

**Monitoring des intrinsischen H α -Linienflusses am
LBV-Veränderlichen P Cygni
Zwischenbericht zum BAV-AAVSO-ASPAGemeinschaftsprojekt
Monitoring H α - equivalent width and brightness of LBV P Cygni**

Ernst Pollmann und Wolfgang Vollmann

Abstract: *With this combined campaign of the Luminous Blue Variable star P Cyg, we are trying for the first time by way of contemporaneous measurements of photometrical V brightness and H α - equivalent width, to realize a long-term monitoring of the intrinsic H α line flux. The photometrical observers of AAVSO and BAV (Germany) and a spectroscopical observer group (Japan, France, Spain, Germany) have started this campaign in November 2008 in order to continue former investigations whose results are based on multi-daily averaging of V and EW. Additional data from literature enable us to represent the quantitative behavior of the H α line flux for the time span August 2005 to December 2011, which reflects variabilities in mass-loss rate, stellar wind density and the ionization structure.*

Einleitung

Die in 2008 international gestartete Beobachtungskampagne „Photometrie und Spektroskopie von P Cyg“ ist ein Kooperationsprojekt der amerikanischen Organisation für Veränderliche Sterne (AAVSO), der internationalen Arbeitsgemeinschaft „Active Spectroscopy in Astronomy“ (ASPAG) und der Bundesdeutschen Arbeitsgemeinschaft für Veränderliche Sterne (BAV).

Ziel der Kampagne ist

- 1) die Überwachung des Verhaltens der H α -EW bei zeitgleichem Monitoring der photometrischen V-Helligkeit, und
- 2) die Erfassung des intrinsischen Flusses dieser Spektrallinie.

Vor dem Hintergrund dieser Zielsetzung muss erwähnt werden, dass bereits eine ganze Reihe von Untersuchungen während der letzten Dekaden durchgeführt worden sind, um die Ursachen der Helligkeitsvariationen und der Emissionsstärken und möglicher Verknüpfungen zwischen ihnen, aber auch um mehr zu den Ausdehnungen der H α -emittierenden Wind- und Linienstrukturen in den verschiedenen Spektralbereichen zu erfahren.

Eine der frühesten Untersuchungen an der H α -Emission zur Bestimmung der Eigenschaften der Massenverlustrate ist von Scuderi et al. [4] durchgeführt worden. Fünf Jahre später versuchten Najarro et al. [5] in einer ausführlichen Parameterstudie der Linienstärke, der Linienform und der Energieverteilung für das H- und He-Spektrum, die Natur von P Cygni und seines Sternwindes zu verstehen. De Jager versuchte in [6] mithilfe photosphärischer Modelle die Außenbewegungen in der Sternatmosphäre im Zusammenhang mit Leuchtkraft- und Helligkeitsveränderungen zu erklären.

Die Untersuchungen von Markova et al. in [7] und in [8] zum langzeitigen spektralen und quasi-simultanen photometrischen Verhaltens des Sterns waren der eigentliche Auslöser für unsere Kampagne im November 2008.

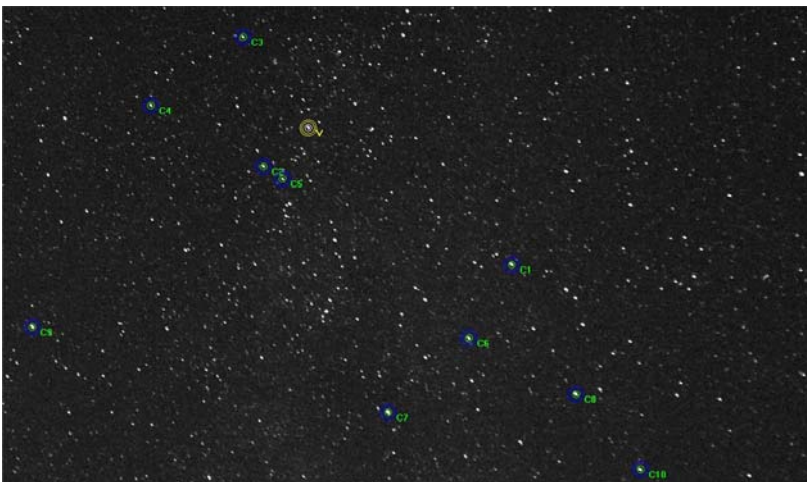
Die (für uns) wichtige Frage der quantitativen Bewertung der H α -Emission und ihrer Bedeutung auf die radiale Verteilung der ausstrahlenden Regionen um P Cyg, ist in einer umfassenden interferometrischen Studie von Balan et al. untersucht worden [9].

