

# Eclipsing binary V658 Carinae (HD 92406) containing a shell star and a hot low-mass star in the post-Algol stage

Norbert Hauck

**Abstract:** *Further studies of the binary V658 Car (HD 92406) have now confirmed its unique main features, i.e. a shell star primary component being eclipsed by a hot low-mass star. Obviously, this binary is in its post-Algol evolutionary stage, and containing a rapidly rotating primary star and a contracting hot companion star. The analysis of old radial-velocity data indicating a primary star of lower mass has now resulted in amended parameters for the binary. According to stellar models the primary star should have a mass of  $2.16 \pm 0.14 M_{\text{sun}}$  and a radius of  $1.64 \pm 0.04 R_{\text{sun}}$  for a  $T_{\text{eff}}$  of  $9700 \pm 500 \text{ K}$  based on known spectral type A0p. For the secondary star  $1.46 \pm 0.04 R_{\text{sun}}$  and  $12750 \pm 700 \text{ K}$   $T_{\text{eff}}$  have been derived and are fitting well to an existing evolutionary track for a contracting white dwarf precursor of  $0.28 M_{\text{sun}}$ . Our photometric results have confirmed the concave shape of the large decretion disk surrounding the primary star, as predicted by existing models. [English and German versions of this paper are available via [www.bav-astro.eu/rb/rb2018-2/41.html](http://www.bav-astro.eu/rb/rb2018-2/41.html) (or pdf)].*

V658 Car (HD 92406) is the first binary showing eclipses of a shell star and its surrounding equatorial gas disk by the companion star. This hot low-mass companion obviously is the former mass-transferring loser in the middle of its post-Algol contracting stage, what equally has never been seen before. Both discoveries have already been presented and discussed in an earlier paper of the author [1]. The analysis of new photometric and spectroscopic data as well as old radial-velocity data has now confirmed these findings. Nevertheless, the parameters of the binary components had to be amended.

The photometry in UVBic and H alpha with a remote controlled 0.5m-reflector telescope of an observatory in Siding Spring (SSO), Australia, has been continued. From the ROAD observatory (0.4m reflector) at San Pedro, Chile, additional photometry of the central star eclipses in passbands B and Ic has been contributed.

Figures 1, 2, 3 and 4 show the light curves in U, B, Ic and H alpha, respectively, folded over the orbital period. As indicated in the to-scale sketch of Fig. 7, the first and last contact phase of the outer primary eclipse, when the hotter secondary star 2 is covered by the large gas disk of primary star 1, are in orbital phases 0.905 and 0.115. Hence a disk of an assumed circular shape would be in a slightly eccentric position to star 1 as shown in Fig. 7. For the first time, additional minima have been discovered at phases 0.965 and 0.035, i.e. just before and after the primary central star eclipse (see e.g. Fig. 1). This feature is regarded as a convincing indication of the presence of a concavely shaped gas disk surrounding star 1 in accordance with the existing standard model for such a decretion disk (see T. Rivinius et al. [2]). Obviously, in our edge-on view of the binary, the light of star 2 is being increasingly dimmed as a function of its covered distance across the thicker, outer part of the gas disk, when it approaches phase 0. However, when the inner disk becomes thinner than the size of star 2, the gas column in front of the star loses total absorption power towards our line of sight, and star 2 will become brighter again. Thereby, we have got here a new and direct

optical proof of the correctness of the existing concavely shaped model for decretion disks. Of course, the visible brightening ends at central star eclipse, i.e. between phase 0.992 and 0.008.

The extended outer secondary minimum from about phase 0.35 to 0.65 is shallower than the outer primary minimum in all observed passbands (see Fig. 1 to 4) and has no simple explanation. A quantitative study of V658 Car shows that the eclipse of the large luminous disk by much smaller star 2 alone does not fit to the duration and depth of this minimum. Adding a large accretion disk to star 2 does no longer appear to be acceptable, since no sufficient loss of light has been found in the UBVlc light curves just before and after the central secondary eclipse (phase 0.492 to 0.508). The minor drop of light from about 0.025 mag in U to about 0.04 mag in Ic from phase 0.48 to 0.49 is attributed to star 2 partially eclipsing the bright so-called ‘pseudo-photosphere’, which normally is extended to about twice the radius of the gas-losing primary star (see cited reference [2]). Reference [2] also contains a discussion indicating that our outer secondary minimum might be created by local densifications in the gas disk caused by tidal interaction with star 2.

The light curve in passband H alpha is also shown (see Fig. 4), but is more difficult to understand. Apparently, the total light in H alpha is phase-locked as well and the result of variable emission and absorption. For a deeper understanding we have to look into the H-alpha spectra, which have been obtained by B. Heathcote [3] and are available online in the BESS database. Although their interpretation is not the specific subject of the present paper, these spectra show H-alpha emission-line profiles being typical for shell stars, and a central absorption increasing towards orbital phases 0 and 0.5.

Radial-velocity data of V658 Car obtained in an earlier study by F. Giesekeing [4] have now been reexamined taking into account the results of our first paper [1]. After elimination of the first 3 data points of the second data set (data points nos. 1 and 3 had already been rejected in reference [4]), a much better  $\sigma_{\text{FIT}}$  of 6.5 km/s (instead of 10.0 km/s) has been achieved with help of the *Binary maker 3* software. This under the logical assumption, that 4 of the remaining 14 measurements should be attributed to the bright and low-mass secondary component of the binary (see Fig. 6). Surprisingly, our fit parameters indicated a much lower mass of the primary component than estimated in our first study [1]. It soon became clear that this has been caused simply by a wrong relationship between binary components and known, but misleading spectral classes. Apparently, the shell feature and star 1 should be rather attributed to spectral type A, and spectral type B linked to our secondary component. Although shell stars are normally known as Be shell stars, they can also sometimes appear in spectral class A (or even F) (see ref. [2]). Therefore, primary star 1 has now been shifted from B5Vp shell (from ref. [11]) to spectral type A0p (from F. Giesekeing [5]) corresponding to a  $T_{\text{eff}}$  of about  $9700 \pm 500$  K. From RAVE data release 5 [6] we get for V658 Car a  $T_{\text{eff}}$  of  $6144 \pm 106$  K, which should be the mean temperature of the gas disk usually having about 60% of the  $T_{\text{eff}}$  of its central star, according to ref. [2].

Computed light curves have been fitted to our new UBVlc photometric data of the central star eclipses with *Binary maker 3* in a similar way as already described in our former paper [1], and achieved a  $\sigma_{\text{FIT}}$  of 4 resp. 5 mmag in passband U (see Fig. 5).

The set of parameters fitted in U has been confirmed in passbands BV1c, however, for the  $T_{\text{eff}}$  of star 2 a significantly higher value of 15300 K has been obtained in Ic, compared to a weighted mean value of 12750 K in UBV. This deviation is regarded as a consequence of peculiar absorption/emission behavior of the decretion disk, which, apparently, is distorting here the normal  $T_{\text{eff}}$  – luminosity relation. The effect can be compensated by adjusting disk light  $I_3$  in the Ic-model.

