



# DAS SPEKTAKULÄRE ENDE DER STERNE

## WAS IST LOS MIT BETELGEUSE?

---

*Jakob den Brok*  
*23.06.2020*

# ROTE FADEN

---

## ➤ Hintergrund

- *Was passiert am Ende des Lebens eines Sterns?*
- *Was ist eine Supernova?*
- *Wie kann man Sterne überhaupt untersuchen?*

## ➤ Aktuelle Situation

- *Wie steht es um Beteigeuze?*
- *Was sind die aktuellen Einschätzungen?*

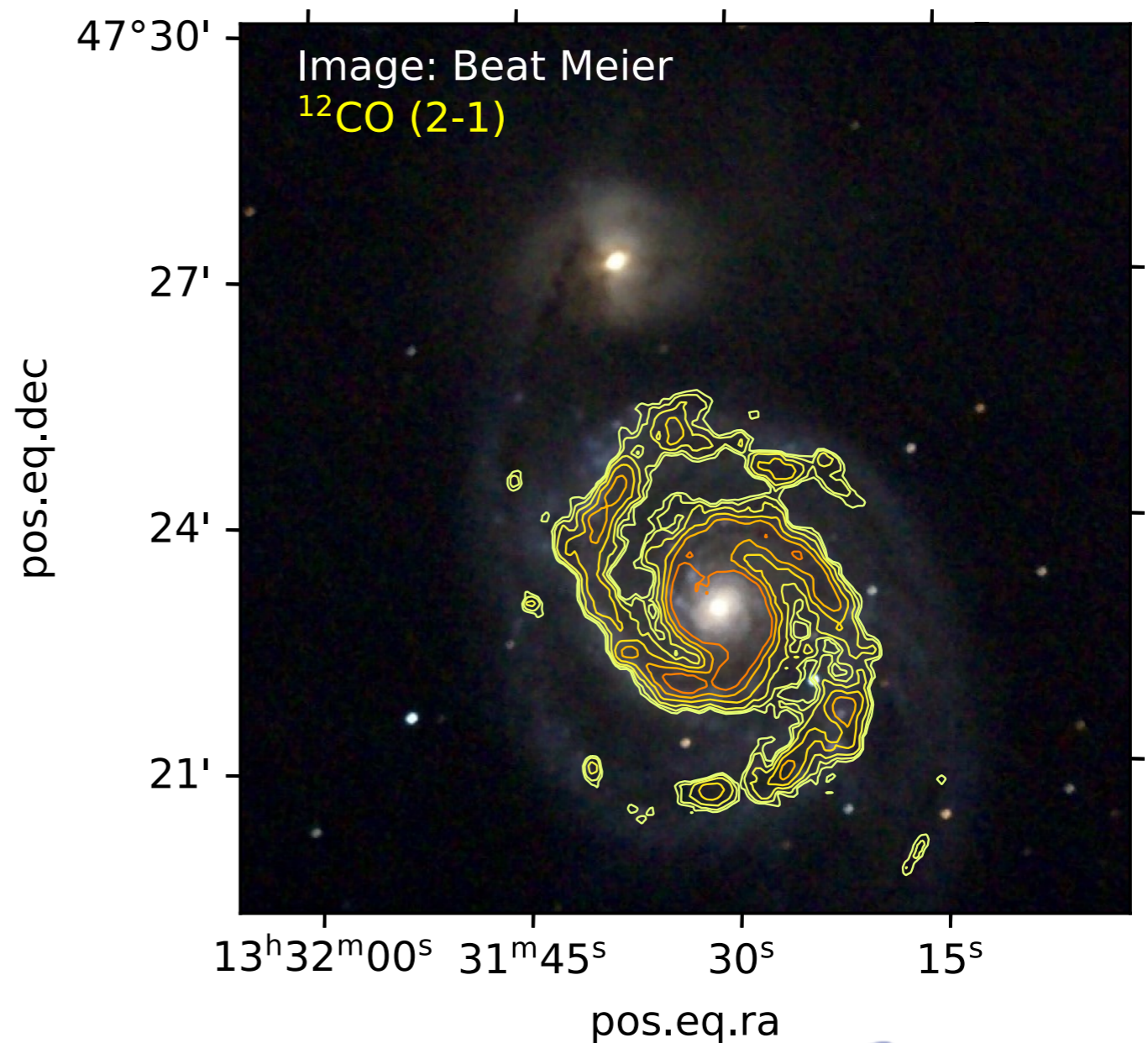
# PERSÖNLICHER HINTERGRUND



Das IRAM 30m Submillimeter-Teleskop in Spanien auf 3000m (Sierra Nevada)

Die Galaxie M51 (Aufgenommen von der Sternwarte Rümlang).

Gelb eingezeichnet ist die Verteilung des Gases.



# GROSSES MEDIALES ECHO

WISSENSCHAFT

SUPERNOVA

WELT

SRF

Beteigeuze im Orion

## Droht die Explosion eines Riesensterns?

Mittwoch, 15.01.2020, 11:32 Uhr



Beteigeuze – kurz vor der Explosion? #Faktencheck | Harald Lesch

Terra X Lesch & Co 544K views • 2 weeks ago

Seit Oktober 2019 beobachten Astronomen, wie der Stern Beteigeuze immer dunkler wird: Ende Januar 2020 hat er nur noch ein ...

CC

YouTube<sup>CH</sup>

ONLINE  
FOCUS

Supernova-Detonation im Orion

## Riesen-Stern droht zu explodieren - wird Beteigeuze ein zweiter Mond am Himmel?

## Mega-Supernova in Nähe der Erde droht: Neues Bild zeigt den Ernst der Lage

Merkur.de

Süddeutsche Zeitung

7. Januar 2020, 13:46 Uhr Astrophysik

## Steht eine Supernova in der kosmischen Nachbarschaft bevor?

The New York Times

## Waiting for Betelgeuse to Explode

Global NEWS

## Betelgeuse: Dying star sparks hope for 'moon'-sized supernova over Earth

HUFFPOST

## Betelgeuse Is Acting Really Weird Right Now. Could It Be Ready To Go Supernova?



STERNWARTE RÜMLANG

# GROSSES MEDIALES ECHO

---

WISSENSCHAFT

SUPERNOVA

**WELT**

## Wird Beteigeuze zum zweiten Mond?

Veröffentlicht am 13.01.2020 | Lesedauer: 4 Minuten

**SRF**

Beteigeuze im Orion

## Droht die Explosion eines Riesensterns?

Mittwoch, 15.01.2020, 11:32 Uhr

## Mega-Supernova in Nähe der Erde droht: Neues Bild zeigt den Ernst der Lage

 Merkur.de



## Betelgeuse: Dying star sparks hope for 'moon'-sized supernova over Earth



STERNWARTE RÜMLANG

# AUSLÖSER FÜR SPEKULATIONEN

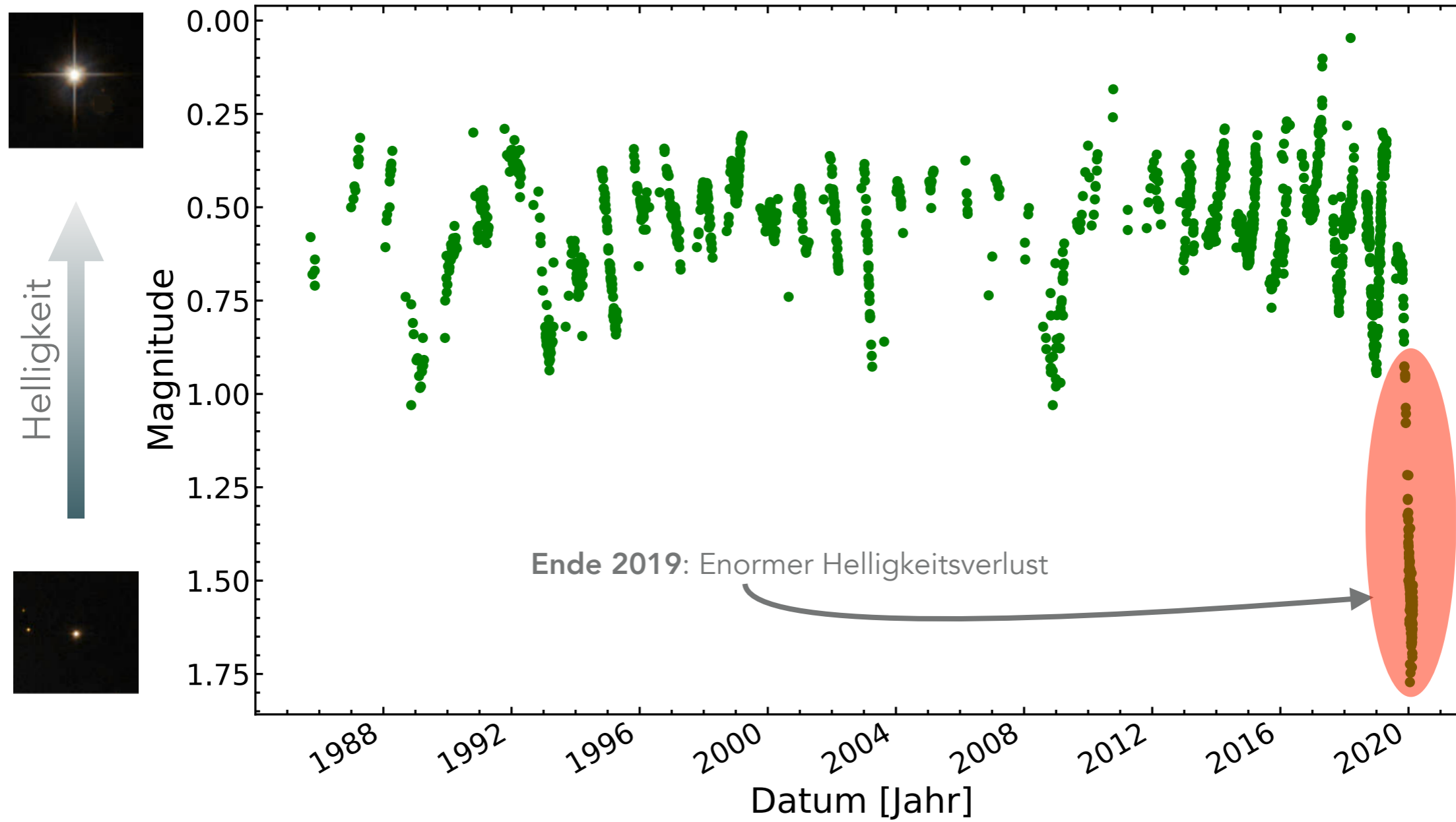
---

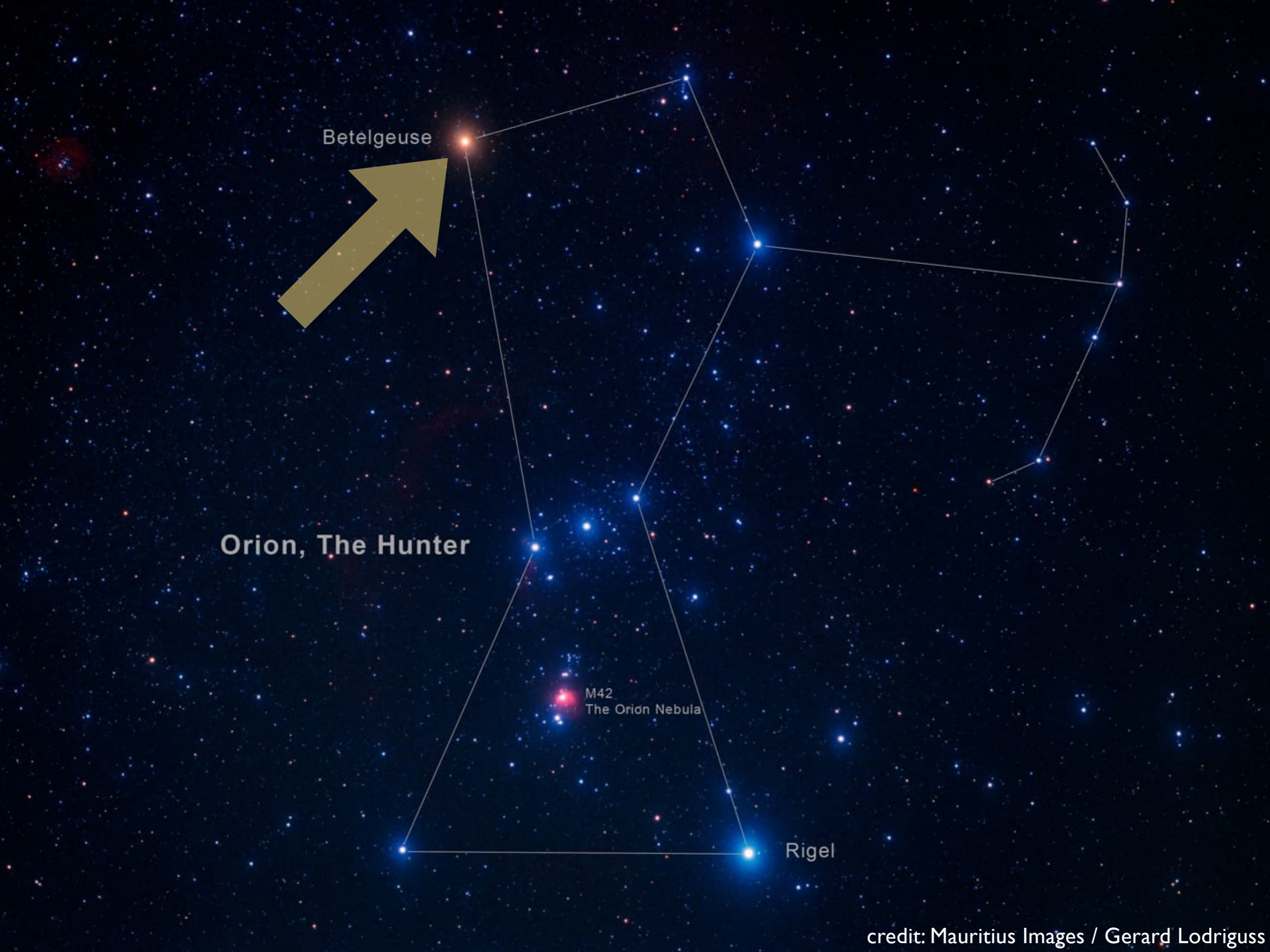


Künstlerische Darstellung!