Bezogen auf unserer Untersuchung scheint es gewisse Parallelen in einer Studie von Richardson et al. zu geben [10]. Darin schließen die Autoren aus Langzeituntersuchungen zum Wechselbeziehungsverhalten des Kontinuumsflusses und (nicht zeitgleicher!) photometrischer V-Daten, dass diese in unterschiedlicher Art auf lang- und kurzfristigen Zeitskalen variieren, wobei in dieser Untersuchung die nicht gegebene simultane Zeitgleichheit von EW und V der wesentlichste Unterschied zu unserer Kampagne ist.

Details der Kampagne

In unserer Kampagne wird angenommen, dass die Variabilität der EW durch Variationen des Kontinuumsflusses (photometrische V-Helligkeit) und nicht durch Variationen des Linienflusses verursacht wird, welche die Schwankungen der Sternwinddichte anzeigen würde. Deshalb richtet sich unser Augenmerk besonders auf diese V-Helligkeitsvariationen, wenn Eigenschaften des Sternwindes und der Massenverluste studiert werden sollen.

Zur Erfassung der Korrelation von photometrischen zu spektroskopischen Daten ist mit Beginn der Kampagne ein Beobachtungsauftrag seitens der AAVSO für photometrische Beobachtungen mit lichtelektrischem Photometer (PEP) sowie auf das Helligkeitssystem Johnson V reduzierten CCD und DSLR Messungen [1] gestartet worden, an dem inzwischen weltweit 16 Beobachter beteiligt sind.



*Abb. 1: P Cygni (V) und Vergleichssterne (C1 bis C10)
für Messungen mit der Digitalkamera (DSLR)*

Mit einer Digitalkamera Canon 450D und Objektiv 1:2,8 f=50mm bei ISO 400 und 13

Sekunden Belichtungszeit beobachtet der Autor Wolfgang Vollmann seit Juni 2011 den Stern P Cygni. Die benutzten Vergleichssterne sind in Abb. 1 zu sehen. Sie dienen auch zur Ableitung des Korrekturterms T_c , um von den instrumentellen Grünhelligkeiten G der Kamera auf Johnson V mit den bekannten $B-V$ Farbkoeffizienten der Vergleichssterne zu transformieren:

$$V = G + T_c * (B-V)$$

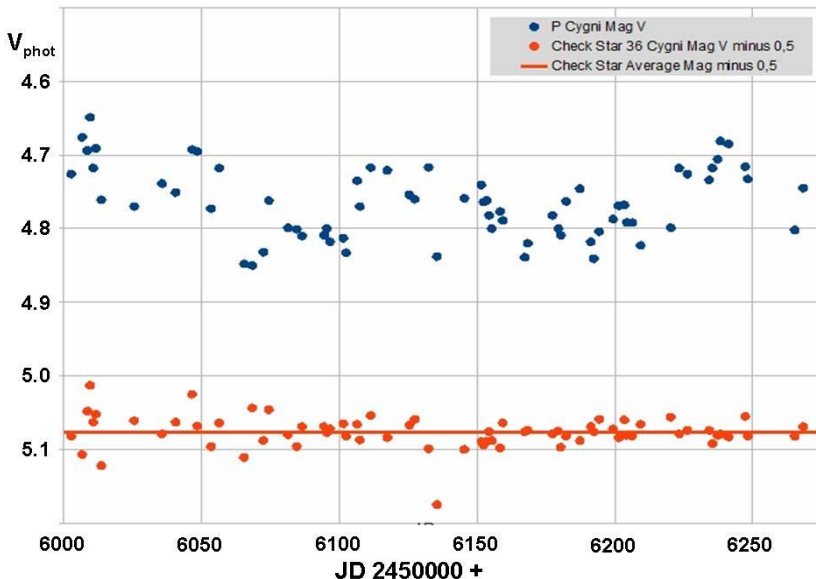


Abb. 2. Zeitliches Helligkeitsverhalten von P Cyg und dem Check-Stern 36 Cyg mit konstanter Helligkeit

