

W I S wissenschaft
in die schulen!

Veränderliche am PC beobachten

Das Delta-Cephei-Projekt

Rund 1000 Aufnahmen des veränderlichen Sterns Delta Cephei stehen auf einer allgemein zugänglichen Website zur Verfügung. Mit einer kostenfreien Software lassen sich auf den Bildern die Helligkeiten des Sterns messen und die Periode seines Lichtwechsels bestimmen. Zur Erweiterung stehen auch Daten des Veränderlichen Algol bereit – ein ideales Projekt für astronomische Arbeitsgruppen und Schulen!

Von Wolfgang Vollmann

Der Veränderliche Delta Cephei (δ Cephei) ist ein Riesenstern mit der sechsfachen Masse unserer Sonne. Dank seiner hohen Leuchtkraft vom 2000-Fachen der Sonnenleuchtkraft ist er aus einer Entfernung von 900 Lichtjahren gut mit freiem Auge sichtbar. Seine scheinbare Helligkeit schwankt zwischen 3,5 und 4,4 mag, mit einer sehr regelmäßigen Periode von fünf Tagen und neun Stunden. Diese Schwankung wird durch eine rhythmische Pulsation des ganzen Sterns verursacht: Ein abwechselndes Aufblähen und Schrumpfen durch innere Vorgänge.

Bedeutung in der Astronomie erlangten die nach dem Prototypen δ Cephei benannte Klasse der Cepheiden-Veränderlichen insbesondere durch die im Jahr 1912 von der US-amerikanischen Astronomin Henrietta Leavitt entdeckte Perioden-Leuchtkraft-Beziehung. Dieser Zusammenhang erlaubt es, aus den einfach zu beobachtenden Eigenschaften der Periode und der scheinbaren Helligkeit dieser Sterne auf ihre Leuchtkraft und damit auf ihre Entfernung zu schließen. Da die Cepheiden sehr leuchtkräftige Sterne sind, lässt sich die Methode auch zur Entfernungsbestimmung von Galaxien nutzen.

δ Cephei ist ein beliebtes Ziel für Amateurastronomen und eignet sich besonders gut für einen Einstieg in die Beobachtung veränderlicher Sterne. Zwischen Januar und Dezember 2014 nahm ich in 80 Nächten mit einer Digitalkamera vom Typ Canon 450D rund 1000 Fotos des Sternbilds Kepheus auf. Diese habe ich auf eine öffentliche Website hochgeladen, um sie für andere zugänglich zu machen (siehe Kasten S. 74). Mit einem geeigneten Bildverarbeitungsprogramm lässt sich auf einigen oder allen Bildern die Helligkeit des veränderlichen Sterns messen und aus den Messwerten beispielsweise seine Lichtkurve und seine Periode bestimmen.

Es gibt noch zwei weitere Veränderliche auf meinen Bildern, die gemessen werden können: My Cephei, ein roter Überriese mit halbregelmäßigem Lichtwechsel, und VV Cephei, ein sehr langperiodischer Bedeckungsveränderlicher, der zusätzlich zu den Bedeckungen auch einen halbregelmäßigen Lichtwechsel zeigt.

Mit Digitalkamera und Fotostativ

Eine digitale Spiegelreflexkamera lässt sich viel einfacher nutzen als die üblichen astronomischen CCD-Kameras. Sie benötigt bei Aufnahmen keine externe

Stromversorgung und keinen PC. Die Kamera wird einfach auf ein Fotostativ geschraubt, und die helleren veränderlichen Sterne lassen sich auch ohne Nachführung aufnehmen. Durch ein Objektiv mit 35 Millimeter Brennweite belichte ich 13 Sekunden bei Blende 1:2,8 und ISO 400. Zusätzlich stelle ich δ Cephei etwas unscharf, damit die Sternbildchen auf mehrere Pixel des Aufnahmechips verteilt werden und das Sternbild nicht überbelichtet ist.

