

A yellow giant, a peculiar A-type dwarf and an interstellar dust cloud unravel the eclipsing binary TYC 4481-358-1

Norbert Hauck

Bundesdeutsche Arbeitsgemeinschaft für Veränderliche Sterne e.V. (BAV),
Munsterdamm 90, 12169 Berlin, Germany : hnhauck@yahoo.com

Abstract: *A first solution for the eclipsing binary TYC 4481-358-1 has been found by combining the results of BVlc-photometry with known stellar models and stellar spectral energy distributions (SEDs). The binary shows total and annular eclipses in a circular 90-days orbit. Masses, radii and effective temperatures have been derived: about 3.01 Msun, 14.29 Rsun and 4950 K for the giant, and about 2.39 Msun, 2.39 Rsun and 9600 K for the dwarf. The peculiar dwarf is discolored and shows a T_{eff} - passband dependence from 9000 K in the Ic to 9800 K in the B band. The giant is in its final stage of core helium burning. The interstellar extinction in our line of sight is considerable (A_v about 1.44 mag at an elevated R_v of 3.58).*

The eclipsing binary nature of TYC 4481-358-1 (GSC 04481-00358) has been discovered by S. Otero and is described in the VSX database of the AAVSO [1]. Total eclipses in a 90-days orbit have been reported there, based on photometric data of the ASAS-SN and NSVS sky surveys. From the GAIA mission's third data release (DR3) we know the distance to the binary of 617 (612 - 623) pc as well as a preliminary value of the total full amplitude of the radial velocity of 69.71 km/s. No spectral type information has been found in the literature.

New photometric data in the passbands BVlc have been collected with a remotely controlled 17-inch CDK reflector telescope in New Mexico, USA. The *Binary Maker 3* (BM3) program has been used for the modeling procedure. Fig. 1 contains 62 of our binned data points and the light curve computed for an effective wavelength λ_{eff} of 440 nm ($\sigma_{\text{FIT}} = 3.2$ mmag). The circular orbit generates total eclipses in the primary, and annular eclipses in the secondary minimum. Additionally, for 36 data points of the primary minimum taken from the photometry of the TESS mission's Full Frame Images (Huang et al. [2]) the light curve has been computed at a λ_{eff} of 790 nm ($\sigma_{\text{FIT}} = 0.28$ mmag) for orbit synchronized, i.e. here rather slowly rotating stars (see Fig. 2).

The effective surface temperature T_{eff} of the giant component of the binary has been calculated from infrared photometry data of the 2MASS mission in the passbands J, H and K (resp. Ks), after subtraction of the dwarf's flux contribution. The extinctions (A) in J, H and K have been converted to the extinction in passband V (A_v) by using the coefficients $A_{J,H,K}/A_v$ of the extinction law of Wang & Chen [3]. Thereby the ratio of two extinction-free color indexes, e.g. between $(J-H)_0$ and $(J-K)_0$, can be calculated independently of A_v . In the corrected spectral energy distributions (SED) of the standard stellar library II of Lejeune et al. [4] these ratios fit to a T_{eff} of 4920 (+140/-80) K for the giant component (at $\log g$ 2.6 and $[\text{Fe}/\text{H}]$ 0.0).

The interstellar extinction parameter R_v of about 3.58 has been calculated with the empirical equation of Fitzpatrick & Massa [5] : $R_v = -1.36 (E_{K-V}/E_{B-V}) - 0.79$, by using the extinction-free color indexes of the SED of Lejeune et al. [4] for getting the color

excesses E . Since total to selective extinction ratio $R_V = A_V/E_{B-V}$, we now also get the extinction A_V of about 1.44, which is clearly above the normal values for the known distance of the binary. Equally elevated is our (dust properties dependent) R_V , compared to an R_V of 3.16 ± 0.15 for the normal galactic diffuse interstellar medium (ISM) (see Wang & Chen [3]). Hence both A_V and R_V indicate the presence of an interstellar or circumbinary dust cloud in our line of sight.

At the known distance, extinction and a T_{eff} of 4950 K our giant star gets a calculated size of $14.29 R_{\odot}$, which nicely fits into the stellar model of Ekström et.al. [6] at solar metallicity ($Z = 0.014$) without rotation for a mass of $3.01 M_{\odot}$ at the final stage of core helium burning. The light curve fit in the BM3 then allows the determination of the orbital radius of $148.7 R_{\odot}$ and the total binary mass of $5.40 M_{\odot}$. Simultaneously, our dwarf component of $2.39 R_{\odot}$ and $2.39 M_{\odot}$ fits into the main sequence of this stellar model at a T_{eff} of 9600 K. And, as it should be, both stars are coeval, i.e. they have an age of 416 Myr in the stellar model. The calculated peak-to-peak amplitude of the giant's radial velocity of 73.55 km/s is in line with the preliminary and hence adopted lower limit value of 69.71 km/s from GAIA (DR3).

