

# Einführung in die Astronomie und Astrophysik, Teil I

## Kapitel 1

### Ein astronomischer Blick um uns herum: Eine Erkundungstour durch das Universum

Teil 2 – 25.10.2012

Cornelis Dullemond  
Ralf Klessen

Bevor wir mit unserer  
Erkundungstour weiter gehen...

# Was sind diese komischen Namen?

- Die Nomenklatur der Sterne scheint etwas chaotisch zu sein... Das ist, weil es viele unterschiedliche Kataloge gibt, und auch oft historische Namen.
- Viele Sterne haben mehrere Namen!
- Beispiel: Sirius =
  - $\alpha$  Canis Majoris ( $\alpha$  CMa), 9 Canis Majoris (9 CMa), HD 48915, HR 2491, BD -16°1591, HIP 32349 etc etc
  - Und es gibt auch noch Namen in unterschiedlichen Sprachen: Dog Star, Aschere, Canicula, Al Shira, Sothis, Alhabor, Mrgavyadha, Lubdhaka, Tenrōsei...
- Führt häufig zu **Verwirrung** (“lass uns HD 48915 beobachten”, “Nein, ich beobachte lieber HR 2491...”)

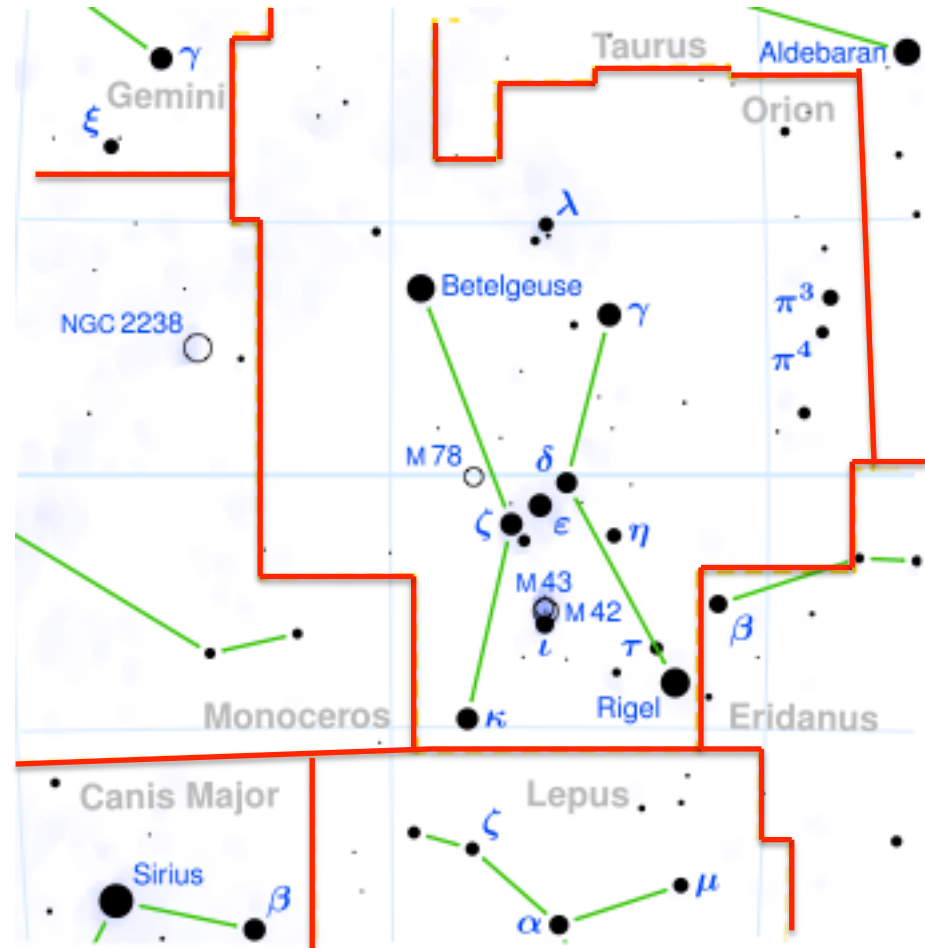
# Was sind diese komischen Namen?

- $\alpha$  Canis Majoris (*Bayer designation*):
  - Canis Majoris = Sternbild
  - $\alpha$  ist hellster Stern,  $\beta$  ist zweithellster Stern etc., aber dies ist nicht rigoros.
- T Tauri (*erweiterte Bayer designation*):
  - Apropos: Ist berühmter junger Stern mit “protoplanetarer Scheibe” (ist eigentlich Dreifach-Stern)
  - Manchmal erweitert mit 2 Lateinischen Buchstaben: z.B. AB Aurigae (auch ein junger Stern mit Scheibe)
- 55 Cancri (*Flamsteed designation*):
  - Cancer = Sternbild
  - 55 ist Nr. 55 in dem Katalog von Flamsteed
  - Apropos: Ist berühmter Stern mit 5 Exoplaneten!



# Sternbilder: Offiziell

Es gibt offiziell festgelegte Grenzen, so dass jeder Stern eindeutig einem Sternbild zugeordnet werden kann

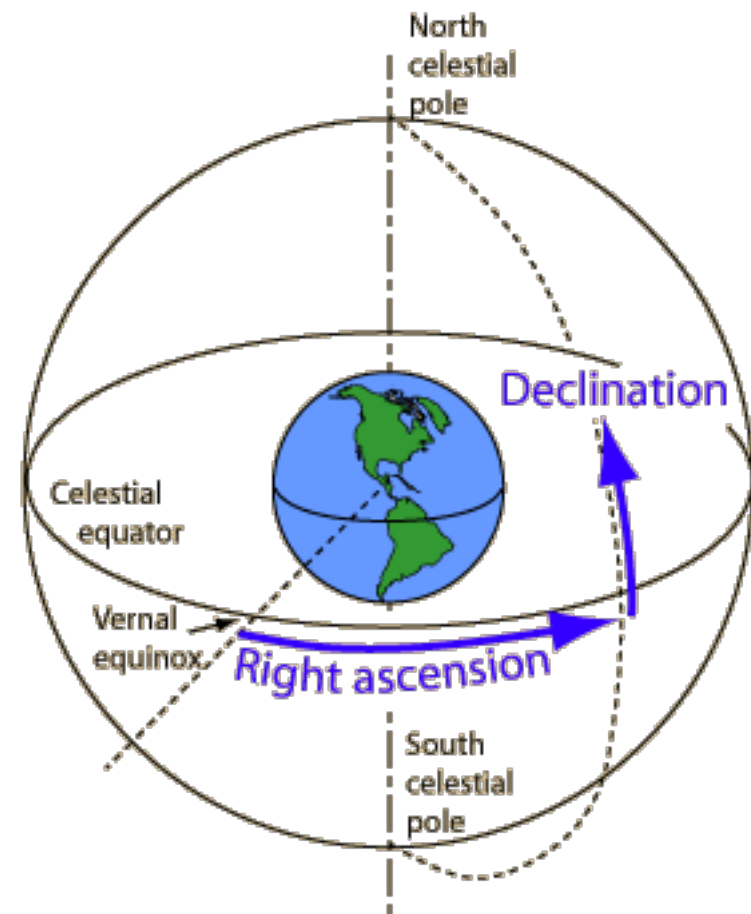


# Weitere Stern-Namen...

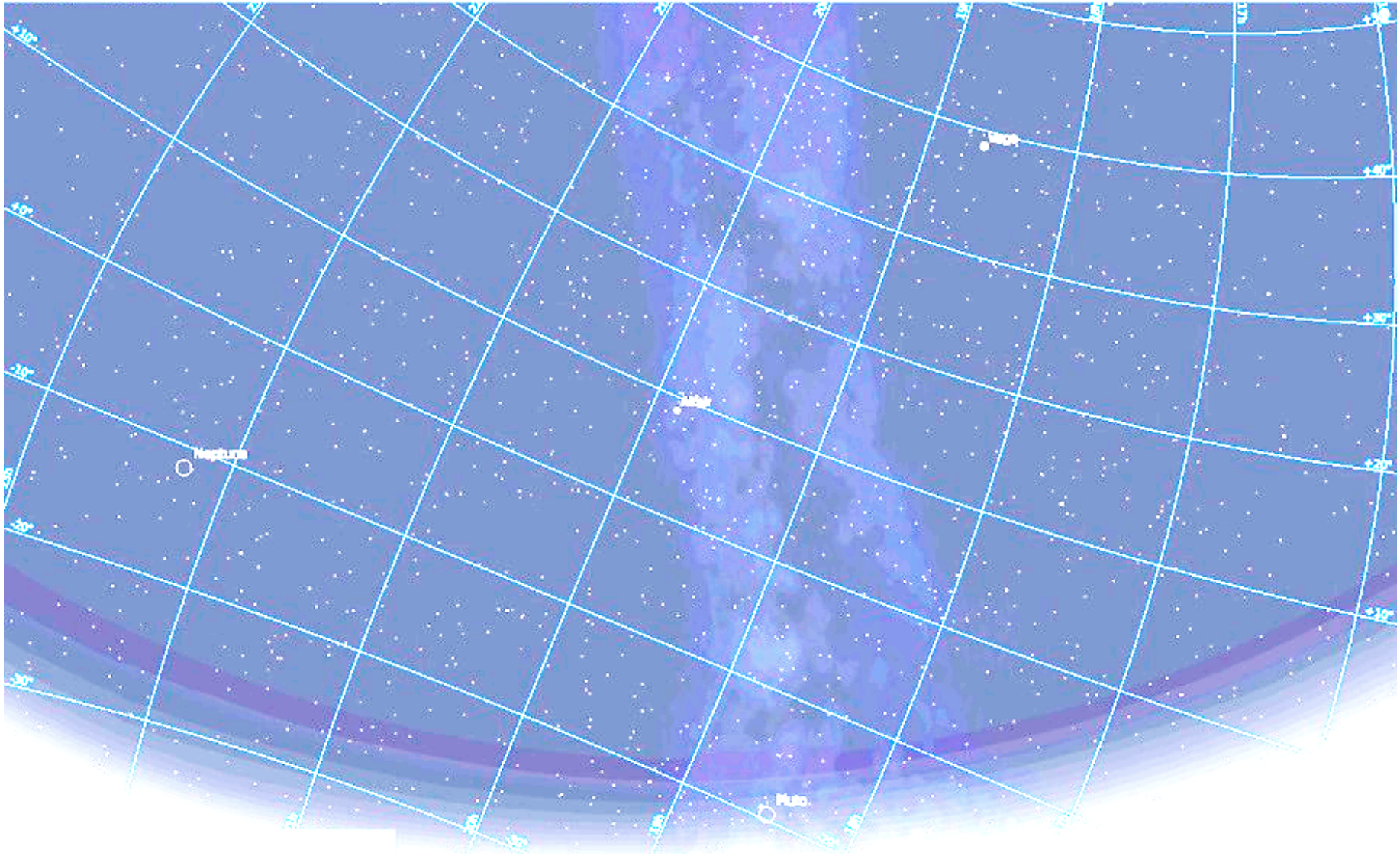
- BD xxxx : *Bonner Durchmusterung*
- HD xxxxx : *Henry Draper Katalog*
- HR xxxx : *Bright Star Catalog („Harvard Revised“)*
- HIP xxxxxx : *Hipparcos Catalog*
- 2MASS xxxxxxxx : *2-Micron All Sky Survey Katalog*
- SAO xxxxx : *Smithsonian Astrophysical Observatory*
- etc etc
  
- **Verwirrend? Ja! Aber es gibt Abhilfe:**
  - <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>

# Koordinaten

- Das Koordinatensystem des Sternhimmels ist an unserer Erde orientiert.
- Deklination wird in Grad (degrees) gemessen, mit Unterstufen Bogenminuten (') und Bogensekunden ('').
- Rektaszension wird in Stunden gemessen ( $360^\circ=24\text{hr}$ ), mit Unterstufen Minuten (m) und Sekunden (s).



# Probieren Sie es mal aus:



<http://www.stellarium.org>

# Wie quantifiziert man die Helligkeit eines Sterns?

- Zwei Arten von Helligkeits-Quantifizierung:
  - Physikalische Weise:  $\text{erg/cm}^2/\text{s/Hz} = \text{Fluss}$ . Symbol dafür ist  $F$ . Mehr dazu später...
  - Empirische Weise: Vergleich mit einem „Standardstern“. Der Standardstern der per Definition Helligkeit 1 hat ist Vega (siehe vorher). Wenn Stern X zum Beispiel 6.3x so hell ist wie Vega (also  $F_X = 6.3 F_{\text{Vega}}$ ), so ist seine Helligkeit 6.3. Aber Astronomen schreiben nie „6.3“ als Helligkeit. Sie benutzen stattdessen „Magnituden“:

$$m = -2.5 \log \left( \frac{F}{F_{\text{Vega}}} \right) = -1.08574 \ln \left( \frac{F}{F_{\text{Vega}}} \right) \approx -\ln \left( \frac{F}{F_{\text{Vega}}} \right)$$

- Warum  $2.5 \log$  und nicht gleich  $\ln$ ? Warum ein Minus-Zeichen? Blame Hipparchus (150 BC), N.R. Pogson (1856)

Weiter geht's mit der  
Erkundungstour:

Arten von Sternen



# Sternbild Orion

Betelgeuze



Orion Nebel  
(Stern-Entstehungs-Gebiet)



Rigel

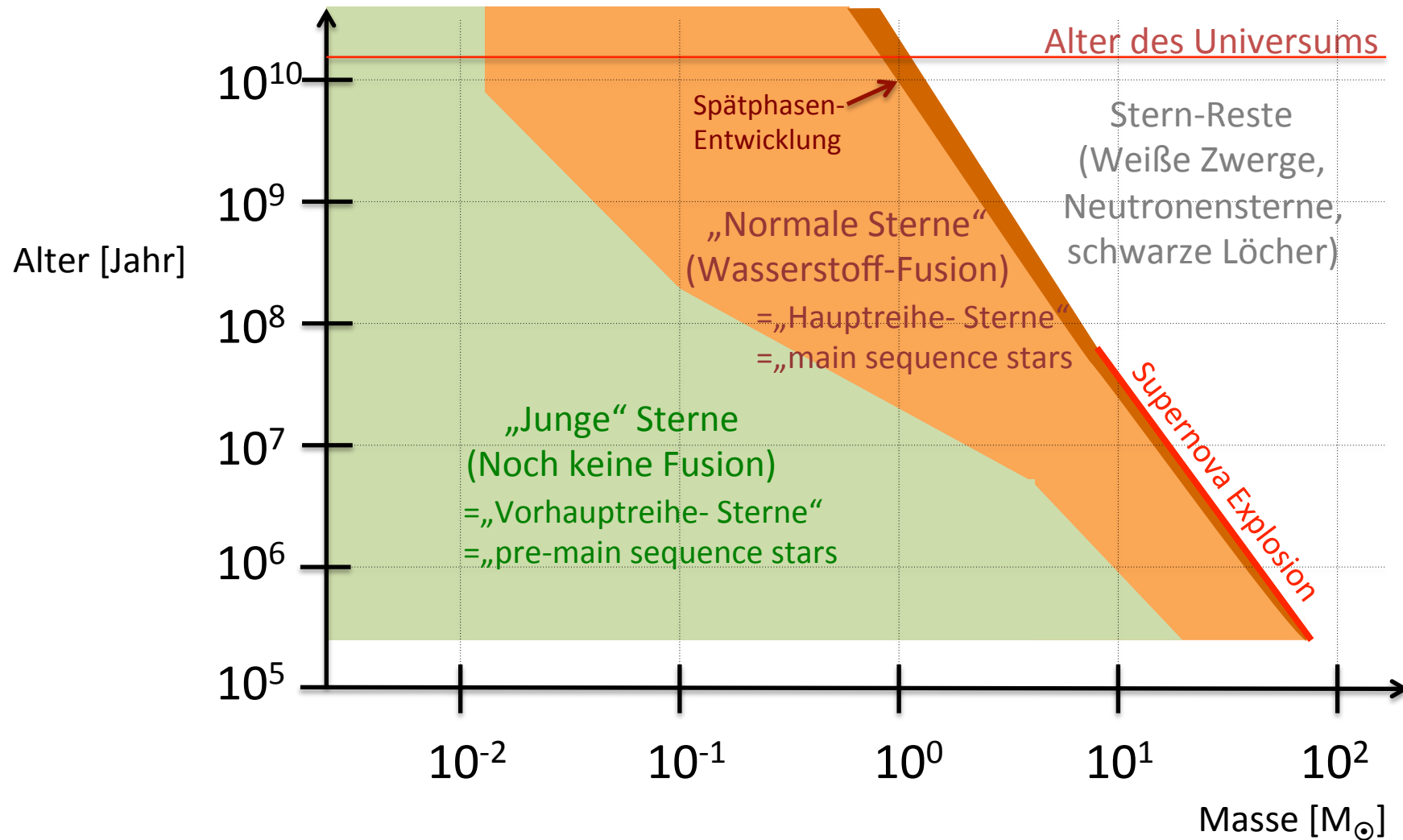


# Hauptsächlich 2 Parameter:

- Masse:
  - Kleinste Masse:  $13 M_{\text{Jupiter}} \approx 0.013 M_{\odot}$
  - Größte Masse:  $\sim 50..100 M_{\odot}$
- Alter:
  - Kleinstes Alter:  $\sim 0.5 \text{ Myr}$  ( $= 0.5 \times 10^6 \text{ Jahre}$ )
  - Größtes Alter:  $\sim \text{Alter des Universums} = 13.7 \text{ Gyr}$  ( $= 13.7 \times 10^9 \text{ Jahre}$ )
- Achtung:
  - Es gibt Sterne die nicht nur durch Masse und Alter charakterisiert werden: Sterne in Doppelstern-Systemen, weil dort die Sterne Masse austauschen können.
  - Ein kleiner Effekt gibt es auch durch die „Metallizität“ des Gases aus dem der Stern entsteht. Mehr dazu später.

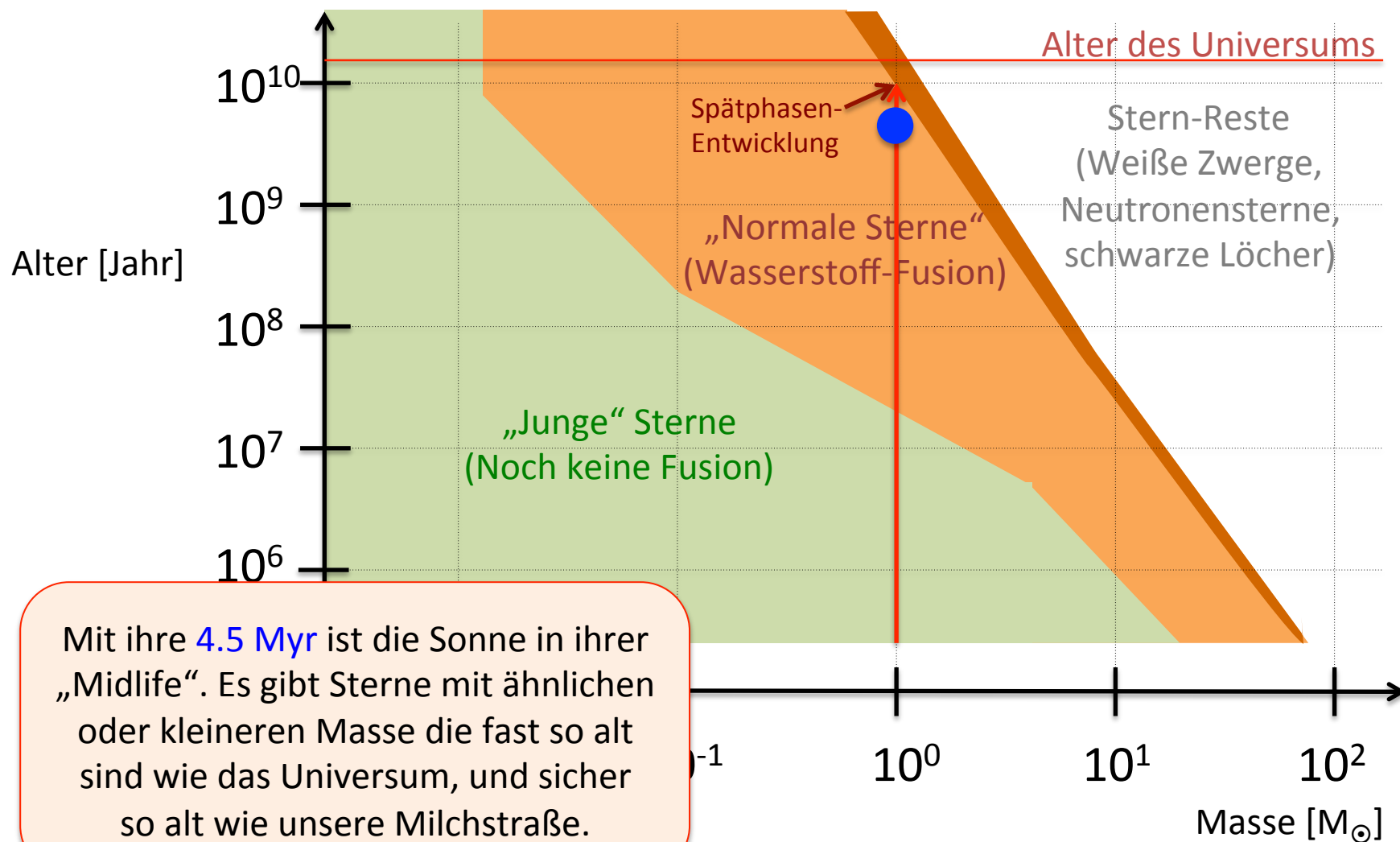


# Hauptsächlich 2 Parameter:



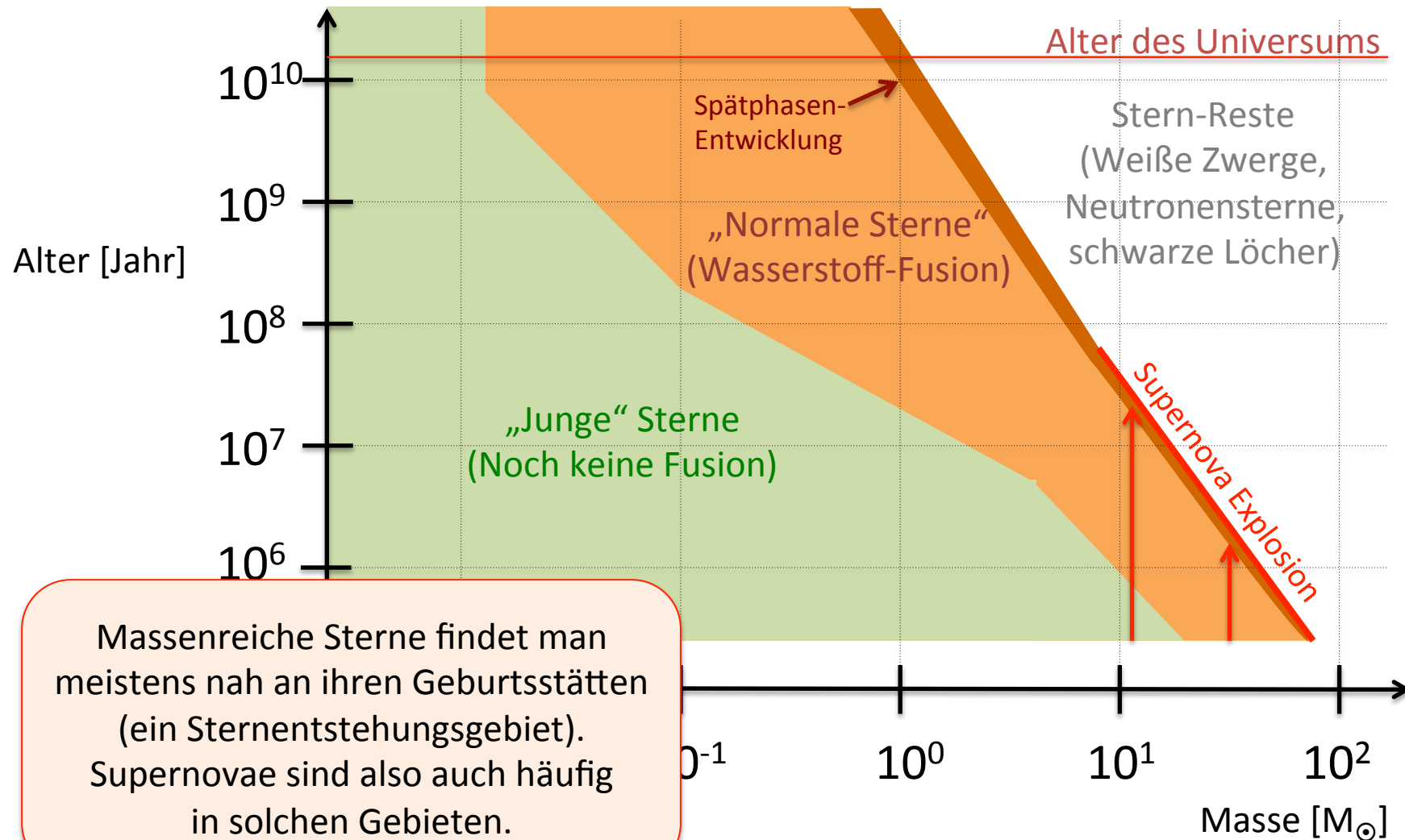
# Hauptsächlich 2 Parameter:

