

# Ein Algolsystem entdeckt im Doppelstern V1288 Scorpii

## An Algol system discovered in the binary V1288 Scorpii

Norbert Hauck

**Abstract:** *Modelling of old V and new UBIC photometry data of the close binary system V1288 Sco revealed annular and total eclipses. Fitting the light-curve solution of both components into grids of stellar models has been successful for a semi-detached configuration of an early B-type dwarf and a late A- or early F-type subgiant. The system is a metal-deficient runaway binary and showing the Algol paradox. Mass ratio  $q$  ( $M_2/M_1$ ) = 0.09 is one of the lowest found among known Algol systems. The modelling gives masses of 7.11 and 0.65  $M_{\text{sun}}$ , and radii of 3.73 and 1.78  $R_{\text{sun}}$  for the B-type primary and the A-/F-type secondary component, respectively.*

Die Epoche, Periode (1.1 Tage) und eine Lichtkurve von ASAS-3 Daten im V-Band für den hellen Bedeckungsveränderlichen V1288 Sco (HD 149450) wurden von S.A. Otero [1] präsentiert. Houk [2] hat den Spektraltyp B3 III angegeben. Neuere spektroskopische Resultate von RAVE [3] zeigen eine ungewöhnlich hohe Radialgeschwindigkeit von etwa  $-200$  km/s und eine subsolare Metallizität von  $[M/H] = -1.14$ , d.h. einen metallarmen Schnellläufer (Population II), sowie eine Teff von 23062 K. RAVE [4] nennt nun eine Teff von etwa 7500 K (sowie eine noch niedrigere Metallizität) und hat dabei offenbar den kühleren Sekundärstern erfasst.

Mit Hilfe der *Binary Maker 3* – software (BM3) (Bradstreet & Steelman, 2004) wurden den photometrischen Daten von ASAS-3 (Pojmanski, 2002) berechnete Lichtkurven angepasst. Die beste Lösung wurde für eine halbgetrennte Konfiguration erreicht, d.h. nur der Sekundärstern füllt sein Rochevolumen voll aus (s. massstabsgetreue Abb. 1). Für 39 aus dem Mainstream selektierte und 653 komplettere Messdaten von ASAS-3 wurde ein sigma-Fit von 3 bzw. 14 mmag erzielt. Wegen fehlender Anzeichen einer Exzentrizität wurde eine Kreisbahn angenommen. Die Lichtkurve (s. Abb. 2) zeigt im Nebenminimum eine totale Bedeckung sowie zum Nebenminimum hin eine beachtliche Aufhellung durch Rückstreuung (Reflexion). Der Sekundärstern sollte daher ebenfalls eine radiative Atmosphäre haben.

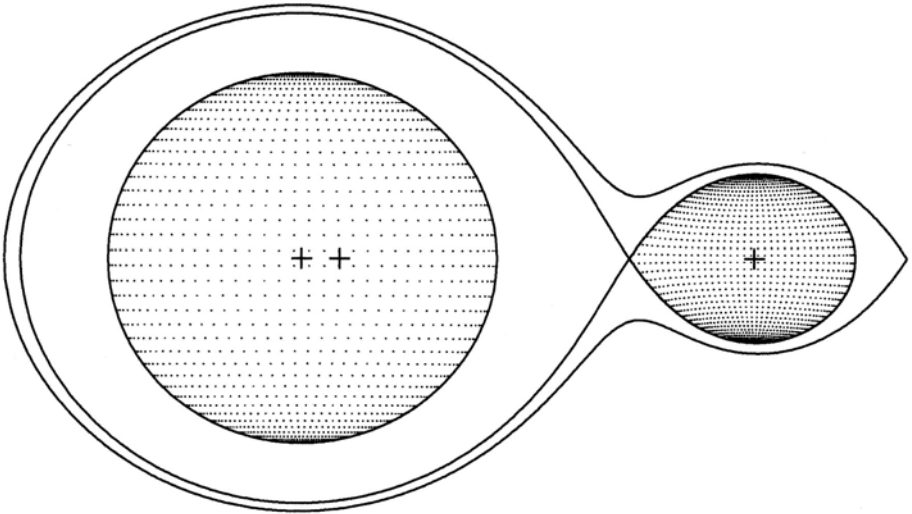
Die Oberflächentemperatur Teff der Primärkomponente wurde RAVE [3] entnommen. Die Lichtkurvenmodellierung lieferte dann die Teff der Sekundärkomponente sowie die Radien- und Massenverhältnisse. Die absoluten Dimensionen beider Sterne wurden aus Sternmodellen von Schaller et al. [5] abgeleitet, was allerdings erst unter Annahme eines Algolparadoxons (Masseaustausch mit Umkehrung der Massenverhältnisse im System) sowie nur für metallarme Zusammensetzung gelang. Gemäss o.g. Resultaten von RAVE [3] wurde  $Z = 0.001$  eingesetzt, d.h. nur 1/14 der solaren Metallizität. Die Primärsternmasse wurde soweit angehoben bis sein Radius  $R_1$  (berechnet aus seiner bolometrischen Leuchtkraft) und Bahnradius  $a$  (berechnet nach Kepler's drittem Gesetz) das bei der Modellierung mit BM3 bestimmte Verhältnis  $R_1/a$  traf. Beide Sterne befinden sich auf der für Algols üblichen Position im HR-Diagramm, d.h. der Primärstern liegt im Hauptreihenband und der weiter entwickelte Sekundärstern für seine Masse zu leuchtkräftig im Feld der Unterriesen.

