

Neuere Beobachtungen am Be-Doppelstern Zeta Tauri Recent observations on Be star Zeta Tau

D. Ruzdjak, E. Pollmann, H. Bozic

Abstract: *We report about new photometry and spectral analysis of the well observed Be star Zeta Tau. He shows evident variations of brightness, spectra and of his color. Zeta Tau is also a spectroscopic binary with a period of 133 days, his radial velocity indicates longtime variations.*

1. Einleitung

Wir berichten über neue photometrische und spektralanalytische Beobachtungen am häufig untersuchten Be-Doppelsternsystem ζ Tau (HD 37202, 123 Tau, HR 1910). ζ Tau ist einer der hellsten Be-Sternen am Nordhimmel ($V = 2.7 - 3.2$ mag) und zeigt auf mehreren eindeutigen Zeitskalen deutliche Variabilitäten in seiner Helligkeit, in seinem Spektrum und in seiner Farbe. Außerdem ist der Stern auch als spektroskopischer Doppelstern mit einer orbitalen Periode von 133 Tagen bekannt, wobei seine Radialgeschwindigkeitsänderungen (RV) von zyklischen Langzeitvariationen überlagert sind.

ζ Tau war in der Vergangenheit Gegenstand vieler unterschiedlicher Studien, die in Ruzdjak et al. (2009) zusammengefasst worden sind. Neueste, optische Interferometerstudien dienten der räumlichen bzw. geometrischen Untersuchung der zirkumstellaren Gashülle, die den Primärstern umgibt (Schaefer et al., 2010; Kraus et al., 2012).

2. Daten und Reduktion

In dieser Arbeit kombinierten wir neue Beobachtungen mit denen, die bereits früher in Ruzdjak et al. (2009) veröffentlicht worden sind, wobei die Majorität der neuen Daten aus Spektren resultierten, die mit dem 40 Zentimeter Cassegrain-Teleskop der „Vereinigung der Sternfreunde Köln“ und einem 2400-Linien/mm-Spektrographen erhalten wurden.

Die photometrischen Beobachtungen wurden am 65-cm-Teleskop des Hvar-Observatoriums (Kroatien) erhalten und auf das Standard-UBV-System unter Verwendung des Codes HEC22 (Harmanec und Horn, 1998) reduziert.

Die reziproke, lineare Dispersion der Pollmann-Spektren betrug 13.3 \AA/mm bei $H\alpha$ mit einer spektralen Auflösung $R (\lambda/\Delta\lambda) = 14000$. Sie wurden reduziert mit dem Programm MaximDL und ausgewertet unter Verwendung des Programms MK32 von R. Gray und deckten dabei den roten Spektralbereich von etwa $6500 - 6700 \text{ \AA}$ ($H\alpha$ 6563 \AA & HeI 6678 \AA) ab.

Außerdem fanden 35 Spektren des Ondřejov 2-m-Teleskopes Eingang in unsere Untersuchung. Diese Spektren wurden unter Verwendung der Software IRAF reduziert und unter Verwendung des Programms SPEFO (Hornet et al., 1996; Škoda, 1996) ausgewertet. Die Ermittlung der Radialgeschwindigkeiten erfolgte auf der Basis gespiegelter Linienprofile sowie unter Anwendung der Gauss-Linienprofilfittung.

