



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Die Untersuchung des Böhm-Vitense-Gaps in offenen Sternhaufen

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Verfasser:	Jürgen Öhlinger
Matrikel-Nummer:	9909430
Studienkennzahl (lt. Studienblatt):	A413
Studienrichtung (lt. Studienblatt):	Astronomie
Betreuer:	Ao. Univ. Prof. Dr. Dipl.-Ing. Werner W. Weiss

Wien, am 10. November 2009

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Energietransportmechanismen	7
2.1	Strahlungstransport	7
2.2	Konvektion	10
2.2.1	Die <i>mixing length theory</i>	11
3	Der Böhm-Vitense Gap	15
3.1	Probleme	16
4	Tools zur Analyse der Daten	19
4.1	bvgapneu.pro	19
4.1.1	Programmcode: bvgapneu.pro	21
4.2	herror.pro	35
4.2.1	Programmcode: herror.pro	36
5	Datenauswertung	41
5.1	NGC 457	43
5.2	NGC 581	45
5.3	NGC 654	47
5.4	NGC 2421	49
5.5	NGC 3293	51

5.6	NGC 3766	53
5.7	NGC 4755	55
5.8	NGC 7790	57
6	Zusammenfassung	59
	Literaturverzeichnis	61
	Anhang	65

Kapitel 1

Einleitung

In Zwei-Farben-Diagrammen von Hauptreihensterne treten im Bereich der A- und F-Sterne Unregelmäßigkeiten in der Sternverteilung auf. In bestimmten Farbbereichen finden sich weniger Sterne als in den benachbarten Regionen. Diese Unregelmäßigkeiten wurden das erste Mal von Böhm-Vitense (1970) beschrieben und seitdem als *Böhm-Vitense-Gap* bezeichnet. Da er vor allem im Farbbereich von $(B - V)_0 \sim 0.25$ mag auftritt, wird er mit dem Einsetzen der Konvektion als wesentlicher Temperaturtransportprozess in Verbindung gebracht.

Zwei Ursachen können dafür verantwortlich sein: Konvektion verursacht aufgrund kühlerer Temperaturen in den tieferen Schichten des Sternes eine Verschiebung des Farbindexes zu röteren Werte im Frequenzbereich der U- und B-Bandes (Böhm-Vitense, 1970). Das betrifft somit auch den Farbindex $B - V$. Auch von Konvektion erzeugte Granulation führt zu einer Rötung des $B - V$ -Wertes. (Nelson, 1980; Böhm-Vitense, 1982).

Untersuchungen von mehreren offenen Sternhaufen brachten jedoch bisher kein eindeutiges Bild von Böhm-Vitense-Gaps. In einer Arbeit von Böhm-Vitense & Canterna (1974) wurden fünf Sternhaufen untersucht und nur in zwei Böhm-Vitense-Gaps gefunden. Rachford & Canterna (2000) untersuchten insgesamt

neun Sternhaufen, in sechs konnten Lücken gefunden werden, allerdings waren die $B - V$ -Werte dieser Lücken um 0.35 mag und somit zu rot, als mit dem Einsetzen der Konvektion in Verbindung zu bringen.

D’Antona et al. (2002) simulierten die Hyaden anhand von Sternmodellen, in denen Konvektion sowohl in der Sternatmosphäre als auch im Sterninneren behandelt wurde. Sie verwendeten dazu ein adaptiertes *full spectrum of turbulence*-Modell (FST) und ein erweitertes *mixing length theory*-Modell (MLT). Dabei trat in den FST Modellatmosphären eine Lücke bei $B - V \sim 0.38$ mag hervor, die MLT-Modelle zeigten keine Lücken. Auch diese Lücke ist zu rot, um vom Einsetzen der Konvektion verursacht zu sein.

In dieser Arbeit werden nun hochaufgelöste, photometrische Daten von acht Sternhaufen untersucht und $B - V$ -Positionen von etwaigen Lücken ermittelt, um Aufschluss zu geben, ob Böhm-Vitense-Gaps existieren oder ob diese Lücken doch nicht mit dem Einsetzen von Konvektion in Verbindung stehen.

Kapitel 2

Energietransportmechanismen

Sterne strahlen eine Unmenge an Energie von deren Oberfläche ab. Die Quellen dieser Energie befinden sich jedoch nicht an der Sternoberfläche sondern in den heißen Kernregionen. Um die Energie an die Oberfläche zu transportieren, bedarf es eines effizienten Strahlungstransportmechanismus. Je nach physikalischen Gegebenheiten im Stern kann dieser Mechanismus in Form von Strahlung, Wärmeleitung oder Konvektion auftreten. Da Wärmeleitung in Sternen nur eine geringe Bedeutung haben, werden im Folgenden nur Strahlungstransport und Konvektion beschrieben.

2.1 Strahlungstransport

Um Energieträger wie Photonen, Atome, Elektrone, usw. zwischen heißen und kühleren Regionen auszutauschen bedarf es vor allem zwei wesentlicher Größen: der mittleren freien Weglänge, die ein Ladungsträger zurücklegt, um absorbiert zu werden, und eines Temperaturgradienten, der niemals verschwinden darf.

Die freie Weglänge kann grob abgeschätzt werden mit:

$$\ell_{ph} = \frac{1}{\kappa \varrho},$$

wobei κ der Absorptionskoeffizient gemittelt über die Frequenz ist. Betrachtet man die freie Weglänge mit für die Sonne typischen Werten, erhält man eine freie Weglänge von

$$\ell_{ph} \approx 2 \text{ cm} .$$

Einen typischen Wert des Temperaturgradienten erhält man, in dem man die Temperatur im Zentrum des Sterns ($T_c \approx 10^7 \text{ K}$) und dessen Oberfläche ($T_0 \approx 10^4 \text{ K}$) mittelt (Kippenhahn & Weigert, 1993, S. 27):

$$\frac{\Delta T}{\Delta r} \approx \frac{T_c - T_0}{R_\odot} \approx 1.4 \times 10^{-4} \text{ K cm}^{-1} .$$

Das Strahlungsfeld im Inneren eines Sternes entspringt also räumlich kleinen, isothermen Bereichen. Der Temperaturunterschied bewegt sich in einer Größenordnung von $\Delta T = \ell_{ph}(dT/dr) \approx 3 \times 10^{-4} \text{ K}$. Berücksichtigt man eine Strahlungsenergiedichte von $u \sim T^4$, erhält man einen Wert der Anisotropie in diesen Bereichen (bei $T = 10^7 \text{ K}$) von $4\Delta T/T \sim 10^{-10}$. Obwohl also im Sterninneren nahezu ein thermisches Gleichgewicht herrscht, reicht diese kleine Anisotropie aus, um für die riesige Leuchtkraft des Sternes verantwortlich zu sein. Der Grund dafür ist der nie versiegende Strahlungsfluss. Es wird ständig mehr Strahlung, die vom heißeren, tiefer im Stern liegenden Material emittiert wird, nach aussen abgegeben, als vom kühleren, höherliegenden Material nach innen zurückgestrahlt wird.

Die freie Weglänge der Energieträger (wie z.B. Photonen) ist sehr klein verglichen mit dem Radius des Sternes. Daher kann der Strahlungstransport als

Diffusionsprozess beschreiben werden.

Der Fluss ist gegeben durch

$$j = -D\nabla n,$$

Die Energiedichte des Strahlungsfeldes

$$u = aT^4$$

ersetzt n , um den Fluss für den Strahlungstransport F zu erhalten. a ist die Strahlungsdichte und hat den Wert

$$a = 7.57 \cdot 10^{-16} \frac{J}{m^3 K^4}.$$

D ist der Diffusionskoeffizient,

$$D = \frac{1}{3}v\ell_p.$$

Die Variable v bezeichnet die durchschnittliche Geschwindigkeit der Teilchen, ℓ_p die mittlere freie Weglänge der Teilchen. Im Stern wird v mit der Lichtgeschwindigkeit c und ℓ_p mit ℓ_{ph} für Photonen ersetzt.

Der Faktor $1/3$ kommt daher, dass über die drei Raumrichtungen gemittelt wird. Um bei der Berechnung die Frequenzabhängigkeit berücksichtigen zu können, wird das *Rosseland-Mittel* verwendet: Man mittelt über alle Frequenzen und gewichtet mit der Planckfunktion:

$$\ell_{ph} = \frac{\int_0^\infty \ell_p u(\nu, T) d\nu}{\int_0^\infty u(\nu, T) d\nu} = \frac{\int_0^\infty \frac{1}{\kappa_\nu \rho} u(\nu, T) d\nu}{\int_0^\infty u(\nu, T) d\nu} = \frac{1}{\kappa \rho}.$$

Somit erhält man den Diffusionsfluss:

$$F = -\frac{4ac}{3} \frac{T^3}{\kappa\rho} \frac{dT}{dr}.$$

Nachdem man F mit der Leuchtkraft $l = 4\pi r^2 F$ ersetzt hat und es durch

$$\frac{dr}{dm} = \frac{1}{4\pi r^2 \rho}$$

in die Lagrange'sche Form gebracht hat erhält man die Gleichung für den Strahlungstransport:

$$\frac{dT}{dm} = -\frac{3}{64\pi^2 ac} \frac{\kappa l}{r^4 T^3}.$$

Sobald man sich jedoch der Sternoberfläche nähert, wird diese Beschreibung ungültig. Der Grund ist, dass mit abnehmender Dichte die freie Weglänge der Photonen vergleichbar mit der verbleibenden Entfernung zur Oberfläche und schließlich sogar größer wird.

2.2 Konvektion

Die *mixing length theory (MLT)* ist die am meisten angewandte Methode um den Prozess der Konvektion in Sternen zu beschreiben, da sie relativ einfach Konvektion an beliebigen Orten im Stern beschreiben kann.

Folgende Grundidee steht im Zentrum dieser Theorie (Kippenhahn & Weigert, 1993): Das stellare Fluid besteht aus Paketen, die zwischen heißeren Bereichen und kühleren Regionen im Stern ausgetauscht werden können. Diese Pakete können demnach Wärme durch das Fluid transportieren. Erzeugt werden sie durch nicht näher definierte Instabilitäten, sie selbst unterscheiden sich jedoch nicht wirklich von ihrer Umgebung. Sie legen, durch Auftriebseffekte, eine gewisse

Strecke ℓ , genannt *mixing length* im Stern zurück, dann lösen sie sich auf und geben die Wärme in die Umgebung ab. Während des Aufstiegs können die sie Wärme in Form von Strahlung in die Umgebung abgeben. Auch Pakete aus kühleren Regionen legen eine Strecke ℓ zurück. Sie sinken in heißere Regionen und lösen sich ebenfalls auf. Die Nettowärme dieses Prozesses ist der Betrag, der Richtung Sternoberfläche transportiert wird. Der Prozess ist abhängig unter anderem von der Rate, wie schnell die Pakete erzeugt werden, der Geschwindigkeit mit der die Pakete im Stern aufsteigen, ℓ .

