

Radialgeschwindigkeitsmessungen an der Hel6678-Linie am Be-Doppelstern ζ Tau

Roland Bücke und Ernst Pollmann

Nachdem der Be-Stern ζ Tau von Adams & Frost (1903) als Doppelstern erkannt wurde, sind bis heute eine Vielzahl von Untersuchungen mit dem Ziel durchgeführt worden, die z. T. unsicheren Angaben über die in den letzten Jahrzehnten beobachtete Periodizität zu verbessern bzw. zu korrigieren. Diese Untersuchungen führten gelegentlich sogar soweit, dass die Doppelsternnatur von ζ Tau infrage gestellt wurde (Plavec 1973; Abt & Levy 1978).

Auch im Rahmen einer lunaren Sternbedeckung in den 1980iger Jahren wurde die Doppelsternnatur erneut angezweifelt (Hoffleit & Jaschek, 1982). Davon abgesehen hat sich die professionelle Forschung bereits sehr früh mit den Ursachen auseinandergesetzt, die für die Unsicherheiten der Parameterbestimmung der orbitalen Periode verantwortlich sein könnten.

So schlussfolgerte Adams (1905), dass bei ζ Tau als spektroskopischem Doppelstern eine Periode von 138 Tagen zu beobachten sei, wohingegen Losh (1932) diese Periode auf 133 Tage korrigierte und darüber hinaus darauf hinwies, dass die Radialgeschwindigkeit 1914 und 1923-1927 in eine Langzeitvariation, verbunden mit Periodenänderungen, überging. Hynek & Struve (1942) verbesserten aus ihren Untersuchungen zwischen 1937 und 1941 den Periodenwert auf 132.91 Tage, wobei in ihren Spektren die von Losh entdeckte Langzeitvariation nicht vorhanden war. Außerdem bestätigten sie das Vorhandensein variabler, sog. „humps“ in der Radialgeschwindigkeitskurve, die bereits in den Untersuchungen von Losh zu sehen waren.

Delplace & Chambon (1976) erkannten, dass diese Langzeitvariationen zyklischen Charakter haben und fanden eine erste Zyklusdauer von 7 Jahren gefolgt von einer zweiten mit einer Dauer von etwa 4 Jahren, wobei diese Zykluszeiten bis in die heutige Zeit scheinbar kontinuierlich angestiegen zu sein scheinen.

Harmanec (1984) zeichnete ein grobes Bild einer möglichen Systemkonfiguration, abgeleitet aus allen verfügbaren bzw. vorliegenden Beobachtungen. Danach besteht die Primärkomponente aus einem B1e-Stern mit einer Masse von etwa 10-15 Sonnenmassen bei einem Radius von 10 Sonnenradien und einer kühlen Sekundärkomponente des Spektraltyps G8 (?) mit einer Masse von etwa 1.5 Sonnenmassen.

Der Radius der Sekundärkomponente ist vergleichbar mit dem Radius des entsprechenden Roche-Volumens, wobei Massentransfer von der Sekundär- zur Primärkomponente bei verschiedenen Epochen einsetzt. Darüber hinaus wird das Doppelsternsystem ζ Tau mit hoher Wahrscheinlichkeit vom Beobachter aus äquator-on gesehen. Das heißt, dass die Be-Sternscheibe weitgehend von der Kante aus gesehen wird und ihre Bildung bzw. Entstehung um die Primärkomponente auf Massen- bzw. Gasabfluss von der Sekundärkomponente zurückzuführen ist.

Die Struktur und Geometrie dieser Scheibe (Hülle) um den Primärstern ist mit ihrer zeitlichen Variabilität eines der größten Rätsel des Systems ζ Tau. Es gibt heute gute Gründe zu glauben, dass in gewissen Epochen der Langzeitradialgeschwindigkeit einige Bereiche dieser Scheibe (Hülle), Strukturen einer elliptischen Scheibe mit gradueller, umgekehrter Drehung der Apsidenlinie annehmen.

Solche Strukturen können durch sehr schnelle Massentransferereignisse entstehen und sind in gewissen Epochen fähig, eine quantitativ korrekte Erklärung für die beobachteten, orbitalen und langzeitigen Variationen zu liefern, ebenso für die Anwesenheit von „humps“ in der Radialgeschwindigkeitskurve, so wie sie in gewissen Perioden beobachtet werden.

