

Vortrag beim PEGASUS-Monatstreffen am
25. August 2016:

Das Hertzsprung-Russell- Diagramm

zusammengestellt und vorgestellt
von

Hans Hubner

HERTZSPRUNG – RUSSELL – DIAGRAMM

Das HERTZSPRUNG- RUSSELL- DIAGRAMM, Abk. HRD, auch FARBEN- HELLIGKEITS- DIAGRAMM, Abk. FHD, ist ein von Ejnar HERTZSPRUNG und Henry Norris RUSSELL entwickeltes Diagramm der Sternentwicklung.



Ejnar HERTZSPRUNG, * 08.10.1873 – t 21.10.1967 war ein dänischer Astronom. Seine Hauptarbeiten betrafen die STELLARASTRONOMIE. Er entdeckte 1905 den wesentlichen Unterschied zwischen Zwerg- und Riesensternen. Er entwickelte die Grundlagen des nach ihm und H.N. RUSSELL benannten HERTZSPRUNG- RUSSELL- DIAGRAMMS (HRD). Auch der Begriff ABSOLUTE HELLIGKEIT (M_v) ist auf Hertzsprung zurückzuführen.



Henry Norris RUSSELL, * 25.10.1877 – t 18.12.1957 war ein amerikanischer Astronom; Er beschäftigte sich mit der Sternspektralphotometrie, den Doppelsternen, der MASSE – LEUCHTKRAFT - BEZIEHUNG und anderen Gebieten der theoretischen Astrophysik. Außerdem befasste er sich mit der Sternentwicklung und der chemischen Zusammensetzung unserer Sonne. Am bekanntesten wurde sein Name jedoch im Zusammenhang mit der Aufstellung des HERTZSPRUNG – RUSSELL – DIAGRAMMS.

Das Diagramm

Um 1905 entdeckte Ejnar Hertzsprung Leuchtkraftunterschiede roter Sterne und teilte diese in "Riesen- und Zwergsterne" vor. Diese Idee, Sterne nach ihrer Leuchtkraft, Absoluten Helligkeit, dem Spektrum und der Oberflächentemperatur einzuteilen, entwickelte der dänische Astronom zusammen mit seinem amerikanischen Kollegen Henry Norris Russell weiter zu dem nach Ihnen benannten Hertzsprung-Russell-Diagramm (HRD)

In diesem Diagramm wird die Leuchtkraft in Funktion des Spektraltyps aufgezeichnet. Der Spektraltyp eines Sterns wird hauptsächlich von seiner Oberflächentemperatur bestimmt. Zeichnet man die Sterne in dieses Diagramm ein, so liegen sie nicht zufällig über die Fläche verstreut, sondern sie sind in bestimmte Linien und Gruppen geordnet.

Auf der Senkrechten wird die ABSOLUTE HELLIGKEIT M_v und die LEUCHTKRAFT (LS) angegeben, wobei unsere Sonne = 1 gestellt ist. Auf der Waagerechten wird der SPEKTRALTYP, angefangen bei den heißesten Sternen der O – B – und - A Spektralklassen, über die mittleren Spektralklassen F und G bis hin zu den kühlen K – M – R und N - Sternen und die Oberflächentemperaturen dieser Sterne eingetragen.

Übertragen wir nun die Werte aller bekannten Sterne auf dieses Diagramm, stellen wir ein überraschendes Bild fest: die meisten Sterne ordnen sich in einem Streifen an, der von links oben nach rechts unten verläuft, und zwar die heißen O – B – A - Sterne von ganz links oben (O) bis links Mitte (A), die Sterne im kühlerem Spektrum F - G und K von der Mitte bis nach rechts unten und die kühlen roten M - Sterne ganz rechts unten. Diesen Streifen nennt man **HAUPTREIHE** oder **ZWERGENAST**.

