

Variationen in den Winden von Deneb und Rigel

von Siegfried Hold

Sterne verlieren stets Masse durch Abstrahlung in den Raum. Man unterscheidet bei den Sternwinden unter:

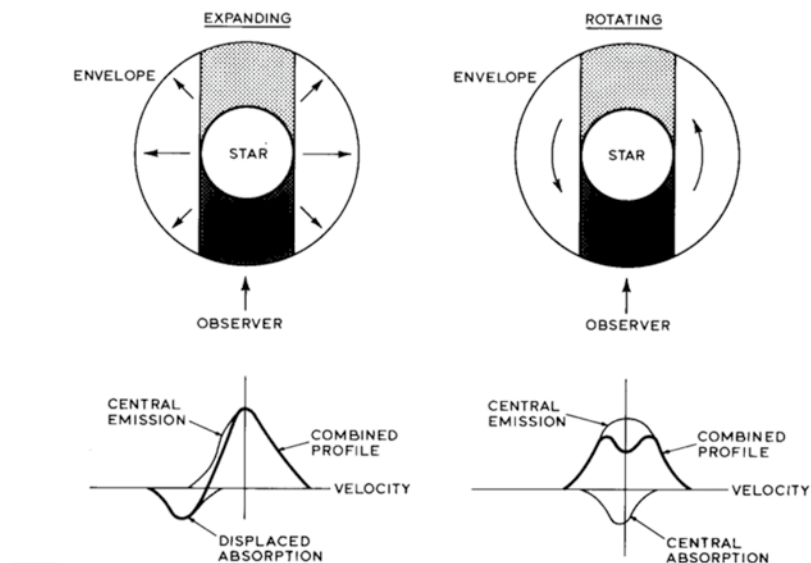
1. strahlungsdruckgetriebene,
2. staubgetriebene und koronale (Sonne) Winde.

Winde heißer Sterne wie Deneb und Rigel sind strahlungsdruckgetrieben. Wie groß dieser Massenverlust ist, hängt vom Spektraltyp und der Masse bzw. Größe ab. Späte B-Sterne (z. B. β Ori, B8 Iae) und frühe A-Sterne (z. B. α Cyg, A2 Iae), auch BA-Überriesen genannt, sind leuchtkräftige (typisch 10^5 Sonnenleuchtkräfte) und massereiche (typisch 20 Sonnenmassen) Sterne. $H\alpha$ ist eine sehr wind-sensitive Linie, weshalb sie sich für diese Untersuchung besonders gut eignet und Schwerpunkt dieses Berichtes ist.

Anmerkung zu den dargestellten Profilen: Um eine Vorstellung über die Windgeschwindigkeiten zu bekommen, wurden alle Profile in km/s dargestellt. Aus Konvention wird der blaue Teil negativ dargestellt. Diese Geschwindigkeiten werden aus den Verschiebungen der Wellenlänge nach dem Dopplereffekt ermittelt.

Wie kommen Winde zustande?

Riesen bzw. Überriesen weisen auf Grund ihrer Größe eine geringe Schwerkraft auf, wodurch es zu großem Massenverlust kommt. Dieser Massenverlust ist zum Teil kontinuierlich, es kann aber auch zu lokalen massiven Auswürfen kommen. Diese können, sofern an ein Magnetfeld gekoppelt, wieder zurück auf den Stern fallen. Solche Vorfälle zeigen sich durch eine „blaue“ Variation im Profil, aufsteigende Masse mit Geschwindigkeitskomponente zum Beobachter, und einer „roten“ Komponente, wieder auf den Stern fallende Massen mit Geschwindigkeitskomponente vom Beobachter weg. Die rote Komponente ist allerdings schwer erkennbar, da diese bei Sternen mit massiven Winden meist durch Emissionen, welche von der Hülle stammen können, überlagert sind. Überhaupt ist die Be-



