Erstellung eines Farben-Helligkeits-Diagramms der Sternhaufen NGC 7790 und NGC 7788

Jugend forscht 2019

Aileen Lehnert

Carl-Fuhlrott-Gymnasium, Wuppertal

Jahrgangsstufe Q2

Projektbetreuer: Bernd Koch

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzfassung S.3
2. Farben-Helligkeits-Diagramm (FHD) S.4
3. Durchführung S.5
4. Auswertung S.5
   - 4.1. Kalibrierung der Aufnahmen S.5
   - 4.2. Messung der Sternhelligkeiten S.5
   - 4.3. Berücksichtigung der Extinktion und Rötung S.7
   - 4.4. Kalibrierung der Baader-Filter B und V S.8
   - 4.5. Aufstellen des Farben-Helligkeits-Diagramms S.10
   - 4.6. Vergleich des FHD mit der Alter-Null-Hauptreihe S.12
     - 4.6.1. Altersbestimmung S.12
     - 4.6.2. Entfernungsbestimmung S.13
5. Danksagung S.14
6. Abschlusserklärung S.14
7. Quellen S.15

1. Kurzfassung

In meinem Projekt geht es um die Entfernungs- und Altersbestimmung von offenen Sternhaufen durch das Erstellen eines Farben-Helligkeits-Diagramms (FHD). Ebenso dreht es sich um die Frage, ob ein Baader RGB-Filtersatz[1] als günstige und dennoch gute Alternative für UBVRI-Filter[2] verwendet werden kann. Nach dem Fotografieren der beiden offenen Sternhaufen NGC 7788 und NGC 7790 beginnt die Auswertung mit der Eichung des RGB-Filtersatzes an Sternen außerhalb des Sternhaufens, also im Randbereich. Dann wird die Helligkeit der einzelnen Sterne mit der Software SalsaJ[3] gemessen. Als nächsten Schritt werden die Daten bezüglich Extinktion und Rötung korrigiert. Folgend werden die Baader-Filter B und V kalibriert und im Anschluss das FHD aufgestellt. Aus dem Vergleich des FHD mit der „Alter-Null-Hauptreihe“ wird die Entfernung berechnet ebenso wie das Alter.

[1] https://www.baader-planetarium.com/de/blog/die-baader-l-rgb-c-ccd-filter/
[2] http://www.aip.de/en/research/facilities/stella/instruments/data/johnson-ubvri-filter-curves
[3] http://www.euhou.net/index.php/salsaj-software-mainmenu-9

2. Farben-Helligkeits-Diagramm (FHD)

Zum Verständnis des FHD sollte man zuerst einmal das Hertzsprung-Russell-Diagramm (HRD) betrachten. Bei einem HRD trägt man die Spektralklasse, also die Temperatur gegen die absolute Helligkeit M oder die Leuchtkraft L auf.

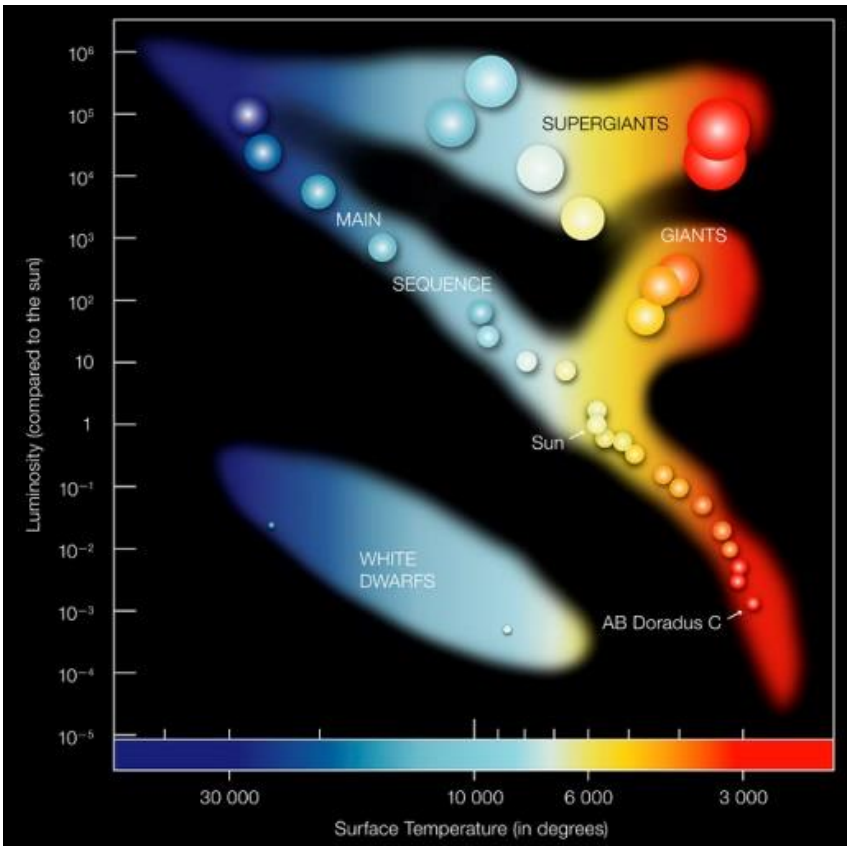

Abbildung 1 Hertzsprung-Russell-Diagramm[4]

