

## **Farben-Helligkeits-Diagramme offener Sternhaufen** **Ein schulisches CCD-Fotometrie-Projekt**

Peter Stinner

Kopernikus-Gymnasium, Pirzenthalerstr. 43, 57537 Wissen(Sieg)

### **Kurzfassung**

Im Rahmen des Seminarfachs Astrophysik wurde am Kopernikus-Gymnasium in Wissen(Sieg) in den Jahren 2000 bis 2002 das Projekt „Farben-Helligkeits-Diagramme (FHDs) offener Sternhaufen“ durchgeführt. Ziele des Projekts waren die möglichst eigenständige Gewinnung und Auswertung der FHDs von acht galaktischen offenen Sternhaufen.

CCD-Bilder der Sternhaufen in B (blau) und V (visuell/grün) wurden mit der eigens erstellten Software WinStarFinder in FHDs umgesetzt. Unter Berücksichtigung von Rötung und interstellarer Extinktion konnte dann aus den FHDs auf Entfernung und Alter der Sternhaufen geschlossen werden. Die Kalibrierung der verwendeten Apparatur erfolgte anhand von Referenzsterndaten aus der WEBDA-Datenbank [1].

Das Projekt vermittelte fundierte Einblicke in grundlegende Techniken zur Gewinnung und Auswertung astronomischer und physikalischer Daten. Insbesondere wurde die überragende Bedeutung von FHD und HRD (Hertzsprung-Russell-Diagramm) für Erforschung und Beschreibung der Sternentwicklung erfahrbar gemacht. - Es wird beschrieben, wie das Projekt basierend auf unseren experimentellen Daten nachvollzogen werden kann.

### **1. Ziele des Projekts**

Mit dem im folgenden beschriebenen Seminarfach-Projekt wird demonstriert, dass mit der CCD-Fotometrie ein bedeutsames Verfahren der astrophysikalischen Wissenschaft auch im schulischen Bereich an geeigneten Fragestellungen praktiziert werden kann. Diese Technik zur Gewinnung astrophysikalischer Erkenntnisse aus CCD-Bildern ein und desselben Objekts in unterschiedlichen Spektralbereichen kam in eigenen Experimenten exemplarisch zum Einsatz bei der Erstellung von Farben-Helligkeits-Diagrammen (FHDs) von acht offenen galaktischen Sternhaufen. Aus den in der Schulsternwarte gewonnenen Aufnahmen der betrachteten Sternhaufen in B (blau) und V (visuell) extrahierte die im Rahmen des Projekts speziell erstellte Software WinStarFinder die für die Konstruktion und Auswertung der FHDs erforderlichen Daten.

Unter Berücksichtigung von Extinktion und Verfärbung des Lichts der Haufensterne durch interstellaren Staub konnte dann aus den Farben-Helligkeits-Diagrammen auf Entfernung und Alter der Sternhaufen geschlossen werden.

Unser FHD-Projekt wurde von Beginn an so geplant, dass es von interessierten Lehrerinnen und Lehrern mit astronomischen Lerngruppen nachvollzogen werden kann. Deshalb ist der folgende Text über weite Strecken als Anleitung zur Erstellung und quantitativen Auswertung von FHDs abgefasst. Die erforderlichen CCD-Bilder in B und V, die Auswerte-Software WinStarFinder und eine umfassende Anleitung stehen auf der Homepage unserer Schulsternwarte zum download zur Verfügung [2].

### **2. Vorbereitungsphase**

Im Schuljahr 2000/2001 wurden im Seminarfachunterricht die erforderlichen theoretischen Grundlagen erarbeitet: Entfernungen und Helligkeiten der Sterne, Zustandsgrößen der Sterne und Methoden ihrer Ermittlung, Zusammenhänge zwischen den Zustandsgrößen, Entwicklung der Sterne, Hertzsprung-Russell-Diagramm bzw. Farben-Helligkeits-Diagramm. Ergänzend konnte die Seminarfachgruppe im Observatorium „Hoher List“ der Bonner Universitätssternwarte praktische Beobachtungserfahrungen sammeln. Für ein einwöchiges Praktikum unter Anleitung von Prof. Dr. W. Seggewiß und Dr. M. Geffert stand das 340mm/500mm/f=1400mm – Schmidt-Spiegelteleskop mit einer ST6-CCD-Kamera für erste fotometrische Experimente zur Verfügung.

Es folgte im Sommer 2001 die Wiederbelebung der seit Jahrzehnten leer stehenden Sternwarte der Geschwister-Scholl-Realschule in Betzdorf (Koordinaten: 50°48'N; 7°53'E). Die 3m-Baader-Kuppel wurde mit dem C8-Schulteleskop auf einer GP-DX-Montierung bestückt, ein Sektor der Kuppelinnenseite erhielt einen weißen Anstrich zu einfachen Gewinnung von Flatfieldaufnahmen.

Die Auswahl der zu untersuchenden Sternhaufen erfolgte anhand der Literatur [3] einmal unter dem Aspekt einer möglichst breiten Streuung nach Entfernung und Alter. Zum anderen war zu beachten, dass der Himmel in der Sternwartenumgebung mitten in der 20.000-Einwohner-Ansammlung Betzdorf-Kirchen im Osten am wenigsten aufgehellt ist. Bei zusätzlicher Rücksichtnahme auf den laufenden Schulbetrieb verblieben nur Beobachtungsobjekte, welche in der ersten Nachthälfte in den Monaten

Dezember bis März am Osthimmel sichtbar sind. So entstand der Plan, folgende offenen Sternhaufen fotometrisch zu untersuchen: NGC 1528, NGC 1912 (M38), NGC 1960 (M36), NGC 2099 (M37), NGC 2264, NGC 2281, NGC 2632 (M44) und NGC 2682 (M67). Abb. 1 zeigt die Lage dieser Beobachtungsobjekte in der Wintermilchstraße.