1

Zur Entstehung und der Form von P-Cygni-Profilen. Bei expandierender Hülle (links) zeigt sich eine blauverschobene Absorption, überlagert mit der Emission aus der Hülle. Bei einer statischen Hülle zeigt sich ein Profil mit verschobenen Emissionen, die durch die Rotation hervorgerufen werden. (Abb. entnommen aus [2])

wertung eines $H\alpha$ -Profils schwierig, da dieses durch mehrere Geschwindigkeitsfelder überlagert ist. Bei den hier beschriebenen Variationen handelt es sich jedoch um massive Verluste von Massen, welche sich mit hoher Geschwindigkeit vom Stern entfernen. Diese Vorgänge lassen sich daher als zeitlich begrenzte und unregelmäßig auftretende Änderungen in den Linienprofilen erkennen. Das Linienprofil, welches von einer expandierenden Hülle oder einer statisch rotierenden Hülle um den Stern erzeugt wird, ist als P-Cygni-Profil bekannt (nach dem Prototyp P Cygni). Dies zeigt die Abbildung 1, wobei weitere Details hierzu in der Dissertationsschrift [1] nachgelesen werden können.

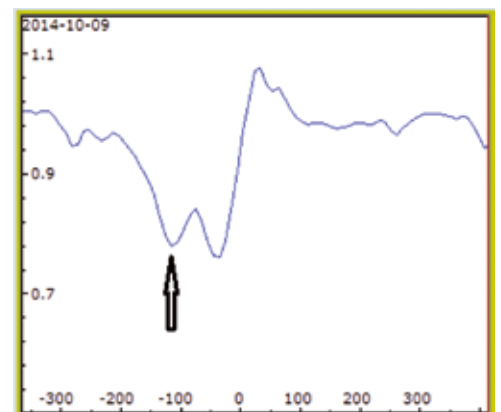
Massenverluste und ihre Auswirkung auf die galaktische Entwicklung

Den Verlust an Masse pro Zeiteinheit, den der Stern aufgrund des Windes erleidet, nennt man Massenverlustrate. Diese kann bei heißen Riesen 1/3 bis 30 Erdmassen pro Jahr betragen. Im Vergleich dazu sind es bei unserer Sonne $3,3 \cdot 10^{-9}$ Erdmassen pro Jahr. Diese heftigen Sternwinde verdichten die Materie in ihrer Umgebung, reichern sie mit Elementen an und bilden mitunter Stoßfronten. Eindrucksvolle HST-Bilder vom Adlerne-

bel zeigen, welche Dynamik im Gange ist.

Warum fiel die Wahl auf Deneb (α Cyg) und Rigel (β Ori)?

β Ori wurde von mir schon seit einigen Jahren beobachtet. Variationen, welche in wenigen Tagen im Profil erkennbar waren, lenkten die Aufmerksamkeit verstärkt auf diese Objekte. Zunächst waren es Änderungen in Absorption und Emission, auch das typische P-Cygni-Profil konnte erkannt werden. Mit Verbesserung der Aufnahmetechnik, zunächst ein



2

Deneb 2014, das Profil von $H\alpha$, dargestellt im Geschwindigkeitsraum (km/s)

Umbau von der direkten Einkoppelung auf eine Fasereinkoppelung mit der Easy Fiber [3] und dem optischen Redesign im Sommer 2014 konnte das Signal weiter verbessert werden, so dass Strukturen, wie weit auslaufende Flügel im Profil der H α -Linie, erkannt werden konnten. Im September 2014 tauchte eine Variation im H α -Profil von α Cyg auf (vgl. Abb. 2), wobei zunächst vermutet wurde, es könnte sich um ein Artefakt handeln. Eine genaue Überprüfung der Daten und ein erneutes Reduzieren der Rohdaten brachten Gewissheit. Es handelte sich um ein seltenes Ereignis. Eine Durchsicht der Daten von 02/2014 zeigte, dass auch Rigel diese Variation im Profil aufwies.

Auf den ersten Blick sieht es aus, als wäre der Absorption eine zentrale Emission überlagert. Diese Komponente im Wind von Deneb wurde jedoch markant stärker und wurde, soweit es die Witterungsverhältnisse zuließen, regelmäßig beobachtet. Dazu Weiteres unten.