2.2.1 Die *mixing length theory*

Materie-Elemente (Pakete) können durch Störungen (z. B. einer Fluktuation) angeregt und aus ihrer Umgebung ausgelenkt werden. Wenn das Paket heißer und leichter als seine neue Umgebung ist, erfährt es einen Auftrieb und wird beschleunigt. Das Paket bewegt sich über die Distanz ℓ bis es durch dissipative Kräfte aufgelöst wird. Es gibt seinen Wärmeüberschuss und seine Bewegungsenergie an die Umgebung ab. Innerhalb eines gewissen Radius befinden sich immer Pakete, die sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit bewegen und einen unterschiedlichen Wärmeüberschuss besitzen – abhängig je nachdem, welche Strecke die Pakete bereits zurückgelegt haben. Man kann also davon ausgehen, dass im Mittel ein Materie-Paket eine Strecke von $\ell/2$ zurückgelegt hat. Somit ist der durchschnittliche Temperaturüberschuss

$$\frac{DT}{T} = \frac{1}{T} \frac{\partial(DT)}{\partial r} \frac{\ell}{2} = (\nabla - \nabla_e) \frac{\ell}{2} \frac{1}{H_P}$$

r ist die Ortskoordinate, $H_P = -\partial r / \partial \ln P$ die Druckskalenhöhe. ∇_e ist der von der Druckänderung abhängige Temperaturgradient eines Paketes und ∇ der Temperaturgradient der vorliegenden Umgebung. Auf das oben erwähnte Paket wirkt die

Hälfte der Auftriebskraft k . k ist gegeben durch den Unterschied der Dichten

$$k = -g \frac{D\rho}{\rho},$$

mit

$$\frac{D\rho}{\rho} = -\delta \frac{DT}{T},$$

$$\delta = -\frac{\partial \ln \rho}{\partial \ln T}.$$

Die Arbeit, die auf das Element verrichtet wird, beträgt

$$\frac{1}{2} k \frac{\ell}{2} = g \delta (\nabla - \nabla_e) \frac{\ell^2}{8H_P}.$$

Nimmt man nun an, dass die Hälfte der Arbeit in kinetische Energie übergeht, wenn das Umgebungsmaterial zur Seite geschoben wird, bleibt für die mittlere Geschwindigkeit

$$v^2 = g \delta (\nabla - \nabla_e) \frac{\ell^2}{8H_P}.$$

Man erhält nun einen konvektiven Fluss

$$F_{con} = \rho c_P T \sqrt{g \delta} \frac{\ell^2}{4\sqrt{2}} H_P^{-\frac{3}{2}} (\nabla - \nabla_e)^{\frac{3}{2}}.$$

∇_e beschreibt den Gradienten der Temperatur, also die Änderung der Temperatur T_e des Paketes. Zwei Gründe können für diese Änderung verantwortlich sein. Einerseits strahlt das Paket während seiner Bewegung entlang der Strecke ℓ Energie kontinuierlich ab, zum anderen erfährt es eine adiabatische Expansion. In unterschiedlichen Bereichen kann entweder der eine oder der andere Mechanismus vorherrschend sein. Will man die Abstrahlung ignorieren, wird ∇_e durch ∇_{ad} ersetzt. Um ∇ zu erhalten, muss die Energietransportgleichung gelöst wer-

den. Die gesamte Energie, die im Sterninneren transportiert wird und durch die Leuchtkraft l gegeben ist, wird durch Strahlung F_{rad} und durch Konvektion F_{con} transportiert. Weitere Mechanismen wie Wärmeleitung sind in Sternen vernachlässigbar.

$$F_{rad} + F_{con} = \frac{l}{4\pi r^2}$$

Man kann nun den konvektiven Fluss durch die lokalen Größen $P, T, \rho, \ell, c_P, \nabla_{ad}$ bzw. ∇_e, ∇ und g berechnen.

Kapitel 3

Der Böhm-Vitense Gap

Heiße Sterne transportieren ihre Energie durch Strahlungstransport an die Oberfläche. Dagegen tritt in den Hüllen kühlerer Sterne immer mehr konvektiver Strahlungstransport in den Vordergrund. Besonderes Interesse fällt der Bestimmung des Übergangsbereiches zwischen den beiden Transportmechanismen zu.

Erika Böhm-Vitense war die Erste, die erkannte, dass an jener Stelle, an der Konvektion Strahlung als Energietransportationsmechanismus in der Atmosphäre eines Sternes ablöst, eine Lücke (engl.: gap) in der Farbverteilung entlang der Hauptreihe verursachen könnte (Böhm-Vitense, 1970). Zwei Ursachen können zur Erklärung dieser Lücke herangezogen werden:

- Bei vorherrschender Konvektion wird der Temperaturgradient in tieferen Schichten der Atmosphäre kleiner als der Strahlungsgradient. Die niedrigeren Temperaturen beeinflussen dabei den Fluß in den Frequenzbereichen U (3590 Å) und B (4370 Å) und führen zu einer Verringerung des $B - V$ -Wertes (Böhm-Vitense, 1970).
- Granulation, die in der Photosphäre durch Konvektion hervorgerufen wird, erzeugt Temperaturinhomogenitäten, die zu einer Rötung des $B - V$ -Wertes führen (Nelson, 1980; Böhm-Vitense, 1982).

Laut der *mixing length theory (MLT)* setzt Konvektion abrupt bei einer bestimmten Temperatur T_1 ein (Böhm-Vitense, 1958). Sterne mit $T_{eff} \geq T_1$ befinden sich in einem Strahlungsgleichgewicht, Sterne mit $T_1 < T_{eff}$ besitzen zumindest teilweise eine konvektive Hülle. Ein Stern mit einer Effektivtemperatur von $T_{eff} = T_1$, hat einen Farbindex von $B - V = C$. Ändert sich die Effektivtemperatur nur um den sehr kleinen Wert ϵ , so ändert sich der Farbindex um $B - V = C + \Delta$, wobei Δ die Änderung der Farbe ist, die durch Konvektion verursacht wurde. Setzt Konvektion abrupt ein, sollten sich keine Sterne im Bereich $C < B - V < C + \Delta$ befinden. Eine Lücke ist genau an jener Stelle zu erwarten, an der Konvektion als Energietransportmechanismus einsetzt ($(B - V)_0 \sim 0.25$ mag, $T_{eff} \sim 7500$ K). Die Größe der Lücke hängt vom Betrag des konvektiven Energietransportes ab, der beim Einsetzen der Konvektion vorhanden ist (Böhm-Vitense & Canterna, 1974).

Böhm-Vitense bestimmte den Böhm-Vitense-Gap auf den Bereich $0.21 \text{ mag} < B - V < 0.28 \text{ mag}$.

3.1 Probleme

Untersuchungen von mehreren offenen Sternhaufen lieferten kein eindeutiges Bild von Böhm-Vitense-Gaps. Böhm-Vitense & Canterna (1974) untersuchten die Sternhaufen α Persei, die Plejaden, Coma Berenices, Praesepe und die Hyaden. Nur bei zwei Sternhaufen konnten Böhm-Vitense-Gaps gefunden werden (Coma Berenices, Praesepe). In den Hyaden wurde ein Böhm-Vitense-Gap vermutet, in den Plejaden und in α Persei wurden Lücken ausgeschlossen (Böhm-Vitense & Canterna, 1974). Rachford & Canterna (2000) untersuchten neun offene Sternhaufen. In sechs konnten sie Hinweise auf Lücken finden, allerdings mit $B - V$ -Werte um 0.35 mag . Diese sind um einiges röter als der Böhm-

Vitense-Gap (Rachford & Canterna, 2000). Auch eine Untersuchung der Hyaden mit Hipparcos-Daten zeigte zwei Lücken um $B - V \sim 0.38$ mag und $B - V \sim 0.48$ mag (de Bruijne et al., 2000).

Untersuchungen von D'Antona et al. (2002) legen eine weitere Erklärung nahe. Sie fokussierten ihre Arbeit auf die Untersuchung jenes Bereiches im Stern, der am Übergang von Strahlungstransport zu Konvektion steht. Dazu erweiterten sie das *full spectrum of turbulence (FST)*-Modell (Canuto et al., 1996) und die *mixing length theory (MLT)* (Böhm-Vitense, 1958), so dass sie Konvektion sowohl in der Sternatmosphäre als auch im Inneren des Sternes behandeln konnten. Mit diesen Modellen konnten sie die Hyaden simulieren.

Als Resultat fanden sie in den Modelldaten eine Lücke bei $B - V \sim 0.38$ mag. Allerdings trat diese Lücke nur in den Daten der FST-Simulation auf. D'Antona et al. schlossen daher, dass diese Lücke kein Farbphänomen sondern ein T_{eff} -Phänomen sei (D'Antona et al., 2002). Diese Lücke kann jedoch, aufgrund des zu roten $B - V$ -Wertes, nicht mit dem Einsetzen der Konvektion erklärt werden.

Kapitel 4

Tools zur Analyse der Daten

Zur Datenauswertung wurde ein eigenes Programmpaket in der Programmiersprache IDL erstellt. Das Programm *bvgapneu.pro* dient zur Selektion der Datenpunkte für die weitere Auswertung. Das Programm *herror.pro* dient zur Analyse der Verteilung der Datenpunkte.

4.1 *bvgapneu.pro*

Da die Datensätze eine Größe von mehreren tausend Datenpunkten haben, ist es notwendig, eine Selektion der Datenpunkte durchzuführen. Für die Auswertung sind jene Sterne, die sich auf der Hauptreihe im Bereich $0.0 \text{ mag} \leq (B - V)_0 \leq 0.5 \text{ mag}$ befinden, also späte A- bis frühe F-Sterne, interessant. Zu Beginn des Programmes werden zwei Parameter (*ilength*, *ylength*) festgelegt, die zur Selektion der Datenpunkte notwendig sind. Ausgehend von der Annahme, dass die Dichte der Datenpunkte entlang der Hauptreihe am größten ist, wird durch diese beiden Parameter ein Raster definiert, der über den Datensatz läuft: Zuerst wird im Zwei-Farben-Diagramm die y-Achse, also entlang der Helligkeit V_0 , in gleich große Streifen geteilt. In jedem Streifen wird nun ein Histogramm über die x-

Achse, also entlang des Farbindexes $(B - V)_0$, gebildet. Somit kann der Bereich mit der höchsten Sterndichte in dem jeweiligen V_0 -Bereich bestimmt und die Datenpunkte um diesen Bereich ausgewählt werden. Mit dem Wert *selsize* kann die Breite dieses Bereiches angepasst werden.

Abb. 4.1 zeigt, dass mit dieser Methode vor allem im Bereich der frühen A- bis späten F-Sterne die Hauptreihe sehr gut ausgewählt werden kann.

