

Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 43 (1985)
Heft: 209

Artikel: Die Behandlung von Fixsternen im Schulunterricht
Autor: Keller, Sebastian
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-899199>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 08.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

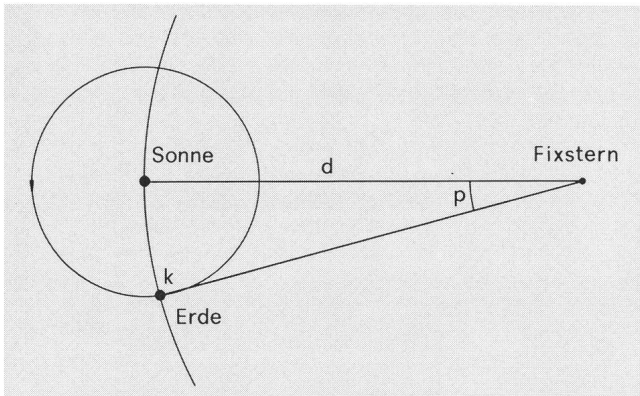
Die Behandlung von Fixsternen im Schulunterricht

Seit einigen Jahren erteile ich in den 8. Klassen des Humanistischen Gymnasiums Basel einen halbjährigen Wahlfachkurs zu zwei Wochenstunden mit dem Thema: Einführung in die Astronomie. Im ersten Teil des Kurses kommen die klassischen Themen: Grundbegriffe der Positionsastonomie, Umgang mit der Sternkarte, Bewegung des Mondes und der Planeten zur Sprache. Der zweite Teil soll die Schüler mit der Welt der Fixsterne bekanntmachen; darüber will ich im folgenden berichten.

Für die beschriebene Lektionsfolge muss man etwa 8 bis 10 Doppellektionen einsetzen, je nachdem wie ausführlich man die Übungen machen will. Das Hauptziel ist die Erarbeitung des Hertzsprung-Russell-Diagramms mit einem sogenannten Spektrenpuzzle. Das Zusammensetzen der Farben-Helligkeitsdiagramme von Sternhaufen zur Entfernungsbestimmung ist für die Schüler eine schöne Aufgabe mit eindrücklichen Resultaten, kann aber bei Zeitknappheit ohne Schaden weggelassen werden.

Wir beginnen mit der Frage, was Fixsterne sind: heisse selbstleuchtende Kugeln wie die Sonne, und nach welchen Gesichtspunkten man ihr Licht untersuchen kann: Richtung, Quantität, Qualität.

Die Richtung: das Phänomen der Parallaxe



Berechnung der Entfernung d aus dem Parallaxenwinkel p:

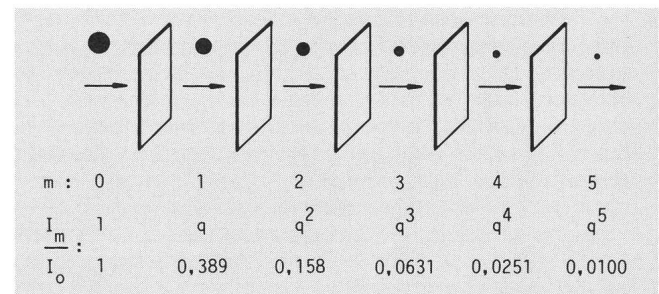
$$\frac{\text{Umfang Kreis } k}{\text{Bogen Erde-Sonne}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot d}{1 \text{ A.E.}} = \frac{360^\circ}{p}$$

d wird umgekehrt proportional zu p.
Einführung der Entfernungseinheit parsec (pc).
Kontrollfrage: wieviele pc entsprechen einem Winkel von 0.5", 0.01" ?
Beispiele für Parallaxenwinkel und Entfernungen in Lichtjahren.

