

# **Einfluss von Farbfiltern auf CCD-Beobachtungen**

The effect of colour filters on CCD-observations

Lienhard Pagel

**Abstract:** *The effect of B, V or R-Filter on CCD photometry is investigated. The behaviour of the light curve of variable stars is significantly affected by the filter. The effect on the moment of the maximum of pulsating stars is small - but it is detectable. In the case of the RR Lyrae star TU UMa the maximum comes in the blue color range compared to the red color range about half a minute later.*

Im BAV-Forum wurde der Einfluss von Filtern auf die CCD-Fotometrie von Veränderlichen kontrovers diskutiert. Diese Diskussion ist der Anlass, das Thema aufzugreifen und an Hand von Beispielen Einflüsse zu untersuchen. Viele meiner Lichtkurven sind mit Farbkameras aufgenommen, so dass Aufnahmen in den Farbbereichen R-, G(V)- und B-Filtern zu Verfügung stehen.

## **Einfluss von Filtern auf den Verlauf der Lichtkurven**

Pulsierende Veränderliche ändern im Verlauf der Periode ihre Temperatur und damit ihre Farbe. Dieses Verhalten lässt eine Variation des Verlaufes der Lichtkurve in Abhängigkeit vom betrachteten Farbbereich erwarten. An Hand der Lichtkurve des Mira-Sternes S UMa in Abbildung 1 sei der Sachverhalt dargestellt [1].

Während die visuelle Schätzung recht nahe an den Messungen mit dem Grünfilter liegen, führen Messungen ohne Filter deutlich zu höheren Helligkeiten. Dieser Effekt ist um so größer, je roter der Stern ist. Die Abweichungen können in der Nähe des Minimums 1 mag oder mehr betragen. Ursache ist die recht hohe Rot-Empfindlichkeit der CCD-Chips. Im Falle von RR-Lyrae- und Delta-Scuti-Sternen ist dieser Effekt ebenfalls sichtbar. Abbildung 2 zeigt unterschiedliche Helligkeiten und Kurvenverläufe am Beispiel von DY Peg. Die Helligkeiten der Maxima und Minima unterscheiden sich erheblich. Auch die Farbe ändert sich, wie am Beispiel von TU UMa (Abb. 3) ersichtlich ist.

Zur Darstellung der Farb-Unterschiede können die Lichtkurven wie in Abbildung 1 und 2 in den drei Farben separat dargestellt werden. Die Farbänderung wird jedoch deutlicher, wenn, wie in Abbildung 3 und 4, eine Lichtkurve im V-Bereich und die Differenz der blauen und visuellen Helligkeit (in Magnituden), die B-V-Kurve ( $\text{mag}_B - \text{mag}_V$ ), dargestellt werden.

Bei Bedeckungsveränderlichen können ebenfalls Farbänderungen auftreten, wenn die beiden Sterne unterschiedliche Farben haben. Abbildung 4 zeigt ein Beispiel an Hand von YY Gem. Weil sich B-V ändert, kann auch die Tiefe des Minimums von der Farbe abhängig sein. Die Kurvenverläufe und die Helligkeiten können also deutlich vom verwendeten Filter beeinflusst werden.

