

Delta Cephei und die Cepheiden–Veränderlichen

Wolfgang Vollmann

Die ersten Vertreter der berühmtesten Klasse der Veränderlichen Sterne wurden 1784 entdeckt: η Aquilae vom englischen Astronomen Edward Piggott und einen Monat später δ Cephei von seinem 17-jährigen Nachbarn John Goodricke. Die beiden Sterne und weitere ihrer Art sind mit freiem Auge sowie einem Fernglas zu sehen und gut mit einfachsten Hilfsmitteln zu beobachten. Sie zeigen deutlichen Lichtwechsel von einer knappen Größenklasse und eine Periode von 7,18 bzw. 5,37 Tagen, so daß von Abend zu Abend Helligkeitsänderungen sichtbar sind.

In der Astronomie haben Cepheiden besondere Bedeutung bei der Vermessung des Universums erlangt. Im Jahr 1912 entdeckte Henrietta Swan Leavitt, daß die von ihr untersuchten 25 Cepheiden in der Kleinen Magellanschen Wolke umso heller waren, je länger ihre Lichtwechselperiode dauerte: die Perioden-Leuchtkraft-Beziehung war gefunden. Nach der ersten Stufe der trigonometrischen Sternparallaxen waren die Cepheiden die nächsten Maßstäbe, mit denen die Entfernung zu den offenen Sternhaufen und Spiralarmen der Milchstraße und den näheren Galaxien messbar wurde.

Die δ Cephei Sterne sind gelbe Überriesen der Spektralklassen F im Maximum und bis G bis K im Minimum. Ihre Massen liegen zwischen 3 und 16 Sonnenmassen, wodurch auch die unterschiedlichen Perioden und die Perioden-Leuchtkraft-Beziehung erklärt werden. Die Sterne sind um ein Mehrfaches größer als die Sonne, so ist δ Cephei mit 40 Sonnendurchmessern und 6 Sonnenmassen ein Riesenstern. Die spektralen Veränderungen werden durch Temperaturänderungen der Oberfläche bewirkt, bei δ Cephei zwischen 6800 und 5500 Kelvin. δ Cephei selbst ist aus ca. 900 Lichtjahren Entfernung nur deshalb gut mit freiem Auge zu sehen, weil der Stern im Mittel mit 2000-facher Sonnenleuchtkraft strahlt.

Cepheiden sind entwickelte massereiche Sterne, die nach ihrem Wasserstoffbrennen im Kern auf der Hauptreihe des Hertzsprung-Russell-Diagramms im Laufe ihrer Entwicklung mehrmals den sogenannten „Instabilitätsstreifen“ des HRD kreuzen. Zuerst wird um den Heliumkern Wasserstoff in einer Schale fusioniert, dann Helium erst im Kern, danach in einer umgebenden Schale weiter zu Kohlenstoff bzw. Sauerstoff fusioniert.

Der Lichtwechsel der Cepheiden wird durch das Pulsieren des Sterns erzeugt. Der Stern wird durch die Schwerkraft zusammengedrückt und durch den Gasdruck sowie den Strahlungsdruck auseinandergetrieben. Wenn der Stern einmal in Schwingungen gerät, hält ein besonders bei Cepheiden wirksamer Mechanismus die Pulsation über viele Jahrtausende aufrecht. Dabei sind zyklische Temperaturänderungen der äußersten Sternschichten die Ursache für Absorptionsänderungen der Strahlung, die somit als „Strahlungsventil“ wirken.

Visuelle Beobachtung von delta Cephei

Mit freiem Auge ist delta Cephei am einfachsten mit den nahe gelegenen Stern zeta Cephei (3,4 mag) und epsilon Cephei (4,2 mag) zu vergleichen. An jedem klaren Abend kann die Sternhelligkeit eingeschätzt werden:

- * Stufe 1: heller als zeta Cephei
- * Stufe 2: gleichhell mit zeta Cephei
- * Stufe 3: zwischen zeta und epsilon Cep, aber näher am helleren zeta
- * Stufe 4: zwischen zeta und epsilon Cep, etwa in der Mitte der Helligkeit
- * Stufe 5: zwischen zeta und epsilon Cep, aber näher am schwächeren epsilon
- * Stufe 6: gleichhell mit epsilon Cephei
- * Stufe 7: schwächer als epsilon Cephei

Mit dieser einfachen Beobachtungsmethode wird die Sternhelligkeit auf etwa 0,2 Größenklassen genau geschätzt. Damit gelingt der Nachweis des Lichtwechsels und der Periode. Genauere visuelle Beobachtungsmethoden sind im Buch „BAV Einführung“ [1] beschrieben bzw. in den Videos [2] [3] [4] anzusehen.