Die Transformation wurde mit dem Kalkulationsblatt von Thomas Karlsson [2] durchgeführt und ergab aus 141 Einzelmessungen:

$$T_c = -0,118\text{mag} \pm 0,025\text{mag}$$

Im instrumentellen Farbsystem der Kamera G werden also Sterne mit $B-V=+1,0\text{mag}$ um $0,118\text{mag}$ schwächer gemessen als im Johnson V System.

Ein Test für die Genauigkeit der DSLR-Helligkeitsmessungen ist die gleichzeitige Messung eines Check-Sterns. Dafür wurde 36 Cygni benutzt wie in [1] empfohlen. In Abb. 2 ist ein Teil der Lichtkurve von P Cygni zusammen mit der Helligkeit des konstanten Vergleichssterne dargestellt. 36 Cygni wurde im Mittel mit $V=5,576\text{mag} \pm 0,023\text{mag}$ gemessen.

Ergebnisse

Von Interesse ist in Abb. 3 der Vergleich der Messungen der AAVSO PEP Beobachter (123 Beobachtungen bis 4.Nov. 2012) und der DSLR Messungen (141

Beobachtungen). Bis auf gelegentliche Ausreißer (die bei beiden Reihen vorkommen) sind die Beobachtungen auf dem 0,02mag Genauigkeits-Level ziemlich gleich auf im Verlauf. Die Kalibration der instrumentellen DSLR-Helligkeiten auf V gelingt gut. Die Beobachtungen JD 2455900-2456050 (Dez.2011-Apr.2012) streuen etwas mehr. P Cygni und die Vergleichssterne sind hell (4-6mag) und mehrere Grade voneinander entfernt.

Daher sind Beobachtungen in niedrigen Gestirnhöhen (30-40 Grad oder weniger) durch unterschiedliche farbabhängige Extinktion zwar im Kalkulationsblatt [2] im Prinzip korrigiert aber deutlich etwas ungenauer als Beobachtungen in Zenitnähe.

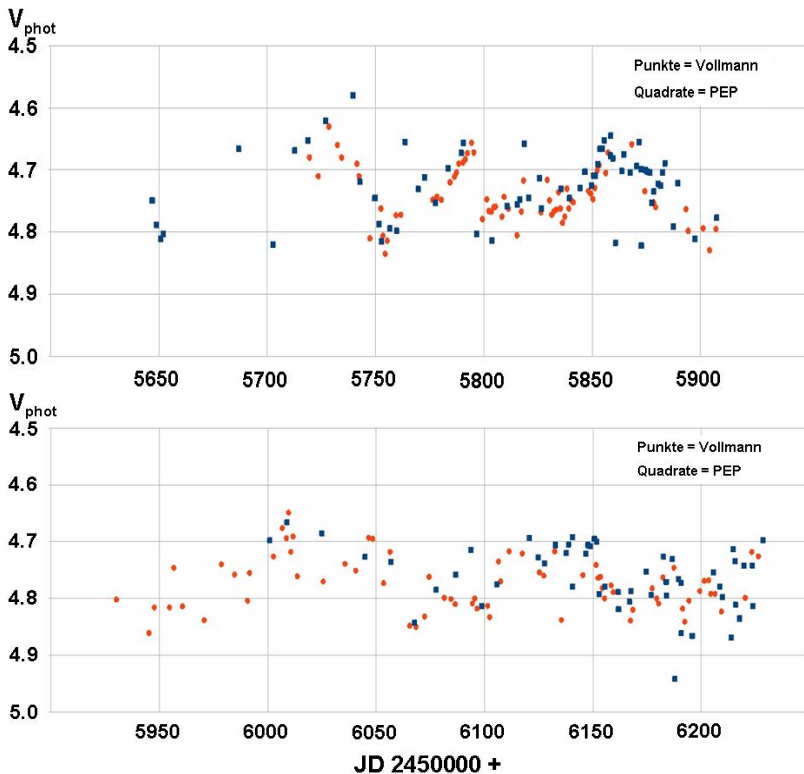


Abb. 3: P Cyg-Lichtkurve 2011 (oben), 2012 (unten)
Vergleich AAVSO-PEP zu DSLR-Messungen Vollmann

