

ANGELASCHULE OSNABRÜCK

JUGEND FORSCHT 2020

LANDESWETTBEWERB CLAUSTHAL-ZELLERFELD

**Kalibrierung einer Spiegelreflexkamera für die
Photometrie anhand des Sternhaufens
NGC1960**

Teilnehmer

Konstantin LEHAN
Ole SANDMANN

Betreuer

Dr. Simon HÜGELMEYER

4. März 2020

Kurzfassung

Ziel des Projekts ist es, Aufnahmen einer professionellen CCD-Astrokamera mit photometrischem Filtersatz mit denen einer handelsüblichen Spiegelreflexkamera zu vergleichen und letztere gegebenenfalls zu kalibrieren. Dafür wurden Helligkeitsdaten des offenen Sternenhaufens NGC1960 im Blau- und Grünfilter mit dem Teleskop der Sternwarte an der Angeschule Osnabrück (CCD-Kamera) und einem privaten Teleskop mit einer Canon Spiegelreflexkamera gesammelt. Die Analyse der Daten zeigt, dass mithilfe einer Kalibrierungsfunktion die Farbhellickeiten der Spiegelreflexkamera erfolgreich angepasst werden können. Somit ist es möglich, auch mit handelsüblichen DSLR-Kameras photometrische Analysen, zum Beispiel die Entfernungsbestimmung von Sternenhaufen, durchzuführen. Zentrale Aspekte sind dabei:

- Erstellen von Aufnahmen des Sternenhaufens NGC1960
- Zerlegung der Farbaufnahme mit der DSLR-Kamera in die einzelnen Farbkanäle
- Bestimmen der Sternintensitäten I mithilfe des Photometrieprogramms AstroimageJ
- Berechnen der Filterhelligkeiten m aus den Intensitäten I
- Erstellen einer Kalibrierungsfunktion zur Korrektur der DSLR-Helligkeiten
- Darstellung und Kontrolle der unkorrigierten und korrigierten Messwerte in einem Farbenhelligkeits-Diagramm

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Ideenfindung	3
1.2	Wie kann man so etwas realisieren?	3
1.3	Ziele	4
2	Methodik	4
2.1	Beobachtung in der Schulsternwarte	4
2.2	Beobachtung mit der DSLR	6
2.3	Der Unterschied zwischen CCD-Kameras mit photometrischem Filtersatz und Spiegelreflexkameras	6
2.4	Farbphotometrie	7
2.5	Bestimmung der Intensitäten mit AstroimageJ	8
2.6	Das Farben-Helligkeits-Diagramm	9
3	Auswertung	9
4	Ergebnisdiskussion	11

1 Einleitung

1.1 Ideenfindung

Unsere Projektidee kam uns durch den Wahlpflichtkurs Astronomie in der Angelaschule Osnabrück. Wir haben mit dem hochwertigen Equipment der Schule den offenen Sternenhaufen NGC1960 beobachtet. Uns standen dort eine CCD-Astrokamera mit photometrischem Filtersatz nach Bessel, ein Teleskop mit 20 cm Durchmesser und eine steuerbare Montierung zur Verfügung, um Farbphotometrie (also das Messen von Sternenhelligkeiten in einzelnen Farbfiltern) zu betreiben. Jedoch sind wir auch in unserer Freizeit begeisterte Hobbyastronomen und fragten uns deshalb, ob man mit unserem privaten Equipment, welches aus günstigeren Teleskopen und einer Canon EOS 70D DSLR-Kamera besteht, die Auswertungsergebnisse mit der CCD-Kamera, so oder so ähnlich reproduzieren könnte.

Es gibt bereits eine wissenschaftliche Veröffentlichung zu dem Thema, die sich allerdings auf eine Nikon und nicht auf eine Canon Kamera bezieht (VB12). Auch zur Canon EOS 60D gibt es eine Veröffentlichung (ZBP⁺15), die sich aber nicht mit der Farbfilterkorrektur beschäftigt, sondern allgemein die Einsetzbarkeit der Kamera für Helligkeitsmessungen behandelt. Auch bei *Jugend forscht* gab es 2019 eine Arbeit, die sich mit der Kalibrierung von Filtern für die Farbphotometrie beschäftigt hat (Leh19). Im Gegensatz zu unserer Vorgehensweise hat die Teilnehmerin RGB-Farbfilter an einer CCD-Kamera mithilfe von Literaturwerten für die Besselfilterhelligkeiten kalibriert. Auch der Korrekturansatz war ein anderer. Bei unserer Arbeit liegt der Schwerpunkt vor allem auf der Verwendung einer handelsüblichen DSLR-Kamera und so wenig Literaturwerten wie möglich.