Aufgrund detaillierter Untersuchungen unter anderem an der Hel6678-Linie fanden Balona & Kaye (1999) Beweise für „co-rotating clouds“ zwischen der Photosphäre des Primärsterns und der Be-Sternscheibe (Hülle). Das Profil dieser Linie zeigt, dass es sehr stark von dem eines typischen rotationsverbreiterten Profils abweicht. Es besteht kaum bis kein Zweifel daran, dass dieses Profil in der zirkumstellaren Scheibe (Hülle) gebildet wird. Zur Veranschaulichung zeigt Abb. 1 mittlere (selbst beobachtete) Linienprofile (oben) im Vergleich zu einem reinen rotationsverbreiterten, photosphärischen Profil (unten).

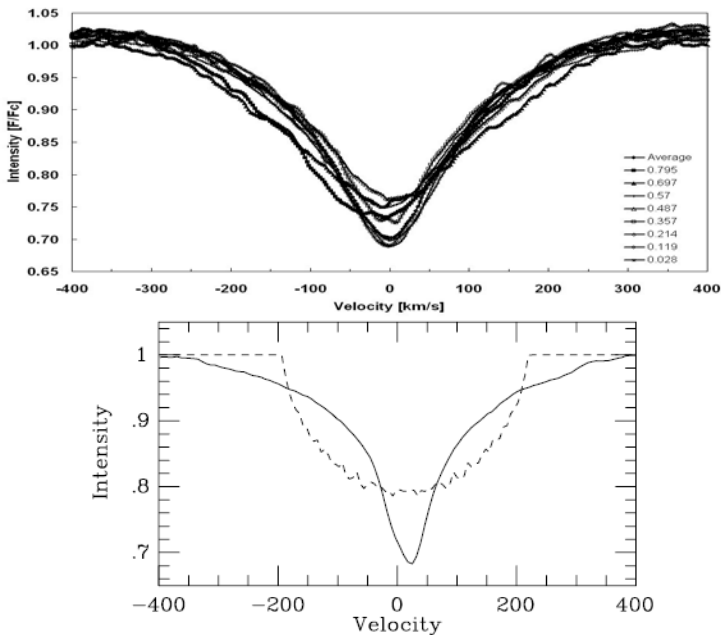


Abb. 1 : oben: eigene Messungen phasenbezogen [orbitale Periode nach Harmanec (1984)]; unten: aus Balona & Kaye (1999).

Zugang zu den Hüllenstrukturen in Be-Sternen erhält man durch Untersuchungen der kinematischen Linienverbreiterung. Stellare Absorptionslinien in Spektren von Be-Sternen sind rotationsverbreitert. Ihr Breitenmaß ist die projizierte Rotationsgeschwindigkeit ($v \cdot \sin i$) des Be-Sterns mit seiner Äquatorrotationsgeschwindigkeit v_* und seiner Achsenneigung (i) in Richtung des Beobachters. Variationen im zirkumstellaren Material sind wahrscheinlich die Ursache für den weiten Geschwindigkeitsbereich. Die Hel6678-Linie besteht aus einem starken, zentralen Hüllenanteil, der überlagert ist von einer rotationsverbreiterten, photosphärischen Komponente (projizierte Rotationsgeschwindigkeit $v \cdot \sin i = 320 \text{ km/s}$).

Steffl et al. (2007) konnten im Rahmen einer Langzeitstudie mit Daten von 1993-2005 eine Periode der Radialgeschwindigkeit von Hel6678 von 1503 Tagen nachweisen, die überraschenderweise in ihrem Phasen- und Amplitudenverhalten sehr dem V/R-Verhalten der H α -Emission ähnelt (Abb.2).

Der periodische Charakter dieser Variation deutet darauf hin, dass hier ein Mechanismus zugrunde liegt, der dominant in der zirkumstellaren Scheibe (Hülle) verursacht wird. Diese quasi-Synchronität von H α -V/R und RV der Hel6678-Linie bedeutet aber auch, dass eine entsprechende Dichtestörung in der Be-Sternscheibe eher dicht und sehr heiß sein muss.

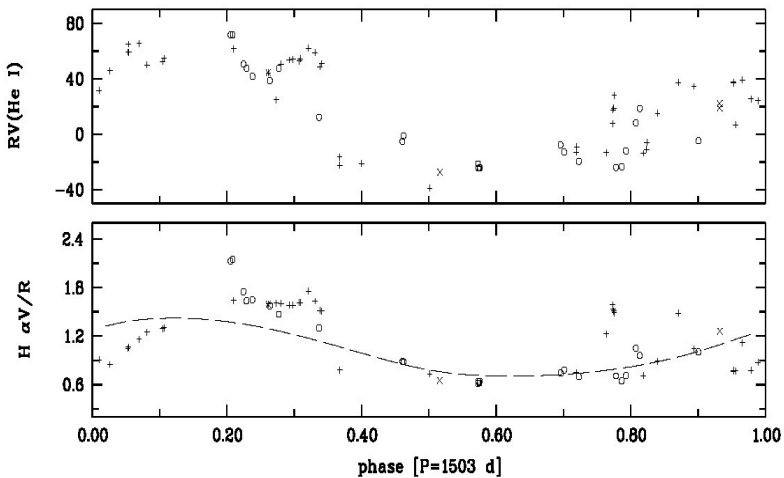


Abb.2.: Vergleich der Radialgeschwindigkeitsperiode von 1503 Tagen (oben) mit dem V/R-Verhältnis der H α -Linie (aus Steffl et al. 2007)

