

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

7. Galaxien – Teil 2

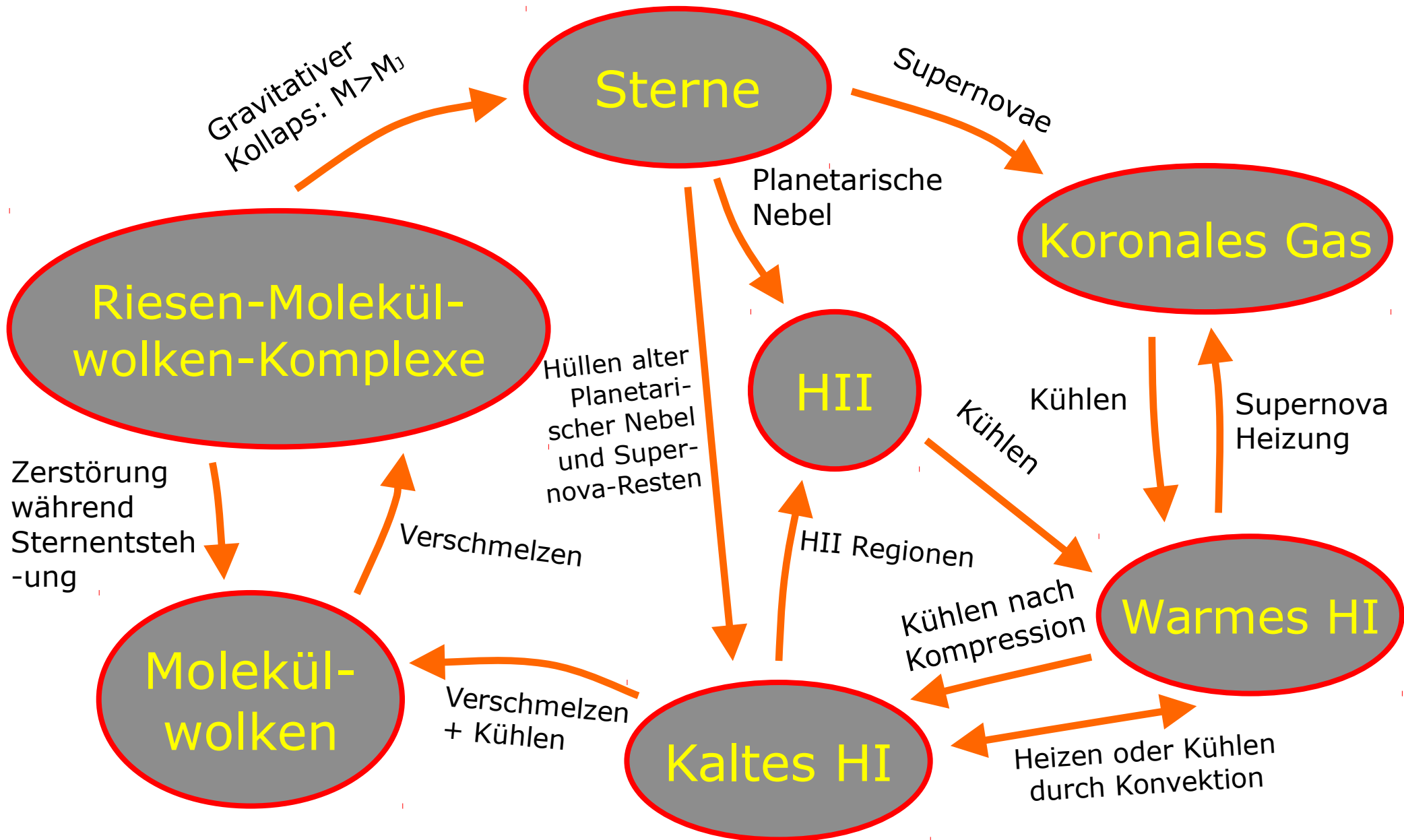
Knud Jahnke, MPIA

Materiekreislauf + Galaxienpopulationen

Zyklus der interstellaren Materie



Zyklus der interstellaren Materie



Stellare Populationen

10^7 Jahre:

- weniger $< 1000 \text{ \AA}$
- 4000 \AA -Break

10^8 Jahre:

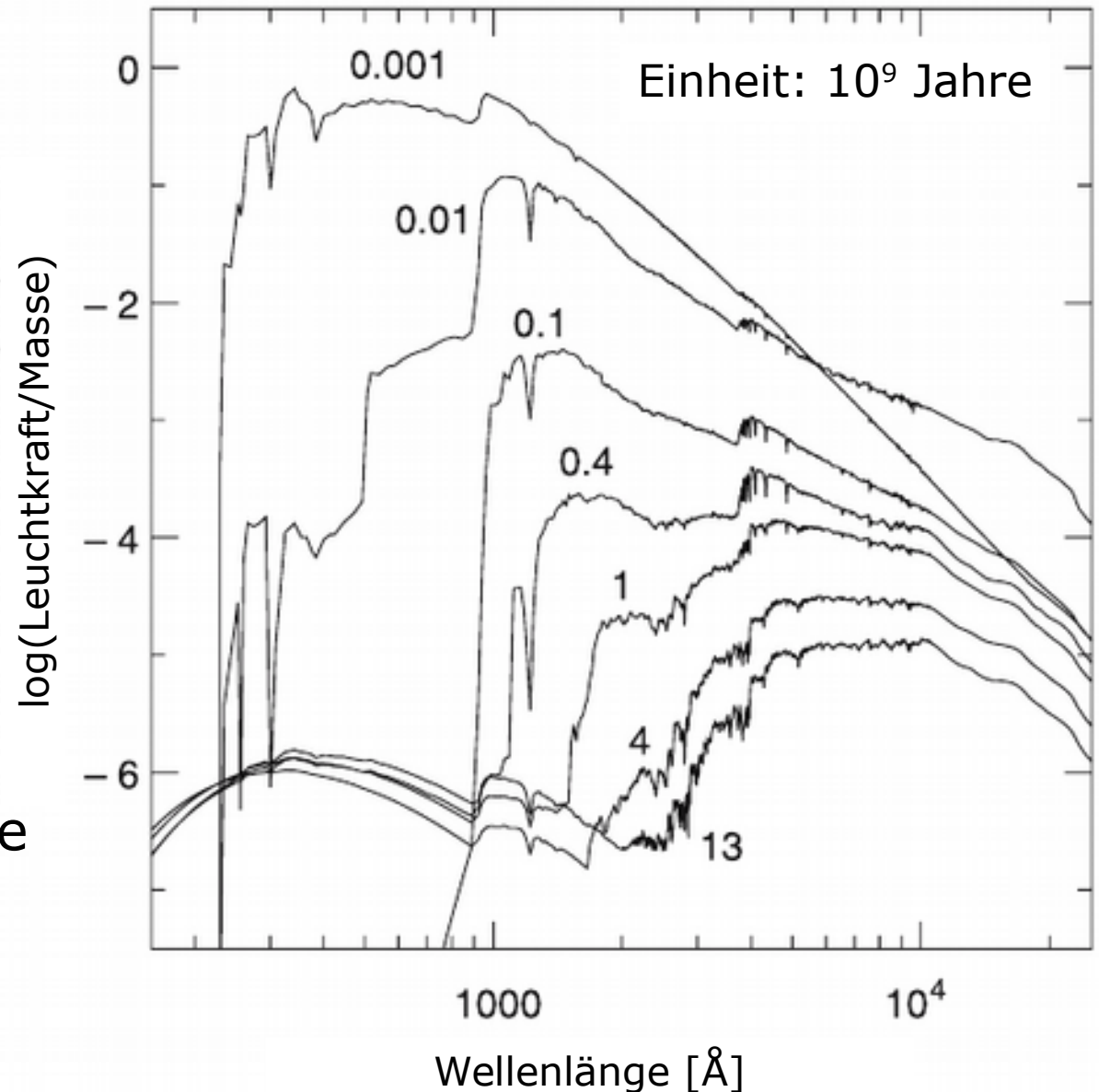
- UV weg
- NIR steigt an (Überriesen)

10^9 Jahre:

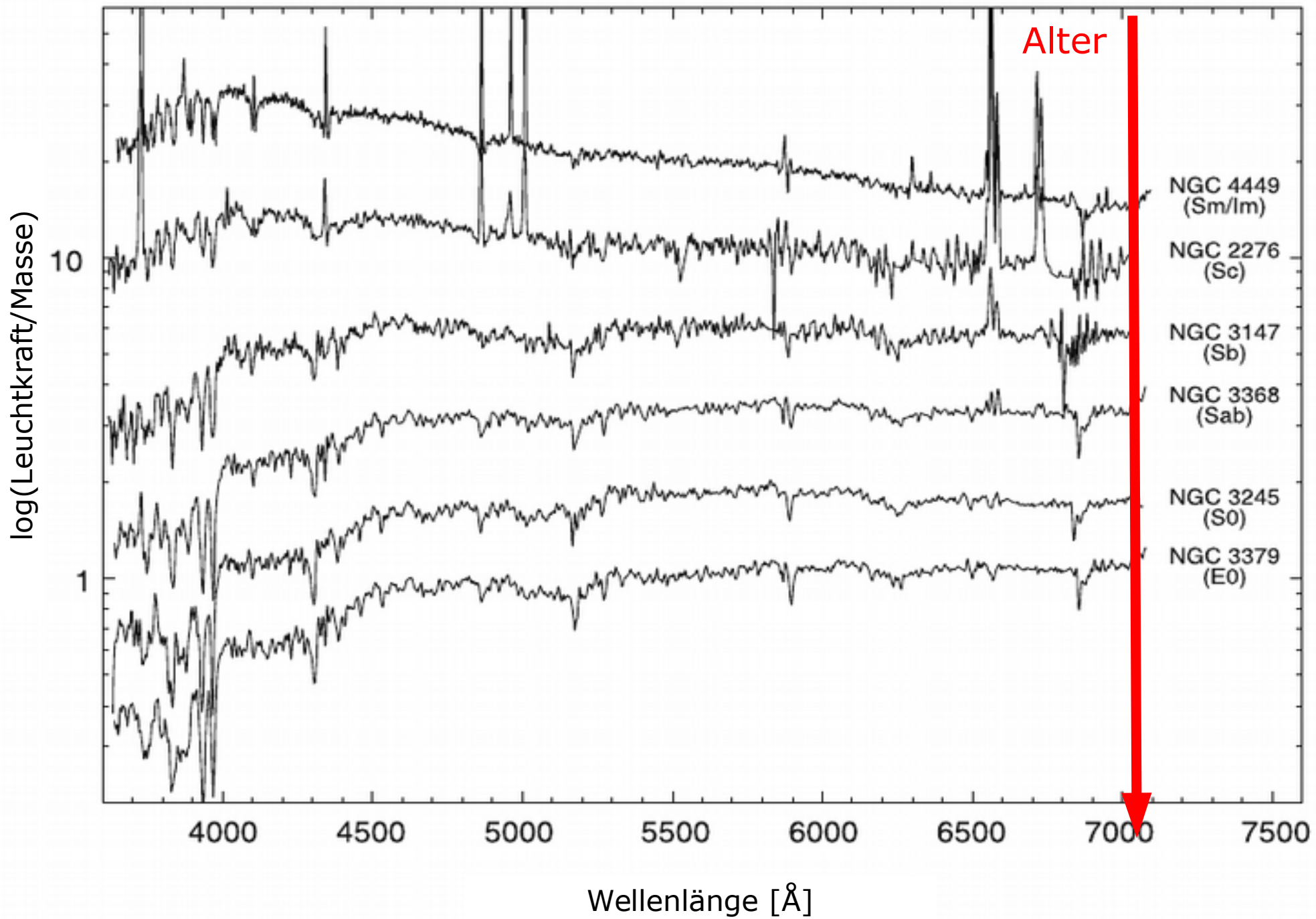
- NIR Rote Riesensterne
- Etwas mehr UV (post-AGB und Weiße Zwerge)

4–13 10^9 Jahre:

