



STERNENTWICKLUNG

1. STERNENTSTEHUNG



Bild: „Multiwavelength Milky Way Images“ NASA via https://asd.gsfc.nasa.gov/archive/mmw/mmw_images.html [Public Domain (PD-USGov)]

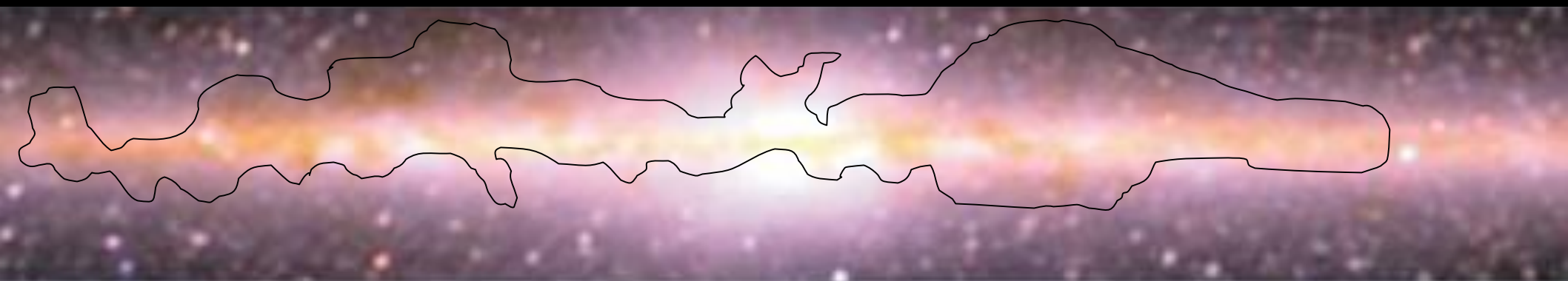
1. STERNENTSTEHUNG



Gas- und Staubwolken

Bild: „Multiwavelength Milky Way Images“ NASA via https://asd.gsfc.nasa.gov/archive/mmw/mmw_images.html [Public Domain (PD-USGov)]

1. STERNENTSTEHUNG



Infrarot

Bild: „Multiwavelength Milky Way Images“ NASA via https://asd.gsfc.nasa.gov/archive/mwmw/mmw_images.html [Public Domain (PD-USGov)]

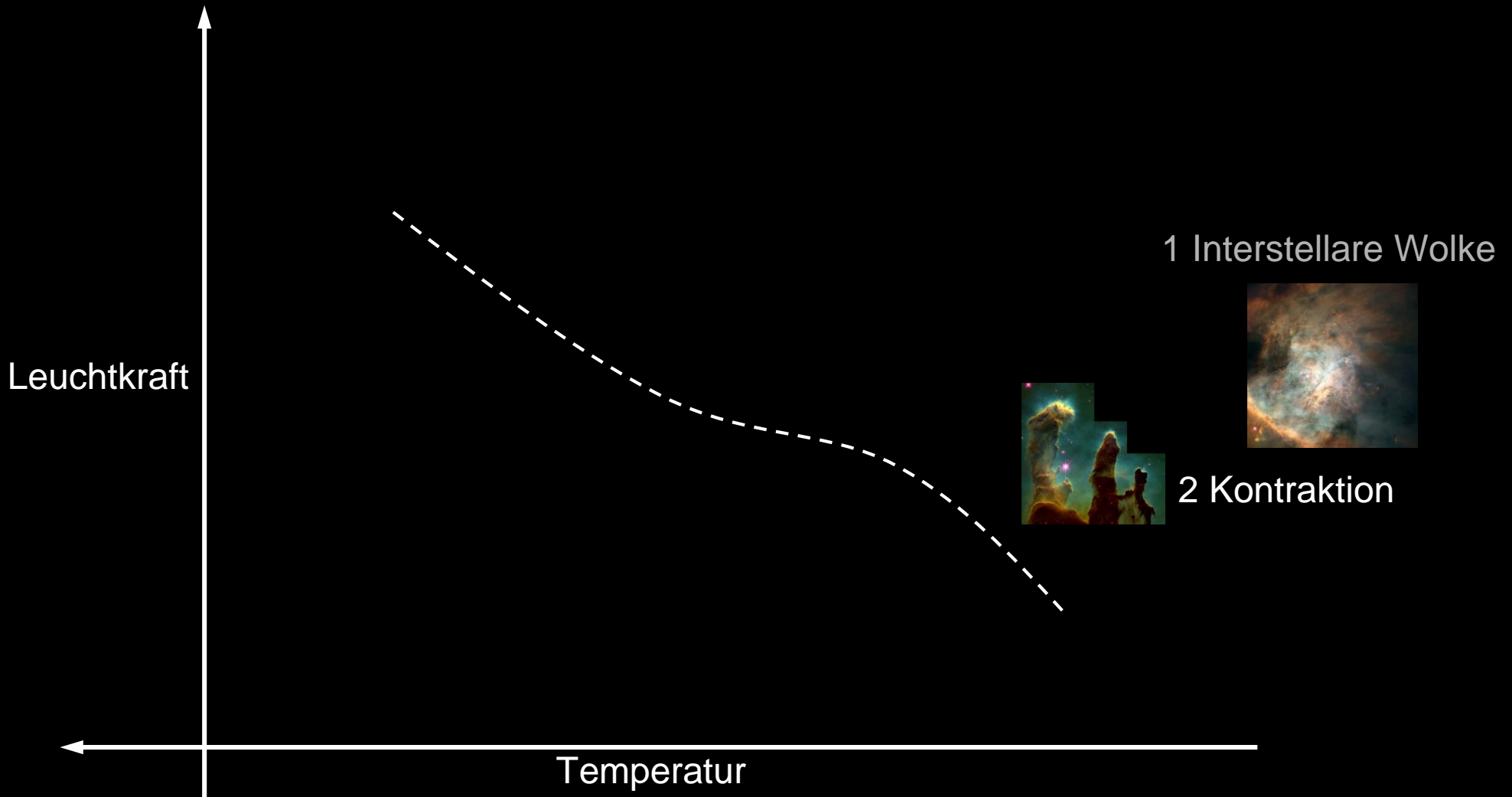
1. STERNENTSTEHUNG



Bild: „Interstellar EGGs“ von NASA/ESA/STScI via https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_252.html
[Public Domain (PD-US-Gov)]

1. STERNENTSTEHUNG

Stadium im HRD



Bilder: „Orion.nebula.arp.750pix“ von NASA, C.R. O'Dell and S.K. Wong (Rice University) via <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Orion.nebula.arp.750pix.jpg> [Public Domain (PD-US-Gov)],

„Interstellar EGGs“ von NASA/ESA/STScI via https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_252.html [Public Domain (PD-US-Gov)]

Grafiken: S. Hanssen

1. STERNENTSTEHUNG

Sterne bilden sich aus interstellarer Materie:
Gas und Staub

Orionnebel

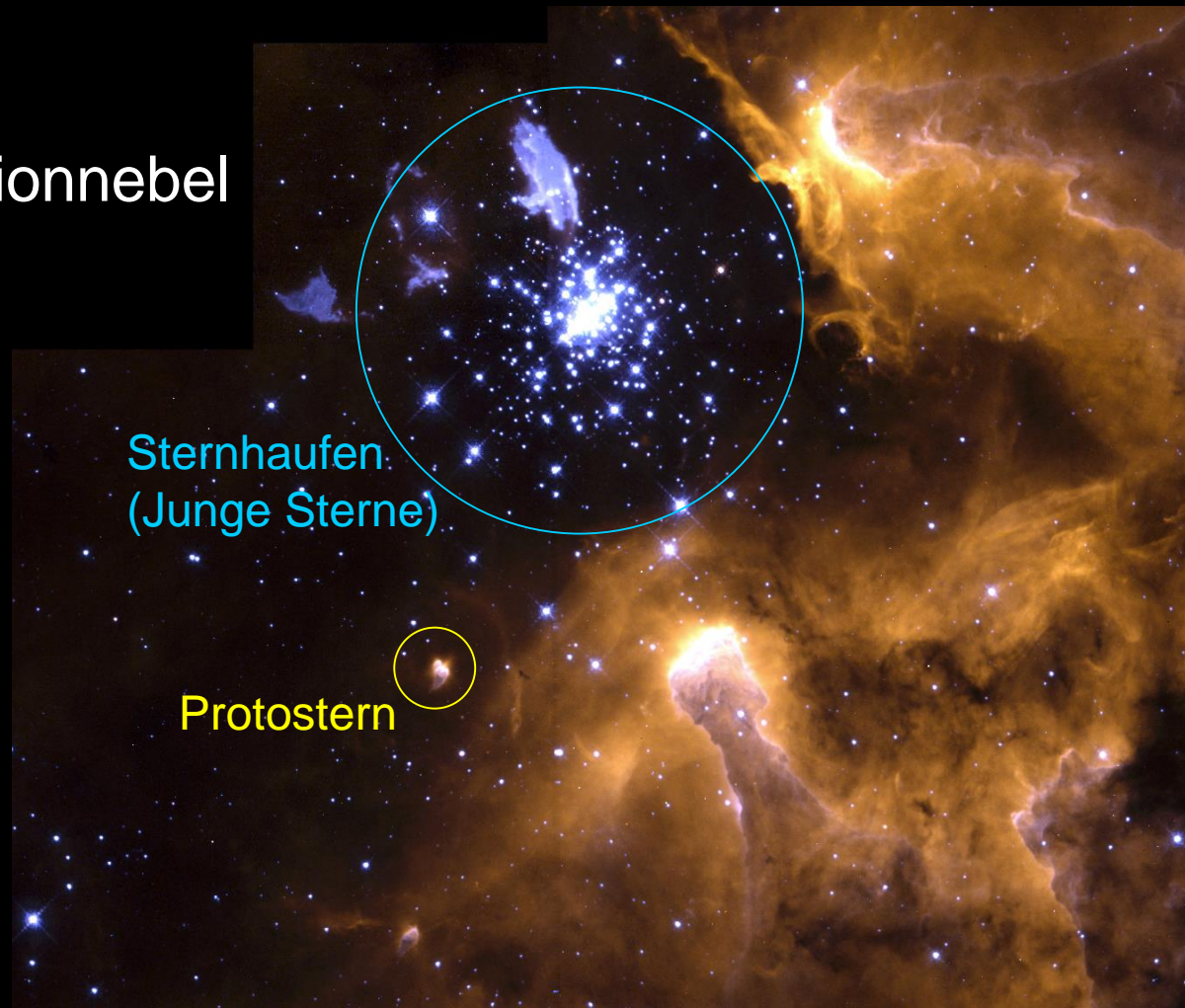


Bild: „Life Cycle of Stars - GPN-2000-000938“ von NASA, Wolfgang Brandner JPL-IPAC, Eva K. Grebel University via https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Life_Cycle_of_Stars_-_GPN-2000-000938.jpg [Public Domain (PD-USGov)], bearbeitet

