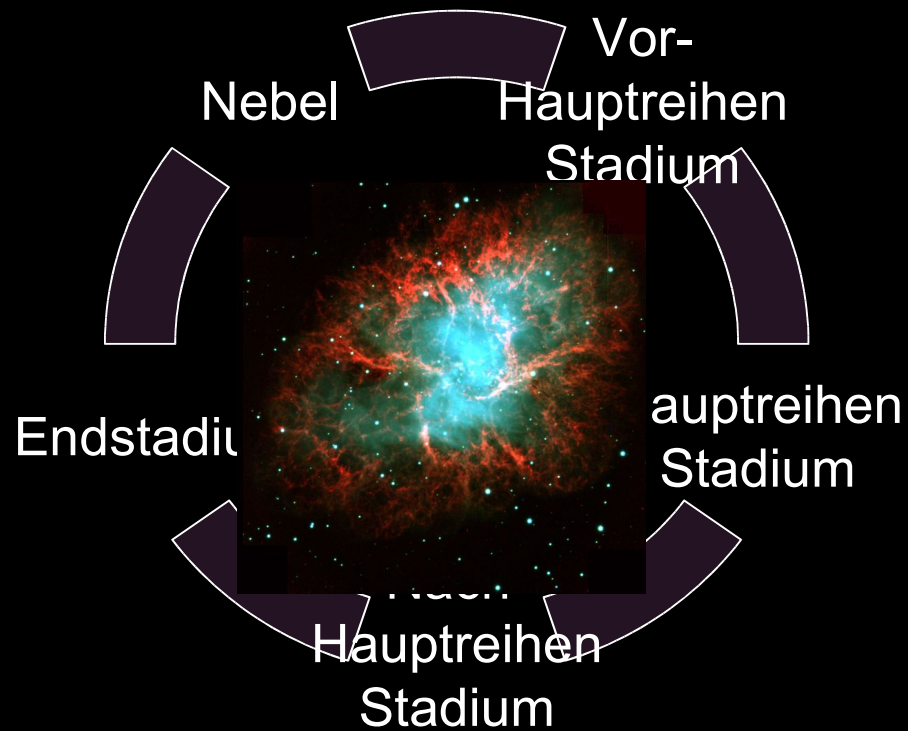


Sternentwicklung



Sternentwicklung

Übersicht



Sternentwicklung



Nebel & Vor-Hauptreihen Stadium



Sternentwicklung

Entstehung

Eigentlich ist die Entstehung eines Sternes unwahrscheinlich, da ...

Vor-Stadium

Hauptreihe

End-Stadium

- Dichte der Atome zu gering
- Temperaturen zu niedrig

.. um die Prozesse der Kernfusion und Eigengravitation in Gang zu bringen

Sternentwicklung

Nebel

Vor – Stadium

Hauptreihe

End-Stadium



Sternentwicklung

Nebulöse Anfänge

Nebel

- interstellare Wolken aus Staub und Gas
- abgestoßene Sternhüllen (planetarische Nebel)
- Dunkelwolken



Vor – Stadium

Hauptreihe

End-Stadium

Sternentwicklung

Entwicklungsschritte

Vom Nebel zum Stern:

1. Erfüllung des Jeans-Kriteriums
2. Einsetzen der
Schwerkraftkontraktion
3. Fragmentierung/ Globulbildung
4. Temperaturerhöhung im Inneren
5. Protostern
6. Beginn der Kernfusion

Vor –Stadium

Hauptreihe

End-Stadium

Sternentwicklung

„Special Effects“

- Sterne in einem Nebel entstehen ca. gleichzeitig
- Drehimpuls des Globuls akkretiert Masse
 - Aus der Akkretionsscheibe kann:
 - Ein Planetensystem
 - Ein Doppelsternsystem
 - Ein Mehrfachsternsystem entstehen.

