



Herzlich willkommen,
bitte schalten Sie Ihre Telefone leise.
Danke!

Kosmische Evolution für Nicht-Physiker:
Wie unser Weltall wurde, was es heute ist

12. Zusammenfassung und Zukunftsaussichten

Knud Jahnke, MPIA

Void
Leben
Sonne
Wasserstoff
Spiralgalaxie
Riesensterne
Molekülwolke
Filament
Schwarze
Helium
Komet
Galaxie
Planet
Gravitation
Gasriese
Energie
Erde
Sternentstehung
Löcher
Doppelstern
Sterne
Konstante
Urknall
Dunkle
Materie
Gas
Wachstum
Haufen
Halos
Kosmologische
Staub

Ausgangsfragen

1. Wie ist die Erde entstanden?
2. Woher kommen Wasserstoff, Sauerstoff, schwere Elemente?
3. Was sind Mindestbedingungen für Leben?
4. Wie sind die Sterne entstanden?
5. Welche unterschiedlichen Sterne gibt es und warum?
6. Was war der Urknall? Was war davor?

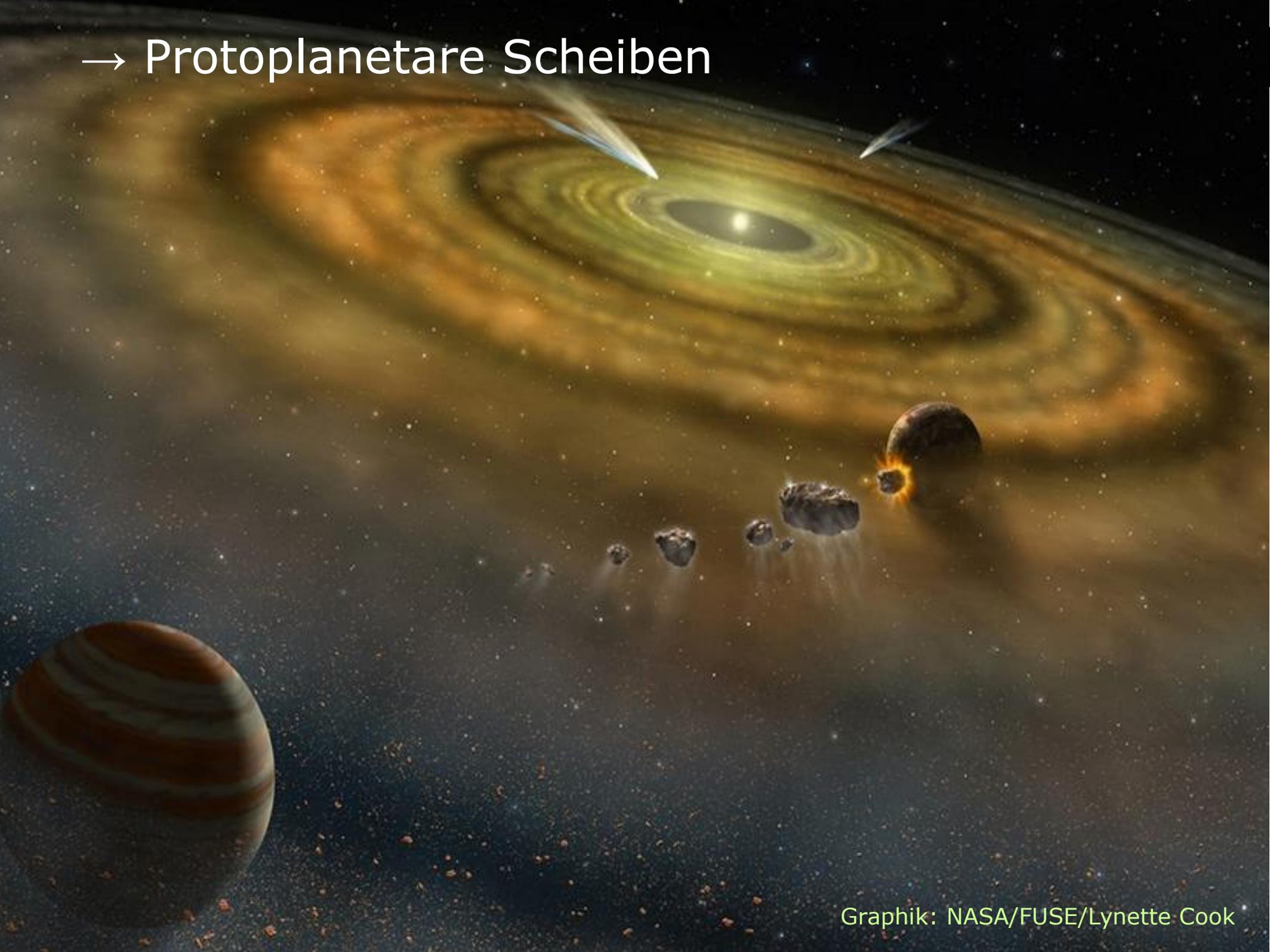
Ausgangsfragen

7. Warum war das Universum so gleichmäßig?
8. Warum dehnt sich das Universum aus und wie ist seine Geometrie und Geschichte?
9. Welche Arten von Energie und Materie gibt es?
10. Wie sind Galaxien entstanden?
11. Welche unterschiedlichen Galaxien gibt es?
12. Wie sieht die Zukunft des Universums aus?

Ausgangsfragen

1. Wie ist die Erde entstanden?

→ Protoplanetare Scheiben

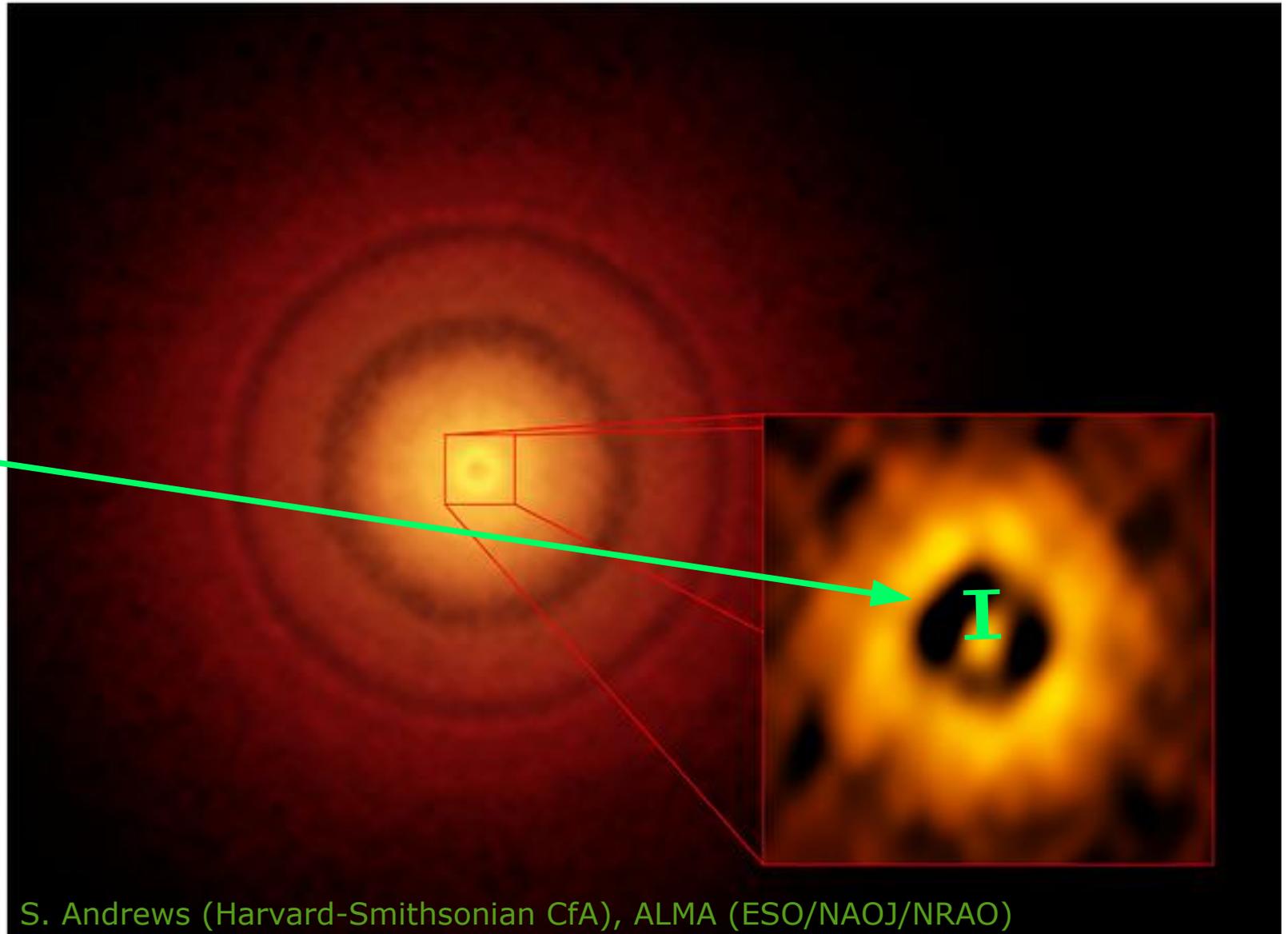


Protoplanetare Scheiben

Entstehende Stern+Planetensysteme: Blick mit ALMA
(Millimeter)

TW Hydra

1. Lücke
bei ca. 1 AU

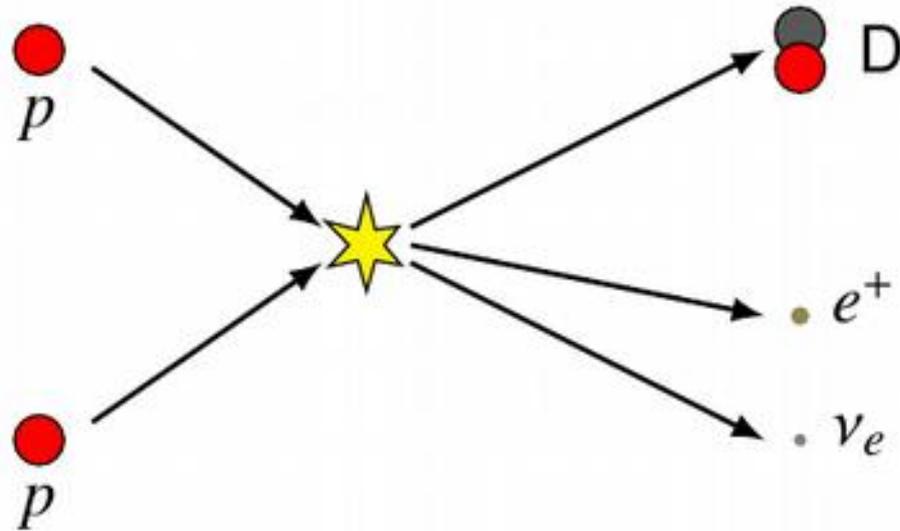


S. Andrews (Harvard-Smithsonian CfA), ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

2. Woher kommen Wasserstoff, Sauerstoff, schwere Elemente?

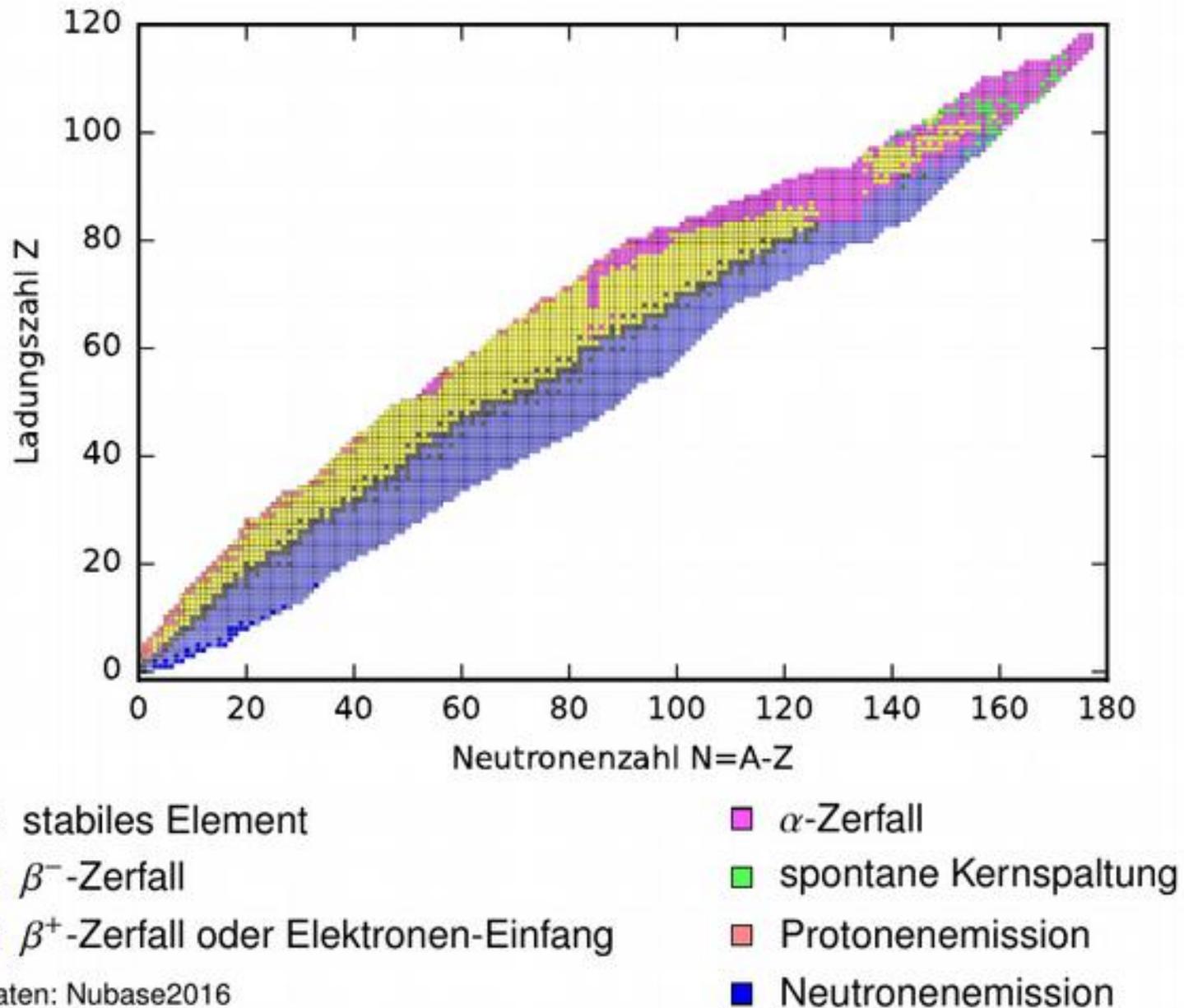
Ausgangsfragen

→ primordialaler Wasserstoff + Fusion



Hier: Wasserstoffkern (=Proton) p zu Deuteriumkern D , Positron (=Antielektron) e^+ und Elektron-Neutrino ν_e

Ausgangsfragen



3. Was sind Mindestbedingungen für Leben?

Exoplaneten: erdähnlich?