Kaye & Gies (1997) gehen davon aus, dass Flussänderungen co-rotierender, zirkumstellaren Materials (Wolken) den größten Einfluss auf das Linienzentrum haben werden. Dies könnte unter gewissen Umständen besonders für langsam rotierende Sterne zutreffen. Im Fall von ζ Tau handelt es sich allerdings um schnelle Rotationen,

und es könnte vielleicht nur eine leichte Abweichung in den physikalischen Bedingungen zwischen der Wolke und ihrer Umgebung geben. Die photosphärischen Linienprofile in den optischen Spektren von Be-Sternen zeigen schnelle Variationen, die heute als Auswirkung einer nichtradialen Pulsation verstanden werden. Weil diese Pulsationen ihre stärkste Ausprägung in den äquatorialen Regionen der Photosphäre haben, nimmt man an, dass sie die eigentliche Quelle zur zusätzlich erforderlichen Kraft darstellen, die notwendig ist, um abgestoßenes Material in die zirkumstellare Scheibe (Hülle) zu befördern.

Eine detaillierte Analyse im Sinne eines Langzeitmonitorings der Radialgeschwindigkeit könnte die physikalischen Merkmale dieser Dichtestörung in der Scheibe weiter eingrenzen. Somit macht es Sinn, dass Amateure mit ihren heutigen Möglichkeiten versuchen sollten, dazu beizutragen. Im Rahmen eines langfristig angelegten Gemeinschaftsvorhabens versuchen nun die Autoren dieses Beitrages, den Anforderungen bzw. den Bedarf aus der professionellen Forschung nach Messdaten zur Radialgeschwindigkeit an der Hel6678-Linie Rechnung zu tragen.

Zur Spektrengewinnung kommen zum Einsatz ein mit Lichtleiter und 20cm Newtonteleskop gespeister Selbstbau-Gitterspektrograph (Bücke), und ein ebenfalls selbstgebauter klassischer Gitterspektrograph, gekoppelt mit einem C14-SC-Teleskop in der Arbeitssternwarte der Vereinigung der Sternfreunde Köln (Pollmann). Die erstgenannte Instrumentenkonfiguration liefert eine spektrale Auflösung von $1,9 \text{ \AA}$ bei einer Dispersion von 40 \AA/mm , und die zweite Konfiguration eine spektrale Auflösung von $0,5 \text{ \AA}$ bei einer Dispersion von 27 \AA/mm .

Die mit dieser instrumentellen Ausstattung erreichbare Genauigkeit bei Radialgeschwindigkeitsmessungen hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Neben den rein messtechnischen Fehlerquellen, wie mechanische und thermische Instabilitäten der Instrumente und das Signalrauschen, haben auch die spektralen Eigenschaften des Objekts selbst einen Einfluss auf die Genauigkeit der Messungen. Die Wellenlängenbestimmungen der Hel6678-Linie erfolgten durch Gaußfit. Aufgrund der generell hohen Anforderungen an die Positionsbestimmung verlangt diese Methode bei Unsymmetrien im Linienprofil eine exakte Einhaltung des angefitteten Linienbereichs. Diese Bedingung lässt sich bei relativ schwachen und stark verbreiterten Linien aufgrund des Rauschens nur bedingt einhalten.

Noch wesentlich stärker wirken sich nichtperiodische, zeitliche Änderungen im Linienprofil auf die Streuung der Messwerte aus. Da die Kalibrierengenauigkeit der verwendeten Instrumente besser 1 km/s ist, muss bei den vorliegenden Messungen davon ausgegangen werden, dass die Streuung der Messwerte von den Profiländerungen der Hel6678-Linie verursacht wird. Eine Verbesserung der Messgenauigkeit ist dann prinzipiell nur durch die Auswertung weiterer Spektrallinien erreichbar. Diesbezüglich sollte eine Ausweitung der künftigen Beobachtungen in Betracht gezogen werden.