- Sonnen-ähnliche Sterne leben ca. 10 Milliarden Jahren



# Hauptsächlich 2 Parameter:

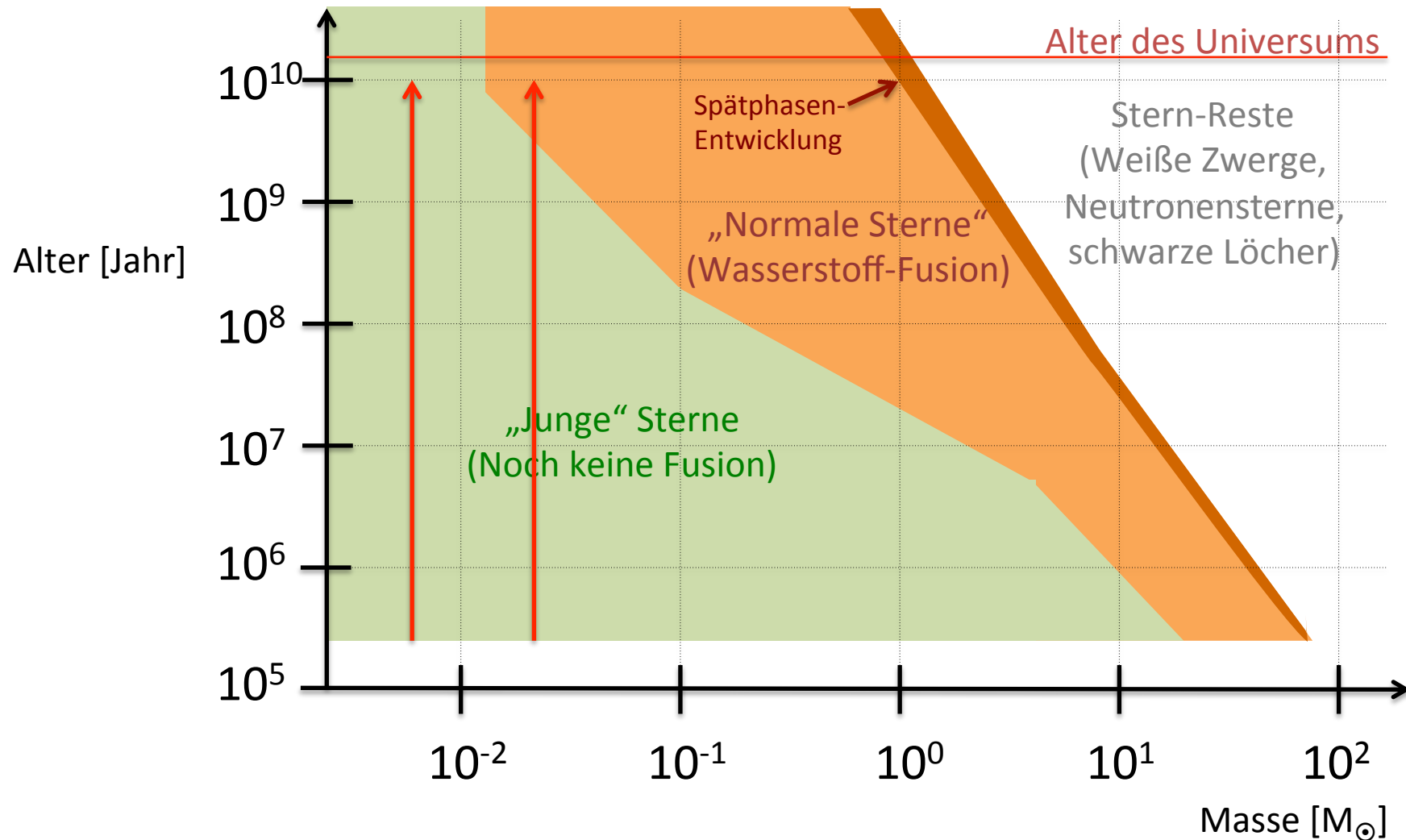
- Massenreiche Sterne leben viel kürzer (live fast, die young)



# Sternbild Orion

# Hauptsächlich 2 Parameter:

- Niedrig-Masse Sterne werden spät oder nie erwachsen...





# Die Hauptreihe

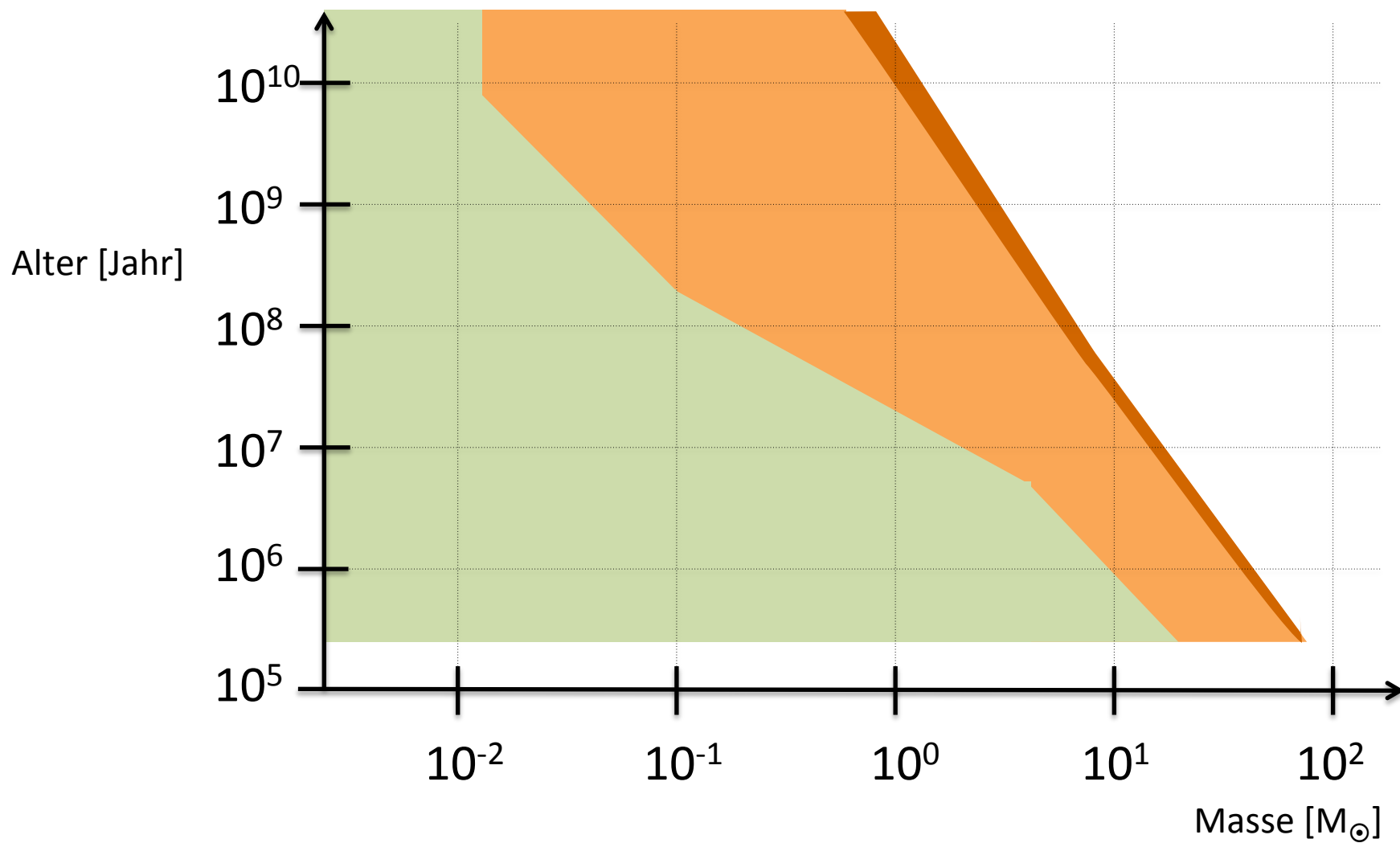
- In ihrer „erwachsenen Phase“ („normale Sterne“) verändern sich die Sterne kaum mit der Zeit.
- Sterne mit (ungefähr) Masse  $\geq 0.05 M_{\odot}$  befinden sich die meiste Zeit ihres Lebens in dieser „erwachsenen Phase“.
- Das heißt, dass die meisten Sterne sich kaum mit der Zeit verändern.
- **Bleibt nur 1 Parameter übrig: Die Masse.**
- Dies ist die Hauptreihe (Eng: „main sequence“)

# Die Hauptreihe

Class	Surface temperature <sup>[8]</sup> (kelvin)	Apparent color <sup>[9][10][11]</sup>	Mass <sup>[8]</sup> (solar masses)	Radius <sup>[8]</sup> (solar radii)	Luminosity <sup>[8]</sup> (bolometric)
<b>O</b>	≥ 33,000 K	blue	≥ 16 M <sub>☉</sub>	≥ 6.6 R <sub>☉</sub>	≥ 30,000 L <sub>☉</sub>
<b>B</b>	10,000–33,000 K	blue white	2.1–16 M <sub>☉</sub>	1.8–6.6 R <sub>☉</sub>	25–30,000 L <sub>☉</sub>
<b>A</b>	7,500–10,000 K	white to blue white	1.4–2.1 M <sub>☉</sub>	1.4–1.8 R <sub>☉</sub>	5–25 L <sub>☉</sub>
<b>F</b>	6,000–7,500 K	white	1.04–1.4 M <sub>☉</sub>	1.15–1.4 R <sub>☉</sub>	1.5–5 L <sub>☉</sub>
<b>G</b>	5,200–6,000 K	yellowish white	0.8–1.04 M <sub>☉</sub>	0.96–1.15 R <sub>☉</sub>	0.6–1.5 L <sub>☉</sub>
<b>K</b>	3,700–5,200 K	yellow orange	0.45–0.8 M <sub>☉</sub>	0.7–0.96 R <sub>☉</sub>	0.08–0.6 L <sub>☉</sub>
<b>M</b>	2,000–3,700 K	orange red	≤ 0.45 M <sub>☉</sub>	≤ 0.7 R <sub>☉</sub>	≤ 0.08 L <sub>☉</sub>
<b>L</b>	1,300–2,000 K	red	Unknown	Unknown	Unknown
<b>T</b>	700–1,300 K	purple-red	Unknown	Unknown	Unknown
<b>Y</b>	≤ 700 K	brown	Unknown	Unknown	Unknown

Quelle: [http://en.wikipedia.org/wiki/Stellar\\_classification](http://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_classification)

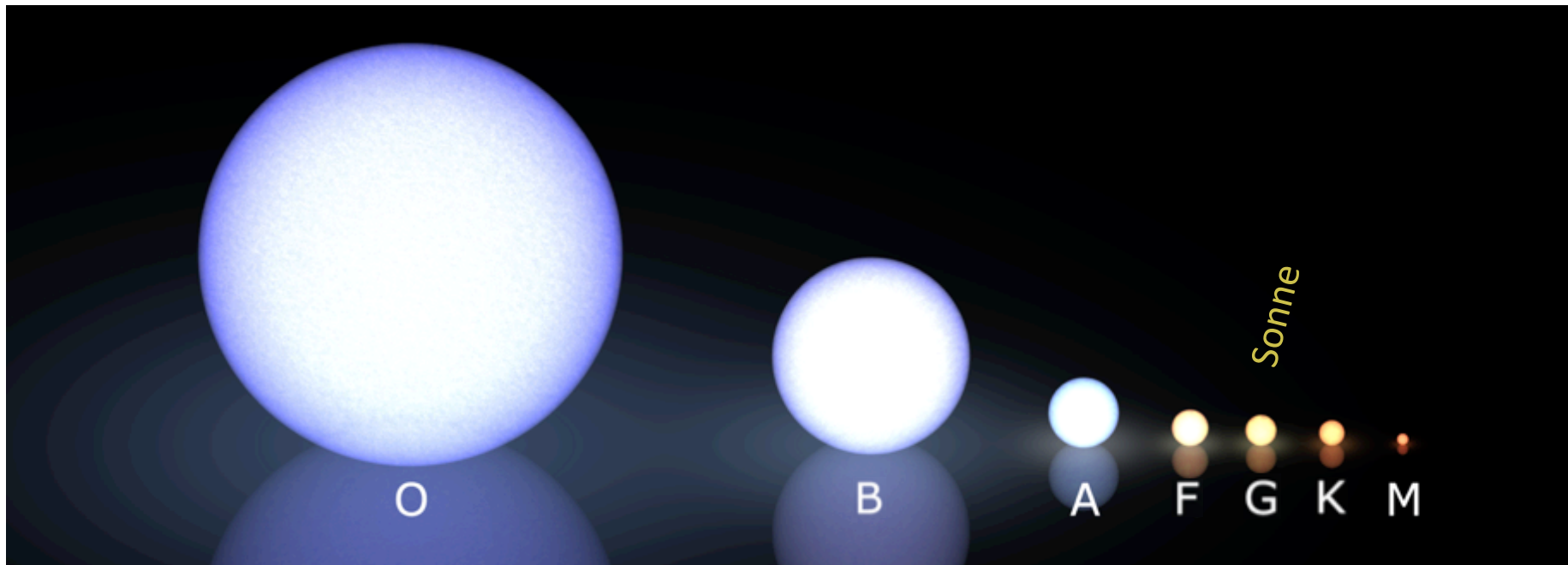
# Die Hauptreihe





# Gedächtnishilfe

O Be A Fine Guy/Girl, Kiss Me!



Urheber: Kieff. Quelle: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Morgan-Keenan\\_spectral\\_classification.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Morgan-Keenan_spectral_classification.png)

# Gedächtnishilfe

Moderne Version (mit L und T-Zwergen!) von Diane Nalini

Quelle: <http://www.kissmelikethat.com/lyrics.html>

**O Be A Fine Girl/Guy, Kiss Me Like That!**

Deutsche Version

(Quelle: Wikipedia)

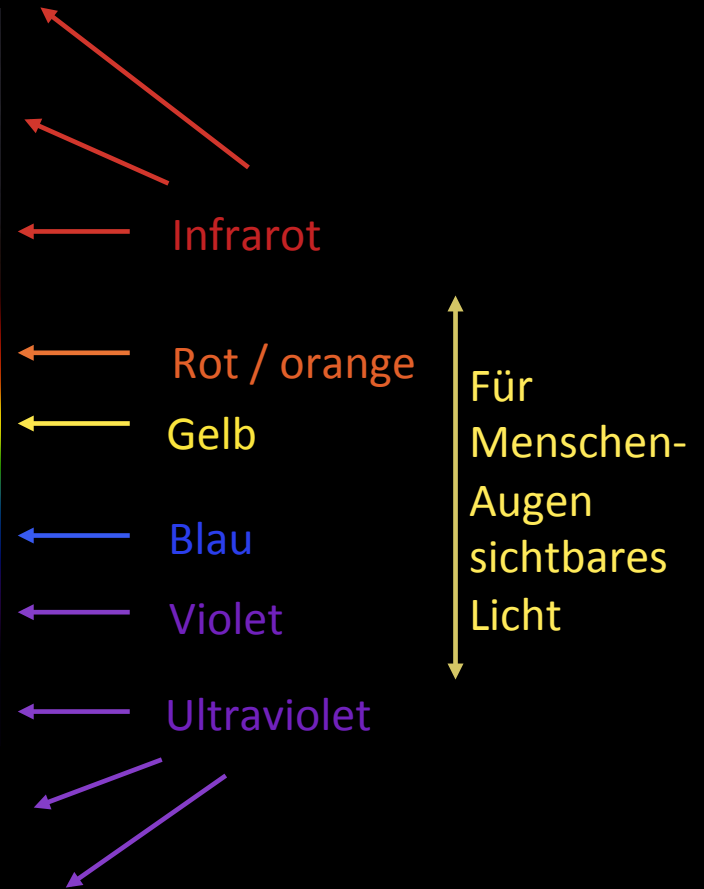
„**O**ffenbar **B**enutzen **A**stronomen **F**urchtbar **G**erne **K**omische **M**erksätze“

Bayerische Version

(Quelle: Wikipedia)

„**O**hne **B**ier **a**us'm **F**ass **g**ibt's **K**oa **M**ass“

# Farben



# Farbe = Temperatur



← Infrarot = lauwarm / kühl /  
kalt / sehr kalt

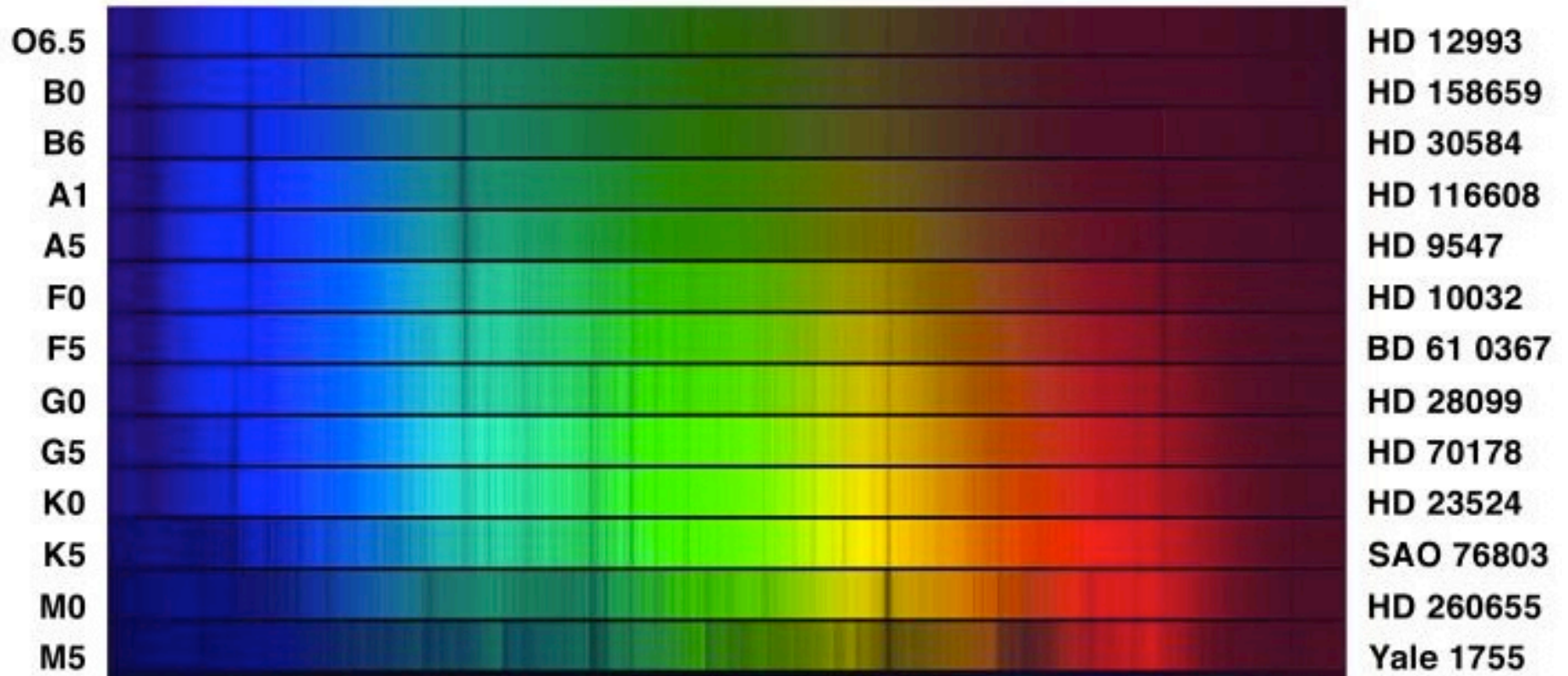
← Rot = warm

← Gelb = heiß

← Blau = sehr heiß

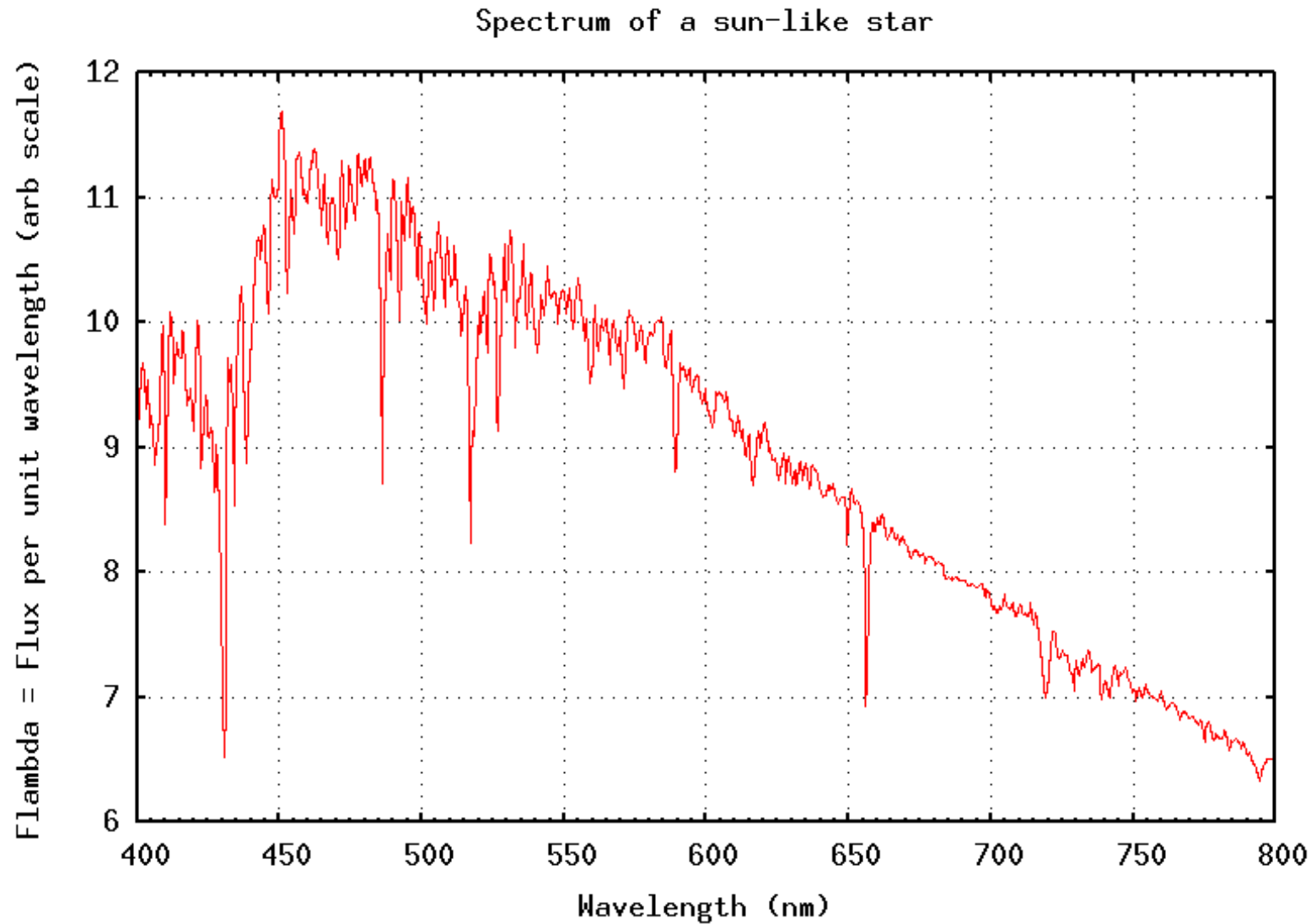
Genauerer (Planck-  
Funktion, Stellare  
Spektren, Strahlungs-  
Physik etc) werden  
wir später im Detail  
vertiefen.