→ "Habitable Zone"

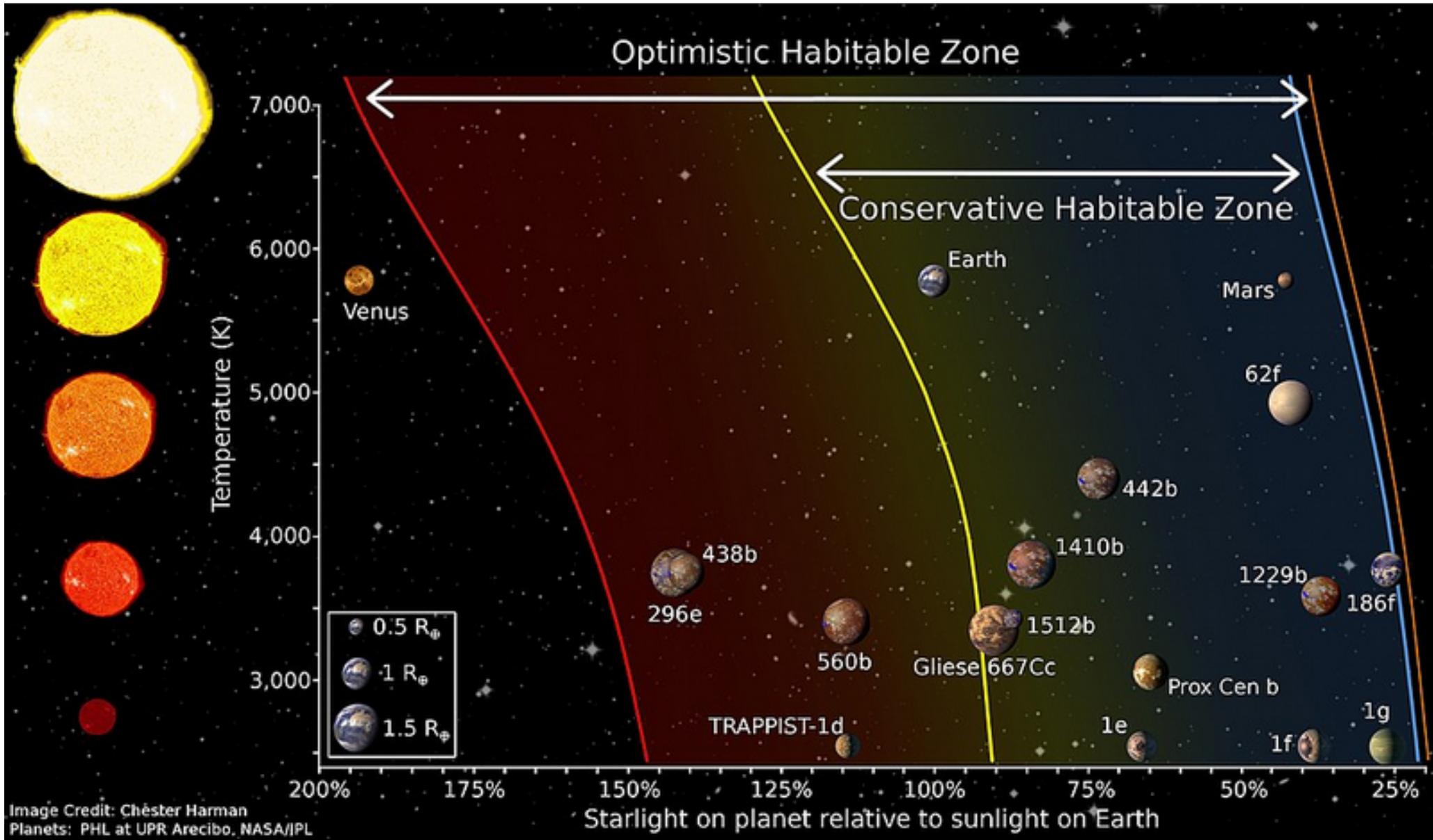
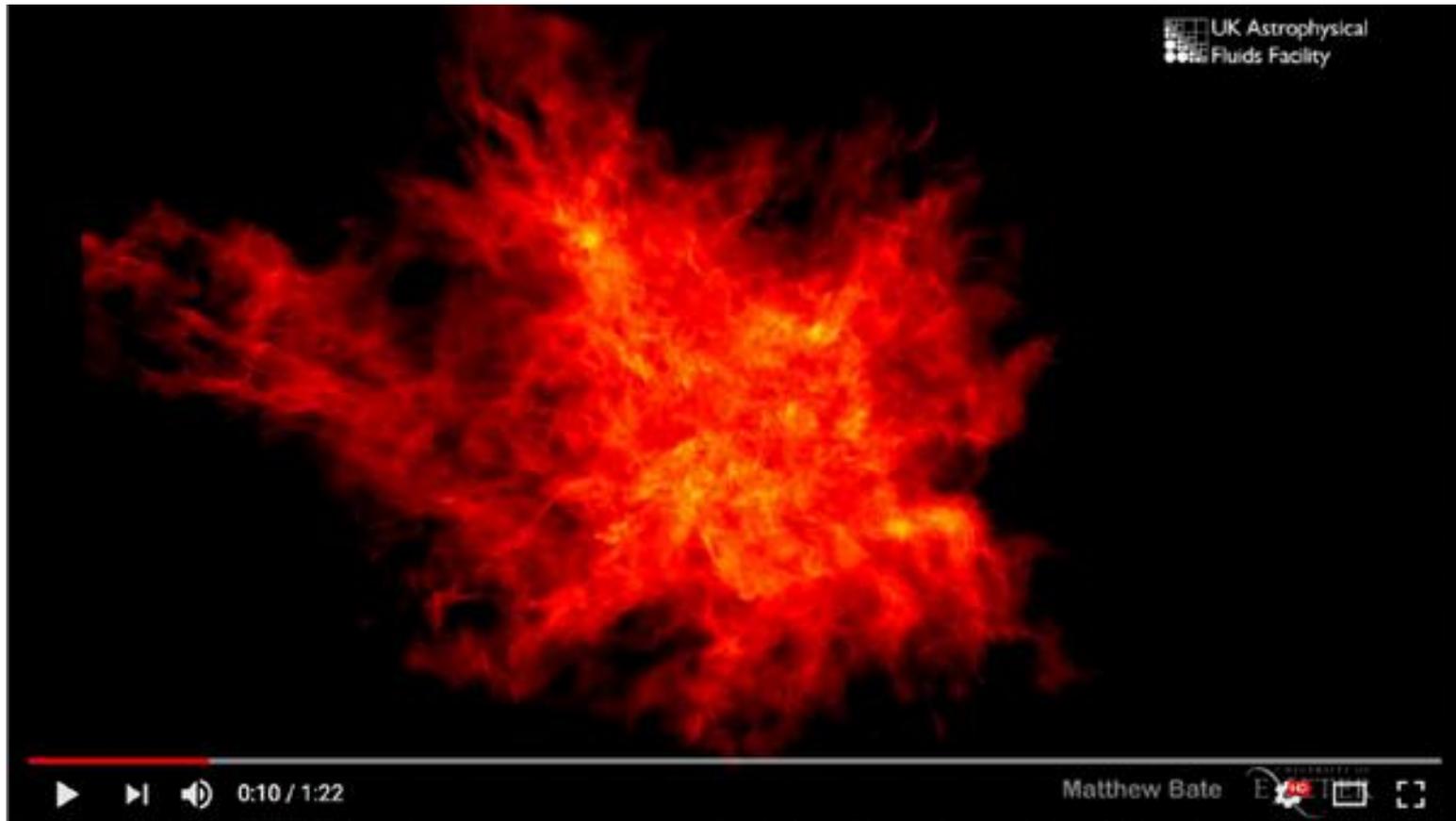


Image Credit: Chester Harman
Planets: PHL at UPR Arecibo, NASA/IPL

Ausgangsfragen

4. Wie sind die Sterne entstanden?

→ molekulares Gas + Fusion + Winde

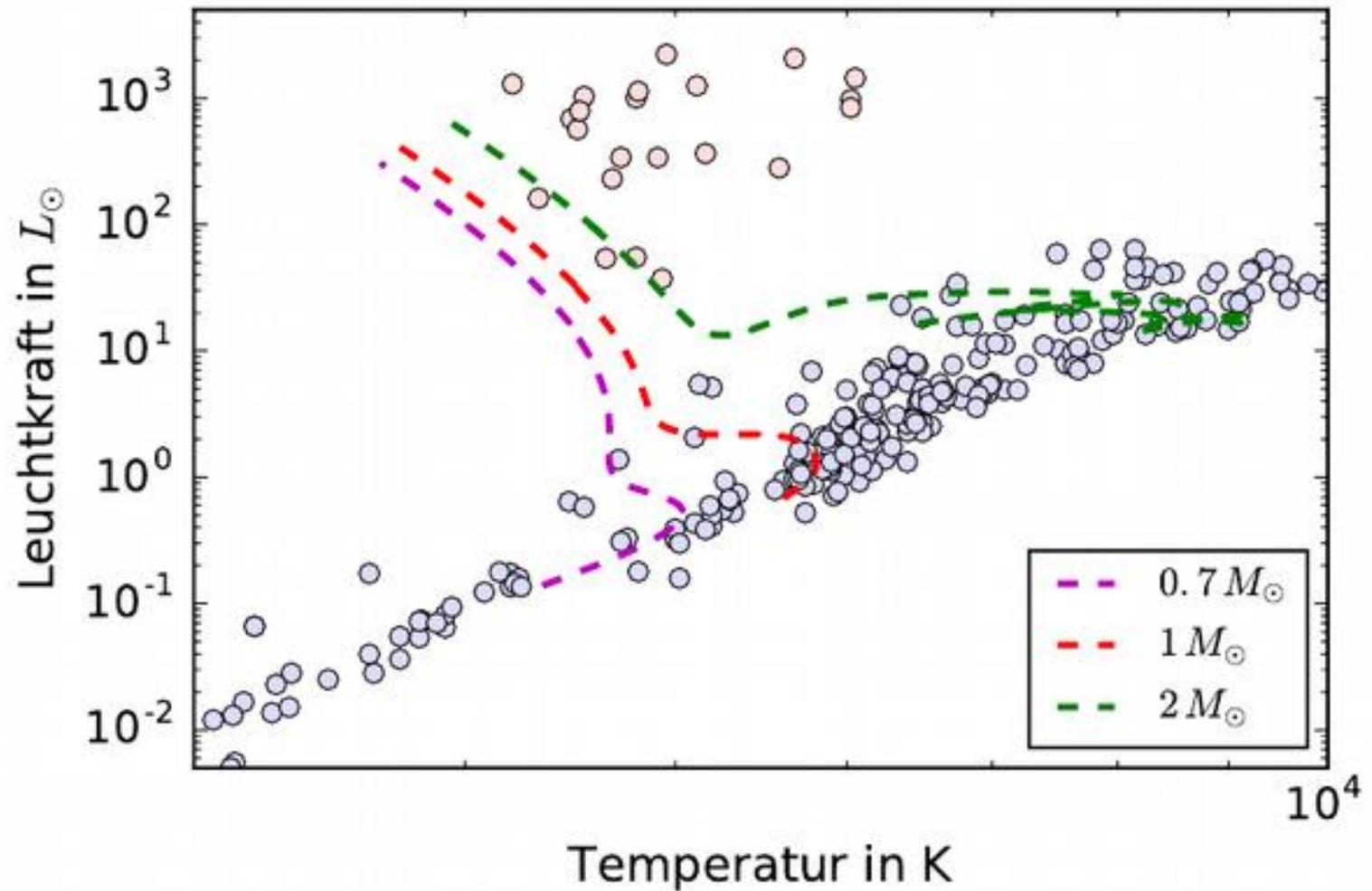


Kollaps einer Wolke mit $500 M_{\odot}$ über 285 000 Jahre. Simulation: Matthew Bate, University of Exeter

<https://youtu.be/3z9ZKAkbMhY>

Ausgangsfragen

Herzsprung-Russel-Diagramm:

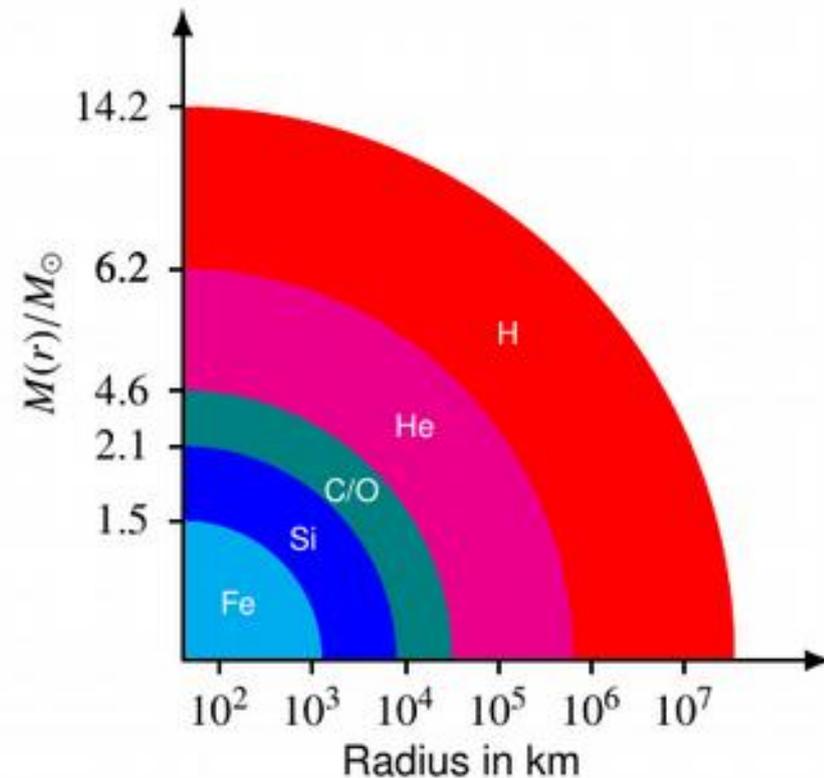


Ausgangsfragen

5. Welche unterschiedlichen Sterne gibt es und warum?

→ Masse und Alter:

