

H α -Beobachtungen am Doppelsternsystem Zeta Tauri

Ernst Pollmann und Th. Rivinius

Einleitung

Be-Sterne sind u.a. als veränderliche Sterne bekannt, die praktisch auf allen Zeitskalen - im Minutenbereich bis zu Dutzenden von Jahren - beobachtbare Veränderungen zeigen. Zur Studie ihrer Veränderungen im letzten genannten Zeitbereich sind Langzeitdatensammlungen erforderlich, die so homogen wie möglich die zu betrachtende Zeitspanne abdecken.

Die professionelle Astronomie ist im mittleren bis langzeitigen Bereich oft in ihren Studien an Be-Sternen daran gehindert, Beobachtungen auf diesen Zeitskalen mit der notwendigen Beobachtungsdichte durchzuführen. Gründe dafür sind die Beobachtungspraktiken, die normalerweise im Betrieb professioneller Observatorien anzutreffen und die typischerweise nicht geeignet sind, Beobachtungen heller Objekte mit Ausführungszeiten von nur wenigen Minuten und darüber hinaus wochenlang während einer Sichtbarkeitsperiode durchzuführen. Außerdem ist die Fertigstellung einer solchen Langzeitdatenbank auch wegen des zu finanzierenden Zeitaufwandes problematisch.

Andererseits kann die Interpretation zeitbegrenzter Beobachtungen mit professionellen Ressourcen in nahezu allen Fällen aus der Kenntnis des Scheibenstatus von Be-Sternen im Verlauf einer Langzeitentwicklung aus Amateurbeobachtungen profitieren. Somit eröffnet sich dem engagierten Amateur ein viel versprechendes Betätigungsfeld. Heutige Amateurspektrographen mit relativ kleinen Teleskopen von 20 bis 40 cm Öffnung, ausgestattet mit CCD-Detektoren, erreichen Auflösungsvermögen ($R = \lambda/\Delta\lambda$) deutlich über 10.000. In dieser Arbeit wird ein Datenbankgehalt aus mehr als fünf Jahren Beobachtung am Be-Stern ζ Tau beschrieben.

Beobachtungen

ζ Tau ist ein gut bekannter Be-Doppelstern, wobei Beobachtungen der H α -Emissionslinie über viele Jahrzehnte zurückreichen. Diese Arbeit verbessert professionelle Zeitserien mit Ergebnissen aus H α -Beobachtungen von sechs kompletten Beobachtungsperioden zwischen Anfang 2000 und Ende 2006. Sämtliche Beobachtungen sind mit einem Selbstbauspektrographen an der 20cm Lichtenknecker-Flat-Field-Kamera in der Arbeitssternwarte der „Vereinigung der Sternfreunde Köln“ durchgeführt worden. Von 11/2000 bis 04/2003 ist dabei ein spaltloser Prismenspektrograph mit 43Å/mm Dispersion ($R \approx 8000$) und von 09/2003 bis 04/2006 ein spaltloser Gitterspektrograph mit 27Å/mm Dispersion ($R \approx 14000$) verwendet worden. Die Spektren wurden durch manuelle Festlegung geeigneter Kontinuumspunkte im Spektralbereich von 6500 bis 6700Å unter Anwendung einer Splinefunktion durch diese Punkte normiert. Die Wellenlängenkalibration wurde durch Verwendung tellurischer Absorptionslinien (verglichen mit UVES-Wellenlängenmessungen, (private Mitteilung von Dr. R. Hanuschik, ESO)) im H α -Bereich abgeleitet. Die hier diskutierten Spektren sind elektronisch bei IBVS (International Bulletin On Variables Stars Nr. 5813) in Form von ASCII-Tabellen veröffentlicht.

