

# Astronomisches Anfängerpraktikum

## Spektroskopie

HEURITSCH Julia, 0904211

KENN Michael, 8725258

18.Mai 2011

### Zusammenfassung

Der erste Teil dieser Praktikumseinheit beschäftigt sich mit Radialgeschwindigkeitsbestimmungen. Im zweiten Teil geht es um die spektralen Eigenschaften von Sternen, aus denen verschiedene Parameter gewonnen werden können.

## 1 Radialgeschwindigkeitsbestimmung

### 1.1 Canopus

Aufgabe ist es, anhand einer historische Glasplattenaufnahme die Radialgeschwindigkeit von  $\alpha$ -Carinae (HD45348), auch bekannt unter Canopus, zu bestimmen. Dafür liegt ein Katalog von Eisenlinien vor. Das Alignment gelingt uns über die Eisenlinie bei  $\lambda_0=3977.744 \text{ \AA}$ . Wir identifizieren insgesamt 40 Linien, von denen 33 verwertbar sind (Tabelle 1). Die restlichen Linien wurden von uns entweder falsch identifiziert oder zu ungenau gemessen. Die Kallibration der Baseline geschieht mit einem Polynom zweiter Ordnung mittels Least-Square-Fit. Die Korrelation zwischen Wellenlänge  $\lambda$  und gemessener Verschiebung  $s$  ist dabei<sup>1</sup>

$$\lambda - \lambda_0 = 2.443 \cdot 10^{-2} + 3.326 s - 9.312 \cdot 10^{-5} s^2$$

---

<sup>1</sup>Alternativ kann auch  $\lambda - \lambda_0 = 3.346 \cdot (s - 4.553 \cdot 10^{-3})^{0.998}$  gewählt werden, ohne dass sich am Endresult etwas Wesentliches ändert.

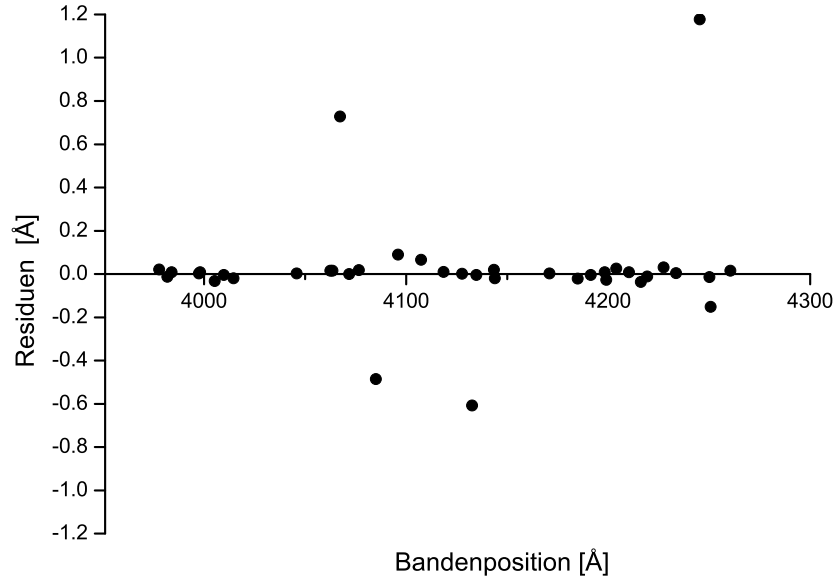


Abbildung 1: Residuen der Wellenlängenpositionen bei einem polynomialen Fit zweiter Ordnung. Werte abseits der x-Achse werden gepruned.

Für die Radialgeschwindigkeitsbestimmung signifikant ist aber letztendlich nur der Koeffizient von  $s$ .

Sei  $s$  der gemessene Shift einer Eisenlinie bei Wellenlänge  $\lambda$  gegenüber der Referenzlinie  $\lambda_0$  und  $s'$  der gemessene zugehörige Shift des Sterns. Die Radialgeschwindigkeit  $v_{\text{rad}}$  lässt sich nun einfach berechnen durch

$$v_{\text{rad}} = 3.326 \cdot \frac{s' - s}{\lambda} \cdot c$$

Hier ist  $c$  die Lichtgeschwindigkeit. Über alle 33 Eisenbanden gemittelt erhält man so das gesuchte Ergebnis

$$v_{\text{rad}} = 12.4 \pm 4.4 \text{ km/s}$$

Die deutliche Abweichung vom Literaturwert  $20.5 \pm 0.9 \text{ kms}$  [2] könnte eventuell an einem systematischen Fehler liegen.