# Spektren der Hauptreihesterne



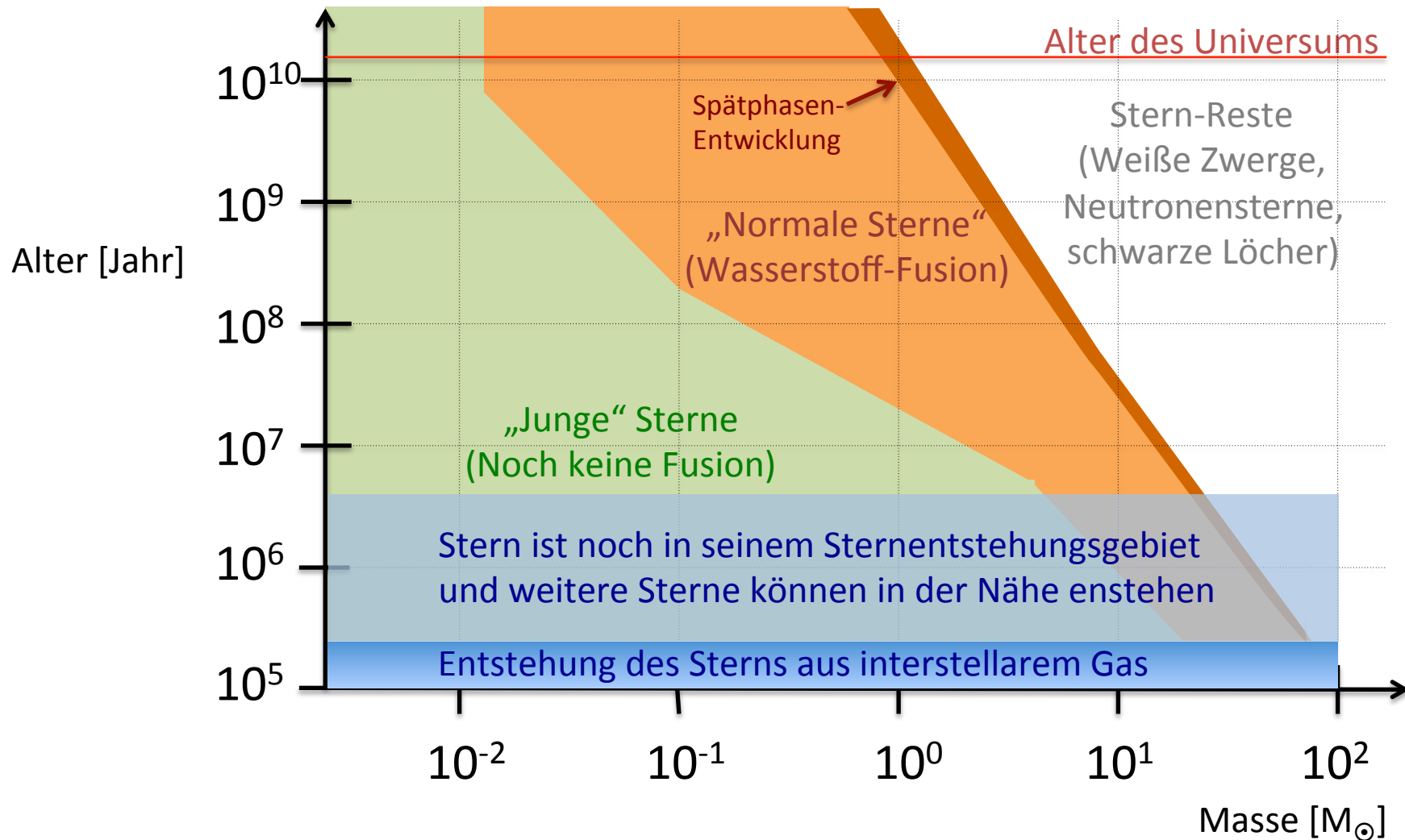
Source: Wikipedia; Credit: Robert Nemiroff (MTU) & Jerry Bonnell (USRA)

# Spektrum: professionelle Darstellung



# Hauptsächlich 2 Parameter:

- Entstehung von Sternen



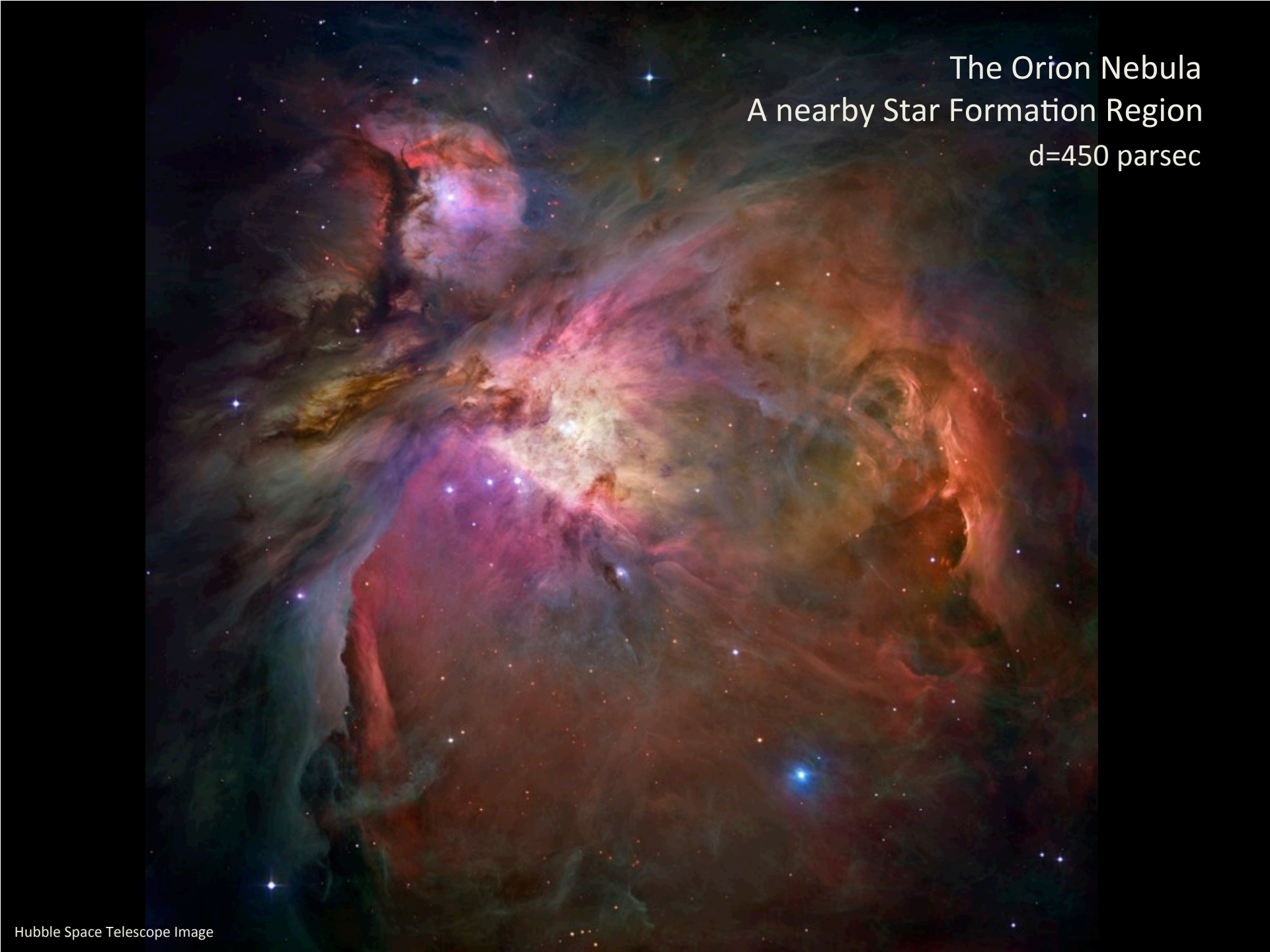


# Sternbild Orion

Orion Nebel  
(Stern-Entstehungs-Gebiet)





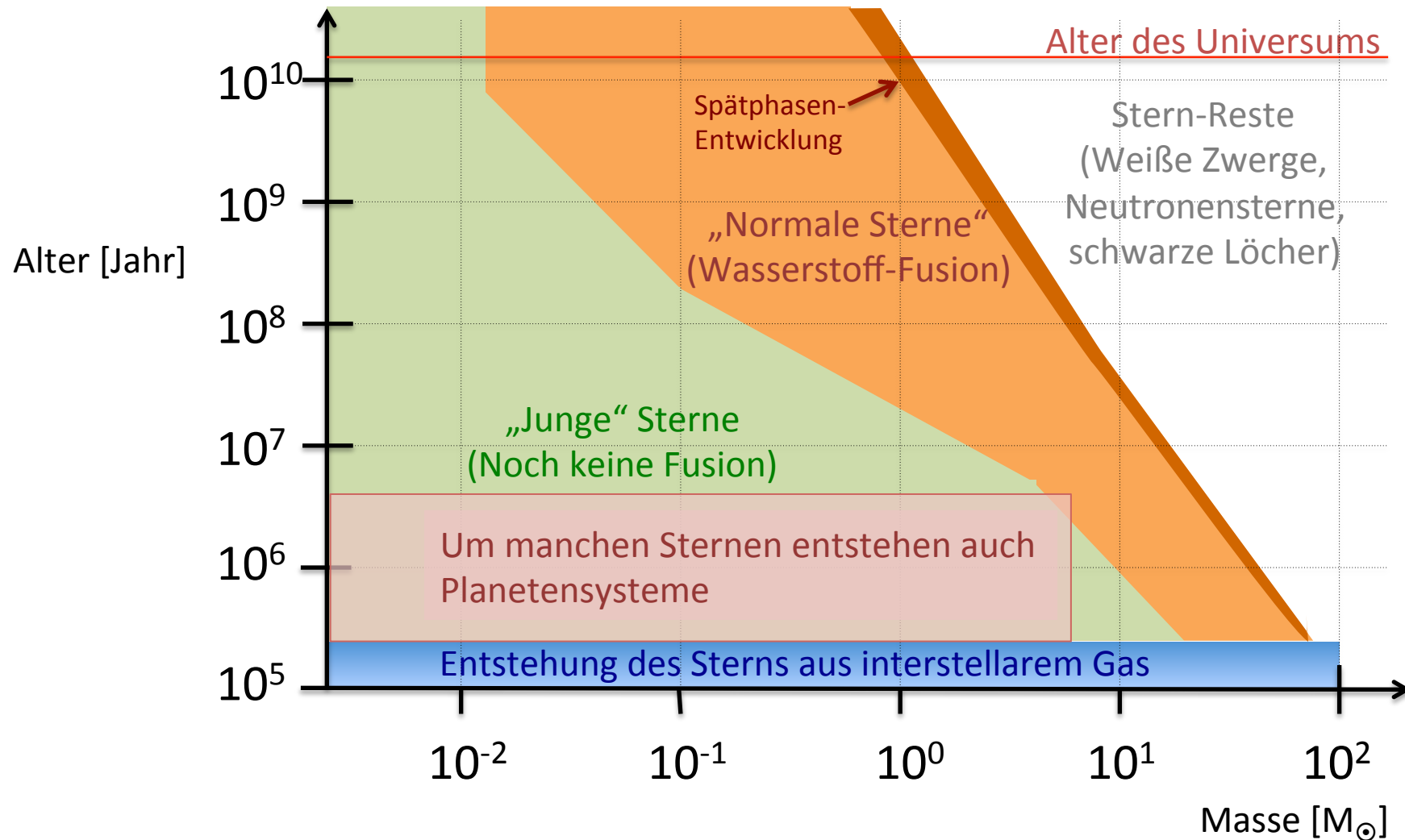


The Orion Nebula  
A nearby Star Formation Region  
d=450 parsec

Hubble Space Telescope Image

# Hauptsächlich 2 Parameter:

- Entstehung von Sternen



The Orion Nebula  
A nearby Star Formation Region



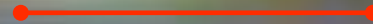




Hubble Space  
Telescope Image

Gas + Staub-Scheibe um jungen Stern  
aus der sich Planeten bilden

Hier ist irgendwo der junge  
neue Stern versteckt



= 500x Abstand Erde-Sonne  
= 16x Abstand Neptun-Sonne

# Jetzt wissen wir: Exoplaneten gibts reichlich

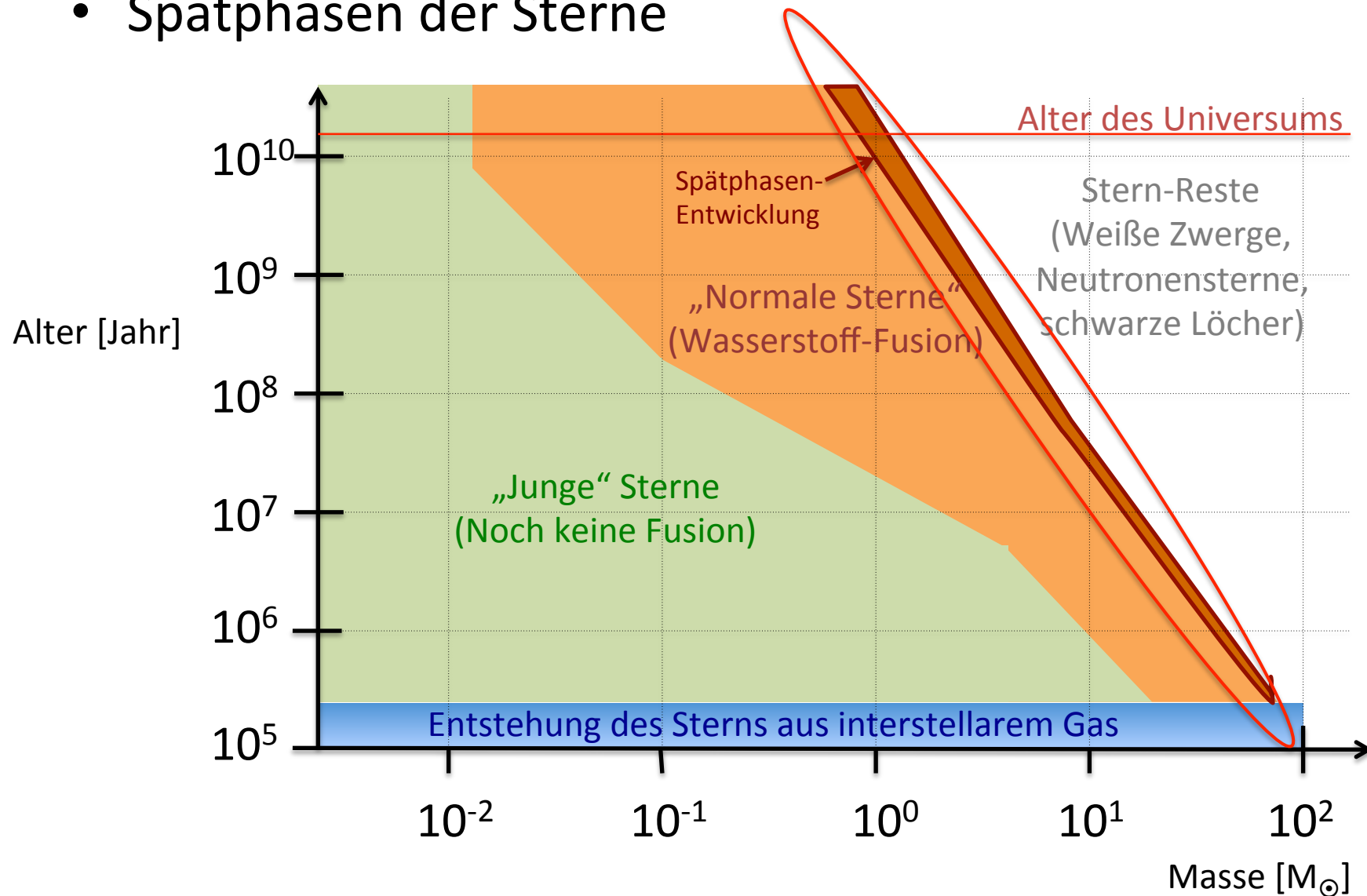


Künstlerische Darstellung des 55 Cancri „Sonnensystem“

Image credit: NASA/JPL-Caltech

# Hauptsächlich 2 Parameter:

- Spätphasen der Sterne





# Sternbild Orion

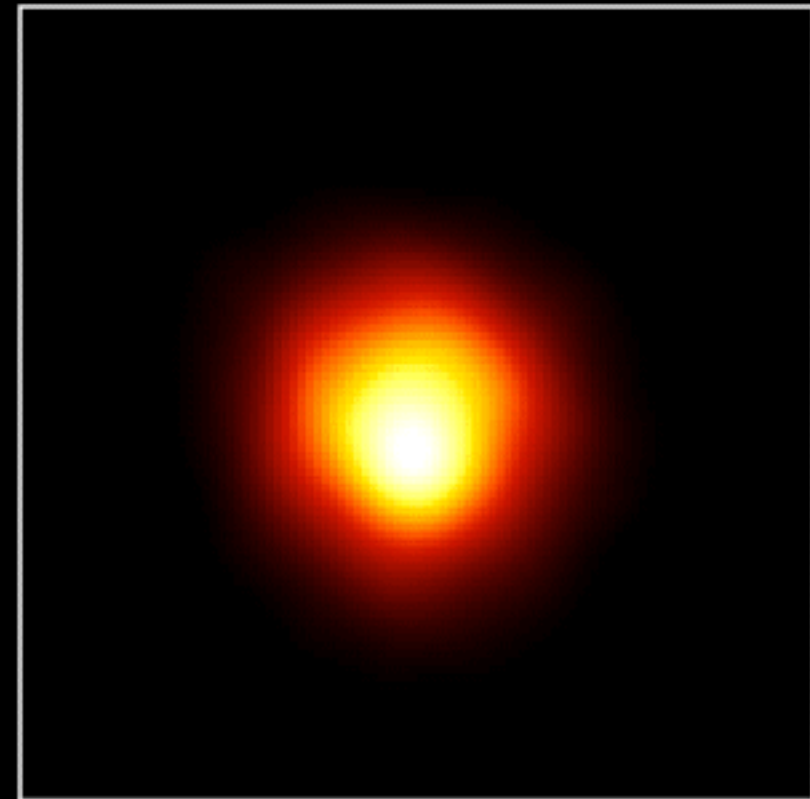
Betelgeuze





Betelgeuze: Der einzige Stern der so groß ist, das der Hubble Space Telescope ihn räumlich auflösen kann.


Er kann „jeden Moment“ als Supernova explodieren...



Size of Star

Size of Earth's Orbit

Size of Jupiter's Orbit

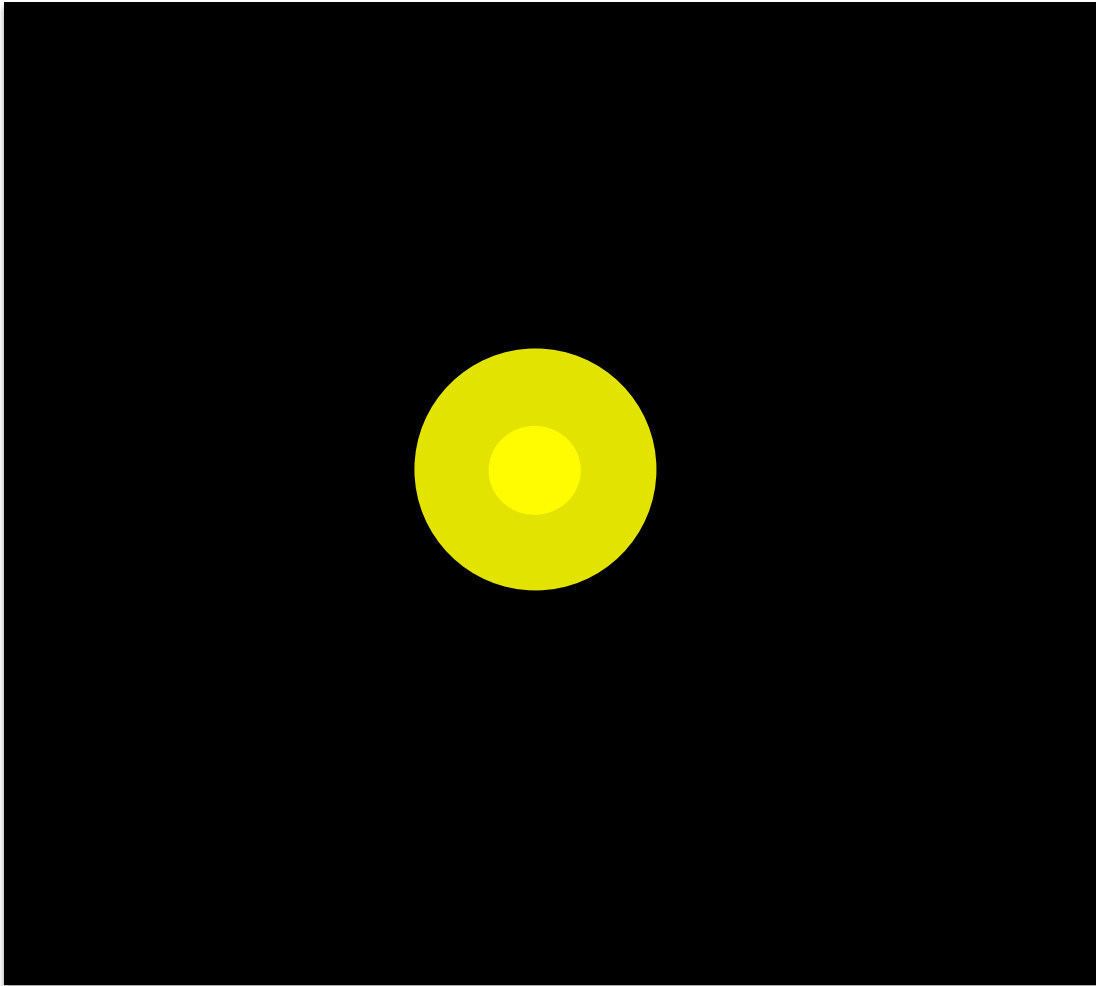


Sternbild Orion  
nachdem  
Betelgeuze als  
Supernova  
explodiert ist 😊

# Stellare Überreste

# Weißer Zwergsterne

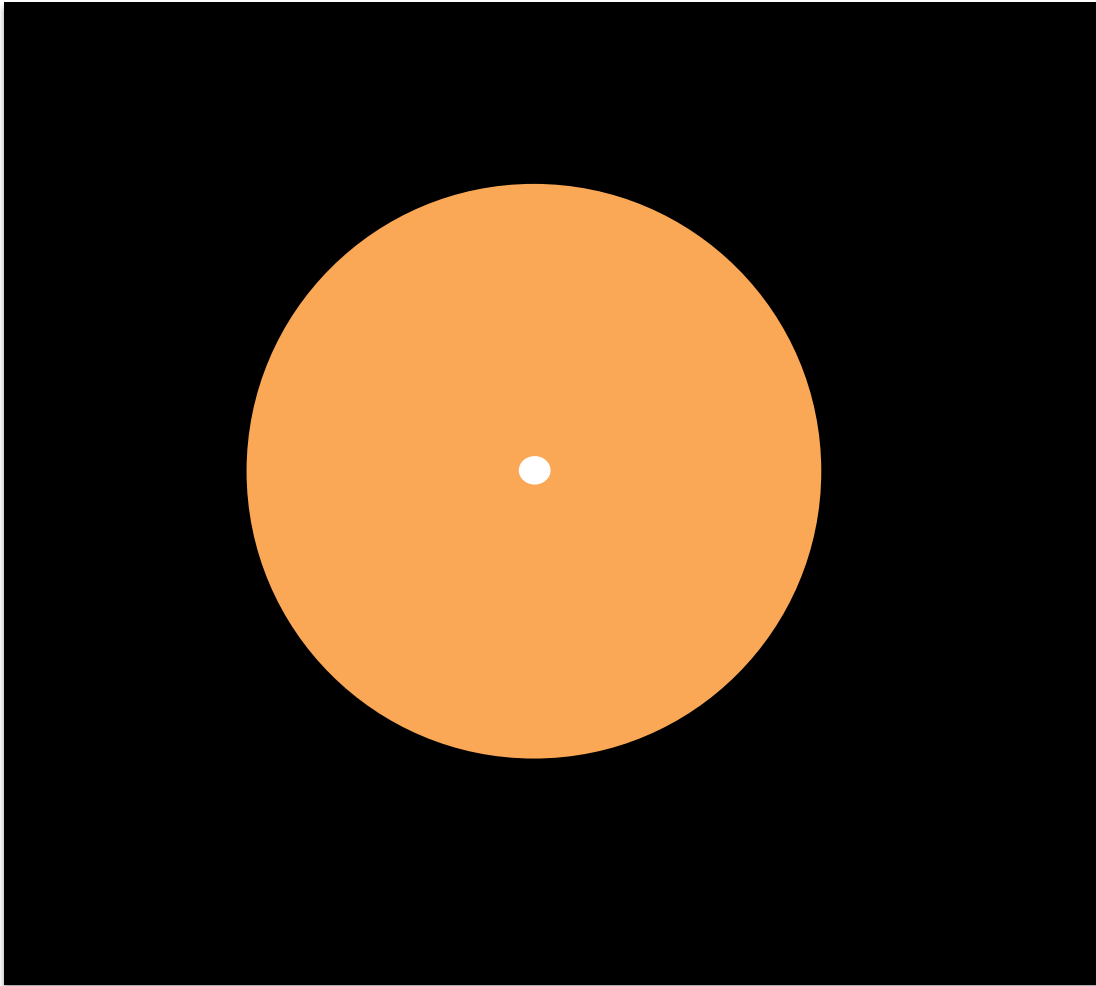
Überreste von niedrig-Masse Sternen ( $M < 8 M_{\odot}$ )



In der letzten Lebensphase des Sterns schrumpft der Kern und bläht sich die Hülle auf.