Vor – Stadium

Hauptreihe

End-Stadium

Sternentwicklung



Übersicht

Vor – Stadium

Hauptreihe

End-Stadium

- 
- | |
|--|
| > 60 M: “Blue Stragglers”; Entstehen vermutl. bei Sternkollisionen |
| > 8 M: Kontrahieren zügig, da die UV-Strahlung Globule “verstreut” |
| > 3 M: Massenakkretion wird auf der Hauptreihe fortgesetzt |
| > 0,07 M: Massenakkretion erfolgt im Globul |
| < 0,07 M: Temperatur zur Kernfusion nicht erreicht; Brauner Zwerg |

Sternentwicklung



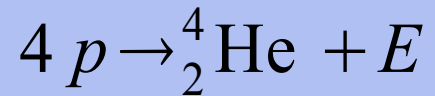
Hauptreihenstadium



Sternentwicklung

HauptReihenStadium

Stabilisierung durch Kernfusion



„Hydrostatisches Gleichgewicht“

- Gravitation zieht zusammen
- Energieabgabe drückt auseinander

Sterne größerer Masse haben
heißere Zentren

Sternentwicklung

Vor –Stadium

Hauptreihe

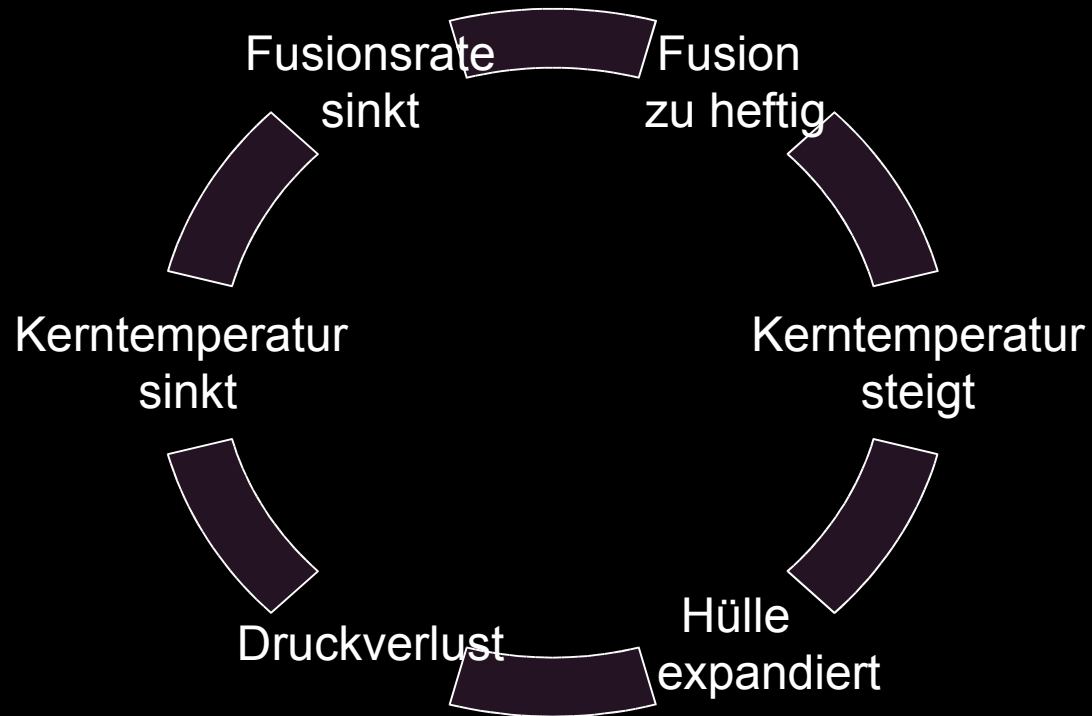
End-Stadium

Selbstregulation der Kernfusionsrate

Vor-Stadium

Hauptreihe

End-Stadium



Sternentwicklung

Vier Strukturformeln

Masse

$$\frac{dM}{dr} = 4\pi r^2 \rho(r)$$

Druck

$$\frac{dP}{dr} = -\rho(r) \frac{GM(r)}{r^2}$$

Temperatur

$$\frac{dT}{dr} = -\frac{3k\rho(r)L(r)}{4acT^3 4\pi r^2}$$

Energie

$$\frac{dL}{dr} = 4\pi r^2 \rho(r) \varepsilon(r)$$

Vor-Stadium

Hauptreihe

End-Stadium

Sternentwicklung

Zustandsgrößen

- Masse
- Radius
- Oberflächentemperatur
- Mittlere Dichte
- Spektralklasse
- Leuchtkraft
- Chemische Zusammensetzung

Alle Werte
werden in Vielfachen
der Sonnenwerte
Angegeben

Vor – Stadium

Hauptreihe

End-Stadium

Sternentwicklung

Oberflächentemperatur

Es existieren diverse Möglichkeiten mit differierenden Resultaten

Vor – Stadium

Hauptreihe

End-Stadium

4. Bestimmung per Farbindex:

- Jedem Farbindex wird aus Tabellen eine Temperatur zugeordnet

