



Sternentwicklung

Vom Hauptreihenstern bis zum Schwarzen Loch

von Finn Jaekel

Inhalt

1. Einleitung
2. Unterschiede zwischen Planeten und Sternen
 - 2.1 Kräfte im Stern
3. Kernfusion in Sternen
 - 3.1 Wasserstoffbrennen
 - 3.2 Heliumbrennen
 - 3.3 Schalenstruktur
4. Rote Riesen
 - 4.1 Rote Überriesen
5. Hertzsprung-Russel Diagramm
 - 5.1 Hauptreihensterne
 - 5.2 Entwicklung eines Sterns mit weniger Masse als die Sonne
 - 5.3 Entwicklung unserer Sonne
 - 5.4 Entwicklung eines Sterns mittlerer Masse
 - 5.5 Entwicklung eines supermassereichen Sterns
6. Das Ende eines Sterns
 - 6.1 Weißer Zwerg
 - 6.2 Supernova
 - 6.2.1. Neutronenstern
 - 6.2.2. Schwarzes Loch
7. Zusammenfassung
8. Quellen

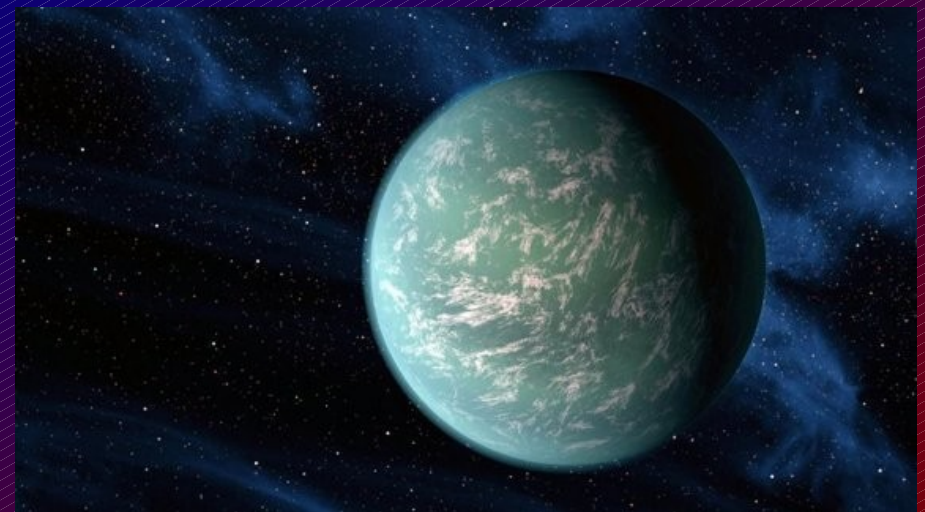
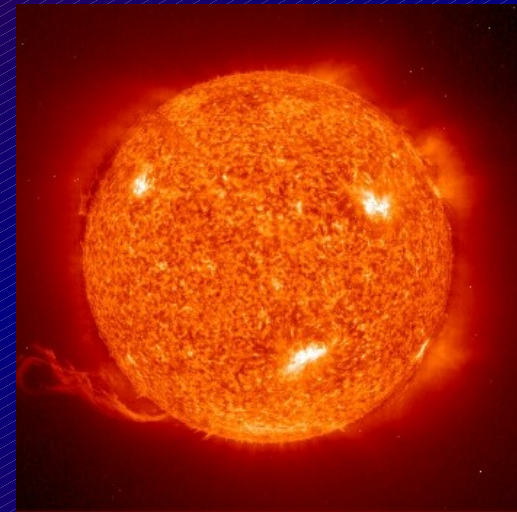
1. Einleitung

Jeder kennt die Sonne, wie sie ist. Sie versorgt uns mit Wärme und mit Licht.

Doch wie macht sie das, und wie wird es in einigen Milliarden Jahren mit der Sonne aussehen?

2. Unterschiede zwischen Planeten und Sternen

- Sterne „produzieren“ Licht und Wärme
- Planeten reflektieren nur Licht
 - kaum Eigenwärme



Quellen:

<http://www.br.de/radio/bayern2/sendungen/radiowelt/ende-der-welt-ulrich-chaussy-radiowelt100.html> , http://www.wissenschaft-online.de/astrowissen/lexdt_s08.htm

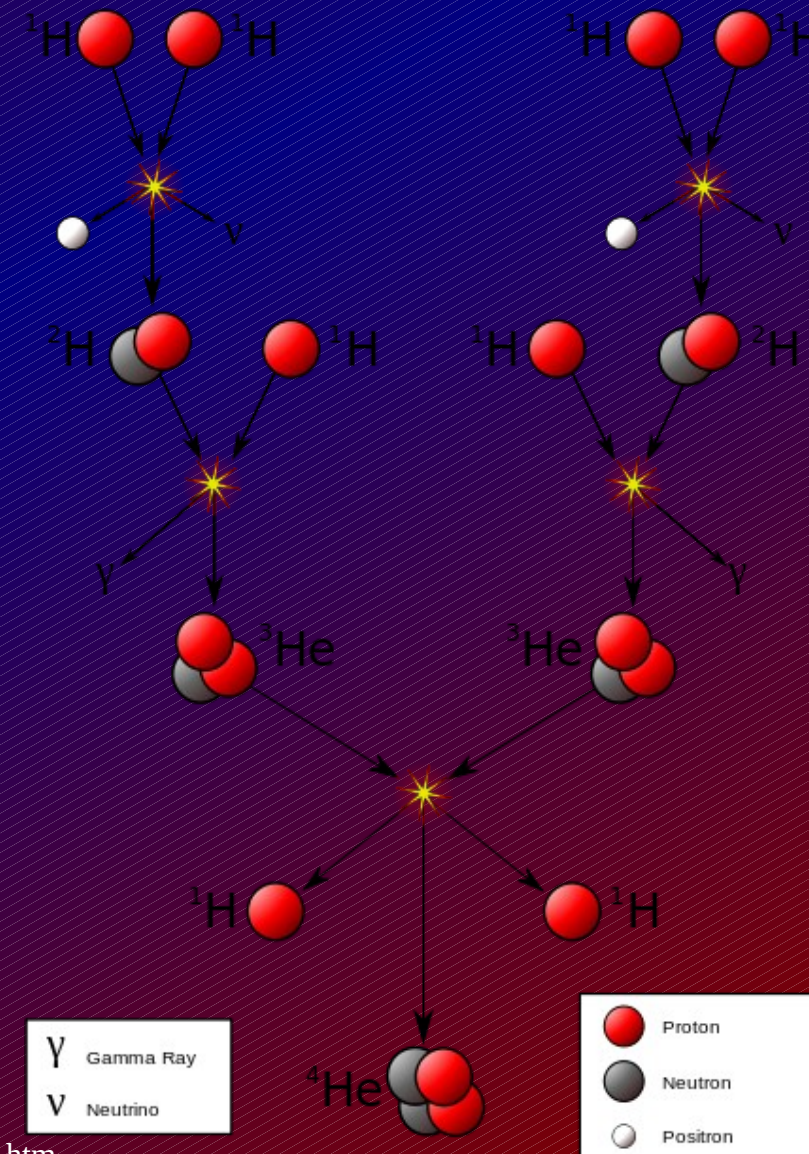
2.1 Kräfte im Stern

- Sterne haben eine hohe Gravitation, da sie aber durch diese Gravitation (vorerst) nicht zusammenfallen muss es eine Gegenkraft geben
- Diese Gegenkraft kommt aus der Kernfusion im inneren des Sterns
 - Strahlungsdruck
- Strahlungsdruck \approx Gravitationkraft

