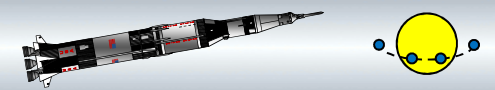


# STERNENTWICKLUNG

## 1. STERNENTSTEHUNG

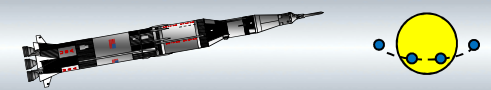


# 1. STERNENTSTEHUNG

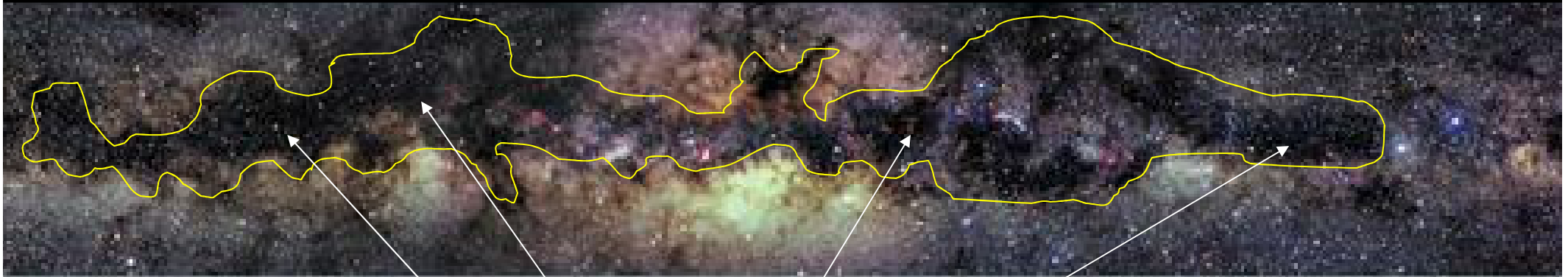


Bilder: NASA



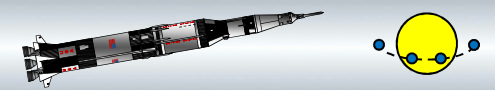


# 1. STERNENTSTEHUNG

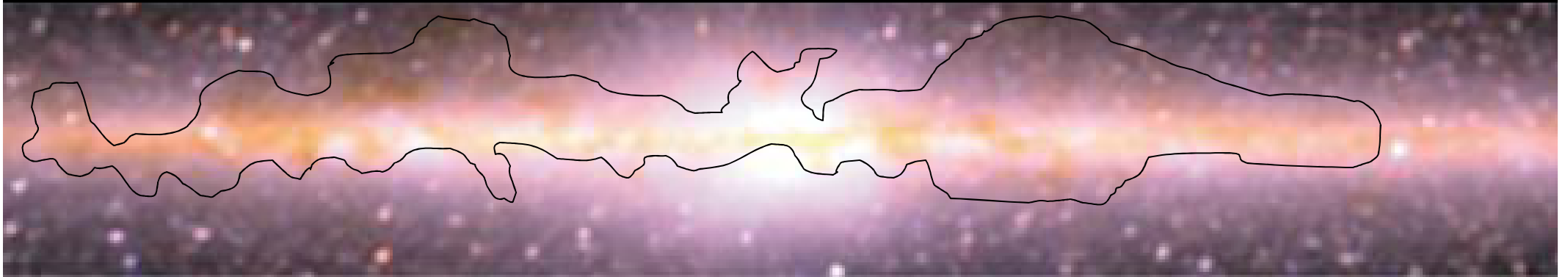


Gas- und Staubwolken

Bilder: NASA

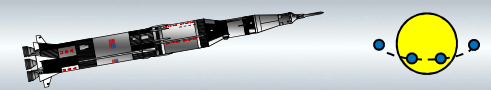


# 1. STERNENTSTEHUNG



Infrarot

Bilder: NASA



# 1. STERNENTSTEHUNG

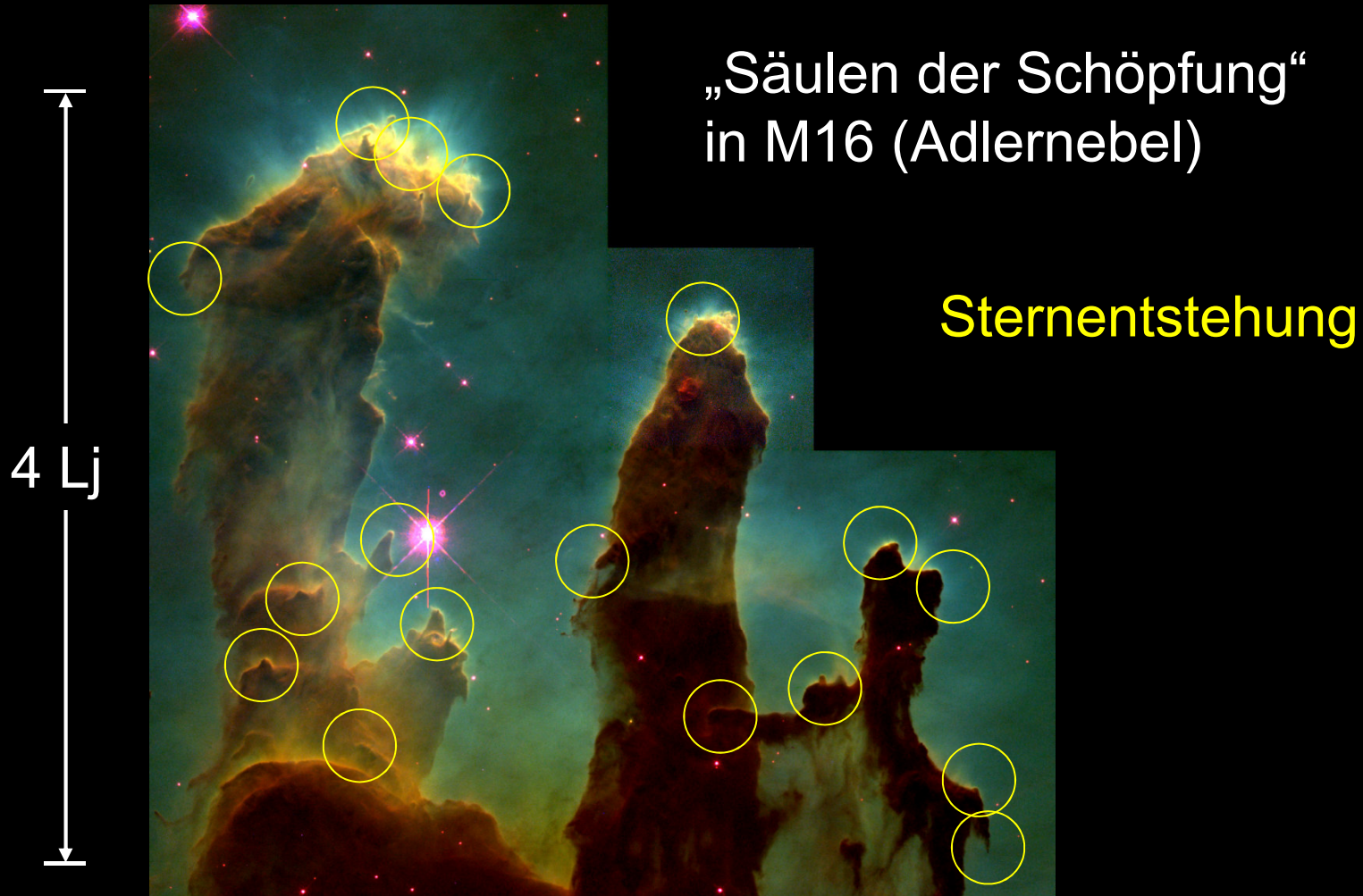
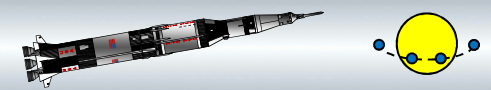


