

Erstellung und Auswertung von Farben-Helligkeits-Diagrammen offener Sternhaufen

Fabian Bieler, Christian Hammann, Michael Müller

6. Januar 2003

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Theorie	2
2.1	Was sind Sterne?	2
2.2	Was sind offene Sternhaufen?	2
2.3	Was ist ein FHD?	2
2.4	Wozu sind FHDs gut?	3
3	Erstellung der CCD-Bilder	4
3.1	Auswahl der Objekte	4
3.2	Unsere Ausrüstung	5
3.3	Der Ablauf	7
3.4	Nachbearbeitung der Bilder	7
4	Auswertung der Bilder	7
4.1	Die Auswerte-Software Starfinder	7
4.2	Korrektur der Ergebnisse	8
4.3	Analyse der FHDs	9
4.3.1	Entfernung	9
4.3.2	Alter	9
5	Unsere Ergebnisse	10
5.1	NGC 1960	10
5.2	NGC 2682	11
5.3	Fehlerbetrachtung	12
5.4	Weitere Ergebnisse	13
6	Danksagung	15

1 Einleitung

Das Ziel dieser Jugend-Forscht-Arbeit ist die Bestimmung von Alter und Entfernung von Sternhaufen. Hierzu benutzen wir **Farben-Helligkeits-Diagramme (FHDs)** (siehe 2.3). Diese Diagramme sind ein mächtiges Werkzeug, um Informationen über Zustand und Entwicklung von Sternen und Sternhaufen zu gewinnen. Selbst in der aktuellen Forschung werden FHDs eingesetzt, um weit entfernte Objekte zu untersuchen. Wir beschränken uns bei unserer Arbeit allerdings auf offene Sternhaufen, da diese Objekte besonders gut für diese Art der Auswertung geeignet sind (siehe 2.2).

Die von uns zur Auswertung benötigten CCD-Bilder erstellten wir im Winter 2001/2002. Die dazu notwendige Ausrüstung stand uns im Rahmen des Seminarfachs Astrophysik am Kopernikus-Gymnasium in Wissen zur Verfügung. Hierzu gehörten ein geeignetes Teleskop und eine CCD-Kamera (siehe 3.2 auf Seite 5). Des Weiteren durften wir die Kuppel der Geschwister-Scholl-Realschule in Betzdorf für unsere nächtlichen Beobachtungen nutzen.

Aus den dort aufgenommenen CCD-Bildern extrahierten wir mit der eigens geschriebenen Software Starfinder (siehe 4.1 auf Seite 7) die zur Konstruktion der FHDs benötigten Rohdaten. Nach geeigneter Aufbereitung lieferten diese Entfernung und Alter der untersuchten Sternhaufen (siehe 4.3 auf Seite 9).

2 Theorie

In diesem Kapitel werden wir auf den theoretischen Hintergrund unserer Arbeit eingehen.

2.1 Was sind Sterne?

Sterne sind große Gaskugeln im Weltall. Durch die große Masse eines Sterns entstehen im Innern ein sehr hoher Druck und sehr hohe Temperaturen. Unter diesen extremen Bedingungen wird eine Kernfusion möglich. Bei dieser Fusion wird Energie, unter anderem in Form von Licht, freigesetzt. Dieses Licht können wir auf der Erde beobachten. Man kann anhand der Farbe des Lichts Rückschlüsse auf die Temperatur der Sternoberfläche ziehen: So sind blaue Sterne sehr heiß, während rote Sterne verhältnismäßig kühl sind. Außerdem erscheinen Sterne mit einer großen Oberfläche heller als andere Sterne gleicher Entfernung. Hierbei ist auch zu beachten, dass näher gelegene Sterne ebenfalls heller erscheinen als gleich große, aber weiter entfernte Sterne.

Im Laufe der Entwicklung eines Sterns finden unterschiedliche Fusionsprozesse statt. Zu Beginn besteht ein Stern zum größten Teil aus Wasserstoff, welcher zu Helium fusioniert wird. Wenn nicht mehr genügend Wasserstoff vorhanden ist, beginnt der Stern mit der Fusion von Helium, wobei schwerere chemische Elemente entstehen.

2.2 Was sind offene Sternhaufen?

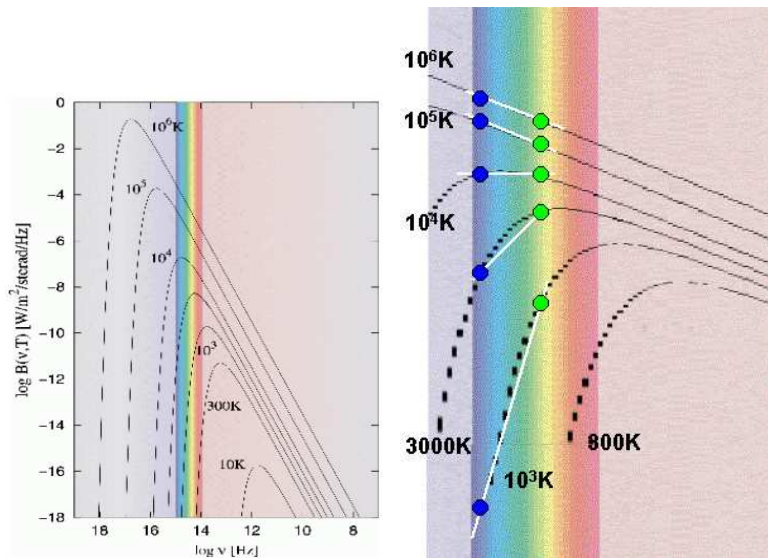
Galaktische offene Sternhaufen sind lockere Sternansammlungen in verschiedenen Formen. Sie enthalten zwischen 10 und einigen 1000 Sternen. Man findet sie vorwiegend in der Ebene unserer Milchstraße. Die Anzahl solcher Sternansammlungen in unserer Galaxis wird auf ca. 15000 geschätzt. Die meisten offenen Haufen haben Durchmesser zwischen 7 und 20 Lichtjahren. Alle Sterne ein und desselben Haufens entstanden gleichzeitig im Kollaps einer sehr dichten interstellaren Staubwolke. "Gleichzeitig" bedeutet hier, dass die Entstehungszeiten der Sterne verglichen mit dem heute beobachtbaren Alter der Sternhaufen äußerst gering sind. [1] Die bekanntesten offenen Sternhaufen sind die Plejaden und die Hyaden im Sternbild Stier sowie die Krippe im Krebs. Wesentliche Eigenschaften offener Haufen wurden mit Hilfe von FHDs erforscht.