Aufnahmetechnik/Instrumente

Als Aufnahmeinstrument dient ein Schiefspiegler mit 300-mm-Öffnung und 6 Meter Brennweite. Der Spektrograf vom Typ Czerny-Turner hat für Kollimator und Kamera je 320 mm Brennweite und ist mit einem Reflexionsgitter (2.400 Linien/mm) ausgestattet. Teleskopseitig wird das Signal über die EasyFiber [3] in die Faser geleitet. EasyFiber [4] ist eine kompakte Einheit, in welcher das Öffnungsverhältnis vom Teleskop an die Faser angepasst und in die Faser eingespeist wird. Ein Redesign der Optik ermöglichte eine verbesserte Kontrolle des Sterns auf der Faser. Auch das Streulicht wurde erheblich reduziert. Die Abbildung 3 zeigt die Einkopplung, montiert am Okularstutzen. Ergebnis dieser Änderung sind Spektren mit sehr gutem Signal-zu-Rausch-Verhältnis. Dies ist besonders bei den weit auslaufenden Flügeln in den Profilen wichtig.

Daten zu den Objekten

Die Objektdaten [1] sind in der Tabelle 1 zusammengefasst. Die Tabelle 2 mit den stellaren Parametern ist der Arbeit von A. Kaufer [1] entnommen. Die Objekte in diesem Bericht, Deneb und Rigel, sind rot umrandet. Für die meisten Parameter ist es erforderlich, Linien über den gesamten spektralen Bereich zu untersuchen.



3
Die Einkopplung in die Faser am Teleskop

Tabelle 1: Helligkeiten und Koordinaten der beobachteten Sterne

Objekt	Spektraltyp	Rektasz. (2000.0)	Dekl. (2000.0)	V
HD 34085 (β Ori, Rigel)	B8 Iae	05 ^h 15' 16"	-08° 11' 25"	0,12 mag
HD 194375 (α Cyg, Deneb)	A2 Iae	20 ^h 41' 56"	45° 19' 58"	1,25 mag

Da hier nur die H α -Linie untersucht wird, werden nur einige Parameter beschrieben:

v – Die Windendgeschwindigkeit, tatsächlich wurden an β Ori temporär Geschwindigkeiten bis 400 km/s gemessen, vgl. [1].

v_{sys} – Die Systemgeschwindigkeit ist unverzichtbar für alle absolut zu bestimmenden Geschwindigkeiten.