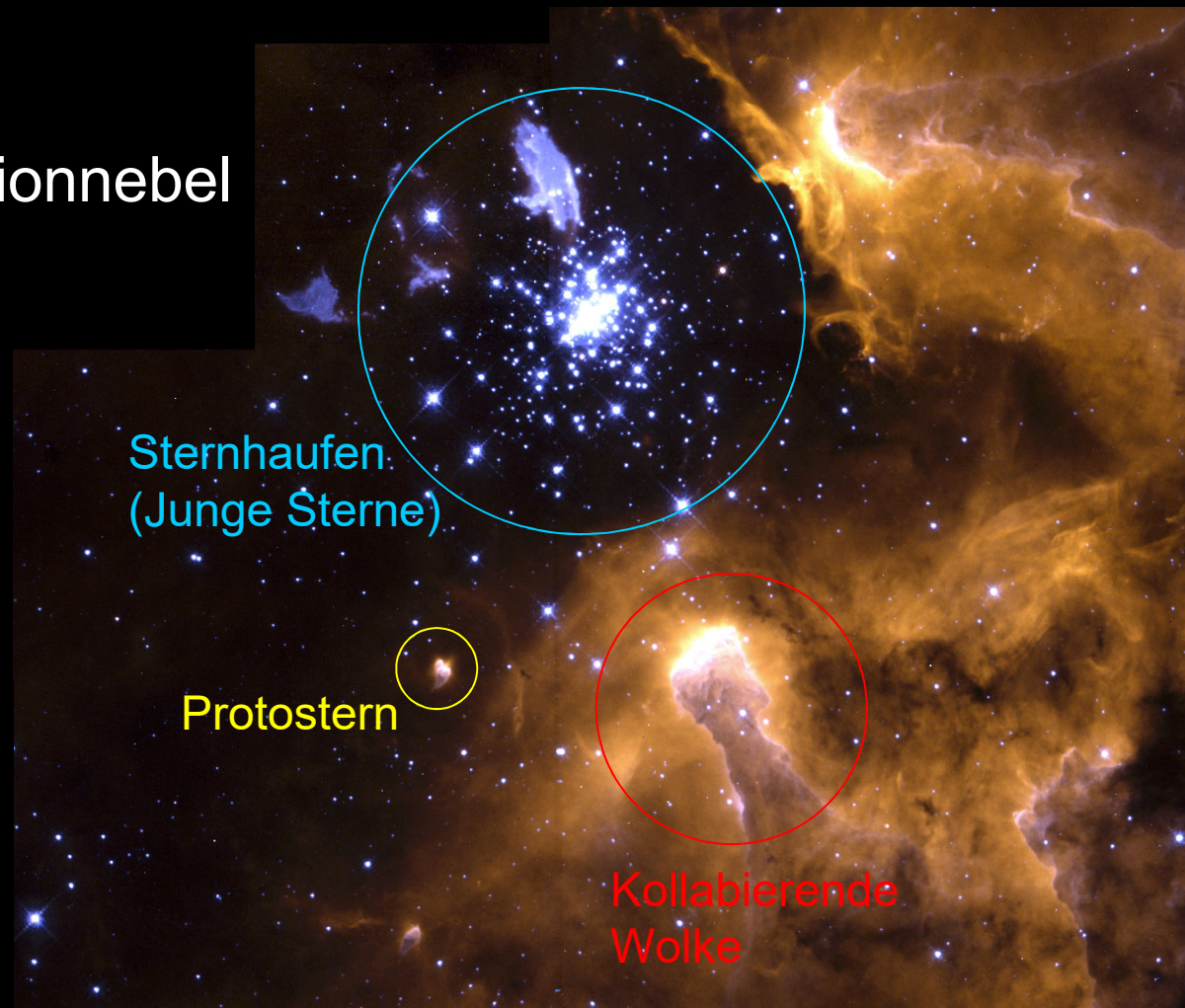
Bild: NASA



# 1. STERNENTSTEHUNG

Sterne bilden sich aus interstellarer Materie:  
Gas und Staub

Orionnebel

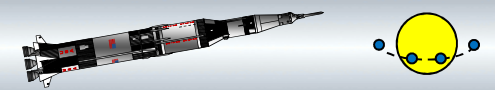


Sternhaufen  
(Junge Sterne)