2.3 Was ist ein FHD?

Abhängig von ihrer Oberflächentemperatur strahlen Sterne in unterschiedlichen Frequenzbereichen mit unterschiedlicher Intensität. Dieses Verhalten wird durch die Planck-Funktion beschrieben, welche in Abbildung 1 für Objekte von 10K bis $1 \cdot 10^6$ K dargestellt ist. Aus Maßstabsgründen ist die abgestrahlte Energie logarithmisch gegen die Frequenz der Strahlung abgetragen. Man sieht, dass die Form der Kurven in etwa gleich ist, das Maximum sich jedoch mit zunehmender Temperatur zu höheren Frequenzen (niedrigeren Wellenlängen) verschiebt. Der vertikale Streifen deutet den sichtbaren Bereich des Spektrums an. Heißere Sterne strahlen demnach mehr blaues als rotes Licht ab. Dadurch erscheint uns ein kühler Stern rötlich, ein heißer Stern bläulich.

Sternhelligkeiten gibt man historisch bedingt zumeist als "visuelle Helligkeit" V an. V beschreibt die Helligkeit eines Sterns im grünen Bereich, in dem das menschliche Auge am empfindlichsten ist. V ist proportional zum Betrag des Logarithmus der im visuellen (d.h. im grünen Spektralbereich) abgestrahlten Energie. V wird in

der dimensionslosen Einheit “Magnitude” (mag) angegeben. Gemäß Abbildung 1(b) gehören zu hellen Sternen kleine V-Magnituden, zu dunkleren entsprechend größere Werte. Ebenso ist die B-Magnitude ein Maß für die Helligkeit eines Sterns im blauen Spektralbereich. B-V beschreibt die mittlere Steigung der logarithmischen Planck-Funktion zwischen blauem und grünem Spektralbereich. B-V hängt sehr empfindlich von der Oberflächentemperatur des Sterns ab und ist deshalb ein direktes Maß für die Farbe des Sterns, welche durch dessen Temperatur bestimmt wird. B-V heißt “Farbindex”.



(a) Die Planck-Funktion für verschiedene Temperaturen.

(b) Darstellung zum Farbindex

Abbildung 1: Die Planck-Funktion [2]

In einem Farben-Helligkeits-Diagramm wird für jeden Stern seine scheinbare visuelle Helligkeit V gegen seinen Farbindex B-V abgetragen. Dabei wird die Y-Achse nicht wie üblich mit nach oben steigenden Werten, sondern mit nach oben fallenden Werten eingetragen. So erreicht man, dass helle Sterne – trotz ihrer geringeren V-Magnitude – im Diagramm weiter oben erscheinen. Weil der Farbindex B-V von blauen zu roten Sternen hin zunimmt, ergibt sich: In einem FHD findet man z.B. links oben helle, blaue Sterne, wohingegen rechts unten dunklere rote Sterne zu finden sind.

Abbildung 2 zeigt ein FHD vieler tausend Sterne, deren V-Magnituden so angepasst sind, als ob alle Sterne in der Entfernung 10 pc liegen würden. Die so angepassten V-Magnituden nennt man absolute visuelle Helligkeiten. Man erkennt, dass die meisten Sterne auf einer Linie liegen. Sie führt von oben links nach unten rechts. Man nennt sie die Hauptreihe. Es handelt sich dabei um die Sterne, die in der Phase des Wasserstoff-Brennens sind.

2.4 Wozu sind FHDs gut?

Wenn man in einem FHD die Sterne eines einzigen Sternhaufens einträgt, stellt man fest, dass die meisten wiederum auf einer „Hauptreihe“ liegen. Wenn man die FHDs verschiedener Sternansammlungen vergleicht, ergibt sich, dass die betrachteten Hauptreihen sehr ähnlich sind. Sie unterscheiden sich aber durch wenige Details, die von den Eigenschaften der Sternhaufen und ihrer Entfernung zum Beobachter abhängen. Sternhaufen mit einer großen Entfernung erscheinen dunkler, daher ist die Hauptreihe nach unten verschoben. Wenn die Sterne anfangen Helium zu verbrennen, verlassen sie die Hauptreihe nach rechts oben (vergleiche Sternansammlung rechts der Hauptreihe in Abbildung 2). Da die Sterne, die besonders groß und heiß (hell und blau) sind, schneller ihren Wasserstoff aufbrauchen, verlassen diese zuerst die Hauptreihe. Die Hauptreihe baut sich also mit zunehmendem Alter von oben links nach unten rechts hin ab. Man kann somit aus den Eigenschaften der Hauptreihen die Entfernung sowie das Alter von Sternhaufen feststellen. [2] Dieses Vorgehen haben wir in eigenen Experimenten zur Alters- und Entfernungsbestimmung einiger Sternhaufen unserer Milchstraße angewandt.

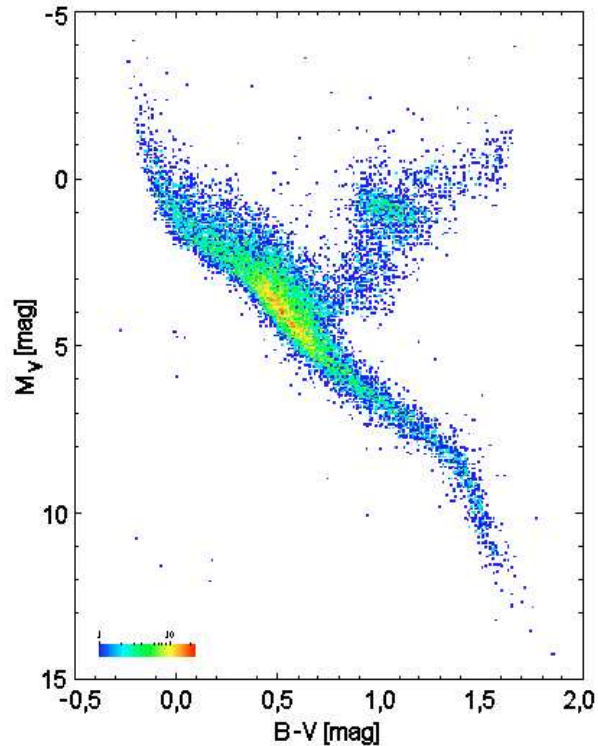


Abbildung 2: ein FHD vieler tausend Sterne der näheren Sonnenumgebung [2]

3 Erstellung der CCD-Bilder

In diesem Kapitel geht es um die Erstellung der CCD-Bilder, anhand derer wir das Alter und die Entfernung verschiedener Sternhaufen bestimmt haben.

