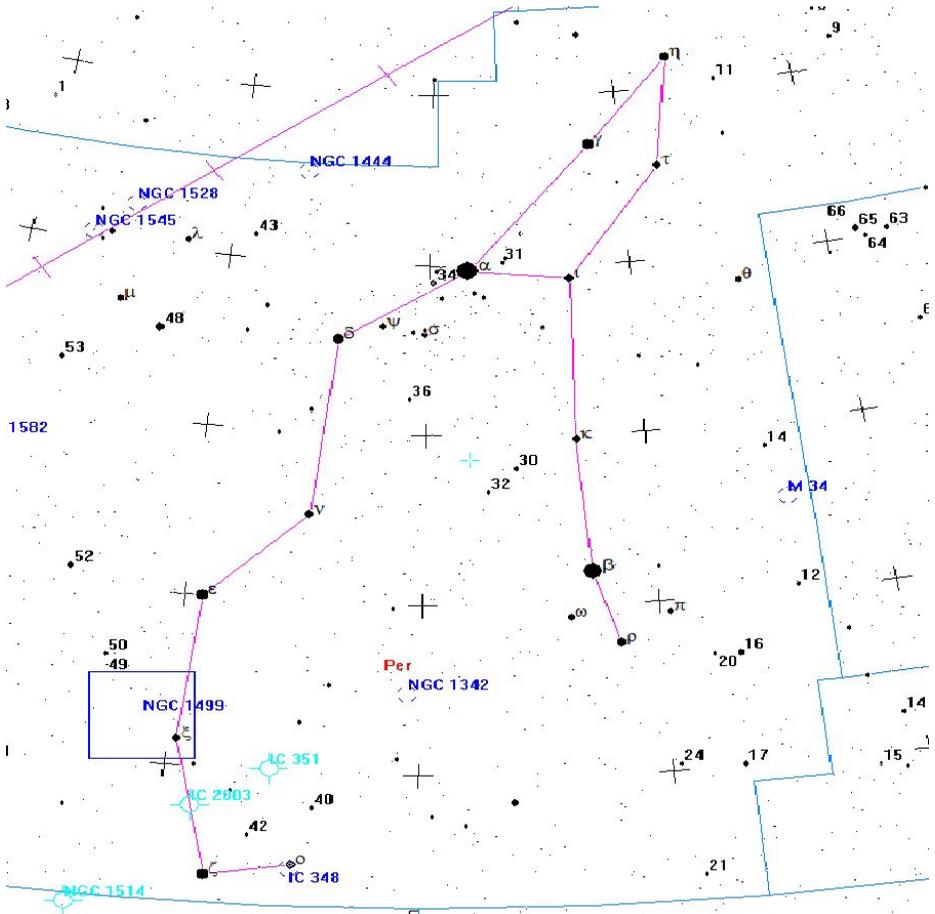


Abb. 1: Übersichtskarte Sternbild Perseus mit Algol (β Per), erstellt mit Guide

Eigene Motivation

Während meines Programms „Spektroskopischer Nachweis des interstellaren Natriums“ bin ich auch auf Algol gestoßen. Wegen unklarer Na-Linien habe ich später erneute Aufnahmen durchgeführt. Dabei fiel mir die unterschiedliche Lage der Helium-Linie (5875.62 Å) sowie die stark veränderte Form der Na-D-Linien auf. Das brachte mich auf die Idee, den Umlauf mit meinen Mitteln spektroskopisch zu dokumentieren. Insgesamt hat es sich dann zu dem im folgenden Dargestellten ausgeweitet.

Einleitung

Die Entdeckung der Helligkeitsänderungen werden Geminiano Montanari (1667/1669) zugeschrieben. Es ist jedoch davon auszugehen, dass bereits den griechischen und arabischen Astronomen sowie nach neuerer Forschung auch den ägyptischen Astronomen der mit dem bloßen Auge zu erkennende Lichtwechsel aufgefallen war. Die Periode wurde erstmalig von John Goodricke im Jahr 1783 bestimmt. Er vermutete das Verdecken durch einen großen Körper oder eine ungleichmäßige Oberfläche mit Flecken, ähnlich denen auf der Sonne. In einem Brief von John Michell an Henry Cavendish im Juli 1783 wurde ebenfalls die Erklärung mit zwei unterschiedlichen Sternen erwähnt. 1889 gelang es Hermann Carl Vogel in Potsdam, aus Verschiebungen der Fraunhoferschen Linien im Spektrum des Algol nachzuweisen, dass dieser einen dunklen Begleiter hat und dass sich beide um einen gemeinsamen Schwerpunkt bewegen [8]. Das zeigen auch diese beiden Aufnahmen mit meinem Spektrografen.