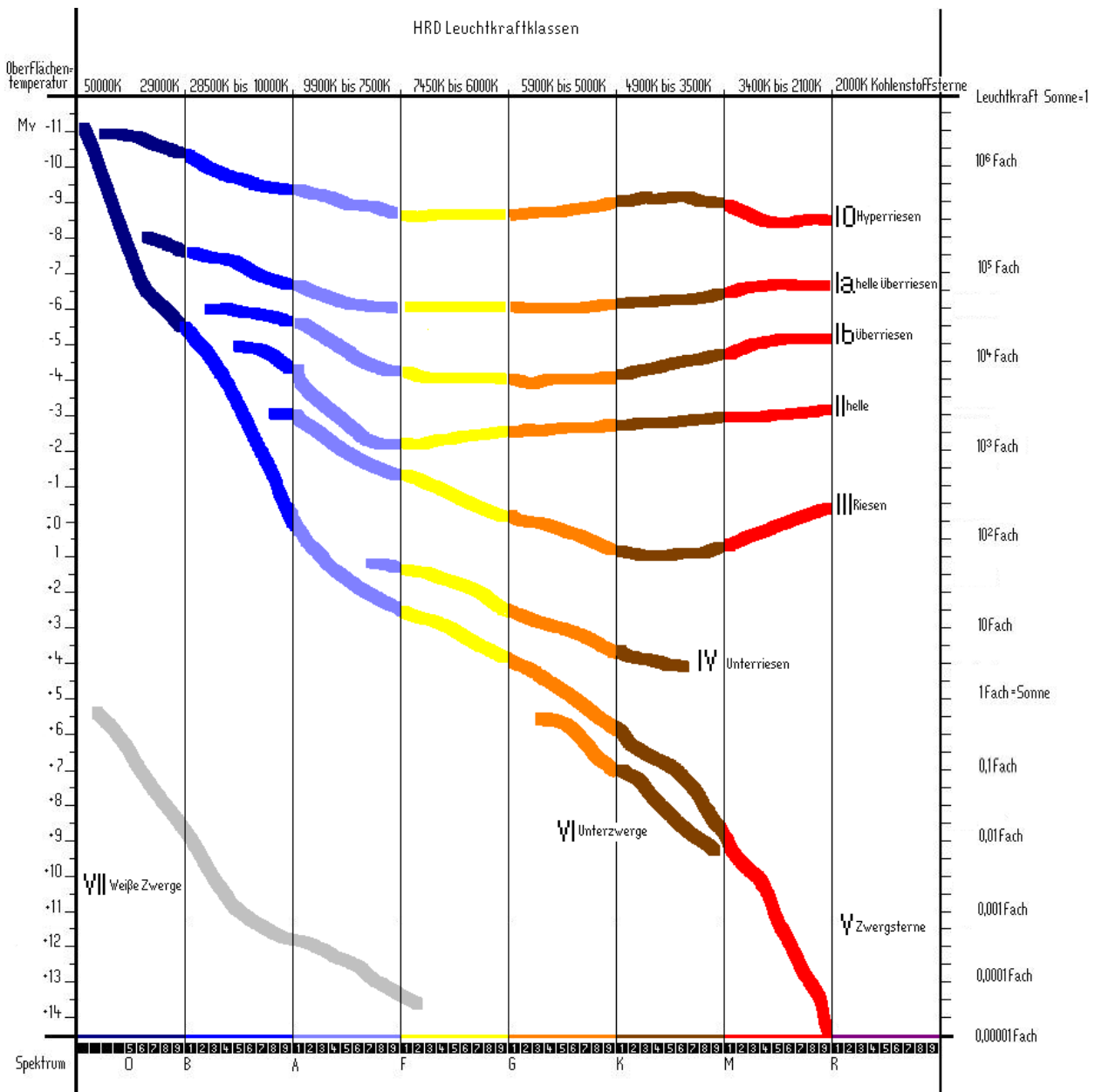
Die meisten Sterne liegen auf dieser sogenannten Hauptreihe und gehören zur **Leuchtkraftklasse V**. Unter Ihnen befindet sich auch unsere Sonne, dessen Parameter im HRD gleich 1 gestellt sind. Diese sog. „Hauptreihensterne“ beziehen Ihre Energie aus der Kernfusion von Wasserstoff zu Helium.

Ein weiteres Augenmerk ist ein Ast im oberen mittleren und rechten Teil des Diagramms, der von den leuchtkräftigeren orangefarbenen und roten Riesensterne vereinnahmt wird; der sogenannte **RIESENAST** der **Leuchtkraftklasse III**. Ein paar wenige Leuchtkraftgiganten erreichen von links oben bis ganz rechts oben den **HYPERRIESEN** - und **ÜBERRIESENAST** der **Leuchtkraftklassen 0, Ia und Ib**.