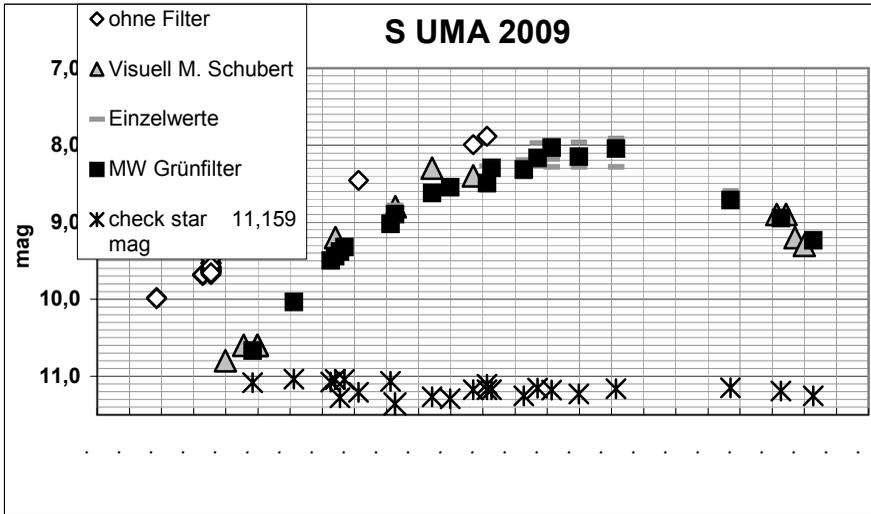


Abb. 1: Helligkeitsvergleich CCD ohne Filter, grün-Filter und visuelle Beobachtung. Die CCD-Aufnahmen sind mit einem 10"-Schmidt-Newton und der CCD-Kamera Artemis 4021 aufgenommen worden.

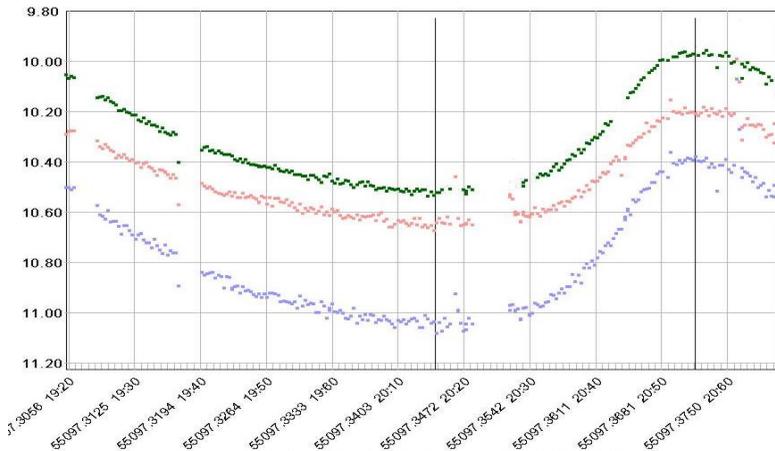


Abb. 2: Lichtkurven von DY Peg in G, R, B (von oben nach unten). Aufnahme am 22.9.2009 mit 18"-Newton und der CCD-Farb-Kamera QHY8, 10 belichtet.

### **Einfluss auf die Zeitpunkte der Minima und Maxima**

Wie sieht es jedoch für die Zeiten der Extrema aus? Hier ist der Einfluss nicht offensichtlich. In Abbildung 2 ist eine Verschiebung der Lichtkurven von DY Peg in der Zeitachse nicht zu erkennen. Wenn das Maximum der Lichtkurve mit dem Maximum

von B-V zusammenfällt, ist der Zeitpunkt für das Maximum nicht vom verwendeten Filter abhängig. Gleiches gilt für Minima.

In der B-V-Darstellung sollte sich also eine Verschiebung der Kurven in verschiedenen Farben durch eine Verschiebung des Maximums der B-V-Kurve gegen das Maximum der V-Kurve empfindlich bemerkbar machen. In den Abbildungen 3 und 4 ist eine solche Verschiebung nicht offensichtlich. In einer ersten Näherung sind die Zeiten der Maxima und Minima wohl nicht vom verwendeten Filter abhängig.

