



Bernd Hanisch,  
**Beobachtung von Radialgeschwindigkeiten mit  
Amateurmitteln am Beispiel von P Cygni**

Artikel erschienen im  
Journal für Astronomie Nr. 7,  
Vereinszeitschrift der [Vereinigung der Sternfreunde e.V. \(VdS\)](#).

Bereitgestellt durch die [VdS-Fachgruppe Spektroskopie](#).

Referenz:  
B. Hanisch, VdS-Journal Nr. 7 (2001) 68f

# Beobachtung von Radialgeschwindigkeiten mit Amateurmitteln am Beispiel von P Cygni

von Bernd Hanisch

Es wird über den Versuch berichtet, mit Hilfe einer einfachen spektroskopischen Amateurausrüstung den radialen Anteil der Expansionsgeschwindigkeit der Hülle von P Cygni anhand einzelner Wasserstoff- und Heliumlinien zu bestimmen.

## Allgemeines zu P Cygni

P Cygni ist seit seiner Entdeckung am 18. August 1600 ein in mehrfacher Hinsicht auffälliger Stern. Zum einen konnte man schon bei rein visueller Beobachtung in der Vergangenheit bemerkenswerte Helligkeits- und Farbänderungen feststellen. Während die visuelle Helligkeit im 17. bis Mitte des 18. Jahrhunderts irregulär zwischen der 3. und 6. Größenklasse variierte, ist seit etwa 200 Jahren ein kontinuierlicher Helligkeitsanstieg von etwa 5,2 auf 4,8 mag mit geringfügigen Schwankungen von  $\Delta m = 0,2$  mag zu verzeichnen. Eben-

falls wird von einer langsamen Entzündung des Sternes über ein anfangs rötliches und ein später gelblich-weißes bis zum heutigen bläulich-weißen Erscheinungsbild berichtet [1].

Als etwa vor 110 Jahren die ersten Spektren des Sterns aufgenommen wurden, erkannte man bei fast allen Linien ein zunächst völlig ungewöhnliches Profil: breite, nicht verschobene Emissionslinien mit scharfen, blauverschobenen Absorptionen. Diese Erscheinung wird bis heute als „P Cygni-Linienprofil“ bezeichnet. Die Erklärung dieses ungewöhnlichen Phänomens erfolgte erst in neuerer Zeit durch Lamers et. al., [1] nachdem aufgrund weiterer spektroskopischer Beobachtungen die Ableitung der Zustandsgrößen und damit verbunden die Lokalisierung des Sterns im HRD möglich war. Es ergaben sich für den etwa 6.000 Lichtjahre entfernten B1a-Stern als Effektivtemperatur  $T_{\text{eff}} =$

( $19300 \pm 2000$ ) K, als Radius (bezogen auf die Sonne  $\otimes R^*/R_{\otimes} = 76 \pm 14$ , die Leuchtkraft  $\log(L^*/L_{\otimes}) = 5,86 \pm 0,3$  und die Masse  $M^*/M_{\otimes} = 23...40 \pm 4$ .

Man nimmt an, daß sich P Cygni nach Verlassen der Hauptreihe in einer sehr instabilen Phase befindet, die durch einen starken Strahlungsdruck verursacht wird. Dabei kommt es zur Kontraktion des Kerns und zum Verlust großer Teile seiner Masse durch eine expandierende Hülle. Dabei ist davon auszugehen, daß die Emissionen in einem stationären Hüllenteil entstehen und die blauverschobenen Absorptionen einer expandierenden, äußeren Hüllenkrona zuzuordnen sind. Die Expansionsgeschwindigkeit der Hülle steigt von heißen inneren zu kühleren äußeren Hüllenschichten. Dies ist spektroskopisch durch die Beobachtung von Teilchen in verschiedenen Ionisationsgraden möglich. Die Größe des radialen, d. h. in die Sichtlinie des Beobachters fallenden, Anteils an der Expansion wird durch die gemessene Blauverschiebung der Absorptionskomponente durch Kenntnis des Dopplereffektes bestimmt.

Unlängst wurde durch Stahl et. al. [2, 3] bei einer Langzeitüberwachung der spektroskopischen Parameter Radialgeschwindigkeit und Stärke der Emissionslinien auch deren zeitliche Variabilität festgestellt. Erstaunlicherweise konnte dabei jedoch eine Korrelation in der Variation spektroskopischer und photometrischer Parameter nicht nachgewiesen werden [3].

