

Die Helligkeit von Beteigeuze im Winter und Frühjahr 2020

Hendrik Pruijs, Astronomische Vereinigung Aarau, pruijs@access.uzh.ch

Die Helligkeit von Beteigeuze, ein pulsierender Riesenstern im Sternbild Orion, variierte bisher zwischen 0.0 und 1.0 mag. Im Herbst 2019 nahm die Helligkeit kontinuierlich ab, was zu Spekulationen über sein baldiges Ende als Supernova-Explosion führte (siehe z.B. den Bericht in „Sterne und Weltraum“, März 2020). Deshalb ist es sehr spannend zu sehen, ob es ein vorübergehender Schwächeanfall des Riesensterns ist oder der Anfang vom Ende.

Die Helligkeit (genauer: die scheinbare Helligkeit im optischen Bereich des elektromagnetischen Spektrums) eines variablen Sterns kann man schon mit blossem Auge abschätzen durch einen Vergleich mit den bekannten Helligkeiten von Referenz-Sternen. Eine genauere Bestimmung ist mit einer fotografischen Aufnahme möglich.

Die Helligkeitsmessungen in diesem Bericht wurden mit einer CANON EOS 600D Digitalkamera durchgeführt. Zum Einsatz kam ein SIGMA Zoomobjektiv mit einem Durchmesser von 75 mm und Brennweiten zwischen 18 und 300 mm. Die Einstellungen waren: Brennweite 20 mm, Blende f/8, Empfindlichkeit ISO-1600 und Belichtungszeit 4 bis 10 s. Bei den Einstellungen ist es wichtig etwas zu defokussieren, damit das Licht der punktförmigen Sterne auf mehrere Pixel verteilt wird.

Die Kamera war auf einem Foto-Stativ montiert. Die ersten Messungen wurden im Januar durchgeführt. Ein Beispiel ist in Abbildung 1. zu sehen.

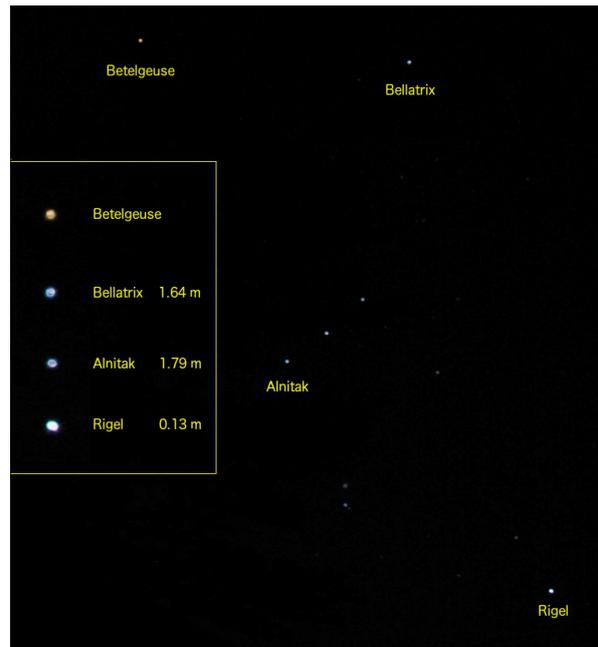


Abb. 1. Das Sternbild Orion mit dem variablen Stern Beteigeuze (Englisch: Betelgeuse) und drei Referenz-Sterne. Die Helligkeiten sind in Magnituden m angeschrieben (simbad.u-strasbg.fr).

Die Helligkeit von Sternen wird in Magnituden (m oder mag) angegeben. Die Magnituden-Skala ist logarithmisch: sind S_1 und S_2 die gemessenen Strahlungsströme (Lichtströme im optischen Bereich) zweier Sterne, so ist ihr Helligkeitsunterschied $\Delta m = m_1 - m_2 = -2.5 \log(S_1/S_2)$. Die von der Optik eingefangenen Photonen der Sterne werden im CMOS-Sensor der Kamera in Elektronen umgewandelt. Die Ladung der Elektronen in jedem Pixel (Bildelement des Sensors) wird während der Belichtung in der Elektronik gespeichert. Nach der Belichtung wird diese Ladung elektronisch verarbeitet und schliesslich in eine Zahl umgewandelt (Pixel-Wert). Ein schönes Bild des Sternenhimmels ist also nichts anderes als eine Tabelle mit Zahlen oder im Falle von JPG-Bilder drei Tabellen (für die drei Farben Rot, Grün und Blau) mit Zahlen zwischen 0 und 255 (siehe Abbildung 2).