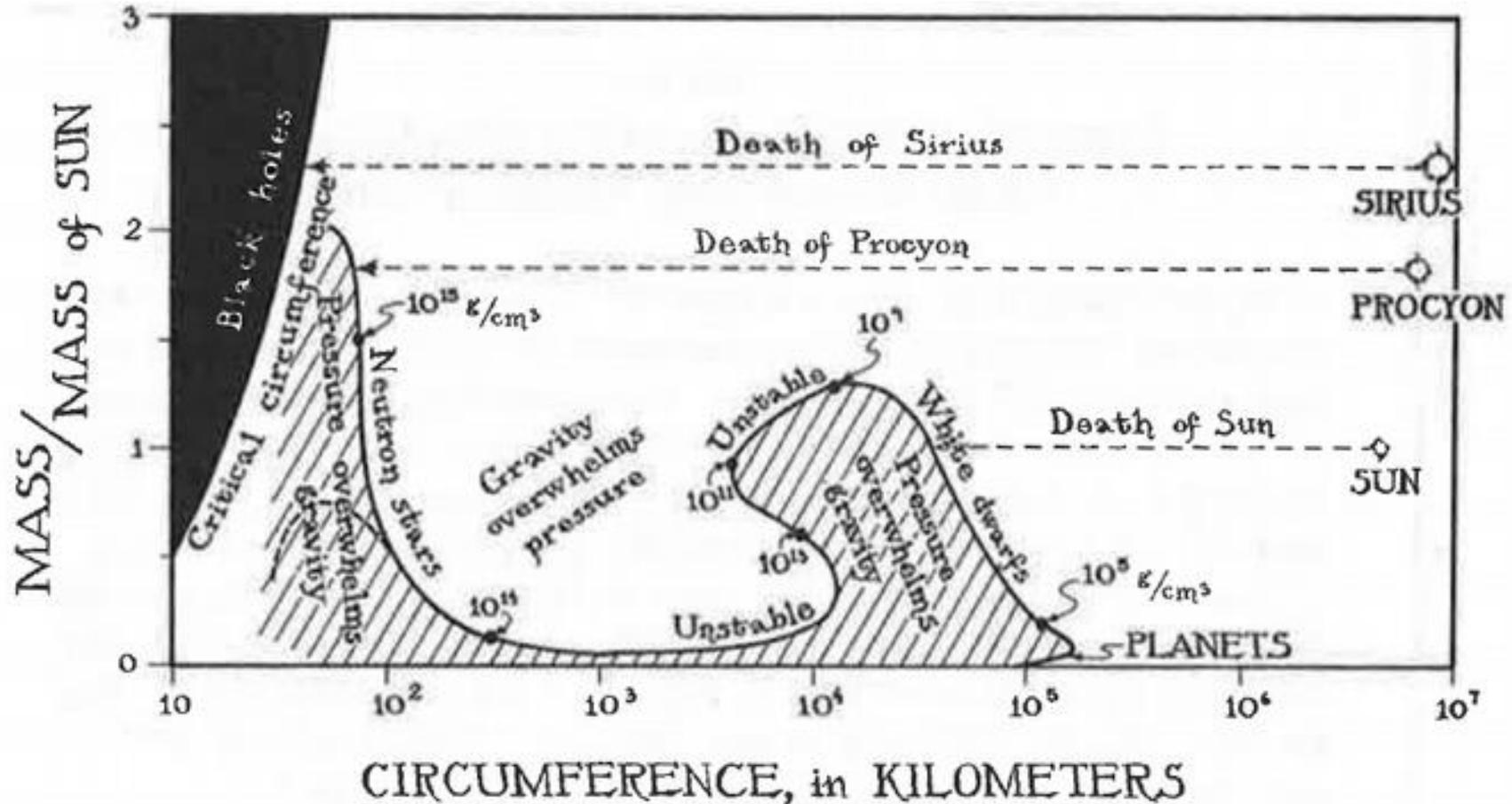
- Hauptreihe
- Riesenphase
- Endphase



Nach Abbildung 2.11 aus dem Nucleosynthese-Skript von Achim Weiss; Endzustand Stern mit Ausgangsmasse $15 M_{\odot}$

Ausgangsfragen

Endphase von Sternen:



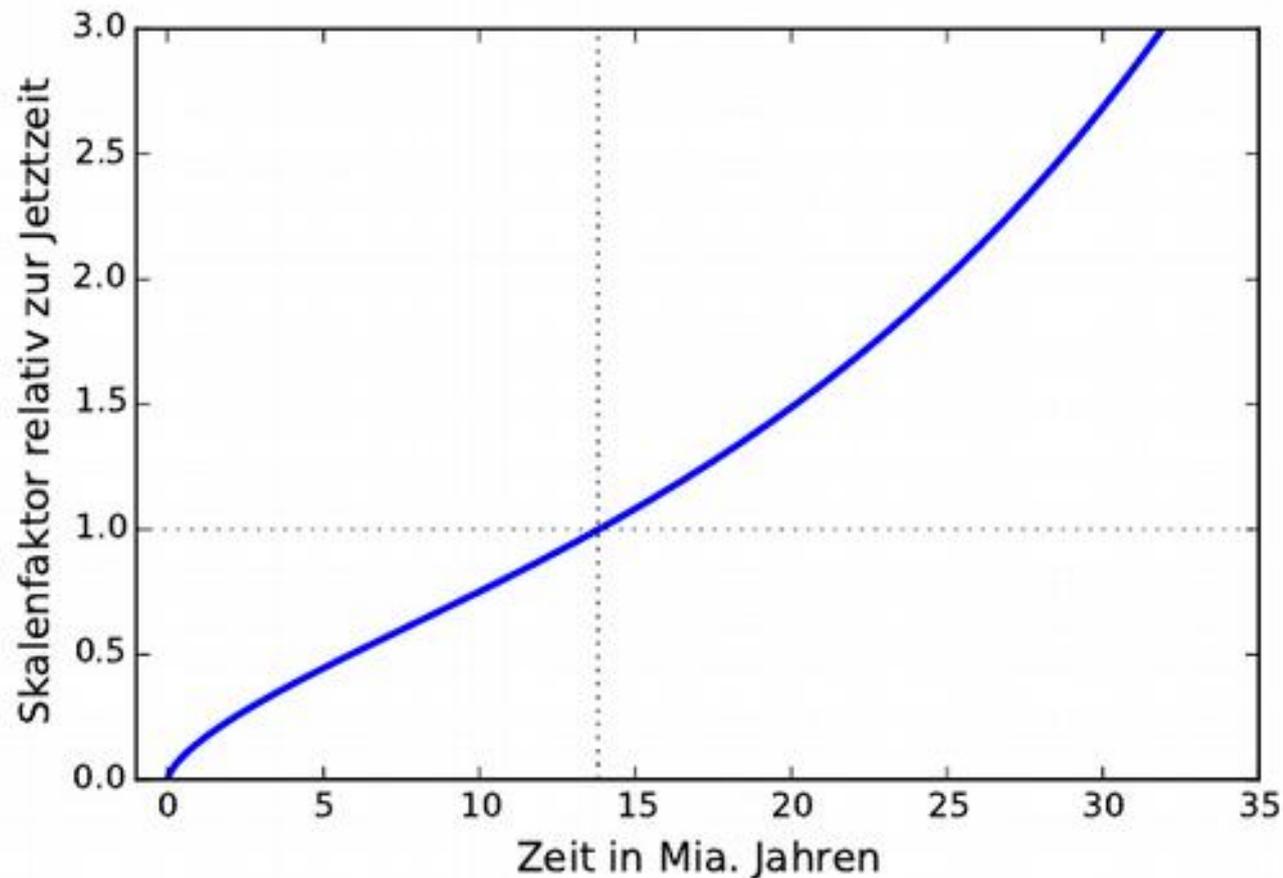
Quelle: Abb. 5.5. in Kip Thorne, *Black Holes and Time Warps*, W.W. Norton 1994

Ausgangsfragen

6. Was war der Urknall? Was war davor?

→ alles war sehr sehr dicht zusammen

+ falsche Frage



7. Warum war das Universum so gleichmäßig?

→ Inflation

beschleunigte Expansion
infolge "Dunkler Energie"

Hintergrundstrahlung
(nach 380.000 Jahren)

dunkles
Zeitalter

Entstehung von
Galaxien, Planeten, usw.

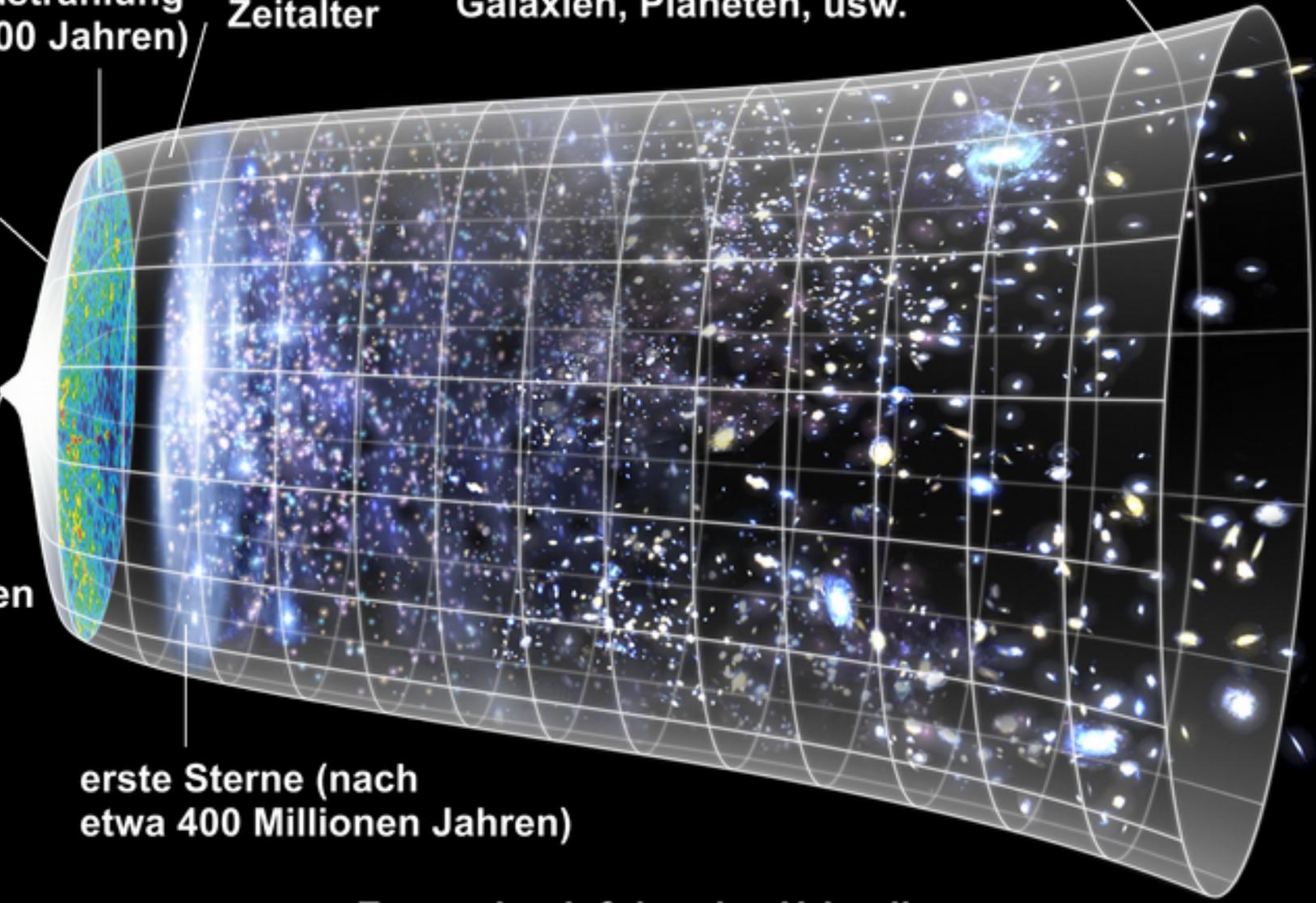
Inflation

Quanten-
fluktuationen

erste Sterne (nach
etwa 400 Millionen Jahren)

Expansion infolge des Urknalls

13,7 Milliarden Jahre



8. Warum dehnt sich das Universum aus und wie ist seine Geometrie und Geschichte?

→ Urknall + kritische Dichte

beschleunigte Expansion
infolge "Dunkler Energie"

Hintergrundstrahlung
(nach 380.000 Jahren)

dunkles
Zeitalter

Entstehung von
Galaxien, Planeten, usw.

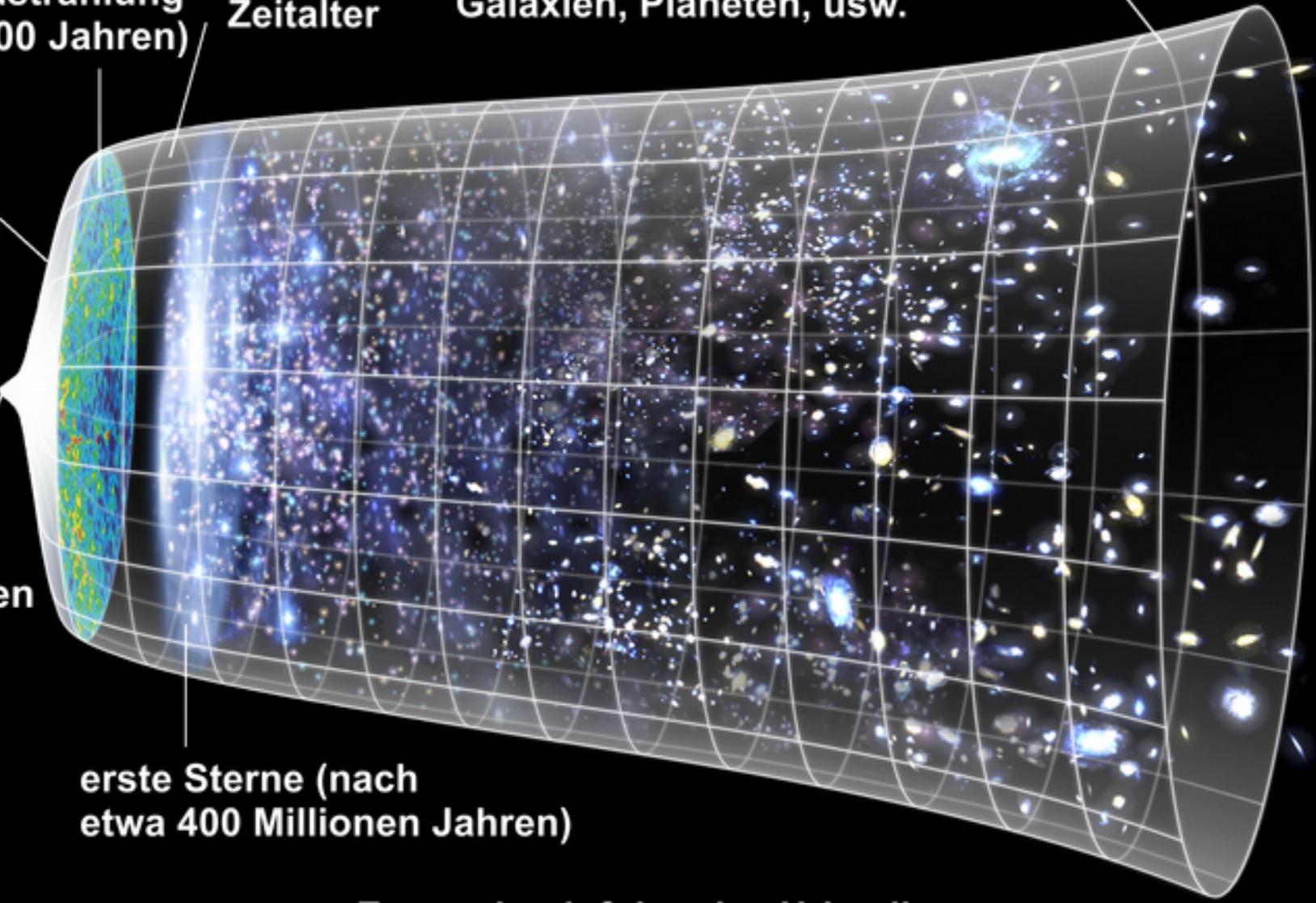
Inflation

Quanten-
fluktuationen

erste Sterne (nach
etwa 400 Millionen Jahren)