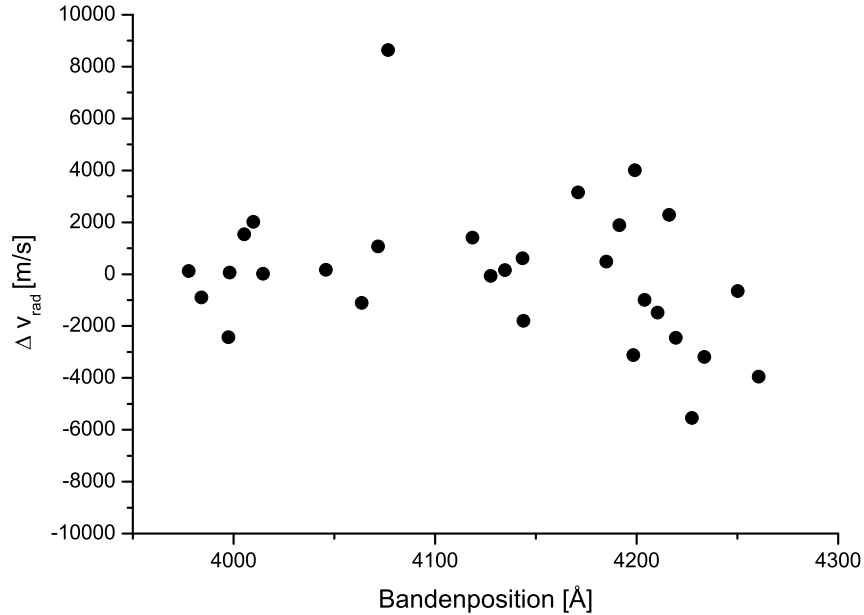


Abbildung 2: Abweichungen der Radialgeschwindigkeiten vom Mittelwert in Abhängigkeit von der Wellenlängenposition

Wie in der Angabe explizit gefordert, zeigen die Abbildung 1 und 2 die Residuen des polynomialen Fits bzw. die Abweichungen der Radialgeschwindigkeiten  $v_{\text{rad}}$  vom Mittelwert  $\bar{v}_{\text{rad}}$  in Abhängigkeit der Bandenposition.

## 1.2 Polaris

Der zweite Teil zum Thema Radialgeschwindigkeitsmessung beschäftigt sich mit dem Tool *Spectroscopic Radial Velocity Evaluation* [1]. Dabei werden für ein zu untersuchendes Spektrum sequentiell vorhandene Banden aus einer Datenbank festgelegt. Die Zuordnung erfolgt dabei userfreundlich per Mausklick. Zum Kennenlernen dieses Tools wählen wir den Stern  $\alpha$ UMi, besser bekannt unter dem Namen Polaris. Die von uns bestimmte Radialgeschwindigkeit von  $v_{\text{rad}} = -16.1 \pm 8.6$  km/s ist in guter Übereinstimmung mit dem SIBMAD [2] Literaturwert von  $-17.4 \pm 0.9$  km/s.

$\lambda$ [Å]	s [mm]	s' [mm]	$v_{\text{rad}}$ [km/s]
3977.744	0.000	0.048	12.0
3981.774	1.201	1.327	31.6
3983.962	1.865	1.909	11.0
3997.396	5.902	5.940	9.5
3998.055	6.102	6.150	12.0
4005.246	8.252	8.306	13.4
4009.717	9.605	9.661	13.9
4014.534	11.049	11.097	11.9
4045.815	20.467	20.516	12.1
4062.444	25.476	25.528	12.8
4063.597	25.823	25.867	10.8
4071.740	28.270	28.323	13.0
4076.637	29.750	29.834	20.6
4095.976	35.596	35.626	7.3
4107.452	39.046	39.094	11.7
4118.549	42.373	42.428	13.3
4127.613	45.102	45.151	11.8
4134.681	47.231	47.281	12.1
4143.420	49.873	49.925	12.5
4143.871	49.997	50.039	10.1
4170.906	58.157	58.220	15.1
4184.895	62.370	62.422	12.4
4191.436	64.349	64.407	13.8
4198.312	66.428	66.465	8.8
4199.099	66.655	66.722	15.9
4203.957	68.137	68.183	10.9
4210.352	70.062	70.106	10.4
4216.186	71.810	71.870	14.2
4219.364	72.777	72.817	9.5
4227.432	75.226	75.253	6.4
4233.612	77.084	77.121	8.7
4250.130	82.068	82.116	11.3
4260.479	85.204	85.238	8.0