- ähnlich

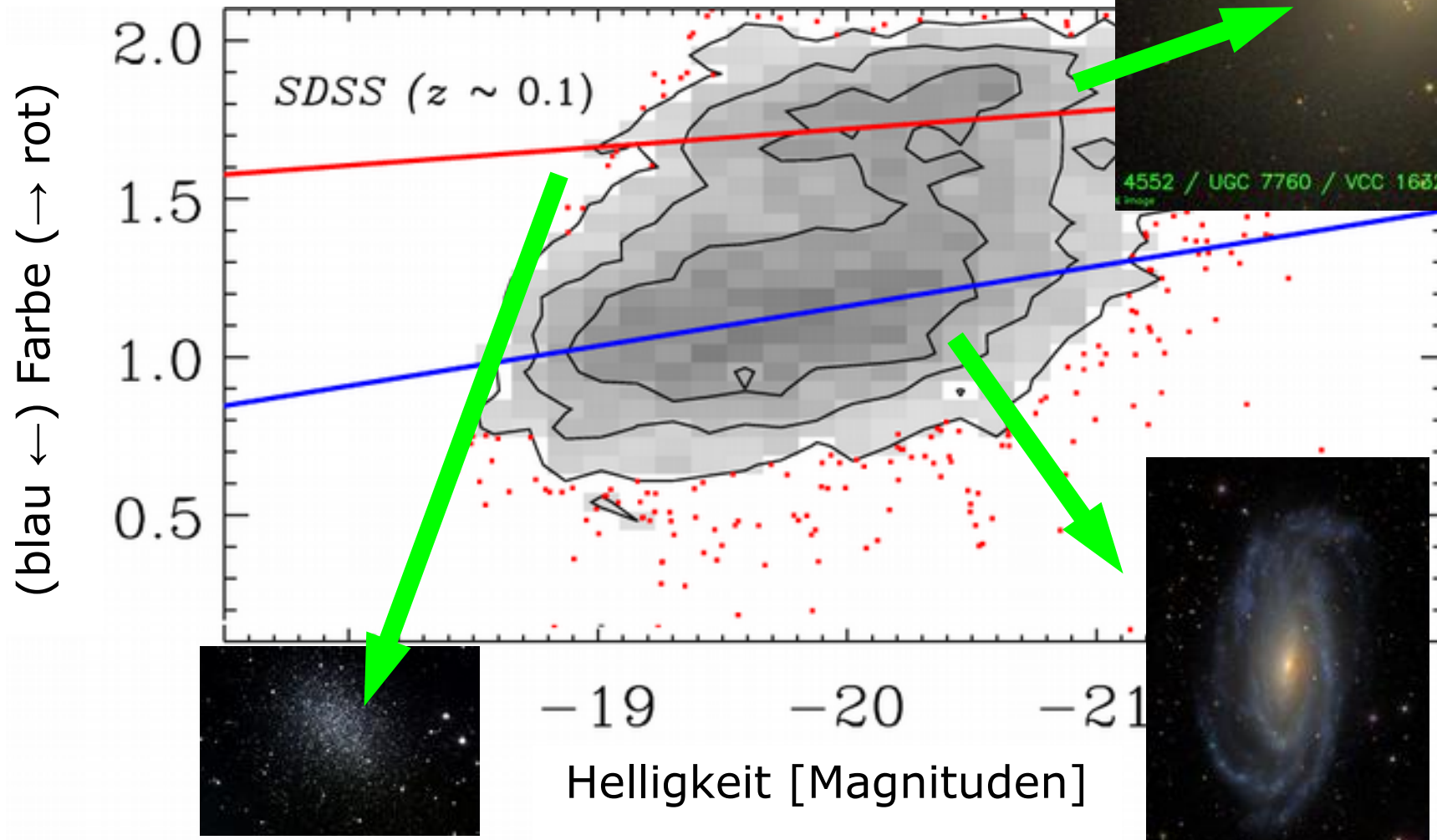


Spektren von Galaxien



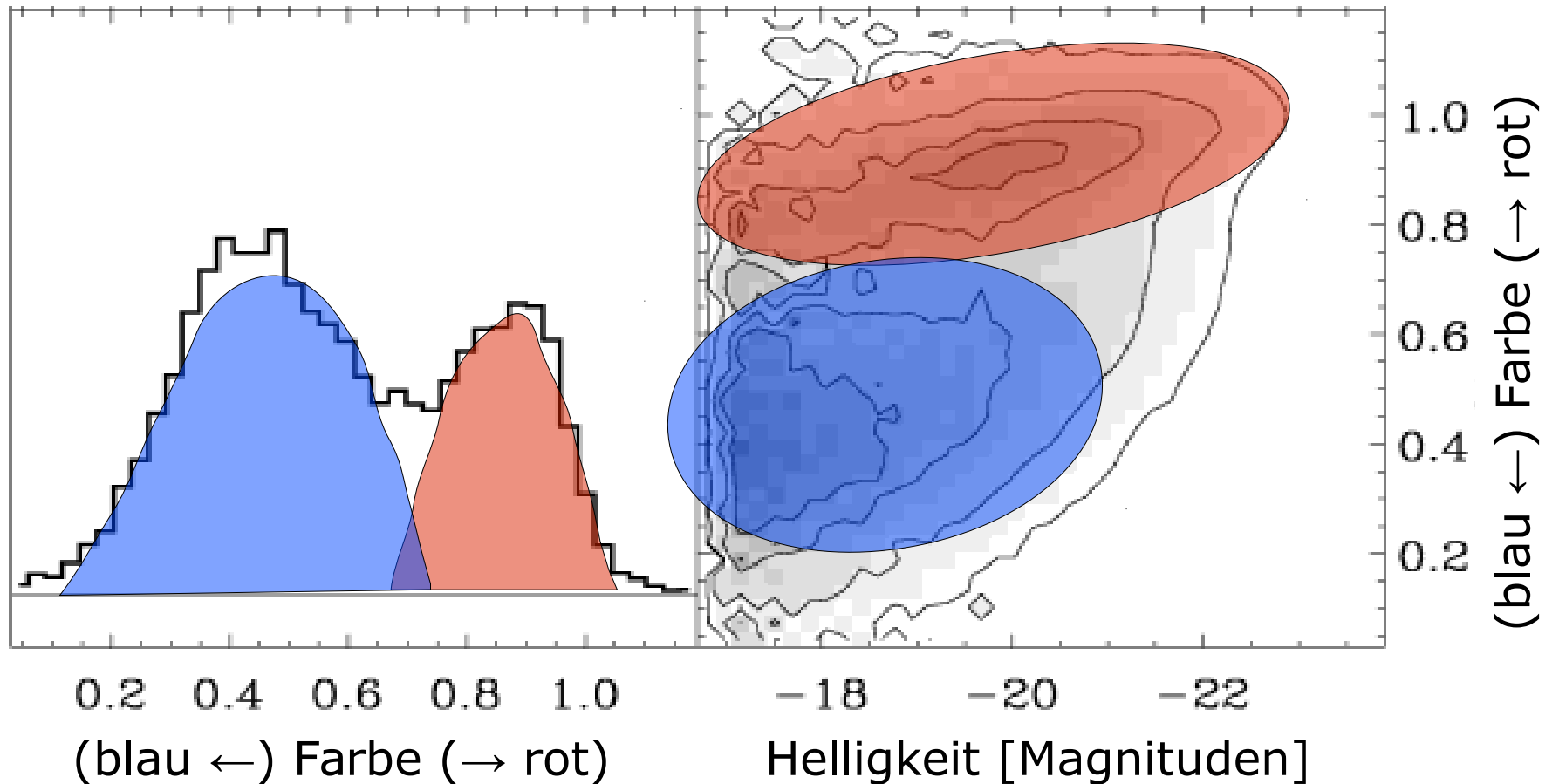
Farb-Helligkeitsbeziehung

Vor ca. 2 Mrd. Jahren



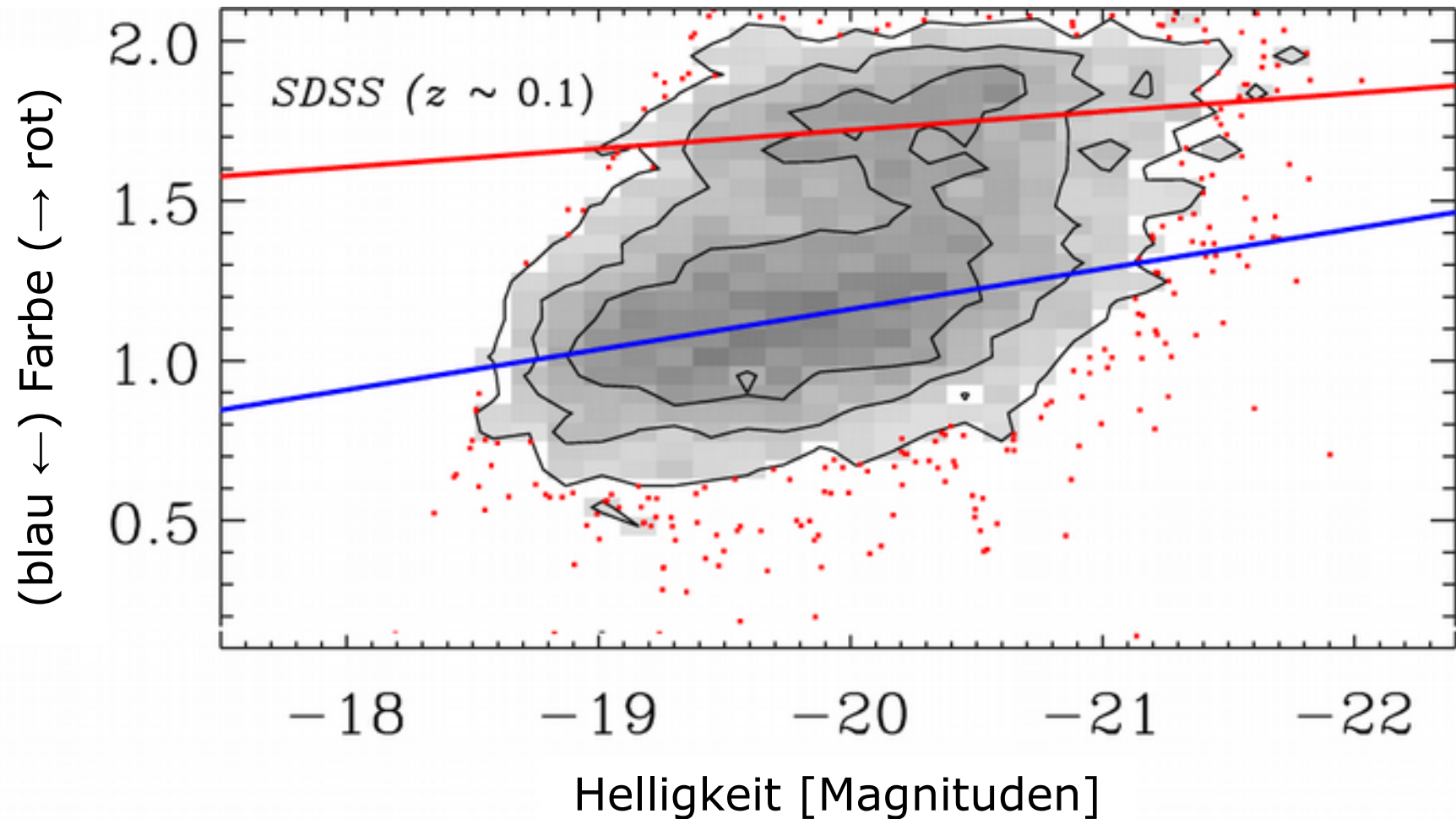
Farb-Helligkeitsbeziehung

Bimodale Verteilung!



