

# Astronomie und Astrophysik I

## Vorlesung mit Übungen, RWTH Aachen

Wintersemester 2006/2007

---

Einführung und Überblick  
19. Oktober 2006

Laura Baudis, [lbaudis@physik.rwth-aachen.de](mailto:lbaudis@physik.rwth-aachen.de)  
Physikalisches Institut Ib, RWTH Aachen

# Organisation der Vorlesung

---

- Webseite:
- <http://www.physik.rwth-aachen/~lbaudis/astroph0607/>
  
- Zeiten: Donnerstags 9:30 - 11:00 Uhr (28A102)
  - October 19, 26
  - November: 2, 9, 16, 23, 30
  - Dezember: 7, 14
  - Januar: 11, 18, 25
  - Februar: 1, 8
  
- Anmeldung auf:
- <http://physik-multimedial.de/>
  
- Fortsetzung im Sommersemester 2007: Astronomie und Astrophysik II

# Übungen

---

- Mittwochs 12:00 - 13:30 Uhr (28B201)
- Ziele:
  - Besprechung der Übungsaufgaben
  - Klärung von Fragen zur Vorlesung
  - Herleitung wichtiger Formeln

# Organisation

---

- Die Vorlesung ist als Prüfungsfach (nichtphysikalisches Wahlfach, Astronomie) geeignet
- Voraussetzung:
  - regelmässige und aktive Teilnahme an der Vorlesung
  - regelmässige und aktive Teilnahme an den Übungen
  - Vorrechnen von Übungsaufgaben

# Literatur

---

- “Der neue Kosmos”, A. Unsöld, B. Baschek, Springer 2004
- “Extragalaktische Astronomie und Kosmologie”, P. Schneider, Springer 2006
- “Modern Astrophysics”, B.W. Carroll, D.A. Ostlie, Addison-Wesley, 1996
- “Astronomie und Astrophysik“, A. Weigert, H.J. Wendker, L. Wisotzki, Wiley-VCH 2005
- Weiterführende Literatur auf:
- <http://www.physik.rwth-aachen.de/~lbaudis/astroph0607/literatur.html>

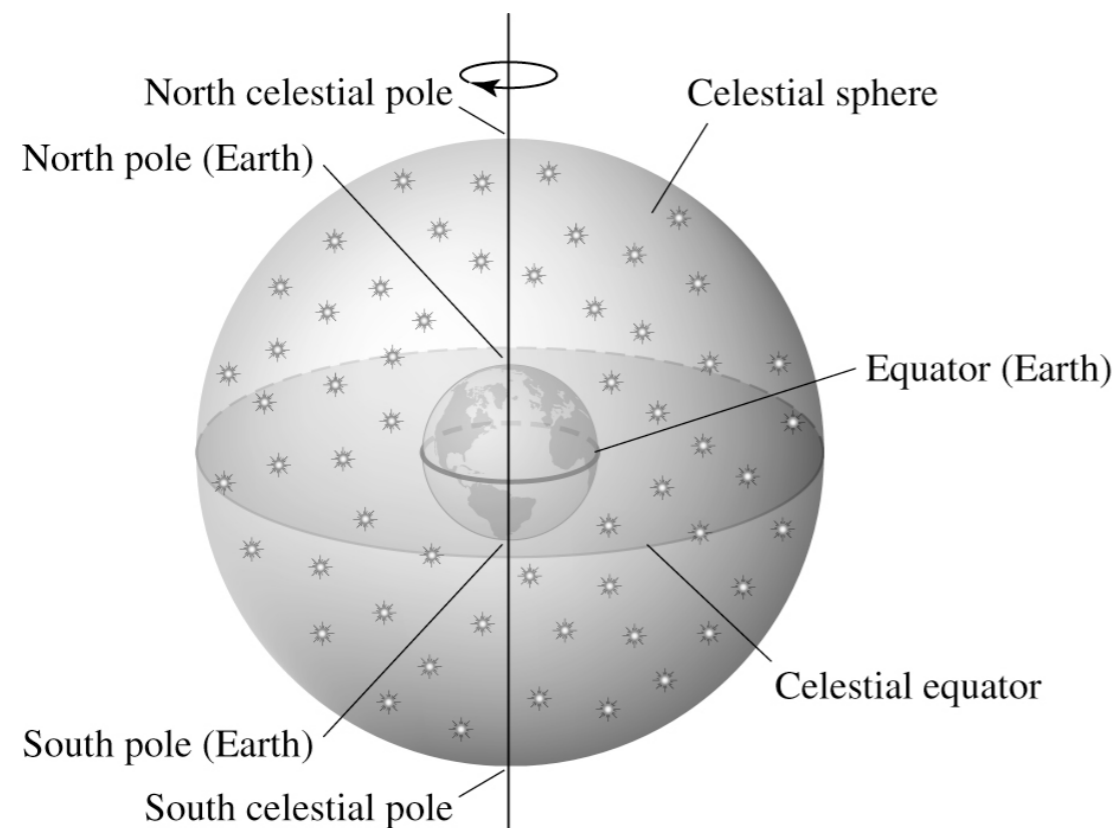
# Inhalt der Vorlesung (WS 06/07)

---

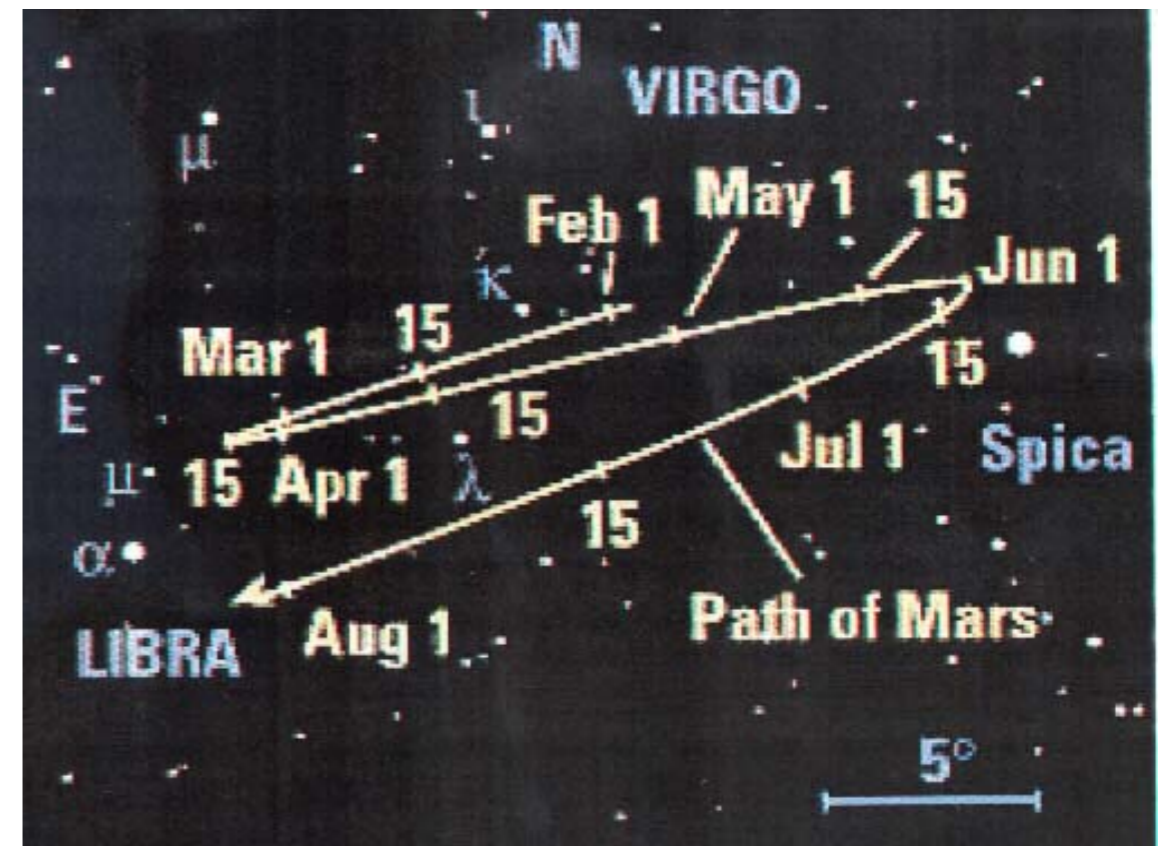
- Einführung/Überblick
- Strahlung und Materie
- Astronomische Instrumente
- Sterne: Zustandsgrößen
- Sterne: Atmosphären, die Sonne
- Sterne: innerer Aufbau
- Sterne: Entwicklung und Endstadien
- Interstellare Materie und Sternentstehung
- Die Milchstrasse: Koordinaten, Entfernungsbestimmungen
- Die Milchstrasse: Struktur, Kinematik, galaktisches Zentrum
- Galaxien: Klassifikation, dynamischer Aufbau
- Galaxien: Entwicklung
- Galaxien: aktive Galaxienkerne
- Dunkle Materie in Galaxien
- SS2007: Galaxienhaufen und Gravitationslinsen, Friedmann Kosmologie und expandierendes Universum, thermische Geschichte des Universum, Inflation, Dichtefluktuationen im frühen Universum und Strukturbildung, kosmische Hintergrundstrahlung, kosmologische Parameter und WMAP, Lyman-alpha Wald, Galaxien bei hoher Rotverschiebung, Supernovae Ia und dunkle Energie

# Einführung: kurze Geschichte der Astronomie

- Historisch: Astronomie eine der ältesten Wissenschaften. “Moderne” Astronomie mit den Griechen: Pythagoras (550 BC, Mathematik), Plato (350 BC, geozentrisches Universum, “Himmelsphäre”), Hipparchus (150 BC, Epizyklen, zur Erklärung der “wandernden Sterne” und der retrograden Bewegung, erster Sternkatalog, Magnitudensystem zur Beschreibung der Helligkeit der Sterne)

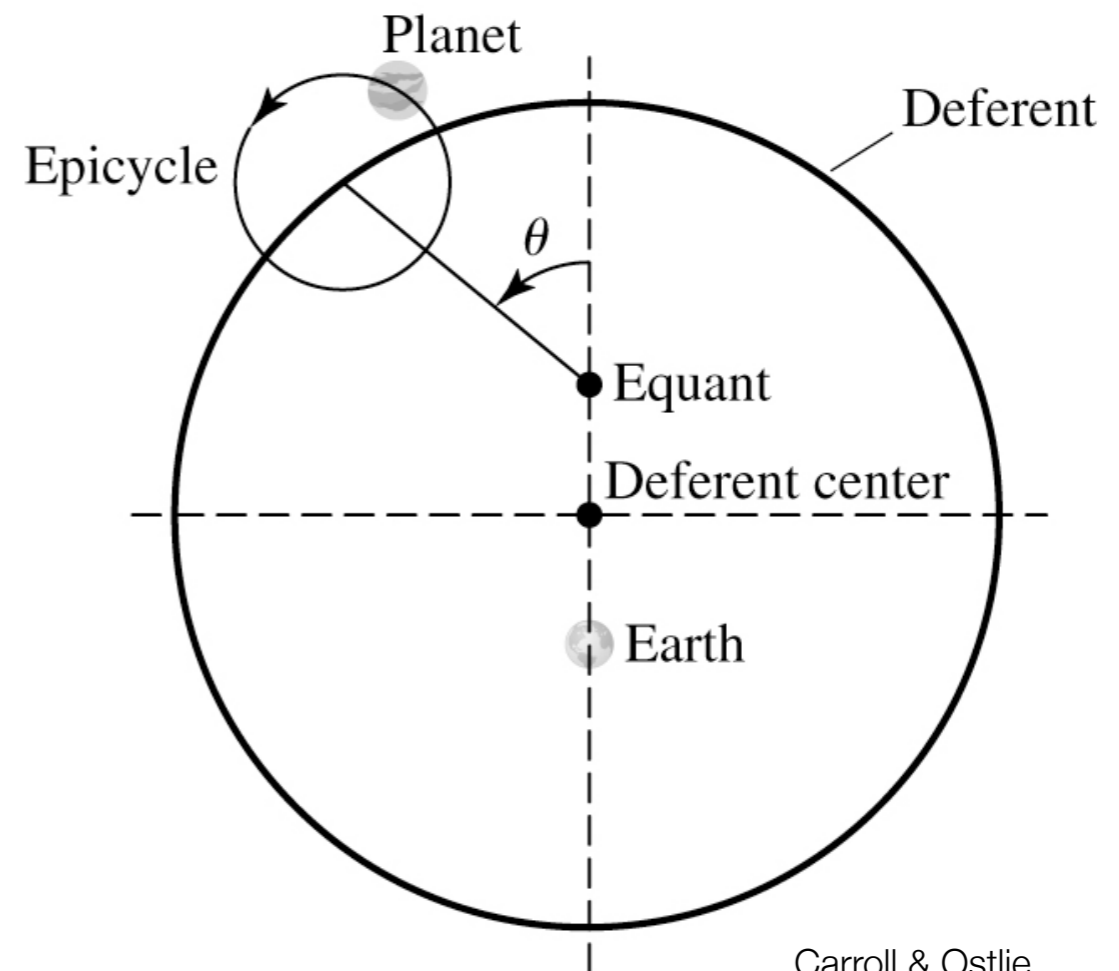
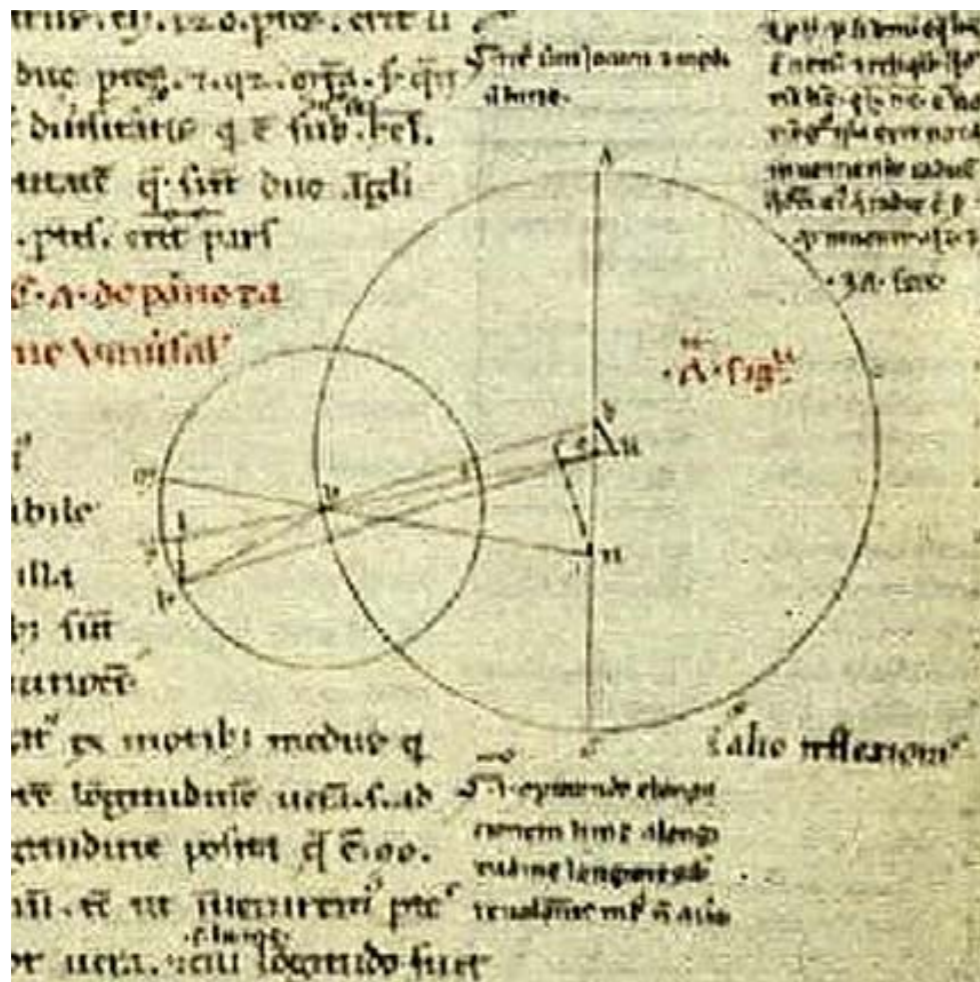


Carroll & Ostlie



# Einführung: kurze Geschichte der Astronomie

- Ptolemaeus (100 AD, Veränderungen der Epyzyklen “equants”,  $d\theta/dt = ct$ , Erde nicht im Mittelpunkt der “deferent”). Das Ptolemaische Modell wird universell als die korrekte Erklärung der Bewegung “wandernden Sterne” akzeptiert. Bei Unstimmigkeiten zwischen Modell und Beobachtungen => neue Epyzyklen => komplexe theoretische Beschreibung!

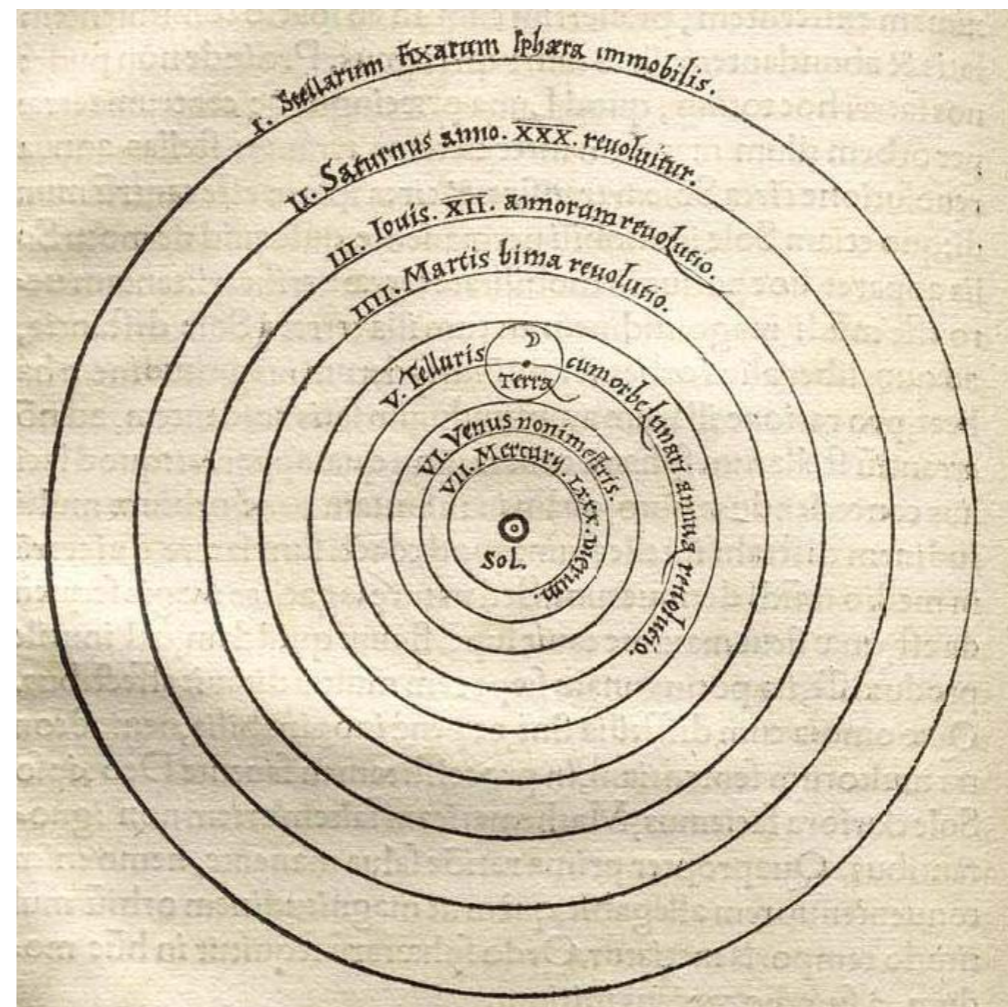




# Einführung: kurze Geschichte der Astronomie

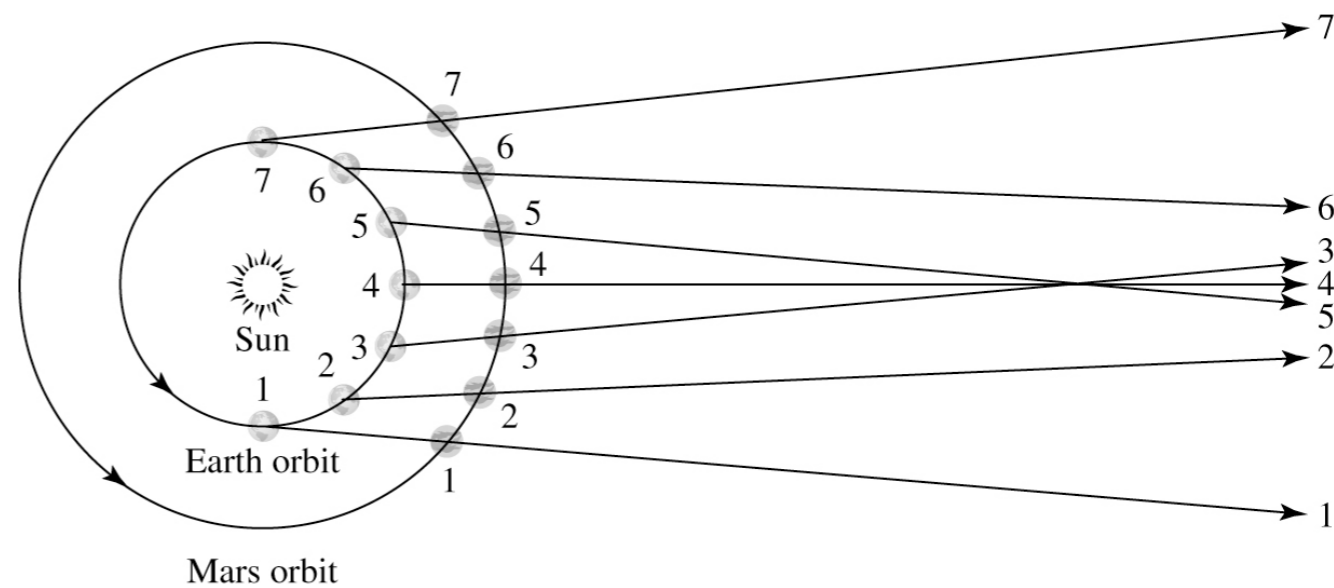
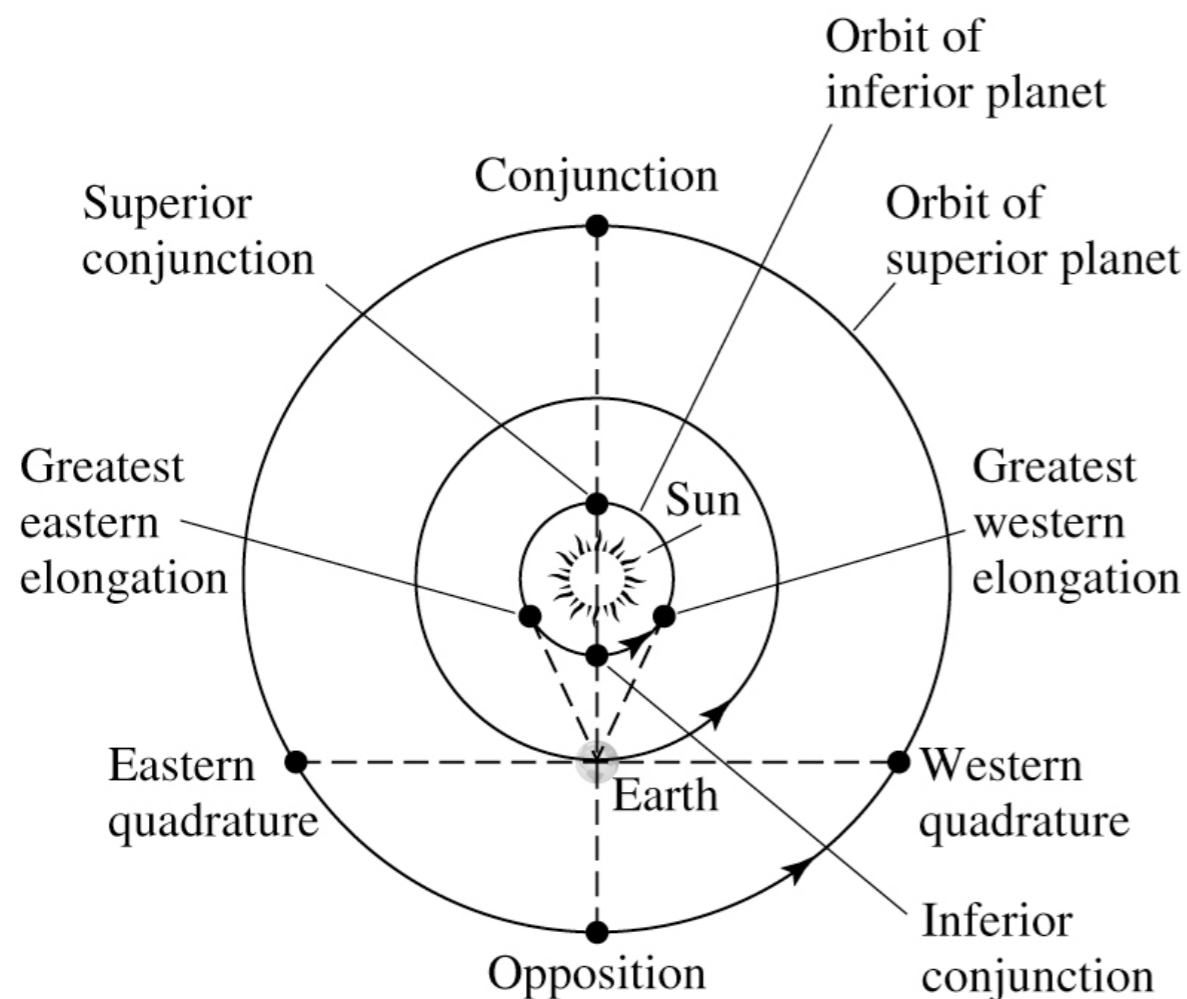
---