Tabelle 1: Messergebnisse zur Bestimmung der Radialgeschwindigkeit von  $\alpha$ -Carinae

## 2 Spektralklassifikation

### 2.1 Prismenspektren

In dieser Übung sind die Objektivprismenspektren von 29 Sternen gegeben. Aufgabe ist es, anhand bestimmter Merkmale den Spektraltyp zu bestimmen und das Resultat zu begründen. Unsere Ergebnisse sind in Tabelle 2 angeführt. Bei 10 der 29 Sterne liegen wir total falsch. Der Fehler bei den restlichen 19 Sternen beträgt durchschnittlich knapp 3 Unterspektralklassen.

### 2.2 CLEA-Spec

CLEA-Spec ist eine Schulungssoftware zur Sternklassifikation. Wir simulieren Aufnahmen von zwölf Sternen aus dem Sternhaufen der Plejaden (M45). Tabelle 3 vergleicht die von uns geschätzten (estim.) Spektralklassen und Leuchtkraftklassen mit den Literaturwerten (lit.). Die durchschnittliche Abweichung unserer Werte ist dabei gerade mal 1.5 Unterspektralklassen.

Zusätzlich werden noch weitere 25 vorgegebene Programmsterne spektroskopiert. Die Ergebnisse dazu finden sich in Tabelle 4. Hier liegt unser Fehler bei durchschnittlich 1.7 Unterspektralklassen.

### 2.3 Auswertung der gewonnenen Daten

#### Leuchtkraft, Größe und Entfernung :

Die Abschätzung der absoluten Helligkeiten  $M_V$  der Probanden erfolgt empirisch aus der Hauptreihe des HR-Diagramms. Für die Leuchtkraftbestimmung ist eine bolometrische Korrektur  $B.C.(V)$  dieser Helligkeit erforderlich. Diese liegt tabelliert vor bzw. muss gegebenenfalls interpoliert werden.

$$M_{\text{Bol}} = M_V + B.C.(V)$$

Die Sonne hat eine bolometrische Helligkeit von  $M_{\text{Bol}\odot} = 4.72$ . Daraus lässt sich direkt die Leuchtkraft des Sterns in Sonnenleuchtkräften angeben:

$$L_*/L_\odot = 100^{-\frac{1}{5}(M_{\text{Bol}*} - M_{\text{Bol}\odot})}$$

Mit Hilfe des Stefan-Boltzmann Gesetz lässt sich ebenso einfach der Radius des Sterns in Sonnenradien angeben. Die Effektivtemperatur der Sonne

Stern Stern ID	Spektraltyp		Kommentar
	estim.	lit.	
2	B7	A0	Ausgeprägte H-Linien
3	WN	WC	Emissionslinien-Stern
4	O	K2	Spektrum wird stärker gegen rechts
5	O	O	Breites Spektrum, keine Linien
6	O5	F2	Schwache H $\delta$ und H $\nu$ -Linien
7	A2	A0	Ausgeprägte Absorptionslinien, starkes Spektrum
8	F6	A0	Heiß, breit, schwach
9	B2	B0	Heiß, breit, sehr leichte Linien
10	A0	A7	Ausgeprägte H-Linien
11	K0	F2	Ganz leichte Linien, schmales Spektrum
12	M2	G8	Keine Linien, schwach, schmal
13	WN	WN	Emissionslinien
14	B4	B0	Breite, schwache Linien, heiß
15	F3	F2	Leichte, gut erkennbare Linien, schwaches Spektrum
16	G2	F5	Ähnlichkeit mit Sonnenspektrum
17	B5	F2	Breit, Linien gut erkennbar
18	K3	K0	Starke Emission rechts
19	A2	A2	Breit, sehr starke Linien
20	B3	B8	Banden schwächer, Spektrum breiter
21	F6	A5	Starke Banden, rechts mehr Emission
22	O	O	Sehr breit, keine Linien
23	F8	F0	Linien erkennbar
24	B3	A5	Breites, schwaches Spektrum, leicht erkennbar Linien
25	WN	WC	Eine starke Emissionslinie erkennbar, sonst nichts
26	K3	K0	Schmal und TiO-Absorption
27	O/M2	G5	Schwaches Spektrum, kaum Linien und viel zu finster
28	K2	G5	Schmal, wenig Linien
29	F1	A0	Viele Absorptionslinien, schwaches Spektrum
30	A0	A0	Stark ausgeprägte Absorptionslinien

Tabelle 2: Unsere Klassifikation der Prismenspektren (estim.) vs. den Literaturwerten (lit.)