Expansion infolge des Urknalls

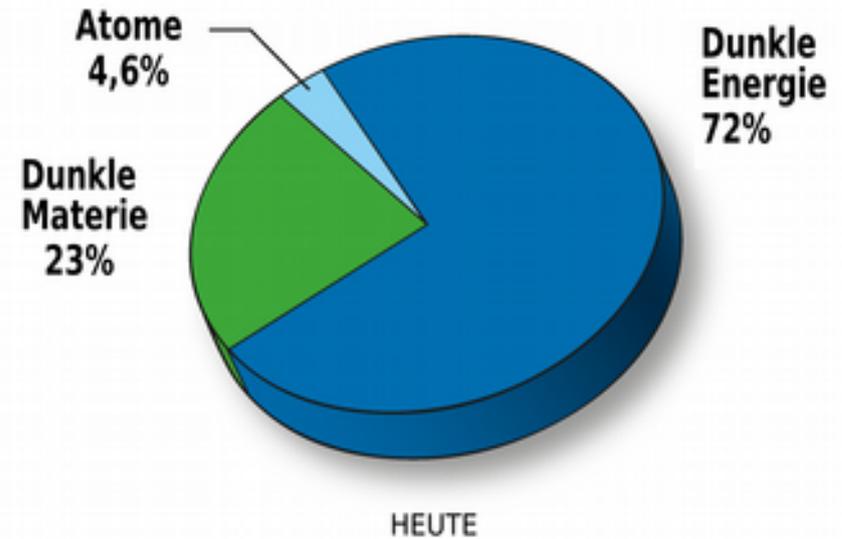
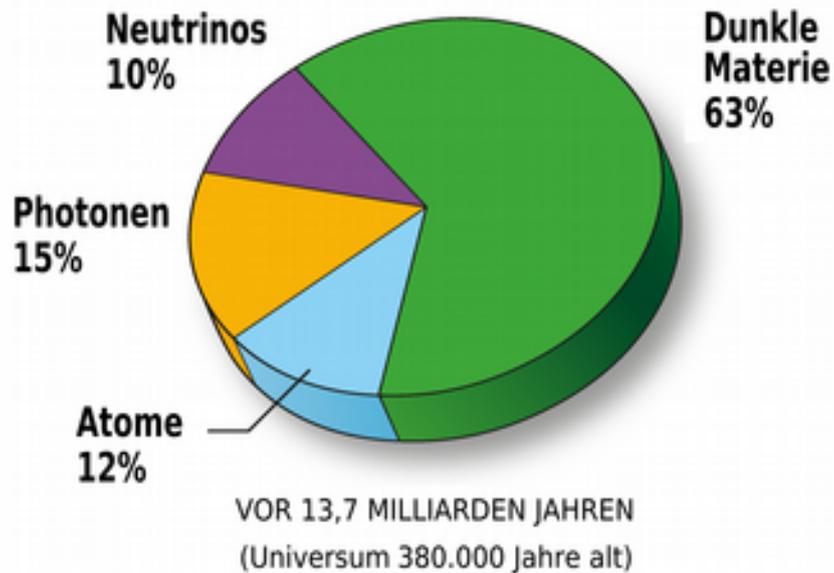
13,7 Milliarden Jahre



9. Welche Arten von Energie und Materie gibt es?

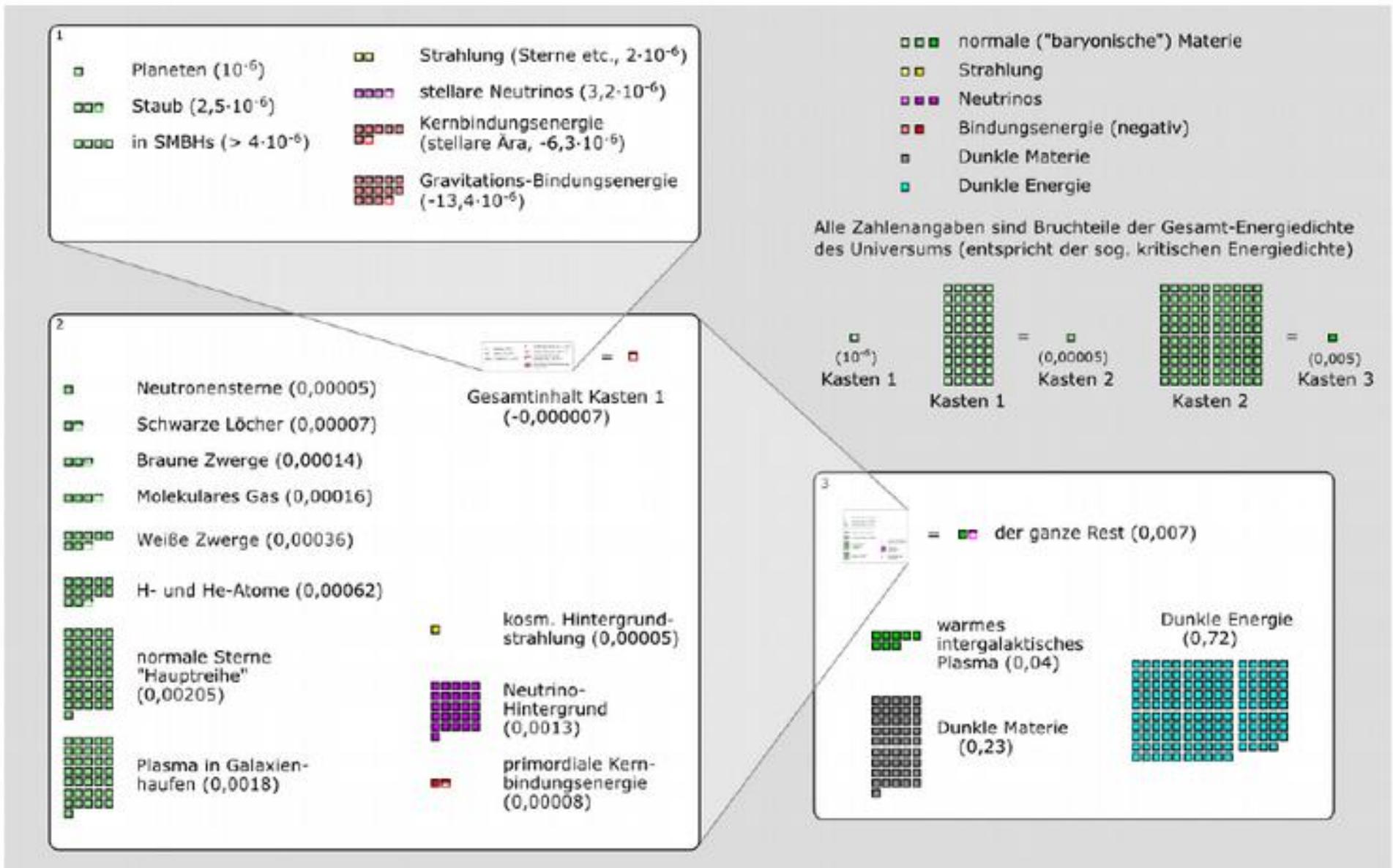
Ausgangsfragen

9. Welche Arten von Energie und Materie gibt es?



NASA/WMAP

Ausgangsfragen

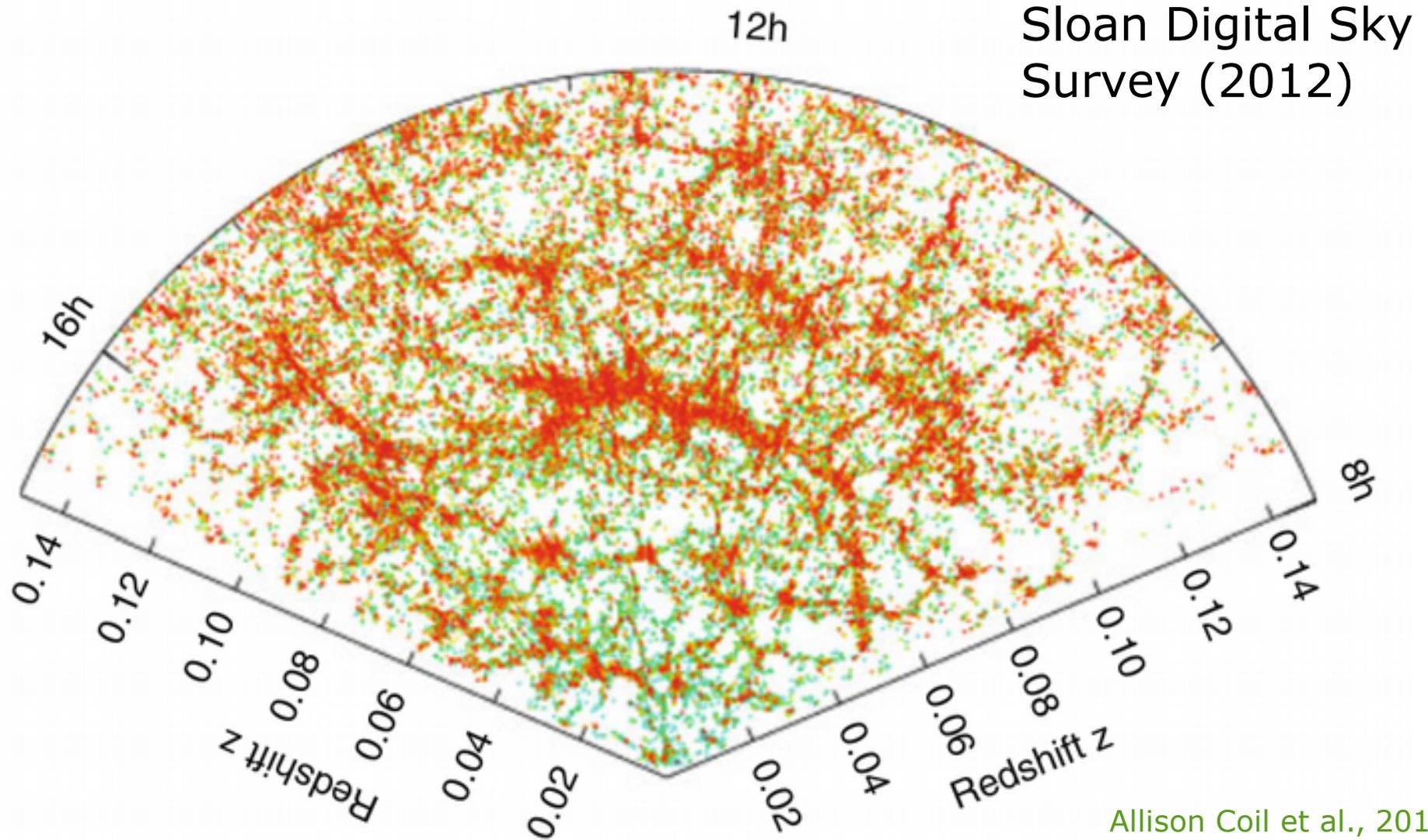


Nähere Beschreibung: Blogbeitrag „Universelle Bestandsaufnahme“.
 Alle Zahlenangaben: Bruchteile des Ganzen

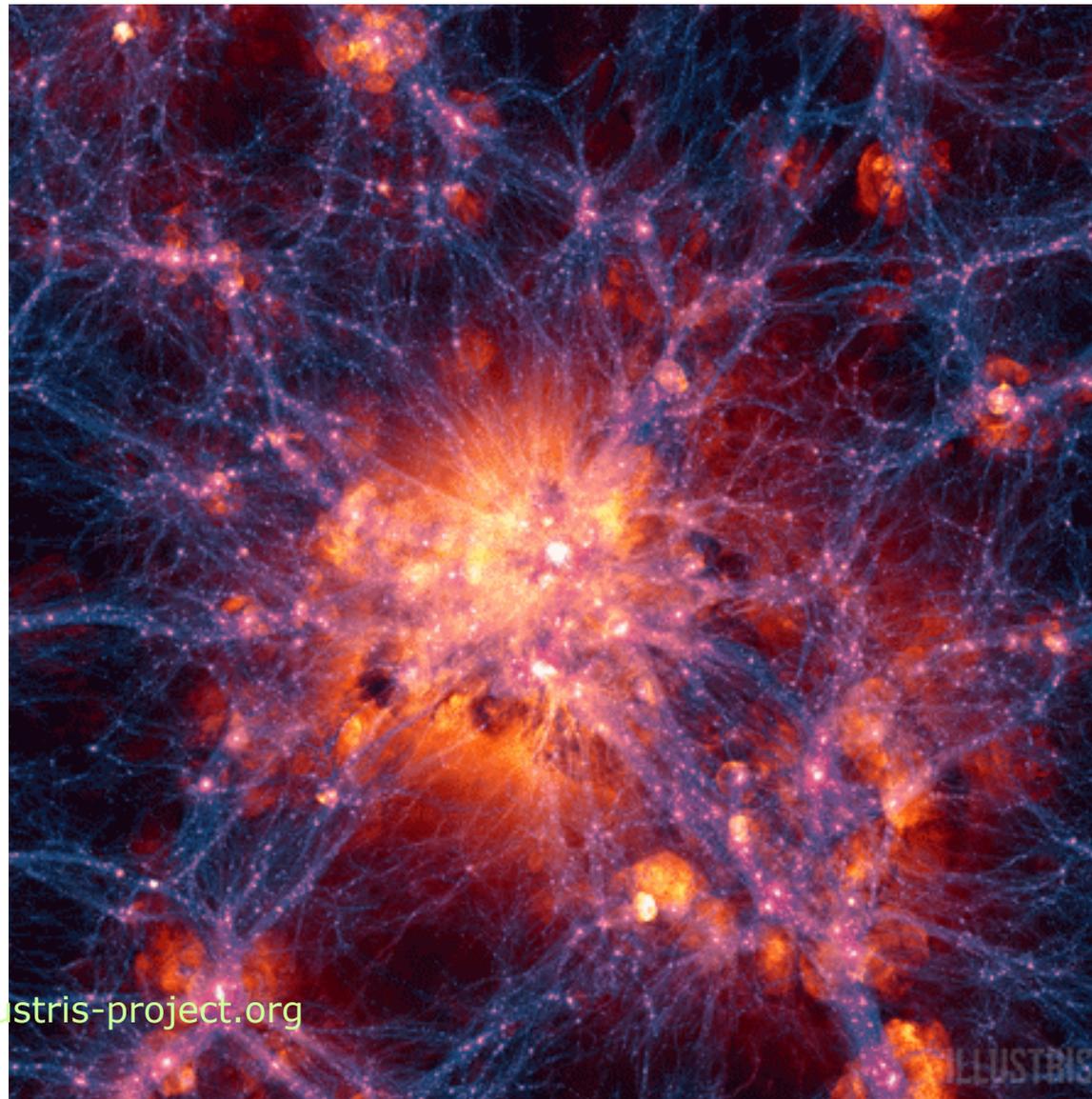
10. Wie sind Galaxien entstanden?