Etwas unterhalb des Überriesenastes reihen sich die nicht ganz so leuchtkräftigen **HELLEN RIESEN** der **Leuchtkraftklasse II** ein. Die **Leuchtkraftklasse IV** der **UNTERRIESENSTERNE** befindet sich gleich rechts über der Hauptreihe. Zur **Leuchtkraftklasse VI** gehören die **UNTER – bzw. SUBZWERGE**. Dieses sind kühle alte Zwergsterne der frühen Population II im Spektrum G bis M und unterhalb der Hauptreihe angesiedelt. Rechts von der Hauptreihe tummeln sich die ausgebrannten „Sternleichen“ der Weißen Zwerge, die **Leuchtkraftklasse VII**.

Die Leuchtkraftklassen fassen Sterne zusammen, die innerhalb ihrer Spektralklasse einheitliche Leuchtkraft besitzen. Folgende Klassen werden aufgeführt:

- O hellster Überriesen** (Über- Überriesen) bis zu 10^6 fache LS und $M_v = -8,0$ Mag und darüber;
bekannte Stern dieser Klasse: Pistolens Stern, VY Canis Majoris,
- Ia helle Überriesen**, bis 10^5 fache LS und $M_v = -6,0$ bis $-8,0$ Mag;
bekannte Sterne: Deneb, Rigel, Beteigeuze
- Ib Überriesen** mit geringerer LS bis 10^4 fach und $M_v = -2,5$ Mag bis $-6,0$ Mag;
bekannte Sterne: Antares, Ras Algethi, Polarstern
- II helle Riesen**, bis 10^3 fache LS und $M_v = -1,5$ Mag bis $-5,0$ Mag;
bekannte Sterne: Mirach, Alphard, Adhara
- III Riesensterne**, bis 10^2 fache LS und $M_v = +1,0$ Mag bis $-3,0$ Mag;
bekannte Sterne: Arcturus, Aldebaran, Capella
- IV Unterriesen**, bis 10fache LS und $M_v = +4,0$ Mag bis $-2,0$ Mag;
bekannte Sterne: Procyon, Muphrid, Altair, Menkalinan
- V Hauptreihensterne**, Zwergsterne, 1 bis 10fache LS und $M_v = +6,0$ Mag bis $-1,0$ Mag;
Rote Zwergsterne im Spektrum K und M mit 0,4facher bis 0,0001facher LS und 5,5Mag bis 16,0Mag Absoluter Helligkeit zählen ebenfalls zur Leuchtkraftklasse V.
- VI Subzwerg, Unterzwerg** (Pop.II- Sterne), 10^{-1} bis 1fache LS und $M_v = +7,5$ Mag bis $+5,0$ Mag;
bekanntester Stern: Kapteyn's Stern;
- VII Weiße Zwerge**, bis 10^{-3} fache LS und $M_v = +8,0$ Mag bis $+13,0$ Mag;
bekannte Sterne: Keid B; Archird B; Sirius B, Van Maanen's Stern



Die Leuchtkraftklasse gibt den Entwicklungszustand eines Sternes an. Ein Stern durchläuft in seinem Leben verschiedene Leuchtkraftklassen, unsere Sonne z.B. V, IV, III und VII.

1. DIE HAUPTREIHENSTERNE, Klasse V:

Ein Stern kommt auf die „Hauptreihe“ (V), wenn sein „Geburtsvorgang“ abgeschlossen und die Kernfusion eingetreten ist. In diesem Entwicklungsstadium bezieht der Stern seine Energie durch die Verschmelzung von Wasserstoff zu Helium in seinem Kern, dem "Wasserstoffbrennen". Dies ist der längste Abschnitt seines Lebens.

„Junge“ Rote Zwergsterne im Spektrum K und M mit wesentlich weniger Masse und Leuchtkraft gehören ebenfalls zu den Hauptreihensternen.

2. UNTER- oder SUBZWERGE, Klasse (VI):

Alte Sterne der Population II im Spektrum G, K und M, die wesentlich weniger Metalle in der Sternatmosphäre enthalten, werden als Unterzwerge klassifiziert.