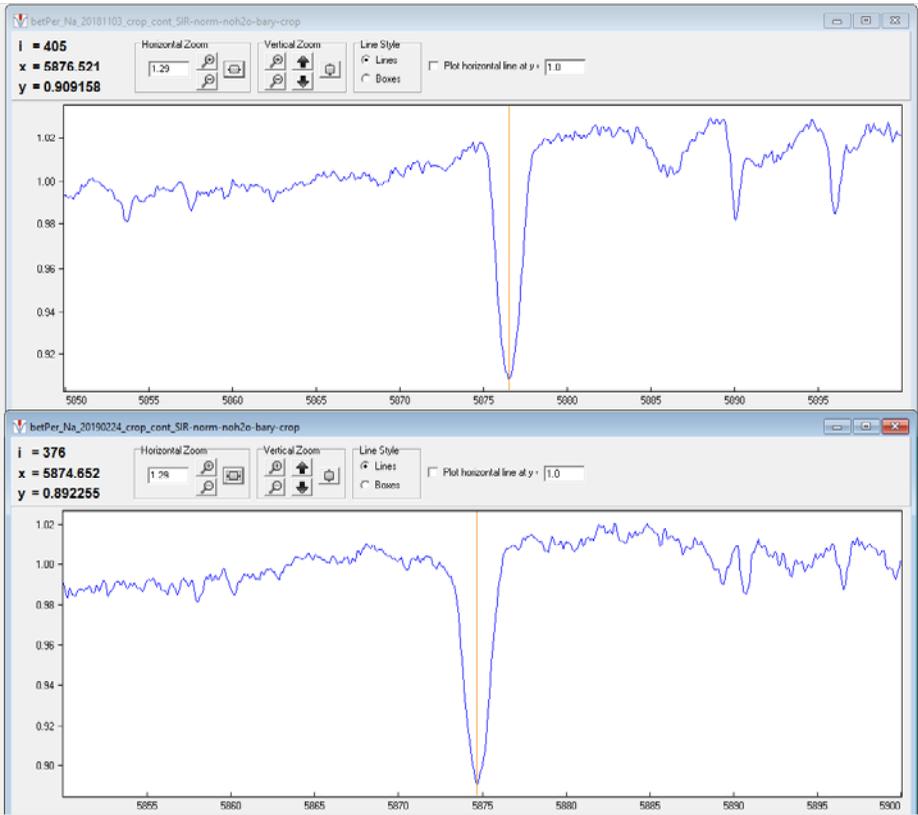


Abb. 2: Spektren von Algol (HeliumI-Linie bei 5875.62 Å), Jörg Schirmer

Warum dunkler Begleiter? Mit der damaligen Aufnahmetechnik konnte man noch nicht die schwachen Spektrallinien nachweisen, die sich genau gegenläufig zur Hel-Linie bewegen.

Nach heutigem Kenntnisstand besteht das enge, innere Paar aus einem späten B8-Stern (3,39 Sonnenmassen, $T_{\text{eff}} = 12550 \text{ K}$), der sich mit einem frühen K-Unterriesen (0,77 Sonnenmassen, $T_{\text{eff}} = 4900 \text{ K}$), der sein Roche-Volumen ausfüllt, um den gemeinsamen Schwerpunkt dreht. Dabei kommt es alle 2,867315 Tage zu einer partiellen Verfinsterung (2,1 mag \rightarrow 3,4 mag) des B8-Sterns durch den viel schwächeren K-Stern. Die dritte Komponente, ein später A-Stern (A_m) oder früher F-Stern (1,58 Sonnenmassen, $T_{\text{eff}} = 7550 \text{ K}$), umrundet das innere Paar in 680,168 Tagen. Dieser steuert die Na-D-Linien und andere bei. Eine 32-jährige Variation wird auf Apsidendrehung zurückgeführt [11].

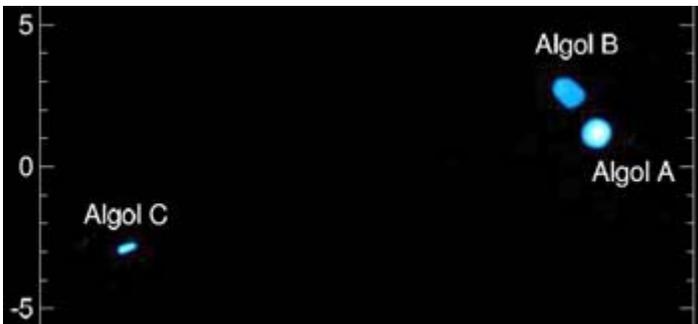


Abb. 3: Das System Algol in einer Abbildung von F. Baron et al. [10]

Beobachtung und Daten-Reduktion



Abb. 4: Geräteaufbau von Jörg Schirmer

Teleskop: C9, d = 235 mm, f = 2350 mm.

Spektrograf: LHiResIII, Gitter 2400 L/mm, Spalt 35 μm , Gitterstellung 5840 \AA - 5910 \AA , Auflösung 10500.

Kamera: SBIG ST8XME, 9 μm Pixel.

Aufnahmen: je Spektrum 3 x 600s; Dunkelstromabzug, Normierung, Kontinuumsausgleich, Entfernung tellurischer Linien, baryzentrische Korrektur.

Programme: ISIS; SpectroTools.

Folgende Linien wurden ausgemessen:

CaI (5857,45 \AA), HeliumI (5875.62 \AA), NaI D2 (5889,95 \AA), NaI D1 (5895,92 \AA).