Ausgangsfragen

→ in Dunkle-Materie-Halos + Sternentstehung



Ausgangsfragen

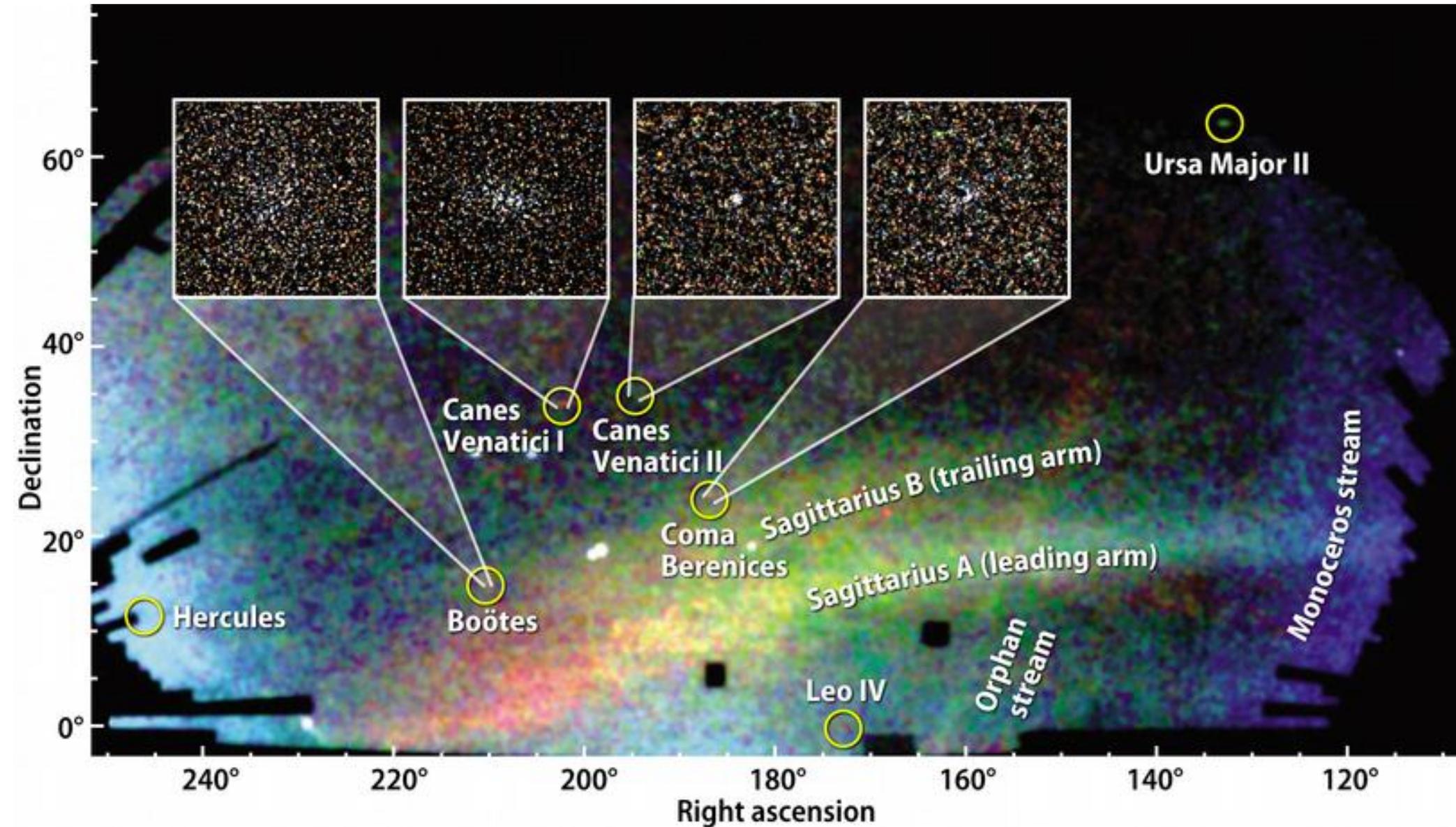


Illustris-project.org

11. Welche unterschiedlichen Galaxien gibt es?

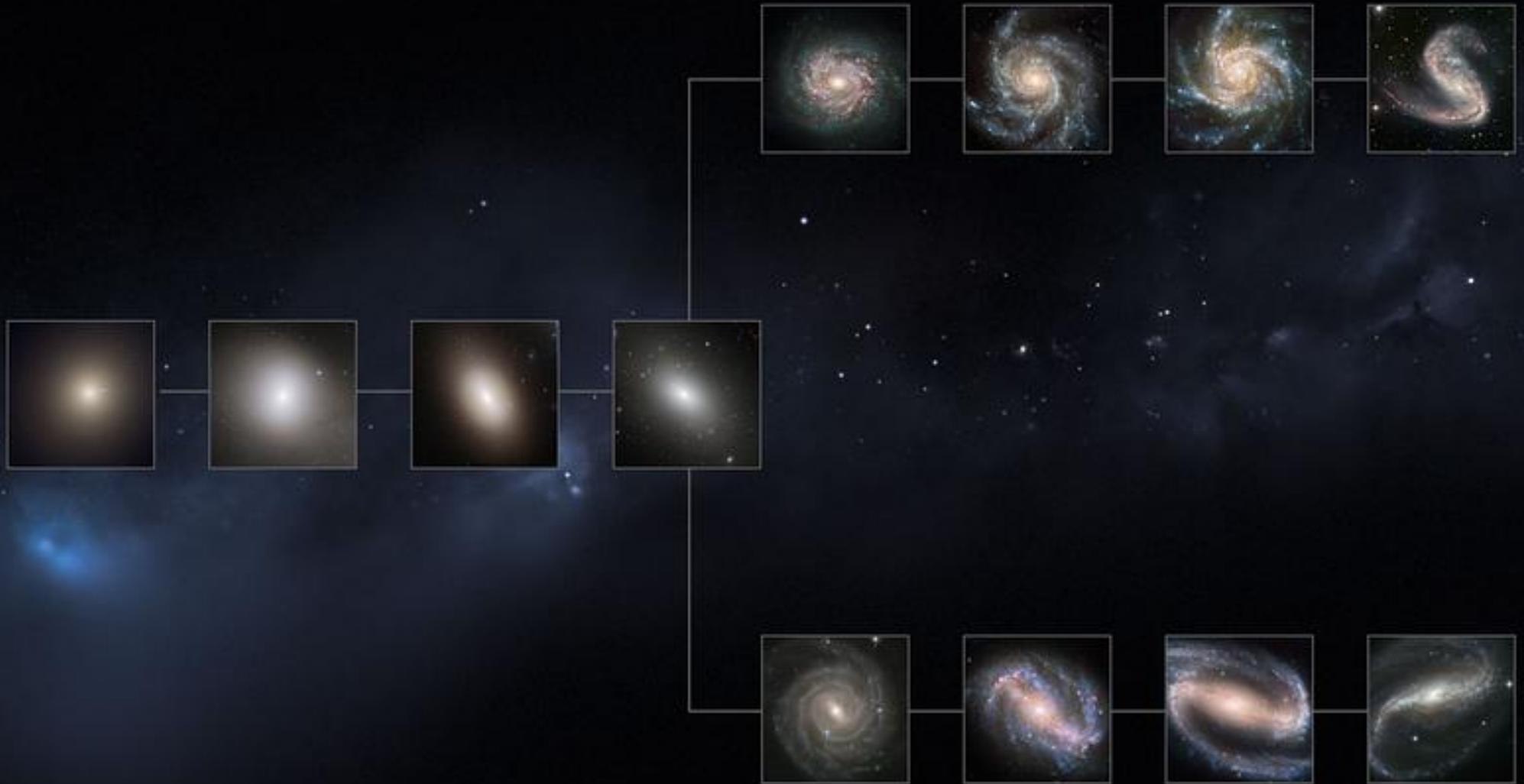
Ausgangsfragen

→ viele, von Zwerggalaxien to Riesen-Ellipsen



Klassifikation von Galaxien

Heute

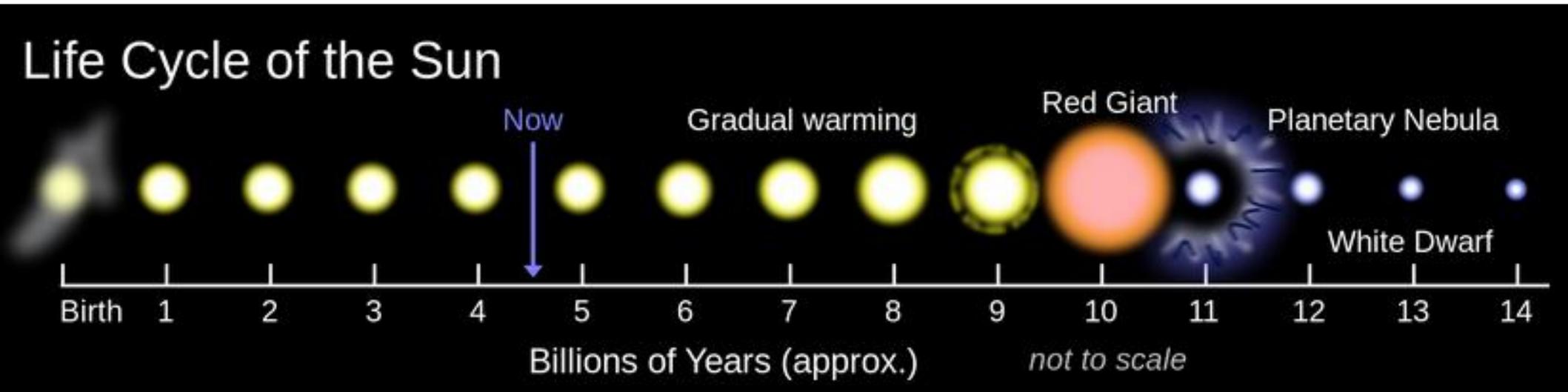


HST/CANDELS

12. Wie sieht die Zukunft des Universums aus?

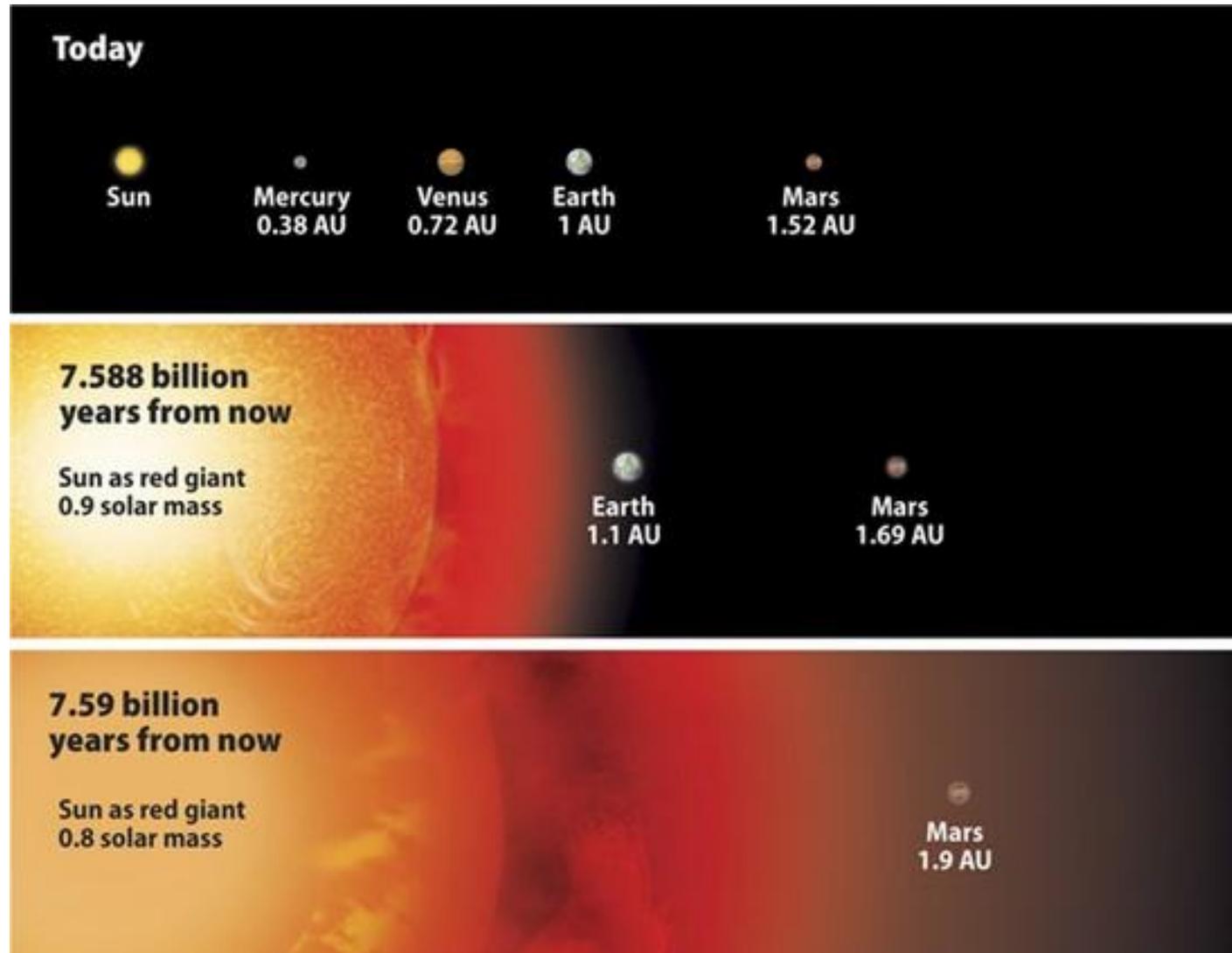
Die Zukunft (des Universums)

Zukunft der Sonne



Die Zukunft (des Universums)

Zukunft der Sonne



Die Zukunft (des Universums)