# AUSLÖSER FÜR SPEKULATIONEN

## Helligkeitsmessungen Beteigeuzes





Betelgeuse

Orion, The Hunter

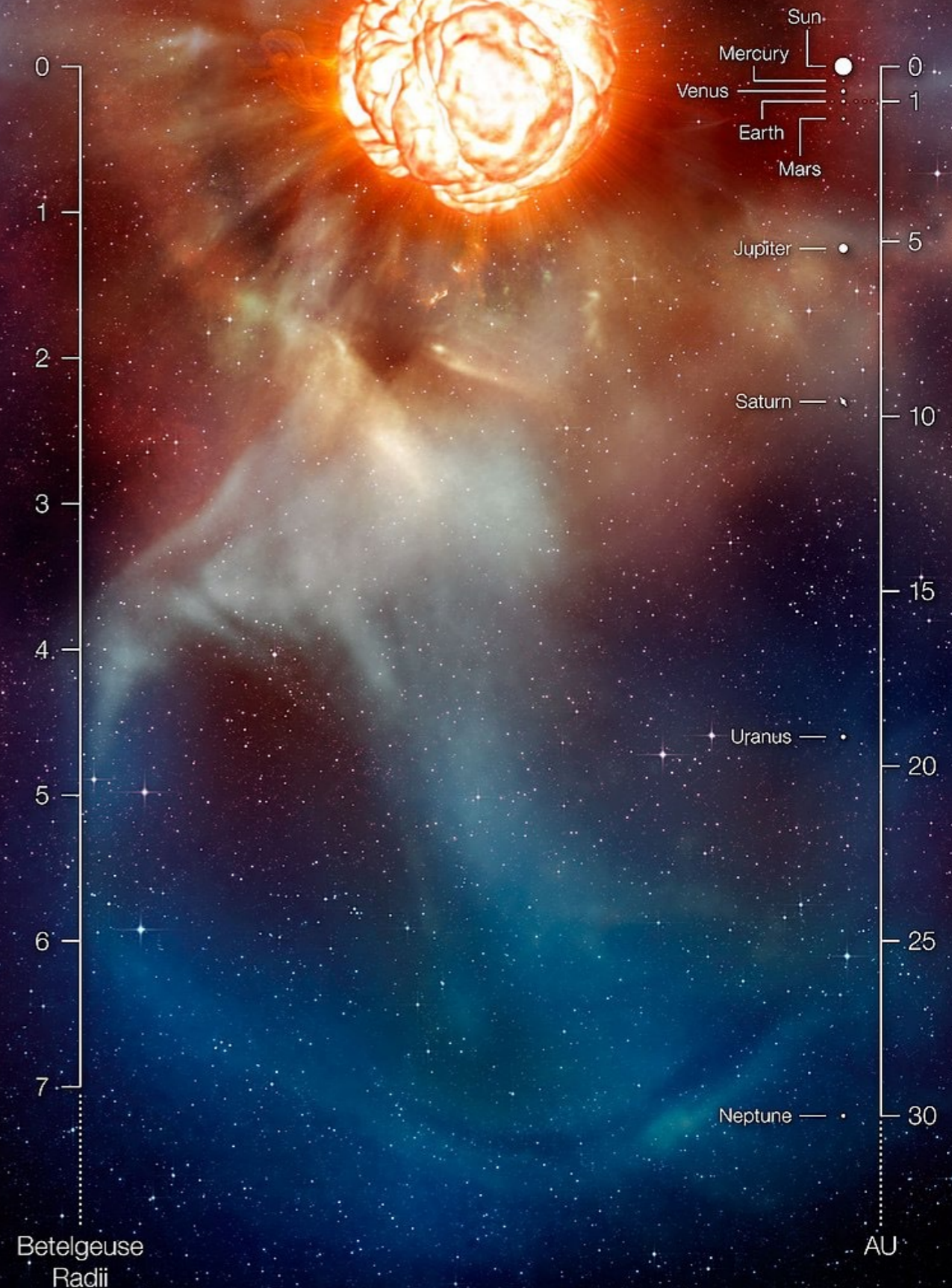
M42  
The Orion Nebula

Rigel



# BETEIGEUSE

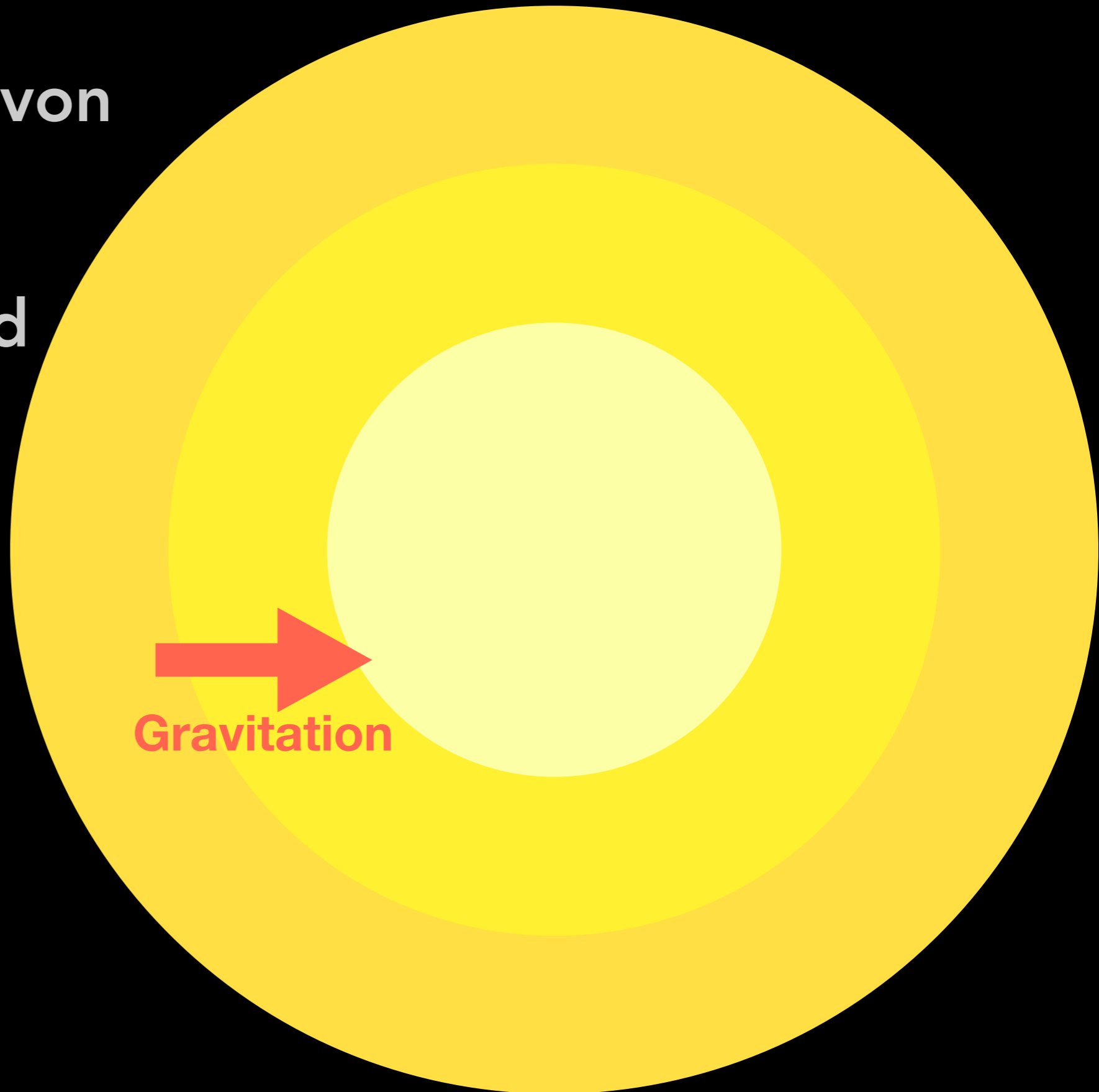
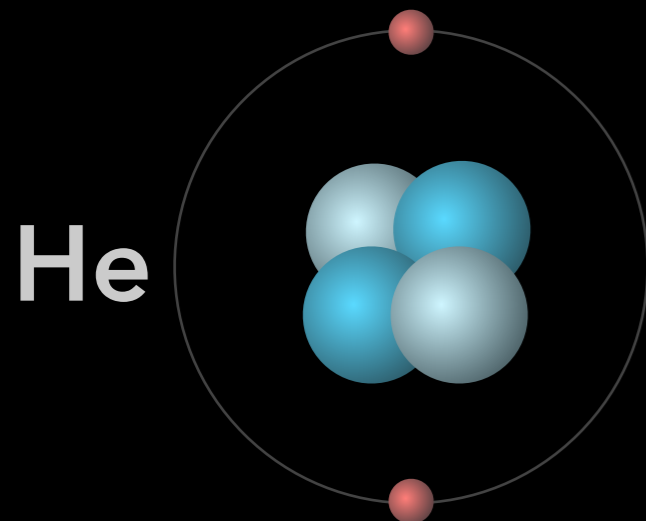
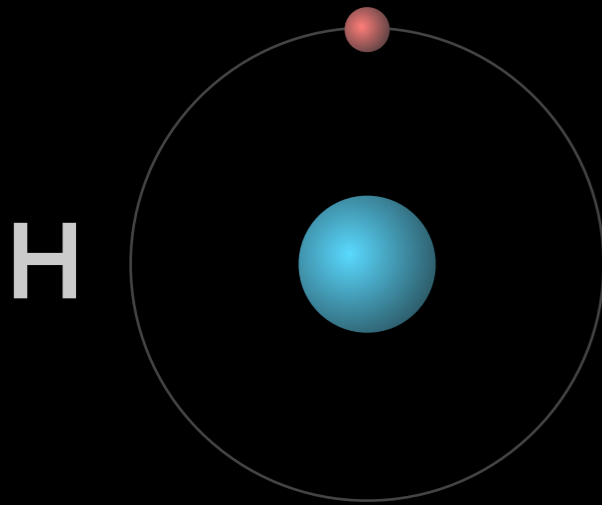
- So genannter „Roter Überriese“
- Enorme Grösse (5 mal Sonne–Erde Distanz)
- Sehr grosse Masse (~10 mal unsere Sonne)
- Befindet sich im Endstadium seines Lebens



# WAS SIND STERNE

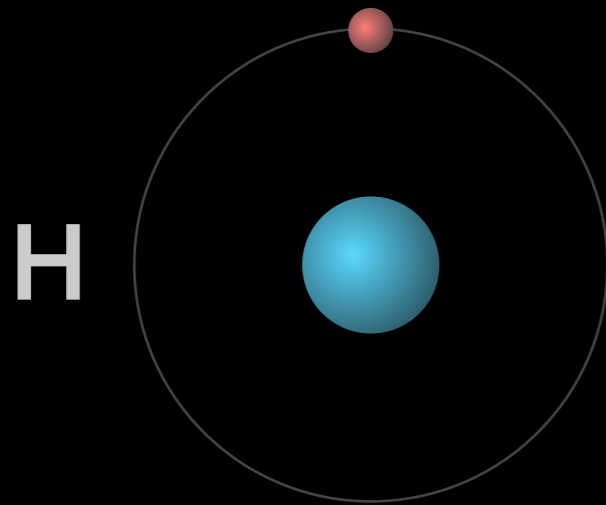
---

- Grosse Menge von Gas
- Hauptsächlich Wasserstoff und Helium

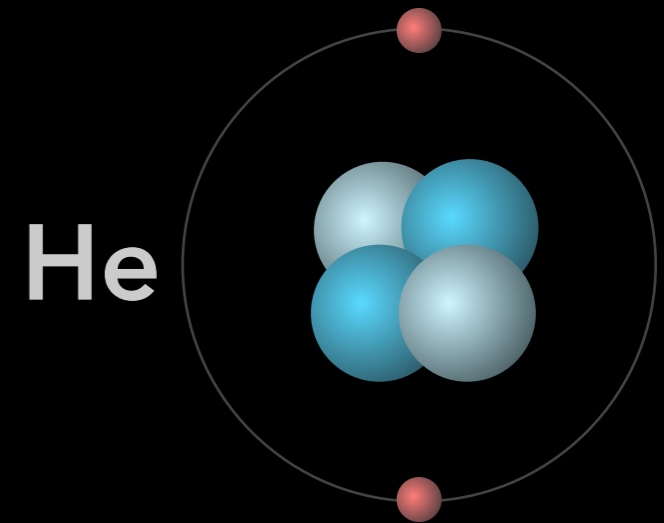


# WAS SIND STERNE

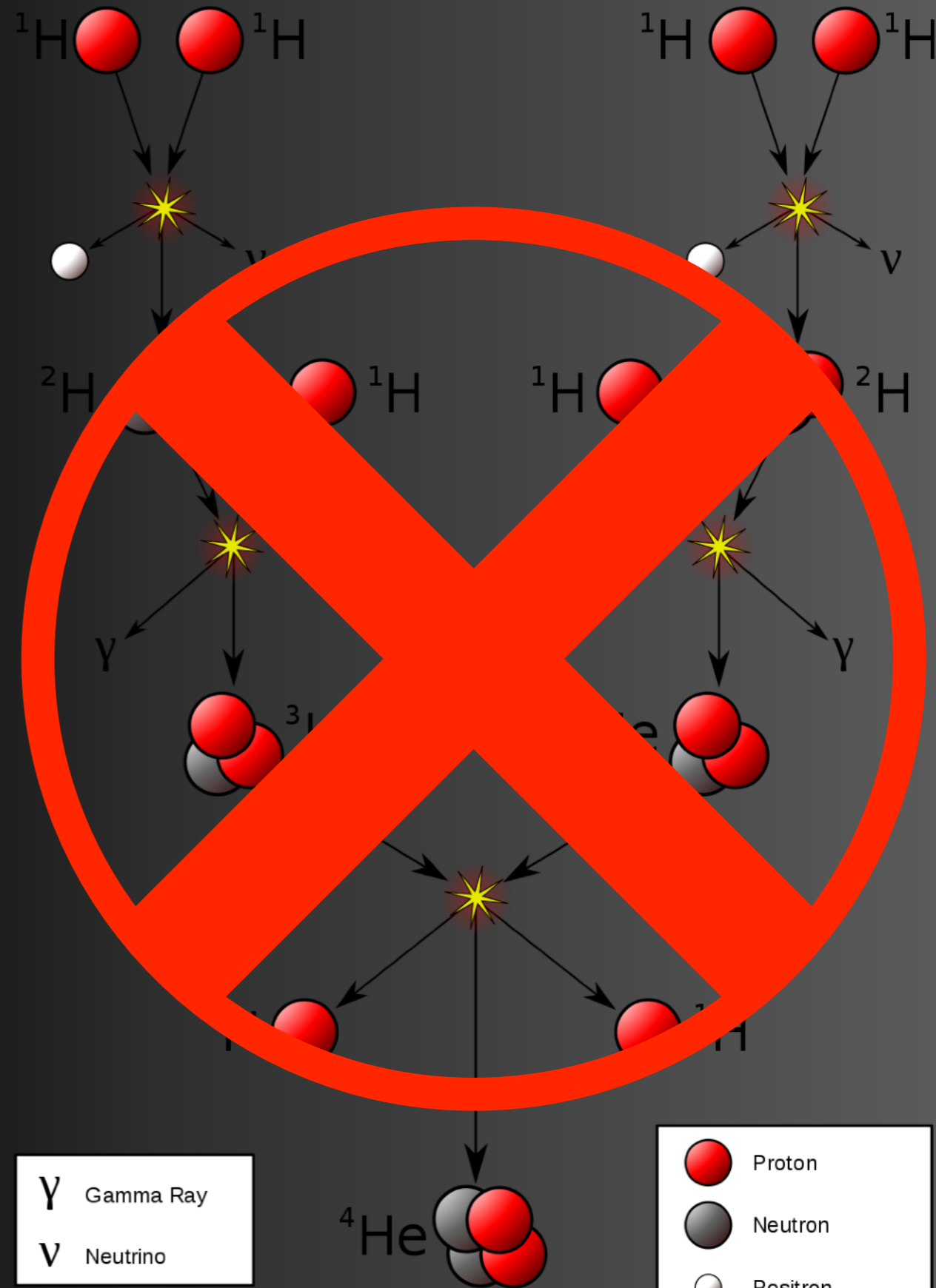
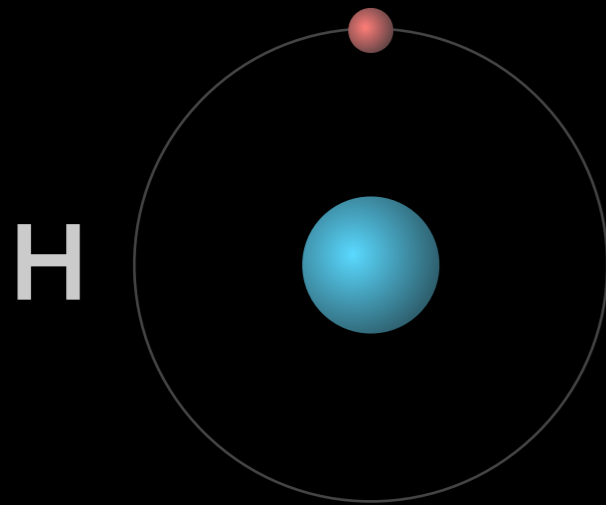
---



KERNFUSION IM INNEREN

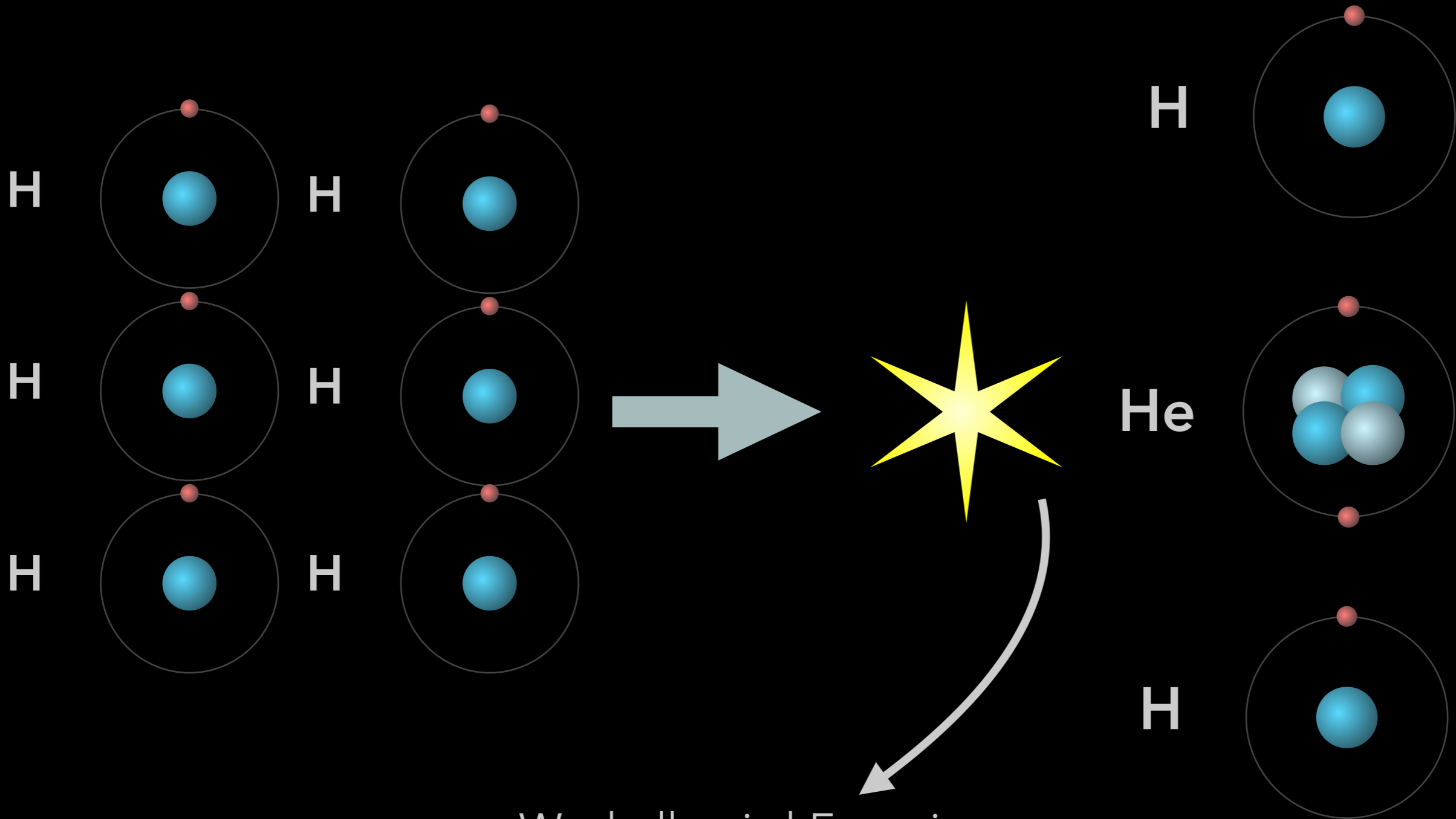


# WAS SIND STERNE



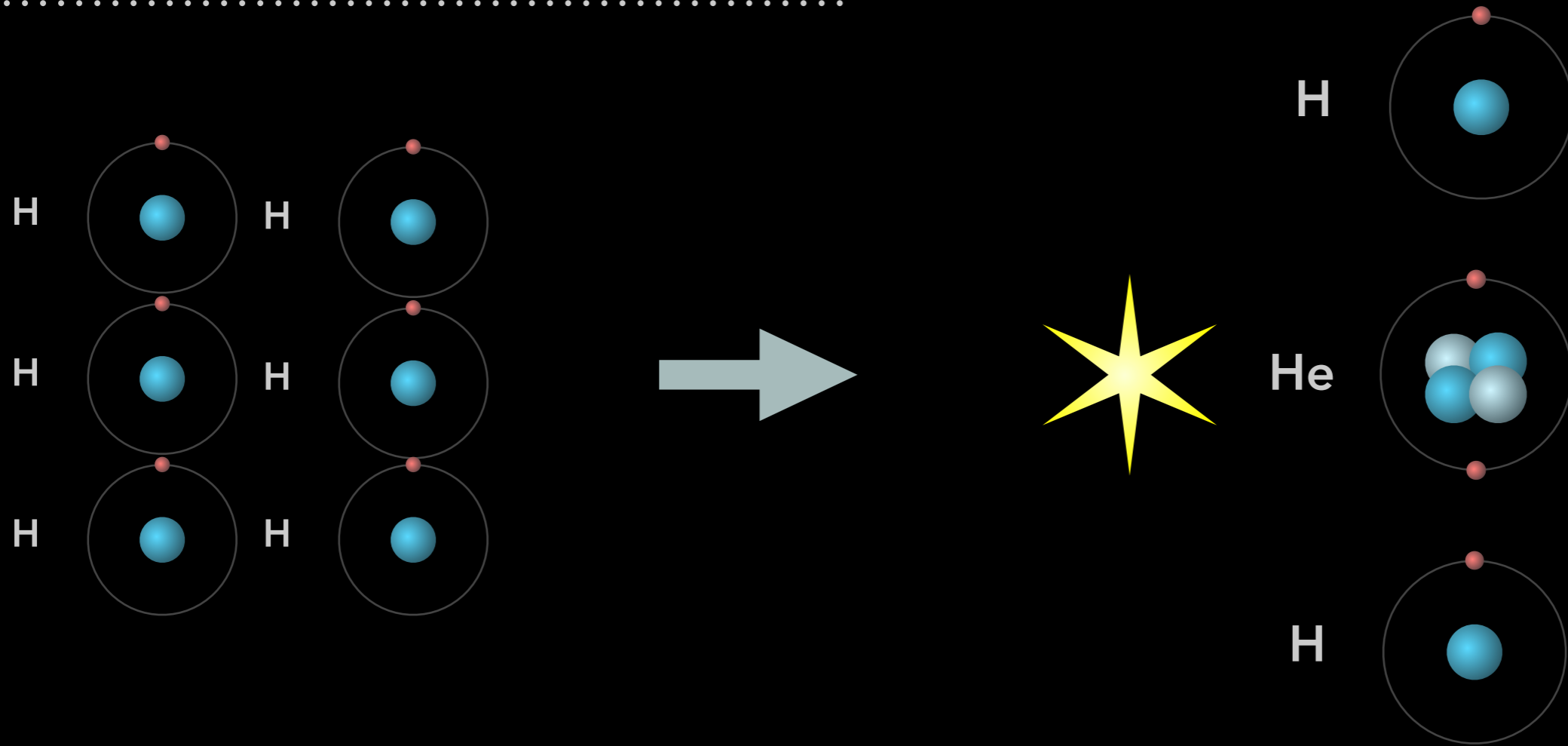
# KERNFUSION

---



Weshalb wird Energie  
freigesetzt?