Beobachtung von delta Cephei mit der Digitalkamera

Eine Digitalkamera erlaubt ebenfalls einfache Helligkeitsmessungen. Für die Aufnahme wird die Kamera am Fotostativ auf RAW-Format eingestellt. Bei Offenblende und einer Brennweite von 18 bis 35 mm ist eine Belichtungszeit von 10-15 Sekunden möglich, ohne daß die Strichspuren zu lang werden. Die Einstellung auf ISO 100 oder 200 lässt je nach Objektiv delta Cephei hell genug, aber noch nicht überbelichtet am Chip abbilden [5] [6] [7]. Die eigentliche Helligkeitsmessung erfolgt mit Software, z.B. Muniwin [8]. Dabei wird in einem Messkreis (in der Abbildung weiß) die Helligkeitswerte aller Pixel des Sternabbilds aufsummiert und vom Himmelshintergrund (in der Abbildung gelbe Kreise) subtrahiert. Dasselbe erfolgt für ein oder mehrere konstante Vergleichssterne mit bekannter Helligkeit, so daß Helligkeitsdifferenzen in Größenklassen von der Software errechnet werden.

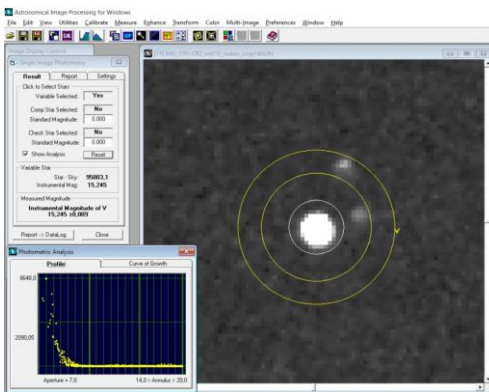
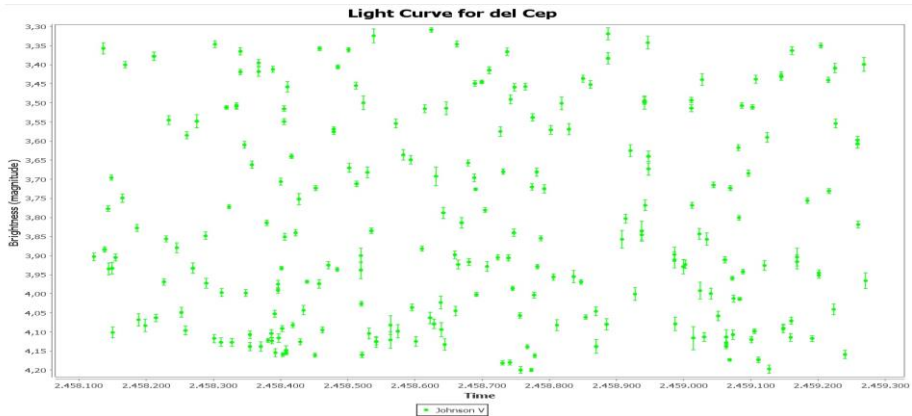
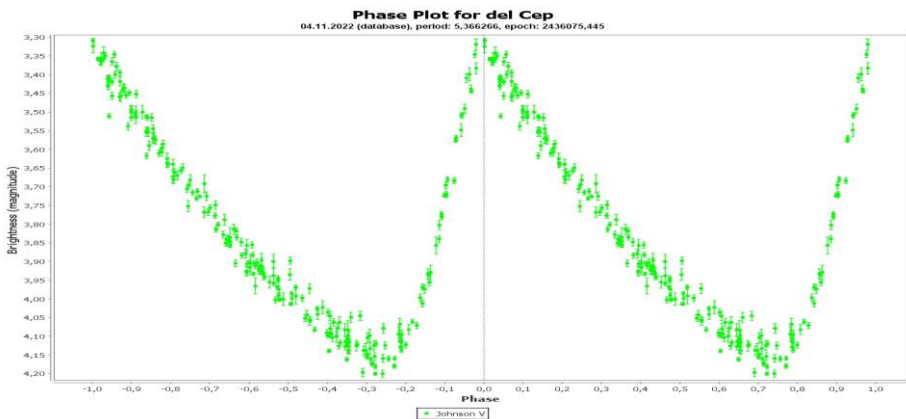