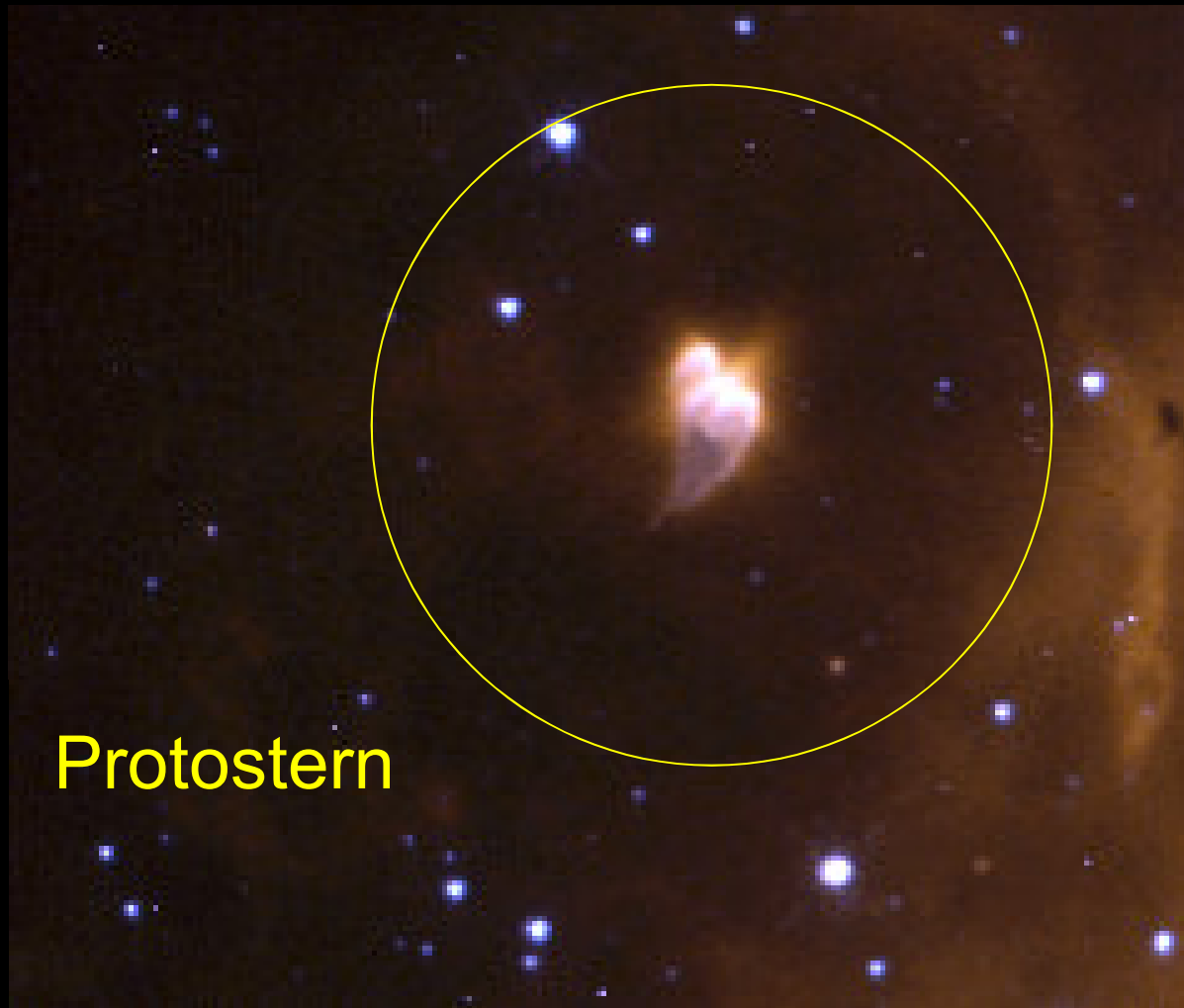
Protostern

Kollabierende  
Wolke

Bild: NASA

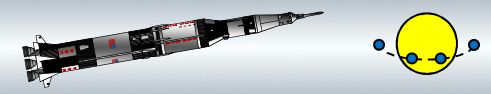


# 1. STERNENTSTEHUNG

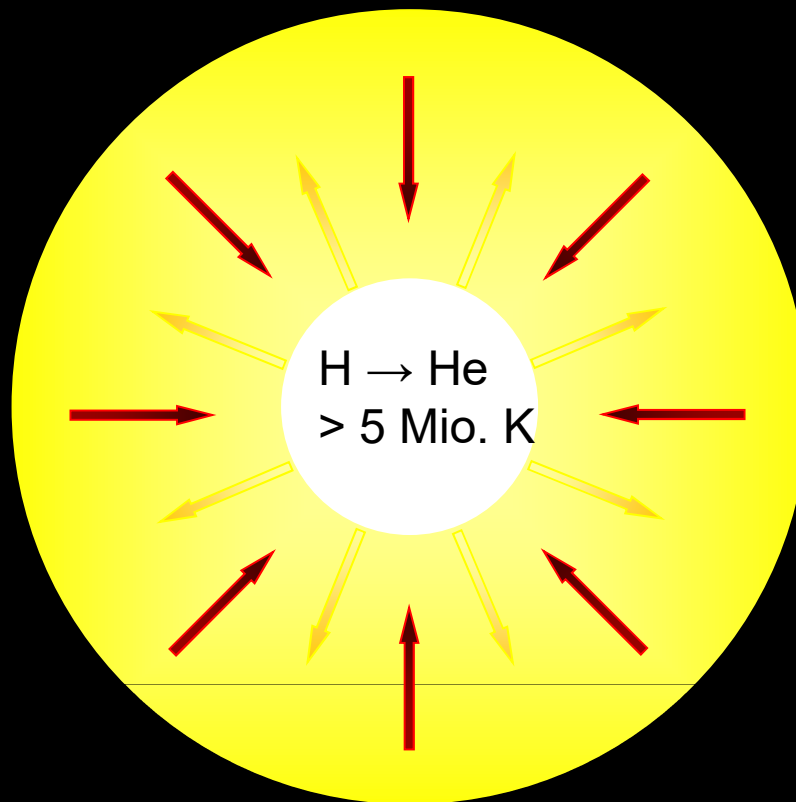


Protostern

Bild: NASA



# 1. STERNENTSTEHUNG

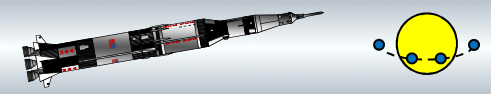


Gravitationsdruck erzeugt  
Kerntemperaturen  $> 5$  Mio. K  
→ Kernfusion (H in He)  
→ Gasdruck

$$\text{Gravitationsdruck} = \text{Gasdruck}$$

Dieser Zustand hält bei unserer Sonne seit 4,6 Milliarden Jahren und noch weitere 5,2 Milliarden Jahre an.





# 1. STERNENTSTEHUNG

Irregularität in der Wolke (z.B. durch Supernova):

Kontraktion und Zerfall der Wolke in Fragmente

Temperaturzunahme, ab 5 Mio. K Kernfusion

Ist Gasdruck = Gravitationsdruck: Stabiler Stern (Hauptreihenstern)

„Kinderstuben“ aus Fragmenten: Junge Sternhaufen



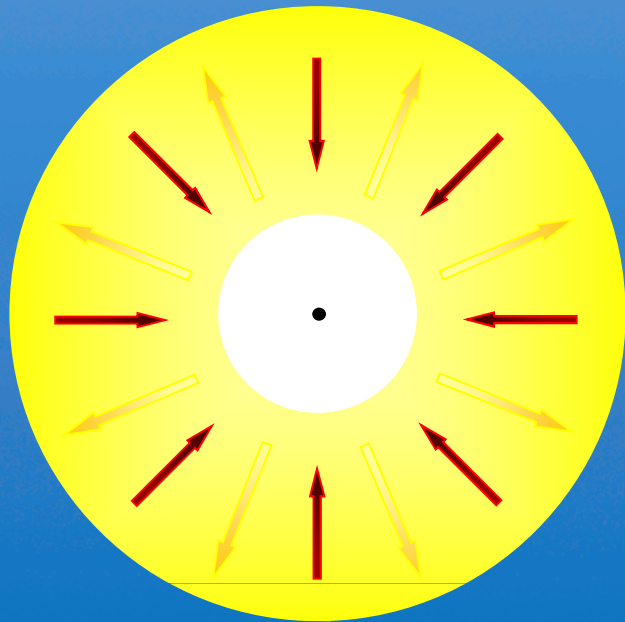
Plejaden

Bild: NASA



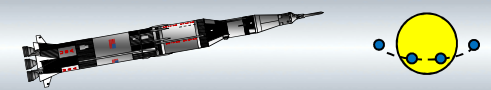
h & X Persei

Bild: CC BY-SA 3.0



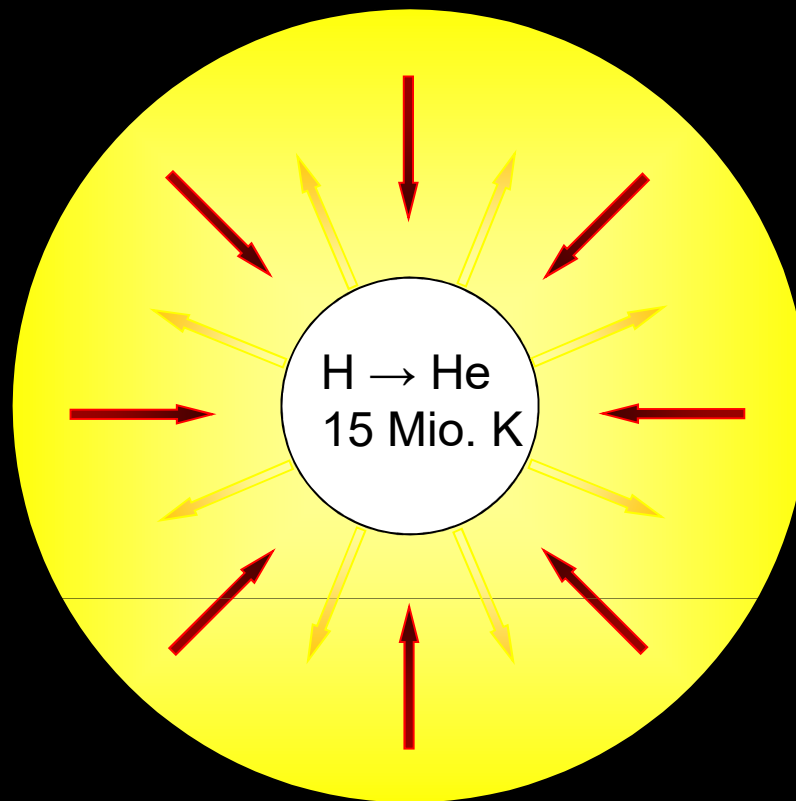
# STERNENTWICKLUNG

## 2. ENDSTADIEN



## 2. ENDSTADIEN DER STERNE

### 2.1 STERNE MIT SONNENMASSE



Unsere Sonne heute:

Kernfusion im Sonnenkern:

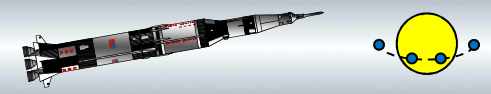
$H \rightarrow He$

Kerntemperatur: 15,5 Mio. K

**Gravitationsdruck**

=

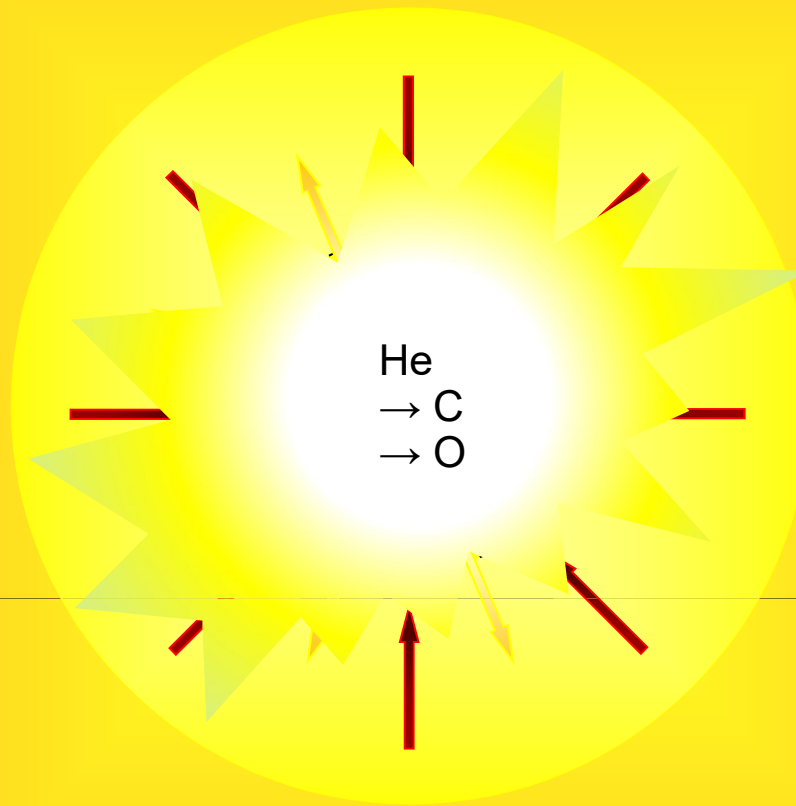
**Gasdruck**



## 2. ENDSTADIEN DER STERNE

### 2.1 STERNE MIT SONNENMASSE

# Roter Riese



> 5,2 Mrd. Jahre:

H – Vorrat im Kern verbraucht

→ Kern schrumpft

→ Kern entartet

(keine Volumenzunahme trotz  
Temperaturerhöhung)

→ Schalenbrennen (H in He)

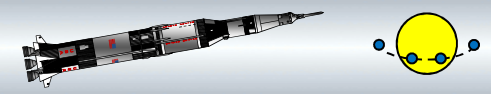
→ Stern dehnt sich aus

→ Roter Riese

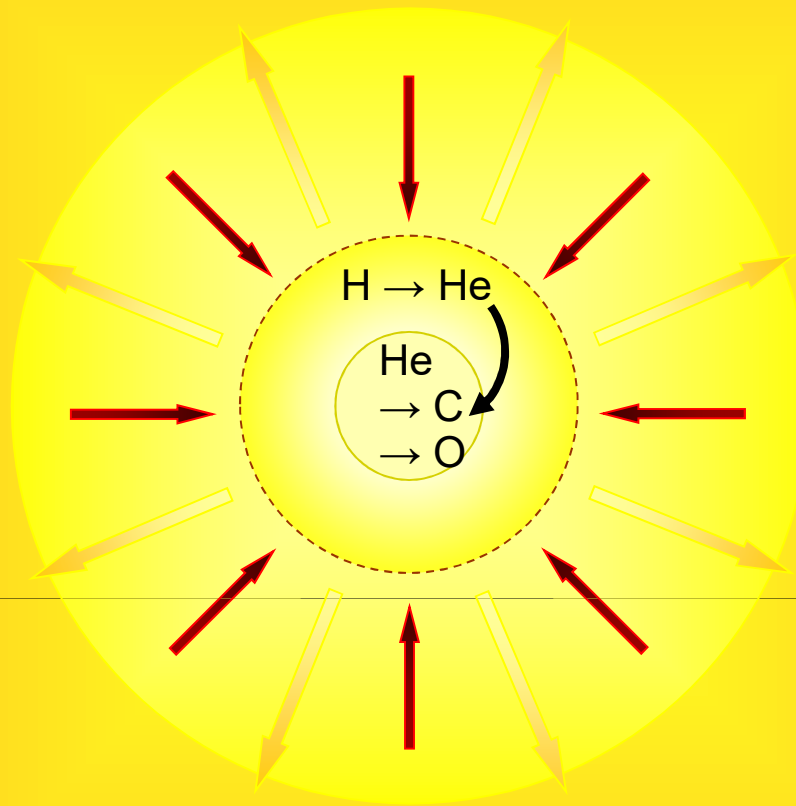
→ Kern wird mit He aus der  
Schale gefüttert

→ Helium-Flash im Kern

→ Fusion im Kern: He zu C, O



# Roter Riese



> 5,2 Mrd. Jahre:

H – Vorrat im Kern verbraucht

→ Kern schrumpft

→ Kern entartet

(keine Volumenzunahme trotz  
Temperaturerhöhung)

→ Schalenbrennen (H in He)

→ Stern dehnt sich aus

→ Roter Riese

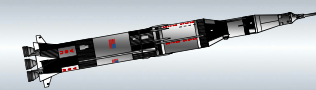
→ Kern wird mit He aus der  
Schale gefüttert