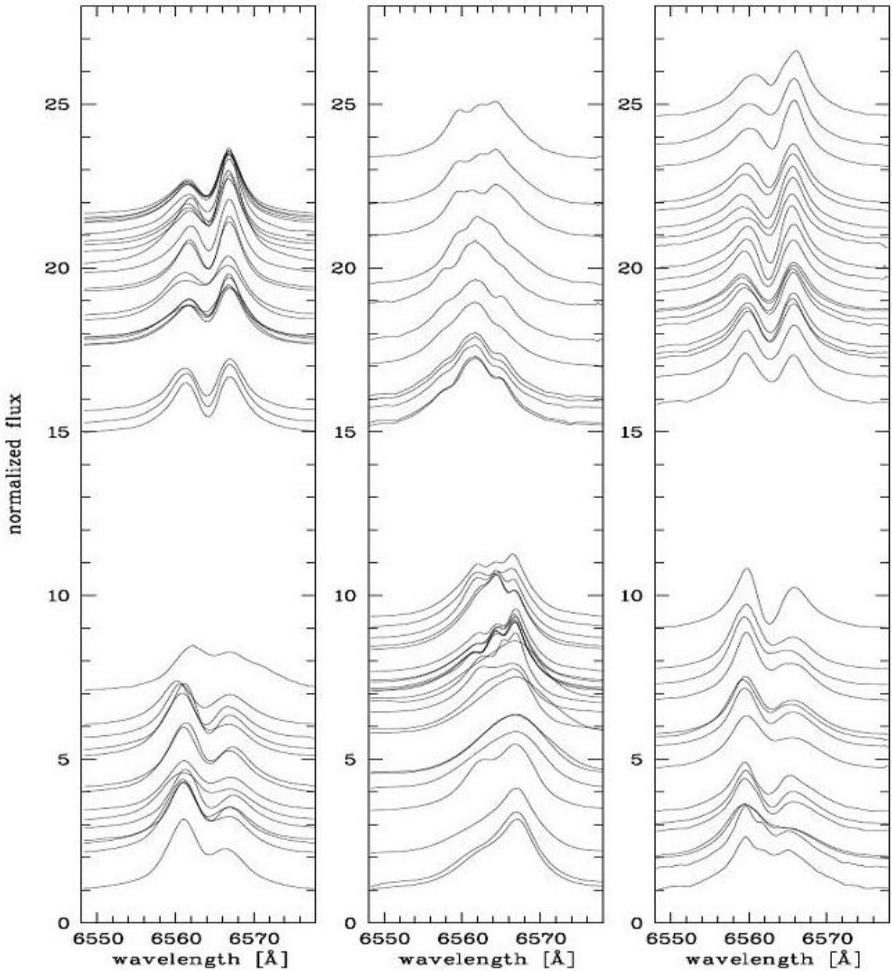


Abb. 1: Alle gemessenen H α -Profile von Ende 2000 bis Anfang 2006. Der vertikale offset ist proportional der Beobachtungszeit, dabei entspricht eine Skaleneinheit 25 Tage. Die untersten Spektren datieren von Nov.1, 2000 (links), Sep. 9, 2002 (mittig) und Aug. 23, 2004 (rechts).

Äquivalentbreiten

In den normierten und kalibrierten Spektren ist die H α -Äquivalentbreite (Maß für die Linienintensität) durch Integration des Spektralbereichs von 6520-6600Å gemessen worden. Ein Vergleich der hier präsentierten Daten mit denen, die quasi-simultan durch Rivinius et al. (2006) aufgenommen worden sind, bestätigen die

wissenschaftliche Verwertbarkeit hinsichtlich der H α -Linienprofilform und der Äquivalentbreite (siehe Abb. 2 und 3).

Theoretisch sollte die gemessene Äquivalentbreite von der Dispersion des verwendeten Spektrographen unabhängig sein. In der Praxis ist dies typischerweise jedoch nicht der Fall. Die Spektren mit der geringeren Dispersion von 43Å/mm weichen systematisch ab von denen mit der höheren Dispersion. In den vorliegenden Spektren kann dies am Vergleich mit den quasi-simultanen, professionellen Messungen erkannt werden. In dieser Arbeit ist nicht versucht worden diesen Effekt der Abweichung zwischen den Daten zu korrigieren, sondern es erschien wesentlicher darauf hinzuweisen, dass die Daten nicht überinterpretiert worden sind.

Im Allgemeinen beträgt die Genauigkeit mit Amateurinstrumenten gemessener Äquivalentbreiten (EW) etwa 5%. Zur Überprüfung der hier erhaltenen Genauigkeit von Äquivalentbreite und Peakhöhenverhältnis (= V/R-Verhältnis = violette/rote Komponente) der H α -Emission, sind Reihenmessungen an Standardsternen in drei kompletten Nächten mit jeweils 8 Stunden Beobachtungszeit durchgeführt worden. Für die Äquivalentbreite und das V/R-Verhältnis lag die Standardabweichung (RMS-Fehler) unter 3%.