Die Quantität: Begriff der Helligkeit

Wir besprechen zuerst die Skala der scheinbaren Helligkeiten, die Messung von Helligkeiten mittels Photometern

(Schwärzungsflecken auf Photoplatte) und die Standardisierung der Masszahlen mit Hilfe der Polsequenz. Wir stellen dem historisch bedingten und willkürlichen *astronomischen Mass* m für die Helligkeit das adäquate, natürliche und objektive *physikalische Mass*, die Intensität I: = Leistung pro (Empfänger)fläche, gegenüber¹⁾. Den Zusammenhang zwischen m und I ermitteln wir aus dem (empirischen) Sachverhalt: wenn Licht auf eine geschwärzte Platte trifft, so ist die Differenz der m-Werte vor und nach dem Durchgang eine feste (d.h. von der Helligkeit unabhängige) Zahl, während bei den I-Werten das Verhältnis fest ist. Wir denken uns nun eine Serie von identischen Platten, welche m jeweils um 1 heraufsetzen; wir könnten dann nachmessen, dass das Verhältnis q der I-Werte 0.389 beträgt.



Wir leiten daraus ab, dass $q = 10^{-0.4}$ und

$$I_m = I_0 \cdot 10^{-0.4 m} \tag{1}$$

Als nächstes besprechen wir die Abhängigkeit der scheinbaren Helligkeit von der Entfernung zum Stern: mit wachsender Entfernung nimmt die Intensität ab und damit die Zahl m zu. Zur Bestimmung des quantitativen Zusammenhangs betrachten wir die Helligkeiten und Intensitäten auf zwei Kugeln, in deren Zentrum der Stern mit der Leuchtkraft L (: = totale abgestrahlte Leistung) ist.

$$I_M = \frac{L}{4 \pi R^2} = I_0 \cdot 10^{-0.4 M},$$

$$I_m = \frac{L}{4 \pi r^2} = I_0 \cdot 10^{-0.4 m},$$

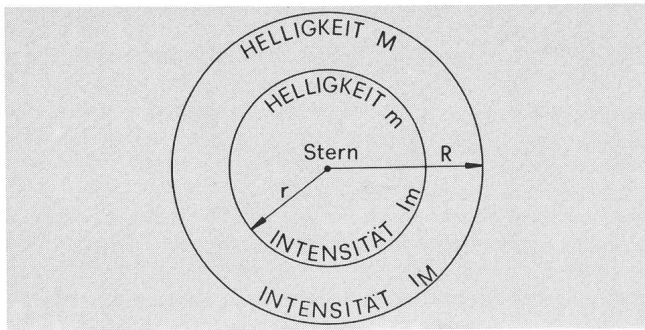
$$\frac{I_M}{I_m} = \frac{r^2}{R^2} = 10^{-0.4 (M-m)},$$

$$\frac{r}{R} = 10^{0.2 (m-M)} \tag{2}$$

Die Formel (2) gestattet, alle Helligkeiten auf eine Standardentfernung R, z.B. R = 10 pc, umzurechnen. Damit kommen wir zur absoluten Helligkeit M, als Mass für die Leuchtkraft des Sterns. Formel (2) lautet für R = 10 pc :

$$r = 10^{0.2 \cdot (M-m)} + 1 \text{ (pc)} \tag{3}$$

1) Der Begriff ist ad hoc und nicht sehr präzise gebildet, da ich mich mit Schülern nicht ins Begriffsdickicht der Photometrie gebe.



(Beziehung zwischen Entfernung, scheinbarer und absoluter Helligkeit).

Mit Formel (3) stellen wir jetzt eine Tabelle auf:

m-M	r (in pc)	p (in ")
-5	1	1
-4	1.58	0.631
-3	2.51	0.398
+10	1000	0.001

Damit lösen wir etwa folgende Aufgaben:

- 1) Für Sirius ist $m = -1.6$, $p = 0.37''$. Bestimme M.
- 2) Für β Ori (Rigel) ist $m = 0.3$, keine messbare Parallaxe. Wie gross muss M mindestens sein?
- 3) Gibt es innerhalb der Kugel mit Radius 10 pc einen Stern mit $M = -2$?
- 4) Bis zu welcher Entfernung sind Sterne mit $M = 4$ gerade noch von blossen Auge sichtbar?
- 5) Für die Sonne ist $m = -26$. Wie gross ist M?