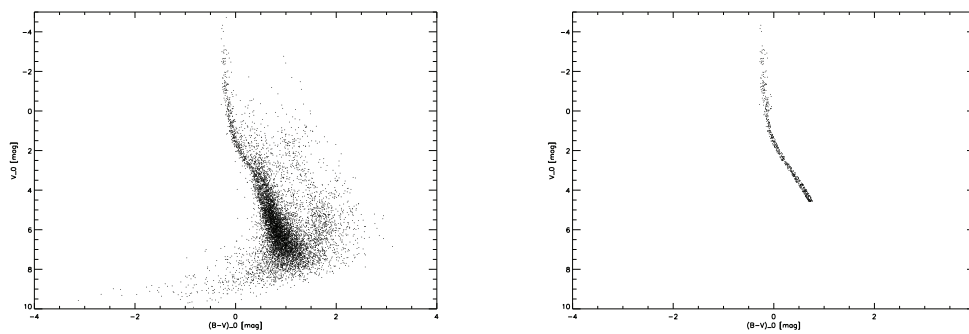


Abbildung 4.1: *Links:* Das Zwei-Farben-Diagramm von NGC 4755 mit allen Datenpunkten des Datensatzes. *Rechts:* Die selektierten Datenpunkte mit dem Programm *bvgapneu.pro*

4.1.1 Programmcode: bvgapneu.pro

PRO bvgapneu

```
;*****
;*
;*
;*          B V G A P
;*
;*          (Version 2.0)
;*
;*          Analyse-Tool zum Nachweis des Boehm-Vitense-Gaps
;*
;*
;*          (C) Juergen Oehlinger, 2. Aug. 2004
;*
;*****

; Globale Parameter

name='ngc_7790_uncut'
ext='.txt'
cluster='/Users/jurgenohlinger/Documents/Wissenschaft/Diplomarbeit/
Clusters/Entroetet/' + name + ext
```

```
;ilength: Größe des Intervalls in y-Richtung für ZAMS-Bestimmung
```

```
ilength=0.1
```

```
;ylength: Größe des Intervalls in x-Richtung für ZAMS-Bestimmung
```

```
ylength=0.1
```

```
selsize=2.5
```

```
paramx='_ilength0_01'
```

```
paramy='_ylength0_1'
```

```
; Einlesen des Roh-Datenfiles
```

```
xx=READ_ASCII(cluster,COUNT=n,DATA_START=1,RECORD_START=0)
```

```
;raw=xx.field01
```

```
;raw=xx.field1
```

```
raw=FINDGEN(4,n)
```

```
raw(0,*)=xx.field1(1,*)
```

```
raw(1,*)=xx.field1(0,*)
```

```
raw(2,*)=xx.field1(2,*)
```

```
raw(3,*)=xx.field1(3,*)
```

```
OPENW,5,'/Users/jurgenohlinger/Documents/Wissenschaft/Diplomarbeit/IDL/
```

```
bvgap20/DAT/raw.txt'
```

```
PRINTF,5,raw
```

```
CLOSE,5
```

```
; Definition der Intervallanzahl
```

```
inumb=CEIL((MAX(raw(1,*))-MIN(raw(1,*)))/ilength)
```

```
ynumb=CEIL((MAX(raw(0,*))-MIN(raw(0,*)))/ylength)
```

```
a1=MAX(raw(1,*))
```

```
a2=MIN(raw(1,*))
```

```
print, 'a2=', a2
```

```
print,inumb
```

```
print,ynumb
```

```
; Start- und Endwert des Intervalls
```

```
istart=a2
```

```
iend=istart+ilength
```

```
; Nummer des Intervalls
```

```
idigit=0
```

```
; Hilfsmatrizen
yhisto= FINDGEN(2,ynumb)
store= FINDGEN(4,n)
store(*,*)=999

;Zaehlhilfen:
;... fuer SELECT
n1=0

; Auswahl der Datenpunkte je Intervall
FOR i=0,inumb-1 DO BEGIN

ystart=FLOOR(MIN(row(0,*)))
yend=ystart+ylength
ydigit=0

index=WHERE(row(1,*) LT iend AND row(1,*) GT istart)
num=N_ELEMENTS(index)
IF num GT 1 THEN BEGIN

select= FINDGEN(4,num)
select=[row(0,index),row(1,index),row(2,index),row(3,index)]

number=STRING(idigit, /PRINT)
OPENW,5,'/Users/jurgenohlinger/Documents/Wissenschaft/Diplomarbeit/
IDL/bvgap20/DAT/select'+number+'.txt'
```

```
PRINTF,5,select
```

```
CLOSE,5
```

```
; Bilden eines Intervall-Histogramms in y-Richtung
```

```
FOR k=0,ynumb-1 DO BEGIN
```

```
yindex=WHERE(select(0,*) LT yend AND select(0,*) GT ystart)
```

```
num=N_ELEMENTS(yindex)
```

```
; print, num
```

```
yvalue=(ystart+yend)/2
```

```
yhisto(0,ydigit)=yvalue
```

```
yhisto(1,ydigit)=num
```

```
ydigit=ydigit+1
```

```
ystart=yend
```

```
yend=ystart+ylength
```

```
ENDFOR
```

```
;*****
```

```
;*                               S O R T                               *
```

```
;*****
```

```
cont=N_ELEMENTS(yhisto(1,*))
; Beginn des Sortierverfahrens
JUMP1:FOR q=0,cont-2 DO BEGIN

; Wenn Mv in der vorhergehenden Zeile kleiner als in der naechsten,
  IF yhisto(1,q) LT yhisto(1,q+1) THEN BEGIN

; dann ...
    FOR p=0,1 DO BEGIN

; (definieren einer 2x2-Hilfsmatrix)
h=FINDGEN(2,2)

; ... nimm den Wert der vorhergehenden Zeile,
; gib ihn in die Hilfsmatrix,
h(p,0)=yhisto(p,q)

; nimm den Wert der naechsten Zeile
; und ersetze ihn mit dem vorhergehenden.
yhisto(p,q)=yhisto(p,q+1)

; Schliesslich nimm den Wert aus der Hilfsmatrix
; und setze ihn in die naechste Spalte
yhisto(p,q+1)=h(p,0)

ENDFOR
```

; Beginn das Verfahren von vorne, bis dass der groesste Wert oben und
der kleinste unten steht

GOTO, JUMP1

ENDIF

ENDFOR

OPENW,5,'/Users/jurgenohlinger/Documents/Wissenschaft/Diplomarbeit/IDL/
bvgap20/DAT/yhisto'+number+'.txt'

PRINTF,5,yhisto

CLOSE,5

;*****

;* S E L E C T *

;*****

dataselrangely=yhisto(0,0)-selsize*ylength;-ylength

dataselrangehy=yhisto(0,0)+selsize*ylength;+ylength

dataselindexy=WHERE(raw(0,*) LT dataselrangehy AND raw(0,*) GE
dataselrangely)

check=N_ELEMENTS(dataselindexy)

IF check GT 1 THEN BEGIN

```
datasely=[raw(0,dataselindexy),raw(1,dataselindexy),raw(2,dataselindexy),  
raw(3,dataselindexy)]
```

```
dataselindexx=WHERE(datasely(1,*) LT iend AND datasely(1,*) GE istart)  
check=N_ELEMENTS(dataselindexx)
```

```
IF check GT 1 THEN BEGIN
```

```
dataselxy=[datasely(0,dataselindexx),datasely(1,dataselindexx),  
datasely(2,dataselindexx),datasely(3,dataselindexx)]
```

```
num=N_ELEMENTS(dataselxy(0,*))
```

```
n2=n1+num
```

```
FOR k=n1,n2-1 DO BEGIN
```

```
l=k-n1
```

```
store(0,k)=dataselxy(0,l)
```

```
store(1,k)=dataselxy(1,l)
```

```
store(2,k)=dataselxy(2,l)
```

```
store(3,k)=dataselxy(3,l)
```

```
ENDFOR
```

```
n1=n2
```

```
ENDIF
```

```
ENDIF
```

```
ENDIF
```

```
idigit=idigit+1
```

```
istart=iend
```

```
iend=istart+ilength
```

```
; print,i
```

```
ENDFOR
```

```
xxx=WHERE(store(0,*) LT 999)
```

```
nux=N_ELEMENTS(xxx)
```

```
data=FINDGEN(4,nux)
```

```
data=[store(1,xxx),store(0,xxx),store(2,xxx),store(3,xxx)]
```

```
OPENW,5,'/Users/jurgenohlinger/Documents/Wissenschaft/Diplomarbeit/  
IDL/bvgap20/DAT/data.txt'
```

```
PRINTF,5,data
```

```
CLOSE,5
```

```
param='_ilength001_00'
```

```
*****  
;*                                                                    *  
;*              H I S T O G R A M                                *  
;*                                                                    *  
;*                                                                    *  
*****
```

```
datnumb=N_ELEMENTS(data(0,*))
```

```
print,datnumb
```

```
;print,bin
```

```
e=data(1,*)*100
```

```
lmin=(FLOAT(FLOOR(MIN(e))))/100

  print, 'lmin=', lmin


;m=FLOOR(SQRT(datnumb))
m=CEIL(SQRT(datnumb))


print,m
bin=(MAX(data(1,*))+ABS(MIN(data(1,*))))/m


print,'MAX_DATA=',MAX(data(1,*))
print,'MIN_DATA=',MIN(data(1,*))
print,'bin=',bin


hist=FINDGEN(2,m)


FOR i=0,m-1 DO BEGIN

  lmax=lmin+bin

  index=WHERE((data(1,*) GT lmin) AND (data(1,*) LT lmax))

  hist(0,i)=lmin
  hist(1,i)=N_ELEMENTS(index)

  lmin=lmax
```

ENDFOR

```
;*****

;*
;*          P L O T - D A T A
;*
;*
;*****

;*****

;Plot Dataset

;*****

;DEVICE,DECOMPOSE=0

;DEVICE,RETAIN=2

SET_PLOT,'PS'

DEVICE,/LANDSCAPE,FILENAME='/Users/jurgenohlinger/Documents/
Wissenschaft/Diplomarbeit/IDL/bvgap20/LOG/PLOTS/'+name+'.ps'

usym=FINDGEN(16)*(!PI*2/16.)

USERSYM,COS(usym)/10,SIN(usym)/10,/FILL

PLOT,raw(0,*),raw(1,*),PSYM=8,/YNOZERO,$

SYMSIZE=2,$

BACKGROUND=255,$

COLOR=0,$
```

```

YRANGE=[10,-5], $
XRANGE=[-4,4], $
YSTYLE=1, $
TITLE=name+'_raw', XTITLE='(B-V)_0 [mag]', YTITLE='V_0 [mag]'

DEVICE,/CLOSE

;*****
; Plot Mainsequence
;*****

;DEVICE,DECOMPOSE=0
;DEVICE,RETAIN=2
SET_PLOT,'PS'
DEVICE,/LANDSCAPE,FILENAME='/Users/jurgenohlinger/Documents/
Wissenschaft/Diplomarbeit/IDL/bvgap20/LOG/PLOTS/'+name+paramx+
paramy+'.ps'

usym=FINDGEN(16)*(!PI*2/16.)
USERSYM,COS(usym)/10,SIN(usym)/10,/FILL

;PLOT,raw(1,*),raw(0,*),PSYM=8,/YNOZERO,$

PLOT,data(1,*),data(0,*),PSYM=8,/YNOZERO,$
SYMSIZE=2,$
BACKGROUND=255,$

```

```

COLOR=0,$
YRANGE=[10,-5], $
XRANGE=[-4,4], $
YSTYLE=1, $
TITLE=name, XTITLE='(B-V)_0 [mag]', YTITLE='V_0 [mag]'

DEVICE,/CLOSE

;*****
;   Plot Histogram
;*****

LOADCT,39

; DEVICE,DECOMPOSE=0

; DEVICE,RETAIN=2

SET_PLOT,'PS'

DEVICE,/LANDSCAPE,FILENAME='/Users/jurgenohlinger/Documents/
Wissenschaft/Diplomarbeit/IDL/bvgap20/LOG/PLOTS/'+name+'_histo'
+paramx+paramy+'.ps'

PLOT,hist(0,*),hist(1,*),PSYM=10, $
BACKGROUND=255, $
COLOR=0, $
TITLE=name, XTITLE='(B-V)_0 [mag]', $
YTITLE='# Stars'

```

```
DEVICE,/CLOSE
```

```
print, 'Calculation completed'
```

```
END
```

4.2 *herror.pro*

Die selektierten Datenpunkte werden nun in einem Histogramm dargestellt. Um die Messungenauigkeit der einzelnen Datenpunkte zu berücksichtigen, wird jeder Datenpunkt in der Routine *herror.pro* mit dem Gaußprofil seines Messfehlers versehen. Das Gaußprofil entsteht dabei durch Iteration des Messfehlers entlang seiner Gaußverteilung. Diese Iteration wird 100.000 mal durchgeführt, um eine möglichst exakte Abschätzung des Fehlerprofils zu bekommen. Abbildung 5.14 zeigt ein so gewonnenes Histogramm des Sternhaufens NGC 4755.

