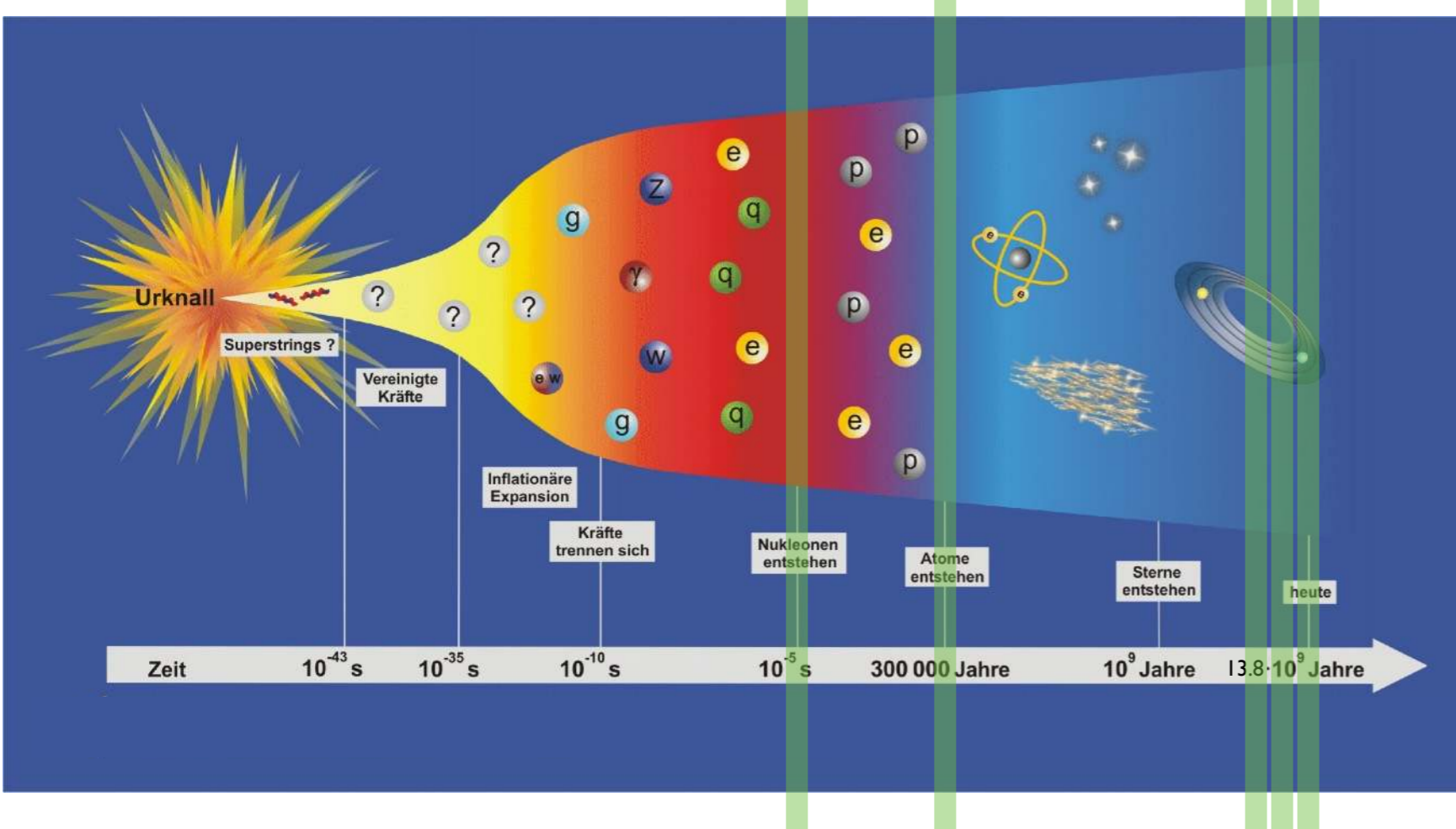


# Wie beobachten wir die Vergangenheit? Eine Reise zum Beginn des Universums

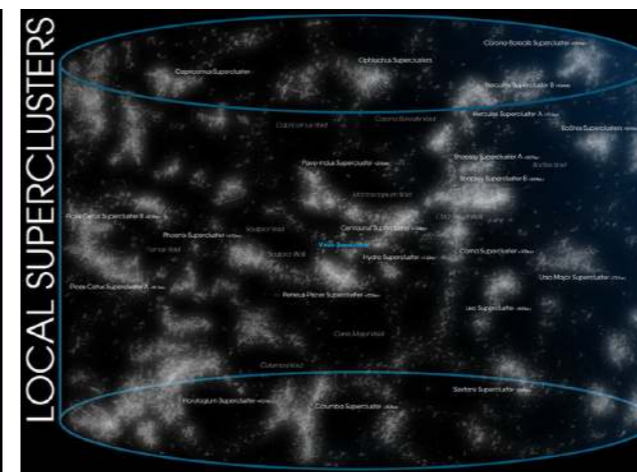
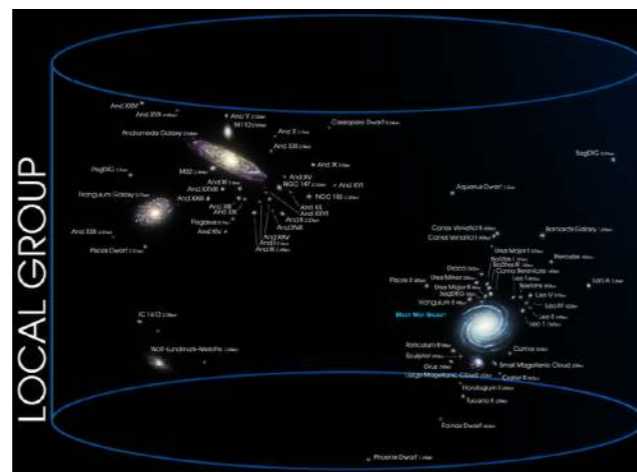
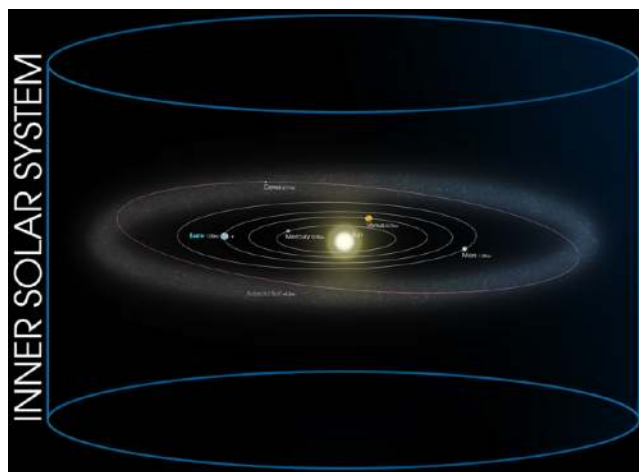
# Eine Reise durch...

## ...Zeit...

vor 8 Min  
vor 160.000 Jahren  
vor 130 Mio Jahren  
vor 13.8 Mia Jahren



## ...und Raum.



1.vor 8 Minuten: unsere Sonne

2.vor 160 000 Jahren - die Supernova 1987

3.vor 130 Mio Jahren - kollidierende Neutronensterne

4.vor 13 Mia Jahren - erste Galaxien

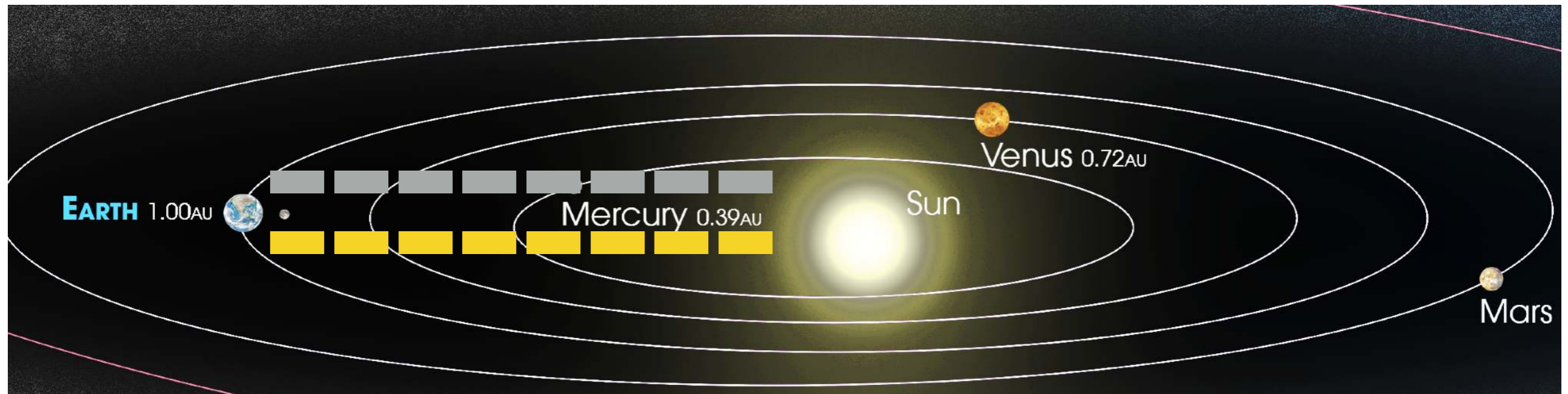
5.vor 13.8 Mia Jahren - kosmischer Hintergrund

6.ganz kurz nach dem Urknall - das Universum im Labor

# Die Sonne



# Die Lichtgeschwindigkeit: $\sim 300.000 \text{ km/s}$

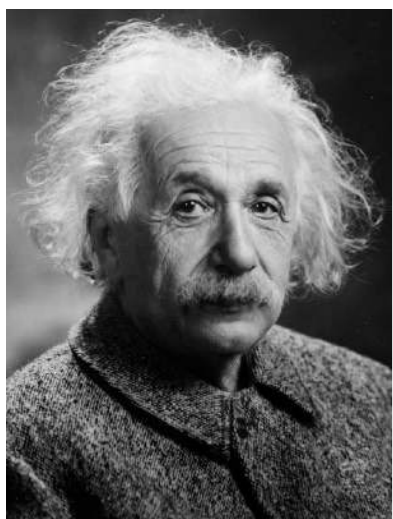


adapted from: Wikimedia, CC-BY-SA-4.0, Andrew Colvin

Abstand Sonne-Erde: 147,1 Mio km  
499 Lichtsekunden

spezielle Relativitätstheorie:  
keine Wirkung schneller als das **Licht!**

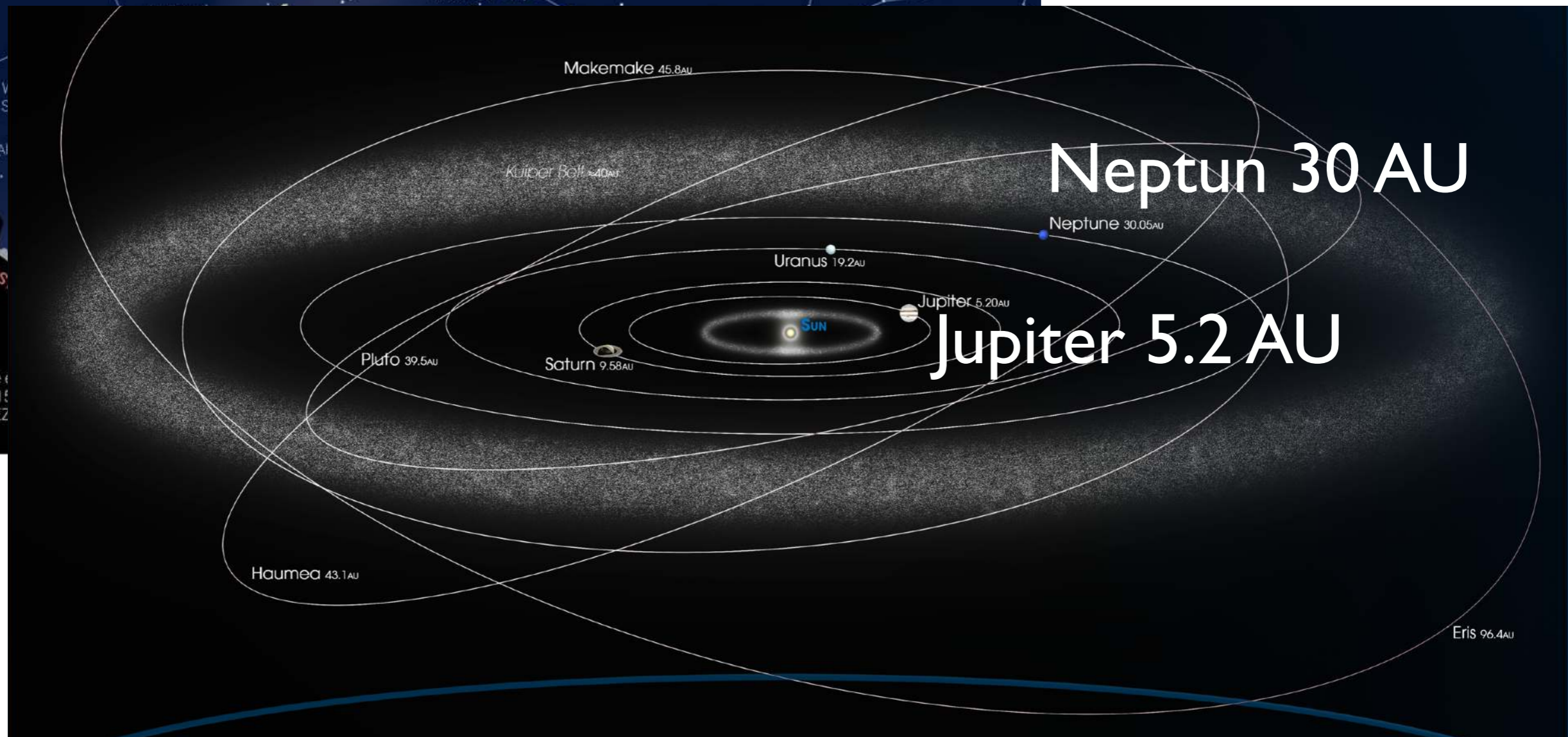
gilt auch für Gravitation



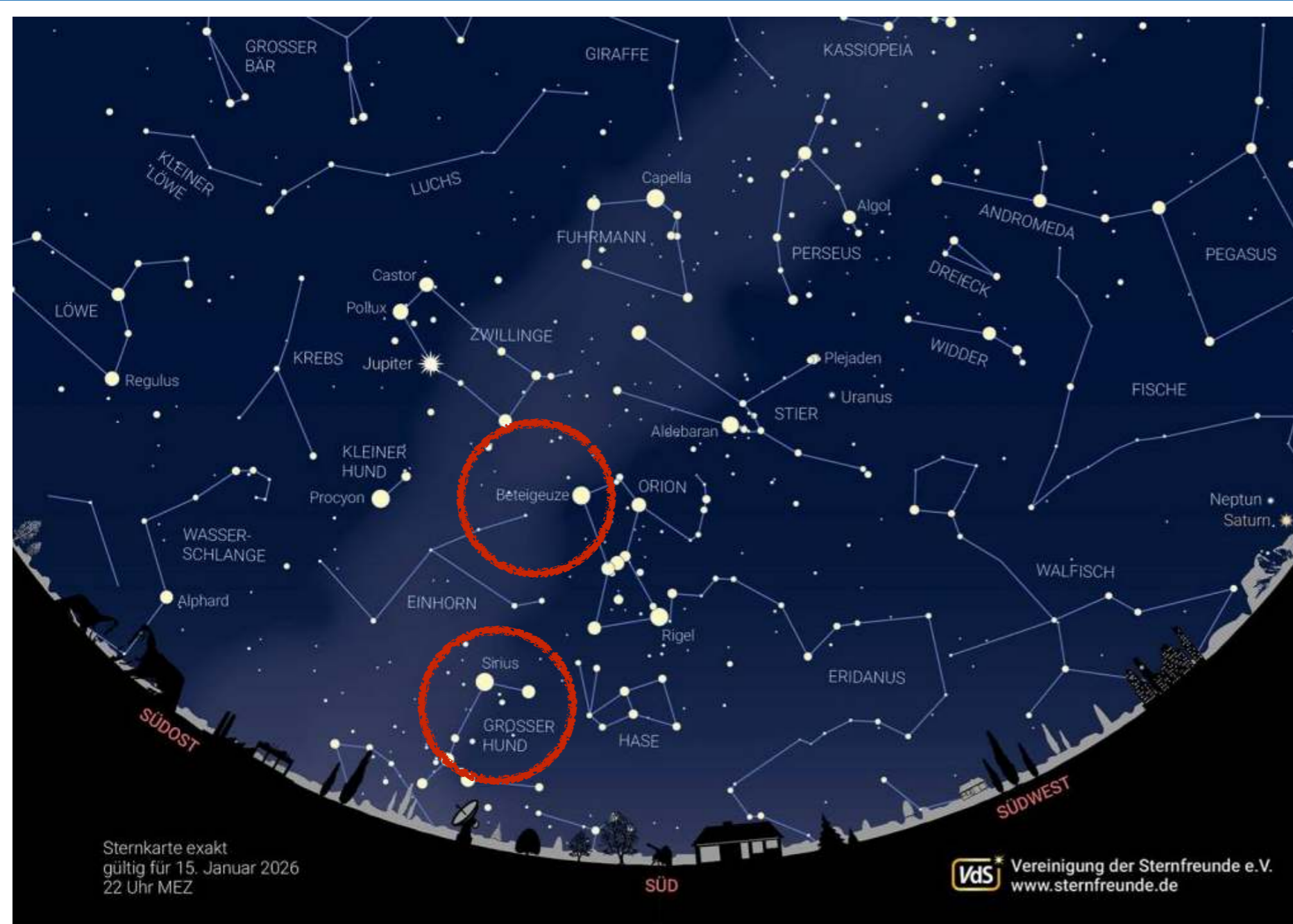
# Unser Sonnensystem



adapted from: Wikimedia, CC-BY-SA-4.0, Andrew Colvin



# Benachbarte Sterne



8.7 Lichtjahre

600 Lichtjahre

1.vor 8 Minuten: unsere Sonne

2.vor 160 000 Jahren - die Supernova 1987

3.vor 130 Mio Jahren - kollidierende Neutronensterne

4.vor 13 Mia Jahren - erste Galaxien

5.vor 13.8 Mia Jahren - kosmischer Hintergrund

6.ganz kurz nach dem Urknall - das Universum im Labor

# Supernovae - neue Sterne

1680

1572

1054

SN 1987A (Sk -69 202)  
Schwertfisch (Südhimmel)