Abb.1.: Helligkeitsmessung von delta Cephei auf einer DSLR Aufnahme mit Canon 600D, Objektiv 1:2,8 f=28mm mit Software AIP4WIN [9].



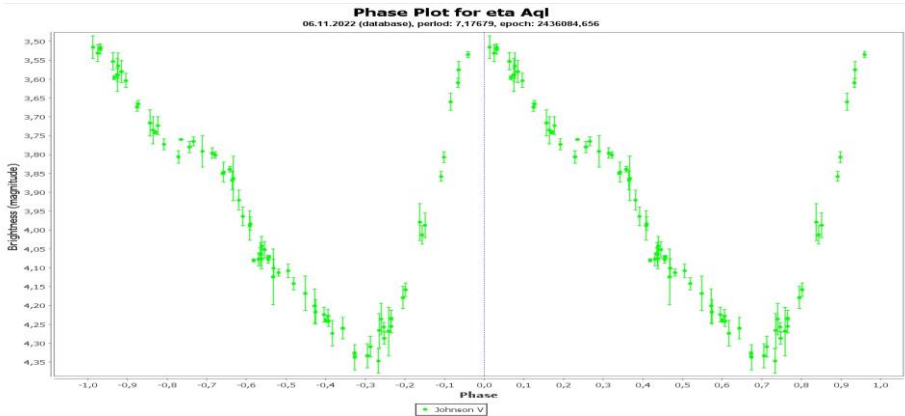
Lichtkurve 1: Beispiel: **delta Cephei**: an jedem klaren Abend von Jan.2018 bis März 2021 machte ich 10 Fotos von delta Cephei wie oben beschrieben. Die Messungen wurden auf dem Grünauszug der RAW Bilder mit Muniwin gemittelt und ergaben den Helligkeitswert von delta Cephei. Die entstandene Lichtkurve zeigt die Helligkeitsänderungen des Sterns zwischen 3,3 und 4,2 mag. Die Periode von 5,366 Tagen ist dabei noch nicht erkennbar, da zwischen den einzelnen Beobachtungen oft mehrere Tage lagen. Die Lichtkurve entstand mit dem AAVSO VStar Tool [10]. Auf der X-Achse ist die Beobachtungszeit in der fortlaufenden Tageszählung des JD = Julianischem Datum aufgetragen. JD 2458100 = 12.Dez.2017, JD 2459300 = 26.März 2021.



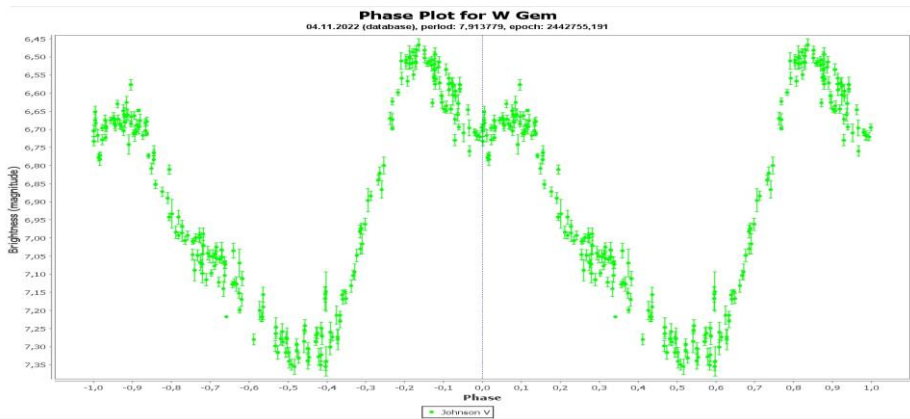
Lichtkurve 2: nach dem „Falten“ der Beobachtungen in VStar mit der Lichtwechselperiode 5,366266 Tage ist der regelmäßige Lichtwechsel von delta Cephei gut erkennbar. Auf der X-Achse ist die Phase in Einheiten der Periode aufgetragen, z.B. Phase 0,1 entspricht $0,1 \cdot 5,366266 = 0,5366$ Tage nach dem

Maximum. Mit dem Beobachtungstermin JD errechnet sich die Phase = $\text{Frac}(\text{JD} - \text{Epoche}) / \text{Periode}$ – $\text{Frac}()$ liefert die Nachkommastellen.