Bei einer Überbelichtung ist keine genaue Helligkeitsmessung mehr möglich. Eine Unterbelichtung schadet weniger: Sie verringert nur die Messgenauigkeit. Bei der Aufnahme ist das Datenformat Raw einzustellen, bei Canon »CR2 Format«. Auf JPG-Bildern lassen sich die Helligkeiten zwar ebenfalls vermessen, allerdings mit etwas geringerer Genauigkeit, wie der Veränderlichenbeobachter Béla Hassforth auf seiner Website gezeigt hat.

Für erhöhte Genauigkeitsansprüche ist die Verwendung eines Objektivs mit fester Brennweite nötig. Des Weiteren erfordert eine genaue Fotometrie spezielle Aufnahmen zur Kalibration: so genannte Hellbilder (englisch: flat fields) und Dunkelbilder (englisch: dark frames). Aber diese Komplizierungen möchte ich hier



Mit einer Digitalkamera überwachte Wolfgang Vollmann den Lichtwechsel des veränderlichen Sterns Delta Cephei. Die auf den einzelnen Bildern gemessenen Helligkeiten ergeben eine Kurve mit dem hier angedeuteten Verlauf, der für Sterne dieser Klasse typisch ist: Einem steilen Anstieg der Helligkeit folgt ein langsamerer Rückgang.

bewusst vermeiden. Wie die Ergebnisse des Projekts zeigen, eignen sich auch Aufnahmen mit Zoomobjektiv und ohne Flat- und Dark-Bilder gut für eine fotometrische Auswertung. Bei der Belichtung sollte sich das ausgewählte Sternfeld zudem möglichst hoch über dem Horizont befinden – so lässt sich eine Verfälschung des Sternlichts durch die Erdatmosphäre, die »differenzielle Extinktion«, minimieren.

Helligkeitsmessungen auf den Bildern

Die Aufnahmen werden am komfortabelsten mit einem der überwiegend frei verfügbaren Programme, beispielsweise Muniwin, Iris oder AIPWin, ausgewertet. Man findet sie leicht, wenn man im Internet nach ihren Namen sucht. Eine Digitalkamera liefert bei geeigneter Einstellung ein Rohbild. Auf dem Sensor einer Farbkamera bilden die Pixel Vierergruppen – die so genannte Bayer-Matrix: Jeweils zwei Pixel einer Gruppe sind mit einem Grünfilter versehen und jeweils ein Pixel mit einem Rot- beziehungsweise Blaufilter. Die Auswertungssoftware kann die von allen Grünpixeln aufgenommenen Helligkeitswerte aus dem Bild herausziehen und weiterverarbeiten. Damit wird zwar nur die Hälfte der Pixel genutzt, aber die Farbempfindlichkeit ähnelt stark derjenigen des menschlichen Auges bei Nacht beziehungsweise derjenigen des instrumentellen Johnson-V-Filters der professionellen astronomischen Fotometrie.

Die Software zur Fotometrie eines Sterns summiert die Helligkeitswerte der belichteten Pixel innerhalb eines kleinen Messkreises, der alle Pixel des Sternbildchens umfassen soll. Diesen Messkreis muss der Benutzer von Hand auf den jeweils zu messenden Stern zentrieren. Bei aufwändigeren Auswerteprogrammen gibt es hierfür auch automatische Verfahren. Zusätzlich wird von der Software jeweils in einem etwas größeren Messkreis die Helligkeit des Himmelshintergrunds gemessen und von der Sternhelligkeit subtrahiert. Daraus ergibt sich die so genannte instrumentelle Helligkeit des Sterns.