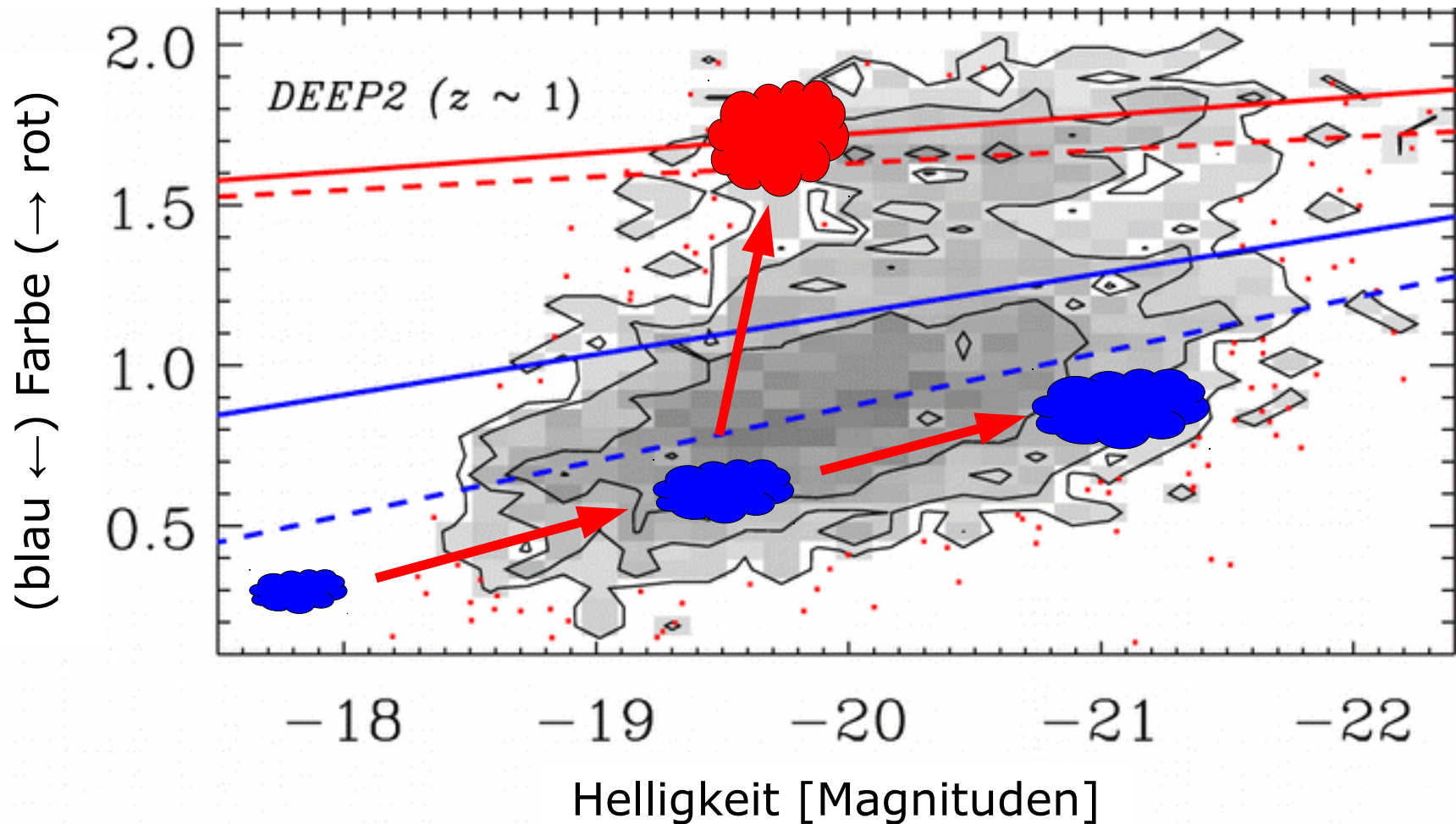
Farb-Helligkeitsbeziehung

Vor 2 Mrd Jahren



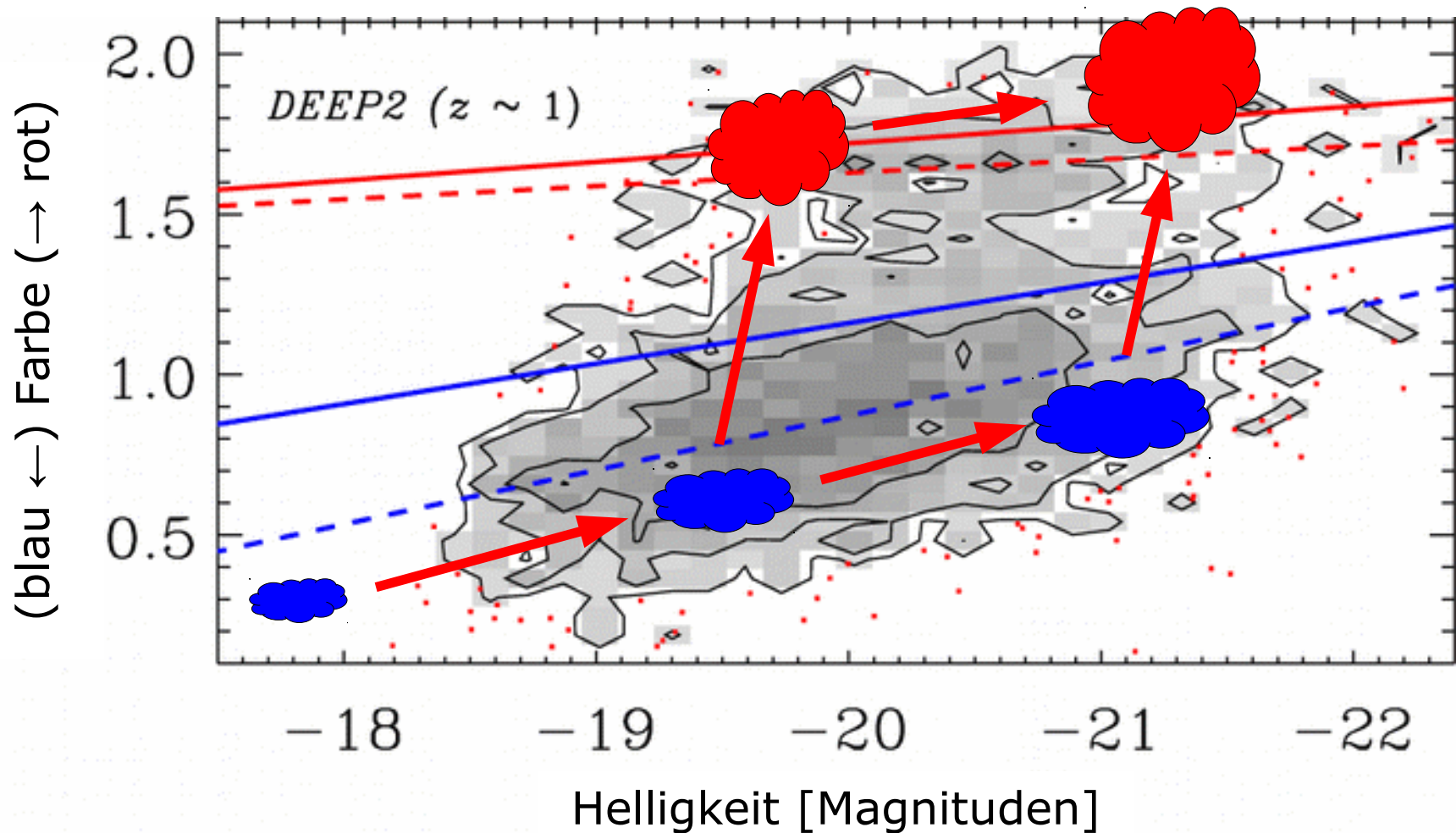
Farb-Helligkeitsbeziehung

Vor 8 Mrd Jahren

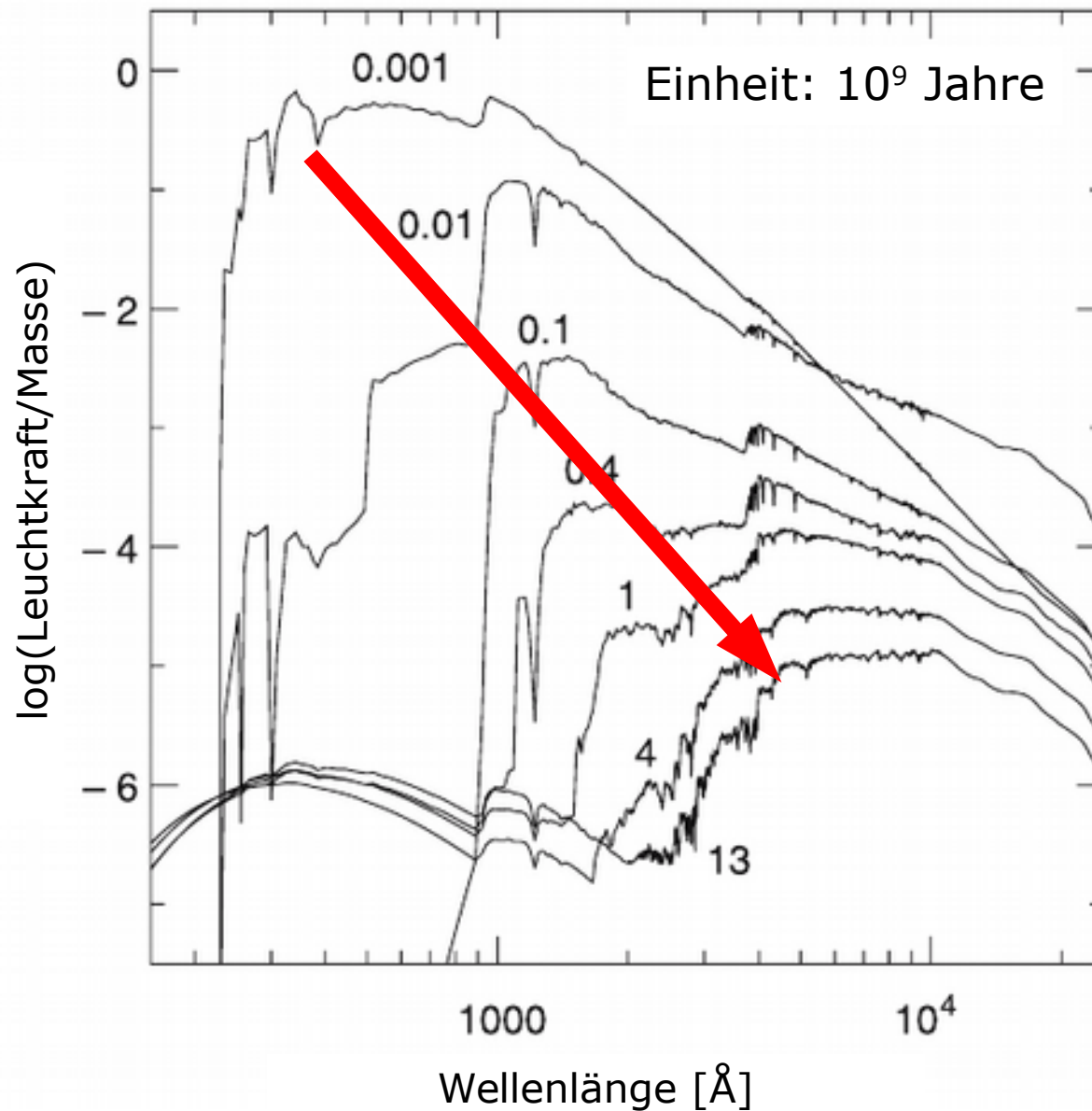


Farb-Helligkeitsbeziehung

Vor 8 Mrd Jahren

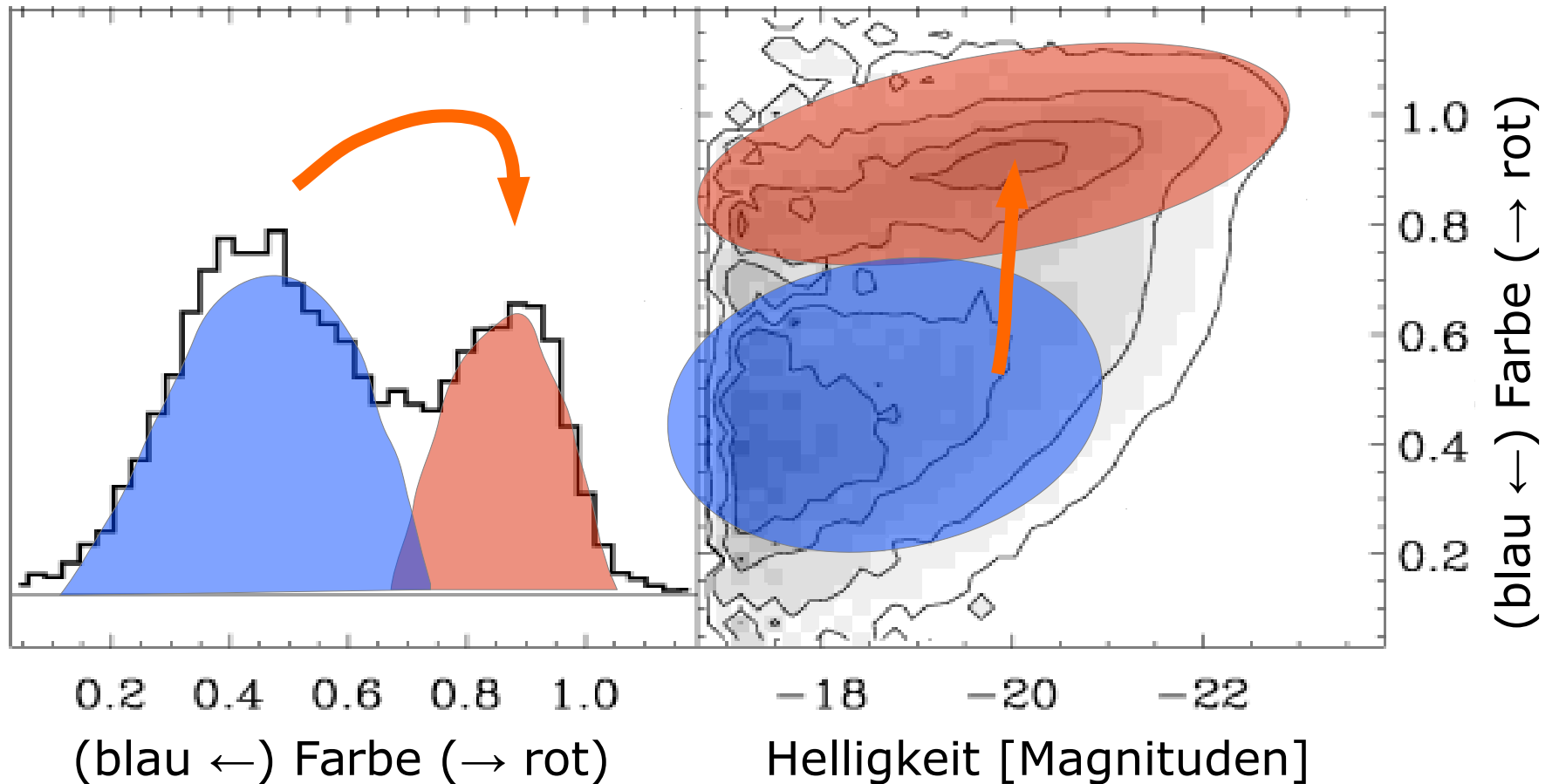


Stellare Populationen

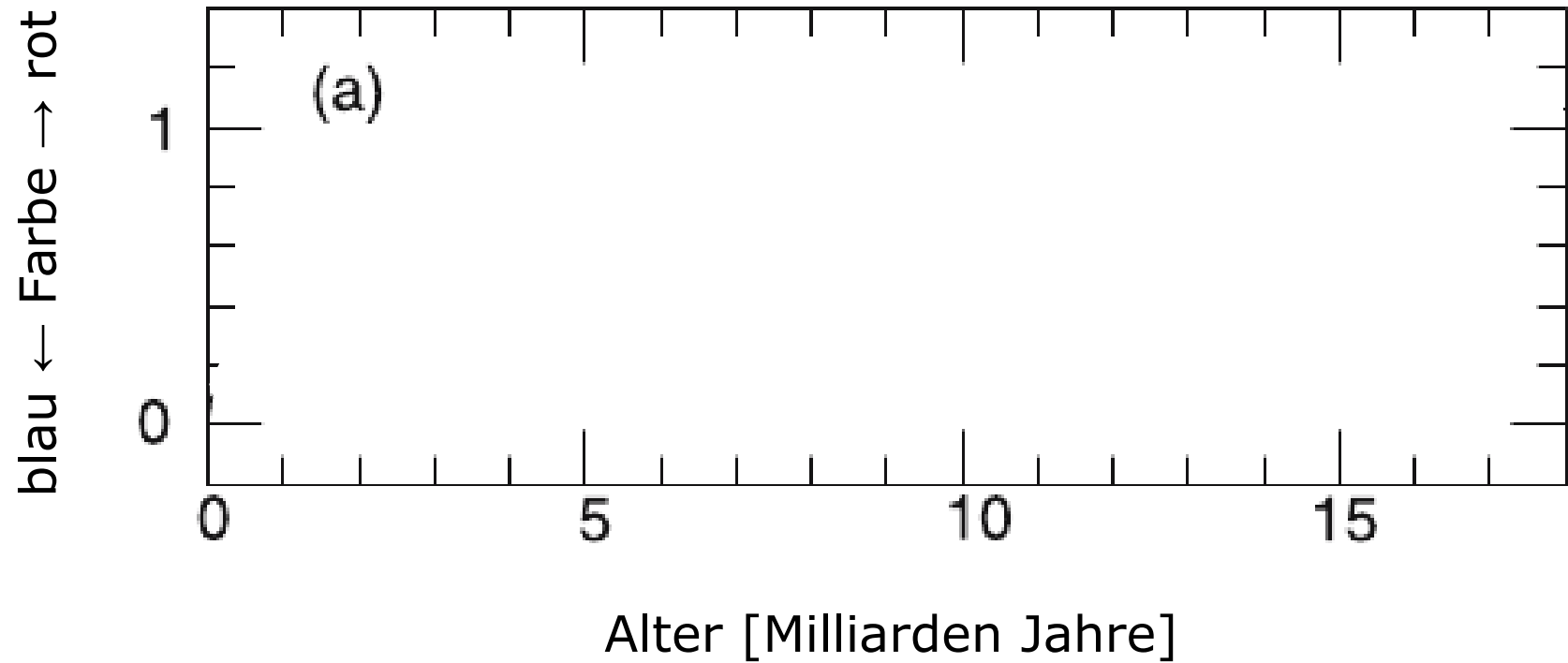


Farb-Helligkeitsbeziehung

Schneller Übergang!

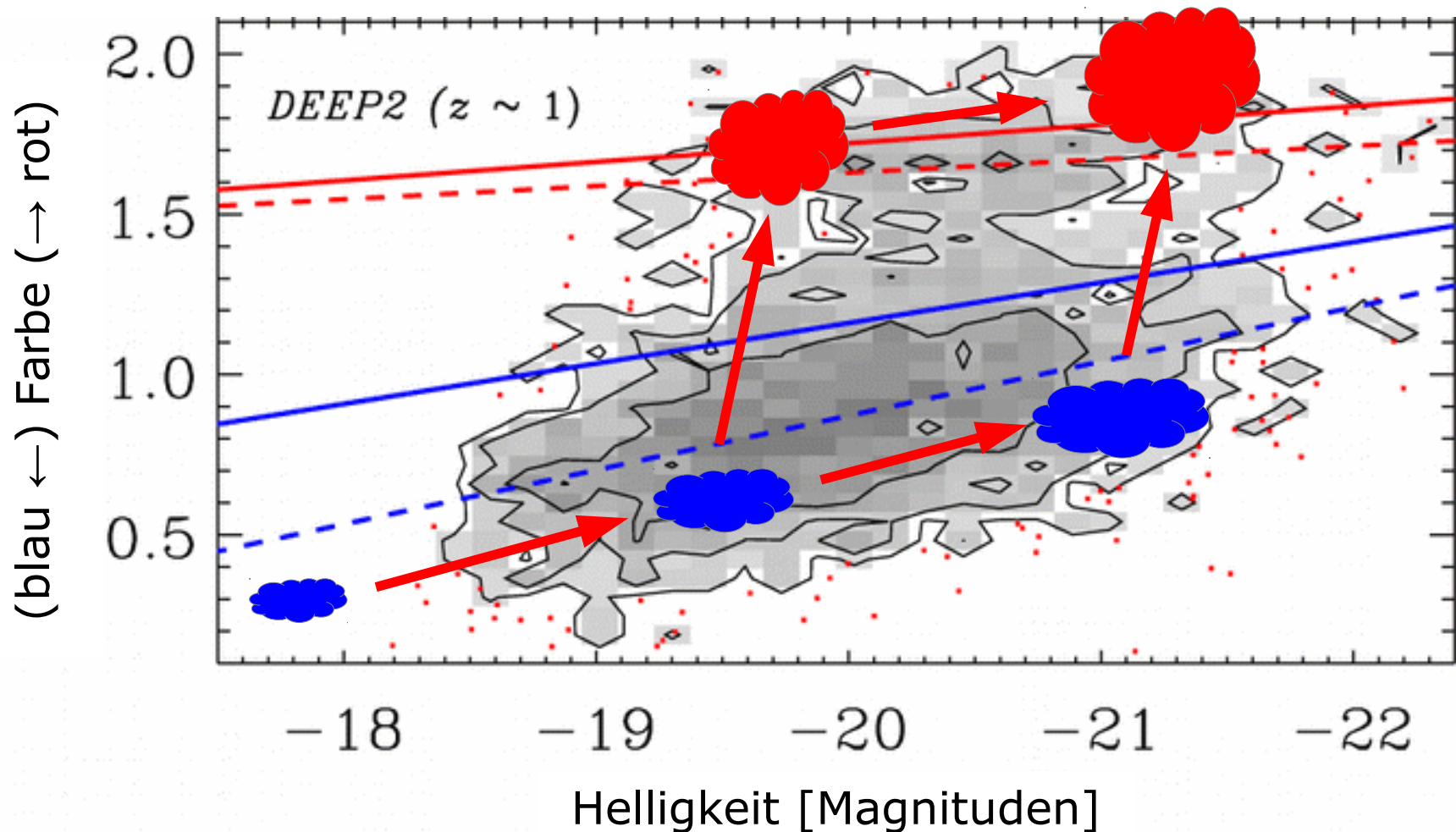


Stellare Populationen: Farbe mit Zeit



Farb-Helligkeitsbeziehung

Vor 8 Mrd Jahren

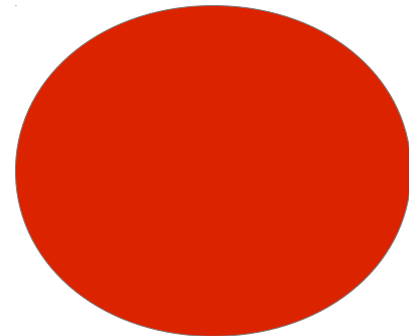
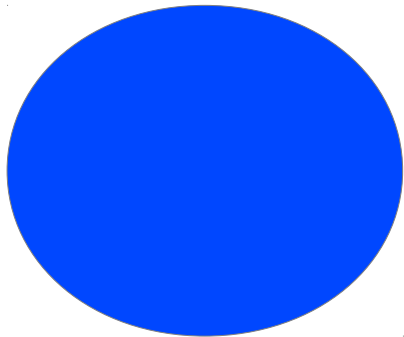