# KERNFUSION



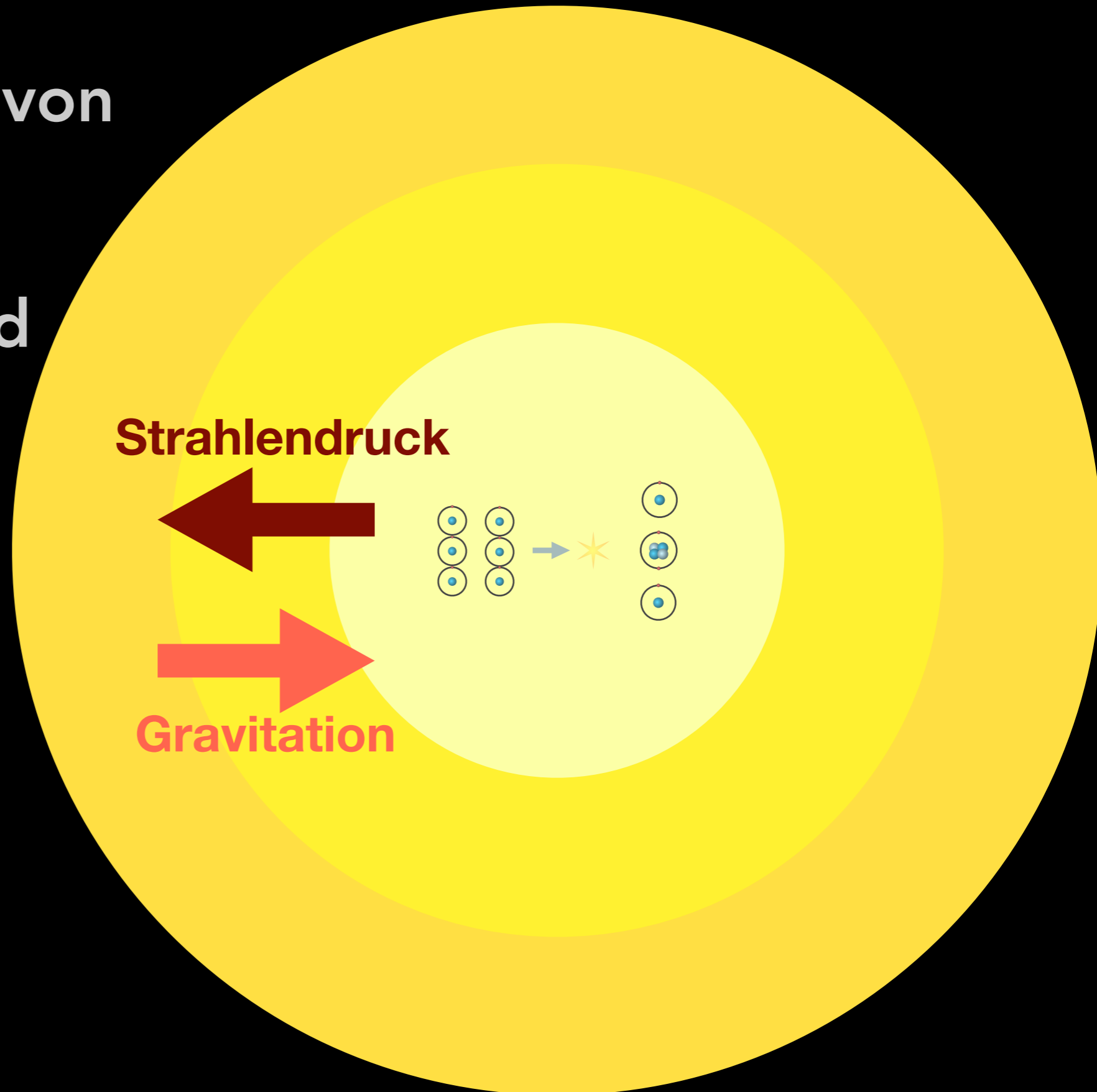
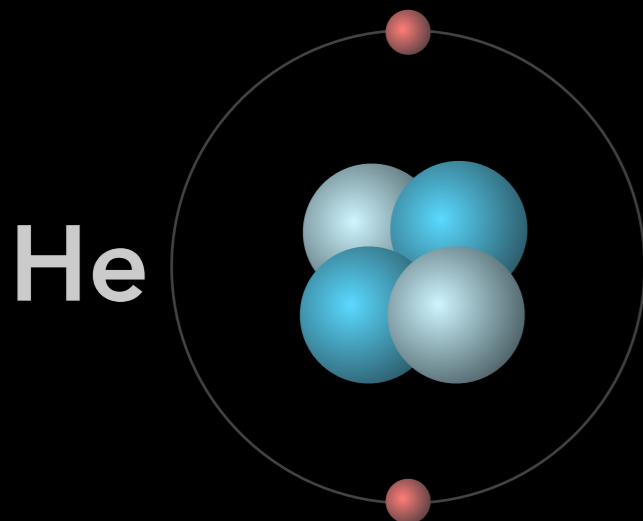
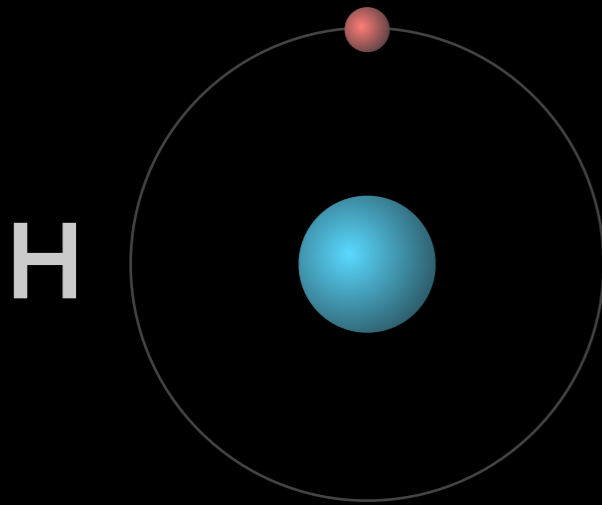
Masse:  $6.047\text{u}$   $\longrightarrow$   $E = mc^2$  + Masse:  $6.018\text{u}$