„High-velocity absorptions“ (HVA) von Rigel 2014

Die Durchsicht älterer Daten, jene vom 15.02.2014, brachte einen Schatz zum

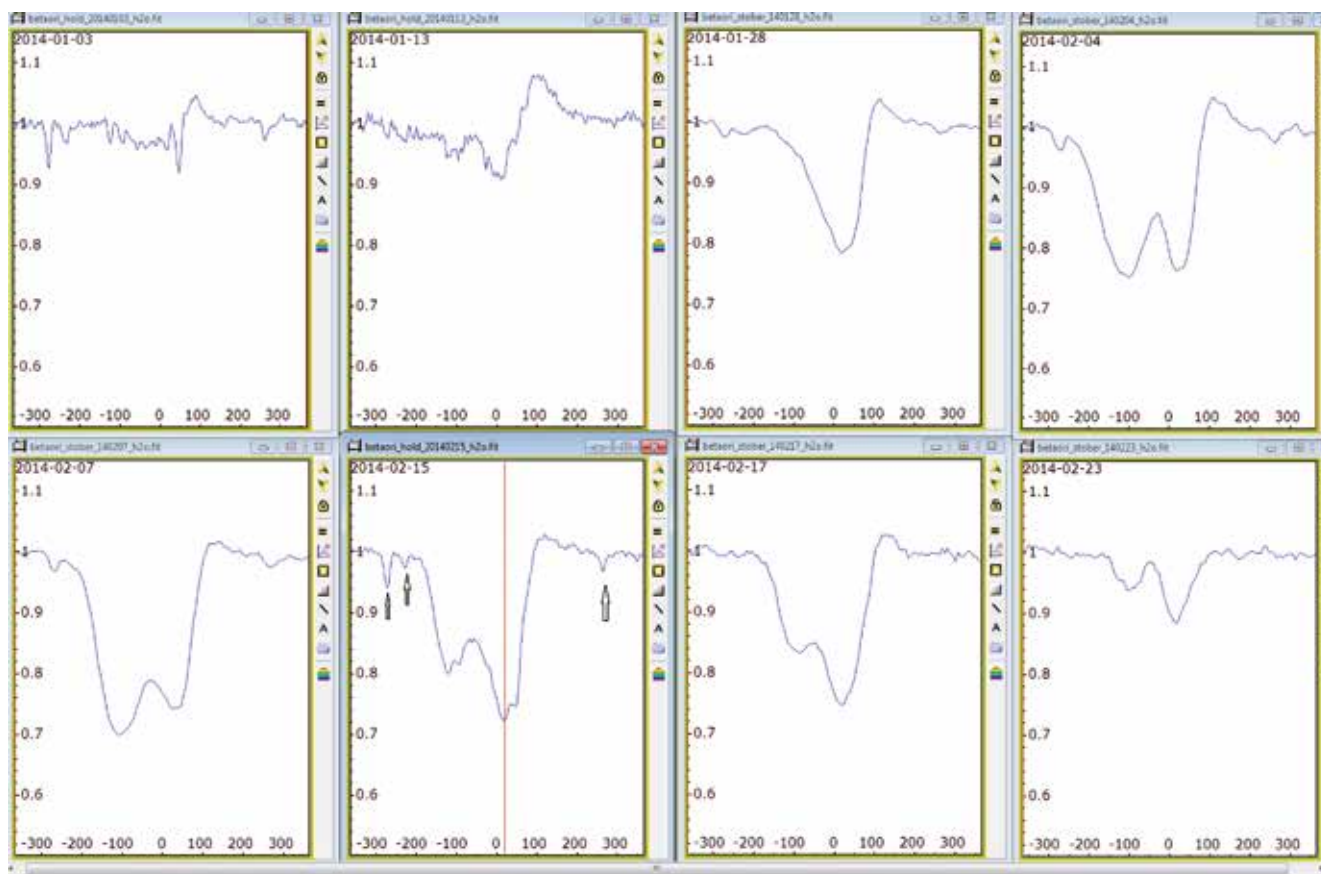
Vorschein: Zuvor nicht beachtet, zeigten die Daten eindeutig ein HVA-Ereignis. Dr. Berthold Stober, auch an diesem Objekt interessiert, hat glücklicherweise auch zu diesem Zeitpunkt Rigel spektroskopiert. Freundlicherweise hat er seine Daten zur Verfügung gestellt, womit eine kurze Zeitserie möglich wurde. Immerhin handelt es sich hier um ein unregelmäßiges und eher seltenes Ereignis.

Bei diesen HVAs handelt es sich um massive Massenauswürfe wie sie nur bei BA-Überriesen beobachtet werden. Diese Verdichtung im Wind in Korotation mit dem Stern ist über mehrere Rotationen

Tabelle 2: Stellare Parameter der Programm-Sterne, entnommen aus [1]

Objekt	sp	$W_{\lambda}(Mg4481)/W_{\lambda}(H\gamma)$	$W_{\lambda}(He4471)$ [Å]	M_V	$B.C.$	M_{bol}	$\log L/L_{\odot}$	T_{eff} [K]	R/R_{\odot}	M/M_{\odot}	$\log g$
HD 91619	B7	0.8	1.43	-7.99	-0.78	-8.77	5.42	12 200	114	27	1.75
HD 34085	B8	1.2	1.64	-7.77	-0.66	-8.43	5.28	11 200	116	23	1.67
HD 96919	B9	2.5	1.56	-7.97	-0.52	-8.49	5.30	10 300	141	23	1.50
HD 92207	A0	4.6	1.34	-8.29	-0.41	-8.70	5.39	9 730	174	23	1.32
HD 100262	A2	5.9	2.60	-7.50	-0.28	-7.78	5.02	9 080	131	18	1.46
HD 197345	A2	6.3	2.80	-7.30	-0.28	-7.58	4.94	9 080	119	18	1.54