Wenn man das HRD für einen Sternhaufen aufträgt, dann darf man anstatt der unbekannten absoluten Helligkeit M oder der Leuchtkraft L auch die scheinbare Helligkeit m auftragen, welche auch als visuelle Helligkeit V bezeichnet wird. Dies ist möglich, da angenommen wird, dass alle Sterne des Sternhaufens in derselben Entfernung zur Erde stehen. Daher darf man die absolute Helligkeit M durch die scheinbare Helligkeit m (V) ersetzen.. Die Farbe eines Sterns kann aus B und V abgeleitet werden und ist somit (B-V). Deshalb trägt man in einem Farben-Helligkeits-Diagramm (B-V) gegen V auf, als den Farbindex gegen die visuelle Helligkeit. Das Diagramm besteht hauptsächlich aus der Alter-Null-Hauptreihe. Sterne befinden sich die meiste Zeit ihres Lebens auf der Hauptreihe, da sie mit dem Beginn des zentralen Wasserstoffbrennens am unteren Ende dieser Reihe ankommen. Mit der Zeit wandern sie ein kleines Stück nach oben rechts von der Hauptreihe weg in den Riesenast. Die Verweildauer eines Sterns auf der Hauptreihe ermöglicht die Altersbestimmung. Da in einem offenen Sternhaufen alle Sterne in etwa zur selben Zeit entstanden sind, kann man ihnen ein gemeinsames Alter zuschreiben. Der Abknickpunkt von der Hauptreihe zum Riesenast gilt als Maß für das Alter des Sternhaufens, denn je weiter links oben er liegt, desto jünger ist der Haufen.[5]

[4] https://www.eso.org/public/images/eso0728c/
[5] Literaturverzeichnis [1]

3. Durchführung

Zur Aufnahme der offenen Sternhaufen NGC 7788 und NGC 7790 wurde die Schulsternwarte auf dem Dach des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums genutzt. Die Aufnahmen wurden vom 14. auf den 15. November 2018 aufgenommen. Der Aufnahmezeitraum ging insgesamt von 21:02 Uhr bis 00:41 Uhr. Die Aufnahmen wurden mit dem 0,5m CDK20 Teleskop in Station 7 mit der STX-16803 CCD-Kamera gemacht. Als Filter wurde ein Baader RGB-Filtersatz[6] eingesetzt. Zur Anfahrt des Zielobjekts wurde Stellarium[7] genutzt und die Aufnahmen mit MaximDL gemacht. Die Gesamtbelichtungszeit pro Farbkanal LRGB beträgt circa 30 Minuten.

4. Auswertung

4.1. Kalibrierung der Aufnahmen

Die aufgenommenen Rohbilder in den Farbkanälen R, G und B (Sternhaufen, Darkframes, Flatframes) werden mit MaximDL kalibriert und gestackt.

4.2. Messung der Sternhelligkeiten

Die Helligkeit der Sterne wurde mit der Software SalsaJ[8] gemessen. In dieser Software öffnet man die kalibrierten Bilder des Grün- und des Blaufilters, welche dann nebeneinander angezeigt werden.

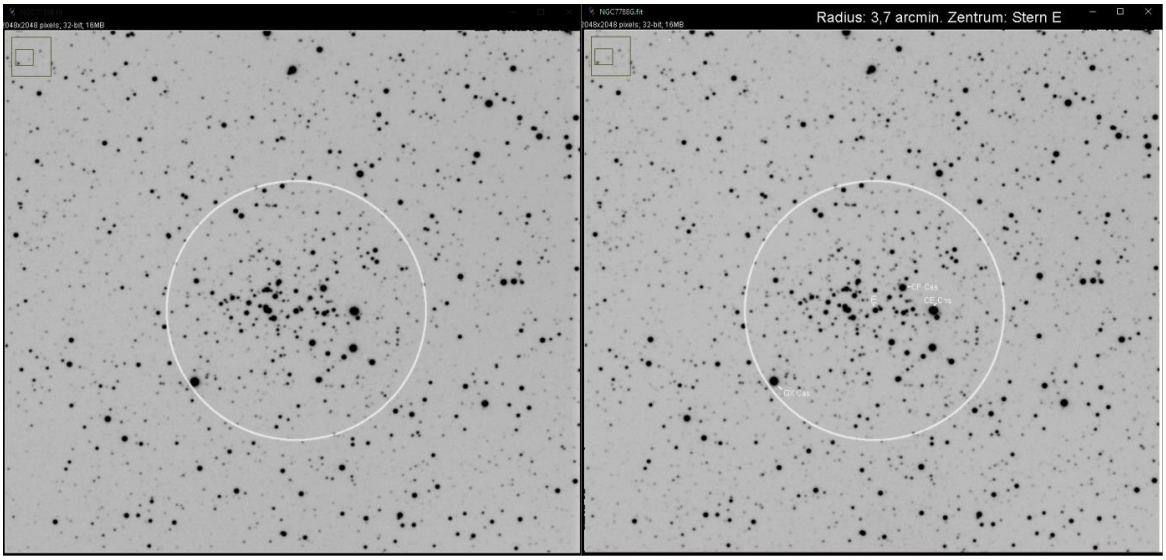

Abbildung 2 Radius von NGC 7788 in SalsaJ[9]

In Abbildung 2 sieht man die Nebeneinanderstellung des B- und des G-Bildes von NGC 7788. Ausgehend von einem zentralen Stern E des Haufens ist der Radius des Sternhaufens auf 3,7 Bogenminuten bestimmt.

