

Fotometrie von Sternen am Taghimmel mit CCD-Kamera

Otmar Nickel

Abstract: *In my backyard observatory in Mainz, Germany, I am trying to image stars with my 10" Newton telescope and a CCD camera (ATIK 460exm) during daylight. Under good conditions, stars upto 6.5 mag can be imaged with an SNR>15 using stacking of 10-20 frames with 1-5ms acquisition time and a fotometric V-Filter. To measure the intensity of the sky background, the intensity of a background aperture was compared to the intensity of the star aperture and normalized to the known star magnitude. In this way sky background values of 2.5-4.7 mag/ arcsec² were found at angles of 20°-100° distance to the sun. Differential fotometry was performed on 9 stars with magnitudes of 0.18 to 2.74 mag; the standard error, compared to catalogue values was ±0,077 mag. As a variable star, stacked images of Betelgeuse were measured and compared to Aldebaran (alpha tau) on 4 days (July 22 to Sept 07, 2020). The measured magnitudes were comparable to results of the STEREO A spacecraft in July 2020 and to results of W. Vollmann with DSLR as well as visible results during dawn.*

Seit einiger Zeit versuche ich mit meinem 25-cm-Newton-Teleskop und einer CCD-Kamera (ATIK460exm), Sterne am Taghimmel zu beobachten bzw. fotografisch abzubilden. Meine Sternwarte befindet sich nicht im Hochgebirge, sondern am Stadtrand von Mainz; wenn der Himmel klar ist, leuchtet er daher nicht gerade tiefblau. Trotzdem gelang es mir, Sterne bis etwa zur 6. Größe an einem wolkenfreien Himmel abzubilden.

Dazu benötigt man eine gut funktionierende Goto-Montierung, mit der man jeden Stern entsprechend seiner Koordinaten anfahren kann. Eine erste Positionseichung sowie die Fokussierung kann mit Hilfe der Sonne (und einem Sonnenfilter) erfolgen.

Um den blauen Anteil des Himmelslichts zu reduzieren, nehme ich immer mit V- oder R-Filter auf. Bei der Belichtungszeit muss man darauf achten, dass der Himmelshintergrund nicht in den Sättigungsbereich der Kamera fällt, der bei meiner Kamera erst ab ca. 60.000 ADU beginnt. Im Allgemeinen bekomme ich mit V-Filter und 1-5 ms Belichtungszeit einen ADU-Wert von ca. 30.000. Bei dieser kurzen Belichtungszeit bekommt man natürlich nur bei sehr hellen Sternen ein ausreichendes Signal, man muss daher mehrere Bilder aufsummieren („stacken“). Ein Nachteil der meisten CCD-Kameras ist dabei die relativ lange Auslese- und Übertragungszeit von einigen Sekunden. Man benötigt bei 2 Sekunden Übertragungszeit und 2 ms Aufnahmezeit eine Gesamtzeit von über 16 Minuten für eine Gesamtbelichtungszeit des gestackten Bildes von 1 Sekunde. Die erforderlichen kurzen Belichtungszeiten können von Astro-CCD-Kameras mit mechanischem Verschluss normalerweise nicht erreicht werden, das funktioniert nur mit Kameras mit einem Sensor mit Interline-Transfer, wie bei der ATIK460 der Fall.

Für Sterne bis zur 3. Größenklasse benötigt man relativ kurze Gesamtbelichtungszeiten, als Beispiel zeigt Abbildung 1 ein Bild des Doppelsterns Castor (Alpha Gem), dessen Komponenten 1,9 bzw. 2,9 mag hell sind; hier wurden 16 Bilder mit je 5 ms Belichtung gestackt.