# Weißer Zwergsterne

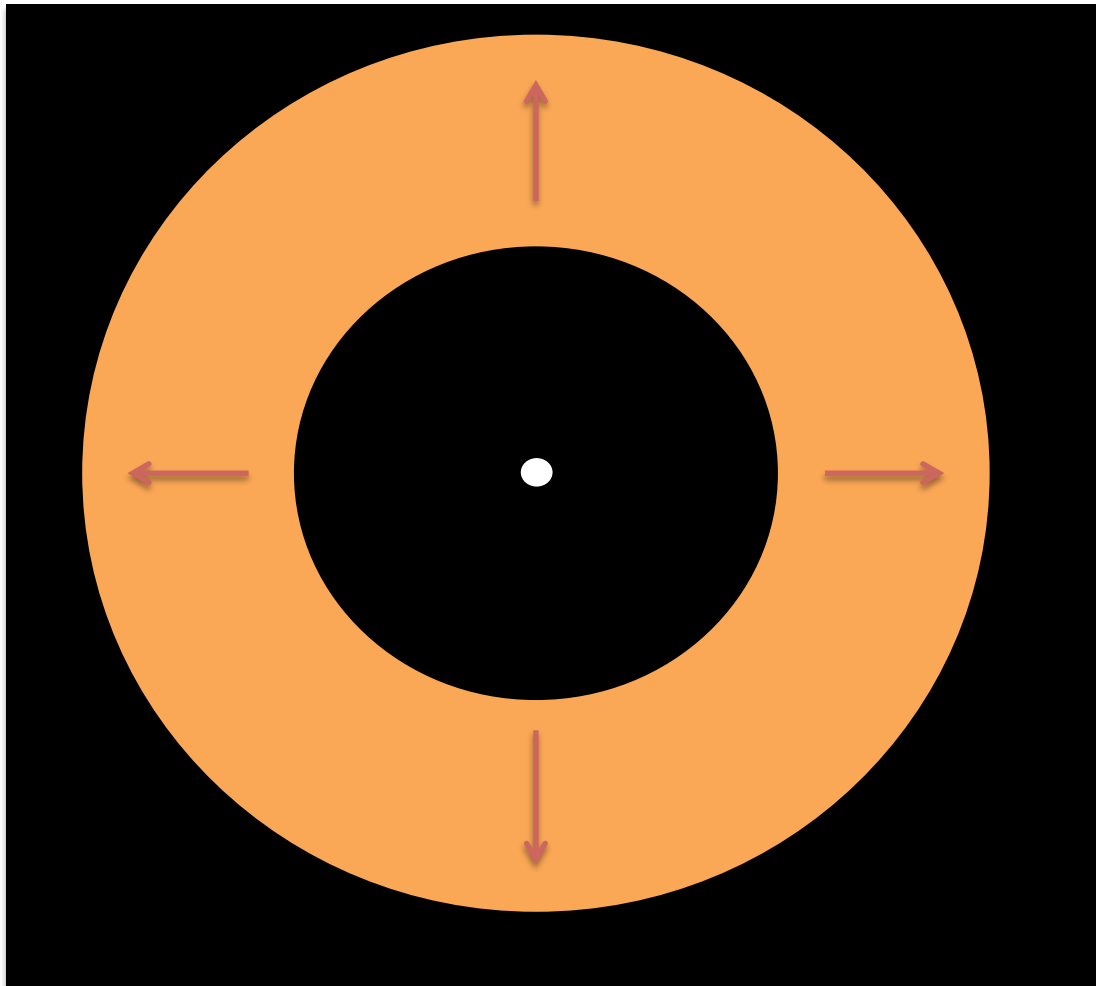
Überreste von niedrig-Masse Sternen ( $M < 8 M_{\odot}$ )



In der letzten Lebensphase des Sterns schrumpft der Kern und bläht sich die Hülle auf.

# Weißer Zwergsterne

Überreste von niedrig-Masse Sternen ( $M < 8 M_{\odot}$ )

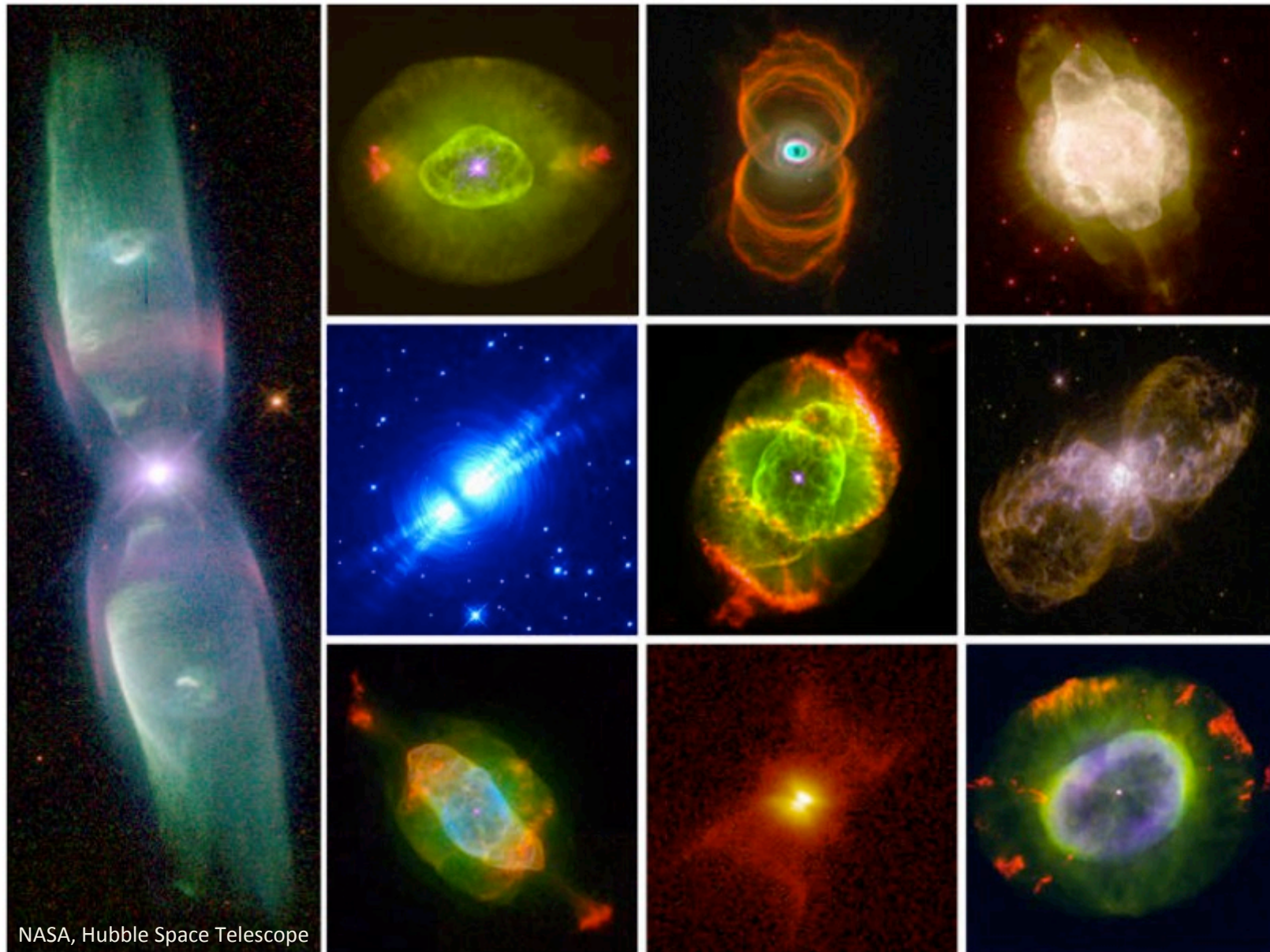


Letztendlich wird die Hülle weggetrieben und ein weißer Zwerg-Stern bleibt übrig.

Dieser heiße Stern ionisiert dann die wegfließende Hülle, und ein schöner farbiger Nebel entsteht:  
ein „planetarer Nebel“  
(hat nichts mit Planeten zu tun!)



# Planetare Nebel (mit weißen Zwerg im Zentrum)



# Supernovae

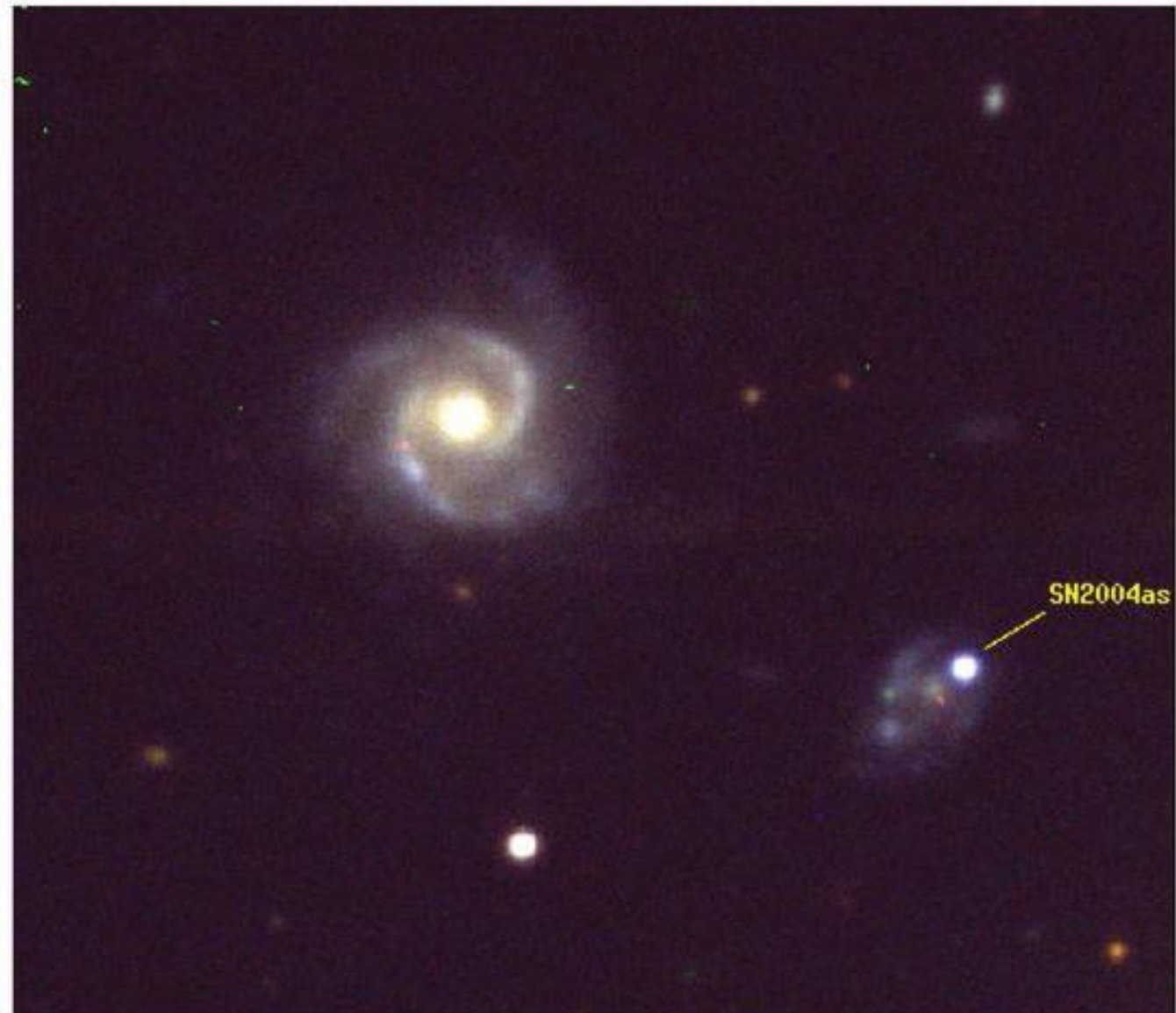
Supernova 1994D  
in der NGC 4526  
Galaxie

Supernova Type Ia:  
Explodierender weißer  
Zwerg



Credit: High-Z Supernova Search Team, HST, NASA; APOD December 30, 1998

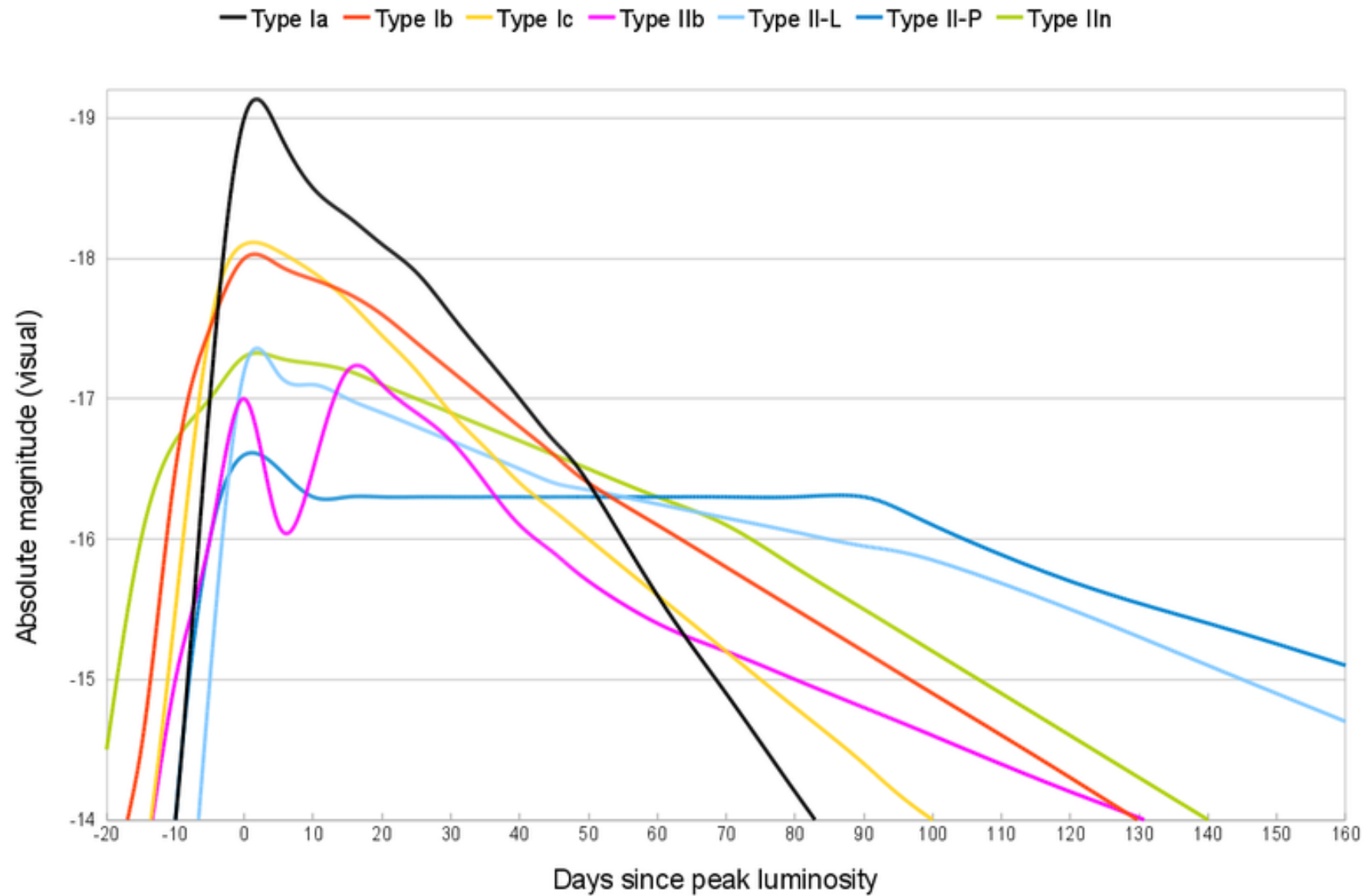
# Kern-Kollaps: Supernova Type II



Supernova 2004as

Typ= II = Kern-Kollaps-  
Supernova

# Supernova Explosionen: Lichtkurven



# Intermezzo: Absolute Magnituden

Bis jetzt haben wir die „apparent magnitude“ (Helligkeit die wir von der Erde aus beobachten).

Dies verändert sich allerdings wenn der Stern weiter weg ist.

Wie können wir eine intrinsische Helligkeit definieren?

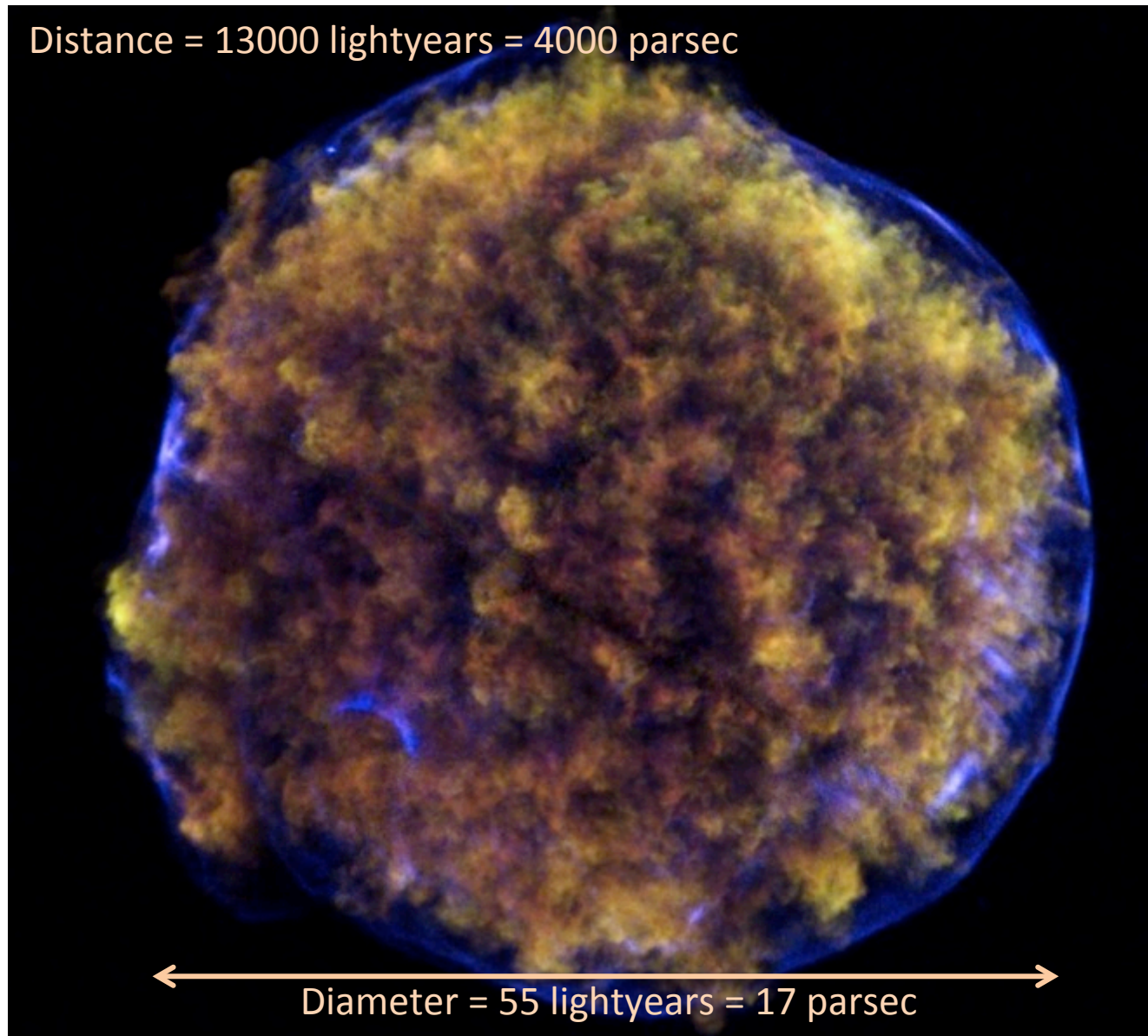
Absolute magnitude  $M$   
= apparent magnitude  $m$  @ 10 parsec Abstand

**Übung:**

Aus dem Plot mit den Lichtkurven kann man einschätzen, wie hell eine Supernova-Explosion von Betelgeuze an unserem Himmel aussehen würde. Abstand zu Betelgeuze ist ungefähr 450 parsec. Supernova Type = II-P. Drücke die Helligkeit im Verhältnis zur Mond-Helligkeit aus. Apparent magnitude des Mondes:  $m = -12.74$ .



# Supernova-Rest: Expandierender Schale



Überrest von der „Tycho Supernova“ (Typ Ia)

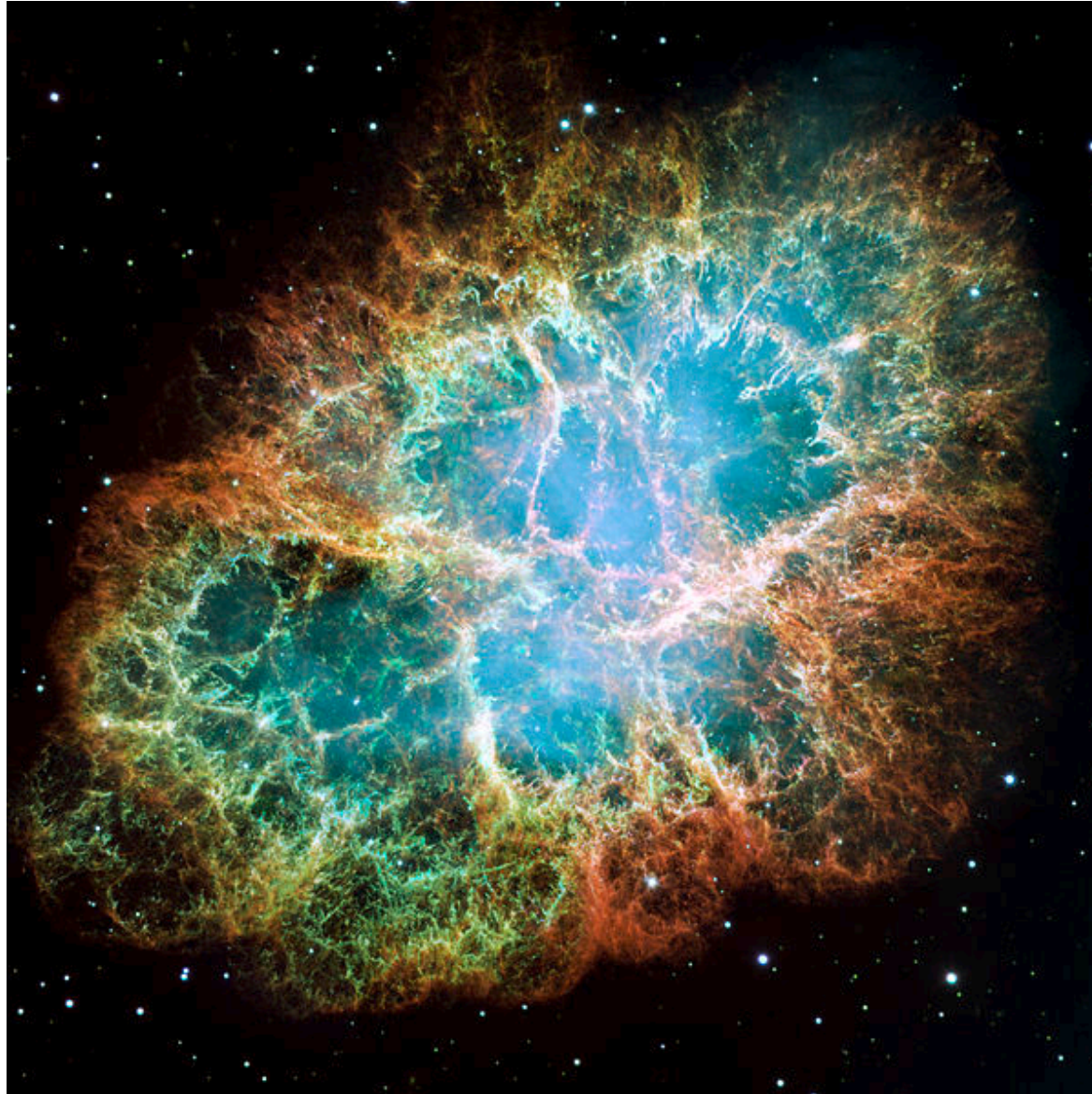
Explosion war im Jahr 1572. Zuerst gesichtet Anfang November 1572, und dauerte bis 1574. War so hell wie Venus!

Nova = Neu. Also: es gab einen neuen Stern am Himmel!

Hier: Blau = Shockwelle die durch das interstellare Gas geht. Braun= ausgeworfene Materie des Sterns.