Mit einem per Internet gesteuerten 0.5m-CDK-Spiegelteleskop in Siding Spring, Australien, wurden zudem neue photometrische Daten in den Bändern UB1c gewonnen. Zur Reduzierung von Szintillationseffekten wurden die Daten im B und 1c aus jeweils 5 CCD-Bildern gemittelt. Vergleichs- bzw. Prüfsterne ähnlicher Farbe waren HD 149257 bzw. HD 149277 in 22' und 25' Winkelabstand. Die berechneten Lichtkurven zeigen für die im V-Band optimierte Lösung ein sigma-Fit von 13, 17 und 12 mmag in den UB1c-Bändern. Diese etwas erhöhten Werte werden durch zu flach berechnete Nebenminimatiefen (Abweichungen von etwa 12 mmag im U und B, und 9 mmag im 1c) bzw. zu tief berechnete Hauptminimatiefen verursacht. Hier zeigen sich die bei Algols oft beschriebenen Probleme beim Simultanfit in diversen Farben, d.h. für beide fixierten Teff passen die Tiefen von Haupt- und Nebenminima nicht überall exakt in die berechnete Kurven. Als Ursachen werden die großen Temperaturunterschiede beider Sterne sowie Besonderheiten an der Oberfläche des Primärsterns (Massempfänger bzw. Gainer) genannt. Die aus den Daten im V-Band gefundene Lösung mit der niedrigsten Teff des Sekundärsterns von 7500 K wurde daher unverändert beibehalten und wird zudem von den Resultaten von RAVE [4] bestätigt.

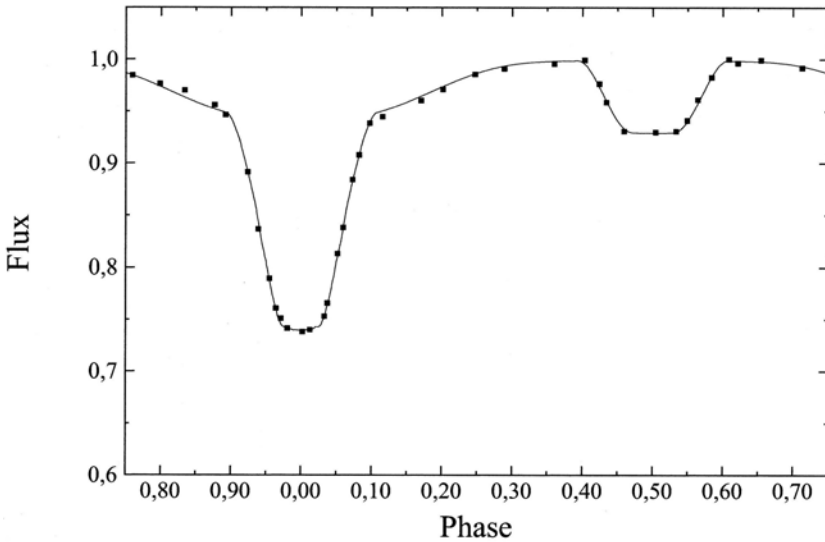
Die aus der Modellierung ermittelte Entfernung von V1288 Sco beträgt etwa 769 pc (2500 LJ). Aus dem Farbexzess im B–V wurde dafür eine interstellare Absorption  $A_V$  von 0.76 mag abgeleitet.

Die in den Tabellen 1 und 2 angegebenen engen Fehlergrenzen gelten natürlich nur falls die logischen Annahmen und Modelle der Realität entsprechen. Eine direkte Messung der Parameter dieses ungewöhnlichen Algolsystems mit deutlich subsolarer Metallizität und extrem kleinem Massenverhältnis  $q$  ( $M_2/M_1$ ) bleibt daher nach wie vor sinnvoll. Obwohl bisher noch keine Änderung der Umlaufperiode beobachtet werden konnte, ist ein aktueller Massetransfer im System nicht ausgeschlossen. Letzteres gilt übrigens auch für das erste vom Autor entdeckte helle Algolsystem QT Peg [6].