„Fehlende“ Masse als Energie abgegeben

# WAS SIND STERNE

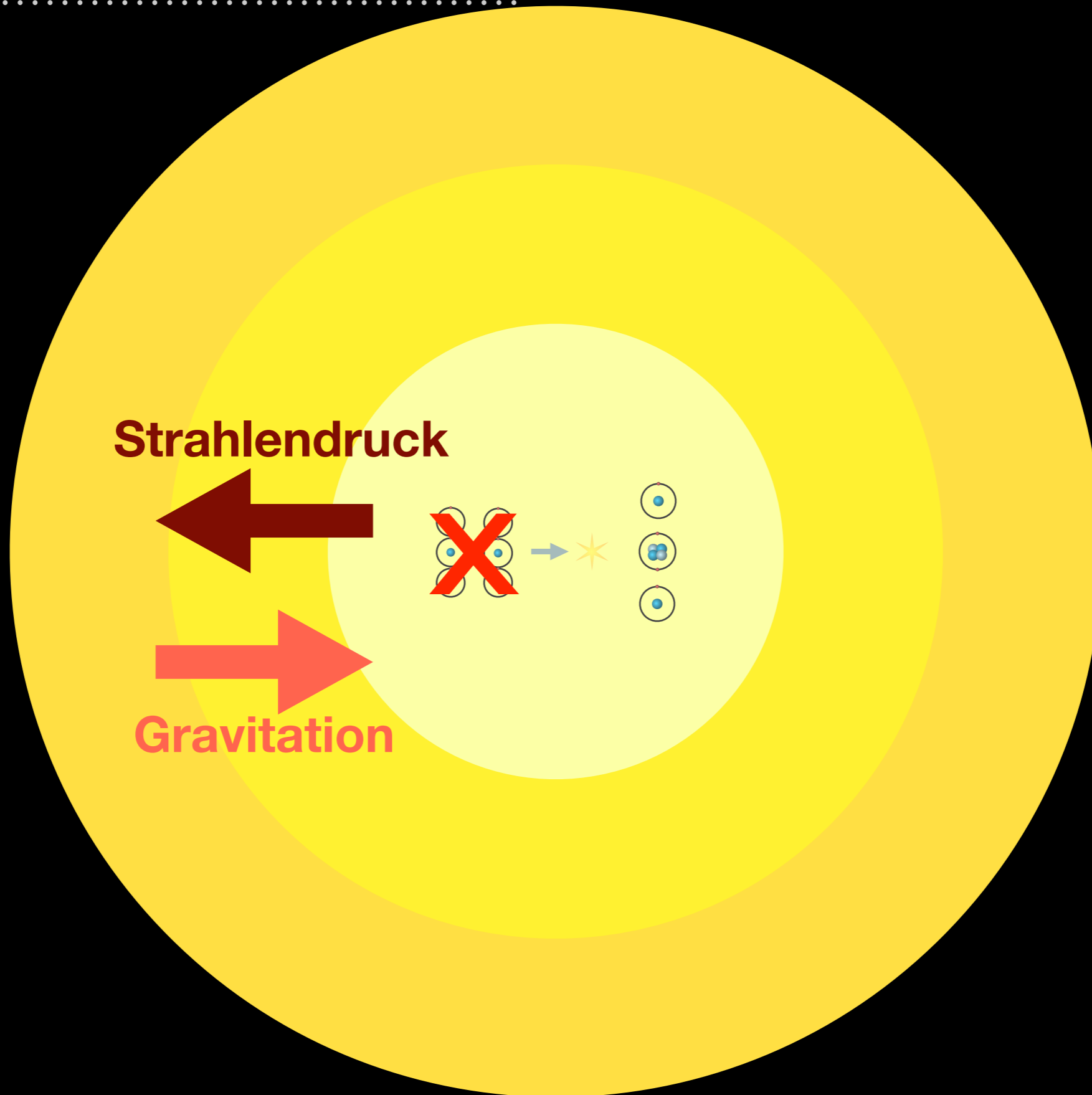
---

- Grosse Menge von Gas
- Hauptsächlich Wasserstoff und Helium



# WAS SIND STERNE

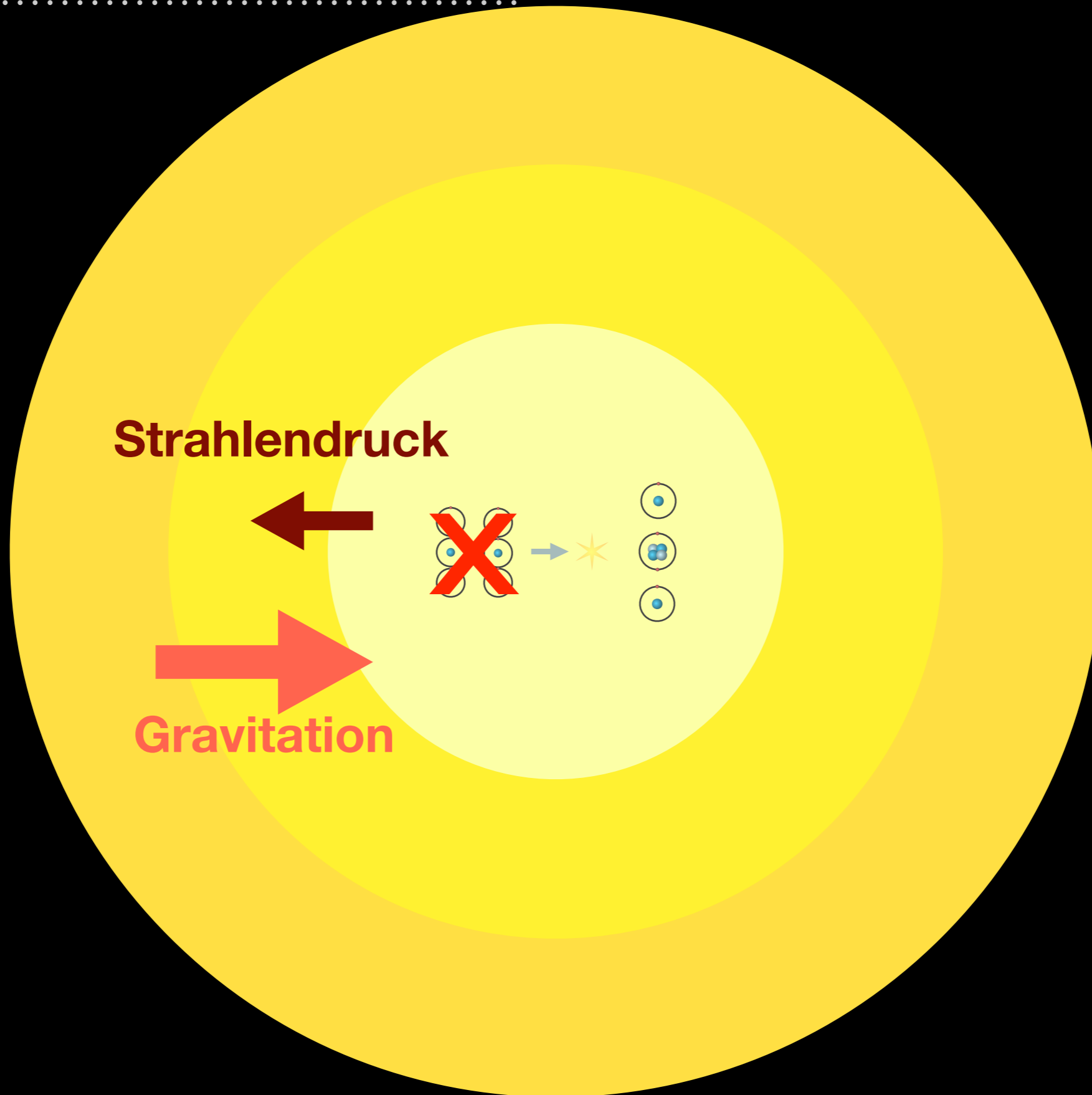
---





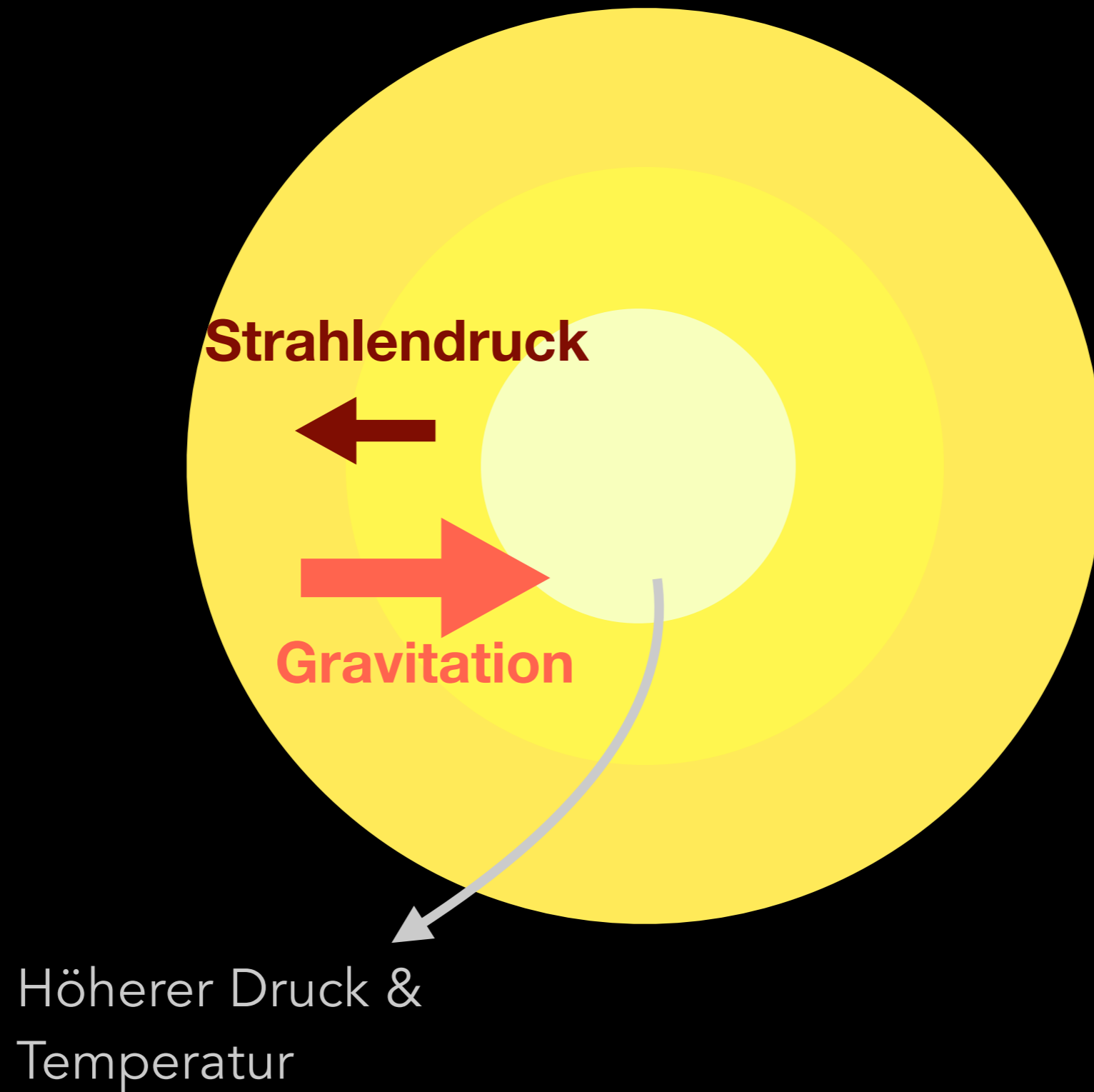
# WAS SIND STERNE

---



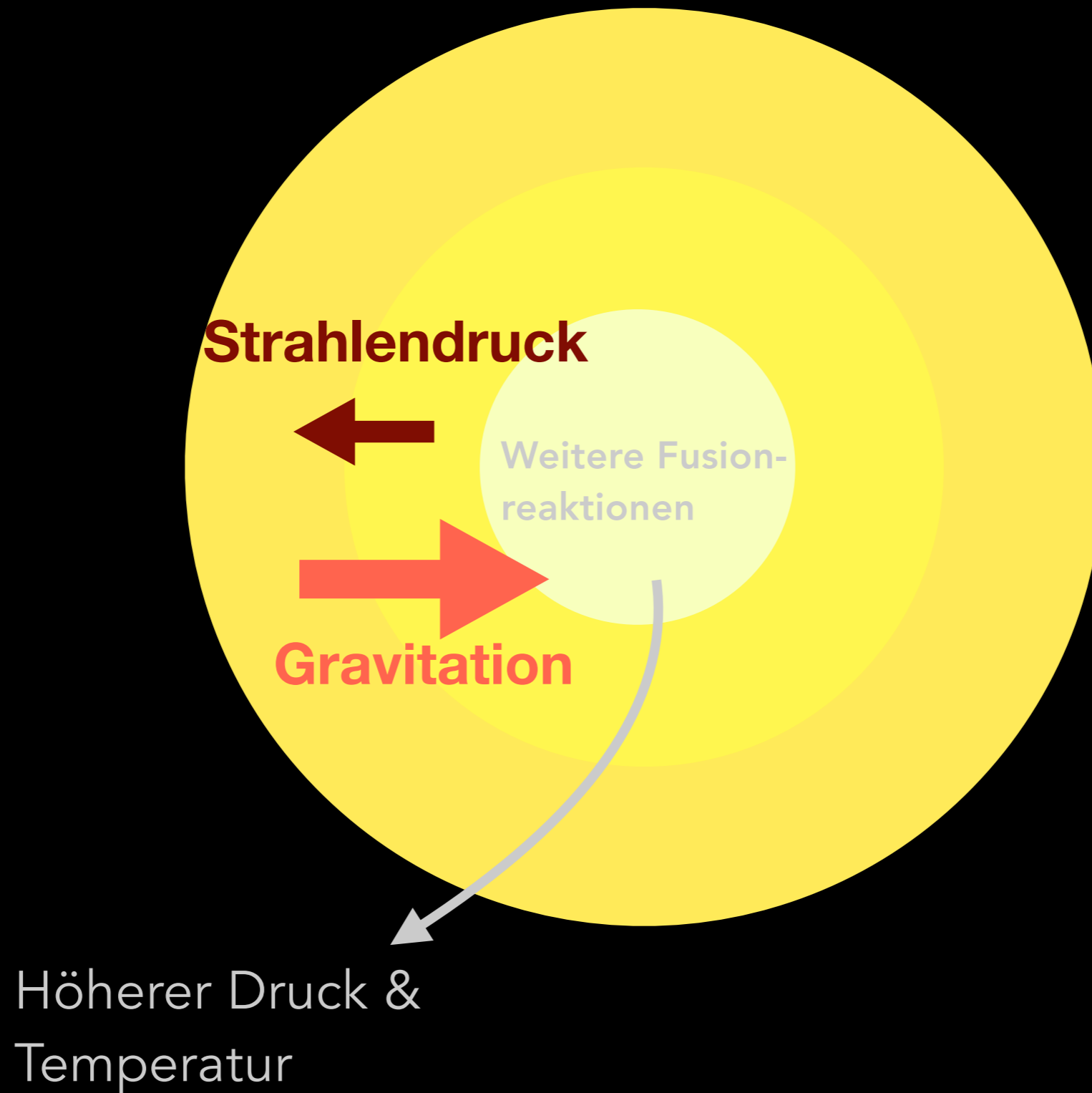
# WAS SIND STERNE

---



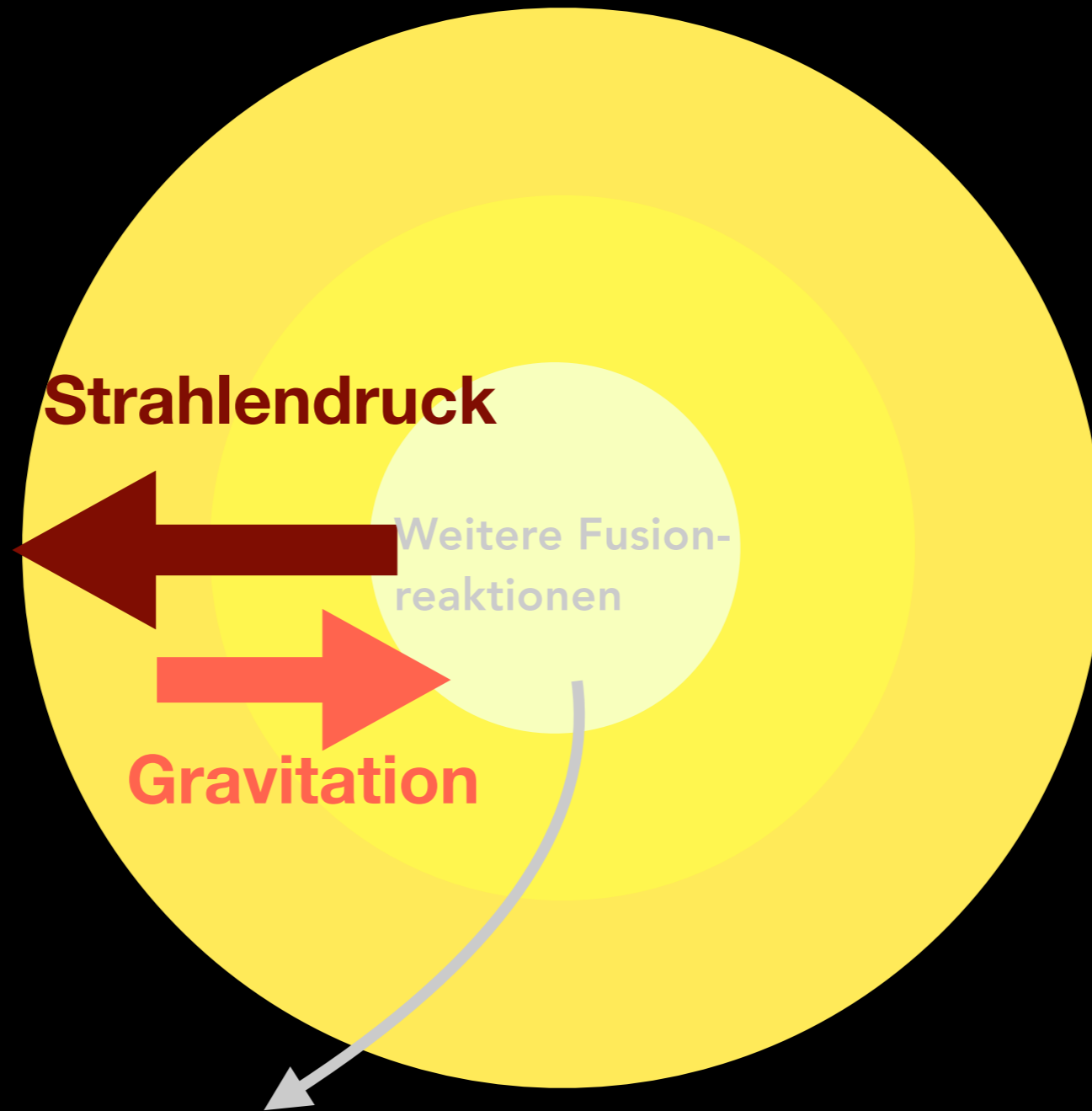
# WAS SIND STERNE

---



# WAS SIND STERNE

---

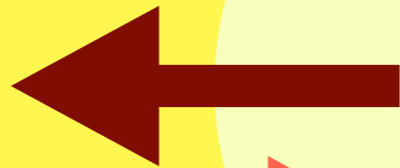


Höherer Druck &  
Temperatur

# WAS SIND STERNE

---

**Strahlendruck**

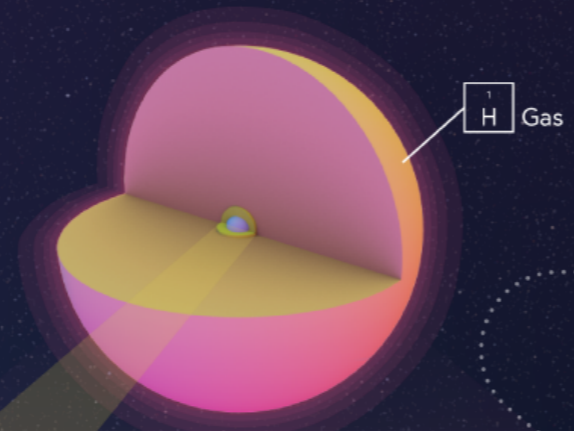
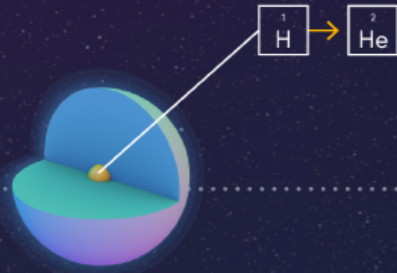


**Gravitation**

# WAS SIND STERNE

## MASSIVE STARS: ENGINES OF CREATION

Through their cycle of formation, explosive "death" and reformation, massive stars (at least 8 times bigger than our sun) populate the universe with **new elements**, the raw material of all observable matter, including life.



2 He	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	11 Na
	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	
	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu		
		31 Ga	32 Ge	33 As		
			35 Br	36 Kr		
				38 Sr		

### 1 MAIN SEQUENCE STAR

The star is fueled by hydrogen-to-helium fusion in its core.  
⌚ Stage lasts 7 million years

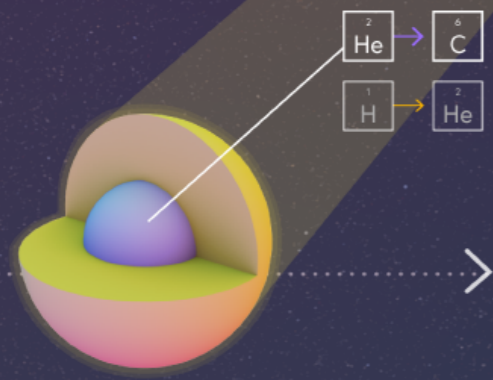
### 2 DEVELOPMENT OF MULTI-SHELLED CORE

After hydrogen is exhausted in the core, other elements begin to fuse. Existing elements float above the denser center and form a multi-layered shell.

### 7 SUPERNOVA

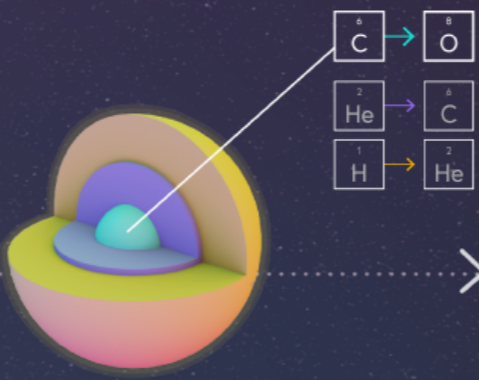
The iron core cannot produce energy to balance the weight of the layered gas above. In less than one second, the core collapses and the upper layers rebound outward in a dramatic explosion, populating the universe with elements, the building blocks of creation.  
⌚ 0.01 seconds