The ratio  $F_1$  of the rotational/orbital period of star 1 cannot be found easily. All oscillations detected in ASAS-3's photometric data of the maximum appear to be observational aliases rather than true signals of pulsations or rotation of the star. Therefore, the well determined rotation frequencies of slowly pulsating Be (SPBe) stars from the *MOST* mission as shown in Fig. 15 of C. Cameron et al. [7] have been used as a starting point for modeling  $F_1$ . Extrapolation to our  $T_{\text{eff}}$  and optimization in our fit gave a final  $F_1$  value of 87.7 ( $F_2 = 1$  adopted). The ratio  $w$  of equatorial / critical rotation velocity of star 1 then gives 237 km/s / 490 km/s, i.e. about 0.48. This is significantly below the expectations of  $w = 0.77 \pm 0.08$  for a such a shell star, according to the review of T. Rivinius et al. [2], and might be interpreted as an indication of differential, more rapid rotation in the equatorial zone of our primary star.

The stellar model with rotation from S. Ekström et al. [8] gives for solar metallicity  $Z=0.014$ ,  $T_{\text{eff}}$  9700 K and our  $R_1/a$  (radius/separation) ratio of 0.0287 the best fit for star 1 onto the ZAMS (zero age main sequence) corresponding to 2.16 solar masses ( $M_{\text{sun}}$ ) and 1.64 solar radii ( $R_{\text{sun}}$ ). Simultaneously, our star 2 ( $T_{\text{eff}}$  12750 K and 1.46  $R_{\text{sun}}$ ) is on the evolutionary track of a proto-helium white dwarf of 0.28  $M_{\text{sun}}$  and has an age of not more than 7 Myr calculated from Roche-lobe detachment, according to Fig. 1 and A1 of A.G. Istrate et al. [9]. Moreover, the same  $M_2$  has been obtained by our radial-velocity modeling for star 2, if star 1's mass is fixed to 2.16  $M_{\text{sun}}$ . The  $M_2$  of 0.28  $M_{\text{sun}}$  also fits to the white dwarf remnant mass – final orbital period relation (for stable Roche-lobe overflow) given in equation (29) and Fig. 6 of Carter et al. [10].

Our results are listed in tables 1 and 2. The error margins are based on the estimated error margin of 500 K for star 1's  $T_{\text{eff}}$  of 9700 K. The orbital period appears to be constant over the last 17 years of observation.

The discovery and confirmation of the main features of V658 Car should motivate better equipped astronomers to further studies. This unique binary offers new possibilities in the research of rapidly rotating stars, decretion disks and post-Algol evolution.

**Table 1: Parameters of binary system V658 Car**

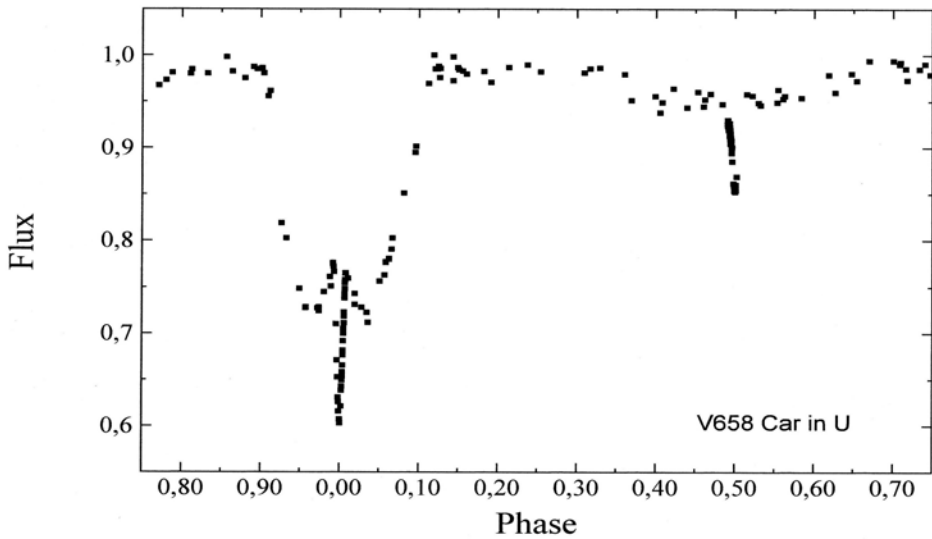
Epoch [HJD]	2452786.438(2)	mid Prim. Min.; from ASAS + new data
Period [days]	32.1854(1)	constant for JD 2451900 – 2458145
Total light in U/B/V [mag]	8.64/9.08/9.11	from Buscombe catalogue [11]
Minimum duration [hours]	12.4	partial eclipses
Orbital inclination $i$ [deg]	88.72	(-0.09/+0.18)
Orbital radius $a$ [ $R_{\odot}$ ]	$57.27 \pm 1.17$	for $R_{\odot} = 696342$ km; circular orbit
RV of $K_1 / K_2$ [km/s]	10.35 / 79.6	from RV modeling ( $M_1$ fixed to 2.16 $M_{\odot}$ )
RV barycenter [km/s]	$28.6 \pm 2.9$	(RV = Radial velocity)
Mass ratio $q$ ( $M_2/M_1$ )	$0.13 \pm 0.01$	from the masses of table 2
Distance [pc]	$589 \pm 38$	calculated for $A_v = 0$

**Table 2: Parameters of components of V658 Car**

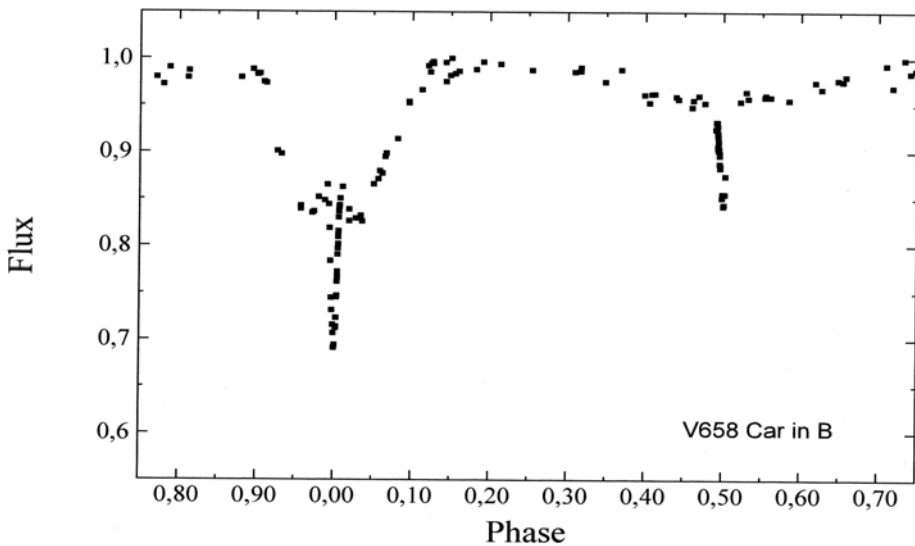
Parameter	Primary star	Secondary star	Disk
Spectral type (amended)	A0p(e shell)	B	
Temperature $T_{\text{eff}}$ [K]	$9700 \pm 500$	$12750 \pm 700$	$6144 \pm 106$
Radius $R$ (volume) [ $R_{\odot}$ ]	$1.64 \pm 0.04$	$1.46 \pm 0.04$	$33.6 \pm \geq 0.7$
Luminosity (bol.) [ $L_{\odot}$ ]	$21.5 \pm 5.6$	$50.7 \pm 13.2$	
Brightness (abs.) [VMag]	1.59	1.31	
U-light fraction at Max.	0.173 dimmed	0.534	0.293
B-light fraction at Max.	0.202 dimmed	0.445	0.353
V-light fraction at Max.	0.183 dimmed	0.382	0.435
Ic-light fraction at Max.	0.142 dimmed	0.347	0.511
Mass [ $M_{\odot}$ ]	$2.16 \pm 0.14$	$0.28 \pm 0.01$	