# Supernova-Rest: Expandierende Schale

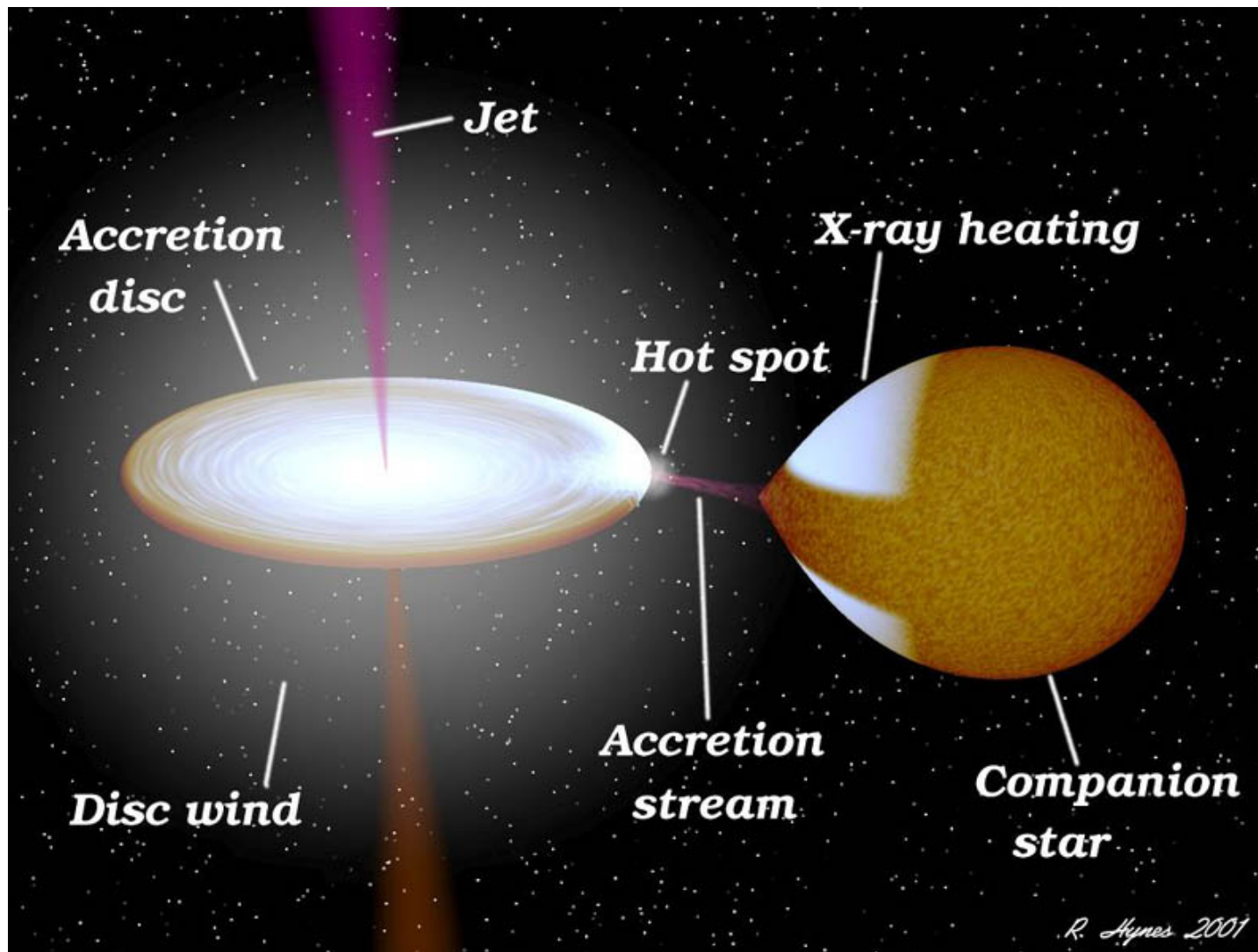


Crab Supernovarest,  
Explosion: 1054  
(Type IIa supernova)

Im Zentrum ist ein Pulsar  
(ein Neutronenstern der  
Radiowellen-Pulse  
ausstrahlt)

# Können wir schwarze Löcher sehen?

Antwort: Nur wenn Masse übertragen wird, wie zum Beispiel in einem **X-ray Binary**



Credit: R.Hynes

Der Raum zwischen den Sternen  
ist nicht leer  
(nur fast...)

# Molekulare Wolken

Es gibt ganz große Wolken von  $H_2$ -Gas und Staub um uns herum: „Molekulare Wolken“.

Daraus können (nicht müssen!) Sterne entstehen.

Man kann sie nur mit Radio-Teleskopen *direkt* sehen.



Credit: CfA SAO/Harvard

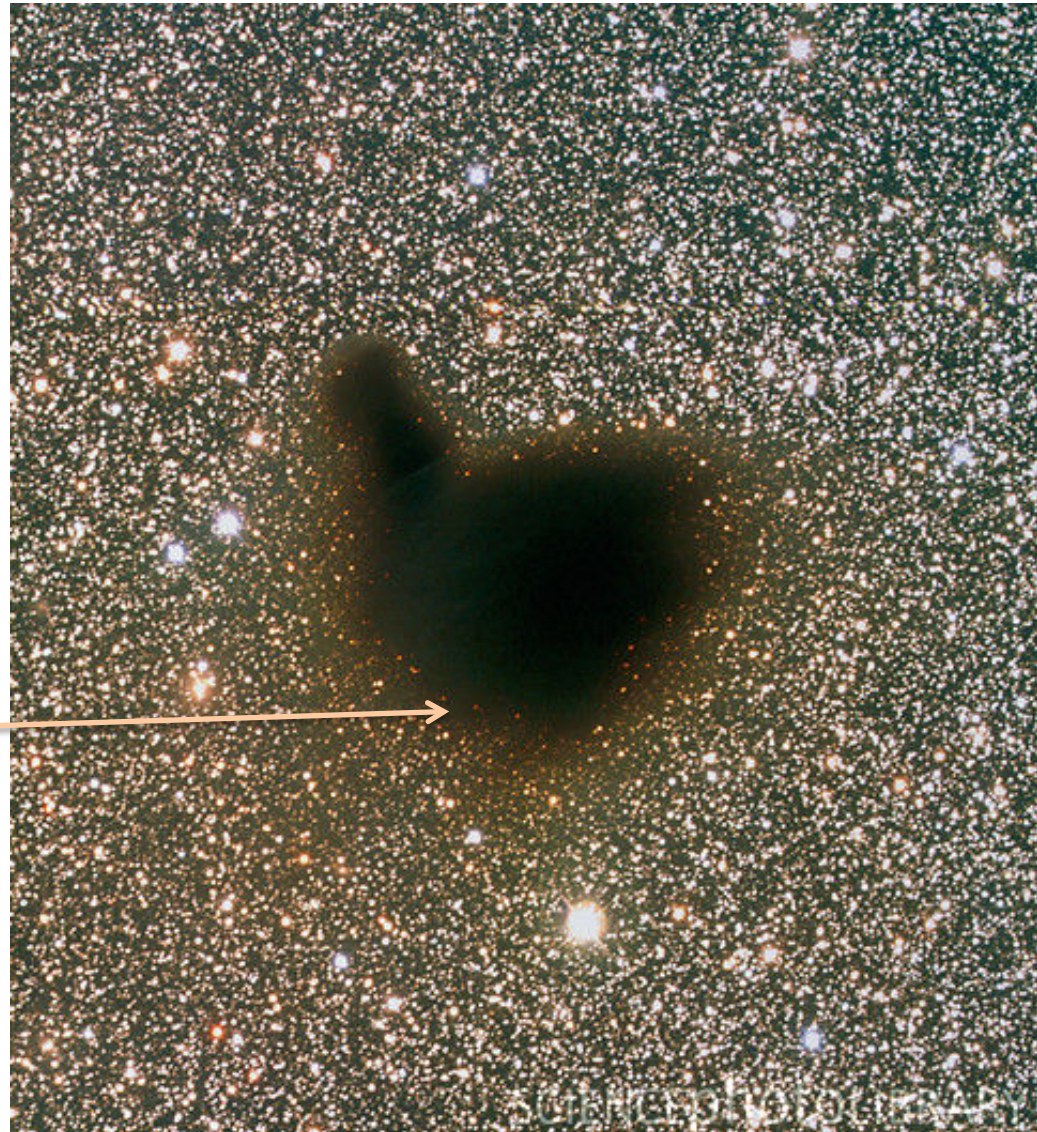


# Molekulare Wolken

Aber, man kann sie indirekt sehen da sie dunkle Flecken am Sternenhimmel sind

A-propos: Staub-Extinktion macht Hintergrundsterne rötlich (= „reddening“)

Dieses Bild: ein „Bok Globule“ (a small molecular cloud).  
In diesem Fall = B68





Orion wieder...

...Oder wenn man sehr empfindliche Bilder macht, kann man Streulicht sehen (Licht das an Staubkörnchen abprallt). Dies heißt „*Cloudshine*“.



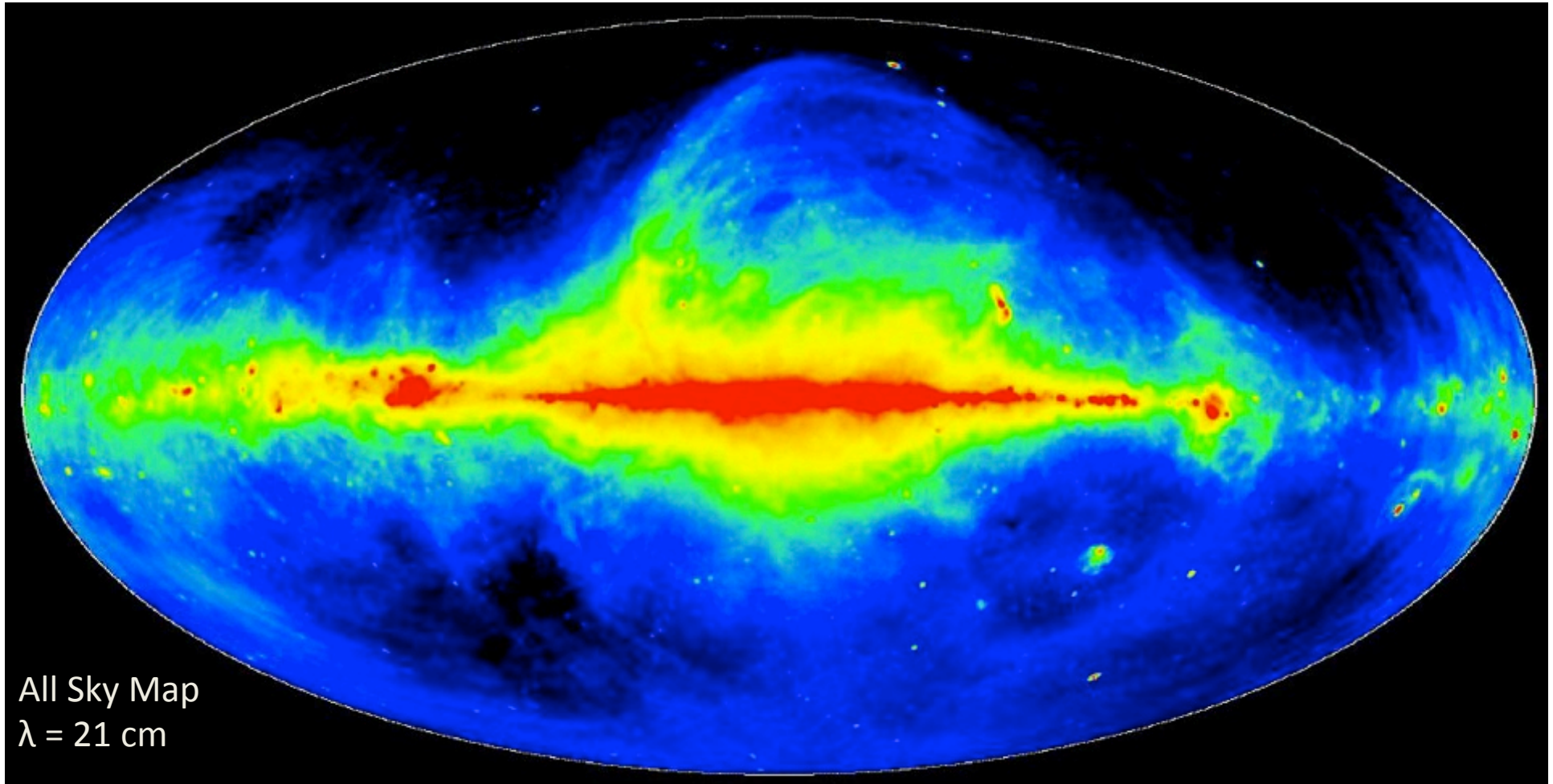
Bild = 90 Grad linksrum rotiert. Betelgeuze ist in dieser Richtung



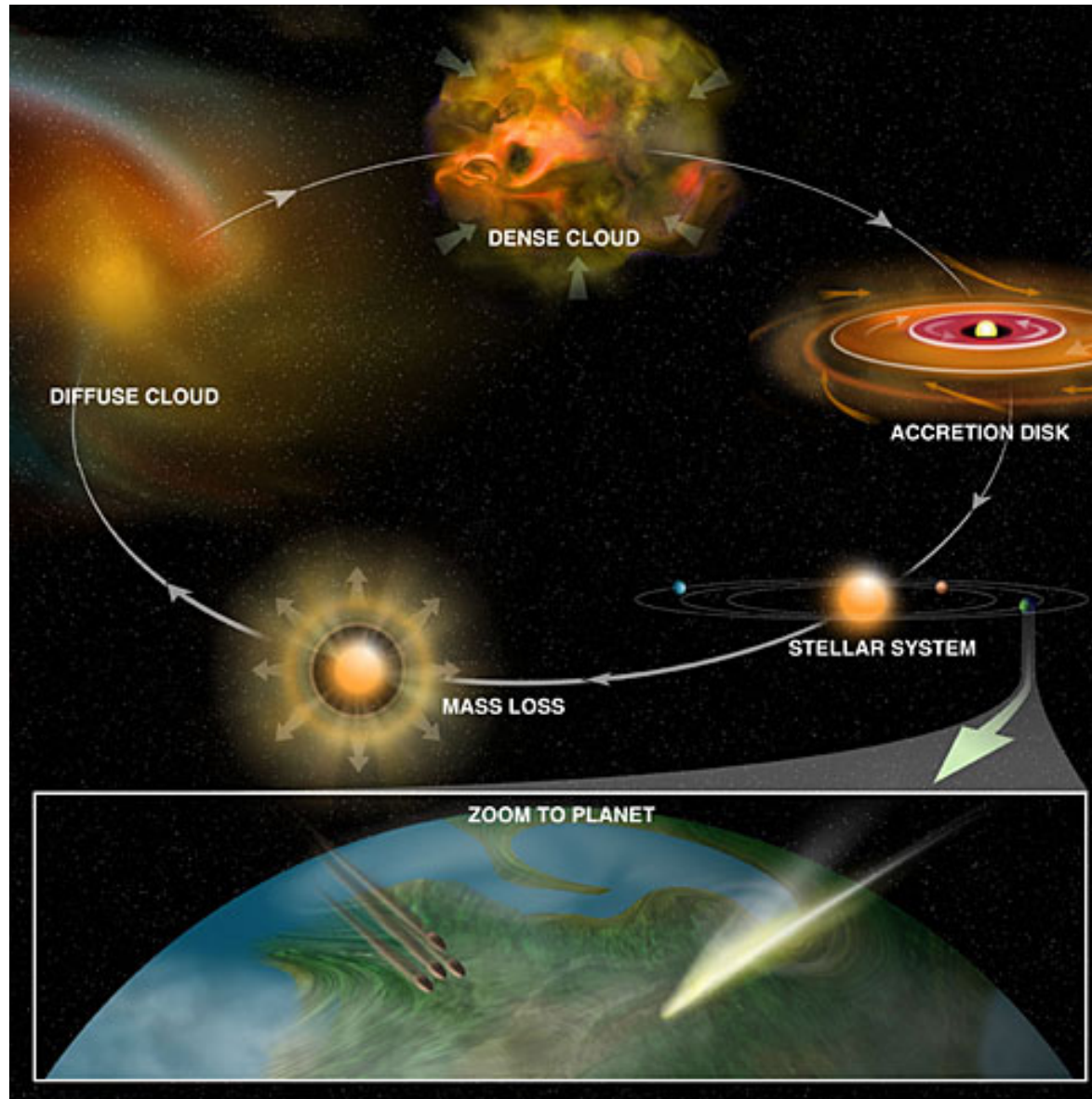


# Es gibt auch atomares Gas

Atomares Gas ist überall in der Milchstraße verteilt, nicht nur in vereinzelt Wolken



# „Anreicherung“ der interstellaren Materie



Wir sind im wahrsten Sinne des Wortes „aus Sternenstaub“

# „Anreicherung“ der interstellaren Materie

- Das ursprüngliche Gas vom Urknall hat fast nur H und He. Damit kann man keine Gesteinsplaneten so wie die Erde machen.
- Sterne produzieren in ihrem Inneren höhere Elemente (C,N,O,Mg,Fe etc.). Diese Elemente werden pauschal „*Metalle*“ (Eng: *Metals*) genannt, auch wenn viele der Elemente gar keine Metalle im chemischen Sinne sind.
- Während der Endphasen der Sterne wird viel von solchem Material ausgestoßen (z.B. Supernovae).
- Neue Sterne entstehen also aus „angereichertes“ Gas. Die Sonne ist auch aus angereichertem Gas entstanden.
- Ganz alte Sterne haben aber noch sehr wenige „Metalle“ in ihrer Oberfläche, und solche „metal poor stars“ sind also Zeuge von ganz frühen Zeiten.

# Die Milchstraße





Tunç Tezel (TWN), on APOD 2011 September 24



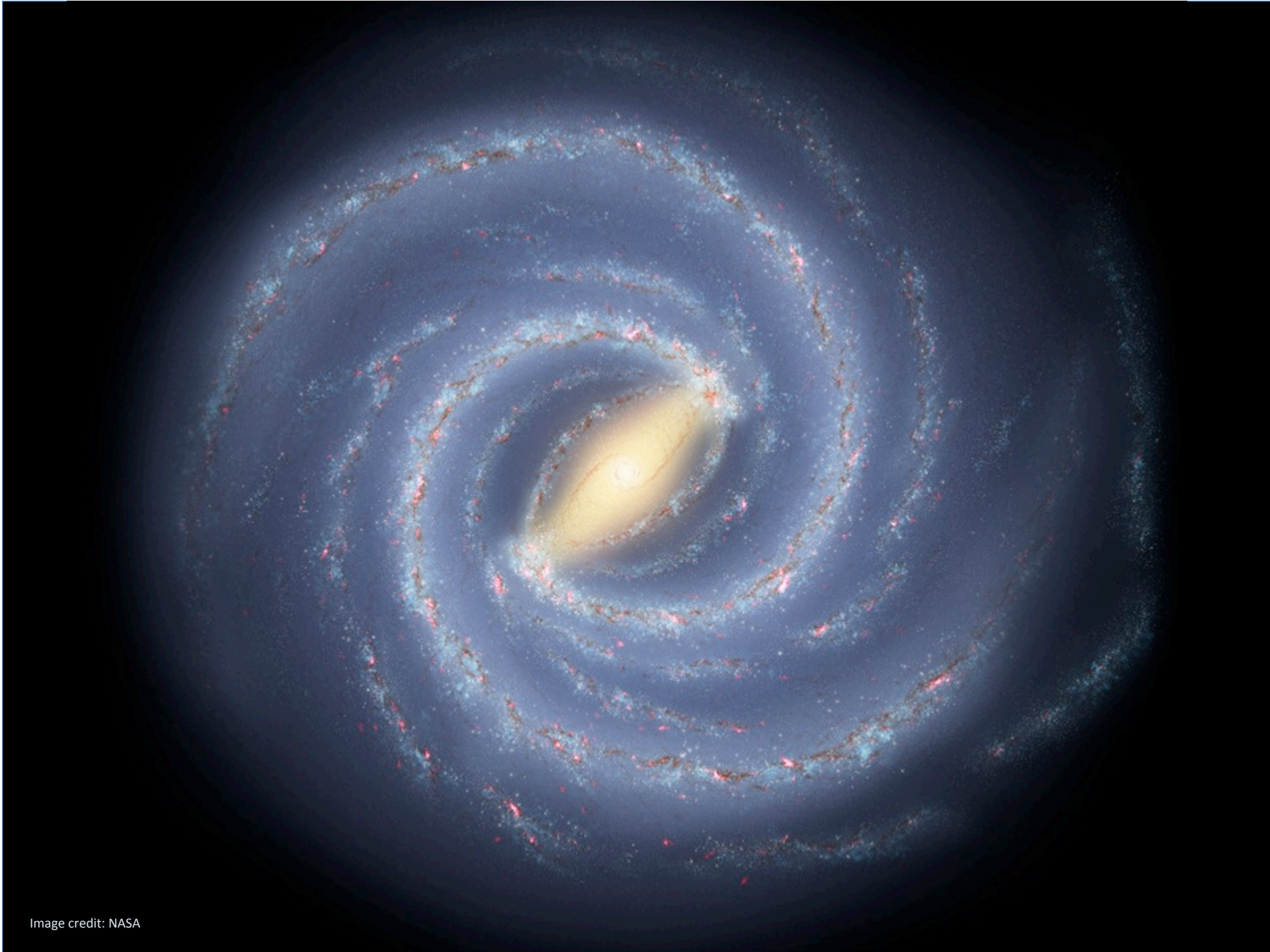


Image credit: NASA



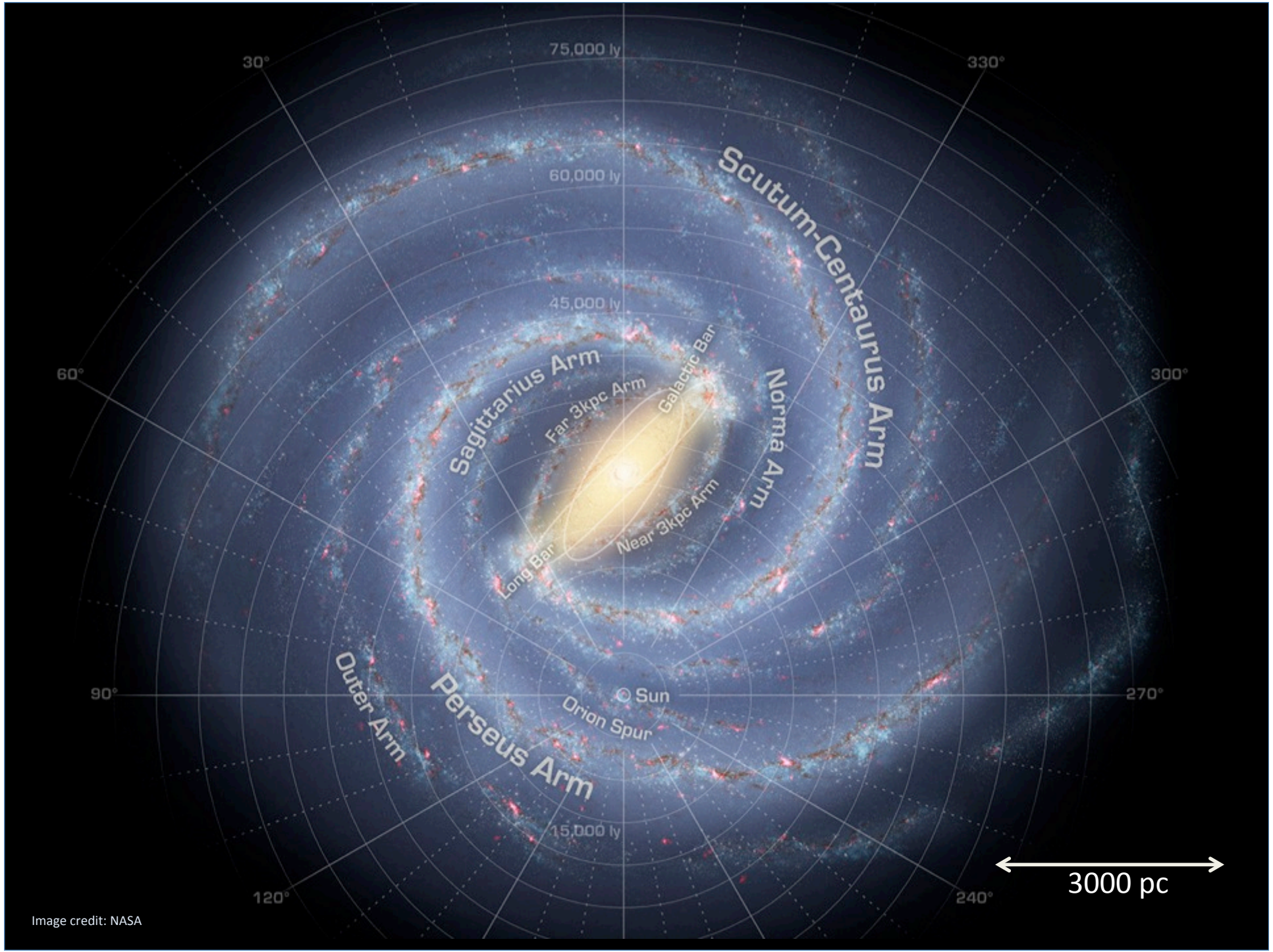


Image credit: NASA



# Zentrum der Milchstraße





# Zentrum der Milchstraße



Hier ist das Zentrum der Milchstraße

Genau dort, wo das Zentrum der Milchstraße ist, beobachtet man eine starke Quelle von Radiowellen-Strahlung. Die Quelle heißt: Sgr A\*. Es ist ein schwarzes Loch mit ca  $4 \times 10^6$  Sonnenmassen!



