

Galaxien

1) Hubble Reihe:

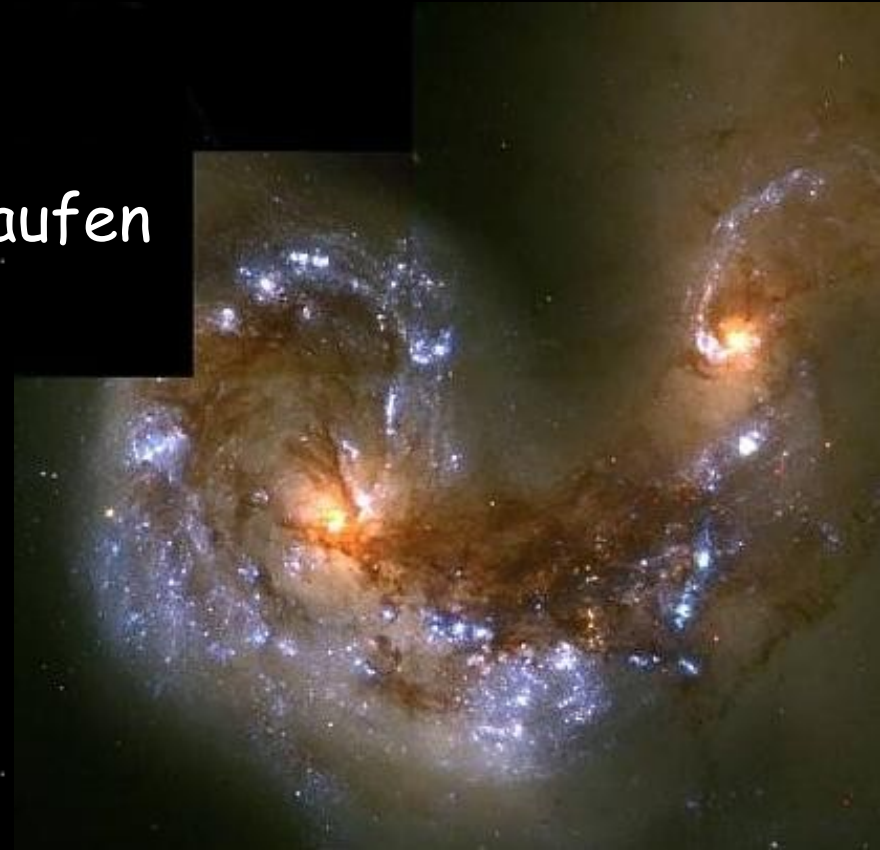
- Spiralgalaxien
- Elliptische Galaxien
- Irreguläre Galaxien

2) Die Lokale Gruppe

3) Galaxienhaufen und Superhaufen

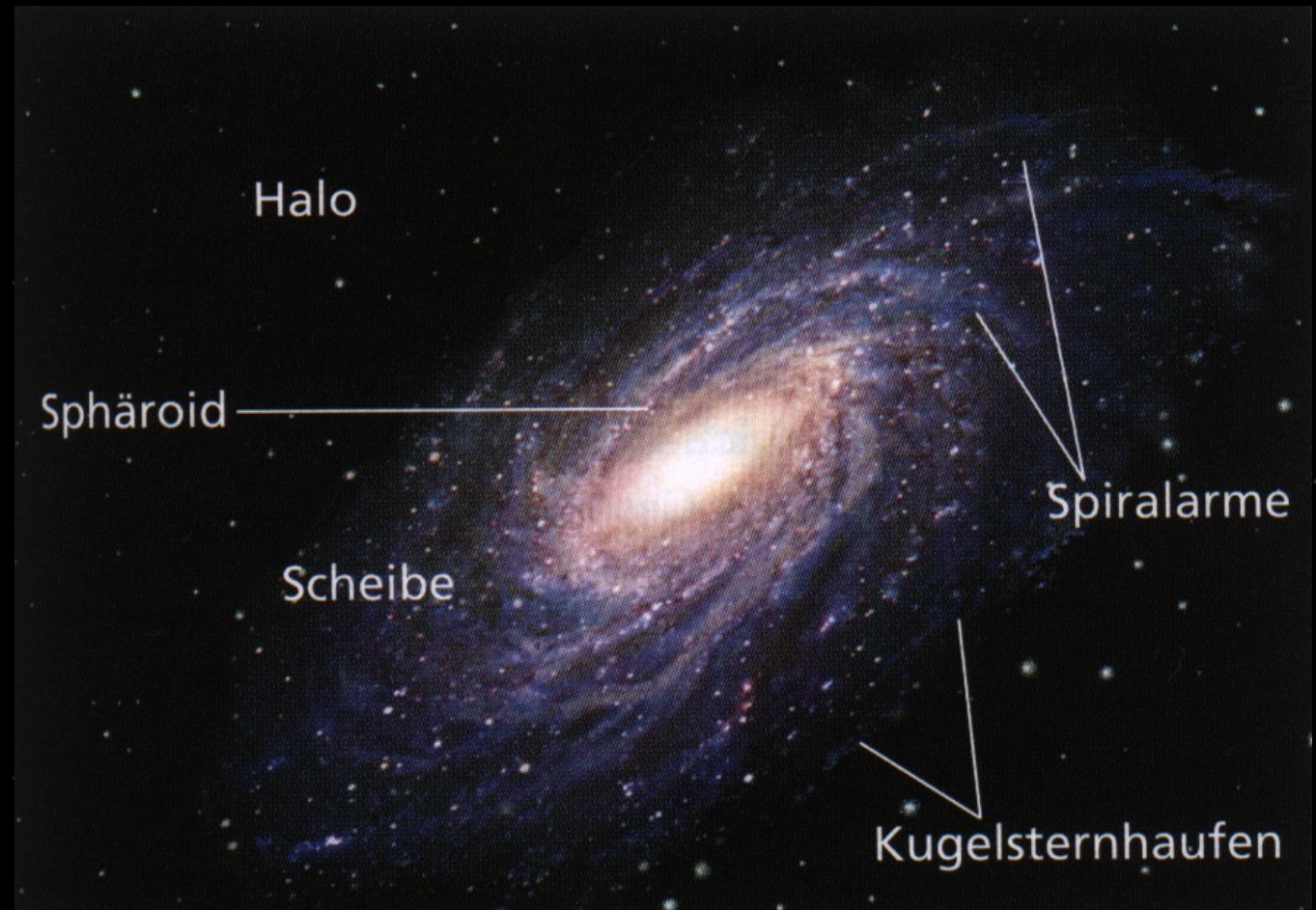
4) Galaxienaktivität

- Galaxienstöße
- Starburst
- Quasare
- AGN

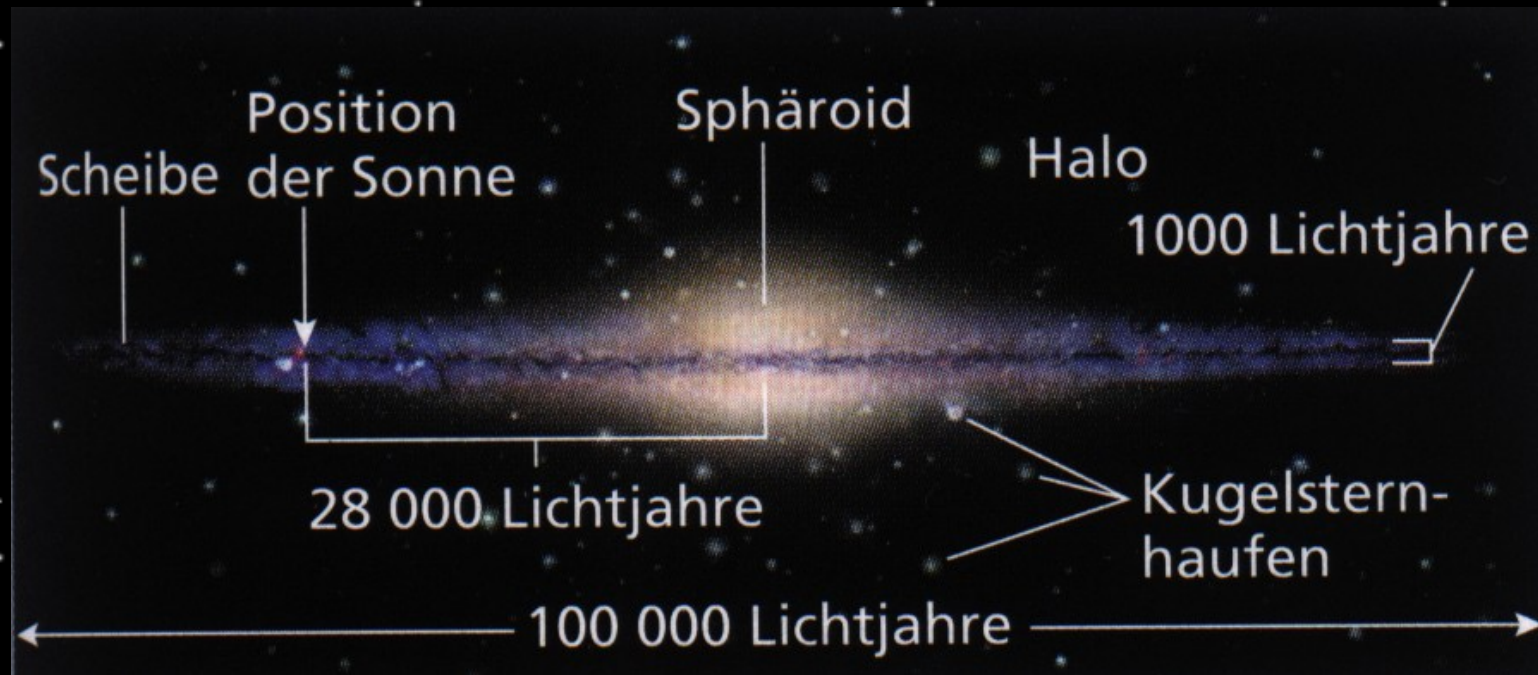


Unsere Milchstrasse

Anzahl Sterne 10^{11}
Helligkeit $10^{10} L_{\odot}$



Unsere Milchstrasse



Durchmesser 10^5 ly (light years - Lichtjahre)

Abstand zum naechsten Stern 1 ly

Abstand zur naechsten Galaxie 10^5 ly

Anzahl der Galaxien im sichtbaren Universum $> 5 \times 10^{10}$

Spiralgalaxien



Sa

NGC 1357



Sb

M81



Sc

NGC 4321

Anzahl Sterne

10^{11}

Helligkeit

$10^{10} L_{\odot}$

Durchmesser

10^5 ly

Spiralgalaxien



Sa

NGC 1357



Sb

M81



Sc

NGC 4321

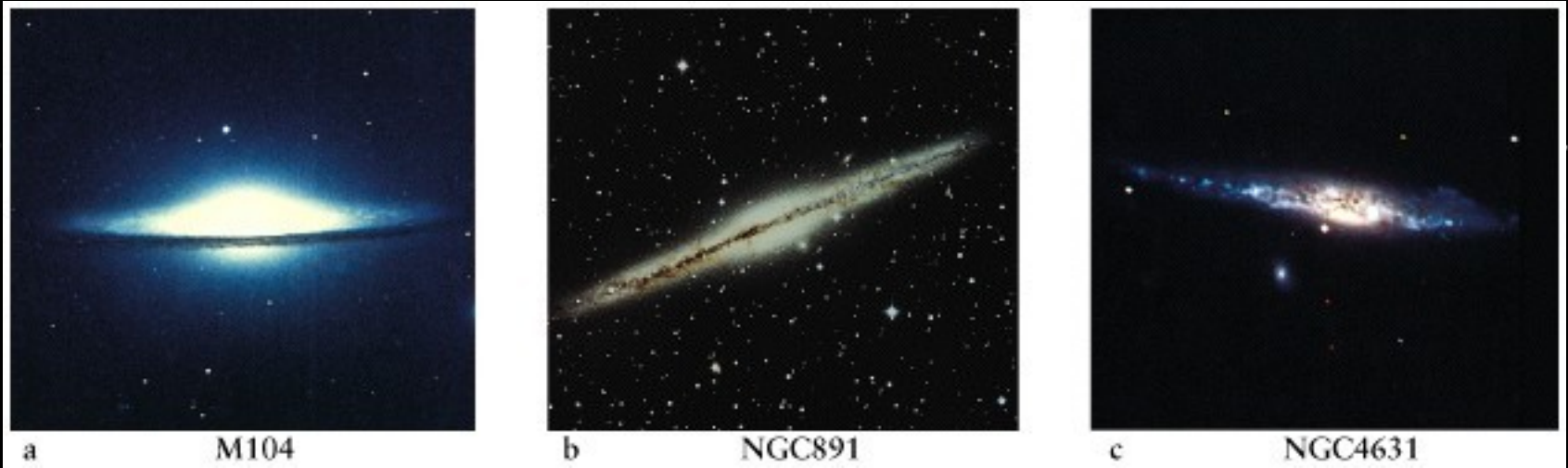
Klassen:

Sa großer Bulge + eng gewundene Arme

Sb mittlerer Bulge + weitere Arme

Sc kleiner Bulge + weite Arme

Spiralgalaxien



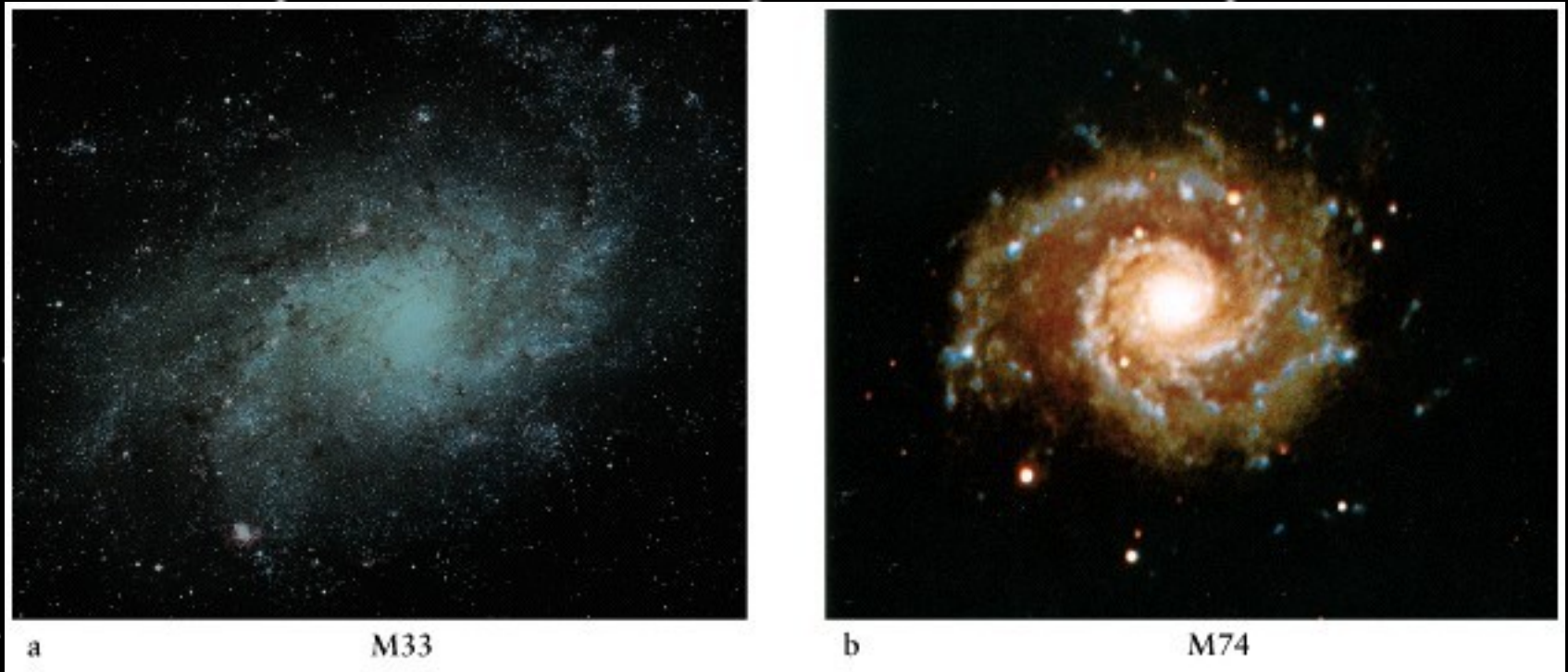
Klassen:

Sa großer Bulge + eng gewundene Arme

Sb mittlerer Bulge + weitere Arme

Sc kleiner Bulge + weite Arme

Spiralarme



- Sichtbar durch O,B Sterne, HII, (nur 5% mehr Sterne)
- Arme folgen der Drehung der Galaxie
- Klassen:

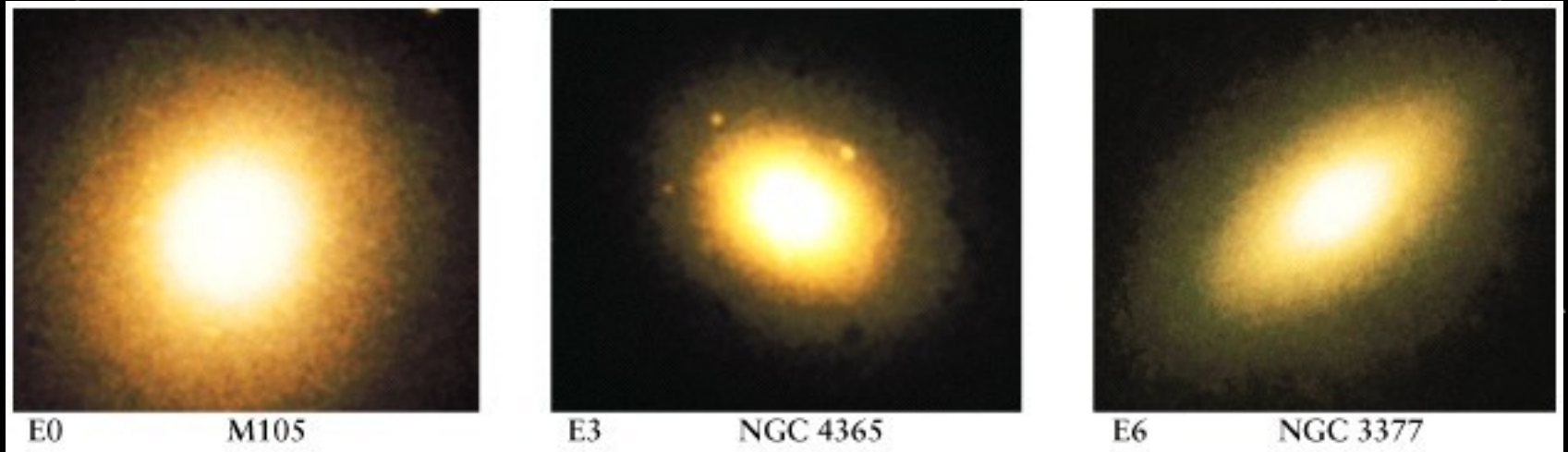
Diffus

„floculent spirals“

Klar

„Grand-design spirals“

Elliptische Galaxien



Klassen:

Rund E0 - Elliptisch E7

(Unterschied wahrscheinlich nur Projektionseffekt)

Elliptische Galaxien bestehen fast ausschließlich aus alten Sternen und bilden keine neuen mehr - sie enthalten kaum Staub und Gas

Elliptische Galaxien



Elliptische Galaxien haben sehr unterschiedliche Groessen:

(vgl. Spiralgalaxien)

Anzahl Sterne

$10^6 - 10^{14}$

(10^{11})

Helligkeit

$10^5 - 10^{13} L_{\odot}$

($10^{10} L_{\odot}$)

Durchmesser

$3 \times 10^3 - 2 \times 10^6 \text{ ly}$

(10^5 ly)

Zwerggalaxien sind viel häufiger als riesige Elliptische

Irreguläre Galaxien



LMC

unser drittnächster Begleiter: 160000 ly Entfernung
62 000 ly Durchmesser, $10^{10} M_{\odot}$

Leo I, Antlia & der Sagittarius Zwerg



~270 kpc



~1150 kpc

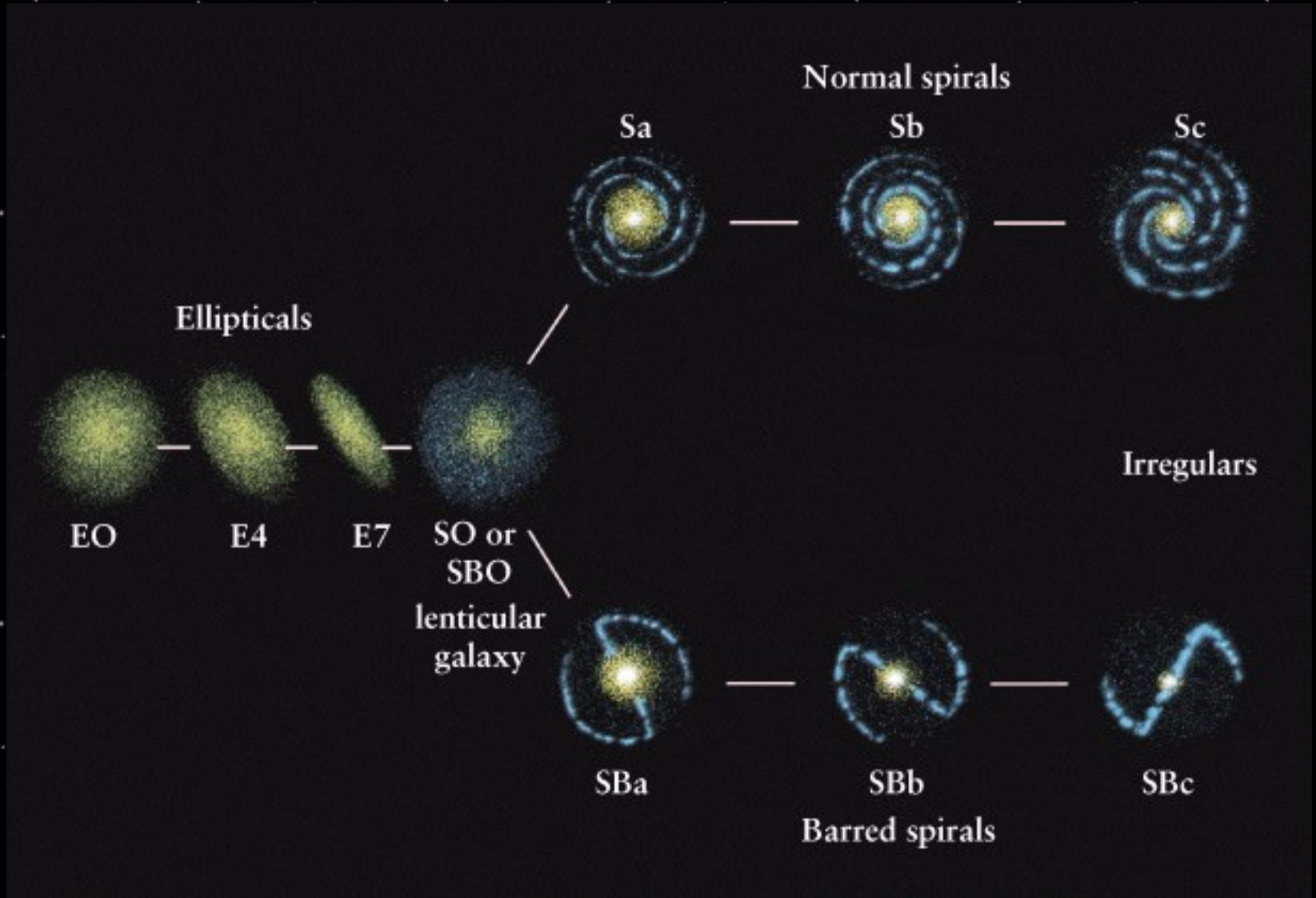


~25 kpc

≥ 32 Irreguläre Zwerggalaxien begleiten unsere Milchstraße

- $10^6 - 10^9 M_{\odot}$, 1 - 10 kpc

Hubble Sequence



Klassifizierung

Die Hubble-Reihe wurde ursprünglich als Entwicklungssequenz interpretiert. Das ist falsch!

Alle Galaxien sind etwa gleich alt: ~ 10 - 13 Milliarden Jahre

Spiralgalaxien

- $SO, S(A)a, S(B)b, S(AB)bc, S(B)O, Sb(r), Sb(s),$ usw.
 - Größe des Bauches: a-groß ... c-klein
 - Spiralarme: a-eng gewunden ... c-offen
 - Zusammensetzung: a-viele kl. HII Regionen ...
c-klumpig, viele helle Sterne, HII Regionen
 - A: Anämisch - B: Balken
 - r: Spiralarme kommen aus einem Ring -
s: aus dem Kern

Klassifizierung

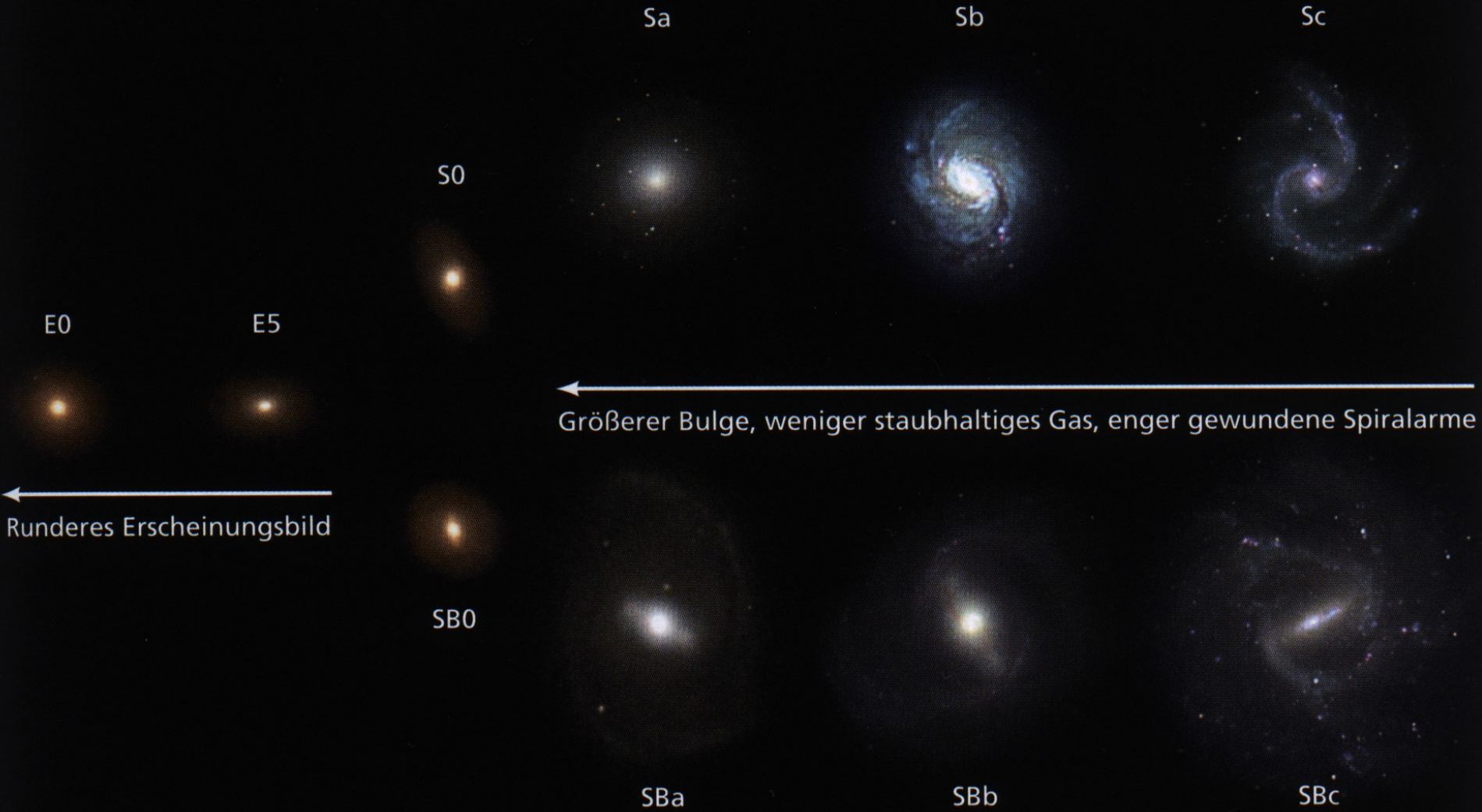
Elliptische

- E0 (kreisförmig) - E7 (prolat)
(möglicherweise nur Projektionseffekt)

Irreguläre

- Ir I - Unterstruktur sichtbar
- Ir II - keine klare Unterstruktur
- dI - irreguläre Zwerggalaxien

Hubble Sequence



Galaxien-Typen



M87-E0



M110-E5



M86-S0



M94-Sa



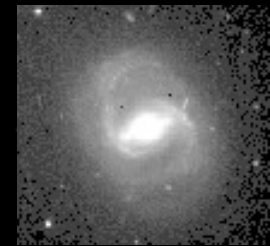
M91-Sb



M101-Sc



M95-SBa



M91-SBb



M61-SBc



LMC -Irr

Eigenschaften

1. Elliptische

- wenig Staub oder Gas
- keine Sternentstehung
- nur Pop II Sterne

1. Irreguläre

- bis zu 90% Gas
- aktive Sternentstehung
- überwiegend Pop I Sterne

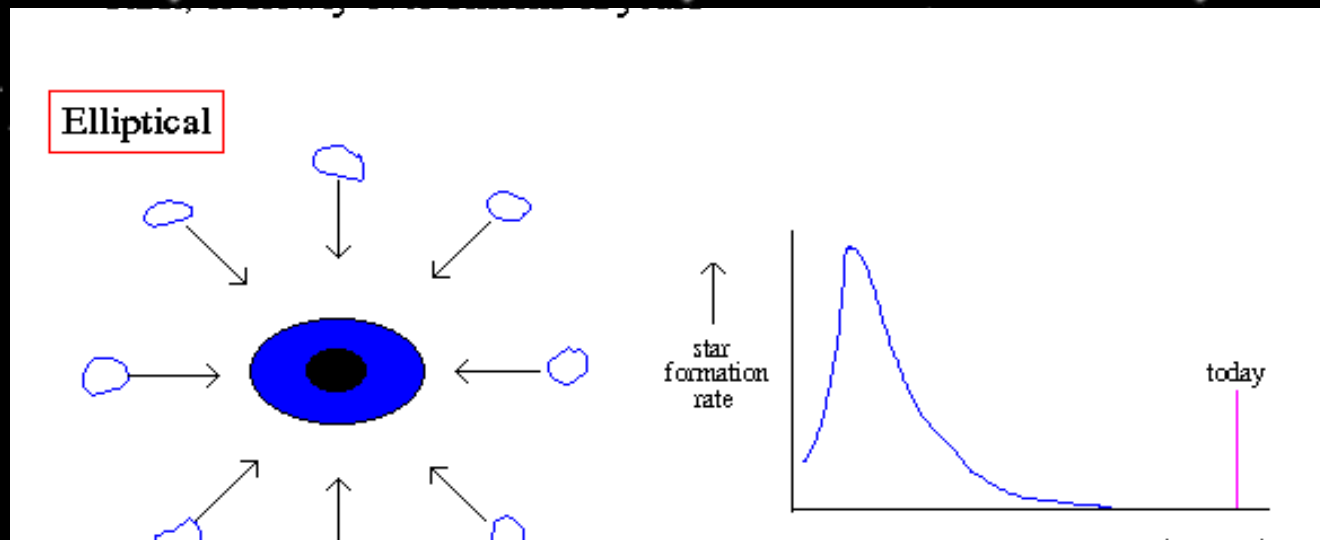
2. Spiral

- ~10-20% Gas
- anhaltende Sternentstehung
- Pop I & Pop II Sterne

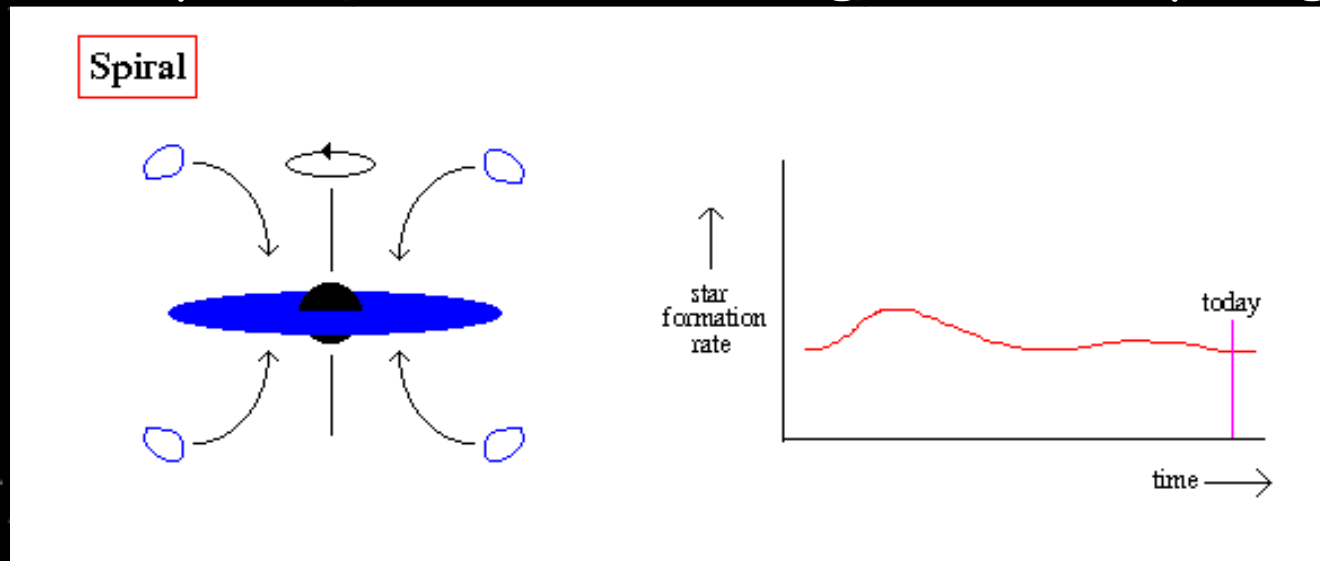
1. Zwerge

- relativ große Anzahl!
- SF in der 1. Generation

Sternentstehung und Galaxientypen

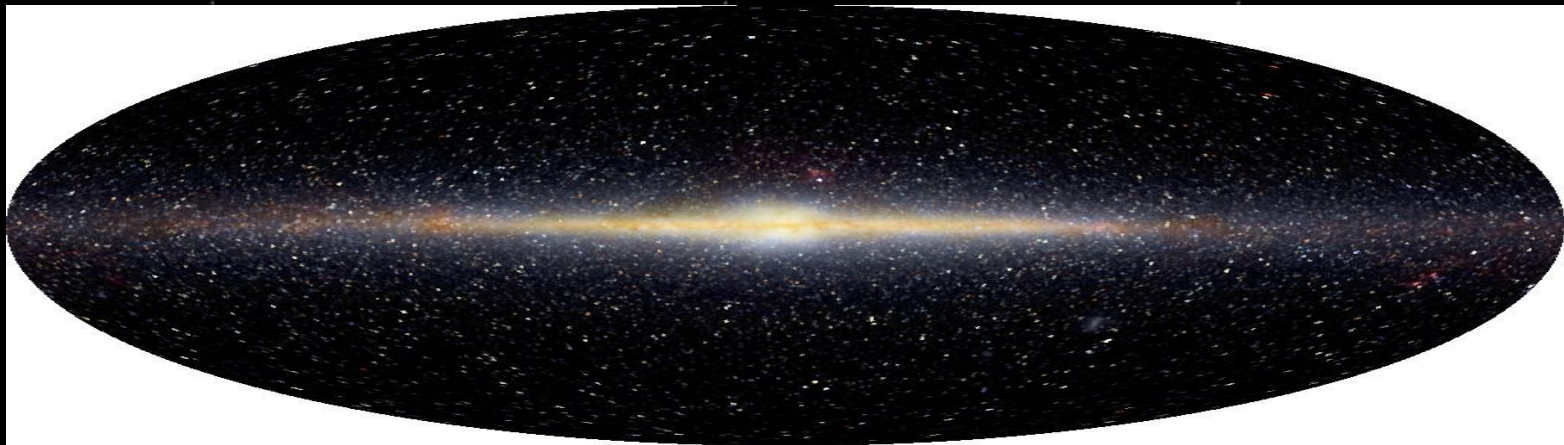


Oder sind elliptische Galaxien „Mergers“ von Spiralgalaxien ?