- Nicolaus Copernicus (1473-1543): heliozentrisches Modell; *De Revolutionibus Orbium Coelestium*
- “first of all we must notice that the Universe is spherical”, Copernicus



# Einführung: kurze Geschichte der Astronomie

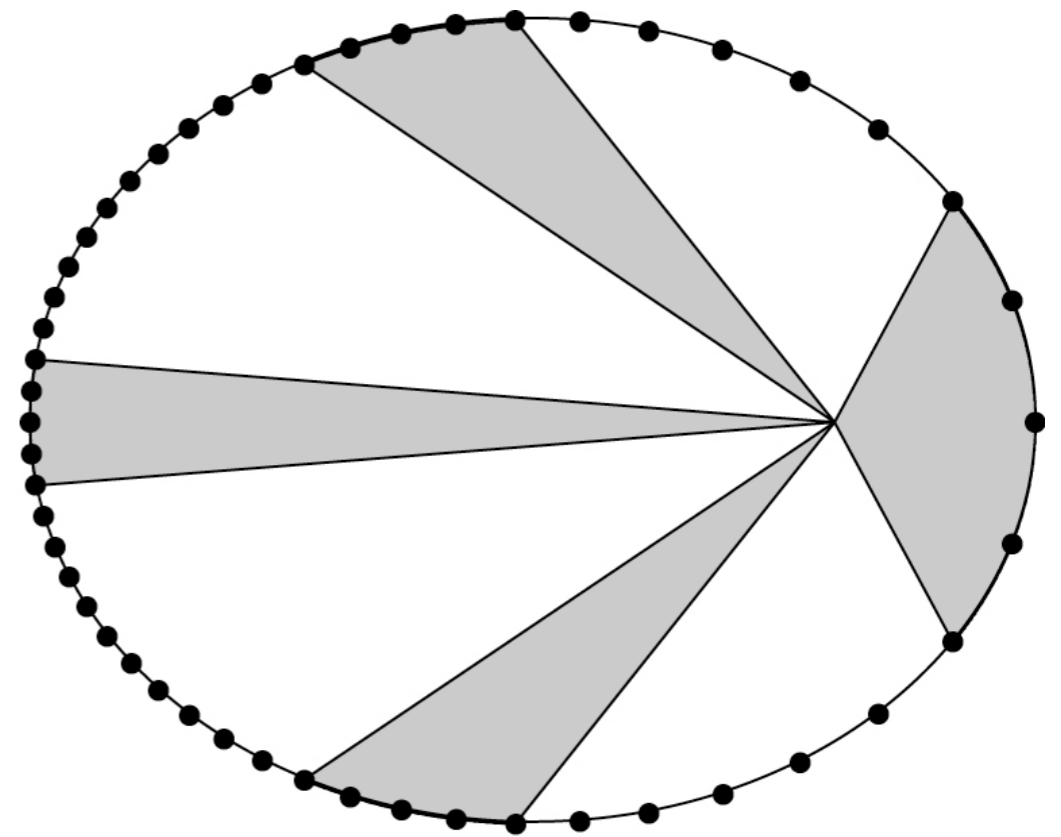
- Copernicus: innere und äussere Planeten, einfache Beschreibung der retrograden Bewegung; obwohl einfacher, machte das Modell keine genaueren Vorhersagen (warum?)



# Einführung: kurze Geschichte der Astronomie

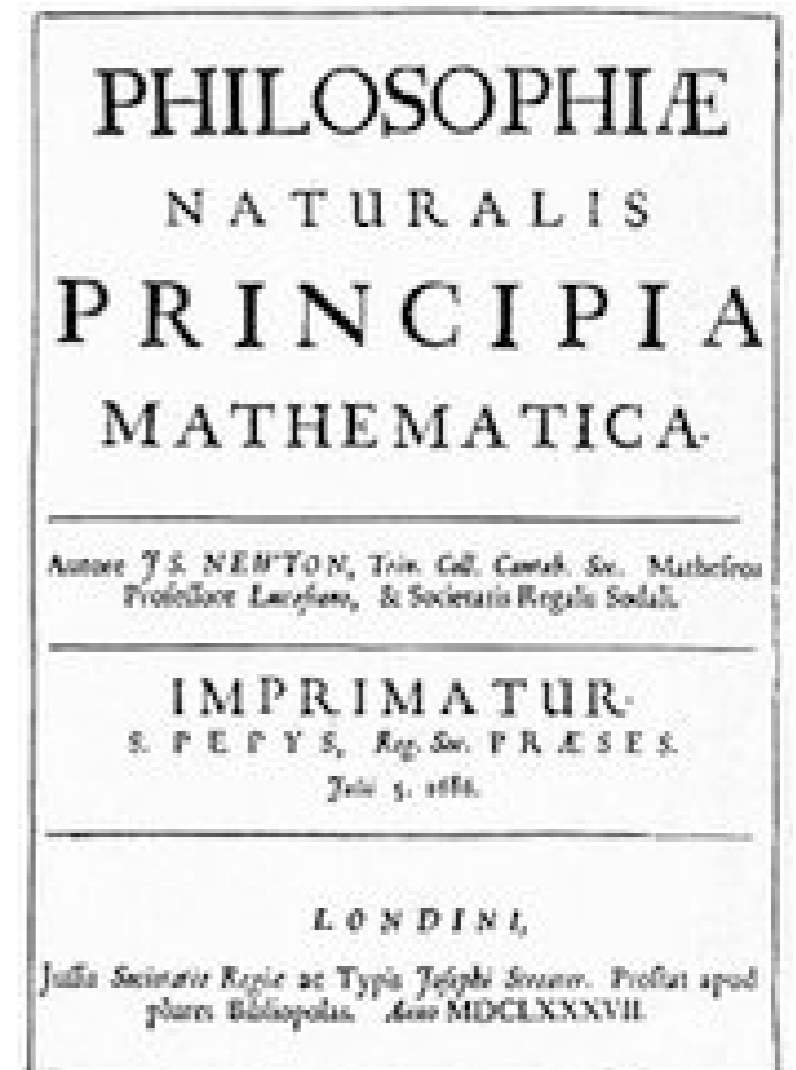
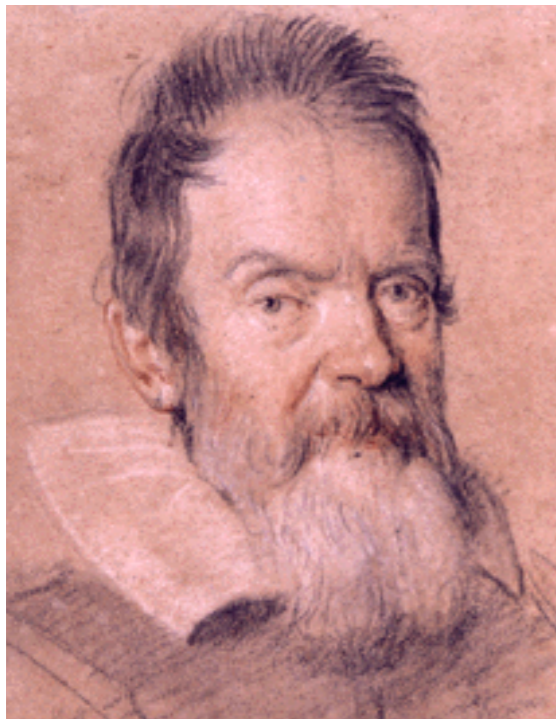
---

- Tycho Brahe (1546-1601, “Beobachter”): misst die Bewegung der Planeten sehr genau ( $<4'$ ), findet jedoch keinen Beweis, dass die Erde sich bewegt!
- Johannes Kepler (1571-1630, “Theoretiker”): genaue Analyse der Daten, Interpretation => elliptische Bahnen => keplersche Gesetze



# Einführung: kurze Geschichte der Astronomie

- Galileo Galilei (1564-1642): beobachtet den Sternenhimmel mit Teleskope => Milchstrassenband kein Nebel, sondern besteht aus Sterne; Mond keine perfekte Sphäre, Sonnenflecken, Jupiter + 4 Monde!



- Isaac Newton (1642-1727): Gesetze der Bewegung, Gravitation
- Beginn der modernen Astronomie/Astrophysik
- Heute: Astronomie und Astrophysik sind synonym!

# Astronomie und Astrophysik heute

---

- Grundlagenforschung: Entstehung des Universums, Bildung von Strukturen (Galaxien, Galaxienhaufen, grossräumige Strukturen), Entstehung und Entwicklung von Sternen,...
- Technologie: astronomische Beobachtungen und Detektionsmethoden erfordern Spitzentechnologie, die oft erst eigens dafür entwickelt werden muss; aber viele “spin offs”
- Kulturell: behandeln zentrale Fragen der Menschheit: wie entstand das Universum? wie gross ist es, wie alt? was war “davor”? wie sieht die Zukunft aus? wer sind wir, was ist unser Platz im Universum? sind wir einzigartig?....

# Astronomie/Astrophysik: interdisziplinär

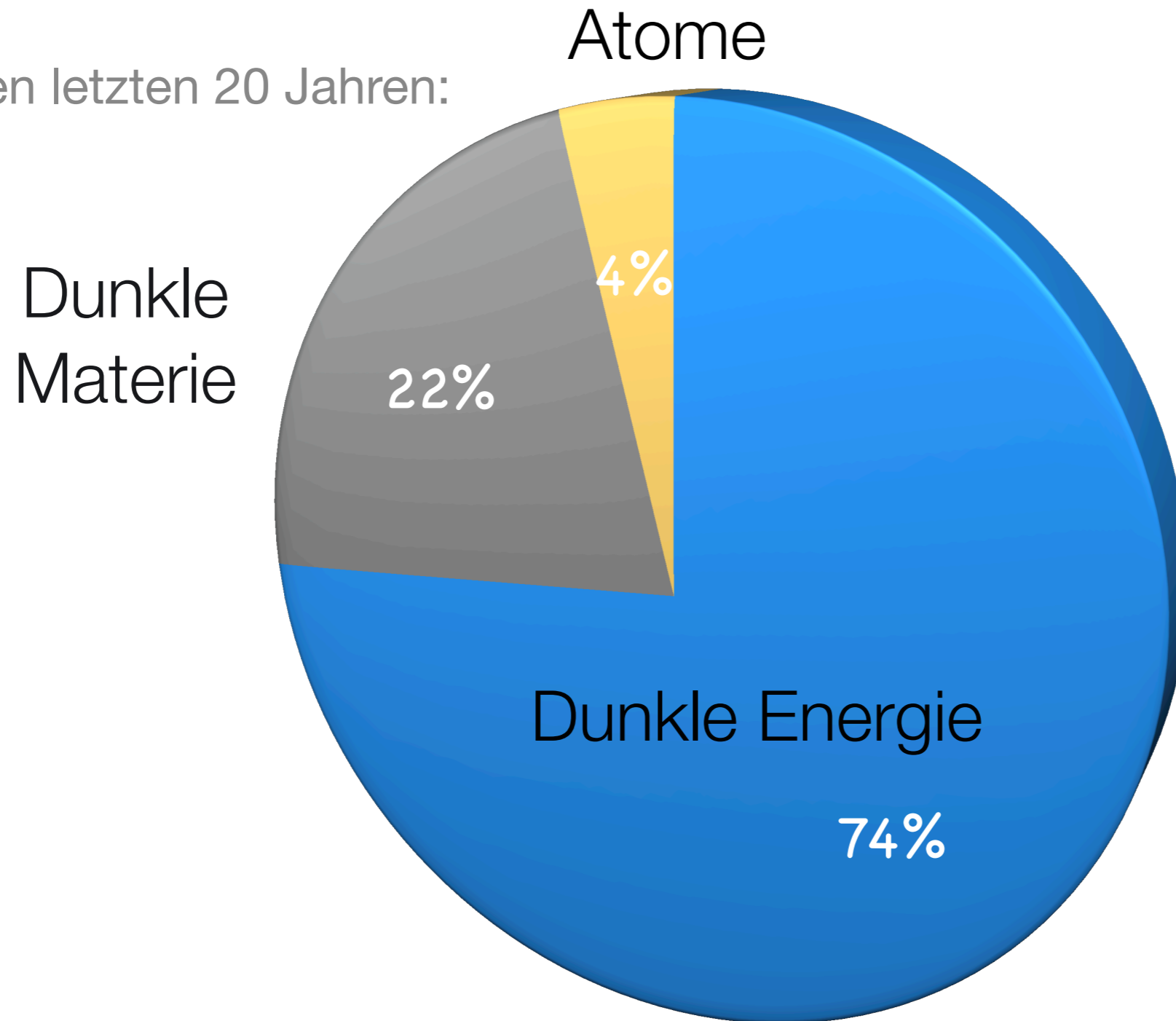
---

Astronomie	Physik/Naturwissenschaften
Keplersche Gesetze	Newtonsche Gesetze, Gravitation
Analyse von Spektrallinien	Atom/Molekülphysik, QM
Perihelbewegung (Merkur), Lichtablenkung	Allgemeine Relativitätstheorie
Doppelpulsare	Gravitationswellen
Sonnen-und Sternaktivität, Magnetfelder	Plasmaphysik
Fusionsprozesse in Sternen, Supernovae	Kernphysik
Materiebewegung in Sternen, Akkretionsscheiben	Hydrodynamik/Gasdynamik
Dunkle Materie/dunkle Energie	Elementarteilchenphysik, Astroteilchenphysik
Neutronensterne, weisse Zwerge	Zustandsgleichung der Materie bei hohen Dichten
Schwarze Löcher, frühes Universum	Raum-Zeit Physik, Quantumgravitation, ?
Numerische Simulationen (Strukturbildung)	Mathematik/Informatik, SuperComputer
Extrasolare Planeten, Planetenatmosphären	Geowissenschaften
Bedingungen für Leben, Astrobiologie	Biologie/Chemie

# Beitrag der Astronomie/Astrophysik

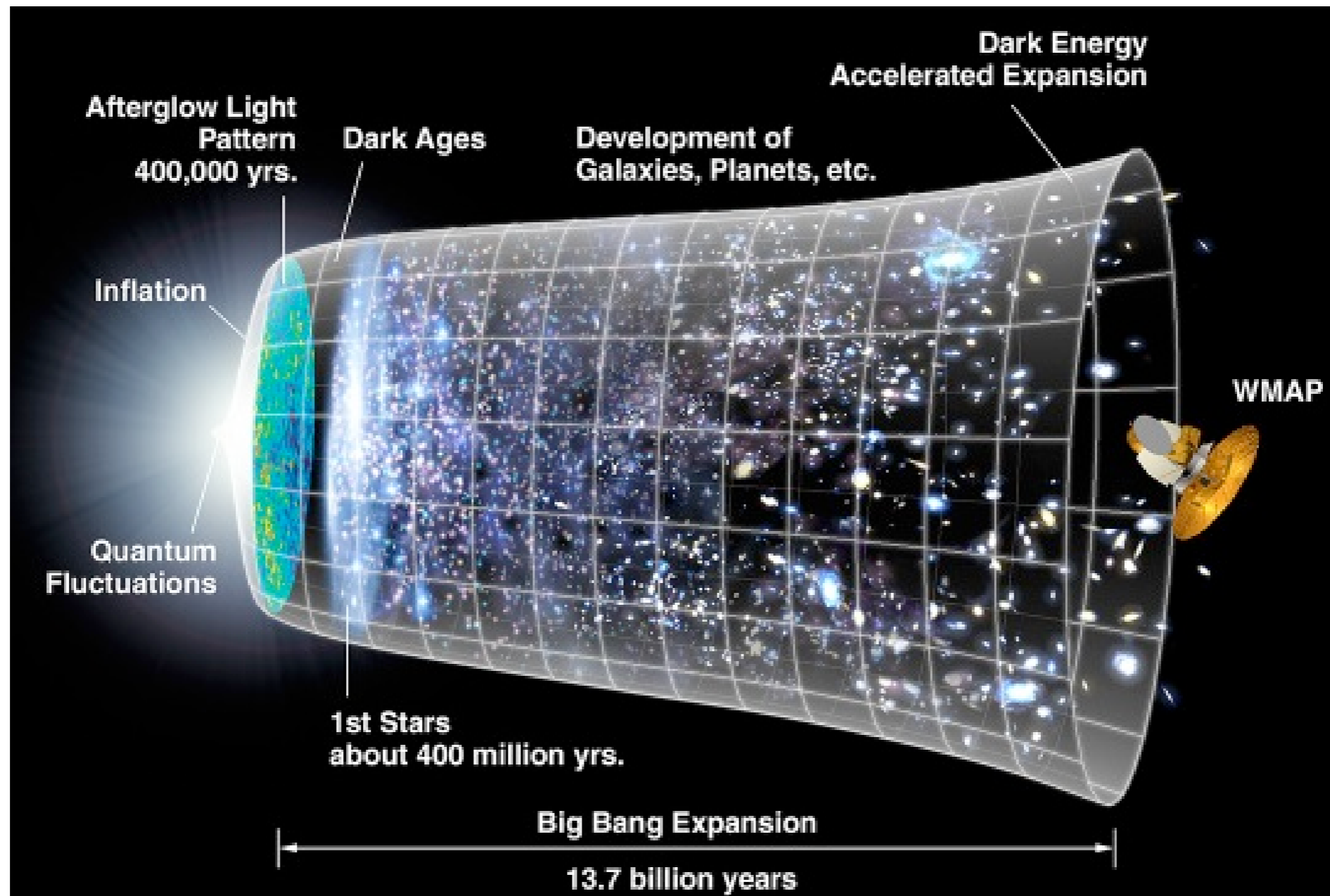
---

- in den letzten 20 Jahren:



# Ein erster Überblick in Bildern

- Vom Urknall bis heute:

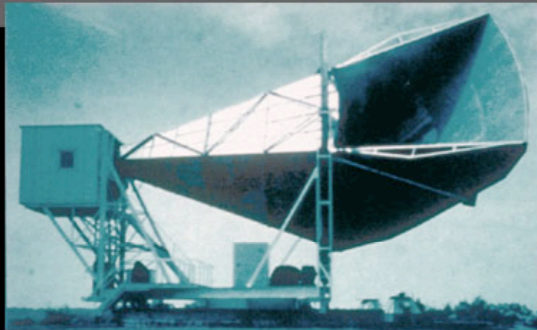


credit: NASA/WMAP

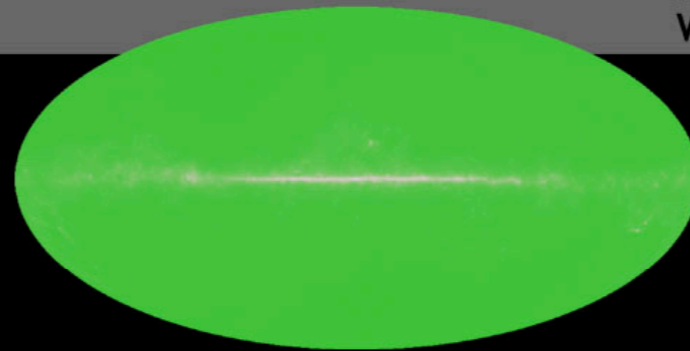


# Kosmische Hintergrundstrahlung

1965



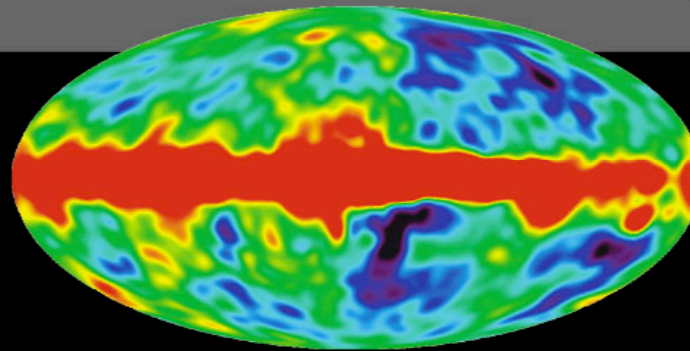
Penzias and  
Wilson



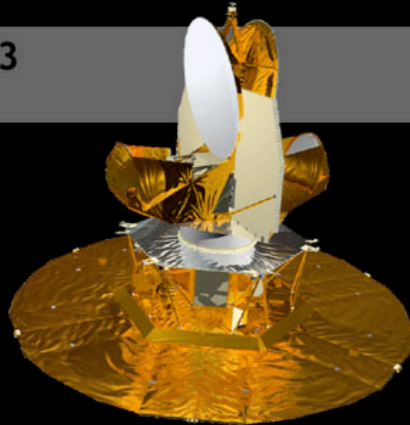
1992



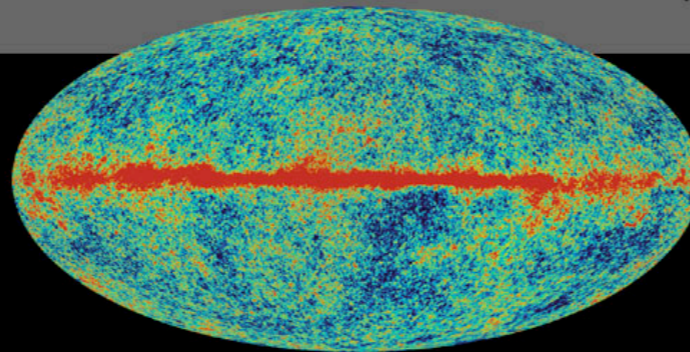
COBE



2003



WMAP

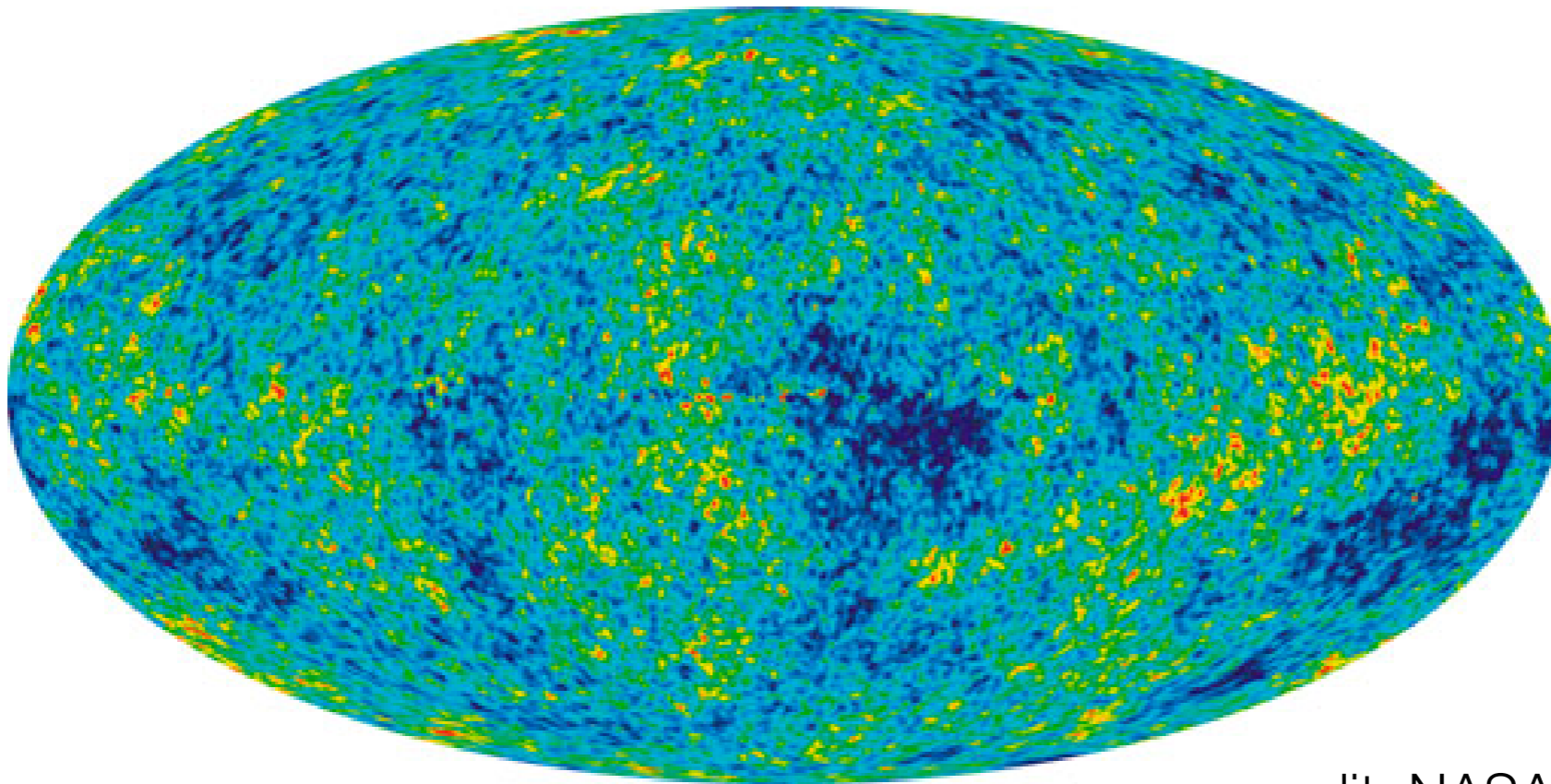


credit: NASA/WMAP

# Kosmische Hintergrundstrahlung

---

- Ein Bild des Universums als es etwa 400000 Jahre alt war!
- Blau: kälter, rot: wärmer; Temperaturdifferenz:  $\pm 200 \mu\text{K}$

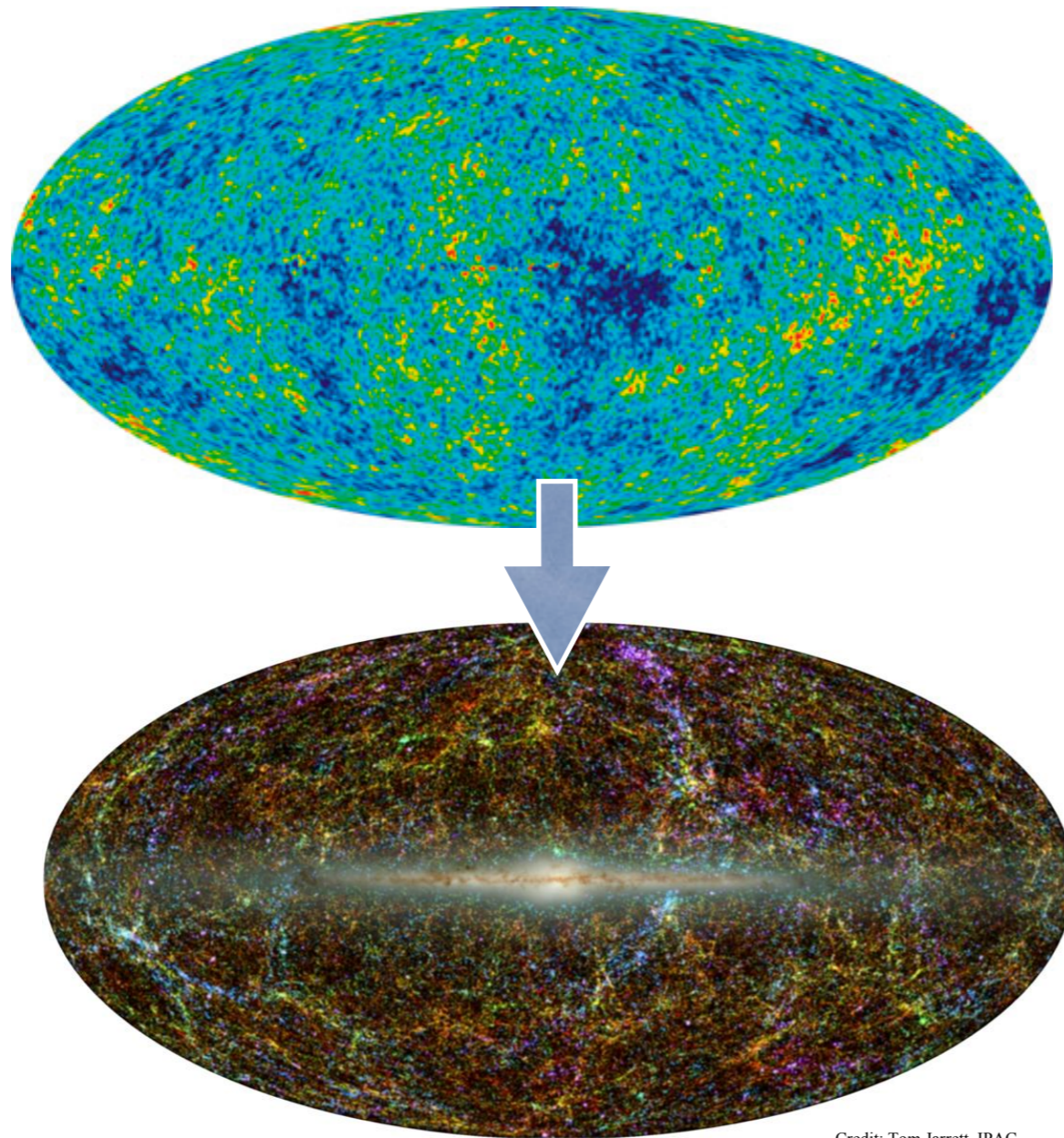


credit: NASA/WMAP

# Kosmische Hintergrundstrahlung

---

- lieferte die Anfangsbedingungen für die Strukturbildung



Kosmisches Rezept:

$$\Omega_{\Lambda} \cong 0.74$$

$$\Omega_{\text{CDM}} \cong 0.22$$

$$\Omega_{\text{Baryonen}} \cong 0.035$$

$$\Omega_{\nu} \cong 0.005$$

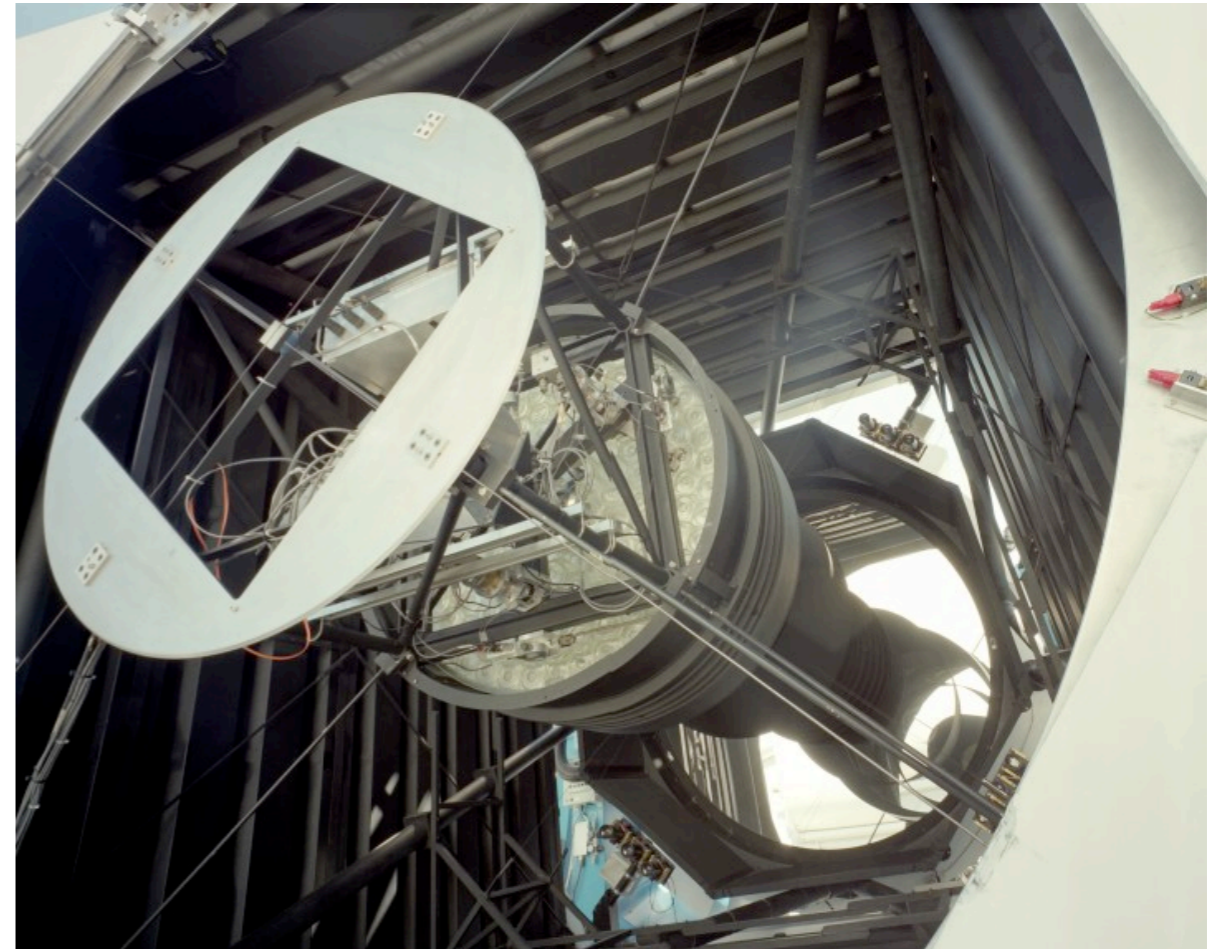
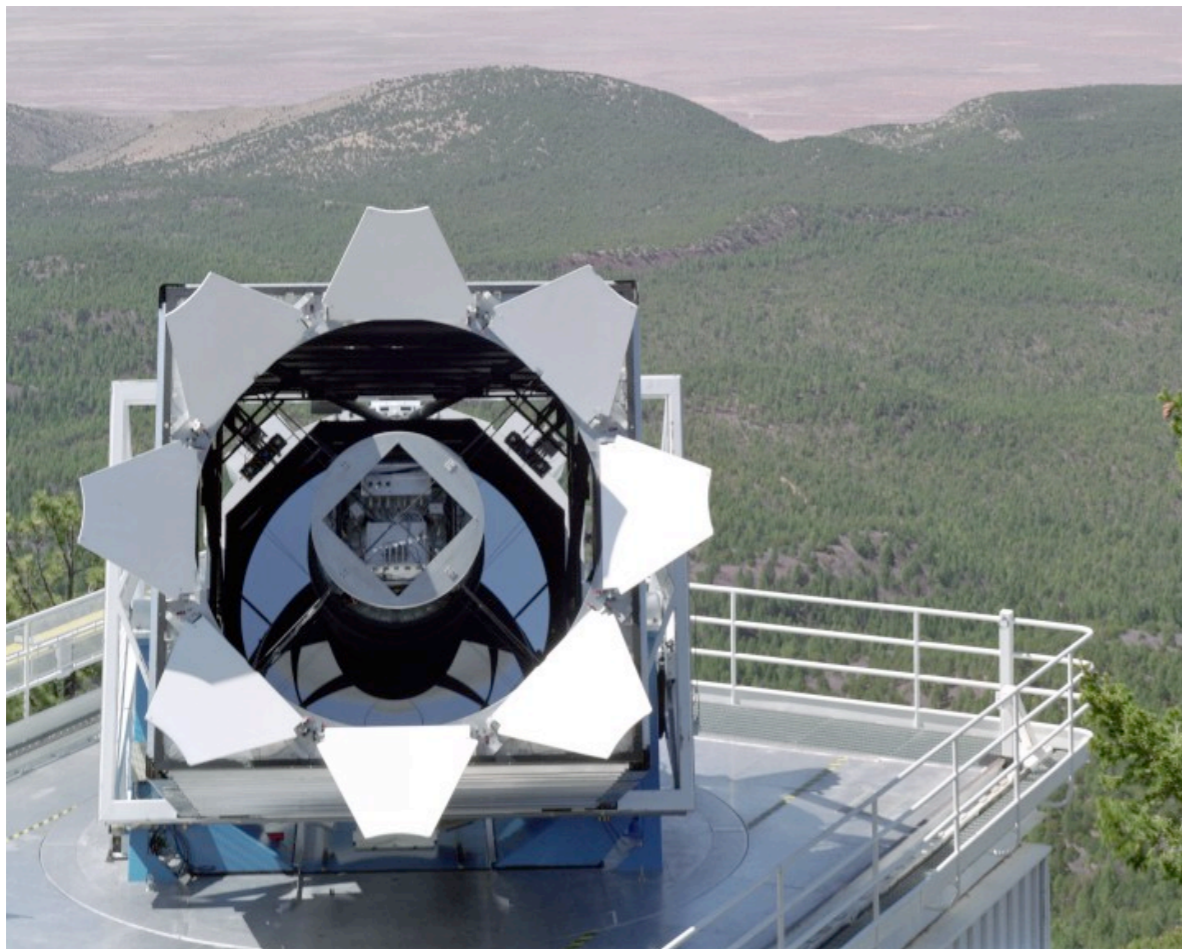
$$\Omega = \rho / \rho_c$$

( $\rho_c \approx 1.8h^2 \times 10^{-29} \text{ g/cm}^3$ )

# Grossräumige Strukturen im Universum

---

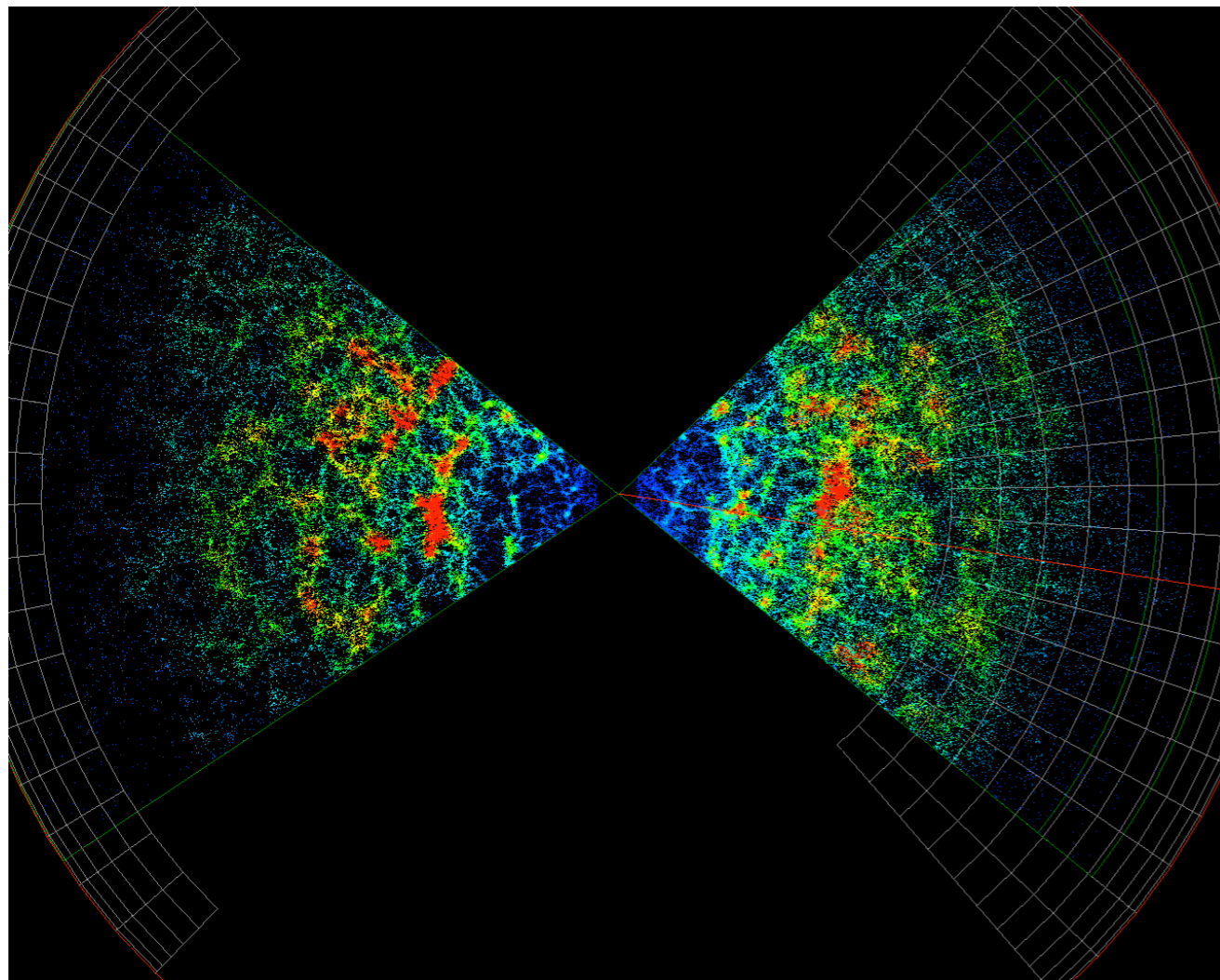
- Beobachtungen: Las Campanas Redshift Survey, Sloan Digital Sky Survey, 2dF Galaxy Redshift Survey; 3D Karten von Millionen von Galaxien und Quasare