Weitere Beispiele für Cepheiden



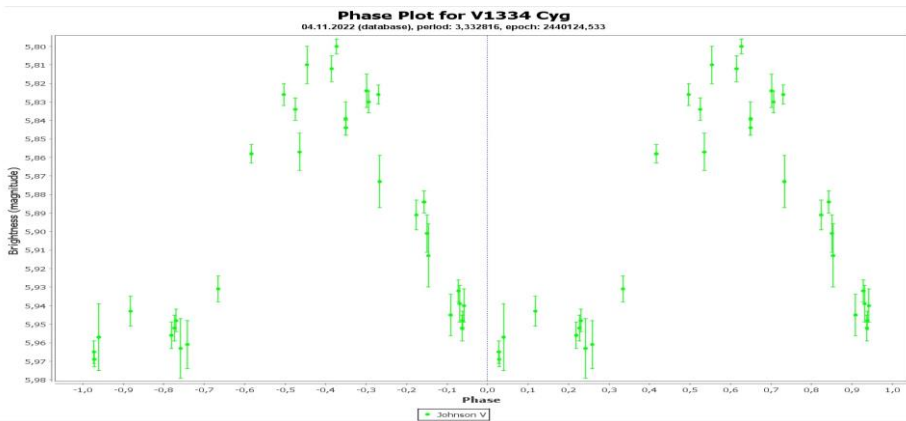
Lichtkurve 3: den erstentdeckten Cepheiden **eta Aquilae** beobachtete ich vom Sommer 2011 bis Herbst 2012. Er zeigt eine etwas längere Periode von 7,177 Tagen und einen signifikanten „Buckel“ in der Lichtkurve im Helligkeitsabstieg.



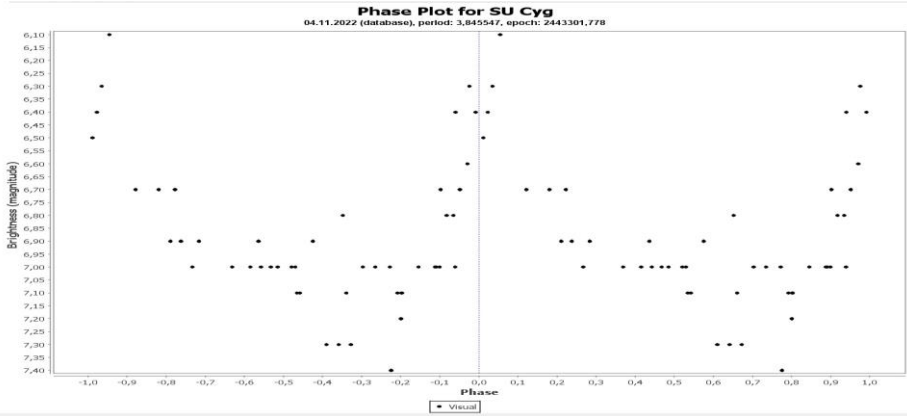
Lichtkurve 4: **W Geminorum** hat eine noch etwas längere Periode von 7,91 Tagen und der „Buckel“ in der Lichtkurve im Abstieg ist noch deutlicher ausgeprägt. Der Stern ist $1 \frac{1}{4}$ Grad südwestlich von gamma Geminorum im Fernglas zu sehen und 6,5 bis 7,4 mag hell. Die Lichtkurve entstand aus Beobachtungen in den Jahren 2018 bis 2022.