Die Qualität: Spektralanalyse

Experimente zur Spektralanalyse wurden schon im Artikel von H. KAISER im ORION 200 (Februar 1984), S. 36, besprochen; ich kann mich deshalb hier kurz fassen. Ich mache folgende Experimente:

- 1) Brechung von weissem Licht am Prisma
- 2) Beugung von weissem Licht am Gitter
- 3) Beugung von Na- und Hg-Licht am Gitter
- 4) Beobachtung des Sonnenlichts (Absorptionslinien) mit Taschenspektrometern
- 5) Schülerversuch mit dem Experimentiersatz von Neva¹⁾: Bestimmung der Wellenlänge von rotem und blauem Licht durch Beugung am Doppelspalt.

Für das Verständnis der Beugungsphänomene genügt die Erklärung der Beugung am Doppelspalt mit der Überlagerung zweier Wellen. Das Zustandekommen der Emissions- und Absorptionslinien wird in ähnlicher Weise erklärt, wie das im Artikel von H. KAISER beschrieben ist. Eine gute, einfache Darstellung findet sich in O. STRUVE, Astronomie, Seite 216 ff.

Die Untersuchung der Sternspektren

Wir versetzen uns in die Situation um 1900: es liegen die Spektren von Tausenden von Sternen vor. Die Spektren lassen sich nach dem Muster ihrer Absorptionslinien in Gruppen einteilen; und es geht nun darum, diese Gruppen in eine vernünftige Ordnung zu bringen.

Jeder Schüler erhält ein Set von 24 Spektren auf Papier-

1) Neva-Lerngerät Nr. 3901 (Wellenoptik)

streifen; jedes Spektrum ist auf der Rückseite mit einer (zufälligen) Identifikationsnummer versehen. Diese Spektren sind Xerokopien der O-Stars und der Main Sequence aus dem Atlas von Morgan-Keenan-Kellman (KIT PEAK 1943). Die Aufgabe lautet nun, diese Papierstreifen so zu ordnen, dass sich die Absorptionslinien von Spektrum zu Spektrum möglichst stetig und ohne Sprünge ändern.

Die Lösung der Aufgabe gelingt regelmässig; bis auf kleine Vertauschungen finden die Schüler die natürliche Ordnung der Spektrenklassifikation, deren übliche Bezeichnung O-B-A-F-G-K-M nach der Übung vorgestellt wird. Anschliessend werden die wichtigsten Spektrallinien und Merkmale der einzelnen Klassen besprochen.

Lösung des Spektrenpuzzles:

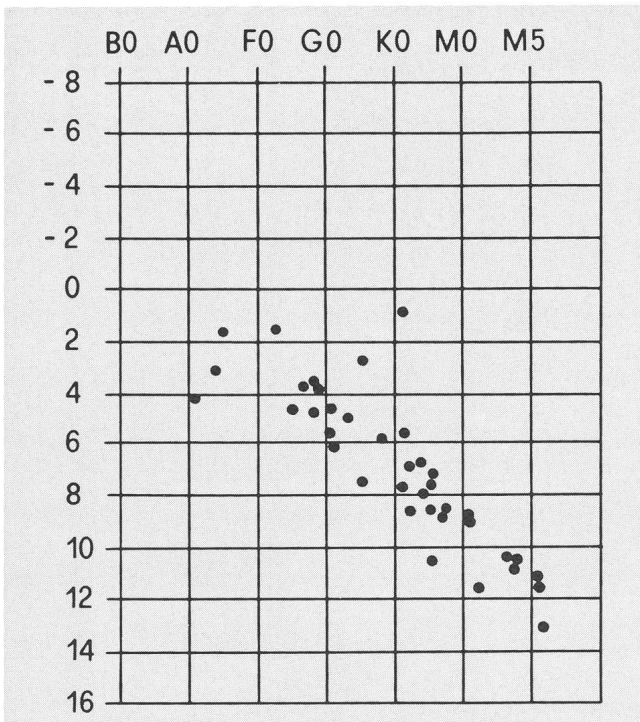
Nummer	Spektraltyp
93	04
24	05
76	08
45	B0
31	B2
50	B5
87	B8
62	B9
18	A0
41	A3
56	A7
73	F0
39	F2
26	F5
98	F8
65	G0
81	G2
20	G8
72	K0
58	K2
33	K5
12	K7
47	M2