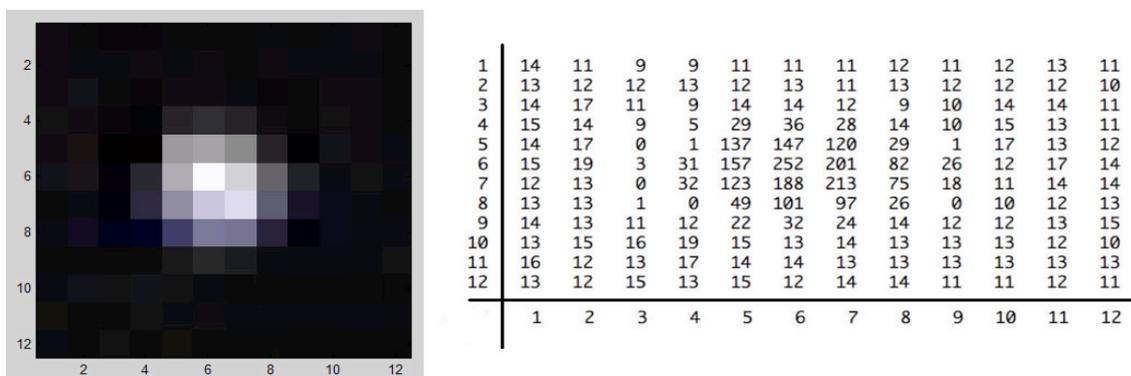


Abb. 2. Ein JPG-Bild besteht aus drei Tabellen. Neben dem Bild steht die Tabelle für die grüne Farbe.

Während einer Belichtung werden nicht nur Photonen der Sterne gesammelt, sondern auch Photonen des Himmelshintergrundes (vor allem Streulicht der Strassen- und Gebäude-Beleuchtung).

Um den Strahlungsstrom eines Sterns zu bestimmen (Photometrie) werden fünf gleich grosse quadratische Bereiche im Bild des Sterns definiert (siehe Abb. 3). Der zentrale Bereich sollte das ganze Sternbild umfassen. In diesem Bereich werden alle Pixel-Werte der R-, G-, und B-Tabelle aufsummiert. Das Resultat ist T. Ebenso werden in den vier Untergrund-Bereichen die Pixel-Werte aufsummiert. Der Untergrund ist damit $B = (B1 + B2 + B3 + B4)/4$. Das Signal $S = T - B$ ist proportional der Strahlungsstrom.

Der erste Schritt der Photometrie (Selektion der Bereiche und das Aufsummieren der Pixel-Werte) wurde mit dem Programm AstroImageJ (www.astro.louisville.edu/software/astroimagej/) durchgeführt. Das Resultat für die Sterne in Abbildung 1 ist in Abbildung 4 gegeben.

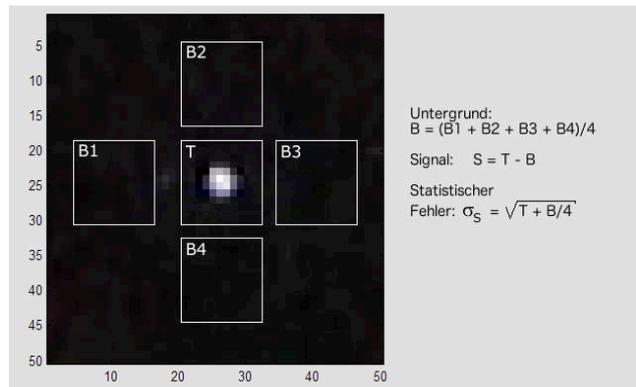


Abb. 3. In fünf quadratischen Bereichen werden die Pixel-Werte summiert (Summe = T, B1, usw.) und damit den Strahlungsstrom (Signal S) und dessen statistischen Fehler bestimmt.

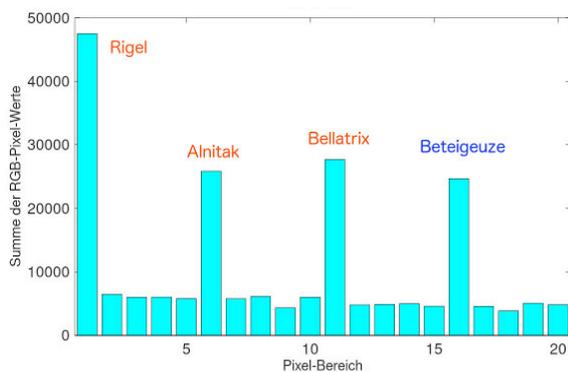


Abb. 4. Die Summe der RGB-Pixel-Werte in den Zentral- und Untergrundbereichen der ausgemessene Sterne.