1. STERNENTSTEHUNG



Protostern

Bild: NASA

1. STERNENTSTEHUNG

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

Kontraktion und Zerfall der Wolke in Fragmente

Temperaturzunahme, ab 5 Mio. K Kernfusion

Kinderstuben aus Fragmenten: Junge Sternhaufen



Plejaden

Bild links: „Pleiades large“ von NASA, ESA, AURA/Caltech, Palomar Observatory via https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pleiades_large.jpg [Public Domain (PD-USGov, ESA-Hubble)]

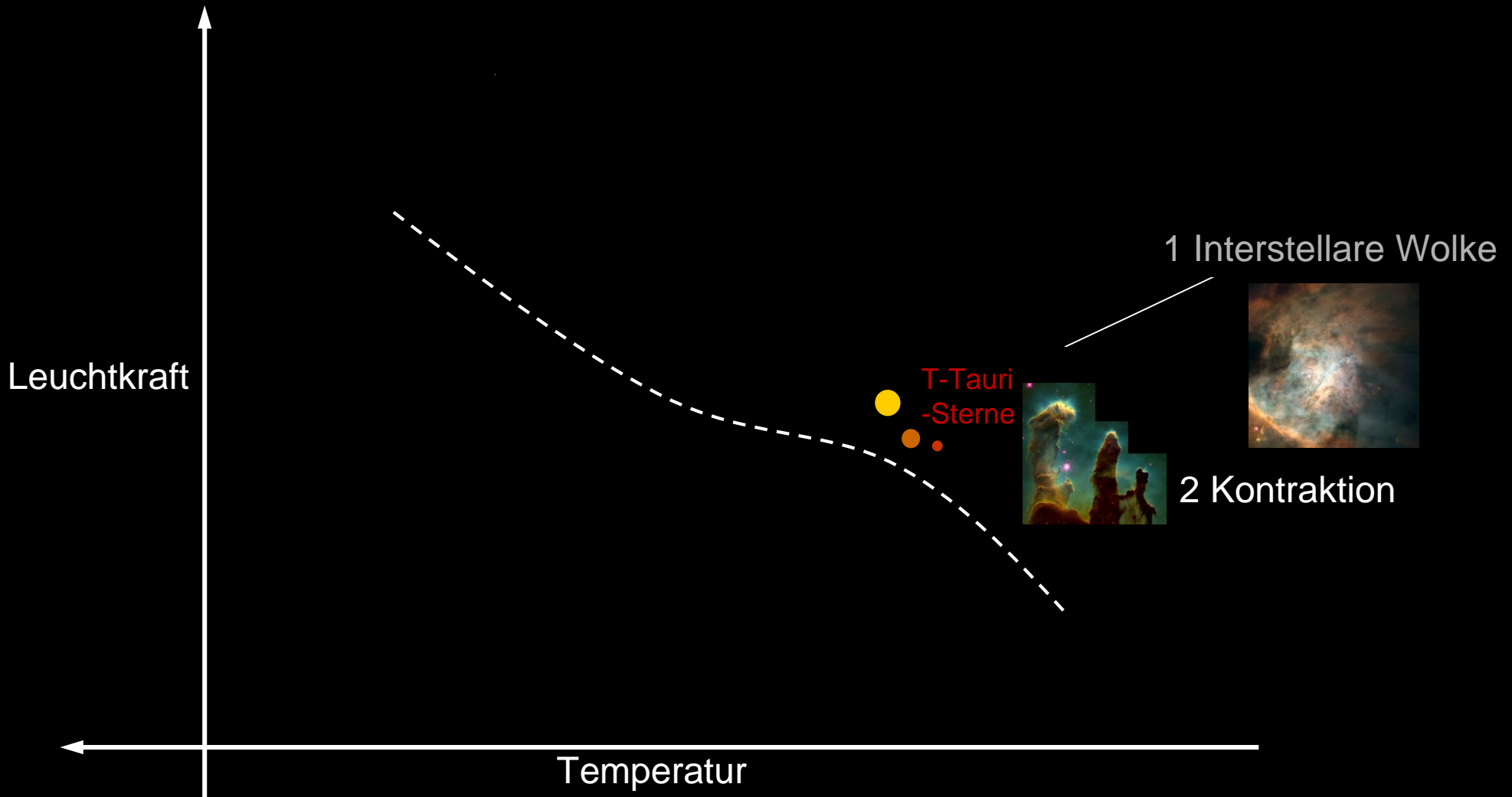


h & X Persei

Bild rechts: „Open clusters NGC 869 and NGC 884“ von Andrew Cooper acooper@pobox.com - Eigenes Werk [CC BY-SA 3.0] via <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1449407>

1. STERNENTSTEHUNG

Stadium im HRD



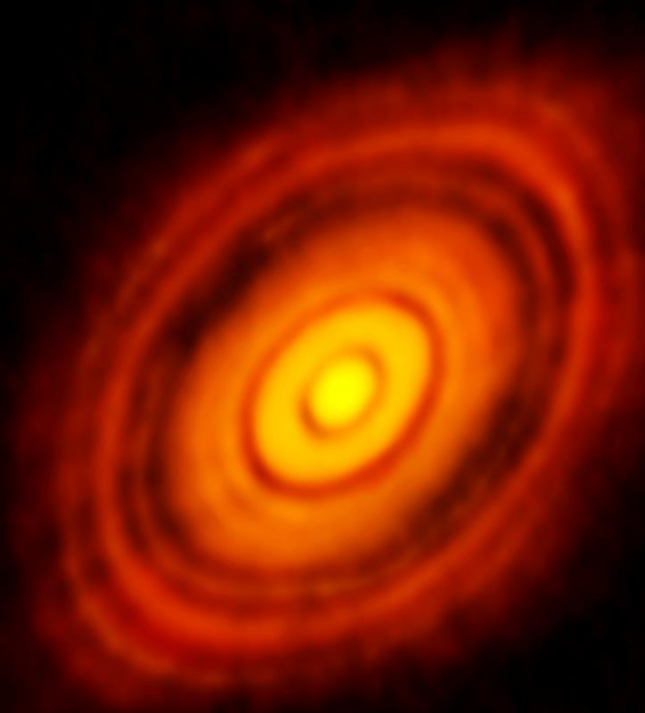
Bilder: „Orion.nebula.arp.750pix“ von NASA, C.R. O'Dell and S.K. Wong (Rice University) via <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Orion.nebula.arp.750pix.jpg> [Public Domain (PD-US-Gov)],

„Interstellar EGGs“ von NASA/ESA/STScI via https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_252.html [Public Domain (PD-US-Gov)]

Grafiken: S. Hanssen

1. STERNENTSTEHUNG

T-Tauri-Sterne



HL Tauri

Junge Sterne, Alter < 1 Mio. a

Spektralklasse F bis M.

Zwischen 0,07 und 3 Sonnenmassen.

Oberhalb der Hauptreihe: Kontrahieren

Noch keine, oder erst seit kurzem
Kernfusion.

Noch kein hydrostatisches Gleichgewicht.

Heftige Sternwinde stoßen umgebende
Gashülle ab.

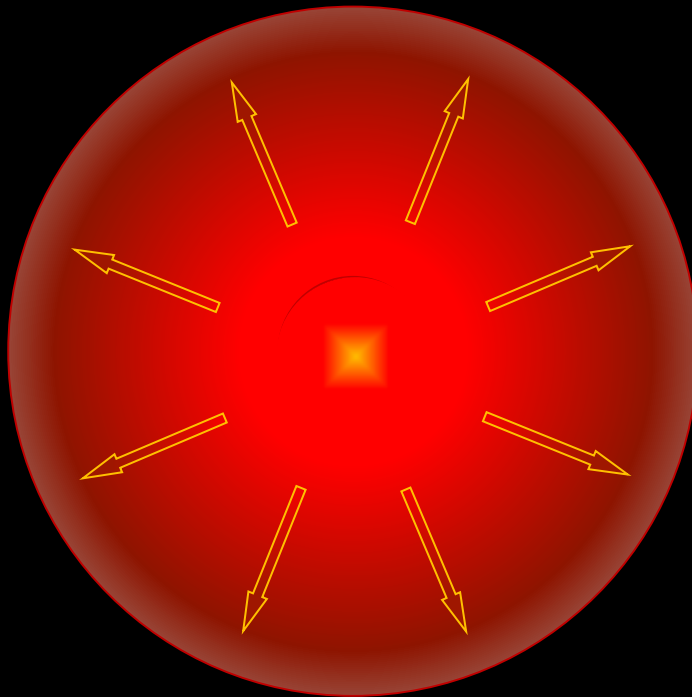
Planetenentstehung und Sternwinde
lassen Akkretionsscheibe verschwinden.

Bild: ALMA image of the protoplanetary disc around HL Tauri
von ALMA (ESO/NAOJ/NRAO) [CC-BY 4.0] via
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=36639982>

1. STERNENTSTEHUNG

Erfolg?

Fragmente mit weniger als 0,08 Sonnenmassen:



Gravitationsdruck zu gering

→ Kerntemperaturen < 1 Mio. K

→ Keine Fusionsprozesse

Schrumpft:

Umwandlung von
Gravitationsenergie in
Wärmeenergie

→ wird abgestrahlt

1. STERNENTSTEHUNG

Erfolg?