**References:**

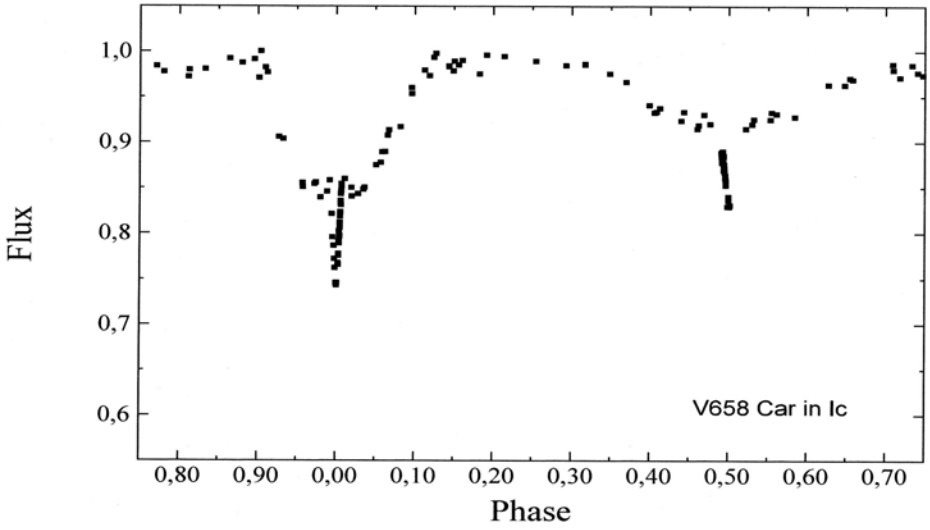
- [1] N. Hauck, 2016, BAV Rundbrief, 65, no. 4, 1; [www.bav-astro.eu/rb/rb2016-4/1.html](http://www.bav-astro.eu/rb/rb2016-4/1.html) (or .pdf)
- [2] T. Rivinius et al., 2013, A&A Review, 21, 69
- [3] B. Heathcote, private communication, May 2017; <http://basebe.obspm.fr/basebe/MenuIntro.php>
- [4] F. Giesekeing, 1981, A&AS, 43, 33
- [5] F. Giesekeing, 1980, A&AS, 41, 245
- [6] A. Kunder et al., 2017, AJ, 153, 75
- [7] C. Cameron et al., 2008, AJ, 685, 489
- [8] S. Ekström et al., 2012, A&A, 537, 146
- [9] A.G. Istrate et al., 2014, A&A, 571, L3
- [10] J.A. Carter et al., 2011, ApJ, 728, 139
- [11] W. Buscombe, 1998, 13<sup>th</sup> General Catalogue of MK Spectral Classification



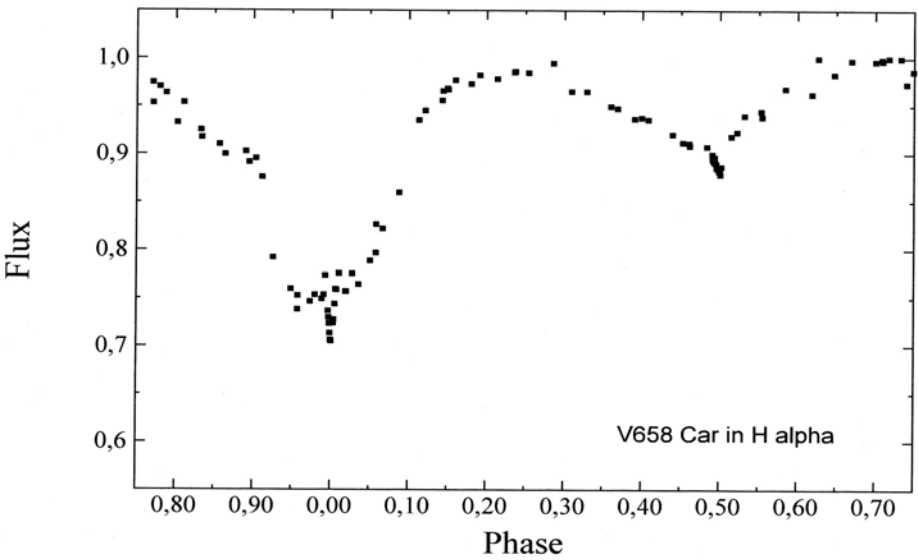
**Fig. 1:** U-Flux – phase diagram of V658 Car from 167 data points from SSO



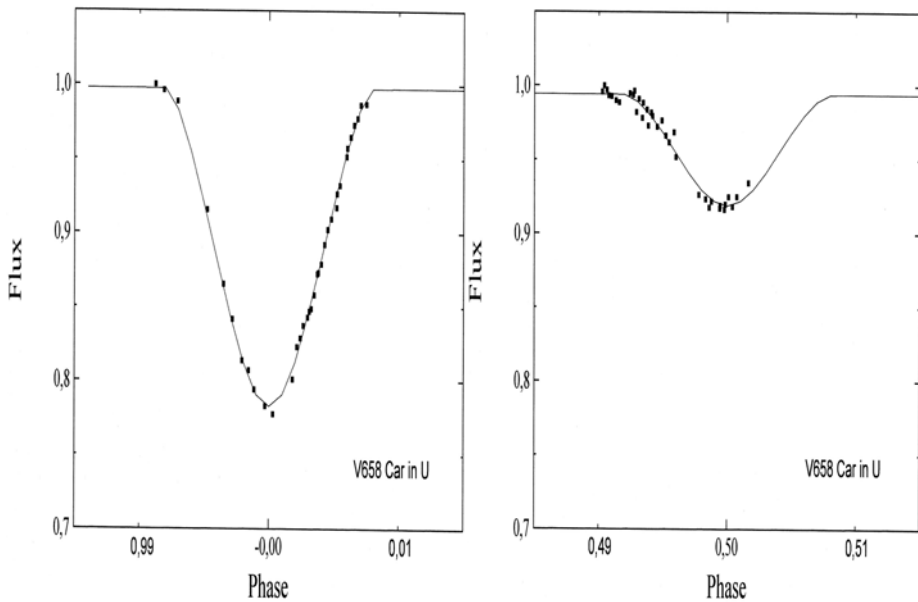
**Fig. 2:** B-Flux – phase diagram of V658 Car from 139 data points from SSO



