

Photometrie am Tage

Warum sollte ich tagsüber die Helligkeit von Sternen messen?
Und geht das überhaupt?

Erik Wischnewski

Motivation

Schon vor geraumer Zeit habe ich das Thema „Deep-Sky am Taghimmel“ thematisiert [Wischnewski, 2011, p.87]. Entweder war ich beruflich unterwegs oder das Wetter war (zu) schlecht. Es muss nämlich besonders klarer Himmel sein. Sinnvoll wäre es aber durchaus, beispielsweise (helle) Veränderliche zu beobachten, deren Verfolgung das ganze Jahr hindurch wünschenswert ist. Ein berühmtes Beispiel ist Beteigeuze, der Hauptstern im Sternbild Orion (α Orionis, Spektrum M2 Ia, visuell 0.2–1.7 mag). Dieser halbregelmäßige rote Überriese verändert sich fortlaufend, zeigt mehrere quasiperiodische Schwankungen und präsentiert sich auch mit sporadischen Sondervorstellungen. So brach zuletzt die Helligkeit im Winter 2019/2020 ein, vermutlich durch eine gewaltige Eruption mit starker Staubbildung. Was wäre gewesen, wenn dies im Sommer stattgefunden hätte. Wir hätten nichts bemerkt und nichts daraus lernen können.

Es sei bereits vorweggenommen, dass nur die hellsten Objekte am Tageshimmel beobachtbar sind: Mond, Venus, Jupiter, Saturn und alle Sterne, die visuell heller als ca. 5 mag sind. Ich habe am 11., 12. und 24. August 2022 Beteigeuze mit einer DSLR Canon EOS 80D und einem Teleobjektiv bei 600 mm Brennweite bzw. einem 5-Zoll-Refraktor f/7.5 photometriert. An diesen Tagen stand Beteigeuze 51° bzw. 63° von der Sonne entfernt. Nachfolgend berichte ich meinen Weg zum Nachahmen.

Finden

Wer eine Goto-Montierung besitzt, die einmal gut ausgerichtet am Beobachtungsplatz in der Parkposition bis zum nächsten Einsatz wartet, hat mit dem Auffinden keine Probleme. Wer aber wie ich für jede Beobachtungsaktion alles aufbauen und danach wieder abbauen muss, benötigt zum Auffinden „unsichtbarer“ Objekte schon etwas mehr Geduld. Ich verwende hierfür die Sonne (mit Sonnenfilter) oder den Mond. Beide sind am Taghimmel mit bloßem Auge zu finden. Der Mond hat den Vorteil, keinen zusätzlichen Sonnenfilter zu benötigen, was die Arbeit etwas vereinfacht. Die Sonne hat den Vorteil, dass man diese auch gleich mal nebenher mit beobachten kann. Zurzeit ist sie recht aktiv.

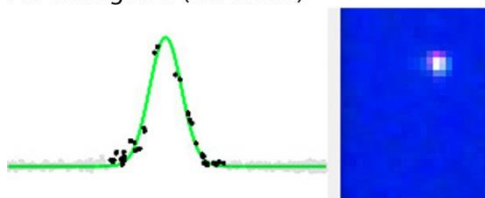
Wenn ich meine Montierung HEQ-5 Pro Synscan aufbaue, die Kamera oder das Fernrohr aufsetze und die Ausrichtung mit der Grundeinstellung nach Norden beginne, dann aber abbreche, weil mir ja keine sichtbaren Sterne zur Verfügung stehen, wird die letzte Ausrichtung verwendet. Mit dieser „Grobaustrichtung“ ist die Positioniergenauigkeit immer noch besser als 5° . Das reicht, damit die Sonne oder der Mond noch im Blickfeld meines Teleobjektivs bei 150 mm erscheint. Ansonsten ist bei diesen Objekten ein Nachbessern recht einfach.

