

# Vom Punkt zur dritten Dimension - Simulation von PX Cephei

## Vermessung und Simulation des Algol-Systems PX Cep mit erstem Nachweis des sekundären Minimums

### From point to the Third Dimension – simulation of PX Cephei

#### Measurement and simulation of the Algol system PX Cep with first detection of secondary minimum

Norbert Reichmann

**Abstract:** *Primary minimum and the first detection of secondary minimum of the large amplitude Algol system PX Cep are presented here. All 512 data have been observed in mountain Ossiacher Tauern, Koestenberg, Austria, using CCD-technique. The data were acquired in a time span over 168 days between 17.06.2013 and 01.12.2013 using an Apogee U16M CCD-camera and an Apo 130 f/9.2 refracting telescope. The simulation of the system was carried out by manual calculation and use of BinaryMaker3, developed by D. Bradstreet. In table 1 can be seen the heliocentric corrected Julian date HJD of primary minimum, table 2 shows the magnitudes and amplitudes of minimums in the three photometric bands of Johnson/Cousins B, V and Rc. Table 3 shows the parameters of the system including radius, (B-V) colour index of both stars and inclination of the binary system. First column of table 3 shows the solution of manual calculations and the second column shows the solution of BinaryMaker3. Irregularities in lightcurves led to the adoption of mass transfer and hot-spots on the primary star.*

„Ein Punkt ist, was keine Teile hat“, lehrte uns schon Euklid im Buch 1 seiner „Elemente“. Zum Glück trifft das nicht für die Abbildung eines Sternes auf dem Chip zu. Denn hier gibt es viel zu bestaunen: unterschiedliche Farben, Größen und Abstände der Lichtscheibchen, aber auch Helligkeitswechsel derselben. Wie viel aber einem ein Lichtpunkt noch so erzählen kann, ahnte ich selbst nicht, bevor ich mich nicht eingehend mit dieser Frage beschäftigte.

PX Cep erregte meine Aufmerksamkeit aufgrund sehr gering divergierender Periodenangaben in der Literatur [1]. Zudem gab es keine Angaben einer gesicherten Erfassung des sekundären Minimums, wobei der leuchtschwächere Partner vom leuchtkräftigeren verdeckt wird. Ich betrachtete es somit als reizvolle Aufgabe, hier mehr Licht in die Datenlage zu bringen.

PX Cep ist im GCVS [2] als Veränderlicher vom Typ Algol klassifiziert. Zudem befindet er sich in sehr reizvoller kosmischer Umgebung: Der Reflexionsnebel van den Bergh 146 (Abb.1) mit einigen Herbig-Haro-Objekten sowie dem offenen Sternhaufen NGC 7142 befinden sich östlich des Veränderlichen. Auch sehr dichte Dunkelnebel schmücken kontrastreich das Himmelsfeld.



Abb. 1: Der einer Knospe gleichende Reflexionsnebel vdB 146, oberhalb des offenen Sternhaufens NGC7142. Dieser ist eingebettet in Lynds Bright Nebula LBN497, der dichte Dunkelnebel ist LDN 1183. Ich nenne den einer blauen Clematis-Knospe gleichenden Reflexionsnebel vdB146 Clematis mundi. Viele auffällig rote Herbig-Haro Objekte schmücken diesen Nebel

In einer Zeitspanne von 168 Tagen konnte ich innerhalb 18 Nächte 512 Daten zum Stern sammeln. Belichtet wurde durch die photometrischen Bänder Rc, V und B mit einer Apogee U16M durch einen 130-mm-Apo-Refraktor f/9.2. Die photometrischen Farbdaten wurden simultan mit Schmalband- und Luminanzdaten für das Deep-Sky-Bild der kosmischen Umgebung gewonnen.