Our photometric BVIC data fits have been compared with those obtained from the Full Frame Image (FFI) precision photometry of the TESS mission (see Huang et al. [2]), which covers the primary minimum (see our Fig. 2) and a part of the maximum phases of the light curve. However, no improvement of our solution has been achieved, since the secondary minimum is lacking, and, apparently, the slight 'ellipticity' effect of the giant's shape on the light curve has been lost in their normalization procedure of the data at maximum light. Moreover, the broad-band TESS filter ($\lambda = 600 - 1000$ nm) might not allow a flawless fit being computed at a single wavelength (790 nm), because of the significant color changes of this binary in the primary minimum. Anyway, the parameters of our solution (see tables 1 and 2) are well inside the ranges of our TESS data fits.

For the dwarf component the BM3 fit gives a T_{eff} of 9800, 9300 and 9000 K in B, V and Ic, respectively, in comparison with giant's T_{eff} of 4950 K. The unusual passband dependence of its T_{eff} is interpreted here by chemical peculiarities at the surface of this obviously slowly rotating star. This is confirmed by the intrinsic color index $(B-V)_0$ of 0.15 for the dwarf, which is significantly increased against a normally expected value of from -0.01 to $+0.06$ for the T_{eff} range of 9800 to 9000 K, according to table 5 of Pecaut et al. [7]. HD 19805 and HD 23387 are (magnetic) peculiar A/B-star examples showing clear similarities to our dwarf's properties. Therefore, the discolored dwarf component is adopted to have stellar model's unbiased T_{eff} of 9600 K.

Acknowledgements :

This research has made use of the Simbad and VizieR databases operated at the Centre de Données astronomique, Strasbourg, France. This paper also includes data collected with the TESS mission, obtained from the MAST data archive at the Space Telescope Science Institute (STScI).