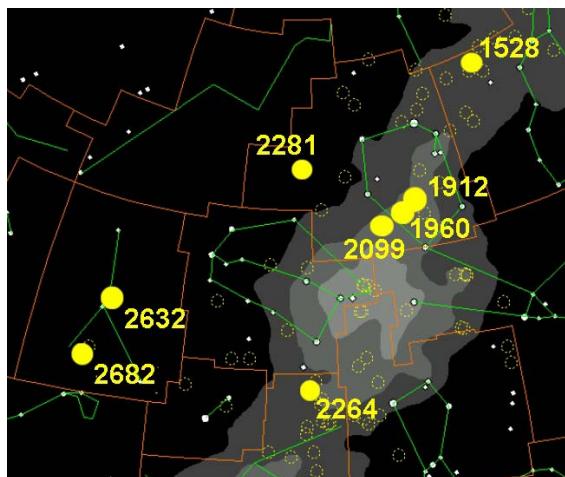


Abb. 1: Die Positionen der beobachteten offenen Sternhaufen in der Wintermilchstraße (Abb. erstellt mit GUIDE 8.0)

### 3. Instrumentarium

Für die CCD-Beobachtungen wurde die Brennweite des C8 - Teleskops mittels Telekompressor auf 900mm bei Blende  $f/D=4,5$  reduziert. Somit konnte ein Sternfeld von ca. 25arcmin Ausdehnung auf den 8,6mm x 6,5mm großen CCD-Chip der ST6-Kamera mit 375x242 Pixeln abgebildet werden. Für NGC 2632 mit einem Durchmesser von ca. 80arcmin musste die CCD-Kamera an ein 300m-Teleobjektiv angepasst werden. Die Nachführung regelte ein ST4-Autoguider an einem  $f=700\text{mm}/D=60\text{mm}$ -Refraktor als Leitrohr.

Neben der optischen Ausrüstung konnte in der Sternwartenkuppel ein Computer-Netzwerk aus fünf Rechnern installiert werden: Einer diente zur Steuerung der ST6-CCD-Aufnahme-Kamera, ein weiterer zur Kontrolle des ST4-Autoguiders, ein Sternkartenprogramm auf dem dritten war eine wichtige Hilfe beim Aufsuchen der Beobachtungsobjekte. Die weiteren Rechner ermöglichten erste quantitative Auswertungen direkt vor Ort und den Zugang zur Datenbankrecherche im Internet.

### 4. CCD – Bilder in B und V

Für die CCD-Aufnahmen in B und V standen aus Kostengründen keine Filter zur Verfügung, deren Transmissionsfunktionen den Besselschen Festlegungen des UBV-Systems [5] optimal angepasst sind. Einem Vorschlag von Heimerl [4] folgend kamen die Schott-Filter BG12 für das B-Band und VG9 für das V-Band zum Einsatz. In Verbindung mit einem Infrarotsperrfilter KG5 (CCD-Chips sind im allgemeinen im Infraroten sehr empfindlich!)

kommen deren Transmissionscharakteristiken den Funktionen des UBV-Systems einigermaßen nahe. Die Filtergläser wurden uns von der Firma Schott in Mainz kostenlos überlassen und dann vom örtlichen Optiker in 1,25-Zoll-Schraubfassungen eingeschliffen.

In Abb. 2 sind die Bessel-B- und Bessel-V-Transmissionsfunktionen (erstellt nach [6]) mit denen unserer Filterkombinationen BG12 + KG5 bzw. VG9 + KG5 [7] verglichen.

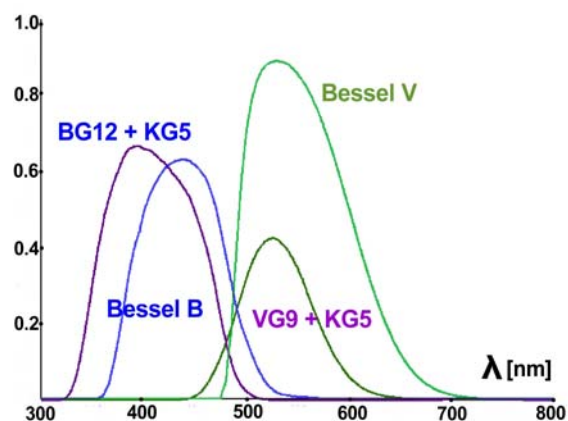


Abb.2: Die Filtercharakteristiken im Besselschen (U)BV-System verglichen mit den Transmissionsfunktionen unserer B- und V-Filterkombinationen.

Eine Filterschublade im Strahlengang des C8-Teleskops ermöglichte einen problemlosen Filterwechsel. Einzig für Aufnahmen von NGC 2632 war für jeden Filterwechsel die Aufnahmeoptik zu zerlegen: Der Brennpunkt des vorhandenen 300mm-Teleobjektivs lag zu nahe am Objektivtubus, um noch eine Filterschublade zwischen Objektiv und CCD-Chip einbauen zu können.