5. Effektive Temperatur:

- Die Gesamtintensität der Strahlung wird ermittelt und durch Einsetzen in die Planck-Funktion für Temperaturen schwarzer Körper ein Ergebnis berechnet.

Sternentwicklung

Spektralklassen

- Sterne werden je nach ihrer Oberflächentemperatur in Spektralklassen eingeteilt:

Vor – Stadium

Hauptreihe

End-Stadium

O B A F G K M

fallende Temperatur

- Jede Spektralklasse verfügt über ca. 10 Unterklassen

Sternentwicklung

Spektralklassen Beispiele

Vor – Stadium

Hauptreihe

End-Stadium

Stern	Spektrum	Farbe	Temperatur	↑ Temperatur an der Sternoberfläche O blau B weiß A F gelb G K orange M rot	
Spica		bläulich	25 000 K		
Sirius		weiß	10 000 K		
Sonne		gelblich	6 000 K		
Arktur		rötlich gelb	4 700 K		
Betei- geuze		rötlich	3 300 K		

Sternentwicklung



Sternhelligkeiten

Scheinbare Helligkeit
(m/mag)

Absolute Helligkeit
(M)

- Entfernungen nicht beachtet

$$m_1 - m_2 = -2,5 \lg \frac{E_1}{E_2}$$

$$m - M = 5 \cdot \lg r - 5$$

Vor – Stadium

Hauptreihe

End-Stadium

$m - M$ bezeichnet man auch als das „Entfernungsmodul“.

Sternentwicklung

Gesamthelligkeit

Einbezug von Strahlung außerhalb
des visuellen Spektrums

Vor – Stadium

Hauptreihe

End-Stadium

$$M_{bol} = M_v + B.C.$$

B.C. =
Bolometrischer
Korrekturfaktor

Mit Hilfe der Gesamthelligkeit lassen
sich die Leuchtkräfte ermitteln.

$$M_{bol_1} - M_{bol_2} = -2,5 \cdot \lg \frac{L_1}{L_2}$$

Sternentwicklung

„Lebensdauer“

- Desto größer ein Stern, desto heller strahlt er (nicht proportional)
 - Temperatur im Inneren höher, daher „effizientere Verbrennung“
rascherer Verbrauch der Vorräte
- Im Durchschnitt braucht ein Stern
10 Milliarden Jahre zum Aufbrauchen
Seiner Brennstoffvorräte