# Zentrum der Milchstraße

- Schwierig zu beobachten, da es zu viele Staubwolken (molekulare Wolken) entlang der Sichtlinie gibt.
- Aber in Infrarot-Wellenlängen wird der Staub weniger undurchsichtig. Also, um Sgr A\* zu beobachten müssen wir im Infraroten beobachten.

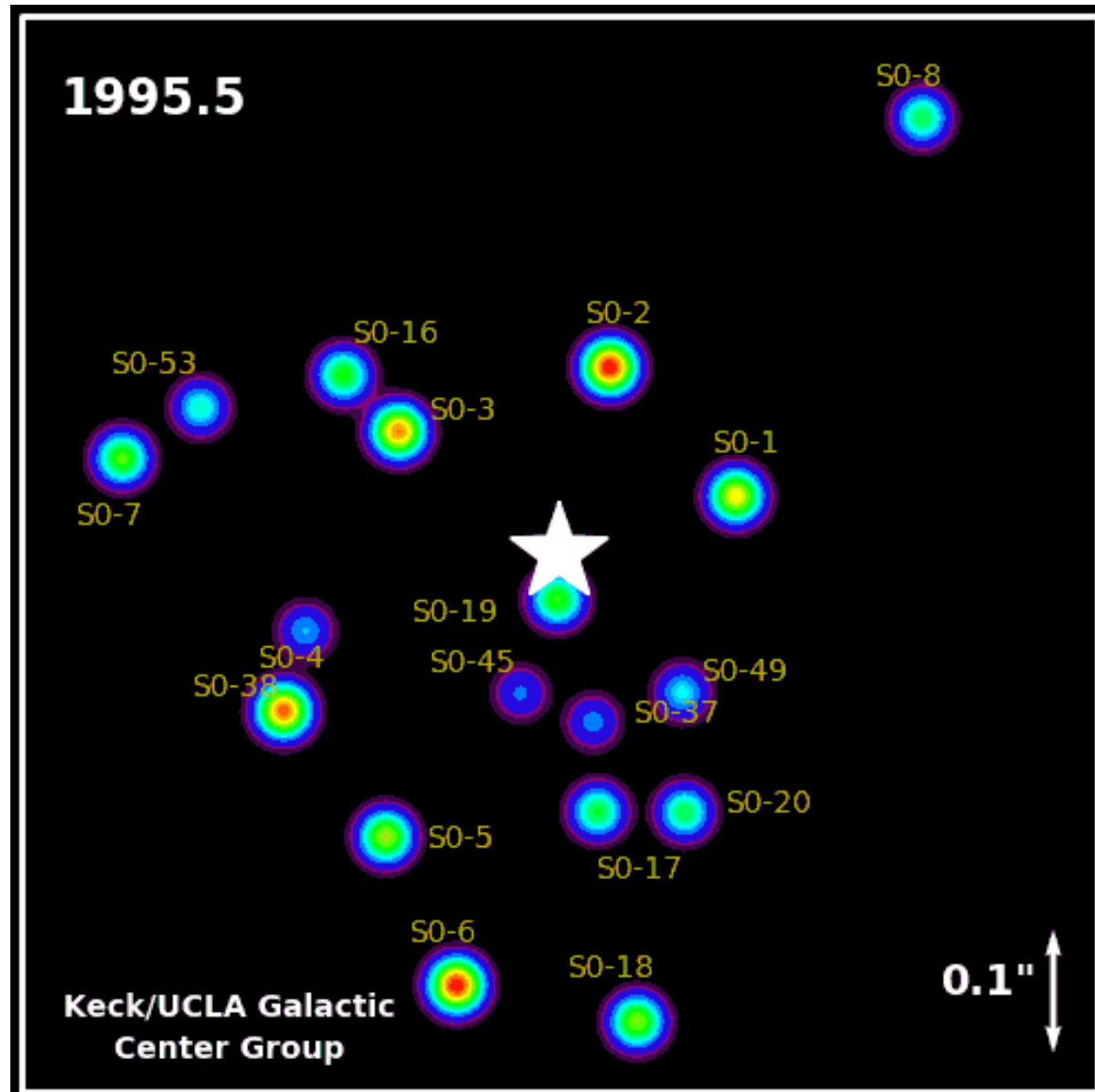
# Zentrum der Milchstraße

Es gibt „etwas“ mit einer extrem große Masse.

Das „etwas“ ist in opt/IR Wellenlängen unsichtbar (nur in Radio sichtbar).

Muss ein riesen schwarzes Loch sein!

$M=4 \times 10^6 M_{\odot}$



# Satellit-Galaxien um unsere Milchstraße

# LMC und SMC

Große und kleine Magellanische Wolke

The Large and Small Magellanic Clouds with Milky Way



# LMC und SMC

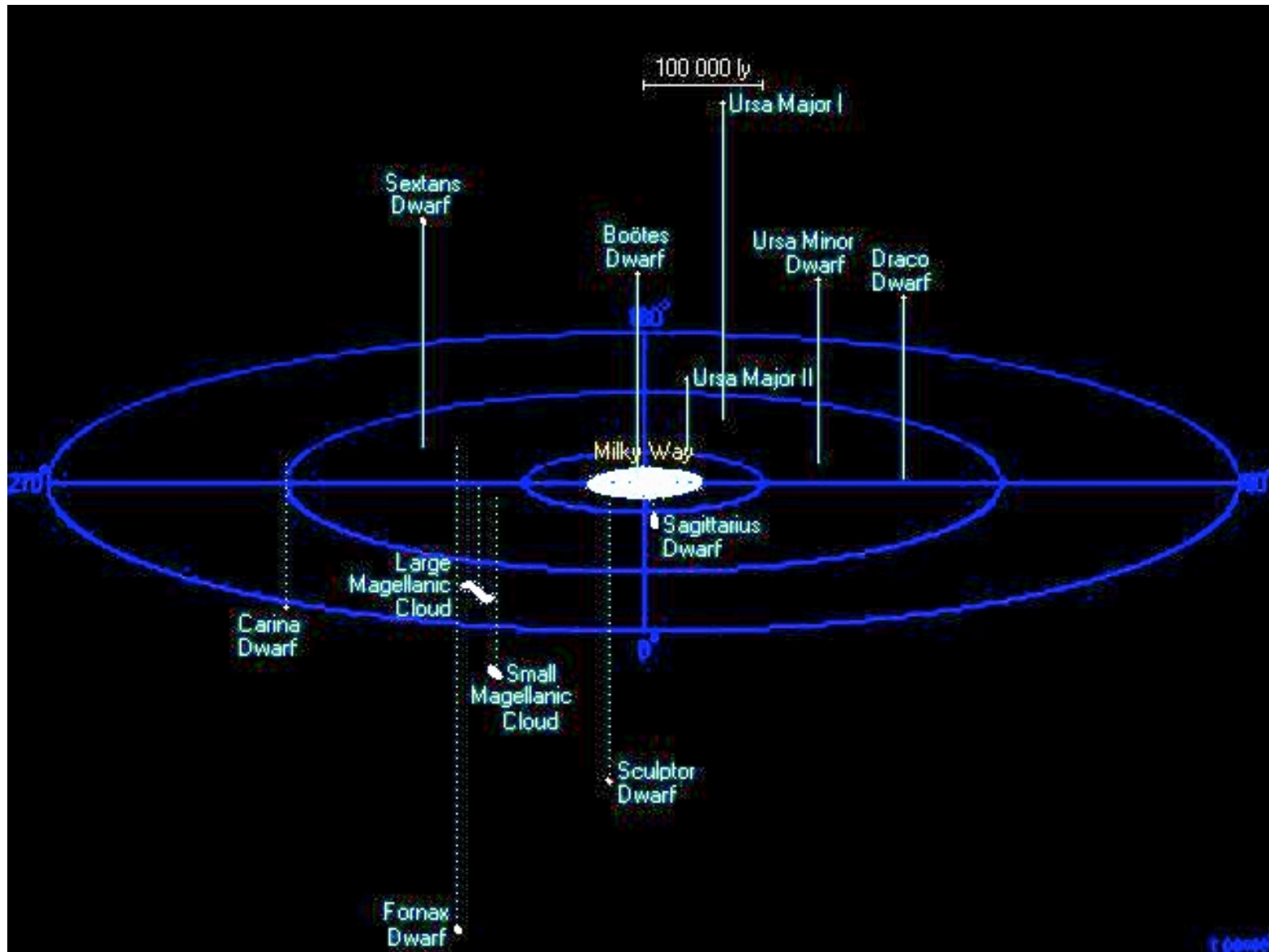
Große und kleine Magellanische Wolke



Künstlerische  
Darstellung der  
Position der LMC und  
SMC im Vergleich zu  
der Milchstraße



# Weitere Satellit-Galaxieen



Credit: Richard Power

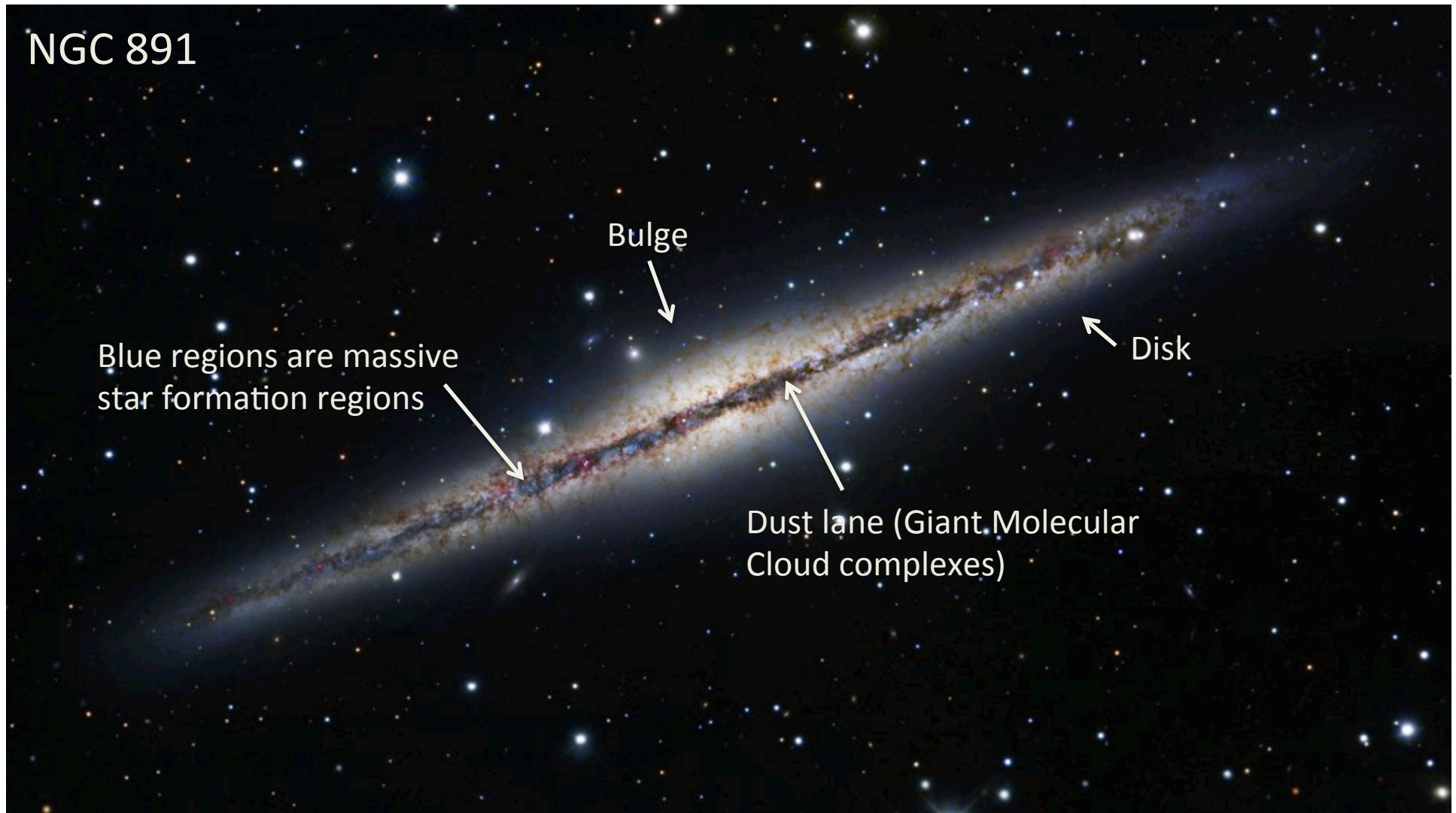
# Weitere Galaxieen

# Andromeda Galaxie: Unser Nachbar



Credit: Robert Gendler, Astroimaging Gallery

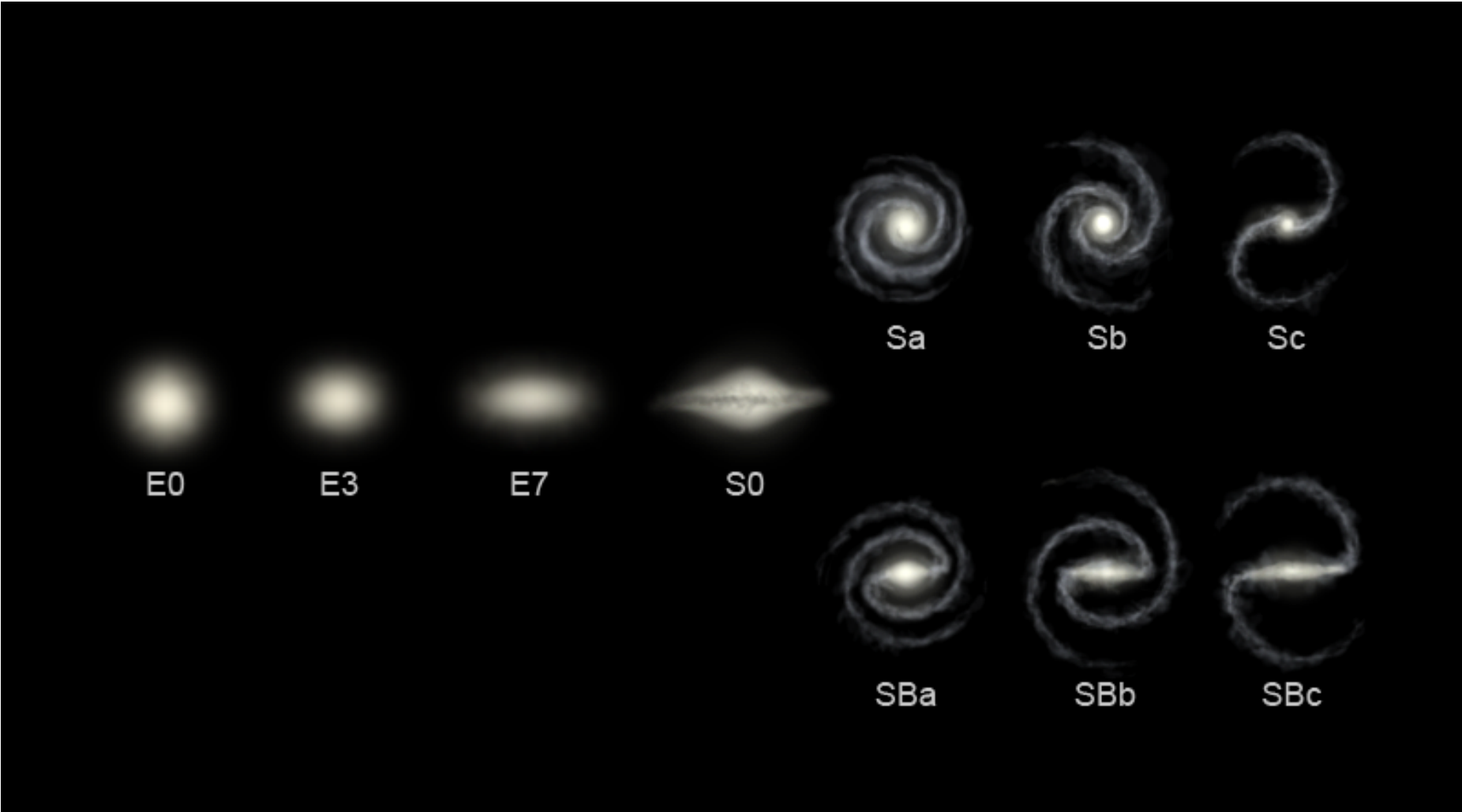
# Vertikale Struktur der Galaxien



Composite Image Data - Subaru Telescope (NAOJ), Hubble Legacy Archive,  
Michael Joner, David Laney (West Mountain Observatory, BYU);  
Processing - Robert Gendler; APOD 2012 May 26

# Galaxie-Klassifikation von Edwin Hubble

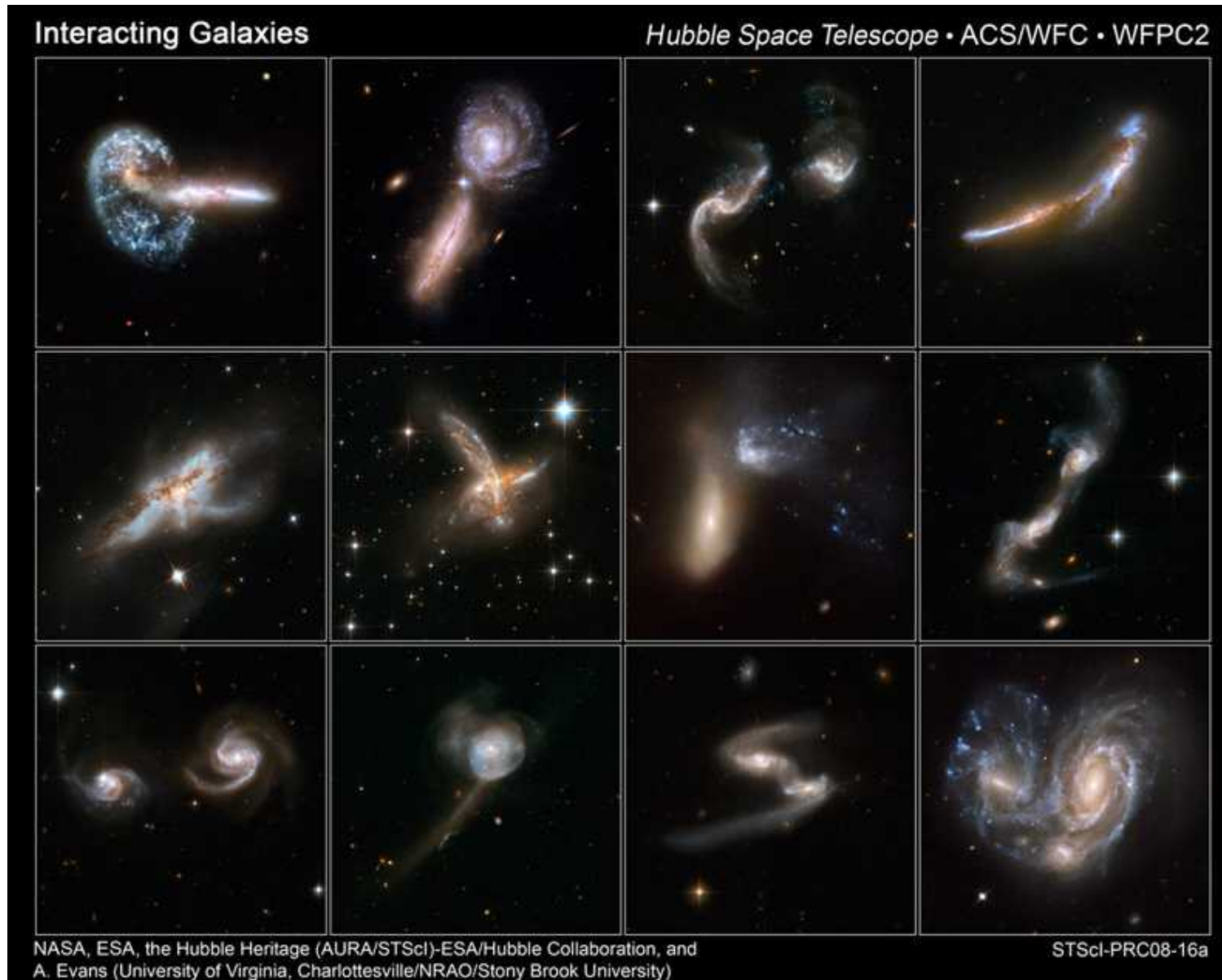
Die „Hubble Sequence“



Quelle: Wikipedia; Urheber: Ville Koistinen

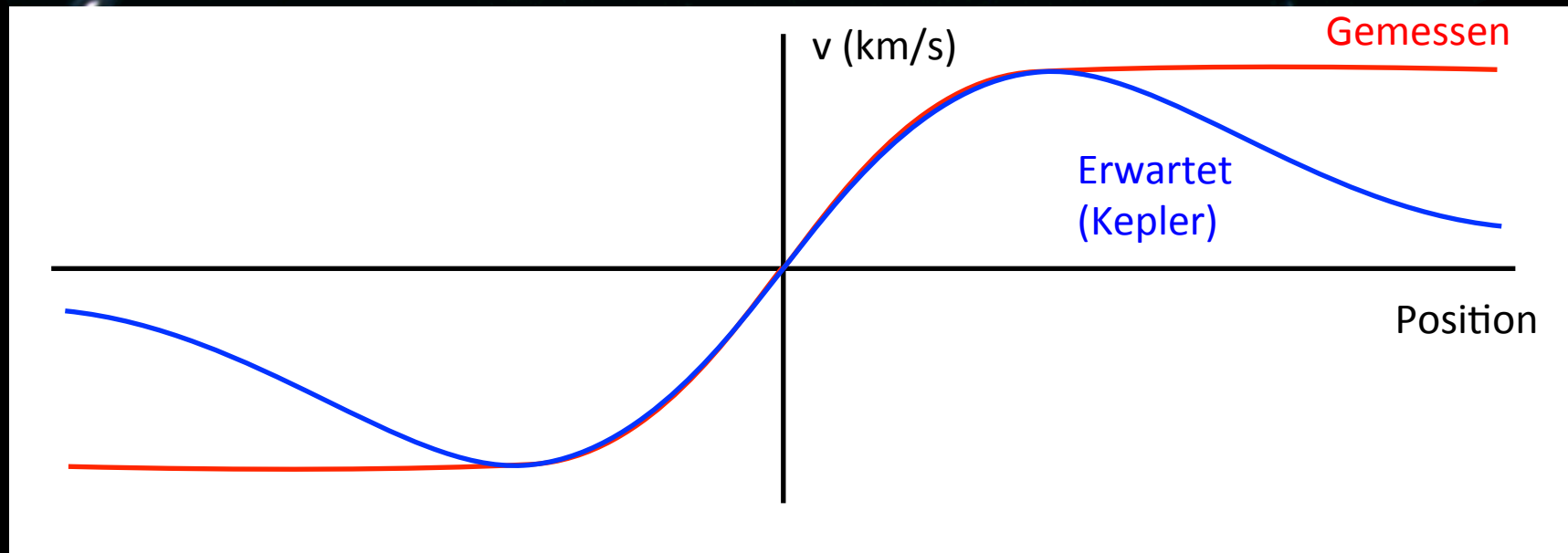
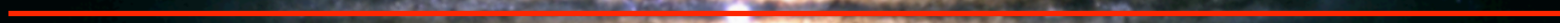