36 Beobachtungen in 25 Nächten.

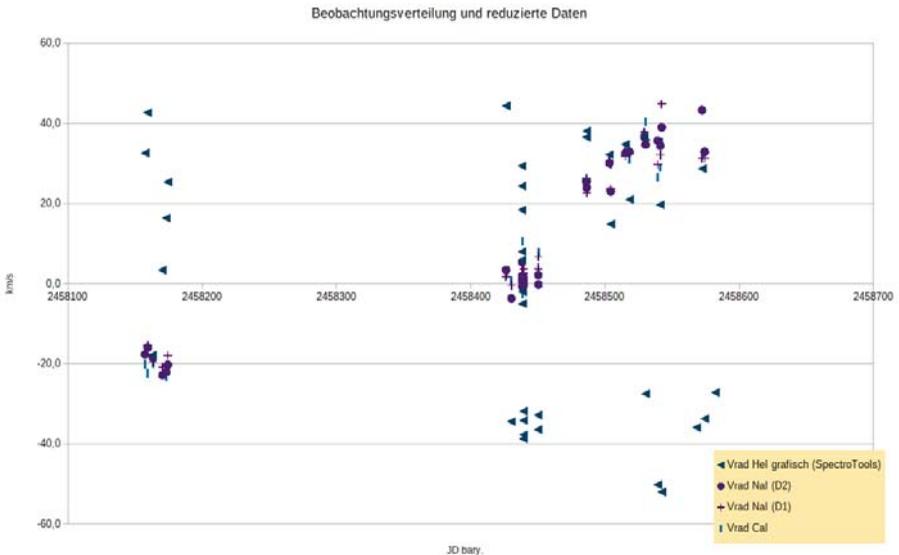


Abb. 5: Verteilung der Beobachtungen

Nun gilt es in diese Daten eine Ordnung hineinzubringen

Achtung: Die Daten sind bereits um die allgemeine Radialgeschwindigkeit des Systems von 4 km/s korrigiert. Die Trendlinien sind jeweils ein Polynom 3. Grades.

Zunächst habe ich die bekannte Periode von $P = 2,867315$ d auf alle Daten angewendet. P könnte auch anhand der gefundenen Radialgeschwindigkeiten mit einem Periodensuchprogramm selbst ermittelt werden (Abb. 6).

Die zu Hel gehörenden Punkte lassen eine Konturierung erahnen, während die anderen Datenpunkte keine merkbare Ordnung zeigen. Zur Verdeutlichung wende ich eine Trendlinie für Hel an (Abb. 7).

Mit der für diese Periode recht ordentlichen Datendichte, kann man dieser Kurve schon vertrauen. Auf Grund der Spektralklasse B8, kann ich die Hel-Linie eindeutig

Algol A zuordnen. Damit schätze ich die Radialgeschwindigkeit von Algol A auf 40 km/s.

Wegen des Umlaufs mit Algol C um einen gemeinsamen Schwerpunkt, verändern sich die beobachteten Radialgeschwindigkeiten der HeI-Linie bei gleicher Phase allmählich. Das ist mit einer der Gründe, warum die Datenpunkte so streuen.

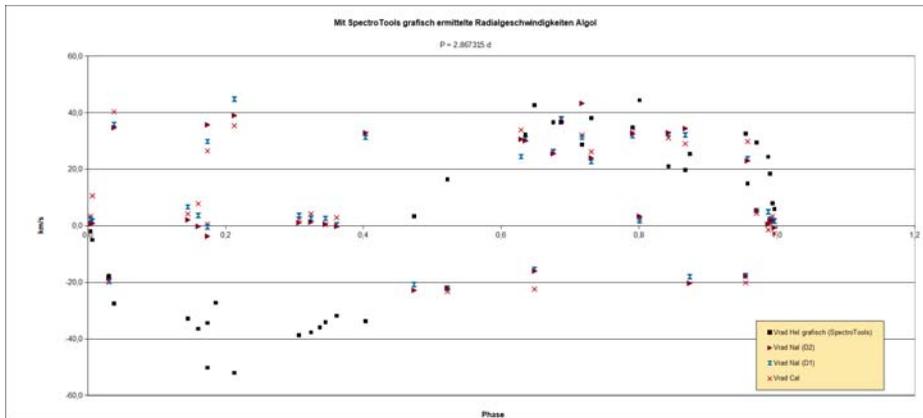


Abb. 6: Datenfaltung über die Periode von Algol

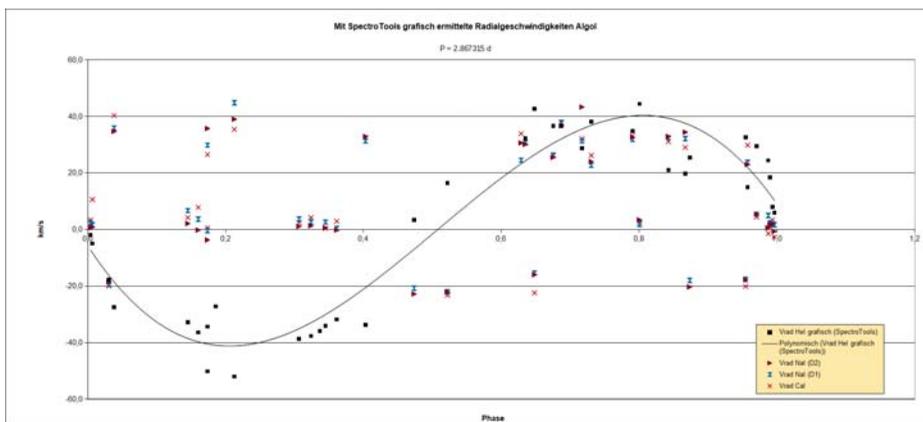


Abb. 7: Daten von Algol mit Trendlinie

Zur Absicherung habe ich drei unterschiedliche Auswertungsmethoden verwendet. Diese zeigen zwar geringe Unterschiede, bewegen sich aber unterhalb des zu erwartenden Fehlers. Möglicherweise wird das erst bei höherer Datendichte interessant.