[6] https://www.baader-planetarium.com/de/blog/die-baader-l-rgb-c-ccd-filter/
[7] https://stellarium.org/de/
[8] http://www.euhou.net/index.php/salsaj-software-mainmenu-9
[9] http://www.euhou.net/index.php/salsaj-software-mainmenu-9

Nach dem Öffnen klickt man auf einen Stern, dessen Helligkeit gemessen werden soll. Die Daten des Sterns wie z.B. seine Intensität und die Intensität des umliegenden Himmels werden von der Software erfasst und in einer Excel-Tabelle gespeichert. Dann klickt man denselben Stern erneut an, jedoch im anderen Bild. So erhält man die Helligkeit des Sterns im jeweiligen Farb-kanal. Für NGC 7788 wurden von 48 Sternen die Helligkeiten gemessen und für NGC 7790 sind es 74 Sterne.

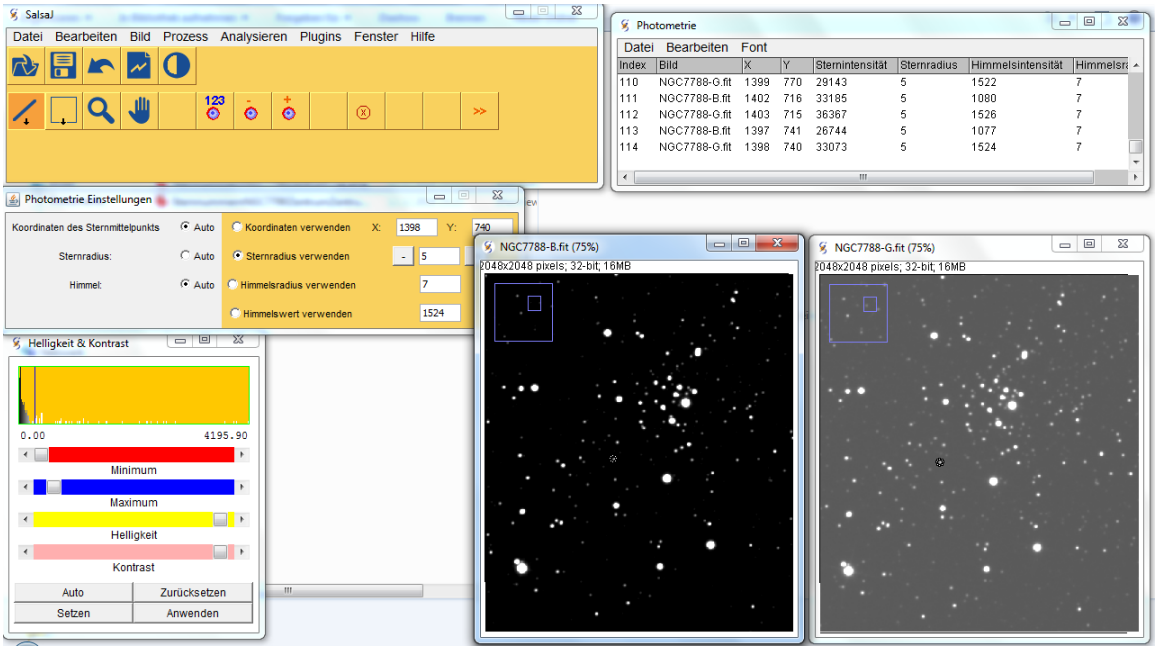

Abbildung 3 **Messung der Helligkeit mit SalsaJ**

Zugleich muss jedoch jeder Stern mit der Datenbank Webda[10] abgeglichen werden. In dem Haufendiagramm des Sternhaufens wird ebenfalls der betrachtete Stern angezeigt und die V und B-V Werte abgelesen. Problematisch ist, dass man die Werte nicht während der Helligkeitsmessung zu der Tabelle hinzufügen kann. Dies geht erst nach der Fertigstellung der Tabelle. Deshalb wurde das Diagramm ausgedruckt und die Sterne darauf in der Reihenfolge der Betrachtung nummeriert. Das ermöglicht es, nach Abschluss der Tabelle in SalsaJ die V und B-V Werte zu den passenden Sternen im Nachhinein zu ergänzen.

Mit (B-V)+V kann man schließlich noch den B Wert berechnen.

[10] https://www.univie.ac.at/webda/navigation.html

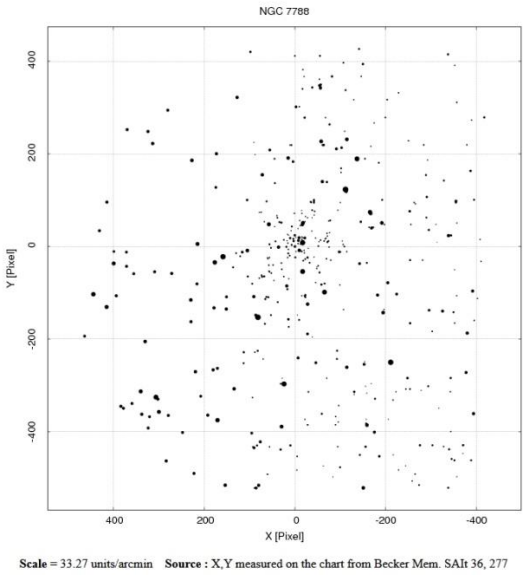

Abbildung 4 **NGC7788 in Webda**[11]