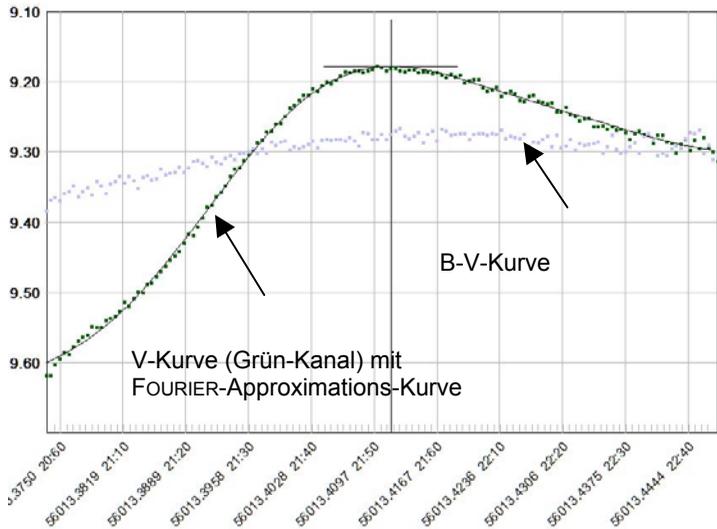


Abb. 3: Helligkeitsverlauf und B-V-Kurve von TU UMa vom 26.3.2012. Aufgenommen mit den 18"-Newton und der QHY8, 20 s belichtet.

Bei genauerem hinsehen ist das Maximum der B-V-Kurve bei TU UMa gegenüber dem Maximum im Grünen verzögert.

Um den Effekt explizit nachzuweisen, wurden Lichtkurven mit besonders geringer Streuung betrachtet. Die Auswertung von 2 Lichtkurven von TU UMa vom 2.3.2010 und von 26.3.2012 zeigt eine signifikante Verschiebung der Maxima in Abhängigkeit von der Farbe:

Max\_blaue 2455258.321 85 ± 0.000 20d  
 Max\_rot 2455258.321 37 ± 0.000 18d Farbindex  $\Delta t_{\text{MAX},B-R} = 0.000 48d$  (0.7 min)

Max\_blaue 2456013.412 71 ± 0.000 12d  
 Max\_rot 2456013.412 49 ± 0.000 10d Farbindex  $\Delta t_{\text{MAX},B-R} = 0.000 22d$  (0.3 min)

Die Verschiebung des Zeitpunktes des Maximums wird Farbindex des Maximums genannt.

Die Zeitpunkte der Maxima wurden durch Approximation der Lichtkurve durch eine Fourier-Reihe mit 11 Oberwellen mit jeweils dem gleichen Verfahren ermittelt. Die mittlere Abweichung der Messpunkte von der Fourier-Kurve lag bei 7 - 9 mmag (siehe Abb. 3). Dann wurde das Maximum der FOURIER-Kurve ermittelt. Durch Anwendung des jeweils gleichen numerischen Verfahrens wird eine möglichst hohe Relativgenauigkeit für die Bestimmung der Maximum-Zeitpunkte gesichert.

Andere Lichtkurven von TU UMa wurden ausgewertet, zeigen aber keinen Farbindex des Maximums, der größer als der geschätzte Fehler sind. Bei diesen Aufnahmeserien war die Streuung für den Zeitpunkt des Maximums witterungsbedingt größer als 0.0005d, so dass die gemessenen Verschiebungen eher statistischen Charakter haben. Die Tendenzen sind aber ähnlich. Der Verlauf der B-V-Kurve stimmt mit Messungen in der Literatur (beispielsweise [3]) tendenziell überein. In [3] ist ein Farbindex des Maximums nicht erkennbar, weil das Zeitraster zu grob ist.

Sind die gemessenen Farbindizes signifikant? Das gleiche Vorzeichen und die gleiche Größenordnung bei zwei Lichtkurven eines Sternes lassen vermuten, dass es sich um einen realen Effekt handelt. Ein systematischer Fehler kann dennoch nicht vollständig ausgeschlossen werden. Eine Schätzung des Fehlers (Sigma) für den Zeitpunkt der Maxima nach [2] liefert Fehler um 0.0001d bis 0.0002d (ca. 0,2 min). Es sollten also die gemessenen Farbindizes durchaus messbar und signifikant sein.

Da das Maximum der B-V-Kurve später als das Maximum der V-Kurve kommt, muss auch das Maximum im Blauen später kommen. Die Differenz ist klein. Zusätzlich ist Verhalten der B-V-Kurve ist ein recht empfindlicher Indikator für die Verschiebung von B gegenüber V.