Stern ID	RA	REC	$m_V$	exp.time	estim.	lit.
HD 23642	3:44:39.92	24°08m49.5s	6.81	9.0	B6 V	A0 V
HD 23733	3:45:15.01	24°11m03.4s	8.27	30.0	F0 V	A9 V
HD 23713	3:45:09.01	24°00m08.3s	9.25	30.1	F7 V	F6 V
HD 23778	3:45:32.96	24°02m07.9s	9.05	30.1	F4 V	F4 V
HD 23850	3:46:09.06	23°55m03.6s	3.64	10.0	B4 V	B8 V
HD 23862	3:46:14.96	24°00m02.6s	5.09	9.0	B6 V	B7 V
HD 23511	3:43:39.94	23°57m57.3s	9.29	30.2	F5 V	F4 V
HD 23463	3:43:14.99	24°03m04.9s	7.96	30.1	K0 V	K2 V
HD 23489	3:43:26.97	24°07m01.3s	7.35	20.2	A1 V	A2 V
HD 23387	3:42:39.07	24°11m00.5s	7.18	20.2	A1 V	A1 V
HD 23361	3:42:26.92	23°52m58.2s	8.04	30.1	A1 V	A3 V
HD 23409	3:42:51.04	23°54m03.8s	7.85	30.2	A1 V	A2 V

Tabelle 3: Zwölf von uns gewählte und mit CLEA-Spec klassifizierte Sterne aus dem Sternhaufen der Plejaden

beträgt dabei  $T_{\text{eff}\odot} = 5778 \text{ K}$ .

$$R_*/R_\odot = (L_*/L_\odot)^{\frac{1}{2}} \cdot (T_{\text{eff}*}/T_{\text{eff}\odot})^{-2}$$

Etwas aufwendiger gestaltet sich die Entfernungsbestimmung. Bezeichnet  $d$  die Entfernung des Sterns in pc, so gilt das Entfernungsmodul

$$\begin{aligned} m_V - M_V &= 5 \cdot \log_{10} d - 5 + A_V \\ d &= 10^{\frac{1}{5}(m_V - M_V + 5 - A_V)} \end{aligned}$$

mit  $m_V$  und  $M_V$  relative bzw. absolute  $V$ -Magnituden. Allerdings muss hier noch die Extinktion  $A_V$  berücksichtigt werden.

$$\begin{aligned} A_V &= 3.2 E_{B-V} \\ E_{B-V} &= (B - V) - (B - V)_0 \end{aligned}$$

Die Werte für  $m_V$  und  $(B - V)$  werden individuell für jeden Stern gemessen,  $(B - V)_0$  liegt für einzelne Spektralklassen tabelliert vor und wird gegebenenfalls aus den vorhandenen Daten interpoliert. Die laut Angabe zu bestimmenden Parameter sind in den Tabellen 5 und 6 zusammengefasst.

ID	Spektralklassen		
	estim.	lit.	$ \Delta $
HD 124320	A1 V	A2 V	1
HD 37767	B3 V	B3 V	0
HD 35619	B0 V	O7 V	3
HD 23733	F0 V	A9 V	1
O 1015	B6 V	B8 V	2
HD 24189	F8 V	F6 V	2
HD 107399	G3 V	F9 V	4
HD 240344	B3 V	B4 V	1
HD 17647	G5 V	G1 V	4
BD +63137	M0 V	M1 V	1
HD 66171	G6 V	G2 V	4
HZ 948	F5 V	F3 V	2
HD 35215	B2 V	B1.5 V	0.5
Feige 40	B4 V	B4 V	0
Feige 41	A1 V	A1 V	0
HD 6111	G2 V	F8 V	4
HD 23863	A6 V	A7 V	1
HD 221741	A2 V	A3 V	1
HD 242935	O5 V	O8 V	3
HD 5351	K3 V	K4 V	1
SAO 81292	n/a	M4.5 E	n/a
HD 27685	G6 V	G7 V	1
HD 21619	A4 V	A6 V	2
HD 23511	F5 V	F4 V	1
HD 158659	B0 V	B0 V	0