3.1 Stellare Kernfusion

Wasserstoffbrennen

- Aufgrund hoher Temperatur sind die Atome vollständig ionisiert, d.h. sie „besitzen“ keine Elektronen mehr
- 2 Protonen (Wasserstoffkern) verschmelzen zu einem Deuteriumkern
 - Positron + Neutrino werden frei (1 Proton wandelt sich in 1 Neutron um)
 - Positron + Elektron wandeln sich komplett in Energie um (Annihilation)



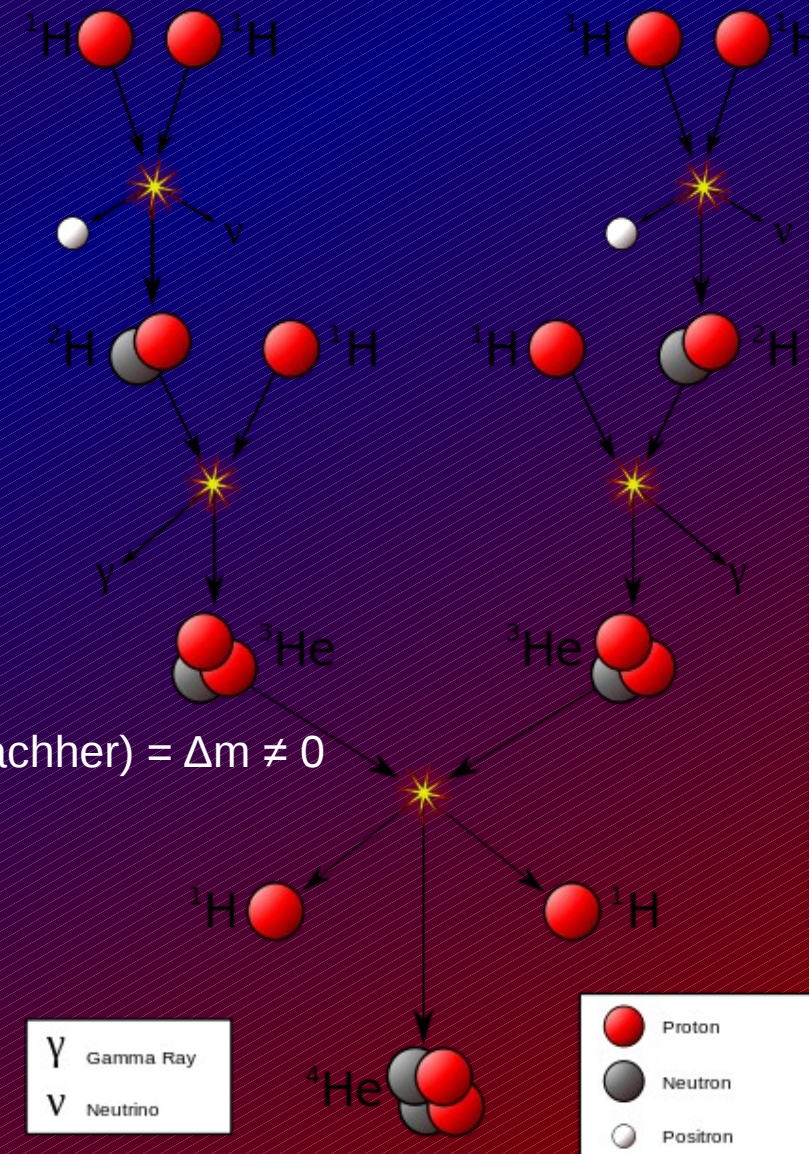
Quellen:

3.1.2 Wasserstoffbrennen

- Deuteriumkern fusioniert mit Wasserstoffkern zum Helium 3 – Kern (Helium Isotop)
- 2 He 3 – Kerne verschmelzen zu He 4 – Kern (elementarer Kern, ohne Elektronen)

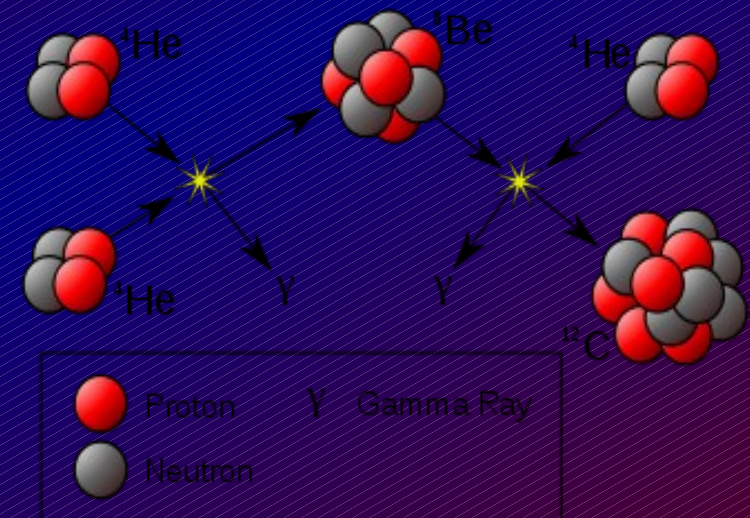
→ Energie wird frei, durch Einsteins Formel $E = \Delta m \cdot c^2$

Masse der 4 Protonen (vorher) - Masse der (Helium)-Kerne (nachher) = $\Delta m \neq 0$



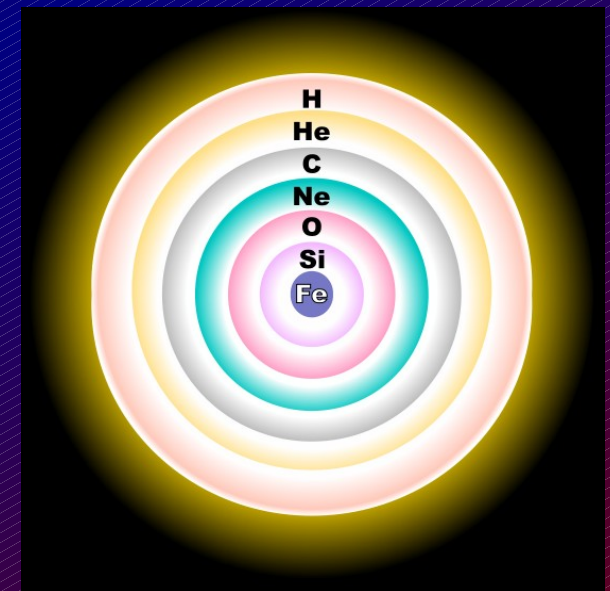
3.2 Heliumbrennen 3 α -Prozess

- Wasserstoff ist aufgebraucht
 - Stern fängt an Helium-4 Kerne zu Berylliumkernen zu verschmelzen
- Berylliumkern und weiterer Helium-4 Kern werden zu einem Kohlenstoffkern verschmolzen (C-12)
 - Energie wird wieder aufgrund Einsteins Formel frei ($E = \Delta m \cdot c^2$)



3.3 Schalenstruktur

- Nach Heliumbrennen und bei massereichen Sternen
 - Elemente werden in Schichten in das nächste Element umgewandelt
 - Elemente von H bis Fe
 - Schicht 1: H → He
 - Schicht 2: He → C
 - Schicht 3: C → Ne
 - Schicht 4: Ne → O
 - Schicht 5: O → Si
 - Schicht 6: Si → Fe
 - Schicht 7: Eisenkern
 - Fusion von Fe ist endotherm → Fe = „Sternasche“



Quellen:

http://de.wikipedia.org/wiki/Stern#Letzte_Brennphasen , <http://de.wikipedia.org/wiki/Schalenbrennen>