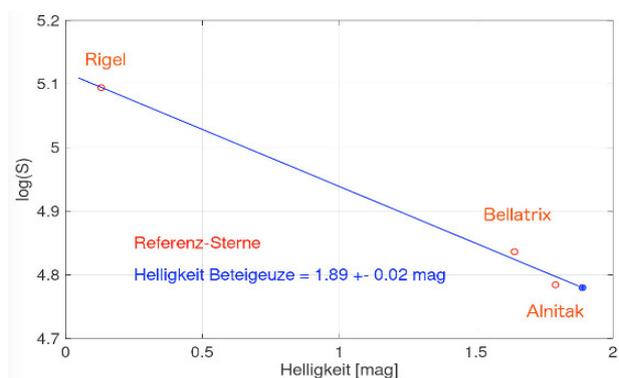


Abb. 5. Lineare Beziehung zwischen $\log(S)$ und der Helligkeit der Referenzsterne. Bestimmung der Helligkeit von Beteigeuze durch Extrapolation.

Zwischen dem Logarithmus des Strahlungsstroms und der in Magnituden gemessenen Helligkeit besteht eine lineare Beziehung. Aus den gemessenen Strahlungsströmen und den bekannten Magnituden der Referenz-Sterne kann diese lineare Funktion mit Hilfe eines Matlab- bzw. Octave-Programms (www.gnu.org/software/octave/) bestimmt werden. Damit kann aus dem gemessenen Strahlungsstrom des variablen Sterns durch lineare Inter- oder Extrapolation dessen Helligkeit in Magnituden ermittelt werden.

Für die Messung an Beteigeuze ist dieser zweite Schritt der Photometrie in Abbildung 5 dargestellt. Das Resultat dieser ersten Messung ist: Helligkeit von Beteigeuze = 1.89 +/- 0.02 mag.

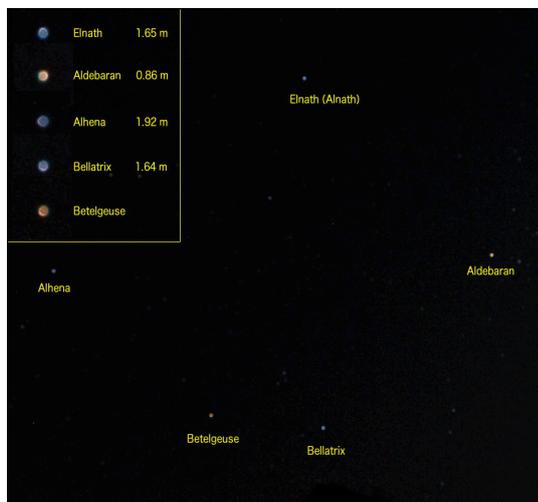


Abb. 6. Beteigeuze und vier Referenz-Sterne

Ein zweite Messung mit anderen Referenz-Sternen (siehe Abb. 6) ergibt eine Helligkeit von 1.81 +/- 0.03 mag (siehe Abb. 7).

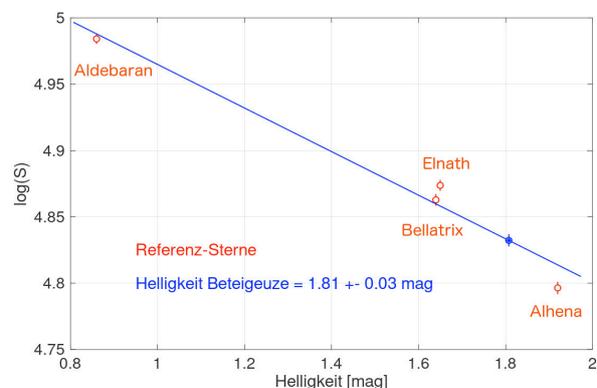


Abb. 7. Bestimmung der Helligkeit von Beteigeuze durch lineare Interpolation.

Zwei weitere Messungen ergaben Werte von 1.70 ± 0.10 und 176 ± 0.03 mag. Wie wir sehen, sind die Schwankungen der Messwerte deutlich grösser als die angegebenen statistischen Fehler. Es gibt also grössere systematische Fehler. Einer davon ist in Abbildung 7 zu sehen: die lineare Beziehung zwischen $\log(S)$ und der Magnitude ist nicht sehr gut. Ein Grund dafür ist, dass die Strahlungsströme in einem weiten Bereich des Lichtspektrums gemessen wurden, während die angegebenen Magnituden der Referenz-Sterne, die sogenannten visuellen Magnituden, hauptsächlich im grünen Bereich des Spektrums definiert sind. Mit einer Schätzung für die systematischen Fehler ist der Mittelwert der Messungen am 5. Januar: 1.8 ± 0.1 mag.

Messungen in Februar und März ergaben folgende Werte: 2.0 ± 0.1 mag (5. Februar), 1.5 ± 0.1 (9. März) und 1.1 ± 0.1 (24. März). Die Helligkeit von Beteigeuze war also minimal im Februar und stieg im März wieder deutlich an.

