

Kalibration einer CCD-Kamera oder DSLR-Kamera zur Messung der Helligkeit des Himmelshintergrundes

Thomas Waltinger

Zur Beurteilung der Helligkeit des Nachthimmels werden in letzter Zeit immer häufiger die sog. SQM (Sky Quality Meter) eingesetzt. Diese Geräte messen die Himmels-helligkeit, und geben den Wert in Magnituden pro Quadratbogensekunden aus.

Um die Helligkeit zu messen muß nicht unbedingt so ein Gerät angeschafft werden, hat doch jeder Astrofotograf im Prinzip schon so ein Messgerät zuhause: Eine CCD-Kamera, oder eine in der Astrofotografie häufig anzutreffende DSLR-Kamera. Durch ihre Linearität eignen sich diese prinzipiell für o. a. Messaufgabe, allein es fehlt die Kalibrierung, die diese Geräte zu einem Messgerät macht.

Im folgenden wird eine Methode beschrieben, wie diese Kalibrierung auf einfache Weise bewerkstelligt werden kann.

Die Idee

Es wird ein Stern bekannter Helligkeit stark defokussiert aufgenommen. Aus der Helligkeit und der Fläche lässt sich nun die Flächenhelligkeit des defokussierten Sternscheibchens bestimmen, und liefert somit den direkten Zusammenhang zwischen Flächenhelligkeit und den dazugehörigen Pixelwerten der Kamera-Optik-Kombination.

Durch den Einsatz von Filtern lässt sich zudem die Helligkeit in verschiedenen spektralen Bereichen messen. Bei Einsatz einer DSLR geschieht dies automatisch durch die Farbfilter, die vor den Pixeln sitzen (Bayer-Matrix).

Die praktische Durchführung

Ein bekannter Stern wird stark defokussiert aufgenommen. Mit derselben Belichtungszeit wird ein Darkframe aufgenommen und von der Aufnahme abgezogen. Dieses Dark ist zwingend nötig, um den Bias (Offset), den jede Kamera aufweist, und den während der Aufnahme akkumulierten Dunkelstrom aus der Aufnahme zu beseitigen. Diese würden sonst die Messung verfälschen.

Abbildung 1 zeigt ein Beispielbild mit Alpha Coma Berenices (5,22 mag) als Referenzstern. Aufgenommen wurde dieses Bild mit einer DSLR des Typs EOS 300D von Canon, die Optik war ein Teleobjektiv von Tamron mit einer Brennweite von 300 mm und einer Lichtstärke von f2,8, die durch eine Frontblende auf f3,5 herabgesetzt war. Die Belichtungszeit betrug 60 s. Mit einem üblichen Bildbearbeitungsprogramm kann man nun den Durchmesser des Sternscheibchens in Pixeln bestimmen. Aus der Größe der Pixel und der Brennweite lässt sich dann der Durchmesser und somit die Fläche des Scheibchens in Quadratbogensekunden berechnen.



Abbildung 1: Beispielbild mit Alpha Coma Berenices als Referenzstern

Da diese Aufnahme mit einer DSLR gewonnen wurde, muß zur weiteren Auswertung die Aufnahme erst in die einzelnen Elemente der Bayer-Matrix zerlegt werden, da die einzelnen Pixelgruppen doch sehr unterschiedliche Werte aufgrund der unterschiedlichen spektralen Empfindlichkeit des Sensors und der unterschiedlichen Himmelselligkeit in diesen Bereichen aufweisen.

Abbildung 2 zeigt ein vergrößertes Bild des Sternscheibchens mit der Bayer-Matrix. Die Zerlegung kann z. B. mit dem Freeware-Programm IRIS durchgeführt werden: Nach dem Laden (natürlich im RAW-Format) des Bildes gibt man in das Befehlsfenster ein: `split_cfa [.] [.] [.] [.]`, wobei die eckigen Klammern für die Namen (Eingabe ohne die Klammern) der Dateien stehen, in welche die Auszüge abgespeichert werden. Diese können dann mit: `load [.]` wieder geladen werden. Abbildung 3 zeigt ein Mosaik aus den einzelnen Bayer-Matrix-Bildern.

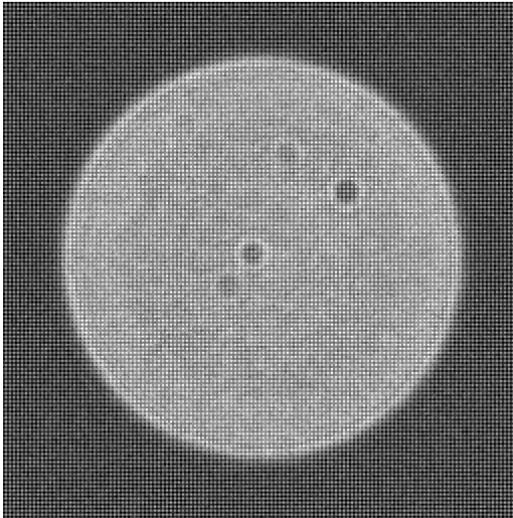


Abbildung 2: Vergrößertes Bild des Sternscheibchens mit der Bayer-Matrix



Abbildung 3: Mosaik aus den einzelnen Bayer-Matrix-Bildern

Berechnung der Fläche

Die Fläche eines Kreises (in m^2) berechnet sich bekanntermaßen gemäß:

$$A = r^2 \cdot \pi = (d/2)^2 \cdot \pi$$

Um zu Quadratbogensekunden zu kommen, muß man den Winkel ausrechnen, den ein Pixel am Himmel ausmacht. Dazu ist die Brennweite der Optik nötig.