In B, V und Rc wurden 139, 219, und 152 Daten mit einer Belichtungszeit von jeweils 300 und 420 s gesammelt. Der mittlere Fehler der Helligkeitsmessungen in B, V und Rc beträgt 0.014, 0.01 und 0.032 mag. Mehrere Hauptminima (wobei der leuchtkräftigere Partner vom leuchtschwächeren verdeckt wird) konnte ich erfassen (Tab.1).

Als Periode (Umdrehungszeit beider Komponenten in Tagen) bestimmte ich mit Hilfe der Fourier-Analyse nach dem Algorithmus von Allen Harris eine Zeit von

$$3.126889d \pm 0.000035d.$$

Bei Kreiner 2004 findet sich eine aktuelle Periode von 3.126871d [3], bei Boninsegna 1987 3.126993d [4], bei Borovicka 1995 3.126905d [4]. Heerlein 1996 in der unter [4] erwähnten Literaturangabe gibt 3.126959d +/-0.000023d an. Boninsegna [5] konnte kein sekundäres Minimum erfassen, auch im GCVS ist ein solches nicht angegeben.

Nach ersten Belichtungen konnte ich grob die Periode einschätzen und konzentrierte mich auf die Phase 0.5, wo das sekundäre Minimum zu erwarten war. Mir war es gönnnt, dieses erstmals deutlich zu detektieren!

Boninsegna 1987 [5] gibt eine Helligkeitsvariation in V von 12.25 bis 14.65 mag an, mit einer Amplitude von 2.4 mag. Für B gibt er eine Amplitude von 3 mag an. Die von mir erfassten Helligkeiten sind in Tab.2 einsehbar. Für das Hauptminimum fand er einen Farbindex von 0.91. Da ich das Hauptminimum und erstmals das Nebenminimum erfasste, konnte ich einen Farbindex im Hauptminimum von 0.92 und im Nebenminimum von 0.236 feststellen.

Die Bedeckungszeit vom 1. bis zum 4.Kontakt im Hauptminimum beträgt ~0.4117d d.h. ~9.88h, im Nebenminimum ~0.3514d bzw. ~8.43h. Boninsegna [5] gab eine Schätzung fürs Hauptminimum von 8h an. Die exakten Bedeckungszeiten im Haupt- und Nebenminimum, also für die Occultation und den Transit der helleren Komponente sind aber aufgrund eines ausgeprägten reflection-effect schwer zu erfassen.

Aus meinen Lichtkurven konnte ich somit die Kontaktzeiten, die Periode, den Farbindex und die Helligkeiten bestimmen. Ich fragte mich, was noch aus einer Lichtkurve zu gewinnen sei und ob eventuell das Doppelsternsystem zu simulieren wäre. Zunächst normierte ich die Helligkeiten bezogen auf die Phase 0.75 konstanter Helligkeit, wenn beide Sternpartner in der Sichtlinie nebeneinander liegen, und konnte so den Strahlungsfluss, also die Flux und die Phasen berechnen. Durch eine Skizzierung des Systems in Grund-, Auf- und Seitenriss und Anwendung trigonometrischer Bezüge erhält man die Formeln, mit Hilfe derer man die Inklination (Sichtwinkel), den relativen Radius der großen und kleinen Stern-Komponente in Einheiten ihres Abstandes berechnen kann. Durch Lösung eines entsprechenden Gleichungssystems, bestehend aus 6 Gleichungen, berechnete ich die Werte (siehe Tab.3, 2.Spalte). Wer sich für die Berechnung und Herleitung der Formeln interessiert, den verweise ich auf [7], [8] und [9].

Aufgrund des Farbindex B-V konnte ich die Temperatur und die Farbe der Sterne bestimmen, um somit nach der eigenen Berechnung eine erste Simulation des Sternenpaares zu zeichnen, wie es den Beobachter durchs Teleskop erscheinen würde, welcher Freude an den pastellenen Farbenspiel von Doppelsternen hat (Abb.2). Eine genauere Simulation erfolgte dann mit Hilfe BinaryMaker3 (Abb.3).