Farb-Helligkeitsbeziehung

1. Struktur



2. Farbe

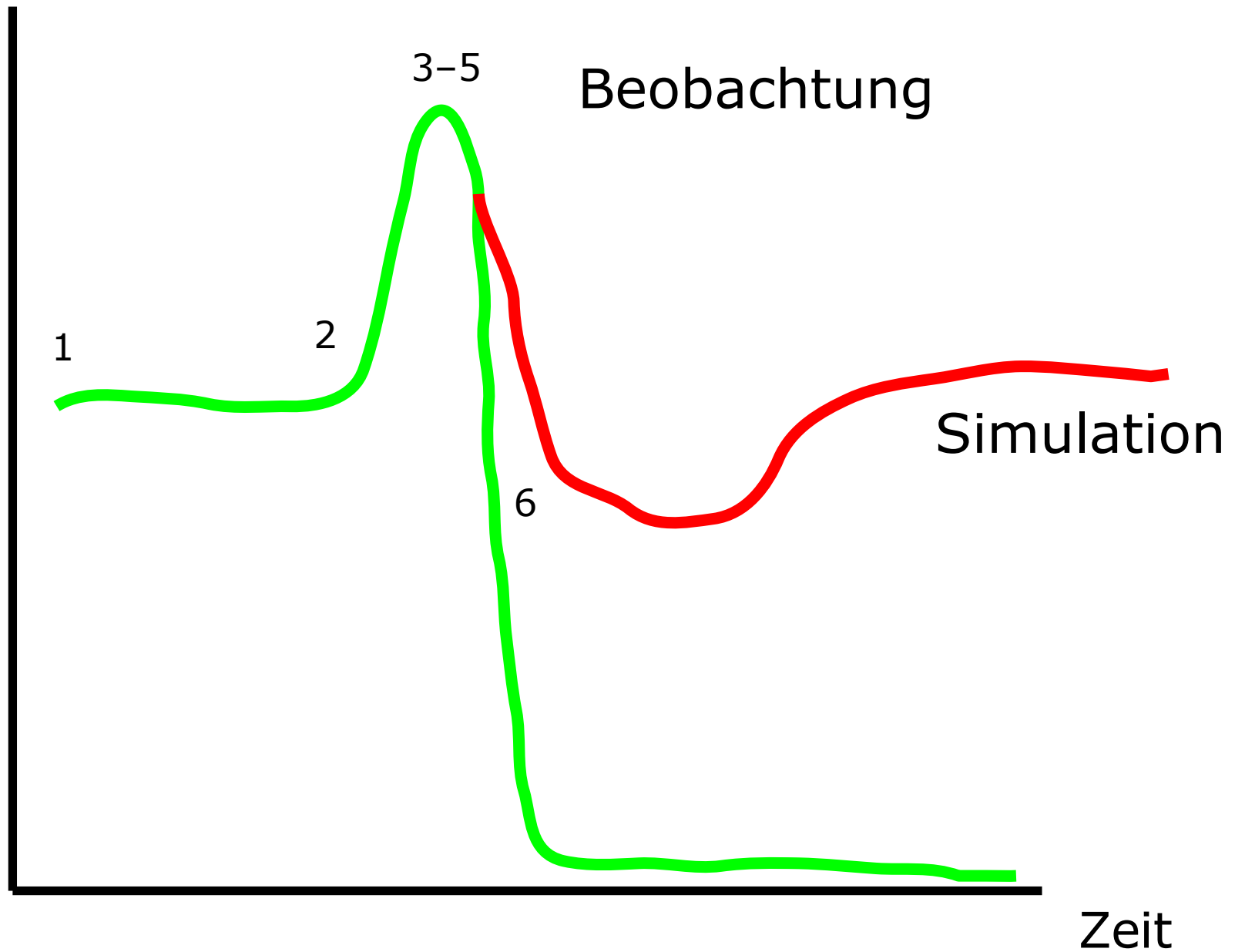


Galaxienzusammenstöße



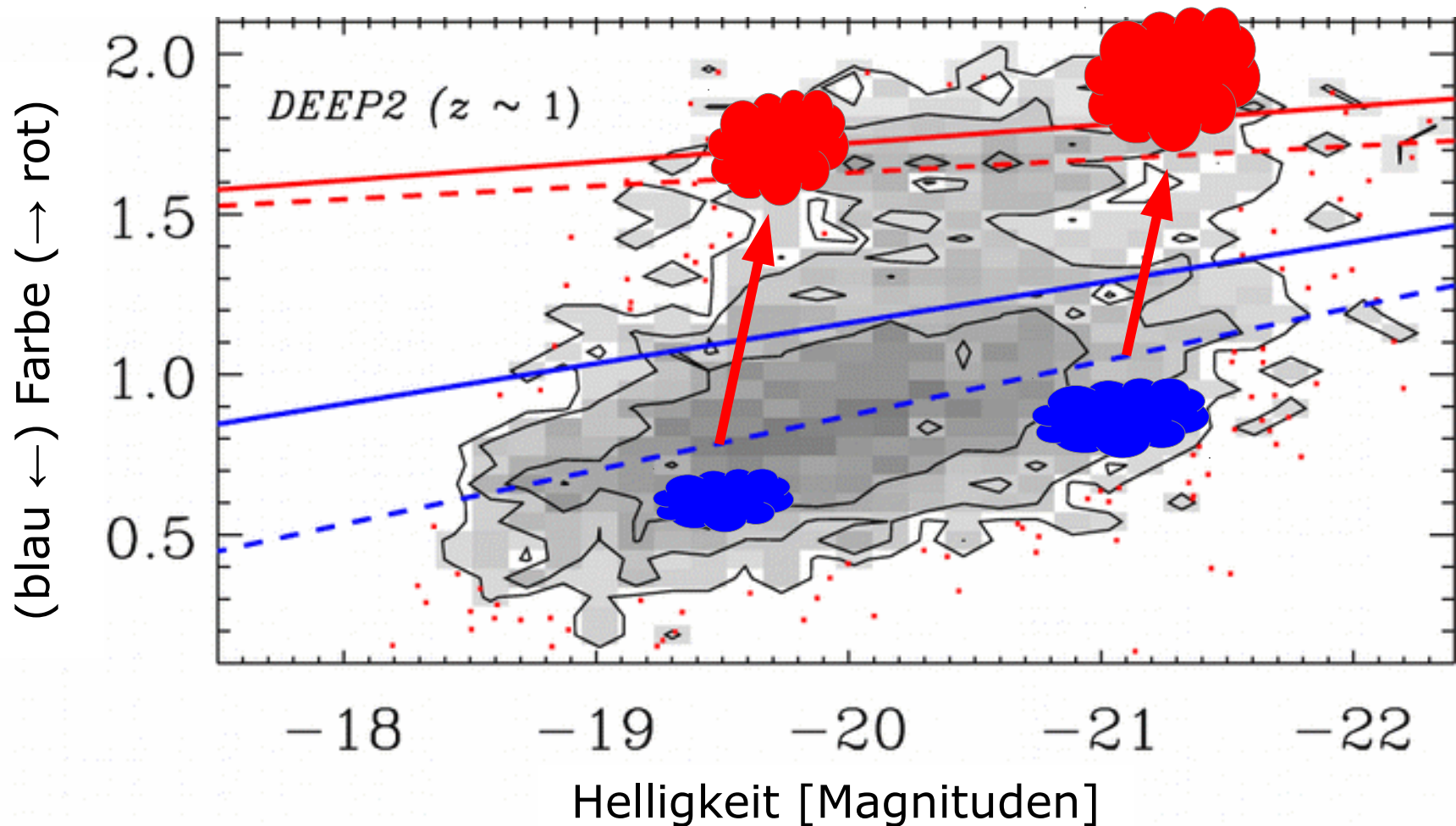
Manche Galaxienzusammenstöße

Sternentstehungs-
rate

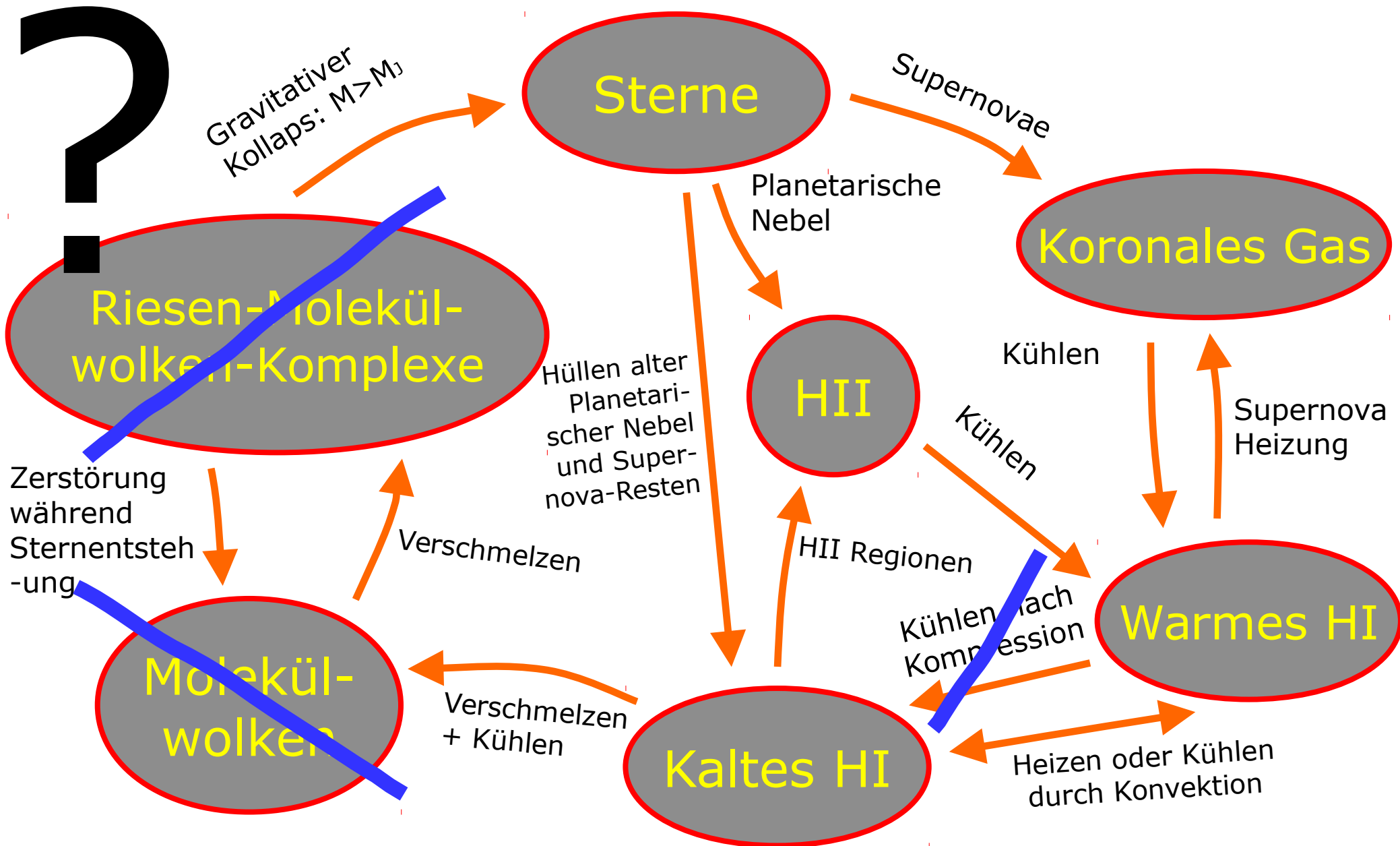


Farb-Helligkeitsbeziehung

Vor 8 Mrd Jahren



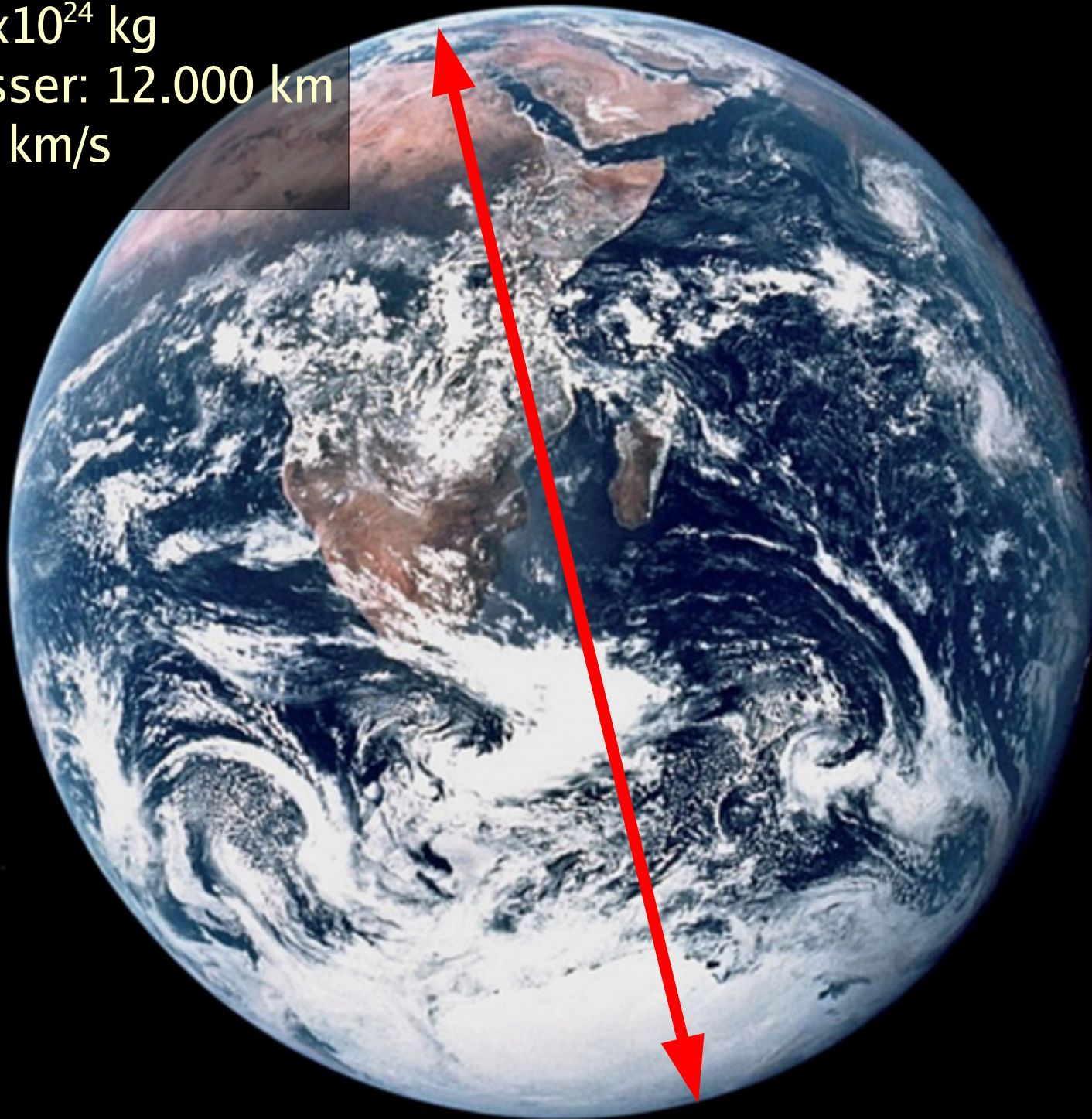
Zyklus der interstellaren Materie



→ Wir brauchen einen
Abschaltmechanismus
für Sternentstehung!

Exkursion: Schwarze Löcher

Masse: 6×10^{24} kg
Durchmesser: 12.000 km
→ $v = 11.2$ km/s



Fluchtgeschwindigkeit

Kinetische Energie + Gravitationspotential:

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E_{pot} = m \frac{GM}{r}$$

Wann sind beide gleich?

$$E_{kin} = E_{pot}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = m \frac{GM}{r}$$

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

- m Testmasse
- M grav. anziehende Masse (z.B. Planet)
- r Abstand der Massen
- v Geschwindigkeit
- G Gravitationskonstante

Fluchtgeschwindigkeit



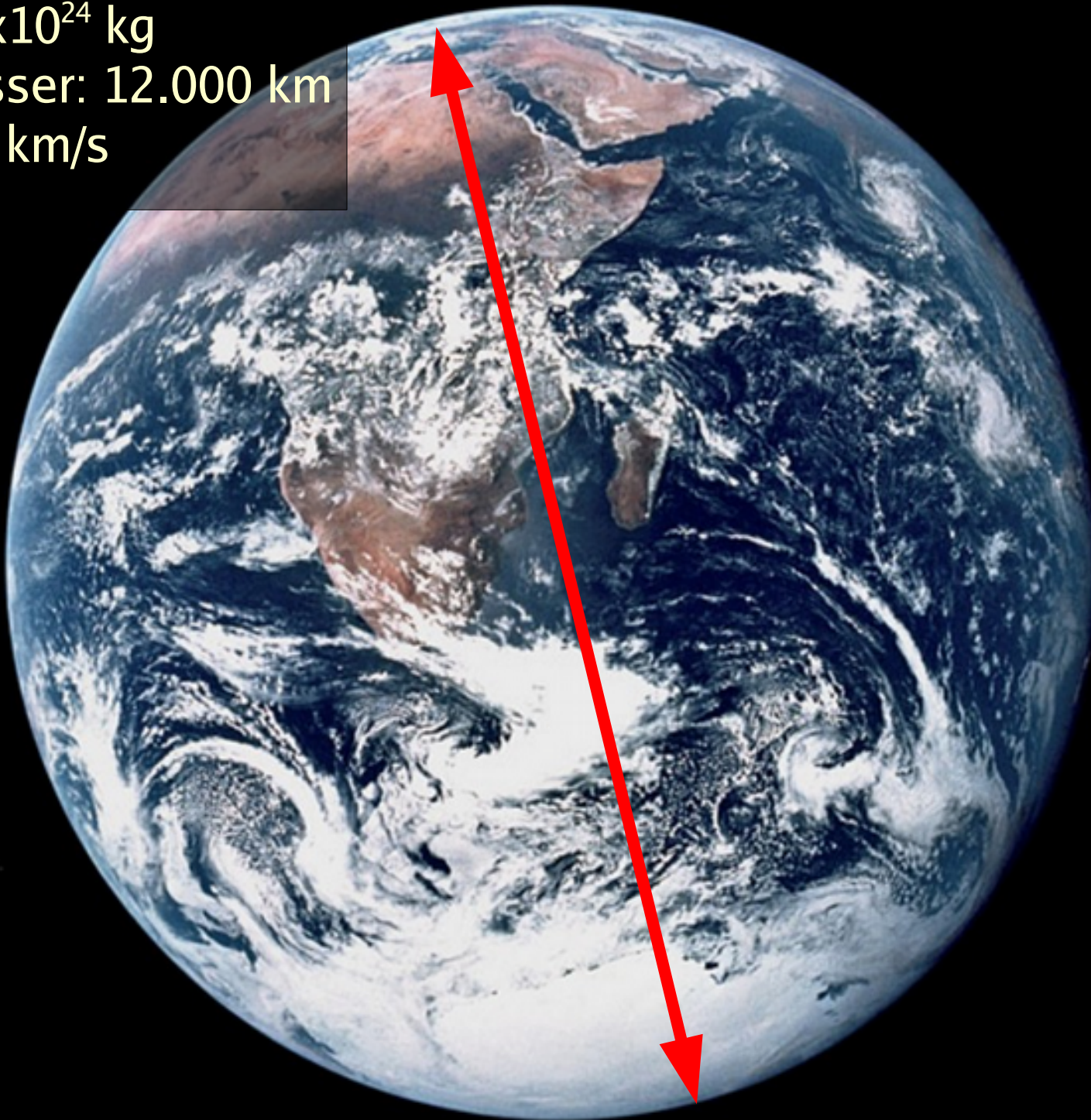
Fluchtgeschwindigkeit

Für verschiedene Objekte (von Oberfläche):