<http://www.sdss.org/>

# Grossräumige Strukturen im Universum

- Messung: 2dF Survey



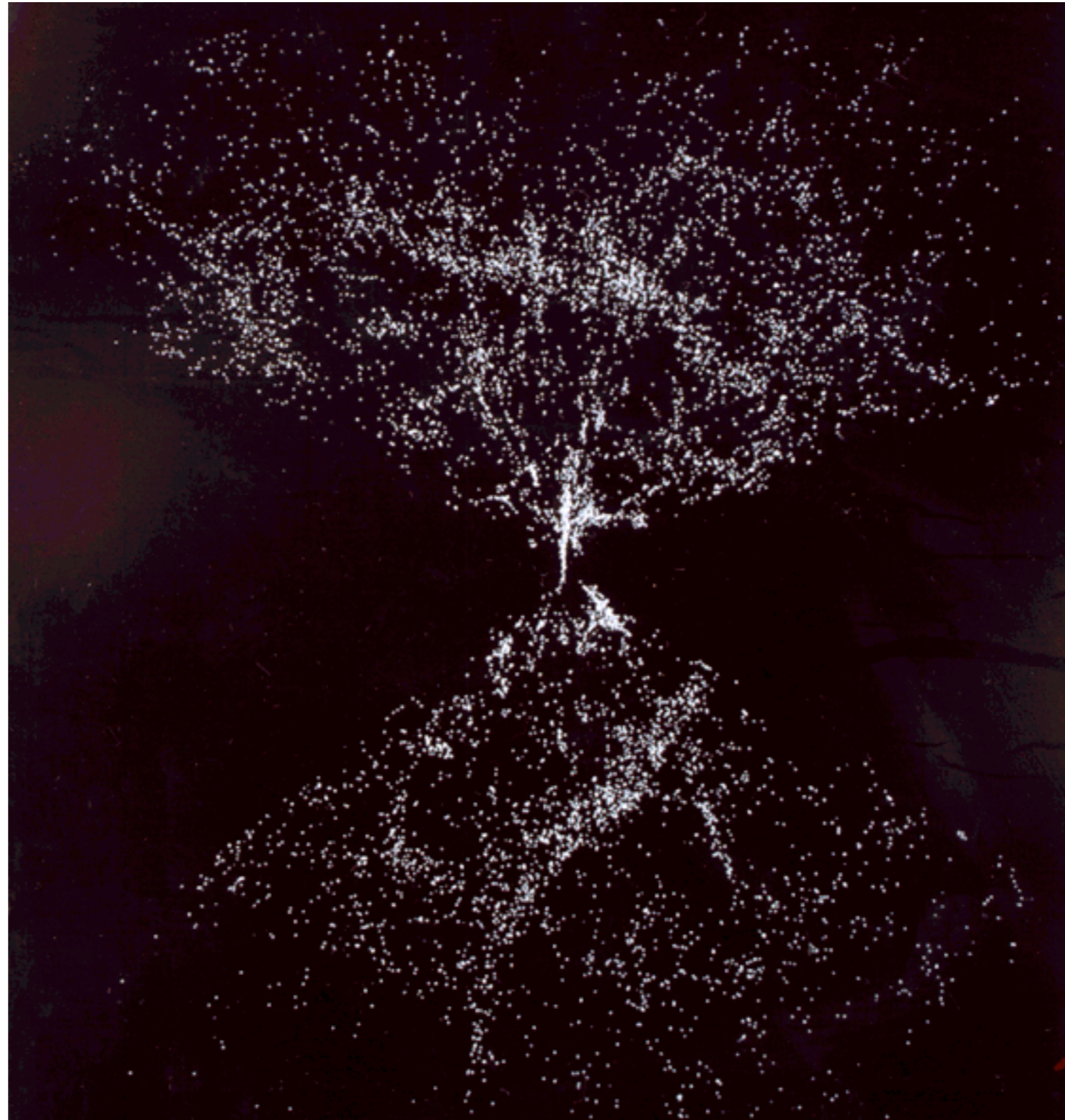
- Simulation: MPA Garching



# Grossräumige Strukturen im Universum

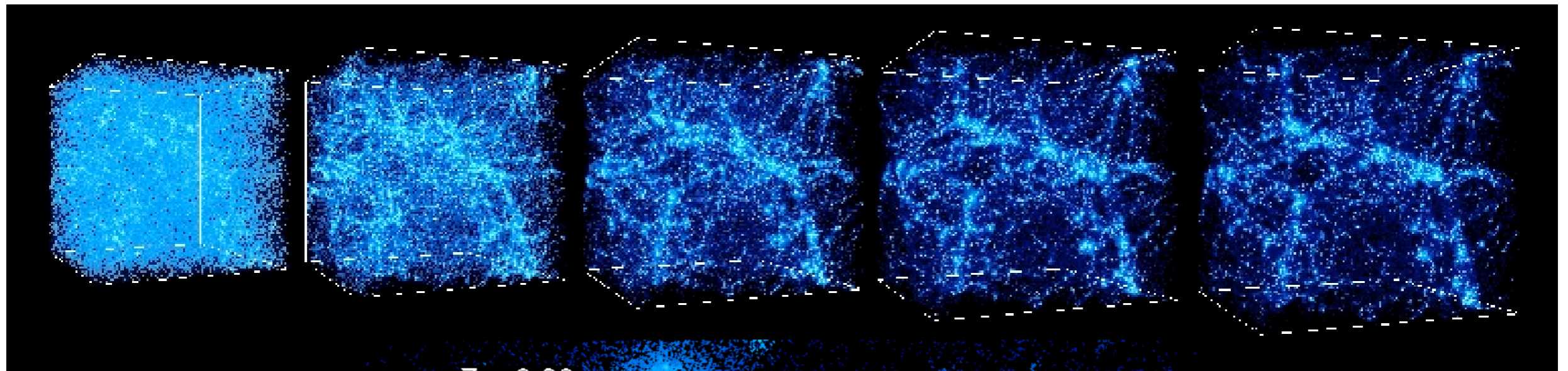
---

- Cfa Survey



# CDM (cold dark matter) Simulationen

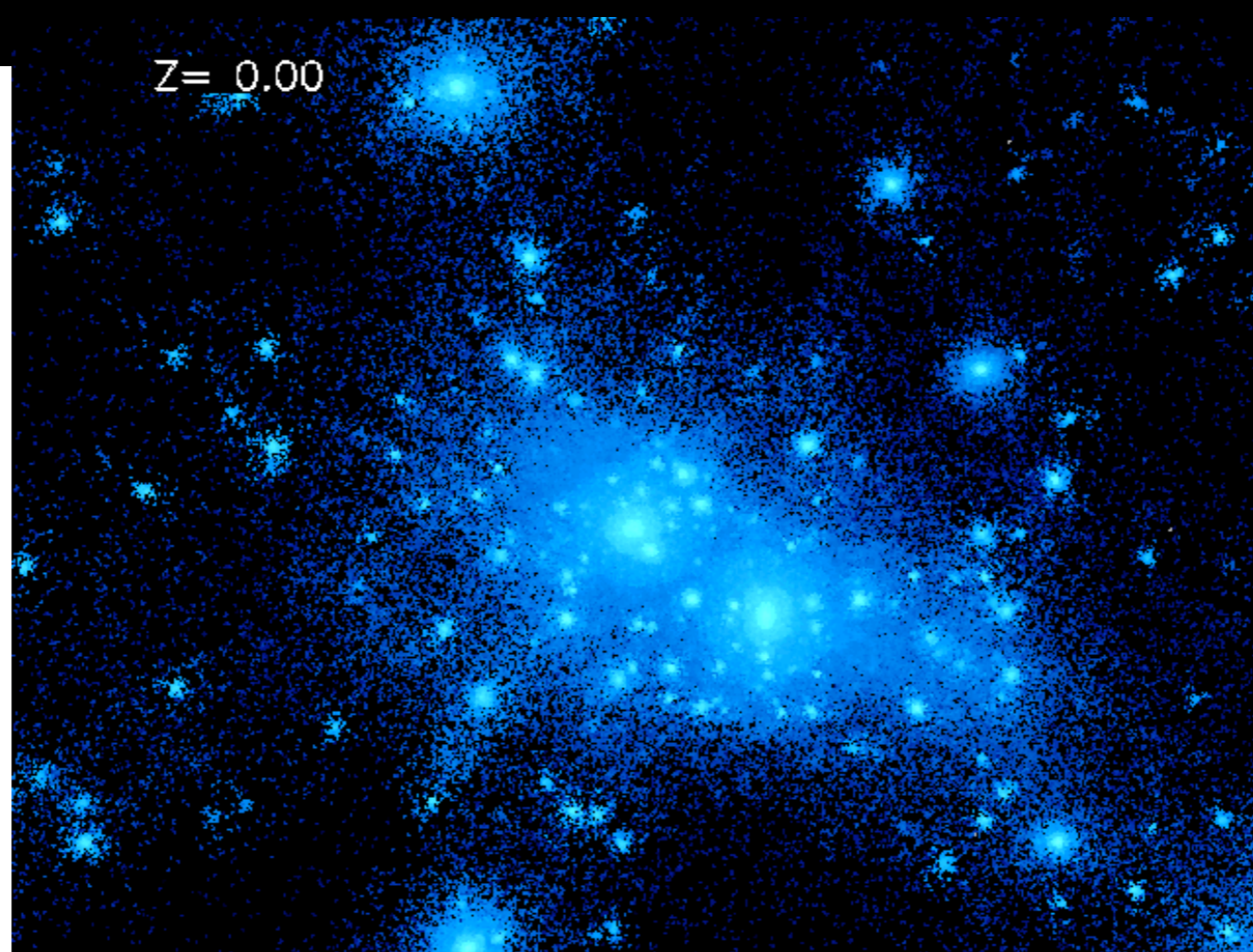
---



$z=10$

$z=0.00$

heute



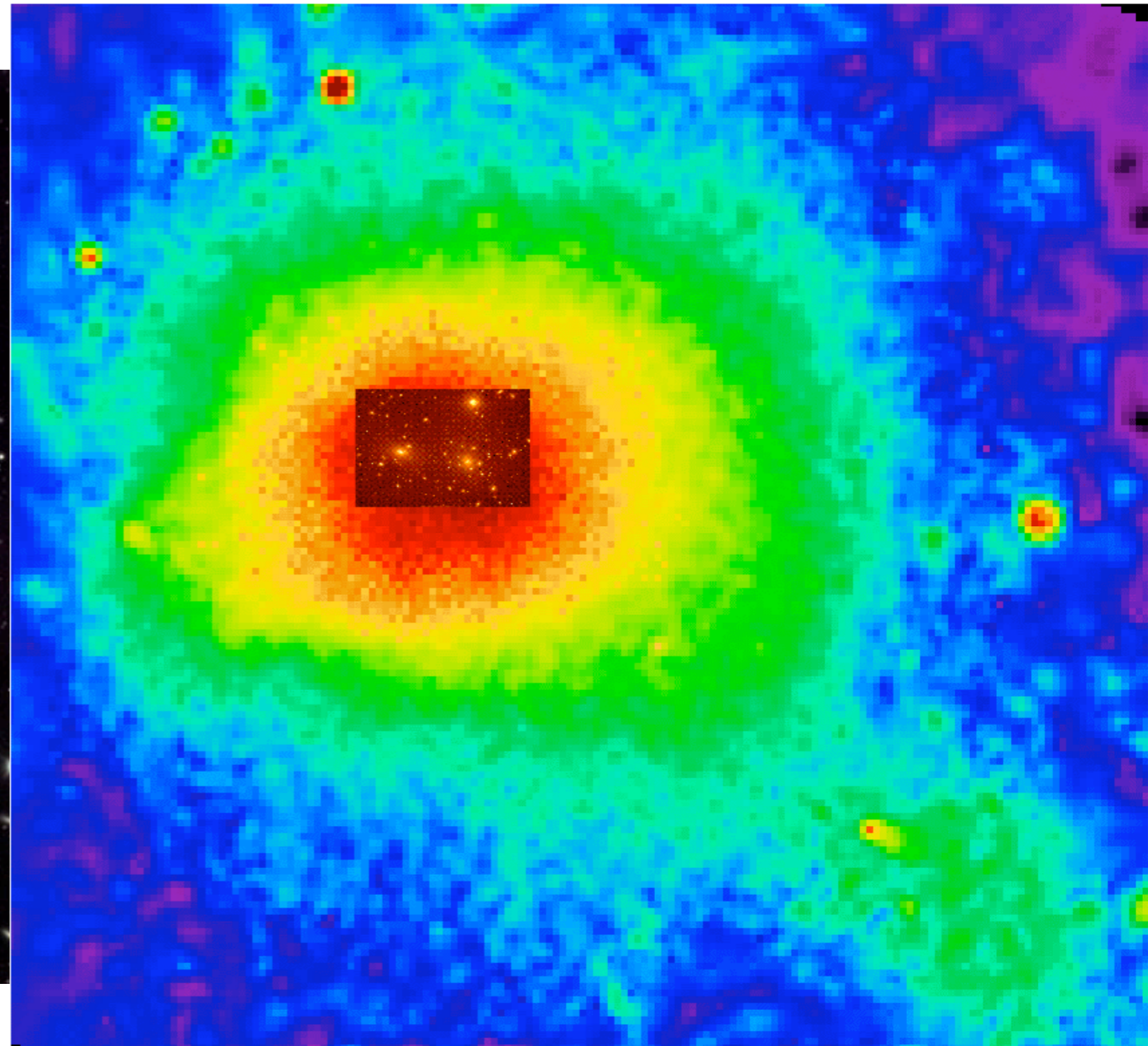
# Galaxienhaufen

---

- der Coma Haufen: optisches + X-ray Bild (1933: erster Hinweis auf dunkle Materie!)



Credit & Copyright: Jim Misti (Misti Mountain Observatory)



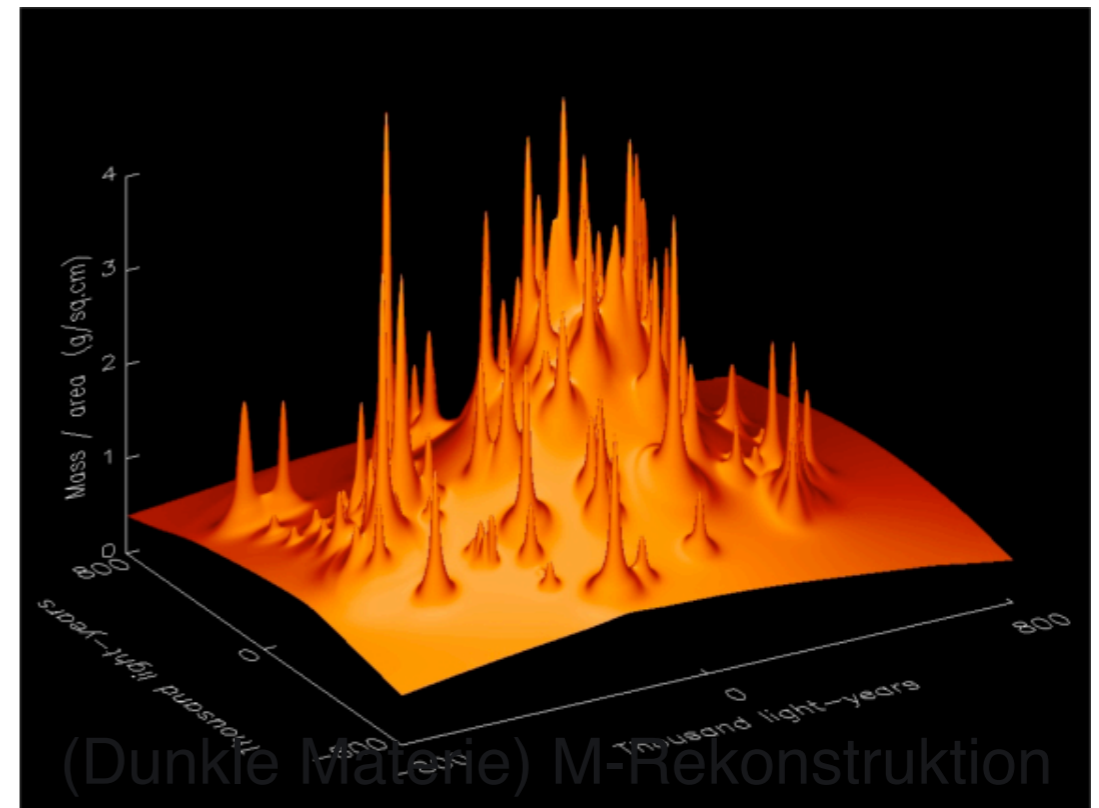
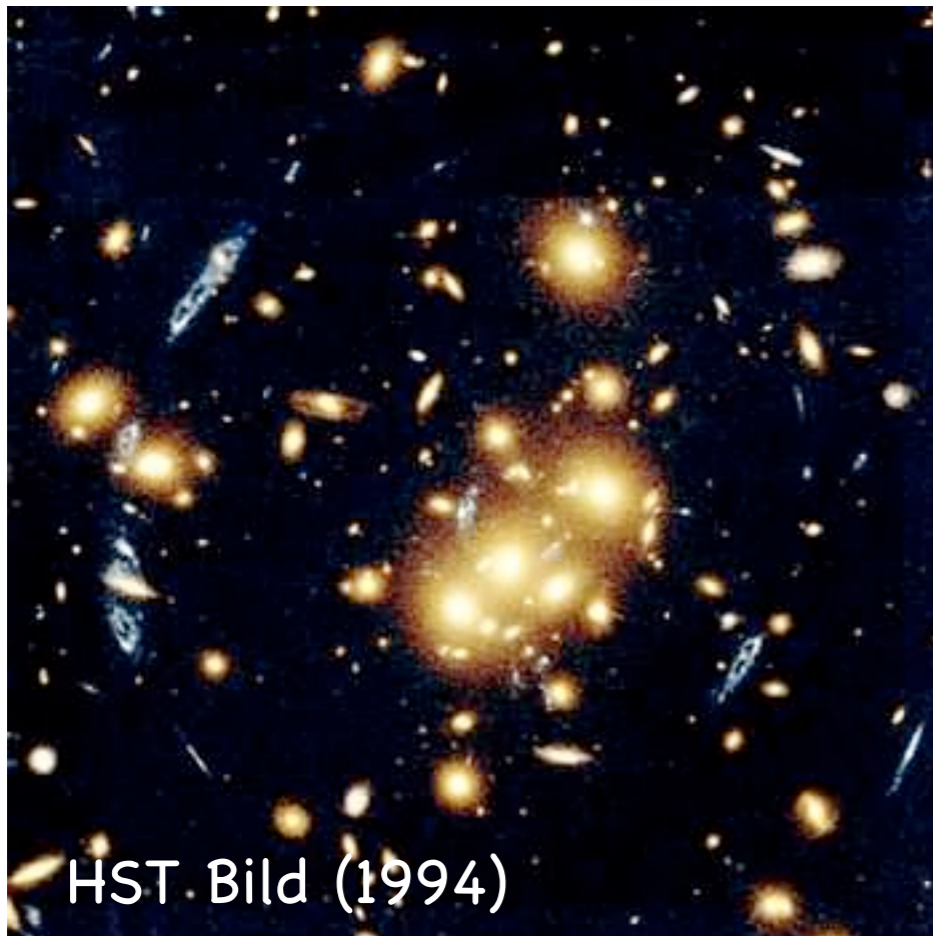


# Dunkle Materie in Galaxienhaufen

blaue Galaxie



Einstein: Licht wird im Schwerfeld von Körpern abgelenkt  
=> Einstein-Ringe (oder Bögen)  
=> "wie viel Krümmung" => Masse der Linse (hier Galaxienhaufen)



# Dunkle Materie in Galaxienhaufen

---

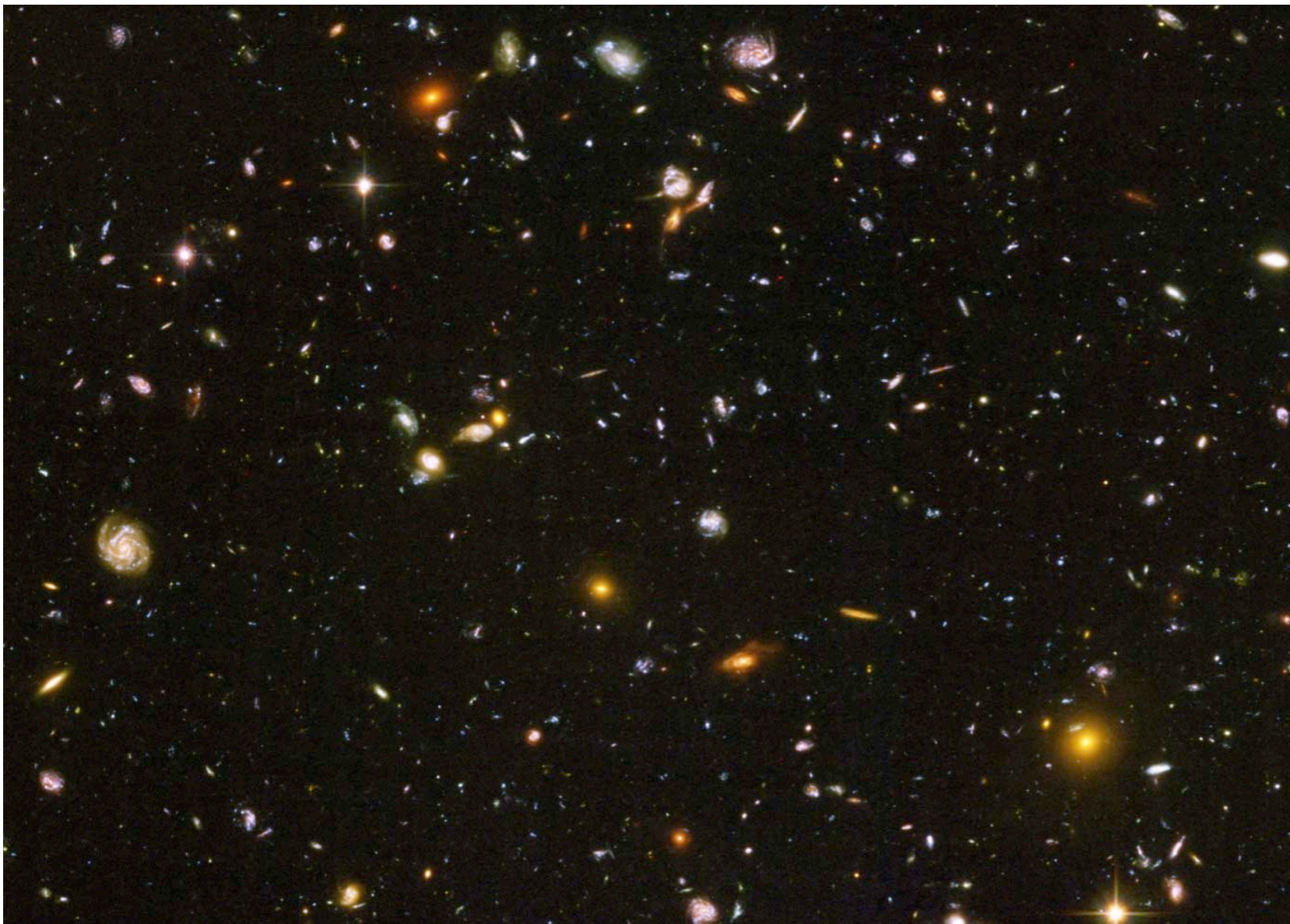
- CL0025+1645,  $\sim 4.5 \times 10^9$  Ly entfernt; dunkle Materie in blau, Galaxien in gelb



# Hubble Ultra Deep Field

---

- das tiefste optische Bild: Galaxien bis zu  $z=6$  (7% des Alters des Universums)