1.2 Wie kann man so etwas realisieren?

Unser Schwerpunkt liegt auf der Beobachtung des Sternenhaufens, auf der Bestimmung der Sternintensitäten mit dem Photometrieprogramm AstroimageJ (CKSH17), auf der Entwicklung eines Programms in Python, welches die Daten der CCD- und DSLR-Kamera ausliest und da-



Abbildung 1: Teleskop in der Schulsternwarte (links) und das Amateurteleskop (rechts)

nach die Helligkeit der Sterne misst, dann noch einer Möglichkeit unser Ergebnis falls nötig zu kalibrieren und am Ende darzustellen. Es wurden zwei Beobachtungsnächte benötigt, jeweils mit der hochwertigen Ausrüstung und der Amateurausrüstung. So wollen wir auch unsere eigenen Referenzwerte messen, um so wenig wie möglich auf Literaturwerte zurückgreifen zu müssen. Auch merkten wir, dass wir für die Beobachtung ein geeignetes Ziel brauchen. Hierfür wählten wir den Sternenhaufen NGC1960 im Sternbild des Fuhrmanns, da er für beide Teleskop-Setups gut zu erkennen war und zur Zeit der Aufnahme günstig am Himmel stand. Da es bei Spiegelreflexkameras schwierig ist, in den einzelnen Blau- und Grünfiltern zu fotografieren, gilt es hier auch eine Lösung, mittels eines Programms zu finden (siehe Abschnitt 2.2).

1.3 Ziele

Das Ziel unserer Arbeit ist es herauszufinden, ob man die Aufnahme einer CCD-Kamera mit denen einer Spiegelreflexkamera vergleichen und gegebenenfalls kalibrieren kann. Auch ist es unser Ziel, auftretende Probleme zu bewältigen, wie zum Beispiel die weitere Verarbeitung der Daten von der DSLR-Kamera mit einem eigens dafür entwickelten Programm. Wenn uns dies gelingen würde, könnten photometrische Analysen, zum Beispiel die Entfernungsbestimmung von Sternenhaufen, mit einer unmodifizierten und relativ kostengünstigen Spiegelreflexkamera vorgenommen werden. Das wäre ein großer Erfolg, da so für die Photometrie kein teures Equipment benötigt wird.

2 Methodik

2.1 Beobachtung in der Schulsternwarte

In der Nacht vom 26. auf den 27.2.2019 haben wir mit der neuen Sternwarte in der Angelaschule Osnabrück den Sternhaufen NGC1960 (M36) beobachtet. Das Material war Folgendes:

- Skywatcher EQ6-R Pro Montierung
- Celestron Schmidt-Cassegrain Teleskop C8 EdgeHD (200 mm/1400 mm)
- CCD Kamera Atik One 6.0 Mono
- photometrische B- und V-Filter nach Bessel in einem Filterradd vor der Kamera

Alles wurde mit einem Laptop verbunden und per KStars/Ekos bedient. Neben der CCD-Kamera wird eine Nachführkamera verwendet um ein Guidescoppe zu ersetzen. Dies ist nötig, um möglichst runde Sterne auf dem Bild zu erzeugen, da die Montierung zwar automatisch die Bewegung des Teleskops dem Sternhimmel anpasst, dies jedoch nicht sehr genau ist. Der kleinere Sensor macht dauerhaft Aufnahmen im 1 Sekundentakt und schickt diese Bilder direkt an das Programm KStars/Ekos auf dem Laptop. Das Programm rechnet dann den Positionsunterschied der Sterne zu denen aus dem vorherigen Bild aus und korrigiert die Bewegung des Teleskops entsprechend. Der monochrome CCD-Hauptsensor der Kamera ist weitaus lichtempfindlicher als normale CMOS Sensoren wie sie in DSLR-Kameras genutzt werden. Dadurch

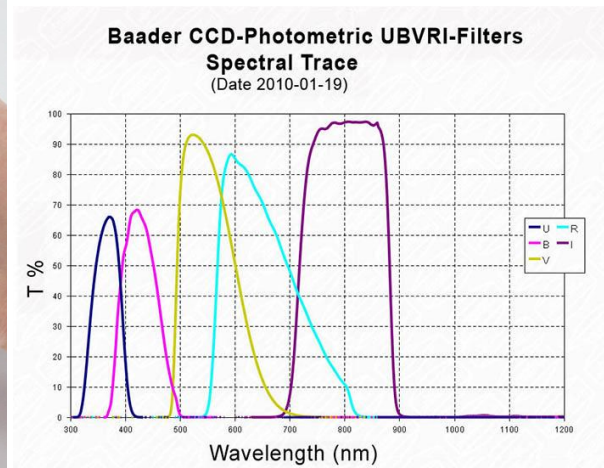


Abbildung 2: Aufbau der CCD Kamera mit Filterrad (links (Ati15)) und Filterkurven der photometrischen *UBVRI*-Filter nach Bessel (rechts (Baa19))