Von jedem Sternhaufen wurden zuerst kurz belichtete Bilder in B und V angefertigt. Die Belichtungszeiten (ca. 30s bis 2min) wurden so gewählt, dass die von den hellsten Sternen belichteten Pixel auf dem CCD-Chip noch nicht in Sättigung gingen. Die sich anschließenden lang belichteten Aufnahmen (Belichtungszeiten zwischen 5min und 20min) erreichten dann Sterne bis ca. 15mag. Zusätzliche Bilder im Roten (Filterkombination: RG610 + KG5) erlaubten dann später in Kombination mit den B- und V-Aufnahmen die Erstellung von RGB-Farbbildern. Selbstverständlich wurden alle Bilder korrigiert bezüglich Dunkelstrom und Flatfield. Beispielhaft zeigt Abb. 3 neben einem RGB-Komposit von NGC 2281 die zugehörigen B- und V-Bilder. Die erreichte Grenzelligkeit liegt hier geringfügig über 14mag. Die Darstellung der B- und V-Bilder als Negative erlaubt einen recht einfachen Vergleich von Sternhelligkeiten. Wie man im RGB-Komposit unschwer sieht, handelt es sich bei den mit Boden-Nummern [8] gekennzeichneten Sternen um rötliche Objekte, die im blauen CCD-Bild deutlich schwächer erscheinen als im grünen. Allein die Betrachtung unterschiedlich

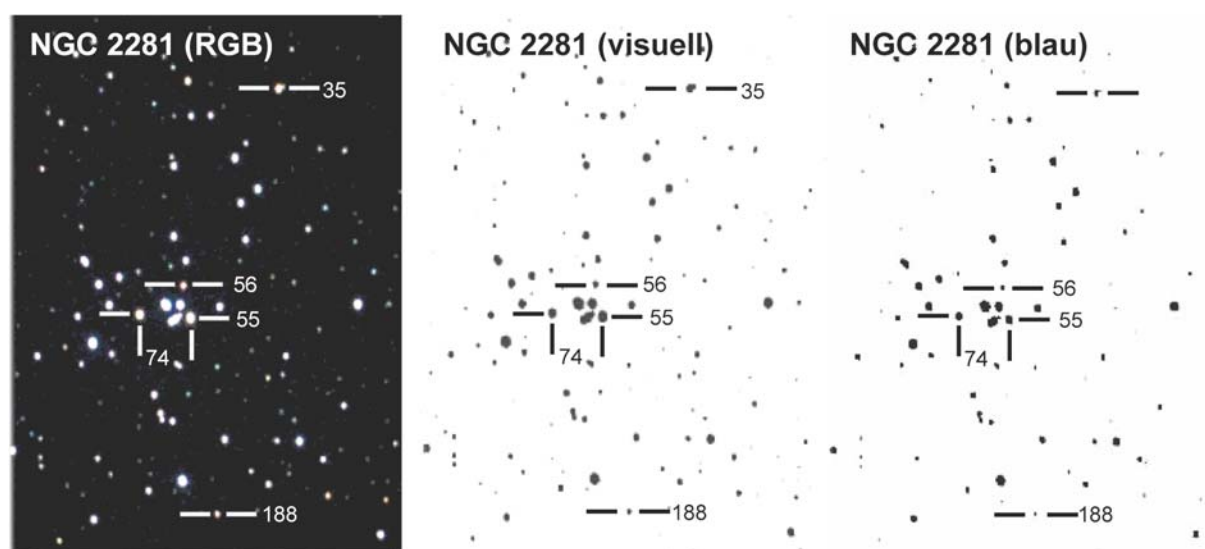


Abb. 3: RGB-Komposit sowie B- und V-Aufnahmen des offenen Sternhaufens NGC 2281. Die markierten roten Sterne mit Farbindices  $B-V \approx 1$  zeigen im Blauen deutlich geringere Helligkeiten als im Visuellen.

gefilterter CCD-Bilder lässt demnach erste, wenn auch noch recht grobe Aussagen über den Spektraltyp mancher Sterne zu. Zur Bildqualität sei angemerkt, dass sich im Strahlengang des C8-Teleskops mit Telekompressor und Farbfiltern (mindestens) 12 Glas-Luft-Flächen befanden, von denen die vier Filteroberflächen nicht einmal vergütet waren. Da zudem der Strahlengang im Filterbereich nicht parallel war, sind die Bilder zumindest der hellsten Sterne auf dem CCD-Chip recht ausgedehnt und manchmal überlappend. Die Auswerte-Software WinStarFinder hatte also diesem Umstand Rechnung zu tragen, um entsprechende Verfälschungen in den Farben-Helligkeits-Diagrammen zu vermeiden (s. dazu die Erläuterungen zu Abb. 4).

### 5. Kalibrierung und Auswertung mit der Software WinStarFinder

Die im Rahmen des beschriebenen Projekts erstellte Windows-Software WinStarFinder (Autor: Fabian Bieler, der.fabe@gmx.net) erlaubt es, alle Schritte vom Einlesen der B- und V-Bilder bis hin zur Darstellung der FHDs als Bitmap-Dateien rechnergestützt auszuführen. Die meisten dieser Schritte können je nach Wunsch des Lehrenden bzw. der Lerngruppe aber auch „mit Papier und Bleistift“ ausgeführt werden.