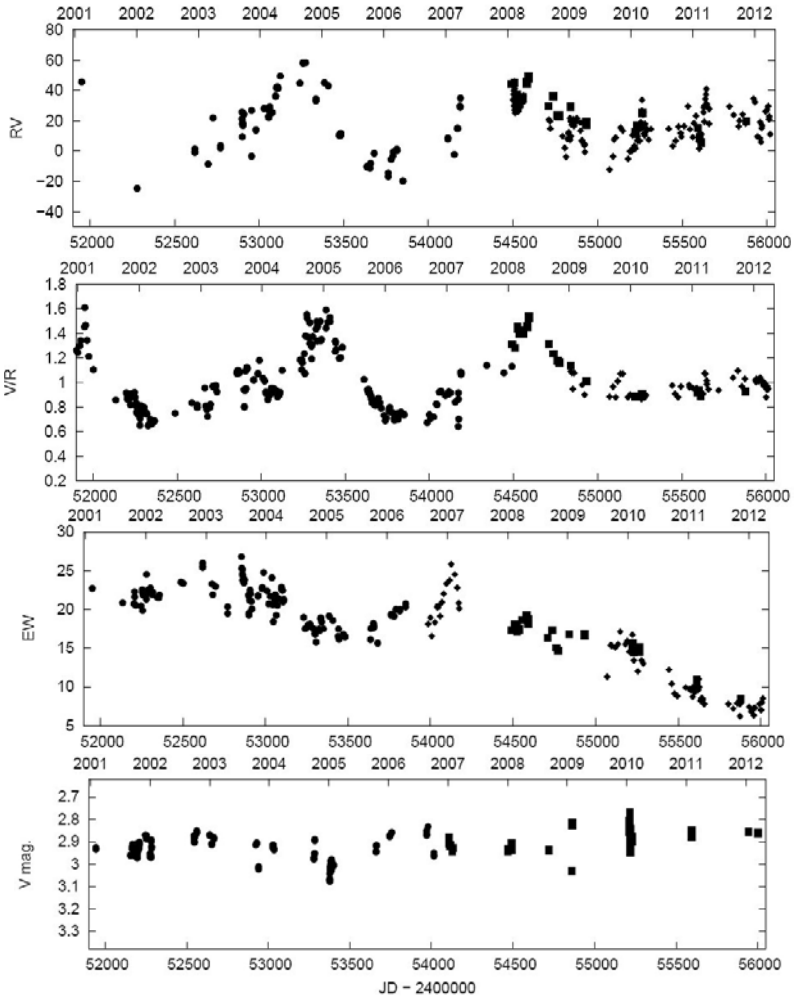


Abb.1: Langzeitmonitoring der $H\alpha$ -Emission (EW), V-Helligkeit, Radialgeschwindigkeit (RV) und dem $H\alpha$ -Peakhöhenverhältnis V/R von 2001 bis 2012. Die Symbole bedeuten: Kreise – Daten von Ruždjak et al. (2009), Quadrate – Ondřejov-Spektren, Rauten – Pollmann Spektren; photometrische V-Helligkeiten des HVAR-Observatoriums.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Veränderungen in der RV, dem $H\alpha$ -Peakhöhenverhältnis V/R, der $H\alpha$ -Äquivalentbreite EW, der V-Helligkeiten sowie der U-B- und B-V-Farben von ζ Tau in der ersten Dekade des 21. Jahrhunderts sind in Abb. 1 und 2 gezeigt. Man erkennt, dass die starke Abnahme der $H\alpha$ -EW begleitet wird von einer mäßigen

Helligkeitszunahme (siehe hierzu den Aufsatz „H α -Emission und V-Korrelationen als Sonden von Be-Sternscheiben“ im BAV-RB 1/2012) und dem Verschwinden der ausgeprägten Langzeitradialgeschwindigkeit und der V/R-Variationen des H α -Linienprofils. Sowohl die Farbenindizes U-B als auch B-V wurden bei gleichzeitiger H α -Emissionsabnahme „blauer“, wobei der Stern sich zugleich zu einem frühen Spektraltyp im (U-B)-(B-V) Farben-Farben-Diagramm verschob.