3. UNTERRIESEN, Klasse IV:

Beträgt die Masse eines Sternes weniger als die 2,3-fache Masse unserer Sonne, entwickelt der Stern sich zunächst zu einem Unterriesen (IV). , wenn in seinem Zentrum kein Wasserstoff mehr vorhanden ist, die Temperatur in seinem Inneren aber nicht zur Verschmelzung von Helium zu Kohlenstoff im Heliumbrennen ausreicht. Die Energie wird durch die Fusion von Wasserstoff zu Helium in einer Schale um den „ausgebrannten“ Kern (Wasserstoffschalenbrennen) bezogen.

4. RIESENSTERNE, Klasse III:

Übersteigt die Masse des Heliumkernes des Unterriesen die 0,45-fache Masse unserer Sonne bzw. die Masse eines Hauptreihensternes 2,3 Sonnenmassen, setzt nach dem Wasserstoffbrennen die Fusion von Helium zu Kohlenstoff (Heliumbrennen) ein. Der Stern bläht sich dabei zu einem Roten Riesen auf.

5. HELLE RIESEN, Klasse II, ÜBERRIESEN, Klasse Ib, HELLE ÜBERRIESEN, Klasse Ia und HELLSTE ÜBERRIESEN, Klasse 0:

Sterne mit mehr als 3facher Sonnenmasse (Oppenheimer – Volkoff - Grenze) durchlaufen weitere Stufen der Entwicklung. Sie fusionieren in immer kürzer werdenden Abschnitten immer schwerere Elemente bis maximal zum Eisen. Diese Sterne enden in einer gewaltigen Explosion als Supernova und gehen in einem dauerhaften Endzustand über, je nach verbleibender Kernmasse als NEUTRONENSTERN oder als SCHWARZES LOCH. Diese Endstadien sind nicht in Leuchtkraftklassen eingeordnet.

6. WEIßE ZWERGE, Klasse VII:

Diese kompakten Sterneneichen entwickeln sich aus sterbenden Roten Riesen mit weniger als 1,4 Sonnenmassen (Chandrasekhar – Grenze) zu einem Planetaren Nebel.

Da die Leuchtkraft eines Sternes von seiner Masse, der Größe seiner Oberfläche und seiner Effektivtemperatur abhängt, lässt sich mit dem Wert der Leuchtkraft allein noch keine Aussage über die Leuchtkraftklasse eines Sternes machen. So kann zum Beispiel ein Stern mit der 100-fachen Leuchtkraft der Sonne ein Hauptreihenstern, ein Unterriese oder ein Riese sein. Man benötigt zusätzlich die Angabe der Spektralklasse. Ist diese zum Beispiel M0 so wäre ein Stern mit hundertfacher Sonnenleuchtkraft ein ROTER RIESE. Die vollständige Klassifizierung würde dann M0III lauten. Heiße bläuliche Sterne im Spektrum B5 mit 250facher Leuchtkraft z.B. können sich durchaus noch in der Hauptreihenphase befinden (B5V).

Die Spektralklassen sind eine Klassifikation der Sterne nach ihrem SPEKTRUM. Die Reihenfolge zeigt an der Spitze die heißen blau weißen und weißen Sterne, in der Mitte die weißgelben und gelben Sterne und am Ende die kühleren orangeroten bis tiefroten Sterne (frühe-, mittlere- und späte Spektralklassen). Zu den blauweißen und weißen Sternen zählen die Spektralklassen W – O – B – A, Zu den weißgelben und gelben Sternen die Spektralklassen F und G, zu den kühleren orangeroten und roten Sternen die Spektralklassen K – M – R – N und S.

Über 90% aller Sterne gehören zur Klasse O bis M. Die Klasse W steht für die ultraheißen **WOLF-RAYET-STERNE**, die Klassen R, N und S gehören zu den seltenen Roten Riesensternen, die auch **Kohlenstoffsterne (C-Sterne)** genannt werden. Als Eselsbrücke gilt der Satz **Well Oh Be A Fine Girl, Kiss Me Right Now Soon**.

Die in Buchstaben gekennzeichneten Spektralklassen erfahren nochmals eine Feineinteilung von 0 bis 9 (05, 06, 07, 08, 09, B0, B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9, A0, A1.....M0, M1, M2, M3, M4, M5, M6, u.s.w.). Somit steht ein Stern der Spektralklasse G1 dem Stern der Klasse F näher als G9, welcher dann schon eher dem Typ K entspricht. Der G1- Stern ist demnach heißer als der G9- Typ.