Abb. 2 zeigt die Messungen dieser Arbeit kombiniert mit Werten aus verschiedenen Veröffentlichungen für den Gesamtzeitraum 1975 bis 2006 und repräsentiert die bisher längste Zeitskala für ζ Tau überhaupt. Abb. 3 ist die Vergrößerung des in dieser Studie eingegangenen zentralen Datenbereiches. Die EW zeigt darin eine langsame aber stetige Abnahme, ähnlich einem vor 1990 beobachteten Verhalten.

Peak-Höhenverhältnis V/R

Das H α -Linienprofil zeigt normalerweise die beiden Emissionen getrennt durch einen zentralen Absorptionskern. In ζ Tau variieren beide Peakstärken nicht gleichzeitig, so dass das Verhältnis der Höhe der violetten zur roten Komponente sich zyklisch verändert von $V>R$ zu $V<R$ und zurück. Gelegentlich kann jedoch die zentrale Absorption schwächer werden oder verschwinden, so dass die Emissionspeaks eine ziemlich komplizierte Struktur annehmen und in Subpeaks aufgespalten sein können, oder auch als dreifach-Peakstruktur in Erscheinung treten.

Die Gründe für die Entstehung dieser Profilstrukturen sind bis heute unklar. Generell treten sie in Erscheinung bei den Umwandlungsphasen von $V<R$ nach $V>R$, nicht jedoch umgekehrt. Im vorliegenden Beobachtungsbericht sind diese Peakstrukturen zu sehen von Dezember 2003 bis September 2004. Die zeitliche Entwicklung des H α -Profils zwischen 2000 und 2006 zeigt Abb. 1.

Die V/R-Verhältnisse wurden in den Spektren gemessen, in denen beide Peaks vertreten waren. Mit Hilfe eines Zeitserienprogrammes (Kaufer et al. (1996)), sind sie einer Periodenanalyse mit vorgegebener 1σ -Messunsicherheit unterzogen worden. Die erste Iteration führte zu einer V/R-Zykluszeit von $1471 \pm 15d$, d.h. zu etwa 4 Jahren (Abb.4, links). Während diese Periode kürzer ist als die 5-7Jahre-Periode von Okazaki (1997), die er aus Beobachtungen zwischen 1960 und 1993 abgeleitet hat, steht sie in guter Übereinstimmung mit der Zykluszeit 4,25 Jahren von Rivinius et al. (2006) aus Beobachtungen zwischen 1991 bis 2003. Der Hauptzweck dieser ersten

Analyse der Zeitspanne von etwas mehr als einem Zyklus war die Aufbereitung der Daten für eine anschließende Kurzzeitvariationsanalyse.

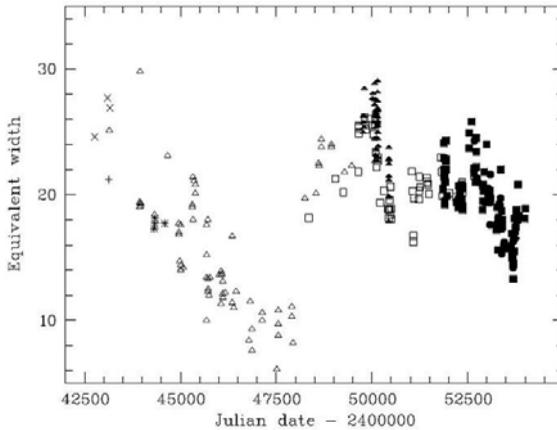


Abb. 2: Die H α -Äquivalentbreite von ζ Tau seit 1975. Die Daten aus der Literatur sind geplottet als offene Symbole: Heros-Gruppe (Rivinius et al., 2006, Quadrate), Guo et al., 1995 (Dreiecke), Fontaine et al., 1982 (Plus), Slettebak & Reynolds, 1978 (Kreuze), Andriilat & Fehrenbach, 1982 (asterisks); die Daten verschiedener Amateurbereobachter sind die gefüllten Symbole: Pollmann, Prismenspektren (Dreiecke), Pollmann, Gitterspektren (Quadrate), Stober (Kreise) und Schanne (Diamant)