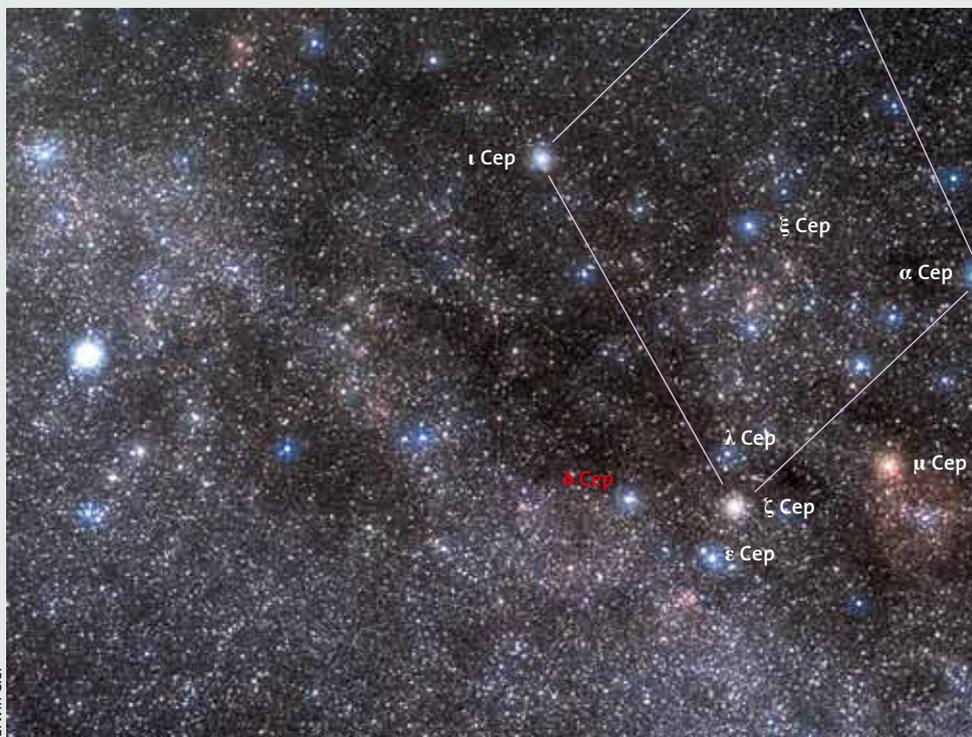
Um die instrumentelle Helligkeit auf das Standardsystem der Magnituden zu beziehen, muss zusätzlich auf jeder Aufnahme mindestens ein Vergleichssterne mit konstanter Helligkeit gemessen werden (siehe Kasten rechts). Es ist sinnvoll, einen weiteren konstanten Vergleichssterne, den so genannten Prüfstern (englisch:

Veränderliche beobachten: Delta Cephei & Co

Delta Cephei (δ Cephei) ist einer der am einfachsten zu beobachtenden veränderlichen Sterne. Sein Lichtwechsel wurde erstmals im Jahr 1786 von dem englischen Astronomen John Goodricke beschrieben. Noch heute sorgt der gelbe Überriese für Überraschungen. So stießen Forscher im Jahr 2010 auf einen Infrarotnebel, der den Stern und seinen heißen Begleiter HD 213307 umgibt, und im März 2015 wurde die Entdeckung eines weiteren Begleiters bekannt gegeben, der sich in den Spektren von δ Cephei verraten hatte.

Die scheinbare Helligkeit von δ Cephei schwankt mit einer Periode von rund 5,4 Tagen zwischen 3,5 und 4,4 mag. Somit ist er auch im Minimum mit bloßem Auge sichtbar. Erleichternd kommt hinzu, dass der Stern von Mitteleuropa aus zirkumpolar ist. Daher finden sich über das gesamte Jahr hinweg Gelegenheiten zur Beobachtung. Seine Position lautet für das Äquinoktium 2000: $\alpha = 22^{\text{h}}29^{\text{m}}2, \delta = +58^{\circ}25'$.

Unabhängig von den Sichtbarkeitsbedingungen stellt der Amateurastronom Wolfgang Vollmann mit seinem »Delta-Cephei-Projekt« im Internet einen jederzeit verfügbaren Einstieg in die Beobachtung veränderlicher Sterne bereit: Auf seiner Website http://members.aon.at/wolfgang.vollmann/delta_cephei_projekt.htm lassen sich seine Aufnahmen von δ Cephei herunterladen. Die Bilder sind in Ordnern enthalten und