Tabelle 4: Spektralklassenbestimmung von 25 vorgegebenen Programmster-  
nen



Stern ID	beobachtete Parameter			abgeleitete Parameter				errechnete Parameter			sonstige Größen	
	Sp-Kl.	$m_V$	$B - V$	$M_V$	B.C.(V)	$(B - V)_0$	$T_{\text{eff}}$	$L_*/L_\odot$	$R_*/R_\odot$	$d/\text{pc}$	$E_{B-V}$	$A_V$
HD 23862	B7 V	5.09	-0.08	0.1	-1.02	-0.11	13000	180	2.7	95	0.03	0.10
HD 23850	B8 V	3.64	-0.08	0.3	-0.80	-0.08	11900	122	2.6	47	0.00	0.00
HD 23642	A0 V	6.81	0.06	0.7	-0.30	-0.02	9520	53	2.7	148	0.08	0.26
HD 23387	A1 V	7.18	0.16	0.9	-0.23	0.01	9230	42	2.5	145	0.15	0.47
HD 23489	A2 V	7.35	0.10	1.2	-0.20	0.05	8970	31	2.3	157	0.05	0.17
HD 23409	A2 V	7.85	0.20	1.2	-0.20	0.05	8970	31	2.3	171	0.15	0.49
HD 23361	A3 V	8.04	0.21	1.5	-0.17	0.08	8720	23	2.1	168	0.13	0.41
HD 23733	A9 V	8.27	0.36	2.5	-0.10	0.27	7390	8	1.8	125	0.09	0.29
HD 23778	F4 V	9.05	0.49	3.3	-0.13	0.42	6590	4	1.6	127	0.07	0.22
HD 23511	F4 V	9.29	0.46	3.3	-0.13	0.42	6590	4	1.6	149	0.04	0.13
HD 23713	F6 V	9.25	0.55	3.6	-0.15	0.47	6360	3	1.5	120	0.08	0.26
HD 23463	K2 V	7.96	0.32	6.6	-0.42	0.95	4900	0.3	0.7	47	-0.63	-2.02

Tabelle 5: Die errechneten Parameter der zwölf von uns ausgewählten Sterne im Sternhaufen der Plejaden

Stern ID	beobachtete Parameter			abgeleitete Parameter				errechnete Parameter			sonstige Größen	
	Sp-Kl.	$m_V$	$B - V$	$M_V$	B.C.(V)	$(B - V)_0$	$T_{\text{eff}}$	$L_*/L_\odot$	$R_*/R_\odot$	$d/\text{pc}$	$E_{B-V}$	$A_V$
HD 124320	A2 V	8.87	0.12	1.2	-0.20	0.05	8970	31	2.3	308	0.07	0.23
HD 37767	B3 V	8.93	0.16	-1.2	-1.94	-0.22	18700	1393	3.6	606	0.38	1.22
HD 35619	O7 V	8.56	0.22	-4.8	-3.68	-0.32	38000	190546	10.1	2120	0.54	1.73
HD 23733	A9 V	8.27	0.36	2.5	-0.10	0.27	7390	8	1.8	125	0.09	0.29
O 1015	B8 V	10.62	0.28	0.3	-0.80	-0.08	11900	122	2.6	682	0.36	1.15
HD 24189	F6 V	8.51	0.53	3.6	-0.15	0.47	6360	3.2	1.5	88	0.06	0.19
HD 107399	F9 V	9.10	0.58	4.1	-0.17	0.56	5410	2.1	1.6	97	0.02	0.06
HD 240344	B4 V	8.95	0.65	-0.8	-1.70	-0.20	17000	773	3.2	255	0.85	2.72
HD 17647	G1 V	8.63	0.70	4.5	-0.19	0.60	5940	1.5	1.1	58	0.10	0.32
BD +630137	M1 V	8.98	1.38	9.6	-1.62	1.47	3720	0.0	0.5	9	-0.09	-0.29
HD 66171	G2 V	8.24	0.63	4.8	-0.20	0.62	5860	1.1	1.0	48	0.01	0.03
HZ 948	F3 V	9.13	0.44	3.1	-0.12	0.39	6740	5	1.6	149	0.05	0.16
HD 35215	B1.5 V	9.42	0.10	-2.1	-2.50	-0.26	24000	5346	4.2	1185	0.36	1.15
Feige 40	B4 V	11.07	-0.04	-0.8	-1.70	-0.20	17000	773	3.2	1869	0.16	0.51
Feige 41	A1 V	10.90	0.12	0.9	-0.23	0.01	9230	42	2.5	855	0.11	0.34
HD 6111	F8 V	8.86	0.62	3.9	-0.16	0.53	6200	2.5	1.4	86	0.09	0.29
HD 23863	A7 V	8.13	0.22	2.2	-0.12	0.21	7850	11	1.8	151	0.01	0.03
HD 221741	A3 V	8.90	0.27	1.5	-0.17	0.08	8720	23	2.1	229	0.19	0.60
HD 242935	O8 V	9.41	0.21	-4.2	-3.54	-0.31	35800	96383	8.1	2450	0.52	1.66
HD 5351	K4 V	9.13	1.08	7.0	-0.55	1.08	4590	0.2	0.7	27	0.00	0.00
SAO 81292	M4.5 E	9.37	1.55	12.0	-2.56	1.57	3300	0.0	0.3	3	-0.02	-0.06
HD 27685	G7 V	7.79	0.70	5.6	-0.34	0.72	5640	0.6	0.8	28	-0.02	-0.06
HD 21619	A6 V	8.68	0.26	2.1	-0.14	0.18	8020	13	1.9	184	0.08	0.26
HD 23511	F4 V	9.28	0.50	3.3	-0.13	0.42	6590	4	1.6	140	0.08	0.26
HD 158659	B0 V	10.33	0.22	-3.0	-3.16	-0.30	30000	22491	5.6	2154	0.52	1.66