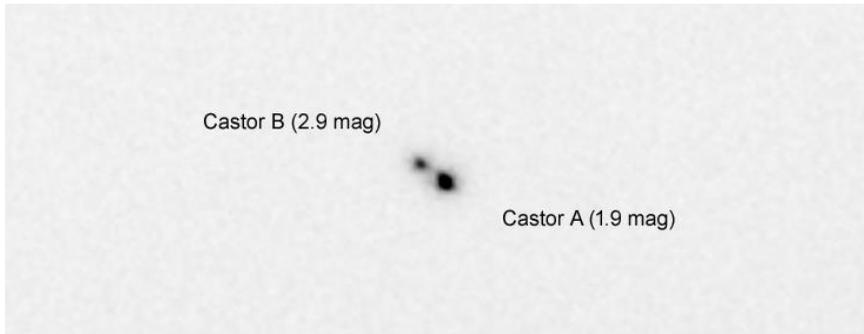


Abb. 1: Castor am 7.5.2018 um 18:10 MESZ, Belichtung 16x5 ms, R-Filter

Um ein möglichst hohes Signal/Rausch-Verhältnis (SNR) zu erhalten, sollte die Pixelauflösung gleich oder kleiner als die Größe des Seeing-Scheibchens sein, also in der Größenordnung 1-2 Bogensekunden pro Pixel. Mit meiner Kamera erreiche ich eine Auflösung von 0,72"/Pixel. Als Beispiel für das dabei erreichte SNR sei das gestackte Bild des Sterns HD 67542 ($V=6,47\text{mag}$) gezeigt (Abb. 2), das etwa 2 h vor Sonnenuntergang mit V-Filter aufgenommen wurde (Sonne stand ca. 10° über dem Horizont, Winkelabstand zur Sonne 72°). Es wurden 20 Aufnahmen mit je 5 ms Belichtungszeit gestackt, mit einem SNR von 16 bei einem Messfeld von 9x9 Pixel.

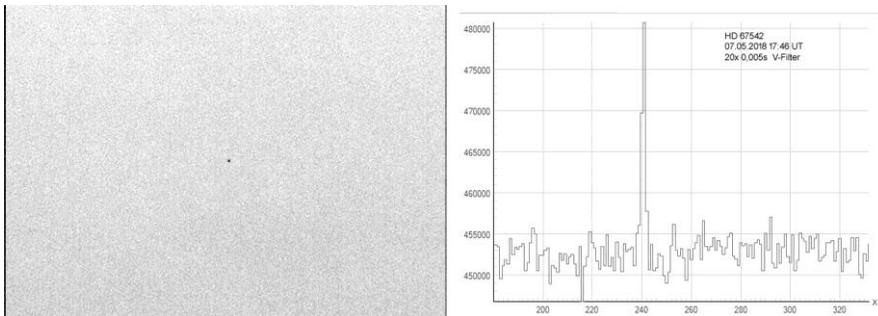


Abb. 2: Aufnahme und Profil des Sterns HD 67542 vom 7.6.2018 um 19:46 MESZ

Die Helligkeit des Himmelshintergrundes hängt natürlich vom Winkelabstand zur Sonne ab. Dazu habe ich an mehreren Tagen Sterne mit verschiedenen Winkelabständen aufgenommen und die Helligkeit des Himmelshintergrundes in mag pro Quadratbogensekunde bestimmt. Mit dem von mir entwickelten Programm „Fitsmag“ [1] kann diese Größe ausgegeben werden, sofern ein Stern mit bekannter Helligkeit und geeignete Messfelder für Stern und Hintergrund markiert werden (siehe Abb. 3). Diese Methode wurde am Nachthimmel getestet und ergibt dabei Werte, die mit Messwerten des „Sky quality meter“ (SQM) [2] vergleichbar sind, wobei das SQM für eine Taghimmel-Messung nicht geeignet ist.

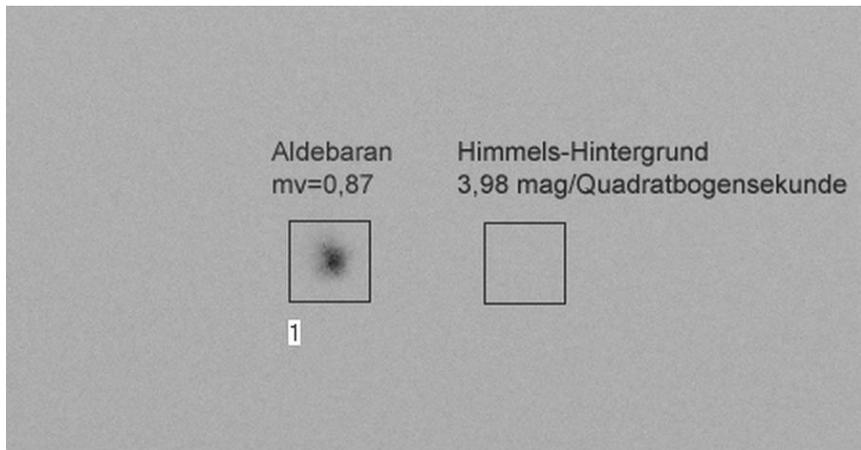


Abb. 3: Messung der Himmelshelligkeit

Die Himmelshelligkeit hängt von verschiedenen Faktoren ab, von der „Klarheit“ des Himmels, die von Tag zu Tag verschieden ist, aber auch vom Winkelabstand des Sterns zur Sonne. Daher habe ich an mehreren Tagen die Himmelshelligkeit von verschiedenen Sternen mit unterschiedlichem Winkelabstand zur Sonne gemessen. Die Sonnenhöhe lag zwischen 10° und 50° .