4. Rote Riesen

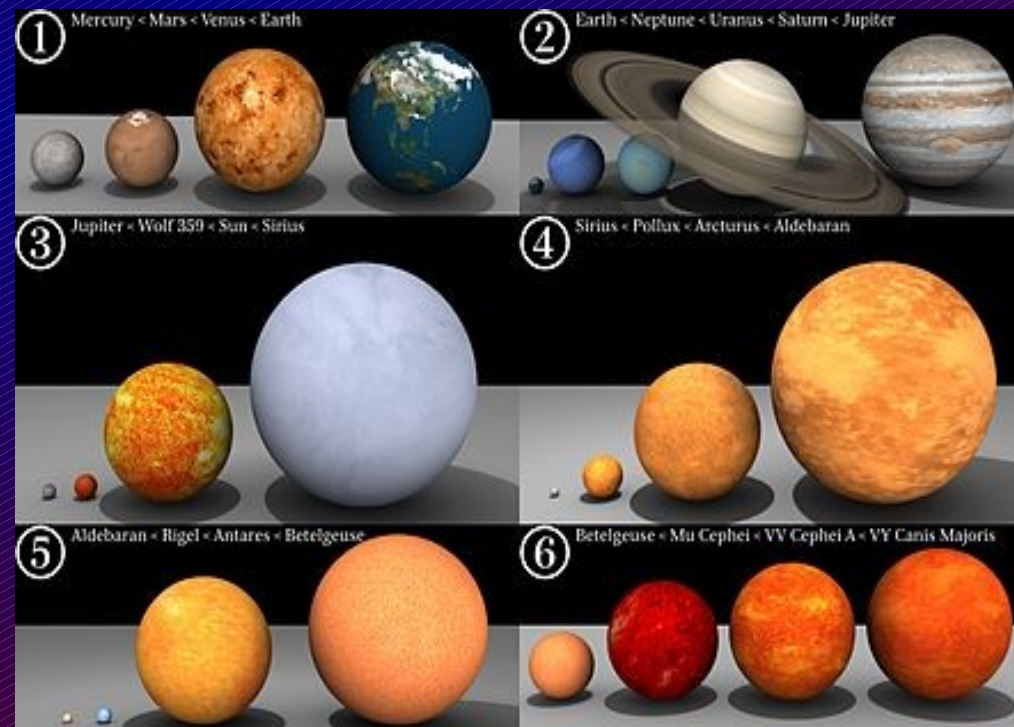
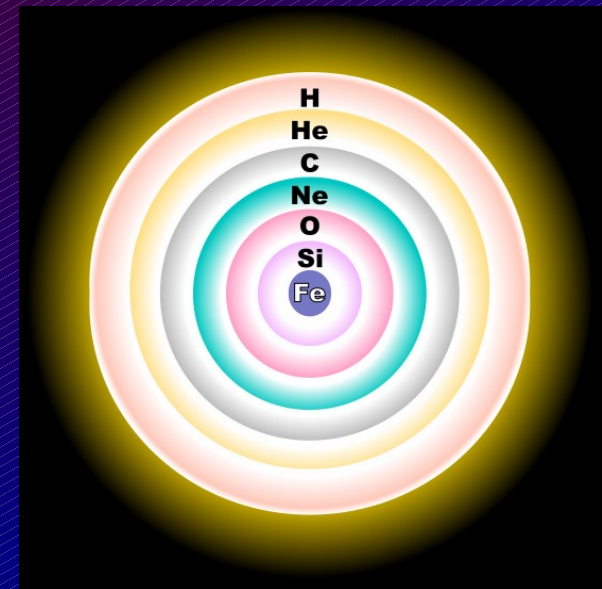
- Gegen Ende des Wasserstoffbrennens:
 - Gravitationskraft wird stärker als der Strahlungsdruck
 - Kontraktion des Kerns → Temperatur im Kern erhöht sich stark (≈ 100 Millionen Kelvin)
- Stern erreicht Heliumbrennphase (Heliumflash)
 - Strahlungsdruck wird stark erhöht
 - Gravitationskraft $<$ Strahlungsdruck
 - Strahlungsdruck lässt äußere Schichten des Sterns expandieren
 - Äußere Schichten des Sterns kühlen ab = Farbe wird langsam zu Rot
 - Stern stabilisiert Druckverhältnisse wieder
- nach Heliumbrennen
 - Kohlenstoffbrennen → alle Elemente bis Eisen

Quellen:

http://de.wikipedia.org/wiki/Roter_Riese , <http://de.wikipedia.org/wiki/Stern>

4.1 Rote Überriesen

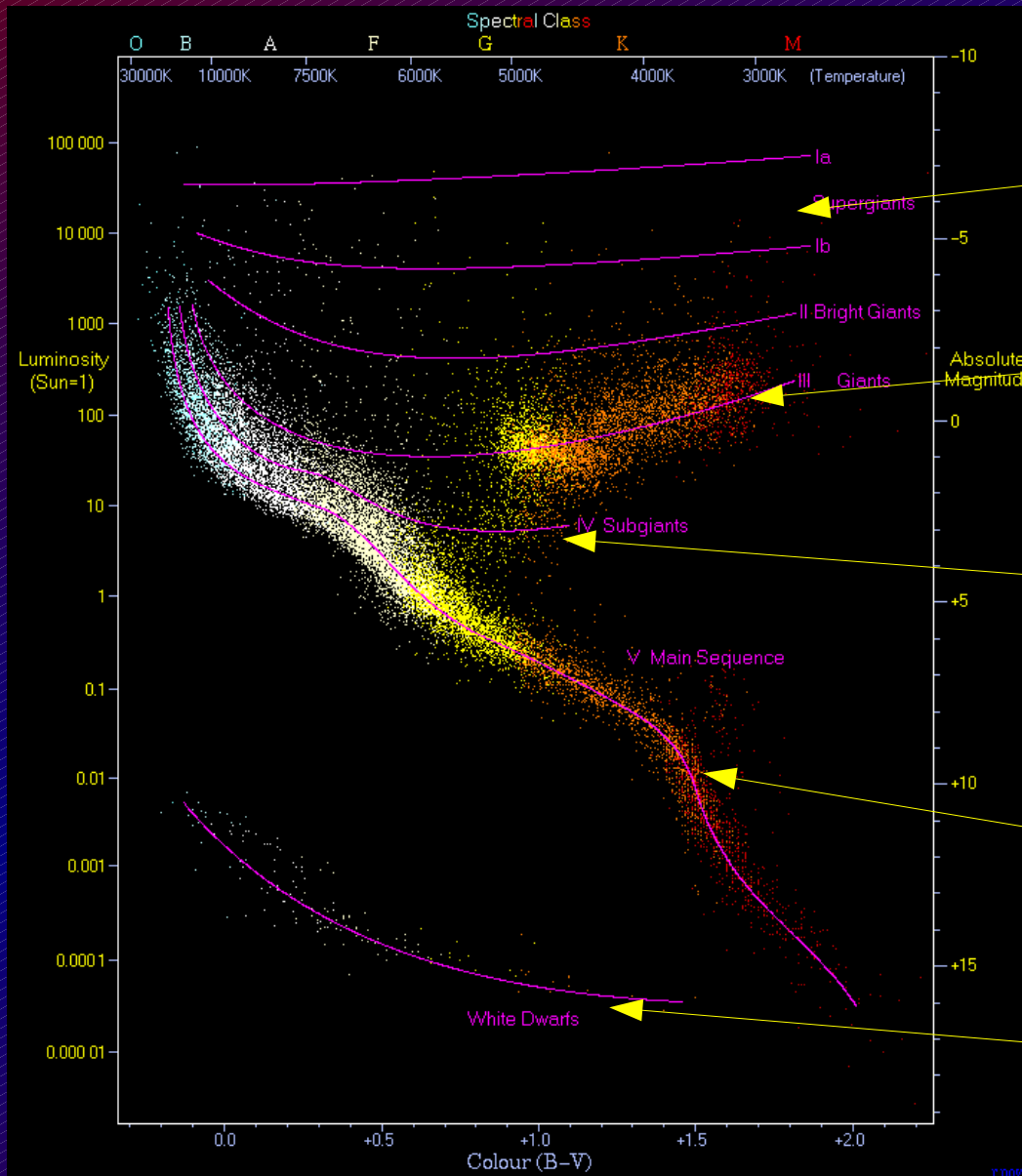
- Entstehen wie normale Rote Riesen
- Größer und Massereicher als Rote Riesen
 - Meist in der Sternjugend bereits blauer Riese (sehr viel mehr Masse als die Sonne)
- Betreiben Schalenbrennen (s. Bild)