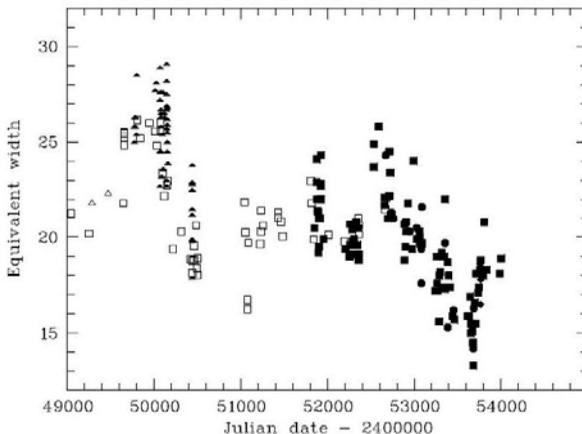


Abb. 3: Vergrößerung von Abb. 2 zur Verdeutlichung im Detail, aber auch zum Vergleich der Daten von Amateuren zu professionellen Messungen.

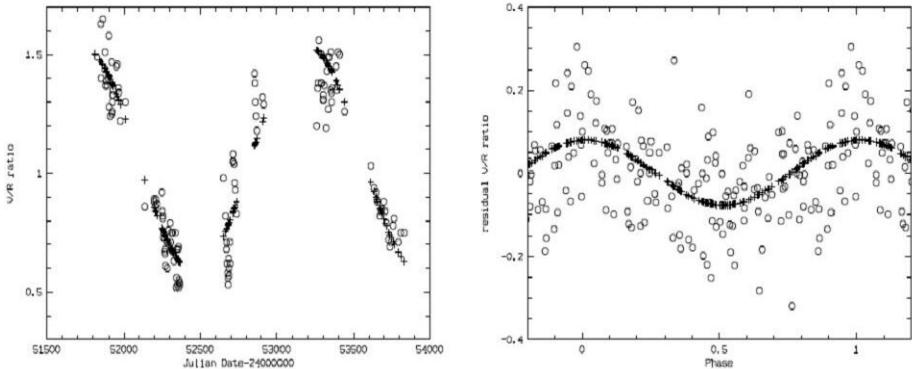


Abb. 4: Das H α -V/R-Verhältnis. Links: die gemessenen Werte vs. Julianischem Datum (offene Symbole) mit der Sinuswelle mit $P = 1471$ d (Pluszeichen). Rechts: die Residuen aus dem linken Plot, gefaltet mit $P = 69.3$ d und entsprechendem Sinusfit. Gezeigt sind hier 1.4 Zyklen zur Verdeutlichung, d.h. 40% der Messpunkte sind redundant.

Nach Abzug der langperiodischen Daten (1471d-Sinuswelle) des ersten Schrittes führte eine zweite Iteration zu den verbleibenden Residuen mit einer Zyklusperiode $69,3 \pm 0,2$ d (Abb. 4, rechts). Dieser Zyklus ist im zentralen Teil des gesamten Datensatzes deutlich präsent, wenngleich nicht mit konstanter Amplitude, wobei doch die Varianz, gezeigt im rechten Bild von Abb.4 bei einer Zykluslänge von 1.4, deutlich über der Messunsicherheit liegt.

Tatsächlich ist der 69.3d Zyklus in den individuellen Beobachtungsphasen vor JD= 2452100 nicht zu sehen, kaum sichtbar bis 53000, wurde dann aber sehr deutlich um schließlich nach JD=2453500 wieder schwächer zu werden. Die Ephemeriden der Residuen des V/R-Maximums sind $2452996 + 69.3 \times E$

Die Zykluszeit von 69,3 d ist etwa die Hälfte der orbitalen Periode des Systems von 132.97 d (Harmanec, 1984). Ein exaktes 1:2 Verhältnis davon liegt jedoch deutlich außerhalb einer 3σ Unsicherheit. In einem Gegencheck zeigten die mit der orbitalen Periode sortierten Daten eher die Eigenschaften eines Streudiagrammes als eine sinnvolle Phasenkurve.