Damit wäre also der Versuch, den Umlauf im Algol-System spektroskopisch zu dokumentieren, gelungen und an dieser Stelle könnte Schluss sein. Aber es gibt noch einige auffällige Linien im Spektrum, die ich nicht unkommentiert lassen möchte.

Abb

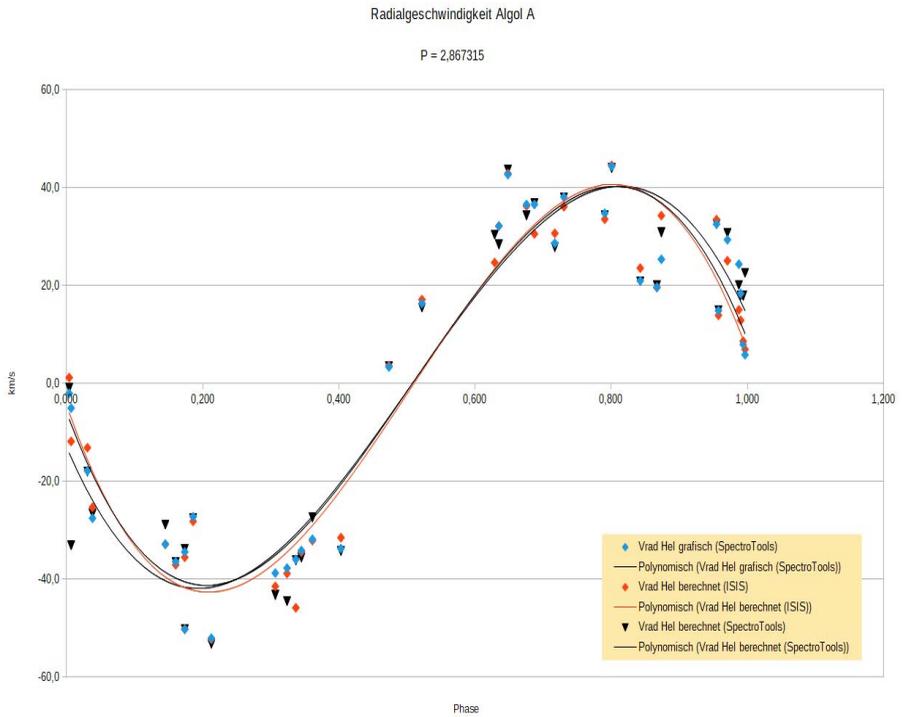


Abb. 8: Ergebnisse der unterschiedlichen Auswertverfahren

Zu den weiteren Linien im Spektrum

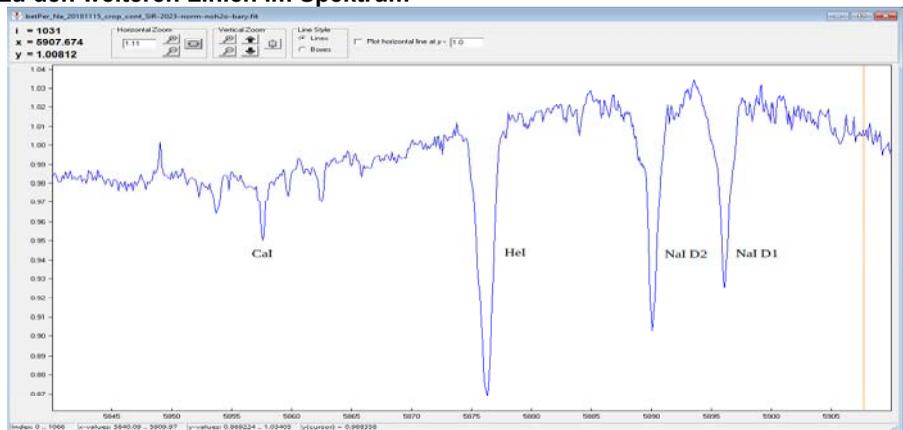


Abb. 9: Spektrum von Algor (5840-5910 Å)

Das auffällige Na-Dublett bei 5890 Å und 5896 Å hat seinen Ursprung nicht in Algol A:
 a) Die Spektralklasse B8 hat nicht so prominente Na-D-Linien.
 b) Die Radialgeschwindigkeiten dieser Linien ändern sich unabhängig von Algol A.

Die Linien gehören auch nicht zum Interstellaren Medium (IM):

- a) IM-Linien haben eine viel geringere FWHM und sind zumeist tiefer.
 - b) Algol ist mit 90 Lj. zu nah. Unser Sonnensystem befindet sich in einer etwa 150 Lj. großen nahezu Na-freien Blase.
 - c) Vrad ändert sich auf kurzer Zeitskala. Dies ist beim IM nicht der Fall.
- Damit müssen die Linien zum Algol-System gehören, und zwar in diesem Fall zu Algol C. Zur Kontrolle habe ich auch die Cal-Linie gemessen, die ebenfalls zu Algol C gehört.

Nunmehr habe ich die bekannte Periode $P = 680,168$ d für Algol A/B – C auf alle Daten angewendet. Diese Periode konnte ich wegen der Kürze des Beobachtungszeitraumes noch nicht selbst ermitteln.