Da die Datenpunkte der Hauptreihe sehr steil im Zwei-Farben-Diagramm liegt, wurde das Histogramm nicht entlang der $(B - V)_0$ -Achse gebildet. Aufgrund der Steigung und Form der Hauptreihe wären, je nach Position der einzelnen Balken, unterschiedlich viele Datenpunkte im jeweiligen Segment berücksichtigt worden und hätten das Histogramm verfälscht. Um das zu vermeiden wurde das Histogramm entlang der V_0 -Achse gebildet. Die verdächtigen Bereiche wurden dann den zugehörigen $(B - V)_0$ -Werten zugeordnet.

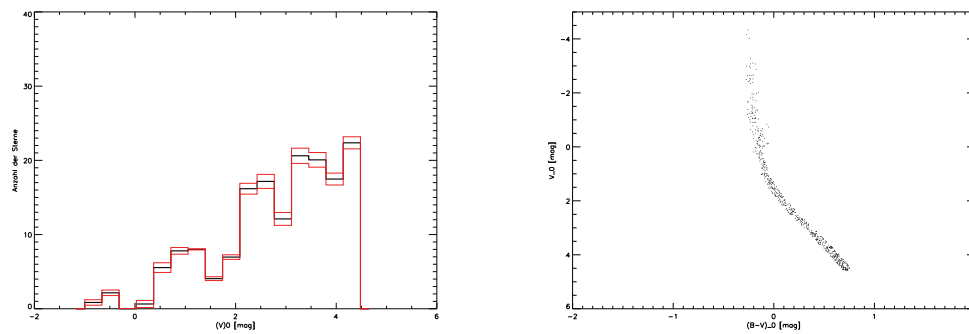


Abbildung 4.2: *Links*: Das Histogramm des Sternhaufens NGC 4755. Die oberen und unteren Linien zeigen die Fehlergrenze der Datenpunkte pro Balken. *Rechts*: Die selektierten Datenpunkte mit dem Programm *bvgapneu.pro*

4.2.1 Programmcode: `herror.pro`

```
pro herror
```

```
name='ngc_3293_uncut'
```

```
xx=READ_ASCII('/Users/jurgenohlinger/Documents/Wissenschaft/  
Diplomarbeit/IDL/bvgap20/DAT/data.txt',COUNT=n,DATA_START=0,  
RECORD_START=0)
```

```
raw=xx.field1
```

```
v=raw(0,*)
```

```
bv=raw(1,*)
```

```
;bins=0.1
```

```

bins=((ABS(MIN(v)))+(ABS(MAX(v))))/(CEIL(SQRT(n)))
print, 'min(v)=',MIN(v)
print, 'max(v)=',MAX(v)
print, 'binsize=',bins

;h=histogram(bv,binsize=bins,min=-1,max=3)
h=histogram(v,binsize=bins,min=FLOOR(MIN(v)),max=CEIL(MAX(v)))
nbin=n_elements(h)
x=findgen(nbin)*bins-(1+bins/2)

;print,x

;OPENW,5,'Y:\Daten\Diplomarbeit\IDL\bvgap20\LOG\TEMP\x_herror.txt'
;PRINTF,5,x
;CLOSE,5

;bv_err=raw(3,*)
v_err=raw(2,*)
;print, bv_err

nn=long(100000)
harr=dblarr(nbin,nn)
for i=0L,nn-1 do begin
    ;bv1=bv+randomn(seed,n)*bv_err
    v1=v+randomn(seed,n)*v_err
    h=histogram(v1,binsize=bins,min=FLOOR(MIN(v)),max=CEIL(MAX(v)))
    harr[:,i]=h

```

```
endfor
avgh=dblarr(nbin)
sigh=dblarr(nbin)

;avgh ist die mitte des bins. muss noch um die halbe binsize
;verschoben werden
for i=0,nbin-1 do avgh[i]=mean(harr[i,*])
for i=0,nbin-1 do sigh[i]=stddev(harr[i,*])

histofile=FINDGEN(4,nbin)
histofile(0,*)=x
histofile(1,*)=avgh
histofile(2,*)=avgh-sigh
histofile(3,*)=avgh+sigh

OPENW,5,'/Users/jurgenohlinger/Documents/Wissenschaft/Diplomarbeit/
IDL/bvgap20/LOG/DATA/'+name+'_histo_v.dat'
        PRINTF,5,histofile
CLOSE,5

;print,avgh

;loadct,4
        ;DEVICE,DECOMPOSED=0
        ;DEVICE,RETAIN=2
        SET_PLOT,'PS'
        DEVICE,/COLOR,/LANDSCAPE,FILENAME='/Users/jurgenohlinger/Documents
```

```
    /Wissenschaft/Diplomarbeit/IDL/bvgap20/LOG/PLOTS/' + name + '_histo_v.ps'

;colours_taz,/taz,ncol=10
plot,x,avgh,psym=10, $
;XRANGE=[-4,10],$
XTITLE='(V)0 [mag]', YTITLE='Anzahl der Sterne',$
THICK=6
oplot,x,avgh-sigh,psym=10, color=8,THICK=4
oplot,x,avgh+sigh,psym=10, color=8,THICK=4

DEVICE,/CLOSE

print, 'Calculation completed'

end
```


Kapitel 5

Datenauswertung

Die Untersuchung des Böhm-Vitense-Gaps wurde an acht jungen offenen Sternhaufen durchgeführt. Mehrere Kriterien mussten bei der Datenauswertung berücksichtigt werden:

- Die späten A- und frühen F-Sterne müssen auf der Hauptreihe liegen ($0.0 \text{ mag} \leq B - V \leq 0.50 \text{ mag}$).
- Der Sternhaufen muss eine große Anzahl an Mitgliedern haben, um statistische Fehlinterpretationen so gering wie möglich zu halten.
- Die Photometrie sollte eine hohe Konsistenz aufweisen und möglichst aus ein und derselben Beobachtung stammen.
- Die Genauigkeit der Photometrie sollte möglichst hoch sein.
- Der Farbexzeß sollte sehr gut bekannt sein.

Interstellare Materie wie Staub und Gas und die Entfernung des Sternes zum Beobachter tragen zu einer Verringerung der Sternhelligkeiten bei. Die Helligkeit einer Lichtquelle nimmt um den Faktor $1/r^2$ ab. Parameter wie Farbexzeß und Entfernungsmodul können für Objekte wie offene Sternhaufen relativ genau

bestimmt werden. Das Entfernungsmodul ist die Differenz der tatsächlich gemessenen Helligkeit eines Sternes m mit seiner absoluten Helligkeit M , die aus dem Sternspektrum bestimmt werden kann (Weigert & Wendker, 1996)

$$m - M = 5^m \log(d/1pc) - 5^m.$$

Der Farbexzeß kann durch folgende Beziehung erhalten werden

$$E_{(B-V)} = (B - V) - (B - V)_0.$$

Für diese Arbeit wurden die beiden Parameter Entfernungsmodul und Farbexzeß aus Fachpublikationen gewonnen. Im Folgenden werden nun die einzelnen Sternhaufen beschrieben und die Ergebnisse der Auswertung dargestellt. Die Daten stammen aus der WEBDA-Datenbank an der Universität Wien.

5.1 NGC 457

NGC 457 ist ein junger offener Sternhaufen mit einem Alter von 21 Mio. Jahren (Mermilliod, 1996). Das Entfernungsmodul ($m-M$) beträgt 13.55 mag und er besitzt eine Verfärbung von 0.48 mag (Maciejewski et al., 2008). Abbildung 5.1 zeigt das Zwei-Farben-Diagramm von NGC 457. Die photometrischen Daten stammen aus einer Arbeit von Phelps und Janes (Phelps & Janes, 1994).

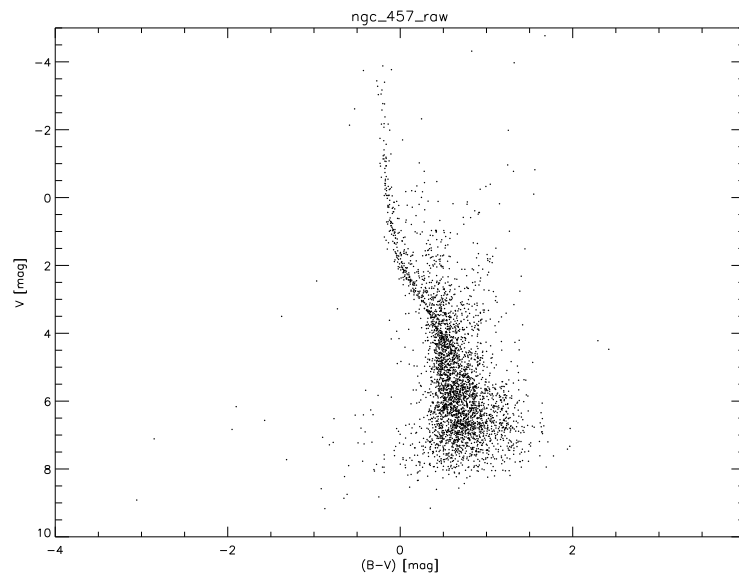
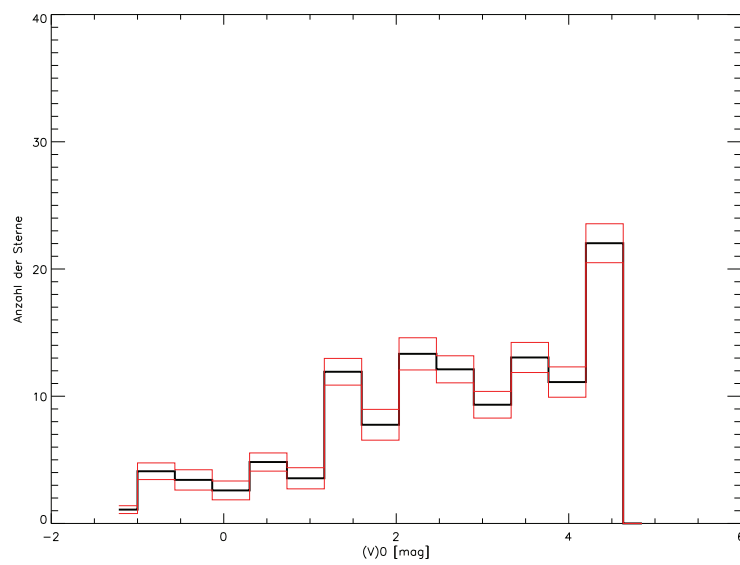


Abbildung 5.1: Zwei-Farben-Diagramm von NGC 457

Abbildung 5.2 zeigt ein Histogramm über die Sternverteilung entlang V_0 . Man kann klar an drei Positionen Lücken in der Verteilung der Sterne erkennen: bei $V_0 \sim 1.75$ mag, $V_0 \sim 3.25$ mag und $V_0 \sim 4.0$ mag. Interessant ist die Lücke bei 3.25 mag. Ihr $(B - V)_0$ -Wert liegt bei 0.26 mag. Die anderen haben Werte von 0.01 mag und 0.48 mag



V_0	$(B - V)_0$
1.75 mag	0.01 (± 0.04) mag
3.25 mag	0.26 (± 0.05) mag
4.0 mag	0.48 (± 0.05) mag

Abbildung 5.2: Histogramm über die Verteilung der Mitglieder von NGC 457 entlang der Hauptreihe. Darunter die Positionen der drei Lücken.