Phasengebundenheit des V/R-Verhältnisses ist bei vielen Doppelsternsystemen beobachtet worden. Während Harmanec et al. (2002) dies auf die Eigenschaften des Roche-Volumens (z.B. bei 59 Cyg) zurückführt, fanden dagegen Stefl et al. (2007, und priv. Mitteilung v. Okazaki) in hydrodynamischen Simulationen, dass eine, bisher stets angenommene, echte Phasengebundenheit von V/R-Variationen nicht vorliegt.

Bei 59 Cyg sind sie eher zurückzuführen auf radiative Effekte (Maintz et al., 2005), was bei ζ Tau jedoch nicht wahrscheinlich ist. Stattdessen weisen die Simulationen auf exakte Gezeitengebundenheit hin, die im Fall exzentrischer Doppelsternsysteme gezeiteninduzierte Störungen mit einer Periode entwickeln können, die etwas länger

ist als die orbitale Periode und wir möchten anmerken, dass mindestens die Doppelwellenperiode sich für diese Aussage qualifizieren könnte.

Dieser kleine Unterschied könnte auch eine Erklärung für die starke Amplitudenvariabilität sein: unter der Annahme, dass die orbitale Periode eine Dichtestörung verursacht, würde die V/R-Variationszykluslänge, wie beobachtet, sich entwickeln zu einer Langzeitperiode mit einem Anregungsmechanismus von etwa 9 Jahren.

Diskussion und Ausblick

Die in dieser Arbeit vorgelegten Daten erweitern die von Rivinius et al. (2006, dort Abb.4 im Anhang A) gezeigten ζ Tau-Spektren. Während ihre Daten die Jahre 1991 bis 2003 abdecken, wird mit den hier gezeigten Daten der Zeitabschnitt von 2000 bis 2006 bei fortgeführter Beobachtung abgedeckt. Von engagierten Amateuren durchgeführtes, spektroskopisches Langzeitmonitoring, kann der professionellen Astronomie wichtige Daten bereitstellen: z.B. der leicht erfassbare Status des V/R-Zyklus, der durch eine einarmige Dichtewelle verursacht wird, oder auch die Maxima der Äquivalentbreiten bei JD=2450150 und JD=2452600, die nicht mit dem V/R-Zyklus übereinstimmen.

Der spektroskopische 69.3d-Zyklus ist ein weiteres Beispiel für Phänomene, die dem professionellen Astronomen wegen der erforderlichen Beobachtungszeitskalen nahezu unzugänglich sind, die aber auf der anderen Seite für den engagierten Amateur kein wirkliches Problem aufwerfen. Ein erster Blick auf die Spektren der Beobachtungssaison 2006/2007 zeigt einen scharfen Anstieg der Äquivalentbreite von etwa 18 bis 26 Å. Zur gleichen Zeit, wie sich wieder das V/R-Verhältnis von $V < R$ nach $V > R$ verändert, erscheint die H α -Emission als triple-Peak-Profil, womit wieder ein neuer Zyklus der V/R-Variationen eingeleitet wird.

Danksagung:

Wir sind dem Referee Petr Harmanec sehr dankbar für seine detaillierten und kritischen Kommentare, die zu einer wesentlichen Erweiterung und Verbesserung dieser Arbeit geführt haben.

Literatur

- Andrillat Y., Fehrenbach C., 1982, A&AS, 48, 93
Fontaine G., Villeneuve B., Landstreet J. D., Taylor R. H., 1982, ApJS, 49, 259
Kaufer, A., Stahl, O., Wolf, B., et al., 1996, A&A 305, 887
Guo, Y., Huang, L., Hao, J., Cao, H., Guo, Z., & Guo, X. 1995, A&AS, 112, 201
Okazaki, A.: 1997, A&A 318, 548
Rivinius, Th., Stefl, St., Baade, D.: 2006, A&A 459, 137
Slettebak A., Reynolds R. C., 1978, ApJS, 38, 205
Stefl, S., Okazaki, A. T., Rivinius, T., & Baade, D. 2007, Active OB-Stars: Laboratories for Stellar and Circumstellar Physics, ASP Conf. Series 361, 274

Ernst Pollmann, Emil-Nolde-Str. 12, 51375 Leverkusen, spektro@bav-astro.de
Th. Rivinius, ESO-Chile, Santiago de Chile