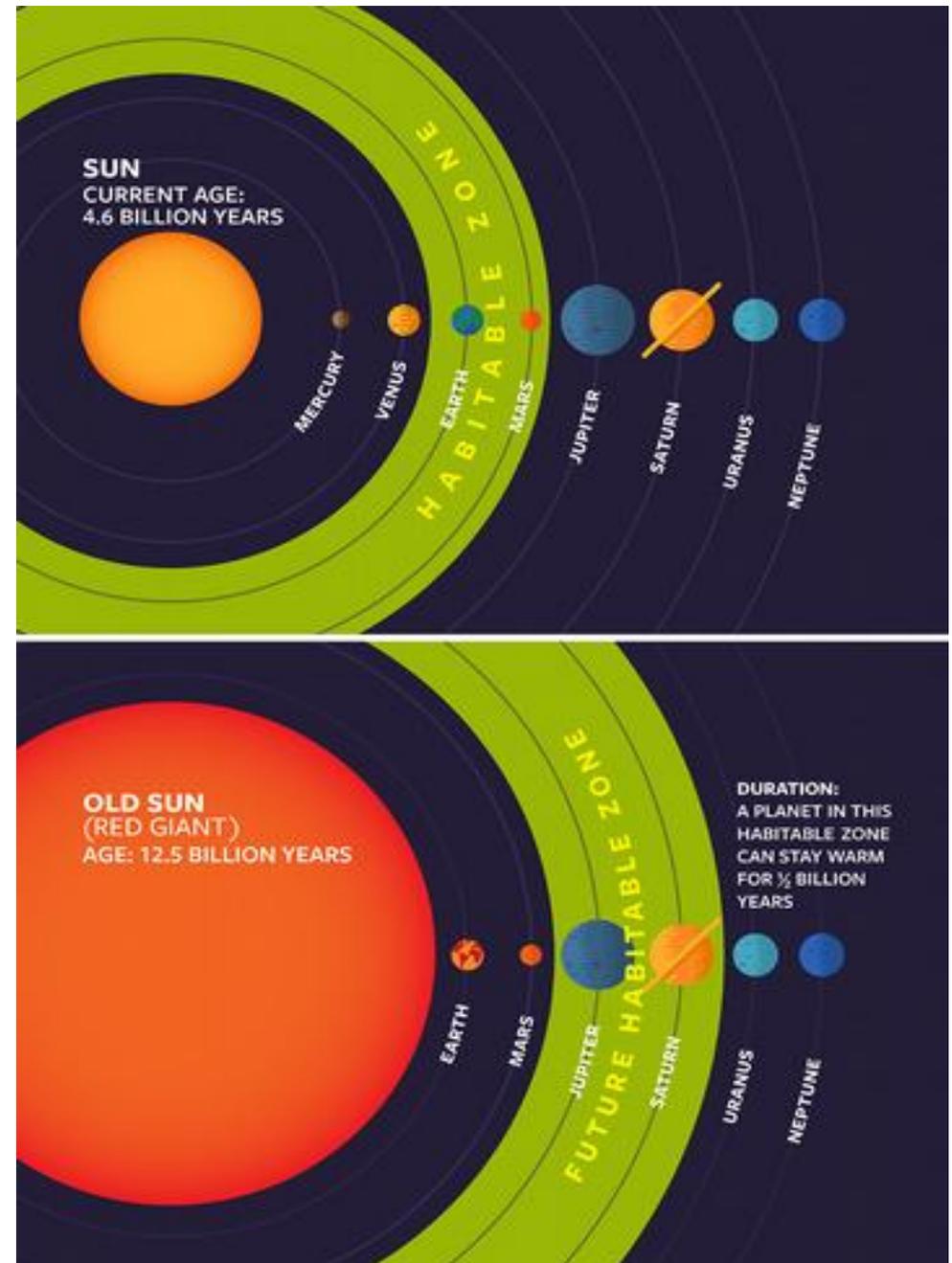
In 7×10^9 Jahren

Erde am Rand/
Inneren der Sonne

→ hier keine habitable
Zone mehr...

Evtl. überlebt Erde

Evtl. in die Sonne
gezogen und dort in
 ~ 100 Jahren zerstört



Die Zukunft (des Universums)

Galaxien:

- Zusammenstöße Galaxien: Milchstraße–Andromeda

Die Zukunft (des Universums)



Andromeda+Milchstraße: NASA

Galaxien:

- Zusammenstöße Galaxien: Milchstraße–Andromeda
- Ende Sternentstehung (10^{12} – 10^{14} Jahre)
- Relaxierung Sternorbits durch beinahe-Zusammenstöße → Sterne entkommen (10^{19} Jahre)
- Gravitationswellen → Sterne bewegen sich zum Zentrum (10^{24} Jahre)

Die Zukunft (des Universums)

Universum:

- Keine Fusion, Abkühlung, Gleichgewicht:
→ "Wärmetod"
- Aber auch: Dunkle Energie
 - beschleunigte Ausdehnung
 - DE Variante 1: alle nicht-gebundenen Systeme fliegen voneinander weg
 - DE Variante 2: "Big Rip", Abstoßung auch auf kleinen Skalen, alles flöge auseinander (unwahrscheinlich)

Neues Wissen?

→ neue Daten

→ neue Instrumente!

Die Zukunft (der Astronomie)

James Webb Space Telescope

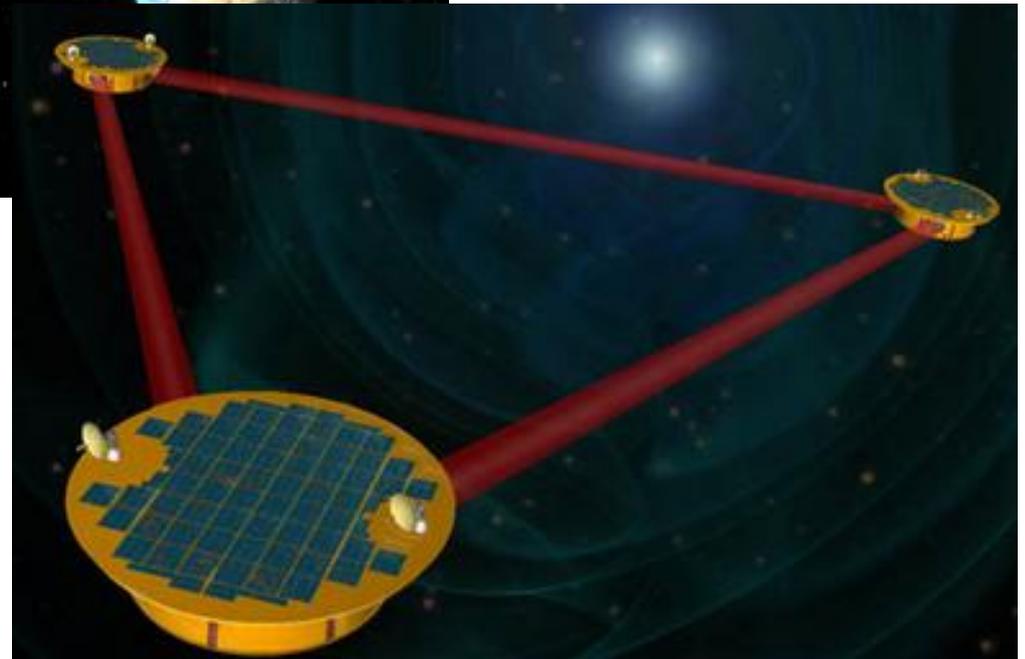
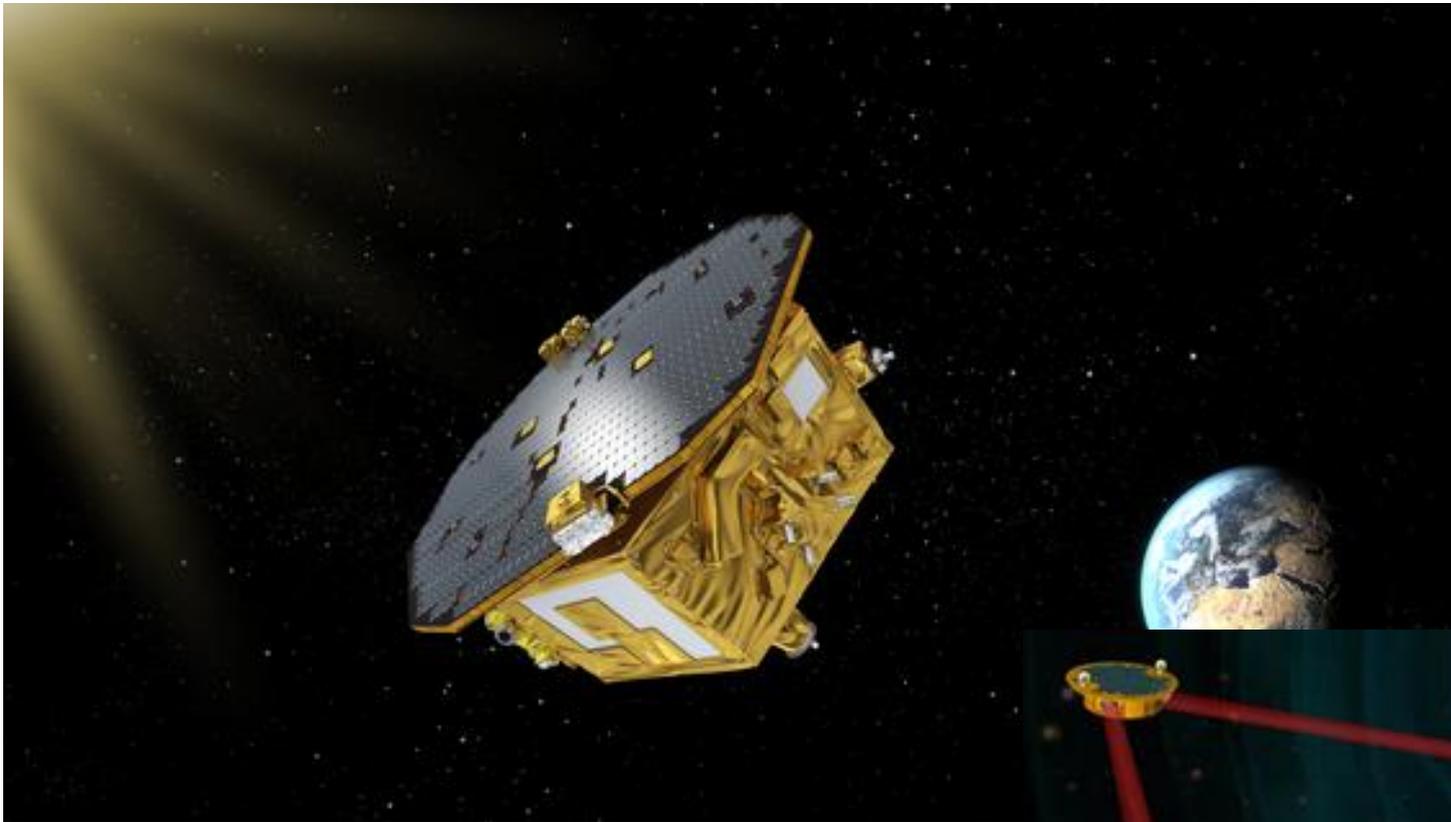
Euclid

Large Synoptic Survey Telescope

Extremely Large Telescope

Laser Interferometer Space Antenna

Laser Interferometer Space Antenna (LISA): ~2034



- Gravitationswellenastronomie
- Frei-fliegende Satelliten, ~ 2 Millionen km Abstand
- Ziele: supermassereiche Schwarze Löcher, Neutronensterne
- Kosten: X Milliarden €
- ESA + NASA
- Nutzbar ab: ~ 2034

Extremely Large Telescope: ~2025



Extremely Large Telescope, ~2025 (ESO)

- 39m Spiegeldurchmesser
- Diverse Instrumente: UV– mittleres Infrarot
- Spektroskopie, Photometrie, Adaptive Optik

- Ziele: variables Observatorium, frühes Universum, Planeten
- Kosten: ~1 Milliarde \$
- ESO + Partner
- Nutzbar ab: ~2025

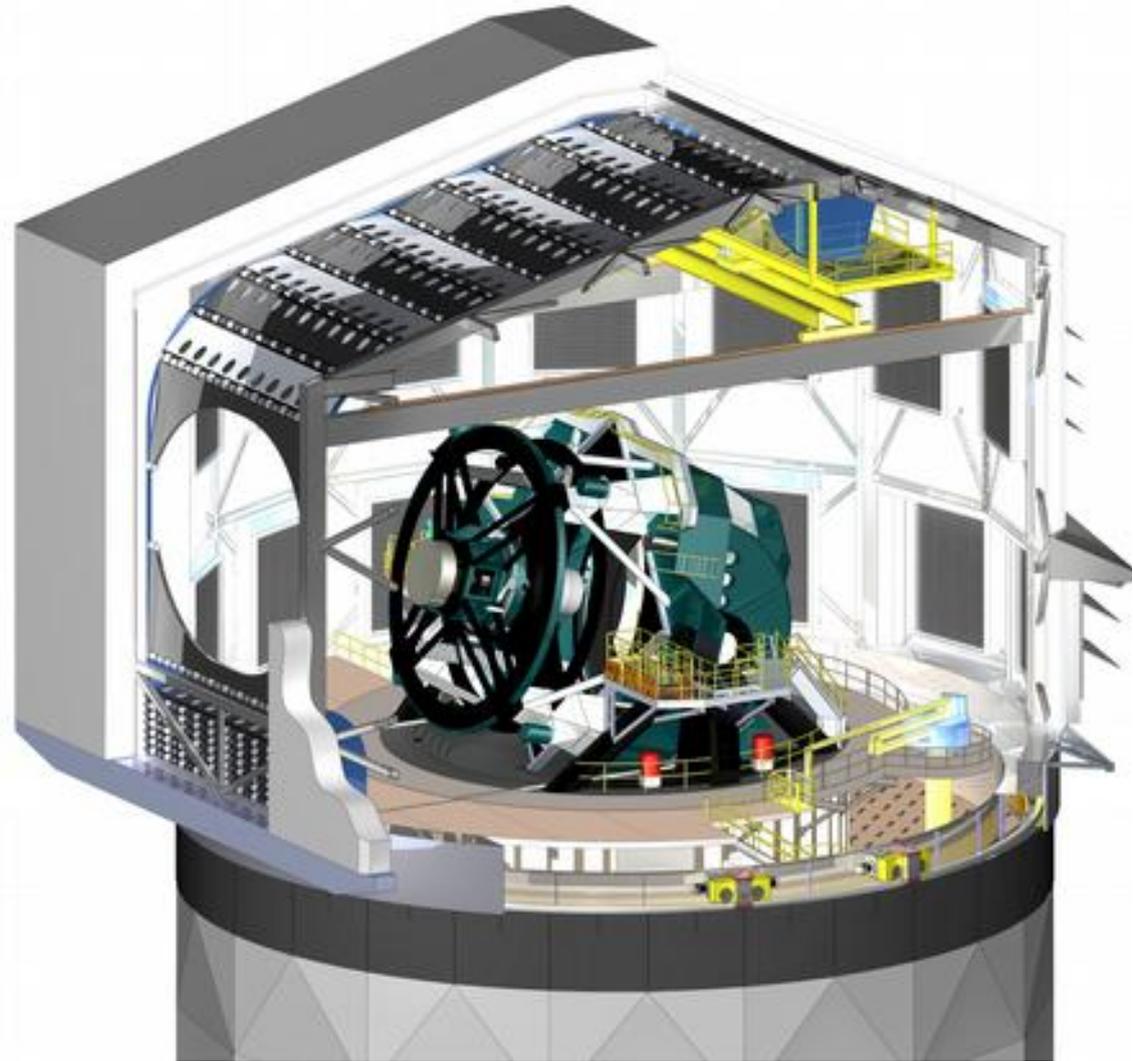
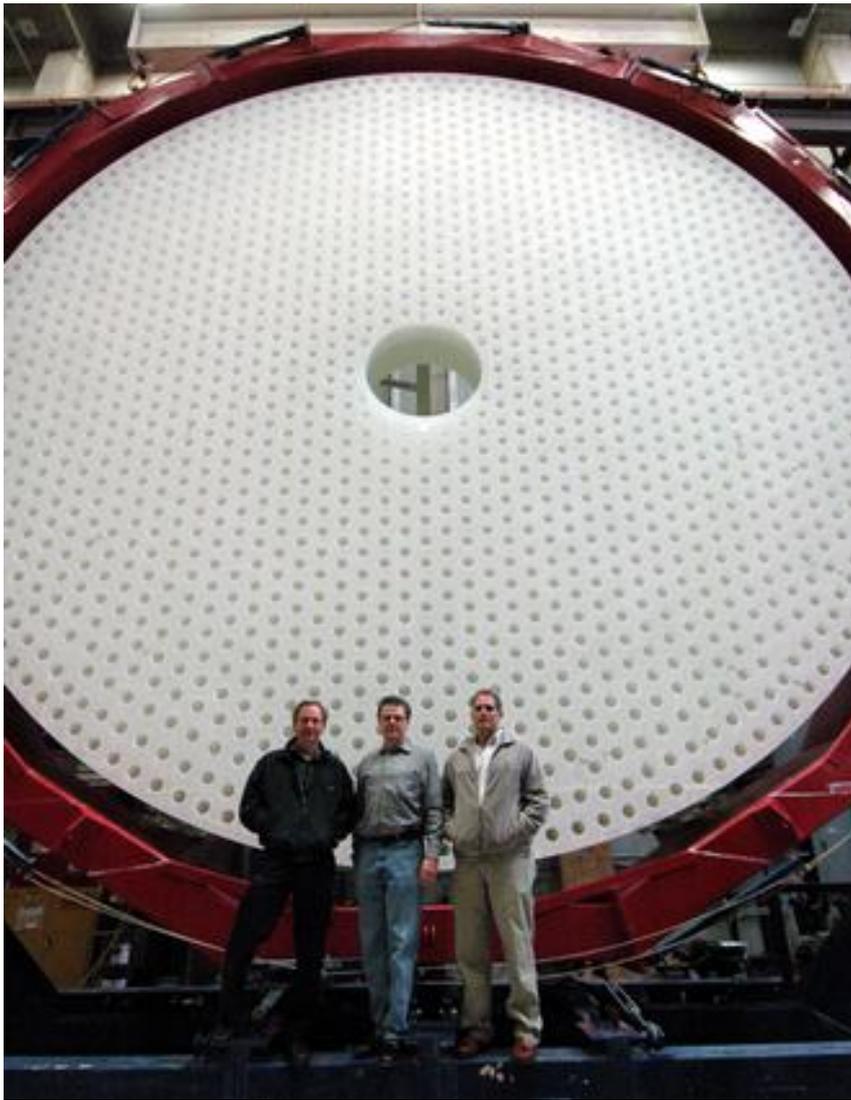
Large Synoptic Survey Telescope (LSST): ~2023