Abb. 3 zeigt die im Rahmen dieses Gemeinschaftsmonitorings seit Februar 2008 erhaltenen Ergebnisse der RV-Messungen an der Hel6678-Linie, ergänzt mit den Daten der Amateure B. Mauclore (ARAS-Gruppe-Frankreich) und L. Schanne (VdS-FG Spektroskopie). Wie in diesem Plot leicht zu erkennen, ist der polynomische

Ausgleichsfit überlagert von deutlichen Abweichungen. Diese Abweichungen haben ihre Ursache in Variationen der Radialgeschwindigkeit mit sehr viel geringerer Periodendauer. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um die von Harmanec (1984) abgeleitete, bereits angesprochene orbitale Periode von 132.97 Tagen.

Darüber hinaus beinhalten die Abweichungen auch noch die in der professionellen Forschung immer noch heftigst diskutierten, kurzperiodischen Variationen im Bereich zwischen 0.4-0.7 Tagen, deren Ursachen entweder auf die erwähnten, nichtradialen Pulsationen, oder auf die „co-rotating clouds“ (oder beides) zurückzuführen sind. Diesbezüglich wird abzuwarten sein, welche widerspruchsfreien Modelle in der Zukunft die professionelle Astronomie liefern wird. Hinsichtlich des RV-Langzeitmonitorings ist die Literatur jedenfalls wenig ergiebig.

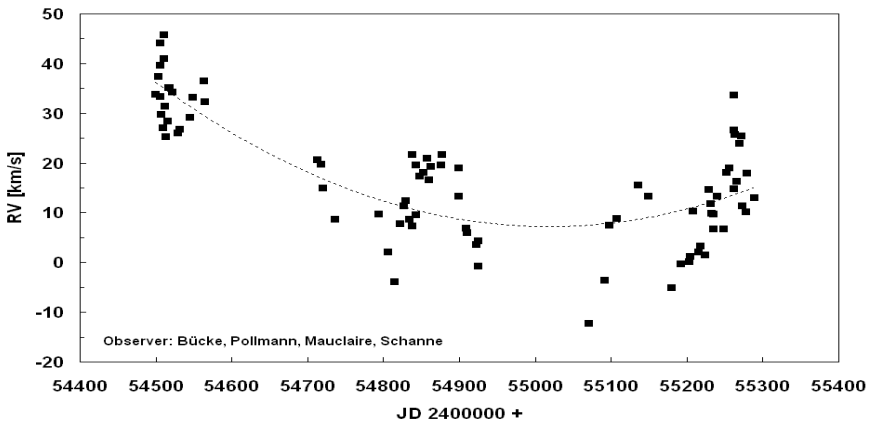


Abb. 3: Messwerte mit Ausgleichspolynom 3. Grades

Die in Abb. 3 dargestellten Messungen fügen sich gut in ein Phasendiagramm der 1503-Tage-Periode von Stefl et al. (2007) ein (Abb. 4). Allerdings decken die neuen Messwerte erst einen Zeitraum von etwa einer halben Periode ab, so dass erst weitere Beobachtungen in den nächsten Jahren zu einer zufriedenstellenden Beobachtungsdichte führen können. So hoffen wir, mit der Fortführung des Langzeitmonitorings, die eine typische Domäne der Amateure ist, zu einem deutlicheren Bild des Periodenverhaltens beitragen zu können.

Die Eignung des in Abb. 3 zur Anwendung gekommenen Ausgleichspolynoms 3. Grades kann daran beurteilt werden, inwieweit eine Periodenanalyse der Residuen (Differenz zwischen Ausgleichspolynom und Messung) in der Lage ist, die als gesichert geltende Periode von Harmanec (1984) von 132.97 Tagen sozusagen als Gegenprobe nachzuweisen. Dieser Nachweis ist mit dem bisher vorliegenden Datenmaterial zufriedenstellend gelungen.

Die Periodenanalysen mit den Programmen AVE und SpecRaVE führten zu folgenden Werten:

- Periode mit AVE = 131.2 Tage
- Periode mit SpecRaVE = 133.5 Tage

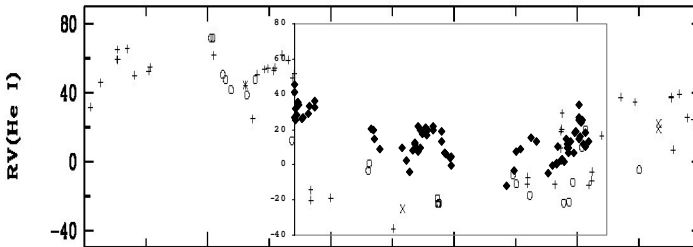


Abb. 4: Phasendiagramm der 1503-Tage-Periode aus Stefl et al. (2007) mit den neuen Messwerten (schwarze Rauten)