# Manche Galaxien stoßen zusammen

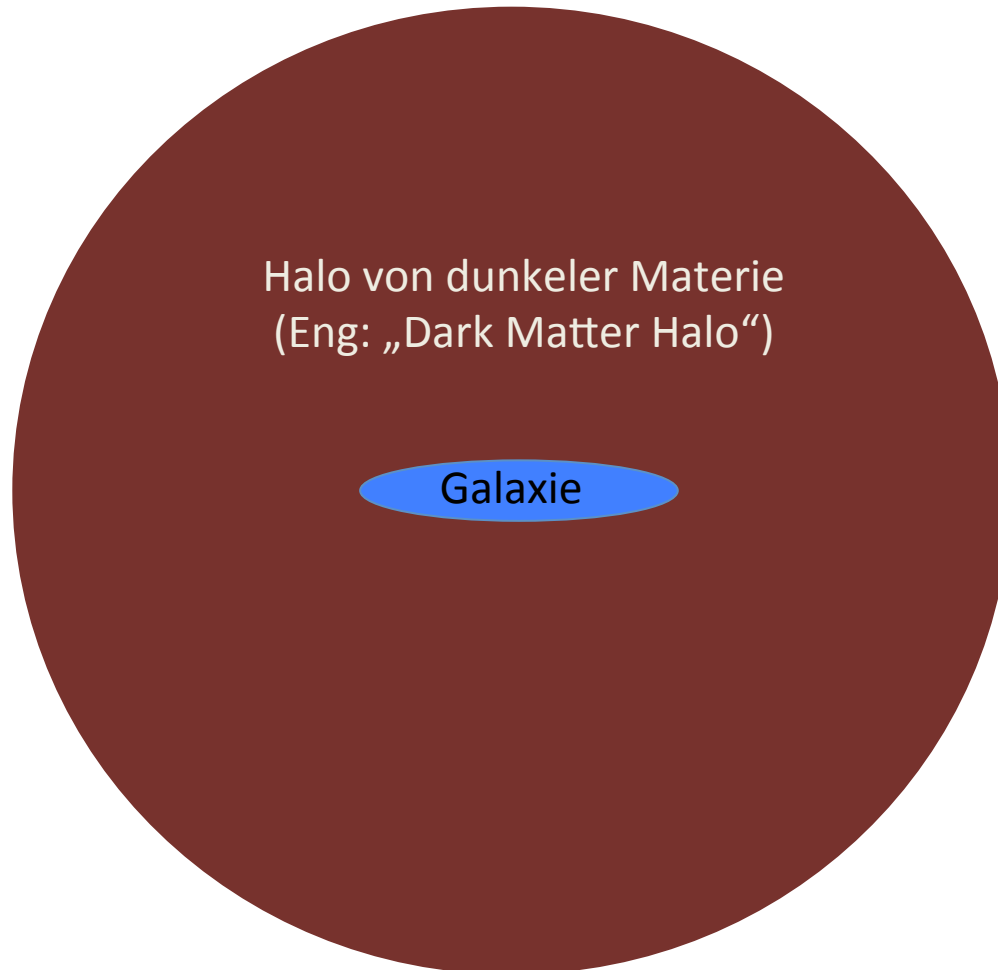


# Dunkele Materie

# Wie bewegen sich die Sterne in einer Galaxie?



# Galaxie + DM Halo



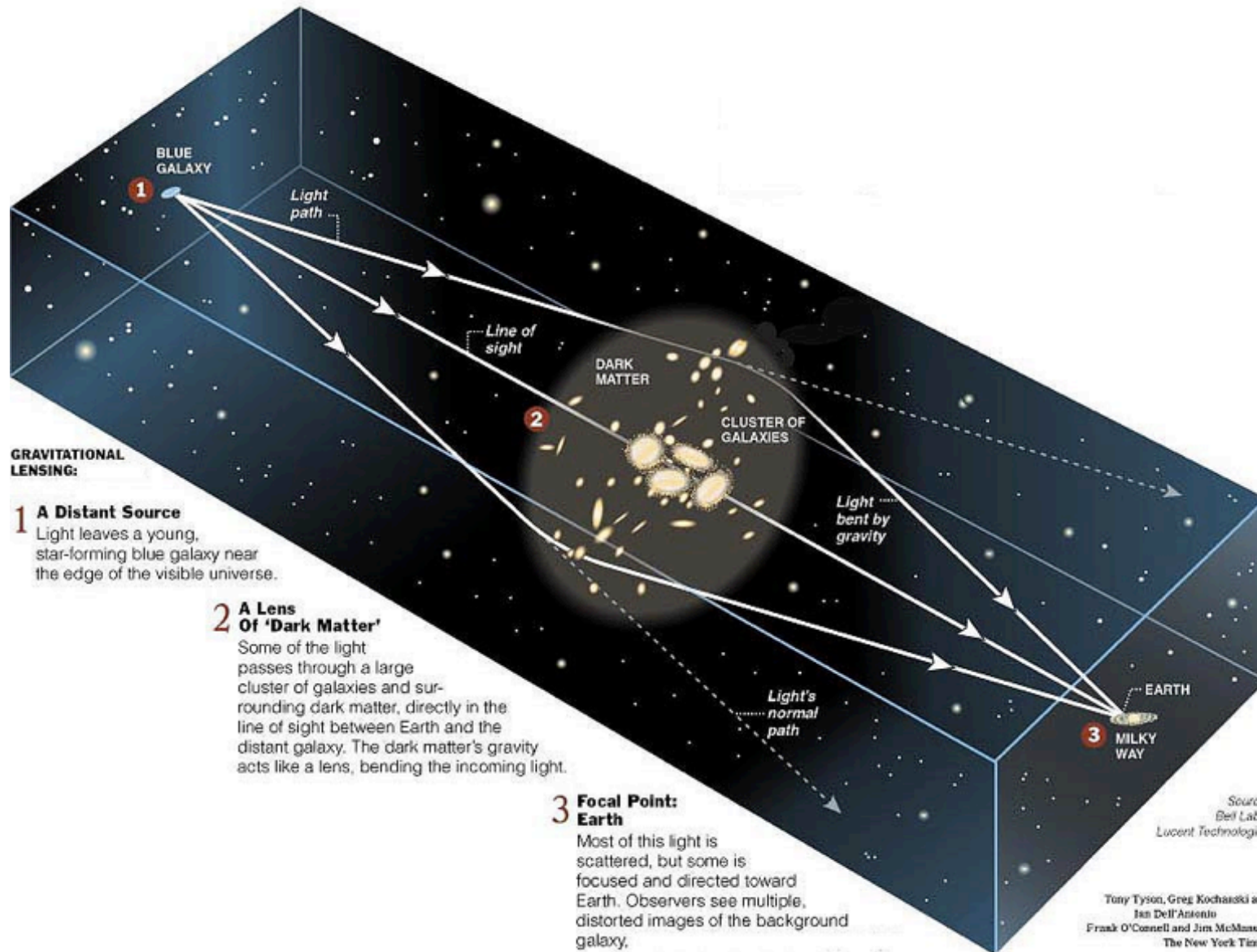
# Die 3-D Struktur des DM-Halos

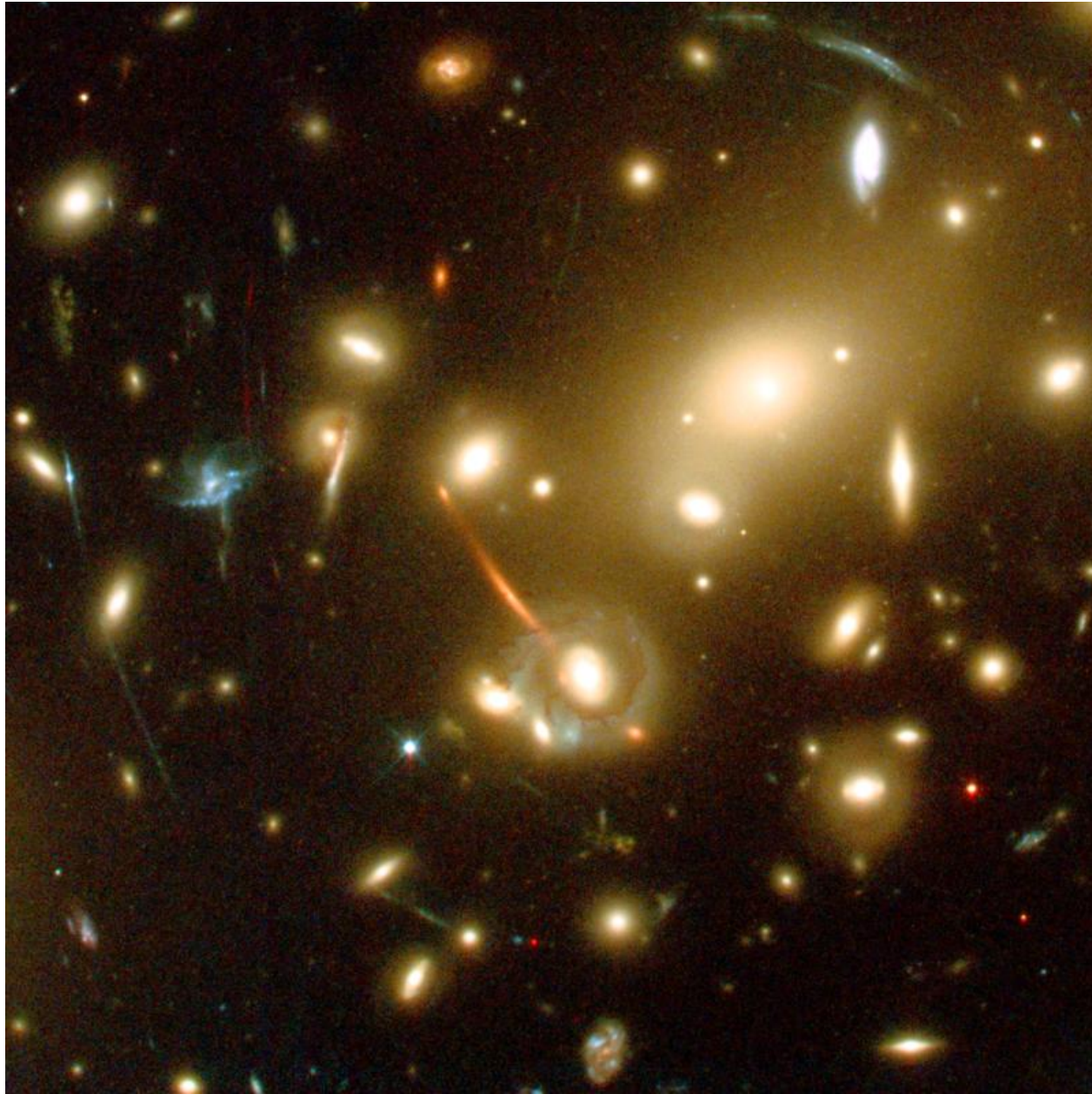


Einfallende Zwerg-Galaxien werden durch Gezeitenwirkung auseinander gerissen, und bilden „Streamers“. Die Form der Streamers und die Geschwindigkeit der Sterne verrät die Verteilung der dunklen Materie in der DM Halo.



# Gravitationslinsen





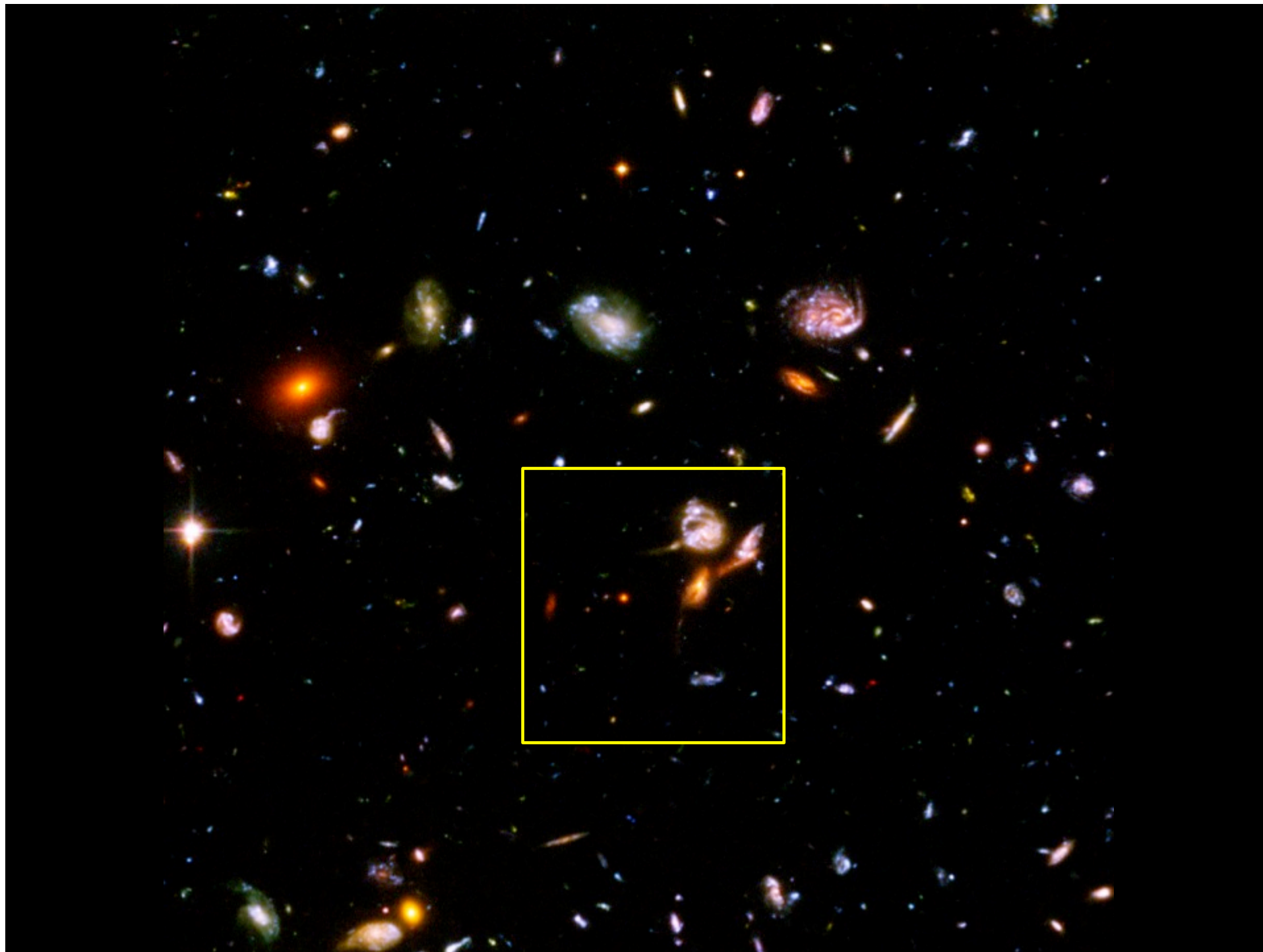
NASA / A. Fruchter / STScI

Immer weiter weg:  
Ein Blick in die Vergangenheit



Hubble Ultra-Deep Field









Ein Blick zurück zum Zeitalter  
der Geburt der Galaxien

# Je weiter weg, desto röter die Objekte

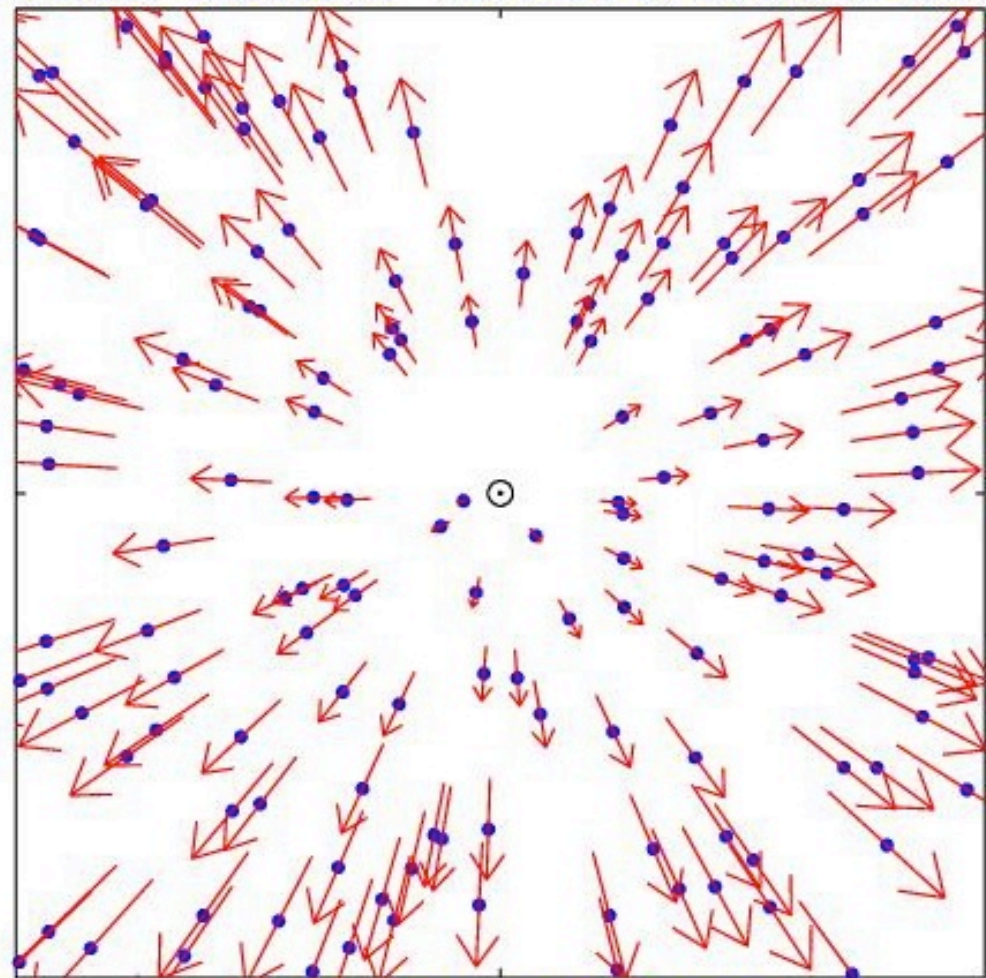
Rötung = Rotverschiebung  
(Eng: „Redshift“) =  
Dopplerverschiebung durch  
Bewegung von uns weg.

Die Geschwindigkeit ist  
proportional zur Distanz.

Dies bedeutet: Das Universum  
expandiert!

Dies heißt auf English: „Hubble  
Flow“, nach Edwin Hubble der  
diese Bewegung entdeckt hat.

*GALAXY MOTION: ARTIST'S CONCEPTION*

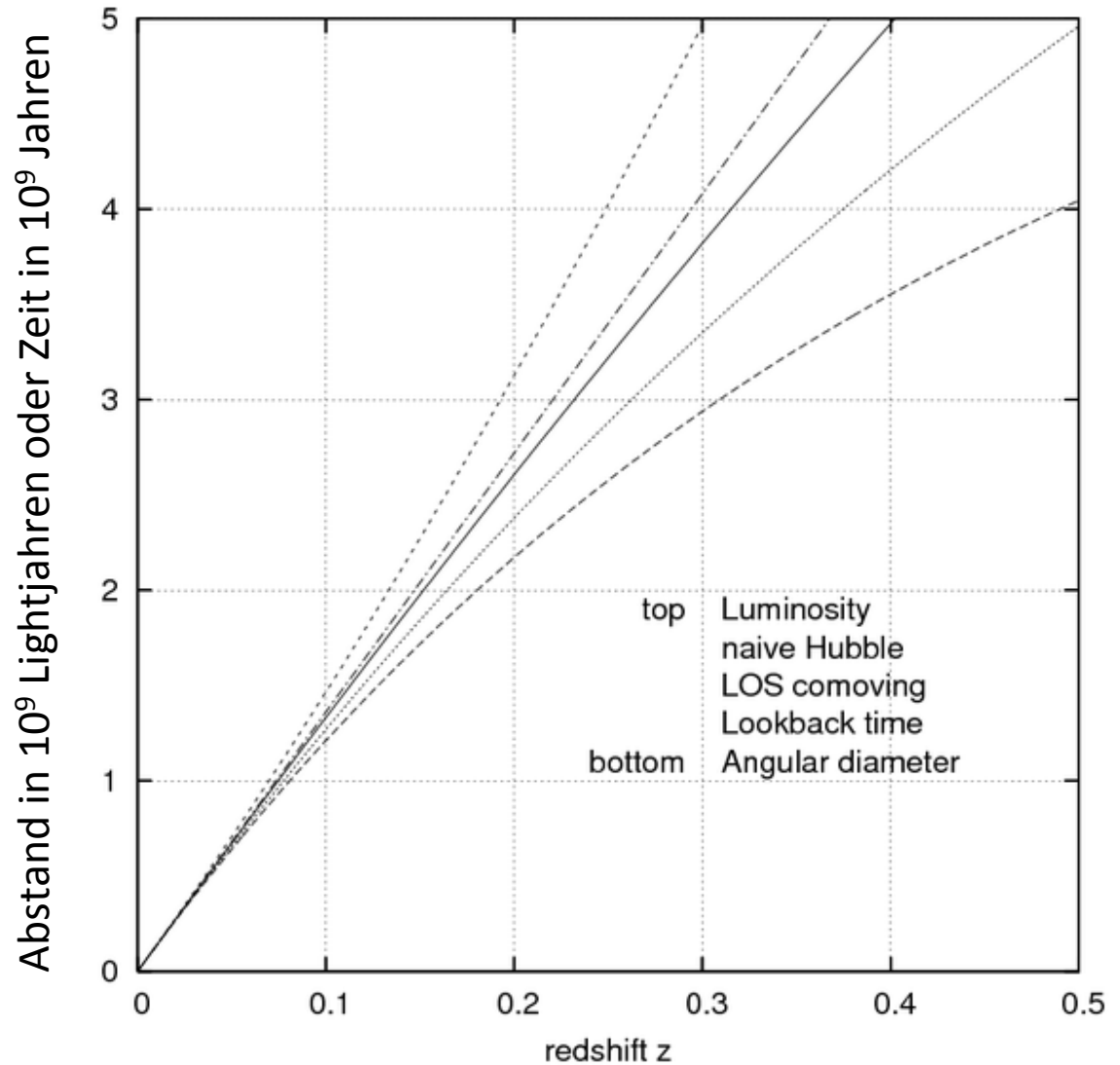


*☉ = YOU ARE HERE*

# Rotverschiebung $z$ als Maß für Abstand und Zeit

$$z = \frac{\lambda_{\text{obs}} - \lambda_{\text{emit}}}{\lambda_{\text{emit}}}$$

$$1 + z = \frac{\lambda_{\text{obs}}}{\lambda_{\text{emit}}}$$



# Wir schauen zurück in der Zeit





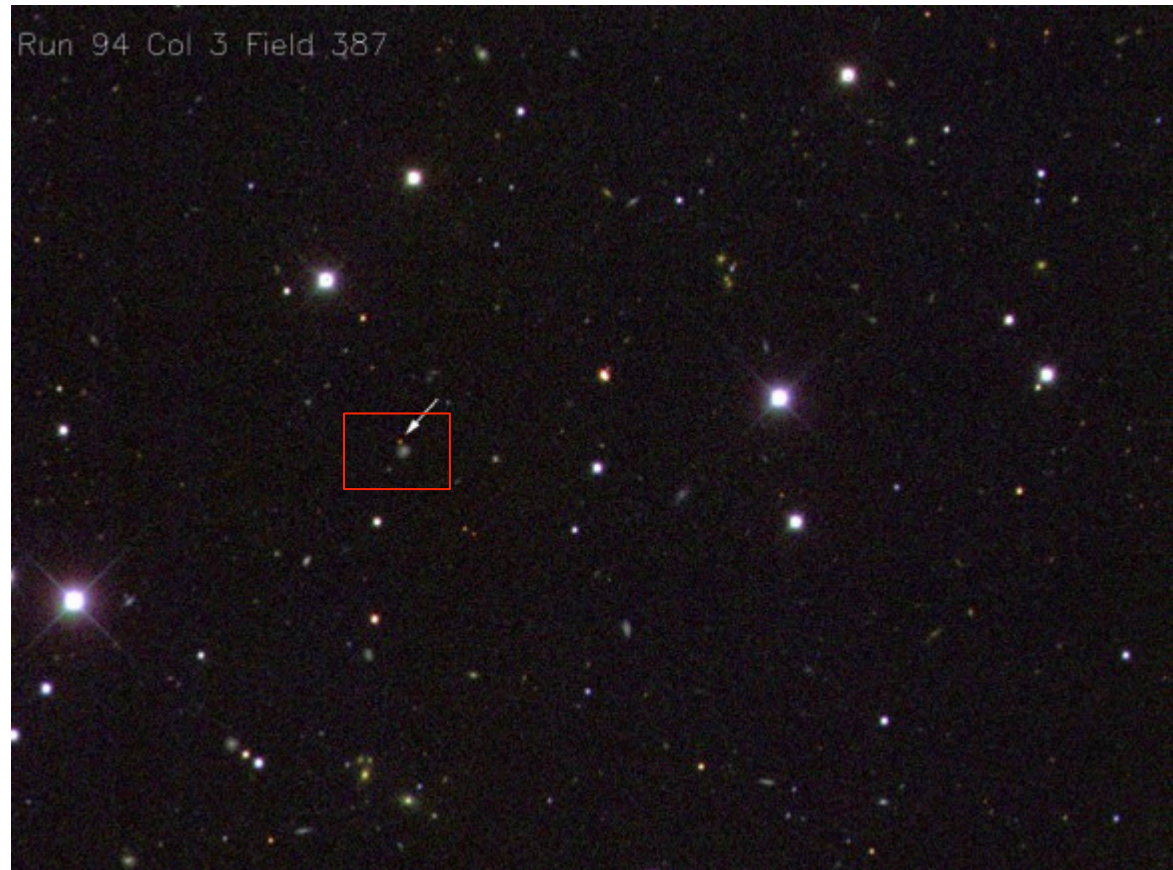
# Extreme Objekte in extremen Entfernungen

# Quasi-stellare Objekte (Quasars)

Es gibt schwache, rötliche „Sterne“ mit Spektren die allerdings gar nicht Stern-ähnlich sind. Sie wurden deshalb „quasi-stellare Objekte“ genannt.