- Visuelle Direktbilder, 6 Bandpässe
- 8,2m Spiegeldurchmesser
- Himmelsdurchmusterung, komplett alle ~ 2 Tage

- Ziele: zeitabhängige Astronomie; diverse Projekte
- Kosten: ~ 1 Milliarde \$
- LSST Konsortium mit vielen Instituten aus aller Welt
- Nutzbar ab: ~ 2023

Large Synoptic Survey Telescope (LSST)



Euclid: ~2021



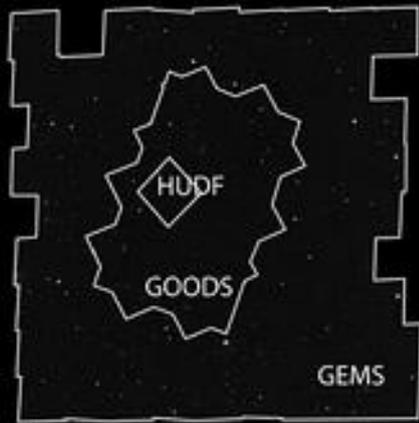
- Visuelle Direktbilder, nahinfrarot Bilder + Spektren
- 1,2m Spiegeldurchmesser
- Himmelsdurchmusterung >15.000 Quadratgrad

- Ziele: Dunkle Energie, dunkle Materie, diverse Projekte
- Kosten: ~ 1 Milliarde €
- ESA + 100 Institute aus aller Welt
- Start: ~ 2021



Moon

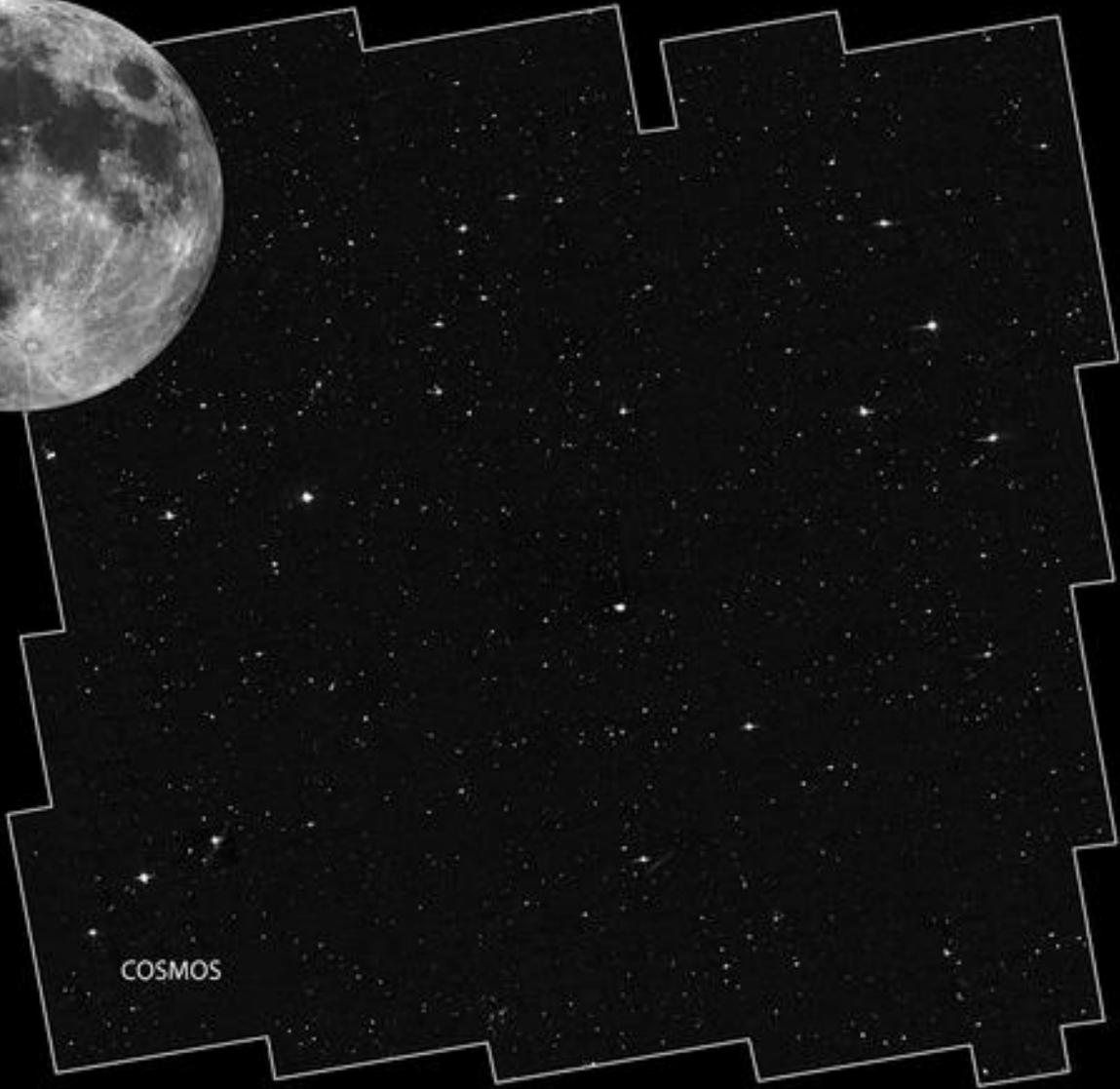
Relative Sizes of *HST* ACS Surveys



HUDF

GOODS

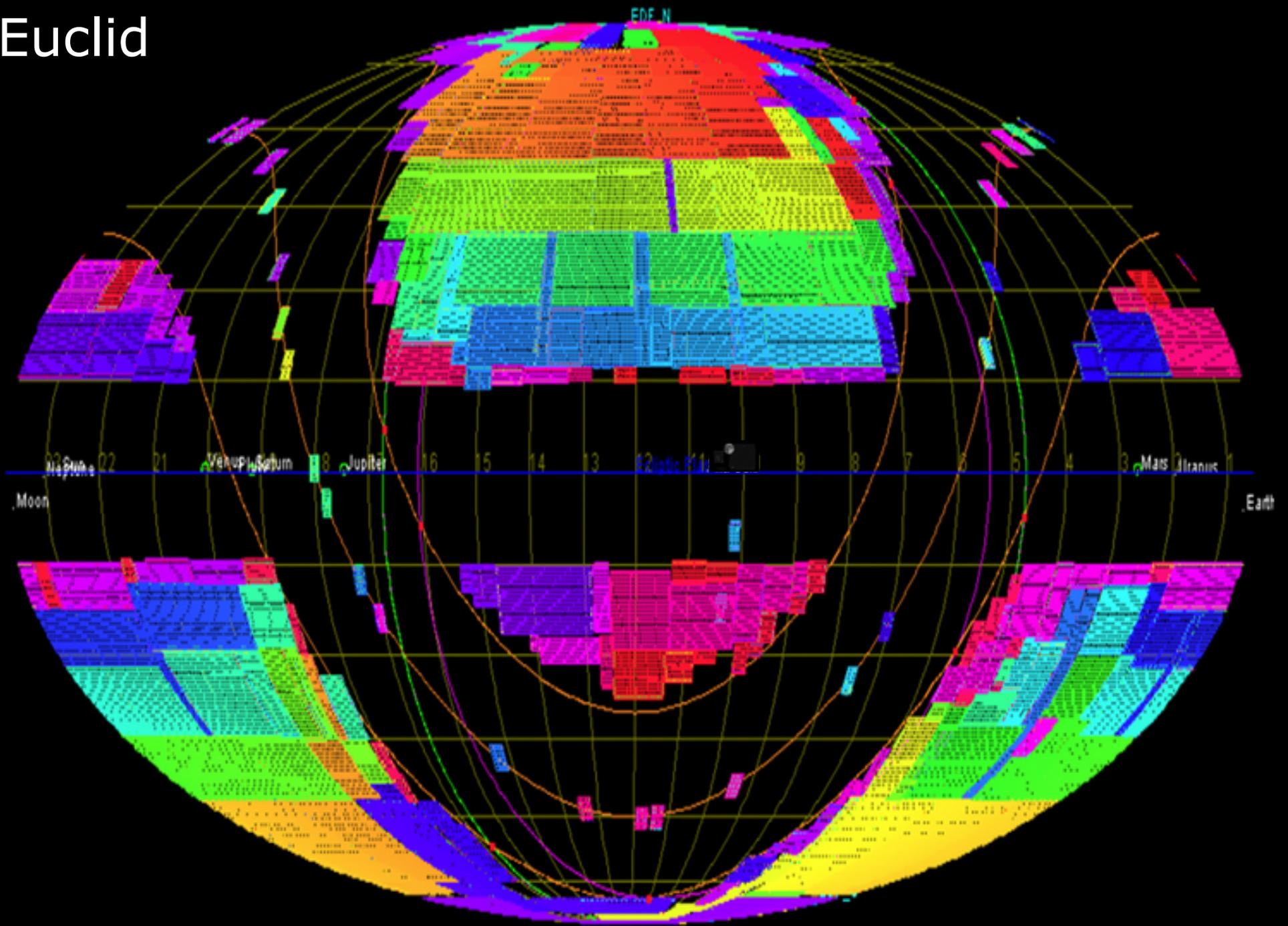
GEMS



COSMOS

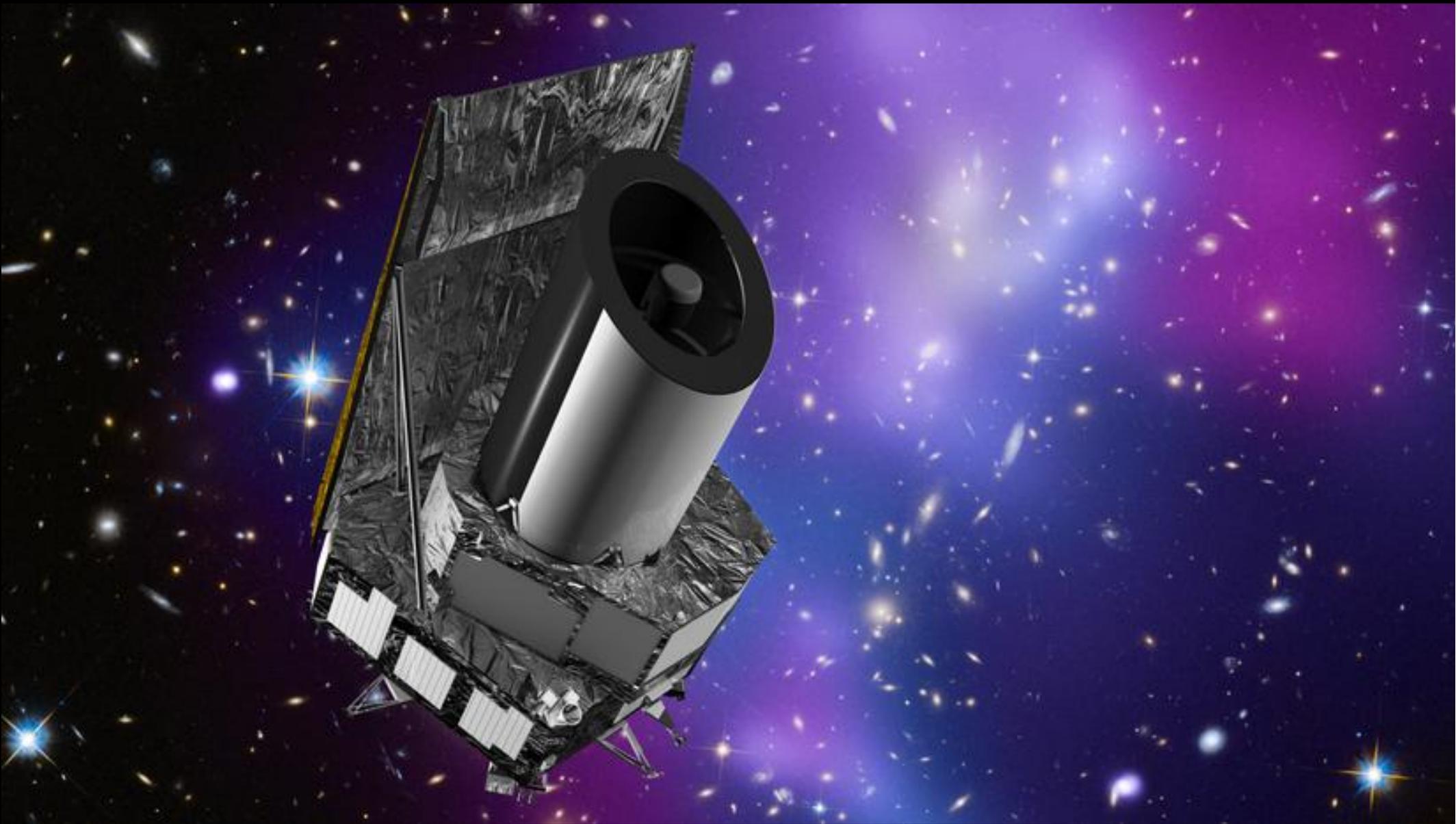
30'