Zunächst lokalisiert das Programm sämtliche Sterne in beiden Bildern und ordnet sie einander zu. Dann berechnet WinStarFinder für jeden Stern vorläufige

B- und V-Helligkeiten  $N_B$  und  $N_V$ . Diese sind lineare Maße für die Zahl der freigesetzten Elektronen in sämtlichen von einem Stern belichteten Pixeln. Bei der 16bit-ST6-Kamera können  $N_B$  bzw.  $N_V$  Werte von 0 bis 65535 annehmen. Eine Einheit bei  $N_B$  oder  $N_V$  entspricht ca. 7 Elektronen. Die wegen Unzulänglichkeiten der Aufnahmeoptik (s.o.) mitunter recht ausgedehnten Sternbilder auf dem CCD-Chip führen dabei solange nicht zu Fehlern, wie sich Bilder benachbarter Sterne nicht überlappen. Im letzteren Fall kann WinStarFinder solche Sterne von der quantitativen Auswertung ausschließen (siehe dazu Abb. 4).

Zu der sich anschließenden Kalibrierung wurden zunächst für einige katalogisierte Sterne [1] die bekannten B- und V-Helligkeiten eingegeben. WinStarFinder ermittelte dann Eichfunktionen (vgl. Abb. 5) zur Berechnung der B- und V-Magnituden und der Farbindices B-V aller Sterne aus den vorläufigen Helligkeiten  $N_B$  und  $N_V$ . Da B und V logarithmische Maße für die Sternhelligkeiten im Blauen bzw. Grünen sind, steht die Differenz B-V für den Quotient dieser Helligkeiten. Der Farbindex B-V beschreibt also die „Farbe“ eines Sterns, wobei B-V von blauen zu roten Sternen hin zunimmt [9]. Im Farben-Helligkeits-Diagramm wird dann jedem Stern ein Punkt zugewiesen, dessen Koordinaten B-V und V sind. Die meisten FHDs wurden im Bereich hellerer Sterne aus den kurzbelichteten CCD-Bildern, für weniger helle Sterne aus den langbelichteten Aufnahmen gewonnen. Abb. 6 zeigt beispielhaft ein solches FHD für NGC 1960.

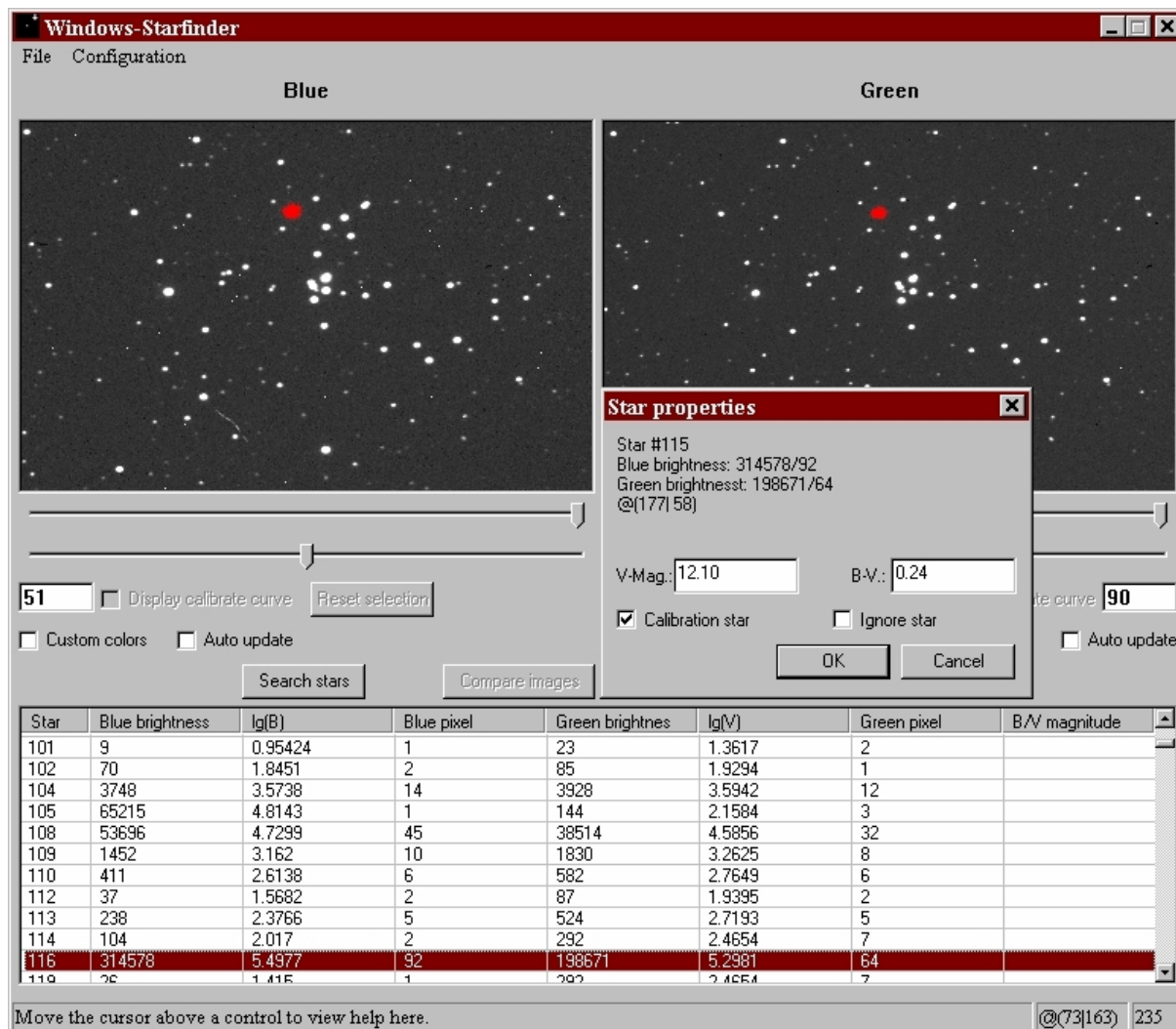


Abb. 4: Screenshot von WinStarFinder. Die B- und V-Bilder sind eingelesen. Ein Stern ist markiert. Seine vorläufigen B- und V-Helligkeiten und deren Logarithmen erscheinen in der hervorgehobenen Zeile. Soll der Stern als Eichstern Verwendung finden, dann werden in der Dialogbox Katalogwerte aus [1] von visueller Helligkeit V und Farbindex B-V eingegeben. Handelt es sich beim markierten Objekt um ein nichtstellares Objekt oder um überlappende Bilder von mehreren Sternen, kann über „ignore star“ der Ausschluss von der weiteren Auswertung erfolgen.