5.2 NGC 581

Das Alter von NGC 581 (M103) wurde auf ca. 22 Mio. Jahre bestimmt (Eggenberger et al., 2002). Laut WEBDA-Datenbank (Mermilliod, 1995) besitzt NGC 581 ein Entfernungsmodul ($m-M$) von 12.89 mag. Die Verfärbung beträgt 0.382 mag.

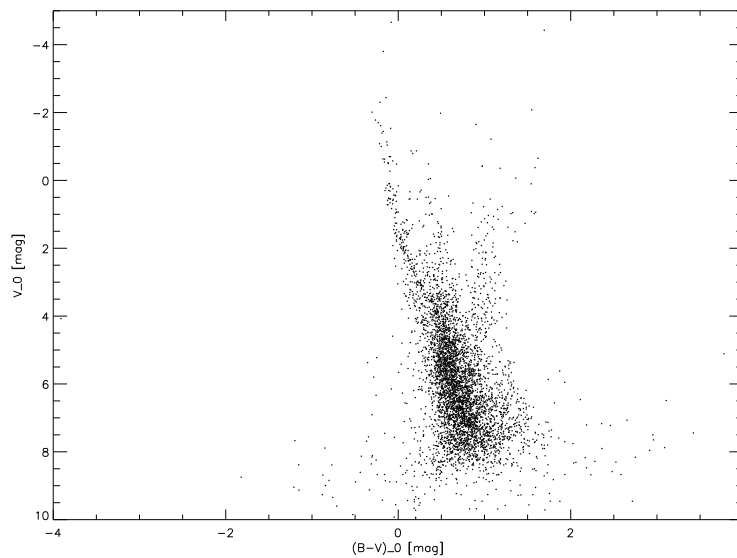
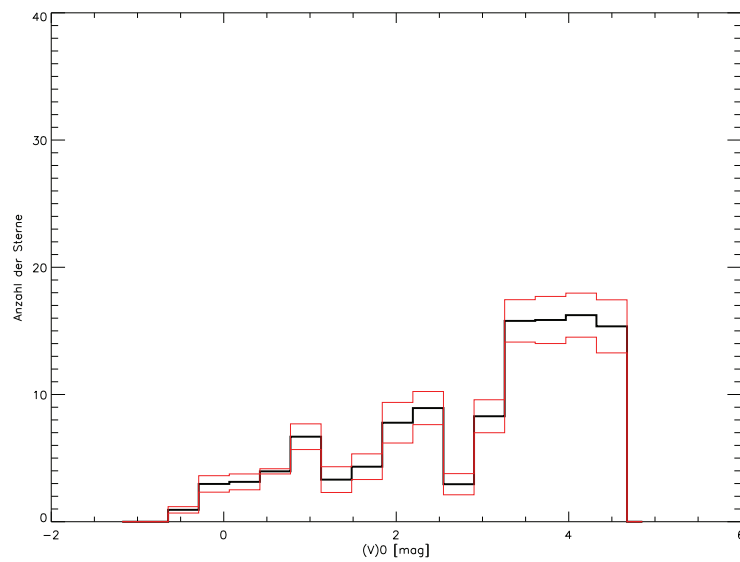


Abbildung 5.3: Zwei-Farben-Diagramm von NGC 581. Die Daten stammen von Phelps und Janes (Phelps & Janes, 1994)

In Abbildung 5.4 fallen an zwei Stellen Einbrüche in der Sternverteilung entlang V_0 auf. Interessant ist die Lücke bei $V_0 \sim 2.75$ mag. Sie liegt bei $(B - V)_0 \sim 0.20$ mag und somit im Bereich eines Böhm-Vitense-Gaps (Böhm-Vitense & Canterna, 1974). Eine weiteren Einbruch in der Sternverteilung gibt es bei $V_0 \sim 1.25$ mag ($(B - V)_0 \sim 0.0$ mag).



V_0	$(B - V)_0$
1.25 mag	$0.0 (\pm 0.02) \text{ mag}$
2.75 mag	$0.20 (\pm 0.04) \text{ mag}$

Abbildung 5.4: Histogramm über die Verteilung der Mitglieder von NGC 581 entlang der Hauptreihe. Darunter die Positionen der drei Lücken.

5.3 NGC 654

NGC 654 besitzt ein Alter von ca. 20 Mio. Jahren (Pandey et al., 2005). Die Verfärbung beträgt 0.82 mag und das Entfernungsmodul liegt bei 14.7 mag (Pandey et al., 2005). Abbildung 5.5 zeigt das Zwei-Farben-Diagramm von NGC 654. Die Daten stammen von Pandey et al. (2005).

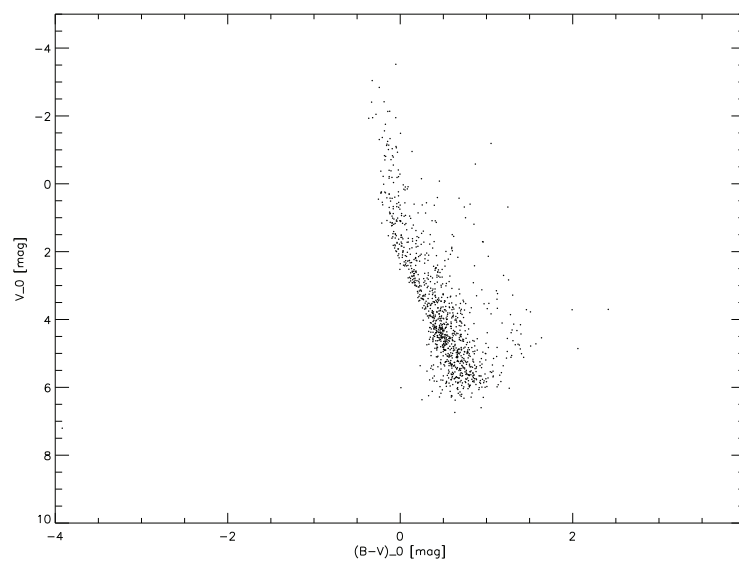
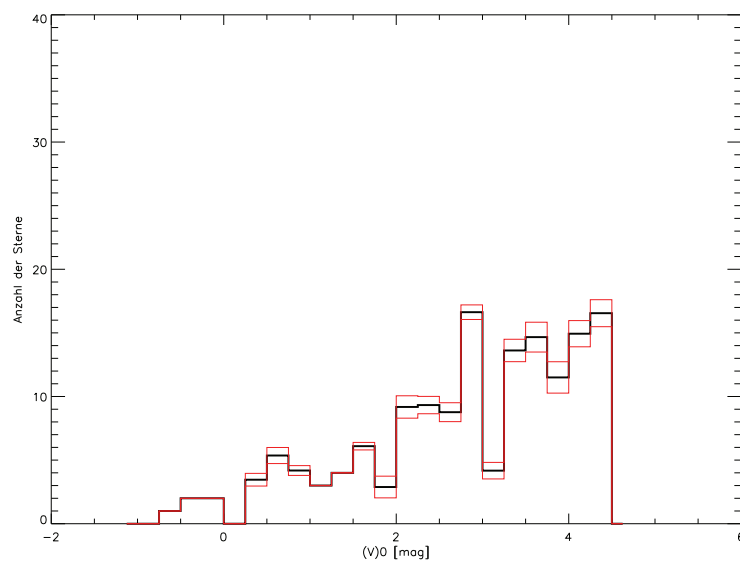


Abbildung 5.5: Zwei-Farben-Diagramm von NGC 654.

Bei der Betrachtung der Sternverteilung entlang V_0 fallen insgesamt drei Lücken auf. Jene bei $V_0 \sim 3.13$ mag hat einen $(B - V)_0$ -Wert von 0.20 mag und liegt damit im Bereich eines Böhm-Vitense-Gaps. Eine weitere Lücken befindet sich bei $V_0 \sim 1.87$ mag ($(B - V)_0 \sim -0.05$ mag). Auch bei $V_0 \sim 3.87$ mag ($(B - V)_0 \sim 0.34$ mag) findet sich eine kleinere Lücke.



V_0	$(B - V)_0$
1.87 mag	-0.05 (± 0.03) mag
3.13 mag	0.20 (± 0.03) mag
3.87 mag	0.34 (± 0.03) mag

Abbildung 5.6: Histogramm von NGC 654 mit dessen Lücken.

5.4 NGC 2421

NGC 2421 befindet sich in einer Entfernung von 2200 pc und besitzt ein Alter von ca. 23 Mio. Jahren (Chen et al., 2004). Die Daten in Abbildung 5.7 wurden von Yadav & Sagar (2004) beobachtet. Der Datensatz enthält ca. 1430 Datenpunkte. Die Daten wurden mit einer Verfärbung von 0.42 mag und mit einem Entfernungsmodul von 13.0 mag (Yadav & Sagar, 2004) korrigiert.

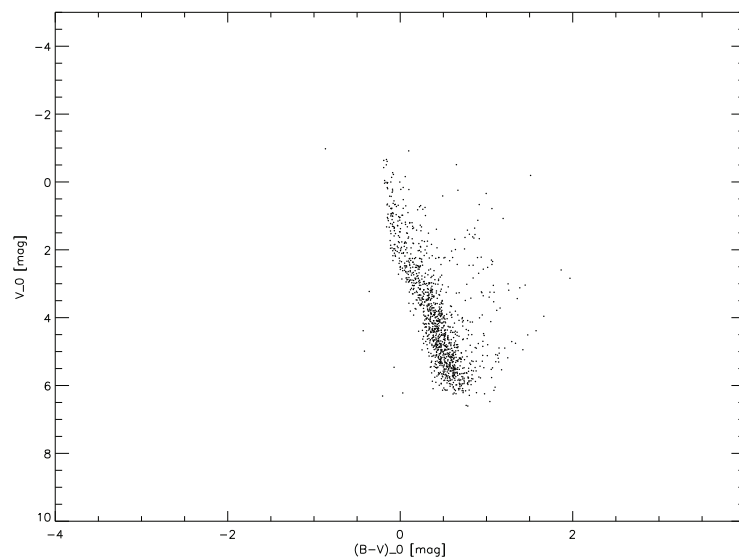


Abbildung 5.7: Zwei-Farben-Diagramm von NGC 2421

Im Zwei-Farben-Diagramm von NGC 2421 scheinen keine Lücken vorhanden zu sein. Das Histogramm (Abbildung 5.8) zeigt keine signifikanten Einbrüche in der Verteilung.