Abbildung 3: Aufbau eines CMOS-Chips mit Bayer-Filter (links (SSDCC11)) und die Filterkurven für vergleichbare DSLR-Kameras (rechts (Can19))

kann hier viel mehr Licht als digitales Signal gesammelt werden. Durch die präzisen photometrischen Filter konnten wir genau die Farbkanäle aufnehmen, die wir zur Analyse brauchen und für die Referenzwerte existieren. Wir haben jeweils 20x10 Sekunden im B- und im V-Filter belichtet und die Aufnahmen dann zu einem Bild im B-Filter und einem im V-Filter addiert. Die Aufnahmen wurden bzgl. des Dunkelstroms (Dark) und der Bildfeldausleuchtung (Flat) korrigiert. Das Teleskop ist ein Schmidt-Cassegrain Teleskop mit einer Öffnung von 200 mm und einer Brennweite von 1400 mm – vergrößert also um einen Faktor von 28.



Abbildung 4: Aufnahme des Sternhaufens NGC1960 mit der CCD-Kamera der Sternwarte (links) und mit der DSLR-Kamera (rechts). Die Bildausschnitte sind zugeschnitten.

2.2 Beobachtung mit der DSLR

Die Aufnahme mit der DSLR haben wir zu Hause angefertigt und folgendes dafür benutzt:

- Skywatcher HEQ5-Pro Montierung
- Skywatcher PDS Explorer (200 mm/1000 mm)
- DSLR-Kamera Canon EOS 70D

Die Aufnahme mit der DSLR haben wir ohne photometrische Filter gemacht, da die Kamera einen CMOS-Sensor hat, der die einzelnen Farbkanäle von sich aus schon aufnimmt (Aufbau des Chips mit Farbmaske siehe Abbildung 3). Die RGB-Filterkurven der CMOS-Farbmaske (Abbildung 3 rechts) unterscheiden sich von denen der RVB-Filter der CCD-Kamera (Abbildung 2 rechts). Jedoch gibt es in den DSLR-Kameras einen Infrarot Filter, der das Infrarotlicht herausfiltert, da dieses Licht normalerweise bei Fotoaufnahmen unerwünscht ist. Dies erschwert den Gebrauch für genaue photometrische Analysen. Im Gegensatz zur Sternwarte hat dieses Setup keine Nachführkamera und verfügt nur über die automatische Nachführung der Montierung. Die HEQ5-Pro Montierung ist die Vorgänger Version von der EQ6-R Pro und verfügt nur über kleine Zahnräder, die die Bewegung vom Nachführmotor übertragen. Diese Zahnräder haben durch die Zähne ein bisschen Spiel welches das Nachführen noch ungenauer macht. Die EQ6-R Pro hat hingegen Zahnriemen, die keinerlei Spiel zulassen. Das Teleskop ist bei diesem Setup ein Newton Spiegelteleskop mit einer Öffnung von 200 mm und einer Brennweite von 1000 mm und hat somit eine 20-fache Vergrößerung. Wir haben bei der Beobachtung mit der DSLR nur eine Aufnahme gemacht und später die Farbkanäle mithilfe eines Python Scripts (Ayd20) digital voneinander getrennt. Für die Aufnahme haben wir bei einem Lichtempfindlichkeitswert des Sensors von ISO 1600 30 Sekunden lang belichtet.

2.3 Der Unterschied zwischen CCD-Kameras mit photometrischem Filtersatz und Spiegelreflexkameras

Für unsere Arbeit ist es wichtig, den Unterschied zwischen den beiden Sensortypen und zugehörigen Filtern zu verstehen, da durch sie beispielsweise der große Qualitätsunterschied zwi-