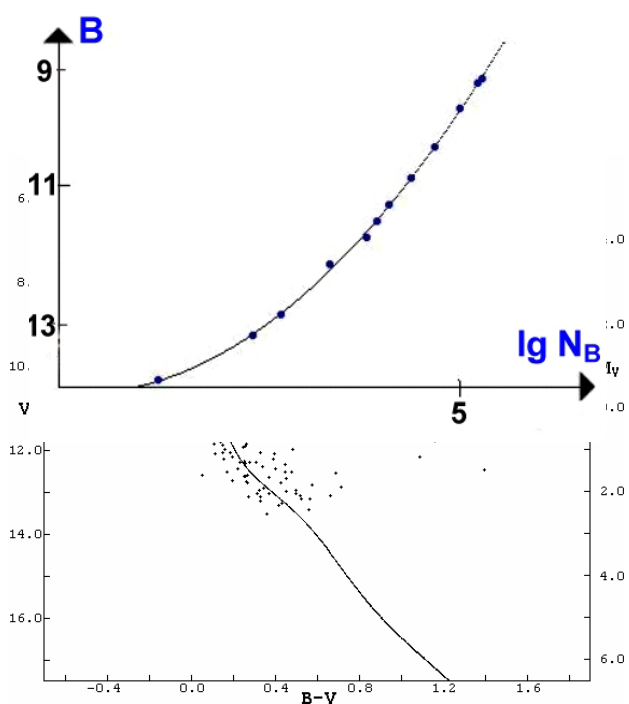


Abb. 5: Von WinStarFinder berechnete Kalibrierungsfunktion für eine der B-Aufnahmen zu NGC 2281. Die Abweichung von der zu erwartenden Linearität ist darin begründet, dass nur  $N_B$ -Werte über einem vorzugebenden Untergrund berücksichtigt werden. Die vorläufigen Helligkeiten  $N_B$  schwächerer Sterne werden dabei überproportional verringert.

Abb. 6: Farben-Helligkeits-Diagramm von NGC 1960 (M36). Jeder Punkt im Diagramm mit den Achsen B-V und V repräsentiert einen Stern. V und B-V stehen für die gemessenen, unkorrigierten Werte von scheinbarer visueller Helligkeit V und Farbindex B-V. Die durchgezogene Linie stellt die ZAMS (Zero Age Main Sequence) nach [10] dar mit ihren Koordinatenachsen  $(B-V)_0$  (bezüglich der Rötung korrigierter Farbindex) und  $M_V$  (absolute visuelle Helligkeit).

## 6. Datenkorrektur bzgl. Rötung und interstellarer Extinktion

Die damit vorliegenden FHDs basieren auf den scheinbaren Blau-Helligkeiten B und den scheinbaren visuellen Helligkeiten V, wie sie auf der Erde wahrgenommen werden. Bei einer quantitativen Auswertung dieser FHDs ist zu beachten, dass das Sternlicht auf dem Weg durch die Galaxis sowohl eine Farbänderung (Rötung) als auch eine Abschwächung (Extinktion) erfährt. Ursache ist in beiden Fällen die Streuung des Lichts an interstellaren Staubpartikeln. Das kurzwellige, blaue Licht wird bevorzugt aus dem Lichtweg herausgestreut, wodurch das zur Erde gelangende Licht einen Rotüberschuss erhält. Den diesbezüglich um den sog. Farbexzess  $E_{(B-V)}$  korrigierten Farbindex  $(B-V)_0$  erhält man aus dem unkorrigierten Wert gemäß:

$$(B-V)_0 = (B-V) - E_{(B-V)} \quad [11]$$

Lichtstreuung am interstellaren Staub bedingt auch die Extinktion. Die Werte V der beobachteten scheinbaren visuellen Helligkeiten in den FHDs sind also um den Betrag  $A_V$  zu groß.  $A_V$  und  $E_{(B-V)}$  stehen wegen der gemeinsamen Ursache für Rötung und Extinktion in einem einfachen Zusammenhang:  $A_V \approx 3 \cdot E_{(B-V)}$ . Für die bezüglich der Extinktion korrigierten scheinbaren visuellen Helligkeit  $V_0$  gilt damit:

$$V_0 = V - A_V \approx V - 3 \cdot E_{(B-V)} \quad [11]$$

Alle folgenden Berechnungen sind mit den korrigierten Werten  $V_0$  und  $(B-V)_0$  durchzuführen. Zahlenwerte aus [10] für die  $E_{(B-V)}$  der untersuchten Objekte finden sich in Tabelle 1.