3.1 Auswahl der Objekte

Bei der Auswahl der zu untersuchenden Sternhaufen war zu beachten, dass der Himmel in der Sternwartenumgebung mitten in der 20000-Einwohner-Ansammlung Betzdorf-Kirchen im Osten am wenigsten aufgehellt ist. Bei zusätzlicher Rücksichtnahme auf den laufenden Schulbetrieb verblieben dann nur Beobachtungsobjekte, welche in der ersten Nachthälfte in den Monaten Dezember bis März am Osthimmel sichtbar sind. Nach diesen Kriterien entschieden wir uns für folgende Objekte:

- NGC 1528
- NGC 1912 (M38)
- NGC 1960 (M36)
- NGC 2099 (M37)
- NGC 2264
- NGC 2281
- NGC 2632 (M44)
- NGC 2682 (M67)

3.2 Unsere Ausrüstung

Alle CCD-Bilder, die in unserem Projekt benutzt wurden, haben wir in der 3m-Kuppel der Geschwister-Scholl-Realschule Betzdorf erstellt. Die Aufnahmen wurden mit einer ST6-CCD-Kamera der Firma SBIG durchgeführt. Der CCD-Chip mit 372x242 Pixeln ist mit zwei Peltier-Elementen auf ca. -30°C zu kühlen. Dadurch verringert sich das thermische Rauschen soweit, dass Belichtungszeiten bis zu einer Stunde möglich werden. Die CCD-Kamera wurde an einem Celestron C8-Teleskop mit 8" Spiegeldurchmesser (Öffnung $D=200\text{mm}$) betrieben. Da die Brennweite von 2m mittels eines Telekompressors auf $f=90\text{cm}$ verkürzt wurde, ergab sich eine Blende von $f/D=4,5$. Zwischen ST6-CCD-Kamera und Teleskop befand sich eine Filterschublade, welche die für die Aufnahmen nötigen Filter aufnehmen konnte. Sie ermöglichte ein schnelles Wechseln der Filter, ohne die Ausrichtung auf das Objekt zu verlieren. Als B- und V- Filter kamen die Filter BG12 bzw. VG9 der Firma Schott zum Einsatz. Zusätzlich wurde der Infrarot-Sperrfilter KG5 verwendet (Dies war notwendig, da CCD-Chips im Infrarot-Bereich sehr empfindlich sind). Unsere Filter weichen in ihrer Transmission ("Durchlässigkeit") von den für die Erstellung von FHDs normierten Bessel-B- und Bessel-V-Filtern ab, wie Abbildung 3 veranschaulicht. Die dadurch entstehenden Fehler korrigierten wir weitgehend durch Anpassung der Belichtungszeiten und die Eichung unserer Bilder mit Literaturwerten von ausgewählten Sternen (siehe 4.1 auf Seite 7).

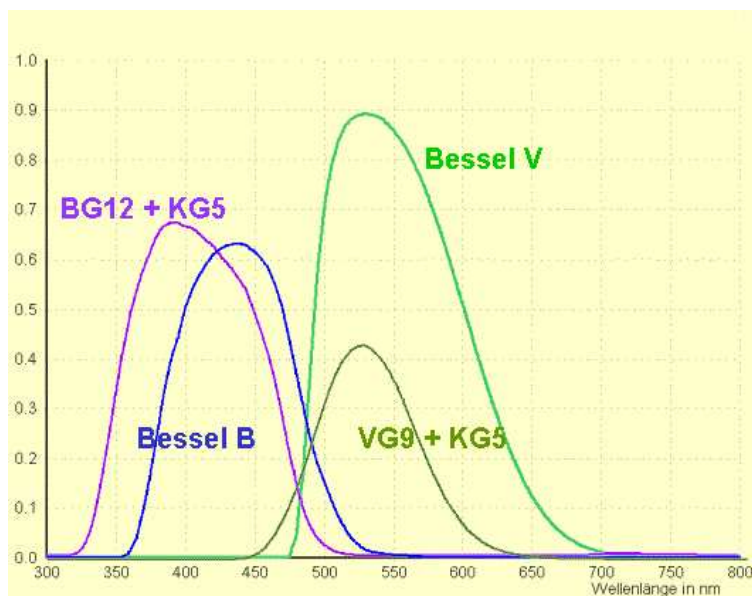


Abbildung 3: Die Transmissionskurven unserer Filter im Vergleich mit denen des UBV-Systems [9]

Das Teleskop wurde von einer Vixen GPDx Montierung getragen. Bei den notwendigen Belichtungszeiten von bis zu 20min musste das Teleskop der durch die Erdrotation bedingten scheinbaren Himmelsbewegung nachgeführt werden. Diese Nachführung wurde durch eine ST4-CCD-Kamera an einem zusätzlichen Leitrohr rechnergestützt vollautomatisch gesteuert.

Neben der optischen Ausrüstung installierten wir in der Betzdorfer Kuppel ein Netzwerk bestehend aus 5 Computern. Der erste steuerte die ST6-CCD-Aufnahme-Kamera, der zweite die ST4-CCD-Nachführ-Kamera. Ein Sternkartenprogramm auf dem dritten Rechner war uns eine große Hilfe beim Auffinden der Beobachtungsobjekte. Die übrigen Rechner erlaubten erste quantitative Auswertungen direkt vor Ort, sowie Internetzugang zur Datenbankrecherche.

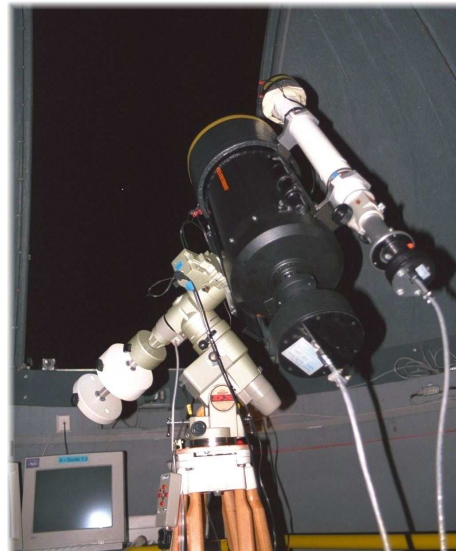
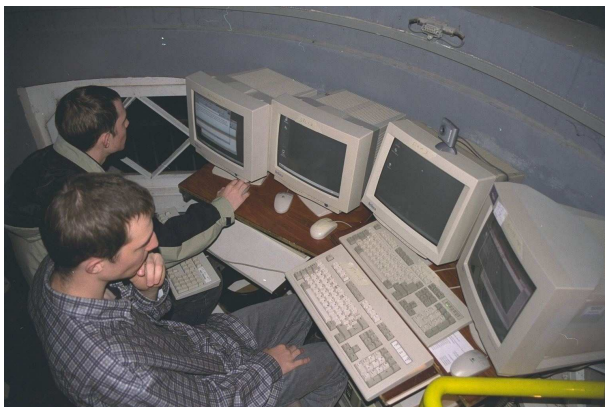
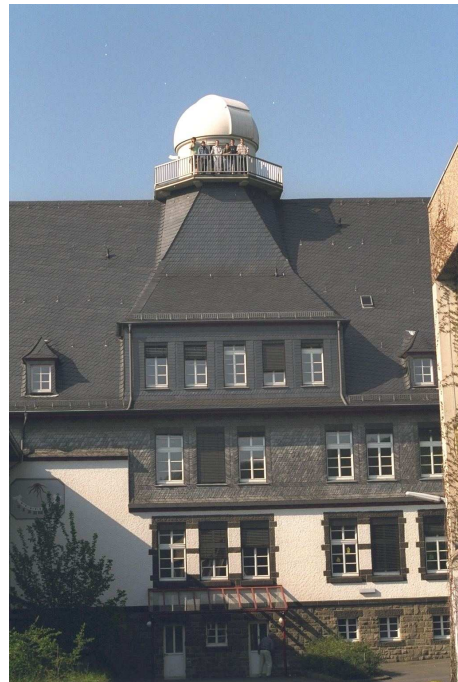


Abbildung 4: Das von uns verwendete Teleskop



(a) unsere PCs



(b) Die Realschule Betzdorf mit Kuppel

Abbildung 5: Die Sternwarte

3.3 Der Ablauf

Das Teleskop mit angebaute ST6-Kamera wurde mit Hilfe des Leitrohrs auf das zu photographierende Objekt ausgerichtet. Nachdem der gewünschte Bildausschnitt zentriert war, aktivierten wir die ST4-Kamera am Leitrohr zur Kontrolle der Nachführung. Nun wurden nacheinander B- und V-Bilder mit mehreren Belichtungszeiten sowie Dark-Frame- und Flatfield-Aufnahmen (siehe 3.4) geschossen.