Vorbereitend notiere ich mir die Soll-Koordinaten für Sonne bzw. Mond zum ungefähren Zeitpunkt der beabsichtigten Beobachtung, die ich mir aus einem

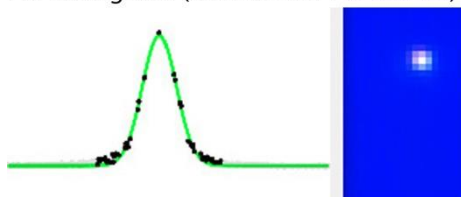
Planetariumsprogramm beschaffe. An der Goto-Montierung wird nun die Sonne bzw. der Mond angefahren, exakt mittig eingestellt und die Ist-Position auf dem Display der Handbedienung abgelesen. Nun berechne ich die Differenz zwischen Soll und Ist und korrigiere damit die Soll-Koordinaten des Veränderlichen und des Vergleichssterne. Das geht in Sekundenschnelle, da man nur eine Genauigkeit von einigen Minuten in Rektaszension und Bogenminuten in Deklination benötigt. Die so berechneten Positionen der Sterne fahre ich dann mit der Goto-Montierung unter Verwendung der Positionsanzeige an.

Ist zufällig einer der hellen Planeten am Taghimmel zu sehen, kann dieser der Freude wegen auch noch zuvor beobachtet werden. Bei mir war es zufällig die Venus, leider aber in oberer Konjunktion, also fast Vollvenus und sehr klein (Pech gehabt).

PSF Beteigeuze (Einzelbild)



PSF Beteigeuze (Summe aus 143 Bildern)



PSF Aldebaran (Summe aus 143 Bildern)

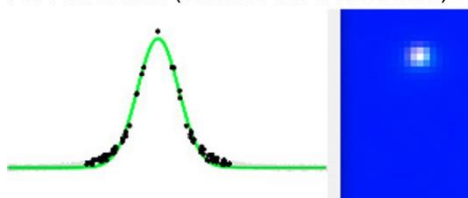


Abb. 1: Vergleich der Helligkeitsprofile (Punktspreizfunktion, PSF) eines Einzelbildes von Beteigeuze und der Summenbilder aus jeweils 143 Einzelaufnahmen von Beteigeuze und Aldebaran, aufgenommen bei 600 mm Brennweite. Ein Einzelbild ist bereits ausreichend für eine Messung, aber die Messpunkte der Summenbilder sind weniger verrauscht.

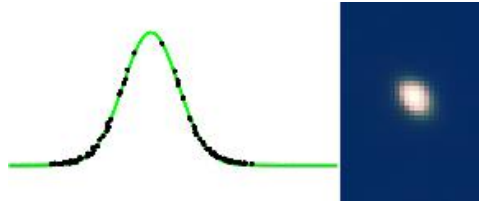


Abb. 2: Aldebaran in einem Refraktor 127/950 mm, aufgenommen mit Canon EOS 80D (Summe aus 142 Bildern). Die Halbwertsbreite beträgt 3.4 Pixel entsprechend 2.7 Bogensekunden.

Fokus

Die Fokussierung nimmt man am besten an der Sonne oder dem Mond vor. Da ich und das soll der Schwerpunkt dieses Berichtes sein, mit einer DSLR und Liveview arbeite, lässt sich die Fokussierung relativ leicht erledigen. Mir gelingt das anhand der Sonne so gut, dass ich bei 600 mm Brennweite mit Blende 9 eine Halbwertsbreite der Sterne von 2.7 Pixel mit der 80D erreiche (ca. 3.5 Bogensekunden). Eigentlich sogar zu wenig für eine genaue Photometrie in den Farben Blau und Rot.

Belichtung

Der Himmel soll das Histogramm gut ausfüllen, sollte aber nicht in die Sättigung kommen. Im Prinzip genügt eine Aufnahme, aber wegen des Szintillationsrauschens sollte man mindestens eine Sekunde belichten.

Bei Verwendung meines Refraktors ist die Blende mit dem Öffnungsverhältnis $f/7.5$ vorgegeben. Die Belichtungszeit ist nun so zu wählen, dass der Himmel bei ISO 100 nicht in die Sättigung kommt. Ich habe dafür $1/100$ Sekunde gewählt. Um eine Sekunde Gesamtbelichtungszeit zu erreichen, muss ich also mindestens 100 Bilder aufnehmen und dann zu einem Summenbild addieren (stapeln).

Bei Verwendung des Teleobjektivs konnte ich bei ISO 100 und $1/100$ Sekunde Belichtungszeit eine Blende 9 verwenden. Wie die Histogramme (Abb. 3) zeigen, ist sogar noch etwas Spielraum gegeben, was bei späteren Versuchen eine Blende 8 zur Folge hatte.