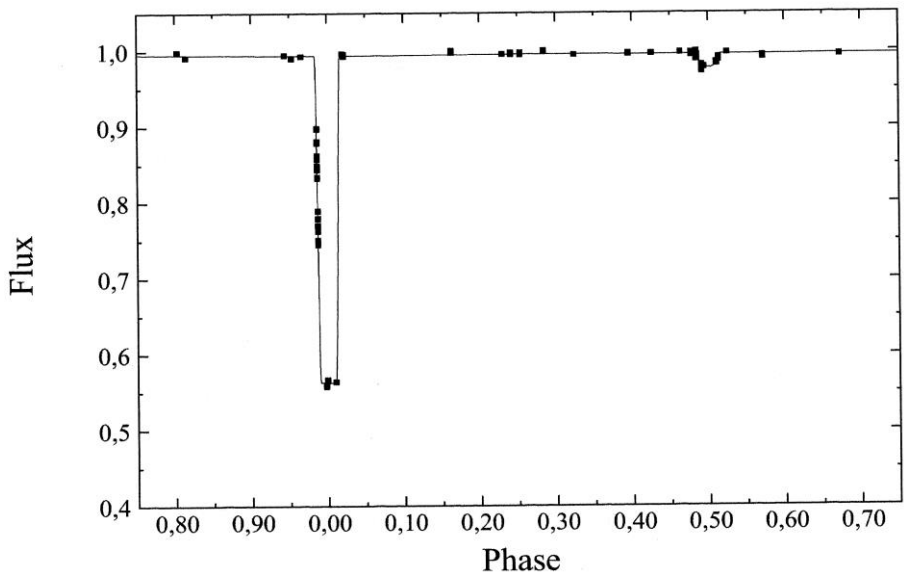


Fig. 1 : Computed light curve at λ_{eff} 440 nm for our data in passband B

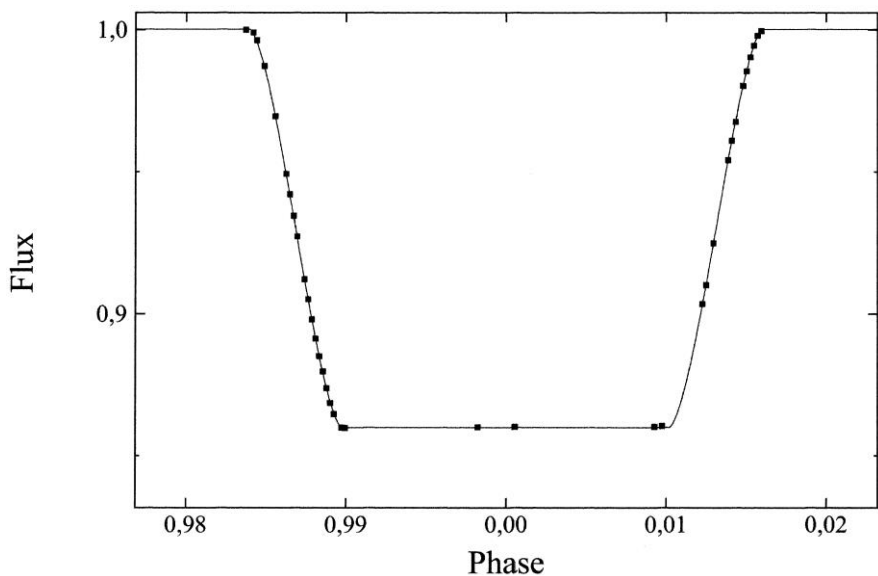


Fig. 2 : Computed light curve at λ_{eff} 790 nm for TESS data of the primary minimum

Table 1 : Parameters of binary system TYC 4481-358-1

Epoch [BTJD]	2458805.8596(4)	mid primary minimum TESS
Period [days]	90.5288	from VSX database
Maximum light in V [mag]	9.9952(27)	from GAIA DR3
Maximum light in B [mag]	11.0998(48)	from GAIA DR3
Minimum light in V [mag]	10.322	total eclipse (= giant's light)
Minimum light in B [mag]	11.719	total eclipse (= giant's light)
Secondary minimum in V [mag]	10.020	annular eclipse
Secondary minimum in B [mag]	11.120	annular eclipse
Eclipse duration [days]	2.933	
Orbital inclination i [deg]	87.30 ± 0.10	
Orbital radius a [R_{\odot}]	148.7 ± 1.7	for $R_{\odot} = 696342$ km
Distance [pc]	617.2 ± 5.6	from GAIA DR3
Extinction A_V [mag]	1.443 ± 0.024	for excess $E_{B-V} = 0.403$
Total/selective extinction R_V	3.58 ± 0.06	

Table 2 : Parameters of the components of TYC 4481-358-1

Parameter	giant	dwarf
Radius (R mean) [R_{\odot}]	14.29 ± 0.16	2.39 ± 0.03
Temperature T_{eff} [K]	4950 ± 110	9600 ± 200
Ic-flux fraction at max. light	0.8584	0.1416
V-flux fraction at max. light	0.7399	0.2601
B-flux fraction at max. light	0.5672	0.4328
$(B-V)_0$ intrinsic color index	0.993	0.150
Mass [M_{\odot}]	3.01 ± 0.10	2.39 ± 0.09

References :

- [1] The International Variable Star Index (VSX) of the American Association of Variable Star Observers (AAVSO)
- [2] C. X. Huang et al., 2020, Res. Notes AAS, 4, 204
- [3] S. Wang & X. Chen, 2019, ApJ, 877, 116
- [4] T. Lejeune et al., 1998, A&AS, 130, 65
- [5] E.L. Fitzpatrick & D. Massa, 2009, ApJ, 699, 1209
- [6] S. Ekström et.al., 2012, A&A, 537, A146
- [7] M.J. Pecaut et al., 2013, ApJS, 208, 9

Ein gelber Riese, ein besonderer A-Zwerg und eine interstellare Staubwolke enträtseln das Bedeckungssystem TYC 4481-358-1

A yellow giant, a peculiar A-type dwarf and an interstellar dust cloud unravel the eclipsing binary TYC 4481-358-1

Norbert Hauck

Abstract: *A first solution for the eclipsing binary TYC 4481-358-1 has been found by combining the results of BVIC-photometry with known stellar models and stellar spectral energy distributions (SEDs). The binary shows total and annular eclipses in a circular 90-days orbit. Masses, radii and effective temperatures have been derived: about 3.01 Msun, 14.29 R_{sun} and 4950 K for the giant, and about 2.39 Msun, 2.39 R_{sun} and 9600 K for the dwarf. The peculiar dwarf is discolored and shows a T_{eff} - passband dependence from 9000 K in the Ic to 9800 K in the B band. The giant is in its final stage of core helium burning. The interstellar extinction in our line of sight is considerable (A_v about 1.44 mag at an elevated R_v of 3.58). [The English version of this paper has been published in arXiv:2303.06397].*