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

Erde: 11,2 km/s

Masse: 6×10^{24} kg
Durchmesser: 12.000 km
→ $v = 11,2$ km/s



Fluchtgeschwindigkeit

Für verschiedene Objekte (von Oberfläche):

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

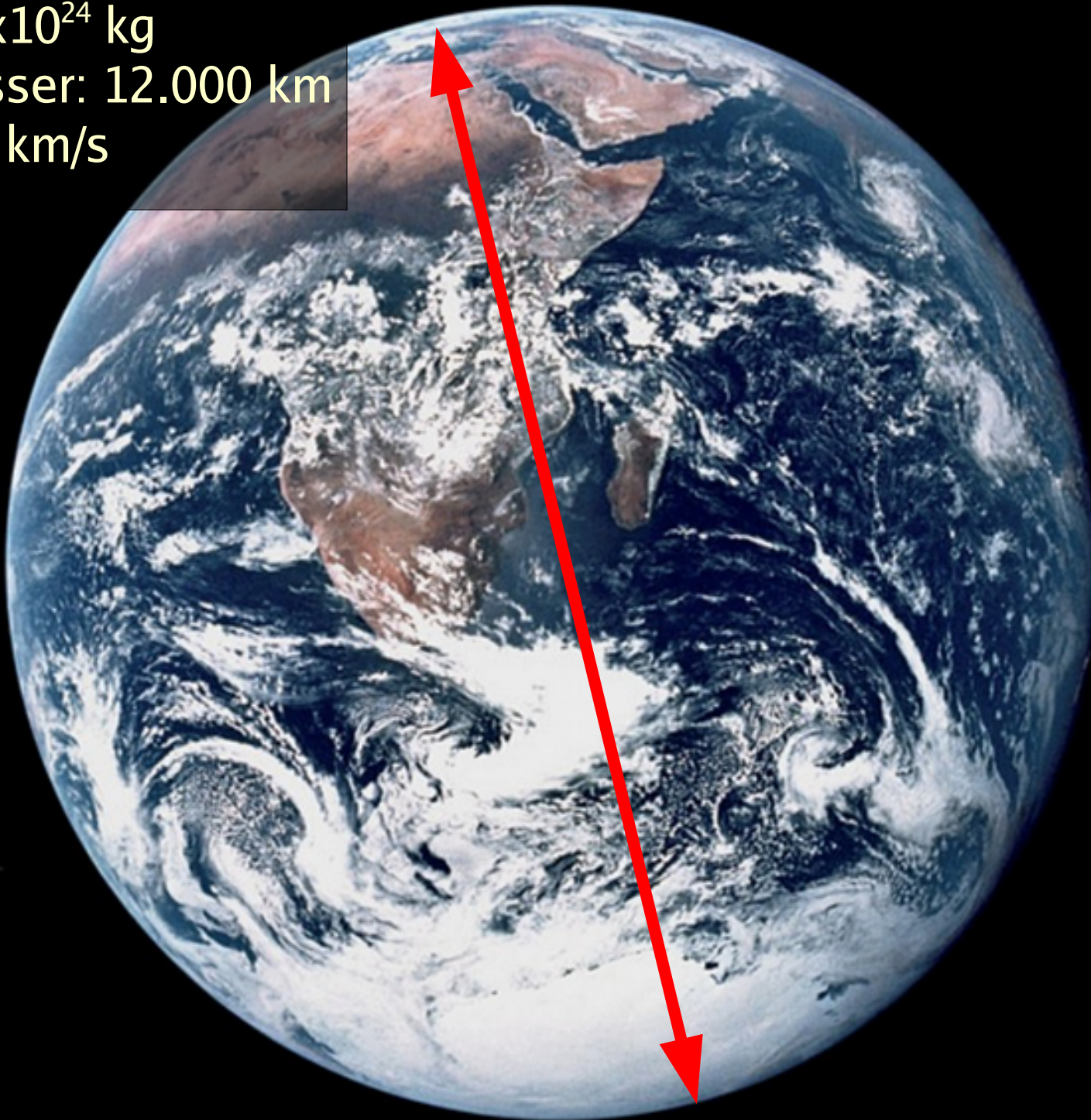
Erde: 11,2 km/s

Mond: 2,3 km/s

Jupiter: 59,6 km/s

Sonne: 617 km/s

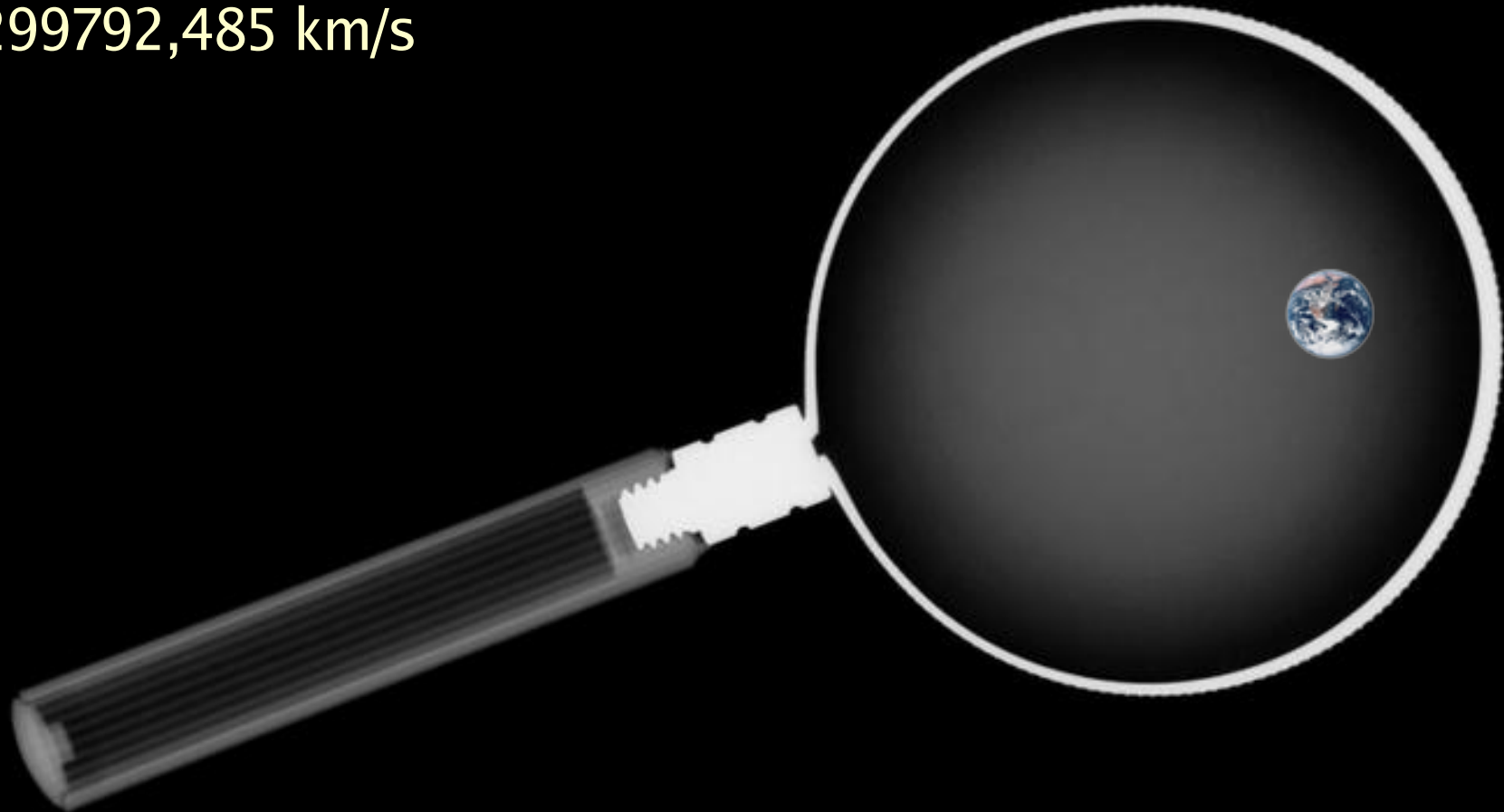
Masse: 6×10^{24} kg
Durchmesser: 12.000 km
→ $v = 11,2$ km/s



Masse: 6×10^{24} kg

Durchmesser: 0,000018 km

→ $v = 299792,485$ km/s



→ Schwarzes Loch!

Eigenschaften: "Schwarze Löcher haben keine Haare"

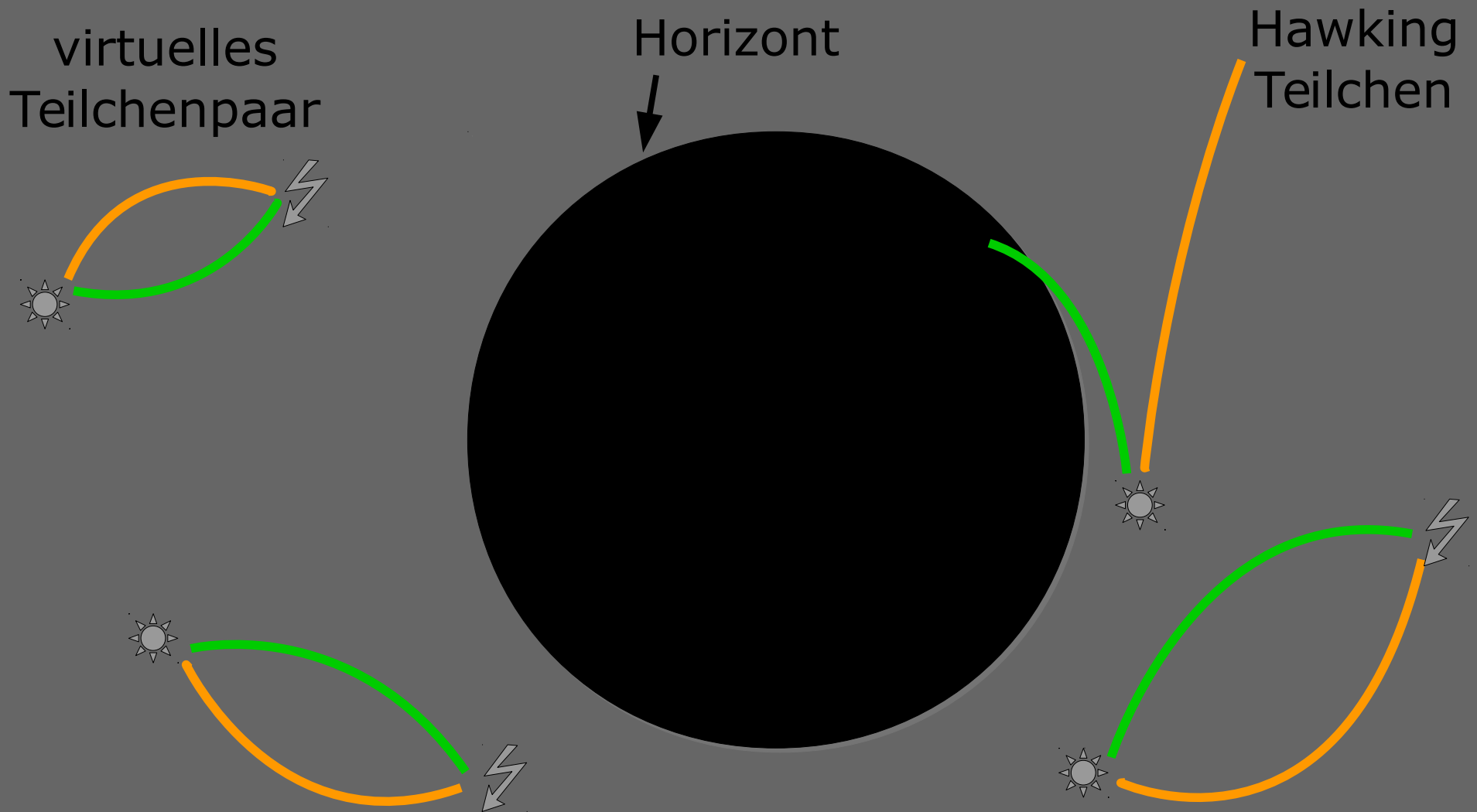


- → “No Hair-Theorem”:
Schwarze Löcher sind sehr einfach
- Masse → Größe: “Schwarzschild-Radius”
- elektrische Ladung
- Drehimpuls

Informationsverlust? → Horizont: Zensur!?

Stephen Hawking 1975: Hawking-Strahlung:
"virtuelle Teilchen" durch Horizont getrennt

Schwarze Löcher: Hawking-Strahlung



Informationsverlust? → Horizont: Zensur!?

Stephen Hawking 1975: Hawking-Strahlung:
"virtuelle Teilchen" durch Horizont getrennt
→ Energieverlust [= "Licht"]

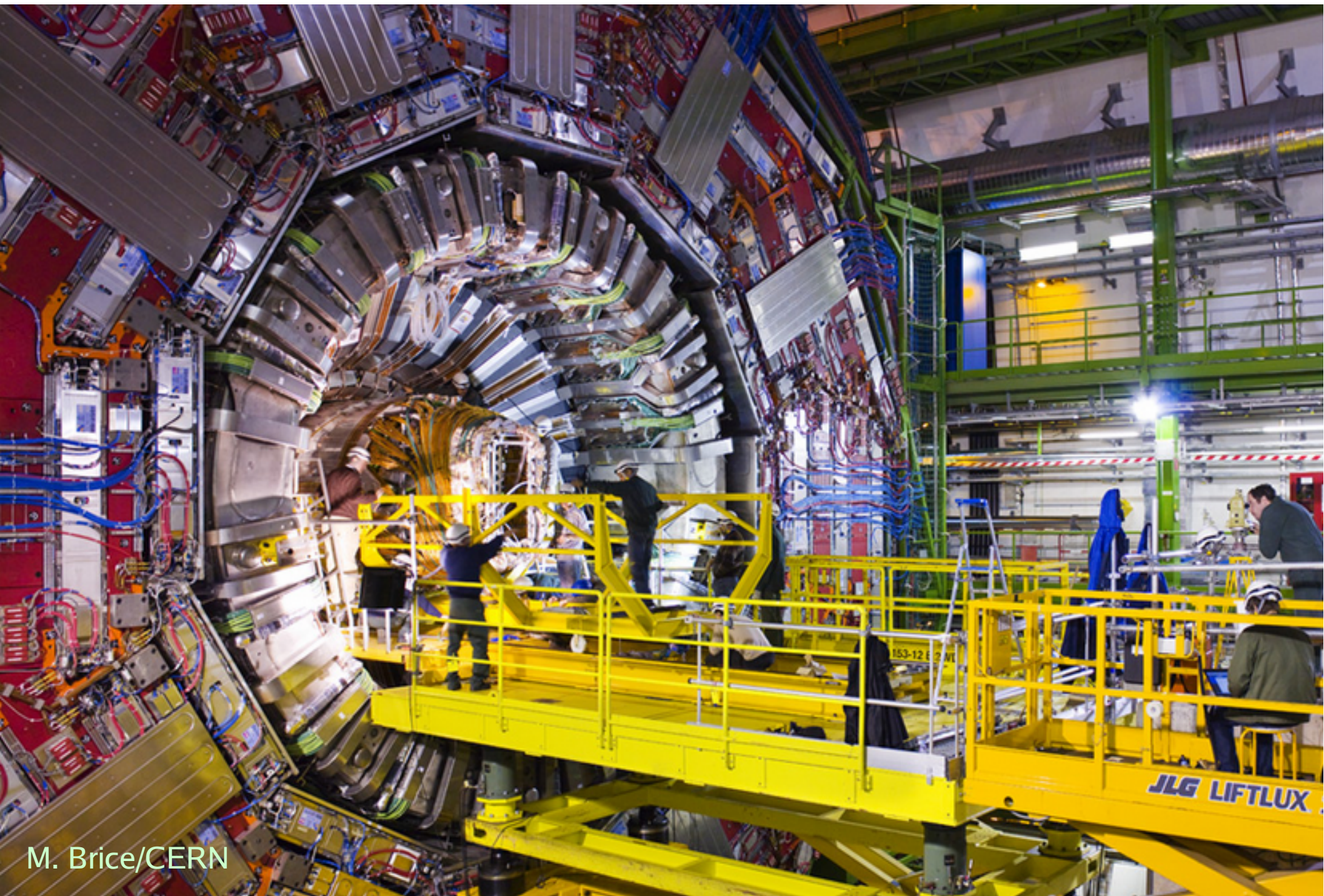
[aber nur für sehr kleine Schwarze Löcher
wichtig]

Schwarze Löcher

drei Typen Schwarzer Löcher:

primordial ← Urknall [\sim Gramm bis 10^{10} kg]