3.4 Nachbearbeitung der Bilder

Elektronen werden im CCD-Chip von eintreffenden Photonen ausgelöst, aber auch durch die Wärmebewegung im CCD-Chip. Außerdem ist die Empfindlichkeit des CCD-Chips nicht über alle Pixel homogen, zusätzlich leuchtet die Aufnahmeoptik den Chip nicht gleichmäßig aus (Vignettierung). Um diese Effekte zu kompensieren, werden das sogenannte Dark-Subtract und die Flatfield-Division durchgeführt.

Dark-Subtract: Beim Dark-Subtract wird vom Bild das sogenannten Dark-Frame, ein CCD-Bild, das mit geschlossenem Verschluss gemacht wurde, abgezogen. Somit wird der Fehler durch von Wärme ausgelösten Elektronen weitgehend kompensiert. Außerdem werden defekte Pixel auf dem Chip, die unabhängig vom eingefallenen Licht eine konstante Helligkeit registrieren, getilgt.

Flatfield-Division: Bei der Flatfield-Division wird das Bild durch ein Flatfield, ein CCD-Bild, das durch das Photographieren einer einheitlich hellen Fläche erstellt wird, dividiert. Dadurch werden die Fehler durch unterschiedliche Empfindlichkeiten der Pixel und durch Vignettierung der Optik im Wesentlichen behoben.

Nach diesen Korrekturmaßnahmen sollte die Helligkeit der Pixel proportional zur Anzahl der von den Pixeln absorbierten Photonen sein.

4 Auswertung der Bilder

Dieses Kapitel beschreibt, wie man aus den verschiedenen Bildern eines Sternhaufens ein FHD erstellt und aus diesem Entfernung und Alter bestimmt.

4.1 Die Auswerte-Software Starfinder

Starfinder präsentiert sich als Win32 Anwendung, die wir selbst programmiert haben.

Nachdem man in Starfinder ein blaues und ein grünes CCD-Bild eines Sternhaufens geöffnet hat, kann man für jedes Bild separat den Background (die aus Streulicht resultierende Hintergrundhelligkeit) eingeben. Der Background wird in Starfinder visualisiert, indem es im dargestellten Bild alle Pixel, die dunkler oder gleich dem Background sind, als schwarz darstellt. Somit ist es leicht, den optimalen Background, der auch mittels eines "Sliders" (Schieberegler) justiert werden kann, einzustellen. Nun kann Starfinder vollautomatisch die B- und V-Helligkeiten für jeden Stern ausrechnen, dessen Helligkeit über dem gewählten Background liegt. Die so für jeden Stern erhaltenen Werte stehen im linearen Zusammenhang zur Anzahl der Photonen, die auf dem CCD-Chip angekommen sind. Nun müssen diese Werte logarithmiert werden, da die standardisierten Angaben für Helligkeiten von Sternen (B- und V-Magnituden) im logarithmischen Maßstab angegeben werden. Anschließend werden die Sterne der beiden Bilder einander zugeordnet, so dass man für jeden Stern seine B- und V-Helligkeit erhält. Starfinder kann bei diesem Schritt die Bilder automatisch gegeneinander verschieben, um Ungenauigkeiten bei der Nachführung während der Aufnahme der Bilder zu kompensieren. Falls die Bilder gegeneinander rotiert sind, kann Starfinder auch dies korrigieren, aber nur nach der manuellen Zuordnung von 3 Sternpaaren. Als nächstes müssen die B- und V-Helligkeiten aus den in 3.2 auf Seite 5 genannten Gründen geeicht werden. Die Eichung wird mit einer ganzrationalen Funktion n-ten Grades durchgeführt (n ist in Starfinder einstellbar). Die Koeffizienten der Funktion werden von Starfinder nach manueller Eingabe der Magnituden von bekannten Eichsternen aus der Literatur [3] ermittelt. Abbildung 6 zeigt den Eingabedialog für die Literatur-Magnituden. Mit Hilfe einer Minimierungsfunktion aus der root-Bibliothek [4] wird die Kurve gefittet. Die Koeffizienten werden dabei so gewählt, dass die Summe der Quadrate der Fehler minimal wird. Abschließend kann Starfinder die Ergebnisse (die V-Magnituden und B-Magnituden minus V-Magnituden für alle Sterne) und diverse Zwischenergebnisse in einer html-Tabelle oder als fertiges FHD im bmp-Format ausgeben.