Tabelle 6: Die errechneten Parameter der 25 gegebenen Programmsterne

### Visuelle Extinktion :

Die Abhängigkeit der visuellen Extinktion  $A_V$  von der Distanz  $d$  ist

$$A_V(d) = m_V - M_V - 5 \log_{10} d + 5$$

Für die 25 Programmsterne ist diese Abhängigkeit in Abbildung 3 illustriert.

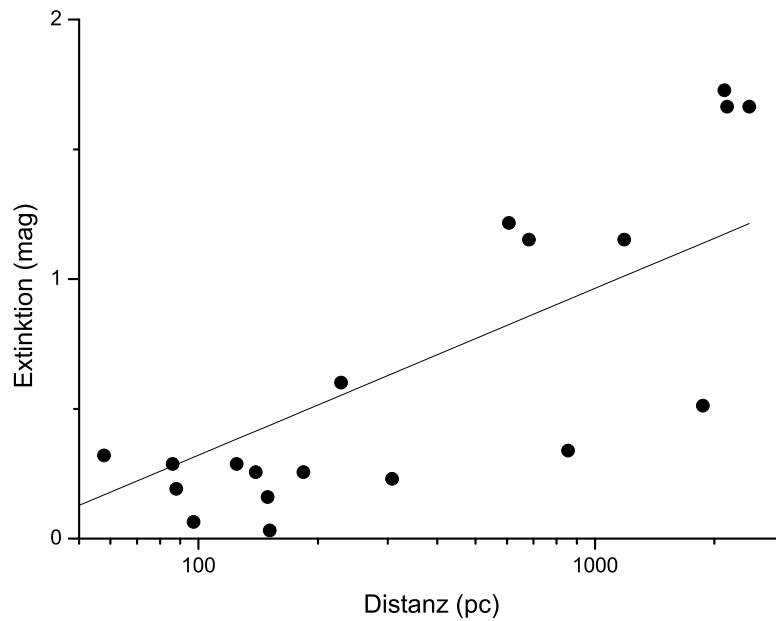


Abbildung 3: Die Extinktion  $A_V$  als Funktion der Distanz  $d$  eines Sterns

### Äquivalentbreite :

Für die zwölf Sterne aus dem Sternhaufen der Plejaden haben wir mit CLEA-Spec auch die Äquivalentbreiten für  $H\delta$  (4101.75) und  $H\delta$  (4340.48) gemessen. Es zeigt sich ein überraschendes Bild. Entgegen unserer Erwartungen nimmt die Äquivalentbreite nämlich mit zunehmender Röte des Sternes ab. Abbildung 4 zeigt, dass dies für beide Banden gilt, und das Ergebnis durchaus signifikant ist.