Die Spektralklassen:

W: Die Oberflächentemperaturen der sog. „**Wolf-Rayet-Sterne**“, die diese Sonderspektralklasse stellen, liegen bei 35.000 bis 90.000°C. Leuchtfarbe weiß; Beispiel: Gamma Velorum Alshail

O: Die Oberflächentemperaturen liegen bei 25.000°C. Leuchtfarbe bläulich-weiß; Beispiel: Alnitak, Naos,

B: Die Oberflächentemperaturen liegen bei 25.000°C – 11.000°C. Leuchtfarbe bläulich; Beispiele Spica, Algol, Rigel,

A: Oberflächentemperatur 11.000°C – 7.500°C; Leuchtfarbe bläulich; Beispiel: Wega, Deneb, Altair

F: Oberflächentemperatur 7.500°C - 6.000°C; Leuchtfarbe gelblich-weiß; Beispiel: Canopus, Procyon, Polaris

G: Oberflächentemperatur 6.000°C – 5.000°C; Leuchtfarbe gelblich; Beispiel: Mufrid, die Sonne, Capella.

K: Oberflächentemperatur 5.000°C – 3.500°C; Leuchtfarbe orange-rötlich; Beispiel: Pollux, Arcturus, Aldebaran

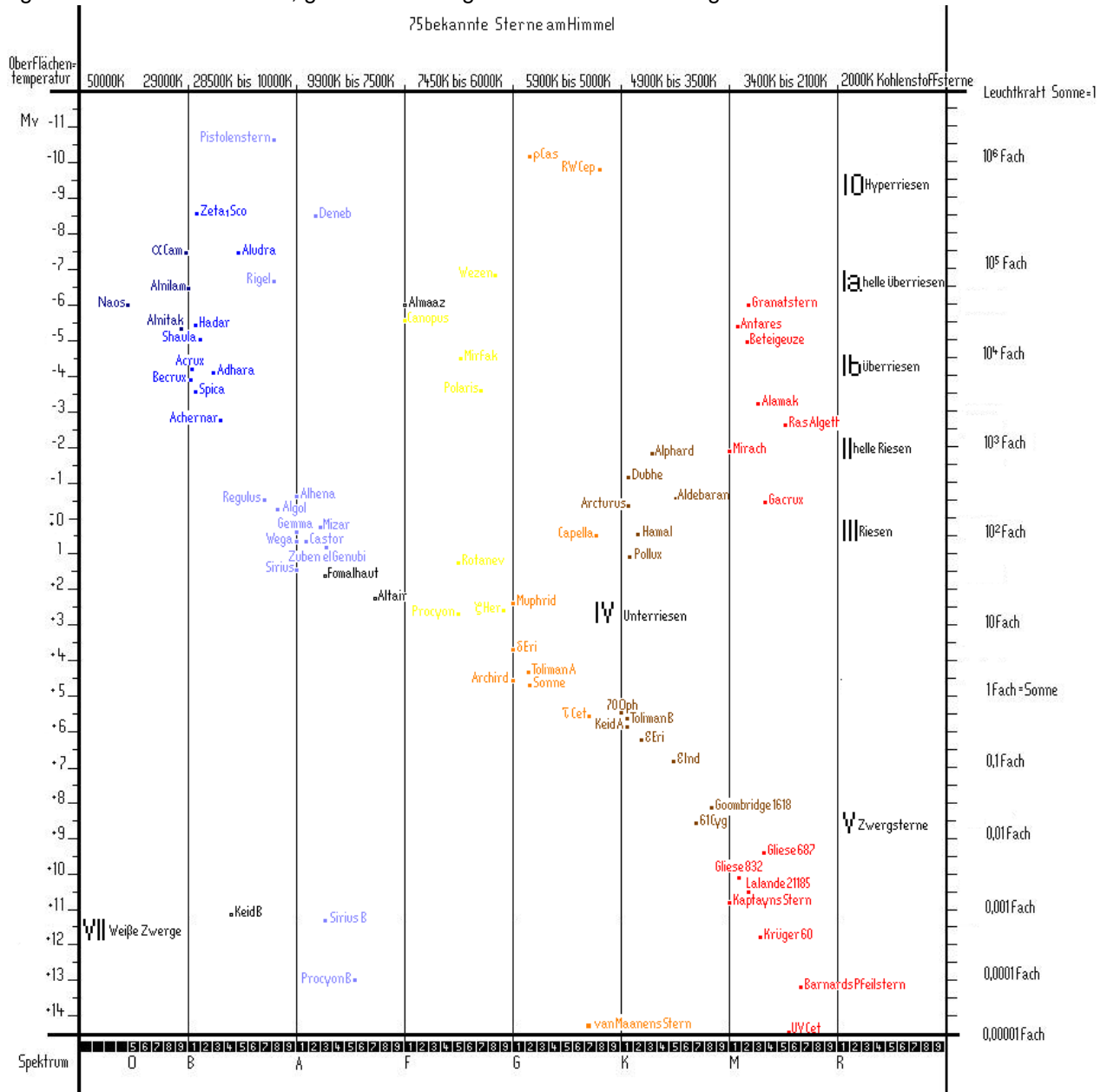
M: Oberflächentemperatur 3500°C – 3000°C; Leuchtfarbe rötlich, Beispiel: Mirach; Betelgeuse, Antares