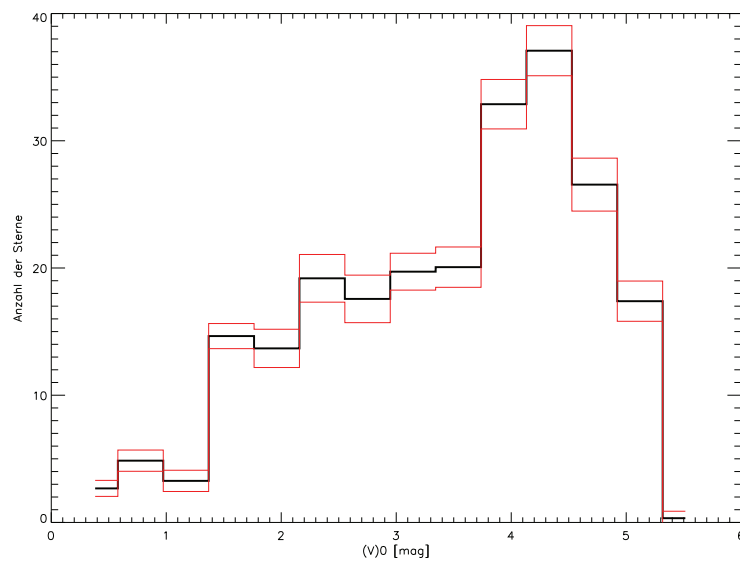


Abbildung 5.8: Histogramm von NGC 2421.

5.5 NGC 3293

Der offene Sternhaufen NGC 3293 ist ca. 2760 pc entfernt (Netopil et al., 2007). Sein Alter wurde von Huang & Gies (2006) mit 10 Mio. Jahren bestimmt. Die Verfärbung beträgt 0.263 mag (Loktin et al., 2001), das Entfernungsmodul 12.20 mag (Baume et al., 2003). Der Datensatz, die für diese Arbeit verwendet wurden, stammen von Baume et al. (2003) und besteht aus 1690 Datenpunkten. Abbildung 5.9 zeigt das Zwei-Farben-Diagramm aus diesen Daten.

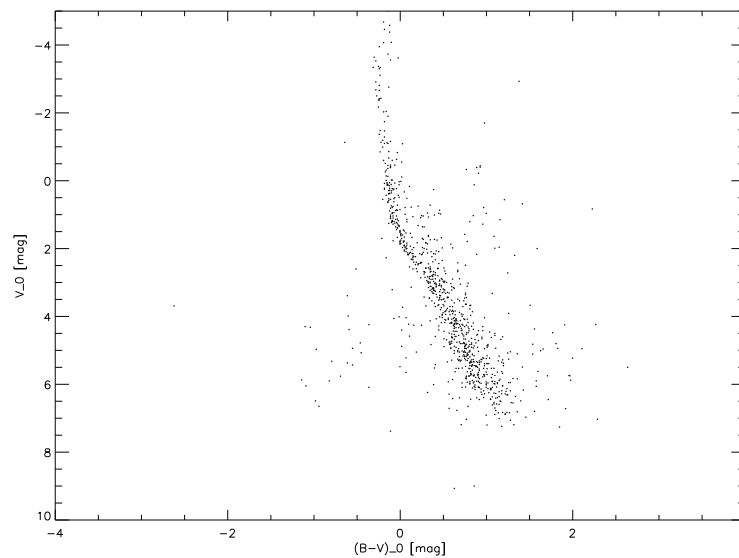
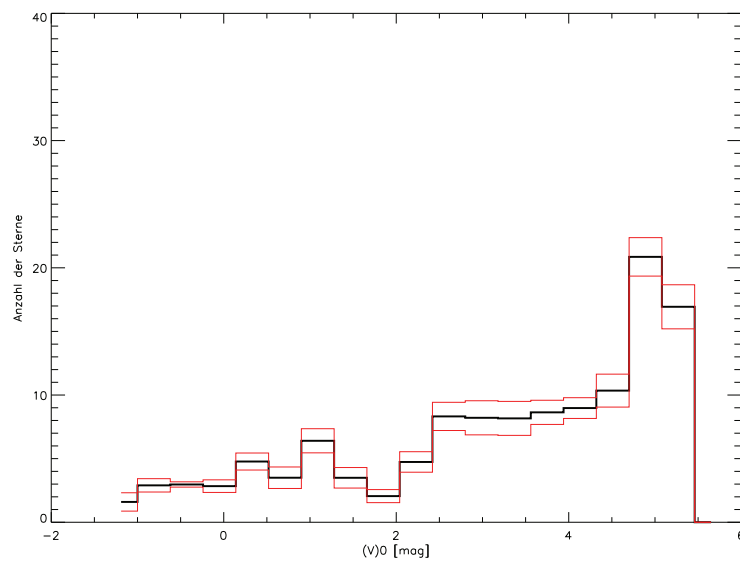


Abbildung 5.9: Zwei-Farben-Diagramm von NGC 3293.

Betrachtet man die Verteilung der Sterne entlang der Hauptreihe (Abbildung 5.10), so kann man nur an einer Stelle einen Einbruch in der Verteilung feststellen. Die Lücke bei $V_0 \sim 1.90$ mag hat einen $(B-V)_0$ -Wert von -0.05 mag. Weitere Lücken konnten nicht festgestellt werden



V_0	$(B - V)_0$
1.90 mag	-0.05 ($\pm$ 0.04) mag

Abbildung 5.10: Histogramm von NGC 3293

5.6 NGC 3766

Die Daten, die zur Auswertung von NGC 3766 verwendet wurden, stammen von Moitinho et al. (1997). Der Datensatz beinhaltet 2487 Datenpunkte. Zur Korrektur der Verfärbung wurde ein Wert von 0.18 mag und ein Entfernungsmodul von 11.21 mag verwendet (Mermilliod, 1995). Der Sternhaufen hat ein Alter von ca. 15 Mio. Jahren und eine Entfernung von 1745 pc.

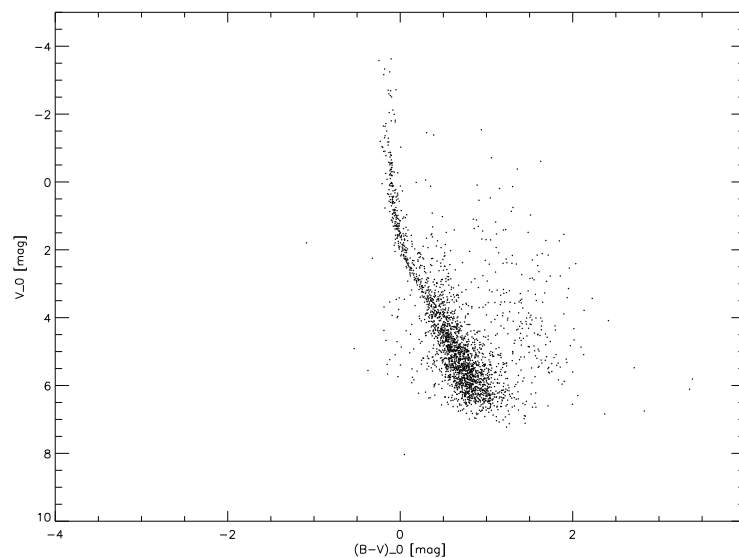
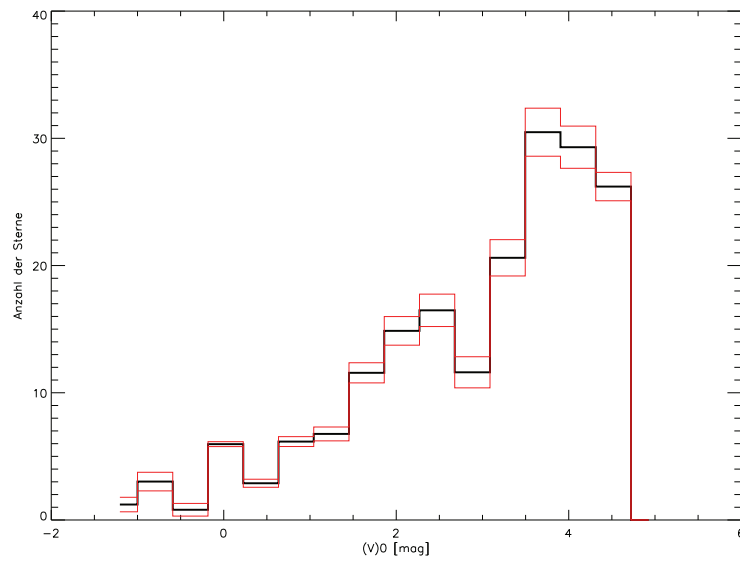


Abbildung 5.11: Zwei-Farben-Diagramm von NGC 3766.

Im Histogramm (Abbildung 5.12) ist eine Lücke bei $V_0 \sim 2.90$ mag erkennbar. Der $(B - V)_0$ -Wert beträgt 0.29 mag. Dieser Wert liegt genau im Bereich eines Böhm-Vitense-Gaps. Der Einbruch bei $V_0 \sim 0.4$ mag hat einen Wert von $(B - V)_0 \sim -0.18$ mag.



V_0	$(B - V)_0$
0.40 mag	-0.18 ($\pm$ 0.02) mag
2.90 mag	0.29 ($\pm$ 0.06) mag

Abbildung 5.12: Histogramm von NGC 3766

5.7 NGC 4755

NGC 4755 ist ein offener Sternhaufen mit einem Alter von ca. 14 Mio. Jahren (Bonatto et al., 2006) und einer Entfernung von 1976 pc (Mermilliod, 1995). Abbildung 5.13 zeigt das Zwei-Farben-Diagramm von NGC 4755. Die Daten stammen von Beobachtungen von Sanner et al. (2001) und von Sagar & Cannon (1995). Die Daten wurden mit einer Verfärbung von 0.388 mag (Loktin et al., 2001) und einem Entfernungsmodul von 12.68 mag (Mermilliod, 1995) korrigiert. Der Datensatz enthält insgesamt 8632 Datenpunkte.