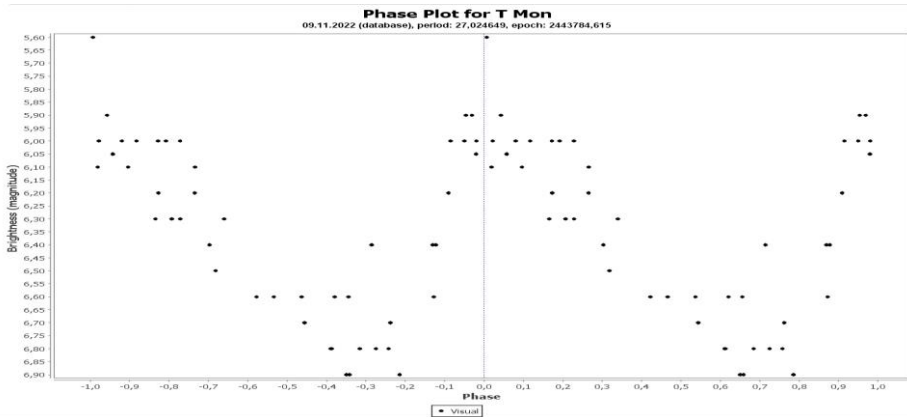
Lichtkurve 5: **zeta Geminorum** ist mit freiem Auge zu sehen und zeigt eine fast symmetrische Lichtkurve zwischen 3,6 und 4,2 mag mit einer Periode von 10,15 Tagen. Der Stern leuchtet aus etwas über 1000 Lichtjahren Entfernung. Auch diesen Stern beobachtete ich von 2018 bis 2022.



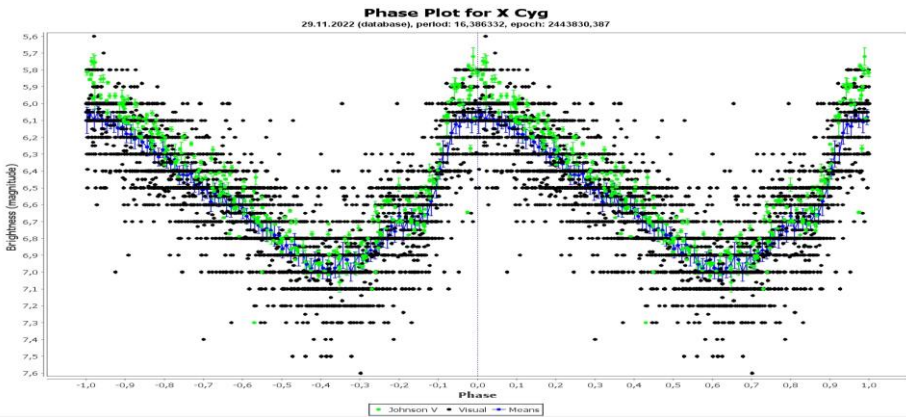
Lichtkurve 6: **V1334 Cygni** am Ort 21h19,4m +38°14' (2000.0) ist ein besonderer Stern, der in der ersten Obertonschwingung pulsiert und als Typ DCEPS klassifiziert wird. Die Helligkeit schwankt nur um knapp 0,2 Größenklassen, aber die Lichtkurve ist mit der DSLR ganz gut zu erkennen. Die Beobachtungen machte ich von Juni bis Oktober 2020.



Lichtkurve 7: mit dem Fernglas 10x50 beobachtete ich im Sommer und Herbst 2011 **SU Cygni** am Ort 19h44,8m +29°16' (2000.0). Die Helligkeit variiert zwischen 6,4 und 7,2 mag und die Beobachtungen streuen etwas mehr als mit der DSLR. Trotzdem ist die Periode von 3,85 Tagen erkennbar.



Lichtkurve 8: als noch sehr jugendlicher Beobachter versuchte ich erste Veränderlichenschätzungen 1975/76 an **T Monocerotis** mit dem 7x50 Fernglas meines Vaters. Dieser Cepheide zeigt eine lange Periode von 27,02 Tagen und variiert zwischen 5,6 und 6,6 mag. Nach der Perioden-Leuchtkraft-Beziehung ist der Stern ein absolut heller delta Cephei Stern. Aktuell werden 4500 Lichtjahre als Entfernung angegeben, der Stern steht in der Wintermilchstraße im Sternbild Einhorn am Ort 6h25,2m +7°05' (2000.0). Im Winter 1985/86 fügte ich einige weitere visuelle Beobachtungen mit einem Fernglas 10x50 hinzu.