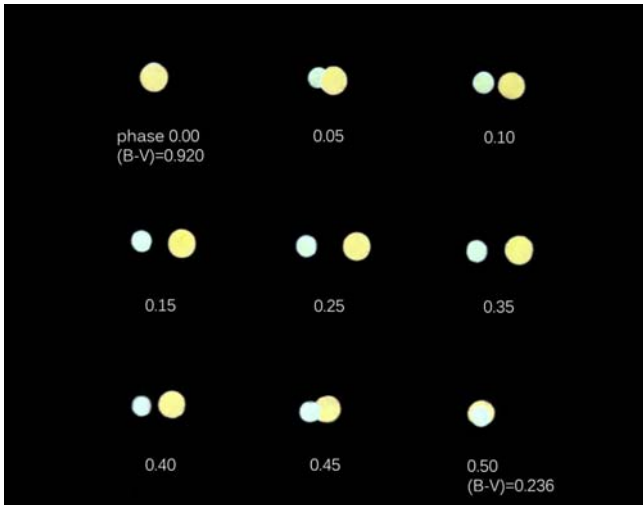


Abb. 2: In diesen Farben und relativen Größe der Sternpartner würde das System dem visuellen Doppelsternbeobachter erscheinen. Weiß mit einem Hauch von Blau die Hauptkomponente und Topas-gelb der Begleiter.

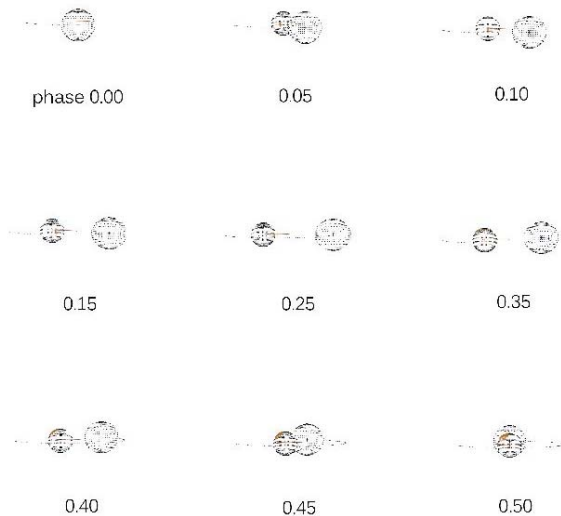


Abb. 3: Das mit Hilfe BinaryMaker3 simulierte Sternsystem

Eine eigene Berechnung war mir auch deshalb wichtig, um ein professionelles Sternprogramm namens Binary Maker 3 (BM3) von David Bradstreet [6] mit eigenen Werten zu füttern und nicht ohne viel Kenntnis der Systemparameter auf gut Glück loszulegen. Natürlich interessierte mich, wie realistisch denn meine berechneten Werte sind.

Zu meinem eigenen Erstaunen bedurfte es nur mehr geringer Wertanpassungen, um eine realistische Simulation des Doppelsternsystems mit sehr guter Deckung einer aufgrund theoretisch berechneter Werte erhaltenen Lichtkurve mit meiner praktisch vermessenen zu erhalten (Abb.5)

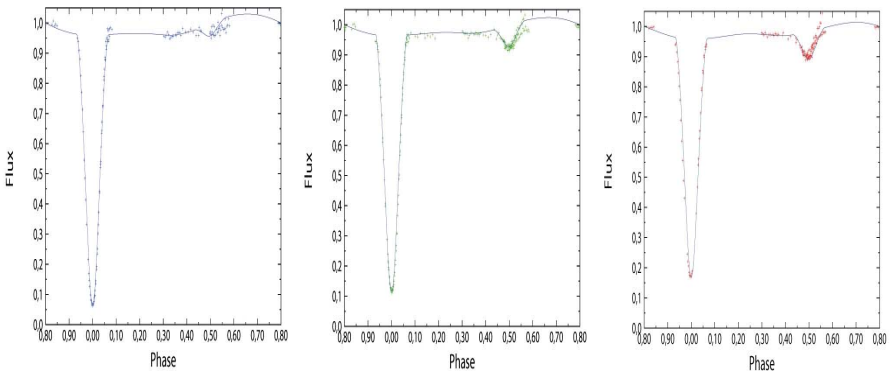
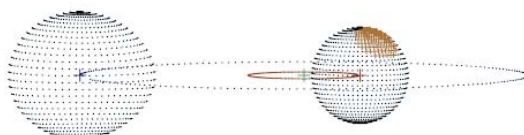