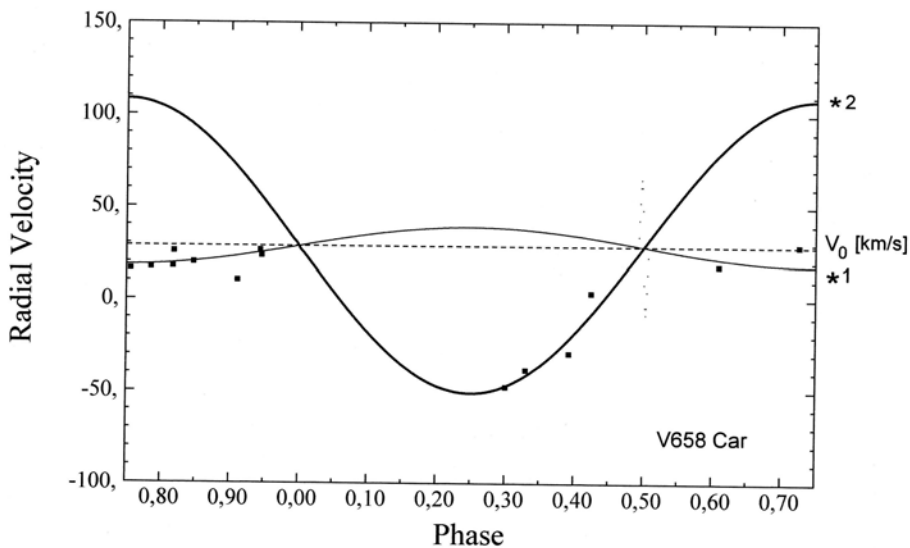
**Fig. 3:** I<sub>c</sub>-Flux – phase diagram of V658 Car from 138 data points from SSO



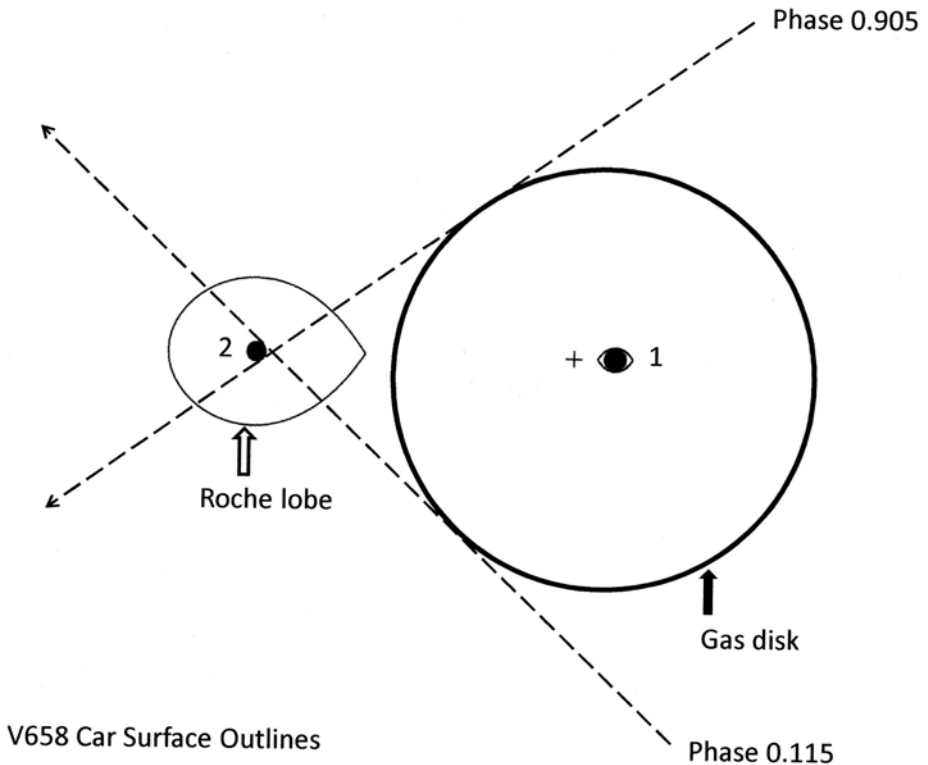
**Fig. 4:** H<sub>α</sub> Flux – phase diagram of V658 Car from 104 data points from SSO



**Fig. 5:** Computed light curves for U data of the central star eclipses of V658 Car



**Fig. 6:** Radial velocities [km/s] of the binary V658 Car with 14 data points from [4]



**Fig. 7:** A to-scale sketch of V658 Car with the two stars, their critical surface outlines and the barycenter (+) (in cross-sectional view). The slightly eccentric positioned equatorial gas disk of the primary star and the direction of our line of sight at the first and last contact phase of the outer primary eclipse have been added in face-on view. Rapidly rotating primary star 1 nearly fills out its critical limiting lobe.

#### **Acknowledgements:**

I am grateful for the helpful comments of Dr. T. Rivinius, ESO, Chile, to my earlier paper on V658 Car and the H-alpha spectra of this binary, which have been kindly taken by B. Heathcote, Australia. Many thanks also to Dr. F.-J. Hambsch, Belgium, for the additional photometric data collected with his ROAD observatory in Chile. This research has made use of the Simbad and VizieR databases operated at the Centre de Données astronomiques de Strasbourg, France, <http://cdsarc.u-strasbg.fr/> and the All Sky Automated Survey ASAS database, <http://www.astrouw.edu.pl/asas/>



## Bedeckungssystem V658 Carinae (HD 92406) aus einem Hüllenstern und einem heißen massearmen Stern im post-Algolstadium

### Eclipsing binary V658 Carinae (HD 92406) containing a shell star and a hot low-mass star in the post-Algol stage

Norbert Hauck

**Abstract:** *Further studies of the binary V658 Car (HD 92406) have now confirmed its unique main features, i.e. a shell star primary component being eclipsed by a hot low-mass star. Obviously, this binary is in its post-Algol evolutionary stage, and containing a rapidly rotating primary star and a contracting hot companion star. The analysis of old radial-velocity data indicating a primary star of lower mass has now resulted in amended parameters for the binary. According to stellar models the primary star should have a mass of  $2.16 \pm 0.14 M_{\text{sun}}$  and a radius of  $1.64 \pm 0.04 R_{\text{sun}}$  for a  $T_{\text{eff}}$  of  $9700 \pm 500 \text{ K}$  based on known spectral type A0p. For the secondary star  $1.46 \pm 0.04 R_{\text{sun}}$  and  $12750 \pm 700 \text{ K}$   $T_{\text{eff}}$  have been derived and are fitting well to an existing evolutionary track for a contracting white dwarf precursor of  $0.28 M_{\text{sun}}$ . Our photometric results have confirmed the concave shape of the large decretion disk surrounding the primary star, as predicted by existing models. [English and German versions of this paper are available via [www.bav-astro.eu/rb/rb2018-2/41.html](http://www.bav-astro.eu/rb/rb2018-2/41.html) (or pdf)].*

V658 Car (HD 92406) ist der erste Doppelstern, der Bedeckungen eines Hüllensterns und seiner ihn umgebenden Gasscheibe durch den Begleitstern zeigt. Dieser heisse massearme Begleiter ist offenbar ein ehemaliger Massespender in der Mitte seiner post-Algol-Kontraktionsphase, was zuvor ebenfalls noch nie gesehen wurde. Beide Entdeckungen wurden bereits zuvor vom Autor veröffentlicht [1]. Die Analyse neuer photometrischer und spektroskopischer sowie alter Radialgeschwindigkeitsdaten hat diese Funde nun bestätigt. Dennoch mussten die Systemparameter korrigiert werden.