Der Zusammenhang zwischen Spektraltyp und Helligkeit

Bei den Sternen mit zuverlässiger Parallaxe kennt man neben dem Spektraltyp auch die absolute Helligkeit. Es fällt auf, dass Sterne der Typen A, F im allgemeinen heller sind als Sterne der Typen K, M. Das motiviert eine Untersuchung der Beziehung zwischen Spektraltyp und absoluter Helligkeit.

Die Schüler erhalten folgendes Material: eine Seite aus dem Katalog von W. GLIESE¹⁾, einen Raster für ein Spektraltyp-Helligkeitsdiagramm, eine Hellraumprojektorfolie mit Stift.

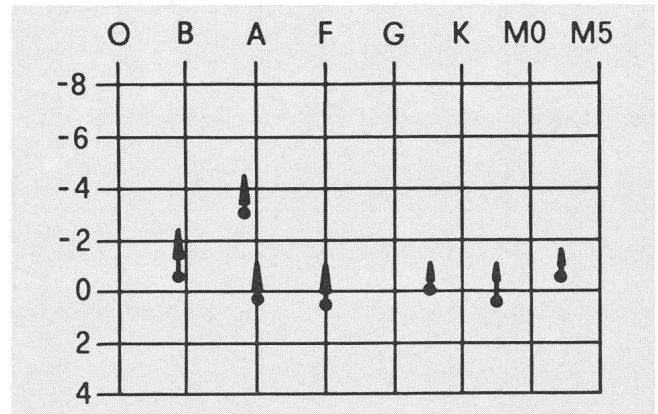
Die Folie wird auf den Raster gelegt, die Achsen auf die Folie übertragen, und die Sterne der betreffenden Katalogseite (ca. 40) am richtigen Ort auf der Folie markiert. Anschließend werden die Folien übereinandergelegt. Es zeigt sich, dass die Sterne nicht zufällig über das Diagramm verteilt sind, sondern dass sich ein schmales Band (die Hauptreihe) abzeichnet, in welchem praktisch alle Sterne zu finden sind. Allerdings fehlen O- und B-Sterne und überhaupt alle weiter entfernten Sterne.



Die Schüler bekommen jetzt nochmals 20 Spektren auf Papierstreifen, es handelt sich dabei um die Sterne der Giants und Supergiants aus dem Morgan-Keenan-Kellman-Atlas, also um weiter entfernte Objekte. Die Schüler bestimmen den Spektraltyp dieser Sterne durch Vergleich mit den früheren Spektren (O-Stars, Main Sequence); die absolute Helligkeit können sie aus der scheinbaren Helligkeit wenigstens nach unten abschätzen mit der Angabe, dass bei diesen Sternen die Parallaxe durchwegs kleiner als 0.02'' ist. Somit lässt sich die Lage dieser Sterne auch auf der Folie eintragen. Das Resultat sieht (auszugsweise) so aus:

Stern	m	Sp	M (≤)
ι Ori	2.9	O9	-0.6
β Ori	0.3	B8	-3.2
α Dra	3.6	A0	0.1
ζ Leo	3.7	F0	0.2
δ UMa	3.5	G5	0
ξ Cyg	3.9	K5	0.4
δ Oph	3.0	M2	-0.5

1) Katalog der Sterne näher als 20 Parsek für 1950.0



Die charakteristischen Merkmale des Hertzsprung-Russell-Diagramms (Hauptreihe, Zwerge, Riesen) sind nun auf den Folien deutlich zu erkennen.