schen beiden Aufnahmen und die Abweichung der Intensitäten in den einzelnen Filtern bei der DSLR zustande kommt. Der CMOS-Sensor, der in unserer Spiegelreflexkamera verbaut ist, ist ideal für die normale Fotografie bei Tageslicht, jedoch treten bei der Astrofotografie einige Nachteile hervor. Bei diesem Sensortyp hat jedes Pixel eine eigene Ausleseelektronik, das heißt, pro Pixel gibt es jeweils ein Bauteil, welches das aufgenommene Licht verstärkt und digitalisiert. Durch technologisch bedingte Abweichungen der Bauteile entstehen Ungleichheiten in der Uniformität zwischen den Pixeln, was wiederum zu erhöhtem Rauschen führt. Dies ist im Bild von der DSLR leider sehr gut sichtbar und birgt natürlich eine Fehlerquelle. Gerade dieses Rauschen ist bei der CCD-Kamera, bedingt durch ihre andere Ausleseelektronik, minimal. Außerdem kann man das Rauschen noch weiter reduzieren, indem man die Kamera bzw. den Sensor kühlt. Dadurch geben einzelne Pixel nicht mehr so oft ein Signal ab, welches nicht der eigentlichen Helligkeit und Farbe entspricht. Leider ist es nicht möglich, herkömmliche Spiegelreflexkameras zu kühlen. Deswegen werden spezielle Astrokameras in der Astrofotografie bevorzugt, da mit ihnen klarere und natürlichere Bilder erzielt werden können. Allerdings sind in unserer Arbeit nicht die unterschiedlichen Sensoren das Problem, sondern die unterschiedlichen Filter, die jeweils vor den jeweiligen Sensoren sind. Bei der CCD-Kamera sind es photometrische Filter nach Bessel, die speziell auf Farbphotometrie ausgerichtet sind. Außerdem sind die Filter beliebig wechselbar. Jedoch sind bei dem CMOS-Sensor der Spiegelreflexkamera vor dem Sensor fest verbaute Filter installiert. Diese Filter sind besonders auf Tageslicht ausgelegt, weswegen sie andere Effizienzen als die photometrischen Filter haben. Für diese sogenannten Bayer-Filter gilt es einen Korrekturwert zu finden, damit wir mit ihnen Photometrie betreiben können.

2.4 Farbphotometrie

In der Photometrie bestimmt man die Helligkeit m von Sternen. Dazu verwendet man die Intensitäten I von Sternen, die man mithilfe des Kamerachips gemessen und z.B. mit AstroimageJ ausgelesen hat. Es gilt der Zusammenhang (Kar96):

$$m_1 - m_2 = -2,5 \cdot \log \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \quad (1)$$

Die Helligkeit m_1 eines Sterns kann aus seiner Intensität I_1 und den Literaturwerten m_2 und I_2 eines Vergleichssterne berechnet werden.

Bei der Farbphotometrie werden Helligkeiten m_{Filter} von Sternen, mithilfe spezieller photometrischer Filter, gemessen. Diese Filter lassen nur einen bestimmten Anteil des elektromagnetischen Spektrums passieren. Ein B-Filter ist zum Beispiel nur für blaues Licht durchlässig. Mithilfe der Helligkeiten eines Sterns in allen Farbfiltern bzw. der Differenz zwischen zwei Farbhelligkeiten kann man später Aussagen über die Temperatur des Sterns treffen. Außerdem mussten wir die Rötung der Aufnahmen korrigieren. Der Grund für diese Rötung ist interstellare Materie, die wegen den extremen Strecken im Universum den blauen Anteil des Lichts streut und somit die Sterne röter erscheinen lässt als sie eigentlich sind. Die Helligkeit V und die Farbe $B-V$ der Sterne muss anhand von

$$V_0 = V - A_V \quad (2)$$

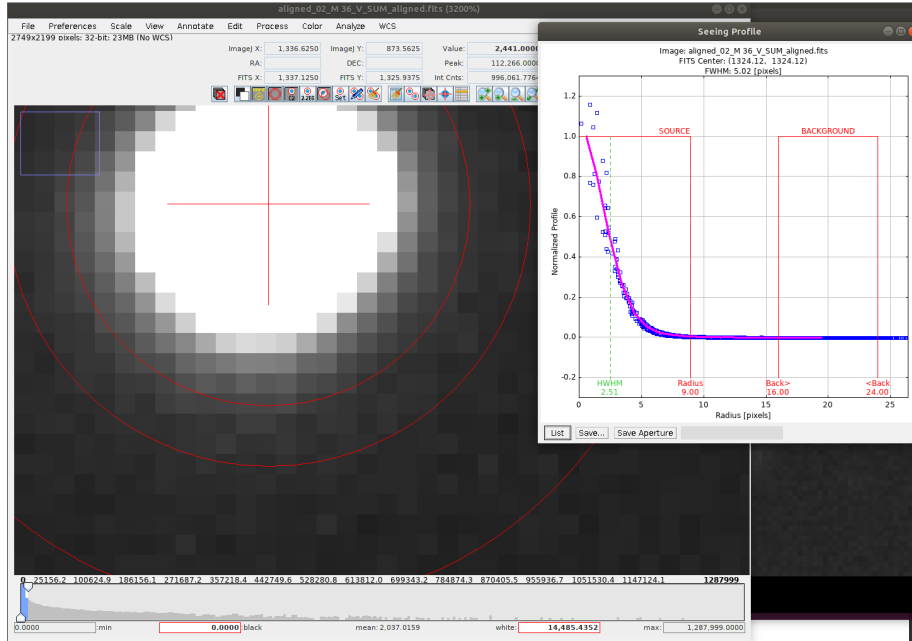


Abbildung 5: Beispielstern mit Extraktionsradien (links) für das Sternlicht (innerer Kreis) und den Himmelshintergrund (äußerer Annulus). Intensitätsverlauf des Sternlichts (rechts).

und

$$(B - V)_0 = (B - V) - E(B - V) \quad (3)$$

korrigiert werden. Jedoch können wir den Wert für NGC1960 $E(B - V) = 0,25$ mag aus der Literatur verwenden (SBWG01), da wir nicht die Möglichkeiten haben, die Rötung selbst zu bestimmen.