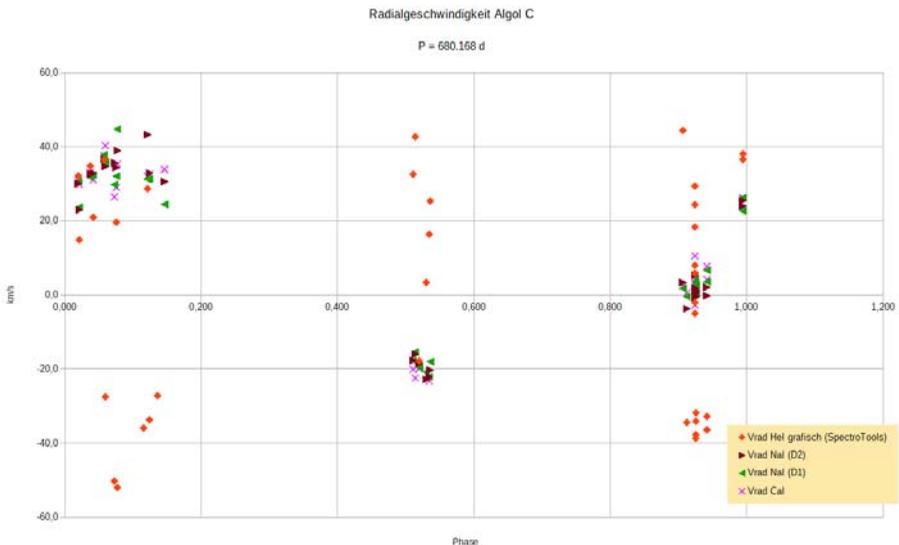


Abb. 10: Datenfaltung der Periode Algol A/B - C

Die dadurch entstandene Grafik ist noch nicht besonders aussagekräftig. Daher lasse ich die Trendkurve für NaI-D2, NaI-D1 und CaI rechnen (Abb. 11).

Der Zusammenhang zwischen den Daten wird nun deutlich sichtbar. Vorsicht, dies ist wegen der großen Beobachtungslücken noch nicht die endgültige Trendkurve. Ich schätze damit aber die Radialgeschwindigkeit von Algol C sehr zurückhaltend auf 32 km/s.

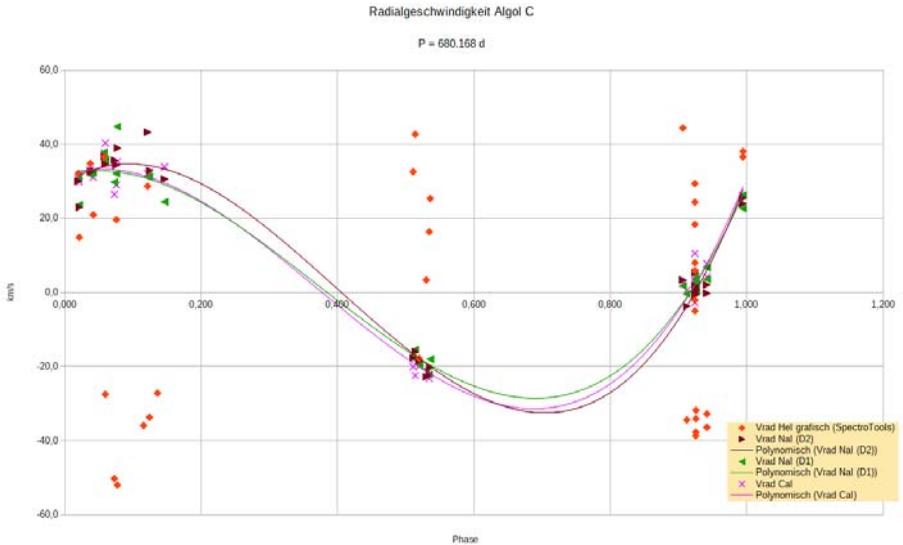


Abb. 11: Trendlinie der Natrium- und Calciumlinie

Erstaunlicher Weise macht mit dieser Periode auch eine zweite Trendkurve für Hel einen Sinn.

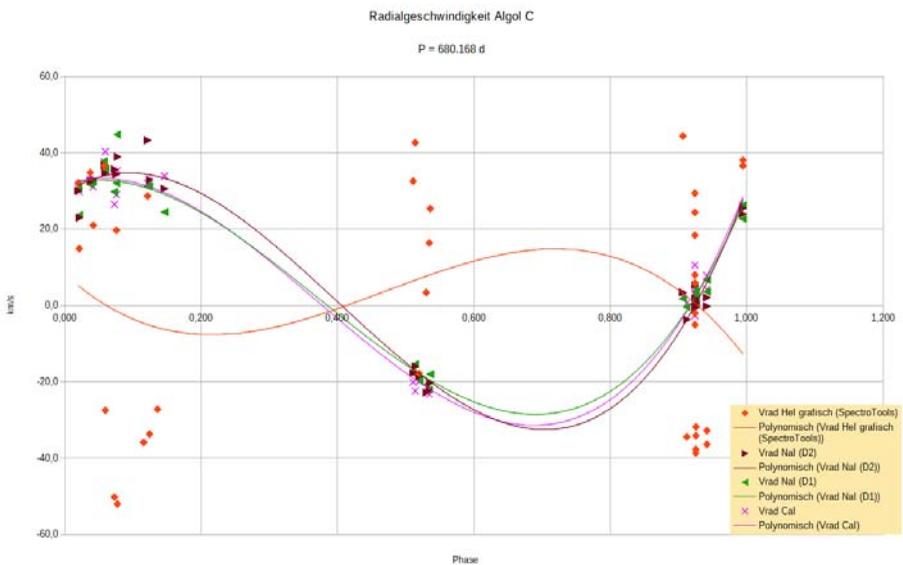


Abb. 12: wie Abb. 11, zusätzlich Trendlinie des Heliums

Diese zweite Trendkurve von Hel zeigt die Radialgeschwindigkeit des inneren Systems um den gemeinsamen Schwerpunkt mit Komponente C. Mit den gleichen Einschränkungen wie eben erwähnt schätze ich die Radialgeschwindigkeit von Algol A/B grob auf 10 km/s.