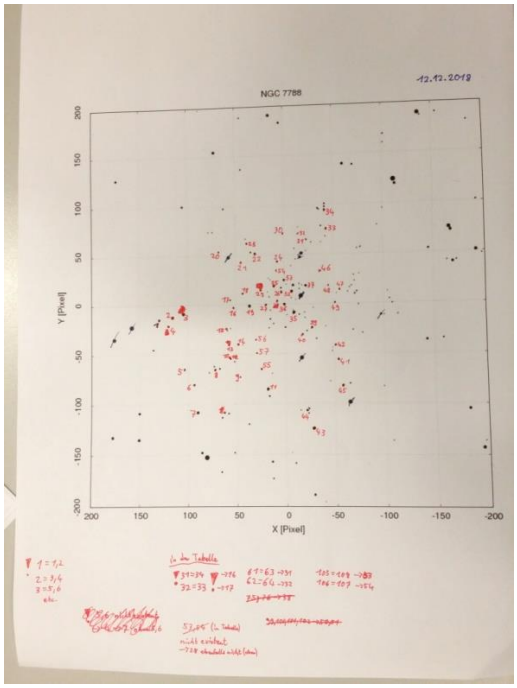

Abbildung 5 **NGC 7788 mit Stern-nummerierung**[12]

4.3. Extinktion und Rötung

Die vorliegenden Helligkeiten sind die scheinbaren Blau-Helligkeiten B und die scheinbaren visuellen Helligkeiten V, also so wie sie auf der Erde wahr-genommen werden. Doch das Sternlicht erfährt auf seinem Weg durch die Galaxis eine Farbänderung (Rötung) und eine Abschwächung (Extinktion). Die Ursache für beide Fälle liegt in der Streuung des Lichts an interstellaren Staubpartikeln begründet. Bevorzugt wird das kurzwellige, blaue Licht aus dem Lichtweg herausgestreut. Somit hat das zur Erde gelangende Licht einen Rotüberschuss. Man korrigiert ihn um den sogenannten Farbexzess E(B-V) und erhält dann den korrigierten Farbindex $(B-V)o$ gemäß:

$$(B-V)o = (B-V) - E(B-V)$$

Durch dieselbe Lichtstreuung am interstellaren Staub wird auch die Extinktion bedingt. Die Werte V sind um den Betrag Av zu groß. Durch dieselbe Ursache stehen E(B-V) und Av in dem einfachen Zusammenhang:

$$Av \approx 3 * E(B-V)$$

Für die bezüglich der Extinktion korrigierte scheinbare visuelle Helligkeit Vo gilt also:

$$Vo = V - Av \approx V - 3 * E(B-V)$$

Jegliche weiteren Berechnungen werden mit den korrigierten Werten durchgeführt.[13]

[11] https://www.univie.ac.at/webda/cgi-bin/chart_frame.cgi?ngc7788
[12] Foto: Bernd Koch
[13] Literaturverzeichnis [2]

Für NGC 7788 wurde E(B-V)=0,49 verwendet. Somit beträgt Av=3*0,49=1,47 mag.[14]

Für NGC 7790 wurde E(B-V)=0,51 verwendet. Somit beträgt Av=3*0,51=1,53 mag.[15]

4.4. Kalibrierung der Baader-Filter B und V

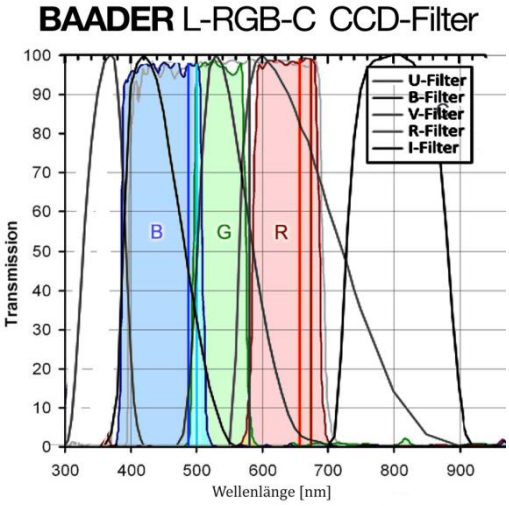

Abbildung 6 Vergleich UBVRI und Baader RGB

In diesem Diagramm sieht man den direkten UBVRI-Filtervergleich mit theo-retischen Kurven. Die UBVRI-Filter[16] wurden als Kurven vor den farblich markierten RGB-Filtersatz[17] gesetzt. Man sieht, dass sich die Kurven im Großteil überschneiden. Unterschiede sind im Kurvenverlauf zu erkennen. Die UBVRI-Filter decken im niedrigen Transmissionsbereich eine größere Wellenlänge ab als der RGB-Filtersatz, im hohen Transmissionsbereich jedoch eine geringere Wellen-länge. Insgesamt gesehen kann der Baader RGB-Filtersatz jedoch recht gut als günstigere Alternative für die UBVRI-Filter im optischen Bereich verwendet werden, wie die nachfolgende Kalibrierung zeigt.

$$V - v = a_1 (b - v) + b_1$$

$$B - V = a_2 (b - v) + b_2$$ [18]

Während b und v die gemessene Helligkeit darstellen stehen B und V für die Kataloghelligkeit, also die in der Datenbank Webda gegebenen Werte. Mithilfe dieser Formeln kann man die verwendeten Baader-Filter B und V kalibrieren.