Wikipedia: ESA/Hubble CC BY 4.0

Vds\* Vereinigung der Sternfreunde e.V.  
www.sternfreunde.de

Sternkarte exakt  
gültig für 15. November 2025  
22 Uhr MEZ

SÜD

SÜDOST

ORION

ERIDANUS

WALFISCH

Mira

STIER

WIDDER

DREIECK

ANDRO

PERSEUS

Aldebaran

Plejaden

Uranus

Algol

KASSIOPEIA

EIDECH

LEIER

Wega

Deneb

Capella

FUHRMANN

ZWILLINGE

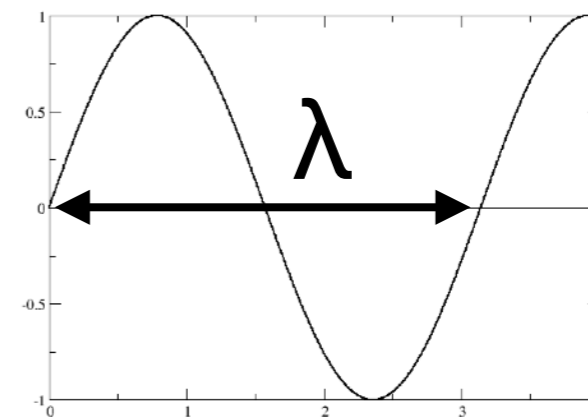
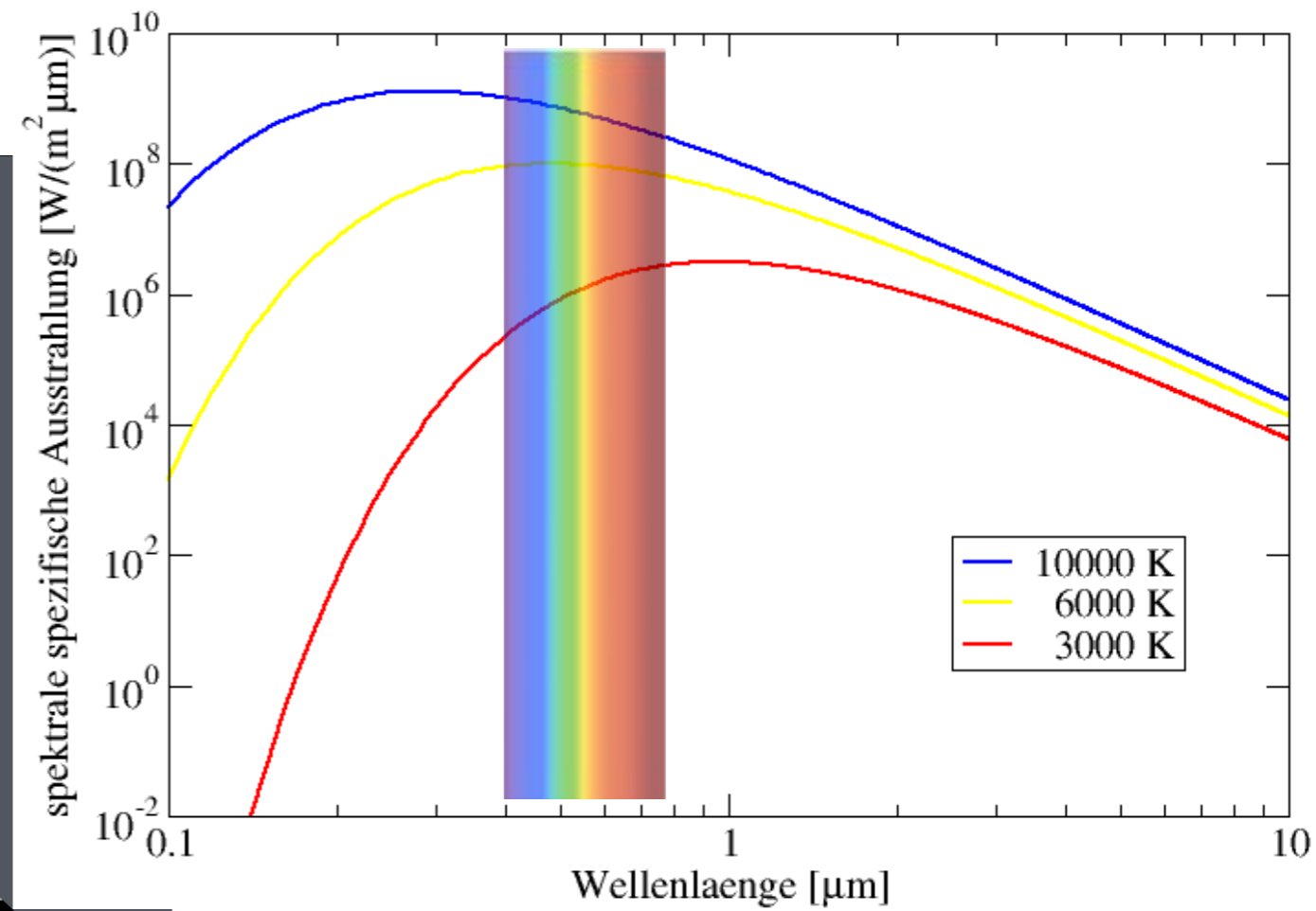
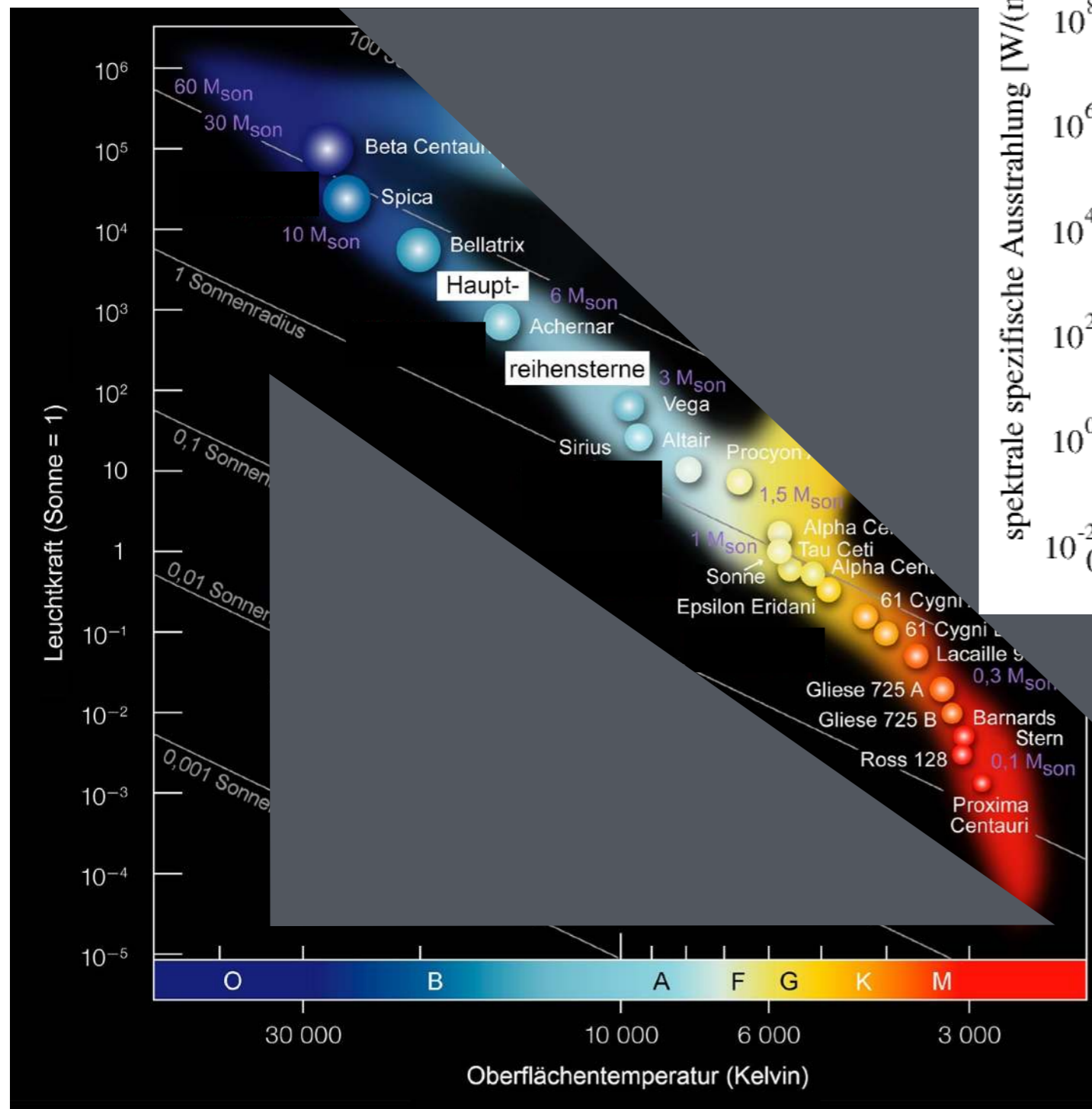
Castor

Pollux

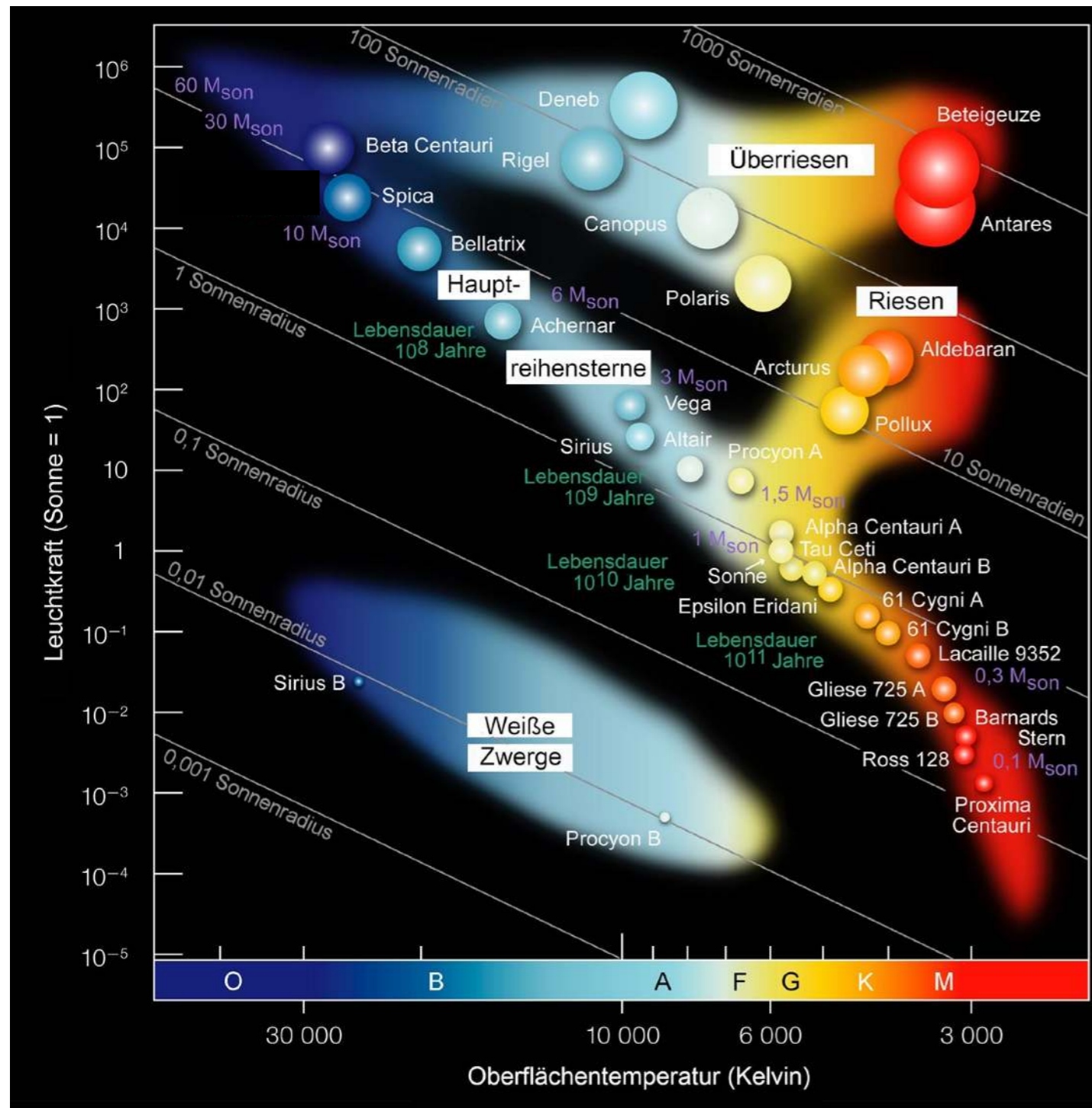
Beteigeuze

Rigel

# Sterne: Farbe vs. Temperatur

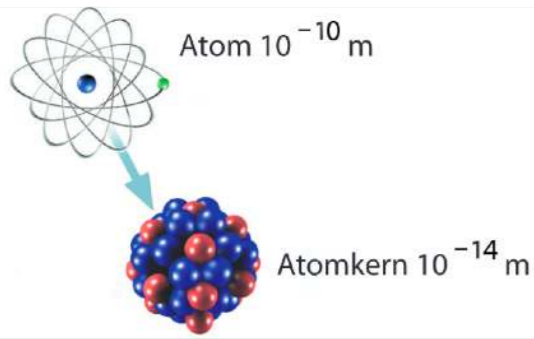


# Sterne: Farbe vs. Temperatur



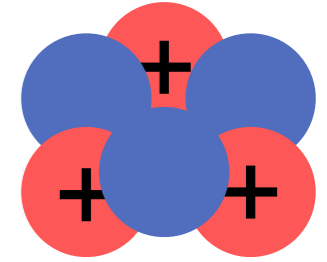
- Je blauer desto heisser
- Je blauer desto kürzere Lebensdauer

# Das Kleine - die Elemente

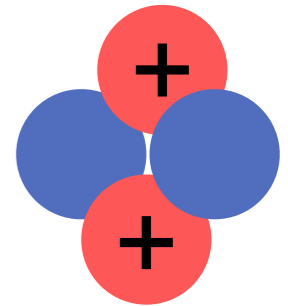


## Elemente Zahl der Protonen

Lithium



Helium



Wasserstoff



Big Bang

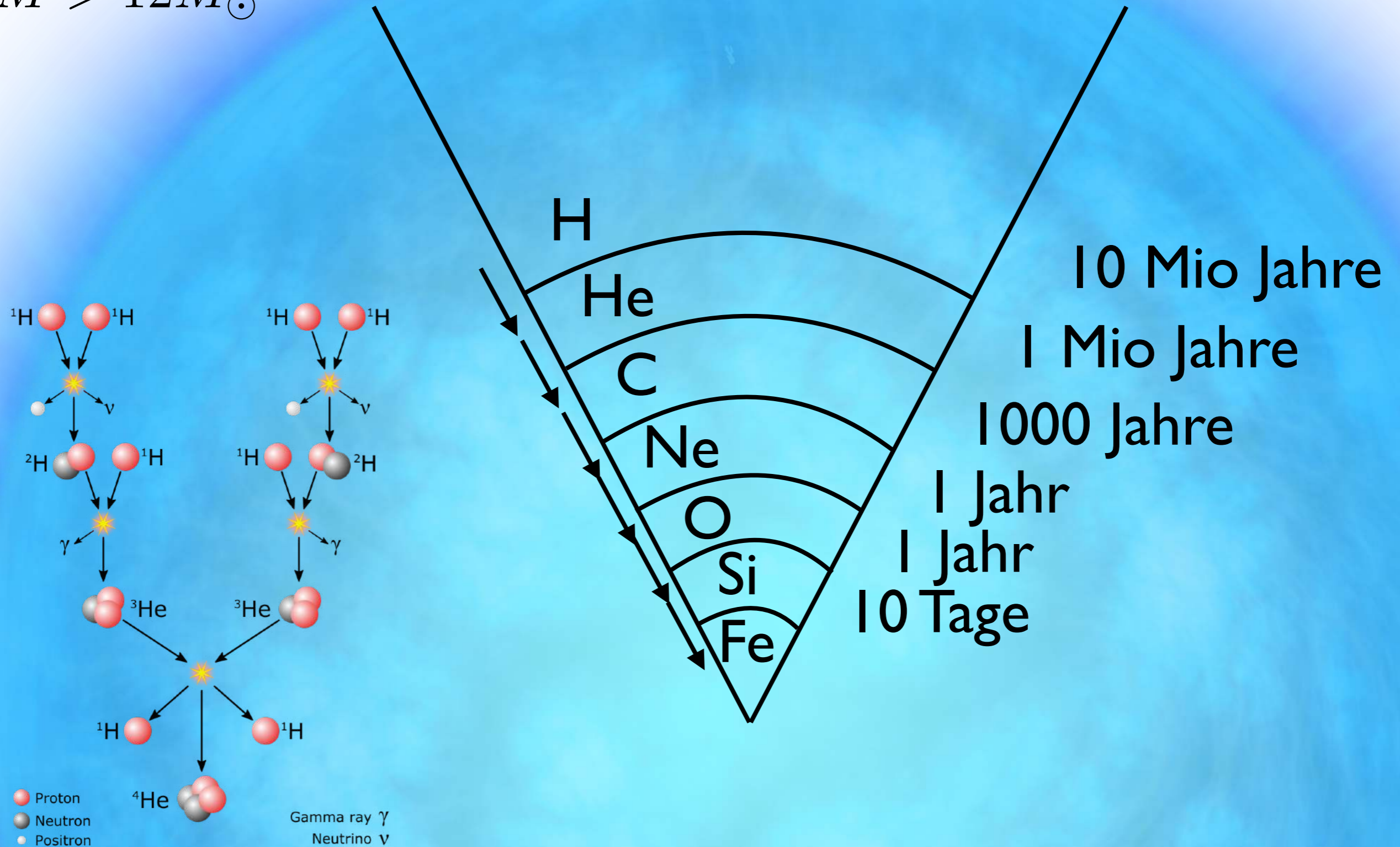
Kernfusion in Sternen

H 1																	He 2
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56		Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
Fr 87	Ra 88		La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
			Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103