Photometrische und spektroskopische Änderungen bei P Cygni sind auf kurz- und langzeitigen Zeitskalen in gewisser Weise anti-korreliert. Wir beobachteten im Rahmen der Kampagne eine Gesamtänderung von 35 Å in der EW der H α -Linie und ~ 0,25 mag in der V-Helligkeit innerhalb des Zeitraumes JD 2454671 (2008/07/23) bis JD 2456244 (2012/11/12). Abb. 4 vergleicht das Zeitverhalten der V-Helligkeit (oben) und

der H α -EW (unten) in unserer Kampagne, wogegen in Abb. 5 die H α -EW der photometrischen V-Helligkeit der Untersuchung von Markova et al. [7] gegenübergestellt ist. Wie Abb. 4 zeigt, verringert sich in gewissen Grenzen die H α -EW, wenn zeitgleich die Sternhelligkeit zunimmt bzw. umgekehrt, wobei diese Beobachtung mit der von Markova et al. [7] in Abb. 5 insoweit übereinstimmt. Eine strenge Anti-Korrelation kann erwartet werden, wenn die Variation des Kontinuumsflusses von den Variationen der EW unabhängig ist. Wenn der H α -Linienfluss konstant ist über die Zeit, ergibt eine Zunahme der Kontinuumshelligkeit eine geringere gemessene EW und umgekehrt.

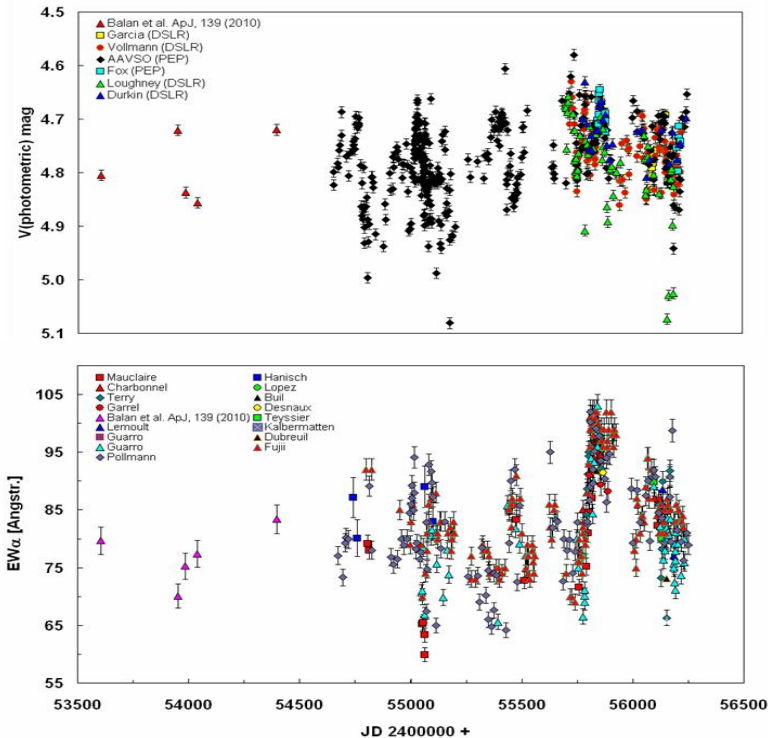


Abb. 4: Photometrische & spektroskopischen Daten unserer Kampagne: V-Helligkeit (oben), H α -EW (unten) mit zusätzlichen Daten von Balan et al. [9]

Um nun herauszufinden, ob und inwieweit der aus der Spektrallinie abgeleitete Fluss variiert, ist die EW für den erwähnten Effekt des Einflusses der Kontinuumshelligkeit (-variation) korrigiert worden.