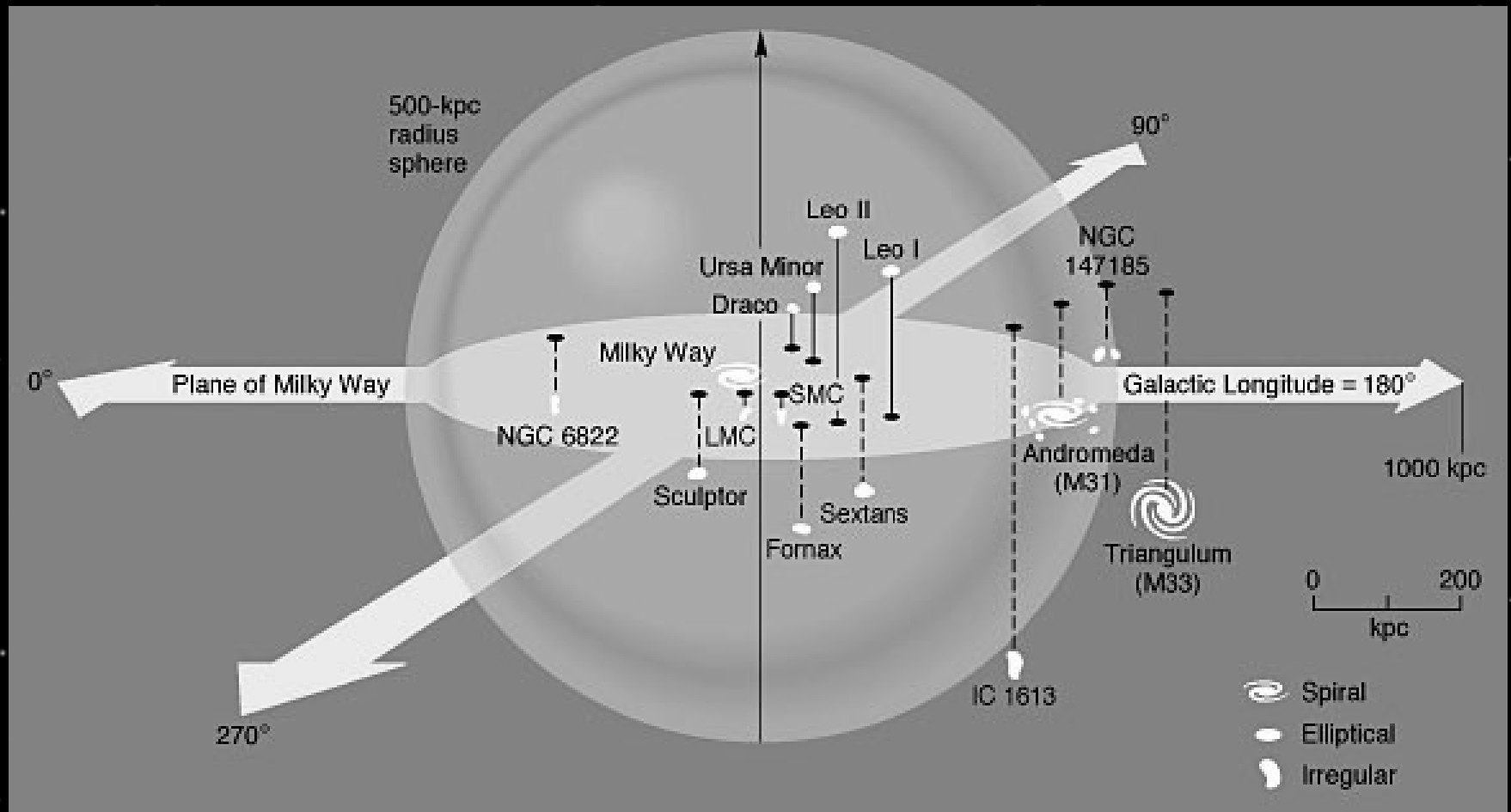
Die Milchstraße

- Die Milchstraße ist eine Spiralgalaxie vom Typ SAB(rs)bc II
 - Mittlerer Bauch
 - Mittelweite Arme
 - Schwacher Balken
 - Leichter Ring
 - Klare Spiralen
- Milchstraße ist zweitgrößte Galaxie der Lokalen Gruppe



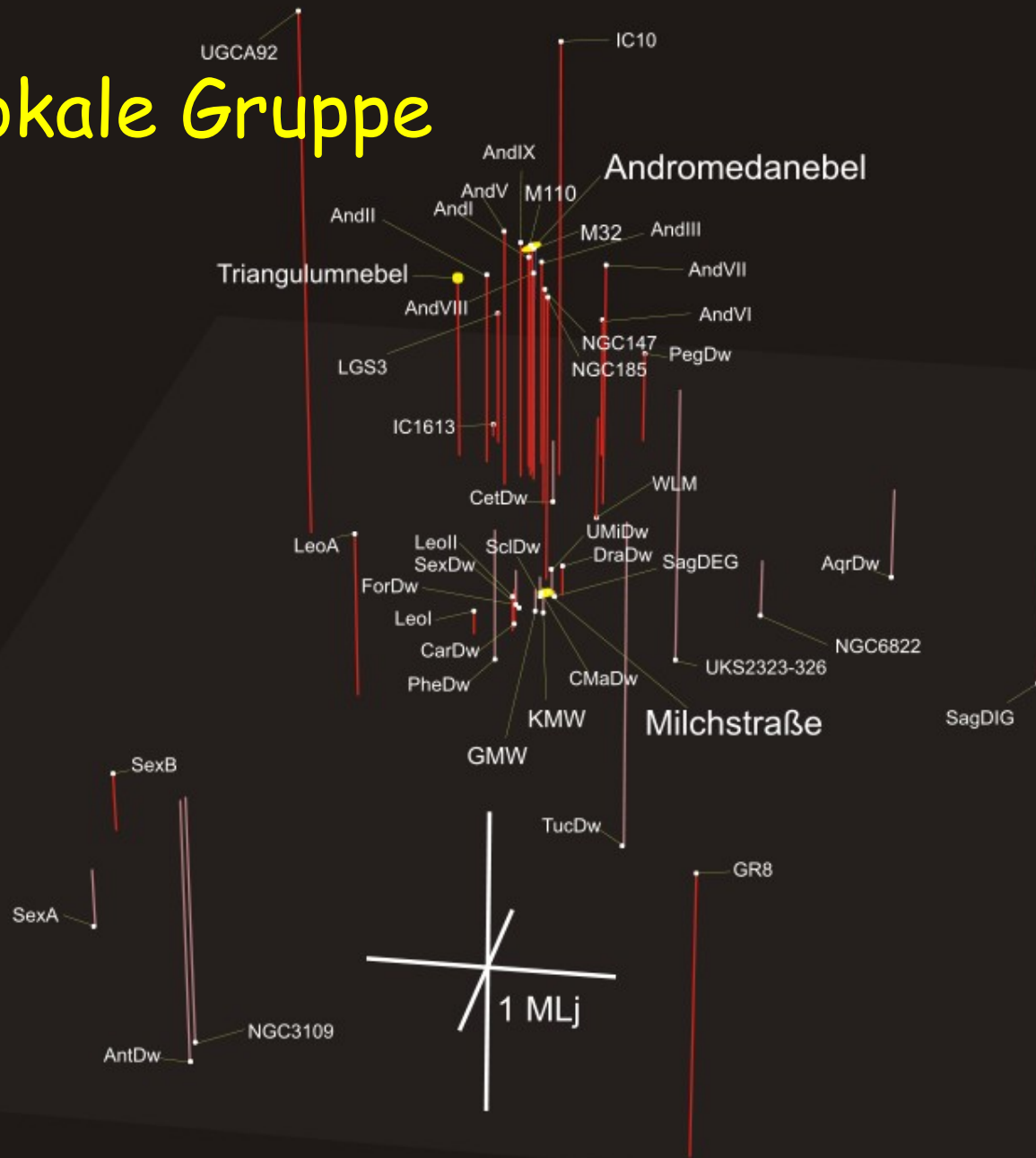
Milky Way with COBE

Die Nachbarschaft der Milchstraße



3 Spiral, 4 Elliptische, 17 ellipt. & 15 irreguläre Zwerggalaxien
d: 1.5 Mpc ~ 5 Mill. Lj
 $5 \times 10^{12} M_{\odot}$

Die Lokale Gruppe



Eigenname	Typ	Untergruppe	Entfernung(10^3 Lj)	Durchmesser(10^3 Lj)
Milchstraße	SBbc	MS	-	100
Canis-Major-Zwerg	(dIrr)	MS	25	20?
Virgo-Strom	(dSph)	MS	30	30?
Elliptische Sagittarius-Zwerggalaxie	dE	MS	78±7	10
Ursa Major II	dSph	MS	100±15	1
Große Magellansche Wolke	Irr/SBm	MS	165±5	25
Kleine Magellansche Wolke	Irr/SBm	MS	195±15	15
Bootes-Zwerg	dSph	MS	196±9	2
Ursa-Minor-Zwerg	dSph/dE4	MS	215±10	2
Sculptor-Zwerg	dSph/dE3	MS	258±13	3
Draco-Zwerg	dSph/dE0	MS	267±20	2
Sextans-Zwerg	dSph	MS	280±13	3
Ursa Major I	dSph	MS	325	3
Carina-Zwerg	dSph/dE3	MS	329±16	2
Fornax-Zwerg	dSph/dE2	MS	450±26	5
Leo II	dSph/dE0	MS	669±39	3
Canes Venatici-Zwerg	dSph	MS	718±82	6
Leo I	dSph/dE3	MS	815±82	3
Phoenix-Zwerg	dIrr/dSph	MS/LGW	1450±100	2
Barnards Galaxie	IB(s)m	LGW (MS?)	1800	6
NGC 185	dSph/dE3p	M31	2010±60	8
Andromeda II	dSph	M31	2165±40	3
Leo III	dIrr (IBm?)	MS/N3109	2250±325	4
Andromeda X	dSph	M31	2290±120	5
IC 1613	Irr	M31/LGW	2365±50	10
NGC 147	dSph/dE5	M31	2370±50	10

Eigenname	Typ	Untergruppe	Entfernung(10^3 Lj)	Durchmesser(10^3 Lj)
Andromeda III	dSph	M31	2450±50	3
Andromeda VII	dSph	M31	2465±95	2
Cetus-Zwerg	dSph	LGW	2485±65	3
Andromeda IX	dSph	M31	2505±75	4
Andromeda I	dSph	M31	2520±60	2
Andromeda V	dSph	M31	2560±80	2
Andromeda XI	dSph	M31	2560±325	2
Andromeda XII	dSph	M31	2560±325	2
Andromeda XIII	dSph	M31	2560±325	2
Andromeda VI	dSph	M31	2595±50	3
Andromedanebel	SBb	M31	2560±50	140
M32	dE2	M31	2625±115	8
M110	dSph/dE5	M31	2690±80	15
Andromeda VIII	(dSph)	M31	2700	30
Dreiecksnebel	SAc	M31/M33	2735±55	55
LGS 3	dIrr/dSph	M31/M33	2520±70	2
IC 10	dIrr	LGW	2690±165	8
Tucana-Zwerg	dSph	LGW (MS?)	2870±130	2
Pegasus-Zwerg	dIrr/dSph	M31	3000±80	6
Wolf-Lundmark-Melotte	Irr	LGW	3020±80	10
Aquarius-Zwerg	dIrr/dSph	LGW	3345±100	3
SagDIG	dIrr	LGW	3460±520	3
Antlia-Zwerg	dIrr/dSph	N3109	4030±210	3
NGC 3109	Irr	N3109	4075±540	25
Sextans A	dIrr	N3109	4350±120	10
Sextans B	dIrr	N3109	4385±325	8
UGC-A 92	Irr (S0?)	M31/LGW	4700	?

Begleiter der Milchstraße

- Große und Kleine Magellansche Wolke
- Sculptor
- Fornax
- Draco
- Ursa Minor
- Carina
- Sextans
- Leo I und II
- Sagittarius

Benannt nach den Sternbildern,
in denen sie zu finden sind

evtl. weitere Begleiter in
der „zone of avoidance“

Auf der Suche nach Begleitern



CENTER OF MILKY WAY

DISKS OF MILKY WAY

AREAS OF INITIAL OBSERVATIONS

SAGITTARIUS DWARF GALAXY

Dwingelloo 1 (SBb)

1994

9 Millionen Lj



Große Magellansche Wolke (Ir)

- Sm-Typ (zwischen Irr und Sc - 20 Mrd. Sterne)
- ca. 6 000 Nebel und Sternhaufen
- echter Begleiter der Milchstraße, umkreist sie mit Gezeitenwechselwirkungen