Schwarze Löcher: primordial



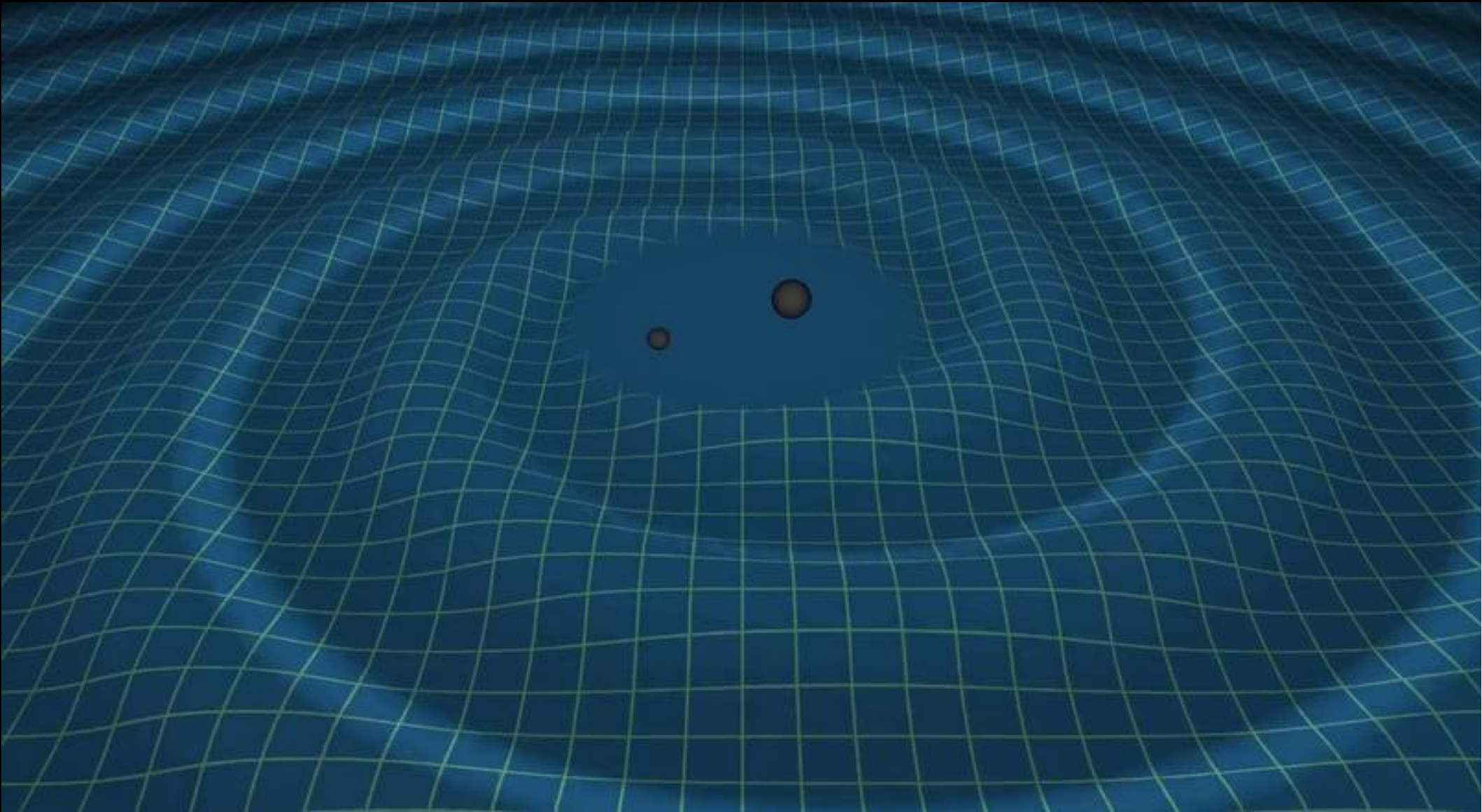
Schwarze Löcher

drei Typen Schwarzer Löcher:

primordial ← Urknall [\sim Gramm bis 10^{10} kg]

stellar [2,5–40 (?) Sonnenmassen]

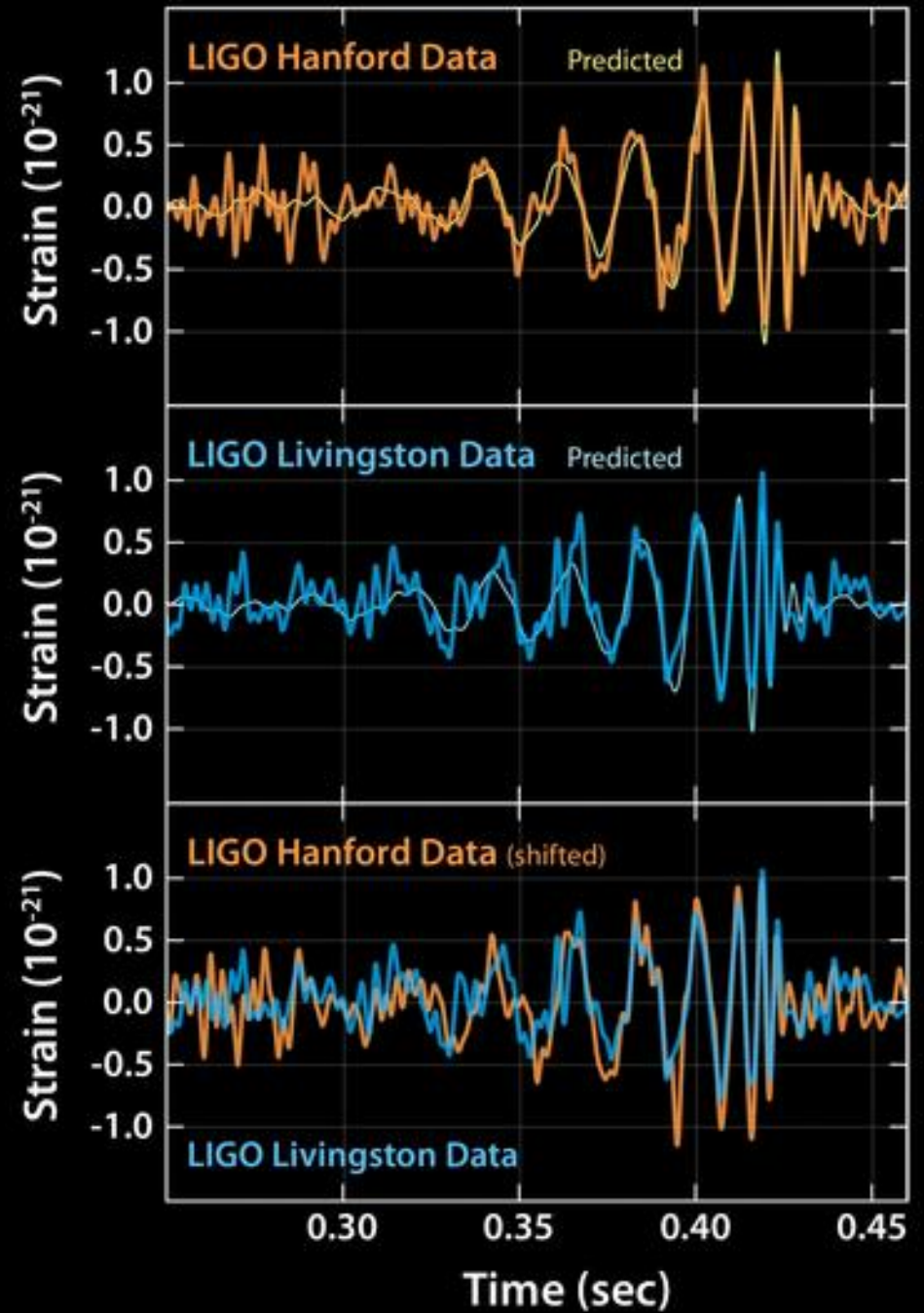
Gravitationswellen: Schwarzloch-Verschmelzen



Gravitationswellen: LIGO 2015



Gravitationswellen: LIGO



Verschmelzen von Schwarzen Löchern:
LIGO: 14. September 2015
2x ~ 30 Sonnemassen
1,3 Milliarden Lichtjahre Entfernung

Schwarze Löcher

drei Typen Schwarzer Löcher:

primordial ← Urknall [\sim Gramm bis 10^{10} kg]

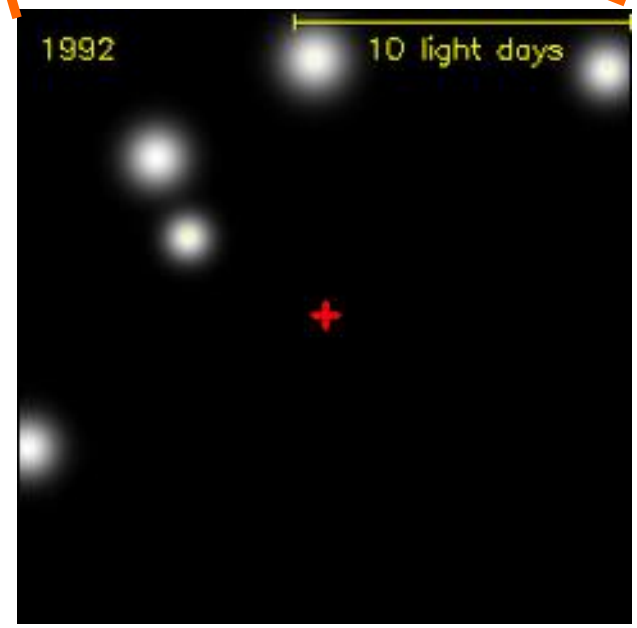
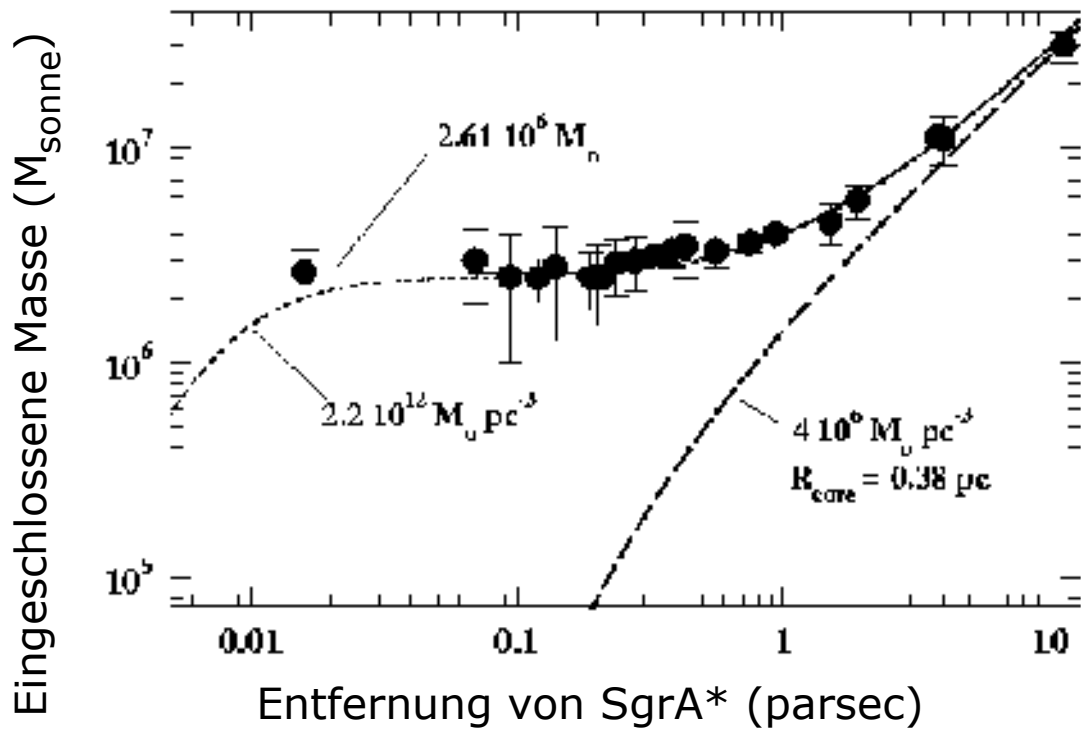
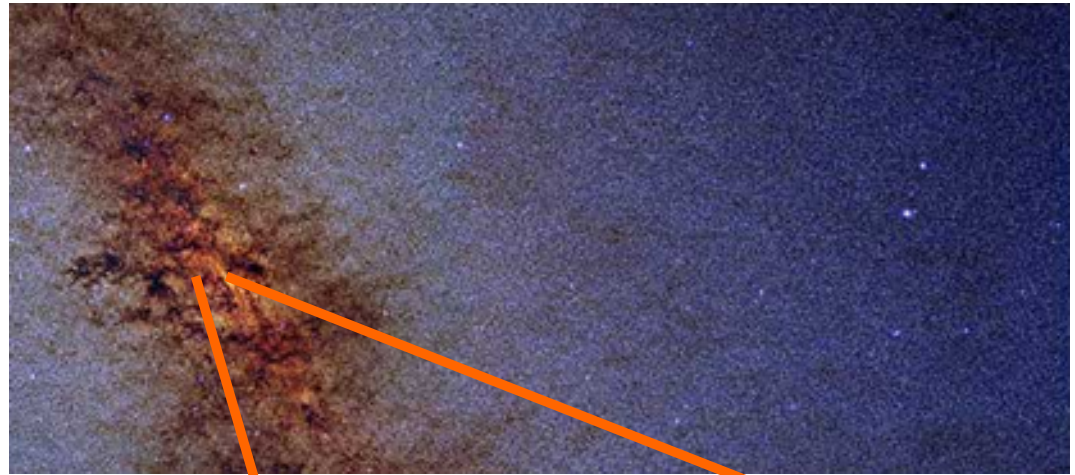
stellar [2,5–40 (?) Sonnenmassen]

super-massereich [10^5 – 10^{10} Sonnenmassen]

Unsere Milchstraße



Schwarzes Loch im Zentrum d. Milchstraße: $3 \times 10^6 M_{\text{sonne}}$



Genzel, Ghez et al. 1998...2005

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

Umwandlung potentieller (gravitations-) Energie in Bewegungsenergie, dann Wärmeenergie