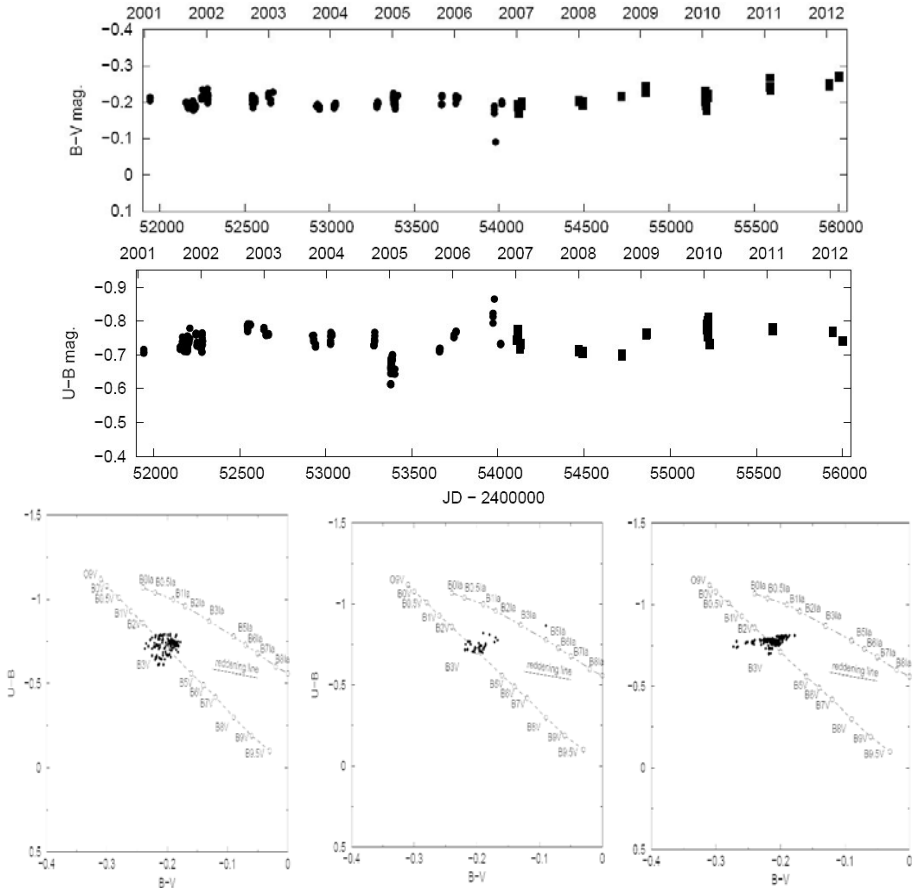


Abb. 2: Langzeitmonitoring der Farbänderungen von ζ Tau in (U-B)-(B-V) Farbdigrammen. Die Farben-Farben-Diagramme sind von links nach rechts für die Zeitintervalle JD 2451943–2453402, 2453660–2454491 und 2454719–2456003 konstruiert worden.

Dies alles steht in Übereinstimmung mit der Abnahme des Radius und der Dichte der zirkumstellaren Gasscheibe um den Primärstern, in der die H α -Emission primär entsteht. Die Veränderung der Helligkeit selbst (sofern vorhanden) ist nur sehr gering.

Eine Ursache für diese Effekte könnte eine Balance sein zwischen Helligkeitszunahme durch bessere Sichtbarkeit des Sterns einerseits, und einer Helligkeitsverringerng bedingt durch die Be-Sternscheibe selbst.

Eine ähnliche Abnahme der Emissionsstärke wurde in den 1980iger Jahren von (Mon et al., 1992; Ballereau et al., 1992; Guo, 1994) beobachtet. Die ruhige Phase ohne ausgeprägte Langzeitvariationen dauerte ungefähr 10 Jahre, bis die Scheibe wieder mit neuem Material aufgefüllt wurde. Während der Zeitintervalle, in denen keine ausgeprägten Langzeitvariationen beobachtet werden, sollte es leichter sein, Variationen auf anderen Zeitskalen zu entdecken. Deshalb ist eine Periodenanalyse an den V/R- und EW-Variationen für die letzten drei Sichtbarkeitsperioden mit dem Programm Period04 (Lenz & Breger, 2005) durchgeführt worden. Während keine zufrieden stellende Periode an den V/R-Daten gefunden werden konnte, ergab sich eine 132-Tage-Periode für die H α -EW-Variationen und eine Periode von etwa 70 Tagen für die EW der Hel6678-Linie. Die Phasen-Diagramme der einzelnen H α -EW-Messungen sind in Abb. 3 gezeigt. Darin sind die Langzeitvariationen (C) aus einer Summe von fünf Sinuswellen modelliert worden.

Die für die H α -EW-Variationen gefundene 132-Tage-Periode stimmt sehr gut überein mit der orbitalen Periode dieses Doppelsternsystems. Die Emissionsabnahme entwickelte sich in der Nähe der orbitalen Phase 0.5, konnte jedoch nicht in den Daten der letzten Sichtbarkeitsphase erkannt werden.