Objekt	v_{break} [km/s]	$P_{rot,break}$ [d]	$\sqrt{1-T}$	v_{esc} [km/s]	v_{∞} [km/s]	$v \sin i$ [km/s]	$P_{rot}/\sin i$ [d]	$P_{rad,fund}$ [d]	v_{sys} [km/s]
HD 91619	212	27	0.87	261	-	60	96	9	-6
HD 34085	195	30	0.89	244	< -229(-187)	55	107	10	+18
HD 96919	176	40	0.88	220	< -249(-186)	60	119	14	-24
HD 92207	159	55	0.85	192	-263(-242)	55	160	19	-17
HD 100262	162	41	0.92	212	-287(-262)	50	132	14	-17
HD 197345	170	36	0.94	225	-262(-254)	50	121	12	-1



4

Das HVA-Ereignis von Rigel 2014

sichtbar, was wiederum bedeutet, dass der Wind rotiert. Infolge der Rotation zieht sich die Verdichtung mit größer werdender Entfernung vom Stern wie ein Schweif in die Länge.

Betrachten wir nun die Abbildung 4 etwas näher: Der unerfahrene Rigel-Beobachter wird bei einem Ergebnis wie jenem vom 03.01.2014 an seinen Daten zweifeln. Da ist nicht viel zu sehen außer einem seichten Trog und einer schwachen Emission. Ein Blick auf das Bild zeigt aber, welche unglaubliche Dynamik hier im Gange ist, und das in nur wenigen Tagen. Das Ereignis muss zwischen dem 28.01. und dem 04.02.2014 stattgefunden haben. Mit dem Maximum am 07.02. kann eine Anstiegszeit der blauseitig verschobenen Komponente von weniger als 10 Tagen angenommen werden. Die Geschwindigkeit ist während Anstieg und Abstieg gleich, bei über 100 km/s. Die rote Linie (15.02.2014) entspricht der Systemgeschwindigkeit, und die Pfeile markieren Linien, welche atmosphärischen Ursprung haben und entfernt werden sollten. Dies ist allerdings eine sehr heikle Prozedur, da hierbei der blaue, flach auslaufende Flügel verfälscht werden kann,

wodurch es zu Fehlmessungen der Windgeschwindigkeit kommt.

In der Abbildung 5 ist vom HVA-Ereignis 2014 nichts mehr zu sehen. Die Serie von 2015 ist geprägt von einseitigen und doppelten Emissionen. Bei genauerer Betrachtung von Abbildung 5 ist eine Periode in der Doppelemission erkennbar, etwa 10 Tage. Rechts in der Abbildung 5 ist die maximale Amplitude in Emission dargestellt, wobei beobachtet wurde, dass die rote Seite stets stärker ausgeprägt ist. Doppelte $H\alpha$ -Emission ist eine typische Erscheinung der Variabilität der BA-Überriesen und wurde der Modulation durch Oberflächenstrukturen des Sterns zugeschrieben [1].