Erwin Cief

Vergleichs- und Prüfstern für δ Cephei

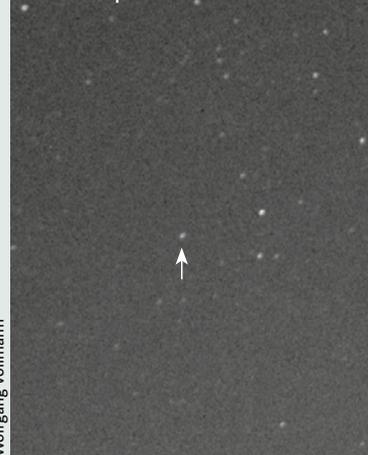
	Vergleichssterne	Prüfstern
Nummer	HIP 109572	HIP 109592
Rektaszension	22 ^h 11 ^m 49 ^s .2	22 ^h 12 ^m 02 ^s .0
Deklination	+56°50'24"	+60 45'33"
V-Helligkeit in mag	5,24	5,35
Farbindex B-V in mag	+0,51	+1,17



Schritt-für-Schritt-Anleitung zur Helligkeitsmessung am PC:
<http://goo.gl/35eTMA>

Wolfgang Vollmann

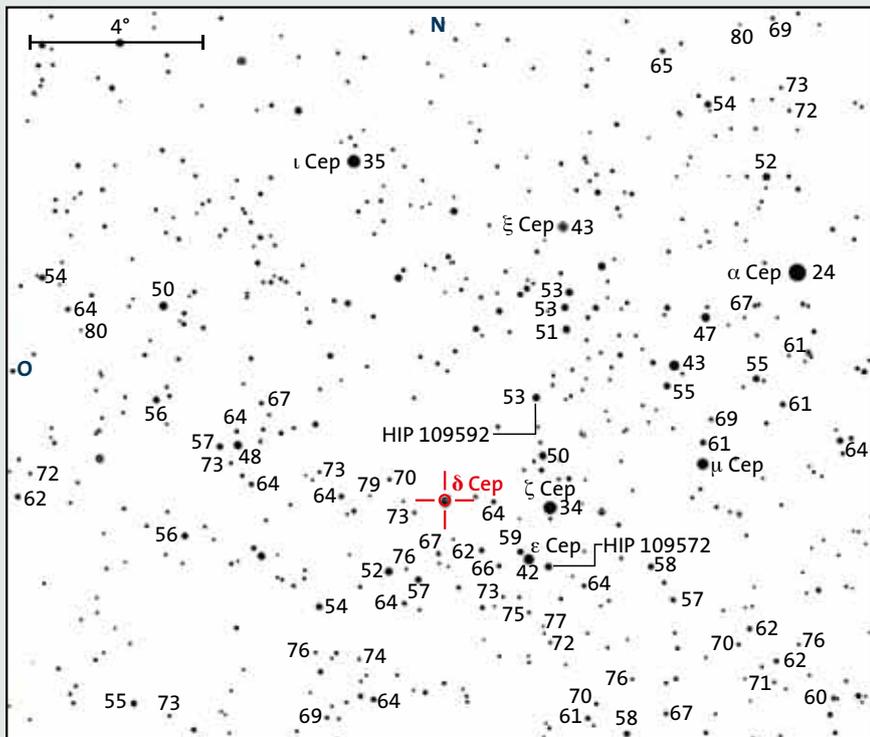
Delta Cephei im Minimum



nach Jahr (J), Monat (M) und Tag (T) gegliedert. Dementsprechend lauten die Namen der Ordner JJJJ_MM_TT. Die in jeder Bilddatei gespeicherten EXIF-Informationen geben das Datum und die Uhrzeit der jeweiligen Aufnahme an. Für die Helligkeitsmessungen eignen sich die in der Tabelle links unten aufgelisteten Vergleichssterne. Sie befinden sich unweit von δ Cephei am Himmel. Damit ist der Einfluss von Fehlern vermindert, die sich in Folge der höhenabhängigen Extinktion des Sternlichts ergeben können – sofern das gesamte Sternfeld höher als 30 Grad über dem Horizont steht.