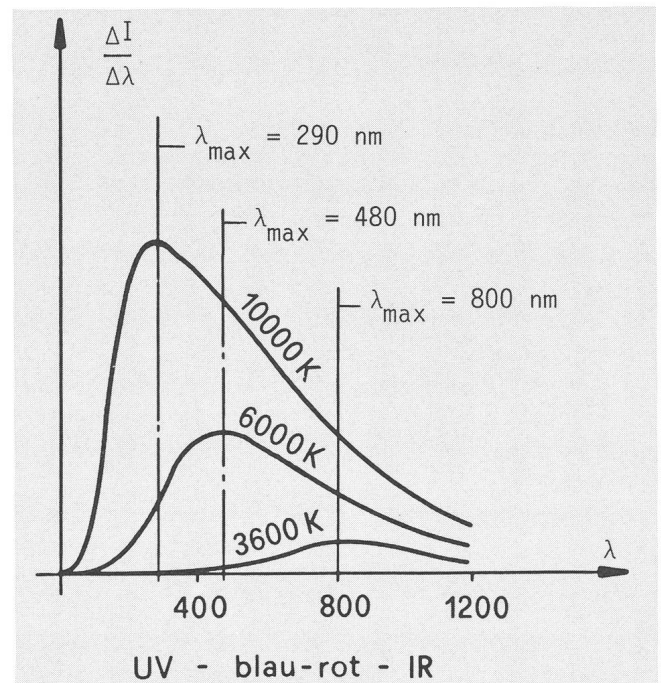
Deutung des Hertzsprung-Russell-Diagramms

Das Spektrum ist ein Indikator für die Temperatur des Sterns. Wir besprechen die beiden Merkmale, aus welchen man die Temperatur bestimmt:

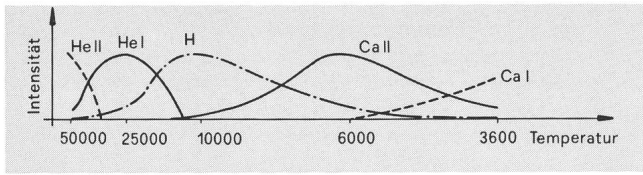
1) Die Intensitätsverteilung im kontinuierlichen Spektrum. Die Wellenlänge λ_{max} des Intensitätsmaximums verschiebt sich mit wachsender Temperatur nach links. Anschaulich: ein glühendes Stück Kohle verändert mit wachsender Temperatur seine Farbe von rot nach gelb – weiss – bläulich weiss.

$$\text{Quantitativ: } \lambda_{\text{max}} = \frac{0.2898 \text{ cm K}}{T}$$

(Wiensches Gesetz).

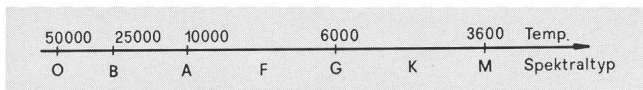


2) Die Intensitätsverteilung der Absorptionslinien. Für jedes Element gibt es eine charakteristische Temperatur, bei welcher die Intensität der zugehörigen Absorptionslinien maximal wird.

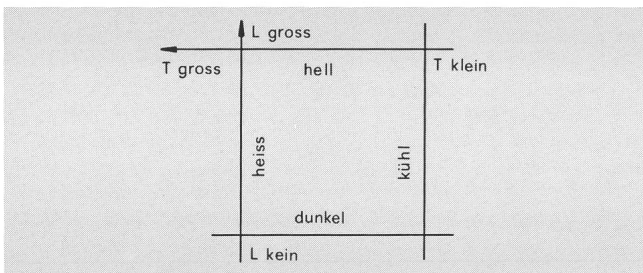


Die Intensitätsmaxima kommen durch zwei entgegengesetzte Effekte zustande: mit wachsender Temperatur nimmt zunächst die Zahl der angeregten Atome zu (welche die Absorption bewirken), bei höheren Temperaturen setzt aber dann die Ionisation dieser Atome ein. Eine genauere Beschreibung findet sich bei STRUVE, Seite 305 ff.

In der Spektralsequenz O-B-A-F-G-K-M wird besonders schön sichtbar das Intensitätsmaximum der H-Linien bei den A-Sternen. Die Bestimmung der Temperatur für die einzelnen Spektraltypen mit Hilfe der Absorptionslinien zeigt, dass die Spektralsequenz eine Sequenz nach fallender Temperatur darstellt.