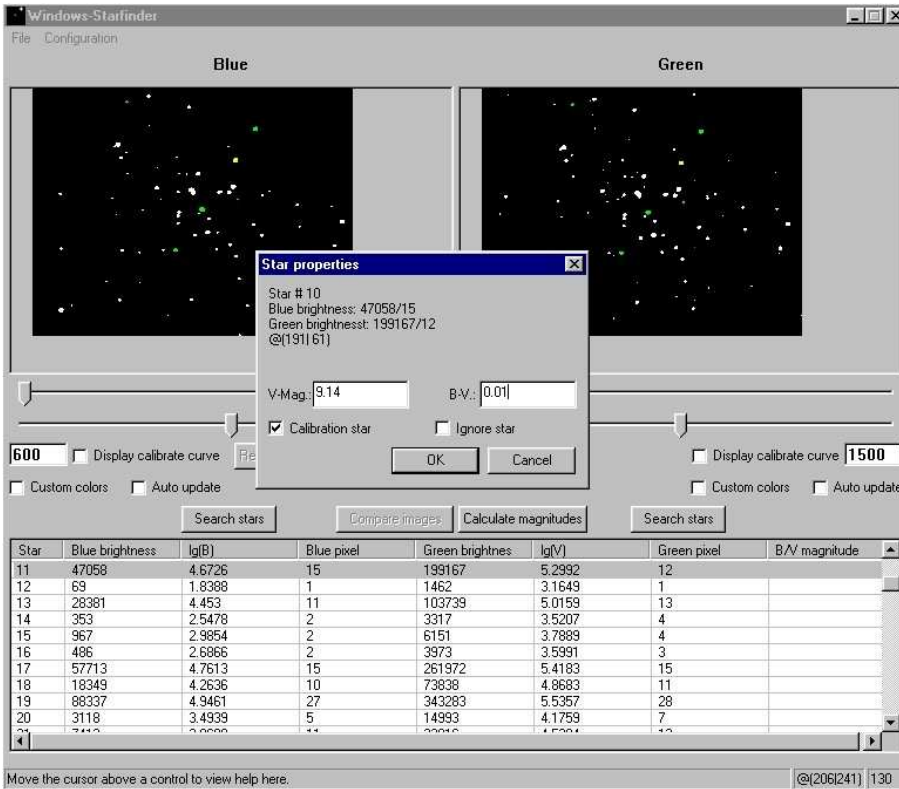


Abbildung 6: Eingabe von Literaturwerten in Starfinder

4.2 Korrektur der Ergebnisse

Die von Starfinder erstellten FHDs basieren auf den scheinbaren B- und V-Helligkeiten, wie sie auf der Erde wahrgenommen werden. Bei quantitativen Auswertungen dieser FHDs ist allerdings zu beachten, dass das Licht auf dem Weg durch die Galaxis sowohl eine Farbänderung (Rötung) als auch eine Abschwächung (interstellare Extinktion) erfährt. Die Ursache ist in beiden Fällen die Streuung des Lichts an interstellaren Staubpartikeln. Der Rot-Überschuß ist dadurch zu erklären, dass das kurzwellige blaue Licht bevorzugt gestreut wird. Um dies zu korrigieren, also den korrigierten Farbindex $(B - V)_0$ zu erhalten, muss man von $B - V$ den sogenannten Farbexzess $E_{(B-V)}$ subtrahieren [5]:

$$(B - V)_0 = (B - V) - E_{(B-V)} \tag{1}$$

Zur Berücksichtigung der interstellaren Extinktion, müssen die scheinbare Helligkeit V um den Wert A_V verringert werden. Zwischen A_V und $E_{(B-V)}$ besteht der einfache Zusammenhang $A_V = 3 \cdot E_{(B-V)}$. Somit ergibt sich für die korrigierte scheinbare visuelle Helligkeit V_0 [5]:

$$V_0 = V - A_V = V - 3 \cdot E_{(B-V)} \tag{2}$$

Die $E_{(B-V)}$ Werte für die von uns untersuchten Sternhaufen sind nach [6]:

NGC-Nummer	1528	1912	1960	2099	2264	2281	2632	2682
Farbexzess $E_{(B-V)}$	0,29	0,27	0,24	0,31	0,08	0,10	0,00	0,06

Tabelle 1: der Farbexzess

4.3 Analyse der FHDs

Aus den so korrigierten FHDs kann man jetzt die Entfernung und danach das Alter eines Sternhaufens bestimmen.

4.3.1 Entfernung

Abbildung 7 zeigt die Lage Hauptreihe für Sterne in der Entfernung 10 pc. Für weiter entfernte Sternhaufen verschiebt sich die Hauptreihe zu geringeren Helligkeiten, bzw. zu größeren V-Magnituden. Diese vertikale Verschiebung der Hauptreihe ist der sogenannte "Entfernungsmodul" $V - M_V$. Durch Korrektur um die interstellare Extinktion A_V gleich $3E_{(B-V)}$ erhält man daraus den korrigierten Entfernungsmodul $V_0 - M_V$. Mittels der Gleichung [5]

$$V_0 - M_V = 5 \cdot \lg \frac{d}{pc} - 5 \quad (3)$$

lässt sich dann die Entfernung d des Sternhaufens in pc bestimmen.

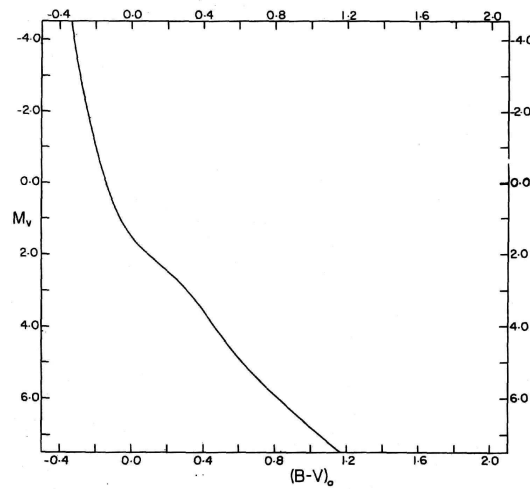


Abbildung 7: Die Hauptreihe in Standard-Entfernung [6]

4.3.2 Alter

Es ist realistisch anzunehmen, dass die massenabhängige Entwicklungszeit der Sterne bis zum Erreichen der Hauptreihe im FHD gegenüber der Verweilzeit auf der Hauptreihe sehr gering ist. Somit kann man davon ausgehen, dass alle Sterne eines offenen Sternhaufens nahezu gleichzeitig entstanden sind. Die Verweilzeit auf der Hauptreihe, d.h. die Zeit des Wasserstoffbrennens, nimmt mit zunehmender Sternmasse jedoch ab. Nun nimmt die Sternmasse im FHD nach oben zu, und die Sterne, deren Verweilzeit auf der Hauptreihe kleiner als das Alter des Sternhaufens ist, haben sich bereits von der Hauptreihe (nach rechts) entfernt. Deshalb ist das Alter der Sterne am oberen Ende der noch beobachtbaren Hauptreihe identisch mit dem Alter des Sternhaufens. Bezeichnet man die absolute visuelle Helligkeit (siehe 2.4 auf Seite 3) der Sterne am oberen Ende der Hauptreihe mit M_V^* , dann gilt für das Alter T dieser Sterne und damit des Sternhaufens [7]:

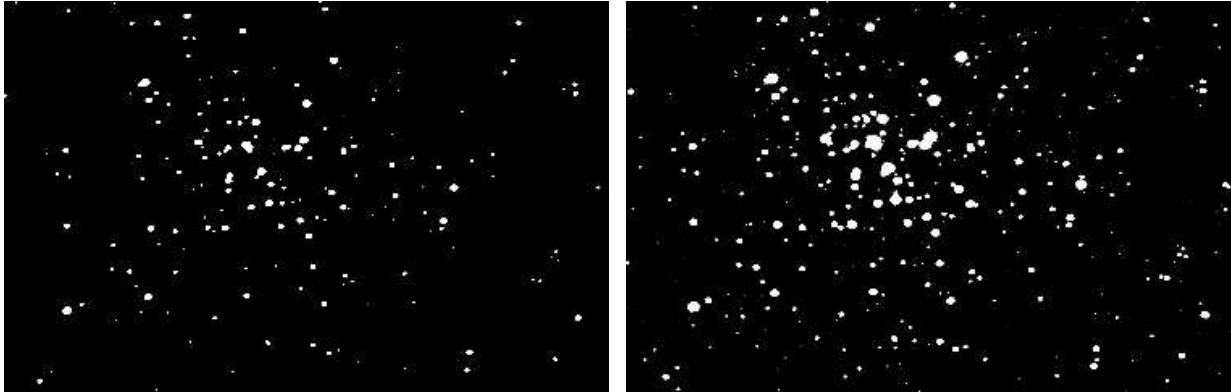
$$T \approx \begin{cases} (2,5 \cdot 10^8 a) \cdot e^{\frac{M_V^*}{0,99 mag}}, & M_V^* < 0,5 mag \\ (3,2 \cdot 10^8 a) \cdot e^{\frac{M_V^*}{1,60 mag}}, & M_V^* > 0,5 mag \end{cases} \quad (4)$$

Es ist jedoch zu beachten, dass dies das Alter des Sternhaufens zu dem Zeitpunkt ist, als dieser das von uns beobachtete Licht aussandte. Um das heutige Alter zu bestimmen, muss man noch die Zeit, die das Licht vom Sternhaufen zu uns brauchte, hinzuaddieren. Diese Zeit ist jedoch trotz der großen Entfernung von mehreren tausend Lichtjahren im Vergleich zum Alter der Sternhaufen (der jüngste von uns untersuchte ist 27 Millionen Jahre alt) vernachlässigbar klein.