Wikimedia, CC-BY-SA-3.0, nach Jennifer Johnson, Ohio State University

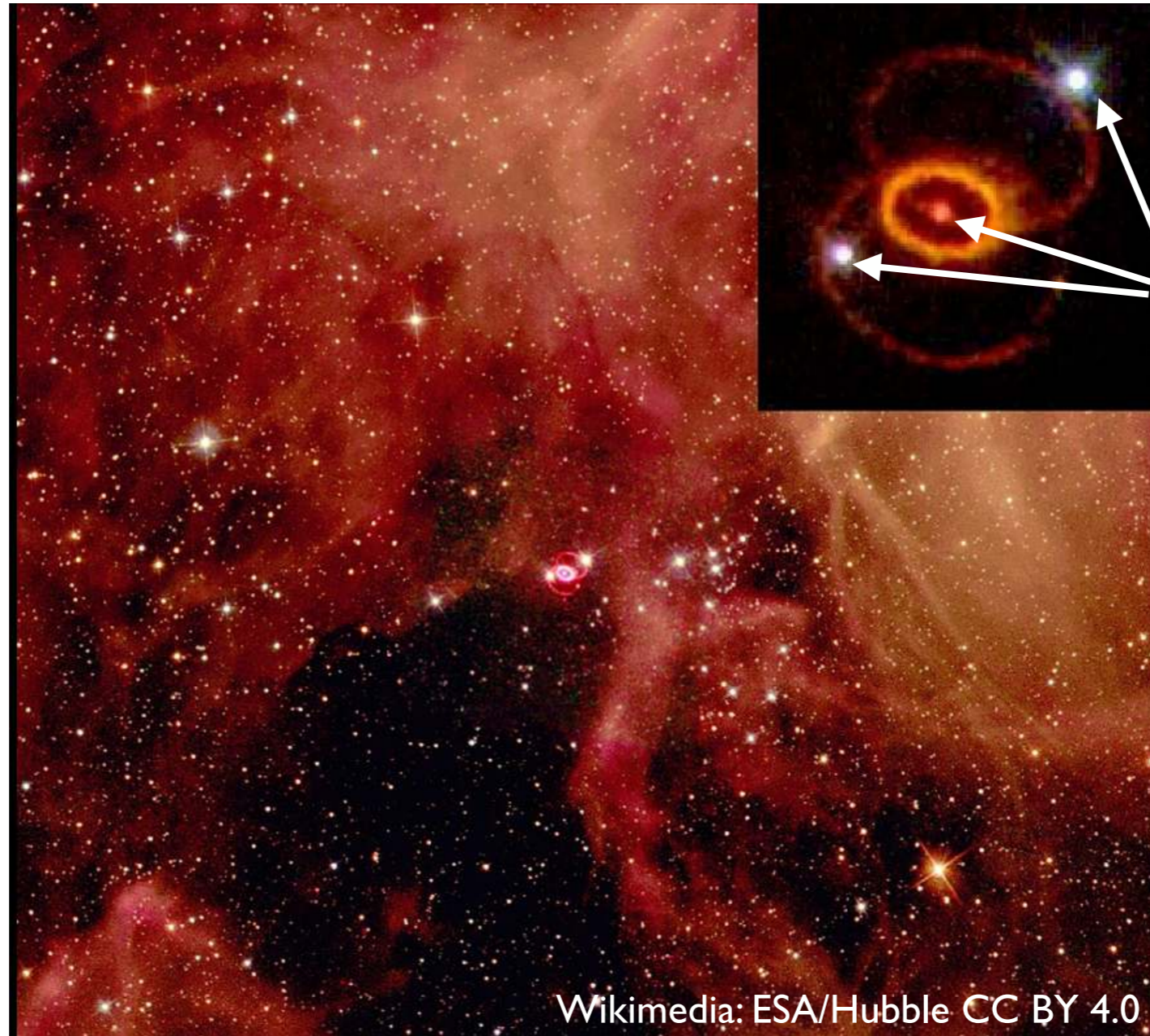
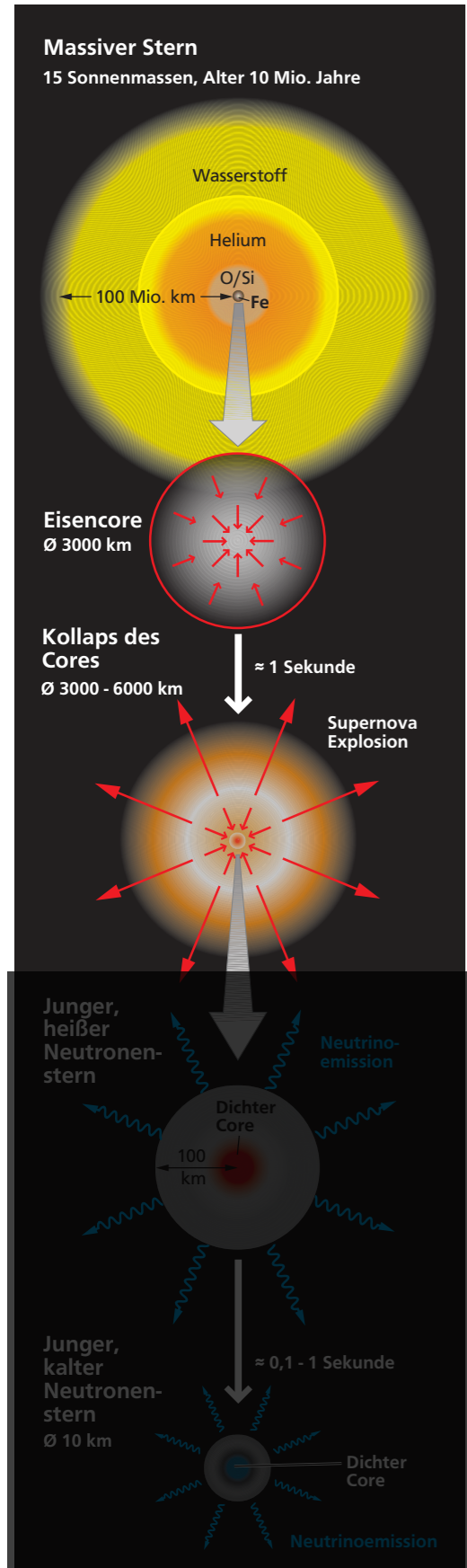
# Blaue Riesensterne - Geburtsort einiger Elemente

$M > 12M_{\odot}$



# Supernova - Explosion - SN 1987A (Sk -69 202)

## Sternbild Schwertfisch (Südhimmel)



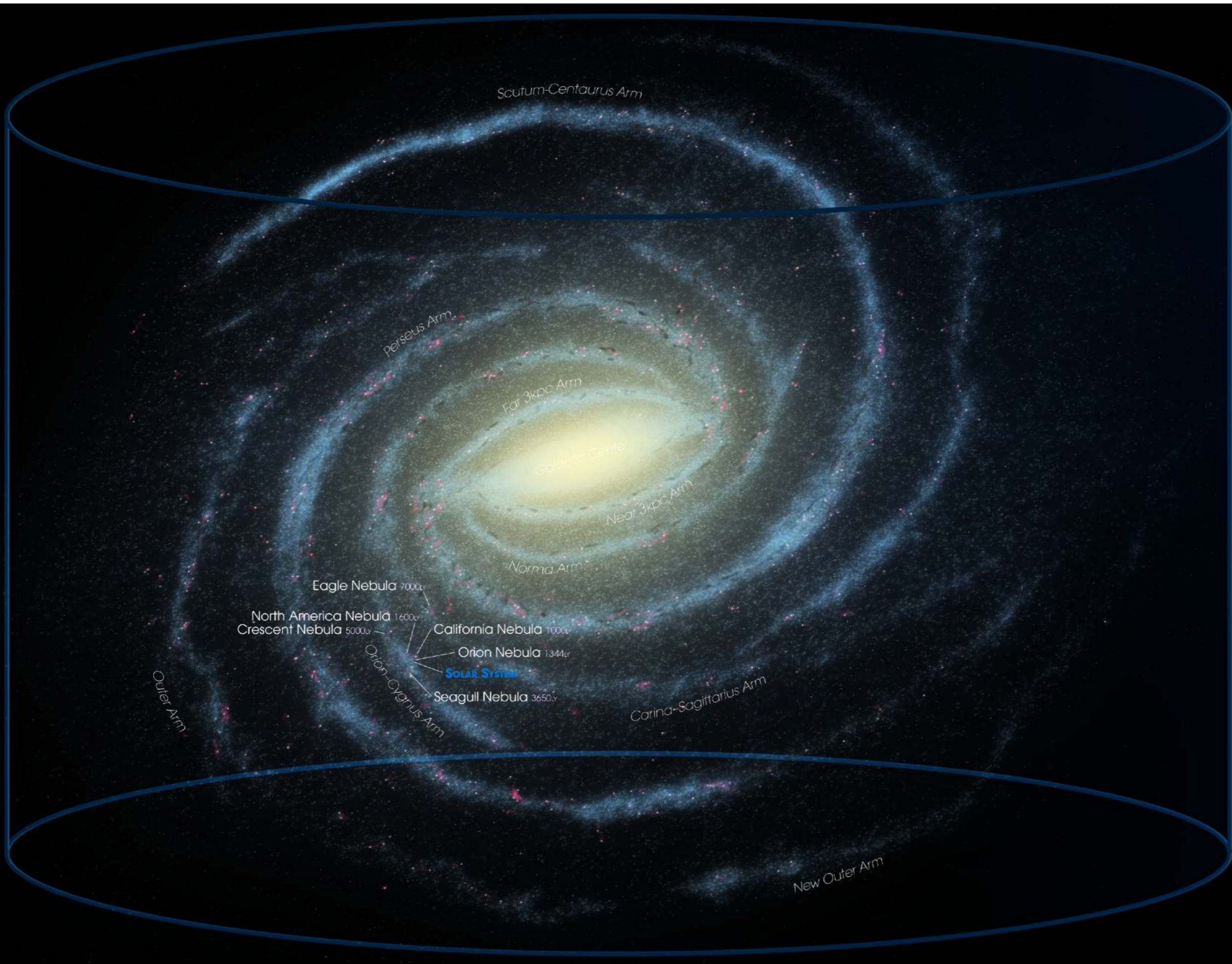
Dreifachsystem

Wikimedia: ESA/Hubble CC BY 4.0

- Explosion gesichtet: 1987
- blauer Riese  $M \sim 17M_{\odot}$
- Entfernung:  $\sim 160\,000$  Lichtjahre (Neandertal...)

# Benachbarte Galaxien

MILKY WAY GALAXY



100 000 Lichtjahre

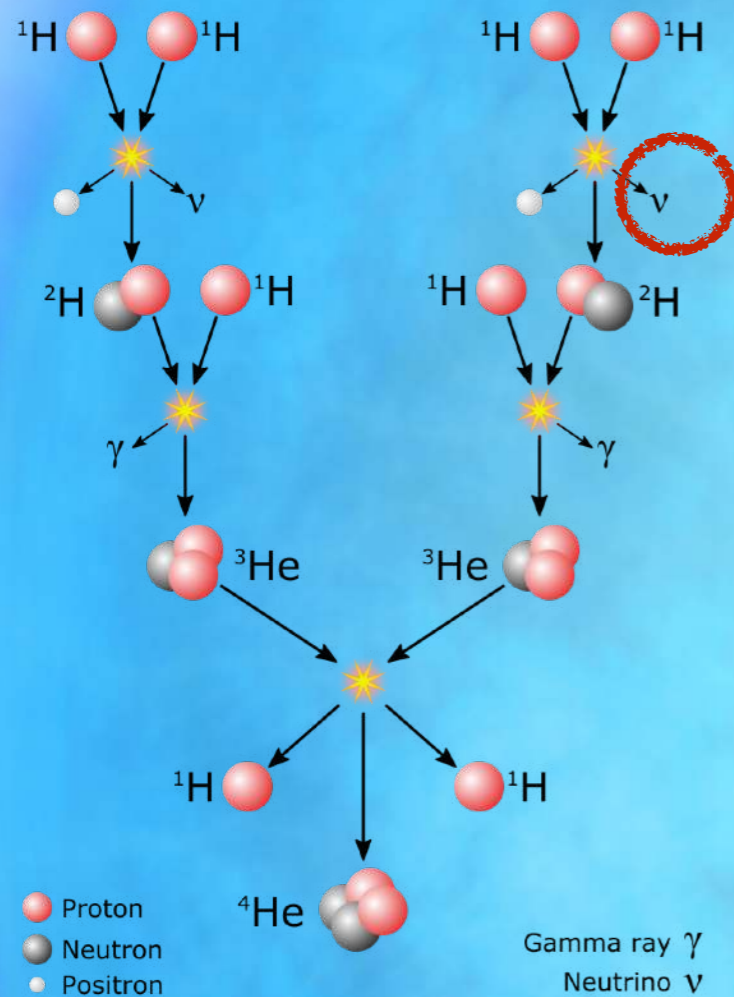
adapted from: Wikimedia, CC-BY-SA-4.0, Andrew Colvin



# Neutrinos von SN 1987A

- 100 Mia Neutrinos/Sek von unserer Sonne
- in 1987: 11 Neutrinos von SN 1987A

## Neutrinos



Masatoshi Koshiya  
Nobelpreis 2002



adapted from: Wikimedia, CC-BY 2.1.jp

Kamiokande (Japan) 17

1.vor 8 Minuten: unsere Sonne

2.vor 160 000 Jahren - die Supernova 1987

3.vor 130 Mio Jahren - kollidierende Neutronensterne

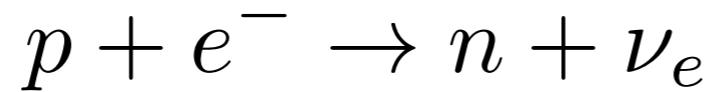
4.vor 13 Mia Jahren - erste Galaxien

5.vor 13.8 Mia Jahren - kosmischer Hintergrund

6.ganz kurz nach dem Urknall - das Universum im Labor

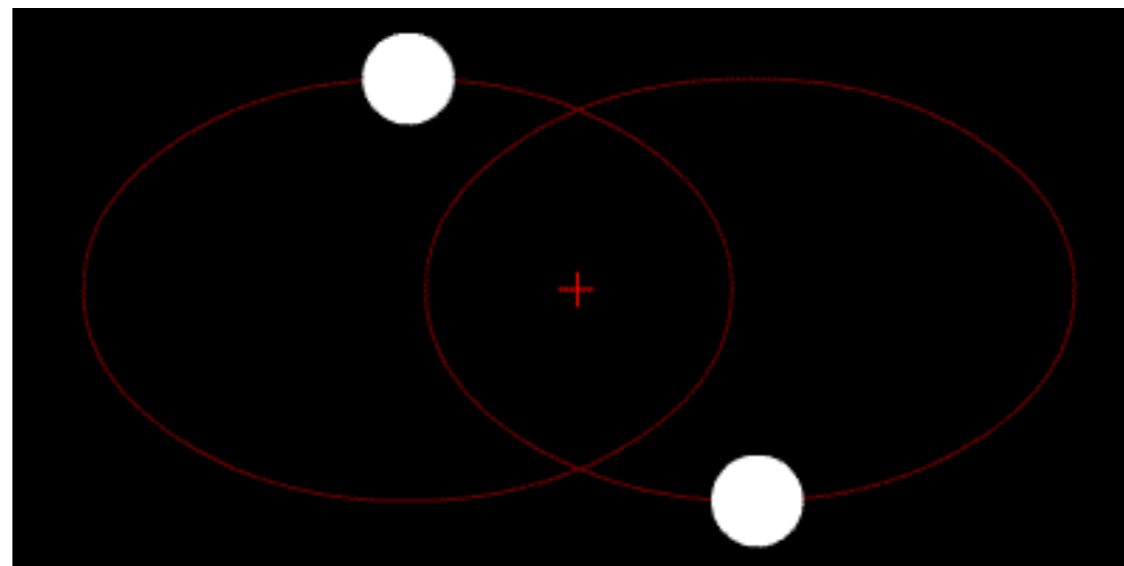
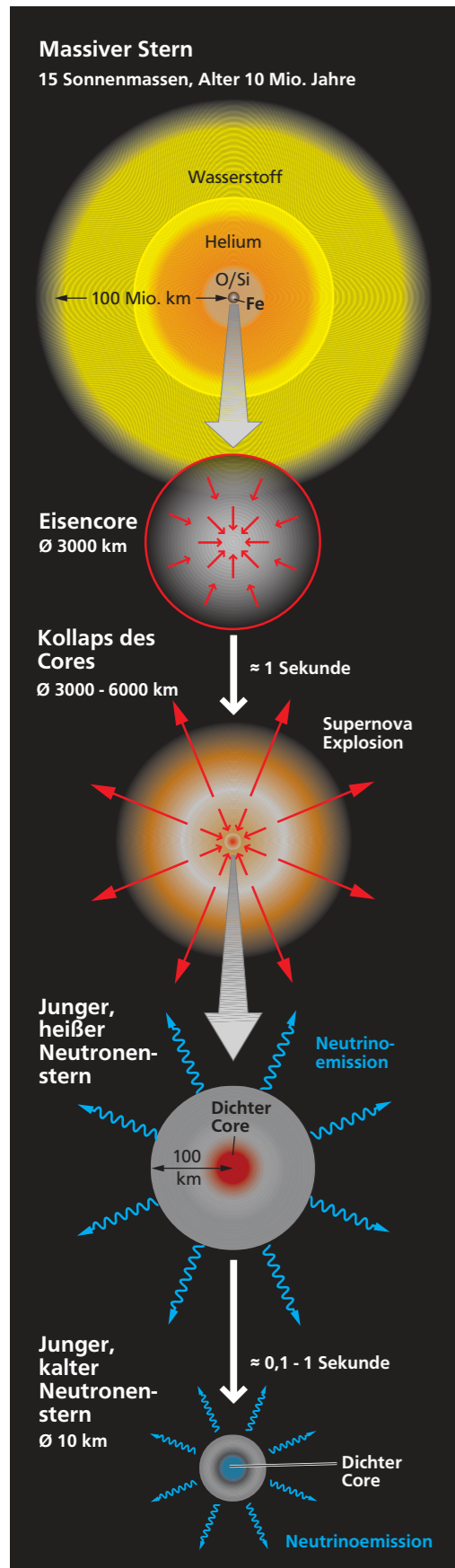
# Neutronensterne