→ Helium-Flash im Kern

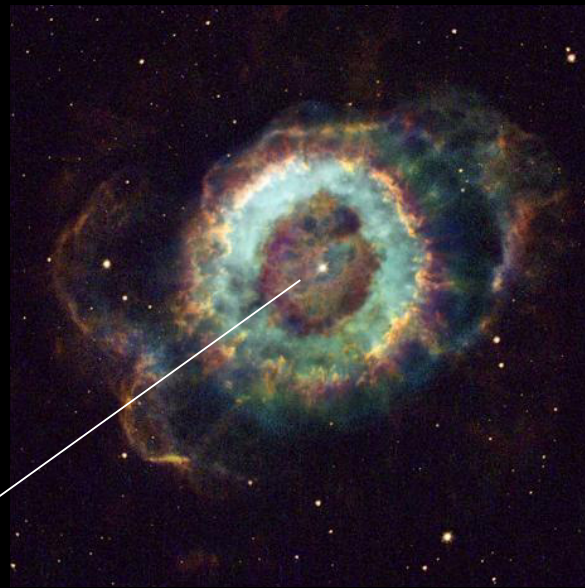
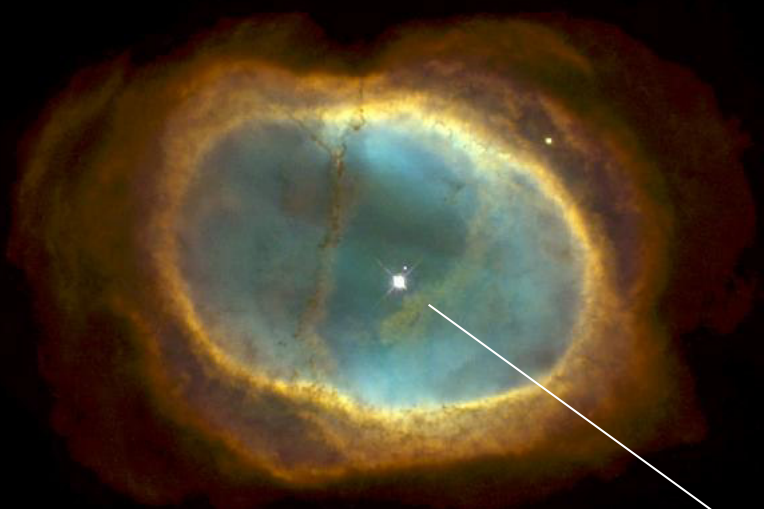
→ Fusion im Kern: He zu C, O

→ Starke Sonnenwinde blasen  
Hülle weg

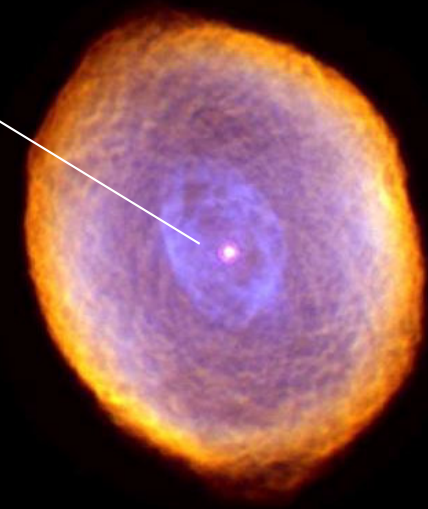
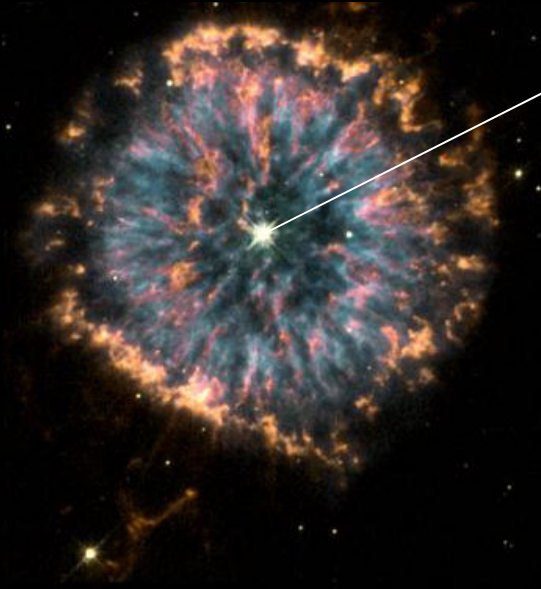
→ Planetarischer Nebel



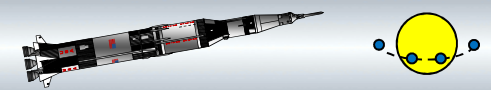
# Planetarische Nebel



Weißer Zwerg



© NASA/HST

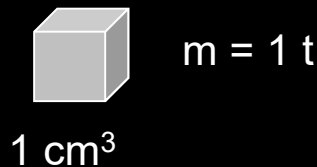
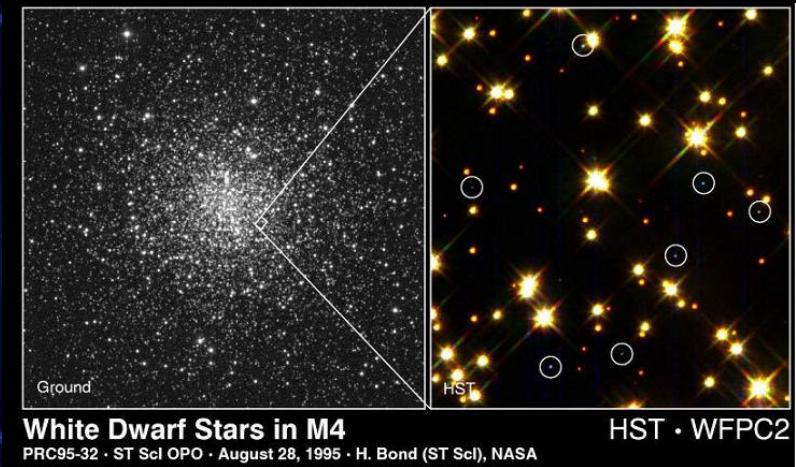
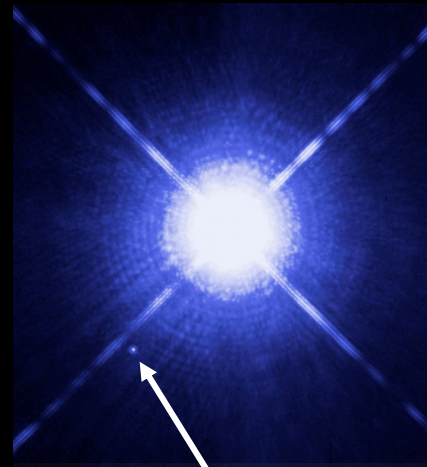
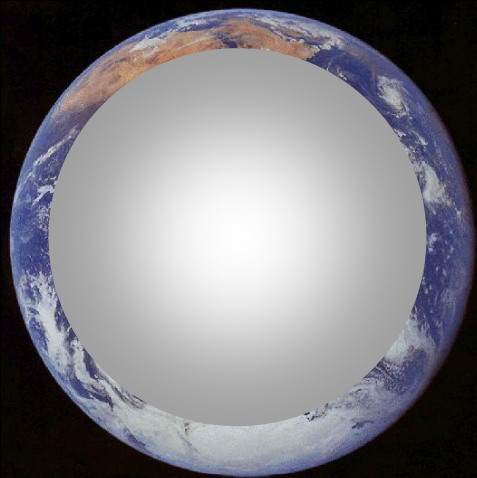


## 2. ENDSTADIEN DER STERNE

### 2.1 STERNE MIT SONNENMASSE

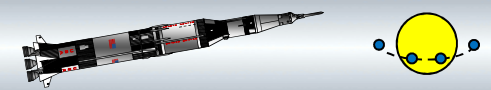
#### Weißer Zwerge

- Radius:  $\sim 5000$  km (vgl. Erde 6378 km)
- Dichte:  $10^6$  g/cm<sup>3</sup>



Z.B. Sirius B:  $R = 10\,000$  km  
 Temperatur  $30\,000$  K  
 Masse ca.  $1 M_{\text{sonne}}$   
 Dichte:  $2000$  g/cm<sup>3</sup> (Sonne:  $1,5$  g/cm<sup>3</sup>)