5 Unsere Ergebnisse

5.1 NGC 1960

Die Abbildung 8 zeigt Aufnahmen von NGC 1960, die mit grünem bzw. blauem Filter erstellt wurden. Bei beiden Bildern wurden bereits ein Dark-Subtract und eine Flatfield-Division durchgeführt. Die Belichtungszeiten betragen 60 s bzw. 300 s. Die unterschiedlichen Zeiten werden durch die Eichung im Programm Starfinder (siehe 4.1 auf Seite 7) ausgeglichen.



(a) Die Aufnahme wurde mit einem V-Filter und einer Belichtungszeit von 60s erstellt.

(b) Die Aufnahme wurde mit einem B-Filter und einer Belichtungszeit von 300s erstellt.

Abbildung 8: B- und V-Bilder von NGC 1960

Diese Bilder werden jetzt von Starfinder eingelesen. Daraus generiert Starfinder mit Hilfe von Eichstern-Daten aus der Datenbank [3] WEBDA ein FHD (siehe 4.1 auf Seite 7).

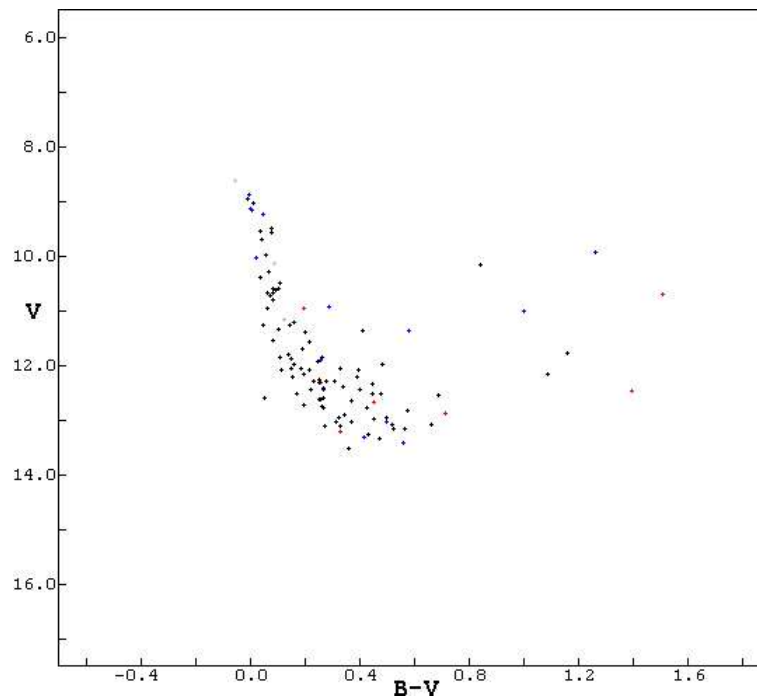


Abbildung 9: FHD von NGC 1960

In diesem noch unkorrigiertem FHD lässt sich die Hauptreihe gut erkennen.

Alle nun folgenden Schritte werden „von Hand“ durchgeführt. Zunächst wird $B - V$ um $E_{(B-V)}$ korrigiert. Für NGC 1960 hat $E_{(B-V)}$ den Wert 0,24. So ergibt sich hier $(B - V)_0 = (B - V) - 0,24$. $(B - V)_0$ tragen wir am oberen Ende des Diagramms ein. Jetzt zeichnen wir die Hauptreihe von NGC 1960 im FHD ein. Auf der rechten Seite des FHDs tragen wir die Achse der Hauptreihe in Standard-Entfernung so ein, dass die standardisierte Hauptreihe mit der von NGC 1960 zusammenfällt. Die neu eingetragene Achse gibt die absolute visuelle Helligkeit M_V an (siehe 2.4 auf Seite 3). Die beiden Achsen sind um den Entfernungsmodul $V - M_V$ gegeneinander verschoben. $V - M_V$ wird um $A_V \approx 3 \cdot 0,24 = 0,72$ korrigiert, um den korrigierten Entfernungsmodul $V_0 - M_V$ zu erhalten (siehe 4.2 auf Seite 8 und 4.3.1 auf Seite 9).

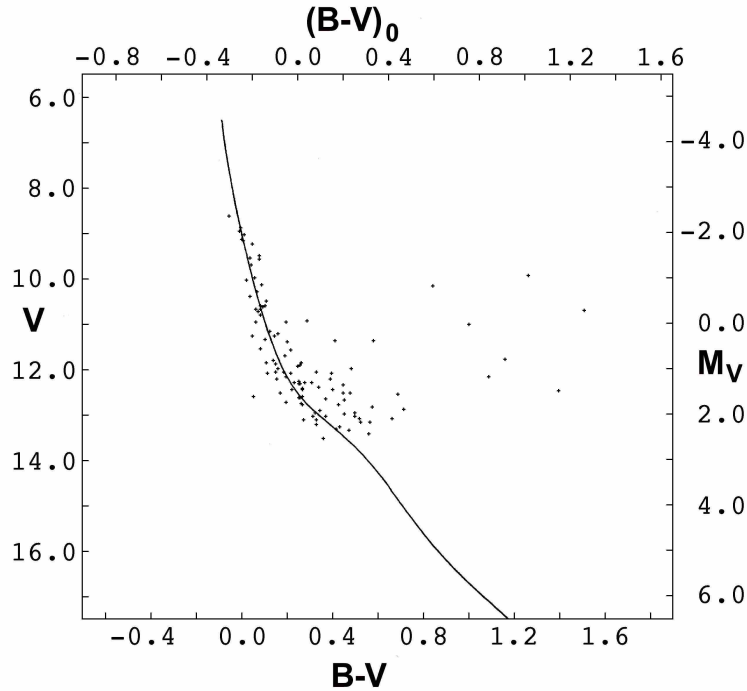


Abbildung 10: FHD von NGC 1960 mit eingetragener Hauptreihe sowie $(B - V)_0$ - und M_V -Achse

Aus diesem FHD lesen wir den Entfernungsmodul $V - M_V \approx 11,1$ ab. Damit erhalten wir $V_0 - M_V \approx 10,4$. Mit Hilfe von Gleichung 3 (siehe 4.3.1 auf Seite 9) berechnen wir die Entfernung $d = 10^{\frac{V_0 - M_V}{5} + 1} pc \approx 1200 pc \approx 3920 ly$.