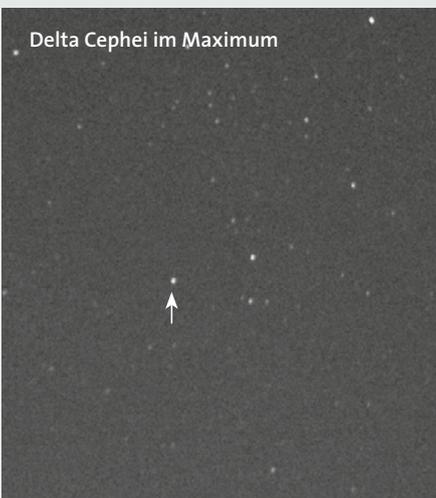
Natürlich lassen sich auch andere Vergleichssterne zur Helligkeitsmessung nutzen. Unter http://members.aon.at/wolfgang.vollmann/var_digital/var_digital_01_g3.htm beschreibt Vollmann anhand der freien Software Iris die Helligkeitsmessung auf den Bildern. Des Weiteren gibt er praktische Hinweise zur fotografischen Beobachtung mit einer Digitalkamera.

Wer sich tiefer in das Gebiet einarbeiten möchte, kann über seine Website auch Aufnahmen des Veränderlichen Beta Persei (Algol) abrufen, die den Zeitraum um das Minimum der Helligkeit erfassen. Die Bilder sind in Ordnern mit dem Namen »Serie01« bis »Serie15« abgelegt.



Der im Foto dargestellte Himmelsausschnitt ist in der Karte noch einmal wiedergegeben. Eingetragen sind die visuellen Helligkeiten von Vergleichssterne in zehntel Magnituden. Beispielsweise bedeuten die Ziffern »35« die Helligkeit 3,5 mag.

Mit einer Digitalkamera lässt sich der Lichtwechsel von δ Cephei (Pfeil) im Bild festhalten. Wolfgang Vollmann fotografierte den Stern ohne Nachführung mit jeweils 13 Sekunden Belichtungszeit bei ISO 100.



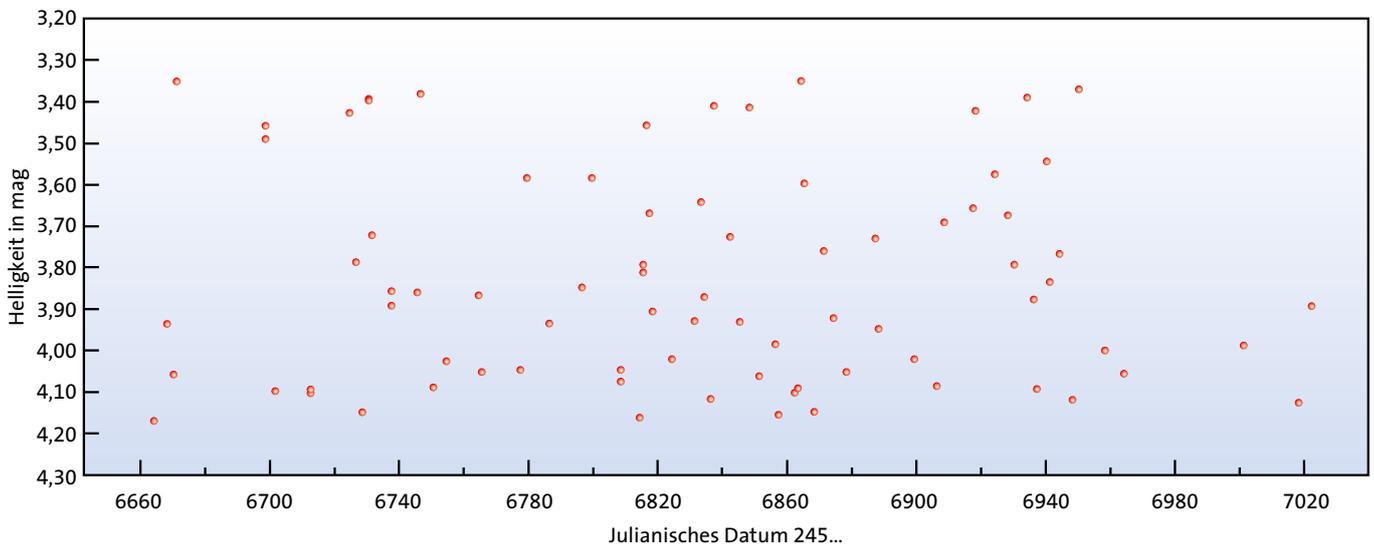
check star), zu messen, um eine mögliche Veränderlichkeit des Vergleichssterne zu überprüfen. Bei der Auswertung der Fotos wird übrigens schnell klar, wie störend sich Kondensstreifen, Zirren und andere Bewölkung auf die Messwerte auswirken.