[14] Literaturverzeichnis [3]
[15] Literaturverzeichnis [4]
[16] https://lp.uni-goettingen.de/get/text/7241
[17] https://www.baader-planetarium.com/de/blog/die-baader-l-rgb-c-ccd-filter/
[18] Literaturverzeichnis [5]

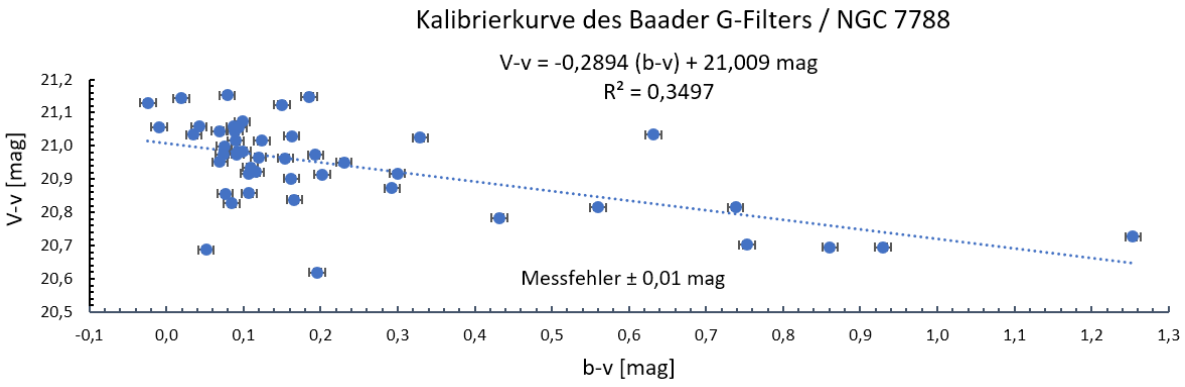

Abbildung 7 Kalibrierkurve des Baader G-Filters

Diese Kalibrierkurve des Baader G-Filters wurde auf Grundlage der ersten Formel bestimmt. Hier wurden die Werte von b-v in mag gegen die von V-v aufgetragen. Die Werte wurden bei einem Messfehler von ±0,01 mag aufgetragen.

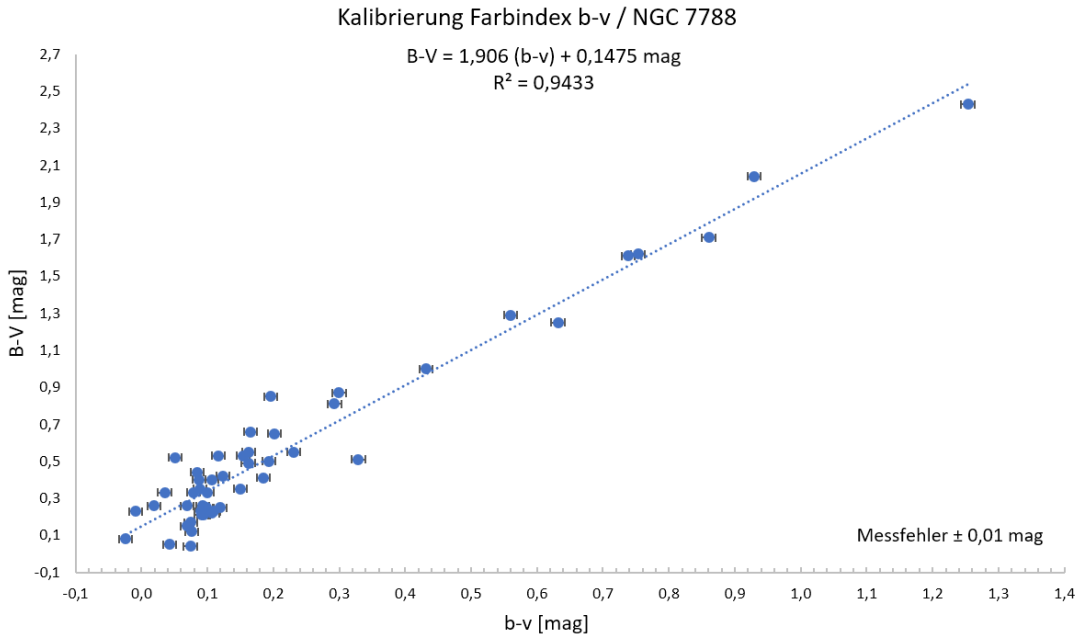

Abbildung 8 Kalibrierung Farbindex b-v

Diese Kalibrierungskurve des Farbindex b-v wurde mit der zweiten Formel erstellt. Hier wurden die b-v Werte in mag gegen die Werte von B-V aufgetragen. Der Messfehler beträgt auch hier ±0,01 mag.

Bei beiden Kalibrierungskurven kann man erkennen, dass die Werte mit Ausnahme weniger Ausreißer relativ nahe an der Kurve liegen. Diese Filter weisen also eine relativ hohe Genauigkeit auf.

4.5. Aufstellen des Farben-Helligkeits-Diagramms

Das Farben-Helligkeits-Diagramm wird in Excel erstellt. Im FHD werden nur die vollständig korrigierten Werte verwendet. So werden die kalibrierten, extinktionsbereinigten Werte von (b-v)o gegen die von vo aufgetragen.