In 1963 entdeckte Maarten Schmidt, dass die Spektren trotzdem „normal“ sind, nur extrem stark dopplerverschoben (rotverschoben).

Quasare sind also Objekte in *extremen* Entfernungen. Man sieht sie nur bis ans andere Ende des Universums, weil sie auch extrem große Leuchtkraft haben.



Quelle: Sloan Digital Sky Survey

# Quasi-stellare Objekte (Quasars)

Es gibt schwache, rötliche „Sterne“ mit Spektren die allerdings gar nicht Stern-ähnlich sind. Sie wurden deshalb „quasi-stellare Objekte“ genannt.

In 1963 entdeckte Maarten Schmidt, dass die Spektren trotzdem „normal“ sind, nur extrem stark dopplerverschoben (rotverschoben).

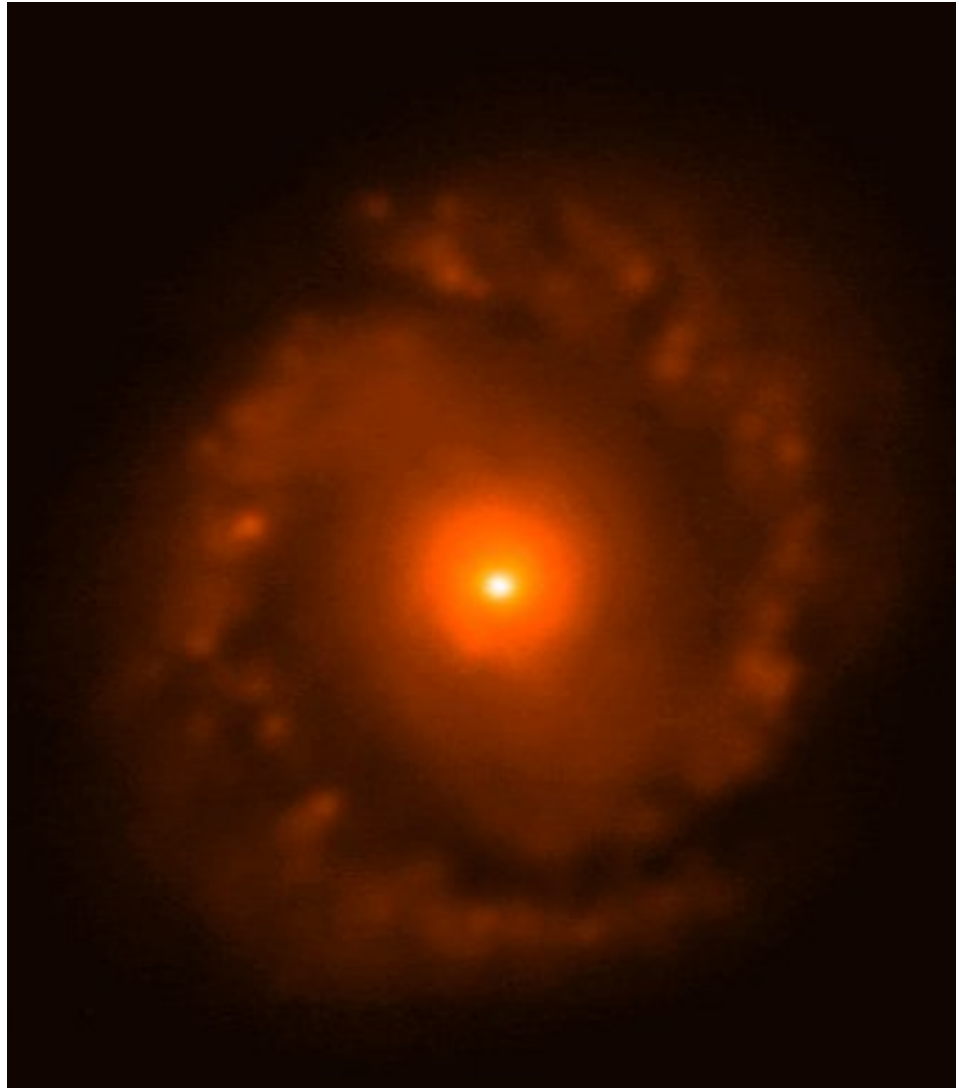
Quasare sind also Objekte in *extremen* Entfernungen. Man sieht sie nur bis ans andere Ende des Universums, weil sie auch extrem große Leuchtkraft haben.



Quelle: Sloan Digital Sky Survey

Warum sind sie so leuchtkräftig? → Aktiver Kern

# Active Galactic Nuclei (AGN)



Im Zentrum vieler Galaxien gibt es etwas, was extrem stark leuchtet. Es strahlt auch Radio- und Röntgenstrahlung aus.

Das ist ein supermassives schwarzes Loch ( $M \approx 10^6 \dots 10^9 M_{\odot}$ ) das Material aus seiner Umgebung anzieht. Das Material wird dadurch extrem heiß, und strahlt dadurch extrem hell.

Das schwarze Loch in unserer Milchstraße ist ähnlich, nur gibt es zurzeit kein (oder wenig) Material, das in das Loch fällt. Deshalb ist „unser“ schwarzes Loch fast unsichtbar.



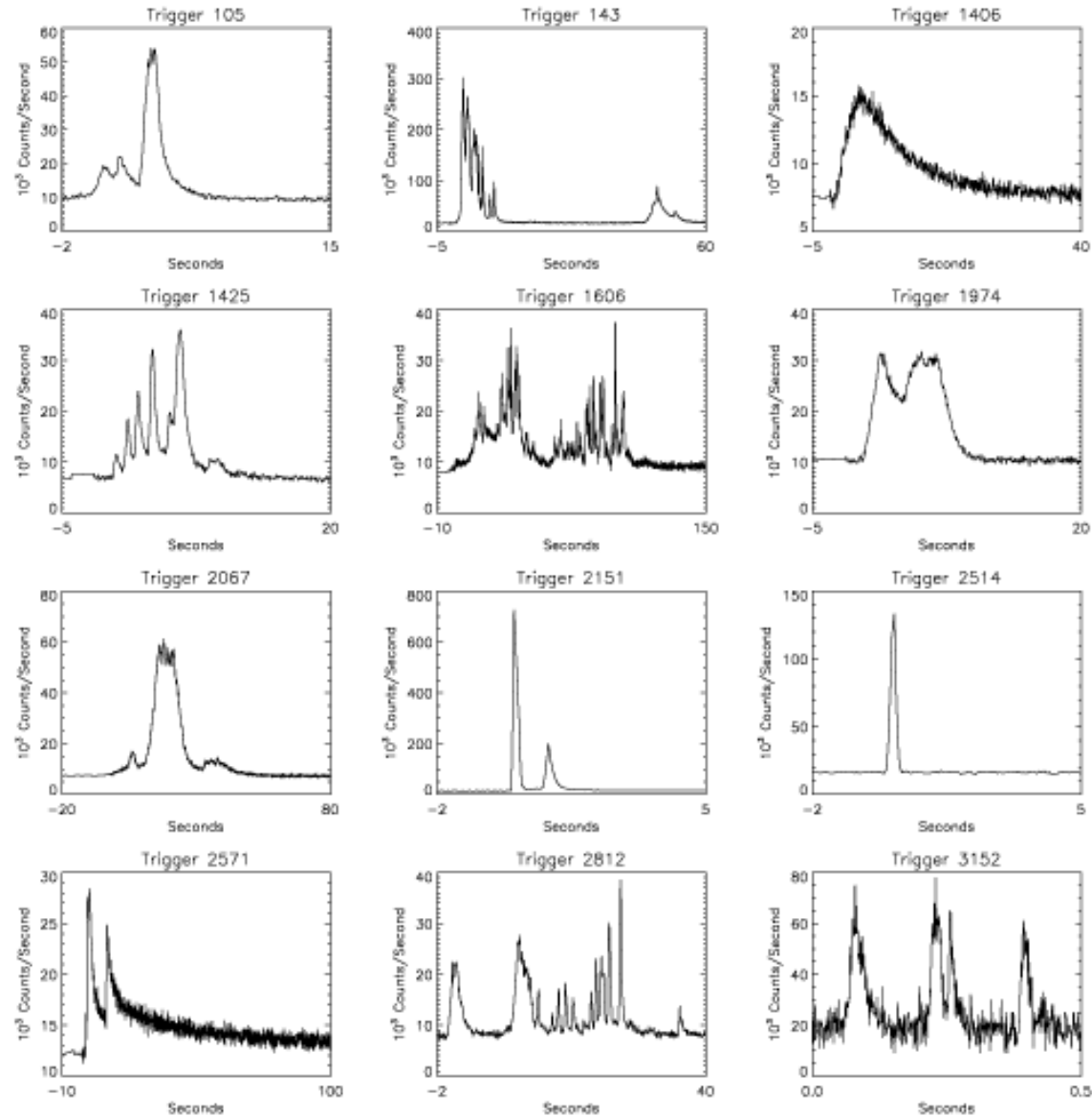
# Gamma-Blitze

Extrem kurze Blitze im Gamma-Wellenlängen-Bereich. Dauer = nur einige Sekunden.

Entdeckt durch die „Vela“ Satelliten, die eigentlich dafür da waren, um Russische Atom-Tests zu detektieren.

Zunächst dachte man, dass die Quellen nah sind.

Jetzt weiß man, dass die Quellen extrem weit entfernt sind: in sehr fernen Galaxien. Also: Extrem energiereich!



# Gamma-Blitze

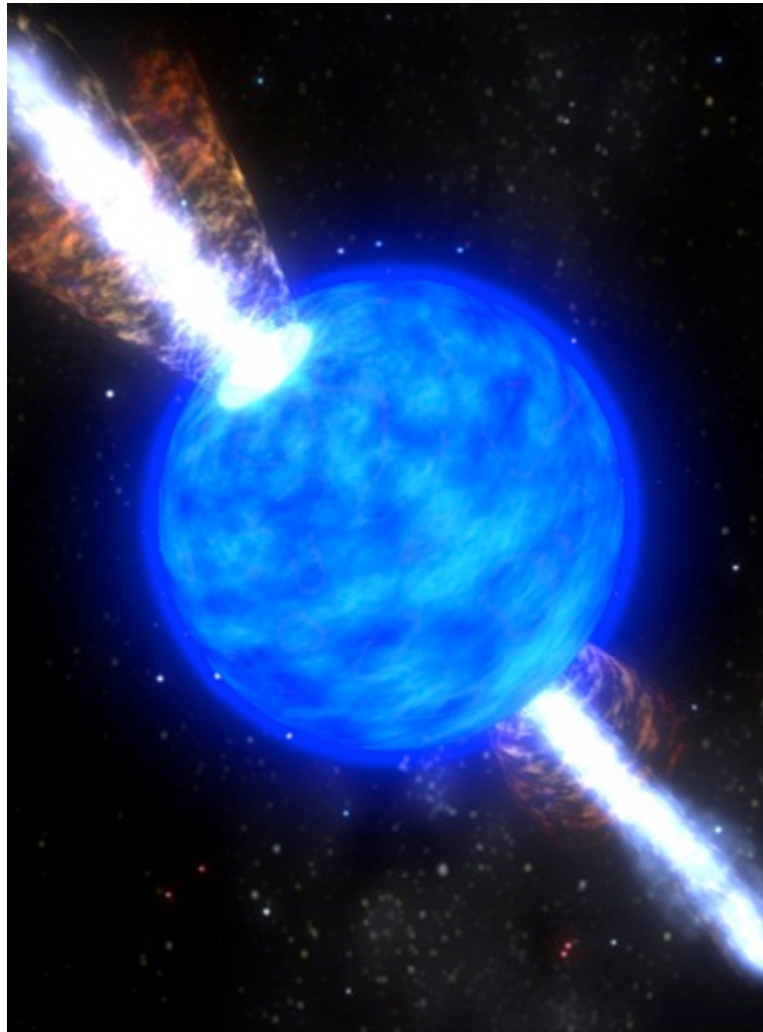


Illustration credit: NASA

## Collapsar Modell:

Unter besonderen Bedingungen können Supernovae extrem hell sein: „Hypernovae“.

Wenn der Stern sehr schnell rotiert (so das Modell) produziert der kollabierende Kern zwei relativistische Jets die sich quer durch den Stern bohren.

Wenn man zufällig genau in das Loch schaut, sieht man einen Gamma-Blitz (Eng: Gamma-ray burst).

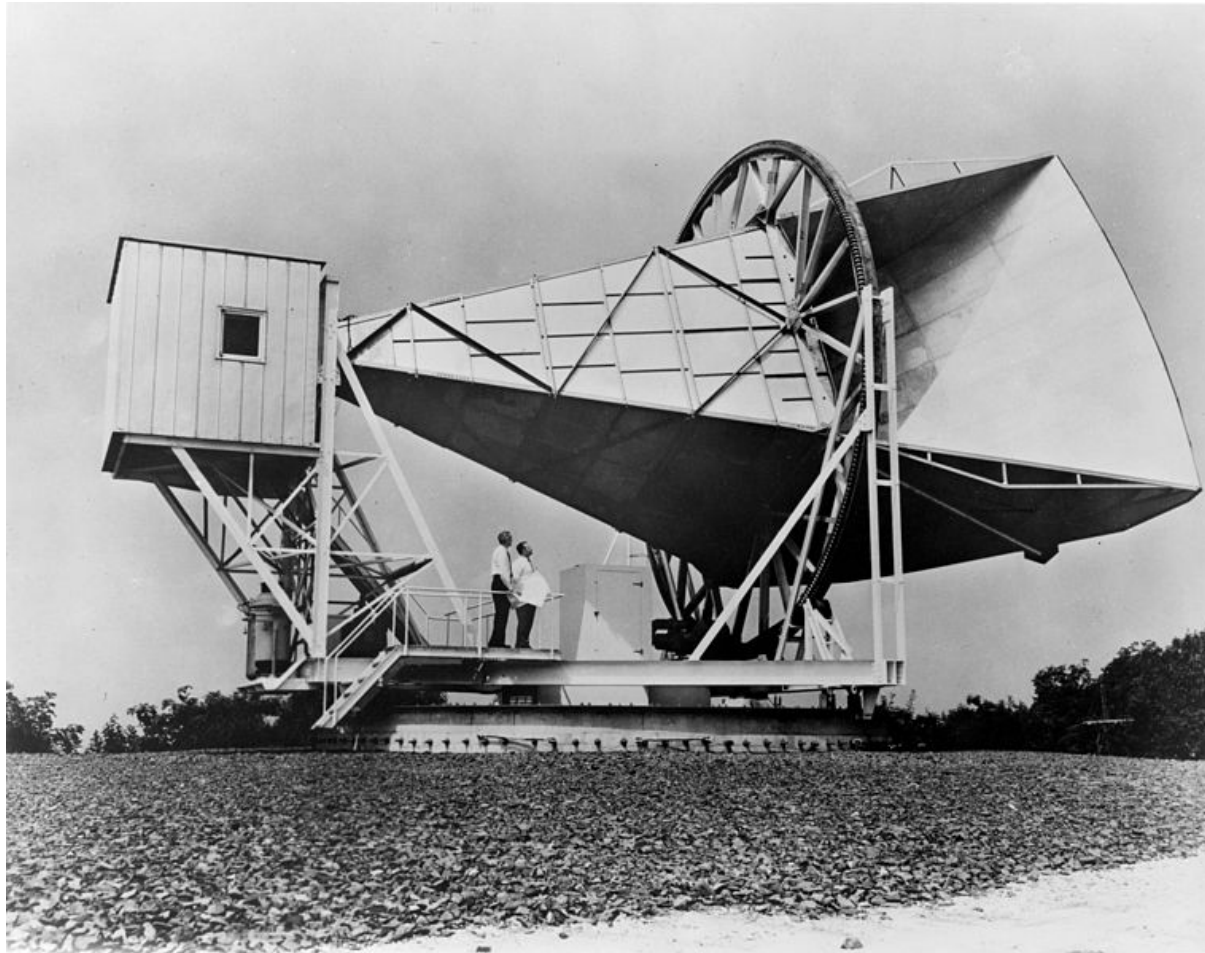
Den kann man bis ans „andere Ende“ des Universums beobachten.

# Großskalige Strukturen im All

Mikrowellen  
Hintergrundstrahlung  
&  
Struktur und Entwicklung  
des Universums



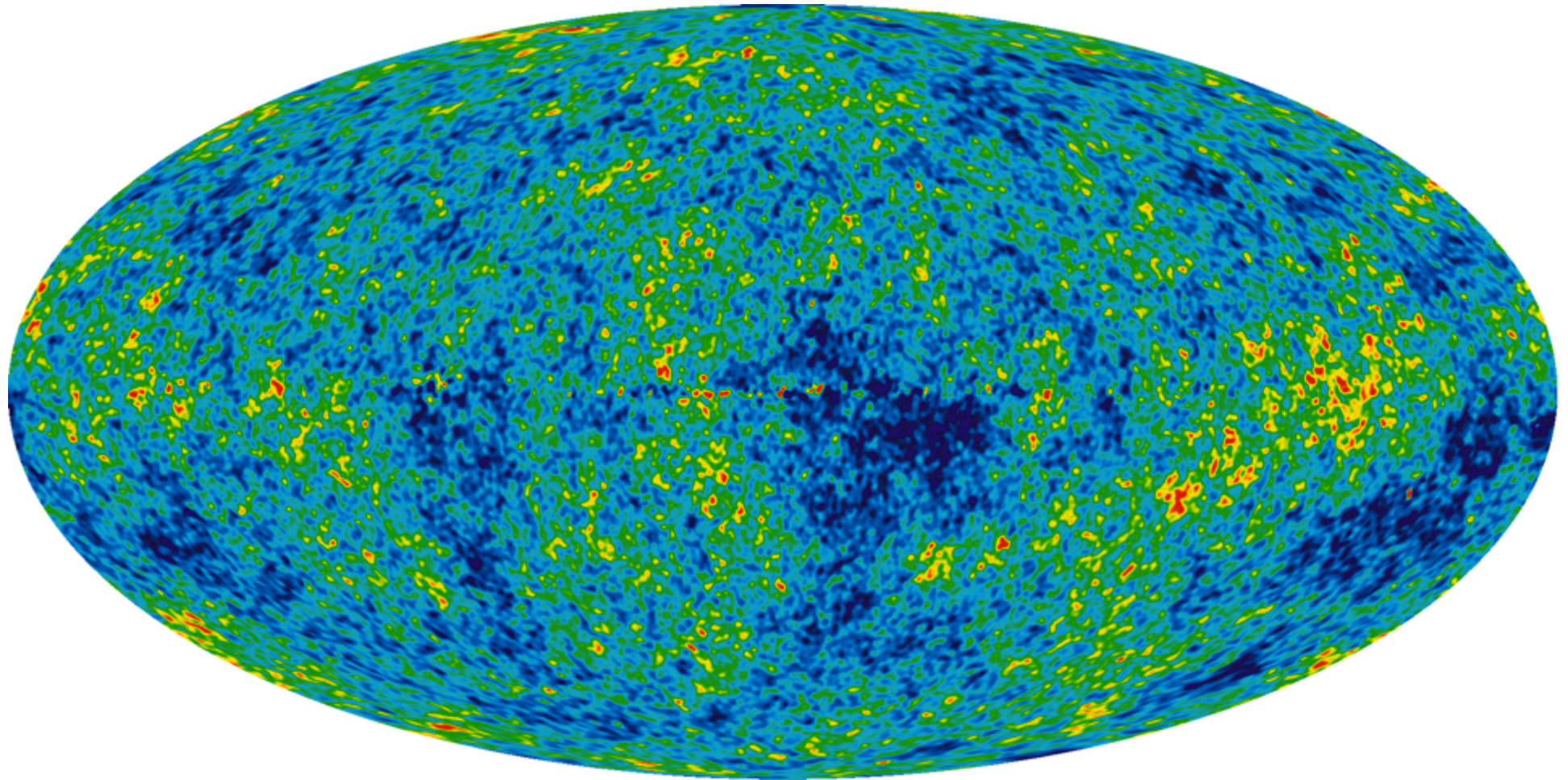
# Zufällige Entdeckung der Hintergrundstrahlung



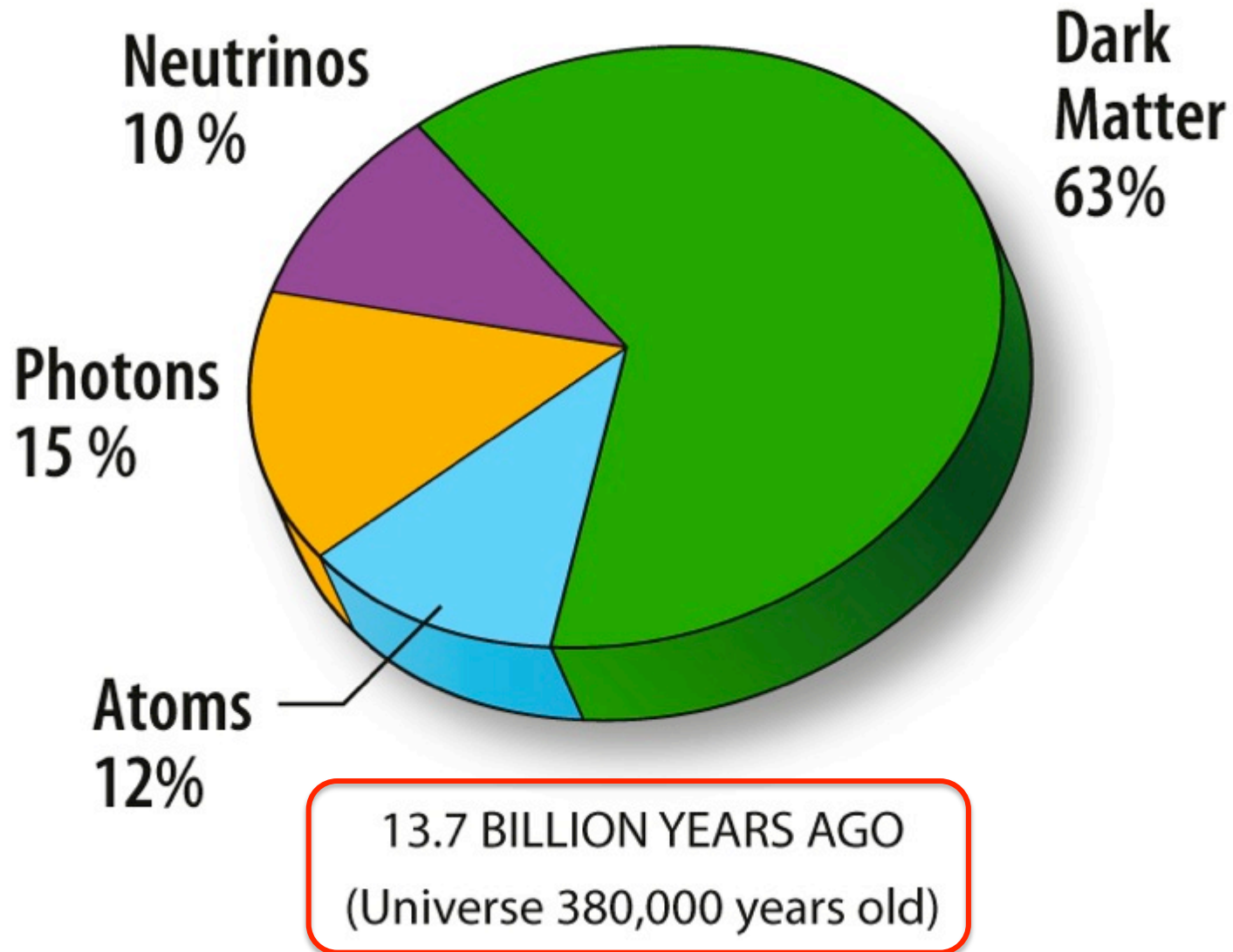
Holmdel Radio-  
Telescop in  
New Jersey  
rund 1962

Penzias & Wilson (Bell Labs) konnten ein 3 Kelvin "Rauschen" nicht loswerden...  
Sie hatten unwissentlich die Kosmische Mikrowellen Hintergrundstrahlung gefunden,  
und gewannen den Nobelpreis.

# Kleine Fluktuationen in der Hintergrundstrahlung



# Zusammensetzung der Materie im Universum



# Zusammensetzung der Materie im Universum