Fragmente mit weniger als 0,08 Sonnenmassen:

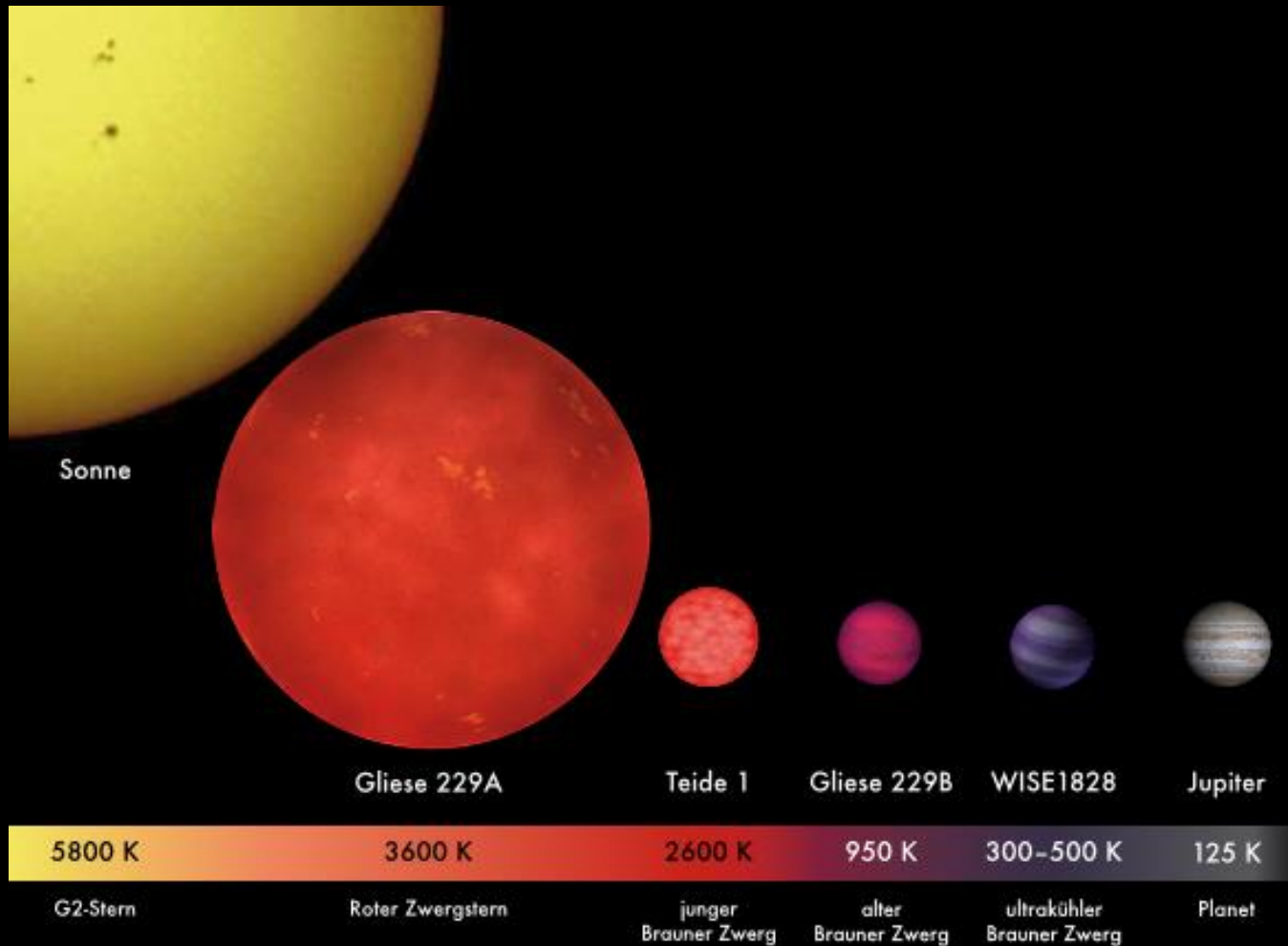
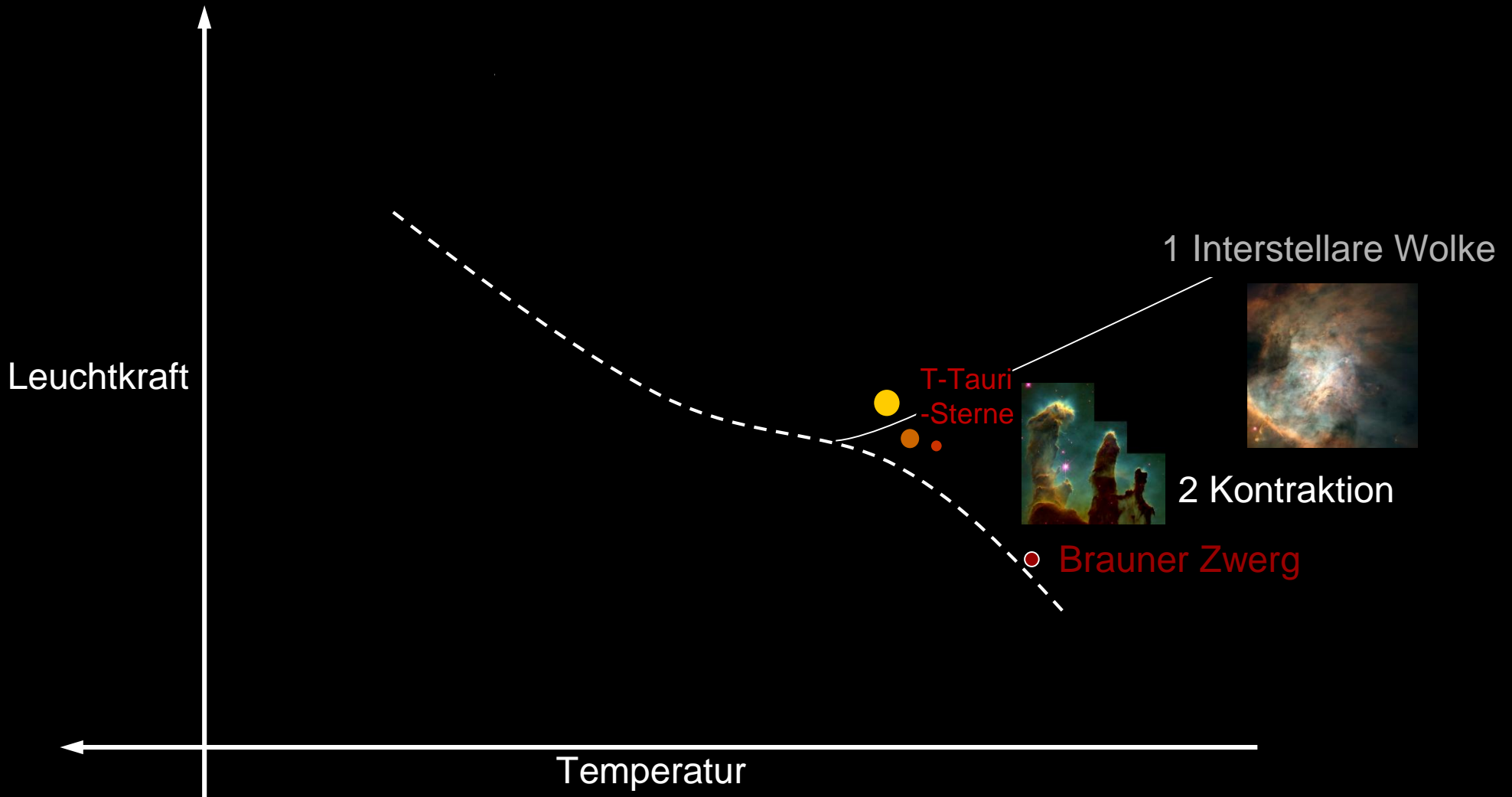


Bild: „BrownDwarfs Comparison 02 de“ von MPIA/V. Joergens [CC BY 3.0] via https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BrownDwarfs_Comparison_02_de.svg

1. STERNENTSTEHUNG

Stadium im HRD



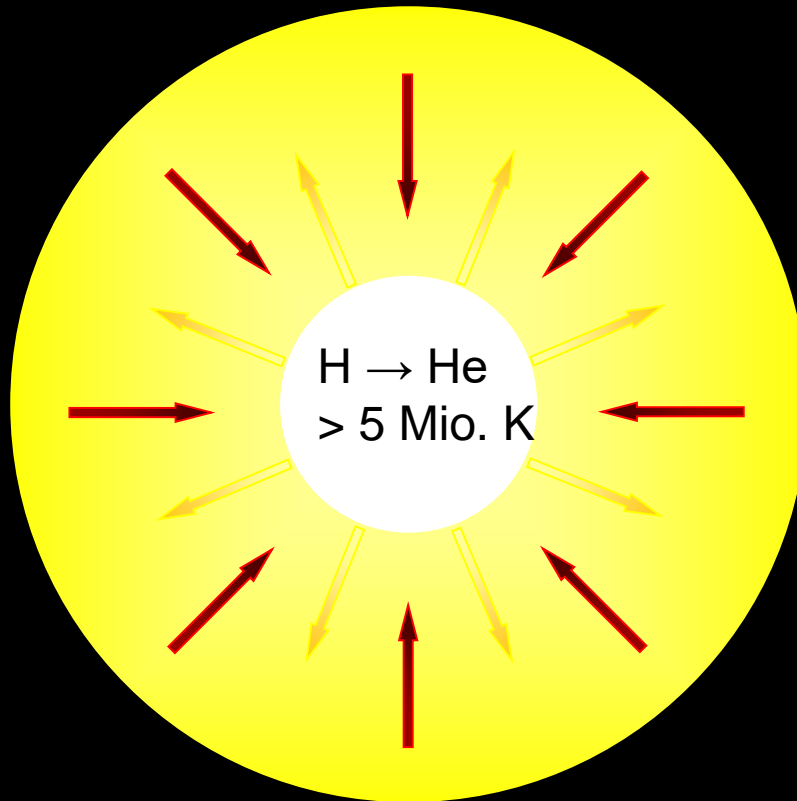
Bilder: „Orion.nebula.arp.750pix“ von NASA, C.R. O'Dell and S.K. Wong (Rice University) via <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Orion.nebula.arp.750pix.jpg> [Public Domain (PD-US-Gov)],

„Interstellar EGGs“ von NASA/ESA/STScI via https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_252.html [Public Domain (PD-US-Gov)]