Vor – Stadium

Hauptreihe

End-Stadium

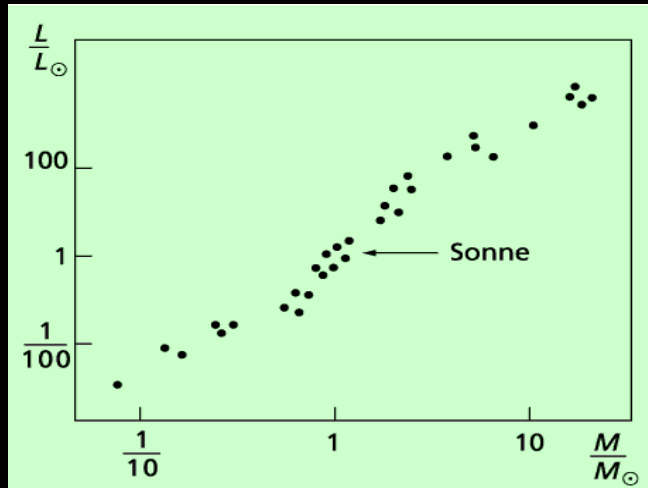
Sternentwicklung

Zusammenhänge

Vor-Stadium

Hauptreihe

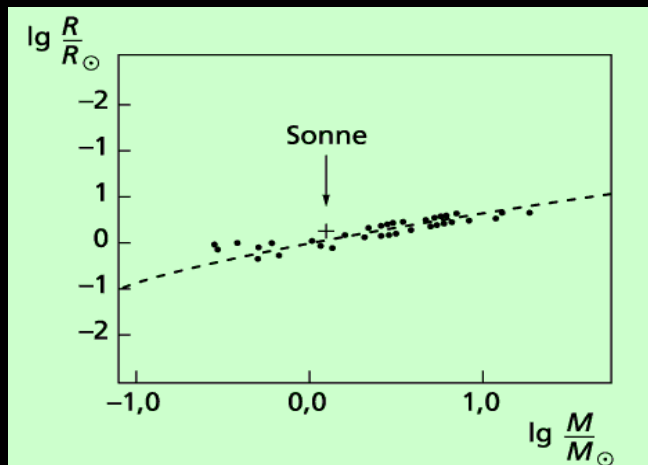
End-Stadium



- Leuchtkraft eines Sterns ist abhängig von seiner Masse

$$L \sim M^3$$

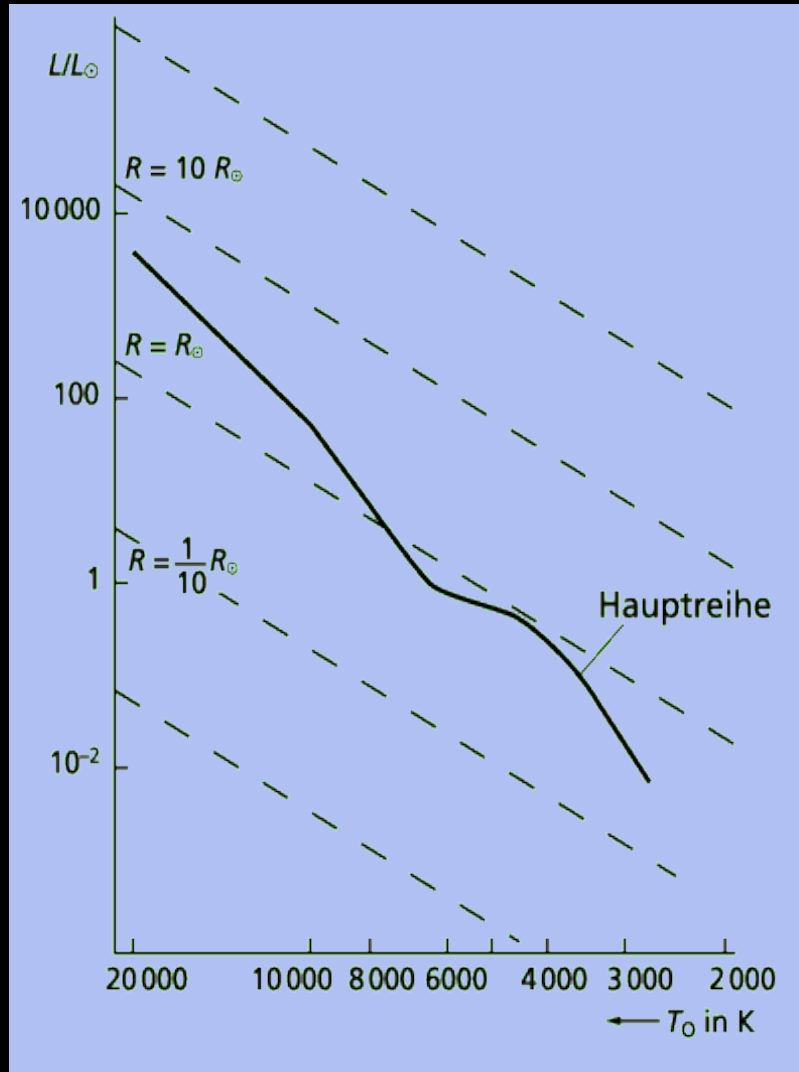
- Hauptreihensterne mit der größten Masse besitzen ebenfalls den größten Radius