### MULTI-SHELL CORE



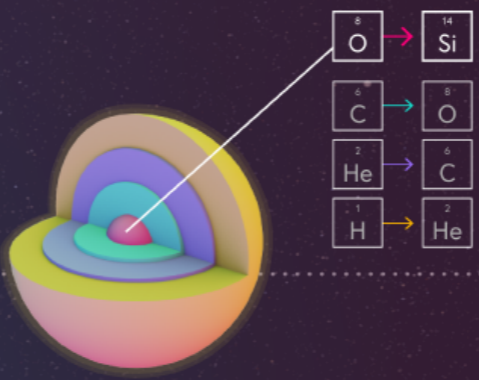
### 3 HELIUM-TO-CARBON FUSION

⌚ 500,000 years



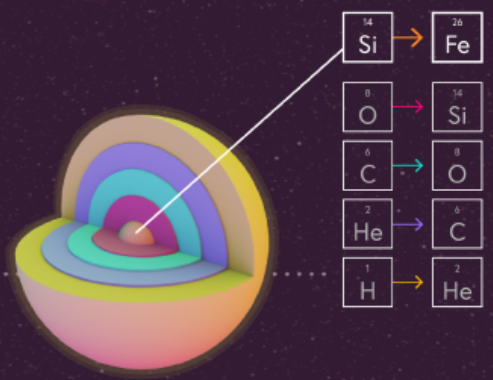
### 4 CARBON-TO-OXYGEN FUSION

⌚ 600 years



### 5 OXYGEN-TO-SILICON FUSION

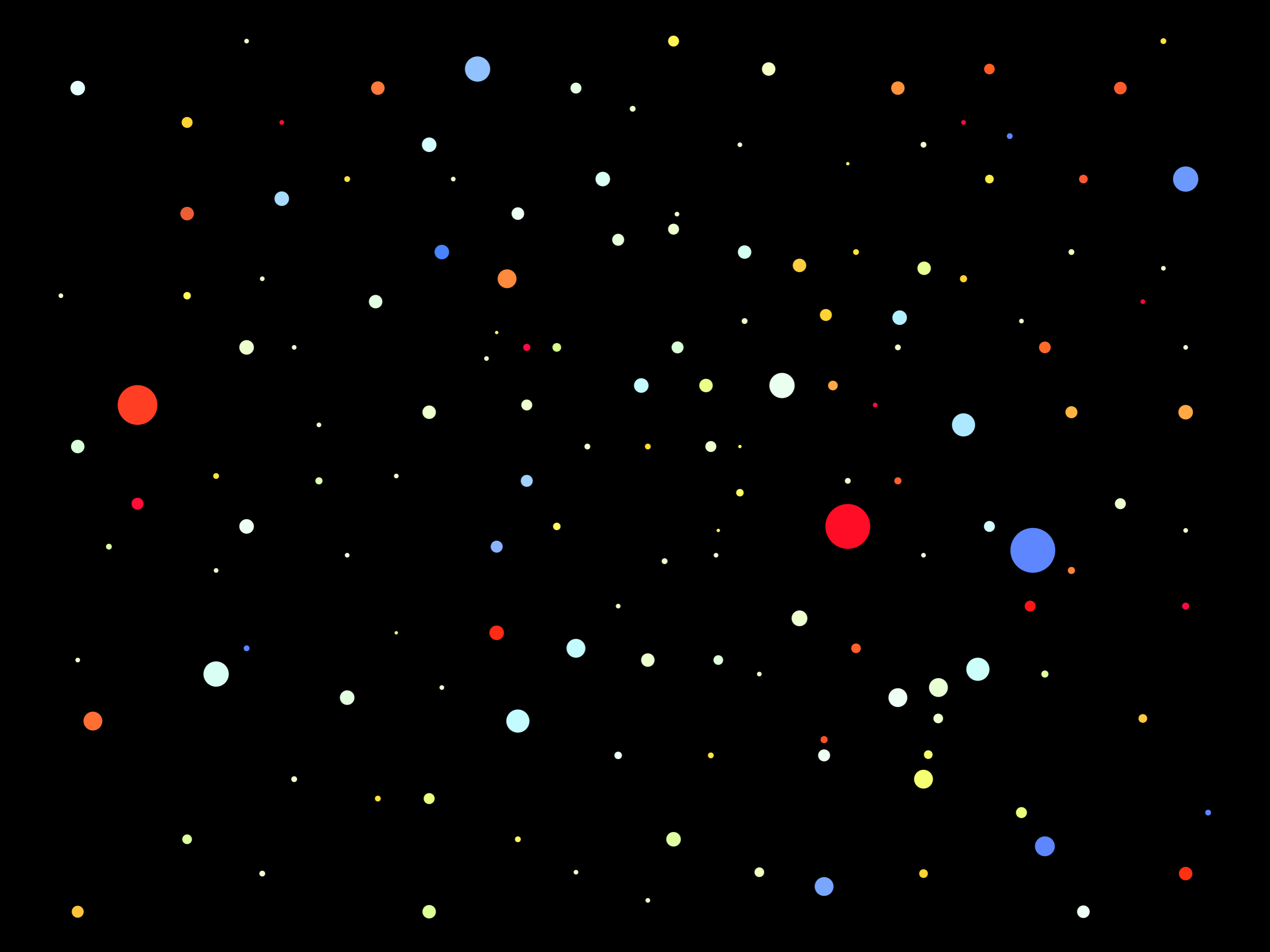
⌚ 6 months



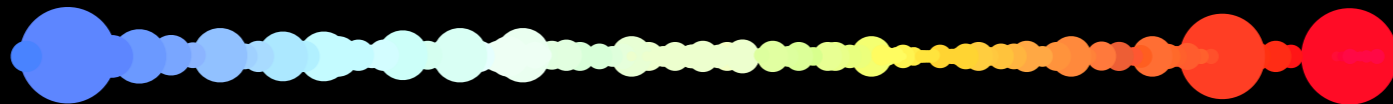
### 6 SILICON-TO-IRON FUSION

⌚ 1 day

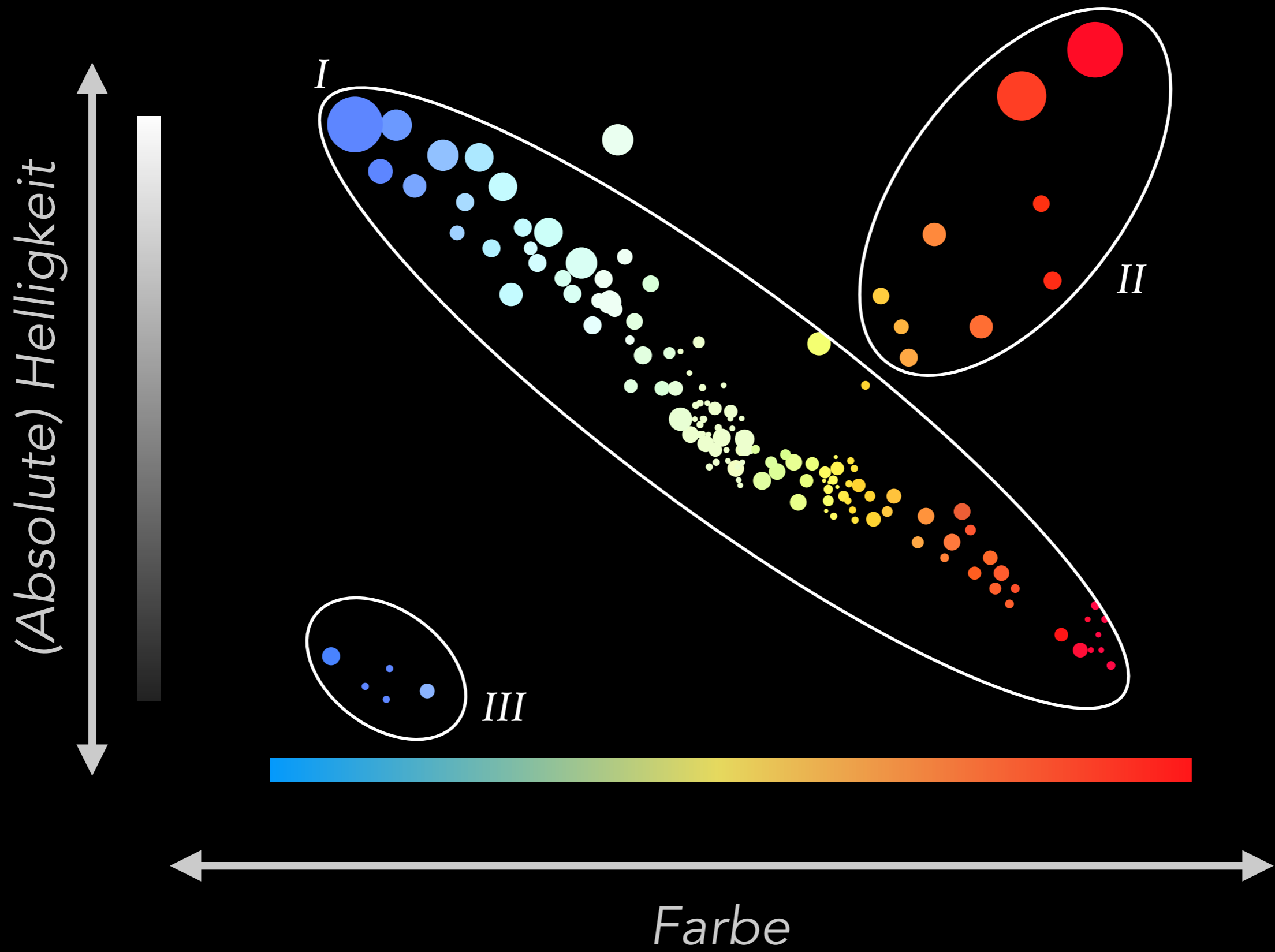








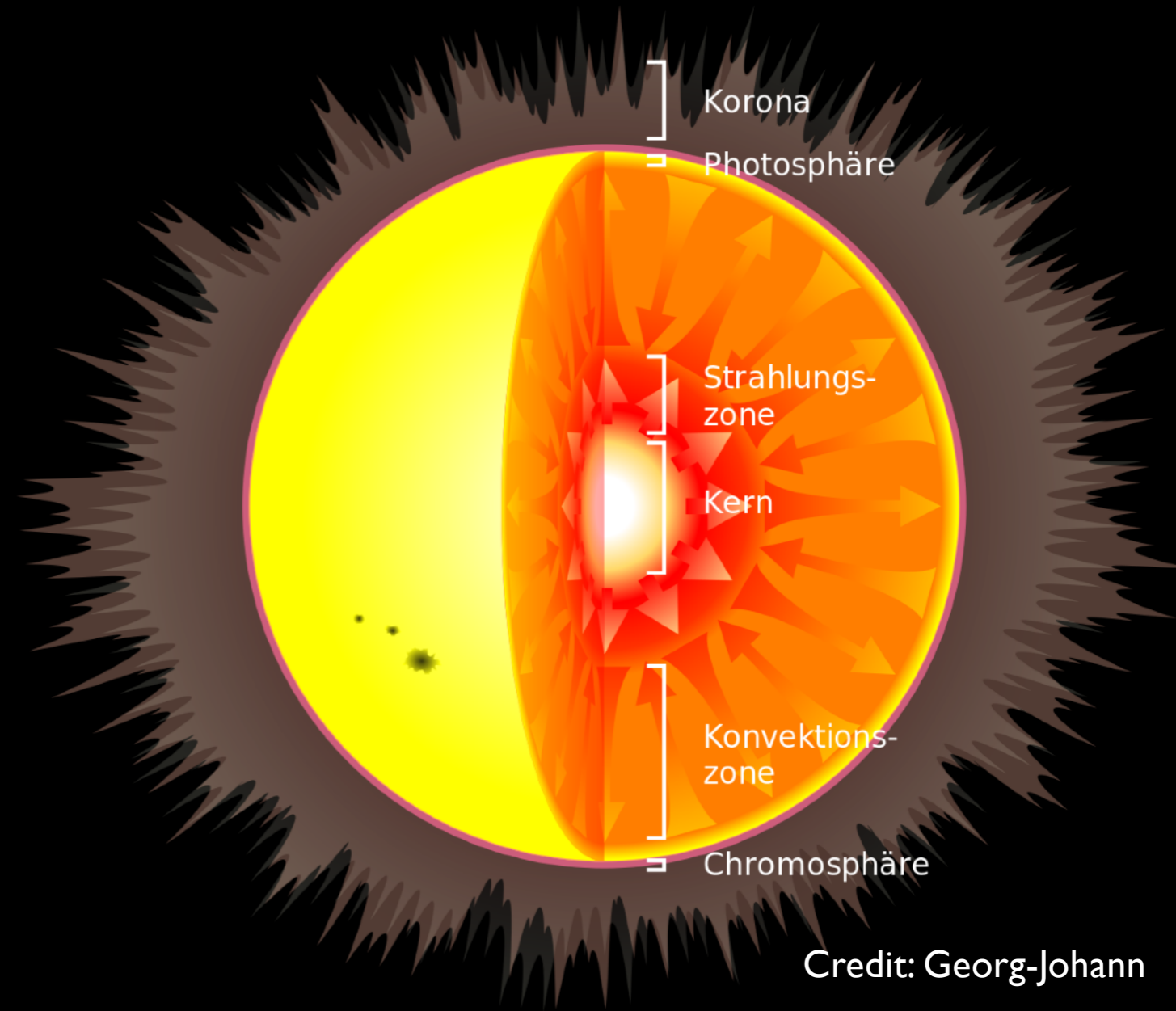
*Farbe*



# I: HAUPTREIHEN STERN

---

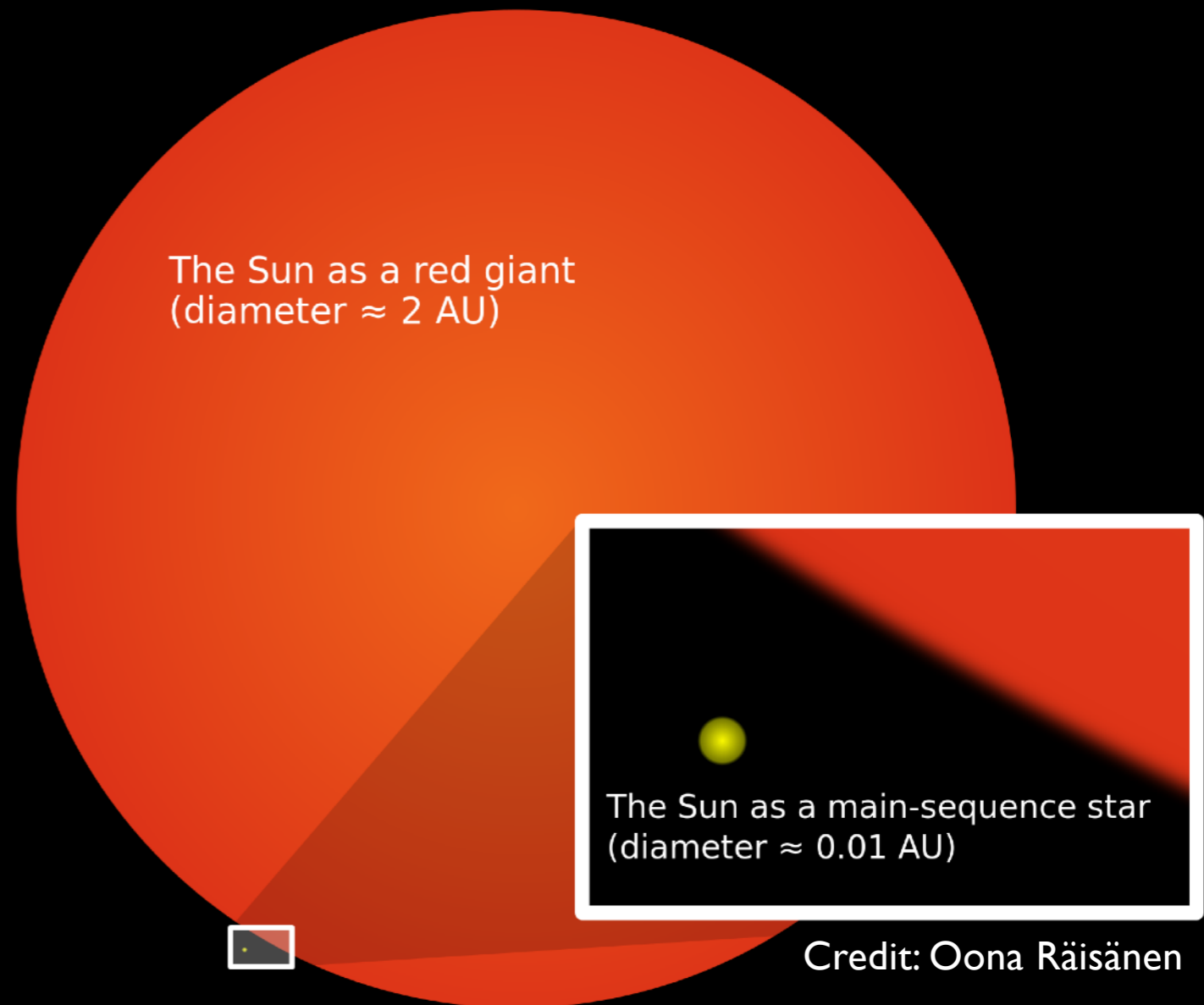
- **Sterne, so wie unsere Sonne.**
- **Fusionieren Wasserstoff zu Helium in Kern.**
- **Je schwere, desto heisser („blauer“)**



# II: ROTER RIESE

---

- Sobald alles Wasserstoff im Kern verbraucht ist, dehnt sich der Stern aus.
- Im Inneren werden schwerere Elemente verbrennt.
- Oberfläche wird kälter (also „rötlicher“)

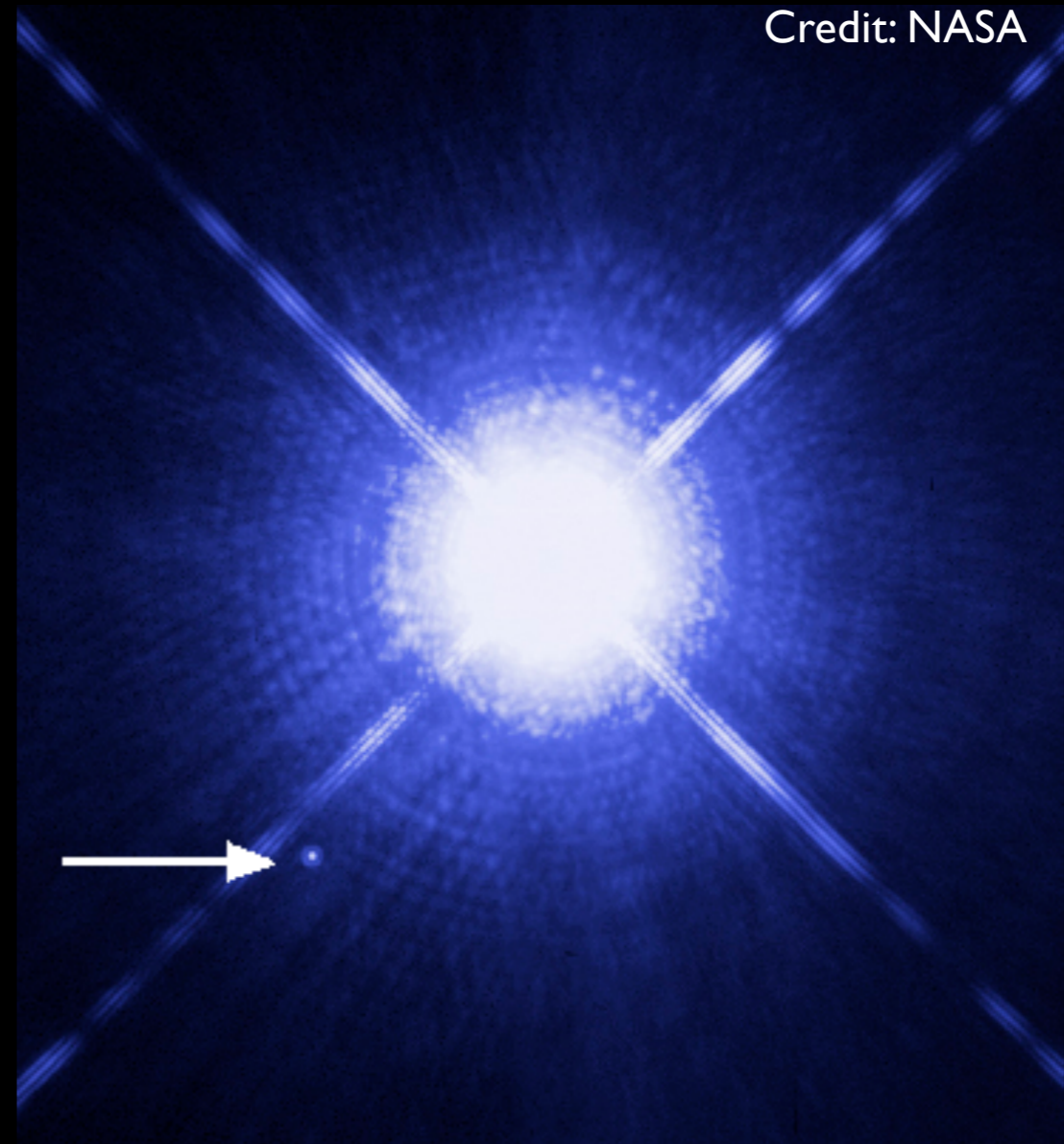


Bsp: Mögliche Ausdehnung der Sonne in 5 Mrd. Jahre.

# III: WEISSER ZWERG

---

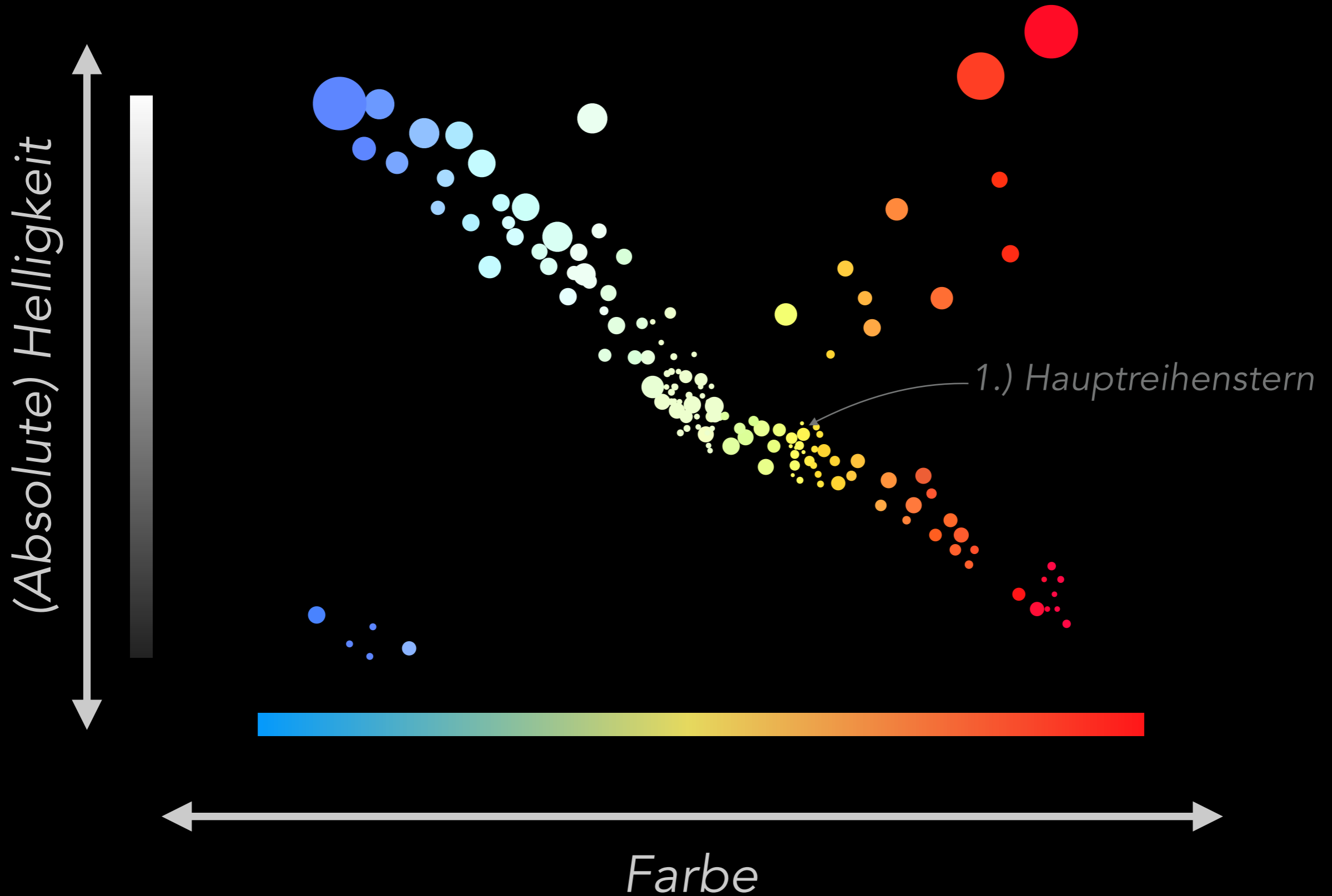
- Zurückgebliebener Kern eines Sterns.
- Nicht mehr so hell (keine Kernfusion mehr).
- Aber immer noch heiss („bläulicher“)