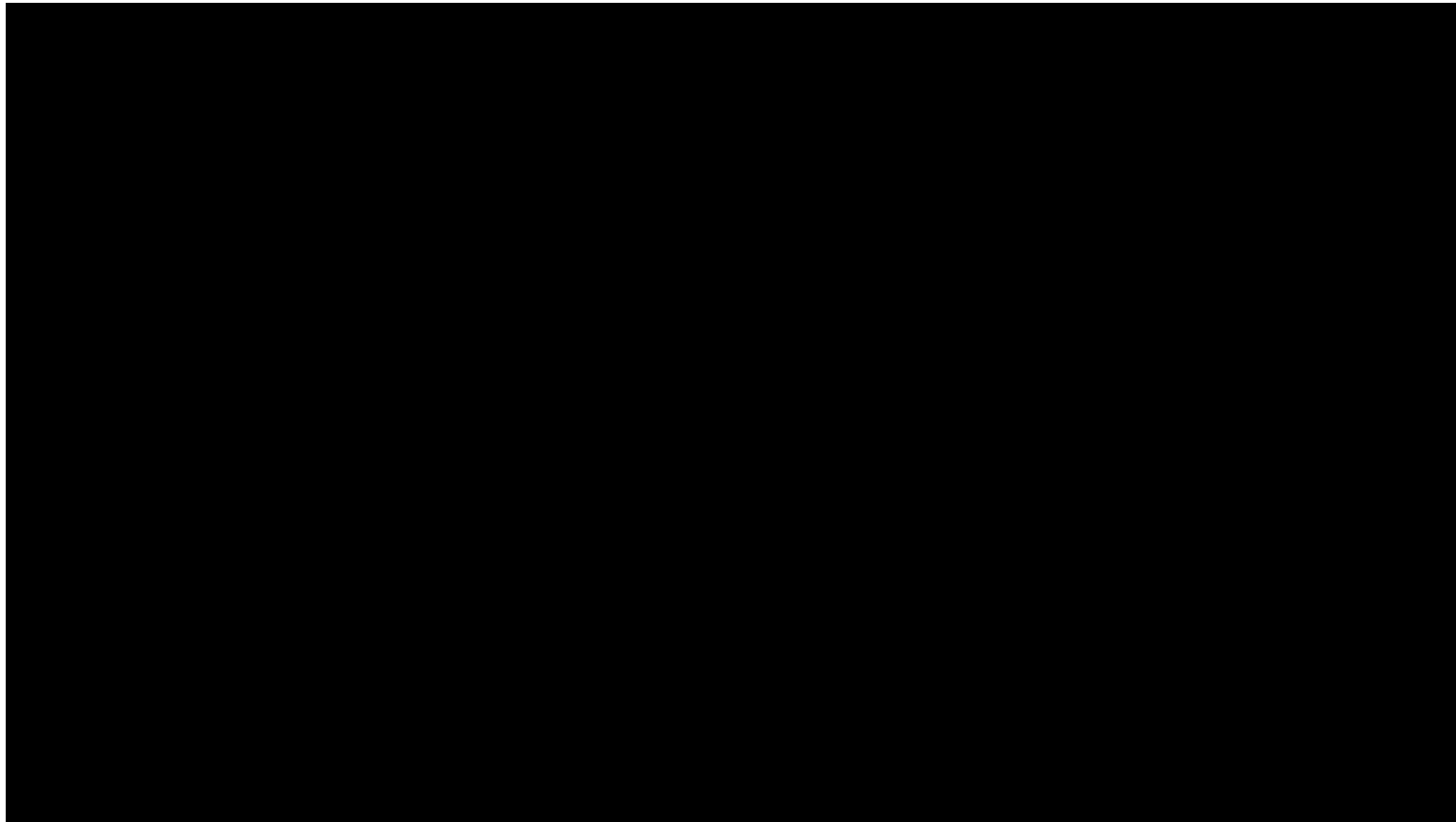
Das was übrig bleibt nach einer Supernova...



- typische Masse:  $1.4M_{\odot} < M < 2.4M_{\odot}$
- typischer Radius:  $R \sim 10 \text{ km}$
- typische Dichte:  $100 \text{ Mio Tonnen/cm}^3$

Und manche gibt es sogar doppelt...

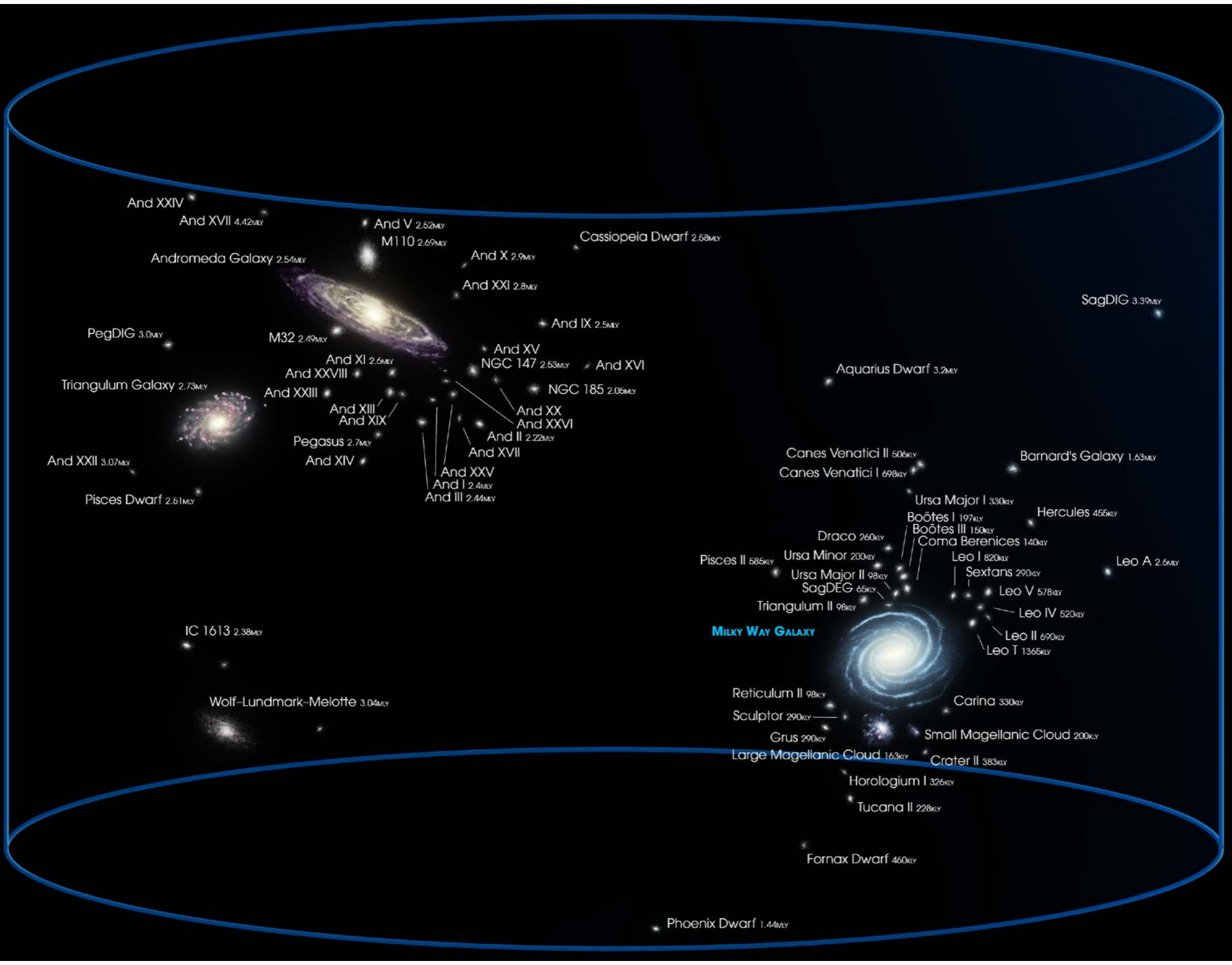




ESO/L. Calçada. Music: Johan B. Monell ([www.johanmonell.com](http://www.johanmonell.com))

**Entstehung schwerer Elemente, z.B. Gold**  
**Erste Beobachtung: GW170817 (17.08.2017)**  
**in NGC 4993,**  
**Entfernung: 130 Mio Lichtjahre**

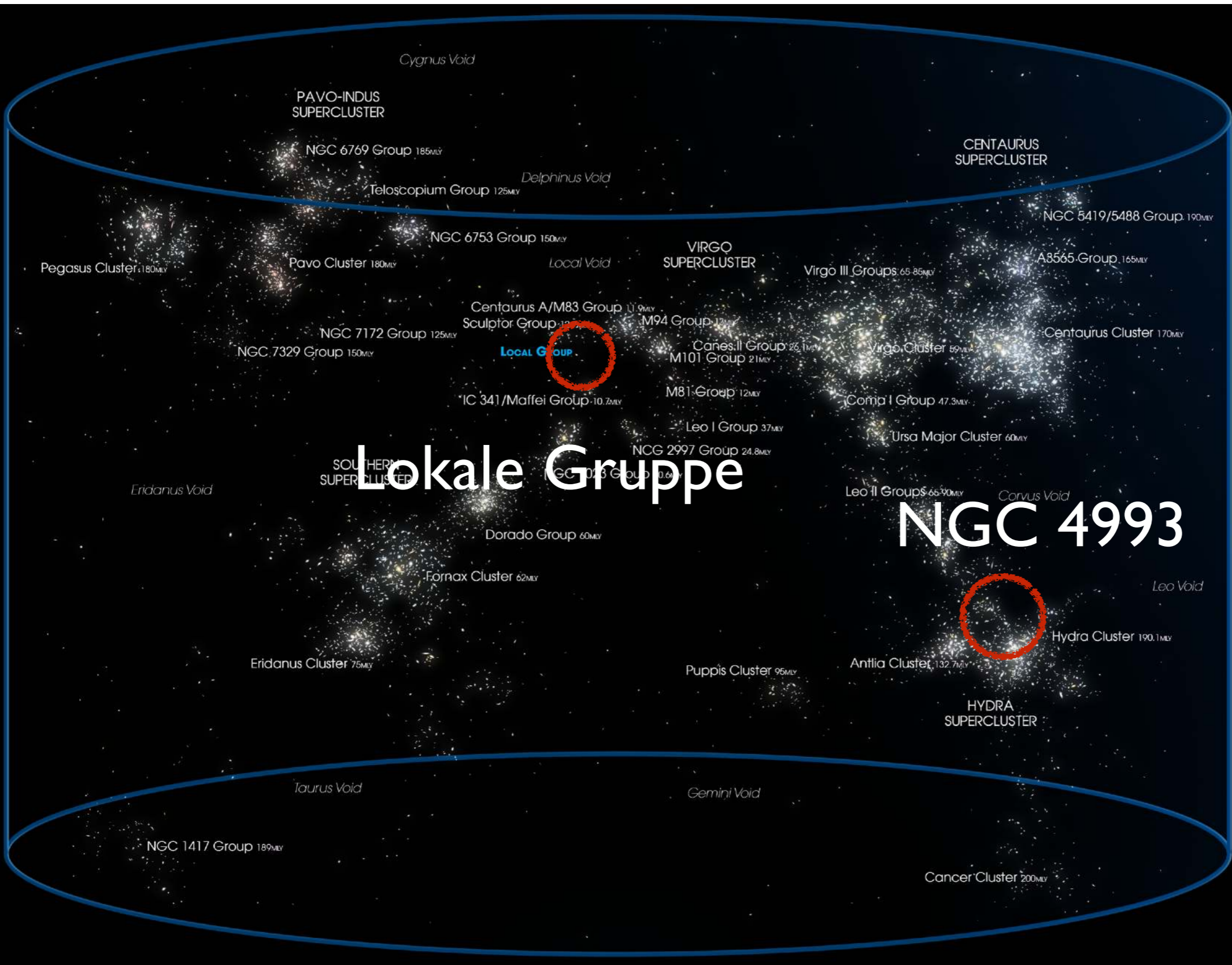
LOCAL GROUP



2.5 Mio Lichtjahre

adapted from: Wikimedia, CC-BY-SA-4.0, Andrew Colvin

LANIAKEA



Lokale Gruppe

NGC 4993

400 Mio Lichtjahre

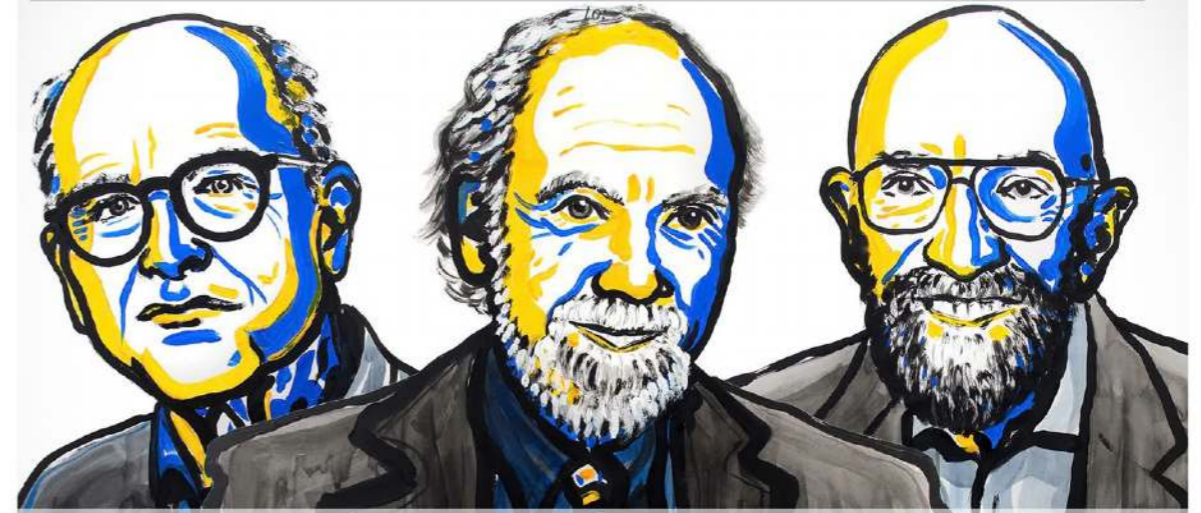
adapted from: Wikimedia, CC-BY-SA-4.0, Andrew Colvin

# Beobachtung von GW | 70817

## Elektromagnetische Strahlung

- optisch
- Infrat-/Ultravioletstrahlung
- Radiowellen

## 2017 NOBEL PRIZE IN PHYSICS

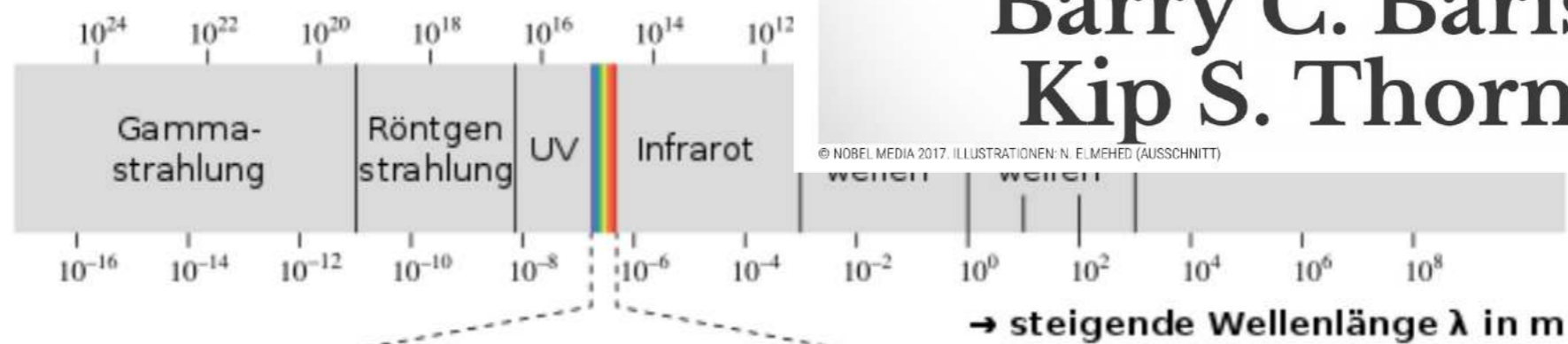


Rainer Weiss  
Barry C. Barish  
Kip S. Thorne

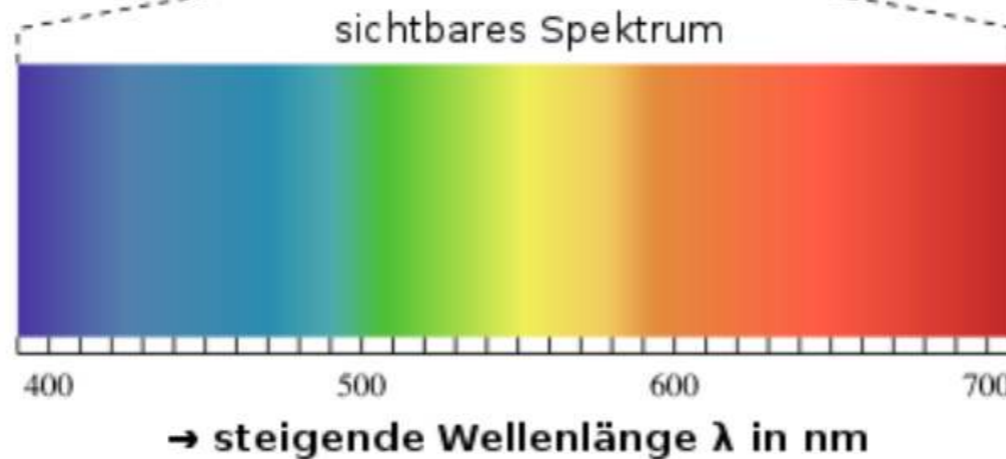
© NOBEL MEDIA 2017. ILLUSTRATIONEN: N. ELMEHED (AUSSCHNITT)