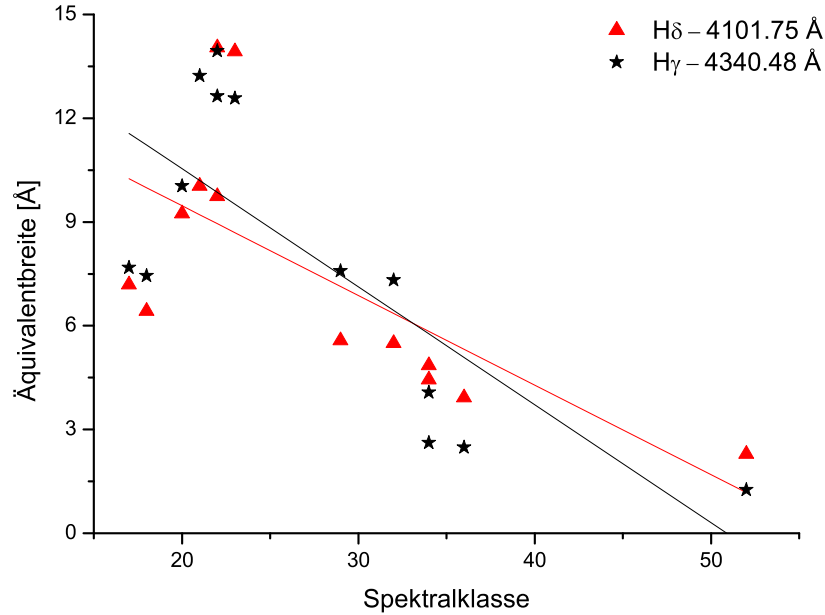


Abbildung 4: Äquivalentbreite in Abhängigkeit vom Spektraltyp. B0 entspricht 10, A0 entspricht 20, usw.

**Entfernungsberechnung vs. Leuchtkraftklasse :**

Gefragt ist, ob eine Korrelation zwischen Leuchtkraftklasse und berechneter Entfernung besteht. Da unsere Daten dafür nicht ausreichend sind greifen wir auf ältere Datensätze zurück [4]. Je ein Set Sterne mit Leuchtkraftklasse III und V sind in Tabelle 7 angeführt.<sup>2</sup> Wir verwenden den t-Test zum Mittelwertvergleich zweier unabhängiger, normalverteilter Verteilungen [5]:

$$s = \sqrt{\frac{(n-1)s_x^2 + (m-1)s_y^2}{n+m-2}} \approx 350$$

$$t = \sqrt{\frac{nm}{n+m}} \frac{\bar{x} - \bar{y}}{s} \approx 2.47$$

<sup>2</sup>Für Leuchtkraftklasse I existieren nur zwei Sterne, und wie verzichten deshalb mangels ausreichender Signifikanz auf eine Untersuchung.

Spektralklasse	# Sterne	Distanz [pc]
III	6	$690 \pm 552$
V	15	$272 \pm 241$

Tabelle 7: Zwei Datensätze von Sternen mit Leuchtkraftklasse III und V.

Das liefert mit Hilfe von [6]

$$t(\alpha; 19) = 2.47$$

$$\alpha = 0.988$$

Es ist also tatsächlich der Fall, dass mit über 98% Wahrscheinlichkeit die Hypothese vertreten werden kann, dass die beobachteten Leuchtkraftklasse III Sterne im Schnitt weiter entfernt sind, als solche mit Leuchtkraftklasse V. Das ist insofern nicht verwunderlich, da diese ja heller sind, und deshalb bei größeren Entfernungen mit einem größeren relativen Anteil beobachtbar sind.

## Literatur

- [1] **Spectroscopic Radial Velocity Evaluation**,  
<http://www.astro.buecke.de/SpecRaVE/specrave.html>
- [2] **SIMBAD**,  
<http://simbad.u-strasbg.fr/>
- [3] **Astronomisches Praktikum für Anfänger - Beispiel Spektroskopie**,  
<http://www.univie.ac.at/dasa/aprakt/>
- [4] A. Herdin, C.Vogl,  
**Astronomisches Anfängerpraktikum - Spektralklassifikation**,  
*SS2010*
- [5] **t-Tests für zwei unabhängige Stichproben**,  
<http://de.wikipedia.org/wiki/T-Test>
- [6] **Students T-Verteilung Calculator**,  
<http://psydok.sulb.uni-saarland.de/volltexte/2004/268/html/surfstat/t.htm>