$$R \sim M^{0,6}$$

Sternentwicklung

Hertzsprung-Russell-Diagramm



Vor-Stadium

Hauptreihe

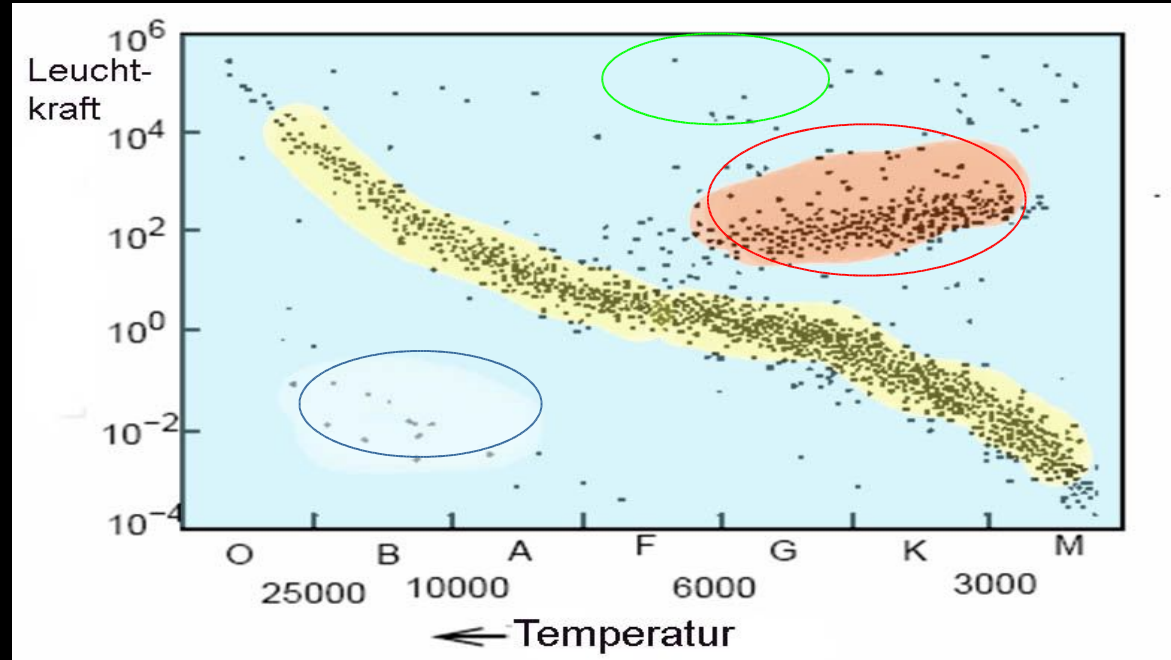
End-Stadium

Im HRD werden Sterne in Abhängigkeit ihrer Leuchtkraft und Oberflächentemperatur abgetragen.