Aus der Definition für die EW =

$$\int \frac{I_0 - I_\lambda}{I_0} d\lambda$$

und der Beziehung zwischen den stellaren Helligkeiten und den Kontinuumsflussvariationen $F_2 / F_1 = 10^{-0.4(m_2-m_1)}$ folgt der Linienfluss $F = C \cdot EW / 10^{(0.4 V_{\text{phot}})}$

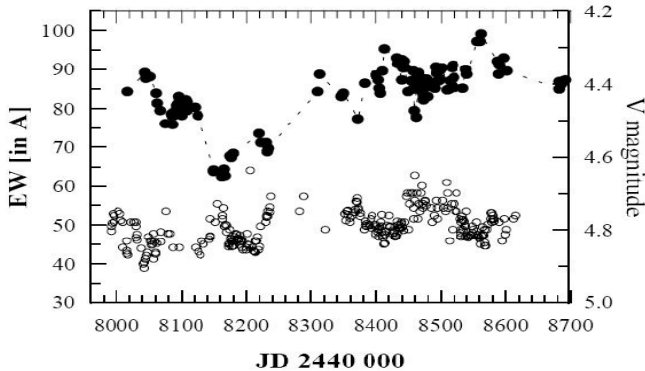


Abb. 5: Plot der H α -EW (schwarze Punkte) versus photometrischer V-Helligkeit (offene Kreise) von P Cyg (aus Markova et al.[7]).

Darin ist C ein konstanter Faktor. In der Praxis korrigieren wir die EW durch einfache Division durch $10^{(0.4 \cdot V_{\text{phot}})}$. Die so erhaltene Größe ist nun nicht der Linienfluss in physikalischen Einheiten, aber eine Größe, die diesem proportional ist, und zwar jetzt korrigiert für Kontinuumsvariationen. Es ist wichtig, den absoluten Fluss der Linie zu betrachten, weil seine Variationen durch die Effekte des Massenverlustes, der stellaren Winddichte und der Änderungen des Ionisierungszustandes der chemischen Elemente im Wind beeinflusst werden. In der gegenwärtigen Kampagne konnten bereits 161 simultane Messungen der EW und des Linienflusses im V-Band erhalten werden (Abb. 6). Streng genommen sollte eigentlich der Kontinuumsfluss bei 6563 Å verwendet werden, doch hier ist ΔV ein guter Näherungswert, weil die Farbindices von P Cygni nicht stark variieren (Markova et al. [8], S. 903).

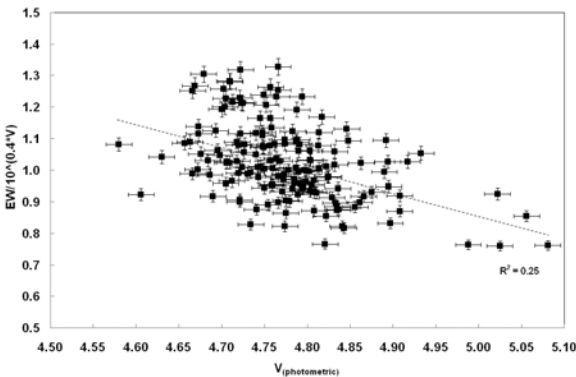


Abb. 6: H α -Linienfluss versus photometrische V-Helligkeit

Abb. 6 versucht zu zeigen, ob und in welchem Umfang der intrinsische H α -Linienfluss (die kontinuumskorrigierte EW) von der V-Helligkeit abhängt. Aus statistischer Sicht und unter Berücksichtigung der Messunsicherheiten kann man sagen, dass der Korrelationskoeffizient von 0.25 (der eigentlich nach der Kontinuumskorrektur Null sein sollte), die Aussage zulässt, dass der H α -Linienfluss von der V-Helligkeit unabhängig ist. Dagegen reflektiert der Plot in Abb. 7 als zeitliche Variation des Linienflusses bei Berücksichtigung der Standardabweichung (und möglicher anderer Fehlerquellen) die Variationen der Massenverlustrate, der stellaren Winddichte und der Änderungen der Ionisationsstruktur von August 2005 bis November 2012.