$$\text{Alpha} = (\text{pix}/f) \cdot 206265$$

pix ist die Größe der Pixel, f die Brennweite, der Faktor 206265 ($=180 \cdot 3600/\pi$) bewerkstelligt die Umrechnung von Radiant in Winkelsekunden. Für die Fläche in Quadratbogensekunden erhält man also:

$$A'' = (n \cdot \text{alpha}/2)^2 \cdot \pi = (n \cdot \text{pix} \cdot 206265 / (2 \cdot f))^2 \cdot \pi$$

Wobei n die Anzahl der Pixel für den Durchmesser des Scheibchen sind. Wird zur Kalibrierung ein Teleskop mit zentraler Abschattung benutzt (Newton, SC, RC...) so entsteht bei starker Defokussierung keine Scheibe, sondern ein Ring. Da nur die leuchtende Fläche zu berücksichtigen ist, muss der zentrale dunkle Bereich von der Fläche abgezogen werden.

Berechnung der Flächenhelligkeit des Sterns

Die Flächenhelligkeit ist definiert durch: $FH = H/A$. Die Umrechnung in Magnituden erfolgt gemäß:

$$FH_m = -2,5 \cdot \log(H/A) = -2,5 \cdot \log H + 2,5 \cdot \log A$$

Der erste Term ist die Helligkeit des Sterns in mag, dazu wird einfach der Flächenterm addiert.

Die Auswertung des obigen Bildbeispiels mit den Werten

$f = 0,3m$, $n = 197$, $\text{pix} = 7,4\mu m$ ($A = 789032 \text{ arcsec}^2$) ergibt: $FH_m(\text{Stern}) = 19,96 \text{ mag/arcsec}^2$

Somit haben wir einen Referenzwert gefunden, mit dem die Helligkeit des Hintergrundes verglichen werden kann.

Berechnung der Flächenhelligkeit des Hintergrundes

Das Verhältnis der Flächenhelligkeit des Hintergrundes zur Flächenhelligkeit des Sterns liefert einen Korrekturwert, der zur oben ermittelten Flächenhelligkeit des Sterns addiert oder subtrahiert wird, je nach dem, ob der Hintergrund dunkler oder heller als das Sternscheibchen ist.

Also: $V = H_a/F_a$ oder in mag $V_m = -2,5 \log(PW_h/PW_k)$

Wobei PW_h und PW_k die durchschnittlichen Pixelwerte des Hintergrundes bzw. des Sterns sind. Um den korrekten Wert für den Stern zu erhalten muss von dessen Pixelwerten der Wert des Hintergrundes abgezogen werden.

$$V_m = -2,5 \log(PW_h) + 2,5 \log(PW_k - PW_h)$$

Damit haben wir alles beisammen um die Hintergrundhelligkeit zuverlässig bestimmen zu können.

$$FHm(\text{Hintergrund}) = FHm(\text{Stern}) + V_m$$

Für das obige Bildbeispiel ergeben sich somit folgende Werte:

Links oben	(Grün1):	19,24 mag/arcsec ²
Rechts oben	(Blau):	19,86 "
Links unten	(Rot):	18,85 "
Rechts unten	(Grün2):	19,26 "

In allen 4 Fällen war der Hintergrund heller als das Sternscheibchens, dementsprechend wird der Wert V_m negativ, und wird daher vom Referenzwert abgezogen. Die spektrale Helligkeitsverteilung des Sterns wurde dabei nicht berücksichtigt. Richtig gut stimmen dürften die Werte nur für die Grün-Kanäle, da die Durchlasskurve der Grünfilter in etwa mit den der Visuellen Photometrischen Filtern übereinstimmen. Die visuelle Helligkeit des Sterns wurde ja für die obige Kalibration benutzt.

Messung des Hintergrundes auf beliebigen Aufnahmen

Hat man mit dieser Prozedur seine Kamera-Optik-Kombination einmal kalibriert, so kann man damit auf jeder Astroaufnahme die Helligkeit des Himmels beurteilt werden, ohne diese Prozedur nochmals durchführen zu müssen. Dabei muss allerdings die (meist längere) Belichtungszeit und dementsprechend der höhere Pixelwert des Hintergrundes der Astroaufnahmen berücksichtigt werden.

Dies liefert einen Korrekturterm:

$$K_m = -2,5 \log((P_{Wa}/t_a)/(P_{Wk}/t_k))$$

(P_{Wa} , P_{Wk} : Pixelwert des Hintergrundes der Astroaufnahme bzw. Kalibrieraufnahme, t_a , t_k : Belichtungszeiten). Dieser Wert wird zu dem oben erhaltenen Kalibrierwert ($FHm(\text{Hintergrund})$) addiert. Auch hier gilt: Negative Werte verringern den Messwert.

$$FH(\text{Hintergrund_Aufnahme}) = FH(\text{Hintergrund_Kalibration}) + K_m$$

Zusammenfassung

Mit dieser Prozedur sollte es möglich sein, die Qualität seines Nachthimmels zuverlässig beurteilen zu können. Man sollte dies doch hin und wieder mal tun. Auf jeden Fall dann, wenn man neue Plätze für Astroaufnahmen sucht. Auch sollte man sich durch die vielen Formeln nicht abschrecken lassen.

Auf jeden Fall würde ich mich über Rückmeldungen durchgeführter Messungen von Amateuren, denen ein SQM zur Verfügung steht (von anderen natürlich auch), freuen, um diese Prozedur mit Messwerten des SQM vergleichen zu können. Ebenso bitte ich über Probleme bei den Messungen und Auswertungen zu berichten.

Und nun: Viel Spaß beim Messen!

Thomas Waltinger (Die Anschrift ist der Redaktion bekannt)