**Danksagungen:** 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 database of All Sky Automated Survey ASAS, <http://www.astrouw.edu.pl/asas/>



**Abb. 1:** Form, Gravitationszentren und Umriss kritischer Rocheflächen von V1288 Sco



**Abb. 2:** Berechnete Lichtkurve und ASAS-Daten für V1288 Sco im V-Band (550 nm)

**Tabelle 1: Parameter des Doppelsternsystems V1288 Sco**

Epoche [HJD]	2452040.789(4)	Mitte Hauptmin.(von [1] + ND)
Periode [Tage]	1.108895(2)	(von [1] + Neue Daten (ND))
Gesamtlicht (Mittel) [V/Bmag]	8.239/8.229	von Simbad
Maximallicht [Vmag]	8.20	ASAS
Hauptminimum [Vmag]	8.53	ASAS
Nebenminimum [Vmag]	8.28	ASAS
Minimumdauer [Stunden]	5.6	1.5 (Kontakt 2 – 3)
Bahnneigung $i$ [Grad]	81.78 $\pm$ 0.26	
Bahnradius [Ro]	8.92 $\pm$ 0.02	kreisförmige relative Bahn
Massenverhältnis $q$ ( $M_2/M_1$ )	0.092 $\pm$ 0.001	
Entfernung [pc]	769 $\pm$ 22	Modellierungsfit

**Tabelle 2: Parameter der Komponenten von V1288 Sco**

Parameter	Primarstern	Sekundärstern
Spektraltyp (geschätzt)	B2 V	A8 (A6 - F1) IV
Teff [K]	23060 $\pm$ 300	7500 $\pm$ 400
Radius (Volumen) [Ro]	3.73 $\pm$ 0.03	1.78 $\pm$ 0.02
Leuchtkraft (bolometr.) [Lo]	3540 $\pm$ 110	9 $\pm$ 2
Helligkeit (absolut) [VMag]	- 1.93	+ 2.31
Masse [Mo]	7.11 $\pm$ 0.04	0.65 $\pm$ 0.01

**Quellen:**

- [1] S.A. Otero, IBVS **5532**, (2004), <http://www.konkoly.hu/IBVS/issues.html>  
[2] N. Houk, Michigan Catalogue of two-dimensional spectral types for the HD stars, Vol. 2, Univ. Michigan, (1978)  
[3] A. Siebert et al., The radial velocity experiment (RAVE): third data release, Astron. J., 141, 187 (2011)  
[4] G. Kordopatis et al., The radial velocity experiment (RAVE): forth data release, Astron. J., 146, 134 (2013)  
[5] G. Schaller et al., Astron. Astrophys. Suppl. Ser. **96**, 269-331, (1992)  
[6] N. Hauck, BAV Rundbrief **61**, no.4, 233, (2012)

# An Algol system discovered in the binary V1288 Scorpii

Norbert Hauck

**Abstract:** *Modelling of old V and new UBIC photometry data of the close binary system V1288 Sco revealed annular and total eclipses. Fitting the light-curve solution of both components into grids of stellar models has been successful for a semi-detached configuration of an early B-type dwarf and a late A- or early F-type subgiant. The system is a metal-deficient runaway binary and showing the Algol paradox. Mass ratio  $q$  ( $M_2/M_1$ ) = 0.09 is one of the lowest found among known Algol systems. The modelling gives masses of 7.11 and 0.65  $M_{\text{sun}}$ , and radii of 3.73 and 1.78  $R_{\text{sun}}$  for the B-type primary and the A-/F-type secondary component, respectively.*

The epoch, period (1.1 days) and a light curve based on ASAS-3 data in passband V for the bright eclipsing binary V1288 Sco (HD 149450) have been presented by S.A. Otero [1]. Houk [2] has given a spectral type B3 III. Recent spectroscopic results from RAVE [3] show an unusually high radial velocity of about – 200 km/s and a subsolar metallicity of  $[M/H] = -1.14$ , i.e. a metal-deficient runaway object (population II), as well as a  $T_{\text{eff}}$  of 23062 K. Latest data release of RAVE [4] now publishing a  $T_{\text{eff}}$  of about 7500 K (and an even lower metallicity), apparently, has analyzed the cooler secondary star.