$$E = mc^2 \quad (v=c \text{ ist Lichtgeschwindigkeit})$$

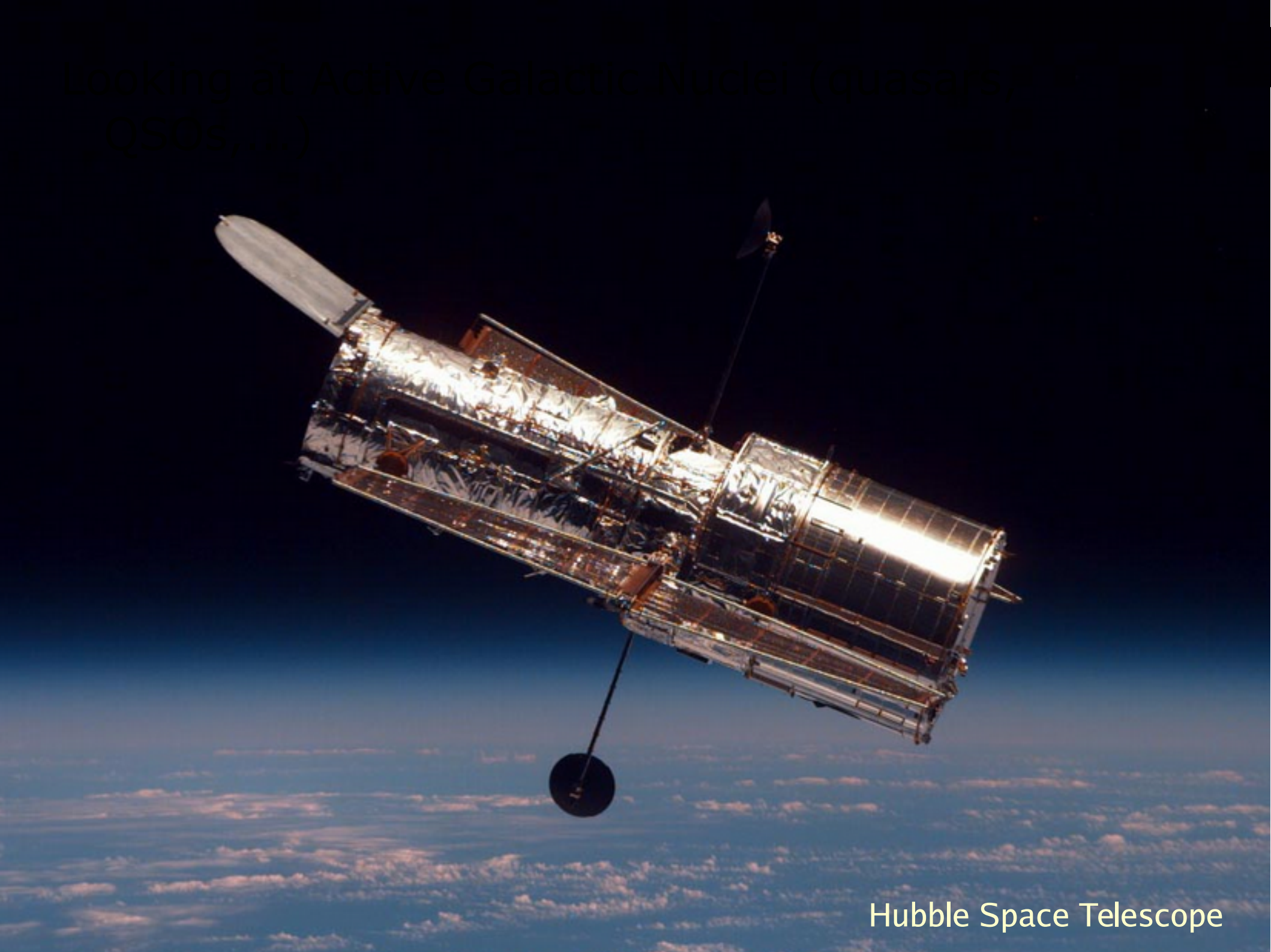
5–30% der Masse → Energie

Vergleich Kernfusion: 0,7%

Galaxien: Aktive Galaxienkerne

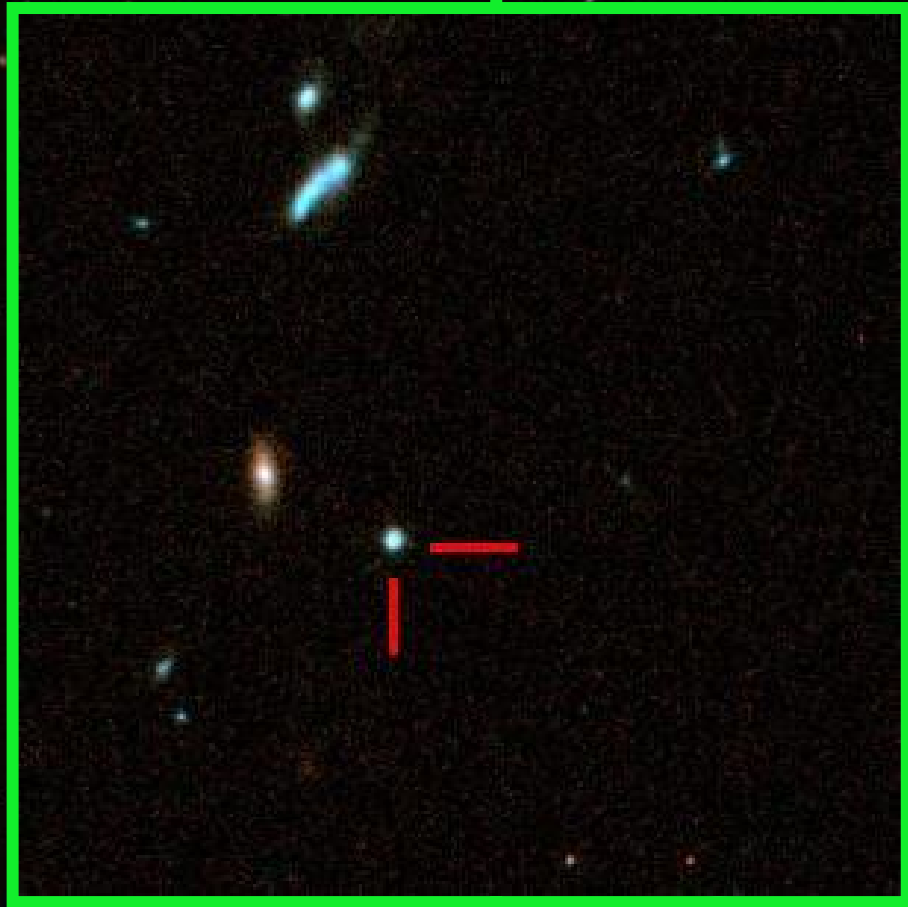
"künstlerische Darstellung" – kein Foto

An artistic rendering of an active galaxy core. The central region is a bright, glowing yellow-white nucleus. From this nucleus, a powerful jet of light blue energy extends upwards and to the left. The surrounding space is filled with intricate, swirling patterns of red and orange light, suggesting complex magnetic fields or accretion structures. The background is a dark, starry space.

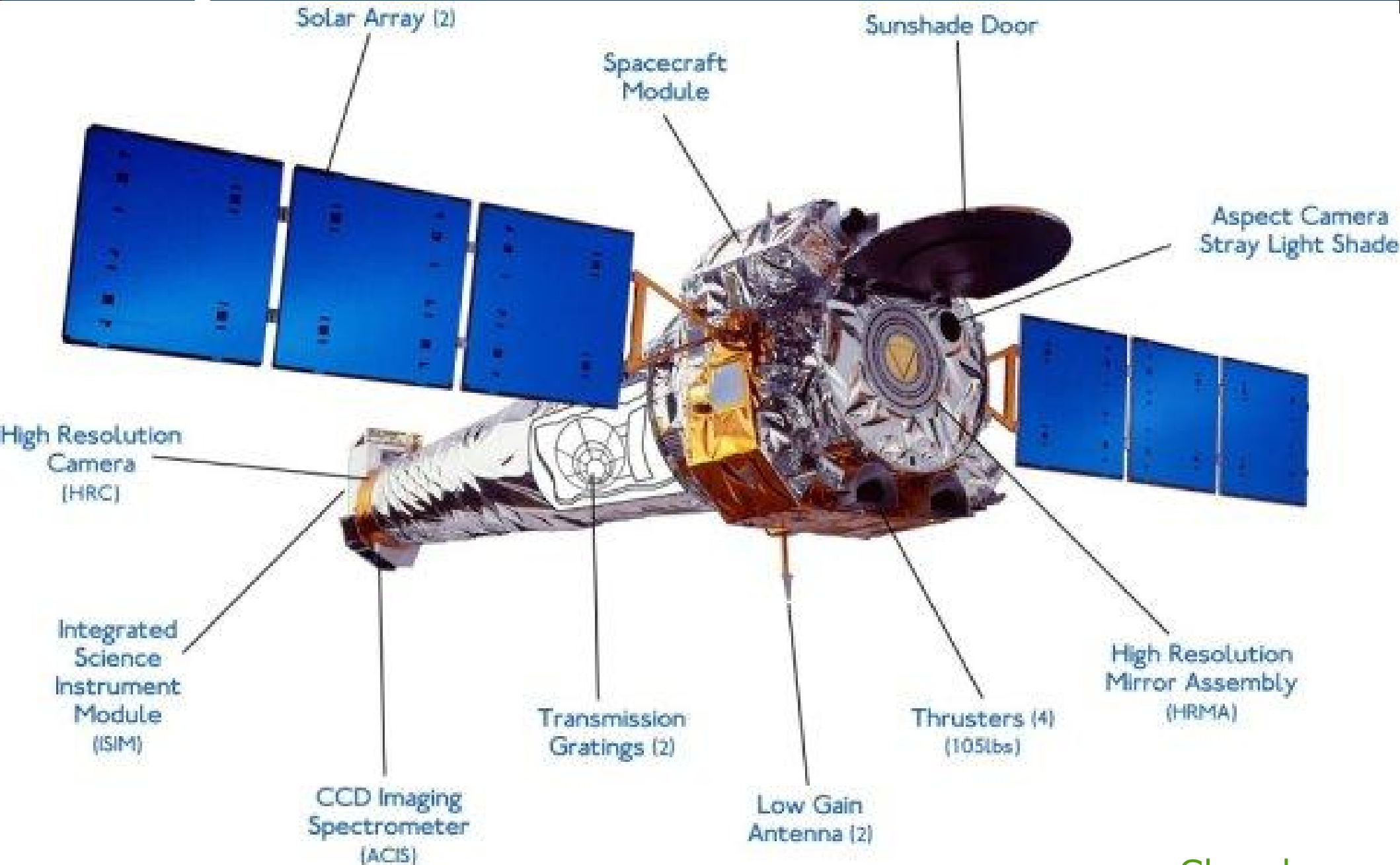


Hubble Space Telescope

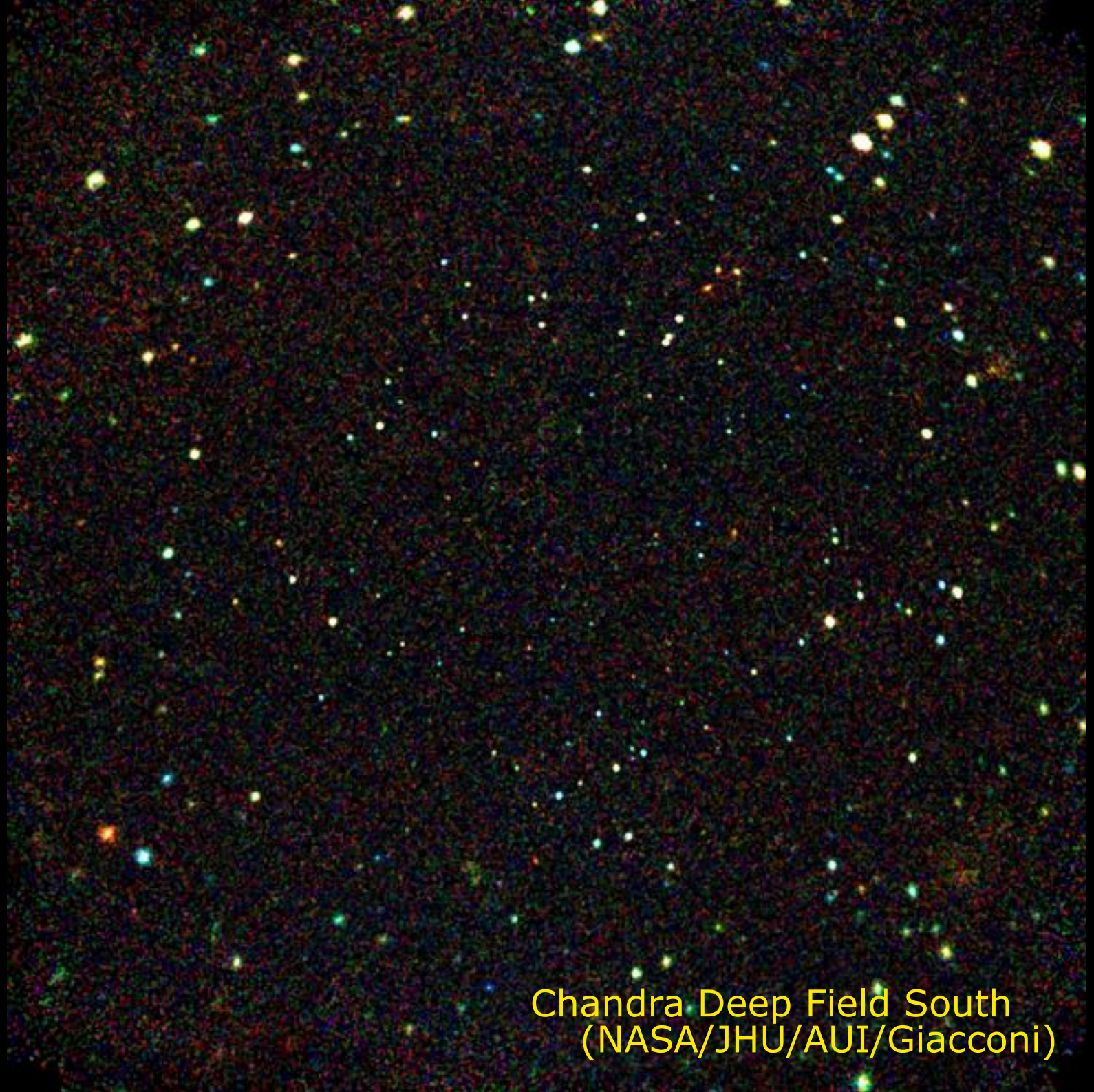
Galaxien: A



Röntgenlicht



Chandra



Chandra Deep Field South
(NASA/JHU/AUI/Giacconi)