Die zehn Einzelphotos eines Termins werden alle separat vermessen. Selbstverständlich werden die Messwerte nicht identisch sein, sondern entsprechend ihrer Genauigkeit ein wenig voneinander abweichen. Deshalb wird der Mittelwert der Helligkeiten gebildet. Das geht mit Muniwin und einer Tabellenkalkulationssoftware – beispielsweise Excel, OpenOffice oder LibreOffice – recht komfortabel. Dabei lohnt sich auch ein Blick auf die zehn Einzelwerte, um eventuell eine besonders stark abweichende Messung aus der Mittelung auszuschließen oder einen Beobachtungsabend ganz zu verwerfen, wenn die Helligkeiten gar nicht zusammenpassen wollen, beispielsweise wegen Zirren. Der Mittelwert weist stets eine größere Genauigkeit auf als die Einzelwerte.

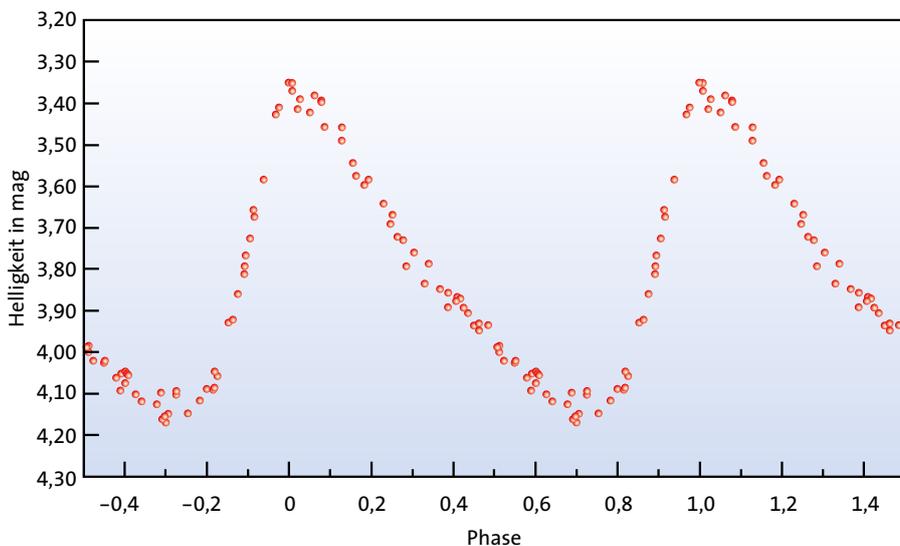
Die Lichtkurve erstellen

Da die Helligkeit von δ Cephei mit einer Periode von rund 5 Tagen und 9 Stunden schwankt, ist es nicht möglich, eine durchgehende, dicht mit Messungen besetzte Lichtkurve innerhalb einer Periodenlänge zu gewinnen – wegen der Unterbrechungen durch Tageslicht und natürlich auch durch schlechtes Wetter. Trägt man die Einzelmessungen eines längeren Zeitraums einfach gegen die Zeit auf, dann erkennt man zunächst ... überhaupt nichts! In der Lichtkurve streuen die einzelnen Messpunkte scheinbar regellos zwischen 3,3 und 4,2 mag; die periodischen Helligkeitsänderungen sind mit dem Auge absolut nicht zu erkennen (siehe Bild S. 76 oben).