## Gravitati

Messung kle



Messung klei



Messung v

By Zedh derivative work: Matt, via Wikimedia Commons [CC-BY-SA-3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)]



Virgo Observatory. Credit: The Virgo Collaboration/CCO 1.0

1.vor 8 Minuten: unsere Sonne

2.vor 160 000 Jahren - die Supernova 1987

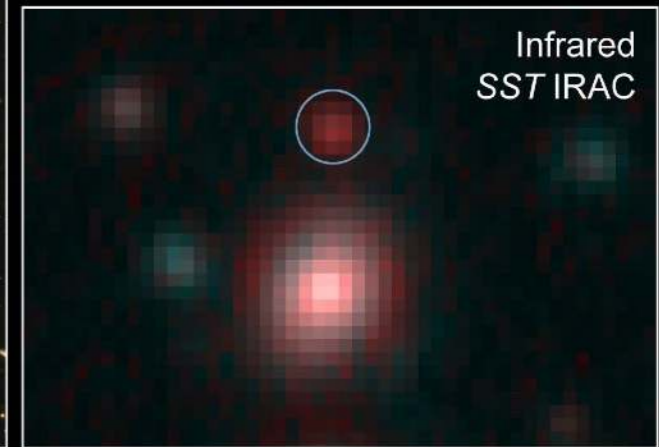
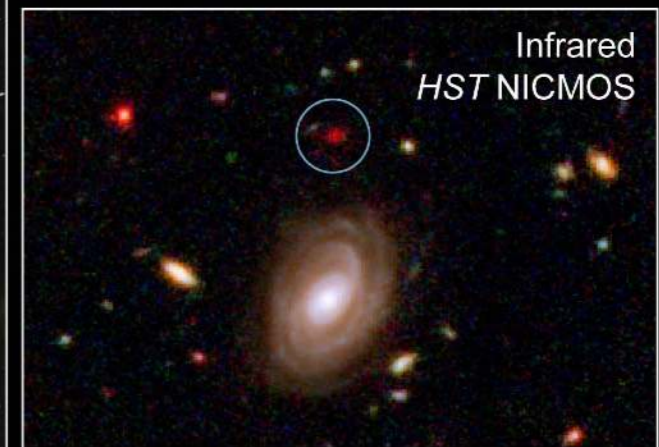
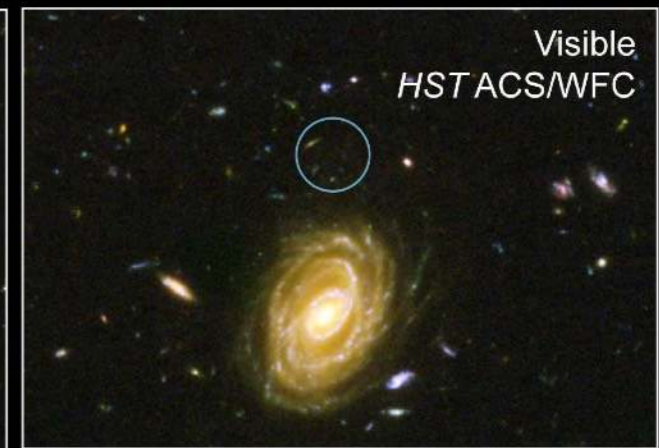
3.vor 130 Mio Jahren - kollidierende Neutronensterne

4.vor 13 Mia Jahren - erste Galaxien

5.vor 13.8 Mia Jahren - kosmischer Hintergrund

6.ganz kurz nach dem Urknall - das Universum im Labor

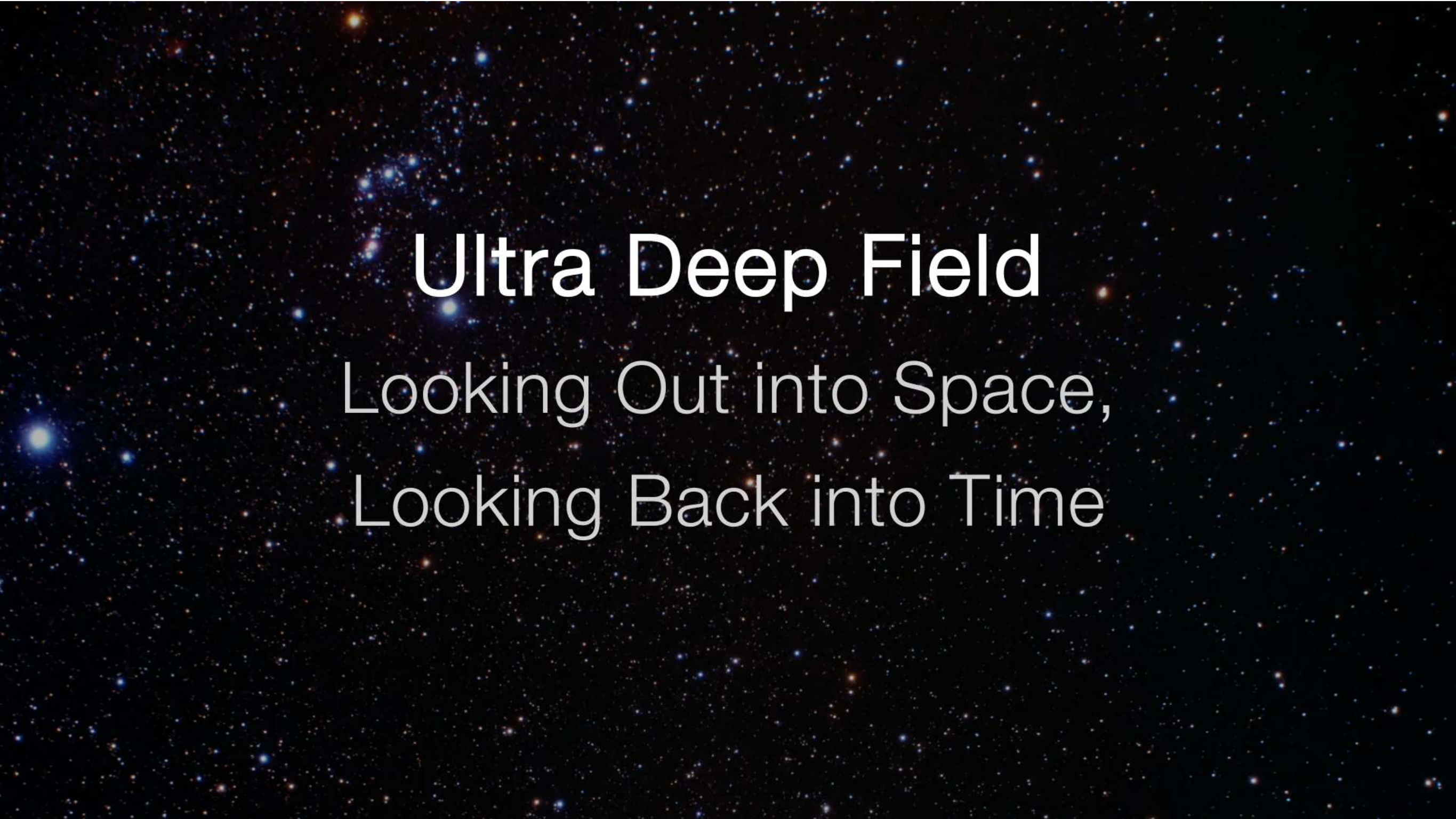
# Ein Blick in die Tiefe des Alls...



**Distant Galaxy in the Hubble Ultra Deep Field • HUDF-JD2**  
*Hubble Space Telescope ■ ACS/ WFC*

NASA, ESA, and B. Mobasher (STScI/ESA)

STScI-PRC05-28



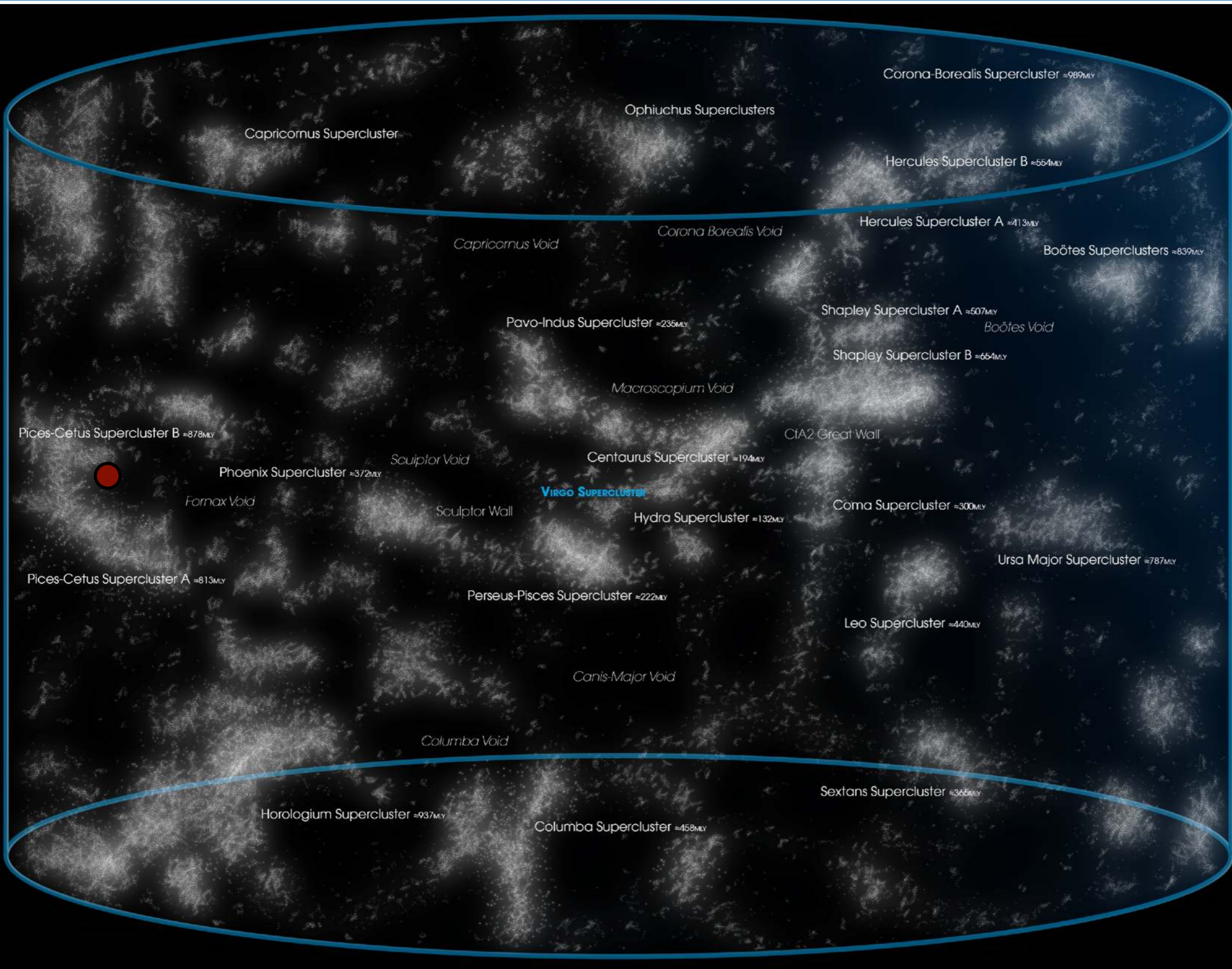
## Ultra Deep Field

Looking Out into Space,  
Looking Back into Time

Quelle: <https://science.nasa.gov/asset/hubble/ultra-deep-field-looking-out-into-space-looking-back-into-time/>

# Das beobachtbare Universum

## LOCAL SUPERCLUSTERS



400 Mio Lichtjahre

adapted from: Wikimedia, CC-BY-SA-4.0, Andrew Colvin

1.vor 8 Minuten: unsere Sonne

2.vor 160 000 Jahren - die Supernova 1987

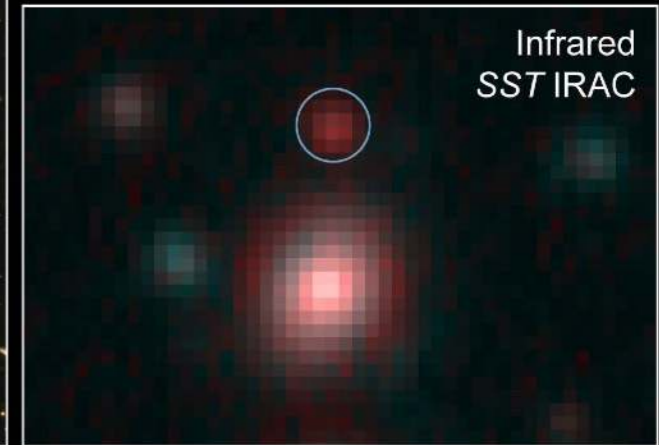
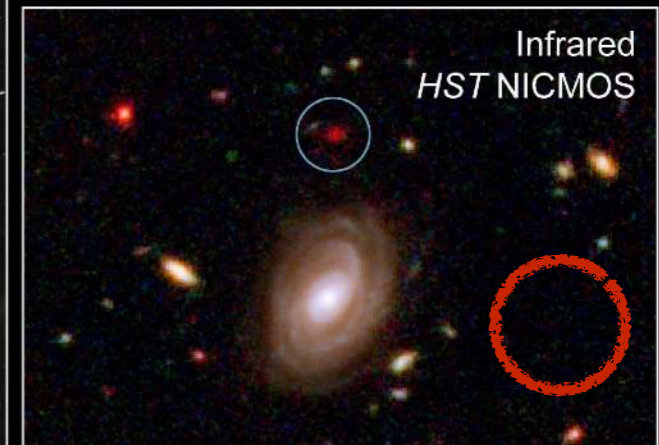
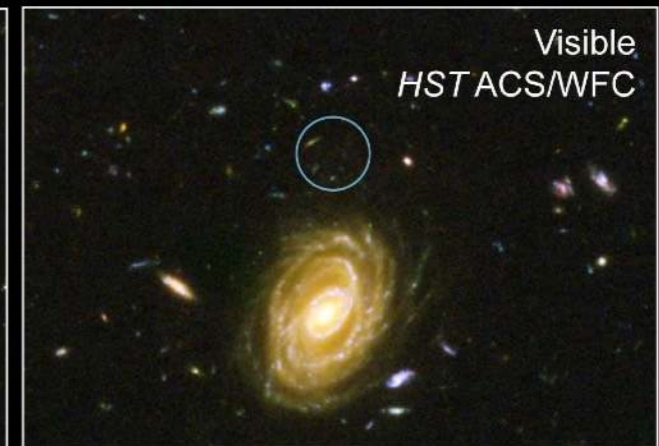
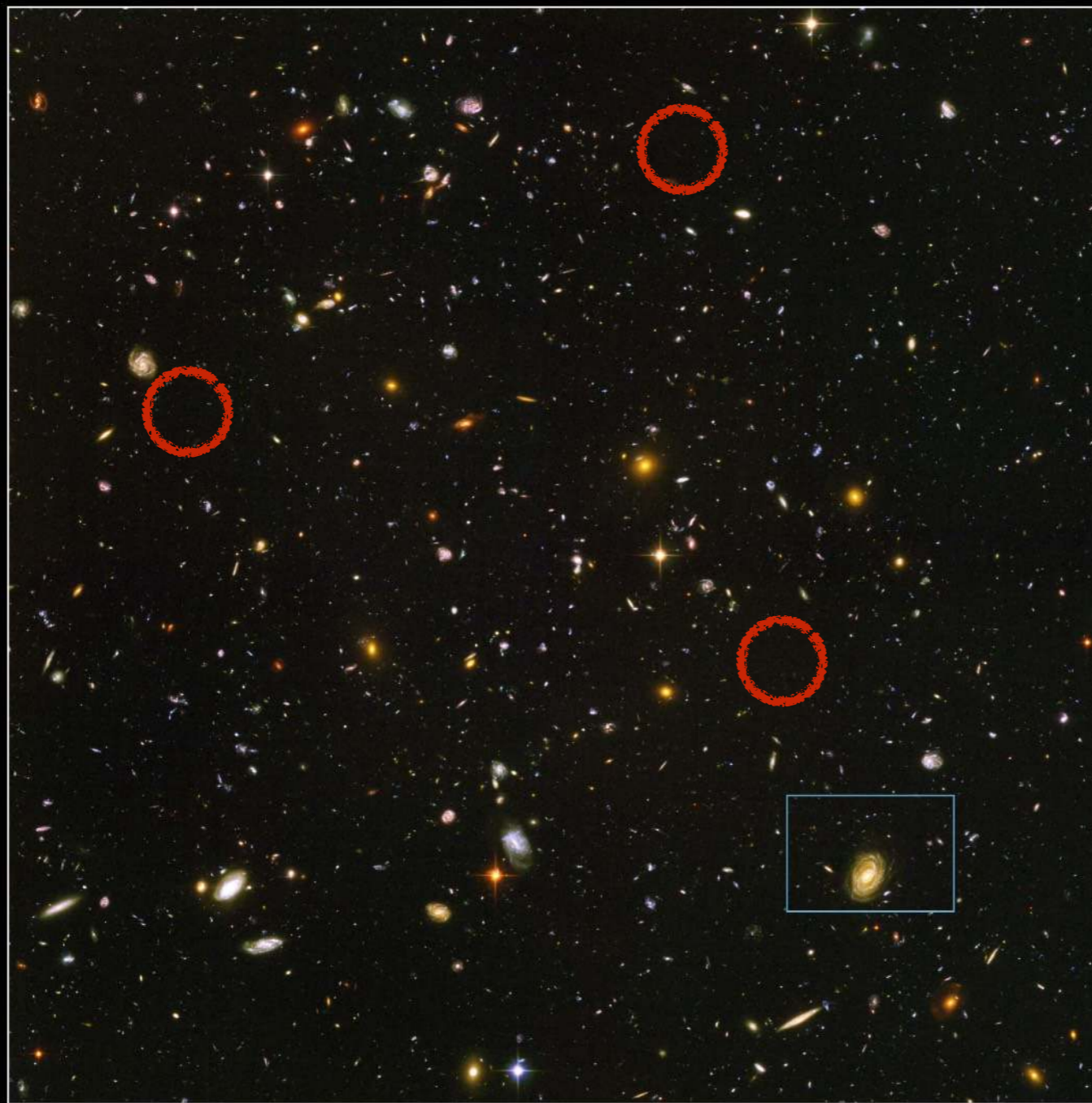
3.vor 130 Mio Jahren - kollidierende Neutronensterne