Die Photometrie in UBVIcHalpa mit einem ferngesteuerten 0.5m-Spiegelteleskop in Siding Spring (SSO), Australien, wurde fortgesetzt. Vom ROAD-Observatorium, Chile, wurden die zentralen Minima zusätzlich mit einem 0.4m-Reflektor in BIC photometriert.

Die Abb. 1-4 zeigen die über die Bahnperiode gefalteten Lichtkurven in UBVIcHalpa. Der erste bzw. letzte Kontakt des äusseren Hauptminimums, wenn der heissere Sekundärstern 2 von der grossen Gasscheibe des Primärsterns 1 bedeckt wird, liegt in Phase 0.905 bzw. 0.115 (s. Abb. 7). Eine als kreisförmig angenommene Scheibe käme somit in eine leicht exzentrische Position zu Stern 1. Erstmalig entdeckt wurden zusätzliche Minima in den Phasen 0.965 und 0.035, d.h. kurz vor und nach der zentralen Sternbedeckung (s. z.B. Abb. 1). Dies wird als überzeugendes Indiz für die konkave Form der Gasscheibe angesehen, wie sie das Standardmodell vorsieht (s. Rivinius et al. [2]). In unserer Kantenansicht der Doppelsternbahn wird das Licht von Stern 2 mit zunehmender Weglänge durch den dickeren, äusseren Teil der Gasscheibe stärker gedimmt, wenn er sich zur Phase 0 hin bewegt. Wird jedoch die innere Scheibe dünner als Stern 2, verliert die in unserer Sichtlinie vorgelagerte Gassäule an Absorptionskraft, und Stern 2 hellt wieder auf. Somit haben wir hier einen neuen und direkten optischen Beweis für die Korrektheit des konkaven Modells für

Dekretionsscheiben. Natürlich endet die sichtbare Aufhellung bei der zentralen Sternbedeckung zwischen Phase 0.992 und 0.008.

Das ausgedehnte äussere Nebenminimum etwa ab Phase 0.35 bis 0.65 ist in allen beobachteten Farben flacher als das äussere Hauptminimum (s. Abb. 1-4) und nicht einfach erklärbar. Eine quantitative Studie von V658 Car zeigt, dass die Bedeckung der grossen leuchtenden Scheibe durch den viel kleineren Stern 2 allein nicht zur Dauer und Tiefe dieses Minimums passt. Die Hinzufügung einer grossen Akkretionsscheibe zu Stern 2 scheint nun nicht mehr akzeptabel, da hierfür in den UV<sub>l</sub>c-Lichtkurven kein ausreichender Lichtverlust kurz vor und nach dem zentralen Nebenminimum (Phase 0.492-0.508) gefunden wurde. Der geringfügige Lichtverlust von Phase 0.48-0.49 (etwa 0.025 mag im U bis etwa 0.04 mag im Ic) wird Stern 2 zugeschrieben, der die helle sogenannte „Pseudo-Photosphäre“ teilweise bedeckt, welche sich normalerweise bis auf den doppelten Sternradius des Gas verlierenden Primärsterns ausdehnt (s. Rivinius et al. [2]). Literaturquelle [2] enthält auch Hinweise, die unser äusseres Nebenminimum durch lokale Verdichtungen in der Gasscheibe durch Gezeitenkräfte von Stern 2 erklären könnten.

Die Lichtkurve im H alpha ist auch abgebildet (Abb. 4), jedoch schwieriger zu verstehen. Offensichtlich ist das Gesamtlicht im H alpha ebenfalls phasengebunden und das Resultat variabler Emission und Absorption. Für ein besseres Verständnis müssen wir die H alpha - Spektren auswerten, die von B. Heathcote [3] aufgenommen wurden und online in der BESS-Datenbank zugänglich sind. Sie zeigen die für Hüllensterne typischen H alpha - Emissionslinienprofile sowie eine zu den Phasen 0 und 0.5 hin zunehmende zentrale Absorption.

Die in einer früheren Arbeit von F. Gieseking [4] angegebenen Radialgeschwindigkeiten wurden nun unter Berücksichtigung der Resultate unserer ersten Studie [1] neu überprüft. Nach Eliminierung der ersten drei Daten der zweiten Messreihe (Datenpunkte Nr. 1 und 3 waren bereits in [4] verworfen worden) wurde mit Hilfe der *Binary maker 3* - Software ein deutlich besseres  $\sigma_{FIT}$  von 6.5 km/s (anstelle 10.0 km/s) erreicht. Dies unter der logischen Annahme, dass 4 der verbleibenden 14 Datenpunkte der hellen und massearmen Sekundärkomponente des Doppelsterns zugeordnet werden sollten (s. Abb. 6). Überraschenderweise zeigte unsere Modellierung eine deutlich niedrigere Primärsternmasse an, als die in unserer ersten Arbeit [1] geschätzte. Bald wurde klar, dass dies einfach durch eine falsche Relation zwischen den Doppelsternkomponenten und den bekannten, aber irreführenden Spektralklassen verursacht worden war. Offensichtlich sollte das Hüllensternmerkmal und Stern 1 eher dem Spektraltyp A, und Spektraltyp B unserem Stern 2 zugeordnet werden. Obwohl Hüllensterne normalerweise als Be-Hüllensterne bekannt sind, erscheinen sie eben manchmal auch in der Spektralklasse A (oder sogar F) (siehe Rivinius et al. [2]). Daher wurde Stern 1 nun von B5Vp shell (von [11]) zum Spektraltyp A0p (von F. Gieseking [5]) verschoben, d.h. zu einer  $T_{eff}$  von etwa  $9700 \pm 500$  K. Die Datenfreigabe 5 von RAVE [6] nennt für V658 Car eine  $T_{off}$  von  $6144 \pm 106$  K, die die mittlere Temperatur der Gasscheibe sein sollte, und die gemäss dem Review von T. Rivinius et al. [2] normalerweise etwa 60% der  $T_{off}$  ihres Zentralsterns beträgt.

Unseren neuen photometrischen UBVlc-Daten der zentralen Sternbedeckungen wurden mit dem *Binary maker 3* berechnete Lichtkurven angepasst, und zwar auf ähnliche Weise wie in unserer früheren Arbeit [1] beschrieben. Dabei wurde ein  $\sigma_{FIT}$  von 4 bzw. 5 mmag im U-Band erreicht (s. Abb. 5). Die im U-Band optimierten Parameter wurden im BVlc bestätigt. Allerdings ergab sich im Ic eine  $T_{eff}$  von 15300 K für Stern 2, die deutlich höher ist als der gewichtete Mittelwert von 12750 K im UBv. Diese Abweichung wird auf Besonderheiten im Absorptions- bzw. Emissionsverhalten der Dekretionsscheibe zurückgeführt, die hier offenbar die normale  $T_{eff}$  – Leuchtkraft – Beziehung verzerren. Der Effekt ist durch Anpassung des Scheibenlichts  $I_3$  im Ic-Modell kompensierbar.