Grafiken: S. Hanssen

1. STERNENTSTEHUNG

Fragmente mit mehr als 0,08 Sonnenmassen



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

Gravitationsdruck

=

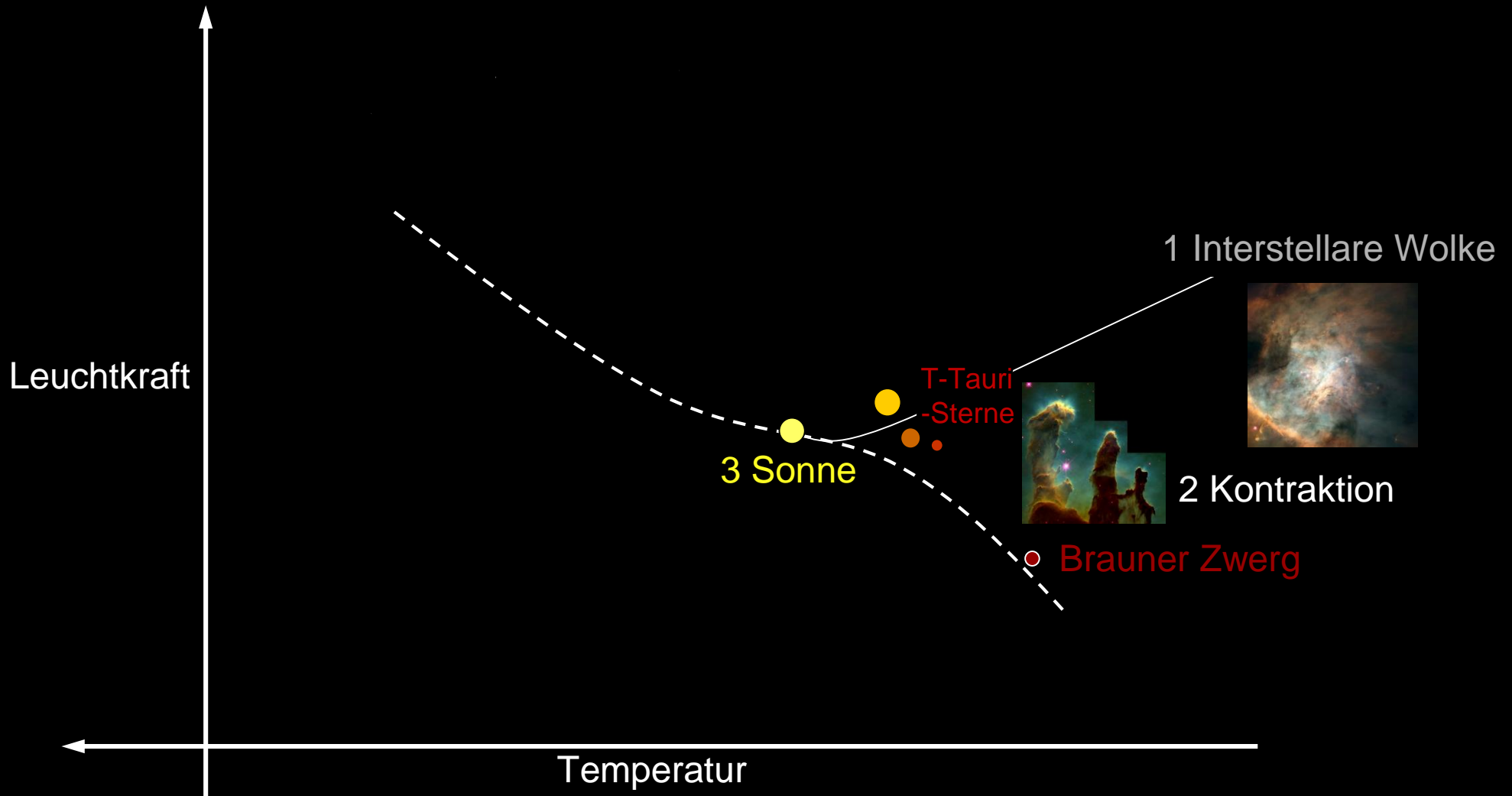
Gasdruck

→ Hauptreihenstern

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

1. STERNENTSTEHUNG

Stadium im HRD



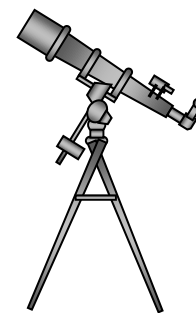
Bilder: „Orion.nebula.arp.750pix“ von NASA, C.R. O'Dell and S.K. Wong (Rice University) via <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Orion.nebula.arp.750pix.jpg> [Public Domain (PD-US-Gov)],

„Interstellar EGGs“ von NASA/ESA/STScI via https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_252.html [Public Domain (PD-US-Gov)]

Grafiken: S. Hanssen

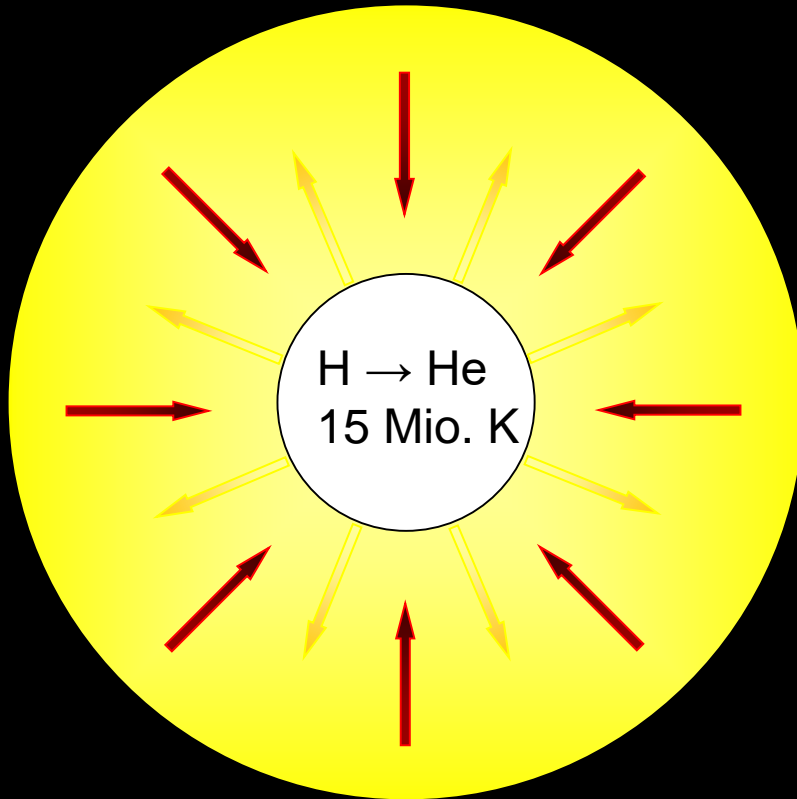


ASTRONOMIE WAHLFACH



ENDSTADIEN

2. ENDSTADIEN DER STERNE 2.1 STERNE MIT SONNENMASSE



Unsere Sonne heute:

Kernfusion im Sonnenkern:



Kerntemperatur: 15,5 Mio. K

Gravitationsdruck

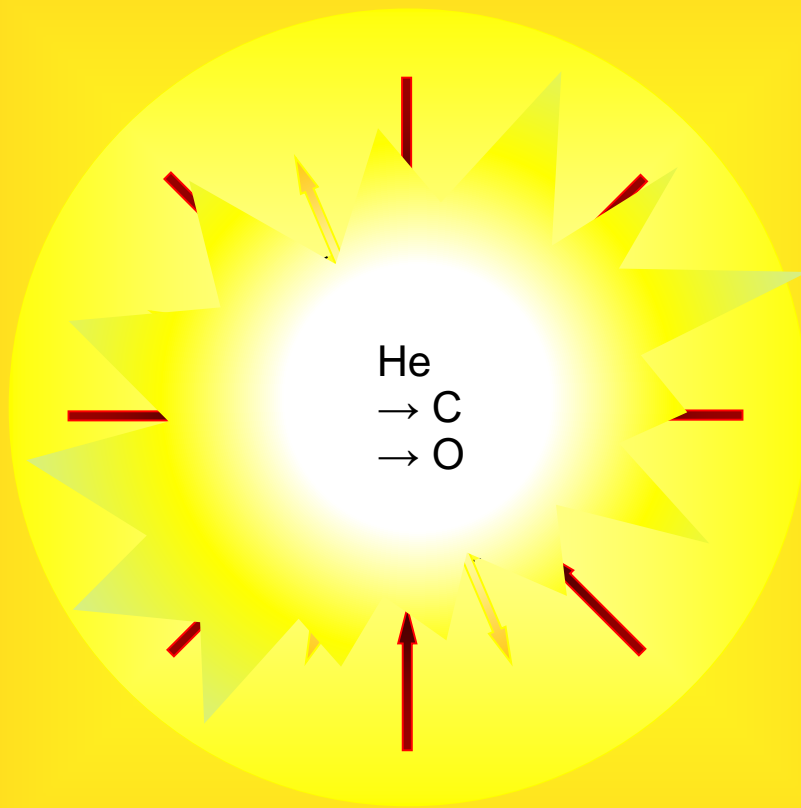
=

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

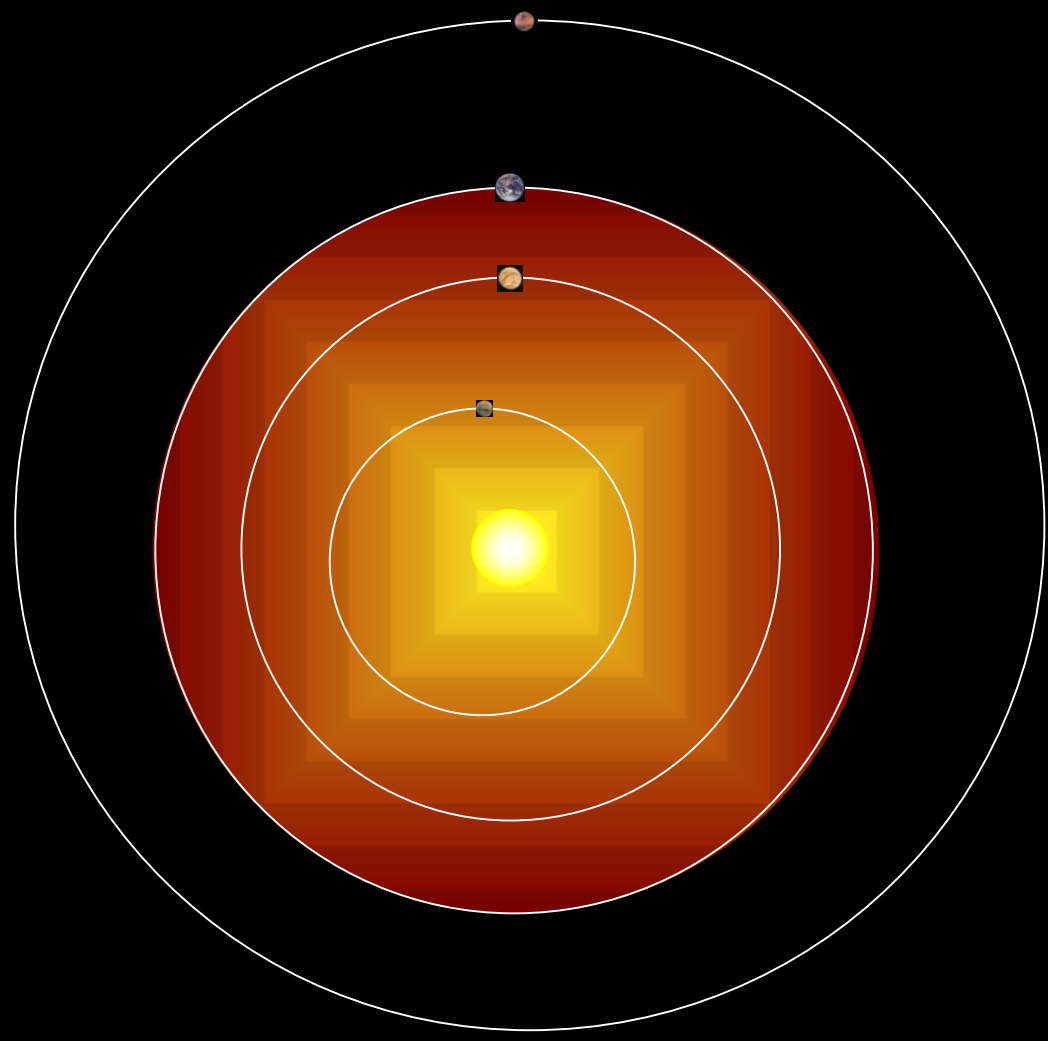
→ Kern wird mit He aus der
Schale gefüttert