6.5 kpc

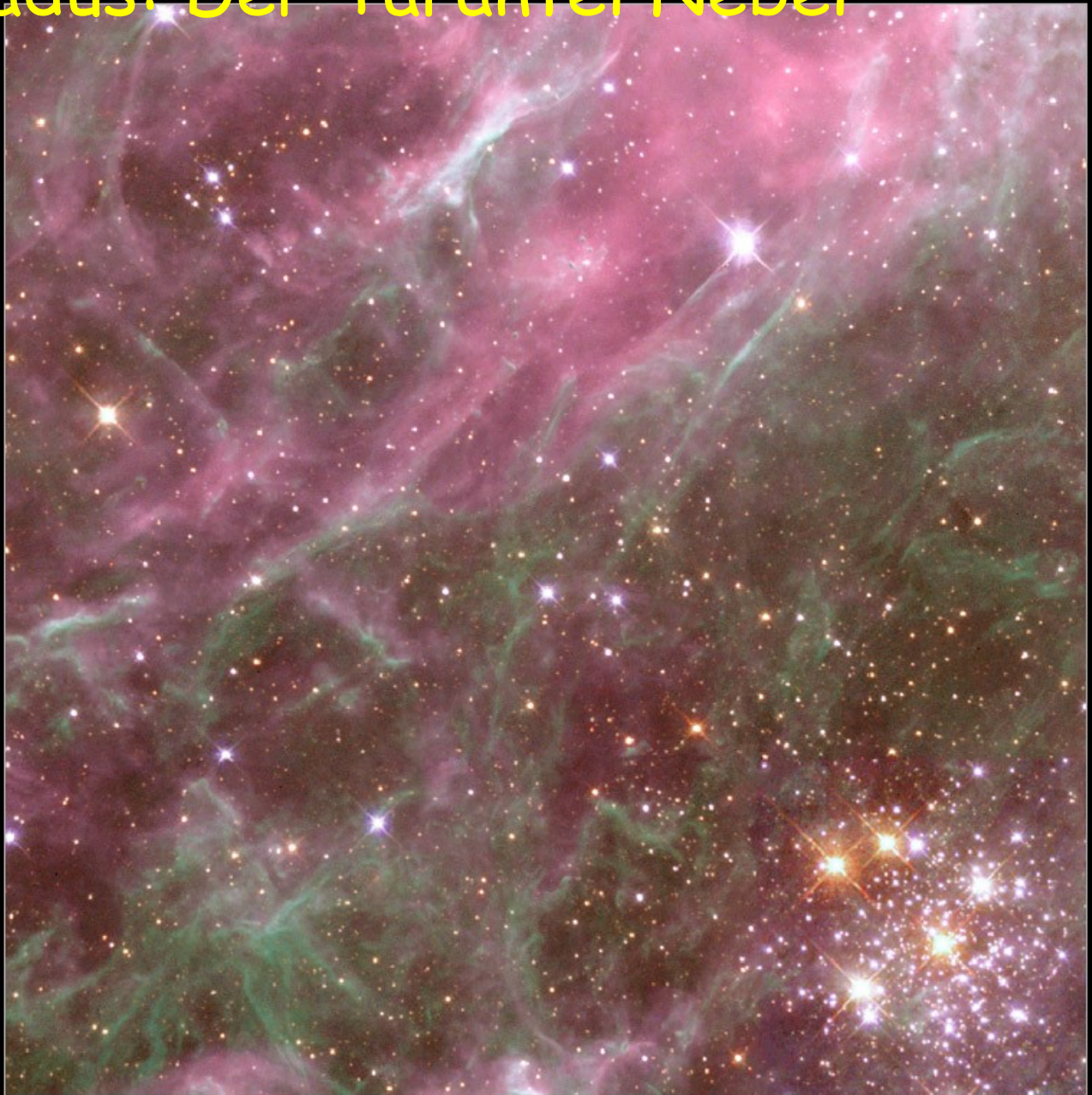


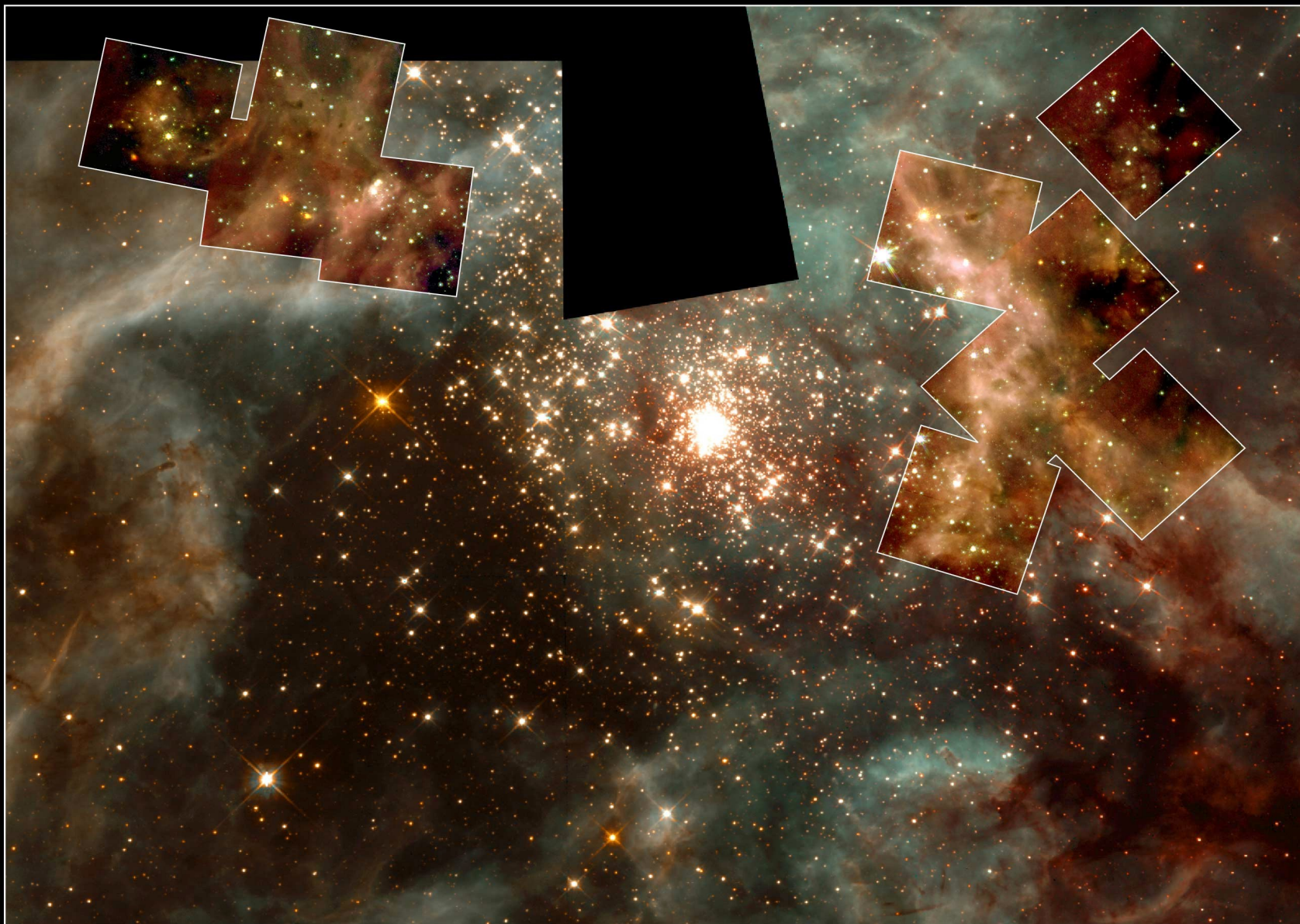
50 kpc

30 Doradus: Der Tarantel Nebel

Hodge 301 in the Tarantula Nebula

HII Region:
30 Doradus
800ly,
 $5 \times 10^6 M_{\odot}$





30 Doradus Nebula • Large Magellanic Cloud
Hubble Space Telescope • WFPC2 • NICMOS

Kleine Magellansche Wolke (Ir)

58 kpc

- Typ: Irr
- Vor 100 - 200 Mio. Jahren Begegnung mit der Milchstraße, dabei weitgehende Zerstörung,
- auch heute noch Abgabe von Gas
=> **magellanscher Strom**



3 kpc



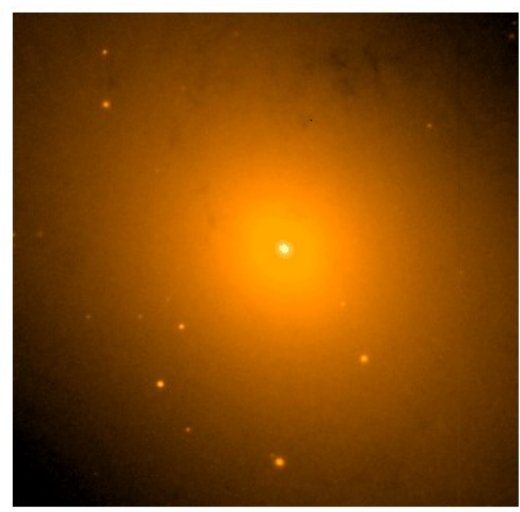
Die Andromeda Galaxie M31 (Sb)

M 31 The Andromeda Galaxy



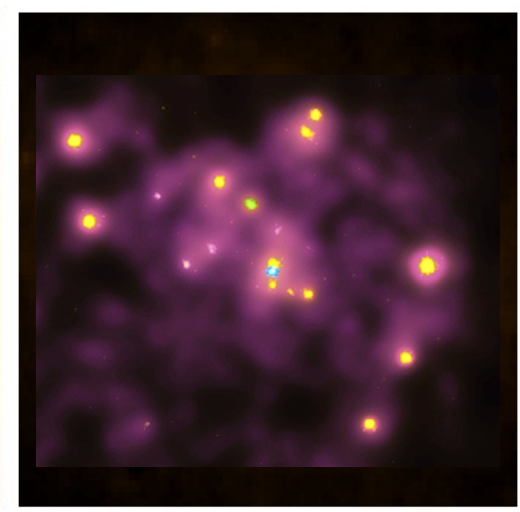
40,000 LY

Ground View of Galaxy



2,000 LY

Ground View of Galaxy Core



40 LIGHT-YEARS

HST View of Galaxy Nucleus

4×10^{11} Sterne ←

12 kpc



725 kpc

Andromeda-Galaxie: M31

- **Population I:** Spiralarme und Scheibe, junge bis mittelalte Sterne, Staub und Gas, Häufung in 30 000 bis 40 000 Lichtjahren Abstand vom Zentrum
- **Population II:** Zentralbereich und Halo, Rote Riesen, oft in Kugelsternhaufen, größter Teil der Gesamtmasse, ~ 12 Mrd Jahre alt
- **Kern:** zwei Sternhaufen, echtes Zentrum enthält schwarzes Loch
- **Wasserstoff:** bildet Ring in 40 000 Lichtjahren Abstand v. Zentrum, kalter Wasserstoff reicht aber bis zu 105 000 Lichtjahren Abstand

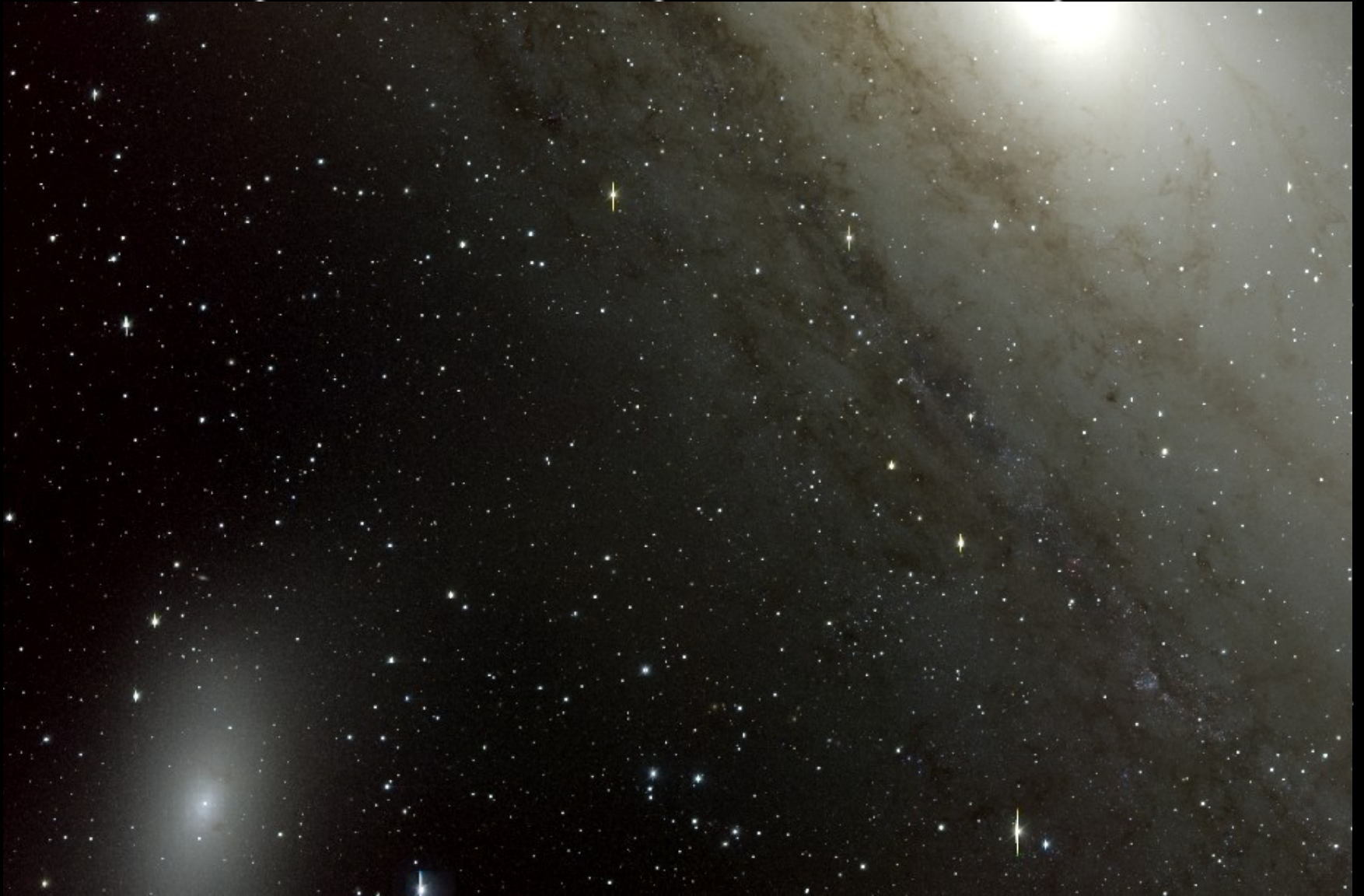
M 33



M33 © IAC/RGO/Malin
Photo from Isaac Newton Telescope plates by David Malin

- auch **Triangulum-Galaxie**
- drittgrößtes Mitglied der lokalen Gruppe
- Sc-Typ
- Entfernung: ~ 2.6 Mio. Lj.
- Durchmesser 40 000 Lj.
- 40 Mrd. Sterne

NGC 205: Eine Zwerggalaxie



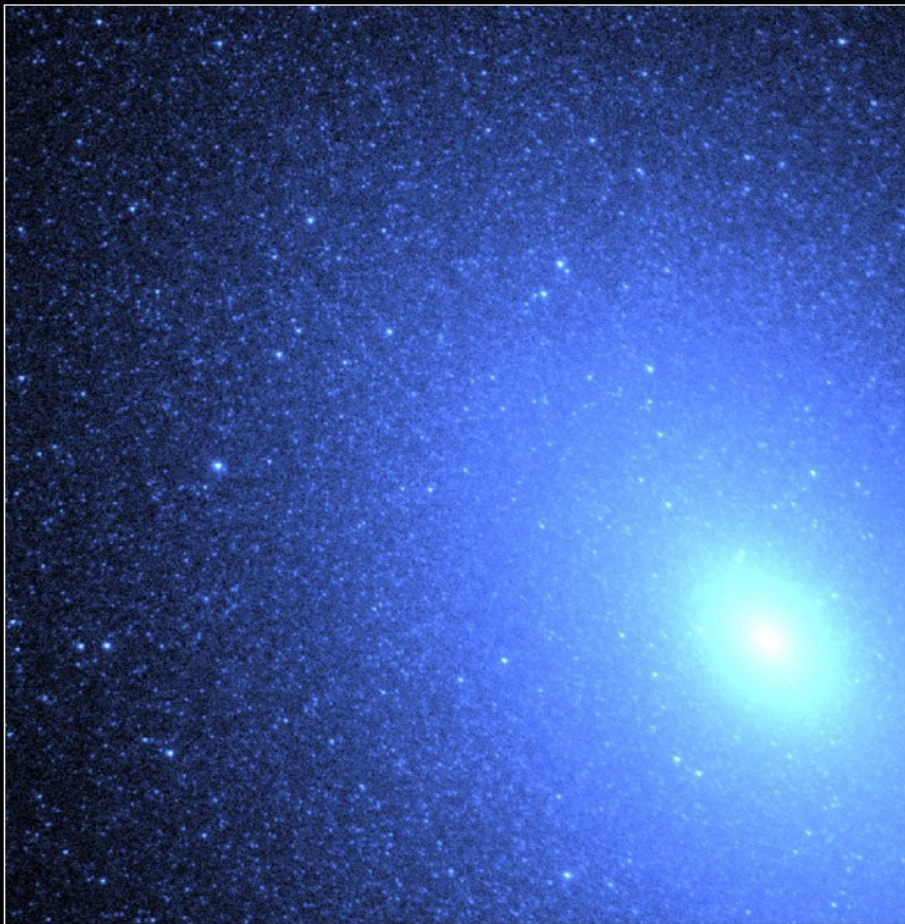
NGC 205 (M 110)

Aufnahme von Jörg Quiring, Vereinigung der Krefelder Sternfreunde e.V.



- Durchmesser 10 000 Lj.
- verzernte Struktur aufgrund der Gezeitenwirkung von M 31
- enthält auch junge, helle Sterne, kühles Gas und Staubband => Population I

M32



Dwarf Elliptical Galaxy M32 HST • STIS
NASA and T. Brown (NASA Goddard Space Flight Center)
STScI-PRC99-40

- nahezu kreisförmig
- Durchmesser 6000 Lj.
- ~ 2 Mrd. Sterne

Barnards Galaxie: NGC 6822



- Eine der größten irregulären Galaxien der lokalen Gruppe
- ~ 2 Mrd. Sterne
- erste Entfernungsmessung mittels Cepheiden
- enthält Bubble-Nebel

<http://www.aao.gov.au/images/captions/aat086.html>

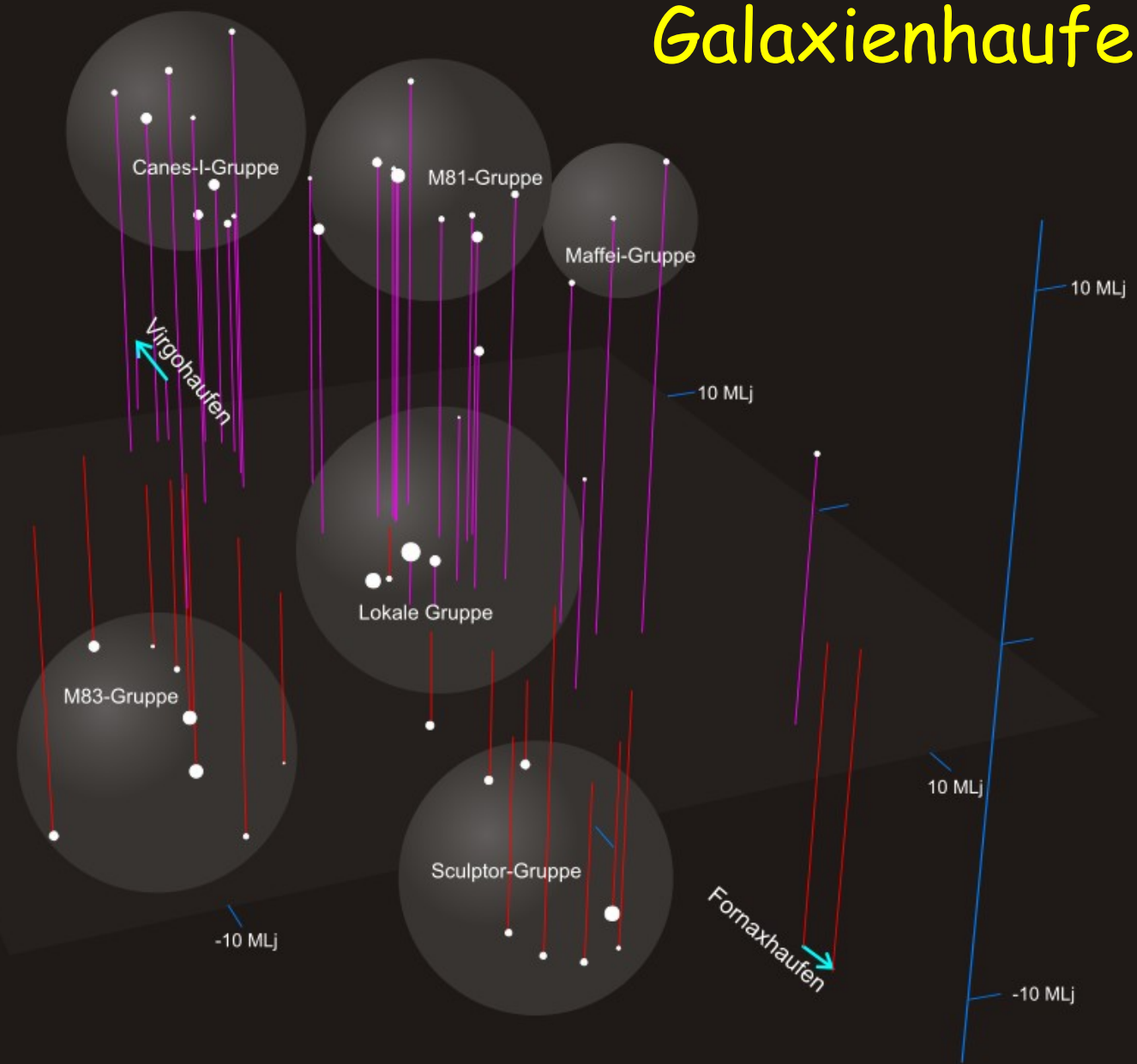
Sculptor Galaxy: NGC 253 (Sc)