Linie	Emission $\lambda_E/\text{\AA}$ (nach [4])	Absorption $\lambda_A/\text{\AA}$ (blauverschoben)	$\Delta\lambda = \lambda_E - \lambda_A/\text{\AA}$	$v_{\text{rad}}/\text{km/s}$
He I	4471,48	4468,32	3,16	- 212
H $\chi$	4340,47	4337,72	2,75	- 190
H $\delta$	4101,74	4099,06	2,68	- 196
He I	4026,19	4024,00	2,19	- 163
H $\epsilon$	3970,07	3967,32	2,75	- 208
H 8	3889,06	3886,47	2,59	- 200
H 9	3835,40	3832,57	2,83	- 221

Tabelle 1:

Meßwerte und daraus bestimmte Radialgeschwindigkeiten für die auswertbaren Spektrallinien des Beispielspektrums von P Cygni

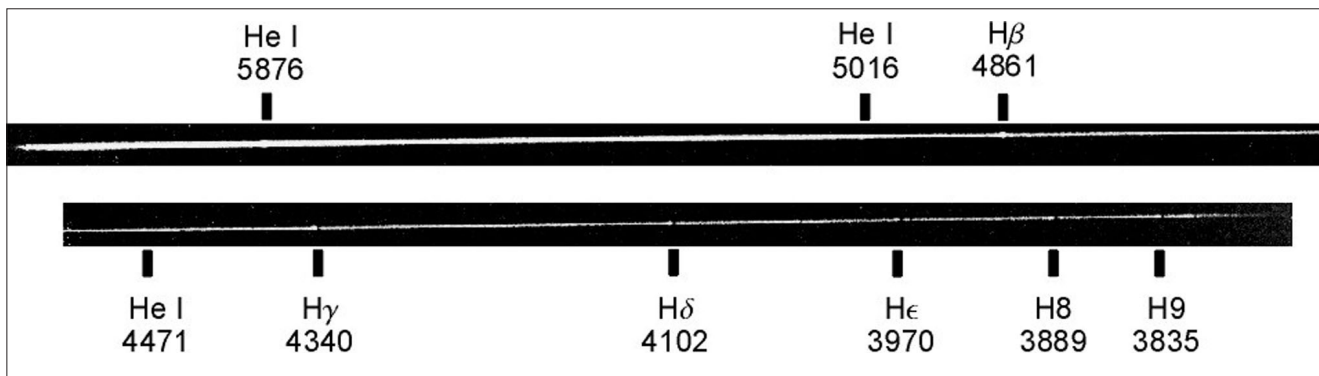
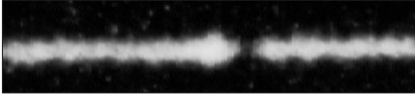


Abb. 1:

Spektrum von P Cygni vom 24.7.1995, 10 min. auf KODAK T-MAX 3200, Details zur Aufnahme im Text



**Abb. 2:**  
Detailvergrößerung des Spektrums um die Wasserstofflinie H $\delta$ . Der helle Knoten ist die spektral nicht verschobene Emissionskomponente, rechts davon (blauverschoben) die Absorptionskomponente. Beide sind gut getrennt und damit auswertbar

### Spektrenaufnahme und -bearbeitung

Die Aufnahme der Spektren zur Ermittlung der Radialgeschwindigkeit von P Cygni erfolgte mit einem auf einer I $\beta$ -Montierung angebrachten Zeiss-Meniscas 180/1800 mm mit vorgesetztem Objektivprisma (110 mm x 110 mm Kantenlänge, 45° brechender Winkel, Bor-Kron (BK) 2 - Glas). Als fotografische Emulsion diente KODAK T-MAX 3200. Die Belichtungszeit des nahezu unverbreiterten Spektrums betrug unter diesen Bedingungen etwa 10 min. Dabei kam es bei der Spektrenaufnahme auf das Vermeiden jeglicher Nachführabweichungen in Dispersionsrichtung an, welche ein Verschmieren der Linienprofile bewirkt hätten. Bei einer Spektrumslänge auf dem Negativ von 32 mm ergab sich eine Dispersion von 45 Å/mm bei einer Wellenlänge von 4000 Å. Das erhaltene Spektrum ist in Abb. 1 gezeigt. Eine Detailvergrößerung um die Wasserstofflinie H $\alpha$  (Abb. 2) zeigt einen hellen „Knoten“ (Emission) und eine benachbarte Absorption (erkenntlich an der Intensitätsabnahme).

Das Negativ wurde anschließend mit einem Zeiss-Registrierphotometer MD 100 gescannt, das Ausgangssignal über ein Digitalmultimeter digitalisiert und mittels eines PC aufgezeichnet. Die Bearbeitung des Scans (Wellenlängenkalkulation, Kontinuumsnormierung) erfolgte mit einer vom Bonner Sternfreund Helmut Knobloch entworfenen Auswertesoftware. Das so reduzierte Spektrum ist in Abb. 3 gezeigt.