Die letzte Messung dieser Beobachtungszeit (das Sternbild Orion ist nur im Winterhalbjahr zu sehen) erfolgte im April. Das Sternbild Orion steht tief im Westen (siehe Abbildung 8). Die Sterne stehen zudem in sehr unterschiedlicher Höhe: Bellatrix und Aldebaran etwa 35° , Beteigeuze 40° und Alhena und Elnath 52° . Damit ist eine Korrektur für die atmosphärische Extinktion notwendig. Bellatrix und Elnath haben die gleiche Helligkeit (1.64 bzw. 1.65 mag). Der gemessene Strahlungsstrom von Bellatrix war aber ein Faktor 1.39 schwächer als der Strahlungsstrom von Elnath. Deshalb wurden die gemessenen Strahlungsströme von Bellatrix und Aldebaran mit diesem Faktor multipliziert. Beteigeuze steht etwas höher und der geschätzte Korrekturfaktor ist 1.28.

Mit dieser Korrektur wurde die Helligkeit von Beteigeuze bestimmt: 0.9 ± 0.2 mag (siehe Abbildung 9).

Damit ist die Helligkeit wieder im normalen Bereich. Wir sind gespannt wie es weiter geht und werden nächsten Winter weitere Beobachtungen machen.

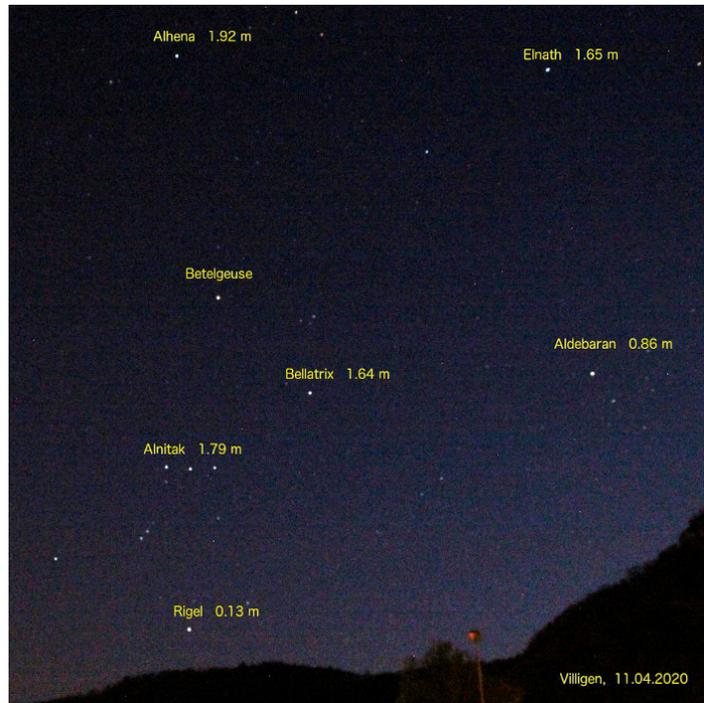


Abb. 8. Beteigeuze und die Referenzsterne (aufgehelltes Bild).

Die bisherigen Messergebnisse sind in der untenstehenden Tabelle angegeben.

Datum	Julian Date	Helligkeit (mag)
05.01.2020	2458854.4	1.8 ± 0.1
05.02.2020	2458885.4	2.0 ± 0.1
09.03.2020	2458918.4	1.5 ± 0.1
24.03.2020	2458933.4	1.1 ± 0.1
11.04.2020	2458951.4	0.9 ± 0.2

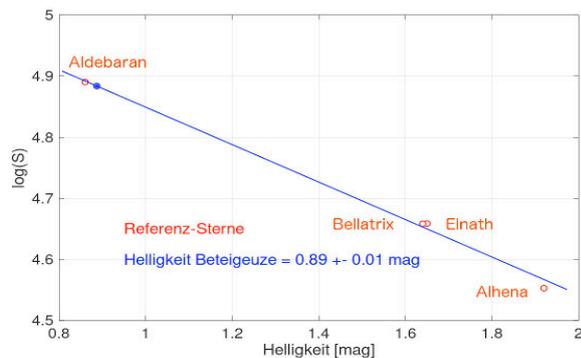


Abb. 9. Bestimmung der Helligkeit von Beteigeuze durch lineare Interpolation.

Mit der gleichen Methode wurden weitere variable Sterne gemessen. Die Ergebnisse sind im Internet publiziert: www.variables.ch/images/5_closebinary/20170215_RW_Tau_report_Prujjs.pdf und www.variables.ch/images/2_pulsating/20191001_RR_Lyr_report_Prujjs.pdf.