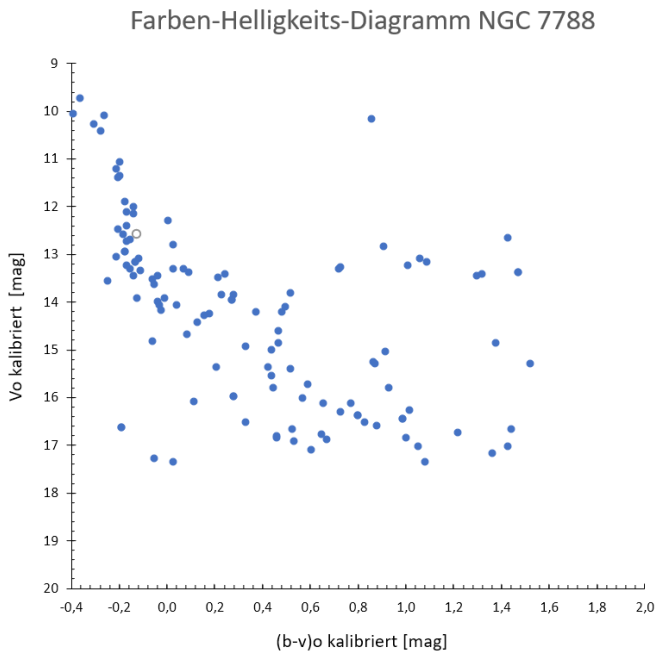

Abbildung 9 **FHD von NGC7788**

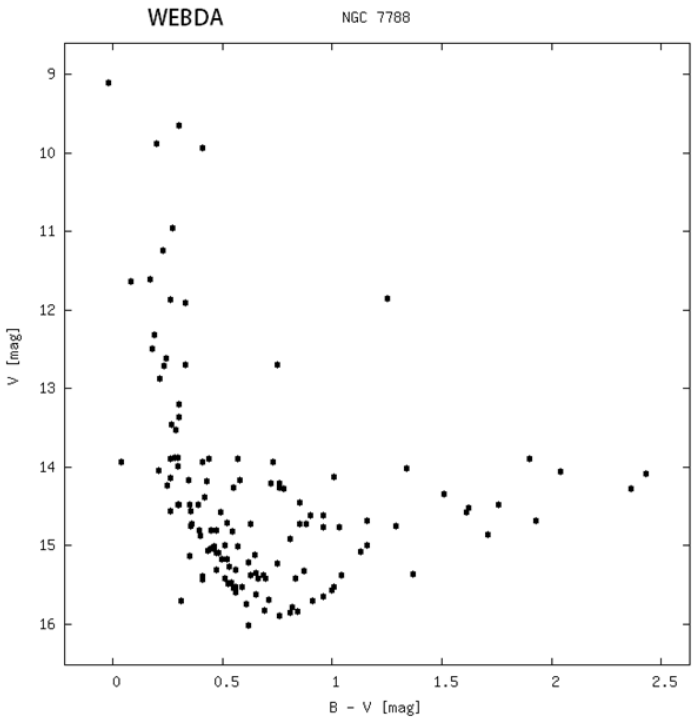

Abbildung 10 **FHD NGC7788 Webda**[19]

[19] https://www.univie.ac.at/webda/navigation.html

In Abbildung 7 sieht man das selbst erstellte FHD von NGC 7788 mit den eigenen Werten und in Abbildung 8 das von Webda erstellte FHD zu diesem Sternhaufen.

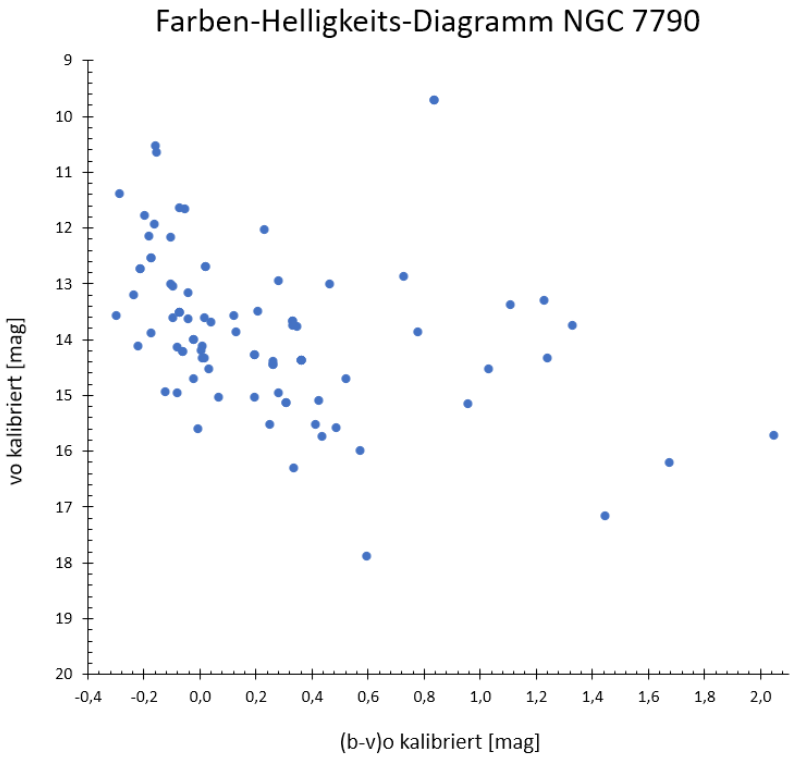

Abbildung 11 FHD von NGC7790

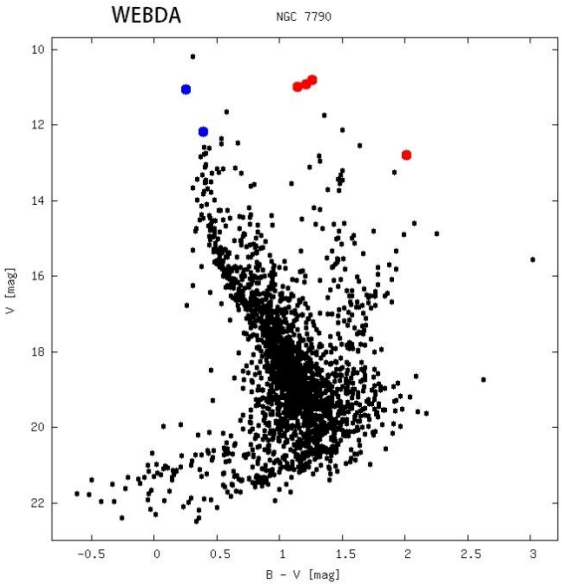

Abbildung 12 FHD NGC7790 Webda[20]

Das FHD von NGC 7790 weist jedoch starke Unterschiede zu dem von Webda auf. Das liegt daran, dass Webda bedeutend mehr Sterne erfasst hat und auch viele schwächere Sterne im FHD hat, wohingegen im eigenen FHD nur ein kleiner, oberer Teil des Webda-FHDs zu erkennen ist.