TYC 4481-358-1 (GSC 04481-00358) ist ein von S. Otero entdeckter Bedeckungsveränderlicher und in der VSX-Datenbank der AAVSO [1] aufgeführt. Aus photometrischen Daten von ASAS-SN und NSVS wird dort auch eine 90-Tage-Bahn mit totaler Bedeckung abgeleitet. Von GAIA (DR3) kennen wir die Entfernung zum Doppelsternsystem von 617 pc und die Gesamtamplitude der Radialgeschwindigkeit von 69.71 km/s. In der Literatur wurde keine Information zum Spektraltyp gefunden.

Mit einem ferngesteuerten 17-Zoll CDK-Spiegelteleskop in New Mexico, USA, wurden neue photometrische Daten im B, V und Ic gewonnen, die mit dem *Binary Maker 3* (BM3) -Programm modelliert wurden. Abbildung 1 zeigt 62 gebintete Datenpunkte und die bei λ_{eff} 440 nm berechnete Lichtkurve ($\sigma_{\text{FIT}} = 3.2$ mmag). Die Kreisbahn erzeugt totale und ringförmige Bedeckungen im Haupt- bzw. Nebenminimum. Zudem wurden der Photometrie der Full Frame Images der TESS-Mission (Huang et al. [2]) 36 Datenpunkte des Hauptminimums entnommen. Die Lichtkurve wurde für λ_{eff} 790 nm berechnet ($\sigma_{\text{FIT}} = 0.28$ mmag), und zwar bei bahnsynchronisierter, d.h. hier nur sehr langsamer Sternrotation (s. Abb. 2).

Die effektive Oberflächentemperatur T_{eff} der Riesenkomponente des Doppelsterns wurde aus Infrarotphotometriedaten der 2MASS-Mission im J, H und K (bzw. K_s) - Band (nach Subtraktion des Zwerglichtanteils) berechnet. Die Extinktionen (A) im J, H und K wurden mit den $A_{J,H,K}/A_v$ - Koeffizienten des Extinktionsgesetzes von Wang & Chen [3] in die Extinktion im V-Band (A_v) umgewandelt. Das Verhältnis zweier extinktionsfreier Farbindices, z.B. zwischen $(J-H)_0$ und $(J-K)_0$, kann dann unabhängig von A_v berechnet werden. In den korrigierten spektralen Energieverteilungen (SEDs) der standard stellar library II von Lejeune et al. [4] passen diese Verhältnisse zu einer T_{eff} des Riesen von 4920 (+140/-80) K (bei $\log g$ 2.6 und $[\text{Fe}/\text{H}]$ 0.0).

Der interstellare Extinktionsparameter R_V von 3.58 wurde mit der empirischen Gleichung von Fitzpatrick & Massa [5]: $R_V = -1.36 (E_{K-V}/E_{B-V}) - 0.79$ ermittelt, unter Verwendung der extinktionsfreien Farbindex der SED von Lejeune et al. [4] zur Bestimmung der Farbexzesse E . Da das Verhältnis der totalen/selektiven Extinktion $R_V = A_V/E_{B-V}$ ist, ergibt sich nun auch die Extinktion A_V von etwa 1.44, die deutlich über den für die bekannte Entfernung des Doppelsterns normalen Werten liegt. Unser (von den Staubeigenschaften abhängiger) R_V übersteigt auch den Wert von 3.16 ± 0.15 für das normale diffuse intergalaktische Medium (ISM) (s. Wang & Chen [3]). A_V und R_V zeigen somit beide die Anwesenheit einer interstellaren oder den Doppelstern umgebenden Staubwolke in unserer Sichtlinie an.

Bei der bekannten Entfernung, Extinktion und einer T_{eff} von 4950 K erhält unser Riesenstern einen berechneten Radius von $14.29 R_{\odot}$, der genau ins Sternmodell von Ekström et al. [6] (bei solarer Metallizität Z 0.014 und ohne Rotation) bei einer Masse von $3.01 M_{\odot}$ im Endstadium des Heliumkernbrands passt. Aus dem Lichtkurvenfit im BM3 ergibt sich dann auch der Bahnradius von $148.7 R_{\odot}$ und die Gesamtmasse des Doppelsterns von $5.40 M_{\odot}$. Zugleich passt auch unser Zwergstern mit $2.39 R_{\odot}$ und $2.39 M_{\odot}$ bei einer T_{eff} von 9600 K in die Hauptreihe dieses Sternmodells, in dem beide Sterne wie gewünscht gleichaltrig sind (416 Millionen Jahre). Die für den Riesen berechnete volle Radialgeschwindigkeitsamplitude von 73.55 km/s passt zum vorläufigen und daher als Untergrenze angenommenen Messwert von 69.71 km/s von GAIA (DR3).