Größenvergleich einiger Sterne

5. Hertzsprung-Russell-Diagramm

Zeigt die Temperatur bzw. Spektralklasse und die Helligkeit der Sterne an



Überriesen

Riesen

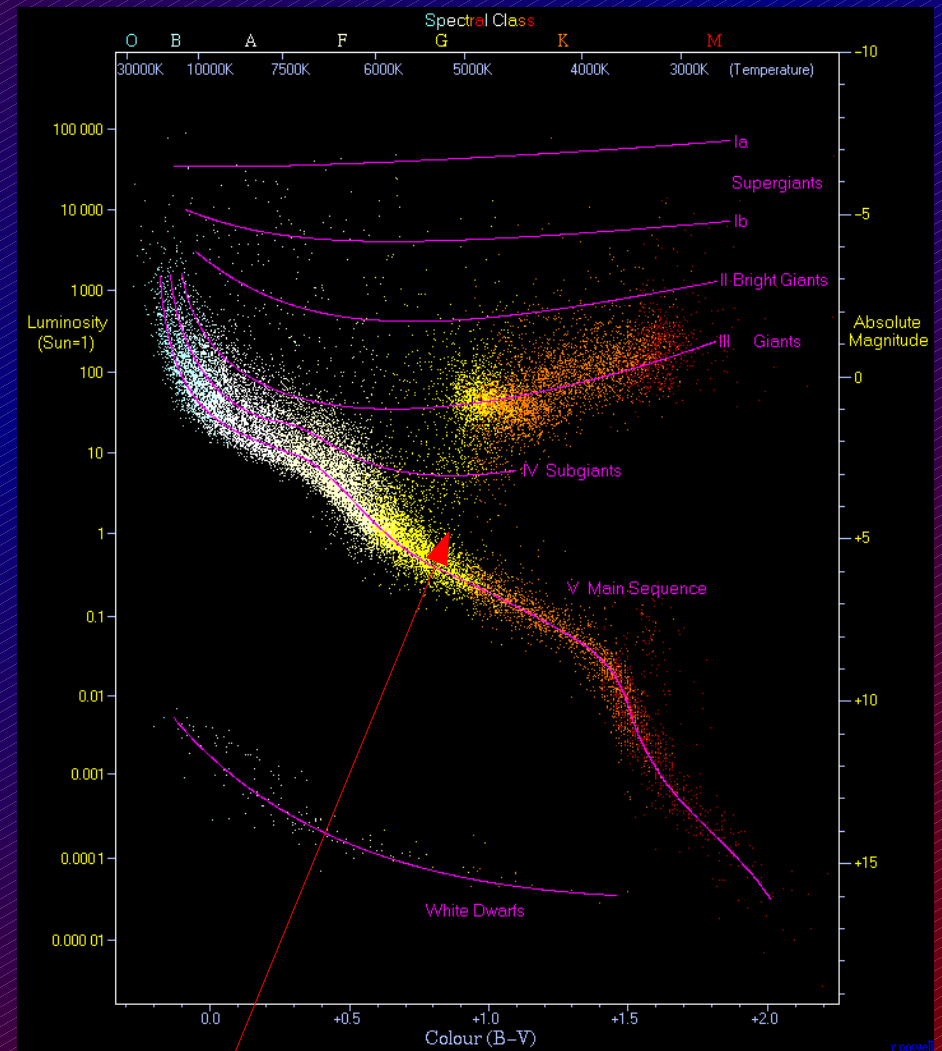
Unterriesen

Hauptreihe

Weiße Zwerge

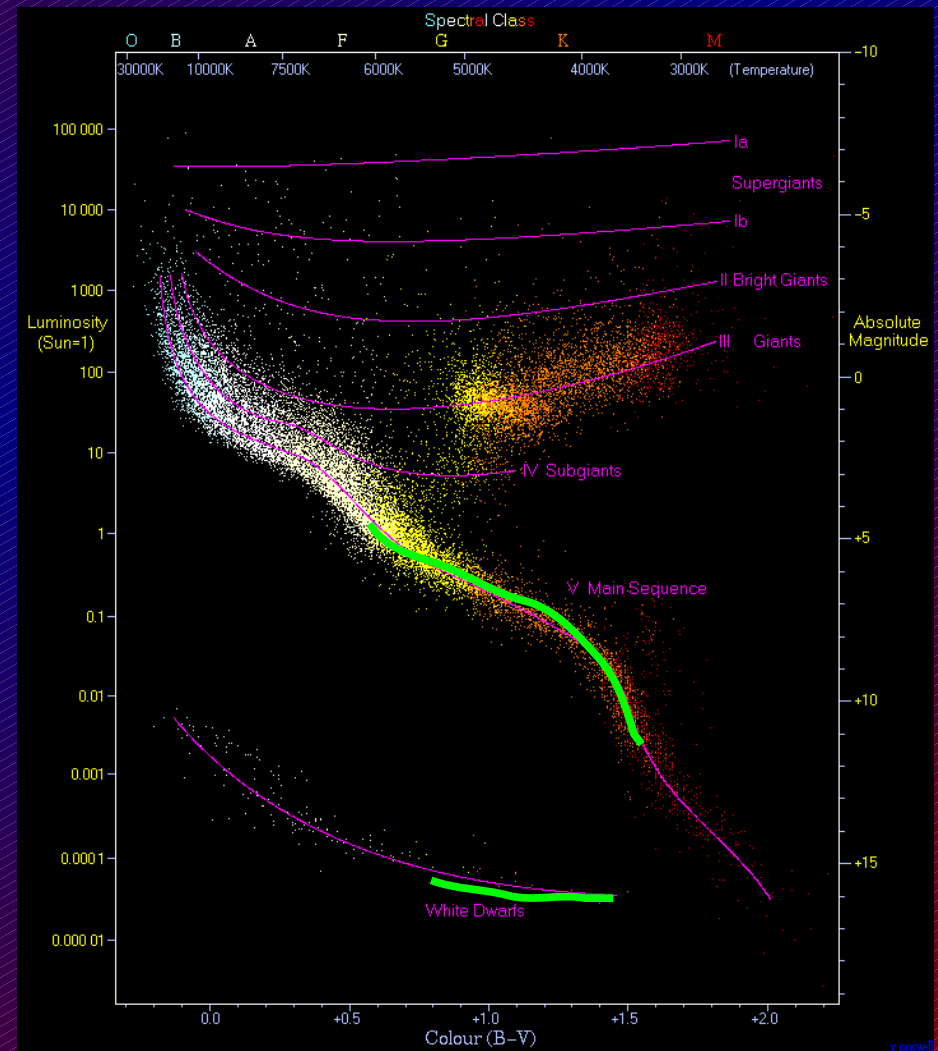
5.1 Hauptreihensterne

- Sterne auf der Hauptreihe:
 - „verbrennen“ Wasserstoff
 - Zustand stabil
- Bei verlassen der Hauptreihe:
 - Heliumbrennen bzw. Schalenbrennen setzt ein
 - Stern wird instabil
- Masse des Sterns bestimmt den Verlauf der Entwicklung eines Sterns