Die Periode von δ Cephei ist aber konstant, und daher lassen sich die über Monate vereinzelt Beobachtungen auf das Zeitintervall einer einzigen Periode zurückrechnen. Diesen Prozess bezeichnet man als das Falten einer Lichtkurve. Das funktioniert folgendermaßen: Man wählt einen beliebigen Bezugszeitpunkt, beispielsweise den 1. Januar 00:00 Uhr MEZ. Für jeden tatsächlichen Beobachtungszeitpunkt berechnet man die Differenz zu diesem Bezugszeitpunkt aus – am einfachsten unter Verwendung des Julianischen Datums (JD), dessen aktueller Wert für jeden Monatsanfang neben der Tabelle



Wolfgang Vollmann / SuW-Grafik



Wolfgang Vollmann / SuW-Grafik

Trägt man die von Januar bis Dezember 2014 in Magnituden gemessene Helligkeit einfach gegen das Julianische Datum in Tagen auf, dann ergibt sich die hier dargestellte »ungefaltete« Lichtkurve. Die Messpunkte scheinen regellos zu streuen.

Die gefaltete Lichtkurve von Delta Cephei stellt wiederum die Beobachtungen des Jahres 2014 dar, diesmal jedoch in Abhängigkeit vom Periodenbruchteil (»Phase«). Damit man die Form der Lichtkurve besser erkennt, wurden alle Messpunkte zweimal dargestellt: einmal von Phase 0,0 bis +1,0, und dann nochmals um plus oder minus eine ganze Periode verschoben, von Phase -0,5 bis 0,0 beziehungsweise von +1,0 bis +1,5.

»Astronomische Ereignisse« in jedem SuW-Heft angegeben wird (siehe S. 57 in diesem Heft).

Die Differenz wird nun durch die Periode dividiert. Von dem Ergebnis zieht man seinen ganzzahligen Anteil ab, so dass sich immer ein Wert zwischen 0,0 und 1,0 Periodenbruchteilen ergibt. Dieser Wert ist die so genannte Phase des Lichtwechsels. Die »gefaltete« Lichtkurve stellt sodann die gemessene Sternhelligkeit in Abhängigkeit von der Phase dar. So lassen sich die Helligkeitsveränderungen des Sterns veranschaulichen.

Erweiterungsmöglichkeiten

Das Datenmaterial des Delta-Cephei-Projekts können Sie durch Ihre eigenen Aufnahmen ergänzen. Hierfür benötigen Sie nur ein Fotostativ und eine handelsübliche Digitalkamera, die möglichst auch Bilder im Raw-Format abspeichern kann. Die optimalen Werte für die Belichtungszeit, Empfindlichkeit und andere Einstel-

lungen müssen Sie für die gegebene Kombination von Objektiv und Kamera durch Versuche selbst ermitteln.

Eine zusätzliche Erweiterung wäre auch die Messung eines anderen hellen Veränderlichen. So habe ich Algol (Beta Persei) im Sternbild Perseus in den vier Stunden um das Helligkeitsminimum am 13. Januar 2015 aufgenommen und die Bilder ebenfalls im Internet bereitgestellt. Aus diesen Messungen können Sie den Zeitpunkt des Bedeckungsminimums von Algol auf wenige Minuten genau ableiten.

Eine tiefere Ergänzung des Projekts kann darin bestehen, aus den Messungen die Periode von δ Cephei selbst abzuleiten. Es geht hierbei darum, die versteckte Systematik in den scheinbar wirt streuenden Einzelpunkten der rohen Lichtkurve zu ermitteln, um sodann die schöne gefaltete Lichtkurve zeichnen zu können. Die dafür nötigen mathematischen Methoden würden allerdings den Rahmen dieses Artikels sprengen.



WOLFGANG VOLLMANN ist seit seiner Kindheit vom Sternhimmel fasziniert. Er ist in der Amateurastronomie und der astronomischen Volksbildung aktiv und lebt und arbeitet in Wien.

Literaturhinweise

- Berry, R., Burnell, J.:** The Handbook of Astronomical Image Processing. Willmann-Bell, Richmond, Virginia 2005
- Reichert, U.:** Der Delta-Cephei-Stern Delta Cephei. In: Sterne und Weltraum 4/2015, S. 65

Dieser Artikel und Weblinks unter:
www.sterne-und-weltraum.de/artikel/1346957

W I S Didaktische Materialien:
www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1051482