Weiterhin lesen wir aus dem FHD $M_V^* \approx -2,27$ ab (siehe 4.3.2 auf Seite 9). Mit Hilfe von Gleichung 4 berechnen wir das Alter $T \approx 27 \cdot 10^6 a$.

Bei NGC 1960 handelt es sich also um einen relativ jungen Sternhaufen. Daher ist auch die Hauptreihe noch deutlich zu erkennen.

5.2 NGC 2682

Für die Auswertung von NGC 2682 verfahren wir wie für NGC 1960 in Kapitel 5.1 beschrieben.

Abbildung 11 zeigt das FHD von NGC 2682, wie es Starfinder erstellt hat. Mittels manueller Auswertung erhält man $V - M_V \approx 9,0$. Daraus ergibt sich mit $A_V \approx 3 \cdot 0,06 = 0,18$ ein korrigierter Entfernungsmodul $V_0 - M_V \approx 8,85$. Die Entfernung beträgt nach Gleichung 3 dann $d \approx 1960 ly$.

Für M_V^* ergibt sich $M_V^* \approx 1,77$. Daraus errechnen wir das Alter $T \approx 1000 \cdot 10^6 a$.

NGC 2682 ist also ein sehr alter Sternhaufen. Die Hauptreihe ist nur schwer zu erkennen, da sie für $V < 13$ magn nur noch aus sehr wenigen Sternen besteht.

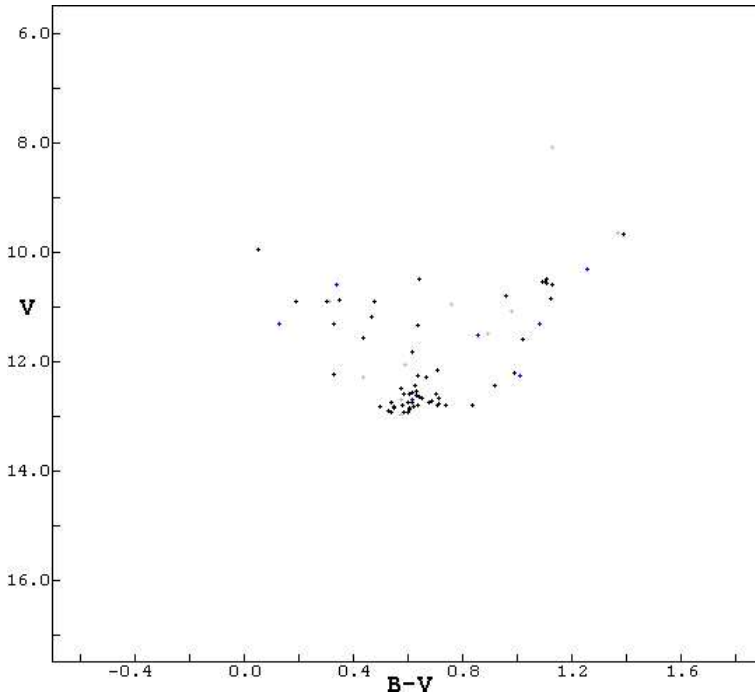


Abbildung 11: FHD von NGC 2682

5.3 Fehlerbetrachtung

Unsere Messungen sind wie jede Messung mit Fehlern behaftet. Es entstehen zum Beispiel Fehler, da der CCD-Chip nicht überall gleich empfindlich ist (siehe 3.4 auf Seite 7). Auch Dark-Subtract und Flatfield-Division können diese Fehler nicht perfekt korrigieren, da die Fehler mit der Zeit variieren und Dark-Frame und Flatfield nicht gleichzeitig mit dem Bild gemacht werden können.

Außerdem stimmen unsere Filter (wie bereits in 3.2 auf Seite 5 erwähnt) nicht ganz mit den Normen des UBV-Systems überein. Wir versuchen dies durch die Eichung im Programm Starfinder (siehe 4.1 auf Seite 7) auszugleichen. Die Eichung soll auch einen anderen Fehler ausgleichen, der durch die manuelle Einstellung des Backgrounds in Starfinder verursacht wird. Damit Starfinder die einzelnen Sterne trennen kann, muss der Background prinzipiell etwas zu hoch gewählt werden. Dadurch werden alle Sterne etwas zu dunkel erkannt. Da die Sterne alle in etwa um den gleichen Betrag dunkler werden, werden die schwachen Sterne relativ zu den hellen stärker abgeschwächt.

Da die Nachführung unseres Teleskops nicht genau arbeitet, kontrollieren wir diese durch eine zusätzliche Kamera. So werden Fehler aufgrund der Nachführung minimiert.

Weiterhin treten auch Fehler auf, die wir nicht korrigieren können. Atmosphärische Störungen beeinflussen die Abbildungsqualität, jedoch stehen uns keine Mittel zur Verfügung, dies zu vermeiden oder bei unseren Analysen zu berücksichtigen.

Eine weitere Fehlerquelle sind Feldsterne, Sterne die zwar im Blickfeld der Kamera liegen, aber nicht zum beobachteten Sternhaufen gehören. Da sie aber nicht zur gleichen Zeit wie die Sterne des Haufens entstanden sind und nicht die selbe Entfernung zum Beobachter haben, können sie das FHD verfälschen. Es ist nur mit großem Aufwand (der den Rahmen unserer Möglichkeiten übersteigen würde) möglich, die Feldsterne herauszufiltern und so diese Fehler zu vermeiden.

Zu allen bisher genannten Fehlern können wir allerdings keine quantitativen Aussagen treffen.

Beim Eintragen der Hauptreihe in das FHD machen wir einen weiteren Fehler, da die Hauptreihe nicht eindeutig anzulegen ist. Diesen Fehler können wir jedoch abschätzen, indem wir die Ergebnisse für beide Extremwerte der Verschiebung der Hauptreihe ausrechnen. Die so erhaltenen Messfehler sind in Klammern in Tabelle 2 angegeben.

NGC 1960 wurde kürzlich von Fachwissenschaftlern photometrisch untersucht. Sanner et al. erhielten für die Entfernung 1318(120)pc sowie für das Alter 16(+10/-5) Millionen Jahre. Im Rahmen der Fehlergrenzen sind unsere Werte von 1200(200)pc bzw. 27(9) Millionen Jahre damit verträglich [8].

5.4 Weitere Ergebnisse

Nach dem in den Kapiteln 5.1 und 5.2 für NGC 1960 und NGC 2682 beschriebenen Verfahren bestimmten wir Alter und Entfernung der übrigen von uns untersuchten Sternhaufen. Zusammen mit den korrigierten Entfernungsmodulen sind diese Ergebnisse in Tabelle 2 zusammengefasst. Abbildung 12 zeigt die zugrunde liegenden übrigen FHDs.