Das Verhältnis  $F_1$  der Rotations-/Bahnperiode von Stern 1 ist nicht leicht zu ermitteln. Die in photometrischen Daten von ASAS-3 im Maximum gefundenen Schwingungen scheinen alle eher auf Aliases als auf echten Signalen von Pulsationen oder Rotation des Sterns zu beruhen. Deshalb wurden die bei der MOST –Mission gut bestimmten Rotationsfrequenzen langsam pulsierender Be-Sterne (SPBe), wie in Abb. 15 von C. Cameron et al. [7] dargestellt, als Ausgangspunkt der Modellierung von  $F_1$  genommen. Nach Extrapolation auf unsere  $T_{eff}$  und Optimierung im Fit ergab sich ein  $F_1$  von 87.7 ( $F_2 = 1$  fixiert). Das Verhältnis  $w$  der äquatorialen / kritischen Rotationsgeschwindigkeit von Stern 1 ist dann 237 km/s / 490 km/s, d.h. etwa 0.48. Dies ist deutlich unterhalb des erwarteten Wertes von  $w = 0.77 \pm 0.08$  (s. Rivinius et al. [2]), und lässt differentielle, schnellere Rotation in der Äquatorzone vermuten.

Das Sternmodell mit Rotation von Ekström et al. [8] ergibt für solare Metallizität  $Z=0.014$ ,  $T_{eff}$  9700 K und unserem  $R_1/a$  (Radius/Separation) von 0.0287 den besten Fit von Stern 1 auf der ZAMS (Alter Null Hauptreihe) mit einer Masse von 2.16  $M_{\odot}$  und einem Radius von 1.64  $R_{\odot}$ . Zugleich liegt unser Stern 2 ( $T_{eff}$  12750 K und 1.46  $R_{\odot}$ ) auf dem Entwicklungsweg eines (Proto-Helium) weissen Zwerges von 0.28  $M_{\odot}$  und hat ein Alter von nicht mehr als 7 Millionen Jahren gerechnet ab Ablösung vom Roche-Volumen, gemäss Abb.1 und A1 in A.G. Istrate et al. [9]. Auch unserer Radialgeschwindigkeitsmodellierung ergibt dieselbe  $M_2$  für Stern 2 (für  $M_1 = 2.16 M_{\odot}$  fix). Die  $M_2$  von 0.28  $M_{\odot}$  passt zudem zu unserer Bahnperiode gemäss Gleichung (29) und Abb. 6 von J.A. Carter et al. [10] für die Restmasse weisser Zwerge (nach stabilem Überlauf vom Roche-Volumen).

Unsere Resultate sind in Tabelle 1 und 2 aufgelistet. Die Fehlergrenzen basieren auf der geschätzten Fehlerbreite von 500 K für die  $T_{eff}$  von Stern 1 von 9700 K. Die Bahnperiode ist offenbar konstant über die letzten 17 Beobachtungsjahre.

Die Entdeckung und Bestätigung der Hauptmerkmale von V658 Car sollte besser ausgerüstete Astronomen zu weitergehenden Studien motivieren. Dieser einzigartige Doppelstern eröffnet neue Möglichkeiten bei der Erforschung von schnell rotierenden Sternen, Dekretionsscheiben und der post-Algol-Entwicklung.

**Tabelle 1: Parameter des Doppelsternsystems V658 Car**

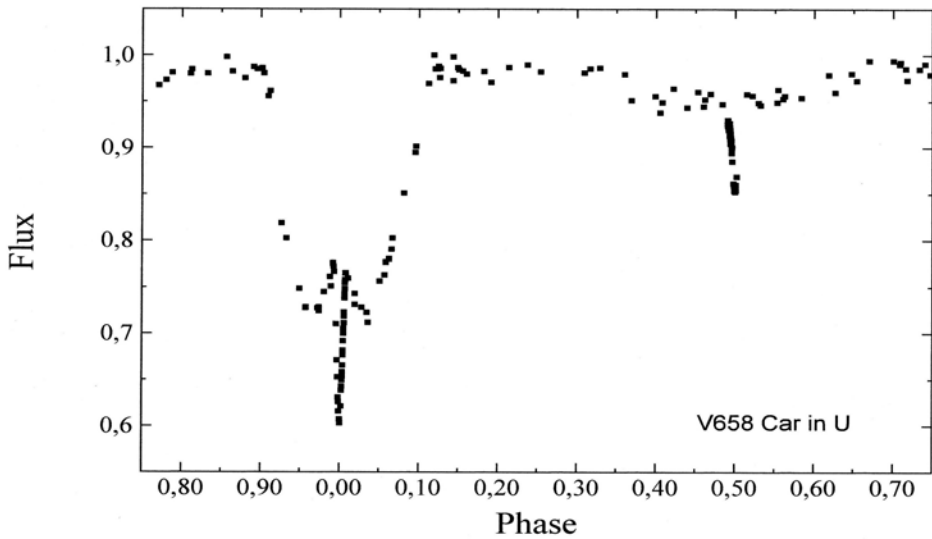
Epoche [HJD]	2452786.438(2)	Mitte Hauptminimum; ASAS + neue Daten
Periode [Tage]	32.1854(1)	konstant für JD 2451900 – 2458145
Max. Licht in U/B/V [mag]	8.64/9.08/9.11	vom Buscombe Katalog [11]
Minimumdauer [Stunden]	12.4	partielle Bedeckungen
Bahnneigung $i$ [Grad]	88.72	(-0.09/+0.18)
Bahnradius $a$ [Ro]	$57.27 \pm 1.17$	für $R_0 = 696342$ km; Kreisbahn
RV von $K_1 / K_2$ [km/s]	10.35 / 79.6	via RV-Fit ( $M_1 = 2.16 M_{\odot}$ iertfix)
RV System [km/s]	$28.6 \pm 2.9$	(RV = Radialgeschwindigkeit)
Massenverhältnis ( $M_2/M_1$ )	$0.13 \pm 0.01$	aus den Massen in Tabelle 2
Entfernung [pc]	$589 \pm 38$	berechnet für $A_v = 0$