Die Lichtkurven von DY Peg in Abbildung 2 scheinen nicht einfach verschoben und skaliert zu sein, so dass andere Teile der Lichtkurve eine genaue Untersuchung wert sind.

Für die Messung der kleinen Zeitdifferenzen sind Farb-Chips im Vorteil. Die Messung der Farbkanäle erfolgt gleichzeitig. Ein SW-Kamera mit Filterrad wäre schwieriger auszuwerten.

Interessant dürfte die physikalisch Interpretation für Verschiebung der Maxima sein. Weitere Untersuchungen der Farbindizes anderer Sterne versprechen Hinweise und vielleicht Klassifizierungen.

Für Bedeckungsveränderliche konnte ein Farbindex des Minimums bisher nicht nachgewiesen werden. Es liegen zu wenige verlässliche Daten vor. Bei einer asymmetrischen Verteilung der Farbe der Sterne sind Verschiebungen der Minima in Abhängigkeit vom Filter denkbar.

Diese ersten Ergebnisse machen weitere gezielte Untersuchungen sinnvoll. Ein sehr geringe Streuung der Messwerte ist Voraussetzung für weitere Messungen.

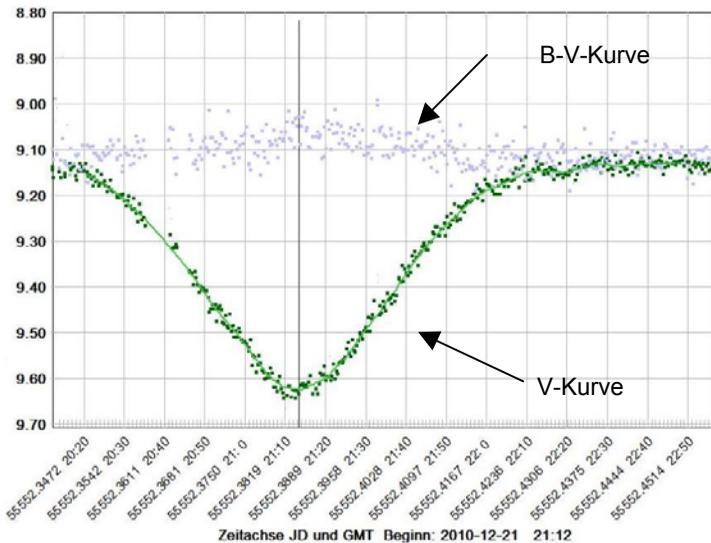


Abb. 4: Helligkeit und B-V-Kurve von YY Gem.

### Zusammenfassung

Für die Bestimmung von Maximum- und Minimum-Zeitpunkten von veränderlichen Sternen sind Filter im Allgemeinen nicht notwendig. Der Gewinn an Genauigkeit bei schwachen Sternen durch die größere Lichtmenge der ungefilterten Aufnahmen dürfte überwiegen. Nur bei Genauigkeiten unterhalb einer Minute ist Vorsicht geboten, hier können Abweichungen messbar sein. Die Zeitangaben sollten deshalb den Index R, V oder B erhalten. Dann wird eindeutig sichtbar, für welchen Farbbereich die Zeitangabe gilt.

Anders ist der Sachverhalt, wenn die Verläufe der Lichtkurven betrachtet werden. Insbesondere Maximum- und Minimum-Helligkeiten, aber auch die Breite von Maxima oder Minima können erwartungsgemäß stark von der Farbe abhängig sein.

Quellen:

[1] Pagel, L, Schubert, M, CCD-Messungen an Langperiodischen Veränderlichen – Vergleich mit visuellen Schätzungen am Beispiel S UMA, BAV-Rundbrief 2010-4, S. 272

[2] Pagel, L, Ermittlung der Genauigkeit der Zeitpunkte für Maxima und Minima in Lichtkurven, Eine Einführung, Vortrag auf dem BAV-Treffen in Hartha 2013

[3] Kühn, R, Der Licht und Farbwechsel einiger RR Lyrae-Sterne, Astronomische Nachrichten, Vol. 279, p.241