4.vor 13 Mia Jahren - erste Galaxien

5.vor 13.8 Mia Jahren - kosmischer Hintergrund

6.ganz kurz nach dem Urknall - das Universum im Labor

# Die Schwärze des Alls

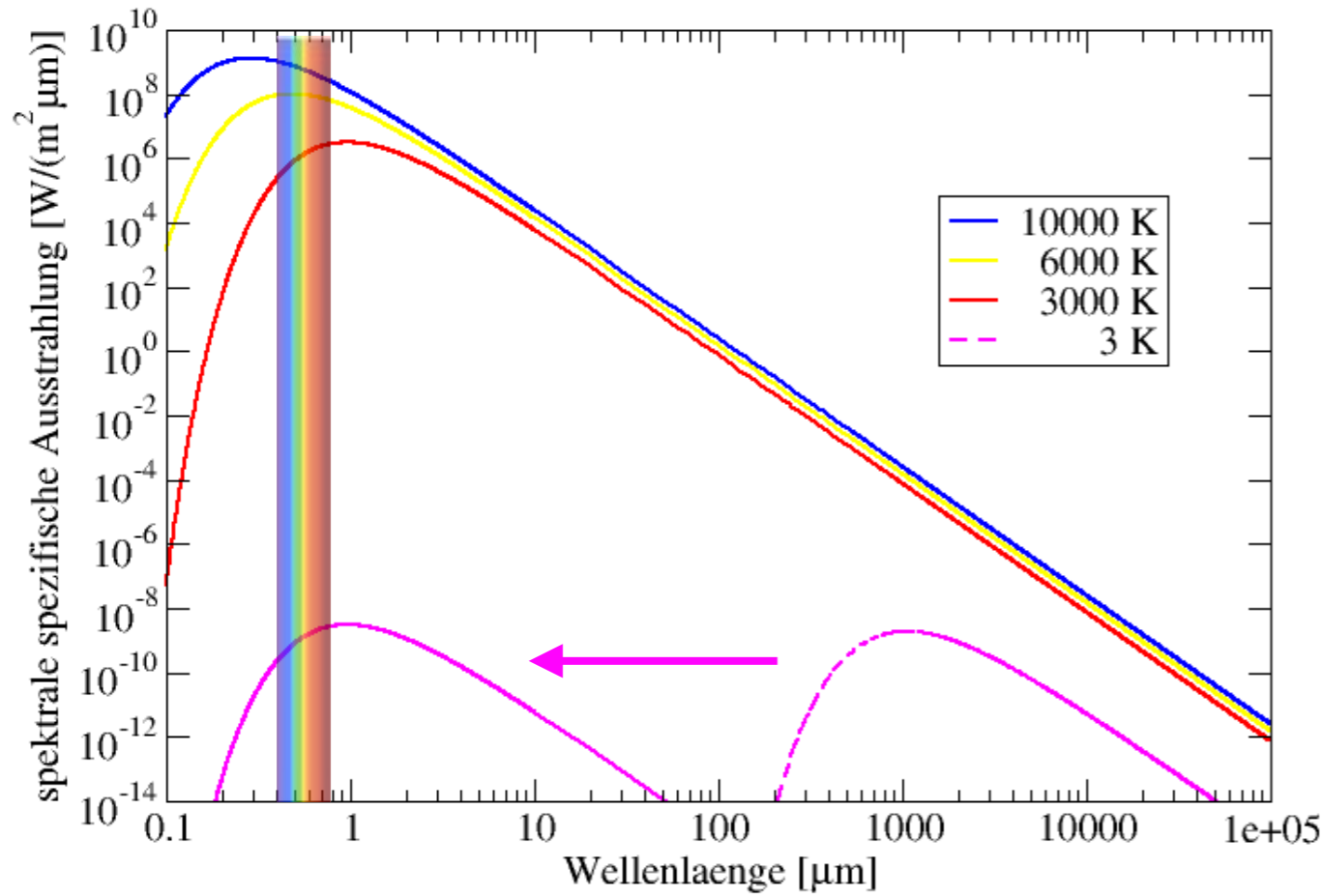


**Distant Galaxy in the Hubble Ultra Deep Field • HUDF-JD2**  
*Hubble Space Telescope ■ ACS/ WFC*

NASA, ESA, and B. Mobasher (STScI/ESA)

STScI-PRC05-28

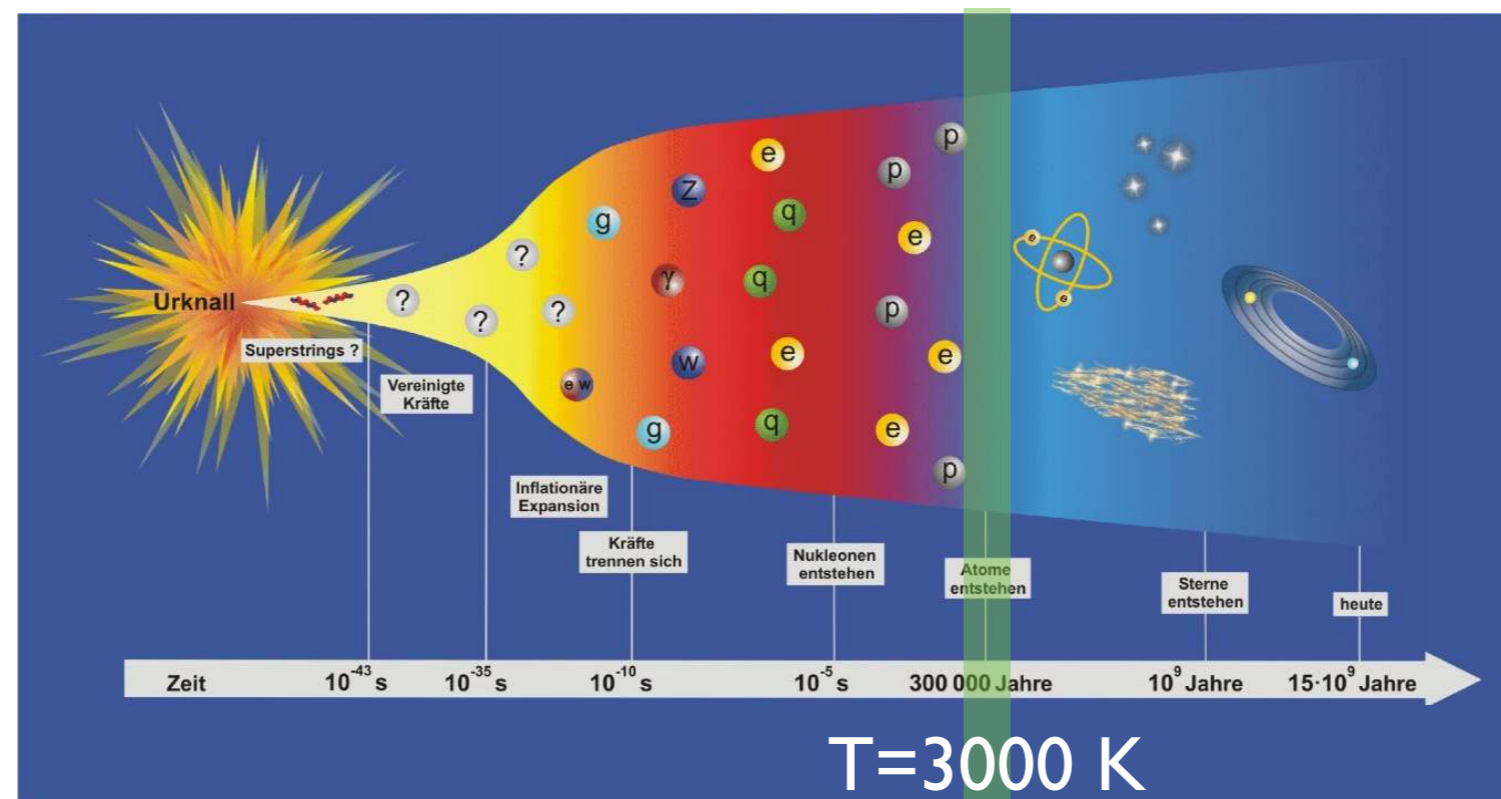
# Die kosmische Hintergrundstrahlung



- gleichförmige Strahlung
- T = 3 K

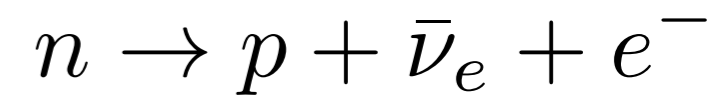
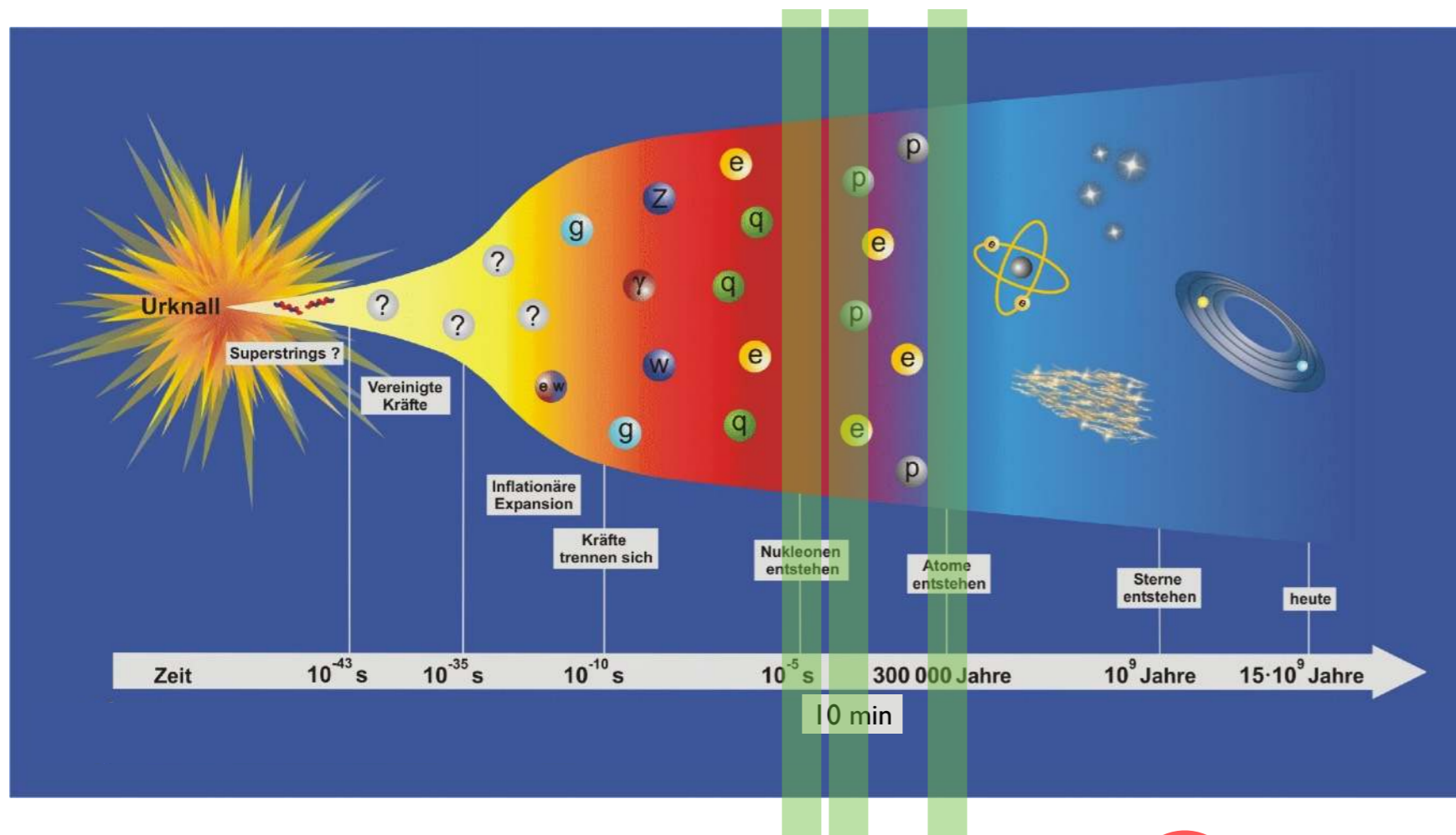


bei Entstehung:  
T = 3000 K



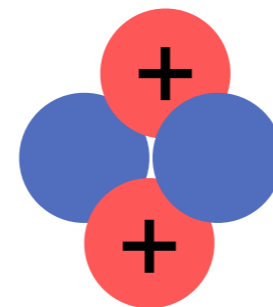
# Primordiale Elementsynthese

Vor etwa 13,8 Milliarden Jahren:

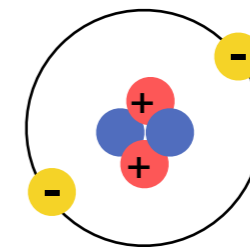


Neutronen

50 % 



25 %



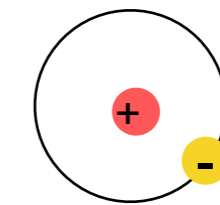
He

Protonen

50 % 



75 %



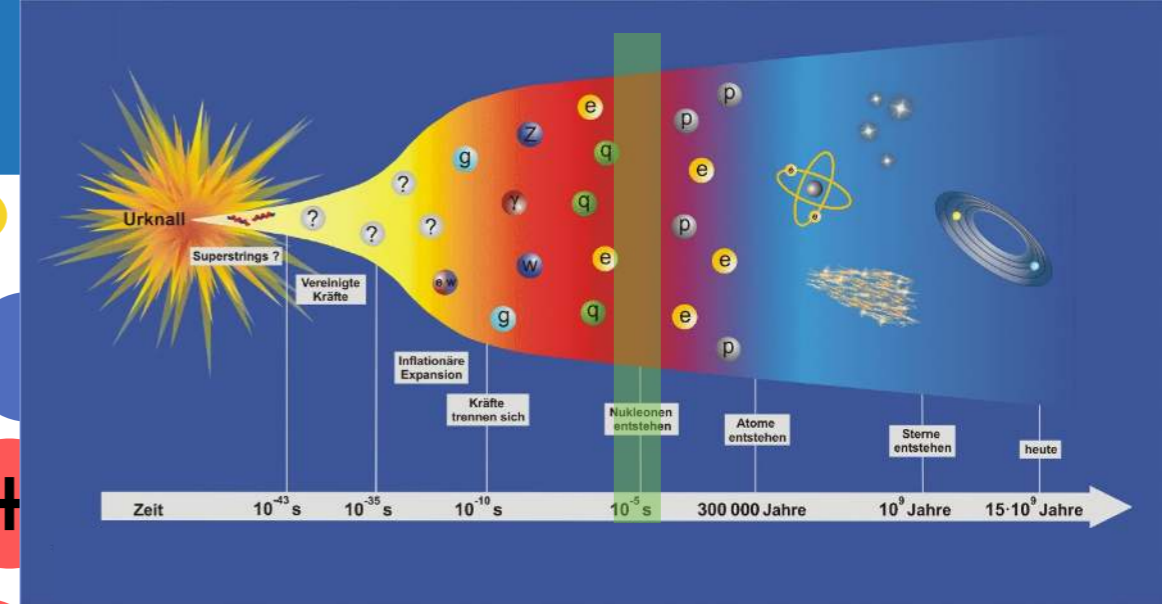
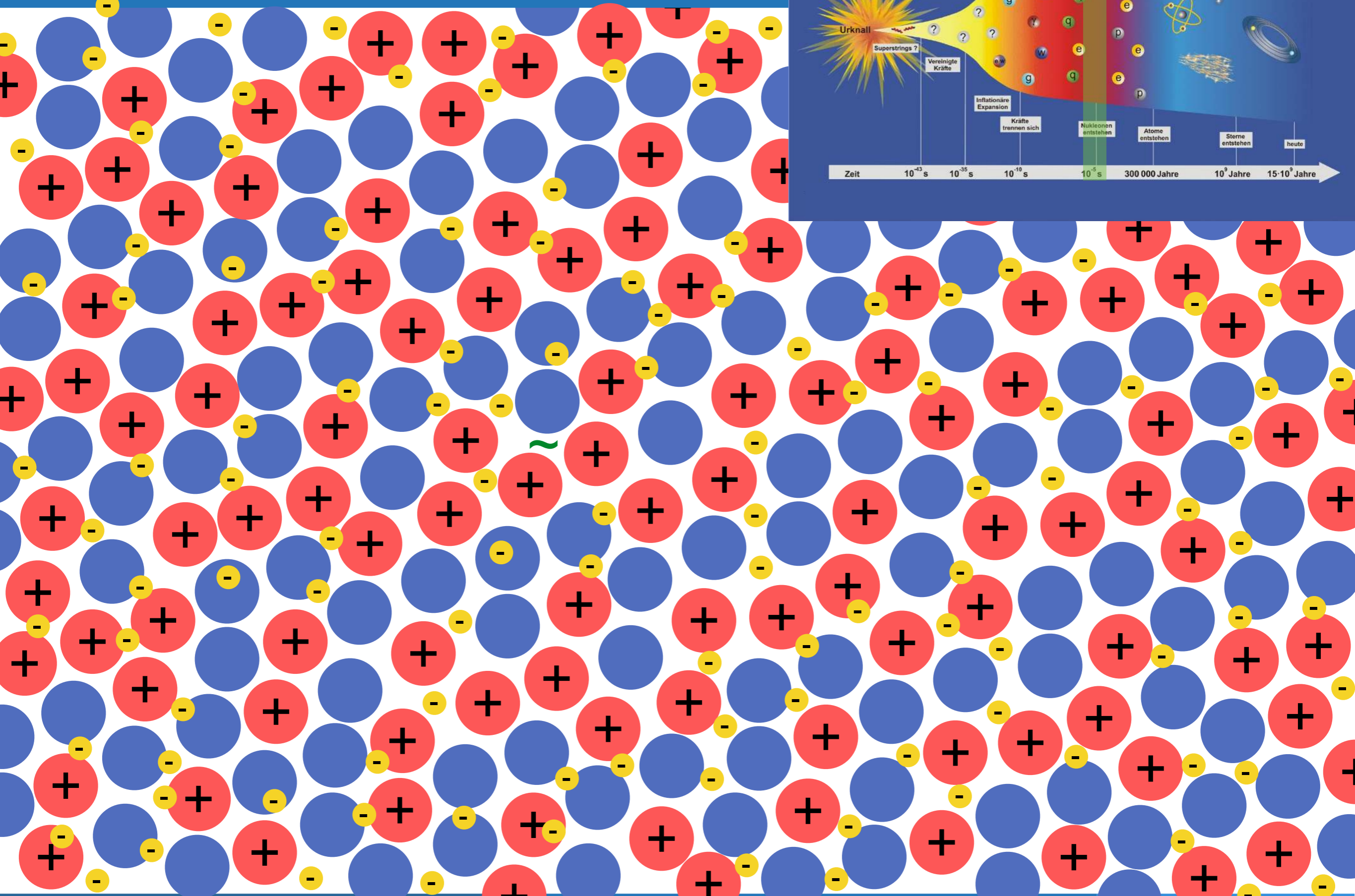
H