Variationen im $H\alpha$ -Profil von Deneb

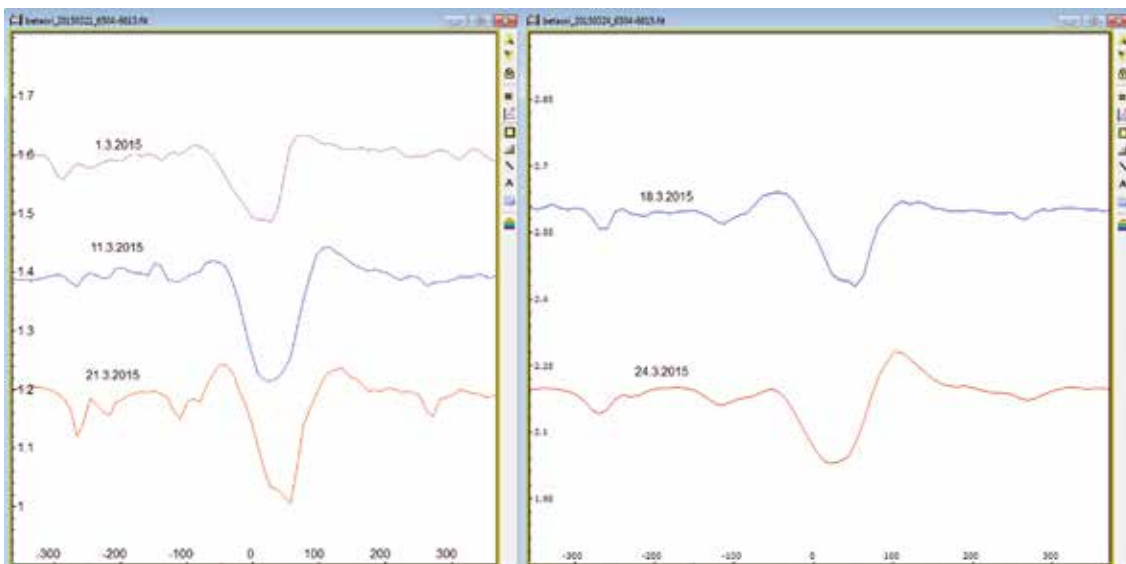
Da zwischen dem 25.08 und dem 07.10.2014 für Deneb keine Spektren vorliegen, ist es schwierig zu beurteilen, ob sich das HVA im Anstieg oder Abstieg befindet.

In der unteren Reihe der Abbildung 6 ist gut abzulesen, dass der blaue Flügel bis -300 km/s reicht. Anzumerken wäre noch der fehlende Einfluss der HVAs auf die

Windendgeschwindigkeit. Die auslaufenden Profilflügel sind nicht immer zu erkennen, weil einerseits die Profile bis etwa 150 km/s von den HVAs überlagert sind und andererseits das S/N zu niedrig ist. Dazu mehr unter dem folgendem Abschnitt.

Ausblick

Zwei beobachtbare HVA-Ereignisse in einem Jahr sind ein wahrer Glücksfall, noch dazu bei diesen Witterungsverhältnissen in Mitteleuropa. Ein weiterer wichtiger Punkt ist, das Spektrum über den gesamten (erreichbaren) optischen Wellenlängenbereich aufzunehmen. Sind es einerseits die Balmerlinien, dann ist das Balmerdekrement von Interesse, aber auch andere von der Photosphäre stammende Linien. Zum Abgabetermin des Berichtes befand sich ein Échelle-Spektrograf bereits im Bau, und dieser sollte bis zur nächsten Beobachtungsperiode im Einsatz sein. Motiviert von den Ergebnissen und den Aussichten, wieder einmal so ein HVA-Ereignis mit einem Échelle-Spektrografen vermessen zu können, verbleibt, auf gutes Wetter zur rechten Zeit zu hoffen.



5

Profilvariationen von Rigel 2015

Danksagung

Dankenswerterweise hat mir Dr. Andreas Kaufer seine Dissertationsschrift zur Verfügung gestellt. Damit konnte ein Einblick in die Forschung getätigt werden und ein Verständnis für Profilvariationen entwickelt werden. Dr. Otmar Stahl hat die Spektren kommentiert und mich auf Fehlinterpretationen hingewiesen. Ohne

professionelle Unterstützung ist es wohl kaum möglich, über ein so komplexes Thema wie „Variationen in Sternwinden“ zu berichten. Gedankt sei auch Dr. Berthold Stober für die bereitgestellten Profile.