Weisser Zwerg „Sirius B“ neben hellerem Hauptreihenstern „Sirius A“

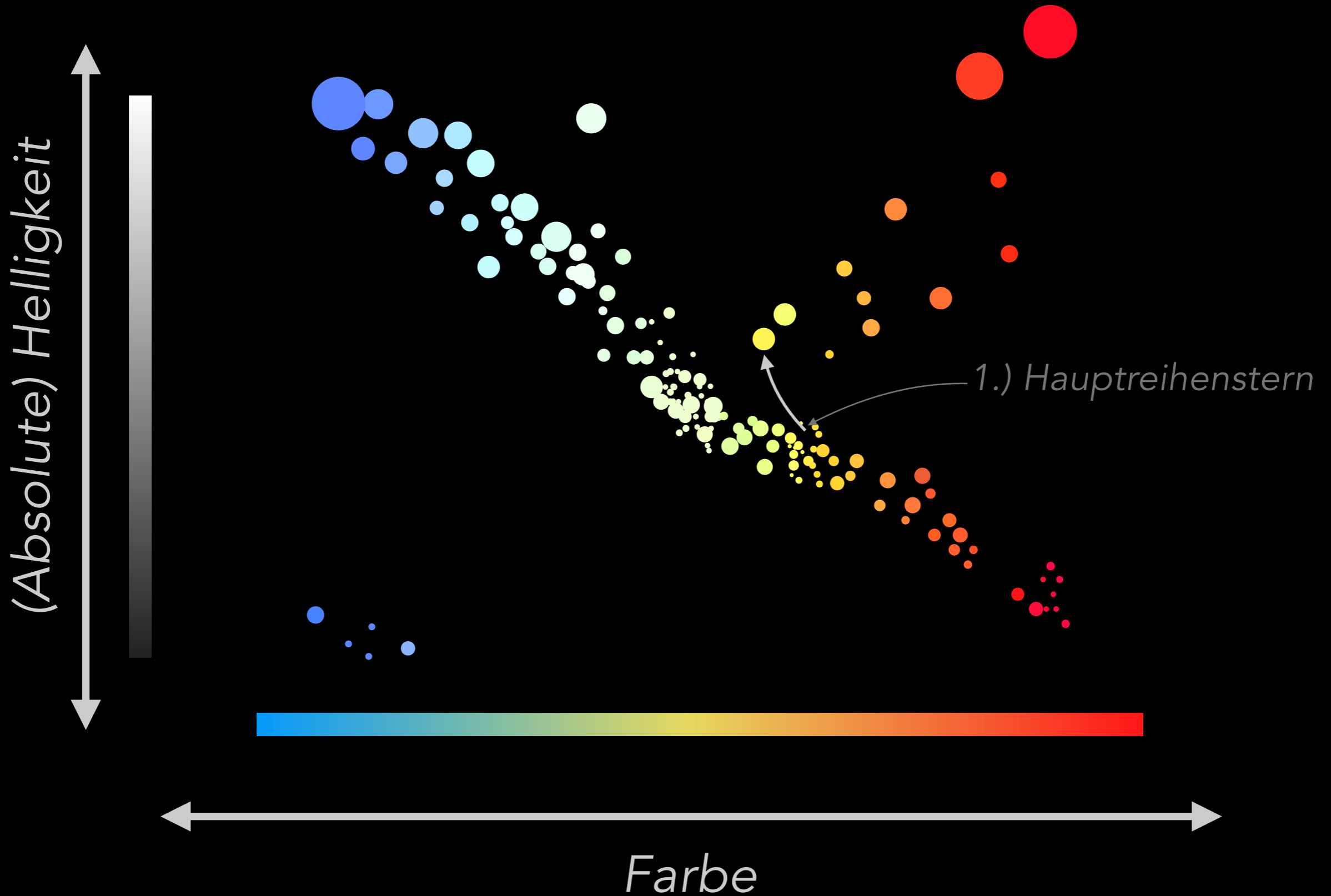
# EVOLUTION DES STERNS

---



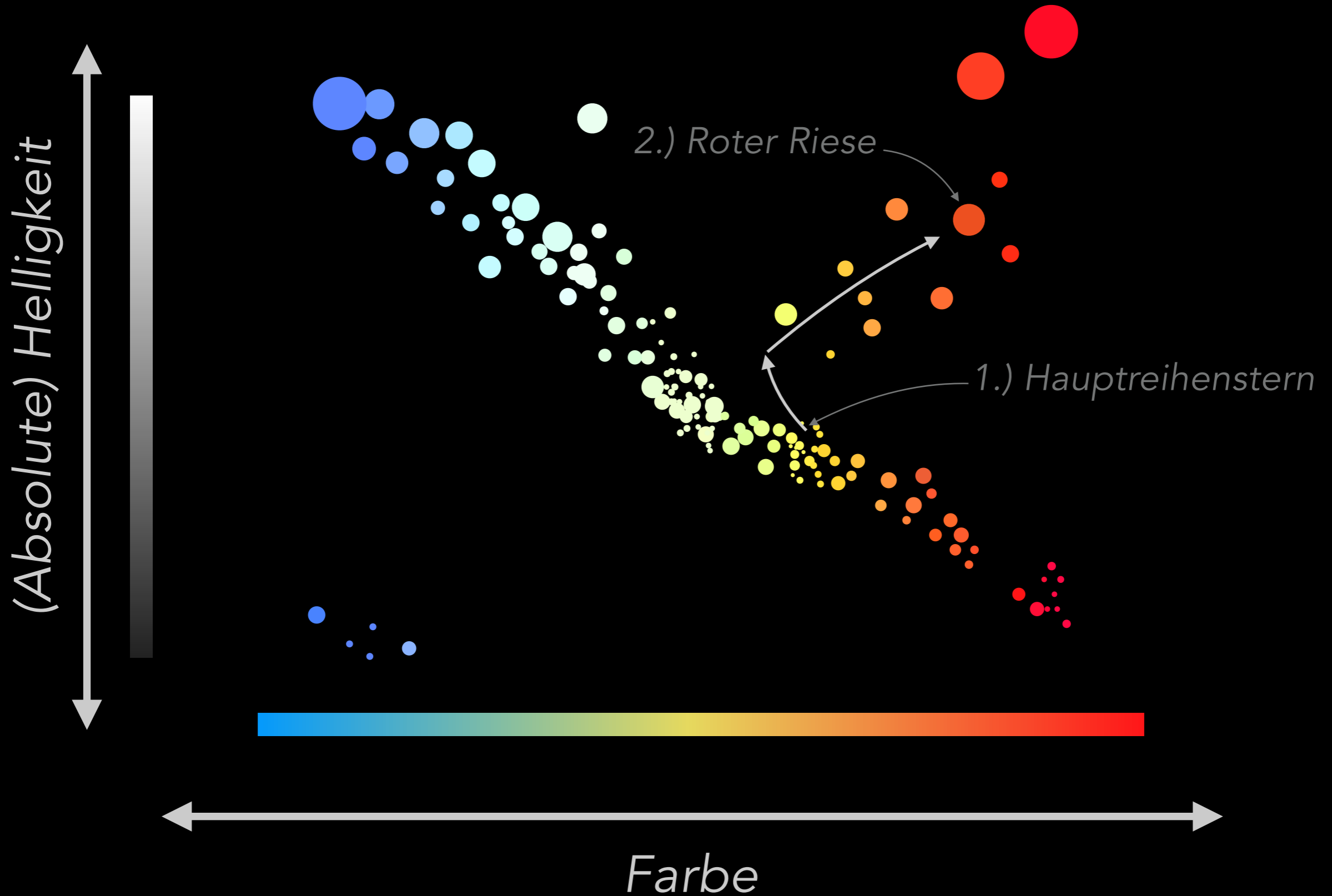
# EVOLUTION DES STERNS

---



# EVOLUTION DES STERNS

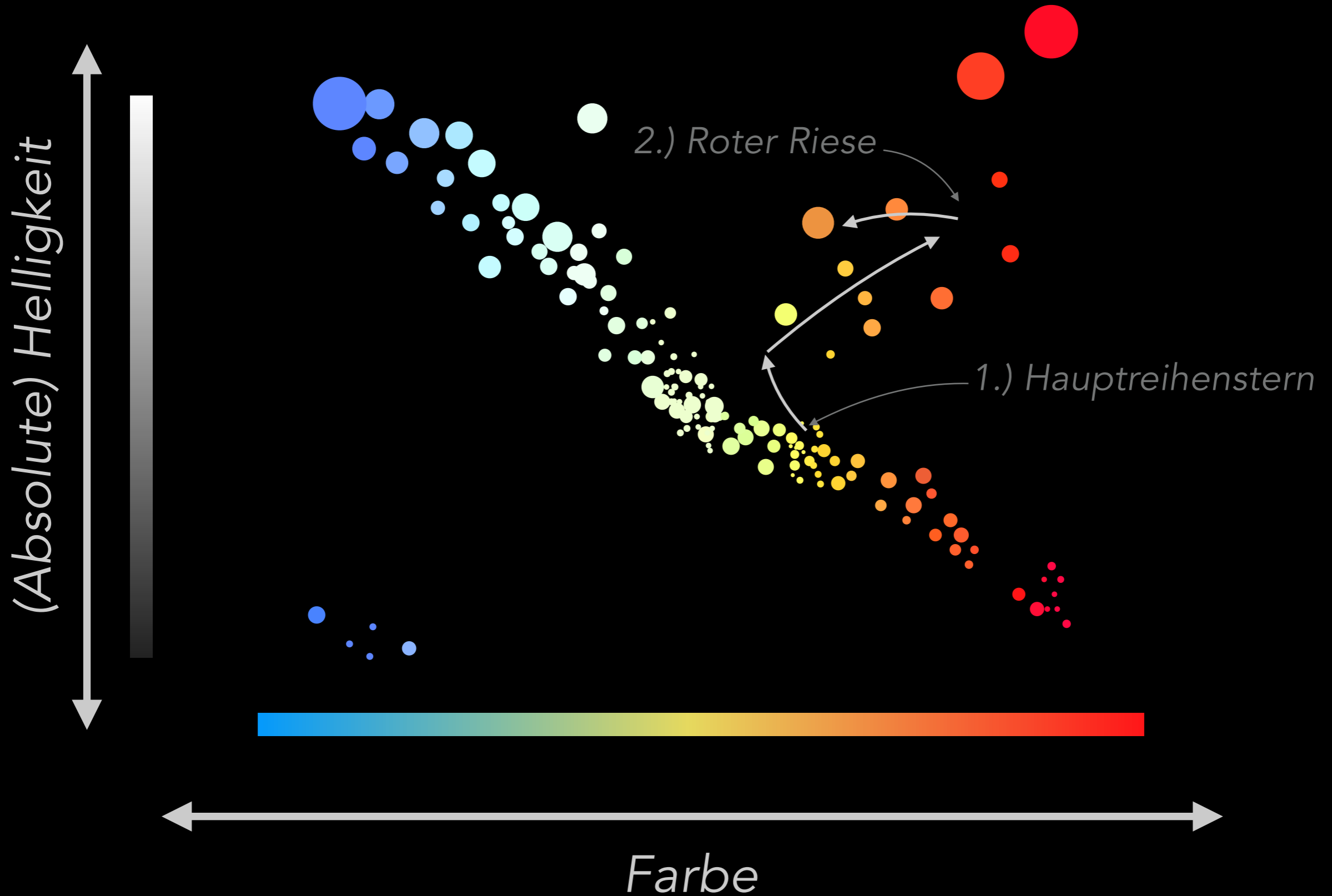
---





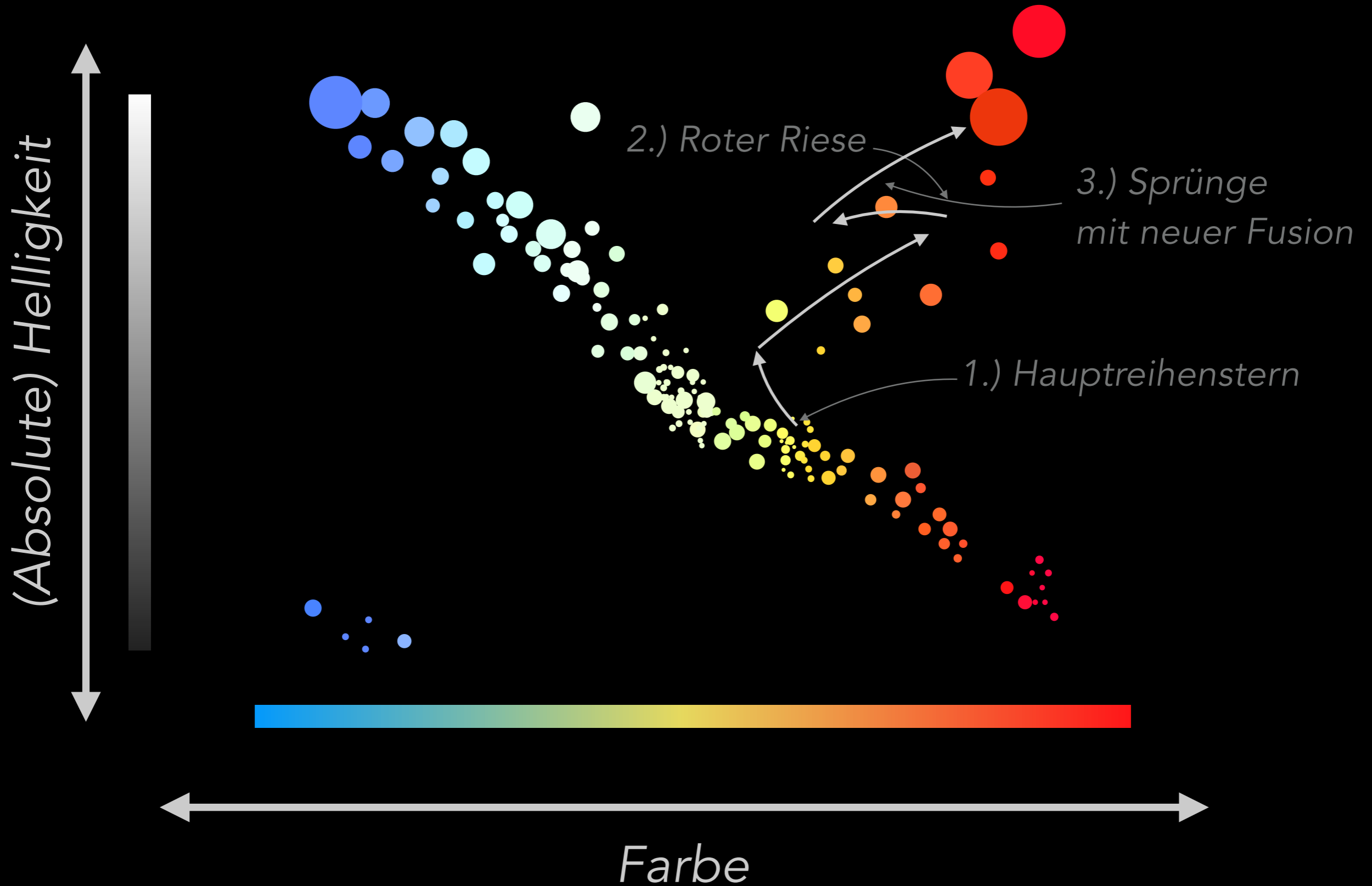
# EVOLUTION DES STERNS

---

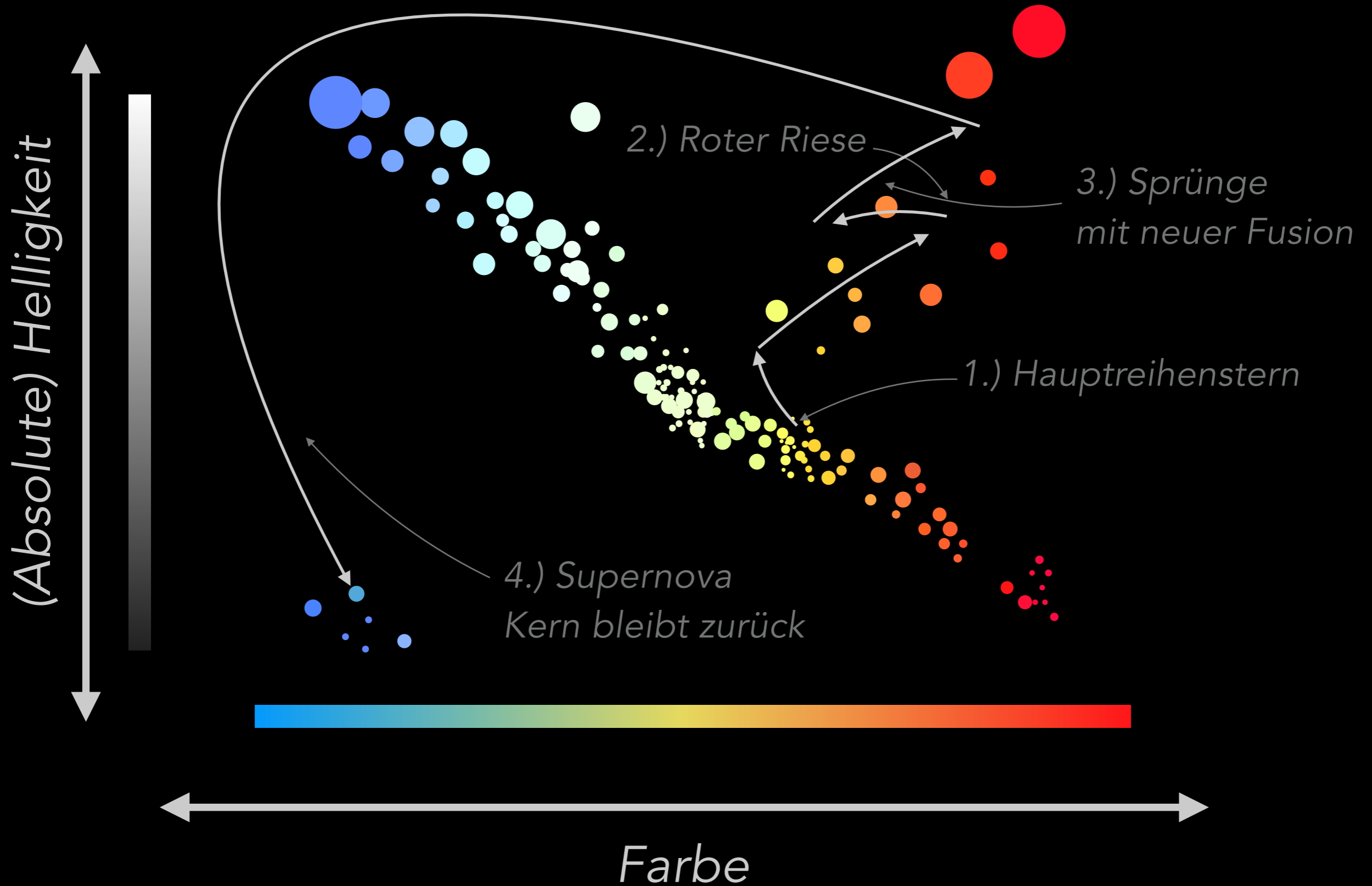


# EVOLUTION DES STERNS

---

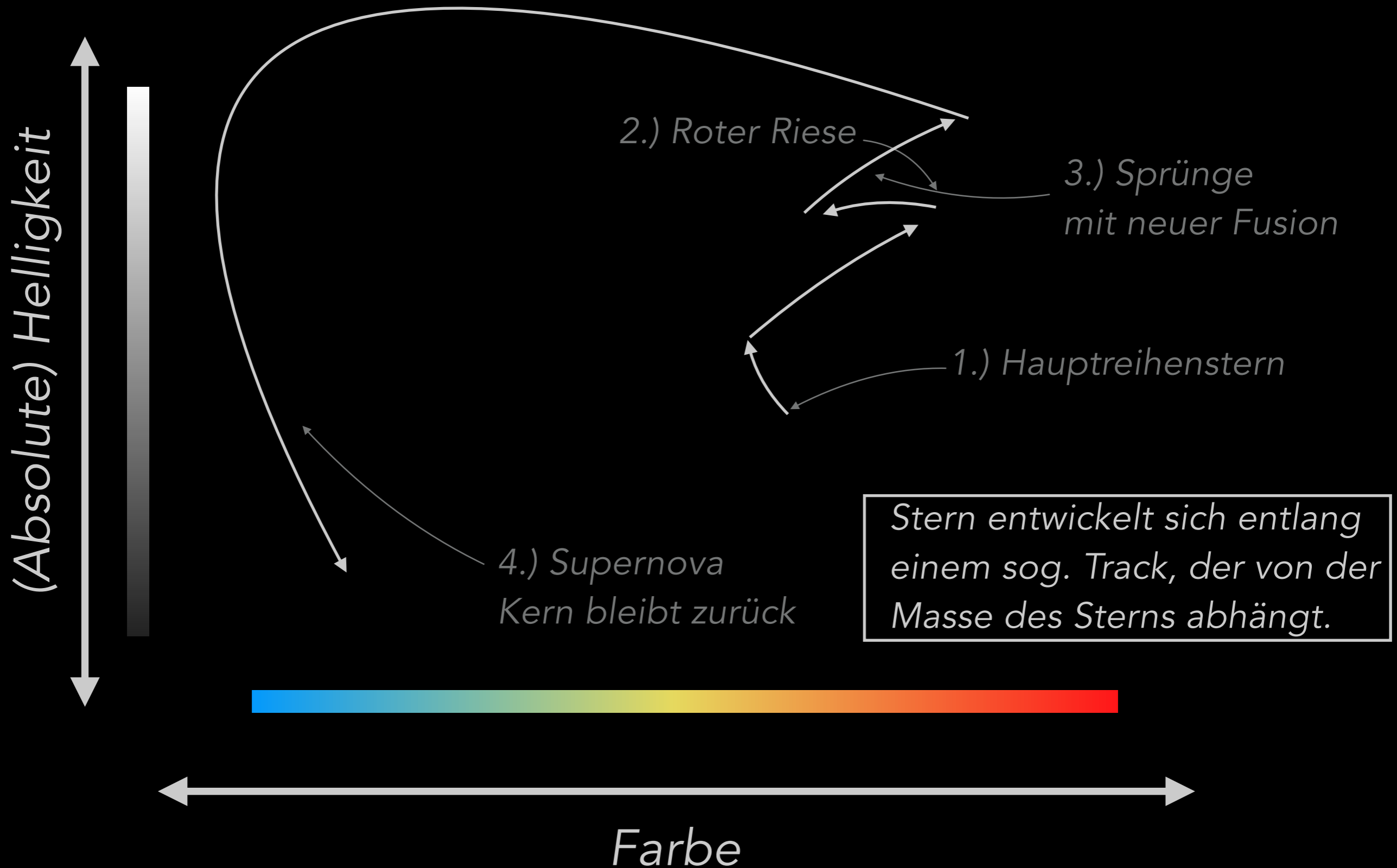


# EVOLUTION DES STERNS

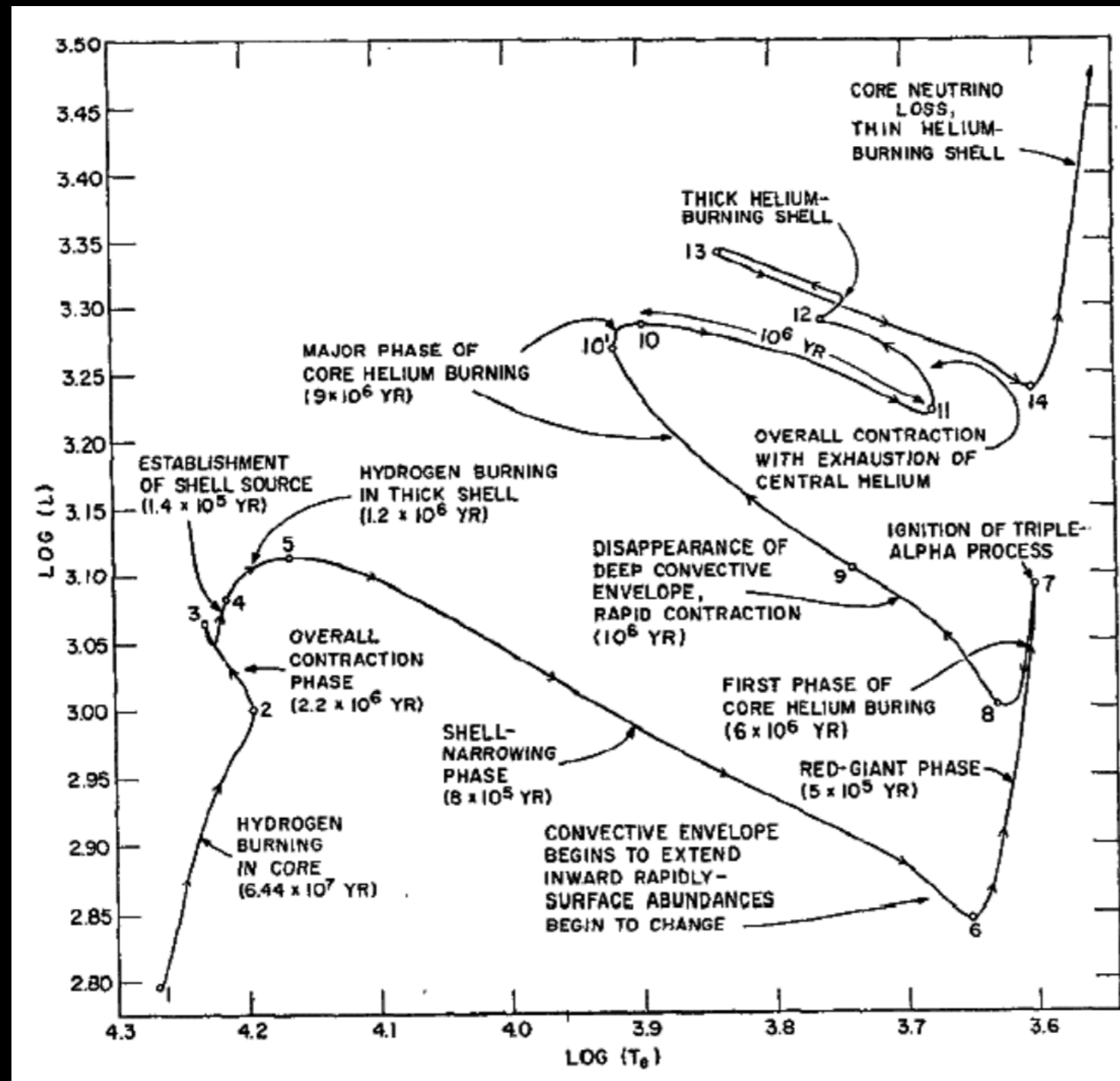


# EVOLUTION DES STERNS

---



# EVOLUTION DES STERNS



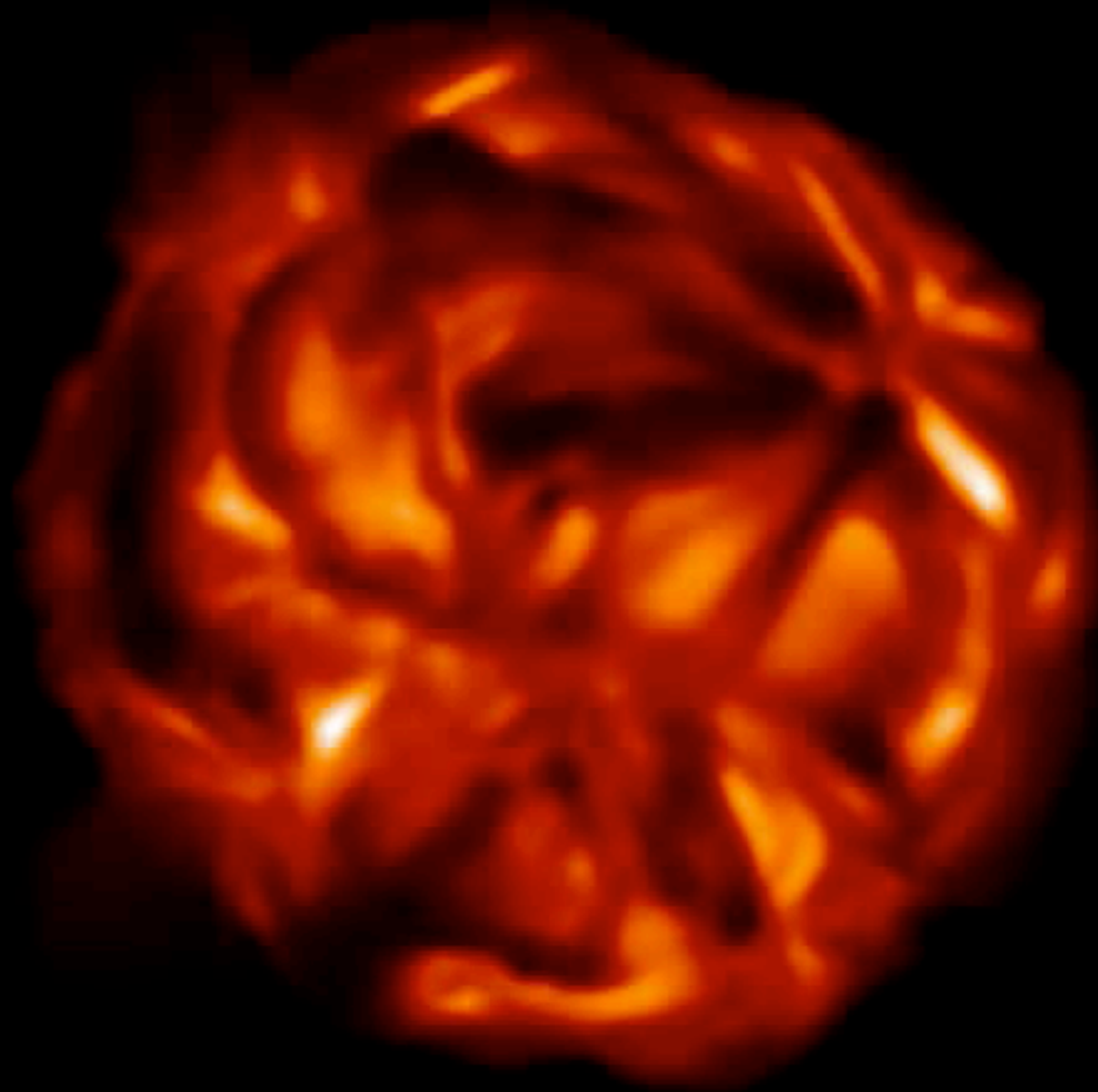
➤ In Wahrheit ist der Pfad noch viel komplexer

➤ Wenn man Grösse und Masse des Sterns kennt, kann man abschätzen, in welchem Stadium sich ein Stern befindet.

# EVOLUTION DES STERNS

---

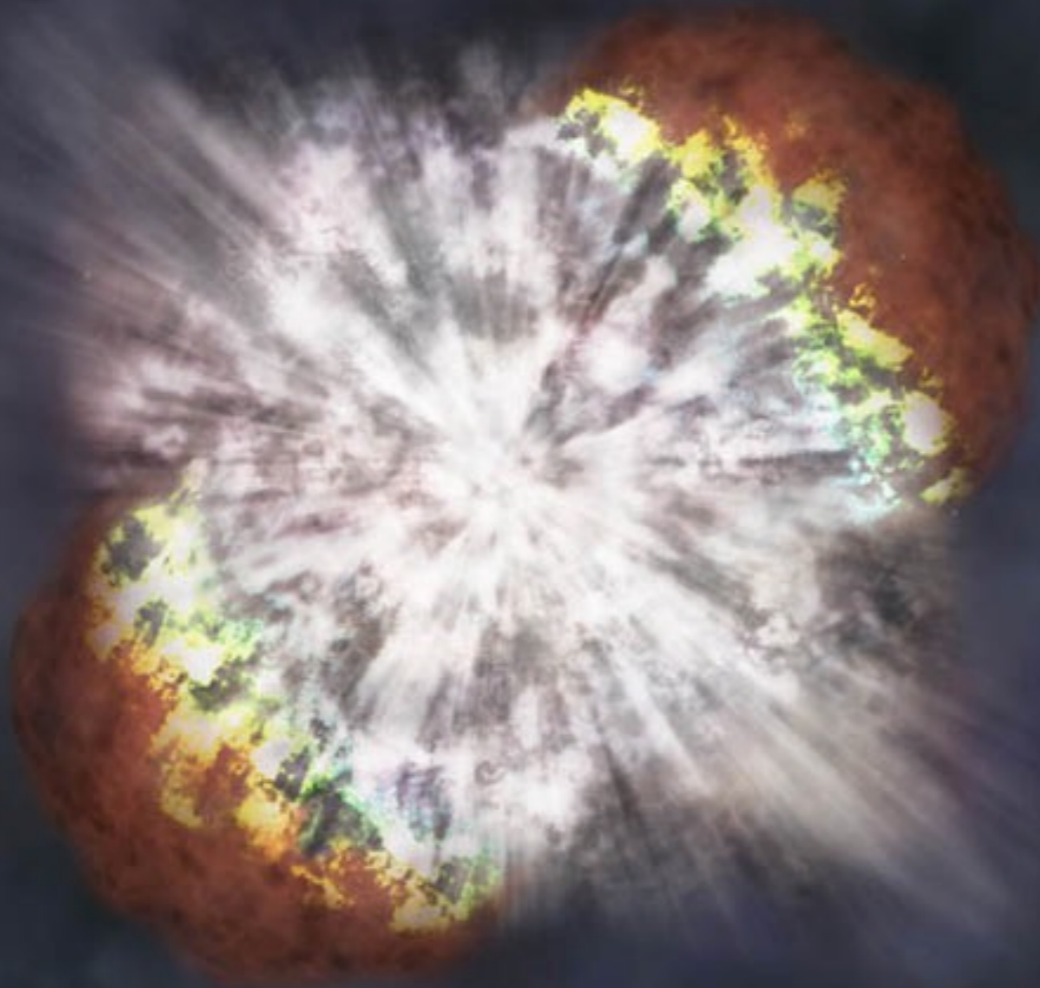
st35gm04n26: Surface Intensity(11), time( 0.0)=30.263 yrs