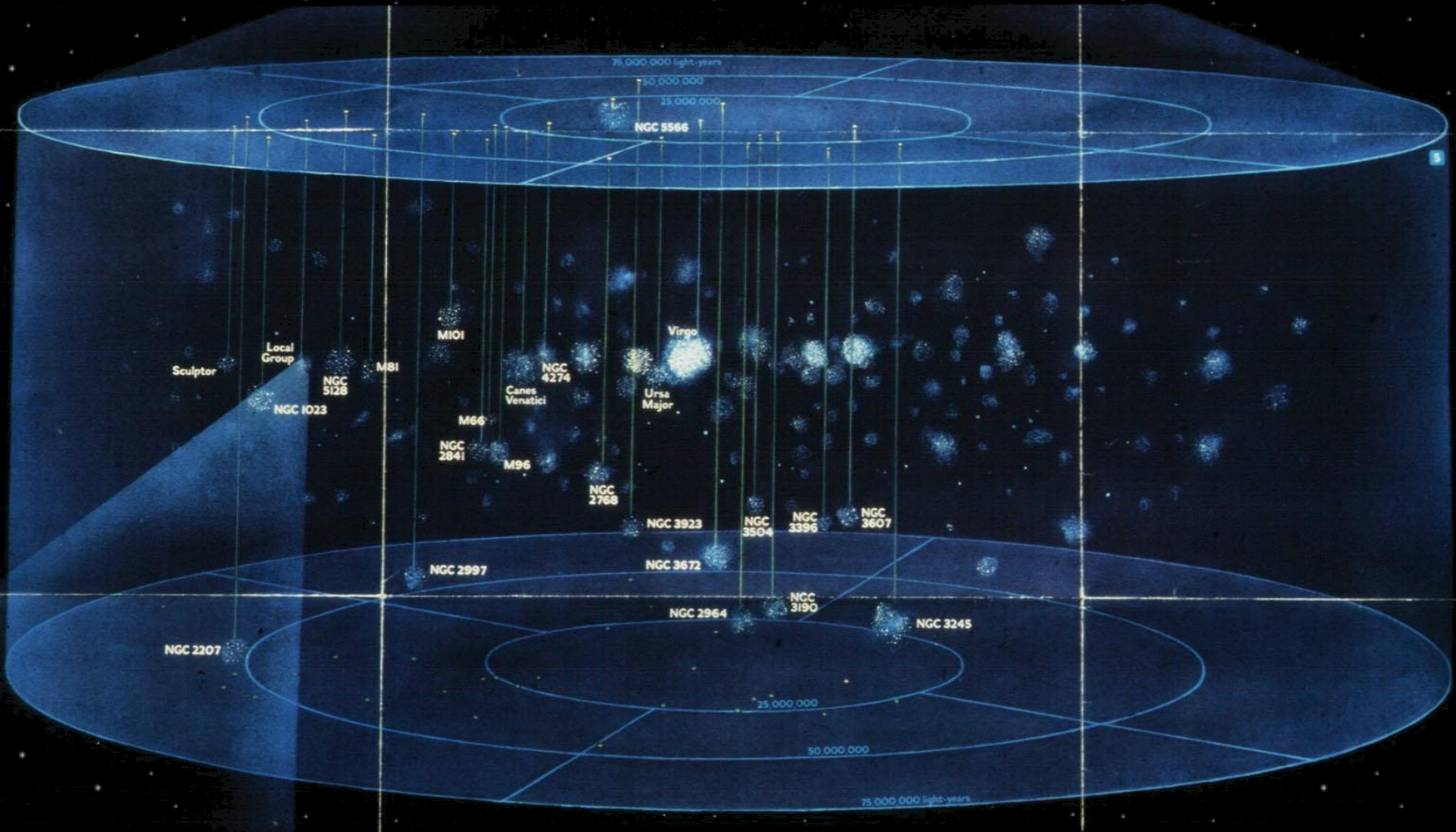
NGC 891 (SBb) edge-on



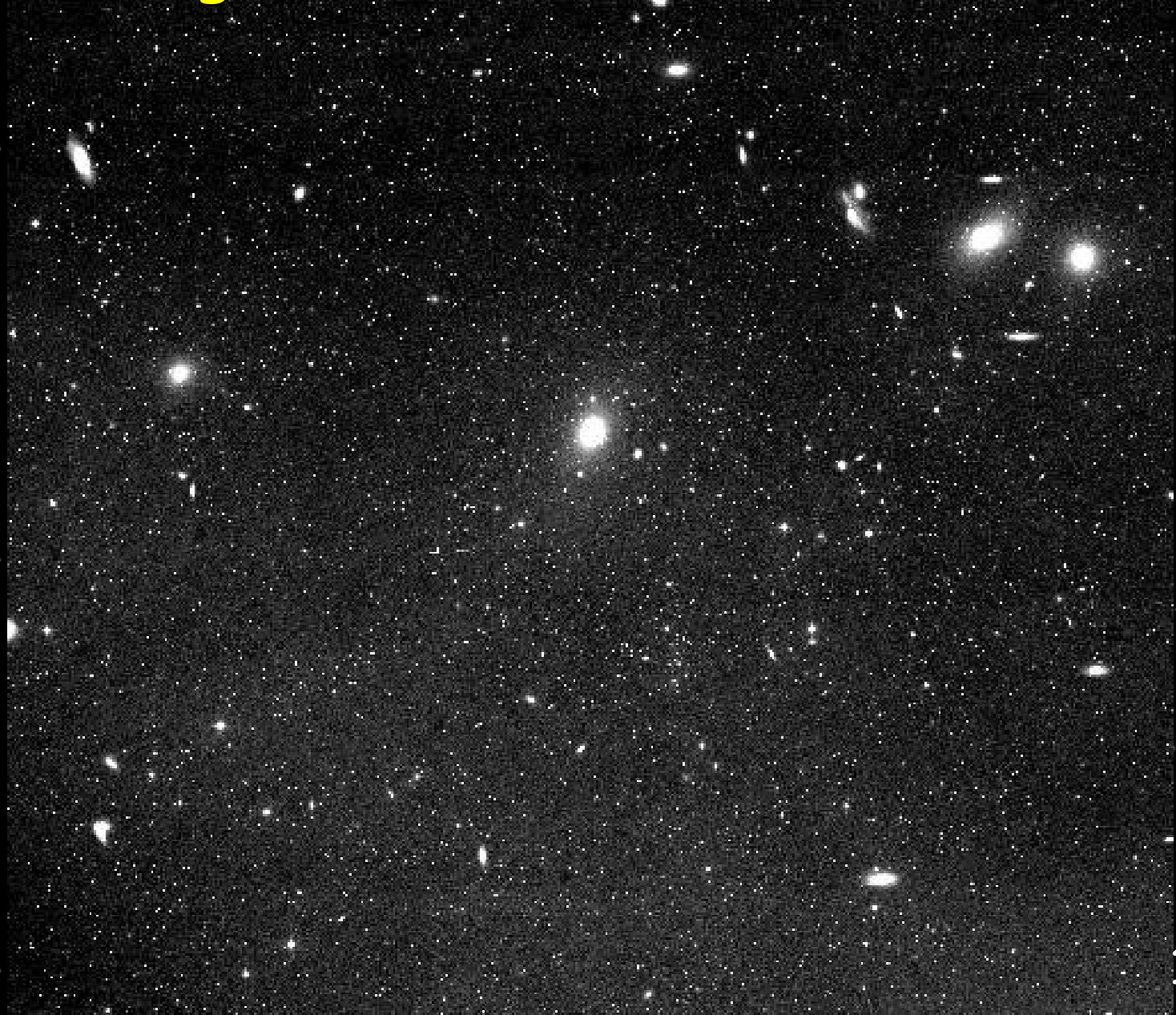
Galaxienhaufen



Unsere Nachbargruppen



Der Virgo Haufen: Über 1000 Galaxien!



15 Mpc

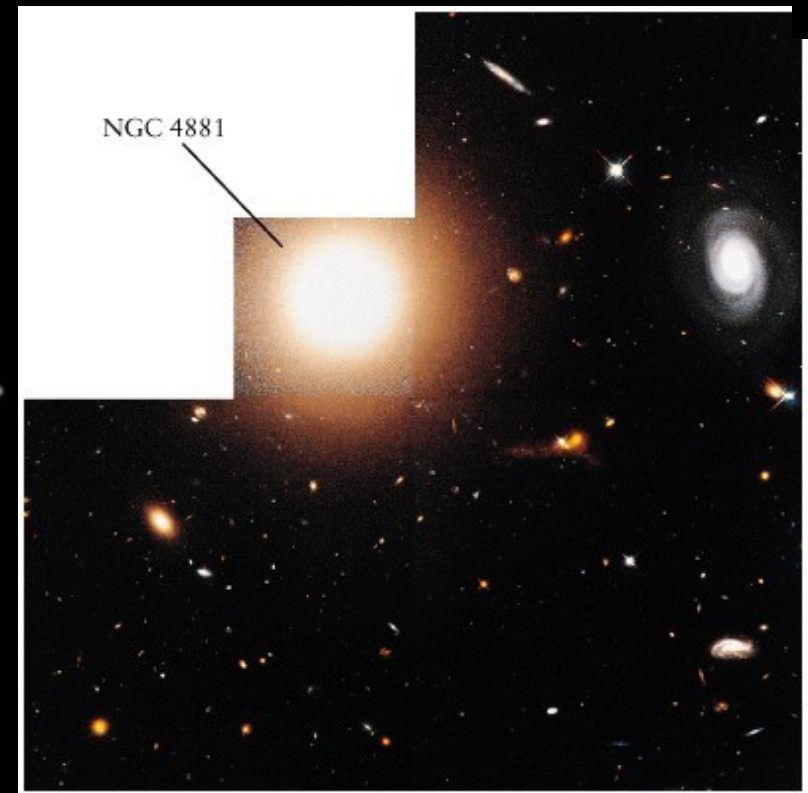
Galaxienhaufen

Gebunden durch Gravitation, einige - tausend Galaxien

Zwei Klassen von Haufen
(nach Abell):

Reguläre oder kompakte
Galaxienhaufen:

- sphärisch,
- zum Zentrum hin konzentriert
- überwiegend Typ E bis S0
- mit größter E im Zentrum.



Coma cluster:

- 1000 Galaxien
- regulär

Galaxienhaufen

Gebunden durch Gravitation, einige - tausend Galaxien

Zwei Klassen von Haufen
(nach Abell):

Irreguläre Haufen:

- kleine, lose, symmetrische Assoziationen
- überwiegend S und Irr
- ohne ausgeprägtes Zentrum

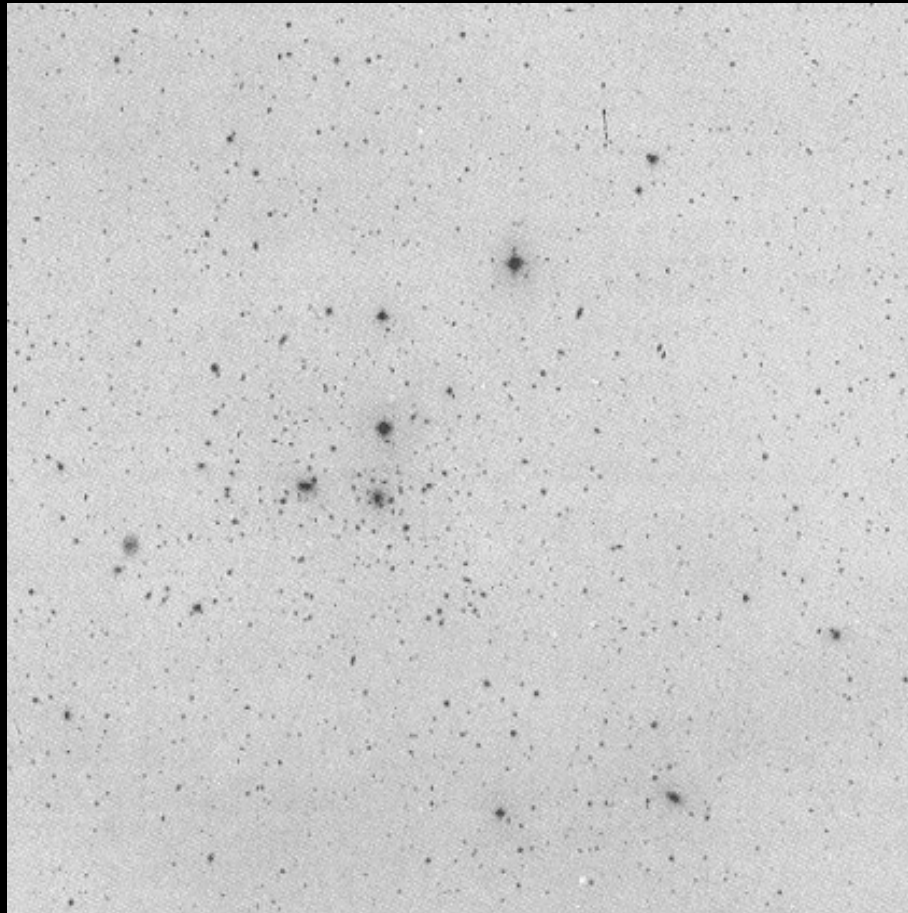
Bsp: lokale Gruppe



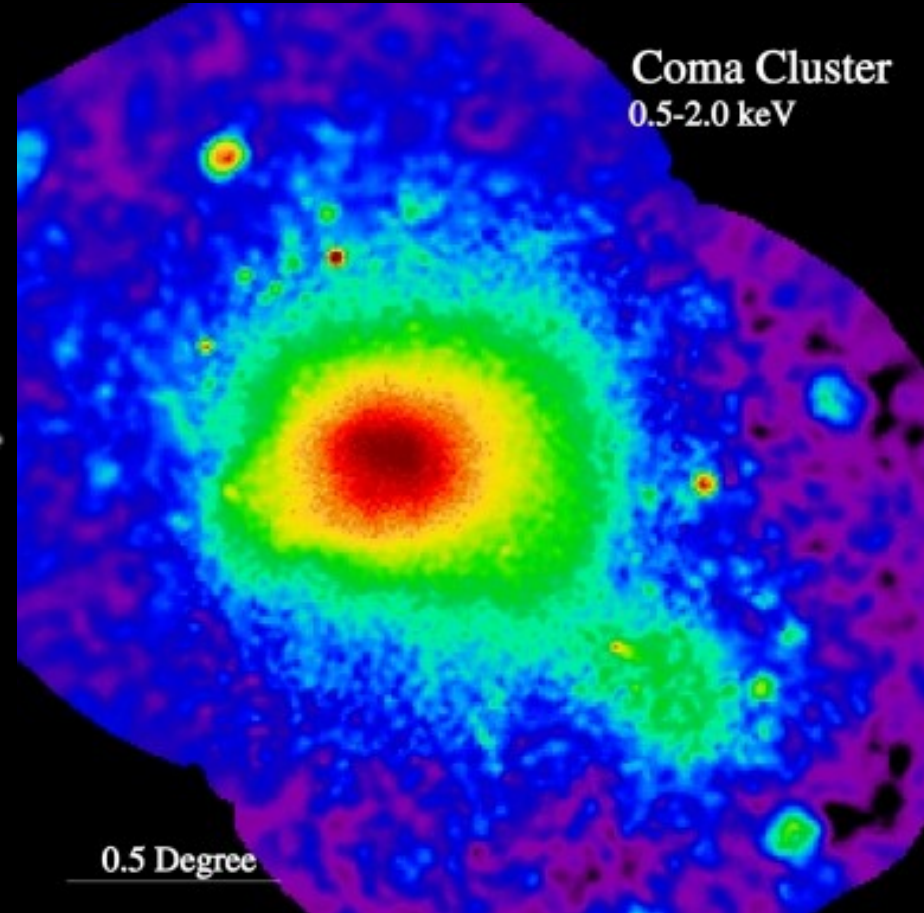
Hercules cluster:

- Viele Spiralgalaxien (2/3 S, 1/5 E, Rest Irr)
- irregulär

Coma Cluster: Gesichtsfeld $2.7^\circ \times 2.5^\circ$



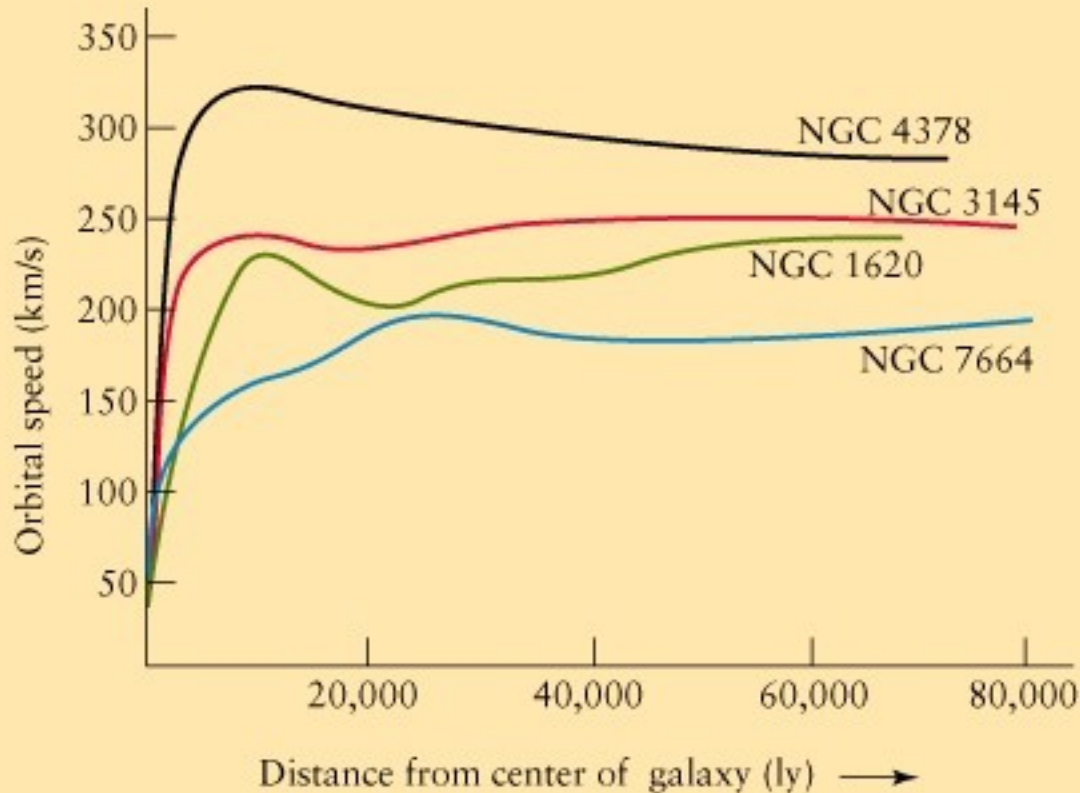
Optisches Bild



Röntgen Bild (ROSAT)