<http://hubblesite.org/>

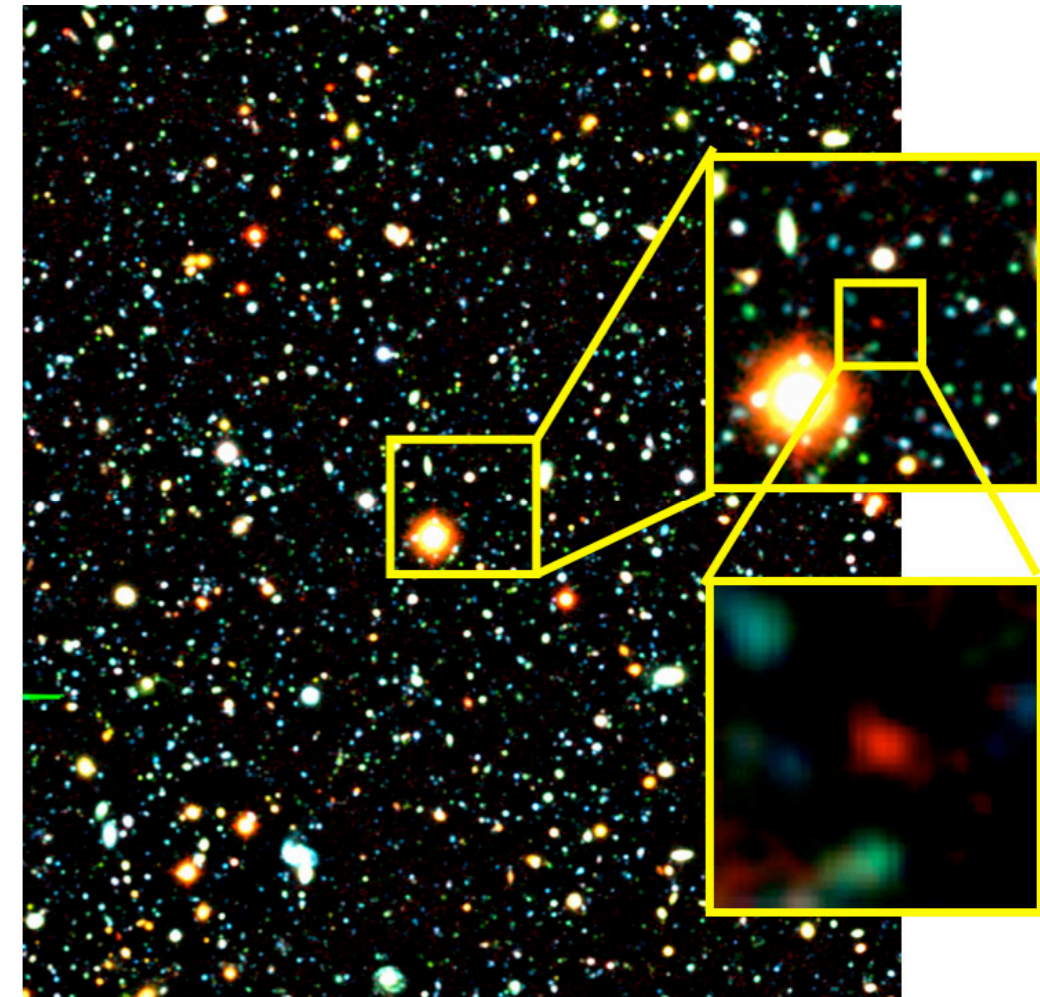
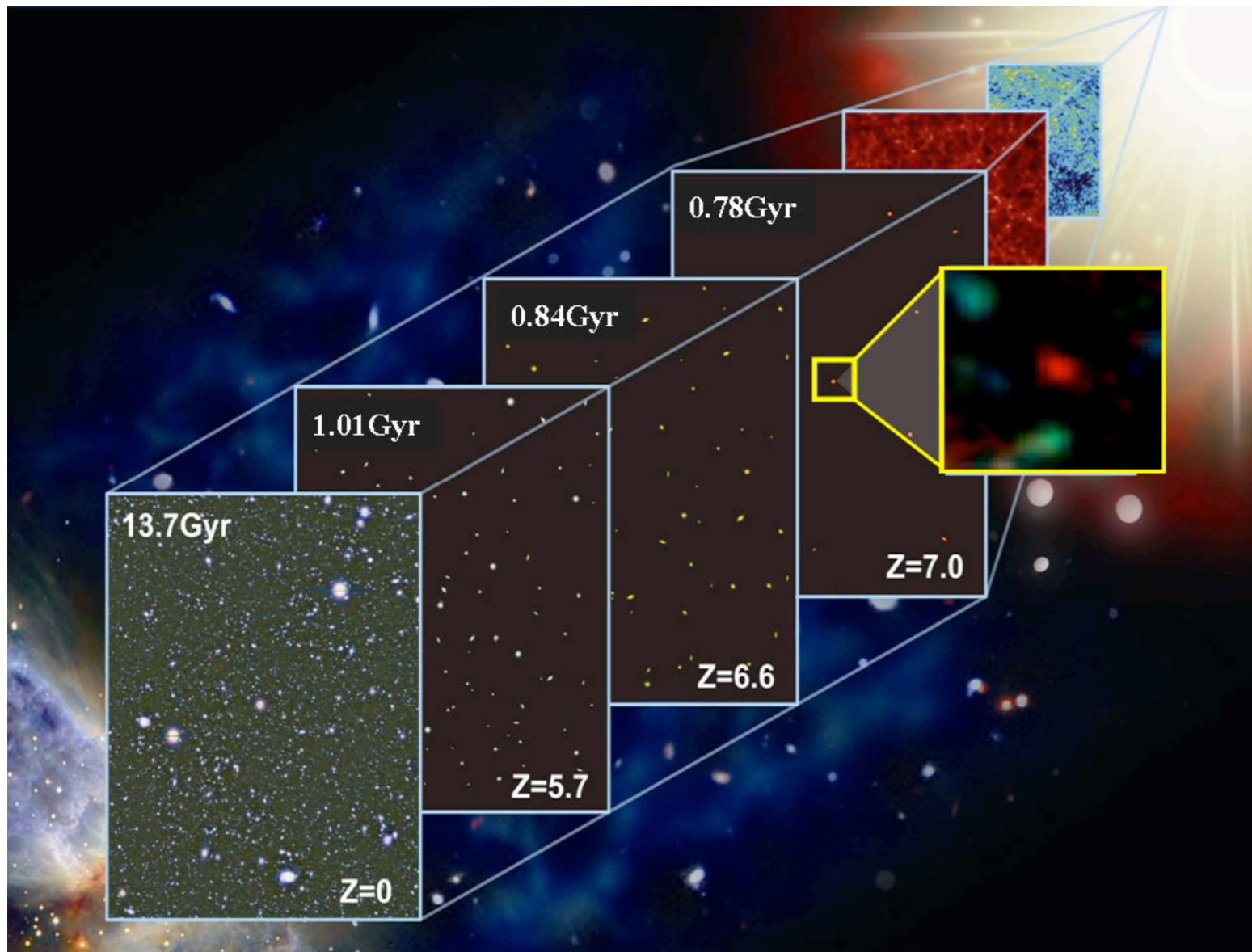
hier: etwa 1500 Galaxien!



Das Hubble Teleskop  
Spiegel: 2.4 m Durchmesser

# Galaxien bei hohen Rotverschiebungen

- IOK-1 (Subaru Teleskop, Hawaii):  $12.88 \times 10^9$  Lichtjahre entfernt! ( $z=6.96$ )



# Die Welt der Galaxien

---

- M82 “starburst” Galaxie: Sterne entstehen (und sterben) mit einer 10x Rate verglichen mit der Milchstrasse; “starburst” wurde etwas vor 100 Millionen Jahre getriggert, durch Gravitations-WW mit der Galaxie M81



<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap000421.html>



<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap000209.html>

# Die Welt der Galaxien

---

- wechselwirkende Galaxien: NGC 2207 und IC 2163 (NASA, The Hubble Heritage Team)