2.5 Bestimmung der Intensitäten mit Astroimagej

Um aus den Aufnahmen die Helligkeiten auszulesen, haben wir das Programm „Astroimagej“ verwendet. Dieses Programm wandelt die auf dem Kamerachip gemessene Intensität der Sterne in einen Zahlenwert um, damit wir im späteren Verlauf des Projekts diese weiter verwenden können. Zuerst musste gemessen werden, wie groß die Sterne auf der Aufnahme sind, wie hell sie sind und wo der Hintergrund, also der Teil des Bildes wo keine Sterne zu sehen sind, anfängt und aufhört. Um dies zu erzielen, wurde mithilfe von einem Intensitätsverlauf des Sternlichts (siehe Abbildung 5) die Extraktionsradien bestimmt. Die Radien sind unterteilt und zwar in den inneren, in dem die Helligkeit des Sterns gemessen wird, und den äußeren, wo definiert wird, was der Hintergrund ist (siehe Abbildung 5). Der Durchmesser aller Extraktionsradien wird hier in Pixeln angegeben. Wir haben, wie man auch auf der angefügten Abbildung erkennen kann, alle Radien etwas Größer gewählt, damit alle Sterne komplett erkannt werden und keine Information, durch falsches Abgrenzen der verschiedenen Bereiche, verloren geht.

Danach ging es an die Auswahl der Sterne innerhalb des Sternenhaufens NGC1960. Wir wählten alle Sterne, die augenscheinlich zum Sternenhaufen gehörten, also alle die, die zentral lagen und relativ hell waren. Wir markierten 68 Sterne auf beiden Aufnahmen. Jedoch merkten

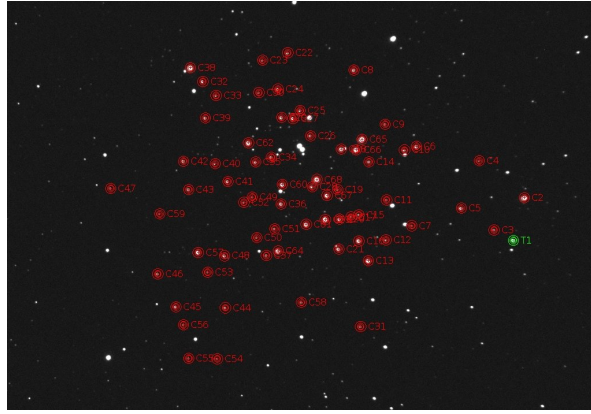


Abbildung 6: Auswahl der Sterne des Sternhaufens NGC1960 für die photometrische Analyse. Als Referenzstern diente Stern C32.

wir später, dass einige Sterne stark von den erwarteten Helligkeiten abwichen. Die Vermutung war, dass selbige nicht zu NGC1960 gehörten, also waren wegen der manuellen Auswahl der Sterne scheinbar einige Ungenauigkeiten vorhanden.

2.6 Das Farben-Helligkeits-Diagramm

In einem Farben-Helligkeits-Diagramm werden die Farben von Sternen, die den Temperaturen der Sterne entsprechen, und die Helligkeiten, die der abgegebenen Strahlungsleistung entsprechen, dargestellt. So können unterschiedliche Sterne bzgl. ihrer Eigenschaften dargestellt werden. In unserem konkreten Fall wird das Diagramm aus den B (blau) und den V (grün) Werten der Sterne aus einer Fotoaufnahme erstellt. Auf der x -Achse wird dabei die Farbe der Sterne $B-V$ eingetragen und auf der y -Achse die V -Helligkeit. Die V -Helligkeit ist hierbei die scheinbare Helligkeit der Sterne. Kleine Farbwerte $B-V$ stehen für heiße, große Farbwerte für kühle Sterne. Die Sterne (z.B. von einem jungen offenen Sternhaufen) bilden eine Hauptreihe. Durch die vertikale Verschiebung eines Hauptreihenmodells, das bzgl. der absoluten Helligkeiten M der Sterne in einer Entfernung von 10 pc berechnet wurde, lässt sich die Entfernung des Sternhaufens mit

$$d = 10^{\frac{m-M+5}{5}} \text{ pc} \quad (4)$$

bestimmen. Das Hauptreihenmodell für Sterne mit einem Alter von 16 Millionen Jahren (SBWG01) stammen von der Universität Padua (Gir19).