Berechnungen

Mit den gemessenen Radialgeschwindigkeiten und der bekannten Periode von 680,168 d lässt sich die Gesamtmasse von Algol A/B - C nach dem 3. Keplerschen Gesetz bestimmen. Dafür habe ich der Einfachheit halber Kreisbahnen angenommen.

$$m_1 + m_2 = \frac{a^3}{p^2}$$

- m in Sonnenmassen
- a in AE (zusammengesetzt aus a1: A/B → S und a2: C → S)
- p in Jahren

Aus der Periode und der Radialgeschwindigkeit wird zunächst die Länge der Umlaufbahn um den Schwerpunkt S und daraus der Bahnradius gerechnet, jeweils für A/B und C getrennt. Mit der obigen Formel ergibt sich dann die Gesamtmasse des Systems.

Eigenes Ergebnis: 5,22 Sonnenmassen
 Literatur: 5,74 Sonnenmassen

Weiters lässt sich das Massenverhältnis m_{AB}/m_C ermitteln und daraus sogleich die Einzelmassen. Für Algol A/B erhalte ich natürlich erst einmal wieder nur die Gesamtmasse.

$$\frac{m_1(A/B)}{m_2(C)} = \frac{a_2(C-S)}{a_1(A/B-S)}$$

Eigenes Ergebnis: m₁/m₂: 3,20
 A/B = 3,98 Sonnenmassen
 C = 1,24 Sonnenmassen

Literatur: m₁/m₂: 2,63
 A/B = 4,16 Sonnenmassen
 C = 1,58 Sonnenmassen

Im weiteren Verlauf des Literaturstudiums stieß ich auf einen Aufsatz von Tomkin u. Lambert [9] über den erstmaligen Nachweis von Linien der Komponente B. Dabei handelt es sich um flache und sehr breite Na-D-Linien, die sich gerade einmal etwa 2 % in das Kontinuum einsenken, und demnach nur schwer von verschiedenen Störeinflüssen zu unterscheiden sind. Sie sind im Bereich der Phase 0,716 u. 0,306 noch am besten nachweisbar, in anderen Phasenabschnitten teilweise gar nicht. Gerade über diese Aufnahmen hatte ich mich zunächst schwer geärgert, weil ich sie für misslungen hielt (Abb. 13).

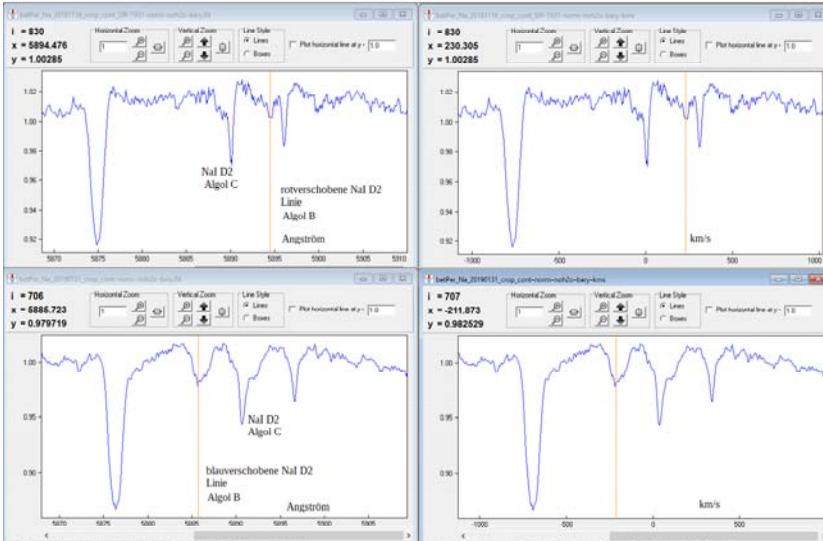


Abb. 13: Spektrallinien von Algal B

Die senkrechten gelben Linien zeigen jeweils die verschobene Na I D2-Linie von Algal B an. Aus den wenigen erhaltenen Daten habe ich die Radialgeschwindigkeit von Algal B auf 200 km/s geschätzt.

Mit der gleichen Prozedur wie oben lässt sich nunmehr die Gesamtmasse von Algal A/B bestimmen.

Der Abstand a setzt sich in diesem Fall aus $a_1: A \rightarrow S$ und $a_2: B \rightarrow S$ zusammen. Für die Umlaufzeit wird $P = 2,867315$ d verwendet.