### Ermittlung der Radialgeschwindigkeit

In einem ersten Schritt der Spektrenauswertung wurden nach der Wellenlängenkalkulation die Wellenlängen der nicht verschobenen Emissions- bzw. der blauverschobenen Absorptionskomponente der entsprechenden Spektrallinien mög-

lichst genau bestimmt. Anschließend wurde aus dem Quotienten der Differenz der Wellenlängen von Emissions- und Absorptionskomponente  $\Delta\lambda$  und der Referenzwellenlänge  $\lambda$  (hier: unverschobene Emission) entsprechend der Dopplergleichung der radiale Geschwindigkeitsanteil der Expansionsgeschwindigkeit  $v_{\text{rad}}$  errechnet:

$$v_{\text{rad}} = -c \cdot \Delta\lambda/\lambda = -(299.793 \text{ km/s}) \cdot \Delta\lambda/\lambda$$

Die erhaltenen Meßwerte und die daraus resultierenden Radialgeschwindigkeiten für die auswertbaren Spektrallinien des Beispielspektrums sind in Tab. 1 ersichtlich.

Der aus den Einzelschritten (Aufnahme, Registrierung, Kalibrierung) resultierende Gesamtfehler für die letztlich bestimmte Radialgeschwindigkeit kann unter den beschriebenen Bedingungen auf  $\pm 10\%$  geschätzt werden. Für die Linien mit Wellenlängen größer als etwa 4500 Å waren die Emissions- und Absorptionskomponenten aufgrund der zum langwelligen Bereich hin abnehmenden Dispersion des Prismas nicht getrennt, so daß eine Bestimmung der Radialgeschwindigkeit nicht möglich war.

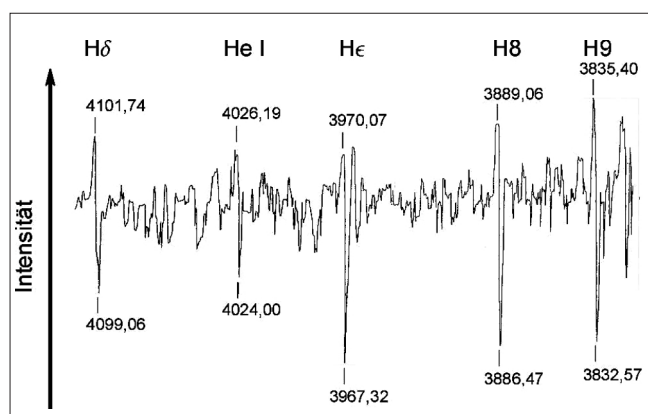
### Zusammenfassung

Mit einer in Relation zur beschriebenen Ausrüstung vergleichbaren (oder besseren) Ausstattung ist bei sorgfältigem Arbeiten die Bestimmung von radialen Geschwindigkeitsanteilen  $> 100$  km/s im blauen und violetten Spektralbereich mit einer Genauigkeit von etwa  $\pm 10\%$  möglich. Die ermittelten Radialgeschwindigkeiten stimmen mit dem für P Cygni bezüglich dieser Linien in der Literatur [2, 3] angegebenen Bereich von -150 km/s bis -220 km/s recht gut überein. Die derzeitigen zeitlichen Schwankungen der Radialgeschwindigkeiten (bei P

Cygni etwa  $\pm 15$  km/s) werden für die beschriebene Ausrüstung vom Fehler überdeckt und sind somit nicht mit hinreichender Genauigkeit zu verfolgen. Die Bestimmung von Radialgeschwindigkeiten für P Cygni, und damit der Nachweis von Hüllenexpansion und Masseverlust, ist trotz der genannten Einschränkungen auch mit einfachen Mitteln möglich und demonstriert damit eindrücklich, wie astrophysikalische Phänomene auch für Amateure zugänglich sind.

### Literaturhinweise:

- [ 1 ] Lamers, H.J.G.L.M., de Groot, M., Casatella, A.: P Cygni stars as an intermediate stage between red supergiants and Wolf-Rayet stars, *Astron. Astrophys.* 123 (1983), L8
- [ 2 ] Stahl, O., Mandel, H., Wolf, B., Gang, Th., Kaufer, A., Kneer, R., Szeifert, Th., Zhao, F.: Long-term spectroscopic monitoring of P Cygni-type stars, I. Spectral atlas of P Cygni, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 99 (1993), 167
- [ 3 ] Stahl, O., Wolf, B., Gang, Th., Kaufer, A., Mandel, H., Szeifert, Th., Zhao, F.: Long-term spectroscopic monitoring of P Cygni-type stars, II. Spectroscopic Variations of P Cygni during 1990 - 1992, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 107 (1994), 1
- [ 4 ] Saidel, A.N., Prokofjew, W.K., Raiski, S.M.: Spektraltabellen, VEB Verlag Technik Berlin, 2. Auflage, 1961



**Abb. 3:**  
Auftragung der normierten Intensität des blauen Teiles des Spektrums gegen die Wellenlänge. Deutlich sind die Emissionen (Erhöhung der Intensität) von den Absorptionen getrennt