IGM in Galaxienhaufen: Röntgenstrahlung mit $10^7 - 10^8$ K

Dunkle Materie, IGM



Zur Bindung von Haufen ist 10x mehr Masse nötig als sichtbar ist

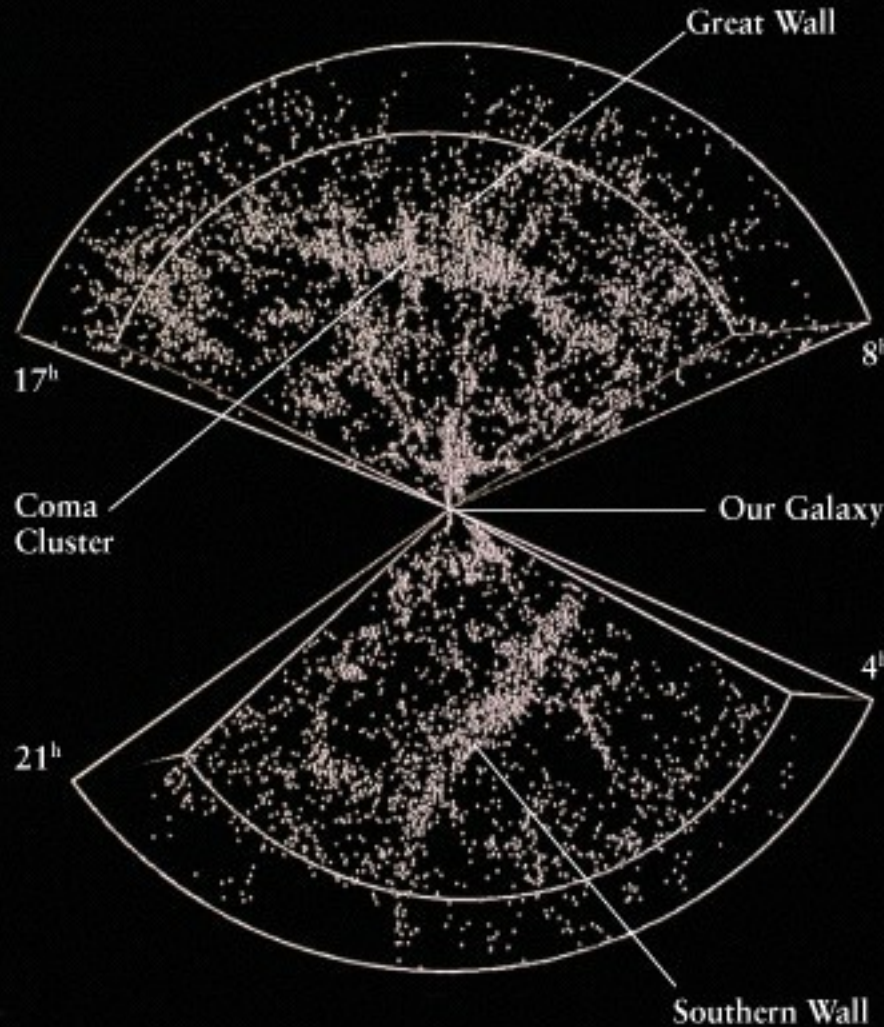
-> Dunkle Materie

Superhaufen



Herkules-Superhaufen - 215 Mpc
ca. 70% Spiralgalaxien

Galaxienhaufen und Galaxiensuperhaufen



Superhaufen: einige
Dutzend Galaxien-
haufen, 150 MLy

Voids: "Maschen" im
netz

Great Wall: 500 MLy
lang, 15 MLy tief

gebunden durch
Gravitation von DM

Galaxienzusammenstöße



Wagenradgalaxie

Galaxien stoßen häufig zusammen

- Abstand von Galaxien ca. 20x Radius

(Vgl. Sternabstand ca. 10^7 Radius)

Gas der Galaxien wechselwirkt.

Die Whirlpool Galaxie M51 / NGC5194 (Sc)

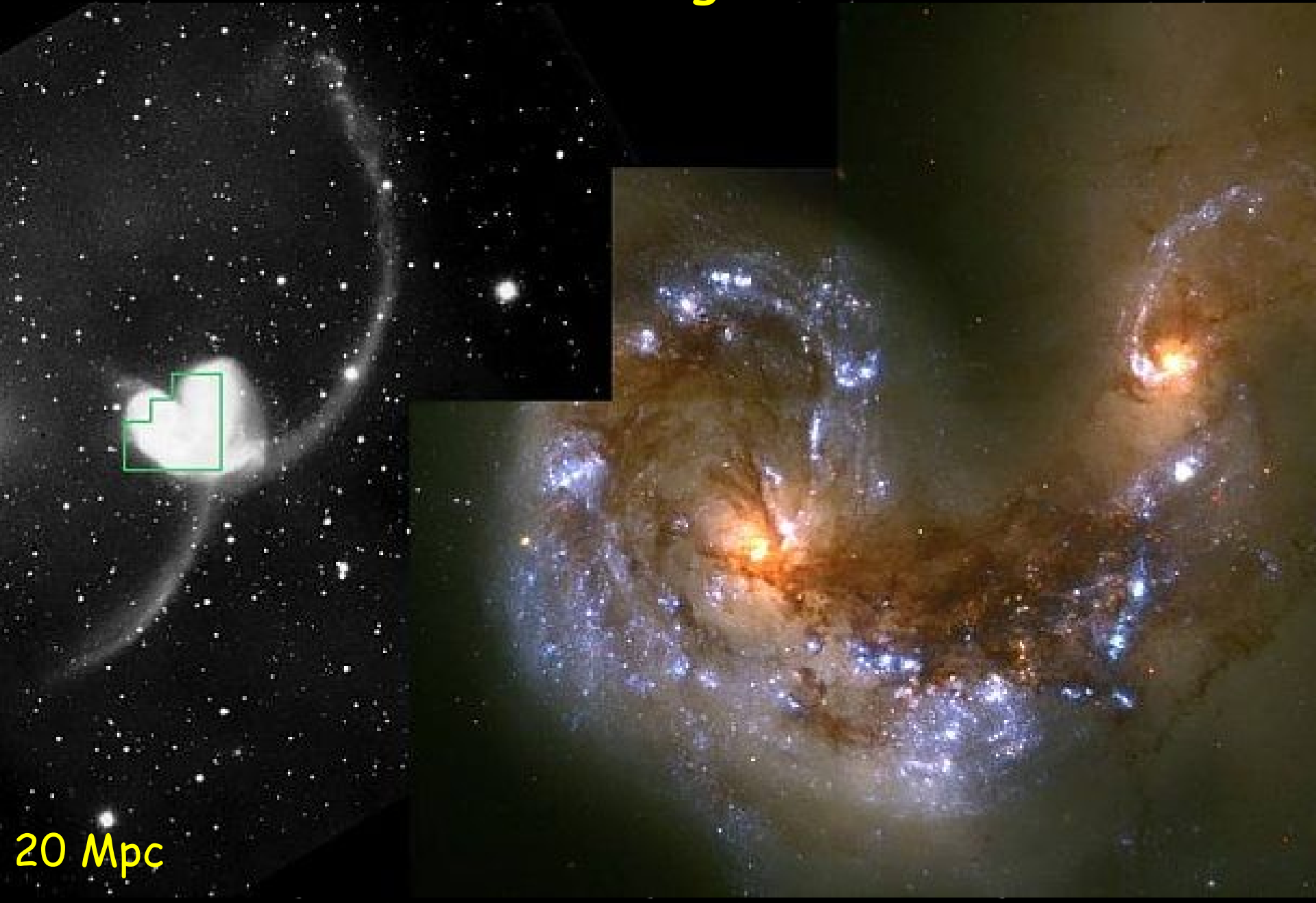
9 Mpc

NGC 5195 (Ir)



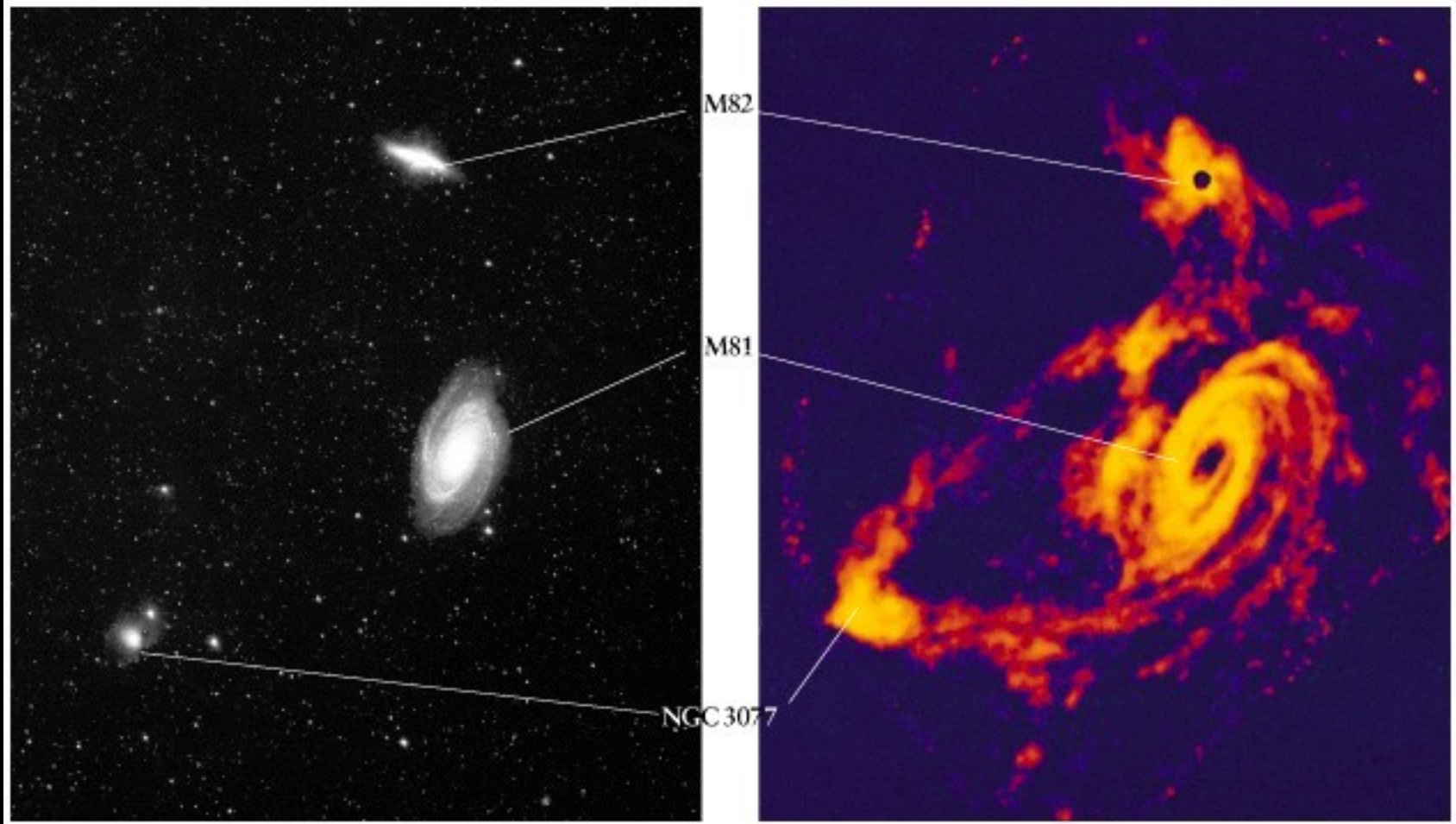
← 20 kpc →

Antennengalaxie



20 Mpc

Wechselwirkungen von Galaxien



M82, M81 and NGC3077
im Optischen

M82, M81 and NGC3077
im Radio (Wasserstoff)

Verschmelzen von Galaxien

Milchstraße
und Andromeda
Galaxie



Sind elliptische Galaxien „Mergers“ von Spiralgalaxien ?

Starburst-Galaxien

- *star burst* = Region mit hoher Sternentstehungsrate
(~ 100 mal höher als in der Milchstraße)
- Es entstehen sehr massereiche Sterne (O/B), die stellare Winde sowie UV-Strahlung erzeugen -> heizen das Gas auf
- O/B explodieren in Supernovae, z.B. in NGC 253 - etwa alle 5 Jahre in Kernnähe (10-20 mal höher als in der Milchstraße)

Galaxienkollisionen verdichten das ISM

-> initiieren Sternentstehung

Galaxienkollisionen <-> Starburst

Leuchtstarke IR Galaxien

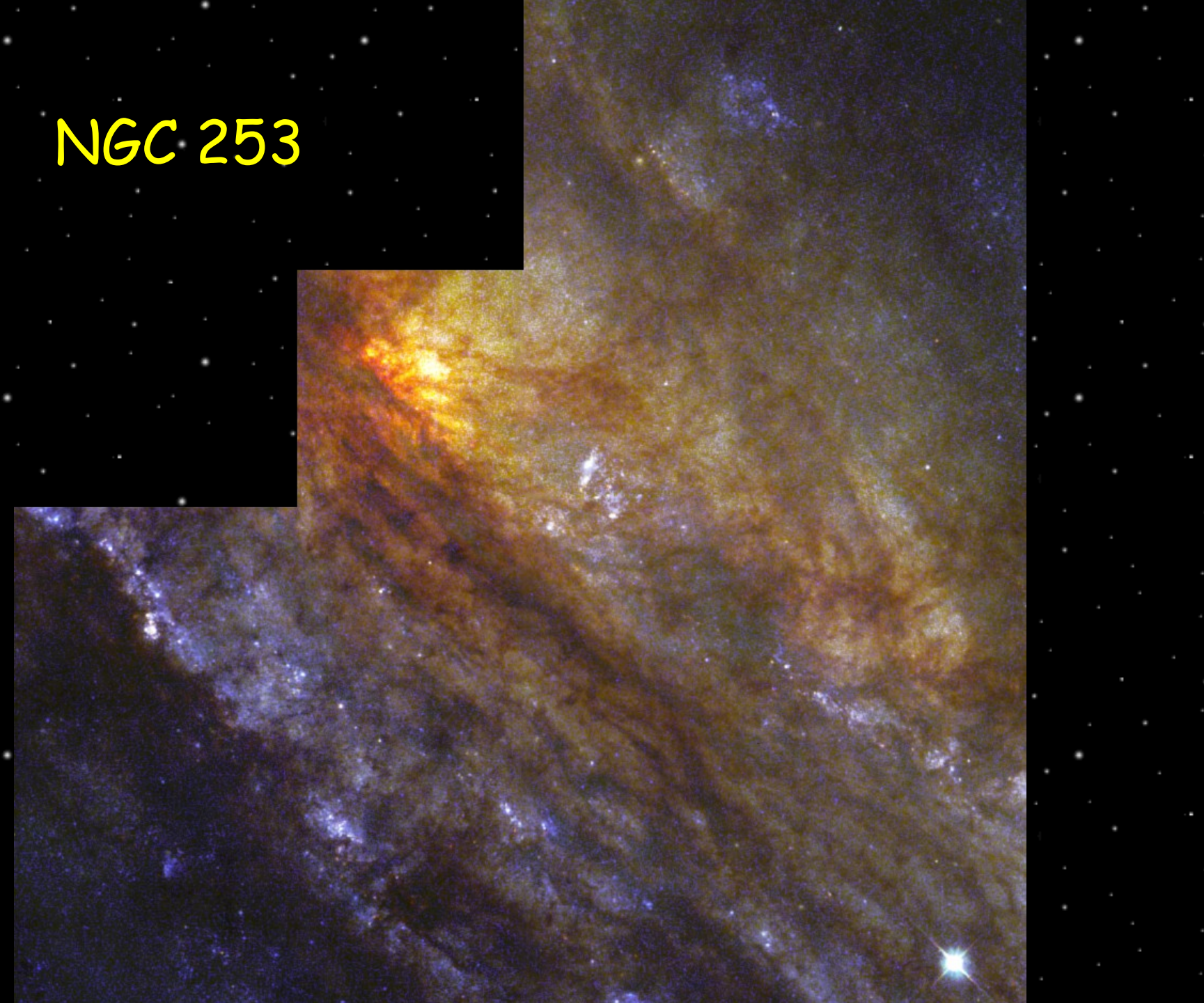
Beobachtung:

- Leuchtkraft im Wellenlängenbereich 8-1000 μm mit $L > 10^{11} L_{\text{sun}}$
- "ultraleuchtstark" falls $L > 10^{12} L_{\text{sun}}$
- Strahlung von aufgeheiztem Staub und Synchrotron