→ Helium-Flash im Kern

→ Fusion im Kern: He zu C, O

2. ENDSTADIEN DER STERNE

2.1 STERNE MIT SONNENMASSE



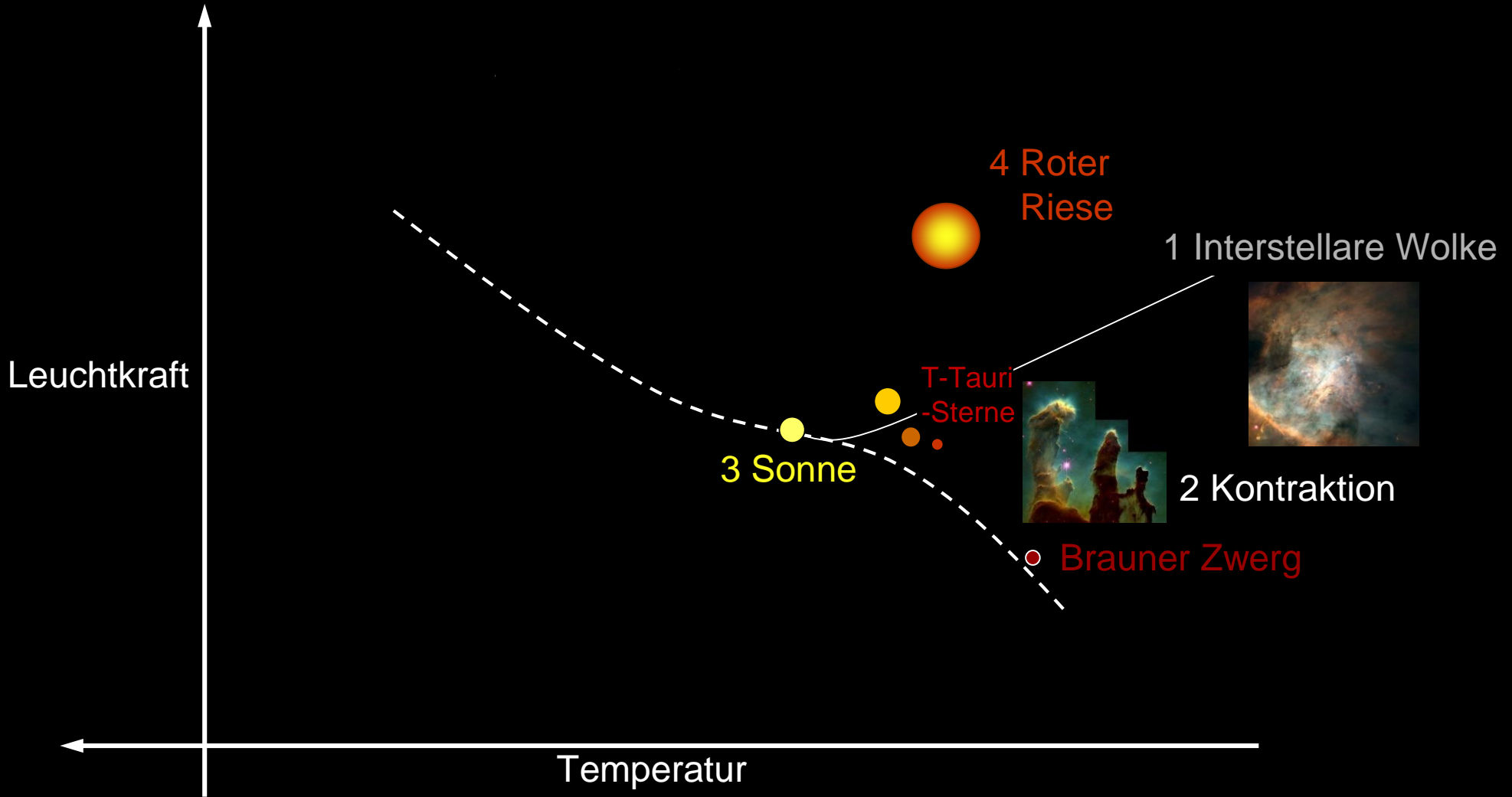
Bilder: NASA, Grafiken: S. Hanssen



2. ENDSTADIEN DER STERNE

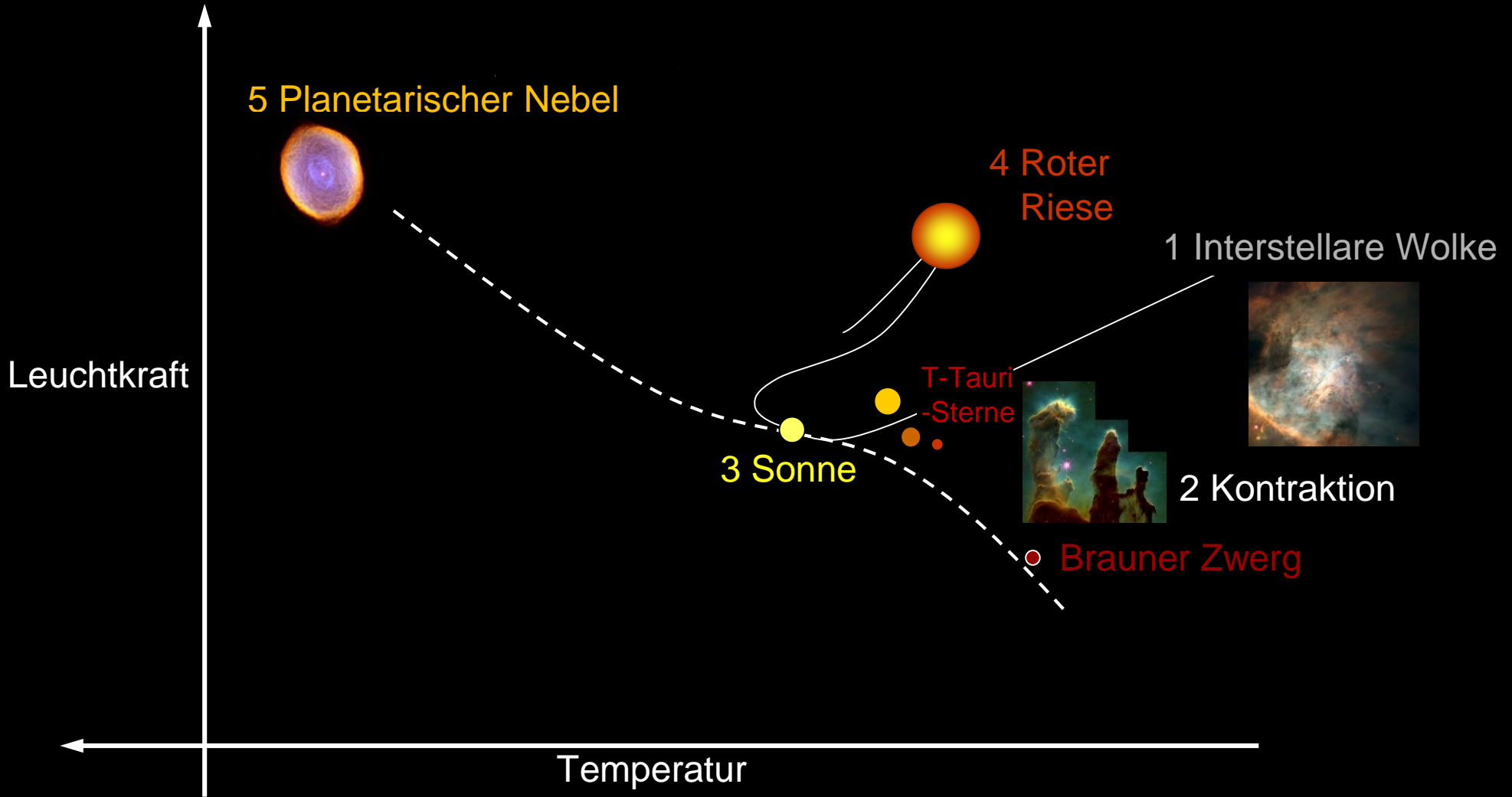
2.1 STERNE MIT SONNENMASSE

Stadium im HRD



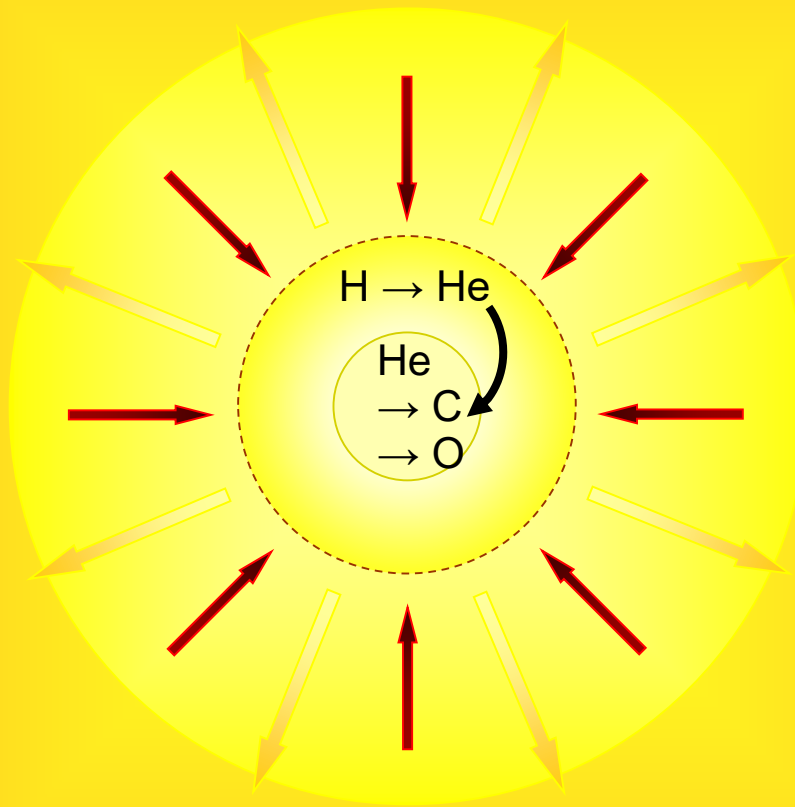
Bilder: „Orion.nebula.arp.750pix“ von NASA, C.R. O'Dell and S.K. Wong (Rice University) via <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Orion.nebula.arp.750pix.jpg> [Public Domain (PD-US-Gov)],
„Interstellar EGGs“ von NASA/ESA/STScI via https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_252.html [Public Domain (PD-US-Gov)]
Grafiken: S. Hanssen

2. ENDSTADIEN DER STERNE 2.1 STERNE MIT SONNENMASSE Stadium im HRD



Bilder: „Orion.nebula.arp.750pix“ von NASA, C.R. O'Dell and S.K. Wong (Rice University) via <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Orion.nebula.arp.750pix.jpg> [Public Domain (PD-US-Gov)]; „Interstellar EGGs“ von NASA/ESA/STScI via https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_252.html [Public Domain (PD-US-Gov)]; „Spirograph Nebula - Hubble 1999“ von NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA) via https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spirograph_Nebula_-_Hubble_1999.jpg [Public Domain]; Grafiken: S. Hanssen

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

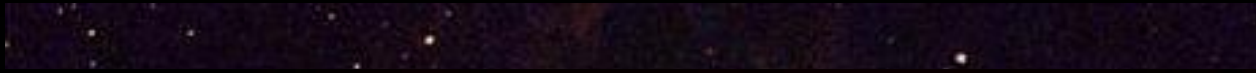
→ Helium-Flash im Kern

→ Fusion im Kern: He zu C, O

→ Starke Sonnenwinde blasen
Hülle weg

→ Planetarischer Nebel

Grafiken: S. Hanssen



Bilder:

„NGC 3132“ von Hubble Heritage Team (STScI/AURA/NASA/ESA) via https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NGC_3132.jpg [Public Domain (PD-USGov)];

„NGC 6369HST“ von NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA) via https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NGC_6369HST.jpg [Public Domain (PD-USGov)];

Planetarische Nebel

Weißer Zwerg

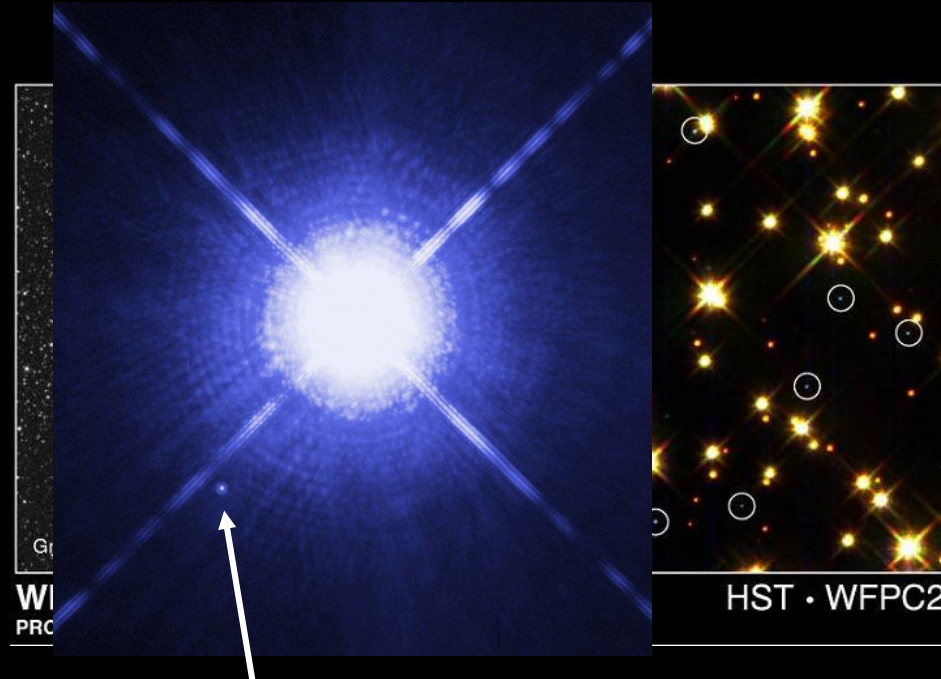
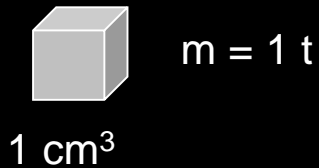
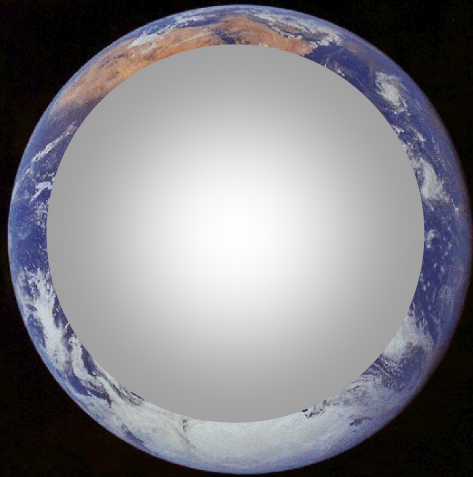
“NGC6751” von NASA, The Hubble Heritage Team (STScI/AURA) via <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NGC6751.jpg> [Public Domain (PD-USGov)];

„IC 418: The Spirograph Nebula“ von NASA, ESA, and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA); Acknowledgement: R. Sahai (JPL) et al. via <https://apod.nasa.gov/apod/ap100411.html> [Public Domain (PD-USGov)];

2. ENDSTADIEN DER STERNE 2.1 STERNE MIT SONNENMASSE

Weißer Zwerge

- Radius: ~ 5000 km (vgl. Erde 6378 km)
- Dichte: 10^6 g/cm^3



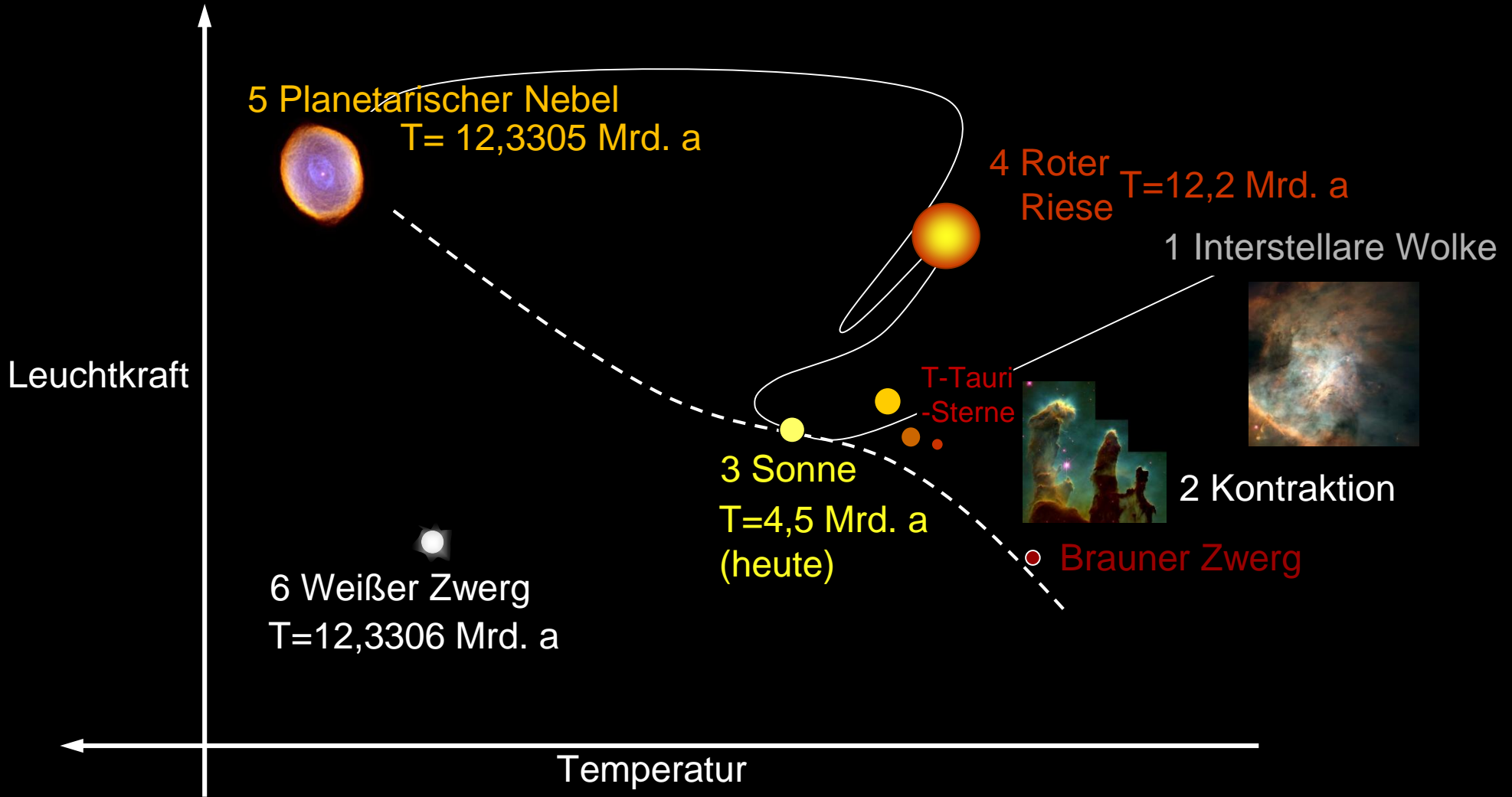
Z.B. Sirius B: R = 10 000 km
Temperatur 30 000 K
Masse ca. 1 M_{Sonne}
Dichte: 2000 g/cm³ (Sonne: 1,5 g/cm³)