Der Grund dafür könnte in der nahezu kompletten Auflösung der Scheibe, oder aber auch in der geringeren spektralen Auflösung (verbunden mit einem größeren Fehler) der letzten Daten begründet sein. Entsprechend den von Ruždjak et al. (2009) gegebenen Ephemeriden, liegt bei dieser Phase die Bahnebene der Sterne senkrecht zur Beobachtersichtlinie, so dass die beobachtete Emissionsabnahme auch durch Material, das nahe dem Lagrange-Punkt L4 entsteht, erklärt werden kann.

Alternativ dazu, kann der beobachtete Effekt auch durch Wechselwirkung der Precession einer Dichteverstärkung und Scheibenneigungsänderungen erklärt werden. Da es sich hier um ein Doppelsternsystem handelt, wird jede mögliche Neigung der Scheibe durch die Gezeitenwirkung des Begleiters moduliert. Dies kann sich als ein Nicken der Scheibenachse manifestieren, wie Schaefer et al. (2010) zeigten.

Wenn P_{prec} und P_{orbit} die Precessions- bzw. die Orbitalperioden sind, dann kann eine „Nickperiode“ angegeben in der Form:

$$P = \frac{P_{prec} \cdot P_{orbit}}{2(P_{prec} - P_{orbit})}$$

Im Falle der bekannten Precessionsperiode von 1428 Tagen und der Orbitalperiode von 133 Tagen, ist die „Nickperiode“ 73.3 Tage. Diese Hypothese wird durch die Tatsache bekräftigt, dass eine ca. 70-Tagesperiode in der Hel6678-Absorptionslinie beobachtet worden ist (Pollmann & Rivinius, 2008). Diese Absorptionslinie entsteht in äußeren Bereichen der Be-Sternscheibe, d. h. in Bereichen, die stärker durch Gezeitenkräfte beeinflusst werden.

4. Zusammenfassung

Während der letzten drei Beobachtungsperioden hat die H α -Äquivalentbreite (EW) des Be-Hüllensterns ζ Tau signifikant abgenommen, was zu einem Verschwinden der ausgeprägten Langzeitradialgeschwindigkeit und des H α -Peakverhältnisses V/R geführt hat. Die Emissionabnahme wurde von einer mäßigen Helligkeitszunahme und von einem „bläueren“ U–B und B–V der Farben begleitet.