R, N und S: Wegen der bei N und R auftretenden Kohlenstoffbanden werden diese Sterne auch als „Kohlenstoffsterne“ (C) bezeichnet. Oberflächentemperaturen unter 3000°C. Leuchtfarbe tiefrot. Beispiel: Y Cvn La Superba, TX Psc;

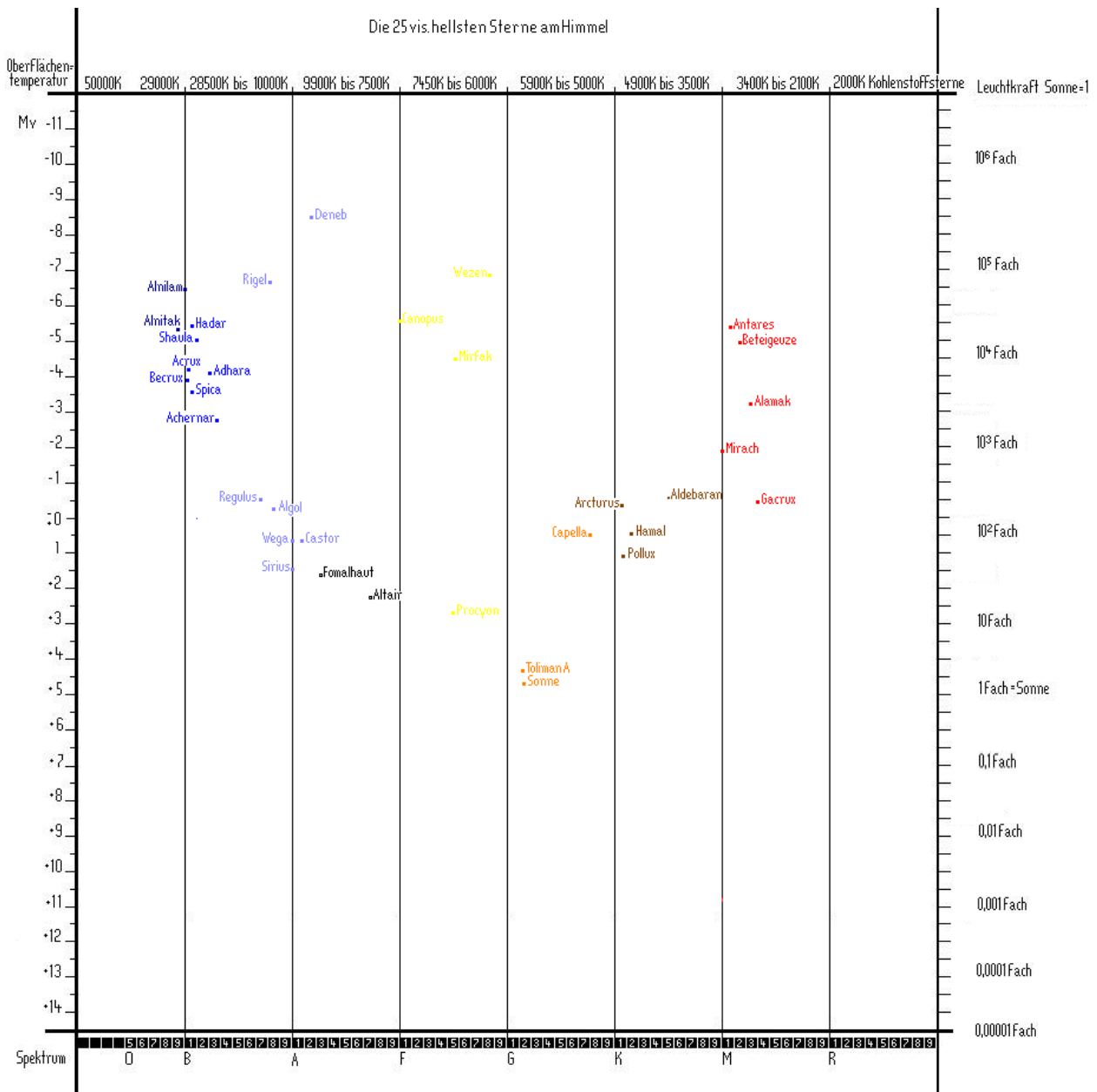
Die Beziehung der Spektralklassen zu Farbe und Oberflächentemperatur der Sterne (Zusammenhang zwischen Spektraltyp, Temperatur und Farbe):