NGC – Nummer	Farbexzess $E_{(B-V)}$
1528	0.29
1912	0.27
1960	0.24
2099	0.31
2264	0.08
2281	0.10
2632	0.00
2682	0.06

Sternhaufen (NGC-)	Entfernungs-Modul ( $V_0 - M_V$ )	Entfernung (Lichtjahre)	Alter (Mio. Jahre)
-----------------------	--------------------------------------	----------------------------	-----------------------

Tabelle 1: Farbexzesse der untersuchten Sternhaufen [10]

## 7. Entfernungsbestimmung

In den FHDs offener Haufen liegt der überwiegende Teil der Sterne auf einer recht ausgeprägten Linie, der sogenannten Hauptreihe (vgl. auch Abb. 6). Diese Sterne befinden sich (noch) im Stadium des Wasserstoffbrennens. Für solche Hauptreihensterne gibt es einen stetigen Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur bzw. Farbindex und absoluter visueller Helligkeit  $M_V$ . Dieser Zusammenhang wird durch die durchgezogene Kurve mit den Koordinaten  $(B-V)_0$  und  $M_V$  in Bild 6 beschrieben [10]. Nun bezieht sich die absolute Helligkeit  $M_V$  auf Sterne in der Entfernung 10pc. Für weiter entfernte Ansammlungen von Sternen, deren gegenseitiger Abstand verglichen mit der Entfernung zur Erde sehr klein ist, verschiebt sich diese Hauptreihe zu geringeren Helligkeiten bzw. zu größeren scheinbaren visuellen V-Magnituden. Diese vertikale Verschiebung der Hauptreihe ist der „Entfernungsmodul“  $V - M_V$ , welcher sich nach Abb. 6 für NGC 1960 ergibt zu  $V - M_V = 11,1(0,3)$ . Korrigiert man V um die interstellare Extinktion  $A_V \approx 3 \cdot 0,24 = 0,72 \approx 0,7$  (vgl. Tabelle 1), so erhält man als korrigierten Entfernungsmodul

$$V_0 - M_V = 10,4(0,35).$$

Die Gleichung

$$V_0 - M_V = 5 \cdot \log d - 5$$

liefert dann die Entfernung d des Sternhaufens in pc [11]. Aus dem korrigierten Entfernungsmodul folgt dann für NGC 1960 die Entfernung

$$d = 1220(200)\text{pc} = 3980(640)\text{Lichtjahre}.$$

Dieser Wert stimmt innerhalb der Fehlergrenzen mit dem kürzlich von Sanner et al. [12] publizierten Wert  $d = 1318(120)\text{pc}$  überein.

Gleichermaßen lassen sich die Entfernungen für die übrigen beobachteten Sternhaufen bestimmen. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse: Man erhält Werte zwischen 635(115)ly bei NGC2632 und den erwähnten 3980(640)ly bei NGC 1960. Die Messfehler betragen mitunter jedoch bis zu 30%, da die Hauptreihen nicht in allen FHDs so ausgeprägt sind wie bei NGC 1960.

Bei der „Anpassung“ der bei [10] als Schablone vorliegenden Hauptreihenfunktion an die Sternverteilung im experimentell gewonnenen FHD ist die Verschiebung der  $(B-V)_0$ -Achse um den Farbexzess  $E_{(B-V)}$  nach links zu beachten: Für NGC 1960 ist diese Verschiebung  $E_{(B-V)}=0,24$  (vgl. Tabelle 1).

Nummer)			
1528	8.9(0.3)	1990(280)	280(130)
1912	9.75(0.35)	2940(480)	243(120)
1960	10.4(0.35)	3980(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: Aus den FHDs abgeleitete Werte für Entfernung und Alter der Sternhaufen

### 8. Das Alter der Sternhaufen

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 Verweilzeiten auf der Hauptreihe kleiner als das Alter des Sternhaufens sind, 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 der Sterne am oberen Ende der Hauptreihe mit  $M_V^*$ , dann gilt für das Alter  $T$  dieser Sterne und damit des Sternhaufens [13]:

$$T = (2,5 \cdot 10^8 \text{ yr}) \cdot \exp(M_V^*/0,99 \text{ mag})$$

für  $M_V^* < 1 \text{ mag}$ , bzw.

$$T = (3,2 \cdot 10^8 \text{ yr}) \cdot \exp(M_V^*/1,60 \text{ mag})$$

für  $M_V^* > 0 \text{ mag}$

Grundlagen für das Zustandekommen dieser beiden Gleichungen sind [13]:

Die Verweilzeit  $T$  eines Sterns der Masse  $M$  und der Leuchtkraft  $L$  auf der FHD-Hauptreihe ist:

$$T = (7,1 \cdot 10^9 \text{ yr}) \cdot [(M/M_\odot) : (L/L_\odot)]$$

Die Masse – Leuchtkraft – Beziehung:

$$(M/M_\odot) = (L/L_\odot)^{1/3}$$

Der Zusammenhang zwischen Leuchtkraft  $L$  und absoluter bolometrischer Helligkeit  $M_{\text{bol}}$ :

$$\log(L/L_\odot) = 1,92 - M_{\text{bol}}/2,5 \text{ mag}$$

$M_{\text{bol}}$  ist als Funktion vom  $M_V$  z.B. bei [11] tabelliert.

Abb. 6 liefert für NGC 1960 mit  $M_V^* \approx 8,85 - A_V - (V_0 - M_V) \approx -2,27(0,35)$  das Alter 27(9) Mio. Jahre. Auch hier ergibt sich innerhalb der Fehlergrenzen Übereinstimmung mit  $T = 16(+10/-5)$  Mio. Jahre von Sanner et al. [12].

Bei den übrigen beobachteten Sternhaufen lagen die Alterswerte zwischen 59(23) Mio. Jahre bei NGC 2264 und 1000(240) Mio. Jahre bei NGC 2682.