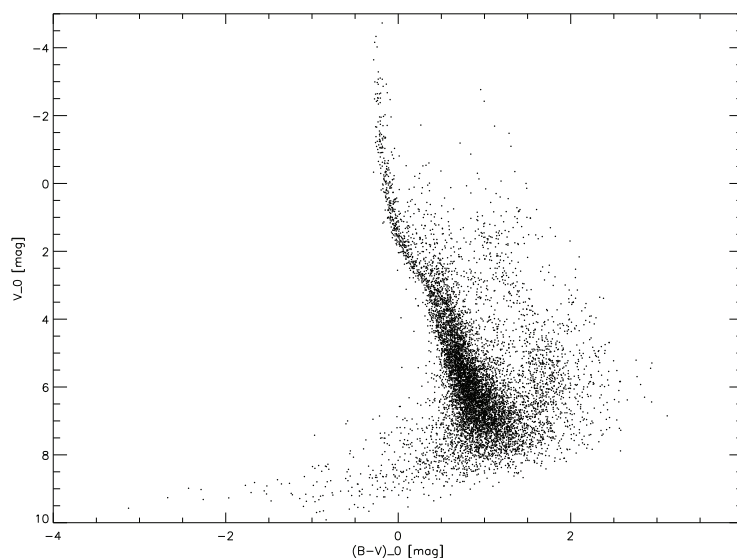
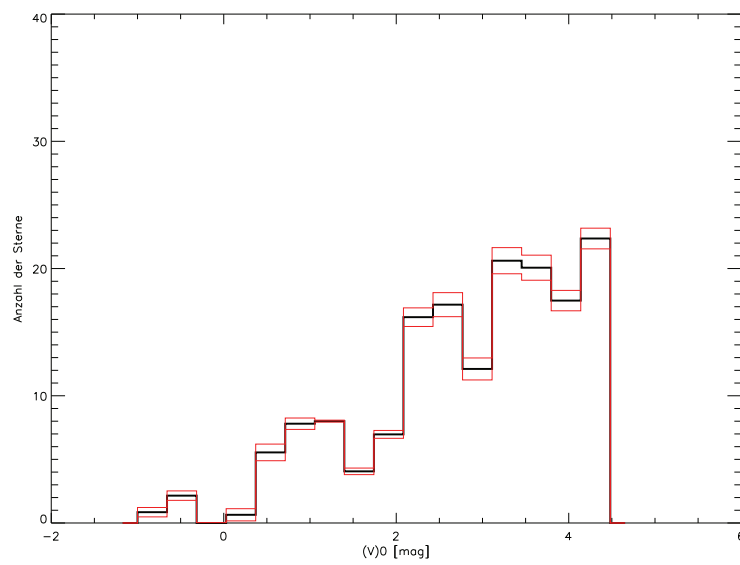


Abbildung 5.13: Zwei-Farben-Diagramm von NGC 4755.

In Abbildung 5.14 fallen zwei Lücken entlang der Hauptreihe auf. Eine befindet sich bei $V_0 \sim 2.9$ mag, der zugehörige $(B - V)_0$ -Wert beträgt 0.32 mag. Diese Lücke befindet sich im Bereich eines Böhm-Vitense-Gaps. Die zweite Unregelmässigkeit hat einen V_0 -Wert von ~ 1.65 mag und einen $(B - V)_0$ -Wert von 0.01 mag.



V_0	$(B - V)_0$
1.65 mag	$0.0 (\pm 0.03)$ mag
2.90 mag	$0.32 (\pm 0.05)$ mag

Abbildung 5.14: Histogramm von NGC 4755

5.8 NGC 7790

Abbildung 5.15 zeigt das Zwei-Farben-Diagramm des offenen Sternhaufens NGC 7790. Die Daten stammen von Phelps & Janes (1994). Der Datensatz enthält 1723 Datenpunkte und wurde mit einer Verfärbung von 0.55 mag und einem Entfernungsmodul von 12.60 mag korrigiert (Matthews et al., 1995). NGC 7790 befindet sich in einer Entfernung von 3130 pc (Matthews et al., 1995). Sein Alter wurde auf ca. 120 Mio. Jahre bestimmt (Gupta et al., 2000).

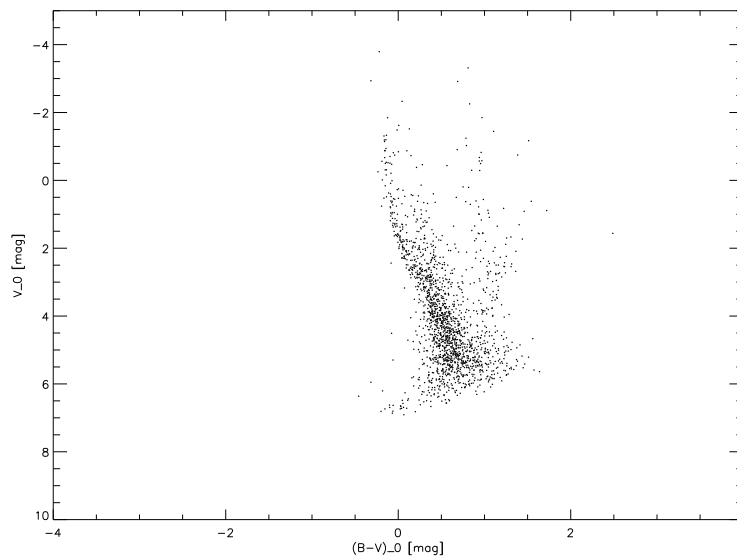
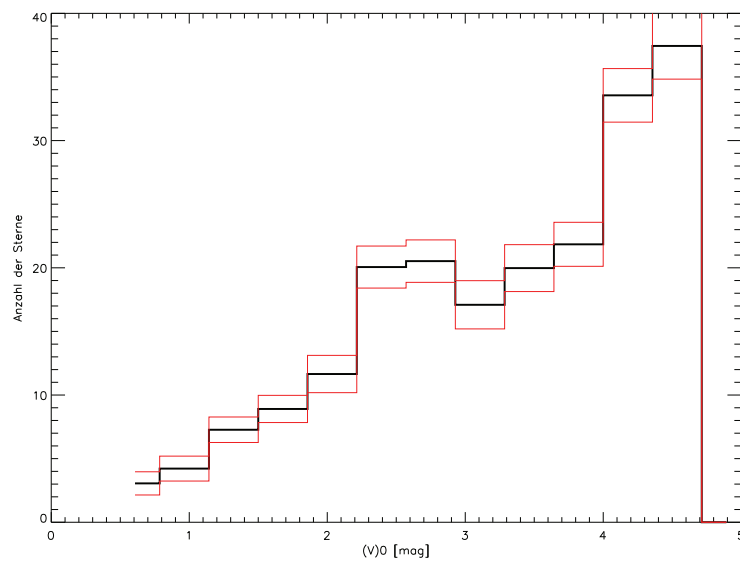


Abbildung 5.15: Zwei-Farben-Diagramm von NGC 7790.

Möglicherweise befindet sich eine Lücke bei $(B-V)_0$ 0.27 mag im Histogramm von NGC 7790 (Abbildung 5.16). Der Einbruch bei $V_0 \sim 3.15$ mag ist allerdings nicht sehr signifikant ausgeprägt. Daher wird ein Böhm-Vitense-Gap an dieser Stelle nur vermutet.



V_0	$(B - V)_0$
3.11 mag	$0.27 (\pm 0.04) \text{ mag}$

Abbildung 5.16: Histogramm von NGC 7790

Kapitel 6

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden acht offene Sternhaufen unter Verwendung von photometrischen Daten in den Bändern B und V auf Böhm-Vitense-Gaps untersucht. Die Daten stammen von aktuellen CCD-Beobachtungen und wurden aus der WEBDA-Datenbank an der Universität Wien gewonnen. Es wurden mehrere Lücken (engl.: gaps) in den Zwei-Farben-Diagrammen gefunden. In Tabelle 6.1 ist ein Überblick der gefundenen Lücken dargestellt.

Sternhaufen	$B - V$	$B - V$	$B - V$
NGC 457	0.01 (± 0.04)	0.26 (± 0.05)	0.48 (± 0.05)
NGC 581	0.0 (± 0.02)	0.20 (± 0.04)	–
NGC 654	-0.05 (± 0.03)	0.20 (± 0.03)	0.33 (± 0.03)
NGC 2421	–	–	–
NGC 3239	-0.05 (± 0.04)	–	–
NGC 3766	-0.18 (± 0.02)	0.29 (± 0.06)	–
NGC 4755	0.0 (± 0.03)	0.32 (± 0.05)	–
NGC 7790	–	0.28* (± 0.04)	–

Tabelle 6.1: Die untersuchten Sternhaufen und die gefundenen Lücken.

Sechs Sternhaufen – NGC 457, NGC 581, NGC 654, NGC 3766, NGC 4755 und NGC 7790 – weisen eine Lücke im Bereich $0.20 < (B - V)_0 < 0.31$ mag auf, die als Böhm-Vitense-Gaps identifiziert werden. Der Gap bei NGC 7790 ist im

Histogramm allerdings nicht signifikant ausgeprägt und wird daher nur vermutet. Zwei Sternhaufen zeigen keine Lücke im Bereich des Böhm-Vitense-Gaps, wobei NGC 2421 überhaupt keine Anzeichen von Lücken zeigt und NGC 3239 eine Lücke bei $(B - V)_0 = -0.05$ mag aufweist.

NGC 457 und NGC 654 besitzen auch Lücken, die um einiges röter sind als der Böhm-Vitense-Gap und zu jenen Lücken passen, die bei Rachford & Canterna (2000) und de Bruijne et al. (2000) beschrieben werden. Diese sind allerdings nicht mit dem abrupten Einsetzen der Konvektion in Verbindung zu bringen.

Fast alle Sternhaufen zeigen auch Lücken um $B - V \sim 0$ mag.

Literaturverzeichnis

- [Baume et al. 2003] BAUME, G. ; VÁZQUEZ, R. A. ; CARRARO, G. ; FEINSTEIN, A.: Photometric study of the young open cluster NGC 3293. In: *Astronomy and Astrophysics* 402 (2003), S. 549–564
- [Böhm-Vitense 1958] BÖHM-VITENSE, E.: Über die Wasserstoffkonvektionszone in Sternen verschiedener Effektivtemperaturen und Leuchtkräfte. In: *Zeitschrift für Astrophysik* 46 (1958), S. 108
- [Böhm-Vitense 1970] BÖHM-VITENSE, E.: The UBVr colors of main sequence stars. In: *Astronomy and Astrophysics* 8 (1970), S. 283
- [Böhm-Vitense 1982] BÖHM-VITENSE, E.: Effective temperatures of A and F stars. In: *Astrophysical Journal* 255 (1982), S. 191–199
- [Böhm-Vitense & Canterna 1974] BÖHM-VITENSE, E. ; CANTERNA, R.: The gap in the two-color diagram of main-sequence stars. In: *The astrophysical journal* 194 (1974), S. 629–635
- [Bonatto et al. 2006] BONATTO, C. ; BICA, E. ; ORTOLANI, S. ; BARBUY, B.: Detection of K_s -excess stars in the 14 Myr open cluster NGC 4577. In: *Astronomy and Astrophysics* 453 (2006), Nr. 1, S. 121–132
- [de Bruijne et al. 2000] BRUIJNE, J. H. J. de ; HOOGERWERF, R. ; ZEEUW, P. T.