Damit wird das Hertzsprung-Russell-Diagramm äquivalent zu einem Leuchtkraft-Temperatur-Diagramm:



Riesen und Zwerge

Wir stellen die Frage, wodurch sich die Sterne ausserhalb der Hauptreihe von den Hauptreihensternen unterscheiden. Mit den Assoziationen 'nicht hell, aber heiss' und 'nicht heiss, aber hell' kommen die Schüler meist von selbst darauf, dass sich die Sterne durch ihre Grösse unterscheiden: oben rechts sind vergleichsweise grosse Sterne (Riesen), unten links kleine Sterne (Zwerge). Der quantitative Zusammenhang zwischen T, L und dem Sternradius r ergibt sich aus dem Gesetz von STEFAN-BOLTZMANN: die gesamte über die Sternoberfläche abgestrahlte Leistung (Leuchtkraft) ist $L = 4\pi r^2 \cdot \sigma \cdot T^4$. Wir berechnen das Radienverhältnis zwischen einem Riesen, einem Zwerg und der Sonne (Hauptreihenstern) aus folgenden Angaben:

	M	Sp	T
Sonne	4.8	G2	5700°
α Ori	-4.1	M2	3200°
α CaM B	11.54	A5	9500°

Rechnung: $\frac{L_1}{L_2} = 10^{-0.4(M_1 - M_2)} = \frac{4\pi r_1^2 \cdot \sigma \cdot T_1^4}{4\pi r_2^2 \cdot \sigma \cdot T_2^4}$,
 $\frac{r_1}{r_2} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2 \cdot 10^{0.2(M_2 - M_1)}$

Ergebnisse:

Radienverhältnis α Ori/Sonne = 191,
 Radienverhältnis α CaM B/Sonne = 0.016.

Spektroskopische Parallaxen und Leuchtkraftklassen

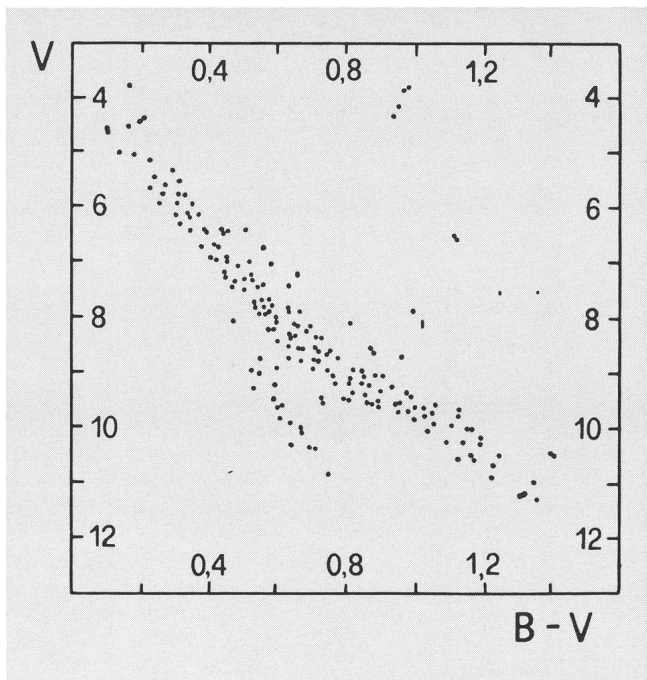
Wir besprechen die Idee, die Entfernung eines Sterns nach der Formel $r = 10^{1+0.2(m-M)}$ zu bestimmen, indem man die unbekannte absolute Helligkeit M aus dem Spektraltyp schätzt. Beispiel: für einen GO-Hauptreihenstern mit $m = 12$ ergibt sich $M = 5$, $r = 250$ pc. Die dabei auftretende Schwierigkeit – ist der Stern auf der Hauptreihe oder im Riesengebiet – gibt Anlass, auf die 2-dimensionale Klassifikation mit den Leuchtkraftklassen einzutreten und den vollständigen MKK-Atlas vorzustellen.