$z =$

0.3–0.7

0.9–1.0

1.0–1.15

1.15–1.3

1.3–1.5

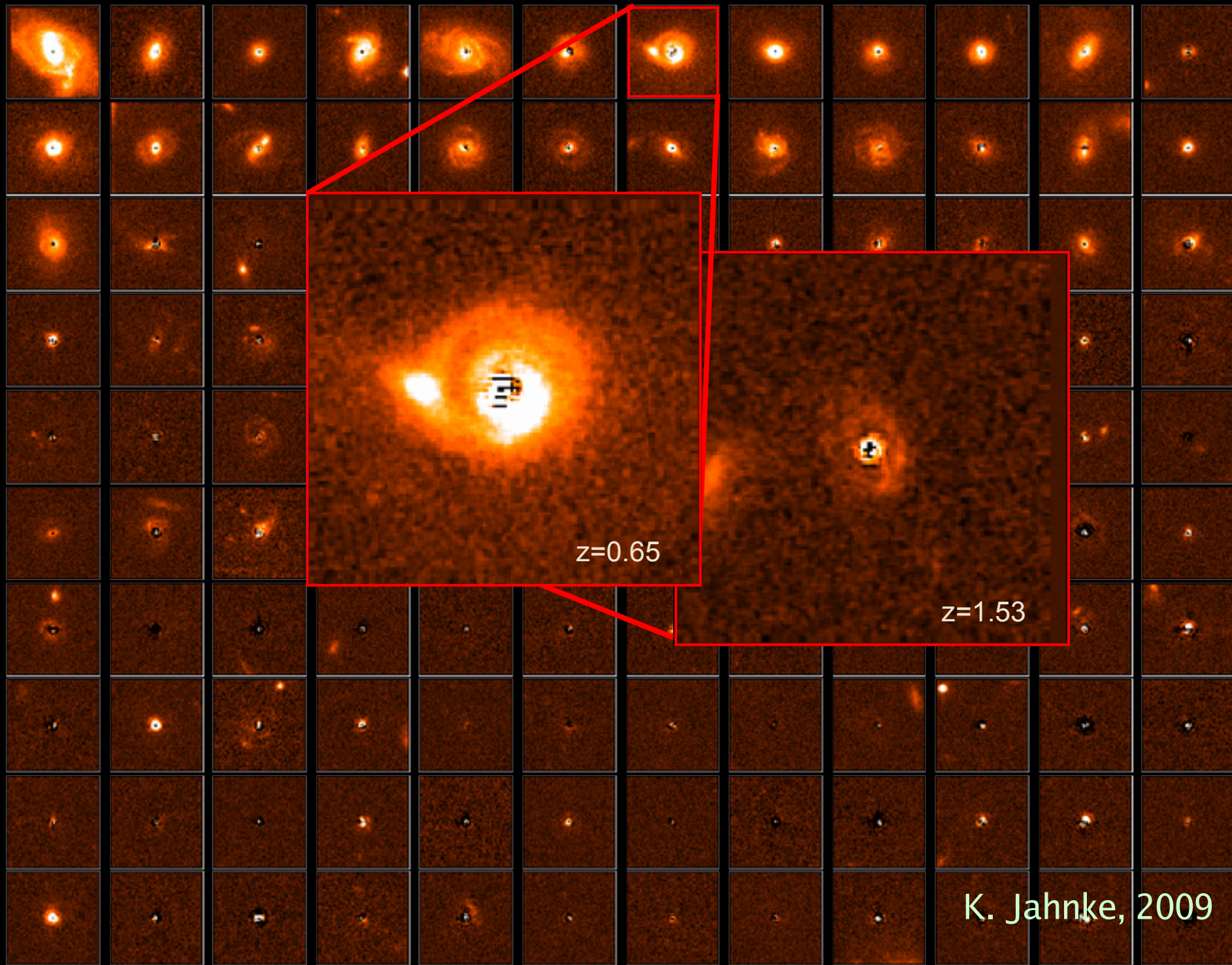
1.5–1.6

1.6–1.8

1.8–1.9

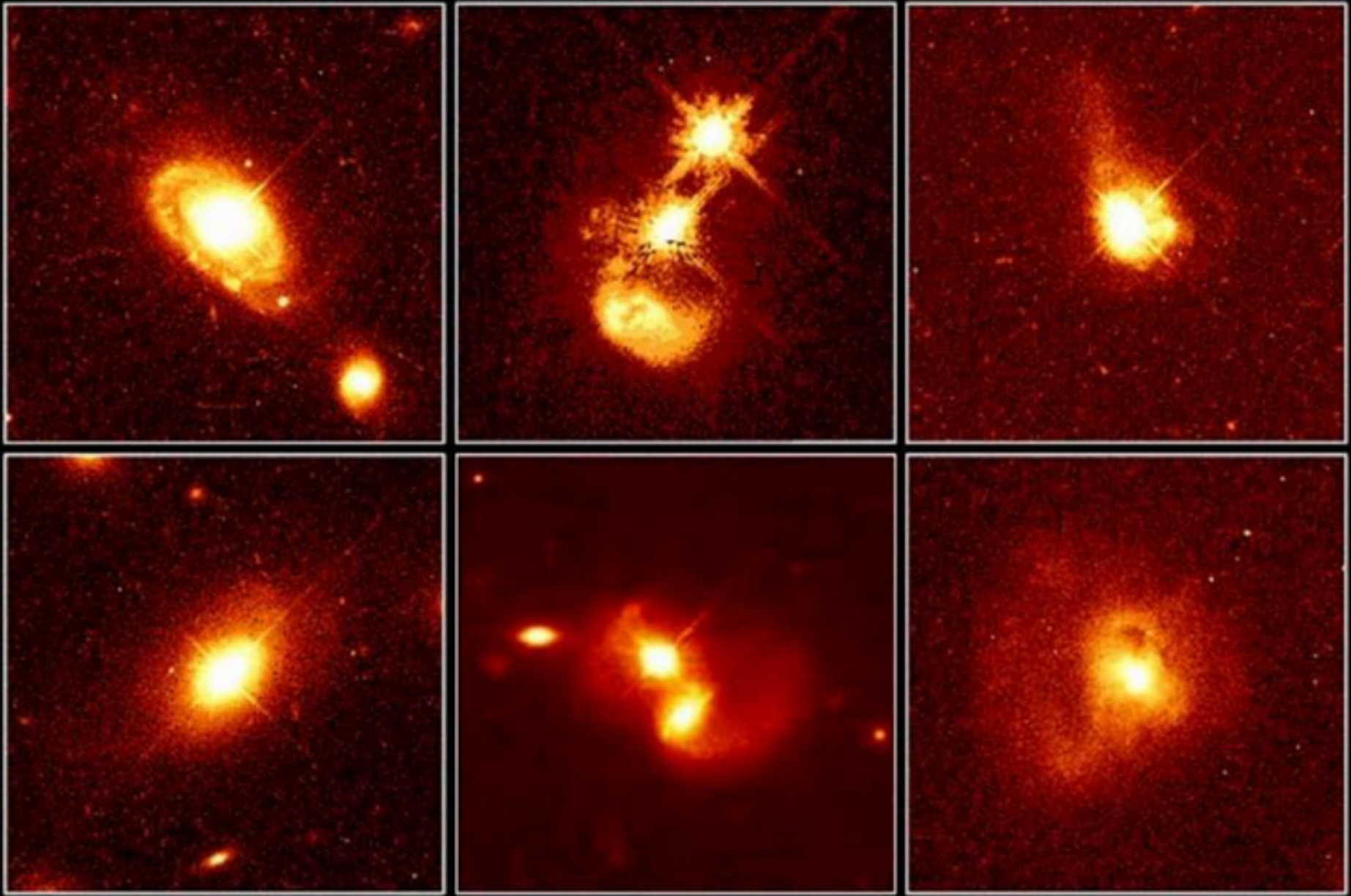
1.9–2.1

2.1–2.9

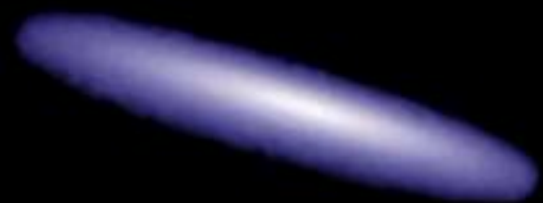


K. Jahnke, 2009

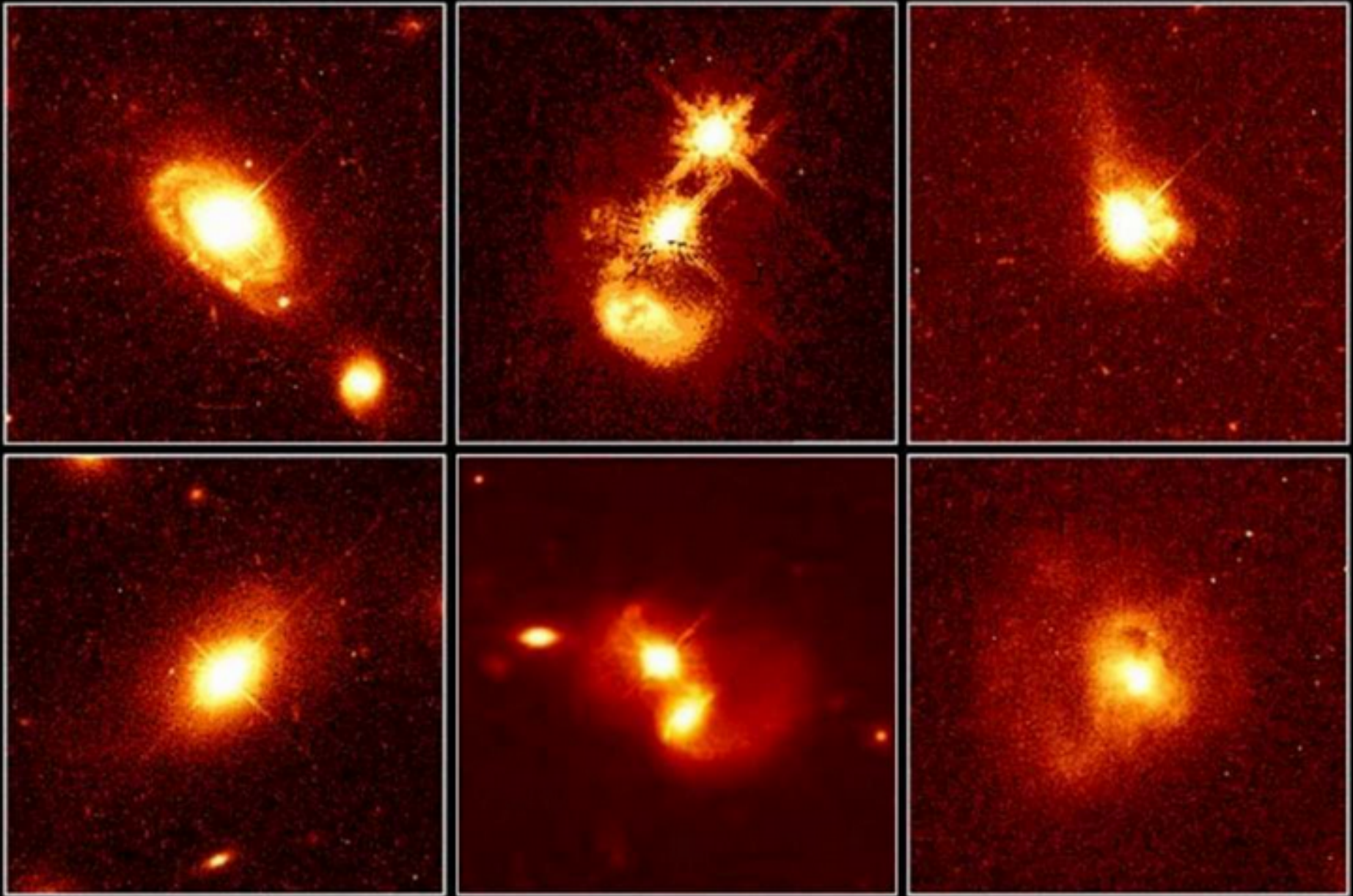
Galaxien: Aktive Galaxienkerne



J. Bahcall et al. 1997



Galaxien: Aktive Galaxienkerne



J. Bahcall et al. 1997

AGN mit Radiojets in Perseus Galaxienhaufen

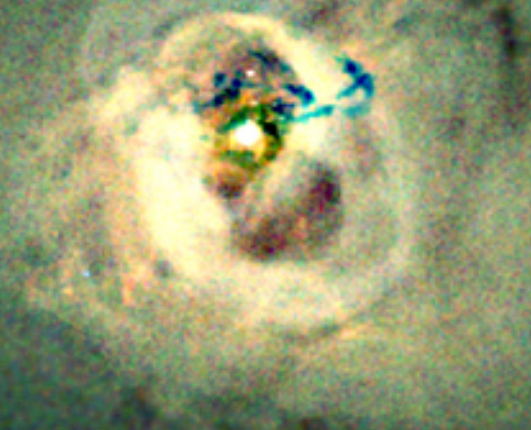


- (Perseus Haufen, sichtbares Licht)
(Bild: David Chifiriuc)

Galaxien: Aktive Galaxienkerne



AGN mit Radiojets in Perseus Galaxienhaufen

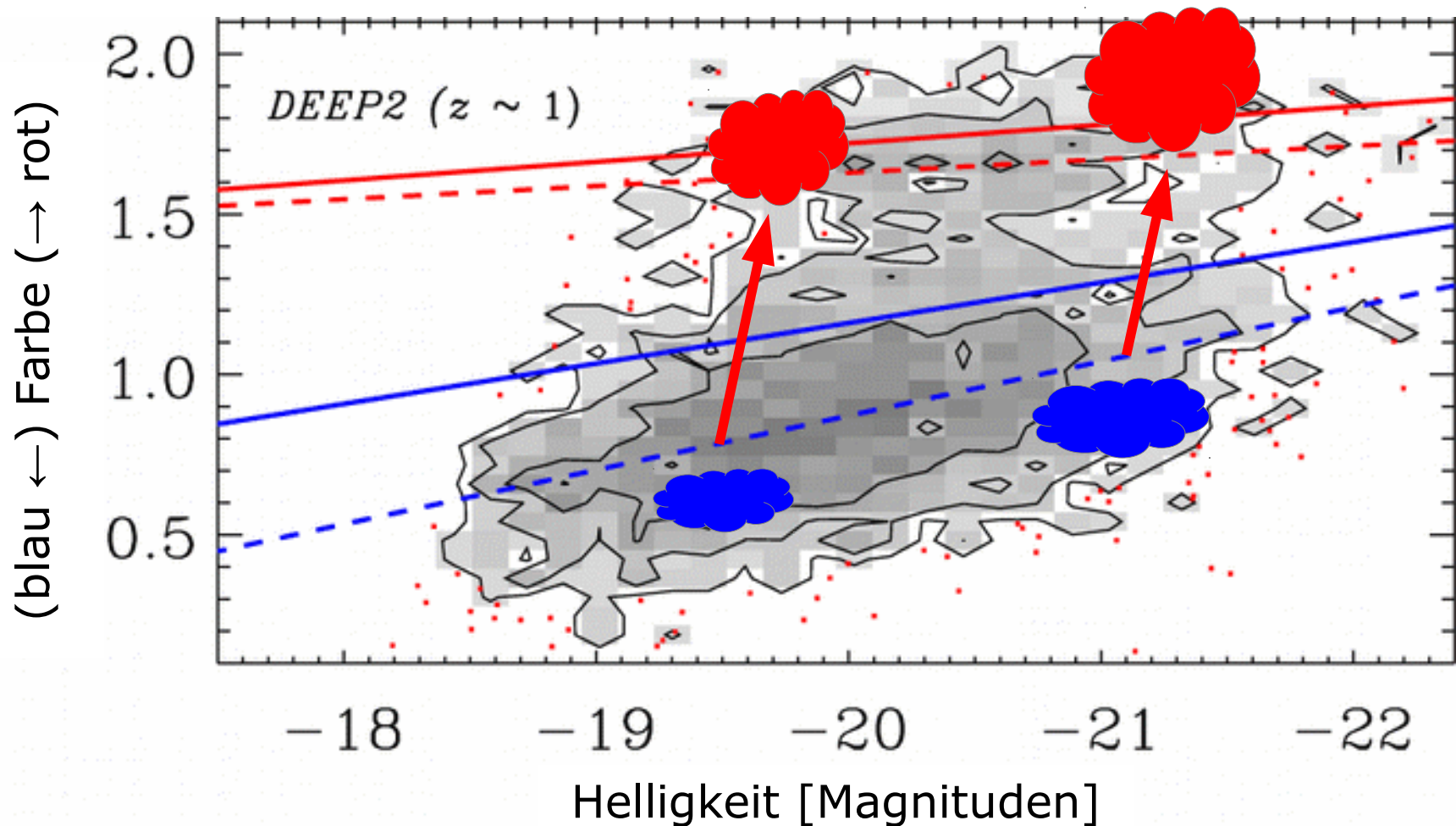


Radio-“Blasen” durch AGN-Jet
heizen Gas → wirkt Kühlen entgegen

(Perseus Haufen, Röntgen)

Abschaltung von Sternentstehung

Vor 8 Mrd Jahren



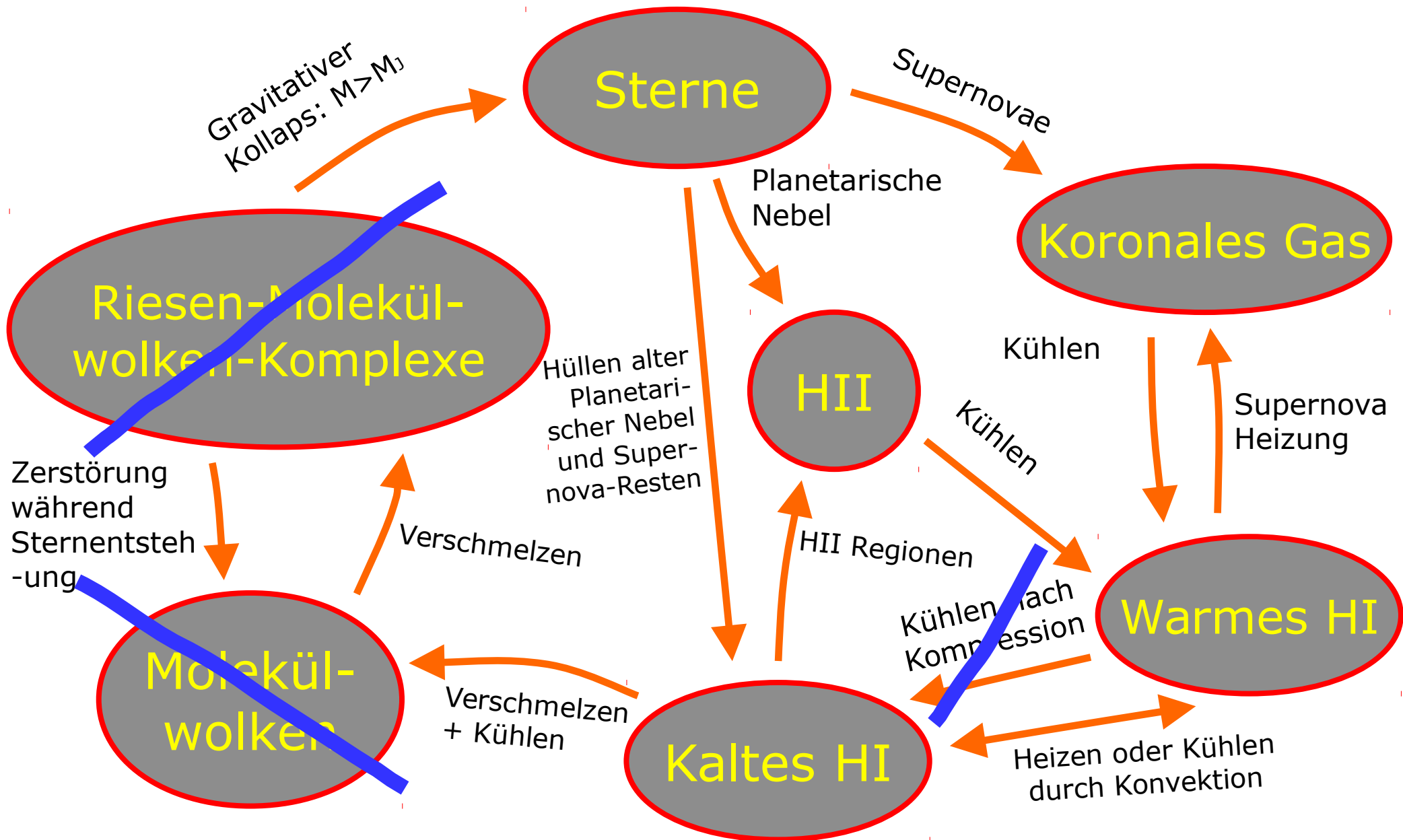
Abschalten von Sternentstehung

→ Bedarf für "Abschaltmechanismus"

- Gas entfernen (rausblasen) + nicht wieder zurücklassen
- Oder dauerhaft heizen
- Supernovae?
- Eher nicht, bestehen nur kurz
- Aktive Galaxienkerne?
 - Teilweise, nur in Galaxienhaufen

→ Alle (bekannten) Mechanismen brauchen "konstruiertes" Gleichgewicht → ungelöst

Zyklus der interstellaren Materie



Zusammenfassung

- Sterne entstehen in Galaxien
- Es gibt Galaxien mit "normaler" Sternentstehung und solche ohne
- Mechanismus notwendig, der Sternentstehung schnell abschaltet
- Schwarze Löcher bis hin zu 10^{10} Sonnenmassen
- Möglicherweise: Sternentstehung abgeschaltet durch Aktive Galaxienkerne = Schwarze Löcher mit Gaseinfall