- de: Two Böhm-Vitense gaps in the main sequence of the Hyades. In: *The astrophysical journal* 544 (2000), Nr. 1, S. L65–L67
- [Canuto et al. 1996] CANUTO, V. M. ; GOLDMAN, I. ; MAZZITELLI, I.: Stellar turbulent convection: a self-consistent model. In: *The astrophysical journal* 473 (1996), S. 550–559
- [Chen et al. 2004] CHEN, W. P. ; CHEN, C. W. ; SHU, C. G.: Morphology of galactic open clusters. In: *The astronomical journal* 128 (2004), S. 2306–2315
- [D’Antona et al. 2002] D’ANTONA, F. ; MONTALBÁN, J. ; KUPKA, F. ; HEITER, U.: The Böhm-Vitense gap: The role of turbulent convection. In: *The astrophysical journal* 564 (2002), S. L93–L96
- [Eggenberger et al. 2002] EGGENBERGER, P. ; MEYNET, G. ; MAEDER, A.: The blue to red supergiant ratio in young clusters at various metallicities. In: *Astronomy and Astrophysics* 386 (2002), S. 576–582
- [Gupta et al. 2000] GUPTA, A. C. ; SUBRAMANIAM, A. ; SAGAR, R. ; GRIFFITHS, W. K.: A complete photometric study of the open cluster NGC 7790 containing Cepheid variables. In: *Astronomy and Astrophysics Supplement Series* 145 (2000), S. 365–375
- [Huang & Gies 2006] HUANG, W. ; GIES, D. R.: Stellar rotation in young clusters. I. Evolution of projected rotational velocity distributions. In: *The astronomical journal* 648 (2006), S. 580–590
- [Kippenhahn & Weigert 1993] KIPPENHAHN, R. ; WEIGERT, A.: *Stellar Structure and Evolution*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1993 (3. Ausgabe)
- [Loktin et al. 2001] LOKTIN, A. V. ; GERASIMENKO, T. P. ; MALYSHEVA, L. K.: The

- catalogue of open cluster parameters. Second version. In: *Astronomical and Astrophysical Transactions* 20 (2001), Nr. 4, S. 607–633
- [Maciejewski et al. 2008] MACIEJEWSKI, G. ; BUKOWIECKI, L. ; BROZEK, T. ; GEORGIEV, Ts. ; BOEVA, S. ; KACHAROV, N. ; MIHOV, B. ; LATEV, G. ; OVCHAROV, E. ; VALCHEVA, A.: Variable stars in the field of the open cluster NGC 457. In: *Information Bulletin on Variable Stars No. 5864* (2008)
- [Matthews et al. 1995] MATTHEWS, J. M. ; GIEREN, W. P. ; MERMILLIOD, J. C. ; WELCH, D. L.: Independent distance determinations to milky way cepheids in open clusters and associations. II. CF Cas in NGC 7790. In: *The astronomical journal* 110 (1995), Nr. 5, S. 2280
- [Mermilliod 1995] MERMILLIOD, J. C.: The database for galactic open clusters (BDA). In: *Information & on-line data in astronomy on-line data in astronomy* (1995), S. 127–138
- [Mermilliod 1996] MERMILLIOD, J. C.: The Origins, Evolution and Destinies of Binary Stars in Cluster. In: *ASP Conf. Ser.* 90 (1996), S. 475
- [Moitinho et al. 1997] MOITINHO, A. ; ALFARO, E. J. ; YUN, J. L. ; PHELPS, R. L.: CCD UBV photometry of the young open cluster NGC 3766. In: *Astronomical Journal* 113 (1997), S. 1359–1370
- [Nelson 1980] NELSON, G. D.: Granulation in a main-sequence F-type star. In: *Astrophysical Journal* 238 (1980), S. 650–666
- [Netopil et al. 2007] NETOPIŁ, M. ; PAUNZEN, E. ; MAITZEN, H. M. ; PINTADO, O. I. ; CLARET, A. ; MIRANDA, L. F. ; ILIEV, I. K. ; CASANOVA, V.: CCD photometric search for peculiar stars in open clusters. In: *Astronomy and Astrophysics* 462 (2007), S. 591–597

- [Pandey et al. 2005] PANDEY, A. K. ; UPADHYAY, K. ; OGURA, K. ; SAGAR, Ram ; MOHAN, V. ; MITO, H. ; BHATT, H. C. ; BHATT, B. C.: Stellar contents of two young open clusters: NGC 663 and 654. In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 358 (2005), Nr. 4, S. 1290–1308
- [Phelps & Janes 1994] PHELPS, R. L. ; JANES, K. A.: Young open clusters as probes of the star formation process. 1: an atlas of open cluster photometry. In: *Astrophysical Journal Supplemental Series* 90 (1994), S. 31
- [Rachford & Canterna 2000] RACHFORD, B. L. ; CANTERNA, R.: The relationship between the Böhm-Vitense gap and stellar activity in open clusters. In: *The astronomical journal* 119 (2000), S. 1296–1302
- [Sagar & Cannon 1995] SAGAR, R. ; CANNON, R. D.: A deep UBVRI CCD photometric study of the moderately young southern open star cluster NGC 4755. In: *Astronomy and Astrophysics Supplement* 111 (1995), S. 75
- [Sanner et al. 2001] 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 and Astrophysics* 369 (2001), S. 511–526
- [Weigert & Wendker 1996] WEIGERT, A. ; WENDKER, H. J.: *Astronomie und Astrophysik - Ein Grundkurs*. 3. überarbeitete Auflage. VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1996
- [Yadav & Sagar 2004] YADAV, R. K. S. ; SAGAR, Ram: A comprehensive CCD photometric study of the open cluster NGC 2421. In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 351 (2004), S. 667–675

Anhang

Kurzzusammenfassung

In Zwei-Farben-Diagrammen von Hauptreihensterne treten im Bereich der A- und F-Sterne Unregelmäßigkeiten in der Sternverteilung auf. Erika Böhm-Vitense identifizierte die Unregelmäßigkeit bei $(B - V)_0 \sim 0.25$ mag ($T_{eff} \sim 7500$ K) und brachte sie mit dem Einsetzen der Konvektion in der Sternatmosphäre in Verbindung (Böhm-Vitense, 1970).

Untersuchungen von mehreren offenen Sternhaufen brachten jedoch bisher kein eindeutiges Bild von diesen so genannten Böhm-Vitense-Gaps. Nur wenige Böhm-Vitense-Gaps konnten gefunden werden (zB. Böhm-Vitense & Canterna (1974)) oder es wurden Unregelmäßigkeiten gefunden, die jedoch mit $(B - V)_0$ -Werten von > 0.35 mag viel zu rot waren, als mit dem Einsetzen der Konvektion in Verbindung zu bringen (zB. Rachford & Canterna (2000)).

D'Antona et al. (2002) simulierten die Hyaden anhand von Sternmodellen, in denen Konvektion sowohl in der Sternatmosphäre als auch im Sterninneren behandelt wurde. Sie verwendeten dazu ein adaptiertes *full spectrum of turbulence*-Modell (FST) und ein erweitertes *mixing length theory*-Modell (MLT). Dabei trat in den FST Modellatmosphären eine Lücke bei $(B - V)_0 \sim 0.38$ mag hervor, die MLT-Modelle zeigten keine Lücken. Auch diese Lücke ist zu rot, um vom Einsetzen der Konvektion verursacht zu sein.

In dieser Diplomarbeit wurden hochaufgelöste, photometrische Daten von acht offenen Sternhaufen untersucht und $(B - V)_0$ -Positionen von möglichen Lücken in der Verteilung ermittelt. Sechs Sternhaufen zeigen eine Unregelmäßigkeit im Bereich $0.20 < (B - V)_0 < 0.31$ mag auf, die als Böhm-Vitense-Gaps identifiziert werden. Zwei Sternhaufen zeigen keine Lücke im Bereich des Böhm-Vitense-Gaps.

Abstract

Erika Böhm-Vitense was the first who linked discontinuities in the distribution of main sequence stars in two color diagrams in the region of A- and F-type stars with the abrupt onset of convection as driving process of the energy transport in stellar atmospheres (Böhm-Vitense, 1970). Those so called Böhm-Vitense-Gaps occur at $(B - V)_0 \sim 0.25$ mag ($T_{eff} \sim 7500$ K).

Studies of open clusters however indicated only a few Böhm-Vitense-Gaps (e.g. Böhm-Vitense & Canterna (1974) or found discontinuities with $(B - V)_0 > 0.35$ mag which are too red to can be linked with the onset of convection (e.g. Rachford & Canterna (2000)).

D'Antona et al. (2002) simulated the open cluster of the Hayedes by using stellar models which treat convection in stellar envelopes as well as in the interiors of the stars. For this purpose they adopted the models of the full spectrum of turbulence (FST) and of the mixing length theory (MLT). In the FST model atmospheres they found a gap at $(B - V)_0 \sim 0.38$ mag which is too red as can be produced by the onset of convection. The MLT models did not show any gaps.

In this diploma thesis high resolution photometry of eight open clusters was analyzed and gaps in the color distribution were determined. Six gaps in the region of $0.20 < (B - V)_0 < 0.31$ mag were found and as Böhm-Vitense-Gaps identified. In two open clusters no signs of Böhm-Vitense-Gaps could be found.

Curriculum vitae

Jürgen Öhlinger
Schmelzgasse 3/7
1020 Wien

Geburtsdatum: 5. März 1979

Geburtsort: Steyr

Ausbildung und beruflicher Werdegang

1985 – 1987	Volksschule Punzerstraße, Steyr
1987 – 1989	Volksschule Sierning
1989 – 1993	Bundesgymnasium und Bundesrealgymnasium Werndlpark, Steyr
1993 – 1998	Bundeshandelsakademie Steyr
1998 – 1999	Grundwehrdienst
Oktober 1999	Beginn des Diplomstudiums Astronomie & Astrophysik, Universität Wien
2000 – 2004	Freier Mitarbeiter der Jeunesse - musikalische Jugend Österreichs
2001 – 2001	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Astronomie, Universität Wien (Arbeitsgruppe Prof. Werner W. Weiss)
Juni 2003	Beginn der Diplomarbeit mit dem Thema "Die Untersuchung des Böhm-Vitense-Gaps in offenen Sternhaufen"
2004 – 2006	Assistent für Kinder- und Jugendprojekte, Jeunesse - musikalische Jugend Österreichs
2004 – 2008	Tutor am Institut für Astronomie, Universität Wien
2006 – dato	Musikvermittlung, Kinder- und Jugendprojekte, Jeunesse - musikalische Jugend Österreichs
November 2009	Abschluss der Diplomarbeit

weitere wissenschaftliche Tätigkeiten

- 2003 – 2009 astronomische Vorträge an der KinderUni Wien, KinderUni Steyr, Büchereien Wien und Linz 09 Keplersalon
- 2007 – 2008 Konzeption und Projektleitung des Wissenschaftskommunikationsprojektes "Das Universum im Koffer"(Preisträger FWF-Preis 2008)

Publikationen

- 2003 Oehlinger J., Kaiser A., Kallinger T., Mittermayer P., Weiss W. W., Zwintz K., 2003, **The MOST and COROT prime target fields: A target inventory**, Comm. in Asteroseismology, 143, 36