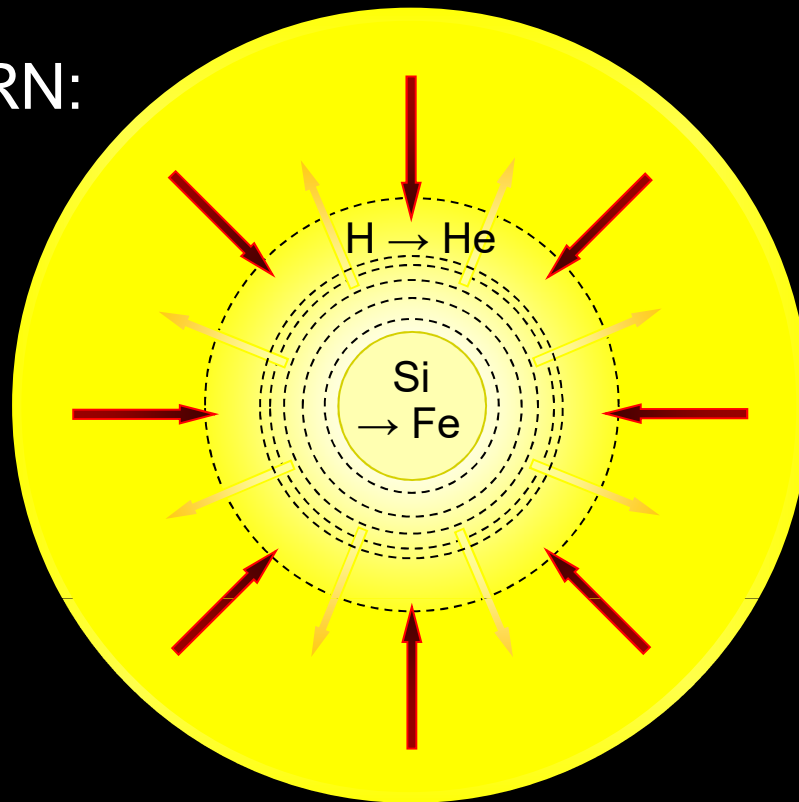
Bilder: NASA



## 2. ENDSTADIEN DER STERNE

### 2.2 STERNRESTE MIT EISENKERN UND ÜBER 1,2 SONNENMASSEN

Im  
KERN:



Schalenbrennen ohne Entartung  
des Kerns:

Von Außen nach Innen:

H → He

He → C, O

C → N, Mg

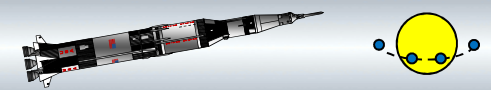
N → O, Mg

O → Si

Si → Fe

# Überriese

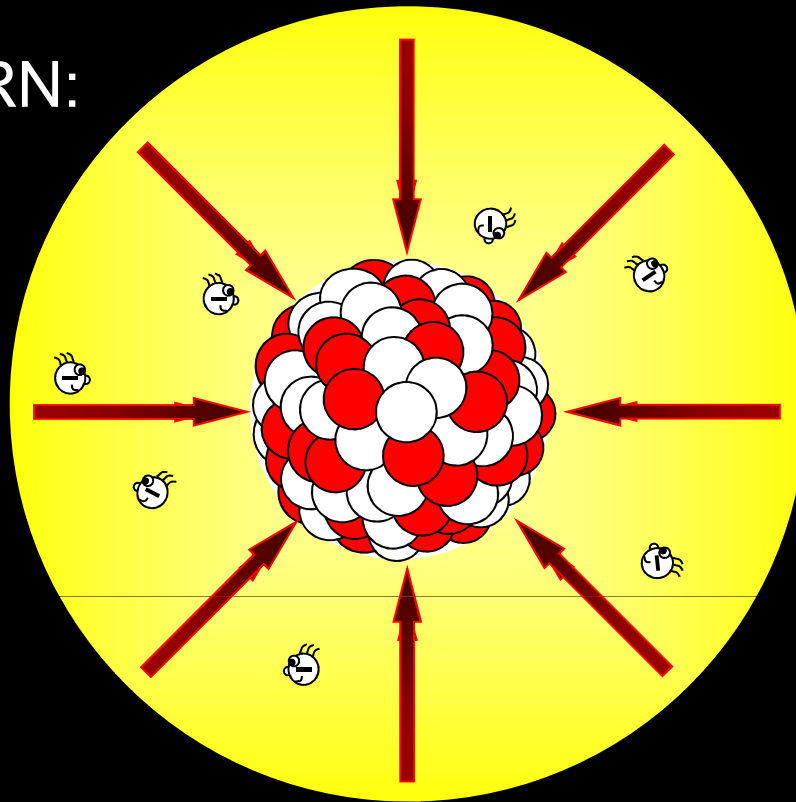




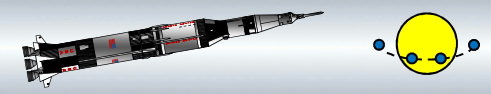
## 2. ENDSTADIEN DER STERNE

### 2.2 STERNRESTE MIT EISENKERN UND ÜBER 1,2 SONNENMASSEN

Im  
KERN:



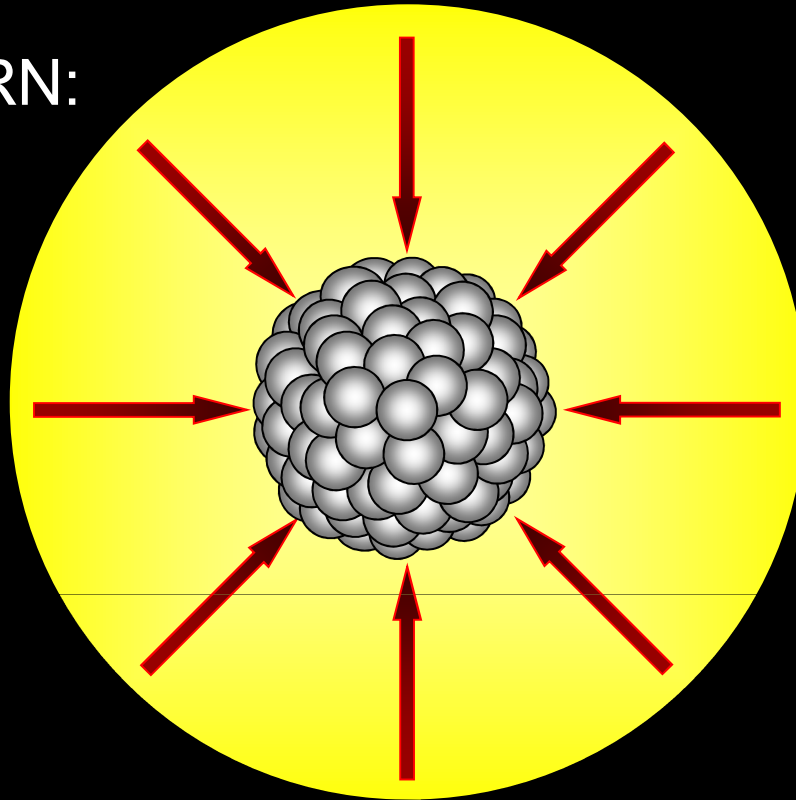
- Fusionsvorräte im Kern verbraucht
- Kern kühlt ab
- Gravitationsdruck so gewaltig, dass Elektronen im Kern in die Atomkerne gequetscht werden
- Neutronenkugel