Neben der Abbildungsgröße ist für die Genauigkeit auch die Belichtungszeit wichtig. Grundregel Nummer Eins ist, dass der Stern nicht in die Sättigung kommen darf. Für die Ermittlung der richtigen Belichtungszeit stellt man auf den sonnennächsten Stern ein, weil dort der Himmel am hellsten ist. Die Gesamthelligkeit an der Stelle des Sterns setzt sich zusammen aus der Nettohelligkeit des Sterns und die des Himmels.

Im Histogramm auf dem Display erkennt man drei Farbberge: Rot links am dunklen Ende, Grün in der Mitte und Blau rechts am hellen Ende. Dieser blaue Hügel muss erkennbar sein und darf nicht über den rechten Rand hinaus verschwinden, sofern man alle drei Helligkeiten (B, V, R) bestimmen möchte. Möchte man nur die visuelle Helligkeit (Grün) messen, genügt's, wenn der grüne Berg noch rechts im Histogramm erscheint, Blau darf dann überlichtet sein. Der Unterschied beträgt etwa eine Belichtungsstufe.

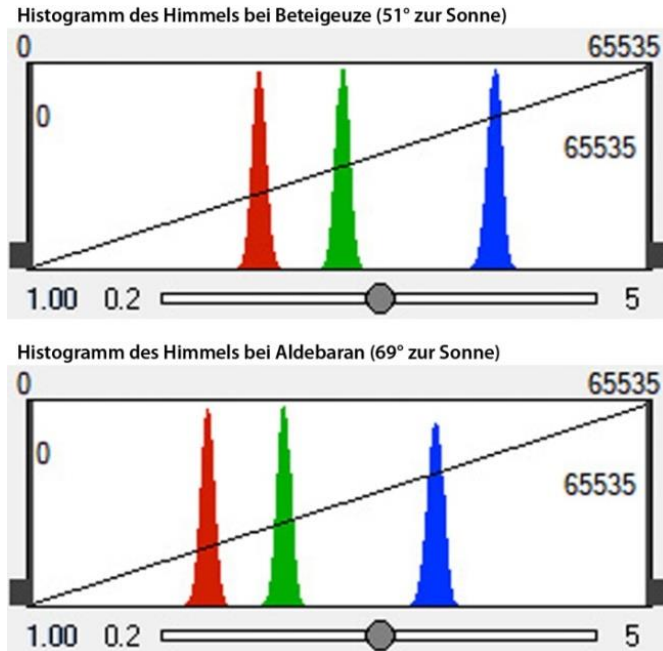


Abb. 3: Histogramme der Himmelsfelder um Beteigeuze und Aldebaran. Da Beteigeuze der Sonne nähersteht als Aldebaran, ist der Himmel dort heller und die „Berge“ weiter rechts. Erkennbar ist auch, dass ich noch mehr hätte belichten können, ohne dass das Blau in die Sättigung kommt.

Hinweis:

Da die Helligkeiten einer DSLR-Kamera meistens nicht für das Johnson-Cousins-System kalibriert werden, ist es international üblich, statt der Kürzel B, V, R die Kürzel TB, TG, TR für *Tricolor Blau/Grün/Rot* zu verwenden. Der besseren Verständlichkeit wegen bleibe ich in diesem Artikel bei den Johnson-Bezeichnungen B, V und R.

Genauigkeit

Neben den üblichen Punkten bei der Genauigkeit wie Rauschen des Sensors usw., die hier nicht behandelt werden sollen, kommt tagsüber wegen der Helligkeit des Himmels und der damit verbundenen kurzen Belichtungszeit das Szintillationsrauschen hinzu [Wischniewski, 2021, p.59]. Dieses betrug bei einer Einzelaufnahme von Beteigeuze mit dem Teleobjektiv und 1/100 Sekunde immerhin 0.35 mag (Höhe = 43°). Addiert man 143 Bilder, wie bei meiner ersten Beobachtung, sind es nur noch 0.03 mag.

Mit dem Refraktor bei 950 mm Brennweite (f/7.5) verringerte sich das Szintillationsrauschen für Aldebaran (Höhe = 52°) bei 142 Bildern immerhin schon auf 0.015 mag.