Spektraltyp	Effektive Temperatur (K) Zwerg - Riesen	Farbe	Beispiele
O5	35.000	Bläulichweiß	Hatysa, Naos
B0	22.000	Weiß	Spica, Alnilam
A0	10.700	Weißgelb	Sirius, Deneb
F0	7.400	Gelb	Porrina, Polaris
G0	5.900 - 5.200	Tiefgelb	Sonne, Capella
K0	4.900 - 4.100	Orangefarben	Keid, Arcturus
M0	3.600 - 3.400	Orangerot	Krüger 60, Betelgeuse

Füllt man dieses Diagramm mit den bekannten Zustandsgrößen von bekannten Sternen so wird die tatsächliche Häufigkeit der Sterne innerhalb des HRD noch nicht wirklich wiedergegeben. Der Grund: die leuchtkräftigen Sterne werden bevorzugt, weil sie eben am offensichtlichsten den Sternhimmel „bevölkern“. Die lichtschwachen Roten Zwergsterne im unteren Hauptreihenbereich beispielsweise sind zwar unsere allernächsten Nachbarn, können aber mit bloßen Augen nicht mehr gesehen werden. Die leuchtkräftigeren O- B- A- und F- Sterne (und sogar noch einige G- und K- Sterne) auf der Hauptreihe dagegen sind in diesem Diagramm alle visuell sichtbar, ganz zu schweigen von den leuchtkräftigen Riesen- und Überriesen.



Setzen wir die 25 visuell hellsten Sterne in dieses Diagramm, fällt sofort auf, dass die Obere Hauptreihe mit den blauen heißen B- und A- Sternen sehr gut besetzt ist, die mittlere Hauptreihe mit den F- G- und K- Sternen spärlicher und die Untere Hauptreihe mit den Roten Zwergen gar nicht. Der Riesenast der Leuchtkraftklasse III dagegen ist wiederum sehr gut vertreten und die leuchtkräftigen Ia und Ib - Überriesen zeigen ebenfalls einige Vertreter.



Setzen wir nun aber nur Sterne in der unmittelbaren Nachbarschaft von 10 Parsec (32,4 LJ) ein, so ergibt das Diagramm ein ganz anderes Bild: Die Hauptreihe ist ab Spektrum K sehr reichhaltig besetzt, Spektrum F und G spärlicher, A und B kaum und O ist überhaupt nicht vertreten. Der Riesenast ist ebenfalls nicht besetzt, geschweige denn die Überriesen. Der nächste Rote Riese in unserem Bereich wäre in einer Distanz von 36,7LJ der helle ARCTURUS im BÄRENHÜTER. Sogar die Weißen Zwerge sind noch häufiger vertreten.

Aus diesen Feststellungen geht hervor, dass die leuchtkräftigen Sterne zwar optisch den Himmel beherrschen, die Zwergsterne der Spektren G bis M jedoch den häufigsten Sterntyp darstellen.