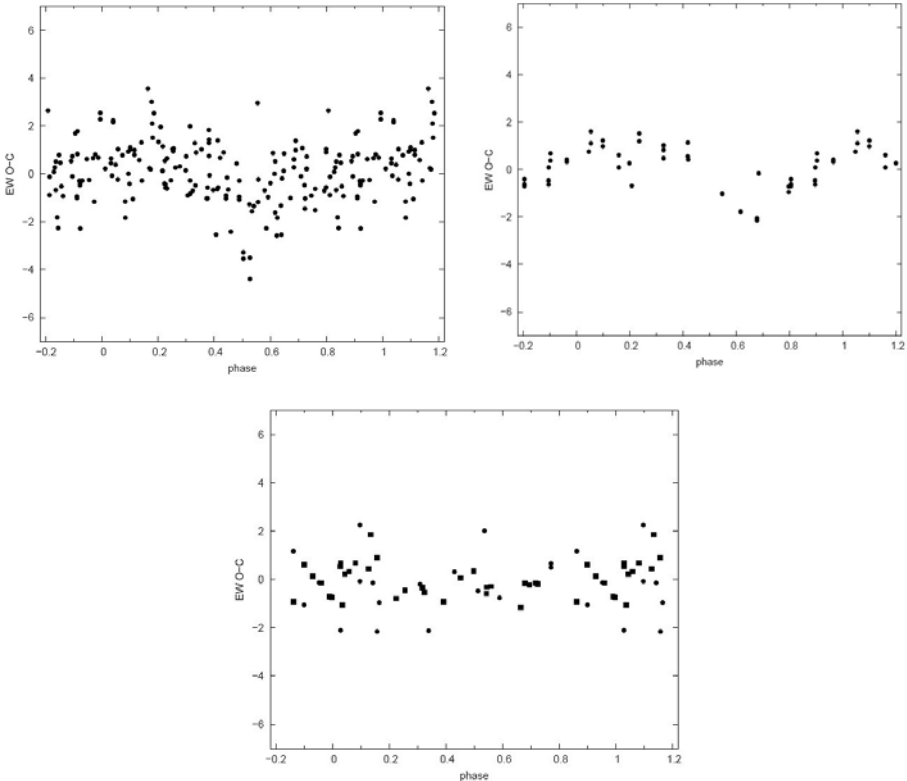


Abb. 3: Phasendarstellung für individuelle H α -EW-Beobachtungen. Oben links: Daten aus Spektren von Ruždjak et al. (2009) (JD 249049–2453850), oben rechts: Ondřejov-Spektren (JD 2454490–2455878) und unten: Pollmann-Spektren (JD 2455091–2456013).

Unteres Bild: Daten vor JD 2455495 sind gekennzeichnet als Punkte, und Daten nach JD 2455546 sind gekennzeichnet als Quadrate. Die verwendeten Ephemeriden waren: $T = \text{HJD } 2447025.6 + (132.987 \times E)$.

Dies steht mit der Entleerung der zirkumstellaren Scheibe im Einklang. Wenn die Entleerung der Scheibe weiter andauert, ist es möglich, dass ζ Tau seine Linienemission vollständig verliert. Einerseits könnte aber auch neues Material in die

Scheibe geliefert werden, was in einer Zunahme der Emissionsstärke beobachtet werden könnte. Die Periodenanalyse der beobachteten Veränderungen der H α - und H ϵ 6678-Linien ergibt die Perioden von 132 bzw. 70 Tagen. Diese Perioden werden möglicherweise durch Bedeckungen der emittierenden Scheibenteile verursacht, die durch Material nahe des Lagrangepunktes L4 (132 Tage-Periode) und durch Nicken als eine Konsequenz der gezeiten-modulierten Precession der Scheibenneigung (70 Tagesperiode) entstehen.

Danksagung:

Wir möchten P. Hadrava, P. Harmanec, D. Korčáková, P. Koubský, P. Škoda, M. Šlechta und M. Wolf für die zur Verfügung gestellten Ondřejov-Spektren und dem Referee des Berichtes für seine nützlichen Anmerkungen und Vorschläge danken.

Referenzen

- Ballereau, D., Chauville, J., Hubert, A. M., and Zorec, J.: 1992, IAU Circ. 5539, 1.
 Guo, Y.: 1994, Informational Bulletin on Variable Stars 4112, 1.
 Harmanec, P. and Horn, J.: 1998, Journal of Astronomical Data 4, 5.
 Horn, J., Kubát, J., Harmanec, P., Koubský, P., Hadrava, P., Šimon, V., Štefl, S., and Škoda, P.: 1996, Astron. Astrophys. 309, 521–529.
 Kraus, S., Monnier, J. D., Che, X., Schaefer, G., Touhami, Y., Gies, D. R., Aufdenberg, J. P., Baron, F., Thureau, N., ten Brummelaar, T. A., McAlister, H. A., Turner, N. H., Sturmann, J., and Sturmann, L.: 2012, Astrophys. J. 744, 19.
 Lenz, P. and Breger, M.: 2005, Communications in Asteroseismology 146, 53–136.
 Mon, M., Kogure, T., Suzuki, M., and Singh, M.: 1992, Publ. Astron. Soc. Jpn. 44, 73.
 Pollmann, E., Rivinius, Th.: 2008 IBVS No. 5813
 Ruždjak, D., Božić, H., Harmanec, P., Fiřt, R., Chadima, P., Bjorkman, K., Gies, D. R., Kaye, A. B., Koubský, P., McDavid, D., Richardson, N., Sudar, D., Šlechta, M., Wolf, M., and Yang, S.: 2009, Astron. Astrophys. 506, 1319.
 Schaefer, G. H., Gies, D. R., Monnier, J. D., Richardson, N. D., Touhami, Y., Zhao, M., Che, X., Pedretti, E., Thureau, N., ten Brummelaar, T., McAlister, H. A., Ridgway, S. T., Sturmann, J., Sturmann, L., Turner, N. H., Farrington, C. D., and Goldfinger, P. J.: 2010, Astron. J. 140, 1838.
 Škoda, P.: 1996, ASP Conf. Ser. 101: Astronomical Data Analysis Software and Systems V, pp. 187–189.