With help of the *Binary Maker 3* – software (BM3) (Bradstreet & Steelman, 2004) computed light curves have been fitted to photometric data of ASAS-3 (Pojmanski, 2002). The best solution has been achieved for a semi-detached configuration, i.e. only the secondary star filling out its Roche lobe completely (see true-to-scale Fig. 1). For 39 ASAS-3 data selected from the mainstream and a more complete set of 653 ASAS-3 data a sigma-fit of 3 resp. 14 mmag has been achieved. Since no indications of eccentricity have been detected, a circular orbit has been adopted. The light curve (see Fig. 2) shows a total eclipse in the secondary minimum as well as a remarkable brightening caused by backscattering (reflection) towards the secondary minimum. Therefore, the secondary star should also have a radiative atmosphere.

The surface temperature of the primary component has been taken from RAVE [3]. Light-curve modelling then delivered  $T_{\text{eff}}$  of the secondary component as well as the ratios of the radii and masses. The absolute dimensions of both stars have been derived from grids of stellar models of Schaller et al. [5]. However, this has been possible only on the assumption of an Algol paradox (previous mass exchange leading to a reversal of the mass ratios in the system), and only for a metal-poor composition. In line with the above mentioned results of RAVE [3] a Z-value of 0.001 has been used, i.e. only 1/14 of solar metallicity. The mass of the primary star has been raised until its radius  $R_1$  (calculated via its bolometric luminosity) and orbital radius a

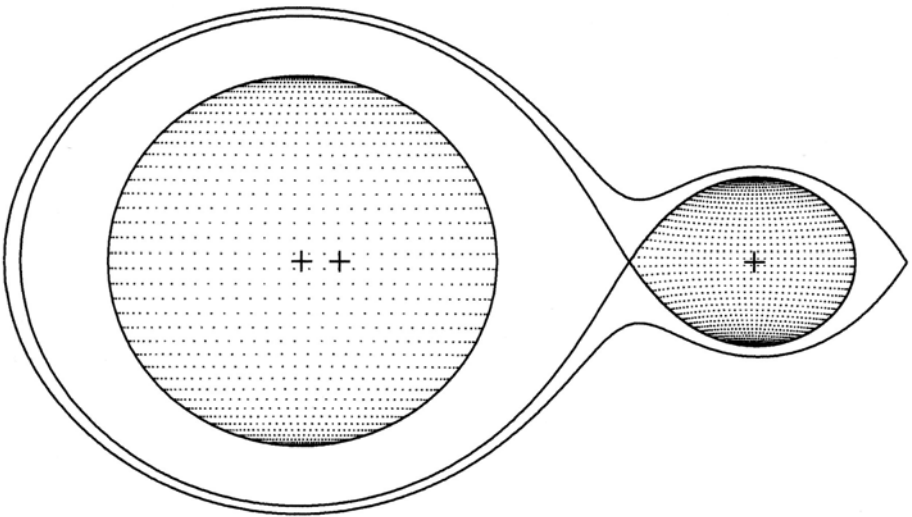
(calculated according to Kepler's 3<sup>rd</sup> law) matched ratio  $R_1/a$  obtained from the modelling with BM3. Both stars are located in the usual position for Algol components in the HR diagram, i.e. the primary star in the main-sequence band, and the more developed secondary star being overluminous for its mass in the subgiant field.

Additional photometric data in the passbands UB1c have been collected with an internet-controlled 0.5m-reflector telescope of CDK design in Siding Spring, Australia. The CCD data obtained in passbands B and 1c have been averaged from 5 images each in order to control scintillation effects. Comparative resp. check stars of similar colour have been HD 149257 bzw. HD 149277 in 22' and 25' angular distance from the target. The computed light curves show for the parameter set having been optimized in passband V a sigma-fit of 13, 17 and 12 mmag in passbands UB1c, respectively. These somewhat increased values are caused by insufficient depths of the computed secondary minima (differences of about 12 mmag in U and B, and 9 mmag in 1c) resp. primary depths being calculated too deep. These problems with Algols at the simultaneous fit in different colours have often been described, i.e. for both fixed  $T_{\text{eff}}$  the depths of primary and secondary minima do not fit everywhere into the computed light curves. The large differences of the  $T_{\text{eff}}$  of both stars as well as peculiarities at the surface of the primary star (gainer) are given as an explanation. Therefore, the light-curve solution obtained in passband V comprising the lowest  $T_{\text{eff}}$  (7500 K) for the secondary star has been kept unchanged, which is also confirmed by the above mentioned results of RAVE [4].