Unsere photometrischen BVlc-Datenfits wurden mit denjenigen verglichen, die von der Full Frame Image (FFI) – Präzisionsphotometrie der TESS-Mission stammen (Huang et al. [2]) und die das Hauptminimum (siehe unsere Abb. 2) sowie einen Teil des Maximums der Lichtkurve abdecken. Dadurch wurde jedoch keine Verbesserung unserer Lösung erreicht, da das Nebenminimum fehlt und der geringfügige ‘Elliptizitätseffekt’ der Form des Riesensterns offenbar bei ihrer Normalisierung der Daten im maximalen Licht verloren gegangen ist. Zudem könnte aufgrund der erheblichen Farbänderungen im Hauptminimum der sehr breitbandige TESS-Filter (λ 600-1000 nm) einen fehlerfreien Fit (nur bei einem λ von 790 nm berechnet) behindern. In jedem Falle liegen aber die Parameter aus unserer Lösung (s. Tab. 1 und 2) gut innerhalb der Bereiche unserer TESS-Datenfits.

Für die Zwergkomponente ergibt der BM3-Fit, im Vergleich zur T_{eff} des Riesen von 4950 K, eine T_{eff} von 9800 K im B-, 9300 K im V- und 9000 K im Ic-Band. Diese ungewöhnliche Filterfarbbandabhängigkeit seiner T_{eff} wird hier chemischen Besonderheiten an der Oberfläche des offenbar nur langsam rotierenden Sterns (s.o.) zugeschrieben. Dies wird durch seinen eigenen Farbindex $(B-V)_0$ von 0.15 untermauert, der deutlich über den normalen Werten von -0.01 bei 9800 K bis $+0.06$ bei 9000 K liegt (nach Tabelle 5 von Pecaut et al. [7]). HD 19805 and HD 23387 sind Beispiele von besonderen (magnetischen) A/B-Sternen, die unserem Stern recht ähnliche Eigenschaften zeigen. Unserer verfärbten Zwergkomponente wurde daher die unverfälschte T_{eff} von 9600 K aus dem Sternmodell zugeordnet.