3 Auswertung

Nach dem Markieren der Sterne (siehe Abbildung 6) hat AstroimageJ zwei Tabellen (eine mit den B-Intensitäten I_B und eine mit den V-Intensitäten I_V) erstellt. Diese haben wir mithilfe eines Python-Programms in die Filterhelligkeiten m_B und m_V (auch als B und V bezeichnet) umgerechnet und in ein Farben-Helligkeits-Diagramm eingetragen. Für die Umrechnung haben wir als Referenz Stern C32 mit $m_B = 12,383$ mag und $m_V = 12,212$ mag gewählt. Bei der Erstellung der Grafiken mit Python war uns unser Betreuer behilflich.

Bei den Werten der CCD-Kamera hat man gesehen, dass sie sehr gut zum Literaturwert der Kurve passen (vgl. Farben-Helligkeits-Diagramm in Abbildung 7 links). Dann stellten wir

die Werte der DSLR-Kamera dar (vgl. Farben-Helligkeits-Diagramm in Abbildung 7 rechts). Jedoch passen sie nicht sehr gut zu den Werten der CCD-Kamera und dem Hauptreihenmodell (schwarze Kurve in Abbildung 7). Da die Werte der CCD-Kamera so gut zu der Kurve aus den Literaturwerten passen, scheint unser Vorgehen bei der Bestimmung der Helligkeiten und Farben richtig zu sein. Daher haben wir die Helligkeiten und Farben der CCD-Kamera als Referenzwerte für die DSLR genommen und mit diesen die DSLR-Werte kalibriert, sodass sie zu dem Hauptreihenmodell passen.

Für die Kalibrierung haben wir jeweils die Helligkeiten in den blauen und grünen Filtern in einem Diagramm aufgetragen. Auf der x -Achse sind dabei die DSLR-Werte, auf der y -Achse die CCD-Werte (vgl. Abbildung 8). Die Punkte liegen jeweils etwa auf einer Geraden. Daher haben wir eine lineare Regression durchgeführt und erhalten die folgende Umrechnungsformeln zur Bestimmung der korrigierten Helligkeitswerte der DSLR-Kamera.

$$\text{B-Korrektur (blau):} \quad B_{\text{DSLR}}^{\text{kor}} = 2,49 \cdot B_{\text{DSLR}} - 18,21 \text{ mag}$$

$$\text{G-Korrektur (grün):} \quad G_{\text{DSLR}}^{\text{kor}} = 2,87 \cdot G_{\text{DSLR}} - 22,66 \text{ mag}$$

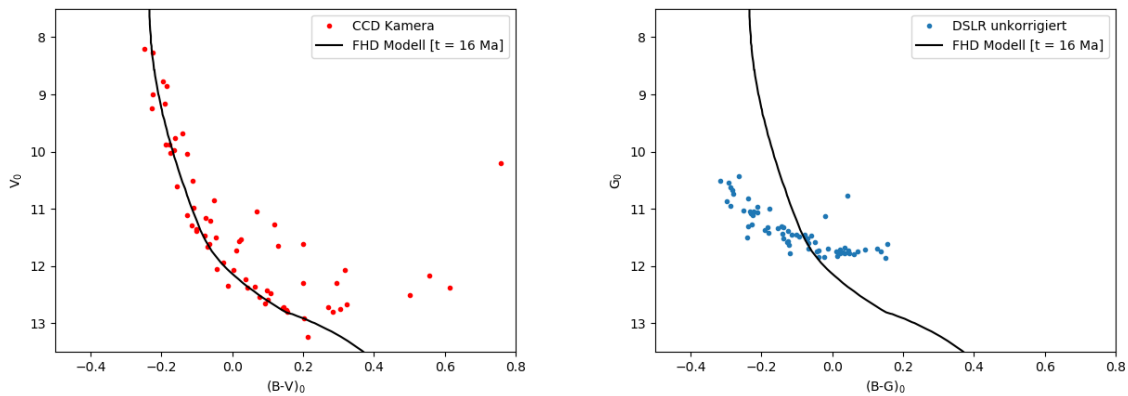


Abbildung 7: Farben-Helligkeits-Diagramme anhand der CCD-Daten mit den photometrischen B- und V-Filtern (rote Punkte) und anhand der DSLR-Daten (blaue Punkte)