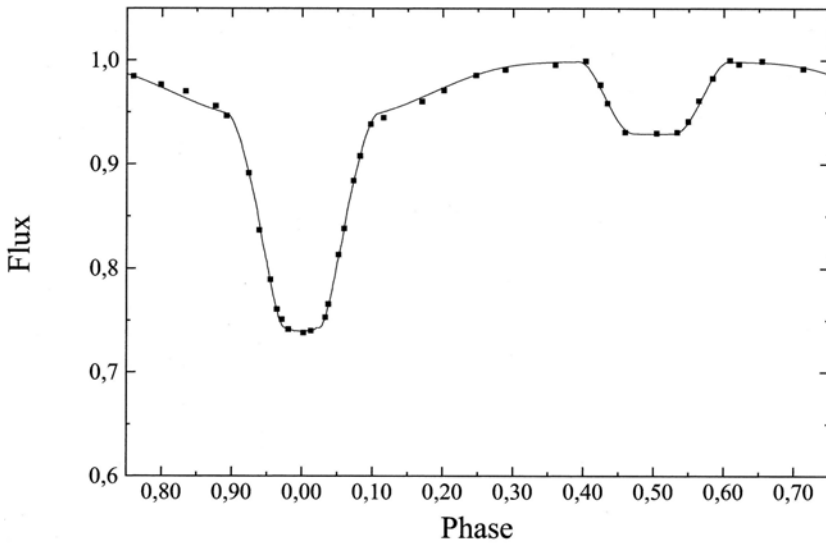
The distance of V1288 Sco obtained from the modelling is about 769 pc (2500 Ly). From the color excess in B–V an interstellar absorption  $A_v = 0.76$  mag has been derived and applied.

The tight error margins contained in Tables 1 and 2 are, of course, valid only if all logical assumptions and models are realistic. Direct measurements of the parameters of this unusual Algol system having a significant subsolar metallicity and an extremely low mass ratio  $q$  ( $M_2/M_1$ ) remain a useful task. Although no change of the orbital period has been observed up to now, an actual mass transfer in the system cannot be excluded. By the way, the latter also applies to QT Peg, the first bright Algol system discovered by the author [6].

**Acknowledgements:** 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 database of All Sky Automated Survey ASAS, <http://www.astrouw.edu.pl/asas/>



**Fig. 1:** Shape, barycenter and critical Roche-surface outlines of V1288 Sco



**Fig. 2:** Computed light curve and ASAS-data for V1288 Sco in passband V (550 nm)

**Table 1: Parameters of binary system V1288 Sco**

Epoch [HJD]	2452040.789(4)	mid prim. min. (from [1] +ND)
Period [days]	1.108895(2)	from [1] + New Data (ND)
Total light (mean) [V/Bmag]	8.239/8.229	from Simbad
Maximum light [Vmag]	8.20	ASAS
Primary minimum [Vmag]	8.53	ASAS
Second. minimum [Vmag]	8.28	ASAS
Minimum duration [hours]	5.6	1.5 (contact 2 – 3)
Orbital inclination $i$ [deg]	$81.78 \pm 0.26$	
Orbital radius [ $R_{\odot}$ ]	$8.92 \pm 0.02$	circular relative orbit
Mass ratio $q$ ( $M_2/M_1$ )	$0.092 \pm 0.001$	
Distance [pc]	$769 \pm 22$	modelling fit

**Table 2: Parameters of components of V1288 Sco**

Parameter	Primary	Secondary
Spectral type (estimated)	B2 V	A8 (A6 - F1) IV
Teff [K]	$23060 \pm 300$	$7500 \pm 400$
Radius (volume) [ $R_{\odot}$ ]	$3.73 \pm 0.03$	$1.78 \pm 0.02$
Luminosity (bolometric) [ $L_{\odot}$ ]	$3540 \pm 110$	$9 \pm 2$
Brightness (absolute) [VMag]	- 1.93	+ 2.31
Mass [Mo]	$7.11 \pm 0.04$	$0.65 \pm 0.01$

**References:**

- [1] S.A. Otero, IBVS **5532**, (2004), <http://www.konkoly.hu/IBVS/issues.html>
- [2] N. Houk, Michigan Catalogue of two-dimensional spectral types for the HD stars, Vol. 2, Univ. Michigan, (1978)
- [3] A. Siebert et al., The radial velocity experiment (RAVE): third data release, Astron. J., 141, 187 (2011)
- [4] G. Kordopatis et al., The radial velocity experiment (RAVE): forth data release, Astron. J., 146, 134 (2013)
- [5] G. Schaller et al., Astron. Astrophys. Suppl. Ser. **96**, 269-331, (1992)
- [6] N. Hauck, BAV Rundbrief **61**, no.4, 233, (2012)