# EVOLUTION DES STERNS

---

Credit: NASA/CXC/M.Weiss



- Bei sehr schwere Sterne kommt es am Ende zur Supernova
- Enorme Menge Energie wird freigesetzt
- Hat grosse Auswirkung auf die direkte Umgebung
- Steht dies Betelgeuse bevor?

# EVOLUTION DES STERNS

---

- Im Falle von Beteigeuze: So hell wie der Mond („zweiter Mond“)

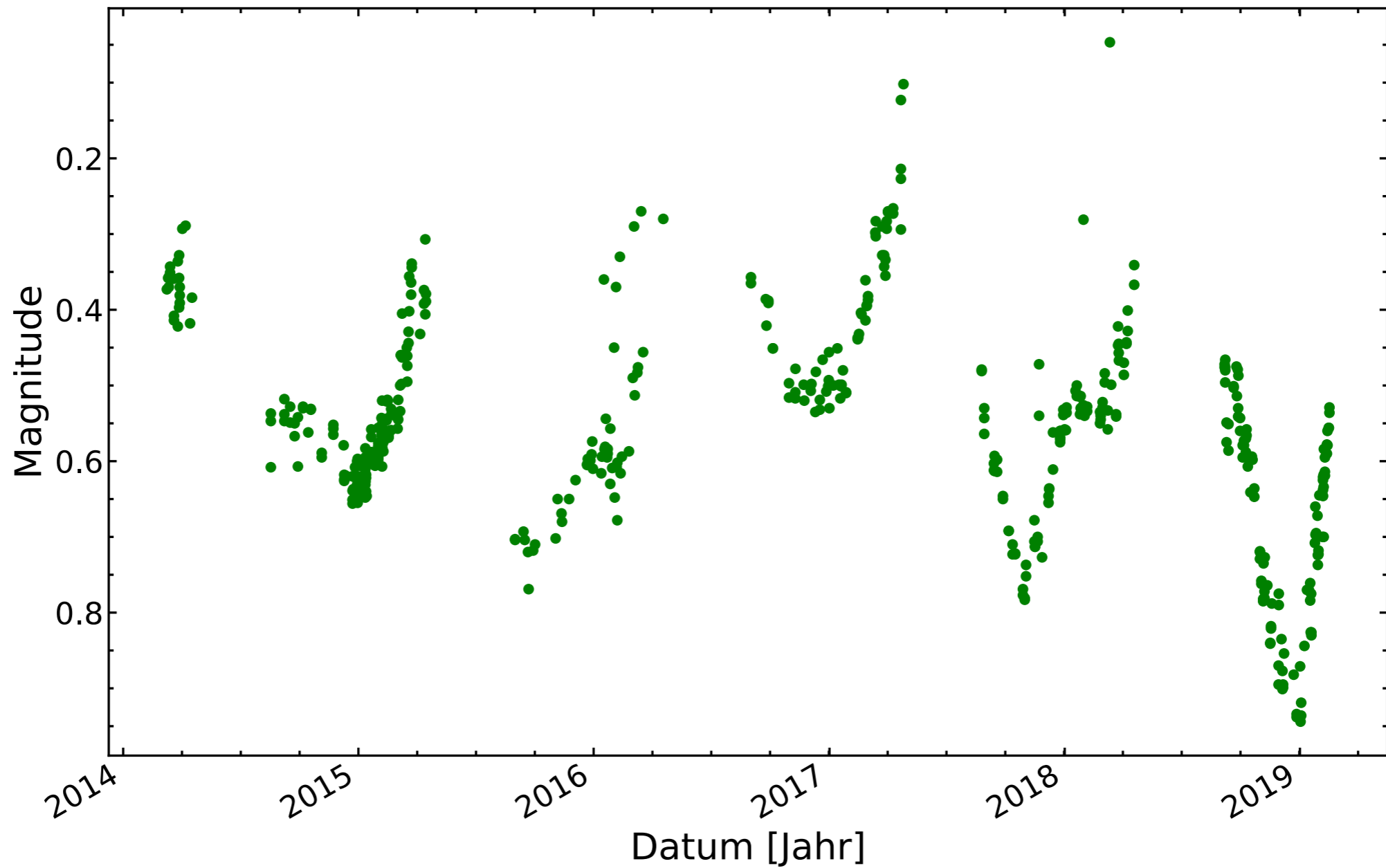


- Sogar tagsüber sichtbar

Künstlerische Darstellung der Supernova Beteigeuzes

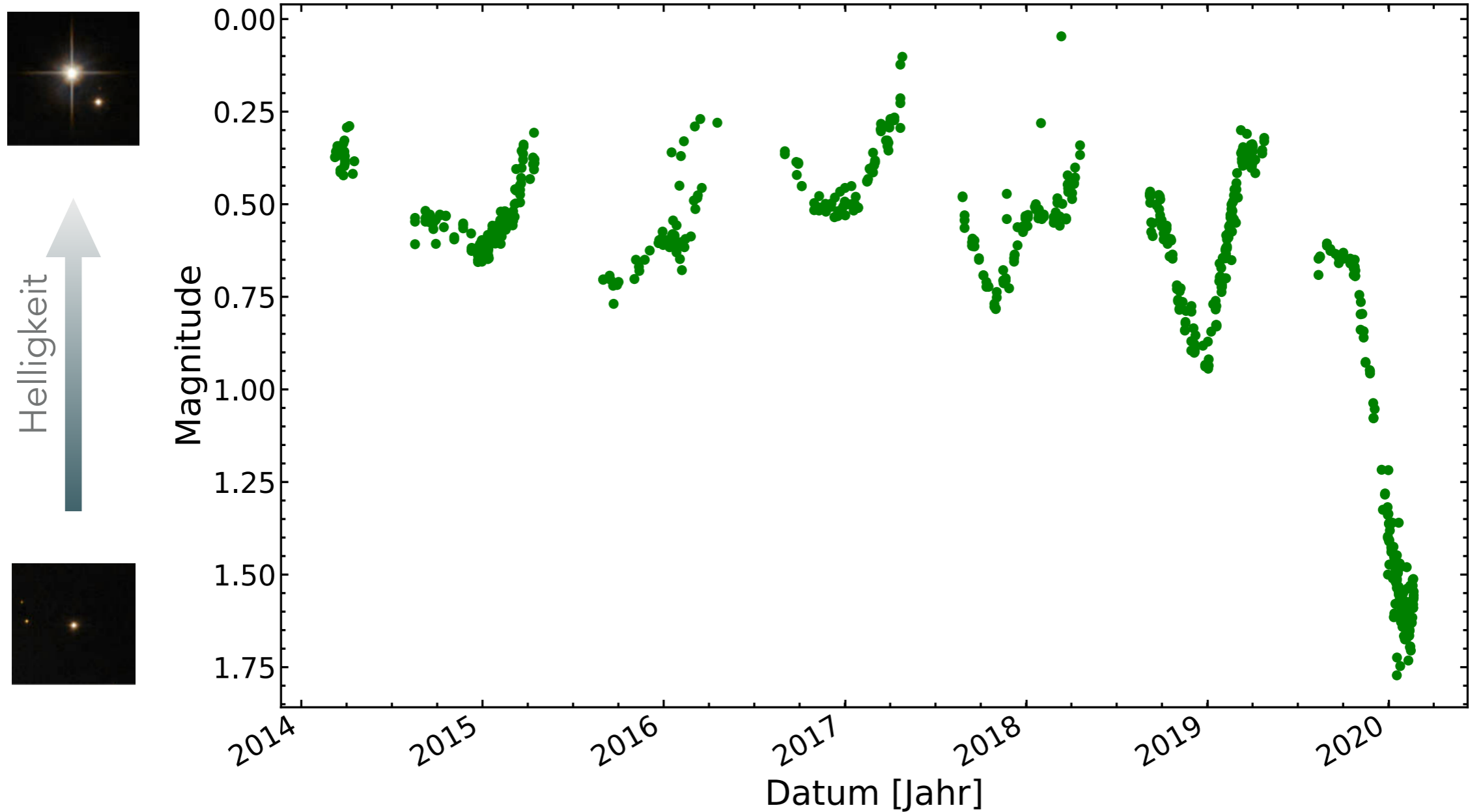


# BETEIGEUZE AUFKLÄRUNG



- Betelgeuze ist ein sog. *Halbregelmäßig veränderlicher Stern*.
- *Gewisse Periodizität konnte festgestellt werden*
- *Schwingungen im Stern sind dafür verantwortlich, sowie Konvektionszellen.*

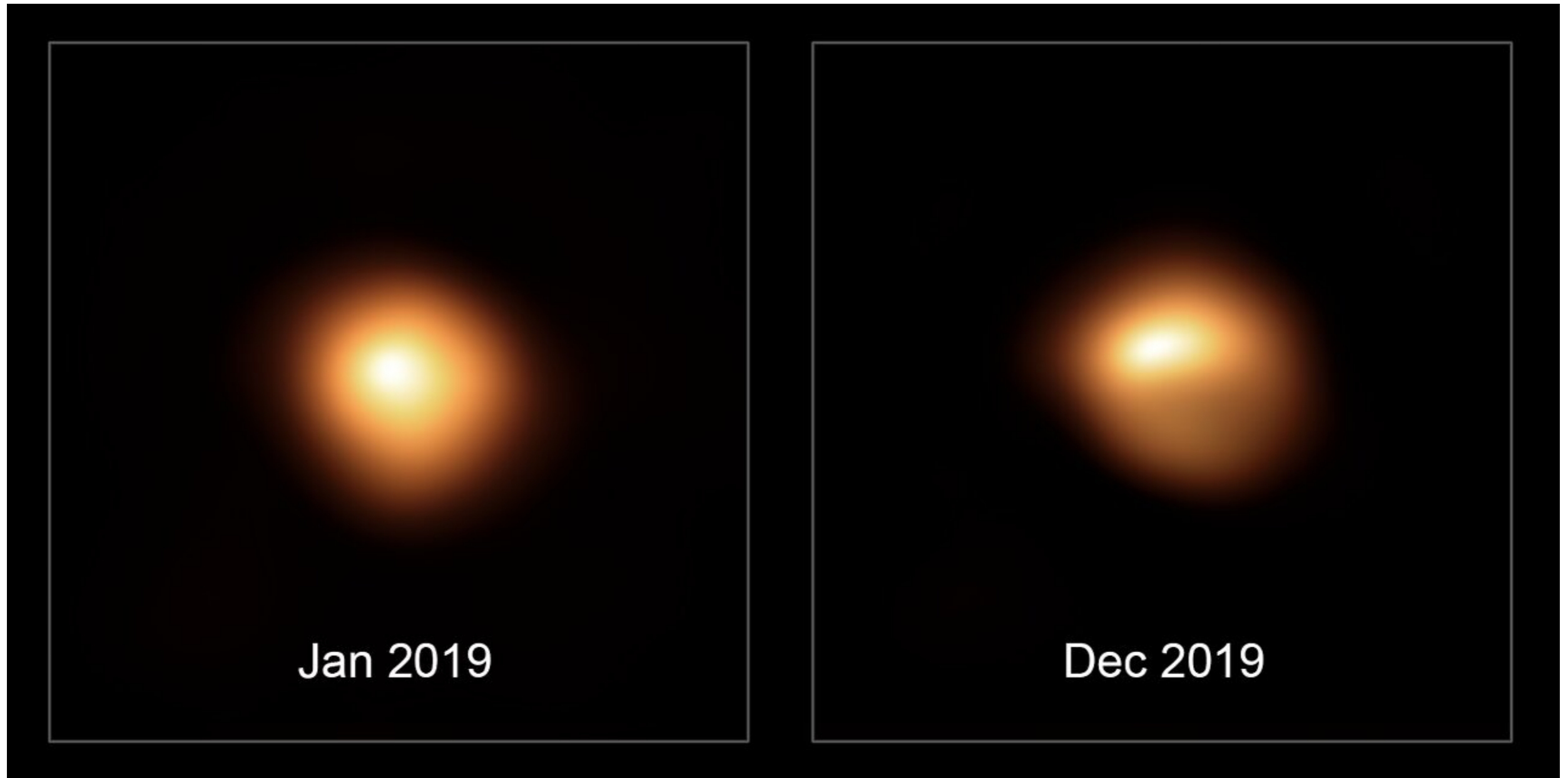
# BETEIGEUEZE AUFKLÄRUNG



- Was kann aber Grund für signifikanten Helligkeitsabfall Ende 2019 gewesen sein?