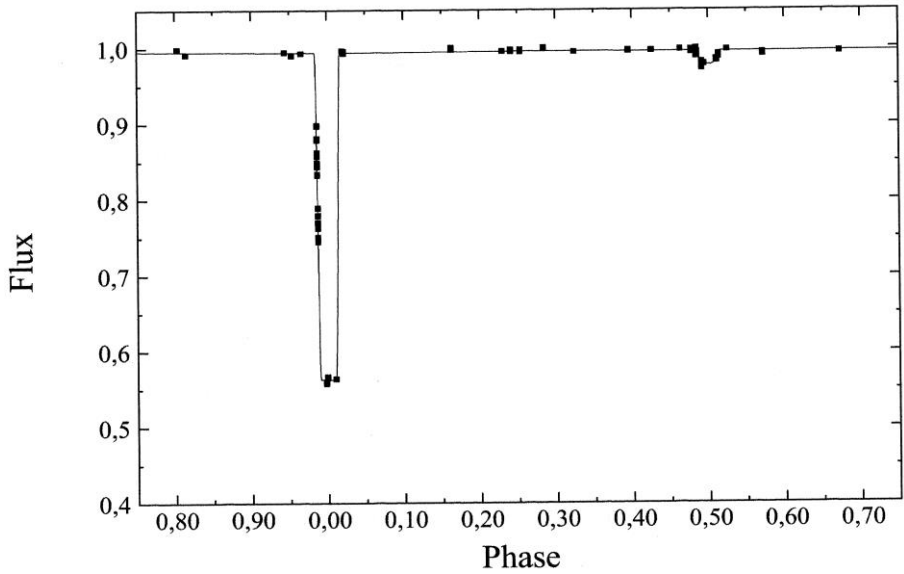


Abb. 1: Im BM3 berechnete Lichtkurve für unsere Daten aus der B-Band-Photometrie

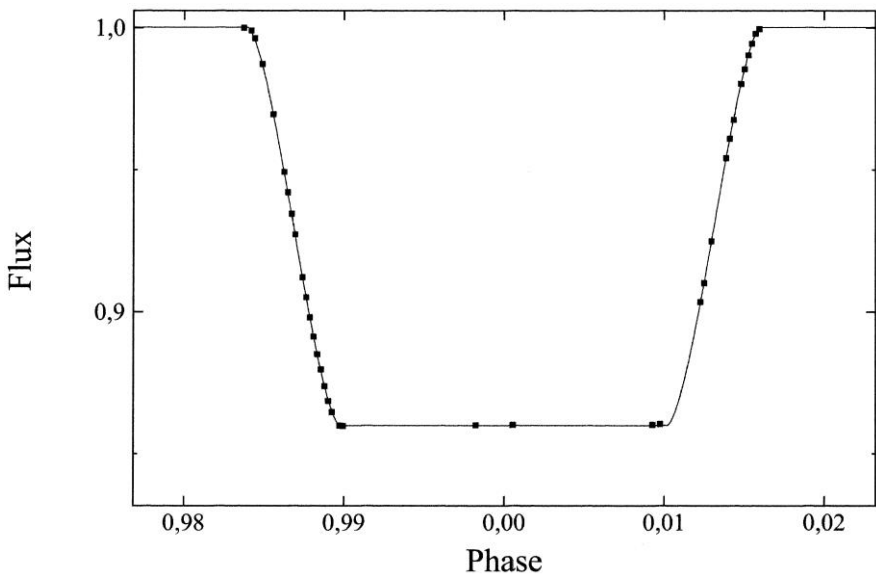


Abb. 2 : Für TESS-Daten des Hauptminimums berechnete Lichtkurve

Tabelle 1 : Parameter des Doppelsternsystems TYC 4481-358-1

Epoche [BTJD]	2458805.8596(4)	Mitte Hauptminimum TESS
Periode [Tage]	90.5288	von der VSX-Datenbank
Maximumlicht in V [mag]	9.9952(27)	von GAIA DR3
Maximumlicht in B [mag]	11.0998(48)	von GAIA DR3
Minimumlicht in V [mag]	10.322	totale Bedeckung (= Riesenlicht)
Minimumlicht in B [mag]	11.719	totale Bedeckung (= Riesenlicht)
Nebenminimum in V [mag]	10.020	ringförmige Bedeckung
Nebenminimum in B [mag]	11.120	ringförmige Bedeckung
Minimumdauer [Tage]	2.933	
Bahnneigung i [Grad]	87.30 ± 0.10	
Bahnradius a [R_{\odot}]	148.7 ± 1.7	für $R_{\odot} = 696342$ km
Entfernung [pc]	617.2 ± 5.6	von GAIA DR3
Extinktion A_V [mag]	1.443 ± 0.024	für Exzess $E_{B-V} = 0.403$
Totale/Selektiver Extinktion R_V	3.58 ± 0.06	

Tabelle 2 : Parameter der Komponenten von TYC 4481-358-1

Parameter	Riese	Zwerg
Radius R (gemittelt) [R_{\odot}]	14.29 ± 0.16	2.39 ± 0.03
Temperatur T_{eff} [K]	4950 ± 110	9600 ± 200
Ic-Lichtanteil im Maximum	0.8584	0.1416
V-Lichtanteil im Maximum	0.7399	0.2601
B-Lichtanteil im Maximum	0.5672	0.4328
$(B-V)_0$ eigener Farbindex	0.993	0.150
Masse [M_{\odot}]	3.01 ± 0.10	2.39 ± 0.09

Literaturquellen :

- [1] The International Variable Star Index (VSX) of the American Association of Variable Star Observers (AAVSO)
- [2] C. X. Huang et al., 2020, Res. Notes AAS, 4, 204
- [3] S. Wang & X. Chen, 2019, ApJ, 877, 116
- [4] T. Lejeune et al., 1998, A&AS, 130, 65
- [5] E.L. Fitzpatrick & D. Massa, 2009, ApJ, 699, 1209
- [6] S. Ekström et al., 2012, A&A, 537, A146
- [7] M.J. Pecaut et al., 2013, ApJS, 208, 9

Danksagungen :

This research has made use of the Simbad and VizieR databases operated at the Centre de Données astronomique, Strasbourg, France. This paper also includes data collected with the TESS mission, obtained from the MAST data archive at the Space Telescope Science Institute (STScI).

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