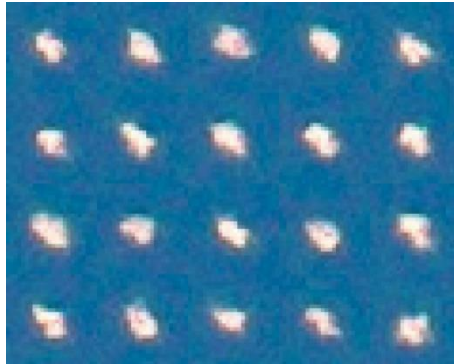


Abb. 4: Szintillation der Luft (Luftunruhe, Seeing), aufgenommen mit einem Refraktor bei 950 mm und 1/100 Sekunde Belichtungszeit.

Zur Bestimmung des Fehlers habe ich 25 Bilder der ersten Aufnahmeserie von Beteigeuze einzeln vermessen und erhielt eine Streuung von 0.30 mag für die visuelle Helligkeit V. Für den mittleren Fehler eines Summenbildes aus 143 Aufnahmen errechnet sich 0.025 mag. Für Aldebaran ergab sich an dem Tag ein Fehler von 0.022 mag. Das ergibt einen Gesamtfehler von 0.032 mag.

Mit dem Refraktor konnte für Beteigeuze sogar ein Fehler von 0.017 mag und für Aldebaran von 0.013 mag erreicht werden. Das ergibt einen Gesamtfehler von 0.021 mag.

Alle so ermittelten statistischen Fehler liegen sehr nahe bei den errechneten Werten für das Szintillationsrauschen. Sie dürfen deshalb als vertrauenswürdig eingestuft werden.

Ganz wichtig ist aber, dass man den Veränderlichen und die Vergleichssterne mit denselben Kameraparametern ISO, Zeit und Blende aufnimmt.

Vergleichssterne

Speziell für Beteigeuze bieten sich zwei Vergleichssterne besonders an (siehe Tab. 1). Aldebaran ist etwa gleich hell wie Beteigeuze, auch rot (K5 III), aber leider um wenige 0.01 mag unregelmäßig veränderlich. Eine andere gute Option ist Pollux. Weitere helle Sterne im Umfeld sind α CMi, α Gem, γ Ori, δ Ori, ϵ Ori, ζ Ori und β Tau, die aber alle von (sehr) frühem Spektraltyp (O-B-A-F) und meistens auch noch veränderlich sind. Ich bewerte den Fehler, der aufgrund der Farbverschiedenheit und des größeren Helligkeitsunterschiedes bei anderen Sternen entsteht, größer als den Fehler durch die Variabilität von Aldebaran ein, und habe mich für Aldebaran entschieden.

Stern		Spektrum	V [mag]	VSX
Aldebaran	α Tau	K5 III	0.87 mag	0.86-0.89 (LB)
Pollux	β Gem	K0 III	1.16 mag	1.14-1.15

Tab. 1: Zwei für Beteigeuze gut geeignete Vergleichssterne. Die im VSX angegebenen Helligkeitsschwankungen von Aldebaran und Pollux sind sehr gering und gegen die Nachteile anderer Kandidaten (siehe Text) zu vernachlässigen. Die angegebenen Helligkeiten sind aus Cartes du Ciel [Chevalley, 2021].

Summenbild

Die Aufnahmen wurden mit Fitwork (Dierks, 2014) addiert und photometriert. Beim so erzeugten Summenbild positioniert man dann den Mauszeiger über den Stern und drückt die Taste L. Das wiederhole ich für alle drei Farben und für Aldebaran. Die sechs Werte kann man in Fitwork in eine Tabelle schreiben lassen, die dann in eine Tabellenkalkulation kopiert wird. Dort errechnet sich die Helligkeit von Beteigeuze sehr einfach, indem man von der Kataloghelligkeit von Aldebaran dessen Instrumentenhelligkeit aus Fitwork subtrahiert und die von Beteigeuze addiert. Fertig!

Extinktion

Nein, nur fast fertig. Denn in unserem Fall müssen wir die atmosphärische Extinktion berücksichtigen. Da die wenigen hellen Sterne, die man tagsüber messen kann, weit auseinander stehen und nicht auf derselben Aufnahme sind, müssen zwei Aufnahmeserien mit denselben Kameraparametern gemacht werden. Da aber meistens auch die Zenitdistanz der Sterne sehr unterschiedlich ist, müssen wir die Extinktion bzw. dessen Differenz berücksichtigen. Das heißt, wir müssen unsere Instrumentenhelligkeiten auf den Zenit umrechnen [Wischnewski, 2021, p.55–57]. Das gelingt nur näherungsweise, da wir die genauen Extinktionsparameter der Atmosphäre zum Zeitpunkt der Beobachtung an unserem Beobachtungsort nicht kennen, bzw. mit diesem einfachen Verfahren nicht bestimmt werden kann.