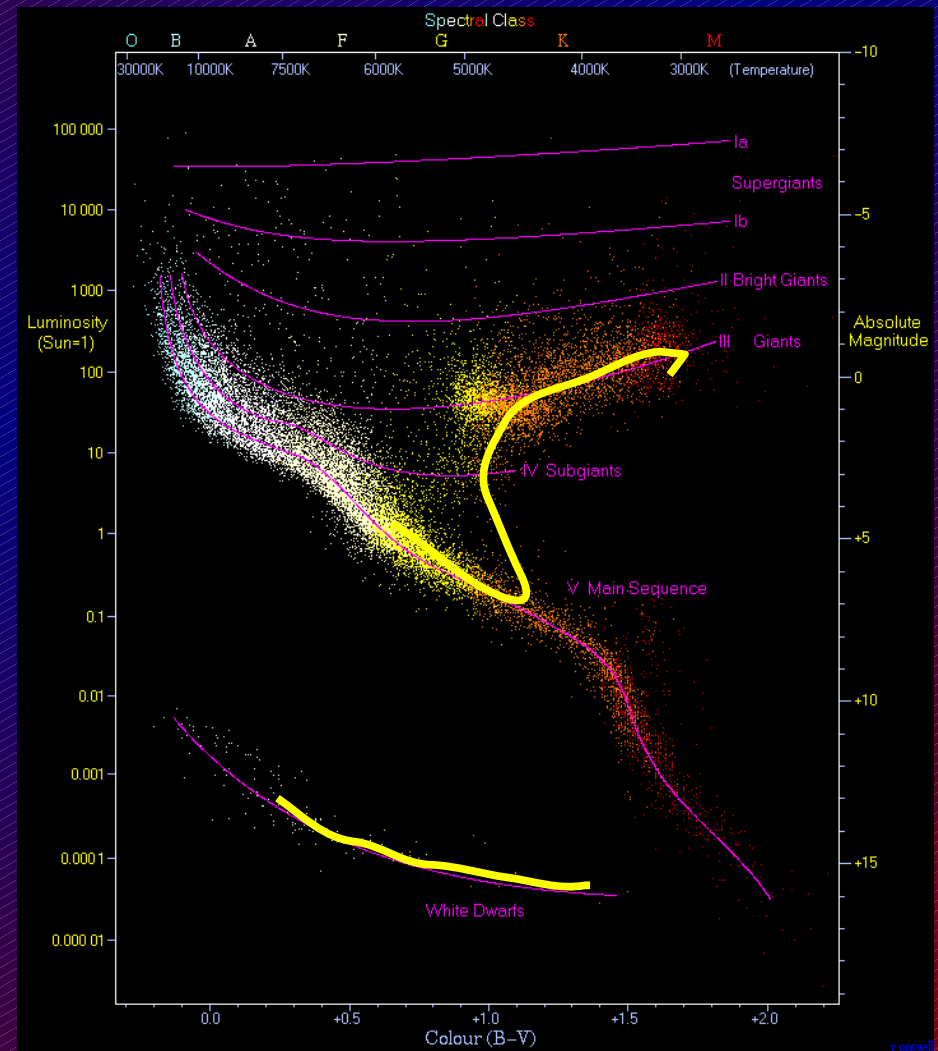
5.2 Entwicklungsbeispiel eines massearmen Sterns

- Gesamtes Leben auf der Hauptreihe
- Gegen Ende ihres Lebens nicht genug Masse und Hitze um Heliumbrennen zu starten
- Wasserstoffbrennen wird in der Schale um den Kern weitergeführt
- Temperatur im Kern nimmt ab
 - Stern stürzt ein
 - Endet als Weißer Zwerg



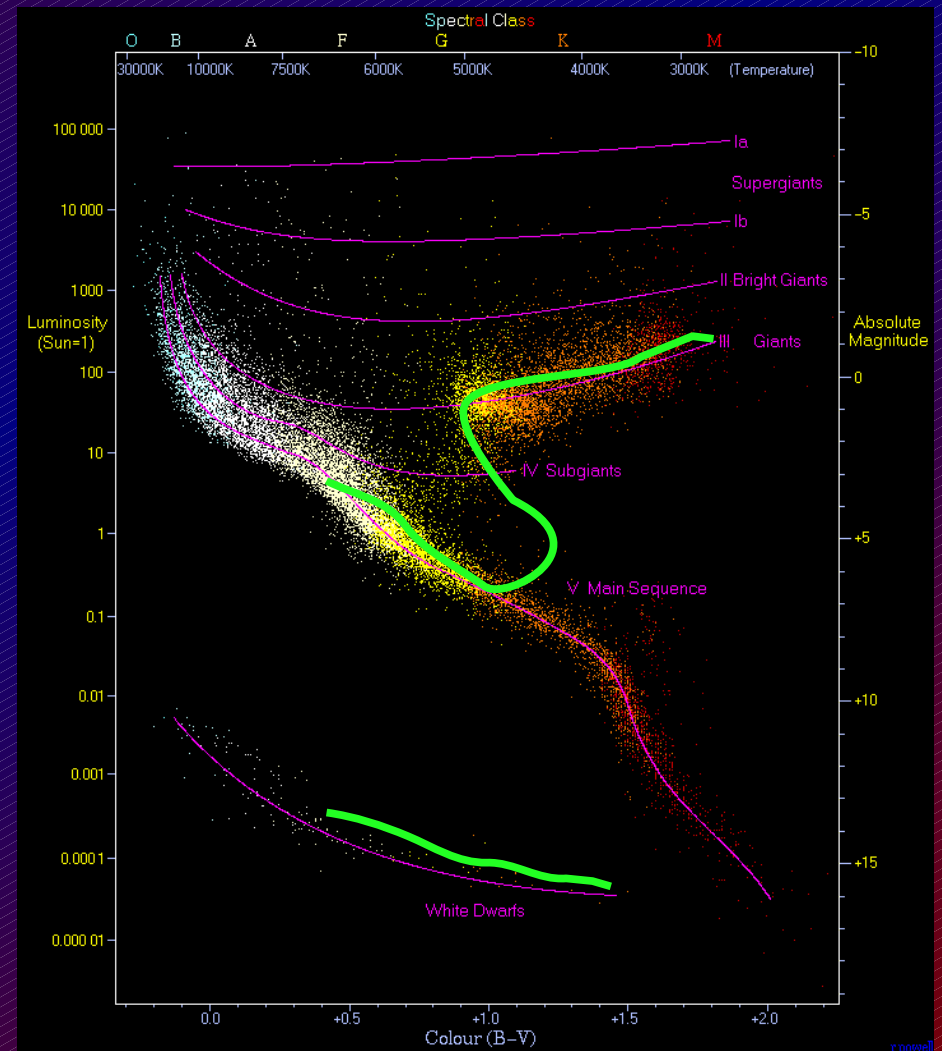
5.3 Entwicklungsbeispiel unserer Sonne

- Nach Beendigung des Wasserstoffbrennens (in ca. $5 \pm 0,5$ Milliarden Jahren)
 - Aufblähung zum Roten Riesen Heliumbrennen
- Nach Beendigung des Heliumbrennens
 - Kollaps des Kerns
 - Ende als Weißer Zwerg
 - evtl. mit planetarischen Nebel