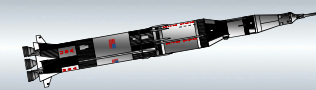
## 2. ENDSTADIEN DER STERNE

### 2.2 STERNRESTE MIT EISENKERN UND ÜBER 1,2 SONNENMASSEN

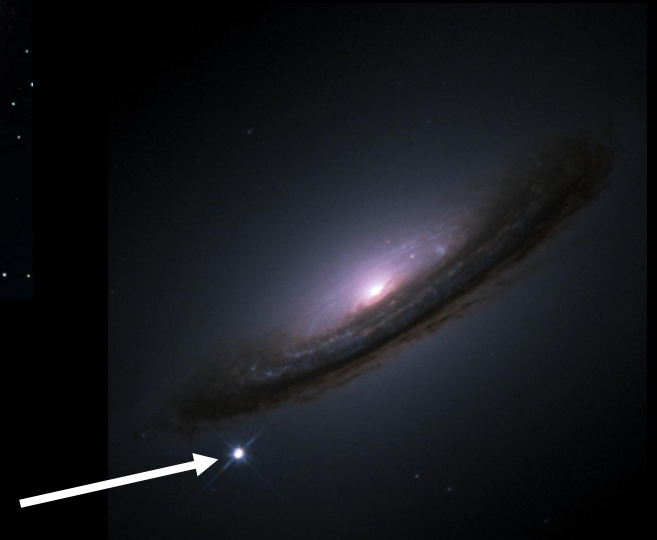
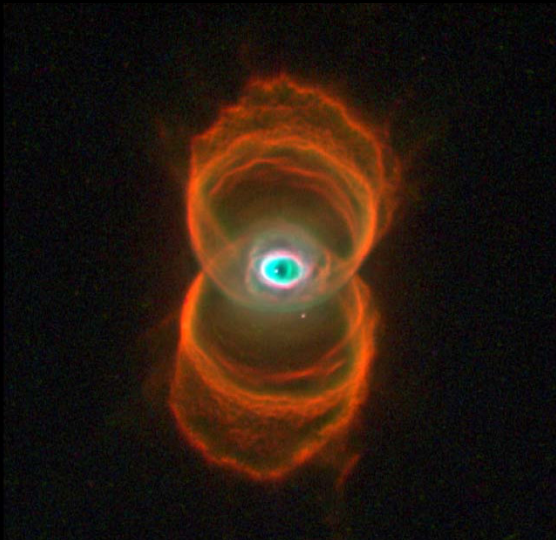
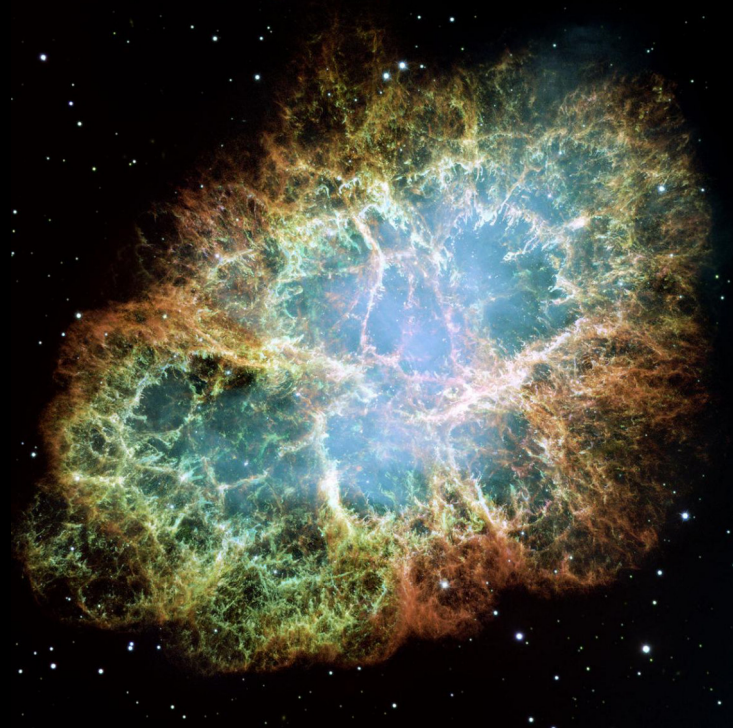
Im  
KERN:



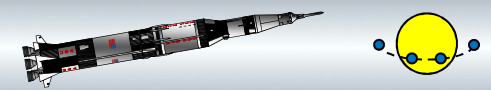
- Fusionsvorräte im Kern verbraucht
- Kern kühlt ab
- Gravitationsdruck so gewaltig, dass Elektronen im Kern auf Atomkerne gequetscht werden
- Neutronenkugel
- Riese fällt zusammen
- In äußeren Schichten entstehen in endothermen Fusionsprozessen auch Produkte größerer Ordnungszahlen als Eisen (z.B. Uran), prallen auf die neutronisierte Kugel und werden zurückgeschleudert.
- Supernova



# Supernovae



Bilder: NASA/HST



## 2. ENDSTADIEN DER STERNE

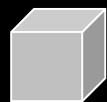
### 2.2 STERNRESTE MIT EISENKERN UND ÜBER 1,2 SONNENMASSEN

#### Neutronensterne

- Radius:  $\sim 10$  km
- Dichte:  $10^{14}$  g/cm<sup>3</sup>



Stuttgart



1 cm<sup>3</sup>

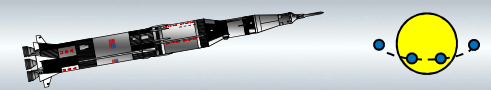
m = 100 Mio. t



Vela Pulsar (Sternbild Segel)

Bild: Wikipedia, gemeinfrei

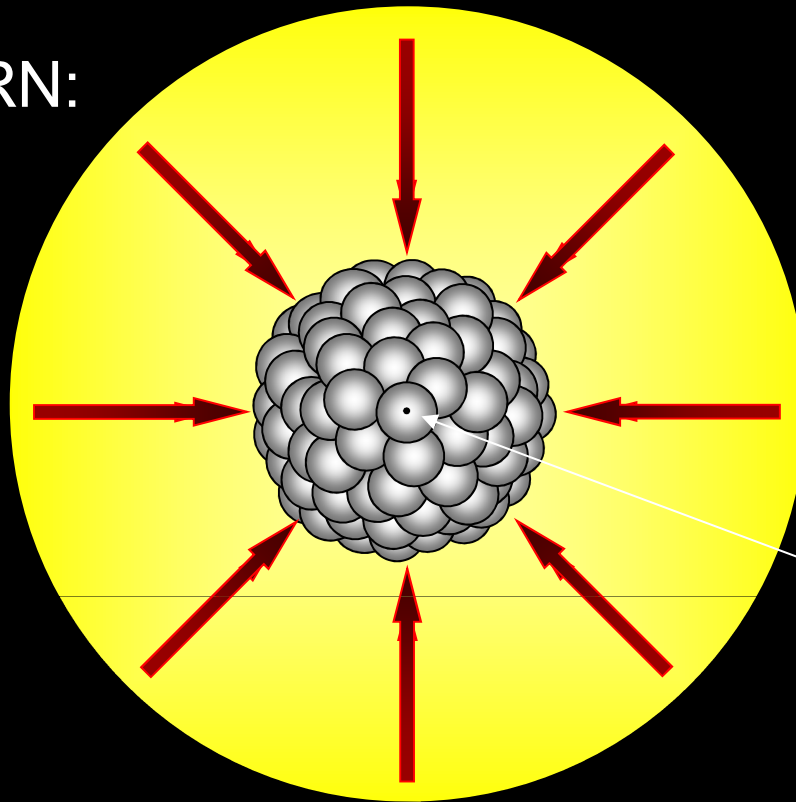
Bild: NASA



## 2. ENDSTADIEN DER STERNE

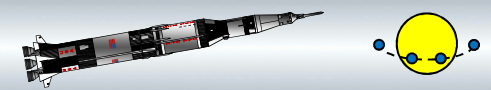
### 2.3 STERNRESTE MIT ÜBER 3,2 SONNENMASSEN