# Die Welt der Galaxien

<http://heritage.stsci.edu/gallery/gallery.html>

- WWWe Galaxien: 19 Mpc (62 Millionen Ly)
- von der Erde aus gesehen

NGC 4038-4039 • Antennae Galaxies

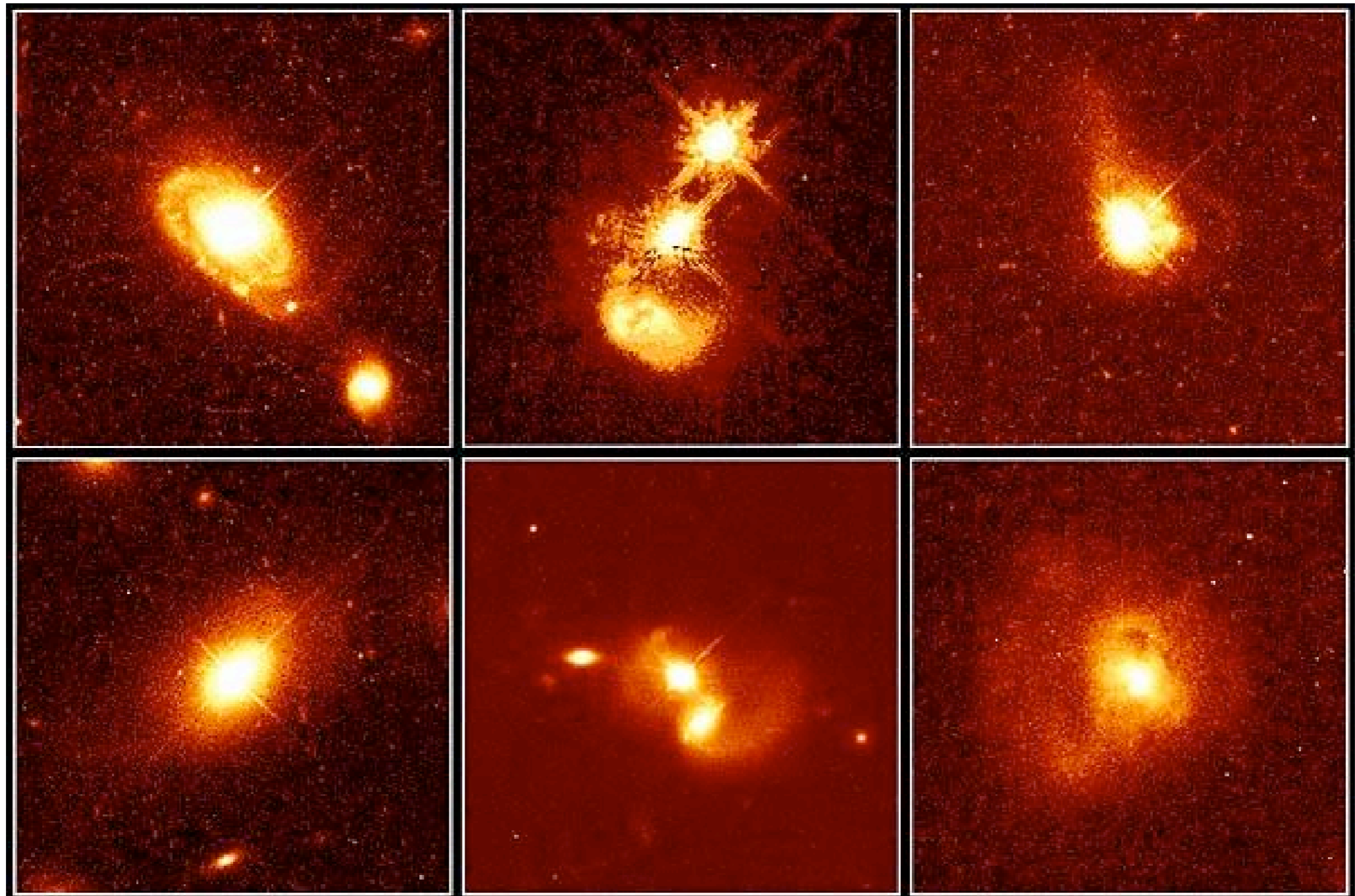


Credits: NOAO/AURA/NSF

# Quasare

---

- SMBH in Zentren von Galaxien

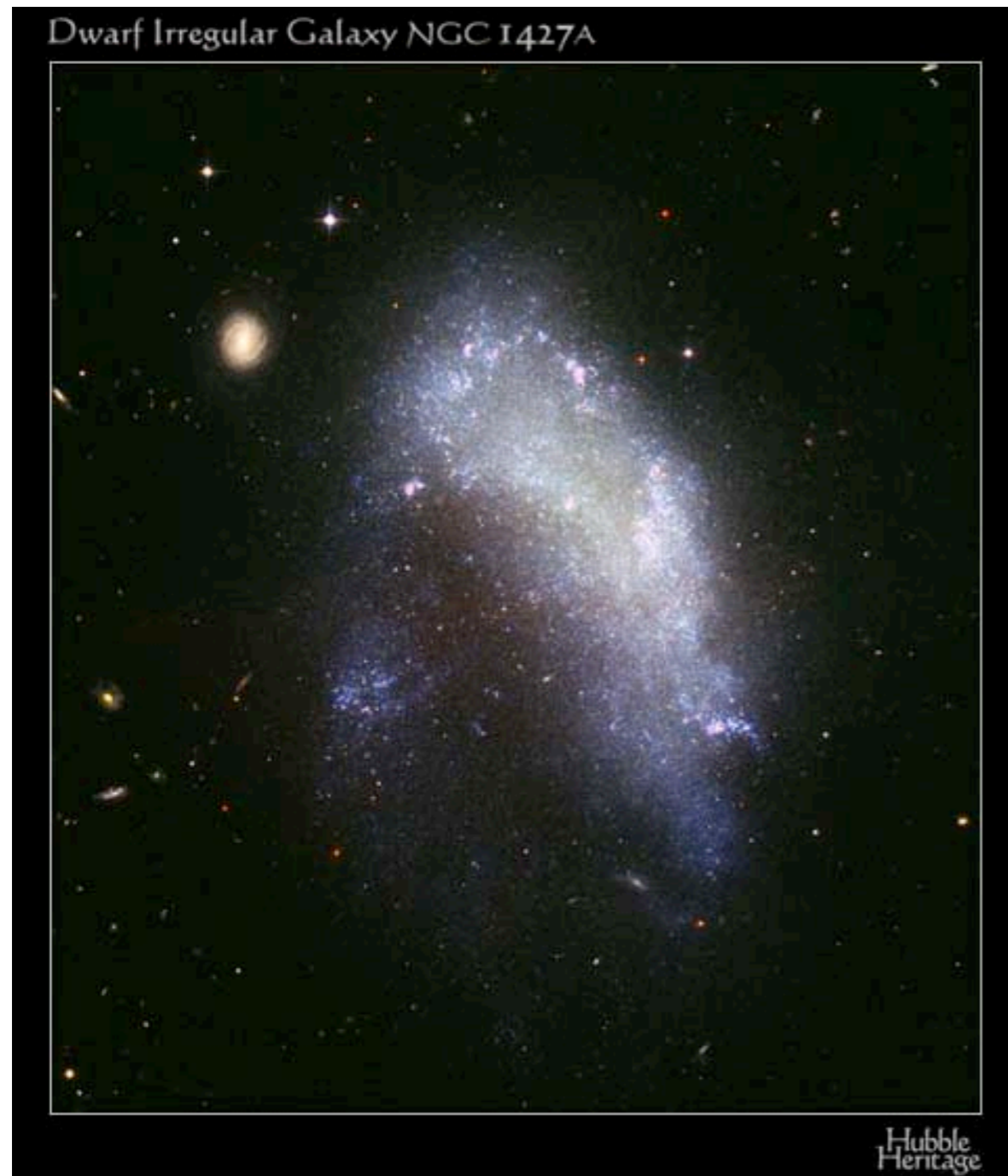




# Die Welt der Galaxien

---

- Zwerggalaxie: 19 Mpc



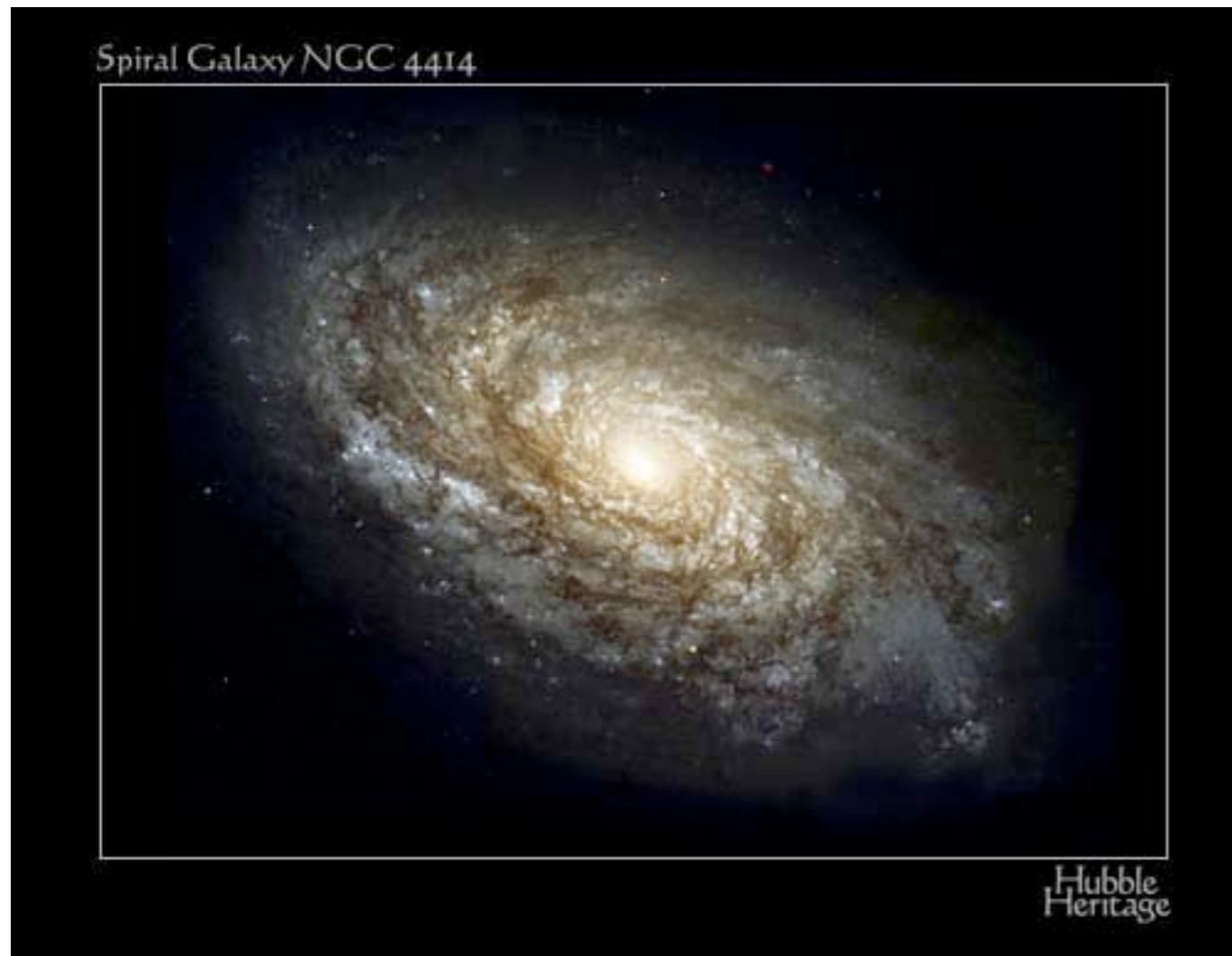
- Ringgalaxie: 92 Mpc



# Spiralgalaxien

---

- NCG4414: 19 Mpc



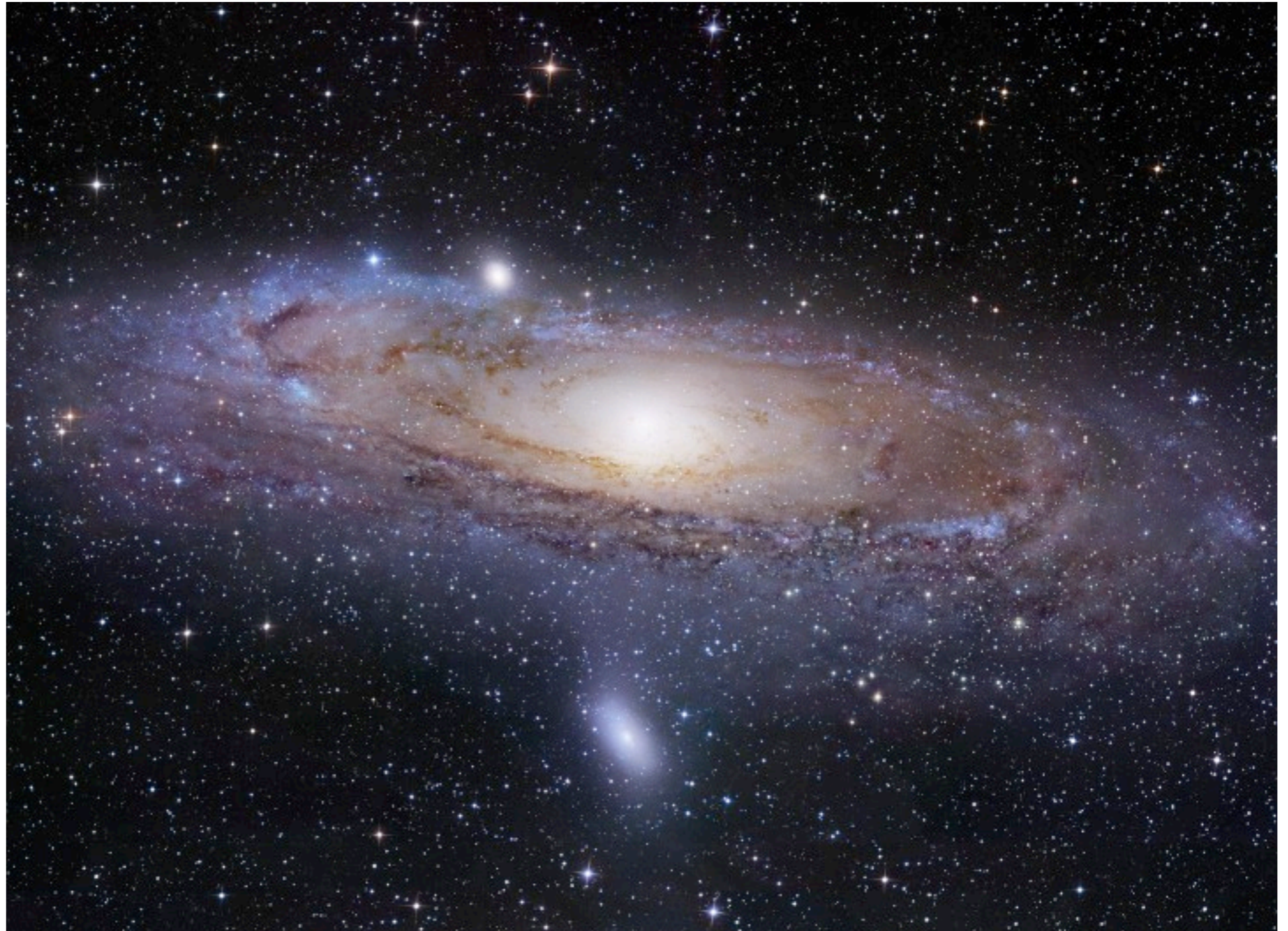
- NCG1309: 30 Mpc



# Andromeda (M31)

---

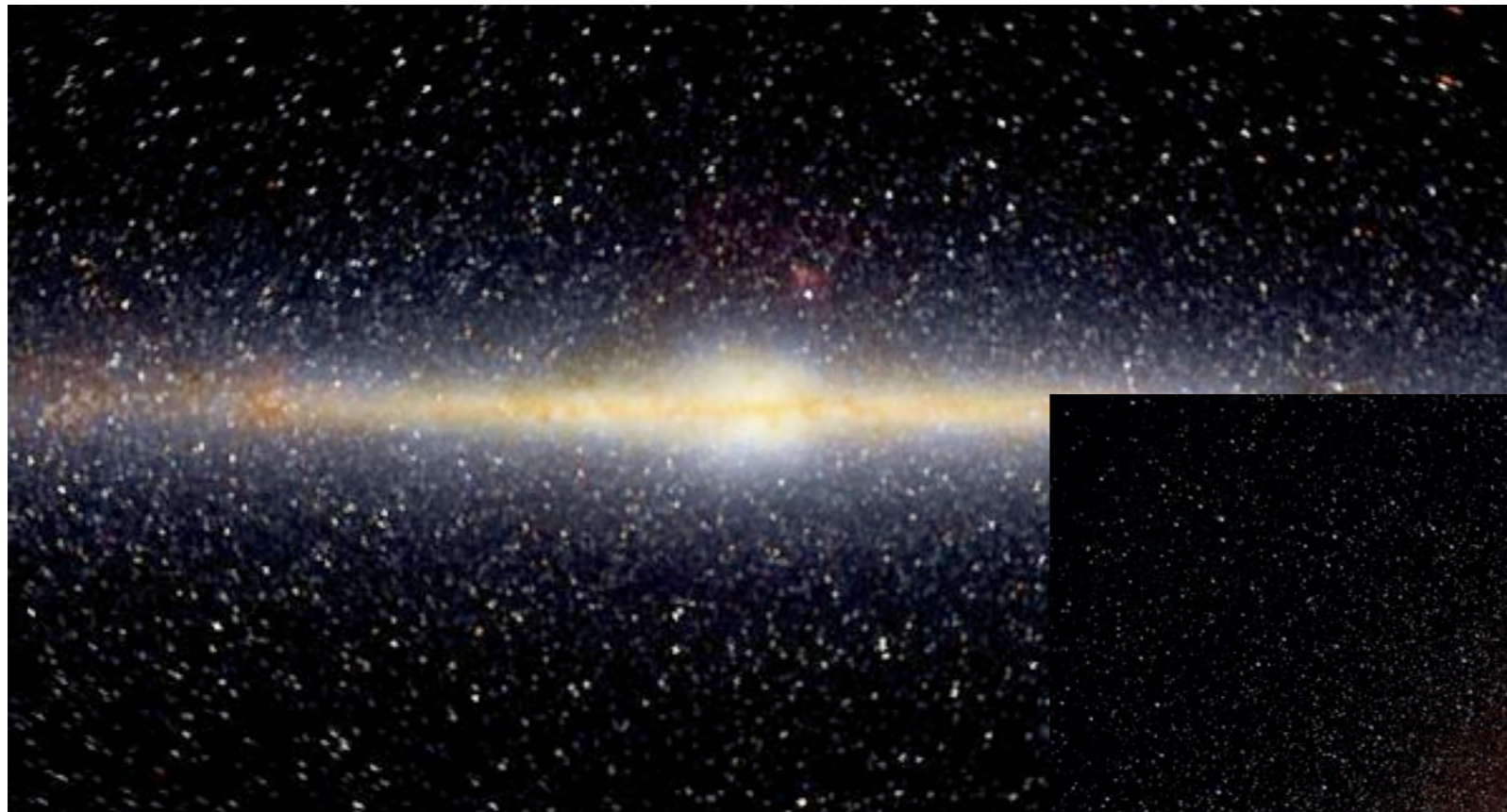
- 2 Mio Ly
- $d > 2 \times 10^5$  Ly



# Die Milchstrasse

---

- Sbc Galaxie; im Infrarotbereich



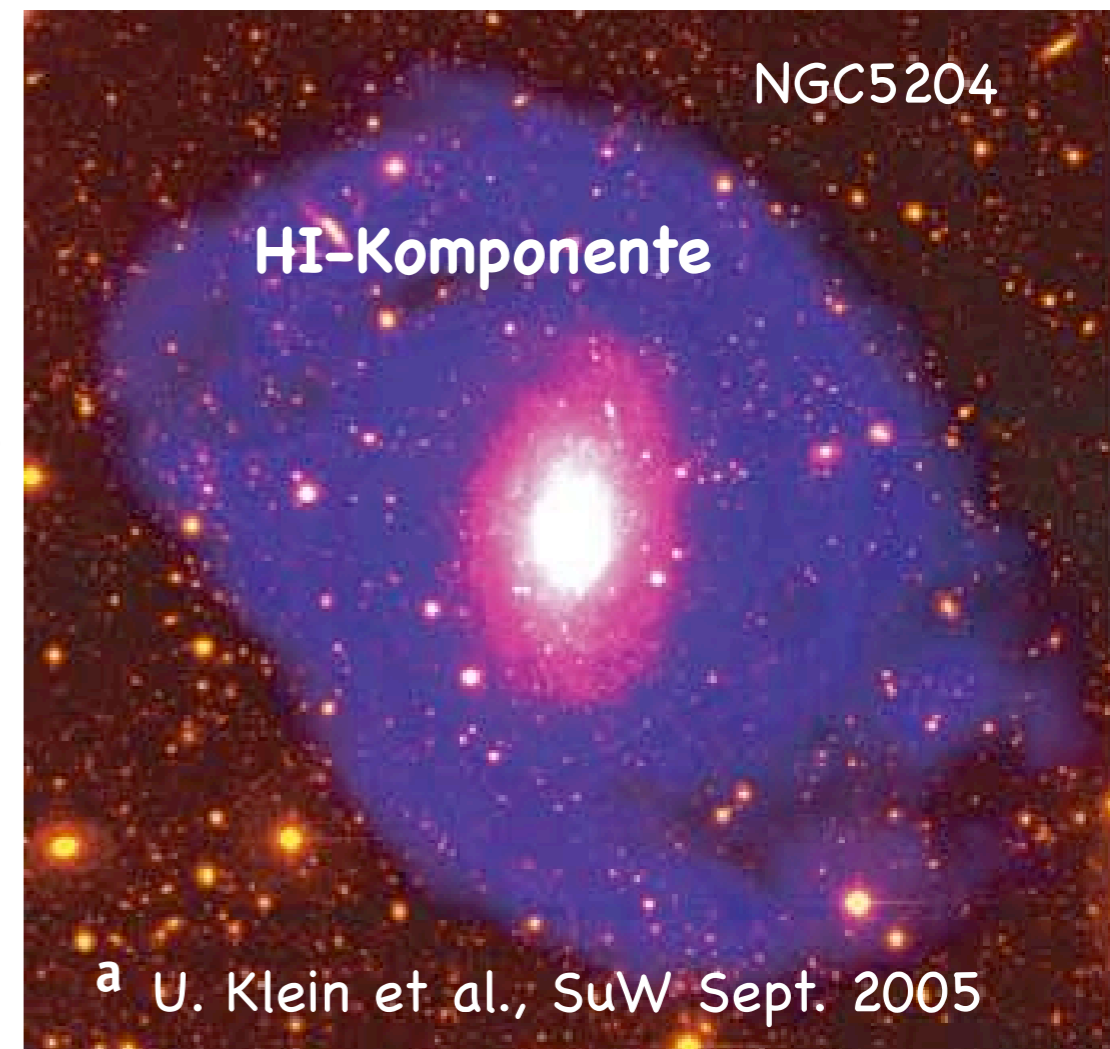
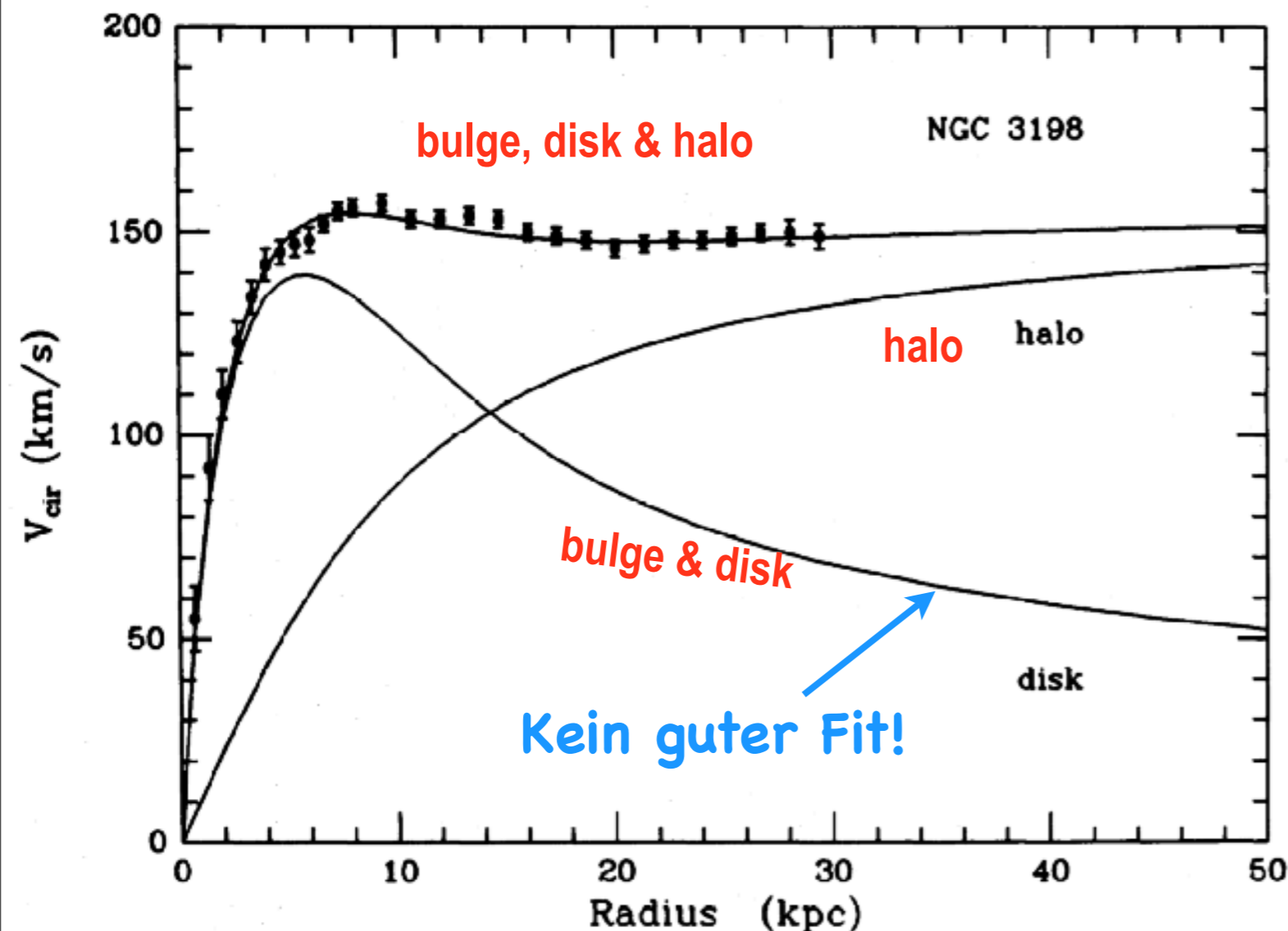
- im sichtbaren Licht



# Dunkle Materie in Galaxien

- Beobachtung von interstellarem Gas bei grossen Radien: die Rotationskurven sind flach, soweit man messen kann => 10 x mehr Materie, als man direkt sehen kann

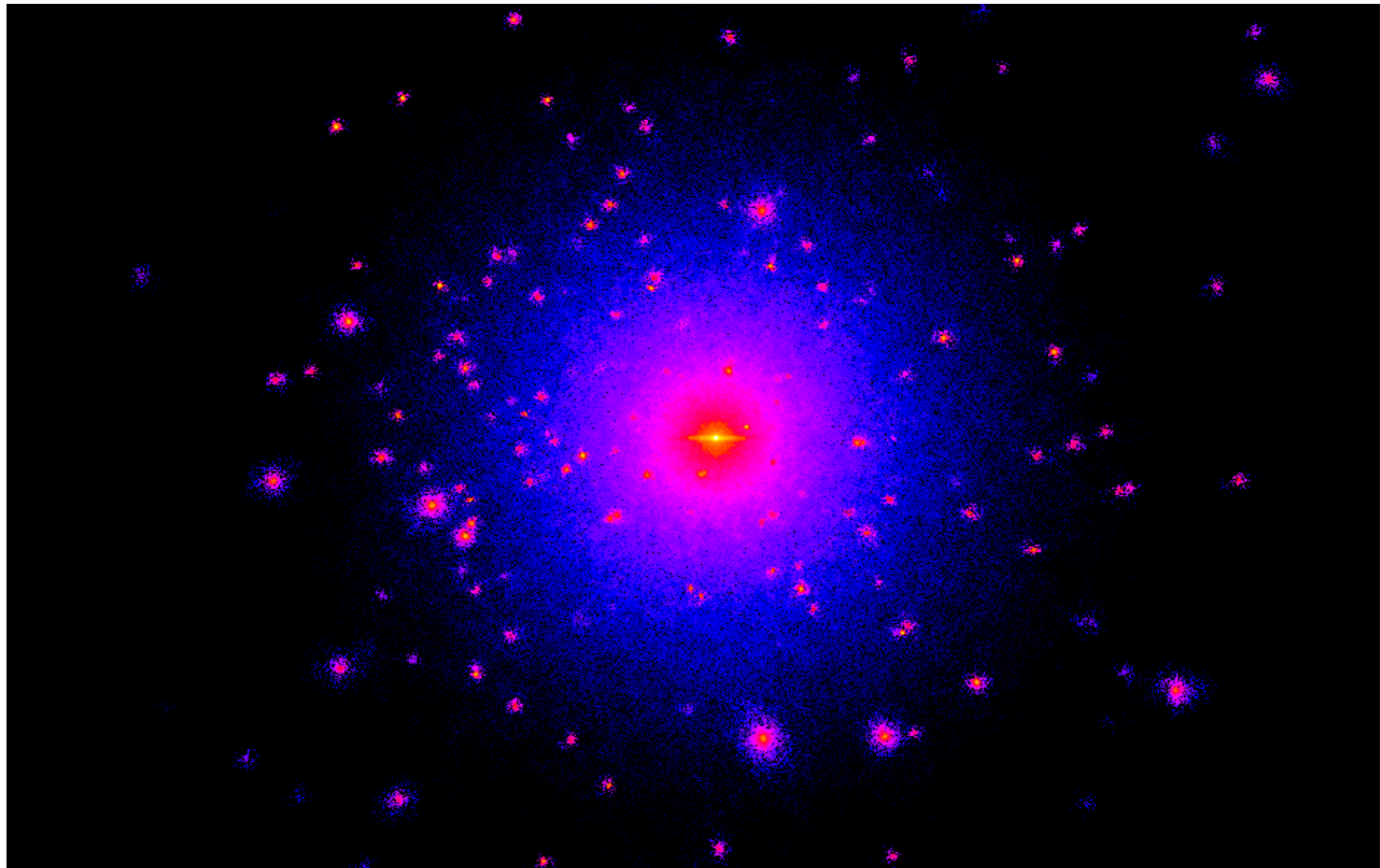
DISTRIBUTION OF DARK MATTER IN NGC 3198



# Dunkle Materie in Galaxien

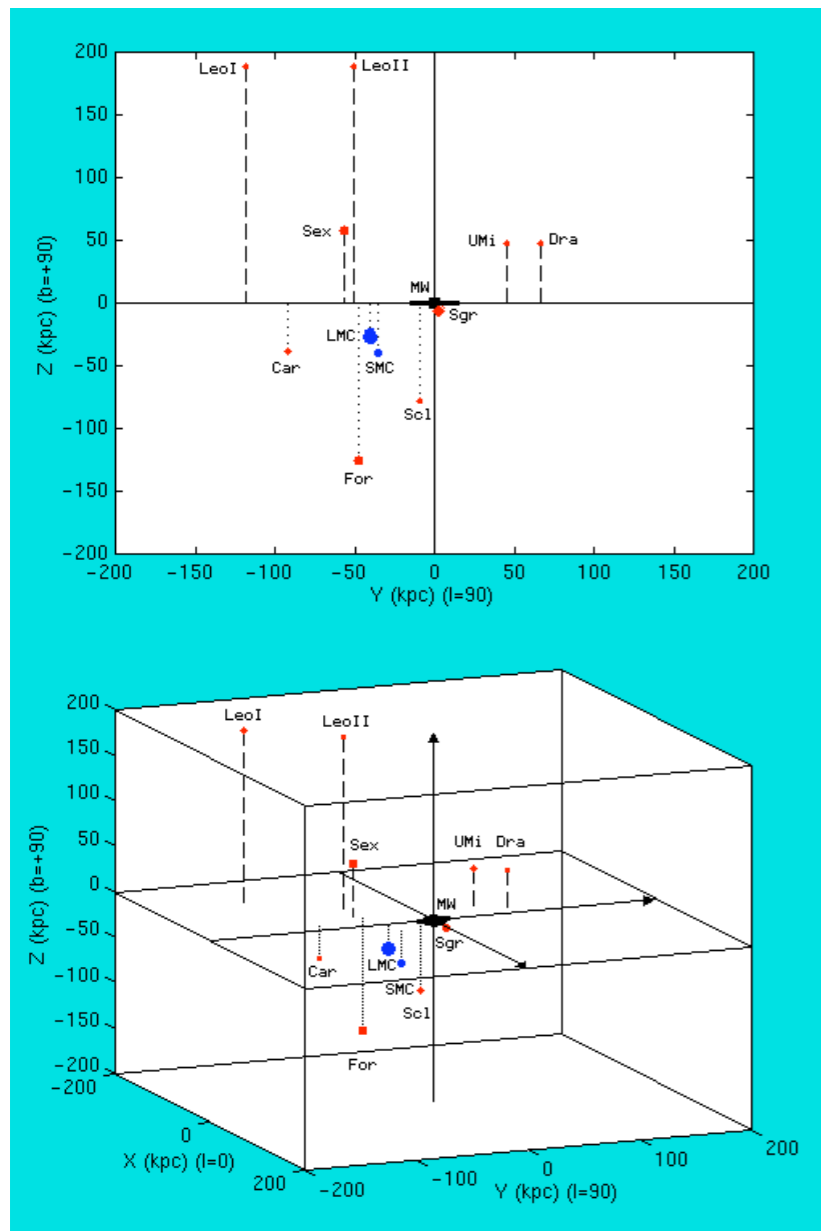
---

- Simulation: der dunkle Halo ist viel weiter ausgedehnt als der sichtbare Bereich



# Kleine und grosse magelansche Wolke (SMC/LMC)

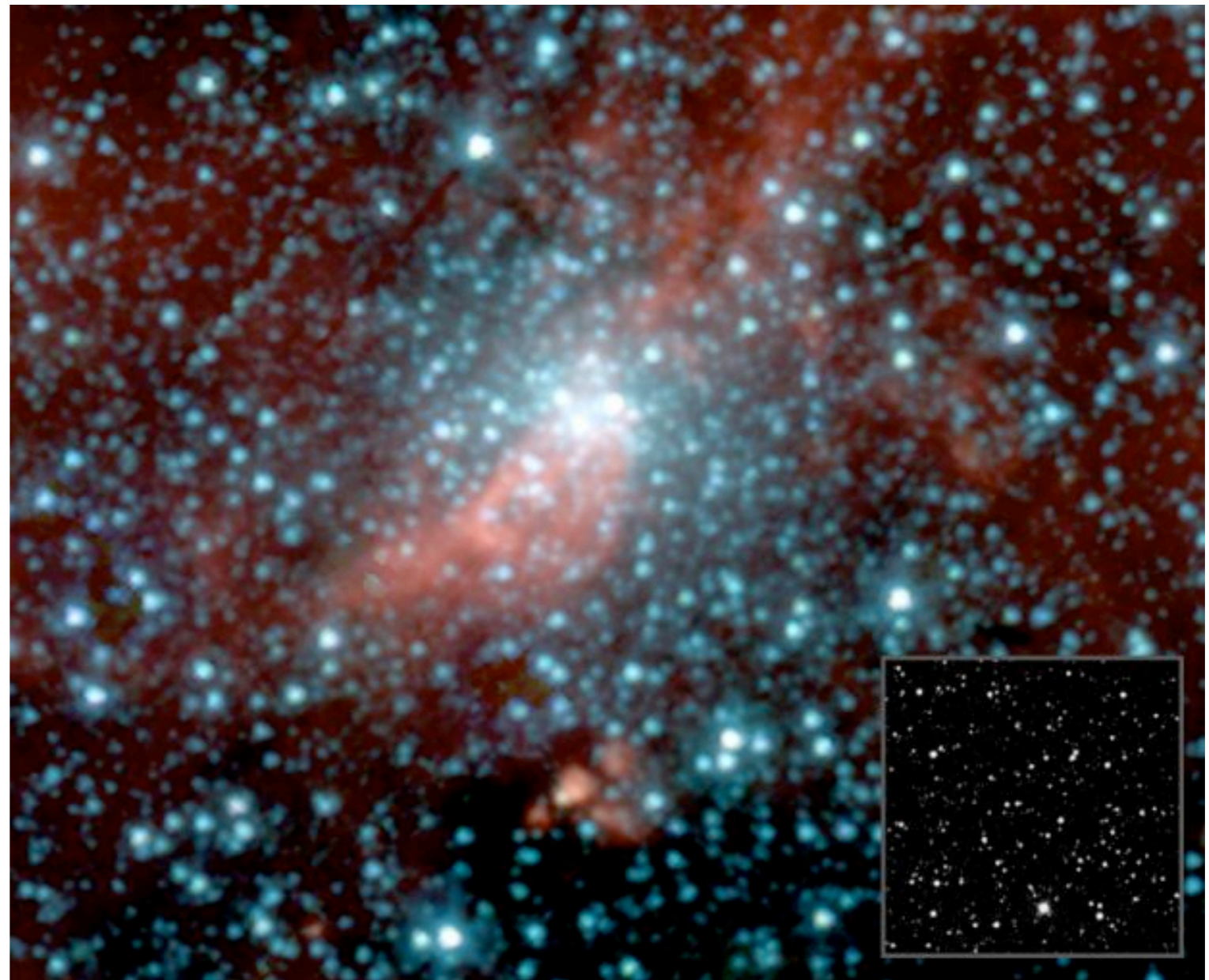
- 2 von 11 Zwerggalaxien, die um die Milchstrasse kreisen (Teil der “lokalen Gruppe” ~ 35 Galaxien)



# Sternhaufen in der Milchstrasse

---

- GLIMPSE-C01, 3-5 kpc,  $\sim 3 \times 10^5$  Sterne, in der Milchstrassenebene; IR-Bild des Spitzer Space Teleskops (kein Haufen im optischen -> Staub!)