Elektronen

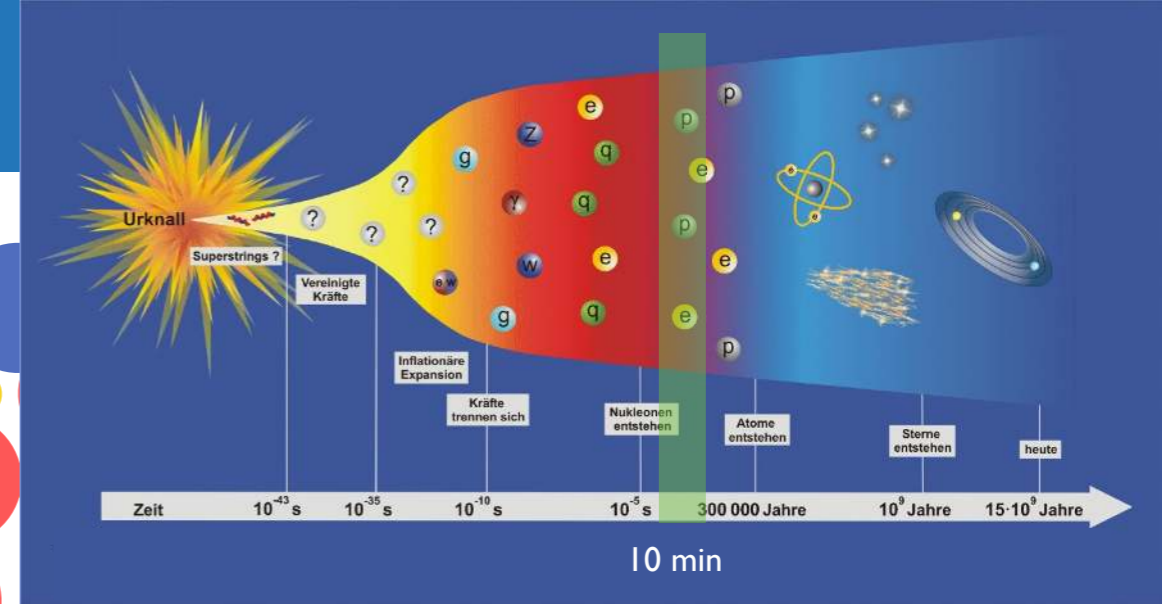
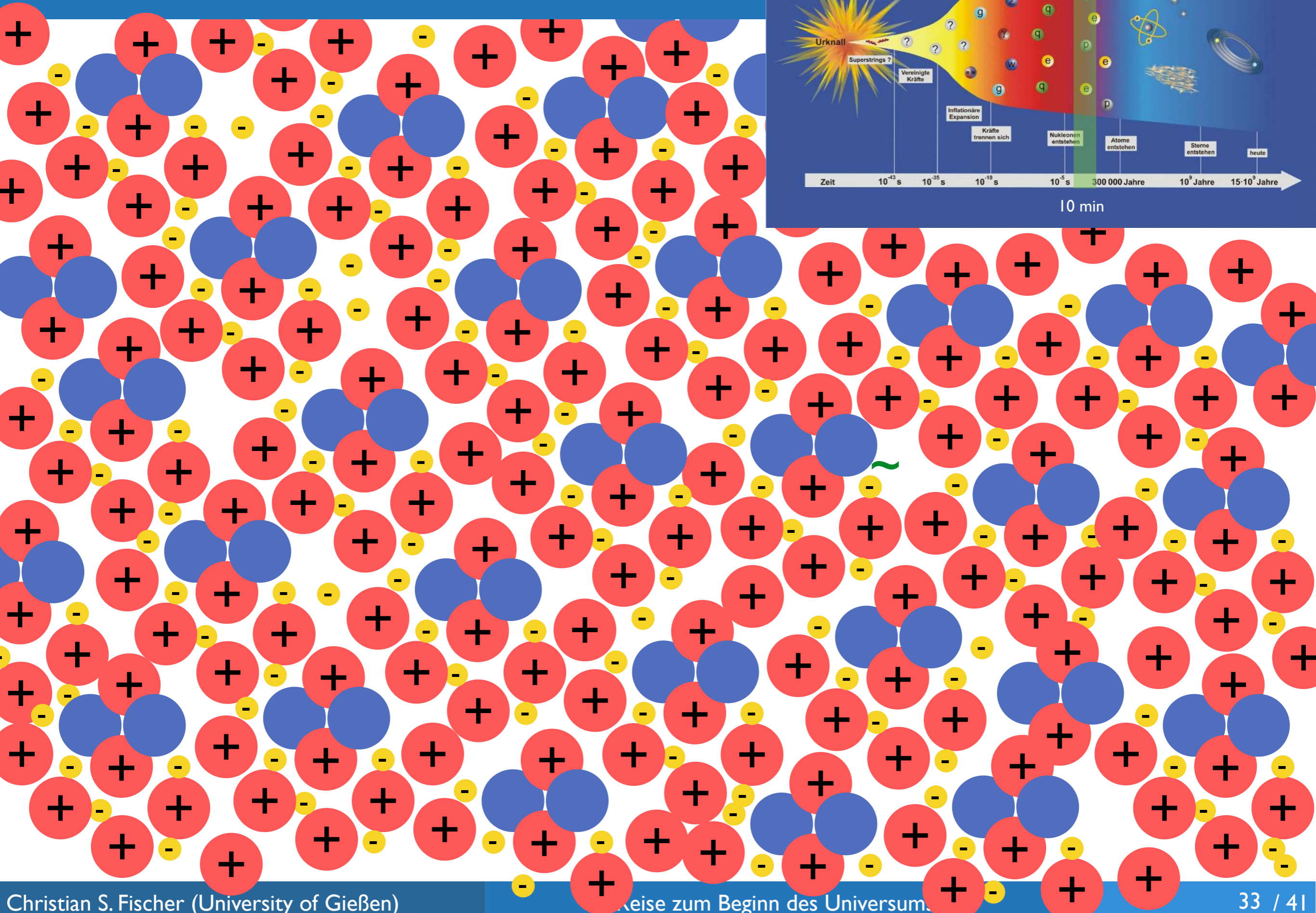




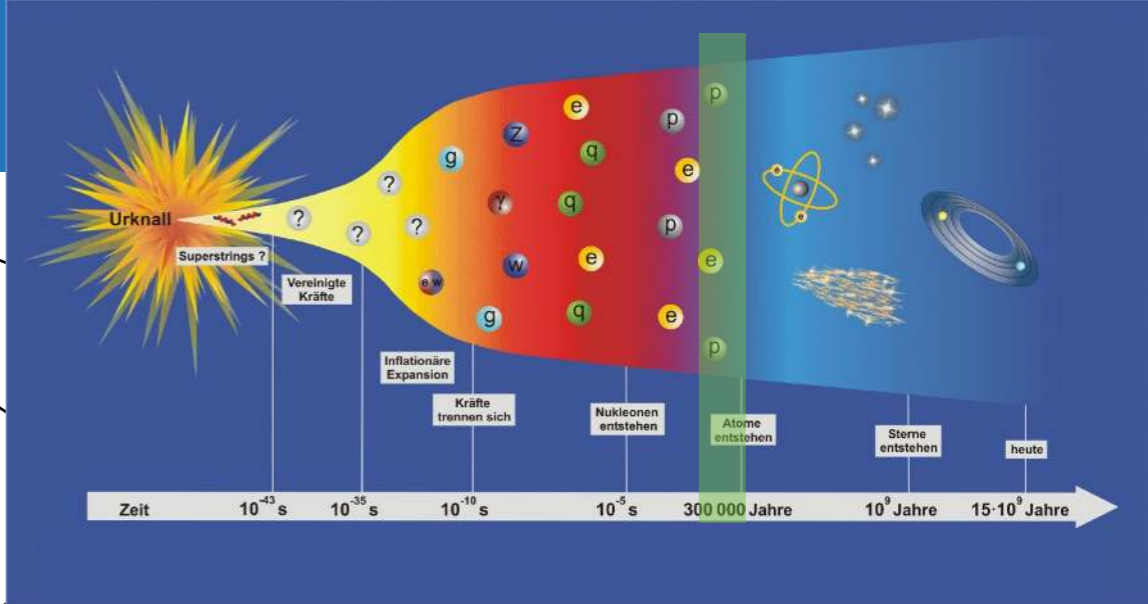
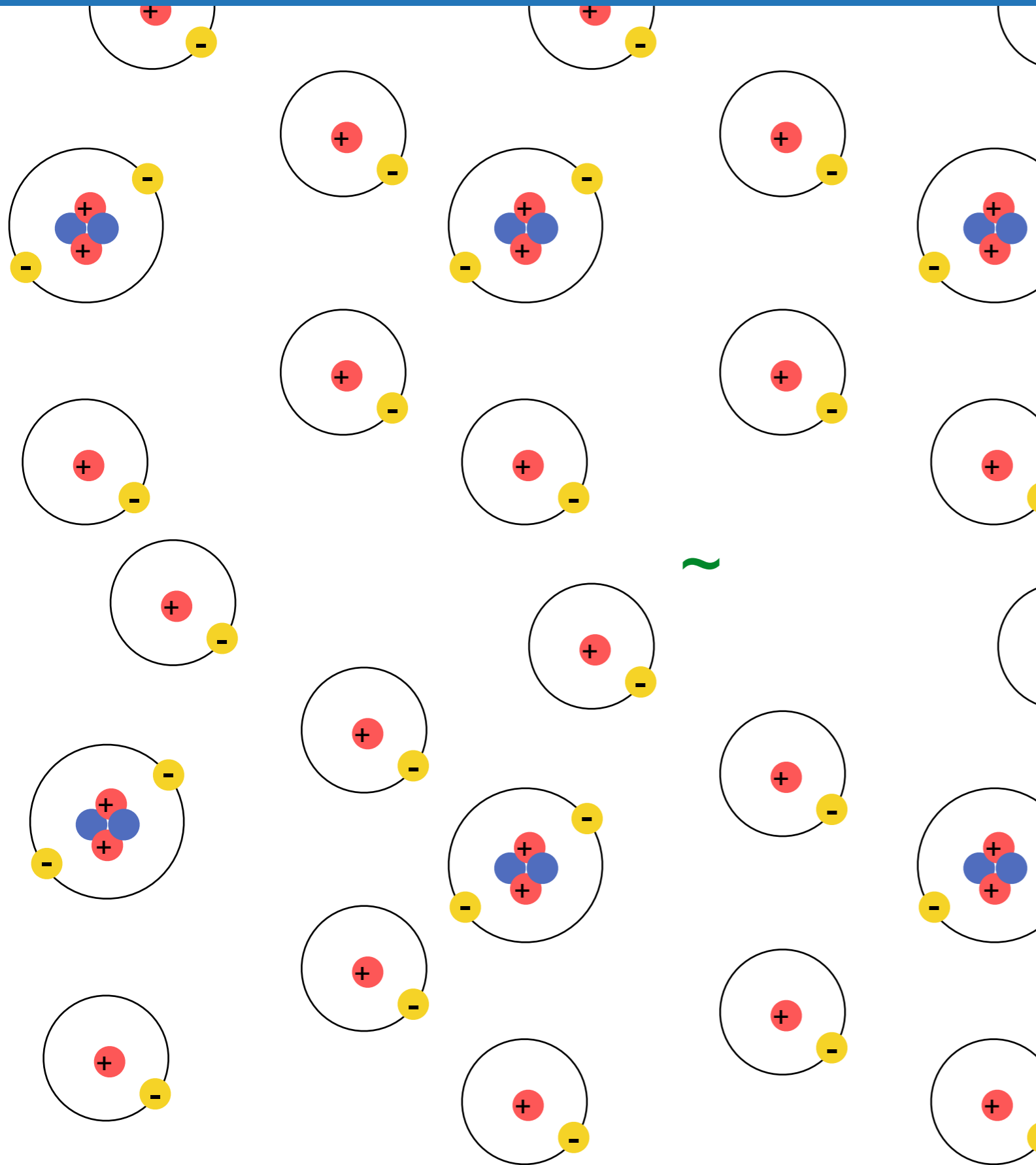
# $\mu$ s nach Urknall