Eigenes Ergebnis: 4,11 Sonnenmassen
 Literatur: 4,16 Sonnenmassen

Auch hier ermittele ich das Massenverhältnis m_A/m_B und damit wiederum die Einzelmassen.

$$\frac{m_1(A)}{m_2(B)} = \frac{a_2(B-S)}{a_1(A-S)}$$

Eigenes Ergebnis: $m_1/m_2: 5,00$
 $A = 3,43$ Sonnenmassen
 $B = 0,68$ Sonnenmassen

Literatur: $m_1/m_2: 4,40$
 $A = 3,39$ Sonnenmassen
 $B = 0,77$ Sonnenmassen

Welche Informationen lassen sich der Hel-Linie noch entlocken?

a) Rotation Algol A:

Die Qualität der Aufnahmen lässt allerdings keine genaue Bestimmung des Übergangs der Linienflügel der Hel-Linie in das Kontinuum zu. Somit komme ich auf eine Rotationsgeschwindigkeit von etwa 70 km/s für Algol A. Der Literaturwert beträgt 51 km/s.

b) Abschätzung des Helligkeitsunterschieds von Algol A zu Algol C und des Bedeckungsgrades von Algol A/B mittels EW-Veränderung der Hel-Linie während der Bedeckung (Rechengang nach [4]).

$$r = \frac{A}{A_0} = \frac{a(1+\gamma)}{a+\gamma} \quad (1)$$

A ist die Äquivalentbreite (EW) der Hel-Linie während der Bedeckung.

A_0 ist die EW der Hel-Linie außerhalb der Bedeckung.

a ist das Restlicht während der Bedeckung im Verhältnis zum Gesamtlicht.

$$\gamma = \frac{L_b + L_c}{L_a} \quad (2)$$

L_a, L_b, L_c sind die Helligkeiten der Systemkomponenten.

A und a verändern sich mit der Phase. Aus der Lichtkurve bekommen wir die Veränderung der Helligkeit mit der Phase.

$$\Delta m = -2.5 \lg\left(\frac{a+\gamma}{1+\gamma}\right) \quad (3)$$

Durch Kombination von (2) und (3) erhalten wir

$$a = r10^{-0.4\Delta m} \quad (4) \quad \text{und} \quad \gamma = \frac{(1-r)10^{-0.4\Delta m}}{1-10^{-0.4\Delta m}} \quad (5)$$

Su-Shu Huang ermittelt damit $\gamma = 0,183$. Das entspricht einem Helligkeitsunterschied von 1.82 mag für die Komponente C zum Licht der Hauptkomponente, wenn man davon ausgeht, dass B nicht signifikant zur Gesamthelligkeit beiträgt. In der Tat sind die Lichtanteile im V-Band folgendermaßen aufgeteilt: Algol A = 89 %, Algol B = 3 %, Algol C = 8 %.

Den Durchschnitt der Werte für a errechnet Su-Shu Huang zu 0.21 und leitet daraus ab, dass 79 % des Lichtes von Komponente A verdunkelt werden.

Eigene Werte: $\gamma = 0,19$; $a = 0,35$

Die Ermittlung der EW von Hel ist im Hauptminimum wegen des geringeren Lichts von Algol A und der damit einhergehenden Anfälligkeit der Linie für Störeinflüsse mit einem größeren Fehler behaftet. Dies wirkt sich besonders bei kleinem Δm stärker aus.

Die zu dieser Berechnung notwendigen Helligkeitswerte für Algol während der Bedeckung wurden mir dankenswerterweise von Wolfgang Vollmann (BAV) zur Verfügung gestellt.

c) Das Datenmaterial hält aber noch eine interessante Überraschung, die Hel-Linie betreffend, bereit. So zeigt sich am 27.02.2019 bei Phase 0,213 des Algol A/B-Paares der erste Ansatz einer zweiten, aber blauverschobenen Hel-Linie.

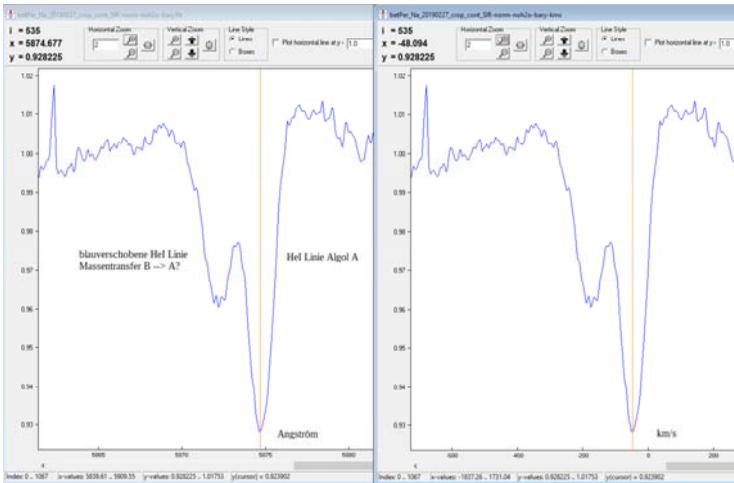


Abb. 14: blauverschobene Hel-Linie bei Algol

Andererseits erkennt man am 20.02.2018 bei Phase 0,473 des Algol A/B-Paares eine komplette zweite, nunmehr rotverschobene Hel-Linie.