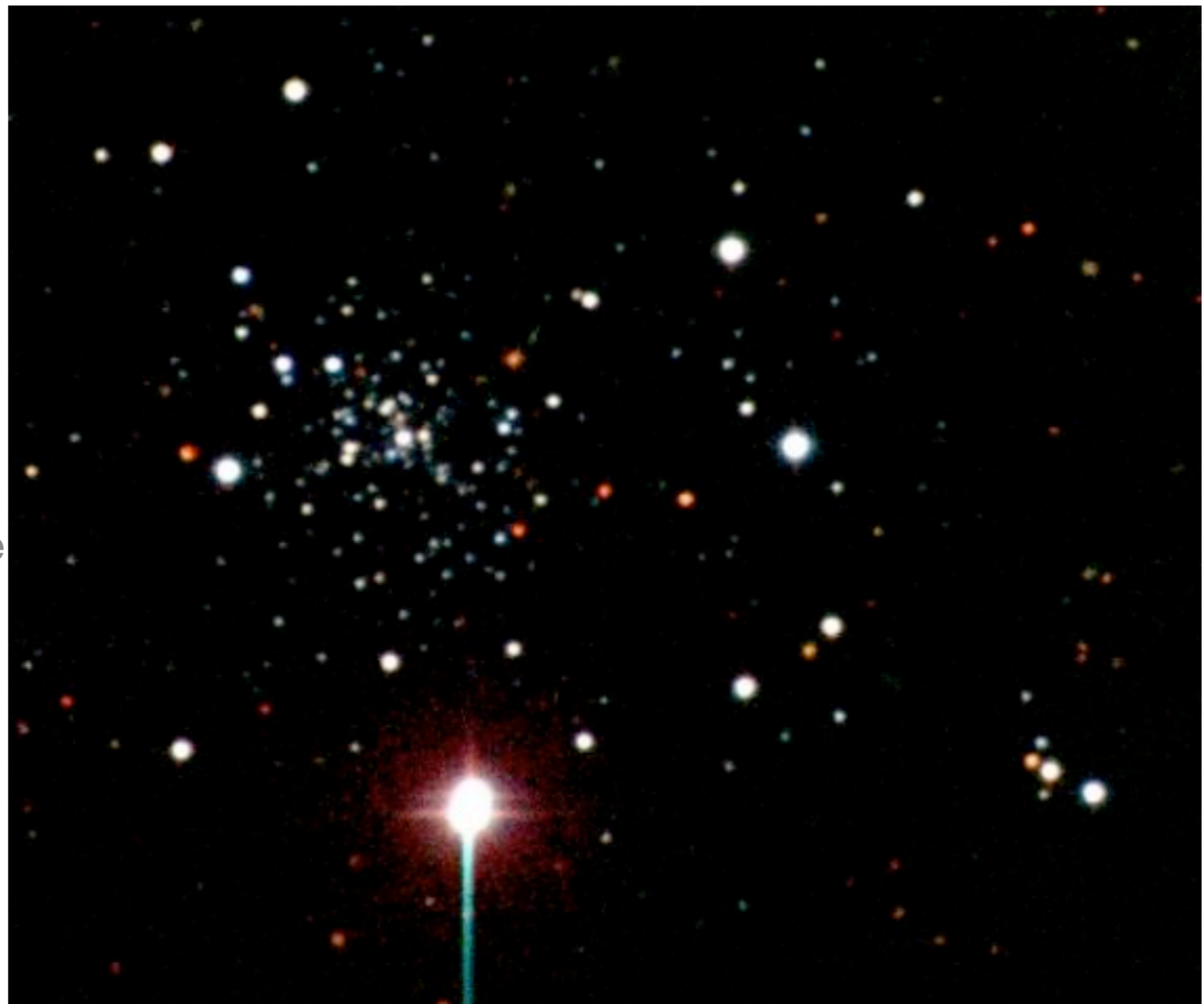
# Sterhaufen in der Milchstrasse

---

- Palomar 13: einer der kleinsten bekannten Sternhaufen in der MW, im Halo (~155 Haufen bekannt)



- Las Campanas Observatory, Chile



# Entwicklung der Sterne



# “Planetarische” Nebel

---

- Ende des Lebens eines Sterns mit Masse  $\sim M_{\text{Sonne}}$  (äussere Schalen expandieren, das Innere  $\rightarrow$  weissen Zwerg); NGC6369, Entfernung = 2Ly; D  $\sim$  1Ly; weisser Zwerg strahlt im UV; ionisiertes O, H, N in der Ringstruktur strahlt blau, grün und rot



# Supernovaüberreste

---

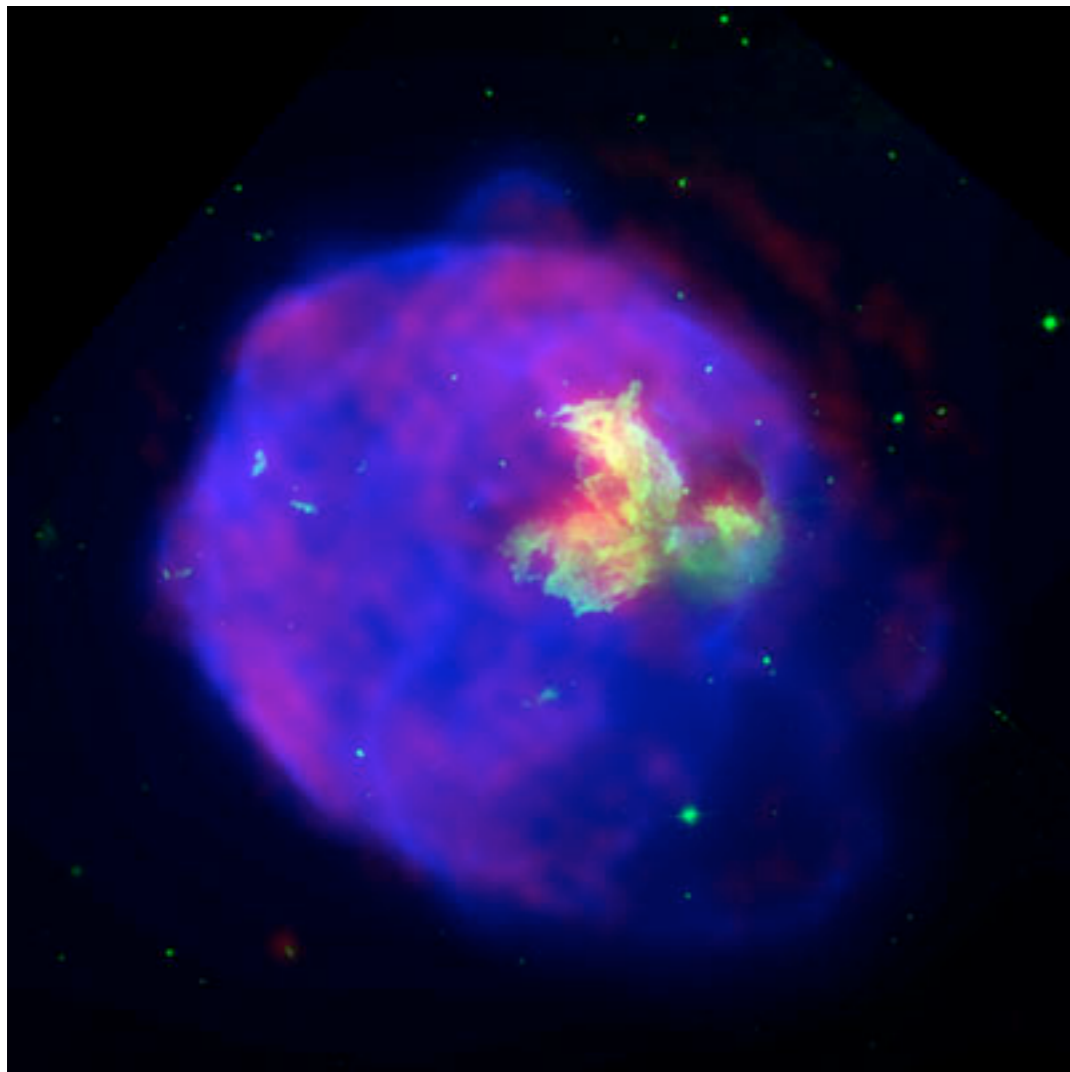
- Krebsnebel, ~ 6500 Ly
- $D \sim 12$  Ly
- SN in 1054, M1
- Zentrum: Pulsar
- (rotierender n-Stern, 30Hz)



# Supernovaüberreste

---

- LMC N 63A 50 kpc, in der Grossen Magelanschen Wolke



# Emissionsnebel

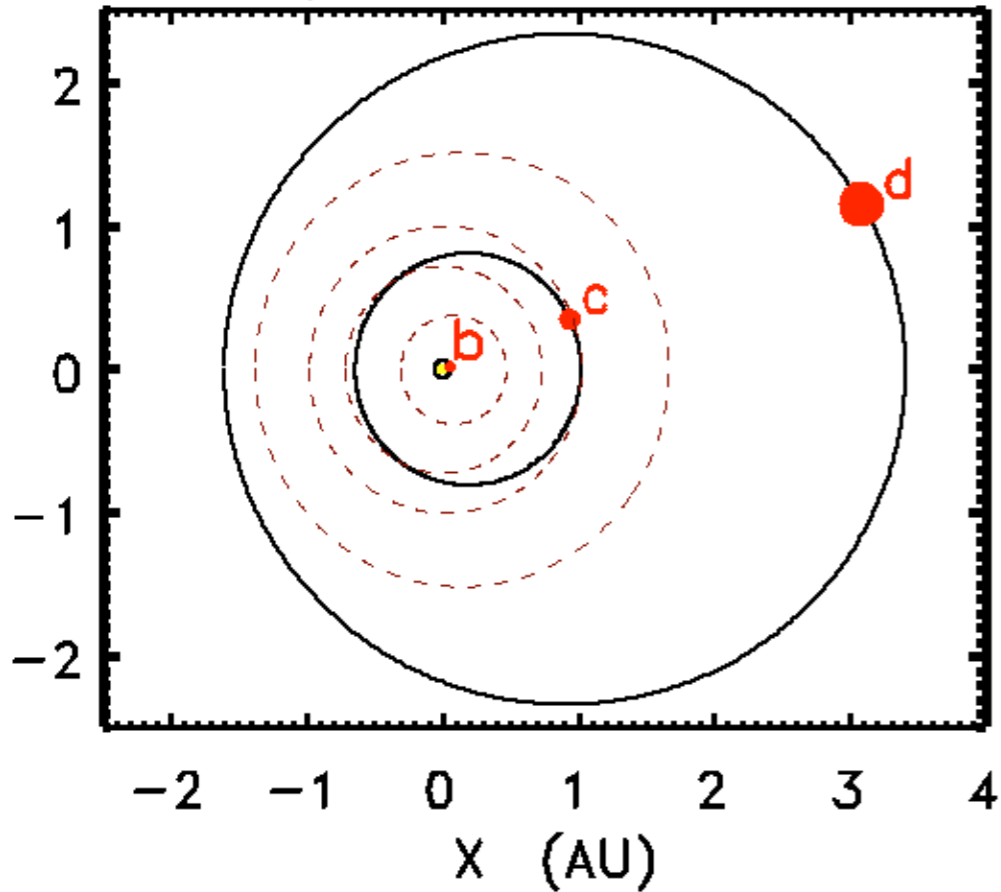
---

- Sternentstehungsregionen; IC396, D~20Ly; UV Licht der jungen Sterne ionisiert H-Atome; Rekombination => H-alpha Linie



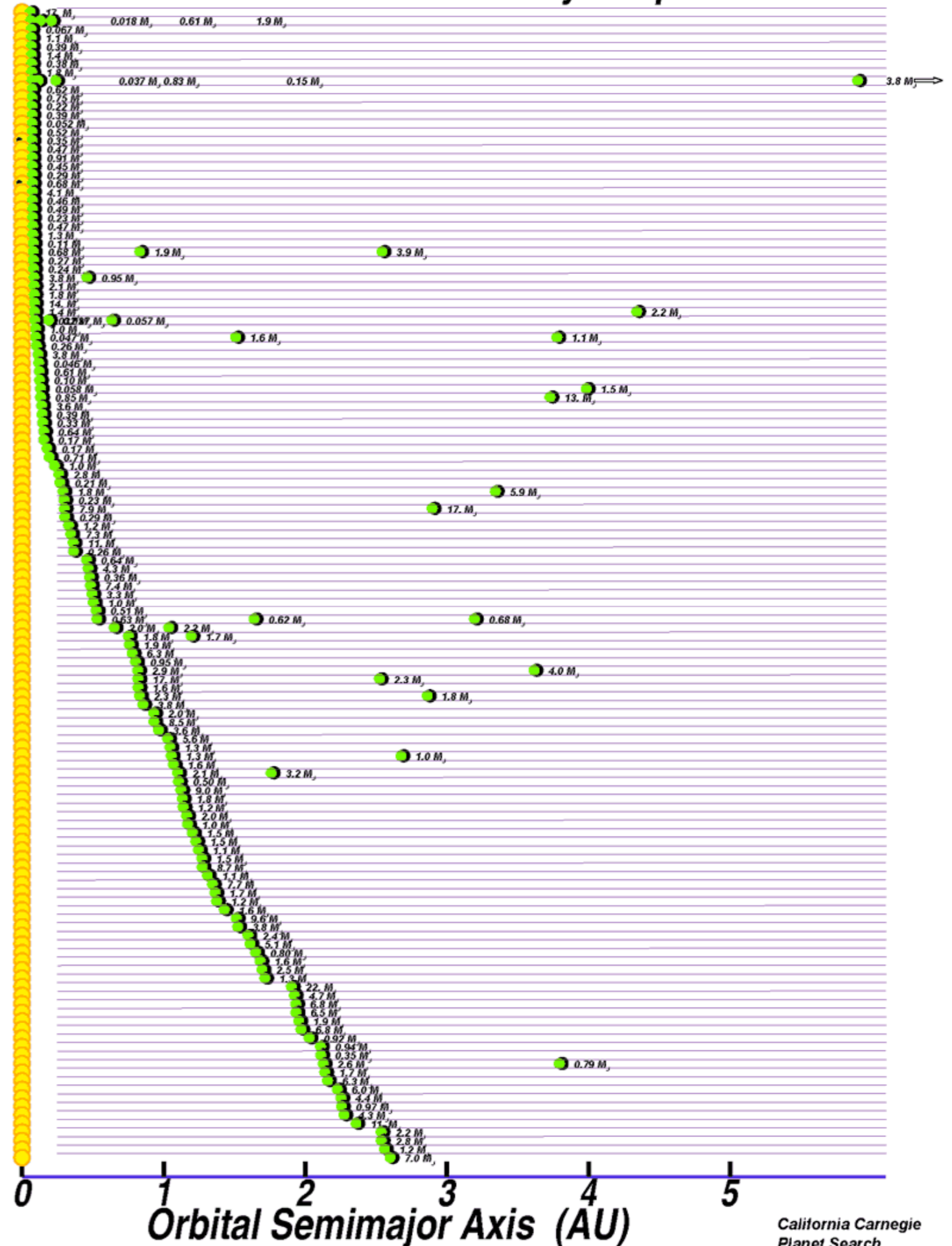
# Exoplaneten

## Upsilon Andromedae



- HD 41004 B
- GJ 876
- GJ 436
- HD 189733
- HD 212301
- HD 80501
- HD 63454
- HD 73256
- 55 Cnc
- HD 330075
- TrES-1
- HD 40375
- HD 83443
- GJ 581
- HD 101223
- HD 149026
- HD 2039
- HD 179849
- BD-10 3166
- 133
- 9458
- 30
- 289
- 2195
- 700
- 1
- 9143
- 674
- in And
- 9749
- 8746
- 1810
- 8203
- 988
- 2020
- 7107
- 830
- 0322
- a
- 8147
- 445
- 08
- 894
- 492
- 0360
- 529
- 5019
- 34
- 283
- 2263
- 2117
- 7618
- 4693
- B
- 605
- 7148
- 156
- 57
- 8443
- 1930
- 1504
- 8911 B
- 4762
- 141
- 6770
- 606
- 083
- 37
- 265
- 8487
- 124
- 526
- 943
- 74
- 4985
- 0706
- 9830
- 2206
- 4987
- 861
- 979
- 744
- 788
- 185
- 2
- 8874
- 2415
- 8311
- 109
- 964
- 4857
- D 210277
- D 4203
- D 114783
- D 188015
- D 177830
- D 20367
- Upsilon Ret
- to Dra
- D 147513
- D 222582
- D 20782
- D 65216
- D 19984
- D 141937
- D 183263
- D 23079
- D 47538
- D 4208
- 5 Cyg B
- D 41004 A
- D 114386
- D 137510
- D 213240
- D 81040
- D 11977
- D 45350
- D 111232
- D 10647
- D 114729
- D 164922
- 7 UMa
- Gamma Cep
- D 10597
- D 2039
- D 190228
- D 187085
- D 50554
- D 136718
- D 216437
- D 196050
- D 216435
- D 106252

# The 178 Known Nearby Exoplanets



### The Upsilon Andromedae System

<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
0.06 AU	0.83 AU	2.5 AU
4.6 day orbit	242 day orbit	3.5 year orbit
75% Jupiter's Mass	Twice Jupiter's Mass	4x Jupiter's Mass

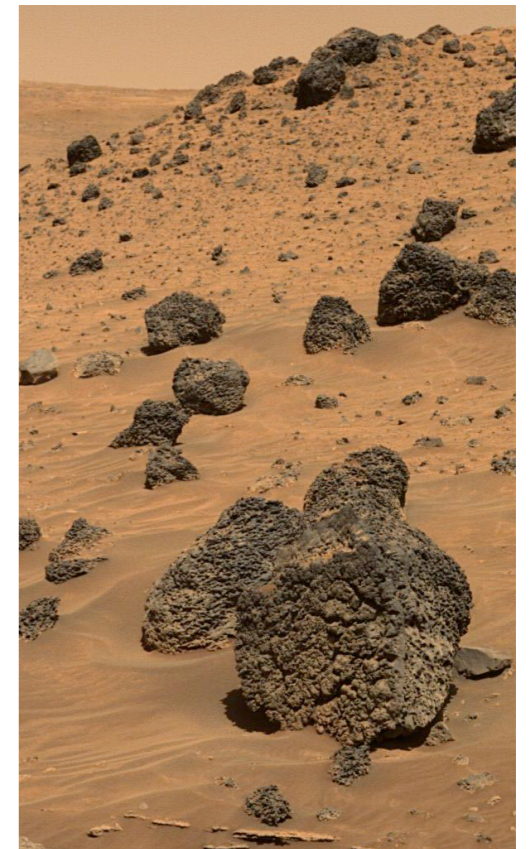
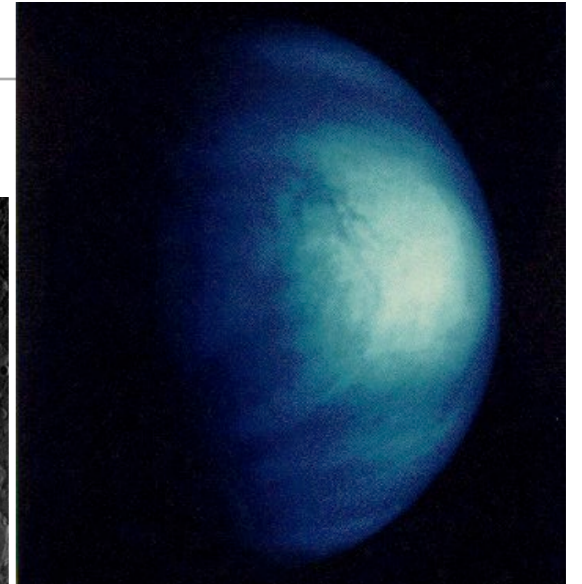
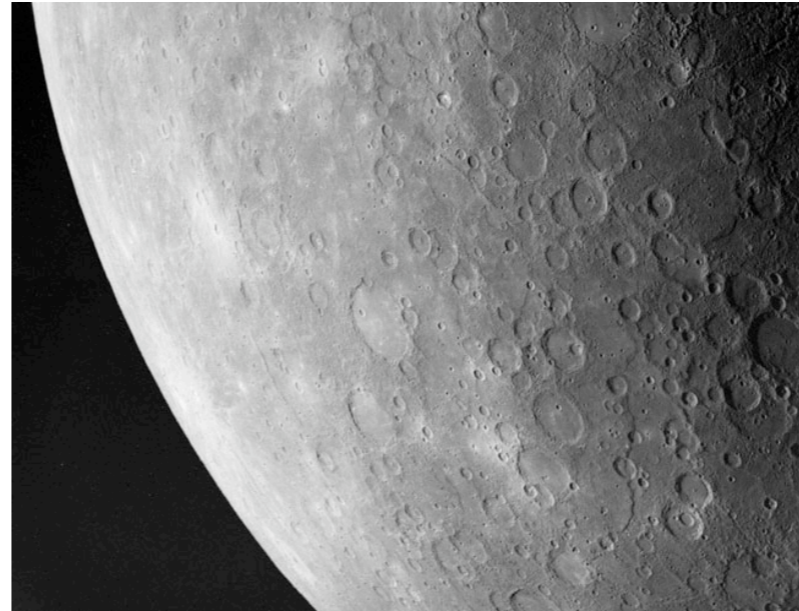
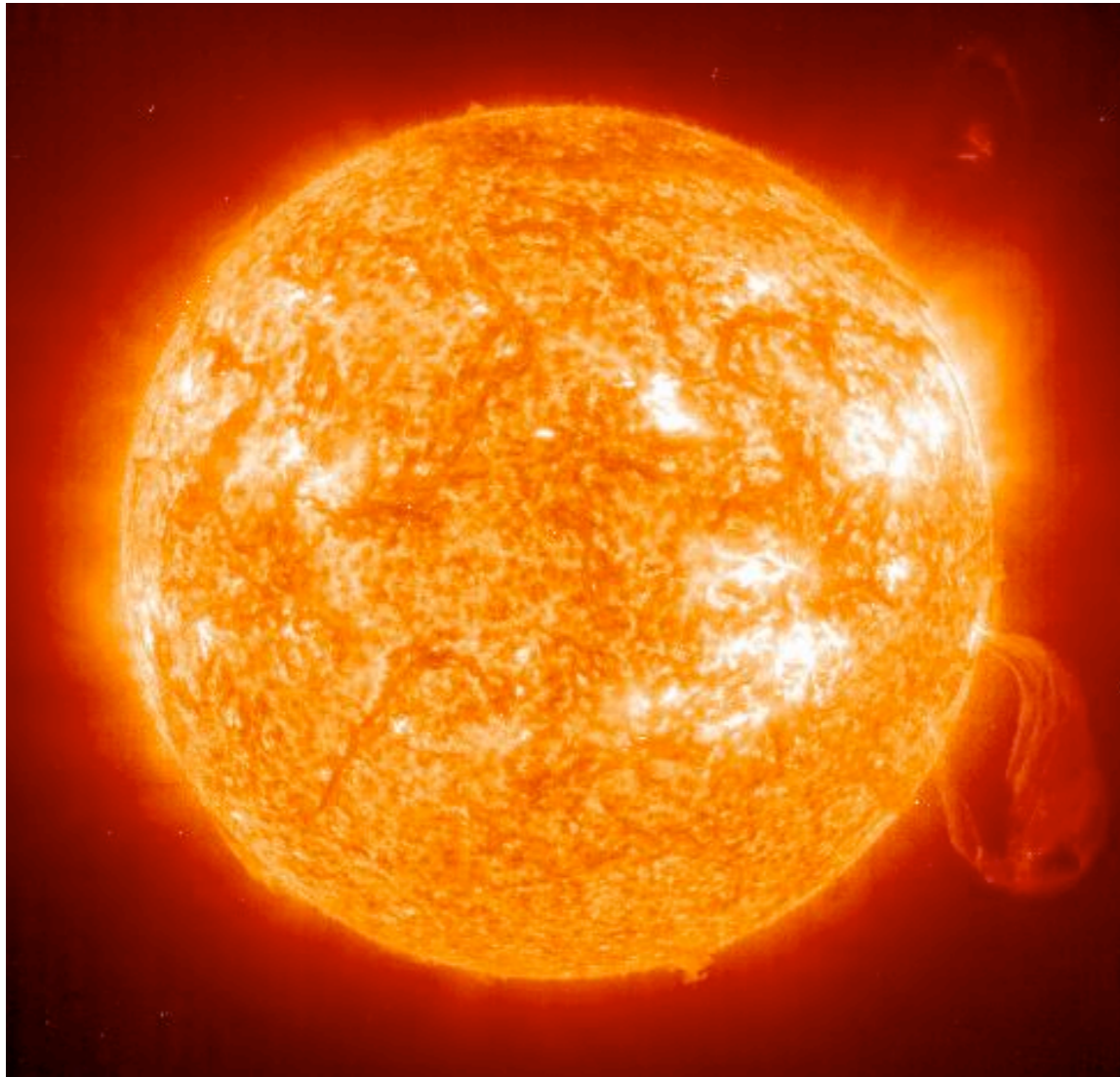
### Our Inner Solar System