**Tabelle 2: Parameter der Komponenten von V658 Car**

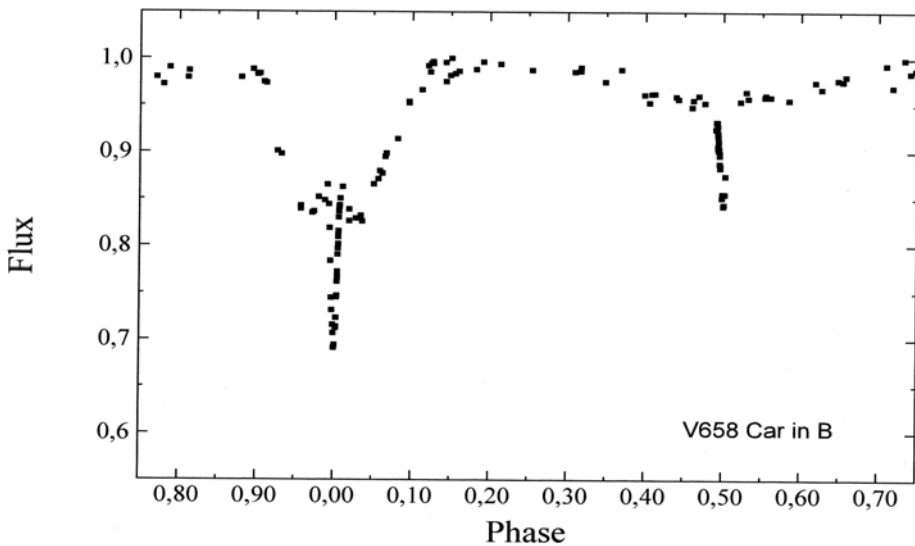
Parameter	Primärstern	Sekundärstern	Scheibe (Disk)
Spektraltyp (verbessert)	A0p(e shell)	B	
Temperatur $T_{\text{eff}}$ [K]	$9700 \pm 500$	$12750 \pm 700$	$6144 \pm 106$
Radius R (volum.) [Ro]	$1.64 \pm 0.04$	$1.46 \pm 0.04$	$33.6 \pm \geq 0.7$
Leuchtkraft (bolom.) [Lo]	$21.5 \pm 5.6$	$50.7 \pm 13.2$	
Helligkeit (abs.) [VMag]	1.59	1.31	
U-Lichtanteil im Maximum	0.173 gedimmt	0.534	0.293
B-Lichtanteil im Maximum	0.202 gedimmt	0.445	0.353
V-Lichtanteil im Maximum	0.183 gedimmt	0.382	0.435
Ic-Lichtanteil im Max.	0.142 gedimmt	0.347	0.511
Masse [Mo]	$2.16 \pm 0.14$	$0.28 \pm 0.01$	

**Literaturquellen:**

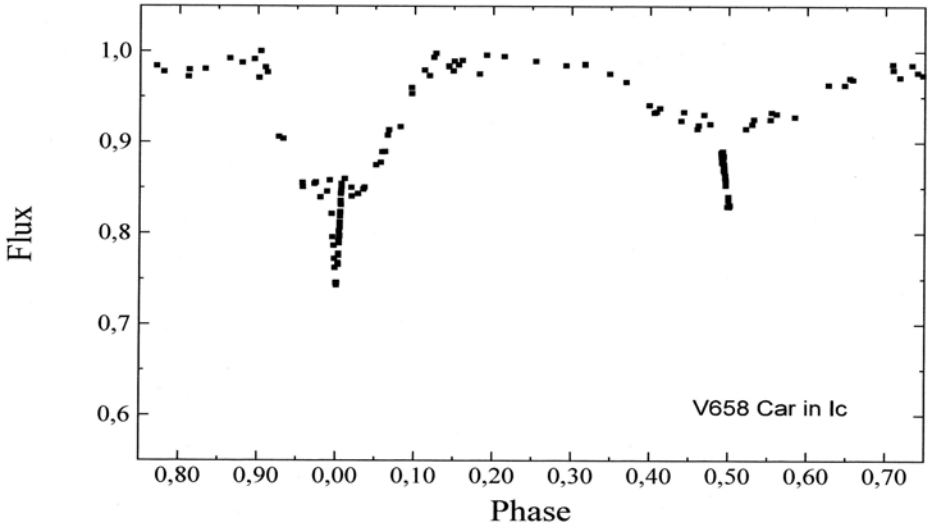
- [1] N. Hauck, 2016, BAV Rundbrief, 65, no. 4, 1; [www.bav-astro.eu/rb/rb2016-4/1.html](http://www.bav-astro.eu/rb/rb2016-4/1.html) (or .pdf)
- [2] T. Rivinius et al., 2013, A&A Review, 21, 69
- [3] B. Heathcote, private Mitteilung, Mai 2017; <http://basebe.obspm.fr/basebe/MenuIntro.php>
- [4] F. Giesecking, 1981, A&AS, 43, 33
- [5] F. Giesecking, 1980, A&AS, 41, 245
- [6] A. Kunder et al., 2017, AJ, 153, 75
- [7] C. Cameron et al., 2008, AJ, 685, 489
- [8] S. Ekström et al., 2012, A&A, 537, 146
- [9] A.G. Istrate et al., 2014, A&A, 571, L3
- [10] J.A. Carter et al., 2011, ApJ, 728, 139
- [11] W. Buscombe, 1998, 13<sup>th</sup> General Catalogue of MK Spectral Classification



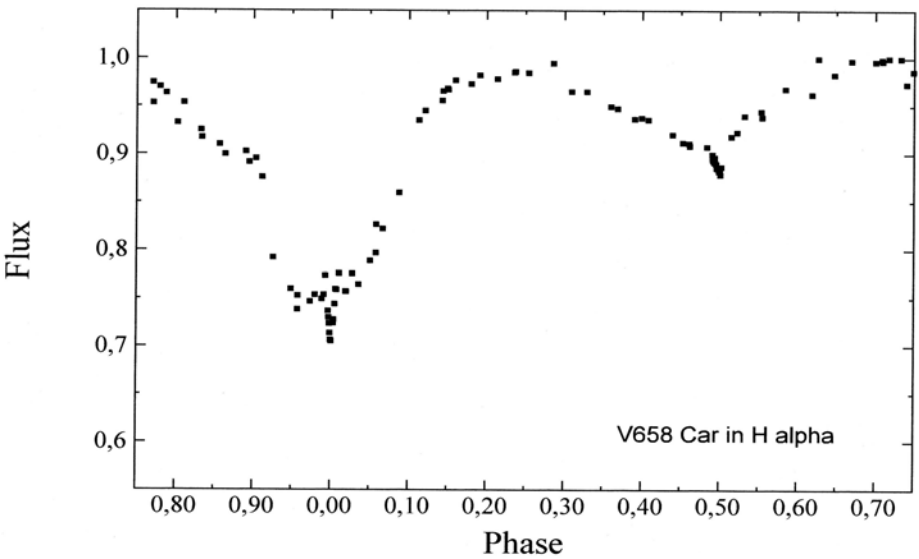
**Abb. 1:** U-Fluss – Phase - Diagramm von V658 Car aus 167 Datenpunkten vom SSO