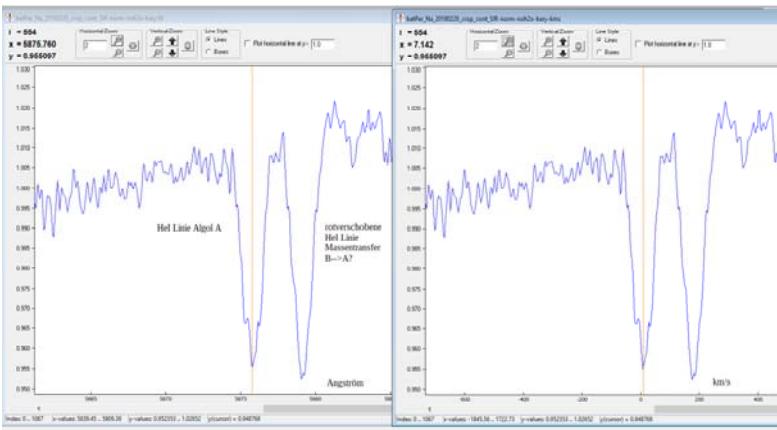


Abb. 15: rotverschobene Hel-Linie bei Algol

Bereits in älteren und auch neueren Veröffentlichungen wird die Verdoppelung einiger Wasserstofflinien und diverser He-Linien sowie das Auftauchen von Emissionslinien erwähnt. Dort wird dieses Verhalten als Hinweis auf einen Massentransfer von Algol B nach Algol A gedeutet.

Schlussbemerkung

Insgesamt ist das für den verwendeten Apparateaufbau ein erfreuliches Ergebnis. Ich habe den 35- μ m-Spalt verwendet, weil die Hauptbeobachtung ja dem interstellaren Natrium galt und ich dort inzwischen O- und B-Sterne der 5. und 6. Magnitude als Sonden verwende. Da habe ich für Algol nicht extra umgebaut. Die Genauigkeit ließe sich bei Verwendung des 15- μ m-Spalts jedoch steigern. In dem verwendeten Wellenlängenbereich käme ich dann auf eine Auflösung von 18800. Allerdings kommt dann auch erheblich weniger Licht durch den Spalt und die Belichtungszeit kann nicht beliebig gesteigert werden, da sich die Phase bereits bei 30 Minuten Belichtungszeit um rund 0,003 Phasenteile verschiebt und sich im Bereich des Hauptminimums die Helligkeit auch noch zeitlich schnell ändert. Damit wären einige Berechnungen nicht mehr genau genug durchführbar.

Die Wellenlängenkalibration wird durch die Positioniergenauigkeit der Kalibrierlampe beeinflusst. Bei diesem Spektrografen kann nicht garantiert werden, dass diese Position jeweils hundertprozentig reproduziert werden kann. In gleicher Richtung arbeitet die Tatsache, dass das Amateurgerät nicht steif genug konstruiert ist und zusätzlich einen merkbaren Temperaturgang aufweist. Hier könnte man über eine Lichtleiterverbindung und Unterbringung des Gerätes in einem temperierten Gehäuse nachdenken. Allerdings wäre die optische Transmission dann noch geringer als beim 15- μ m-Spalt und würde dadurch die Belichtungszeit verlängern. Bei Sternsystemen mit relativ kurzen Perioden steht damit kein Gewinn ins Haus.

In der nächsten Beobachtungssaison hoffe ich, die Datengrundlage für Algol C verbessern zu können. Gleichwohl bleibt zunächst die Sommerlücke und der Umstand, dass ich wegen Abschattung durch Bäume und Häuser auch die Wintersaison nicht bis zum Ende nutzen kann. Demnach wird mir der Stern noch einige Jahre Freude bereiten.

Verwendete Literatur

[1] Astrophys. J., 125, 359-371 (1957)

A spectroscopic investigation of Algol.
MELTZER A.S.

[2] Publ. Astron. Soc. Pac., 69, 265 (1957)

On the third body in the system of Algol.
STRUVE O. and SAHADE J.

[3] Astrophys. J., 125, 689-691 (1957)

The spectrum of beta Persei during the primary eclipse.
STRUVE O. and SAHADE J.

[4] Astrophys. J., 126, 51-52 (1957)

Variation of He I lines in the Algol system during primary eclipse.

HUANG S.S.

[5] Publ. Astron. Soc. Pac., 69, 41-45 (1957)

Spectrographic observations of Algol.

STRUVE O. and SAHADE J.

[6] Sov. Astron., 11, 585 (1967)

Behavior of the Call K line in the spectrum of Algol.

WALTZ I.E. and GLUSHNEVA I.N.

[7] Astrophys. J., 168, 443-460 (1971)

A spectroscopic study of Algol.

HILL G., BARNES J.V., HUTCHINGS J.B. and PEARCE J.A.

[8] Hallwag Verlag (1976)

Panoptikum der Sterne

Max Waldmeier

[9] Astrophys. J., 222, L119-L122 (1978)

Detection of the secondary of Algol.

TOMKIN J. and LAMBERT D.L.

[10] Astrophys. J., 752, 20 (2012/June-2)

Imaging the Algol triple system in the H band with the CHARA interferometer.

BARON F., MONNIER J.D., PEDRETTI E., ZHAO M., SCHAEFER G., PARKS R.,
CHE X., THUREAU N., TEN BRUMMELAAR T.A., McALISTER H.A., et al.

[11] Mon. Not. R. Astron. Soc., 451, 4150-4161 (2015/August-3)

Spectroscopically resolving the Algol triple system.

KOLBAS V., PAVLOVSKI K., SOUTHWORTH J., LEE C.-U., LEE D.-J., LEE J.W., KIM
S.-L., KIM H.-I., SMALLEY B. and TKACHENKO A.

Danksagung

This research has made use of the SIMBAD database, operated at CDS, Strasbourg, France.

Diesem Artikel liegt ein Vortrag in Hartha 2019 zugrunde, der in Zukunft auch auf der Website der BAV als Präsentation vorliegen wird.

Jörg Schirmer, Im Sande 46a, 21698 Harsefeld, joerg.schirmer@ewe.net