### 9. Vergleiche einiger FHDs

Die Abbildungen 7 und 8 zeigen FHDs der von uns beobachteten Sternhaufen mit den beiden extremen Alterswerten: Zum vergleichsweise jungen NGC 1960 gehört eine recht ausgeprägte, kompakte Hauptreihe. Beim schon eine Milliarde Jahre alten Haufen NGC 2682 ist die Hauptreihe im Bereich hellerer Sterne bereits weitgehend aufgelöst.

Die FHDs der etwa gleich alten Sternhaufen NGC 2281 und NGC 2099 sind den Abbildungen 9 und 10 zu entnehmen. Die scheinbare V-Helligkeit der hellsten Hauptreihensterne im näheren NGC 2281 übertrifft den entsprechenden Wert vom entfernteren NGC 2099 um mehr als 2 mag.

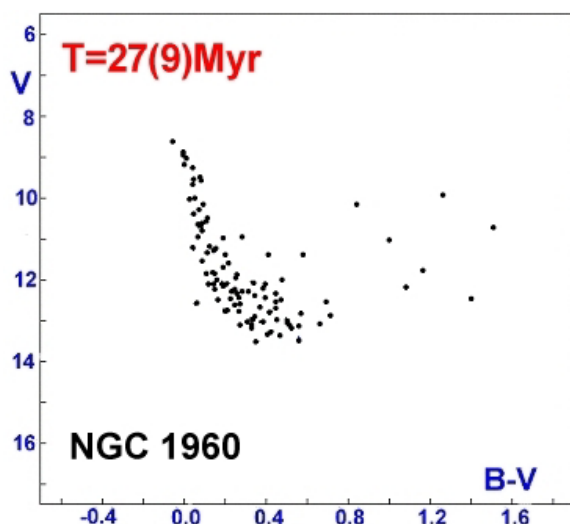


Abb. 7: FHD des sehr jungen offenen Sternhaufens NGC 1960

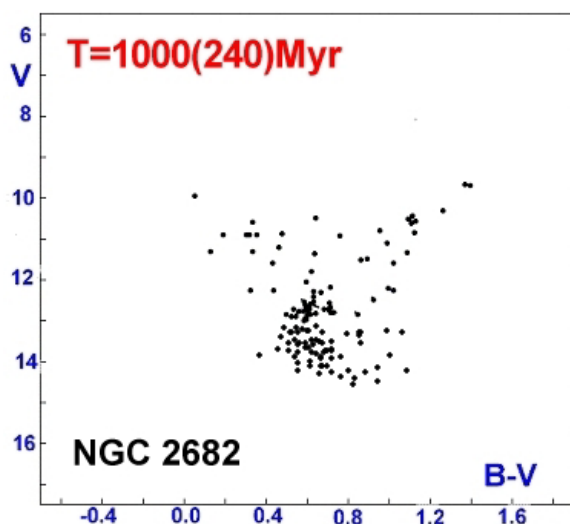


Abb. 8: FHD des schon eine Milliarde alten Sternhaufens NGC 2682

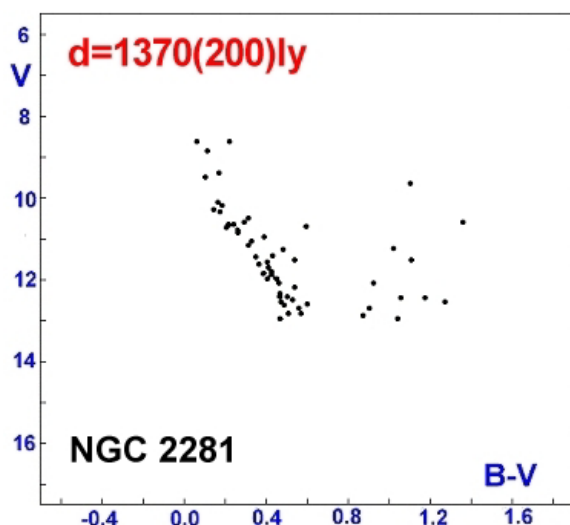


Abb. 9: FHD von NGC 2281 in der Entfernung 1370(200) Lichtjahre

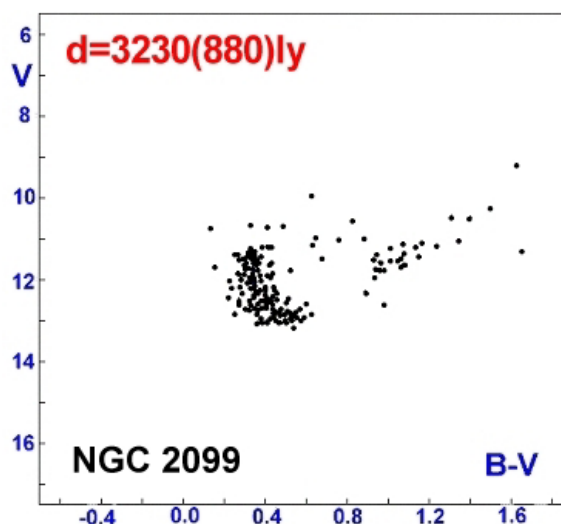


Abb. 10: FHD von NGC 2099 in der Entfernung 3230(880) Lichtjahre

## 10. Schluss

Mit unserem Projekt konnten wir zeigen, dass Fotometrie-Experimente mit schulischen Mitteln durchaus möglich sind, und dass man zu Daten gelangt, welche im Rahmen der Messfehler mit aktuellen fachwissenschaftlichen Werten verträglich sind.