Bilder: „Earth“ von der NASA via https://nssdc.gsfc.nasa.gov/photo_gallery/photogallery-earth.html [Public Domain (PD-US-Gov)]; „Sirius A and B Hubble photo“ von NASA, ESA, H. Bond (STScI), and M. Barstow (University of Leicester) via https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sirius_A_and_B_Hubble_photo.jpg [CC BY 3.0]; „Optical Image (left) and a portion of the Hubble Space Telescope observation (right) of the globular cluster M4“ von der NASA via <https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/objects/dwarfs1.html> [Public Domain (PD-US-Gov)]; Grafiken: S. Hanssen

2. ENDSTADIEN DER STERNE

2.1 STERNE MIT SONNENMASSE

Stadium im HRD

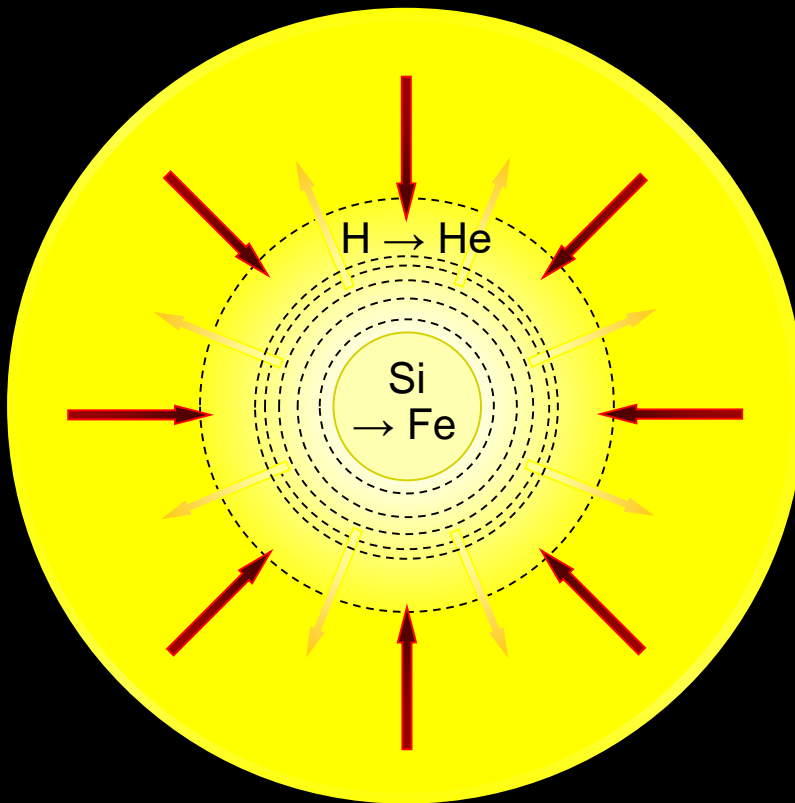


Bilder: „Orion.nebula.arp.750pix“ von NASA, C.R. O'Dell and S.K. Wong (Rice University) via <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Orion.nebula.arp.750pix.jpg> [Public Domain (PD-US-Gov)]; „Interstellar EGGs“ von NASA/ESA/STScI via https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_252.html [Public Domain (PD-US-Gov)]; „Spirograph Nebula - Hubble 1999“ von NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA) via https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spirograph_Nebula_-_Hubble_1999.jpg [Public Domain]; Grafiken: S. Hanssen

2. ENDSTADIEN DER STERNE

2.2 STERNRESTE MIT EISENKERN UND ÜBER 1,2 SONNENMASSEN

Überriese



Schalenbrennen ohne Entartung des Kerns:

Von Außen nach Innen:

H → He

He → C, O

C → N, Mg

N → O, Mg

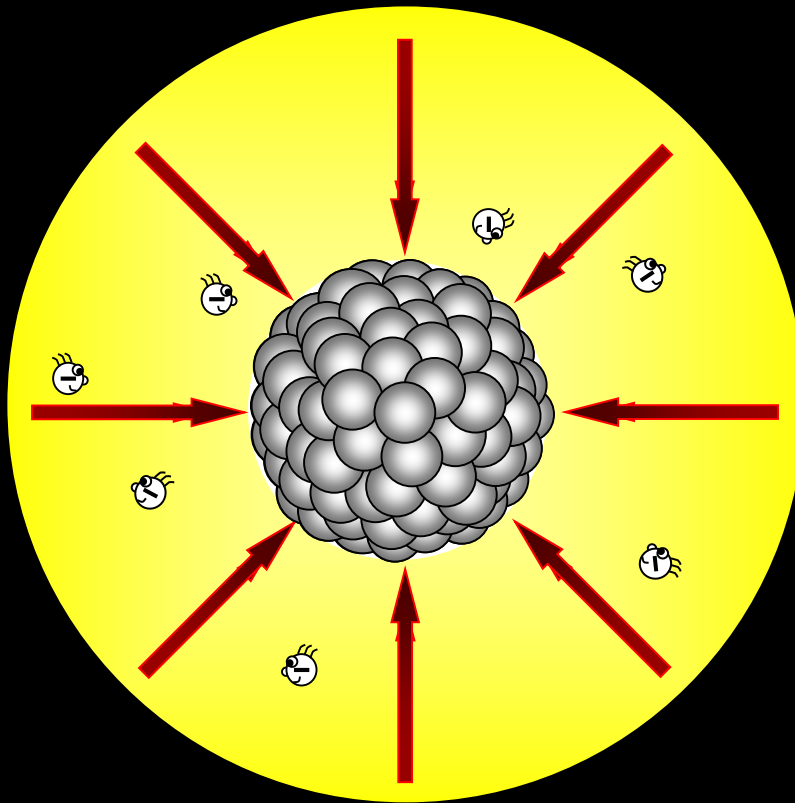
O → Si

Si → Fe

2. ENDSTADIEN DER STERNE

2.2 STERNRESTE MIT EISENKERN UND ÜBER 1,2 SONNENMASSEN

KERN:

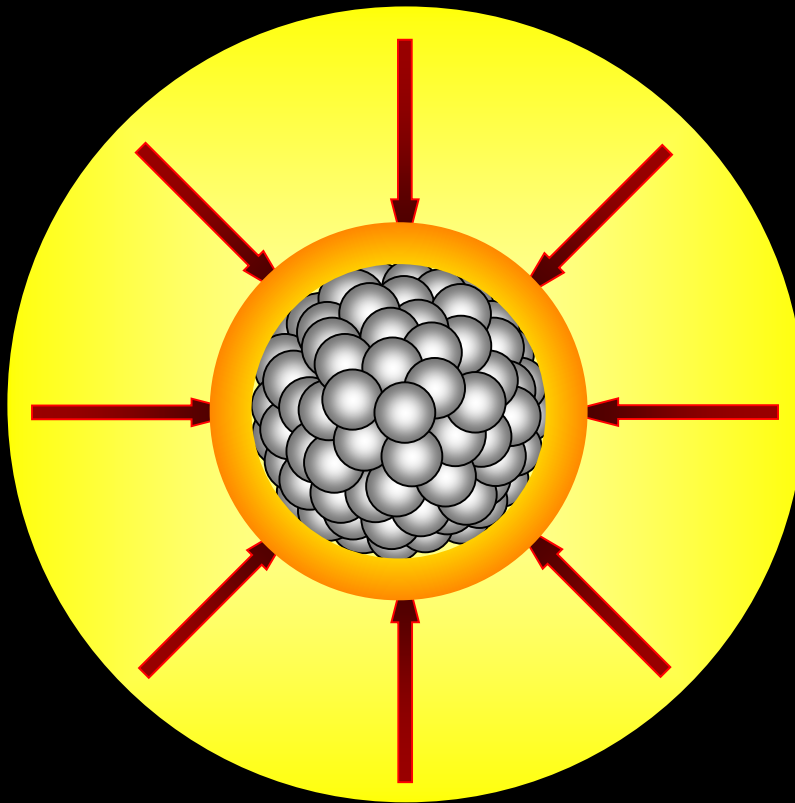


- Fusionsvorräte im Kern verbraucht
- Kern kühlt ab
- Gravitationsdruck so gewaltig, dass Elektronen im Kern mit den Atomkernen reagieren
- Neutronenkugel

2. ENDSTADIEN DER STERNE

2.2 STERNRESTE MIT EISENKERN UND ÜBER 1,2 SONNENMASSEN

KERN:



- Fusionsvorräte im Kern verbraucht
- Kern kühlt ab
- Gravitationsdruck so gewaltig, dass Elektronen im Kern mit den Atomkernen reagieren
- 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:

„Ngc2392“ von NASA, ESA, Andrew Fruchter (STScI), and the ERO team (STScI + ST-ECF) via <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ngc2392.jpg> [Public Domain (PD-USGov)]

„Catseye-big“ von NASA, ESA, HEIC, and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA) via <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Catseye-big.jpg> [Public Domain (PD-USGov)]

„MyCn18-crop“ von NASA, R. Sahai, J. Trauger (JPL), and The WFPC2 Science Team via <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MyCn18-crop.png> [Public Domain (PD-USGov)]

„SN1994D.jpg“ von NASA/ESA, The Hubble Key Project Team and The High-Z Supernova Search Team via <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SN1994D.jpg> [CC BY 3.0]