Quellen- und Literaturhinweise:

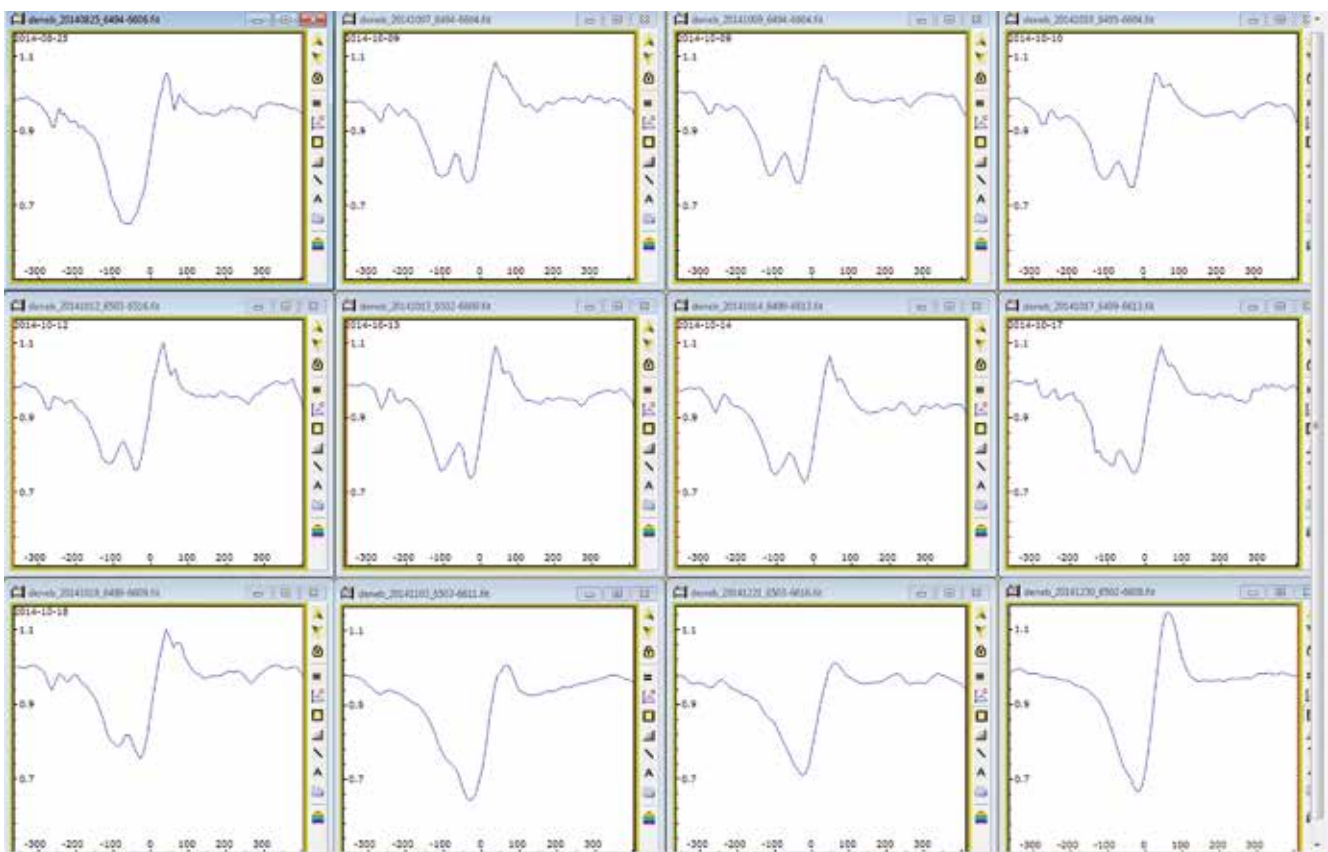
[1] A. Kaufer: *Dissertationsschrift*,

Ruprecht-Karls-Universität, Heidelberg, 1996

[2] P. S. Conti, E. M. Leep, 1974: *Astrophys. J.* 193, 113

[3] *astro-spec.com*

[4] S. Hold, 2014: „EasyFiber – Erfahrungsbericht zur Fiber-Einkopplung in den Spektrografen“, *VdS-Journal für Astronomie* 51, 131



6

Das HVA-Ereignis von Deneb 2014