Das Ergebnis ist in Abbildung 4 zu sehen. An 7 Sternen bzw. an 6 Tagen wurde dazu die Flächen-Helligkeit des Himmelshintergrundes gemessen. Wie zu erwarten, ist die Himmelshelligkeit um so größer, je näher die Messung an der Sonne erfolgt. Die Streuung der Messwerte ist auf die unterschiedlichen Verhältnisse (Dunst, Schleierwolken, Sonnenhöhe) an verschiedenen Tagen zurückzuführen.

Aus den Messwerten kann direkt geschlossen werden, bei welchen Sternhelligkeiten eine fotometrische Beobachtung möglich sein sollte. Bei einem Winkelabstand zur Sonne von $20\text{-}50^\circ$ wären dies Sterne bis etwa 3 mag, bei größeren Abständen bis etwa 4 mag.

Die differentielle Fotometrie erfordert die Messung mehrerer Sterne (Veränderlicher, Vergleichssterne, Kontrollsterne), die in diesem Fall auch im entsprechenden Helligkeitsbereich liegen müssen. Das Gesichtsfeld der Kamera enthält bei der erforderlichen Brennweite normalerweise nur einen Stern mit der geforderten Helligkeit, sodass man mehrere Aufnahmeserien machen und das Teleskop jeweils neu positionieren muss. Man bestimmt an den einzelnen (gestackten) Aufnahmen dann jeweils die Instrumentelle Magnitude des Sterns und kann dann die Differenz z.B. Veränderlicher-Vergleichssterne berechnen. Die Bild-Akquisitionszeiten müssen für jeden Stern gleich sein, außerdem ist eine Flatfield-Korrektur der Bilder ganz wesentlich. Falls die Luftmassen sehr unterschiedlich sind, ist auch eine Luftmassen-Korrektur erforderlich, diese kann mit einem Tabellenkalkulationsprogramm berechnet werden.

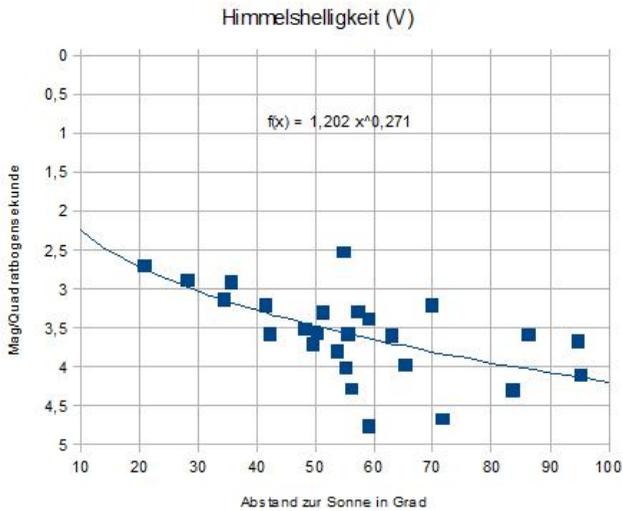


Abb. 4: Gemessene Himmeshelligkeit in Abhängigkeit vom Winkelabstand des Sterns zur Sonne

Die differentiellen Helligkeiten einiger heller Sterne wurden entsprechend bestimmt. Es wurden 9 Sterne an 8 verschiedenen Tagen im April 2019 und im Juli-September 2020 gemessen (mit Luftmassen-Korrektur 0,25fache Luftmassendifferenz). Katalog-Helligkeiten wurden aus Cartes du ciel [3] entnommen. Das Ergebnis ist in Abb. 5 zu sehen. Die Standardabweichung von (Messung-Katalogwert) von 12 Messungen war 0,077 mag.