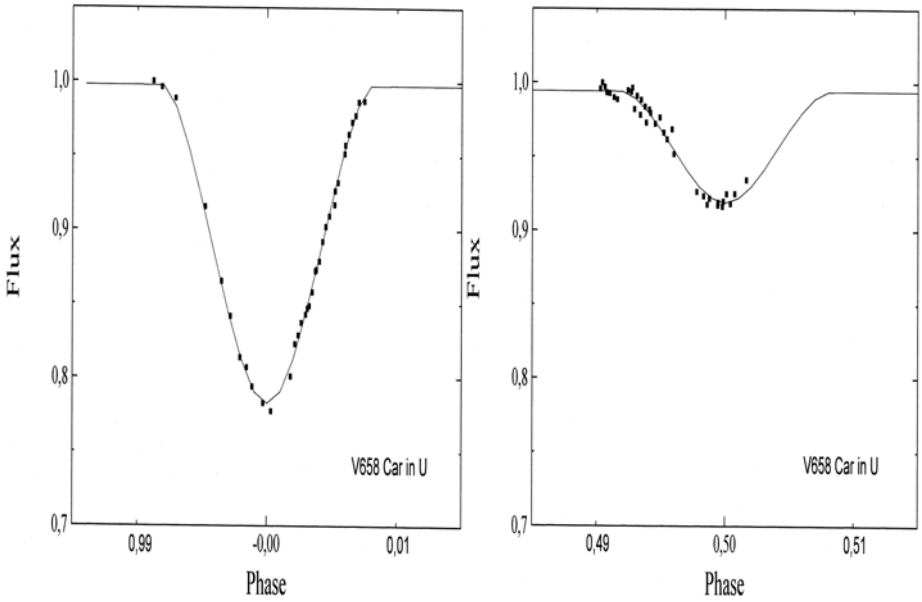
**Abb. 2:** B-Fluss – Phase - Diagramm von V658 Car aus 139 Datenpunkten vom SSO



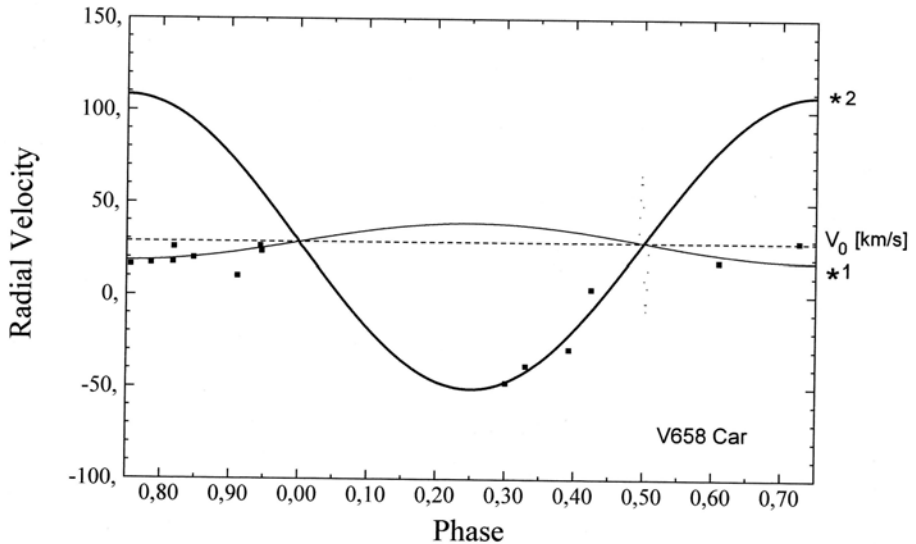
**Abb. 3:** I<sub>c</sub>-Fluss – Phase - Diagramm von V658 Car aus 138 Datenpunkten vom SSO



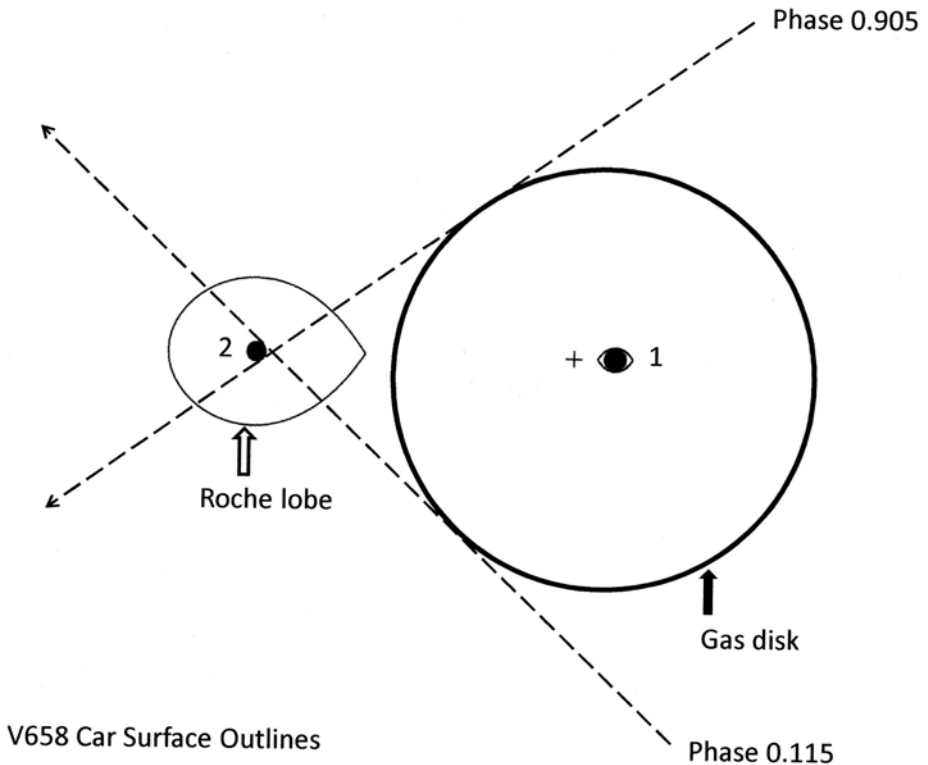
**Abb. 4:** H<sub>α</sub>-Fluss – Phase - Diagramm von V658 Car aus 104 SSO-Datenpunkten



**Abb. 5:** Berechnete Lichtkurven für U-Daten der zentralen Sternbedeckungen



**Abb. 6:** Radialgeschwindigkeiten [km/s] von V658 Car aus 14 Datenpunkten von [4]



**Abb. 7:** Maßstabsgetreue Skizze von V658 Car mit den beiden Sternen, ihren kritischen Oberflächenumrissen und dem Systemschwerpunkt (+) (im Querschnitt). Die leicht exzentrisch positionierte äquatoriale Gasscheibe des Primärsterns und die Richtung unserer Sichtlinie in der Phase des ersten und letzten Kontakts des äusseren Hauptminimums wurden in Draufsicht zugefügt. Der schnell rotierende Primärstern 1 füllt sein kritisches Grenzvolumen nahezu aus.

#### Danksagungen:

I am grateful for the helpful comments of Dr. T. Rivinius, ESO, Chile, to my earlier paper on V658 Car and the H-alpha spectra of this binary, which have been kindly taken by B. Heathcote, Australia. Many thanks also to Dr. F.-J. Hamsch, Belgium, for the additional photometric data collected with his ROAD observatory in Chile. This research has made use of the Simbad and VizieR databases operated at the Centre de Données astronomiques de Strasbourg, France, <http://cdsarc.u-strasbg.fr/> and the All Sky Automated Survey ASAS database, <http://www.astrouw.edu.pl/asas/>.

Norbert Hauck, F-83400 Hyères, hnhauck@yahoo.com