Lichtkurve 9: von **X Cygni** am Ort 20h43,4m +35°35' konnte ich nur recht wenige visuelle Beobachtungen machen. Daher kombinierte ich sie in der AAVSO International Database mit denen anderer visueller und CCD/DSLR-Beobachter weltweit für den Zeitraum 2015 bis 2022. Natürlich streuen die einzelnen visuellen Beobachtungen (schwarze Punkte) deutlich, aber die Mittelwerte (blaue Punkte) sind so gut wie die Beobachtungen mit Kamera (grüne Punkte). Dieser Cepheide hat eine Periode von 16,4 Tagen und ist mit 5,9 bis 6,9 mag V ebenfalls gut im Fernglas zu sehen. Der Stern zeigt sehr deutliche Periodenänderungen.

Warum werden Cepheiden-Veränderliche immer wieder beobachtet?

Die Beobachtung des Lichtwechsels der Cepheiden ist bei genügender Genauigkeit langfristig sehr wertvoll. Durch kleine Periodenänderungen im Lauf der Jahre und Jahrzehnte sind einerseits evolutionäre Veränderungen der Sterne und andererseits Begleiter in Doppelsternsystemen erkennbar, die möglicherweise eine Massenbestimmung erlauben. Lesenswert sind dazu die Arbeiten von Szabados [11] und [12]. Eine neue große Übersichtsarbeit haben Csörnyei und Kollegen 2022 vorgelegt [13].

Literatur

[1] BAV Einführung in die Beobachtung Veränderlicher Sterne, fünfte Auflage 2022

[2] Erik Wischniewski: AstronomieTelevision

Folge 43 - Visuelle Helligkeitsschätzung:

https://www.youtube.com/watch?v=s_O26HAYXDc

Folge 44 – Interpolationsmethode: <https://www.youtube.com/watch?v=XDgWegka5xl>

Folge 45 – Stufenschätzmethode: <https://www.youtube.com/watch?v=P-uDMB9kT2A>

[3] AAVSO Tutorial: <https://www.aavso.org/10-star-training>

[4] AAVSO Visual Observing Manual: <https://www.aavso.org/visual-star-observing-manual>

- [5] Erik Wischniewski: AstronomieTelevision Folge 77-80: Digitalbilder photometrieren sowie Fitswork und Muniwin
- [6] AAVSO DSLR Observing Manual: <https://www.aavso.org/dslr-camera-photometry-guide>
- [7] Artikelserie von Volker Wickert und Jörg Spelda im BAV Rundbrief von 2021 bis 2022:
Teil 1: <https://www.bav-astro.eu/rb/rb2021-3/164.pdf>
Teil 2: <https://www.bav-astro.eu/rb/rb2021-4/237.pdf>
Teil 3: <https://www.bav-astro.eu/rb/rb2022-1/54.pdf>
Teil 4: <https://www.bav-astro.eu/rb/rb2022-2/115.pdf>
- [8] Muniwin: <https://c-munipack.sourceforge.net/>
- [9] AIP4WIN: <https://aip4win.software.informer.com/> sowie <https://groups.io/g/AIP4Win/topics> und das sehr empfehlenswerte „Handbook of Astronomical Image Processing“ von Richard Berry und Jim Burnell
- [10] AAVSO VStar: <https://www.aavso.org/vstar>
- [11] Szabados, L.: Photoelectric UBV Photometry of Northern Cepheids, III Communications of the Konkoly Observatory, No. 77 (Vol. VIII, 3), p. 1-97 (1981) <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1981CoKon.77....1S/abstract>
- [12] Szabados, L.: Northern Cepheids: Period Update and Duplicity Effects Communications of the Konkoly Observatory, No. 96 (Vol. XI, 3), p. 123-244 (1991) <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1991CoKon.96.123S/abstract>
- [13] Csörnyei, G. et al: Study of changes in the pulsation period of 148 Galactic Cepheid variables. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 511, Issue 2, April 2022, Pages 2125–2146, <https://doi.org/10.1093/mnras/stac115> bzw. preprint: <https://arxiv.org/abs/2201.04748>

Mein Dank an Dr. Ulrich Bastian für die kritische Durchsicht und die wertvollen Anmerkungen zu diesem Artikel.

Wolfgang Vollmann, Dammäckergasse 28/20, A-1210 Wien, <mailto:vollmann@gmx.at>