<b>Mercury</b>	<b>Venus</b>	<b>Earth</b>	<b>Mars</b>
0.39 AU	0.73 AU	1.00 AU	1.54 AU
89-day orbit	228 day orbit	1 year orbit	1.9 year orbit

© Harvard-Smithsonian CfA (A. Conios), 1999

# Das Sonnensystem

---

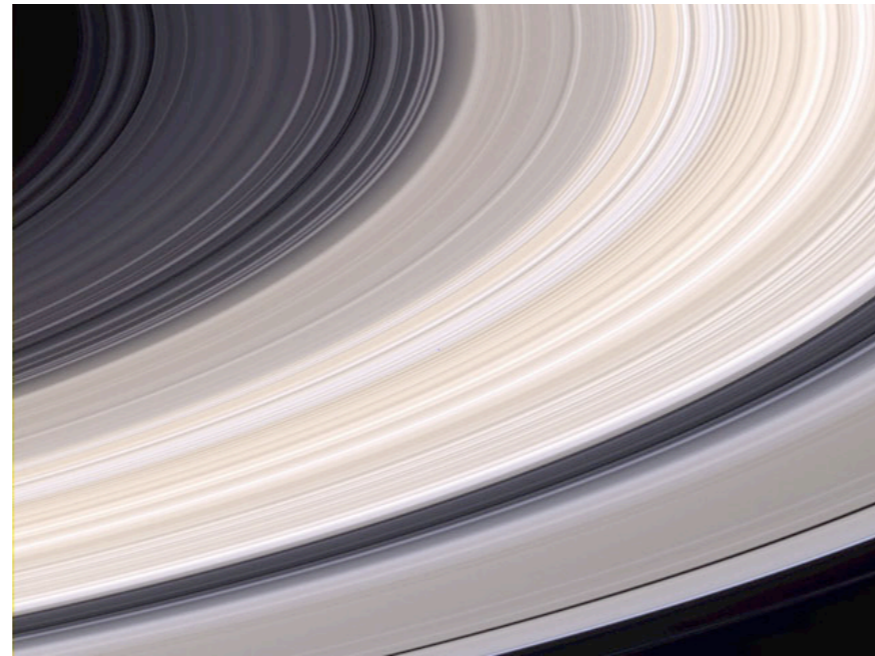


Credit: NASA, ESA

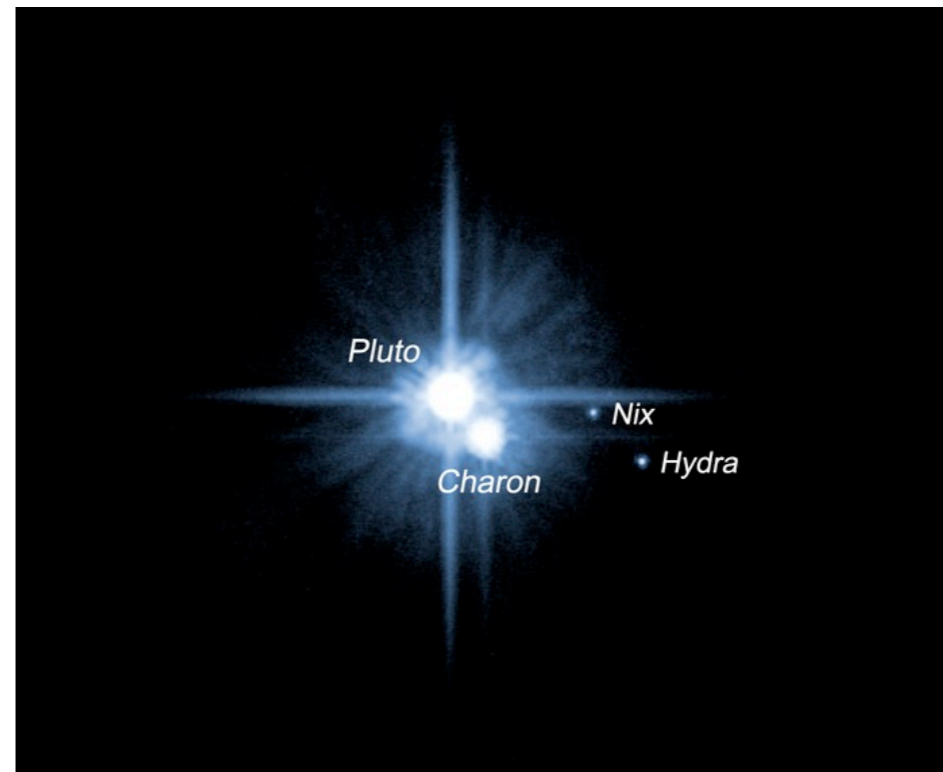
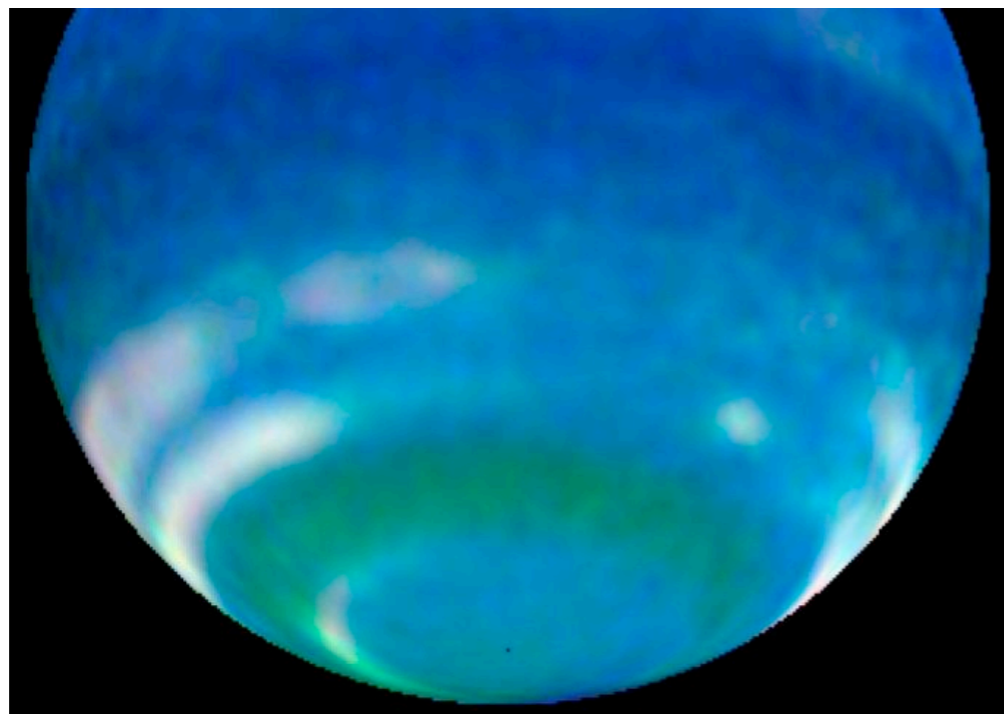


# Das Sonnensystem

---



Credit: NASA, ESA



# Kosmische Hierarchien

---

Object	$\rho$ [g cm <sup>-3</sup> ]	$n_p$ [cm <sup>-3</sup> ]	$\delta\rho/\rho$	Radius	D/R	$V_{rel.}$ [km s <sup>-1</sup> ]	$N_{smallobj.}$
Universe	$10^{-30}$	$10^{-6}$	0	6 Gpc	-	-	$10^9$
groups/clusters	$10^{-28}$	$10^{-4}$	$10^2$	1 Mpc	10	500	$10^2$
galaxies	$10^{-24}$	$10^0$	$10^6$	10 kpc	20	700	$10^{11}$
stars	$10^{+1}$	$10^{24}$	$10^{30}$	$10^6$ km	$10^8$	300	-
neutron-stars	$10^{14}$	$10^{38}$	$10^{44}$	$10^1$ km	-	-	-

$\rho$ : mass density

$n_p$ : proton number density

$\delta\rho/\rho$ : over density relative to mean density of the universe

R: average radius of objects

D/R: average distance between objects relative to their size

$V_{rel.}$ : typical relative velocity between objects

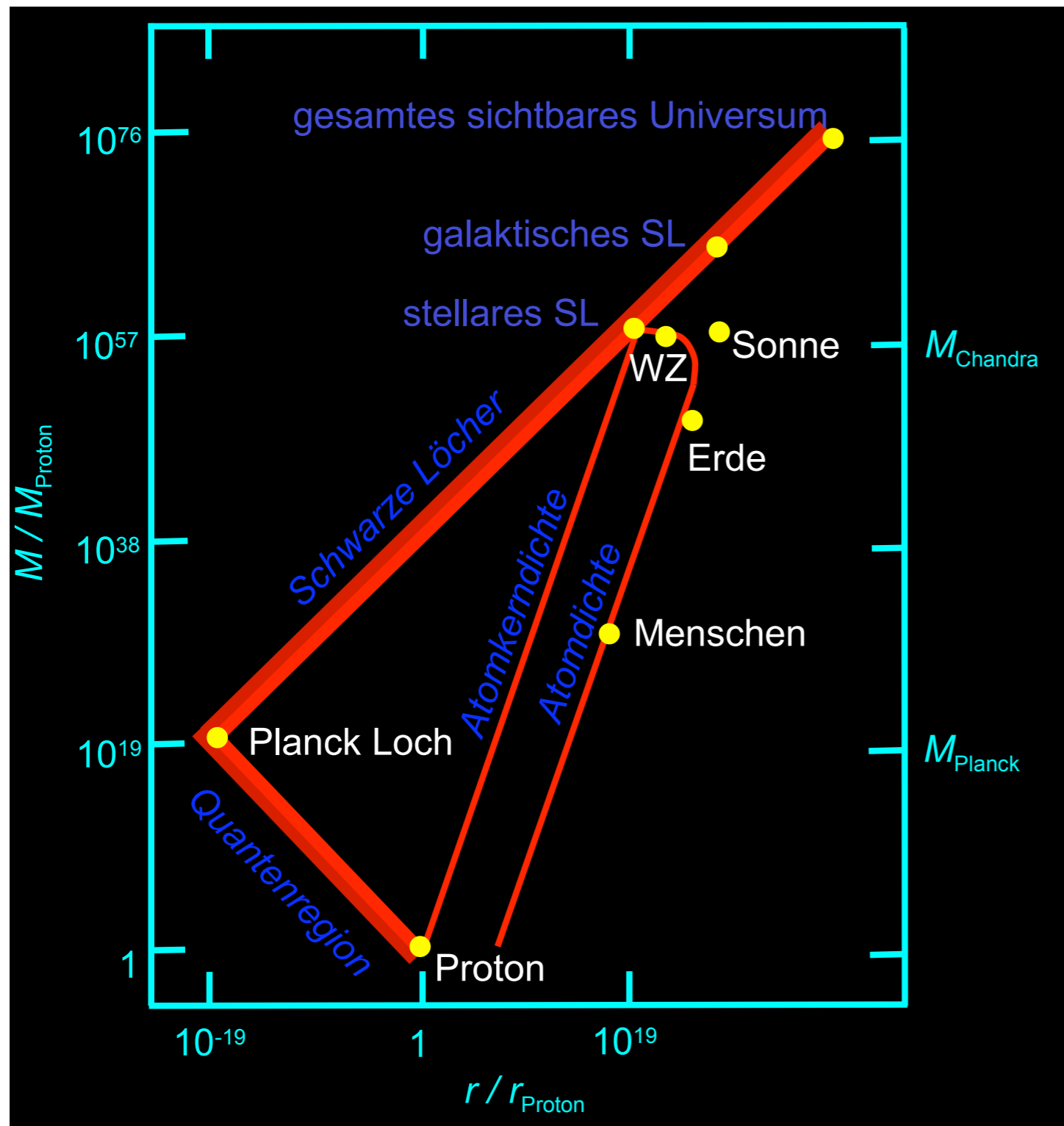
$N_{smaller}$ : number of next smaller objects contained in structure

# Kosmische Hierarchien

Object	length [m]
Elektron	$2.8 \cdot 10^{-15}$
Bohr-Radius	$5.3 \cdot 10^{-11}$
ISM dust	$3 \cdot 10^{-7}$
Blue whale	$3 \cdot 10^{+1}$
Comet (core)	$5.5 \cdot 10^{+3}$
Neutron star	$1 \cdot 10^{+4}$
Sun	$7 \cdot 10^{+8}$
Astron. Unit	$1.5 \cdot 10^{11}$
Lightyear	$9.46 \cdot 10^{15}$
1 Parsec	$3.08 \cdot 10^{16}$
next star	$4 \cdot 10^{16}$
globular cluster	$4 \cdot 10^{18}$
Milky Way Galaxy	$8 \cdot 10^{20}$
Distance M 31	$2 \cdot 10^{22}$
Diameter Virgo	$1 \cdot 10^{23}$
Distance Virgo	$7 \cdot 10^{23}$
Universe	$1 \cdot 10^{27}$

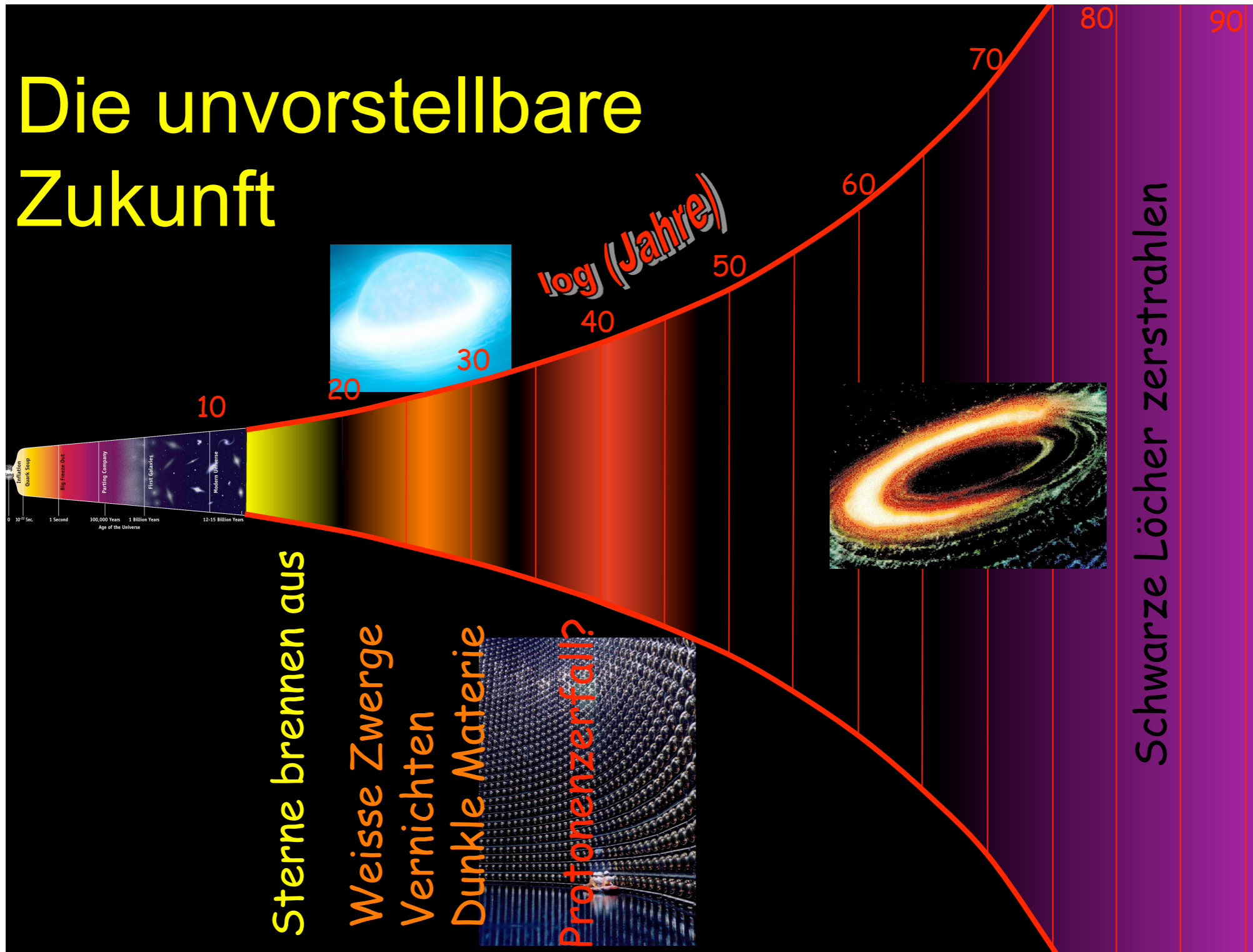
Object	Mass [kg]
Elektron	$9.11 \cdot 10^{-31}$
Proton	$1.67 \cdot 10^{-27}$
$Z_0$	$1.60 \cdot 10^{-25}$
Planck mass	$1.67 \cdot 10^{-27}$
Tyrannosaurus Rex	$10^5$
Comet	$1 \cdot 10^{13}$
Mountain	$3 \cdot 10^{14}$
Planetoid	$3 \cdot 10^{19}$
Earth moon	$7.3 \cdot 10^{22}$
Earth	$6.0 \cdot 10^{24}$
Jupiter	$1.9 \cdot 10^{27}$
Sun	$2.0 \cdot 10^{30}$
Globular Cluster	$1 \cdot 10^{36}$
Milky Way galaxy	$2 \cdot 10^{42}$
Coma gal.-cluster	$2 \cdot 10^{45}$
Universe	$4 \cdot 10^{51}$

# Masse gegen Radius



# Die Zukunft

## Die unvorstellbare Zukunft



# Inhalt der Vorlesung (WS 06/07)

---

- Einführung/Überblick
- Strahlung und Materie
- Astronomische Instrumente
- Sterne: Zustandsgrößen
- Sterne: Atmosphären, die Sonne
- Sterne: innerer Aufbau
- Sterne: Entwicklung und Endstadien
- Interstellare Materie und Sternentstehung
- Die Milchstrasse: Koordinaten, Entfernungsbestimmungen
- Die Milchstrasse: Struktur, Kinematik, galaktisches Zentrum
- Galaxien: Klassifikation, dynamischer Aufbau
- Galaxien: Entwicklung
- Galaxien: aktive Galaxienkerne
- Dunkle Materie in Galaxien
- SS2007: Galaxienhaufen und Gravitationslinsen, Friedmann Kosmologie und expandierendes Universum, thermische Geschichte des Universum, Inflation, Dichtefluktuationen im frühen Universum und Strukturbildung, kosmische Hintergrundstrahlung, kosmologische Parameter und WMAP, Lyman-alpha Wald, Galaxien bei hoher Rotverschiebung, Supernovae Ia und dunkle Energie

# Vorlesung: Astronomie und Astrophysik I

<http://www.physik.rwth-aachen.de/~lbaudis/astroph0607/index.html>

## Wintersemester 2006/2007

**Übersicht:** die zweisemestrige Vorlesung liefert eine Einführung in die Astronomie/Astrophysik mit Schwerpunkt auf Sterne, galaktische und extragalaktische Astrophysik und Kosmologie. Sie ist vorwiegend an Physikstudenten im Hauptstudium gerichtet.

**Dozentin:** Prof. Dr. Laura Baudis, Physikzentrum 28A218, Sommerfeldstr.14, [laura.baudis@rwth-aachen.de](mailto:laura.baudis@rwth-aachen.de), Telefon: (0241) 802 7206.



## Termine und Ort:

	Zeit	Raum
Vorlesung	Do, 9:30 - 11:00	28A102 (Physikzentrum)
Übung	Mi, 14:00 - 15:30	28B201 (Physikzentrum)

**Literatur:** A. Unsöld, B. Baschek, Der neue Kosmos, Springer 2004; P. Schneider, Extragalaktische Astronomie und Kosmologie, Springer 2006, B.W. Carroll, D.A. Ostlie, Modern Astrophysics, Addison Wesley 1996, A. Weigert, H.J. Wendker, L. Wisotzki, Astronomie und Astrophysik, Wiley-VCH 2005. Eine komplette Liste ist unter dem link "Literatur" aufgeführt.

**Voraussetzungen:** Grundkenntnisse in Physik (Vorlesungen des Grundstudiums), Interesse am Thema. Kenntnisse in der speziellen und allgemeinen Relativitätstheorie sowie in der Teilchenphysik sind von Vorteil.

**Noten/Scheine:** es werden keine Klausuren geschrieben und keine Noten vergeben. Aktive Teilnahme und Beteiligung an der Vorlesung und an den Übungen sind jedoch Voraussetzung für einen Schein und für die Zulassung zur Prüfung.

**Feiertage/Ferien (keine Vorlesung/Übung):** 1. November 06, 21. Dezember 06 - 5. Januar 07

**Hinweis:** bitte melden Sie sich auf [physik.multimedial](http://physik.multimedial.rwth-aachen.de) für den Kurs an. Das Passwort wird in der ersten Vorlesung bekanntgegeben.

zuletzt geändert: 13. Oktober, 2006, Laura Baudis