[20] https://www.univie.ac.at/webda/navigation.html

4.6. Vergleich des FHD mit der Alter-Null-Hauptreihe

Alle Sterne auf der Alter-Null-Hauptreihe haben mit der Kernfusion begonnen. Aus der vertikalen Verschiebung dieser Hauptreihe kann man die Entfernung des Sternhaufens berechnen. Aus dem Abknickpunkt zum Rote-Riesen-Ast bestimmt man das Alter.

4.6.1. Altersbestimmung

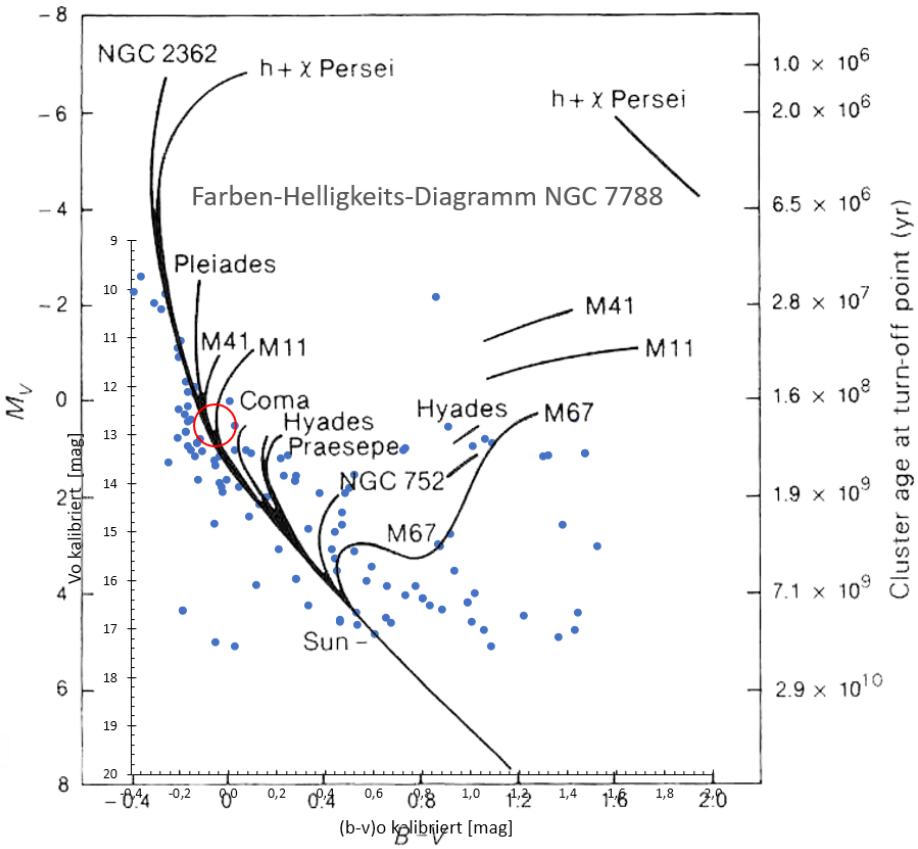

Abbildung 13 **Altersbestimmung an NGC7788**

In dem Diagramm sieht man das FHD von NGC 7788, welches mit einem anderen FHD überlagert wurde. In diesem sieht man die Haupt-reihe und einige Abknickpunkte von anderen Sternhaufen. An der linken Vertikalachse ist die absolute visuelle Helligkeit Mv aufgetragen und an der rechten Vertikalachse das Sternhaufenalter. In rot umkreist sieht man den abgeschätzten Abknickpunkt von NGC 7788. Aus diesem Abknickpunkt kann man bestimmen, dass dieser Sternhaufen ungefähr 160 Millionen Jahre alt ist. Bei dem FHD von NGC 7790 kann man ebenfalls ein Alter von etwa 160 Millionen Jahren ablesen, obwohl ein Abknickpunkt nur schwer bestimmbar ist.