„Crab Nebula“ von NASA, ESA, J. Hester and A. Loll (Arizona State University) via https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Crab_Nebula.jpg [Public Domain (PD-USGov)]

2. ENDSTADIEN DER STERNE

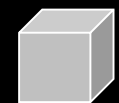
2.2 STERNRESTE MIT EISENKERN UND ÜBER 1,2 SONNENMASSEN

Neutronensterne

- Radius: ~ 10 km
- Dichte: 10^{14} g/cm³



Stuttgart



1 cm³

m = 100 Mio. t

Bild links: „Stuttgart Stadtbezirke.svg“ von Franzpaul via https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stuttgart_Stadtbezirke.svg [CC BY-SA 3.0]



Vela Pulsar (Sternbild Segel)

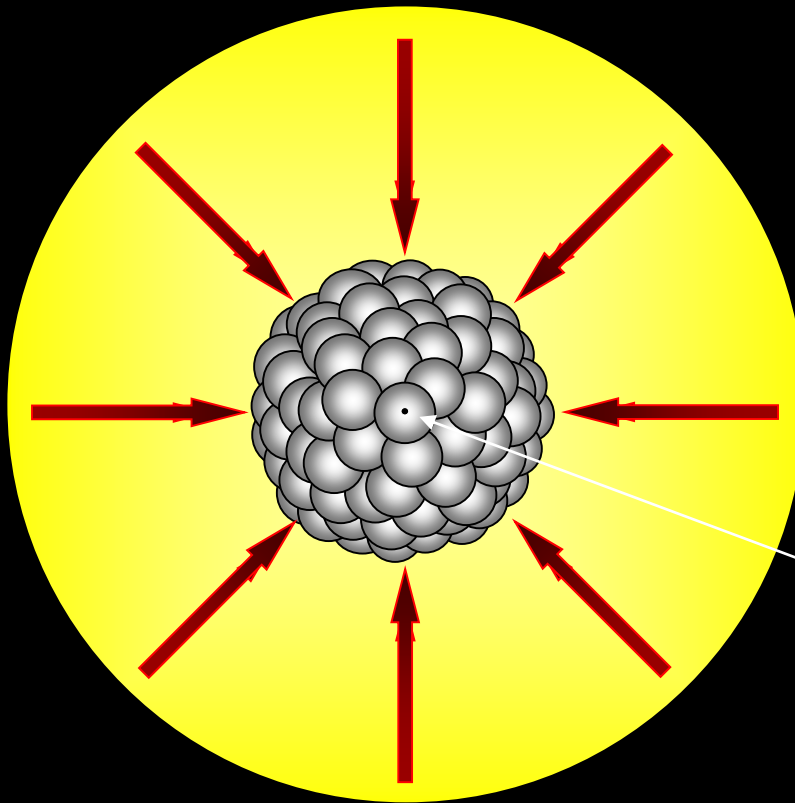
Bild rechts: „Vela Pulsar jet“ von NASA/CXC/PSU/G.Pavlov et al. via https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vela_Pulsar_jet.jpg [Public Domain (PD-USGov)]

Grafiken: S. Hanssen

2. ENDSTADIEN DER STERNE

2.3 STERNRESTE MIT ÜBER 3,2 SONNENMASSEN

KERN:

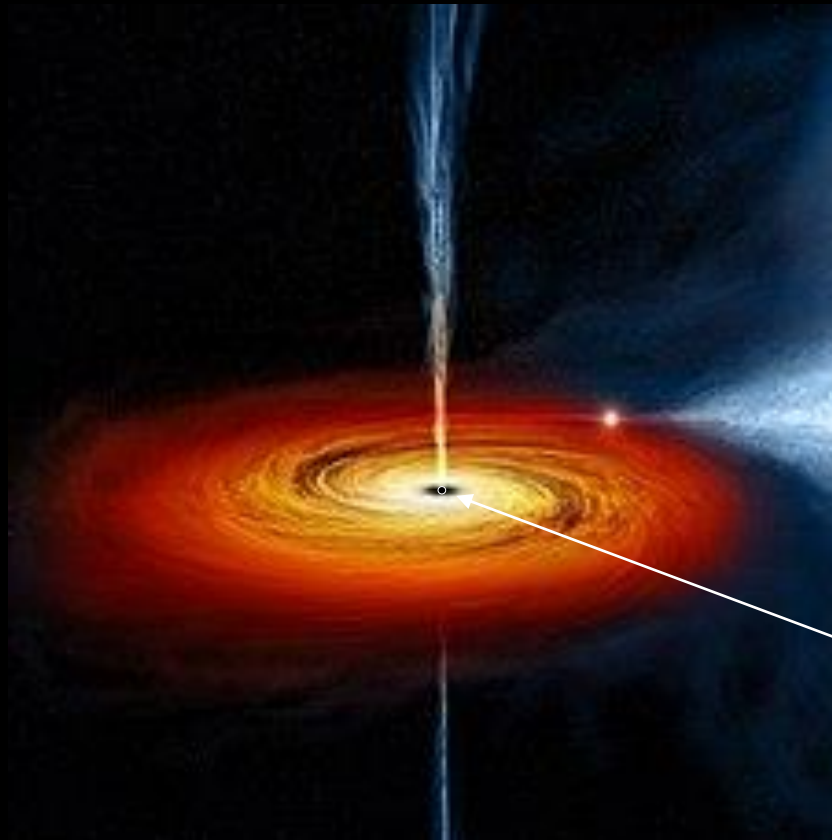


- Neutronendruck kollabiert im Gravitationsfeld
- Kontraktion geht weiter
- Gravitation so gewaltig, dass Licht nicht mehr entweichen kann.

Schwarzes Loch

2. ENDSTADIEN DER STERNE

2.3 STERNRESTE MIT ÜBER 3,2 SONNENMASSEN



- ~~Neutrosendruck~~ kollabiert im ~~Erststadium~~ ~~stärkster~~ Kandidat
- ~~Kontraktion~~ ~~hohes~~ ~~Schwerkraft~~
- Gravitation so gewaltig, ~~(kann Lichtstrahl)~~ ~~entweichen~~ kann.

Schwarzes Loch

Bild: "Black hole Cygnus X-1" von NASA/CXC/M.Weiss via
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=27481945>
 [Public Domain (PD-US(Gov))]

2. ENDSTADIEN DER STERNE

2.3 STERNRESTE MIT ÜBER 1,4 BZW. 3,2 SONNENMASSEN

Stadium im HRD

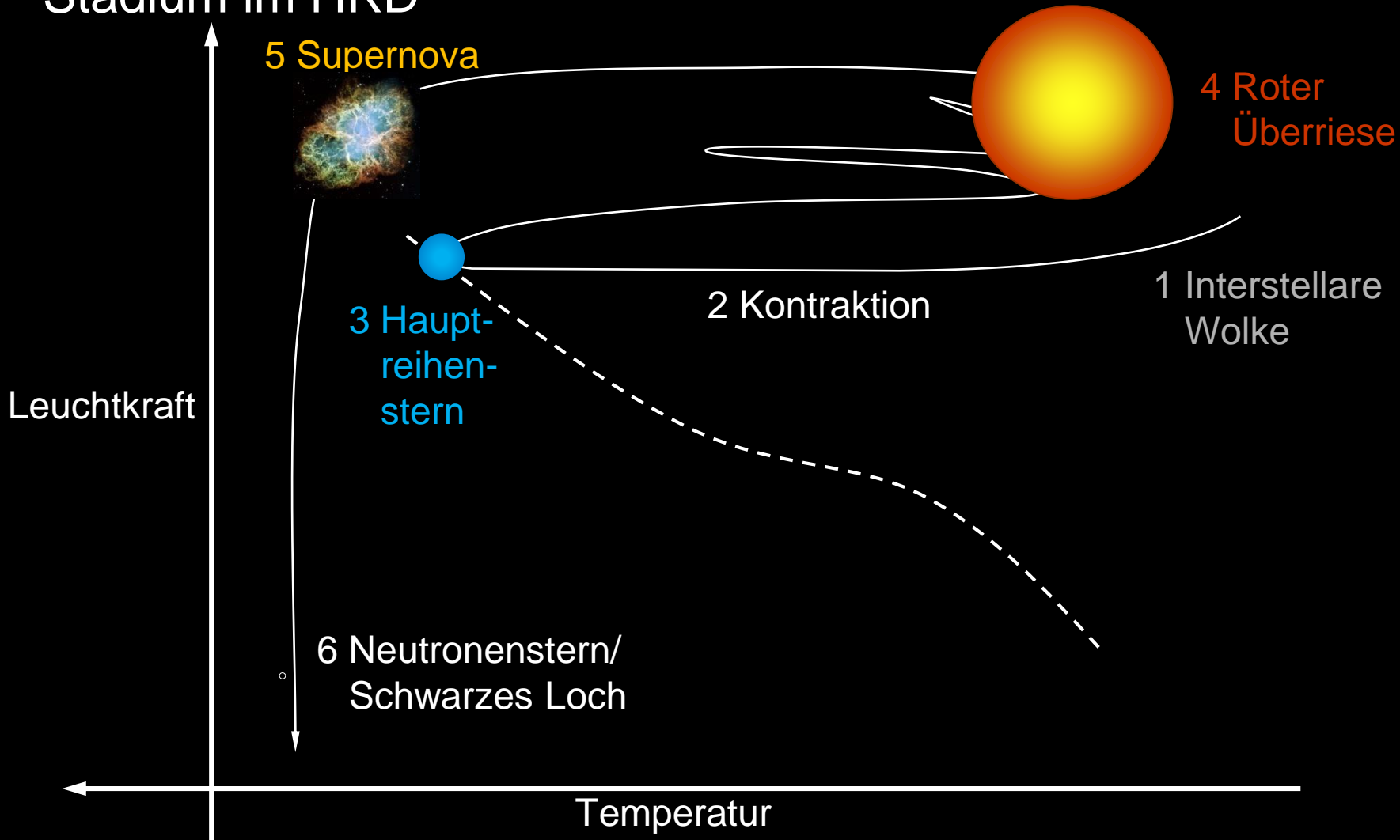


Bild: „Crab Nebula“ von NASA, ESA, J. Hester and A. Loll (Arizona State University) via https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Crab_Nebula.jpg [Public Domain (PD-USGov)], Grafiken: S. Hanssen