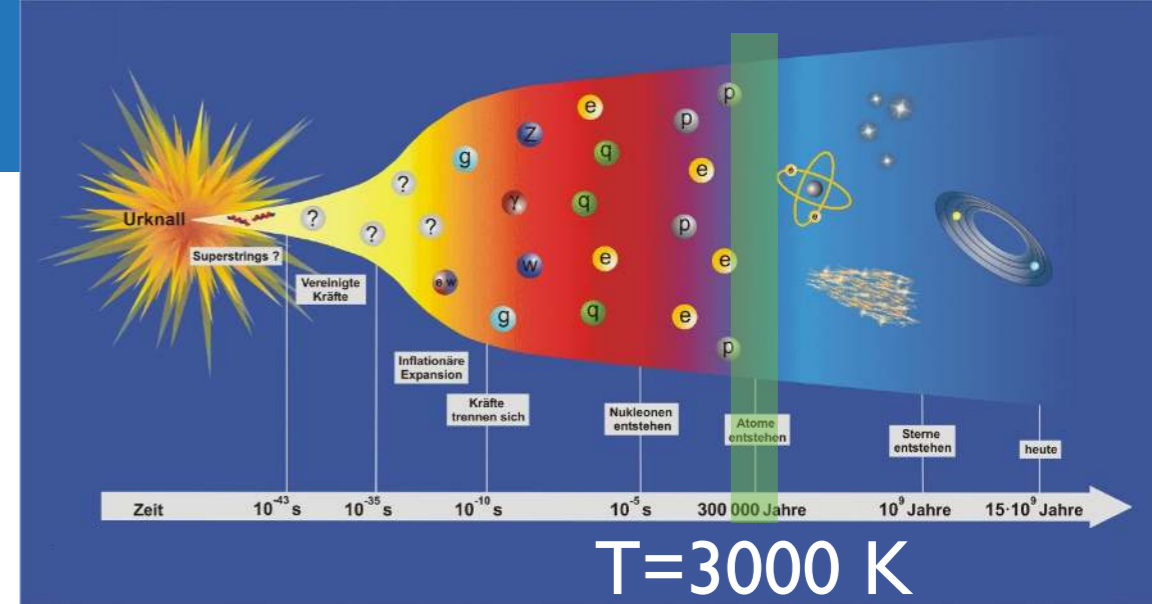
# 30 min. nach Urknall



# 100.000 Jahre nach Urknall

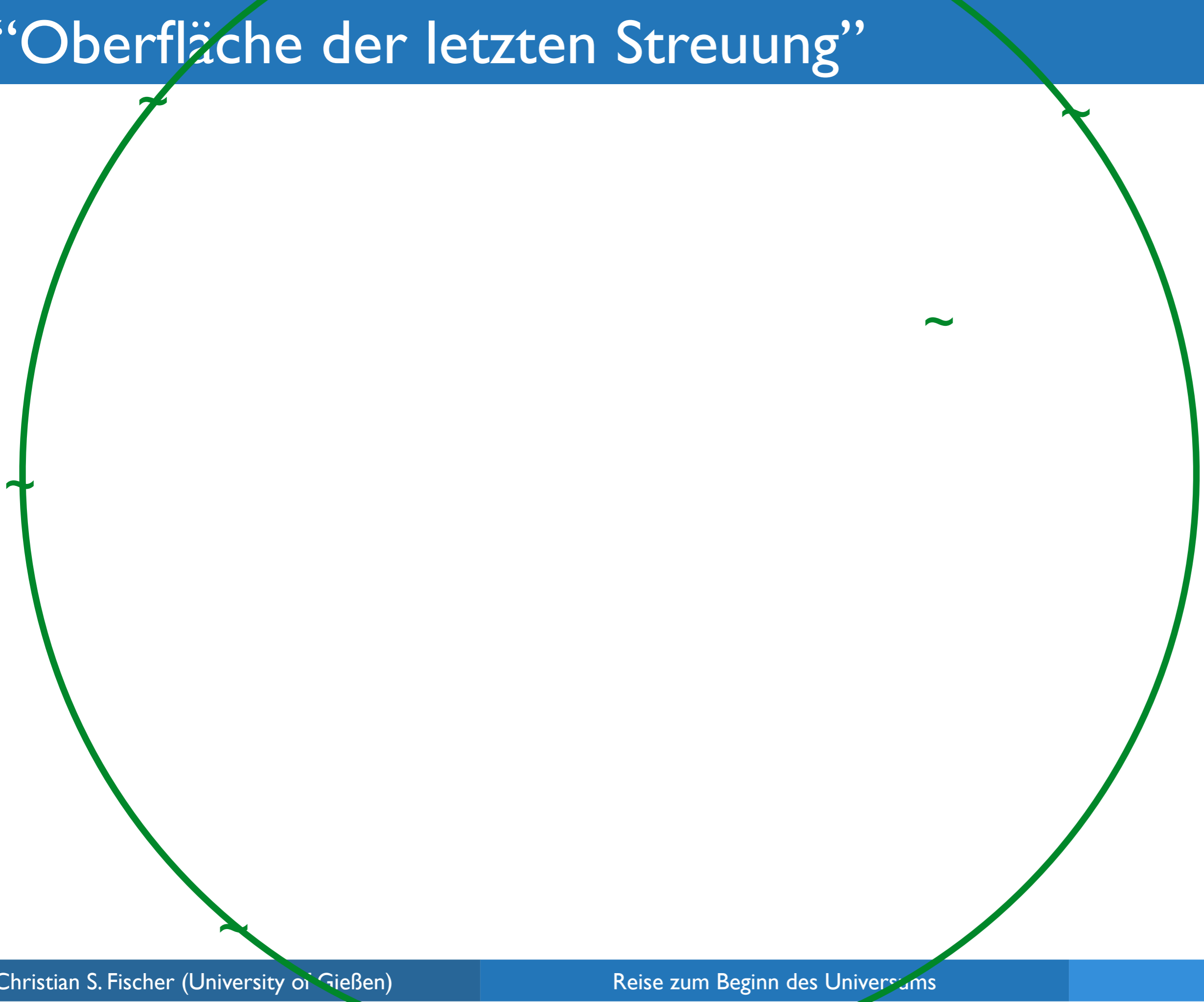


# 300.000 Jahre nach Urknall

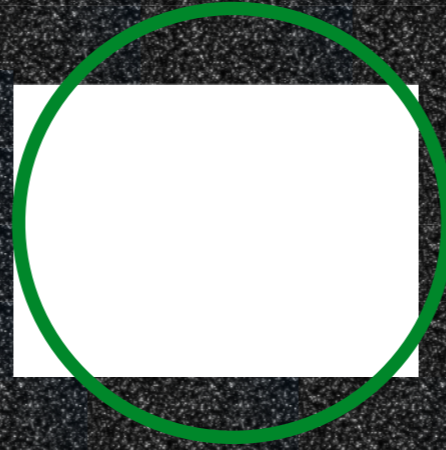


~

# “Oberfläche der letzten Streuung”

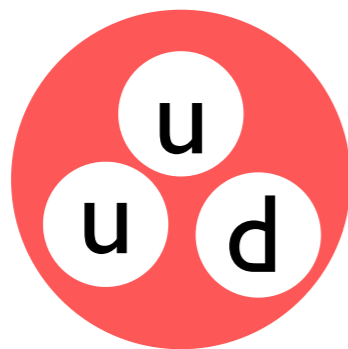
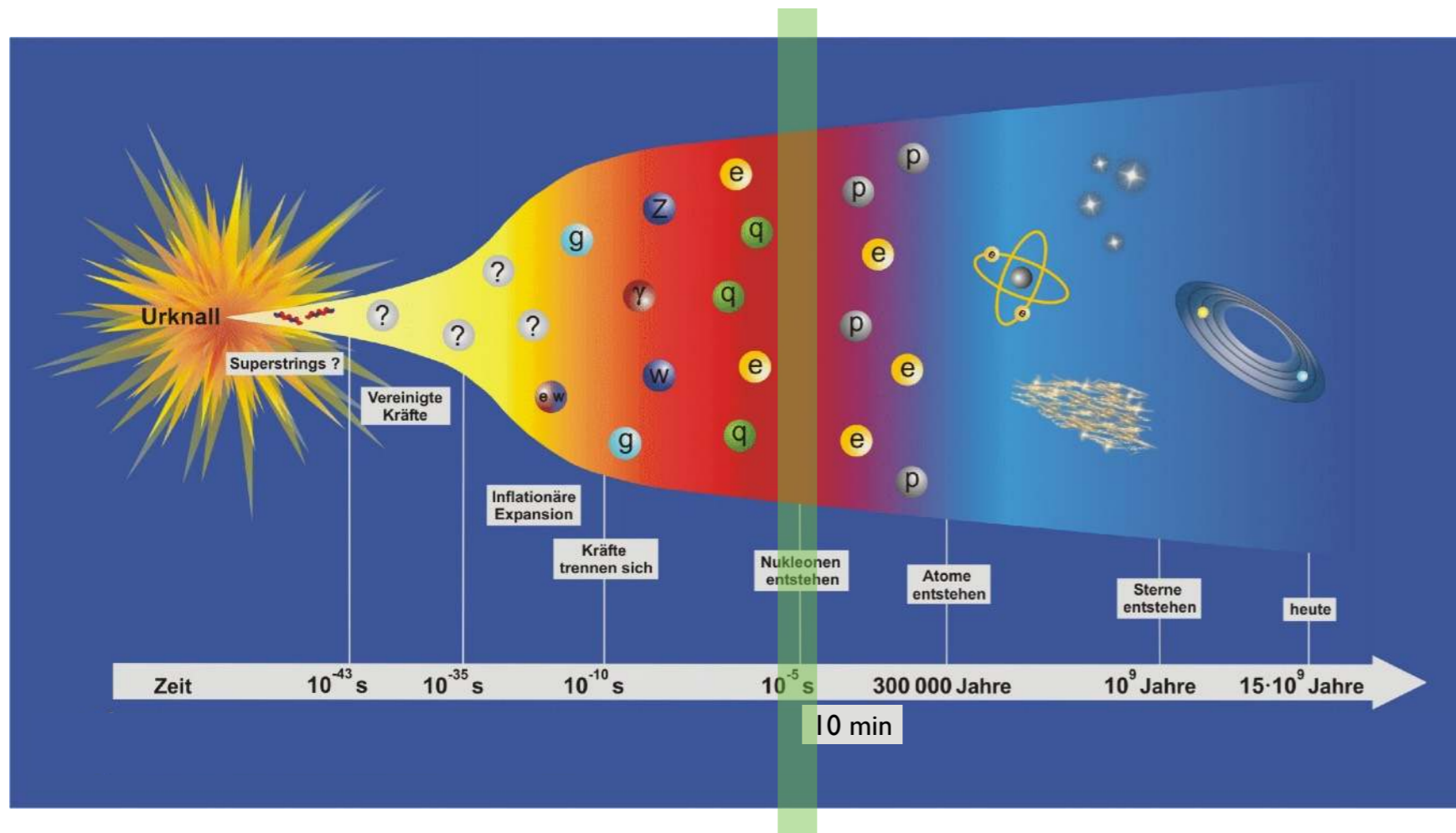


# Und was ist jenseits? Unendlichkeit...

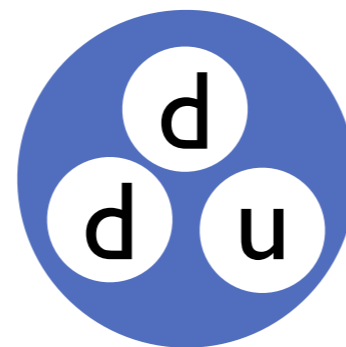


- 1.vor 8 Minuten: unsere Sonne
- 2.vor 160 000 Jahren - die Supernova 1987
- 3.vor 130 Mio Jahren - kollidierende Neutronensterne
- 4.vor 13 Mia Jahren - erste Galaxien
- 5.vor 13.8 Mia Jahren - kosmischer Hintergrund
- 6.ganz kurz nach dem Urknall - das Universum im Labor

# Und was war vorher? Quarks!



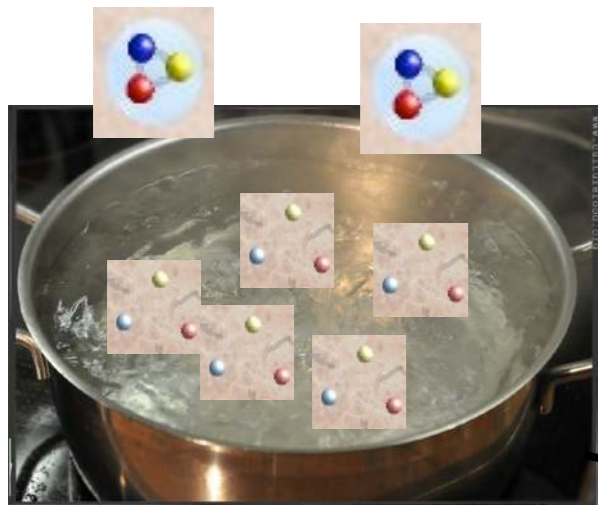
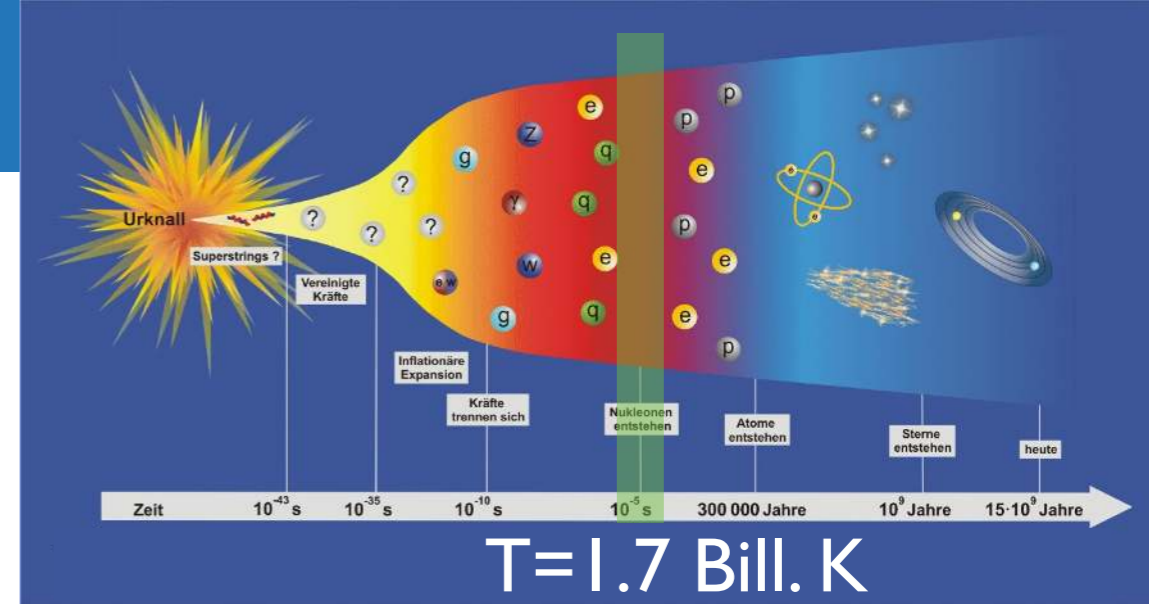
Proton



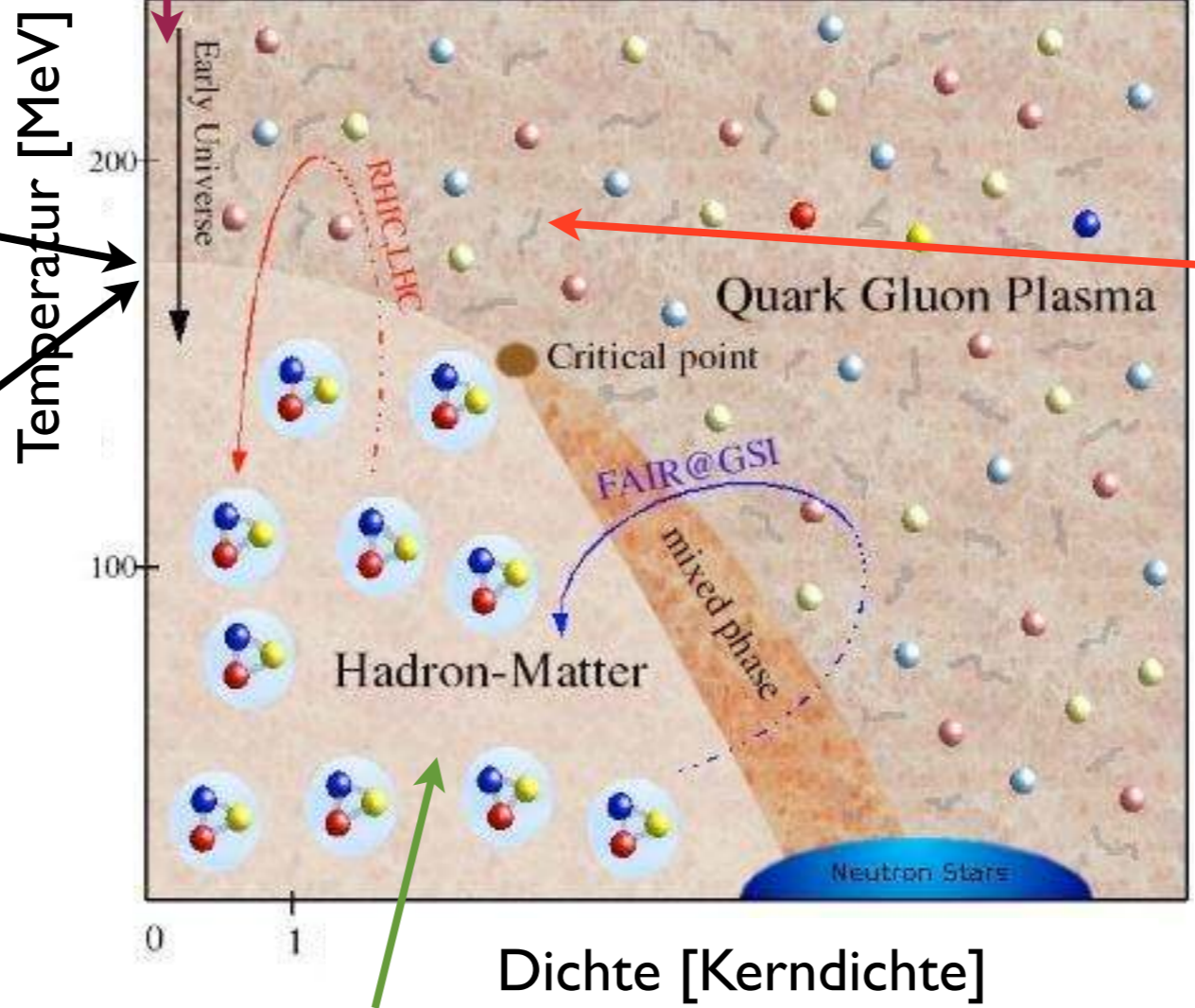
Neutron

# Quarkmaterie

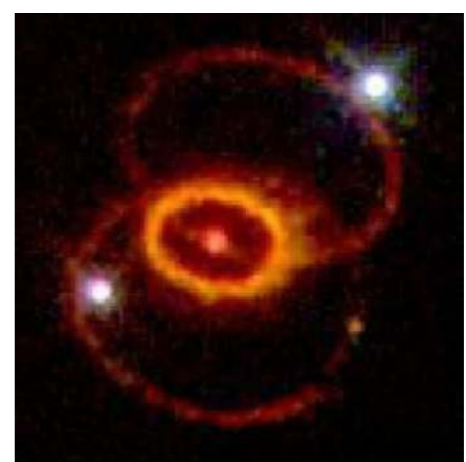
frühes Universum



1.7 Billionen °C



Quarks fast masselos, frei



Quarks massiv, nur in Protonen/Neutronen

# ... der Urknall im Labor

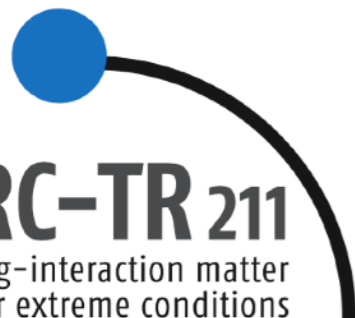
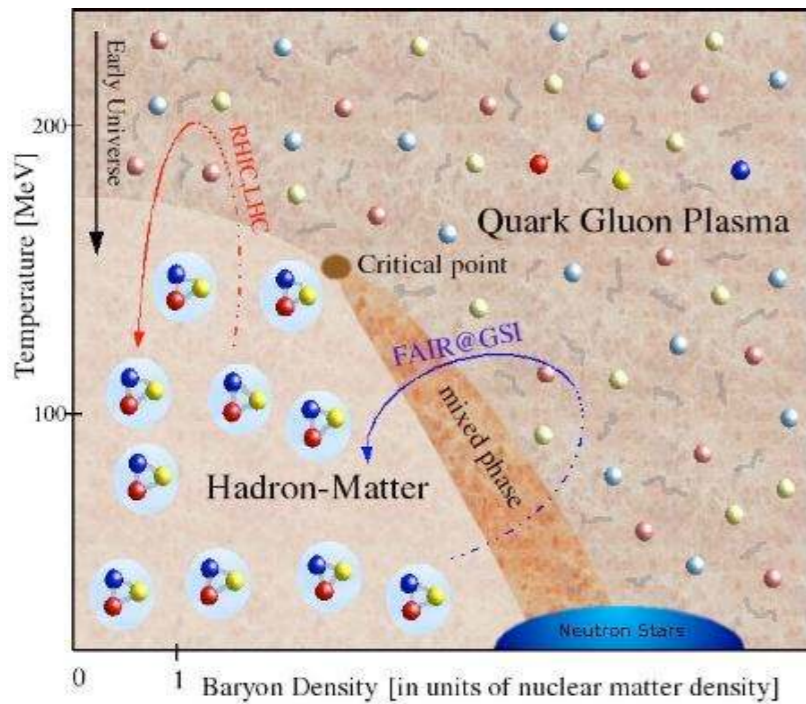


RHIC, USA



LHC@CERN, Genf

FAIR, Darmstadt



copyright: D. Fehrenz, GSI/FAIR

**Wir sind alle Sternenstaub...**

Carl Sagan