4.6.2. Entfernungsbestimmung

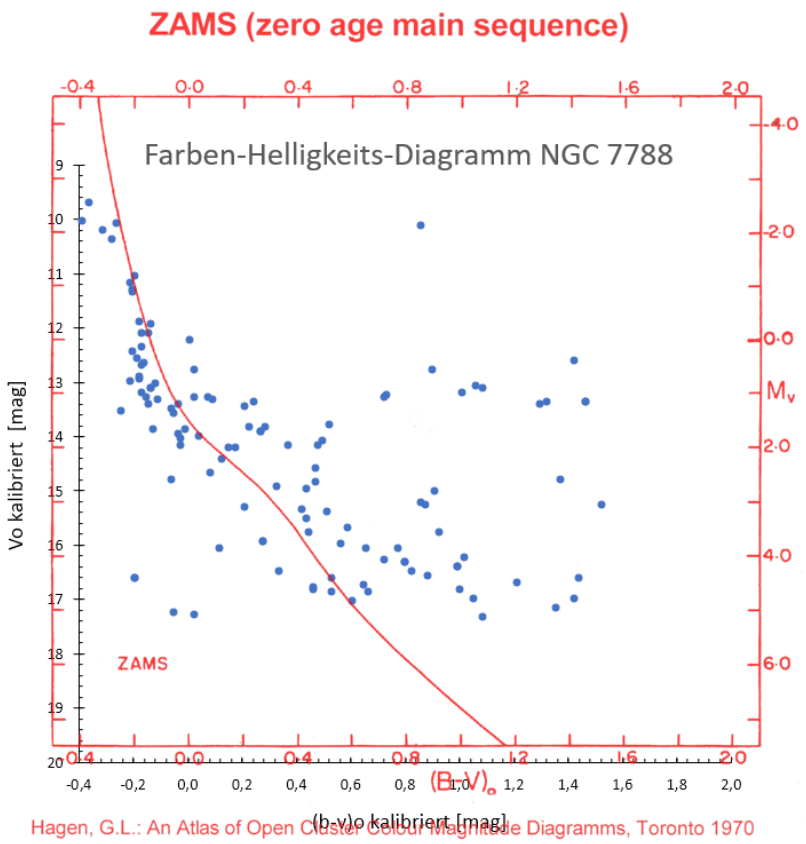

Abbildung 14 **Entfernungsbestimmung an NGC7788**

Zur Entfernungsbestimmung des Sternhaufens legt man dieses ZAMS(zero age main sequence)[21] Diagramm über das FHD. Das Diagramm zeigt die Null-Alter-Hauptreihe eines FHD, wobei dort (B-V)o gegen Mv aufgetragen wurde. Das ZAMS legt man so auf das FHD, dass die Hauptreihe möglichst passend zum Verlauf des Sternhaufens liegt. Dabei stimmen die Werte beider Horizontalachsen miteinander überein. So besteht nur die Möglichkeit, dass ZAMS durch vertikale Verschiebung anzupassen. Zusätzlich zu der Hauptreihe benötigt man zur Berechnung der Entfernung noch das Entfernungsmodul:

$$m - M = -5 + 5\lg(d)$$

Dabei steht d für die Entfernung in Parsec (pc). Umgeformt erhält man:

$$d = 10^{(m-M+5)/5}$$

Im ZAMS schaut man wo Mv=0 und nimmt dann den auf der parallelen Achse liegenden Wert als m. Die parallele Achse der Mv-Achse ist hier die Vo-Achse des FHD.

Bei NGC 7788 kann durch mögliche Verschiebungen ein m-M von 11,8 mag bis 12,6 mag bestimmen. Die mögliche Entfernung d liegt also zwischen 2290 und 3311 pc. Der Mittelwert wäre somit m-M=12,2 mag, also wäre die Entfernung d 2754 pc.

Bei NGC 7790 kann m-M zwischen 12,2 mag und 13 mag festlegen. Die Entfernung d kann zwischen 2754 pc und 3981 pc liegen. Beim Mittelwert m-M=12,6 wäre d=3311 pc.

[21] Literaturverzeichnis [6]

5. Danksagung

Zum Schluss möchte ich noch allen Personen danken, die mich während meiner Arbeit unterstützt und motiviert haben. Mein besonderer Dank geht an Herrn Koch, der mein Projekt betreut hat und mir jeder Zeit bei Fragen und Problemen geholfen hat.
Zusätzlich danke ich der Schule, dem Carl-Fuhlrott-Gymnasium welches die Sternwarte zur Verfügung stellt und damit diese Arbeit erst ermöglicht hat.
Ich danke auch allen Personen, die die Sternwarte unterstützen und die Entwicklung dieser erst möglich gemacht haben.

6. Abschlusserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich diese Arbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die, von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Projektarbeit, die im Wortlaut oder dem Inhalt nach aus anderen Werken entnommen wurden, in jedem Fall mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.
Ich bin damit einverstanden, dass die, von mir verfasste Verschriftlichung der Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

X _____

Aileen Lehnert

7. **Quellen**

Literaturverzeichnis

[1] *Joachim Grehn, Joachim Krause:*
Metzler Physik 12 Astrophysik Seite 100 f. , 2011

[2] *Peter Stinner:*
Farben-Helligkeits-Diagramme offener Sternhaufen - Ein schulisches CCD-Fotometrie-Projekt, 2003
URL: http://www.sternwarte-betzdorf.de/presse/dpg.pdf

[3] *E.V. Glushkova, M.V. Zabolozskikh, S.E. Koposov, O.I. Spiridonova, S.I. Leonova, V.V. Vlasyuk, A.S. Rastorguev*:
Photometric study of open clusters Berkeley 96, Berkeley 97, King 12, NGC 7261, NGC 7296 and NGC 7788, 2013
URL: https://academic.oup.com/mnras/article/429/2/1102/1034760

[4] *A.C. Gupta, A. Subramaniam, R. Sagar, W.K.* Griffiths :
A complete photometric study of the open cluster NGC 7790 containing, 2000

[5] *Bukowiecki, Ł., Maciejewski, G., Bykowski, W., Georgiev, TS., Boeva, S., Kacharov, N., Mihov, B., Latev, G, Ovcharov, E., Valcheva, A.*:
Search For Variable Stars in the Field of The Young Open Cluster NGC 957, 2009
URL: http://var.astro.cz/oejv/issues/oejv0112.pdf

[6] *G.L. Hagen:*
An Atlas of Open Cluster Colour Magnitude Diagramms, Toronto 1970
URL: http://astro.toronto.edu/AALibrary/pubs/DDOpubv4.pdf