Abb. 4: Deckung der theoretisch berechneten Lichtkurven mit den praktisch gemessenen in den Filtern B, V und Rc

Schon während meiner Messungen und begleitenden Auswertung ahnte ich eine Asymmetrie der Lichtkurve. Ich führte dies auf aktive Sternflecken zurück und versuchte im weiteren Verlauf durch gezielte Beobachtung entsprechender Phasen hier Klarheit zu gewinnen. Mit Hilfe des BM3 war es möglich, auch diese Sternflecken zu simulieren, was meine Annahme bestätigte. David Bradstreet half mir mit entsprechenden fachlichen Hinweisen, dieses Sternsystem zu simulieren (Abb.5).

Bezüglich der Sternflecke wies er darauf hin, eher am kühleren K-Stern dunkle, also kühlere Flecken, anzunehmen. Hierbei kommt aber die durch BM3 berechnete Lichtkurve nicht annähernd so gut zur Deckung mit der gemessenen Lichtkurve, wie bei einer Annahme von heißeren Sternflecken an der helleren A-Komponente. Die an der Hauptkomponente helleren Flecken sind durch Massenströme von der kühleren zur heißeren, gravitativ stärkeren Komponente erklärbar, wenn auch bei einem getrennten System dieser Art - einem mittleren A und frühen K-Stern mit einem durch die Beziehung nach *Eggleton* [10] ermittelten Massenverhältnis  $m_1 / m_2$  von  $<0.249$ , wobei beide Partner nicht das Roche-Volumen ausfüllen - unwahrscheinlich, jedoch möglich. Ein Massenaustausch kann also durch gravitative Effekte und Sternwinde

erfolgen. Der Farbindex bei Phase 0.8 ist blauer als der im Phasenbereich 0.3 – 0.35. In beiden Phasenbereichen liegen beide Partner nebeneinander sichtbar. Unregelmäßigkeiten der Helligkeitsentwicklung nach dem sekundären Minimum wie auch in der Tiefe des Hauptminimums können auf Massenaustausch hindeuten. Diese Erscheinungen sind an den Lichtkurven deutlich zu sehen. Nach dem sekundären Minimum zeigt sich auch eine Verschiebung der Lichtkurven ins Blaue. Tab.3 zeigt eine Gegenüberstellung meiner berechneten Werte (Spalte2), zu denen mit Hilfe des professionellen Astronomie-Programmes BM3 ermittelten Werten (Spalte 3).



phase 0.75

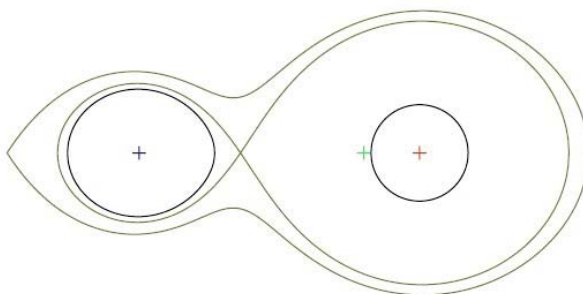


Abb. 5: Das mit Hilfe BinaryMaker3 simulierte Sternsystem mit den Lagrange-Oberflächen, das sind Flächen konstanten Gravitationspotentials

Die Beschäftigung mit dem large amplitude eclipsing Algol system PX Cep, also einem Algol-Veränderlichen mit großer Amplitude im Hauptminimum, beschenkte mich mit dem ersten Nachweis des sekundären Minimums dieses Doppelsternsystems, tieferen

Einblicken in die Astrophysik von Bedeckungsveränderlichen und einer realistischen Simulation des Sternsystems. Was auch noch im Teleskop Punkt bleibt, wird in dieser Simulation farbig und dreidimensional erfahrbar.