Im Mittel ergibt sich daraus eine Periode von 132.4 Tagen. D.h., dass der Polynomfit 3. Grades offenbar zu Residuen führt, deren Periode sehr dicht bei der Harmanec-Periode von 132.97 Tagen liegt. Abb. 5 zeigt das AVE-Periodogramm mit der dominanten Periode von 131.2 Tagen, Abb. 6 den entsprechenden Phasenplot. Dieses Ergebnis berechtigt zu der Einschätzung, dass mit einem weiter wachsenden Datensatz eine solide Erfassung der langperiodischen Komponente (1503 Tage ?) gelingen wird.

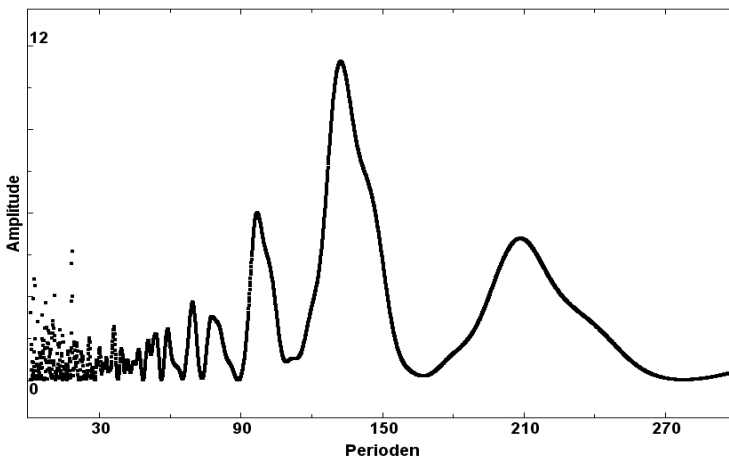


Abb. 5: Periodogramm mit dominanter Periode bei 131.8 Tagen (Programm AVE)

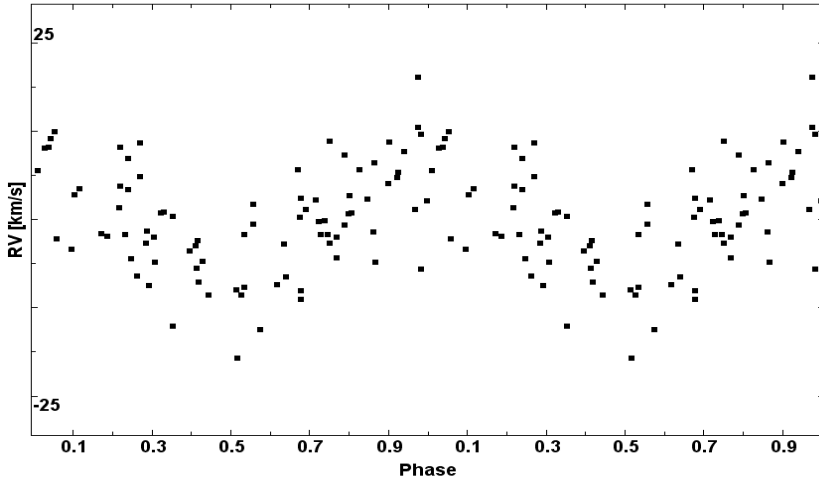


Abb. 6: Phasendarstellung der 131.8-Tage-Periode

Literatur

- Adams, W. S., 1905, *ApJ*, 22, 115
 Adams, W. S. & Frost, E. B., 1903, *ApJ*, 17, 150
 Abt, H. A. & Levy S. G., 1978, *Astrophys. J. Suppl.* 36, 241
 Balona, L. A. & Kaye, A. B., 1999, *ApJ*, 521, 407-413
 Delplace, A. M. & Chambon, M. T., 1976, *IAU Symp.* 70, 79
 Harmanec, P., 1984, *Bull. Astron. Inst. Czechoslovakia*, 35, 164
 Hoffleit, D. & Jaschek, C., 1982, *The Bright Star Catalogue* (fourth ed. Yale Univ. Obs., New Haven, Connecticut, USA)
 Hynek, J. A. & Struve, O., 1942, *ApJ*. 96, 425
 Kaye, A. B. & Gies, D. R. 1997, *ApJ*, 482, 1028
 Losh, H. M., 1932, *Publ. Obs. Univ. Michigan* 4, 1
 Plavec, M., 1973, *IAU Symp.* 51, 237
 Stefl, S., Okasaki, A. T., Rivinius, T., Baade, D., 2007, *ASP Conference Series*, Vol. 361