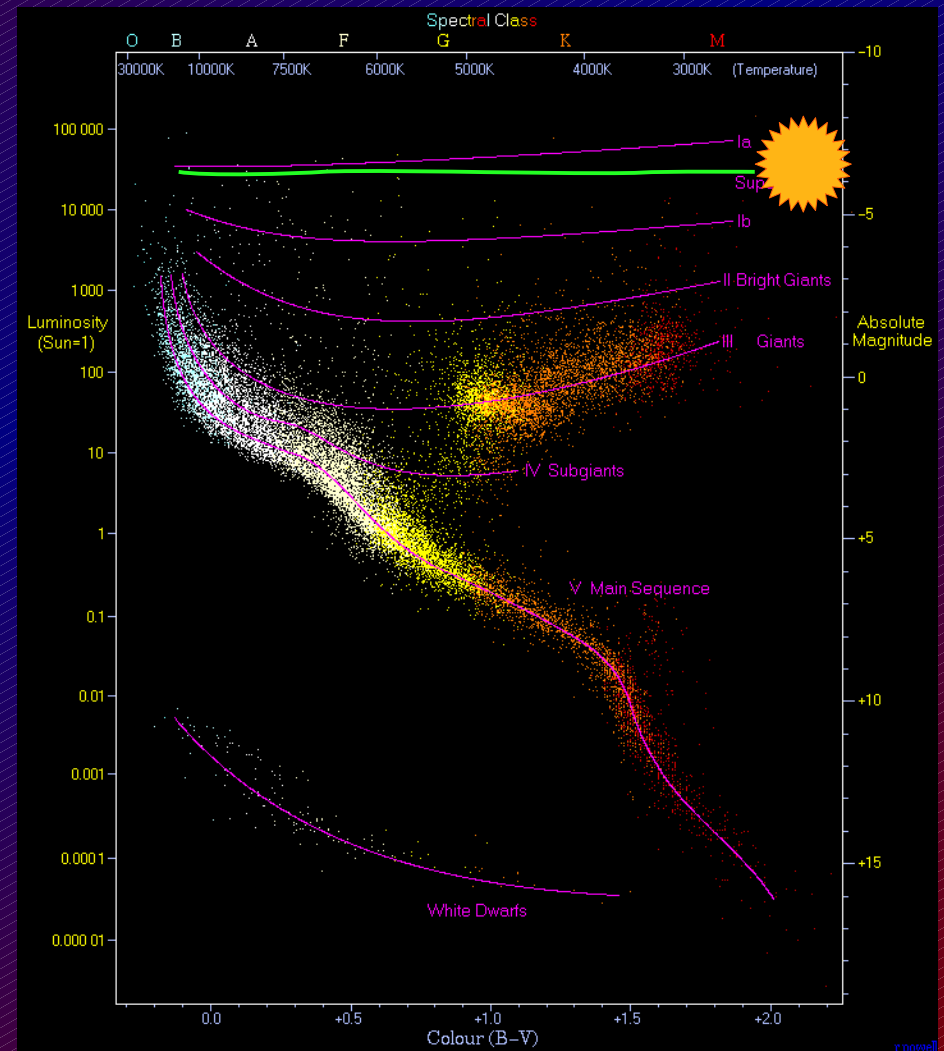
5.4 Entwicklungsbeispiel eines Sterns mit mittlerer Masse

- ähnliche Entwicklung wie die Sonne
 - einige Milliarden Jahre auf der Hauptreihe
 - je massereicher der Stern ist, desto kürzer ist sein Weg auf der Hauptreihe
 - Entwicklung zum Roten Riesen
 - endet als Weißer Zwerg

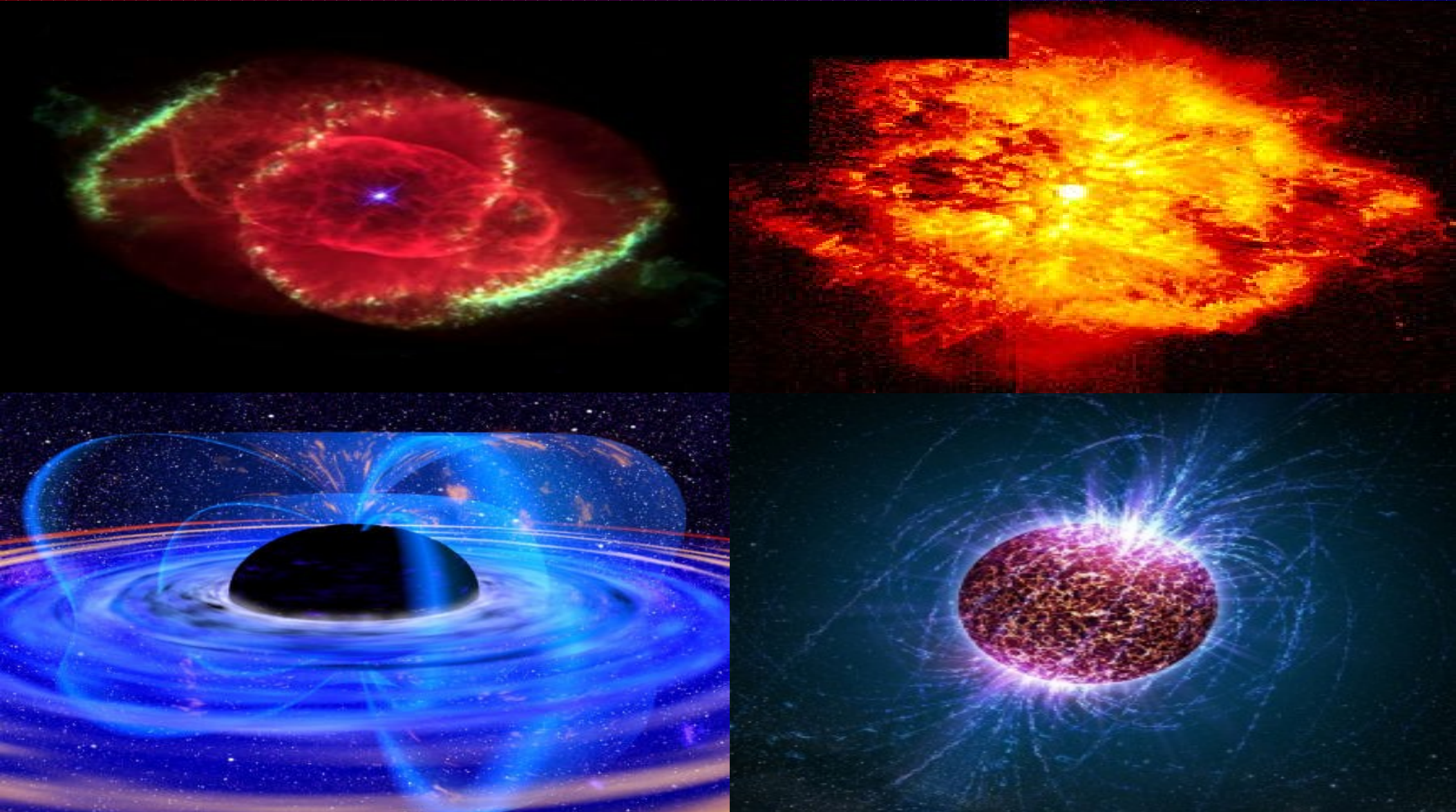


5.5 Entwicklungsbeispiel eines supermassereichen Sterns

- Leben auf der Hauptreihe sehr kurz, einige Millionen Jahre
- Relativ schneller Eintritt in die Heliumbrennphase
 - Schalenbrennen
 - Stern wird zum roten Überriesen
 - nach Schalenbrennen
 - Stern explodiert in einer Supernova Typ II