Was man doch alles aus einem Punkt lesen kann!

Tabelle 1: Erfasste Hauptminima des Algol-Varibalen PX Cep

JD 2456520.3868	2013.08.15	UT 21:17:01	+/-0.0097d
JD 2456523.5137	2012.08.09	UT 00:19:44	+/-0.0097d
JD 2456592.3053	2012.10.26	UT 19:19:34	+/-0.0097d

Tabelle2: Helligkeitsamplituden in den einzelnen Farbbändern

<b>B:</b> prim.MinI = 15.36 mag	Max = 12.35 mag	$\Delta\text{magI} = 3.01 \text{ mag}$
sek.MinII = 12.3 mag	$\Delta\text{magII} = 0.05 \text{ mag}$	
<b>V:</b> prim.MinI = 14.46 mag	Max = 12.08 mag	$\Delta\text{magI} = 2.38 \text{ mag}$
sek.MinII = 12.15 mag	$\Delta\text{magII} = 0.08 \text{ mag}$	
<b>Rc:</b> prim.MinI = 13.81 mag	Max = 11.89 mag	$\Delta\text{magI} = 1.92 \text{ mag}$
sek.MinII = 12.00 mag	$\Delta\text{magII} = 0.12 \text{ mag}$	

Tab.3: Parameter des Doppelsternsystems *PX Cep*. In Spalte 2 die eigenen berechneten Werte, in Spalte 3 die durch BM3 berechneten

$r_2$ Radius der großen Komponente	0.2332	0.2391
$r_1$ Radius der kleinen Komponente	0.1725	0.1726
$r_1 / r_2$ Größenverhältnis	1.352	1.385
$m_2 / m_1$ Massenverhältnis	<0.249	
$i$ Inklination = Sichtwinkel des Systems	86.5°	86.5°
$(B - V)_1$ Farbindex kleine Komponente	0.23	
$(B - V)_2$ Farbindex große Komponente	0.92	
Spektralklasse kleine Komponente	mittlerer A	
Spektralklasse große Komponente	früher K	
$T_1$	~8000 K	7800K
$T_2$	~4600 K	4400K

Quellenverweis:

[1] Differenz von 8sec in den Periodenangaben bei [3] und [4]

[2] Im General Catalogue of Variable Stars, GCVS, sind Periode, sekundäres Minimum, Spektralklasse und Bedeckungsdauer nicht erfasst  
<http://www.sai.msu.su/gcvs/cgi-bin/search.cgi?search=PX+Cep> , (2007-2012)

[3] <http://www.as.up.krakow.pl/minicalc/CEPPX.HTM>, 2004

[4] Heerlein, Long term behavior of the eclipsing binary PX Cep. IBVS Nr.4373, 1996,  
<http://adsabs.harvard.edu/full/1996IBVS.4373....1H>

[5] Boninsegna, PX Cep: a New Large Amplitude Eclipsing Binary, IBVS Nr. 3048  
1987, <http://adsabs.harvard.edu/full/1987IBVS.3048....1B>

[6] D. Bradstreet, Binary Maker 3. Binary star modelling program. Contact Software  
<http://www.binarymaker.com>

[7] meine Skizzen und daraus gewonnenen Formeln hier einzusehen:  
<http://www.vou.startime.at/jo/photometrie/71-lichtkurve-px-cep-erster-nachweis-des-sekundaeren-minimums#hand-solution>, 2014

[8] Hilditch, R.W.: An introduction to close binary systems, Cambridge University Press, 2001

[9] Budding E, Demicran O: Introduction to Astronomical Photometry, Cambridge University Press, 2007

[10] Eggleton, P.P., Ap.J.268, 368; 1983