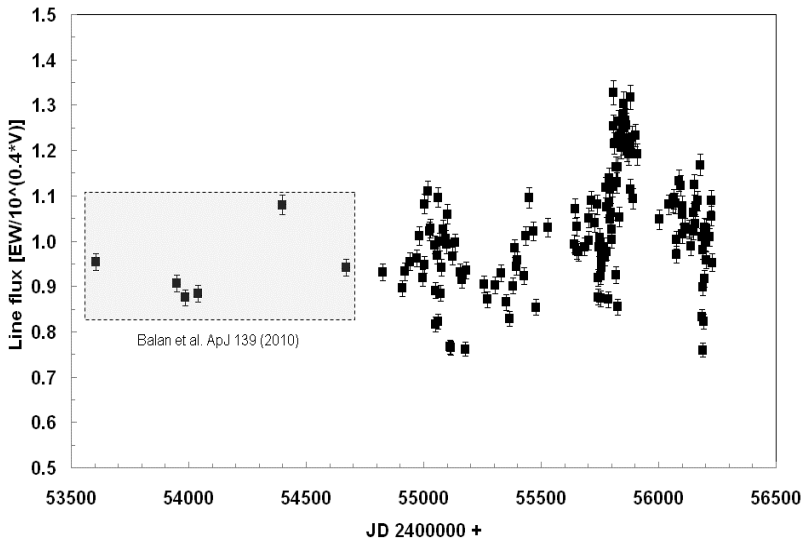


Abb. 7: Der intrinsische H α -Linienfluss von JD 2453605 (2005/08/22) bis JD 2455911 (2012/11/12)

Variationen der Massenverlustrate manifestieren sich bei P Cyg im allgemeinen auch in einer variierenden Absorptionstiefe und proportional dazu in einer variierenden Emissionsstärke der HeI-Linie bei 6678 Å, die in den „oberflächennahen“ Heliumbildenden Zonen des Zentralsterns entstehen. Abb. 8 zeigt Spektren von April 2003 bis Nov. 2012 dieser Linie zur Veranschaulichung der Variabilität der Absorptionstiefe und der Emissionsstärke als Folge einer variablen Massenverlustrate des Sterns (in Einheiten des normierten Kontinuums).

Trägt man die Absorptionstiefe gegen die Emissionsstärke auf so zeigt sich in Abb. 9, dass beide Messgrößen mit einer Korrelationsgüte von nur ~ 0.44 korreliert sind. Auch wenn die Emission durch Rekombination zustande kommt, würde man erwarten, dass eine höhere Dichte (= höherer Massenverlust) sowohl mehr Absorption, als auch mehr Emission erzeugt. Der geringe Korrelationskoeffizient könnte somit Ausdruck sein für nicht unplausible Temperaturvariationen im Sternwind, wodurch die Absorption auch

ohne Massenverluständerung zunehmen kann, ohne dass dabei die Emission zunimmt.

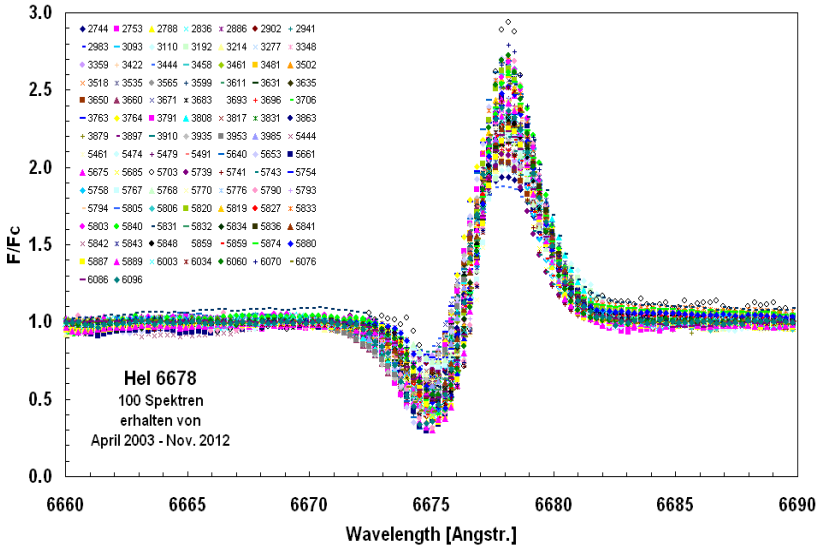


Abb. 8: Variabilität von Absorptionstiefe und Emissionsstärke im Profil der HeI6678 Linie des Zeitraumes 2003/04 bis 2012/11.