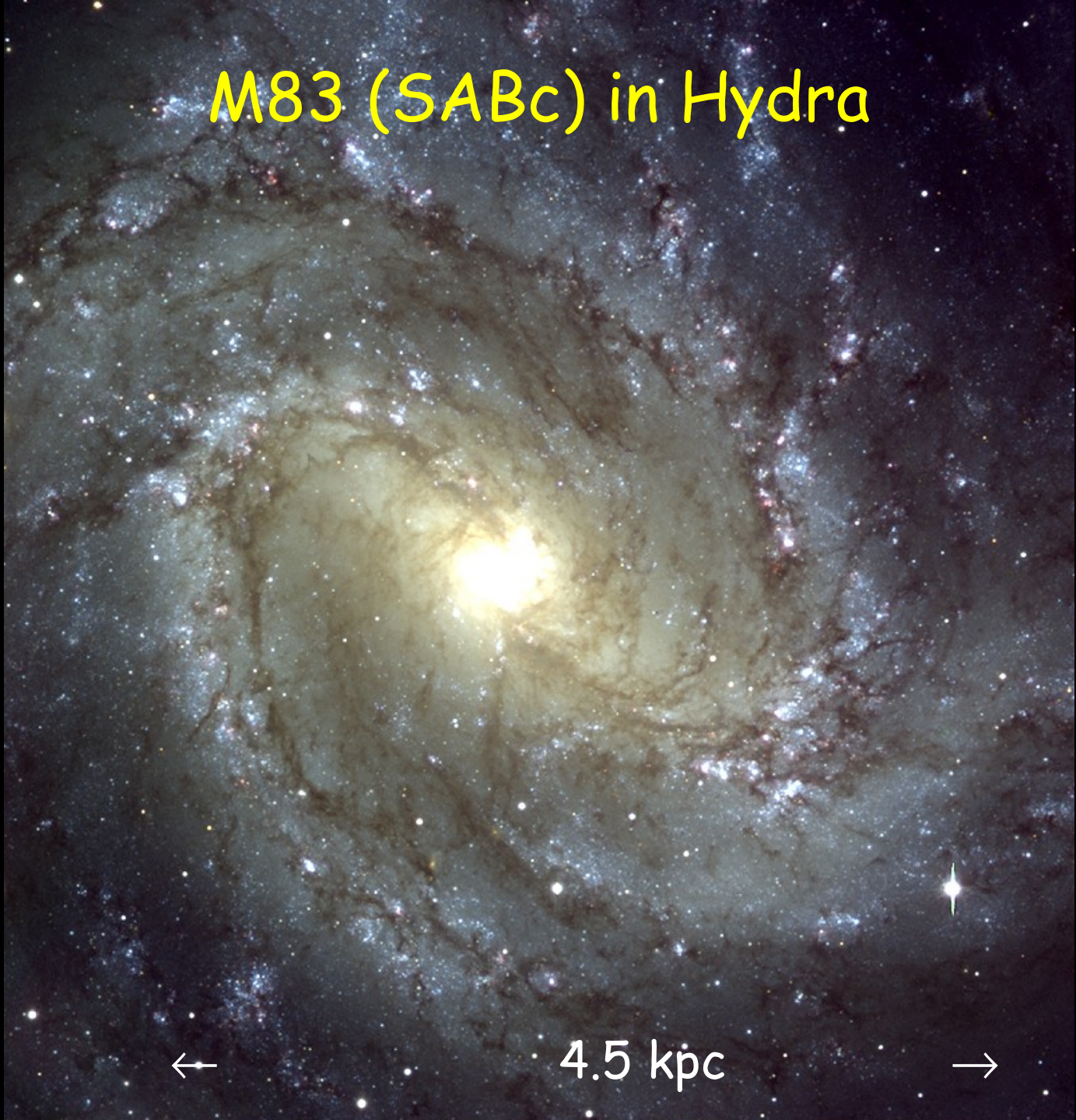
Ursachen:

- Starburst durch Verschmelzen 2er Galaxien
 - $10^{11} - 10^{12} L_{\text{sun}}$
- Aktiver Galaxienkern (AGN - active galactic nucleus)
 - $> 10^{12} L_{\text{sun}}$

NGC 253



M83 (SABc) in Hydra

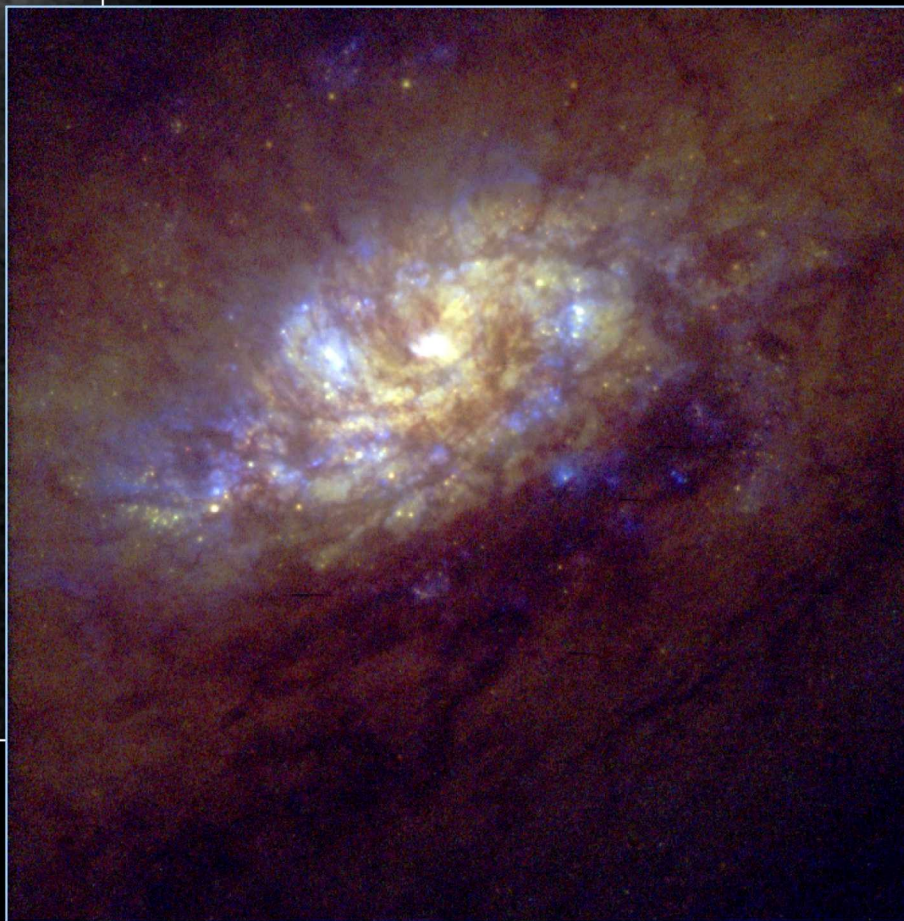
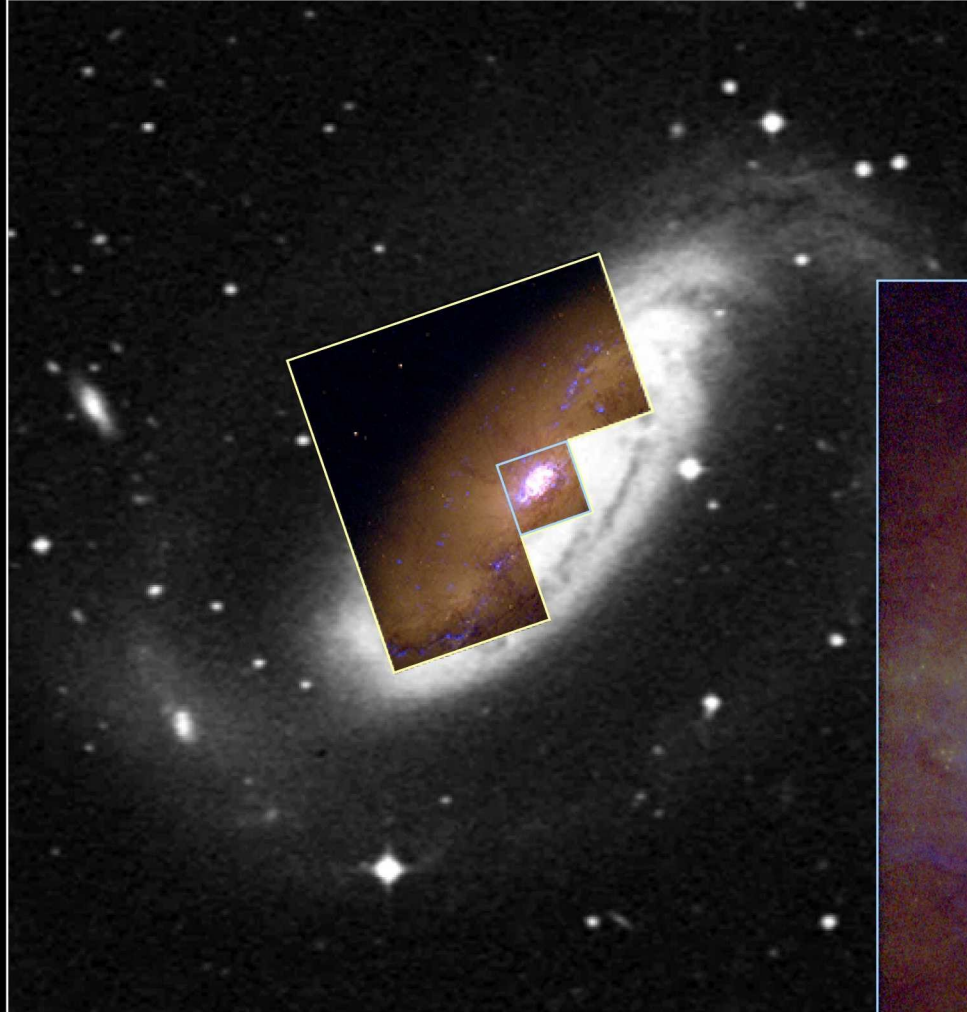


4.5 kpc



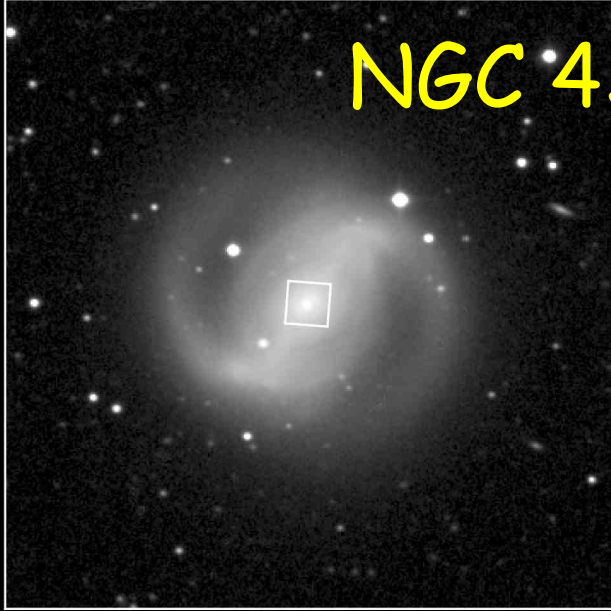
4.5 Mpc

Starburst in NGC 1808



Starburst Galaxy NGC 1808
Hubble Space Telescope • Wide Field Planetary Camera 2

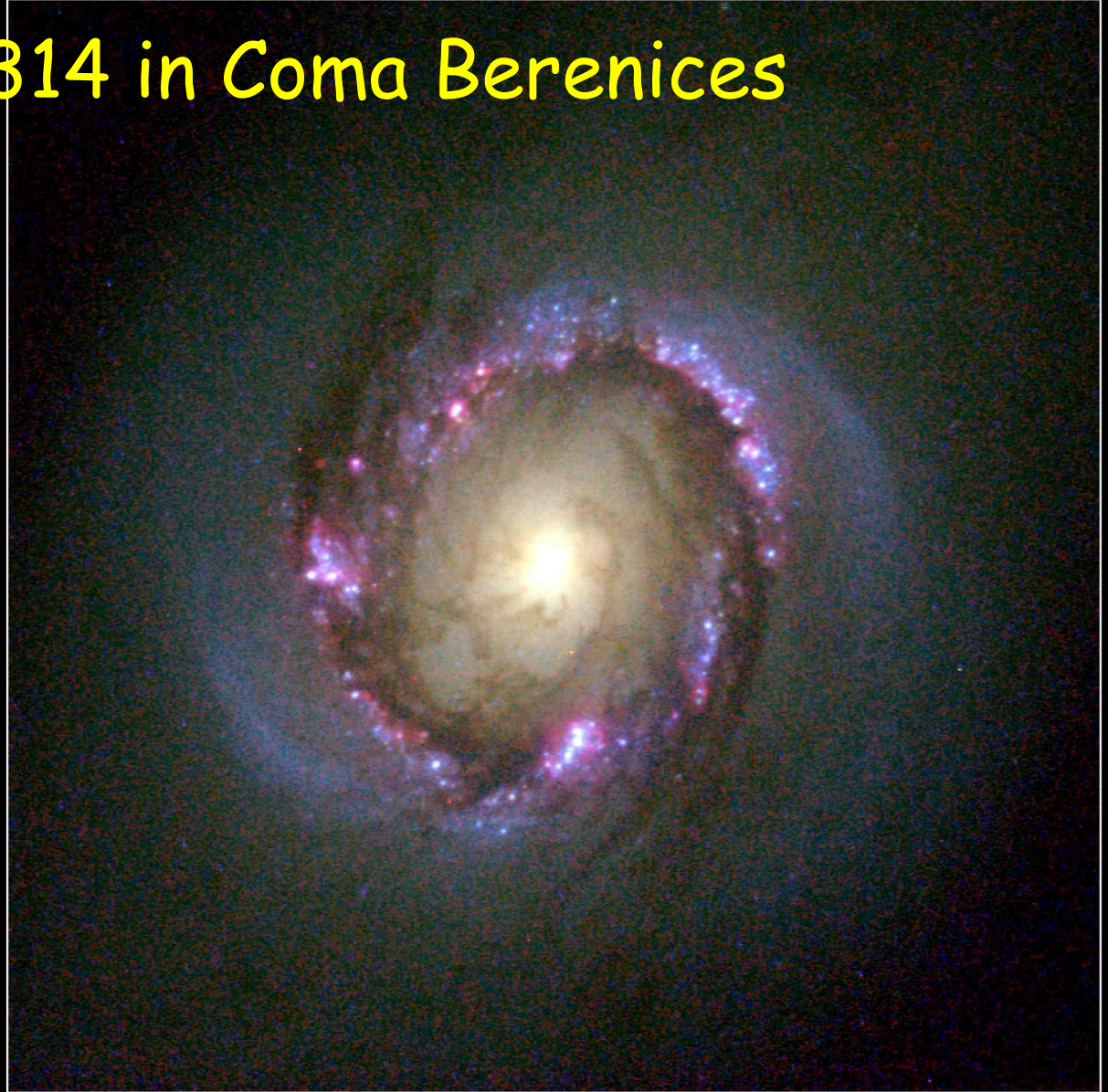
NGC 4314 in Coma Berenices



McDonald Observatory

20 Mpc

HST



Galaxy NGC 4314 • Nuclear-Ring
Hubble Space Telescope • Wide Field Planetary Camera 2

Aktive Galaxienkerne (AGN)

Viele Typen:

- QSO: Quasi Stellar Object

Quasar: QUAsi-StellAr Radio source, sehr hell: 10^{40} W

Akkretion von Sternen/Gas auf schwarzes Loch
(braucht 10 Sterne/Jahr)

- Radio Galaxie: Galaxie, die im Radiowellenlängenbereich hell strahlen (bis zu 10^{39} W zwischen 10 und 100GHz),
Synchrotronstrahlung von geladenen Teilchen im Jet
mit IGM, fast ausschließlich elliptische Galaxien

Aktive Galaxienkerne (AGN)

Viele Typen:

- Seyfert: Spiralgalaxie, schmale (+ breite) Emissionslinien, helles Zentrum, manchmal im Radio sichtbar
 - Seyfert I: schmale + breite Emissionslinien
 - Seyfert II: nur schmale Emissionslinien
 - Blazar: sehr heller, stark variierender AGN in elliptischer Galaxie, man sieht entlang des Jets ins Zentrum der Galaxie, starke Helligkeitsvariationen
 - a) Optical Violent Variable Quasars: Sehr variabel
 - b) BL Lacertae Objekte/BL Lac: etwas weniger variabel
- weniger Gas und Staub als Seyferts

Quasi-Stellare Objekte



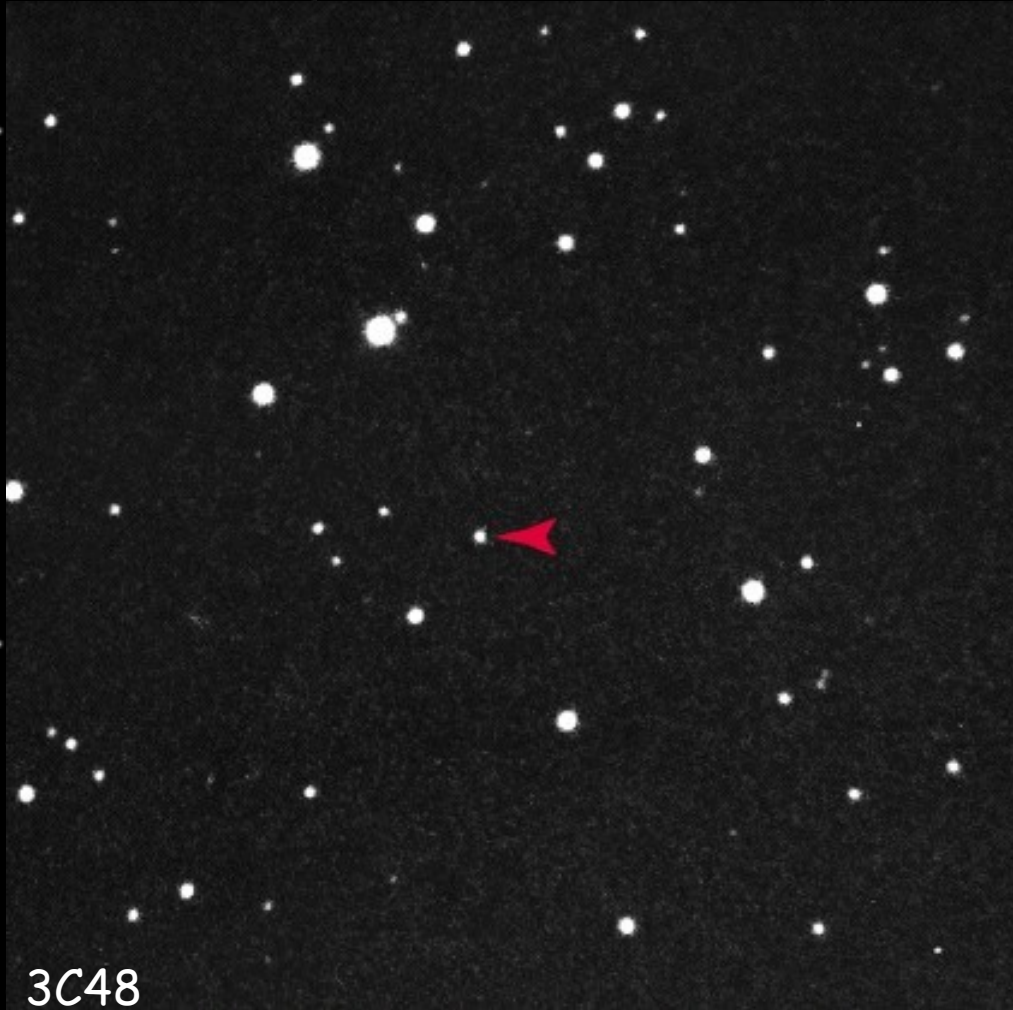
Quasi-Stellare Objekte

2.5 Gpc



- in den 60ern entdeckt
- mehr als 10.000 bekannt
- die leuchtkräftigsten Objekte im Universum
- 10 bis 100.000mal heller als normale Galaxien