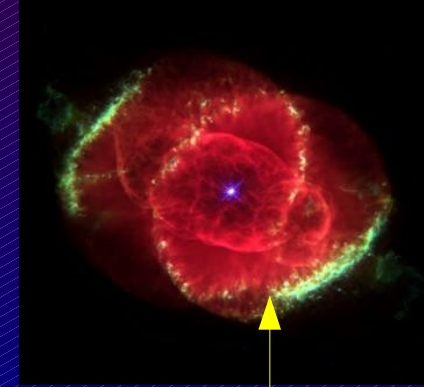
6. Das Ende eines Sterns



Quellen: s. 7. Quellen

Alle hier aufgeführte Endpunkte haben einen Roten Riesen/ Überriesen als Ausgangspunkt

6.1 Weißer Zwerg

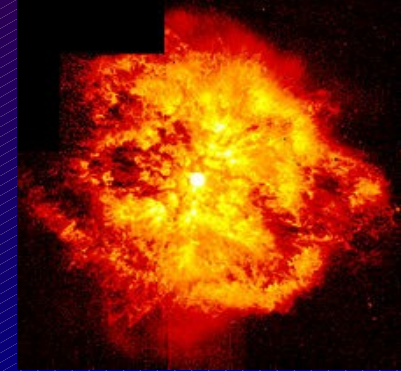


- Entstehung
 - Roter Riese wird durch starken Sternwind und niedrige Gravitation seine äußeren Hüllen los
 - planetarischer Nebel
 - heißer Kern des Sterns bleibt in der Mitte zurück
 - bringt planetarischen Nebel zum Leuchten
 - kühlt langsam (über mehrere Milliarden Jahre) ab
 - Der Kern kann Durchmesser von 1000 – 10000 km haben, was in etwa dem Erddurchmesser entspricht
- Weiße Zwerge in Doppelsternsystemen
 - weiße Zwerge in Doppelsternsystemen können noch explodieren:
 - weißer Zwerg zieht Masse vom Partnerstern an
 - weißer Zwerg überschreitet die sog. Chandrasekhar-Grenze von ca. 1,44 Sonnenmassen
 - weißer Zwerg wird in einer Supernova von Typ Ia komplett zerrissen
 - Milliardenfach heller als die Sonne
 - schwere Elemente wie Eisen und Kohlenstoff werden weggeschleudert

Quellen:

<http://pluslucis.univie.ac.at/FBA/FBA99/Lenz/6.pdf> , http://www.mpifr-bonn.mpg.de/public/Dir_nico/Whitedwarf.html

6.2 Supernova



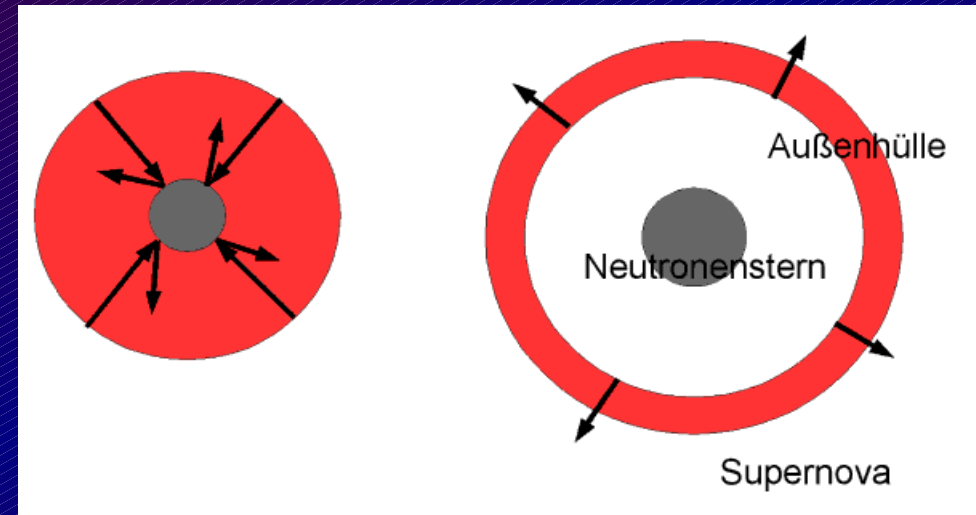
- Verschiedene Typen (I und II)
 - Typ I: entsteht durch Explosionen der Weißen Zwergen
 - Typ II: entsteht durch zusammenfallende Rote Riesen
- Entstehung des Typ II
 - Nach Bildung des Eisenkerns laufen dort keine Fusionsprozesse mehr ab (aus Fusion von Eisen lässt sich keine Energie gewinnen)
 - äußere Hüllen des Sterns fallen Richtung Kern
 - Druck steigt extrem an
 - → fallende Schichten werden vom Kern zurückgeworfen

Quellen:

<http://www.physik.wissenstexte.de/sterne.htm> , http://de.wikipedia.org/wiki/Supernova#Kernkollaps-_oder_hydrodynamische_Supernovae

6.2 Supernova

- zurückgeworfene Schichten treffen auf noch fallende Schichten
- fallende Schichten werden stark erhitzt
 - dabei entstehen schwerere Elemente als Eisen
- reflektierte Schichten werden in einer Explosion ins All geschleudert :
Supernova

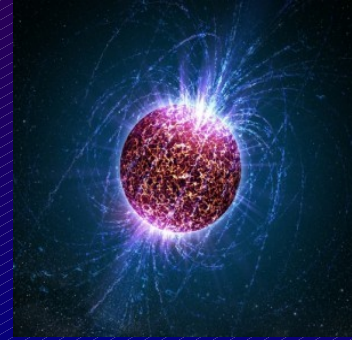


Quellen:

<http://www.physik.wissenstexte.de/sterne.htm> , http://de.wikipedia.org/wiki/Supernova#Kernkollaps-_oder_hydrodynamische_Supernovae

Was passiert nun mit dem Kern, der nicht in der Supernova explodiert ist?

6.2.1 Neutronenstern



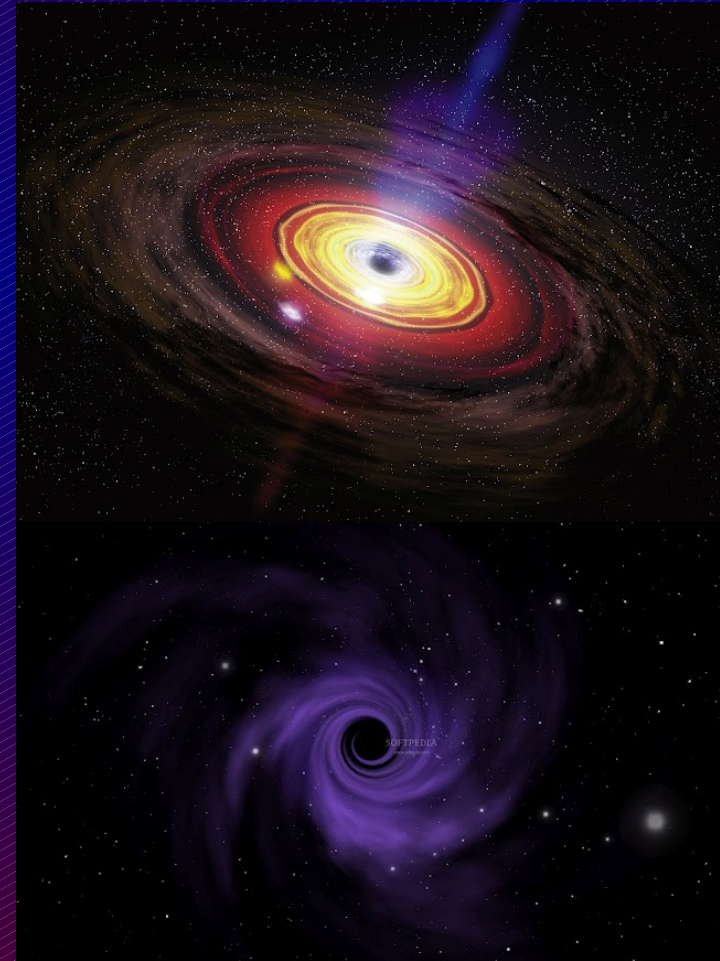
- Für Kerne zwischen 1,44 und 3,2 Sonnenmassen
- Druck ist extrem hoch
 - Elektronen werden in Protonen gedrückt
 - Neutronen entstehen
- Alle Protonen und Elektronen werden so in Neutronen umgewandelt
 - Neutronenstern entsteht
- Neutronenstern rotiert extrem schnell, da er den Drehimpuls des alten Sterns übernimmt, allerdings eine kleineren Durchmesser hat (bis zu 1000(!) Umdrehungen/sek)
 - Spezielle Art von Neutronensterne: Pulsare