Im  
KERN:



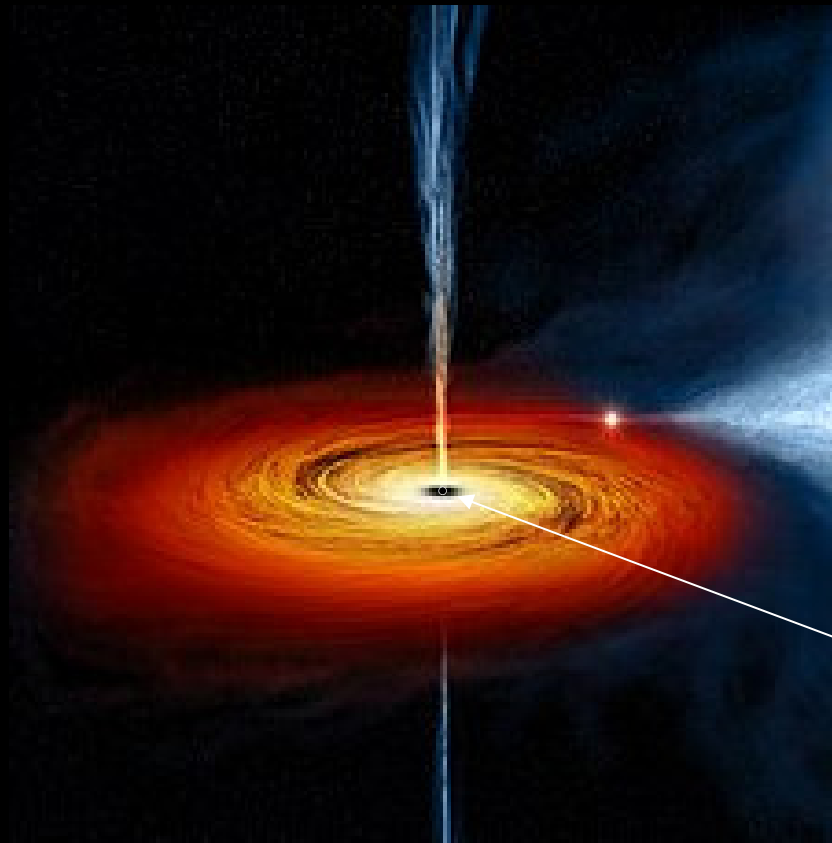
- Neutronendruck kollabiert im Gravitationsfeld
- Kontraktion geht weiter
- Gravitation so gewaltig, dass Licht nicht mehr entweichen kann.

Schwarzes Loch



## 2. ENDSTADIEN DER STERNE

### 2.3 STERNRESTE MIT ÜBER 3,2 SONNENMASSEN



Cygnus X-1:  
Erster bestätigter Kandidat  
für ein stellares Schwarzes  
Loch  
(künstlerische Darstellung)

Schwarzes Loch

Bild:  
Von NASA/CXC/M.Weiss - <http://www.sun.org/images/black-hole-cygnus-x-1>,  
Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=27481945>

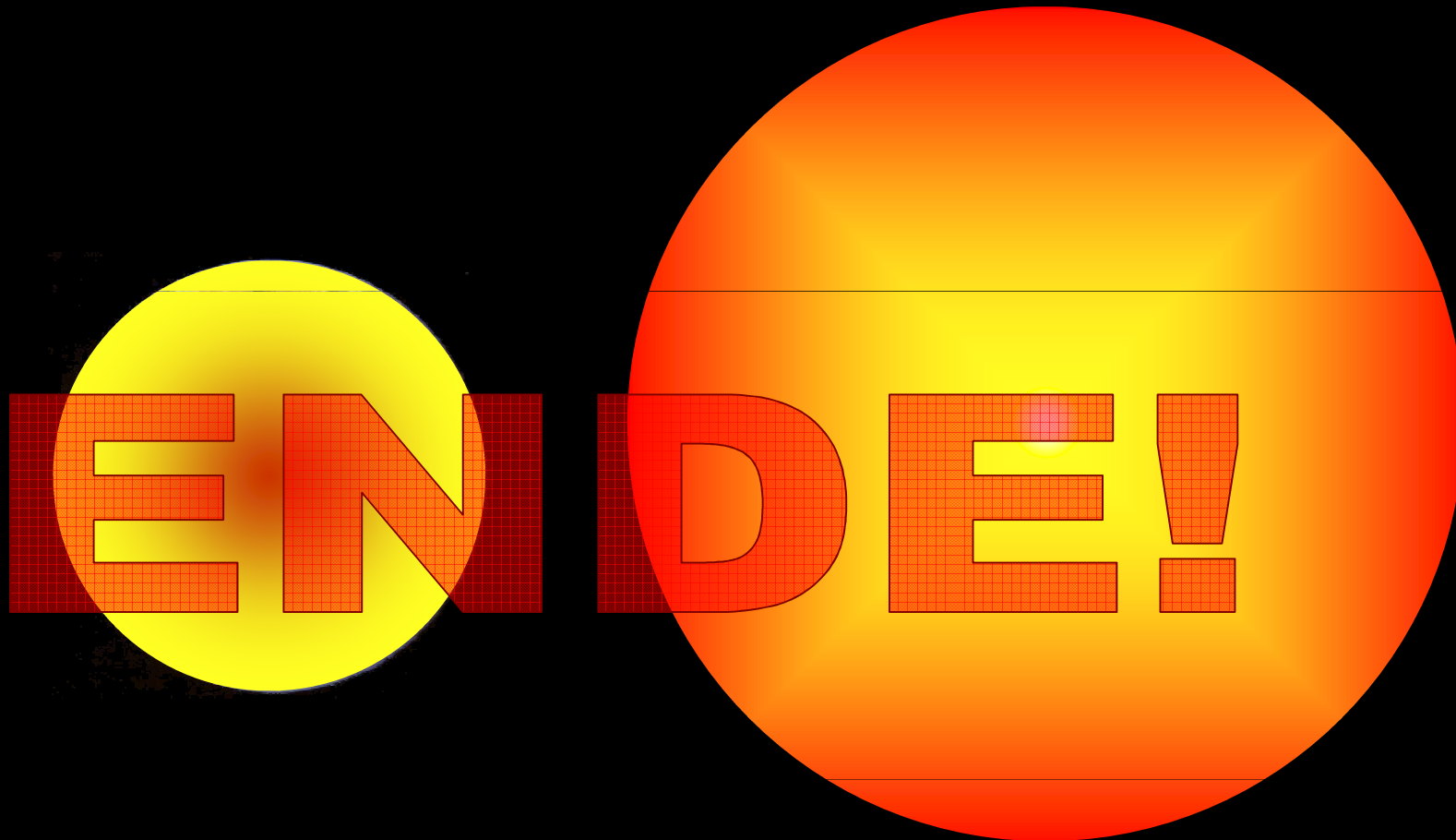
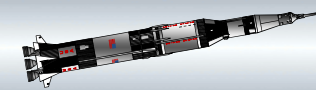


Bild: NASA