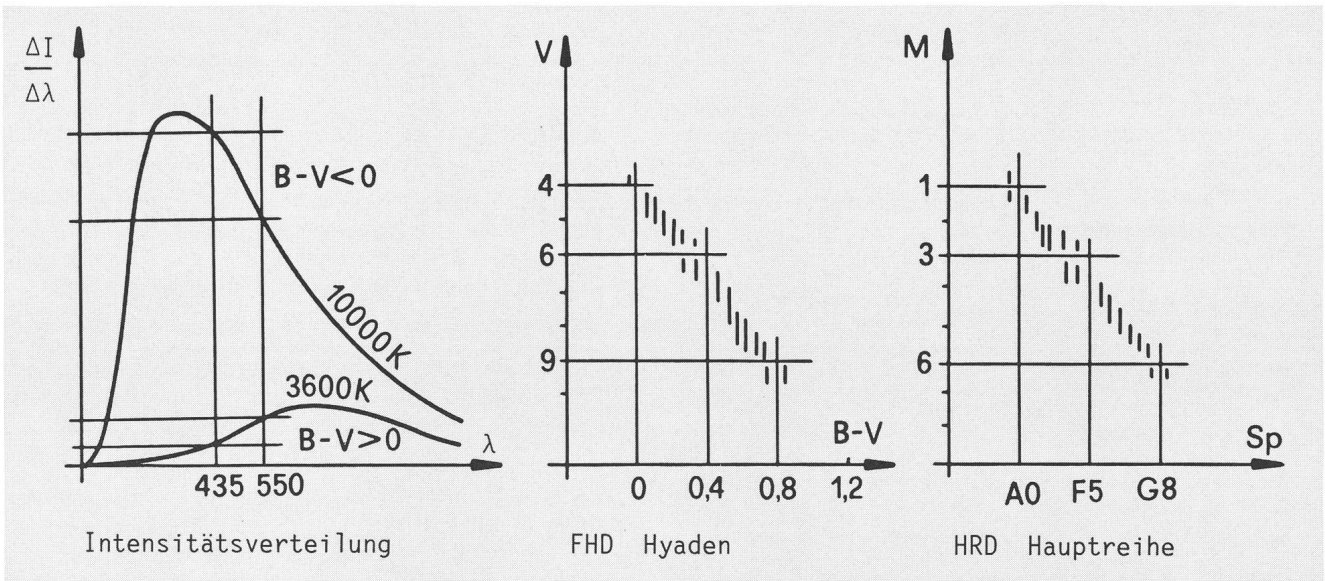
Farb-Helligkeitsdiagramme

Das bisher entwickelte HRD ist unvollständig, indem nur die Lage der sonnennahen Sterne zuverlässig eingetragen ist, für alle weiter entfernten und hellen Sterne ist die Lage unsicher. Hier helfen die Farb-Helligkeitsdiagramme (FHD) weiter. Wir schauen uns das FHD der Hyaden an. Auf der senkrechten Achse ist die scheinbare visuelle Helligkeit $m(550\text{ nm})$ abgetragen, auf der waagrechten Achse der Farbenindex

$m_{\text{blau}} - m_{\text{visuell}} = m(435\text{ nm}) - m(550\text{ nm})$

Wir erklären, warum der Farbenindex ein Indikator für die Sterntemperatur ist, indem wir nochmals an die Intensitätsverteilung im kontinuierlichen Spektrum erinnern. Z.B. bedeutet $m_{\text{blau}} - m_{\text{vis}} > 0$, dass die Intensität im blauen Bereich geringer ist als im visuellen, was auf eine tiefe Temperatur hinweist. Somit ist die waagrechte Achse des FHD äquivalent zur waagrechten Achse des HRD. Die senkrechte Achse ist aber auch äquivalent, denn da alle Sterne des Hyadenhaufens ungefähr gleich weit von uns entfernt sind, ist der Unterschied $m-M$ für alle Mitglieder des Haufens nahezu gleich. Das erklärt, warum wir im FHD wieder das Bild der Hauptreihe vorfinden.