Quellen:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Neutronenstern> , <http://abenteuer-universum.de/stersterne/neutro.html>

6.2.2 Schwarzes Loch

- entsteht wenn die Masse des Kerns überhalb von 3,2 Sonnenmassen ist
- Neutronen werden von extrem hohen Druck zusammengepresst
 - Etwas mit unendlich hoher Dichte und extrem hoher Gravitation entsteht
 - Es ist nicht klar, wie schwarze Löcher genau entstehen und was in ihnen abläuft

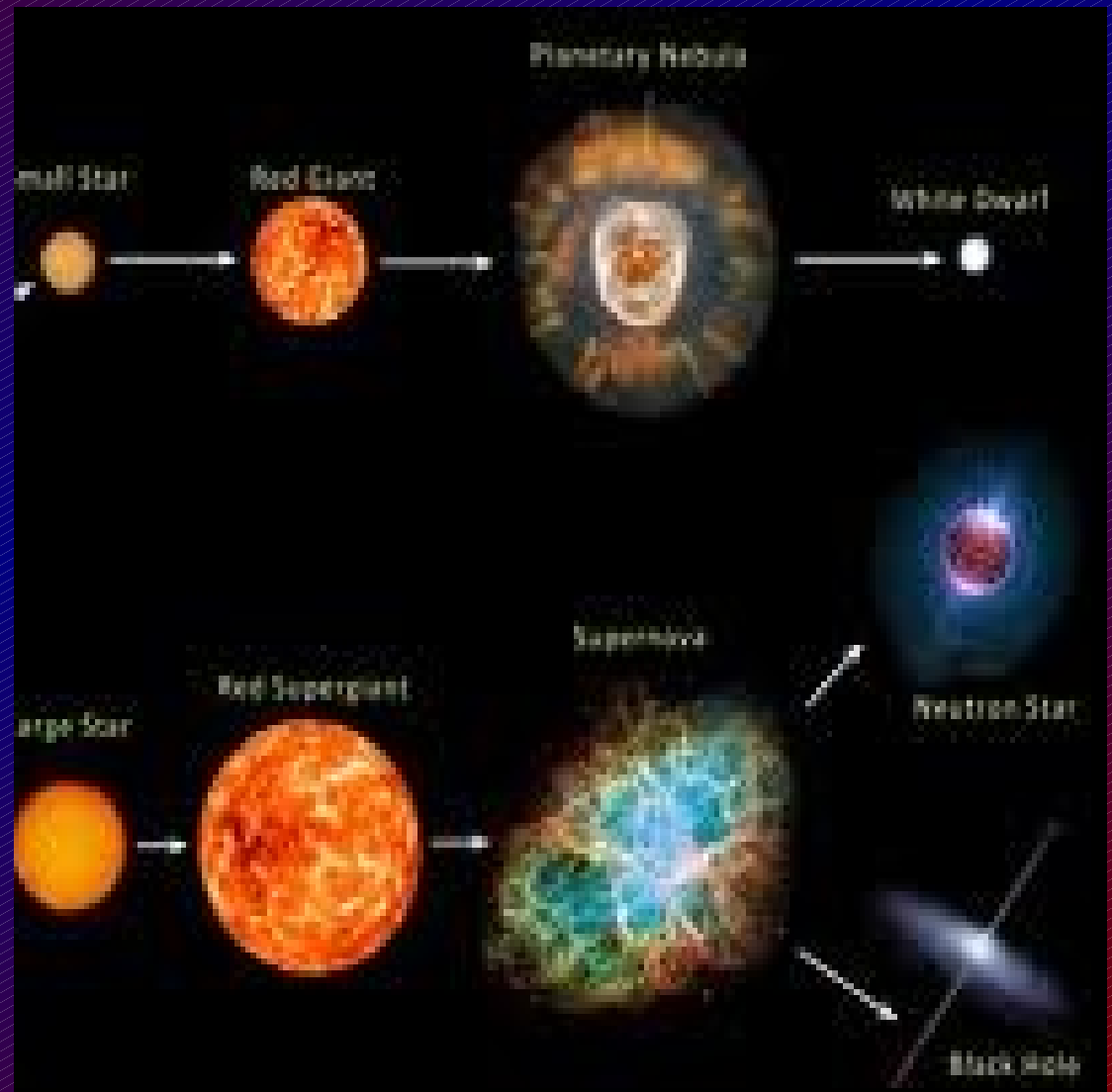


Quellen:

<http://pixbag.blogspot.de/2011/07/black-hole.html#> , http://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzes_Loch

7. Zusammenfassung

- Massearme Sterne werden zu Roten Riesen und schrumpfen dann zu weißen Zwergen mit Planetarischen Nebeln
- Massereiche Sterne werden zu roten Überriesen, explodieren in einer riesigen Supernova und beenden schließlich ihre Entwicklung als Neutronenstern oder schwarzes Loch



8.1 Bildquellen

- Bildquellen:
 - <http://www.baerfacts.de/2006/12/21/neben-schwarzen-loechern-auc>
 - <http://jumk.de/astronomie/sterne-a/weisse-zwerge.shtml>
 - <http://www.onlinezeitung24.de/article/1958>
 - http://www.wissenschaft-aktuell.de/artikel/Neutronensterne__Harte_
 - http://www.wissenschaft-online.de/astrowissen/lexdt_s08.html
 - <http://de.wikipedia.org/wiki/Rare-Earth-Hypothese>
 - <http://www.br.de/radio/bayern2/sendungen/radiowelt/ende-der-welt->
 - <http://en.wikipedia.org/wiki/Supernova>
 - http://www.erdende.de/html/schwarze_locher.html
 - <http://essayweb.net/astronomy/blackhole.shtml>

8.2 Informationsquellen

- http://www.leifiphysik.de/web_ph12/grundwissen/12entfernung/pulsation.htm
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Stern#Sternentwicklung>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Proton-Proton-Reaktion>
- http://de.wikipedia.org/wiki/Kernfusion#Stellare_Kernfusion
- <http://www.zum.de/Faecher/A/Sa/STERNE/pp.htm>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Drei-Alpha-Prozess>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Hauptreihe>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Stern>
- <http://www.br-online.de/wissen-bildung/spacenight/sterngucker/deepsky/sterntypen.html>
- http://www.mpifr-bonn.mpg.de/public/Dir_nico/Whitedwarf.html
- <http://puslucis.univie.ac.at/FBA/FBA99/Lenz/6.pdf>
- <http://abenteuer-universum.de/stersterne/neutro.html>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Neutronenstern>
- <http://www.physik.wissenstexte.de/sterne.htm>



Ende