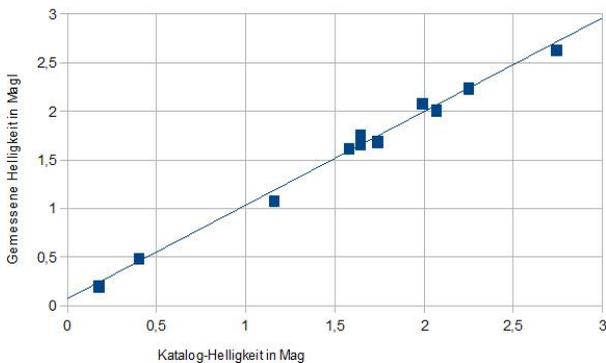


Abb. 5: Gemessene gegen Katalog-Helligkeiten einiger heller Sterne

Zusätzlich zu diesen Testmessungen versuchte ich auch eine Messung an einem Veränderlichen. Da Beteigeuze gerade ein interessantes Objekt ist, erstellte ich am 22.7., 31.7., 8.8. und 7.9.2020 zwischen 9:44 und 11:23 MESZ (etwa zur Kulmination von Beteigeuze) entsprechende Aufnahmen mit Aldebaran (Alpha Tauri) als Vergleichssterne und Bellatrix (Gamma Orionis) als Kontrollsterne. Der Winkelabstand zur Sonne betrug zwischen 34° (am 22.07.) und 77° (am 07.09.), die Helligkeit lag zwischen 3,13 und 4,11 mag/Quadratbogensekunde.

Die Belichtung (mit V-Filter) betrug jeweils 20 x 0,002 s. Die Belichtungsreihen wurden nach 3-5 Minuten wiederholt, aus den Ergebnissen wurden Mittelwerte gebildet. Die Abweichungen daraus wurden als Messfehler gewertet. Außerdem wurde eine Luftmassenkorrektur (0,25x Luftmassendifferenz) angebracht. Für Aldebaran ergab sich ein SNR von 210-250, für Beteigeuze von 160-210. Die Ergebnisse waren im Einzelnen:

22.07.20, JD=2459052,8948, Beteigeuze: $mv=0,86 \text{ mag} \pm 0,03$, Bellatrix: $mv=1,75 \text{ mag}$ (Katalogwert 1,64)

31.07.20, JD=2459061,8758, Beteigeuze: $mv=0,81 \text{ mag} \pm 0,05$, Bellatrix: $mv=1,66 \text{ mag}$

08.08.20, JD=2459068,8439, Beteigeuze: $mv=0,87 \text{ mag} \pm 0,02$, Bellatrix: $mv=1,75 \text{ mag}$

07.09.20, JD=2459099,8236, Beteigeuze: $mv=0,70 \text{ mag} \pm 0,01$, Bellatrix: $mv=1,64 \text{ mag}$

Zunächst war ich überrascht von der relativ geringen Helligkeit am 22.07. von Beteigeuze, die bis Juni 2020 auf ca. 0,3 mag angestiegen war. Am 28.07. wurde jedoch durch ein Astronomers Telegram (Atel 13901) [4] von Messungen der STEREO-A Raumsonde berichtet, die ebenfalls eine verringerte Helligkeit zeigten, und zwar $V=0,66$ am 24.06., $V=0,76$ am 13.07. und $V=0,80$ am 20.07. Damit lagen meine Messungen im vergleichbaren Bereich.

Ein weiteres Atel (13982) [5] berichtete zusätzlich von Amateurmessungen von Beteigeuze, u.a. von Wolfgang Vollmann und von meinen Taghimmelmessungen, die eine erneute Verdunklung von Beteigeuze bestätigten. Das gibt mir eine starke Motivation, weiterhin Versuche zur Fotometrie von Veränderlichen am Taghimmel durchzuführen und dabei die Methode zu optimieren.

Literatur/ Internetadressen:

[1] Programm Fitsmag: <https://www.staff.uni-mainz.de/nickel/fitsmag.html>

[2] Sky quality meter: <http://unihedron.com/projects/darksky/>

[3] Programm Cartes du ciel: <https://www.ap-i.net/skychart/en/start>

[4] <http://www.astronomerstelegam.org/?read=13901>

[5] <http://www.astronomerstelegam.org/?read=13982>

Dr. Otmar Nickel, zum Schollberg 11, 55129 Mainz, Tel. 06136-42480,
Otmar.Nickel@web.de