NGC-Nummer	$V_0 - M_V$	Entfernung (ly)	Alter (10^6 Jahre)
1528	8,9(0,3)	1990(280)	280(130)
1912	9,75(0,35)	2940(480)	243(120)
1960	10,4(0,35)	3920(640)	27(9)
2099	9,9(0,6)	3230(880)	395(270)
2264	8,9(0,65)	2050(600)	59(23)
2281	8,1(0,3)	1370(200)	400(200)
2632	6,4(0,4)	635(115)	580(320)
2682	8,85(0,4)	1960(360)	1000(240)

Tabelle 2: unsere Ergebnisse

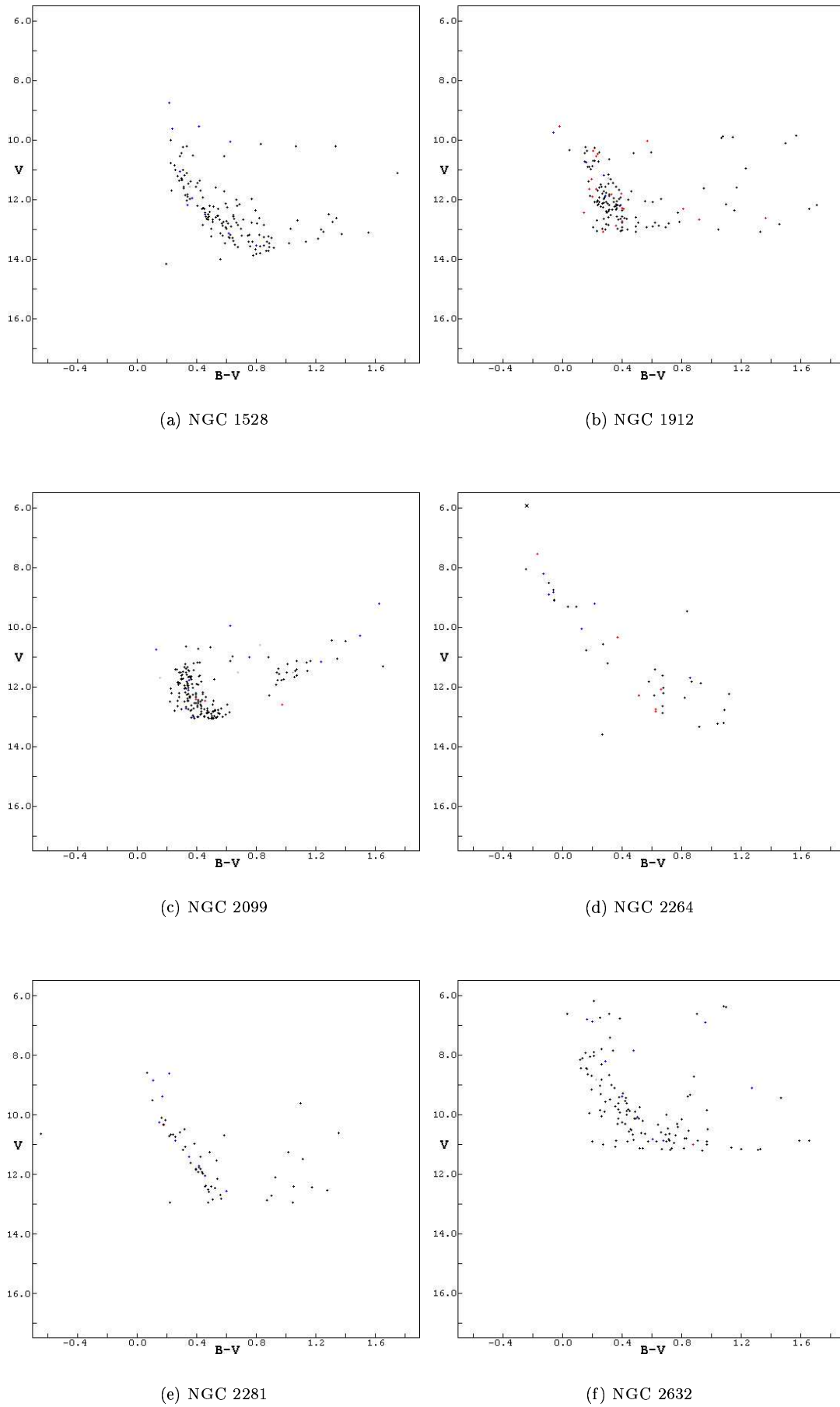


Abbildung 12: FHDs

6 Danksagung

Wir danken unsren Mitschülern und Mitschülerinnen vom Seminarfach Astrophysik für tatkräftige Mitwirkung bei der Installation von optischer und elektronischer Ausrüstung in der Betzdorfer Realschul-Sternwarte, sowie für die Unterstützung bei den nächtlichen Experimenten. Unser Dank gilt weiterhin der Schulleitung der Geschwister-Scholl-Realschule in Betzdorf, deren Sternwarte wir im Rahmen unserer Arbeit wiederbeleben durften.

Herrn Prof. Dr. Wilhelm Seggewiß und Herrn Dr. Michael Geffert von der Sternwarte der Universität Bonn sind wir zu besonderem Dank verpflichtet. Im Rahmen eines einwöchigen Praktikums im Observatorium Hoher List gaben sie uns eine Einführung in Theorie und Praxis der CCD-Photometrie. Weiterhin danken wir unserem damaligen Physik-Lehrer und Seminarfach-Leiter Peter Stinner für die Betreuung unserer Arbeit.

Mit der Finanzierung einer ST6-CCD-Kamera schuf der Förderverein des Kopernikus-Gymnasiums Wissen die technischen Voraussetzungen für unsere Experimente. Die benötigten Glasfilter wurden uns von der Firma Schott (Mainz) kostenlos überlassen und bei Optik Blaeser in Wissen in teleskoptaugliche Fassungen eingeschliffen.

Für die Kalibrierung unserer Ausrüstung nutzten wir J.-C. Mermilliod's „WEBDA-Database of Open Clusters“.

Literatur

- [1] Simmermann, H., Weigert, A.: Lexikon der Astronomie, Heidelberg, Berlin, 1999
- [2] K.s de Boer: Das Hertzsprung-Russel-Diagramm und Maß der Sterne, *Astronomie + Raumfahrt* 38 6/2001
- [3] „WEBDA-Database of Open Clusters“, obswww.unige.ch/webda
- [4] root.cern.ch
- [5] Götz, W.: Die offenen Sternhaufen unserer Galaxis, Leipzig 1989
- [6] Hagen, G. L.: An Atlas of Open Cluster Color-Magnitude-Diagramms, Toronto 1970
- [7] Zimmermann, O.: private Mitteilung
- [8] Sanner, J., Altmann, M., Geffert, M.: Photometric and kinematic studies of open star clusters, *Astronomy and Astrophysics* 357 (2000), S. 471-483
- [9] Schott Glas: Katalog Optische Filter – Glasfilter, Version 1.1.D Mainz 1998