Ein weiterer Punkt, der bei der Tageslichtphotometrie mehr noch als bei nächtlichen Messungen beachtet werden muss, ist der klare Himmel. Da der Vergleichsstern an einer anderen Stelle des Firmaments steht als der Veränderliche und zu einem etwas anderen Zeitpunkt aufgenommen wird, dürfen keine schwachen Zirkuswolken oder ähnliche Lichtschlucker am Himmel sein.

Ergebnisse

Als Ergebnis habe ich folgende Helligkeiten für Beteigeuze erhalten:

Datum	B [mag]	V [mag]	R [mag]	Optik, Blende, Belichtungszeit
11.08.2022	2.03	0.32	−0.98	Teleobjektiv 600 mm f/9, 1/100 s
12.08.2022	2.17	0.46	−0.86	Teleobjektiv 600 mm f/9, 1/100 s
24.08.2022	2.32	0.40	−0.79	5-Zoll-Refraktor f/7.5, 1/100 s

Tab. 2: B-, V- und R-Helligkeiten von Beteigeuze, gemessen an drei Tagen mit Teleobjektiv bzw. Refraktor und einer Spiegelreflexkamera Canon EOS 80D. Als roter Überriese ist Beteigeuze im Roten um ca. 3 mag heller als im Blauen.

Den Fehler schätze ich für die beiden ersten Beobachtungen aus den statistischen Messungen und dem berechneten Szintillationsrauschen auf ± 0.04 mag. Für die dritte Beobachtung errechnet sich ein Fehler von ± 0.02 mag.

Grenzgröße

Natürlich wollte ich auch wissen, bis zu welcher Grenzhelligkeit ich mit meiner Methode komme. Da boten sich die Plejaden an, die ich einmal mit 1/100 Sekunde und einmal mit 1/30 Sekunde belichtete. Bei der 1/30 Sekunde war der blaue Berg im Histogramm mit Absicht in der Sättigung, weil nur die Grünhelligkeit gemessen werden sollte.

Mit der 1/100 Sekunde kam ich bis 4.93 mag, mit der 1/30 Sekunde bis 5.47 mag. Die Abbildung 5 zeigt die Helligkeitsprofile, auch Punktspreizfunktion (PSF) genannt, des gut photometrierbaren Sterns 23 Tau (4.11 mag) und des knapp erreichbaren Sterns 16 Tau (5.47 mag).

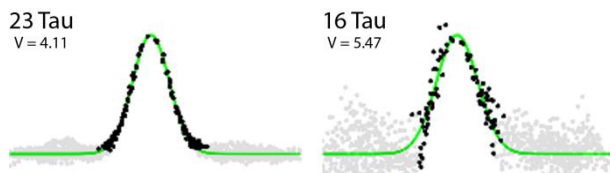


Abb. 5: Helligkeitsprofile eines gut und eines knapp photometrierbaren Sterns bei Tage, aufgenommen mit einem Refraktor 127/950 mm und einer Canon EOS 80D bei ISO 100 mit 1/30 Sekunde.

Fazit

Es funktioniert. Es ist warm. Es macht Spaß. – Viel Erfolg beim Nachahmen.

Literatur

Chevalley, Patrick (2021): Cartes du Ciel – Skychart, v4.3, www.ap-i.net/skychart

Dierks, Jens (2014): Fitswork v4.47, www.fitswork.de

The International Variable Star Index (VSX) der AAVSO, www.aavso.org/vsx

Wischnewski, Erik (2011): Astronomie in Theorie und Praxis, 5. Auflage, ISBN 978-3-00-032614-1, Eigenverlag, Kaltenkirchen

Wischnewski, Erik (2021): Astronomie in Theorie und Praxis, 9. Auflage, ISBN 978-3-948774-00-4, Eigenverlag, Kaltenkirchen

Dr. Erik Wischnewski, Heinrich-Heine-Weg 13, 24568 Kaltenkirchen
proab@t-online.de