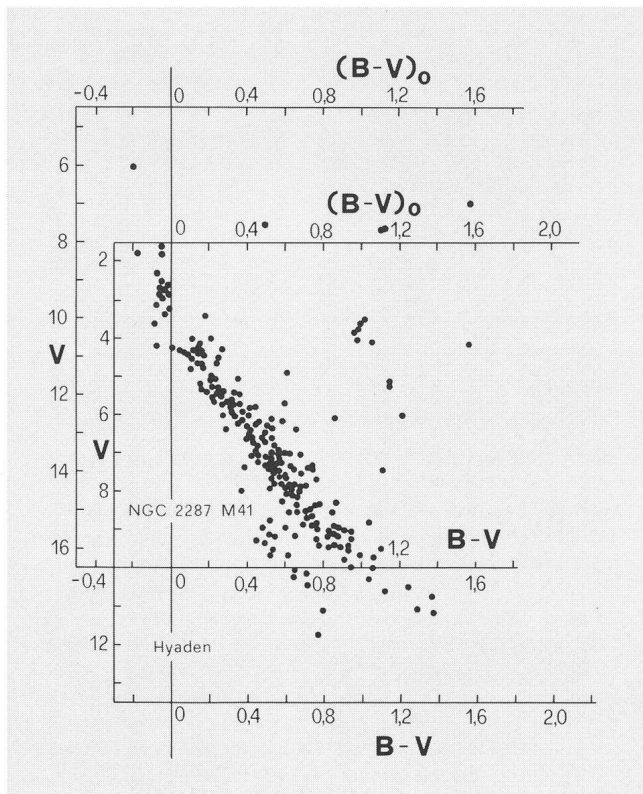


Den Farbenindices 0–0.4–0.8 entsprechen die Spektraltypen A0-F5-G8, so dass man aus dem Vergleich der Diagramme $m-M = 3$ abliest (was einer Entfernung von 40 pc entspricht). Damit werden die absoluten Helligkeiten der Riesen in den Hyaden bestimmbar.

Zusammensetzen (fitting) von Farb-Helligkeitsdiagrammen
 FHD lassen sich von beliebigen Sternhaufen herstellen, da man nur die scheinbaren Helligkeiten (in verschiedenen Wellenlängenbereichen) benötigt. Ich habe für die Schüler zwölf

FHD von Sternhaufen auf Klarsichtfolien kopiert. Damit lässt sich der Vergleich besonders einfach durchführen: legt man z.B. das FHD von NGC 2287 (M 41) so über das FHD der Hyaden, dass die Hauptreihen zur Deckung kommen und die Farbenindices übereinstimmen, so stellt man bei den V-Werten einen Unterschied von 6.5 fest, was einem Entfernungsverhältnis von $10^{0.2 \cdot 6.5} = 20$ entspricht, so dass der Haufen NGC 2287 ca. $20 \cdot 40 = 800$ pc von uns entfernt sein dürfte. In dieser Weise können die Schüler die Entfernungen der 12 Haufen bestimmen.

Zur Veranschaulichung werden die Entfernungen auf einem Papierstreifen im Maßstab 1 mm : 10 pc markiert. Es macht immer wieder Eindruck, dass man dazu ca. 1 Meter Papierstreifen braucht, obwohl der Hyadenhaufen bei der 4-mm-Marke liegt; die Schüler bekommen damit eine kleine Vorstellung davon, mit welchen gewaltigen Distanzen man es in der Astronomie zu tun hat.



Bemerkung zur Sternentwicklung

Es ist klar, dass man den dynamischen Aspekt des HRD – die Wanderung der Sterne im Diagramm während ihrer zeitlichen Entwicklung – auch zur Sprache bringen sollte; bei den FHD der Haufen könnte man dann auch die Altersbestimmung besprechen. Aus zeitlichen Gründen konnte ich auf dieses Thema in meinen Kursen nur andeutungsweise eingehen.

Bemerkung zum Material

Den Atlas von Morgan-Keenan-Kellman, den Sternkatalog von GLIESE und die Farb-Helligkeitsdiagramme der Sternhaufen habe ich freundlicherweise vom Astronomischen Institut Basel zur Verfügung gestellt bekommen.

Adresse des Autors:
 Dr. Sebastian Keller, Schützengraben 15, 4051 Basel.