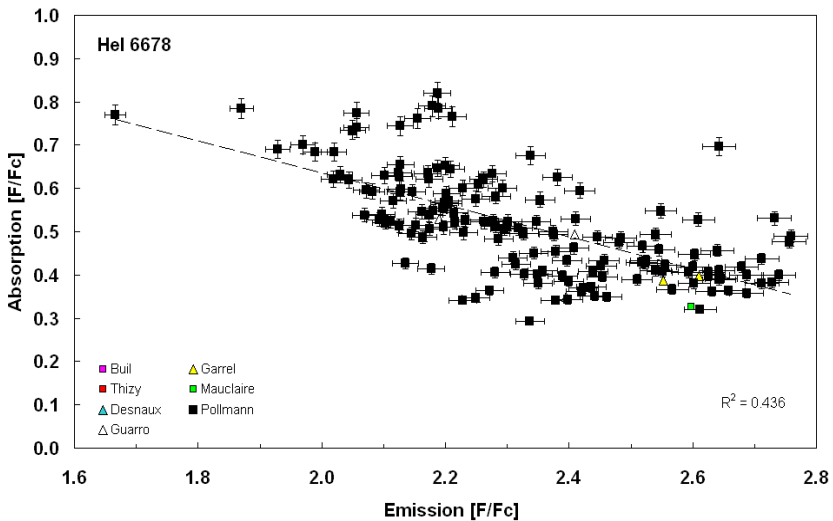


Abb. 9: Variabilität der Absorptionstiefe versus Emissionsstärke der HeI6678 Linie des Zeitraumes April 2003 bis November 2012

Die 161 simultanen EW- und photometrischen V-Helligkeiten der gegenwärtigen Kampagne sind aus statistischer Sicht selbstverständlich noch nicht ausreichend, um eine abschließende Erklärung hinsichtlich des zeitlichen Verhaltens der V-Helligkeit und des intrinsischen Linienflusses abzugeben. Um dieses Ziel zu erreichen, werden notwendigerweise weitere mehrjährige, simultane spektroskopisch/photometrische Messungen im Sinne einer Fortsetzung dieser Kampagne durchgeführt. Möglicherweise haben wir in einigen Jahren Gelegenheit, über den dann erreichten Ergebnisstatus hier wieder zu berichten.

Referenzen

- [1] AAVSO Alert 440: <http://www.aavso.org/aavso-alert-notice-440>
- [2] Tabellenkalkulationsblatt photometry5.xls von Thomas Karlsson:
<http://www.citizensky.org/teams/dslr-documentation-and-reduction/new-spreadsheet-automatic-calulation-tc-and-k> (abgerufen am 16.Nov.2012)
- [3] AAVSO Database AID: <http://www.aavso.org/access-data-section>
- [4] Scuderi, S., et al., ApJ, 392, 201-208 (1992)
- [5] Najarro, F., et al., A&A 326, 1117-1134 (1997)
- [6] de Jager, C., ASP Conference Series Vol. 233 (2001)
- [7] Markova, N. et al., A&A 366, 935-944 (2001)
- [8] Markova, N. et al., A&A 376, 898-906 (2001)
- [9] Balan, A., et al., ApJ, 139, 2269-2278 (2010)
- [10] Richardson, N., D., et al., AJ, Jan 2011

Danksagung

Wir danken Dr. Otmar Stahl (Landes-Sternwarte Heidelberg), Dr. Dietrich Baade (ESO-München) und Prof. Dr. Edward Geyer (ehemals Direktor des Observatoriums Hoher List, Universität-Bonn) für ihre konstruktiv-kritischen Kommentare, die wesentlich zur Verbesserung dieser Arbeit beigetragen haben. Wir danken aber auch allen weltweit beteiligten Beobachtern dieser Kampagne für ihre wertvollen, photometrischen und spektroskopischen Messungen, die diese Kampagne überhaupt erst ermöglichten.

Ernst Pollmann, Emil-Nolde-Str. 12, 51375 Leverkusen, ernst-pollmann@t-online.de

Wolfgang Vollmann, Dammäckergasse 28/D1/20, A-1210 Wien, vollmann@gmx.at