Es bleiben noch zwei Umstände zu erwähnen, die die Genauigkeit unserer Ergebnisse beeinträchtigt haben dürften: Zum einen enthalten unsere FHDs noch sogenannte Feldsterne. Diese sind zwar auf der Sichtlinien zum betrachteten Sternhaufen positioniert, sie sind jedoch nicht Mitglieder des Sternhaufens. Zum anderen differieren die Transmissionskurven unserer Farbfilter von denen des UBV-Systems (s. Abb. 2). Die daraus resultierenden Unsicherheiten bei den gemessenen B- und V-Magnituden sind dem Betrag nach nicht leicht abschätzbar.

## 11. Ergänzende Anmerkungen zum Nachvollziehen des Projekts

Auf der Homepage unserer Seminarfachgruppe [1] sind alle Medien verfügbar, die für ein Nachvollziehen des FHD-Projekts erforderlich sind. Alle erforderlichen CCD-Bilder liegen flatfield-korrigiert vor. Die Bildaufnahme- und Bildbearbeitungssoftware CCDOPS des Kameraherstellers SBIG ist frei zugänglich und ebenfalls vorhanden, genauso wie die jeweils aktuelle Version von WinStarFinder. Zu WinStarFinder gibt es eine ausführliche Anleitung, die den Anwender vom Einlesen der B- und V-Bilder über die Eingabe von Eichsterndaten zur Kalibrierung bis zum fertigen FHD führt. Bei entsprechenden Wünschen des Lehrenden bzw. der Lerngruppe können alle Schritte nach erfolgter Ermittlung der vorläufigen Helligkeiten  $N_B$  und  $N_V$  (s.o) auch ohne PC, d.h. „per Hand“ mit Papier und Bleistift ausgeführt werden. Entfernungen und Alter der Sternhaufen bestimmt man dann nach dem oben für NGC 1960

beschriebenen Vorgehen. Die zur Entfernungsbestimmung nötige Schablone der ZAMS liegt ebenfalls zum download bereit.

Aktuell kann die Auswertesoftware WinStarFinder nur CCD-Bilder im unkomprimierten ST6-Format von SBIG einlesen und verarbeiten. Eine neue Version der Software, die auch Bilder im weiter verbreiteten FITS-Format handhaben kann, ist in Vorbereitung.

Weitere Vorschläge zur Auswertung von FHDs gibt Zimmermann bei [14], wo auf die Gesamtmasse eines Sternhaufens und seine Stabilität bezüglich Gezeitenkräften eingegangen wird, die durch die Rotation des Haufens um das Milchstraßenzentrum verursacht werden.

*Das beschriebene Projekt war einer der deutschen Beiträge zum „Physics on stage 2“ – Festival im April 2002 in Noordwijk (Niederlande) [15].*

*Wir danken Herrn Prof. Dr. Wilhelm Seggewiß und Herrn Dr. Michael Geffert (Sternwarte der Universität Bonn). Sie ermöglichten unserer Seminarfachgruppe ein einwöchiges Beobachtungspraktikum unter ihrer Anleitung im Observatorium Hoher List. Unser Dank gilt weiter der Schulleitung der Geschwister-Scholl-Realschule in Betzdorf (Sieg), deren Sternwarte wir im Rahmen unseres FHD - Projekts wiederbeleben durften. Mit der Finanzierung einer ST6-CCD-Kamera schuf uns der Förderverein des Kopernikus-Gymnasiums in Wissen(Sieg) die technischen Voraussetzungen für CCD-Fotometrie-Experimente.*

## 12. Literatur

- [1] Mermilliod, J.-C.: WEBDA Database of Open Clusters, [obswww.unige.ch/webda](http://obswww.unige.ch/webda)
- [2] [www.physiksammlung.de/sternwarte](http://www.physiksammlung.de/sternwarte)
- [3] Alter, G., Ruprecht, J., Vanysek, J.: Catalogue of Star Clusters and Associations, Budapest 1970
- [4] Heimerl, F.: Bestimmung eines Farben-Helligkeits-Diagramms in der Schule, Sterne und Weltraum 39, (5/2000), S. 345–349
- [5] Unsöld, A., Baschek, B.: Der neue Kosmos, Berlin, Heidelberg 1999
- [6] [www.astro.uni-bonn.de/~ccd/wwfpp/FILTER.HTM](http://www.astro.uni-bonn.de/~ccd/wwfpp/FILTER.HTM)
- [7] Schott Glas: Katalog Optische Filter Glasfilter, Version 1.1.D, Mainz 1998
- [8] Boden, E.: Uppsala Ann. 3 (1951)
- [9] de Boer, K.S.: Das Hertzsprung-Russell-Diagramm und das Maß der Sterne. In: Astronomie + Raumfahrt im Unterricht 38(6/2001), S. 18-22
- [10] Hagen, G.L.: An Atlas of Open Cluster Colour Magnitude Diagrams, Toronto 1970
- [11] Götz, W.: Die offenen Sternhaufen unserer Galaxis, Leipzig 1989
- [12] Sanner, J., Altmann, M., Brunzendorf, J., Geffert, M.: Photometric and kinematic studies of open star clusters, Astronomy and Astrophysics 357 (2000), S. 471–483
- [13] Zimmermann, O.: private Mitteilung
- [14] Zimmermann, O.: Der galaktische Sternhaufen NGC 7789. In: Astronomie + Raumfahrt im Unterricht 38 (6/2001), S. 44–45
- [15] <http://opal.physik.uni-bonn.de/~mkobel/pos/welcome.htm>