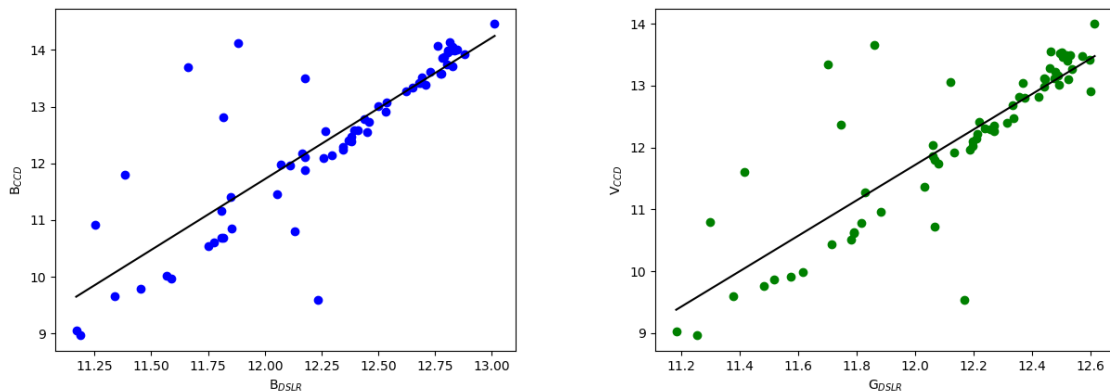


Abbildung 8: B- (Diagramm links) und V-Filterhelligkeiten (rechtes Diagramm) von DSLR- und CCD-Kamera gegeneinander aufgetragen. Die Regressionsgerade beschreibt die Korrekturfunktion.

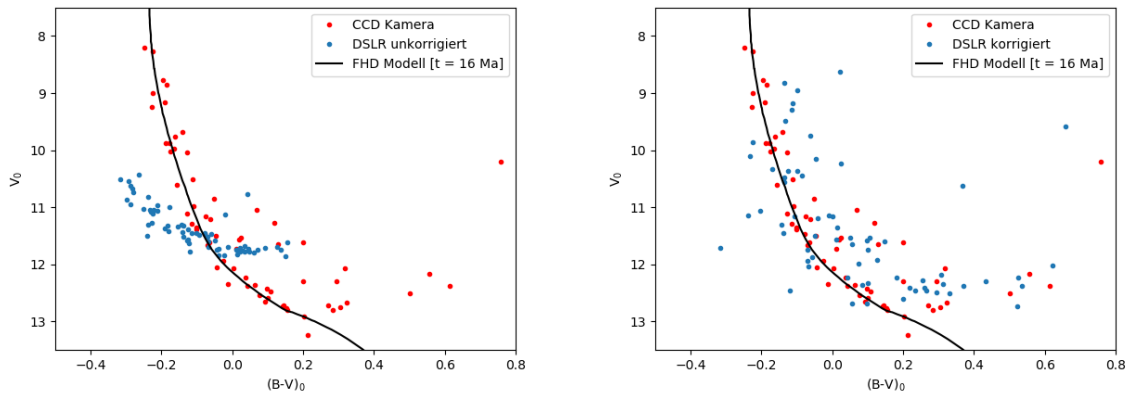


Abbildung 9: Farben-Helligkeits-Diagramm mit CCD-Daten (rote Punkte) und unkorrigierten DSLR-Daten (blaue Punkte; Diagramm links) und korrigierten DSLR-Daten (Diagramm rechts).

Abbildung 9 zeigt die Sterne im Farben-Helligkeits-Diagramm, die anhand der CCD-Werte (rote Punkte) und anhand der DSLR-Werte (blaue Punkte) bestimmt und bzgl. der Rötung angepasst wurden (vgl. 2.4). In der linken Grafik sind die noch unkorrigierten Werte der DSLR-Kamera dargestellt, in der rechten die korrigierten. Die korrigierten Werte passen viel besser zur den CCD-Werten und dem Hauptreihenmodell.

Das Hauptreihenmodell wurde um $m - M = 10,6$ mag vertikal verschoben (SBWG01). Wie man sieht, passt das Modell gut zu den Beobachtungen, was die Verwendung unserer CCD-Werte zur Kalibrierung DSLR-Werte rechtfertigt. Man kann somit zudem die Entfernung zum Sternhaufen NGC1960 berechnen:

$$d = 10^{\frac{10,6+5}{5}} \text{ pc} \approx 1318 \text{ pc} \quad (5)$$

4 Ergebnisdiskussion

Uns ist es gelungen, mithilfe von einer Spiegelreflexkamera Photometrie zu betreiben. Mithilfe dieses Projektes kann man nun z.B. Entfernungen von Sternen bestimmen, nur mithilfe einer unmodifizierten DSLR-Kamera. Dies ist uns mit einer einfachen linearen Regression gelungen. Jedoch war das Arbeiten mit der Spiegelreflexkamera nicht immer leicht, da sich der signifikante Preisunterschied zwischen ihr und der CCD-Kamera schnell bemerkbar machte. Zudem sind uns bei den Aufnahmen mit dem günstigen Setup mehrere Ungenauigkeiten unterlaufen:

Zum einen ist der ISO-Wert in der Aufnahme ziemlich hoch. Der Wert betrug ISO 1600 und sorgte so für starkes Rauschen und somit einen größeren Fehler in der Bildinformation. Dies hat nachher, bei der Bestimmung mit AstroimageJ, dazu geführt, dass die Intensitäten ungenau ausgelesen wurden. Außerdem sind die hellsten Sterne in unserer Aufnahme überbelichtet (30 Sekunden Belichtungszeit), was eine Fehlerquelle darstellt, da wiederum die Intensitäten von AstroimageJ zu gering bestimmt wurden. Beide Fehler hätten vermieden werden können, indem man den ISO-Wert reduziert und im Gegenzug die Belichtungszeit erhöht. Jedoch muss man, wenn man diese Methode wählt, die Aufnahmen in kleine Abschnitte unterteilen, um eben diese Überbelichtung zu vermeiden. Dieses Verfahren nennt man „Stacking“. Da beide

Teleskope mit verschiedenen Brennweiten gearbeitet haben, hätte man beide Kameras an ein und dem selben Teleskop verwenden können. Auch wäre es noch besser gewesen, wenn beide Aufnahmen, also die von DSLR- und CCD-Kamera, in der gleichen Nacht gemacht worden wären. Dies hätte noch einmal mehr für gleiche Bedingungen gesorgt und wahrscheinlich das Ergebnis verbessert. Die Auswahl der Sterne, von denen wir die Helligkeitsdaten im Farben-Helligkeit-Diagramm dargestellt haben, wies auch gewisse Schwierigkeiten auf. Wir wussten nicht, ob alle Sterne wirklich mit in den Sternenhaufen gehören, da sie auch vor oder hinter selbigem liegen können.

In Zukunft wäre auch eine genauere Fehlbertrachtung sinnvoll, da man so die Genauigkeit der Korrektur besser einschätzen könnte.

Literatur

- [Ati15] *Atik One User Manual*. www.atik-camera.com/wp-content/uploads/2015/07/AtikOneManual.pdf, 2015
- [Ayd20] AYDIN, M. E.: *Convert DSLR RAW Images to Astronomical FITS Images*. <https://github.com/eaydin/cr2fits>, 2020
- [Baa19] *Baader UBVRI Photometric Filters*. <https://www.baader-planetarium.co.uk/2019/09/12/baader-ubvri-photometric-filters/>, 2019
- [Can19] *Canon 40D, 50D, 5D, 5D Mark II comparison*. <http://www.astrosurf.com/buil/50d/test.htm>, 2019
- [CKSH17] COLLINS, K. A. ; KIELKOPF, J. F. ; STASSUN, K. G. ; HESSMAN, F. V.: ASTROIMAGEJ: IMAGE PROCESSING AND PHOTOMETRIC EXTRACTION FOR ULTRA-PRECISE ASTRONOMICAL LIGHT CURVES. In: *The Astronomical Journal* 153 (2017), jan, Nr. 2, S. 77
- [Gir19] GIRARDI, L.: *CMD 3.3 input form – A web interface dealing with stellar isochrones and their derivatives*. <http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd>, 2019
- [Kar96] KARTTUNEN, H.: *Fundamental astronomy*. Springer, 1996
- [Leh19] LEHNERT, A.: Erstellung eines Farben-Helligkeits-Diagramms der Sternhaufen NGC 7790 und NGC 7788. (2019)
- [SBWG01] SANNER, J. ; BRUNZENDORF, J. ; WILL, J. M. ; GEFFERT, M.: Photometric and kinematic studies of open star clusters. III. NGC 4103, NGC 5281, and NGC 4755. In: *Astronomy & Astrophysics* 369 (2001), Apr, S. 511–526
- [SSDCC11] S. SIORDIA, O. ; DIEGO, I. ; CONDE, C. ; CABELLO, E.: Wireless In-vehicle Complaint Driver Environment Recorder., 2011, S. 52–58
- [VB12] VITEK, S. ; BLAZEK, M.: Notes on DSLR photometry. In: *ASI Conf. Ser.* 7 (2012), 01
- [ZBP⁺15] ZHANG, Michael ; BAKOS, G. ; PENEV, Kaloyan ; CSUBRY, Zoltan ; HARTMAN, J. ; BHATTI, Waleed ; VAL-BORRO, Miguel de: Precision Multiband Photometry with a DSLR Camera. In: *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 128 (2015), 06