Euclid



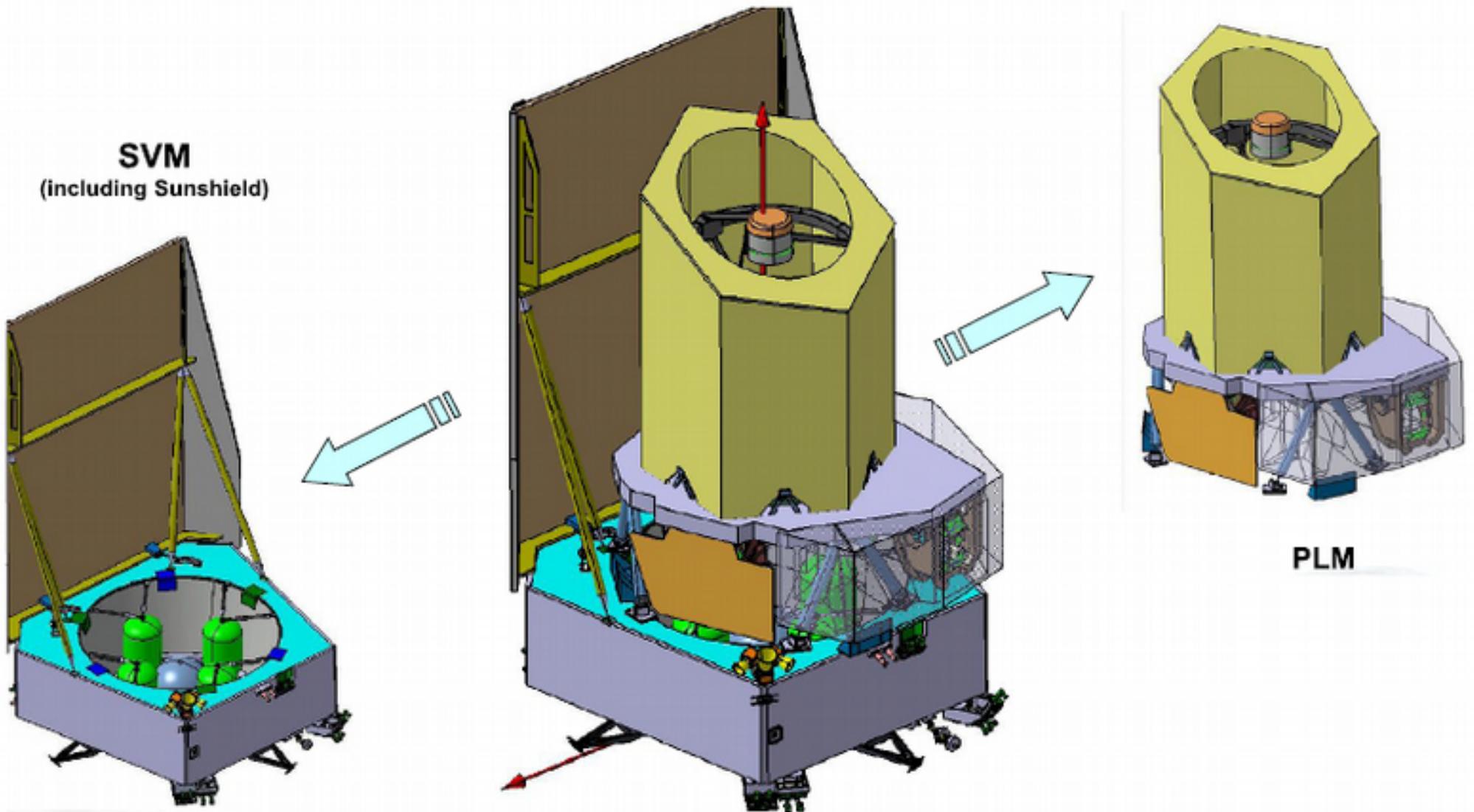
Euclid
Himmelsdurchmusterung

Euclid

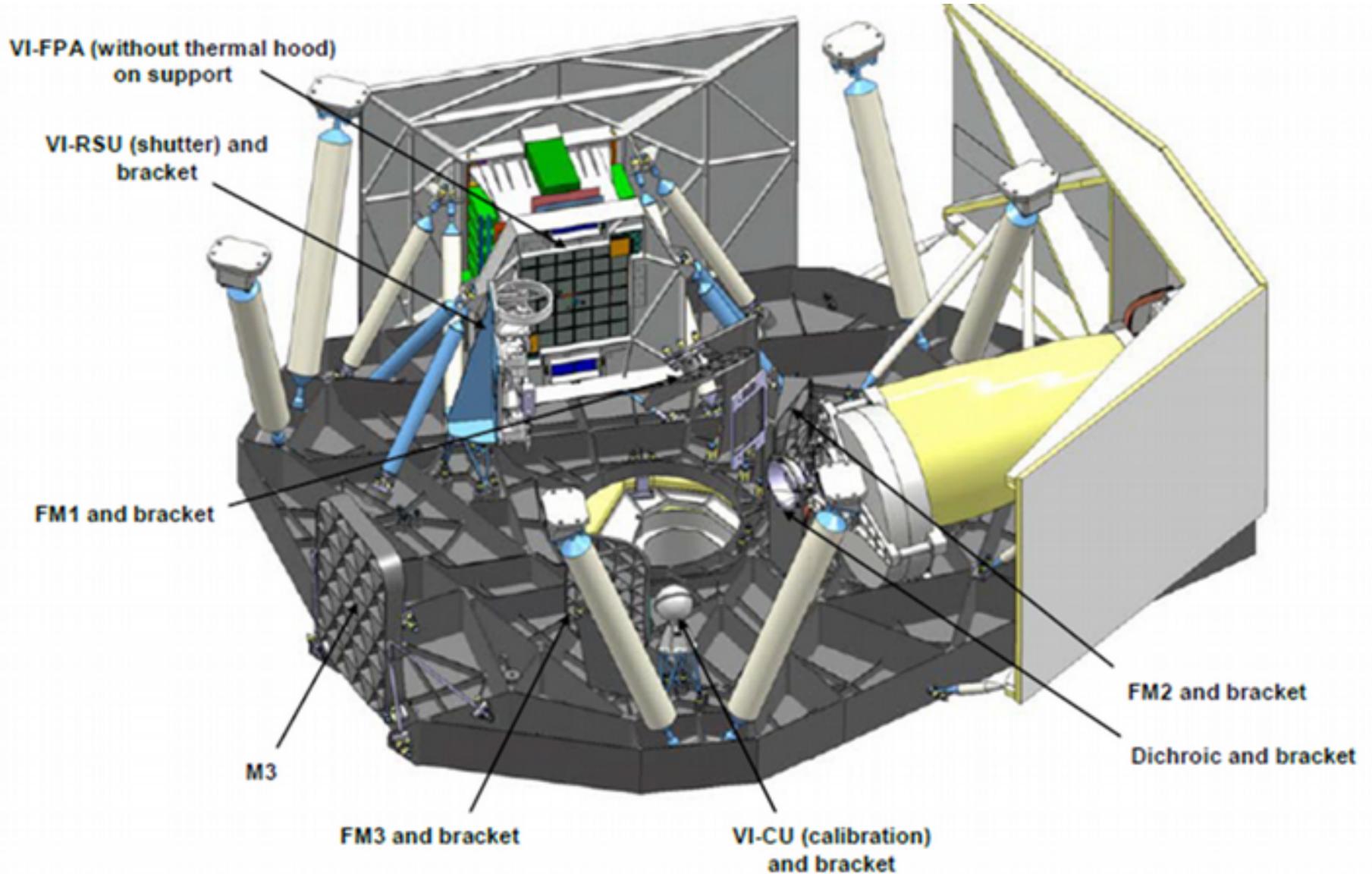


Euclid/ESA

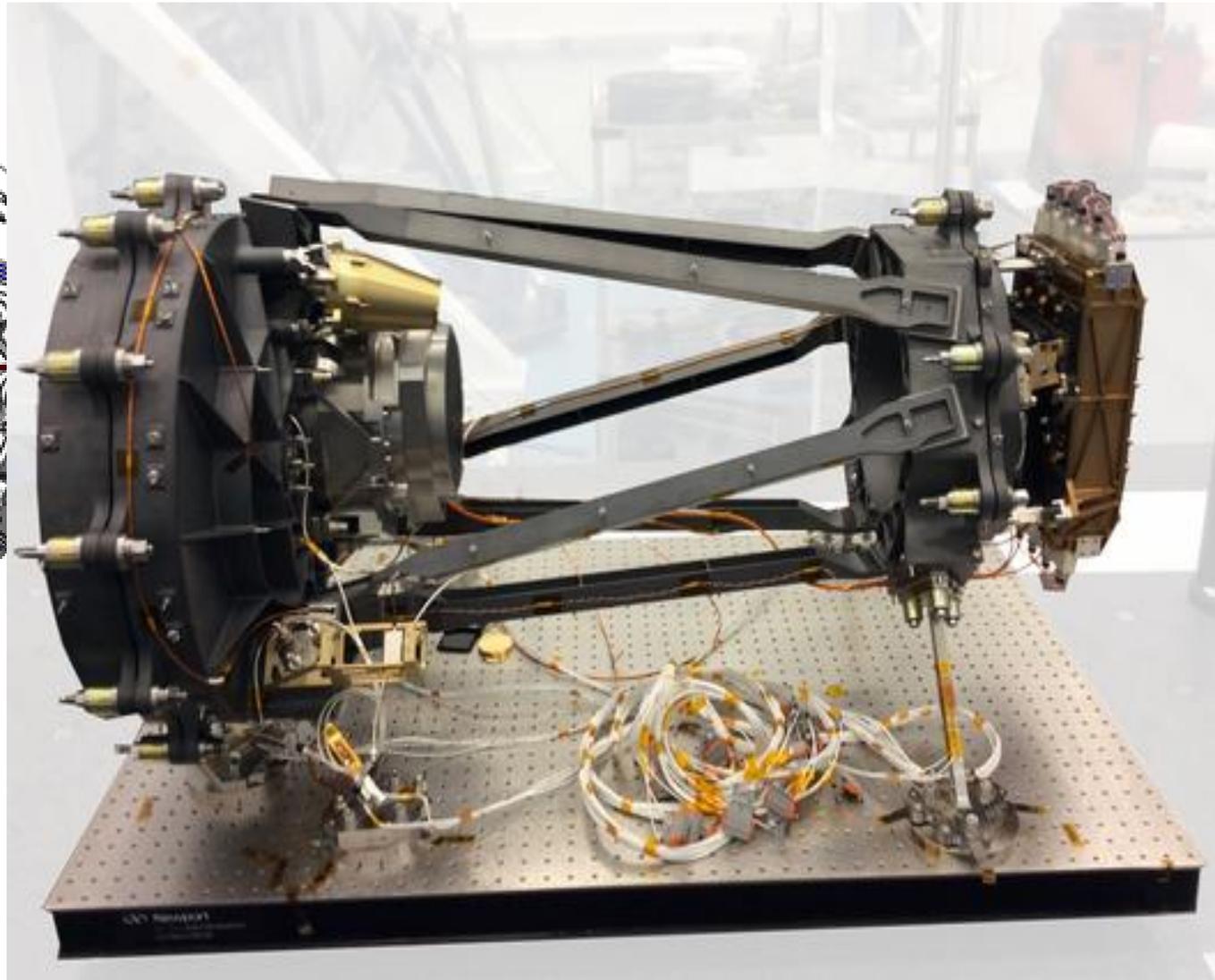
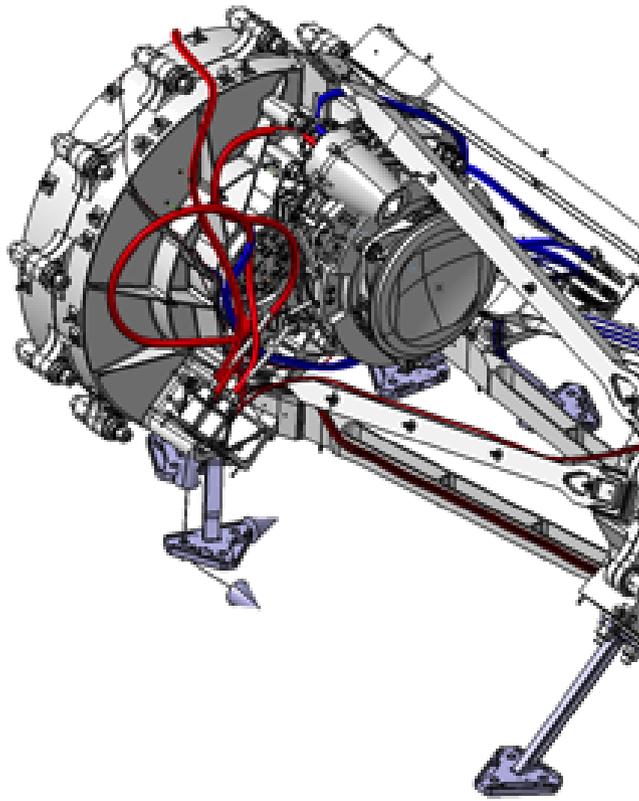
Euclid



Euclid



Euclid



Euclid/NISP/MPIA

James Webb Space Telescope: ~2019



James Webb Space Telescope. 2019 (NASA)

- Nah- bis mittleres Infrarot
- 6,5m Spiegeldurchmesser
- Photometrie + Spektroskopie

- Ziele: erste Galaxien, erste Sterne
- Kosten: ~9 Milliarden \$
- NASA + ESA
- Start: Anfang 2019



Offen bleibende Fragen

- Viele Details
- Was ist Dunkle Materie?
 - Teilchen?
 - Feld?
 - Modifiziertes Gravitationsgesetz?
- Was ist Dunkle Energie?
- Welchen Einfluss haben Schwarze Löcher auf Galaxienentwicklung?
- Gibt es weiteres Leben im Weltall?

Vielen Dank, dass Sie da waren!