# AUSLÖSER FÜR SPEKULATIONEN

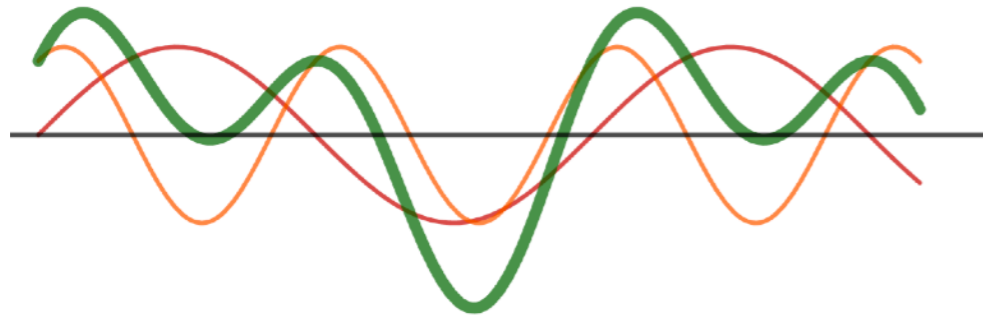
---



- Markanter Helligkeitsunterschied sichtbar auf Bildern der grössten Teleskope.

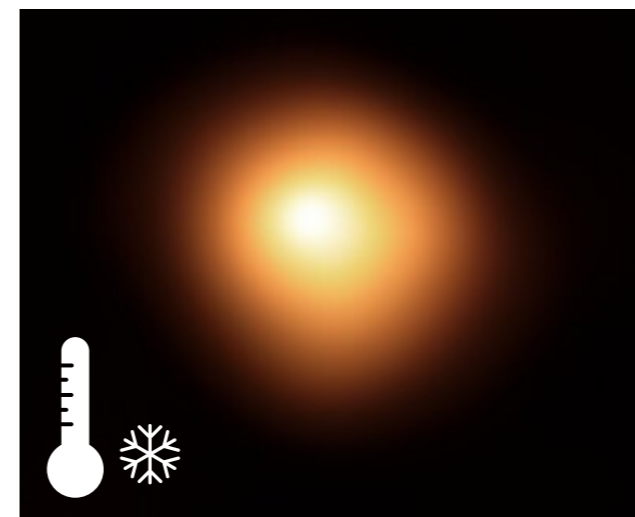
# BETEIGEUZE AUFKLÄRUNG

- Kosmischer Staub verdeckt den Stern?

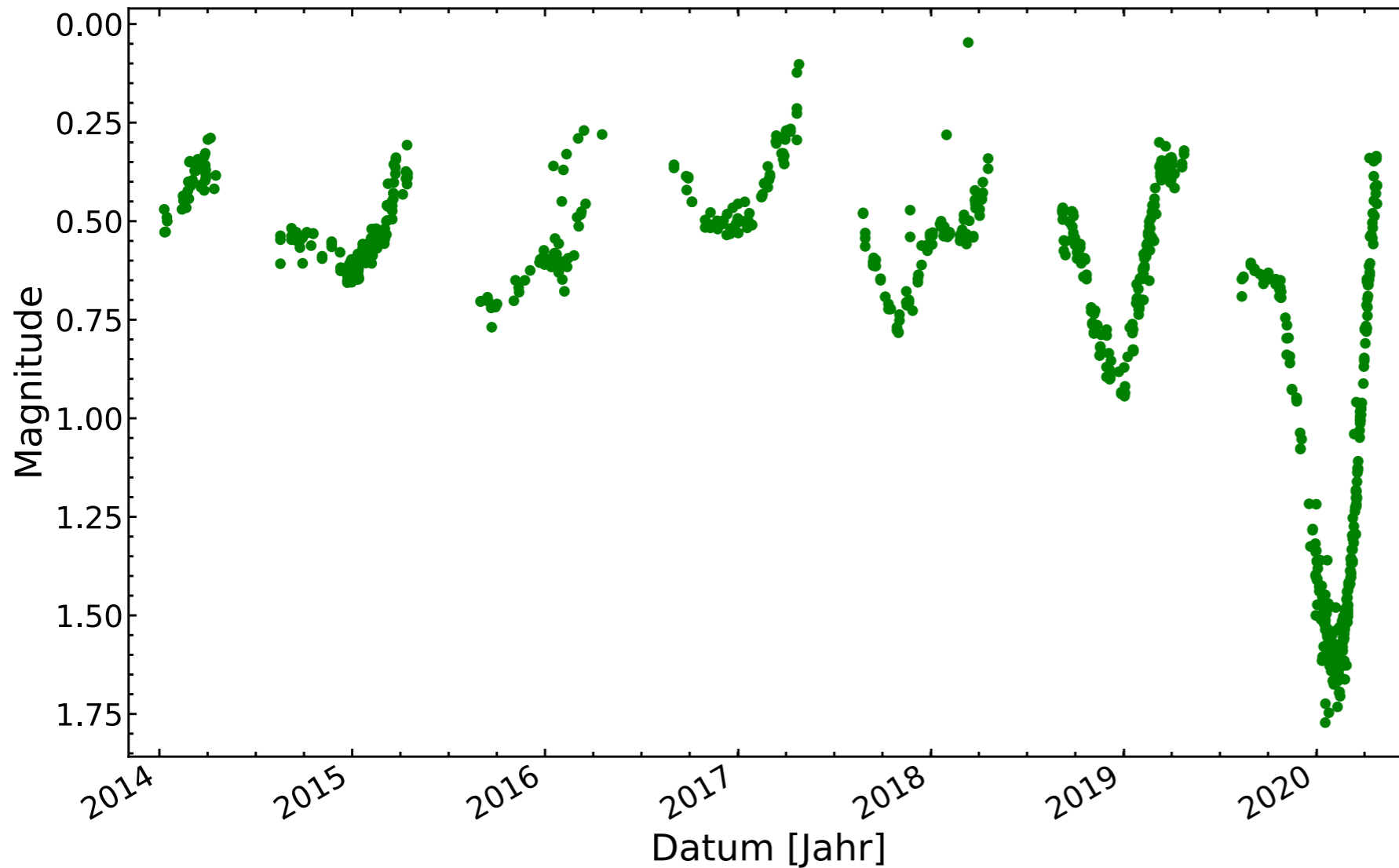


- Überlagerung zweier Schwingungen führt zum „super“ Minimum?

- Stern kühlt ab, da innere Verbrennung stoppt?  
→ Anfang der Supernova?!



# BETEIGE UZE AUFKLÄRUNG



- Seit März ist die Helligkeit wieder auf vor Corona Werte gestiegen.
- Wahrscheinlich war es tatsächlich eine Überlagerung zweier Schwingungen

# BETEIGEUZE AUFKLÄRUNG

## ➤ Wann wird es dann tatsächlich so weit sein?

### EVOLUTIONARY TRACKS FOR BETELGEUSE

MICHELLE M. DOLAN<sup>1</sup>, GRANT J. MATHEWS<sup>1</sup>, DOAN DUC LAM<sup>2</sup>, NGUYEN QUYNH LAN<sup>3</sup>,  
GREGORY J. HERCZEG<sup>4</sup>, AND DAVID S. P. DEARBORN<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Center for Astrophysics, Department of Physics, University of Notre Dame, Notre Dame, IN 46656, USA; [velasnr@gmail.com](mailto:velasnr@gmail.com), [gmathews@nd.edu](mailto:gmathews@nd.edu)

<sup>2</sup>Department of Physics and Astronomy, Uppsala University, Uppsala, Sweden; [lam.doan@physics.uu.se](mailto:lam.doan@physics.uu.se)

<sup>3</sup>Department of Physics, Hanoi National University of Education, Hanoi, Vietnam; [nquynhlan@hnue.edu.vn](mailto:nquynhlan@hnue.edu.vn)

<sup>4</sup>Kavli Institute for Astronomy and Astrophysics, Peking University, Beijing, China; [gherczeg1@gmail.com](mailto:gherczeg1@gmail.com)

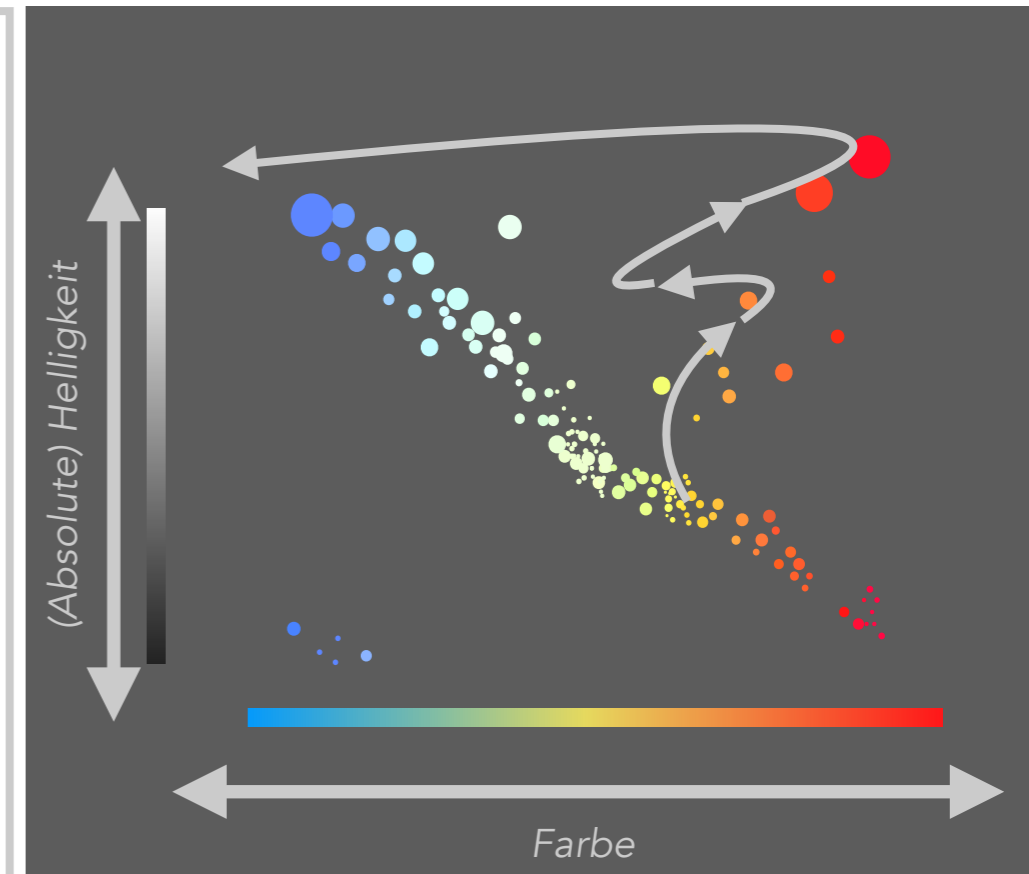
<sup>5</sup>Lawrence Livermore National Laboratory Livermore, CA 94550, USA; [ddearborn@llnl.gov](mailto:ddearborn@llnl.gov)

Received 2014 April 22; accepted 2015 December 29; published 2016 February 23

### ABSTRACT

We have constructed a series of nonrotating quasi-hydrostatic evolutionary models for the M2 Iab supergiant Betelgeuse ( $\alpha$  Orionis). Our models are constrained by multiple observed values for the temperature, luminosity, surface composition, and mass loss for this star, along with the parallax distance and high-resolution imagery that determines its radius. We have then applied our best-fit models to analyze the observed variations in surface luminosity and the size of detected surface bright spots as the result of up-flowing convective material from regions of high temperature in the surface convective zone. We also attempt to explain the intermittently observed periodic variability in a simple radial linear adiabatic pulsation model. Based on the best fit to all observed data, we suggest a best progenitor mass estimate of  $20_{-3}^{+5} M_{\odot}$  and a current age from the start of the zero-age main sequence of 8.0–8.5 Myr based on the observed ejected mass while on the giant branch.

**Key words:** stars: evolution – stars: individual (Alpha Orionis) – stars: late-type – stars: mass-loss – stars: oscillations – starspots – supergiants



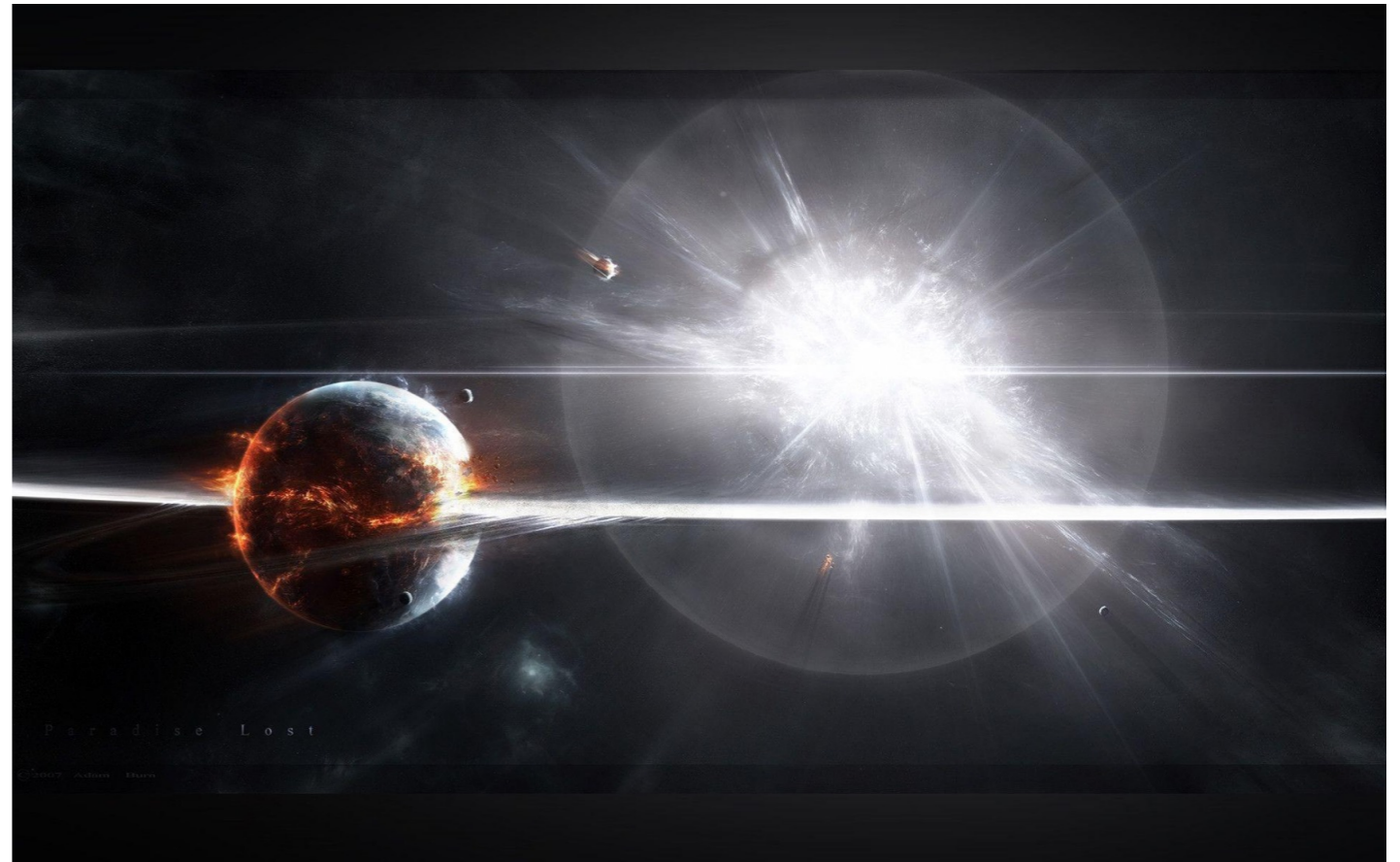
## ➤ "We estimate that this star will begin core carbon burning in less than $\sim 10^5$ yr and will supernova shortly thereafter."

Wir vermuten, dass die Kohlenstoffverbrennungsphase in weniger als **ca. 100 Tausend Jahren beginnen** und eine Supernova kurze Zeit später folgen wird.

# BETEIGEUEZE AUFKLÄRUNG

## ➤ Gefahr für die Erde?

Kann die Erde von Trümmerteilen getroffen werden?



- *„Although the supernova shock will arrive about  $6 \times 10^6$  yr after the explosion, it is not expected that the supernova debris will penetrate the heliosphere closer than about 2.5 AU“*

Ob wohl der die Supernova Schockwelle [die Erde] in ca. 6 Millionen Jahre nach der Explosion erreichen wird, *erwarten wir nicht, dass Trümmerteile mehr als 2.5 AU in die Hemisphäre eindringen können.*



# ZUSAMMENFASSUNG

- *Helligkeit Beteigeuzes hat sich wieder normalisiert.*
- *Vermutlich weniger spektakulären Hintergrund: Überlagerung zweier Schwankungen hat zum „Super“-Minimum geführt.*
- *Vermutlich wird es noch ca. 100'000 Jahre dauern, bevor es zur Supernova kommt.*