Die „Hauptreihe“ ist das am dichtesten besetzte Gebiet.

Sternentwicklung

Hertzsprung-Russell-Diagramm



Vor-Stadium

Hauptreihe

End-Stadium

Unterhalb der Hauptreihe finden sich die „weißen Zwerge“
Oberhalb befinden sich die „Riesen“
Darüber die „Überriesen“

Sternentwicklung

Nach-Hauptreihen Stadium

Sternentwicklung

Anfang vom Ende

In der Endphase wird ein Stern heller

- Brennstoffvorräte gehen zur Neige, Energieproduktion nimmt ab, Kern schrumpft
- Gravitationskraft steigt, Teilchenbewegung beschleunigt
- Fusionsrate steigt, Energieoutput wächst

Vor –Stadium

Hauptreihe

End-Stadium

Sternentwicklung

Letzte Brennphasen



Vor – Stadium
Hauptreihe
End-Stadium

$< 0,03 \text{ M}$	Schalenbrennen, Kontraktion zu weißen Zwergen Kühlen zu schwarzen Zwergen
0,3 bis 2,3 M	Heliumflash Rote Riesen, Planetarische Nebel Weiße Zwerge
2,3 bis 8 M	Kernfusion bis Eisen Massenverlust keine Supernova
Über 8 M	Kernfusion bis Eisen Supernova

Sternentwicklung

Ein Weg zum Weißen Zwerg

Ein „kleiner“ Stern:

- „Heliumflash“ setzt abrupt ein
- Energie wird jedoch von der Hülle absorbiert kaum sichtbar
- da Zentrum bereits komprimiert ist keine weitere Kontraktion möglich
- Außenhülle wird abgestoßen
- weißer Zwerg

Vor – Stadium

Hauptreihe

End-Stadium

Sternentwicklung

Nach der Heliumfusion

Riesensterne

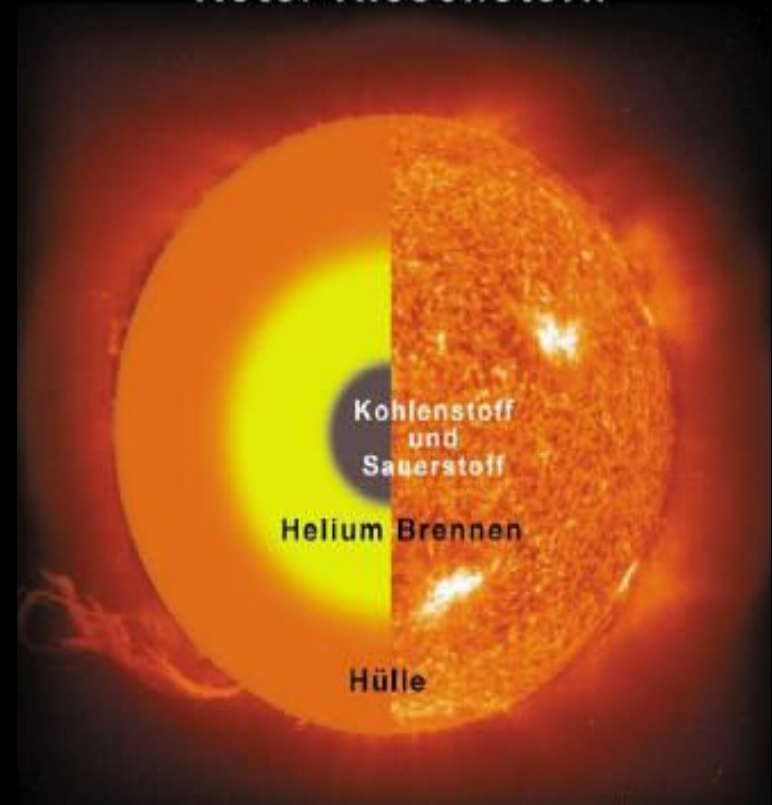
- Kontraktion kernnaher Regionen
- Heliumfusion setzt ein (Stabilitätsphase)
- Erneute Kontraktion, Kernfusion weiterer Elemente, bis Eisen

Vor – Stadium

Hauptreihe

End-Stadium

Roter Riesenstern



Sternentwicklung

Brennmaterial Und Dauer

Beispiel für einen O-Stern

Vor – Stadium

Hauptreihe

End-Stadium

Material	Temperatur In Mio. K	Dichte kg/cm^3	Brenndauer
H	40	0,006	10 Mio. Jahre
He	190	1,1	1 Mio. Jahre
C	740	240	10.000 Jahre
Ne	1.600	7.400	10 Jahre
O	2.100	16.000	5 Jahre
S/Si	3.400	50.000	1 Woche
Fe-Kern	10.000	10.000.000	-

Sternentwicklung

Der Weg zur Supernova

Eisenkern kühlt aus
neue Kernfusion, negatives
Energieprodukt
Stern kollabiert

- Teilchen der Außenhülle werden
von Schockwellen reflektiert

Supernovaexplosion

Vor – Stadium

Hauptreihe

End-Stadium

Sternentwicklung

Sternschicksale

Vor – Stadium Hauptreihe End-Stadium	< 0,03 M: Schalenbrennen	Weiße Zwerge	Schwarze Zwerge
	0,3 bis 2,3 M: Heliumflash Riesen		
	2,3 bis 8 M: Kernfusion bis Eisen, Massenverlust		
	> 8 M: Kernfusion bis Eisen	Supernova	Neutronensterne oder Schwarze Löcher

Sternentwicklung



Ende



Sternentwicklung

Nebel - Zusammensetzung

Frühstadium des Universums:

- Wasserstoff und Helium
Sterne der Population III
- zu massereich und kurzlebig

Population II existiert noch heute

Neue Generation:

- besitzen schwere Elemente
 - diese waren zuvor noch nicht existent

Vor – Stadium

Hauptreihe

End-Stadium

Sternentwicklung



Jeans-Kriterium

- Bedingung für den Kollaps einer kosmischen Gaswolke

$$M > \frac{3 \cdot k \cdot T \cdot r}{2 \cdot \gamma \cdot m}$$

Gravitationskräfte sind stärker als die stabilisierenden Kräfte (Gasdruck, Zentrifugalkraft, u.a.)

Vor – Stadium

Hauptreihe

End-Stadium

Sternentwicklung



Protostern

Protostern

- verborgen im Globul
- Stadium dauert ca. 100.000 Jahre
- Kühlung durch Wasserstoffmoleküle
- Entwicklung:

große Ausdehnung, geringe Dichte, geringe
Temperatur



geringe Ausdehnung, große Dichte,
hohe Temperatur

Vor – Stadium

Hauptreihe

End-Stadium

Sternentwicklung



Farbindex

- Mit Hilfe der scheinbaren Helligkeiten wird die Differenz zwischen kurzen- und langwelligen Helligkeiten ermittelt

$$F_i = m_k - m_l$$

- Zur Vereinheitlichung werden nur die Daten bestimmter Bereiche herangezogen (blau, gelb und der nahe ultraviolette Bereich)

Vor –Stadium

Hauptreihe

End-Stadium

Sternentwicklung



Wien'sche Verschiebungsgesetz

- Das Gesetz besagt, bei welcher Wellenlänge ein strahlender Schwarzer Körper die maximale Strahlungsleistung erbringt

$$\lambda_{\max} = \frac{hc}{\chi kT}$$

- Entsprechend dieses Wertes kann die Einteilung in Spektralklassen erfolgen

Vor – Stadium

Hauptreihe

End-Stadium

Sternentwicklung