Quasare = QUAsi-stellAre Radioquellen



3C48

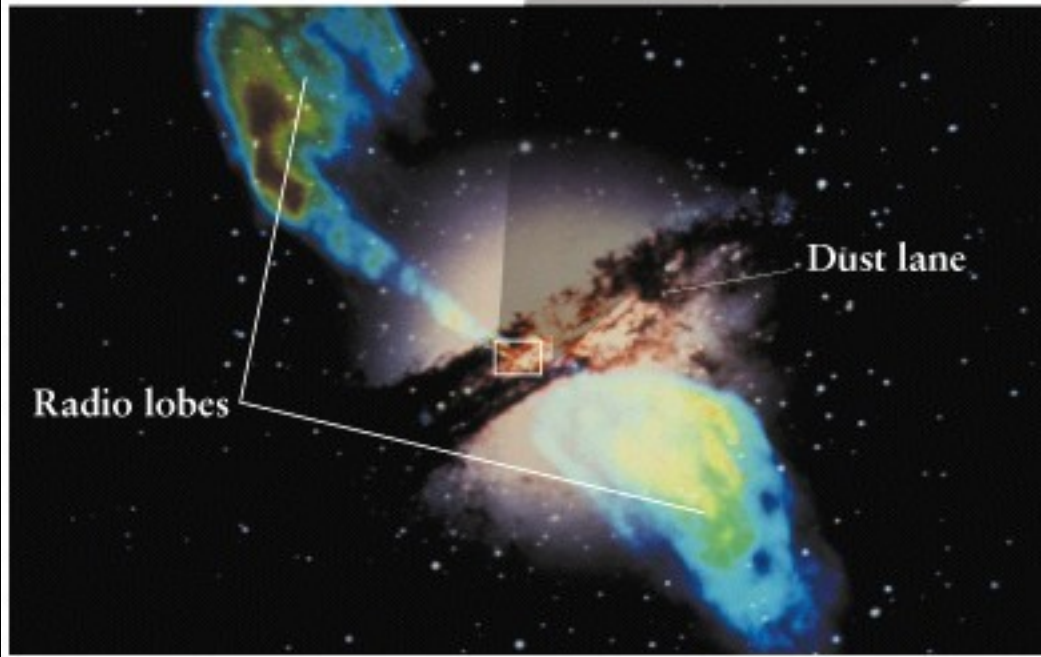
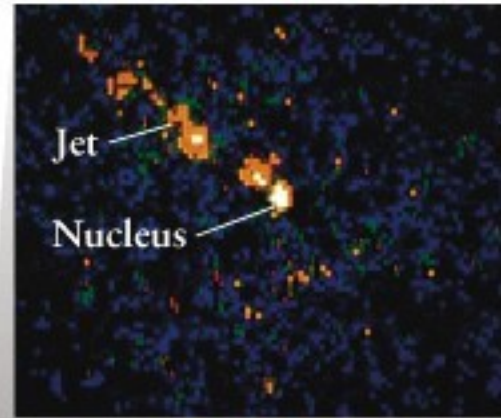
Synchrotron-
Strahlung

-> Viele im Radio
gefunden z.B.
Cambridge Catalogs
z.B. 3C273, 3C279

Flares (Röntgen)

- um Faktor 25!
- in ≈ 3 Std
→ Objekt klein,
wenige Lichtstunden

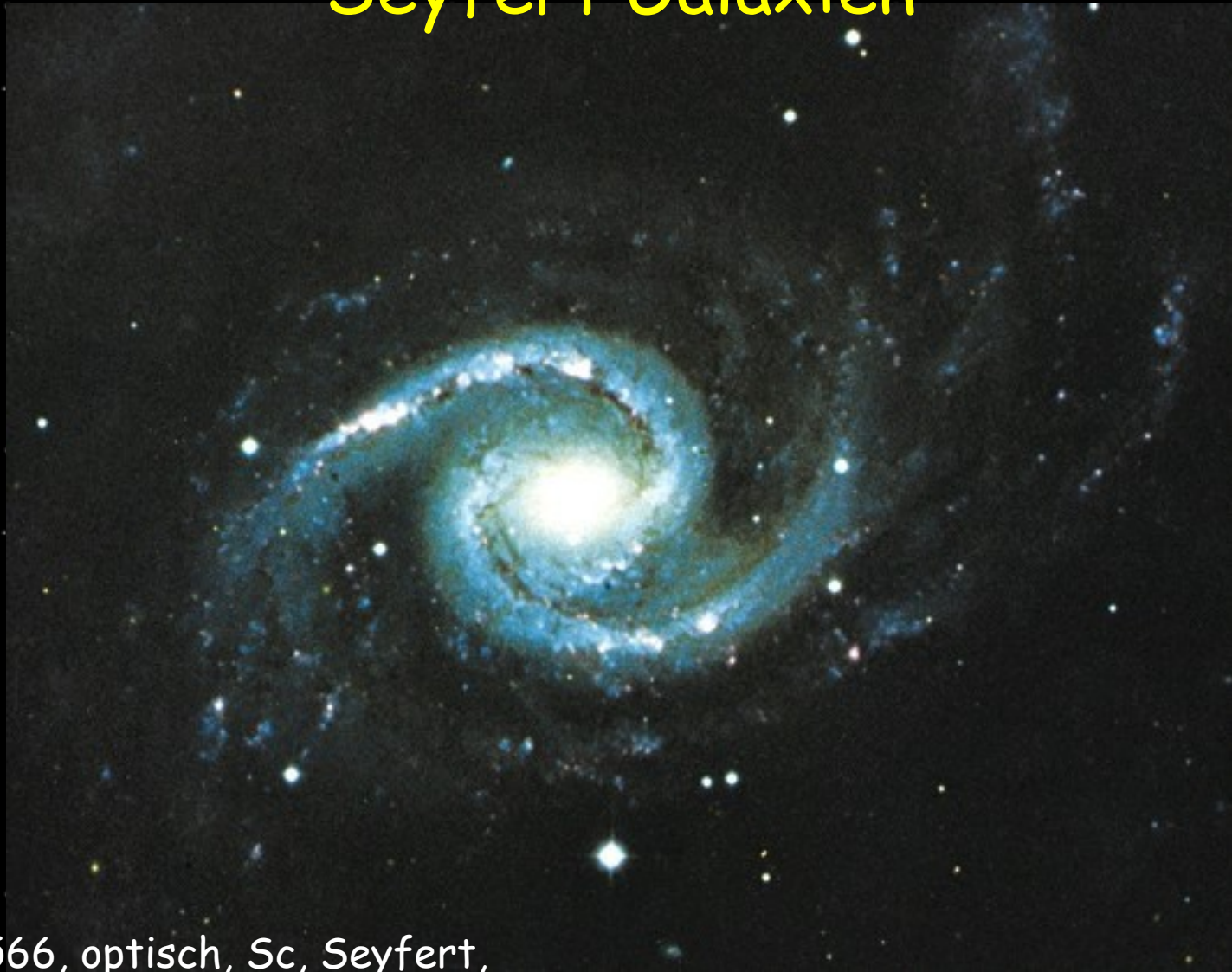
Radio Galaxien



NGC 5128
(Centaurus A):

optisch, radio, insert:
Röntgen

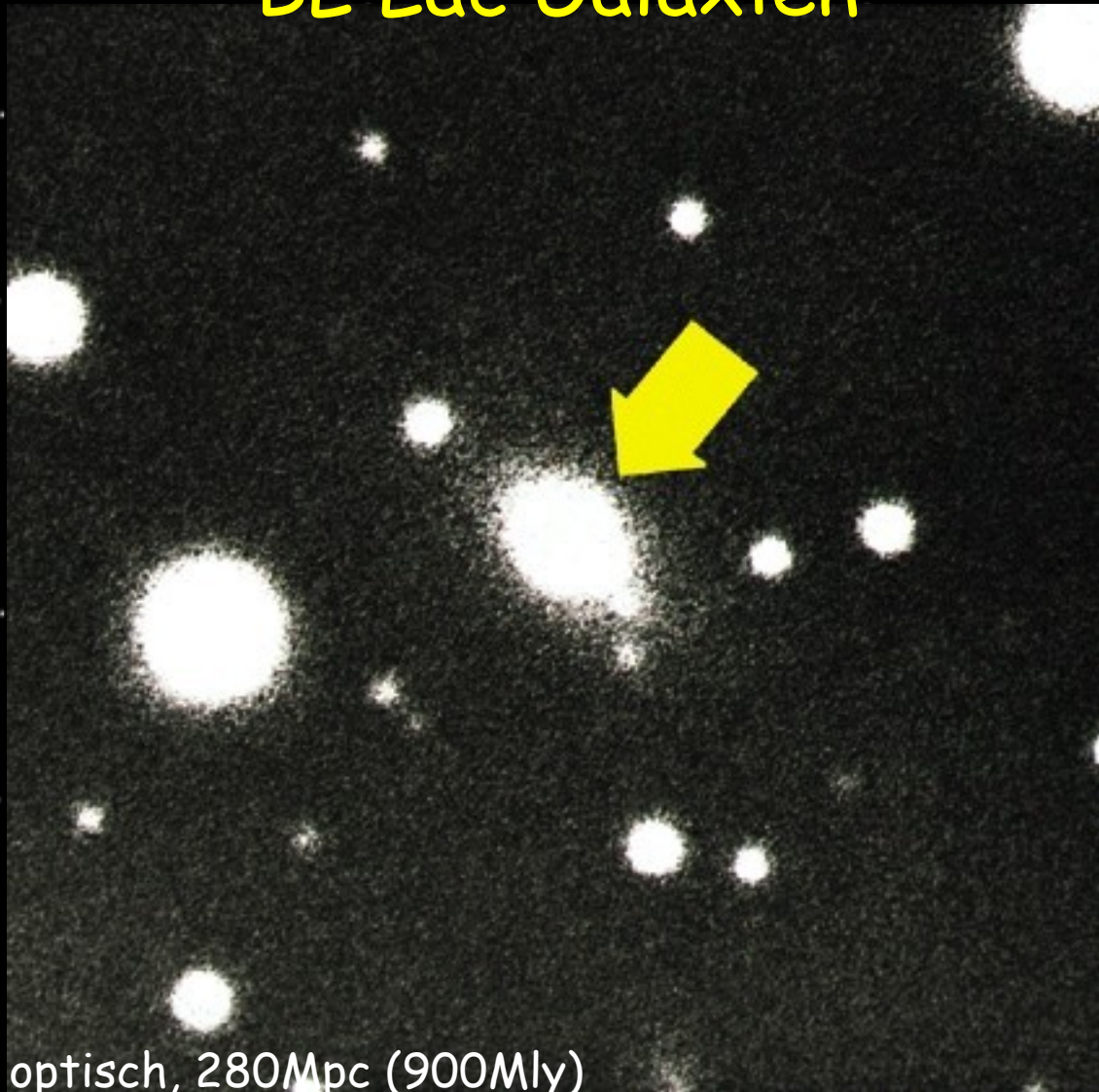
Seyfert Galaxien



NGC1566, optisch, Sc, Seyfert,

Emissionslinien von hochionisierten Atomen im Kern

BL Lac Galaxien



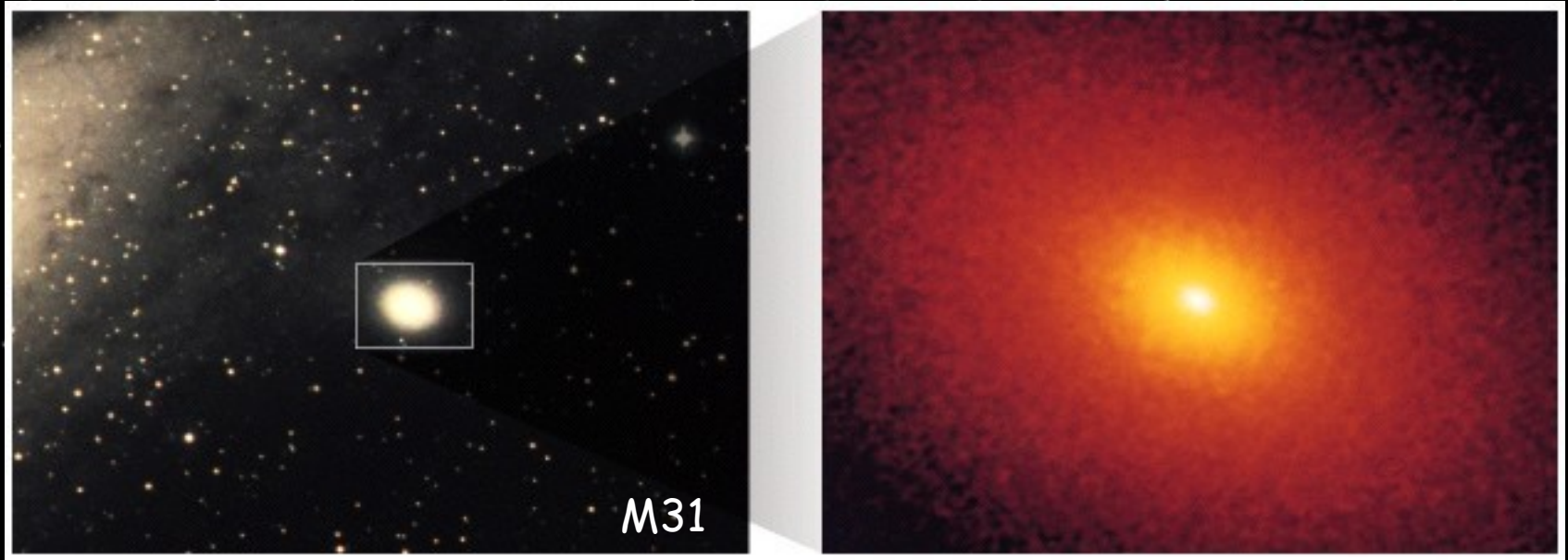
BL Lacertae, optisch, 280Mpc (900Mly)

Energiequelle von AGNs

Zentrales Schwarzes Loch

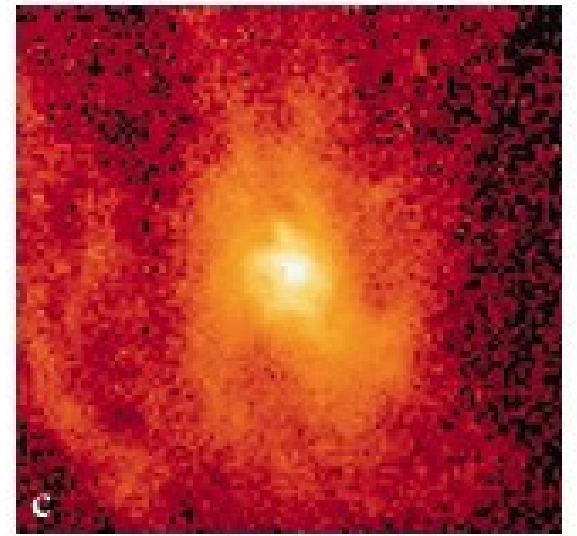
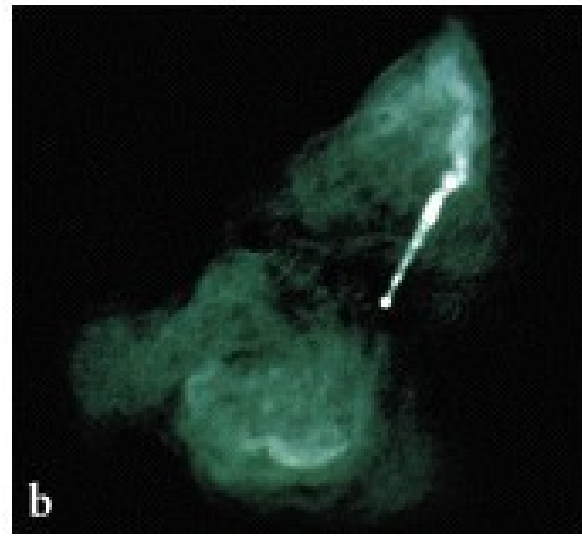
M31 $5 \times 10^7 M_{\odot}$

M104 $10^9 M_{\odot}$



Energiequelle von AGNs

M87: $3 \times 10^6 M_{\odot}$



a) Optisch

b) Radio

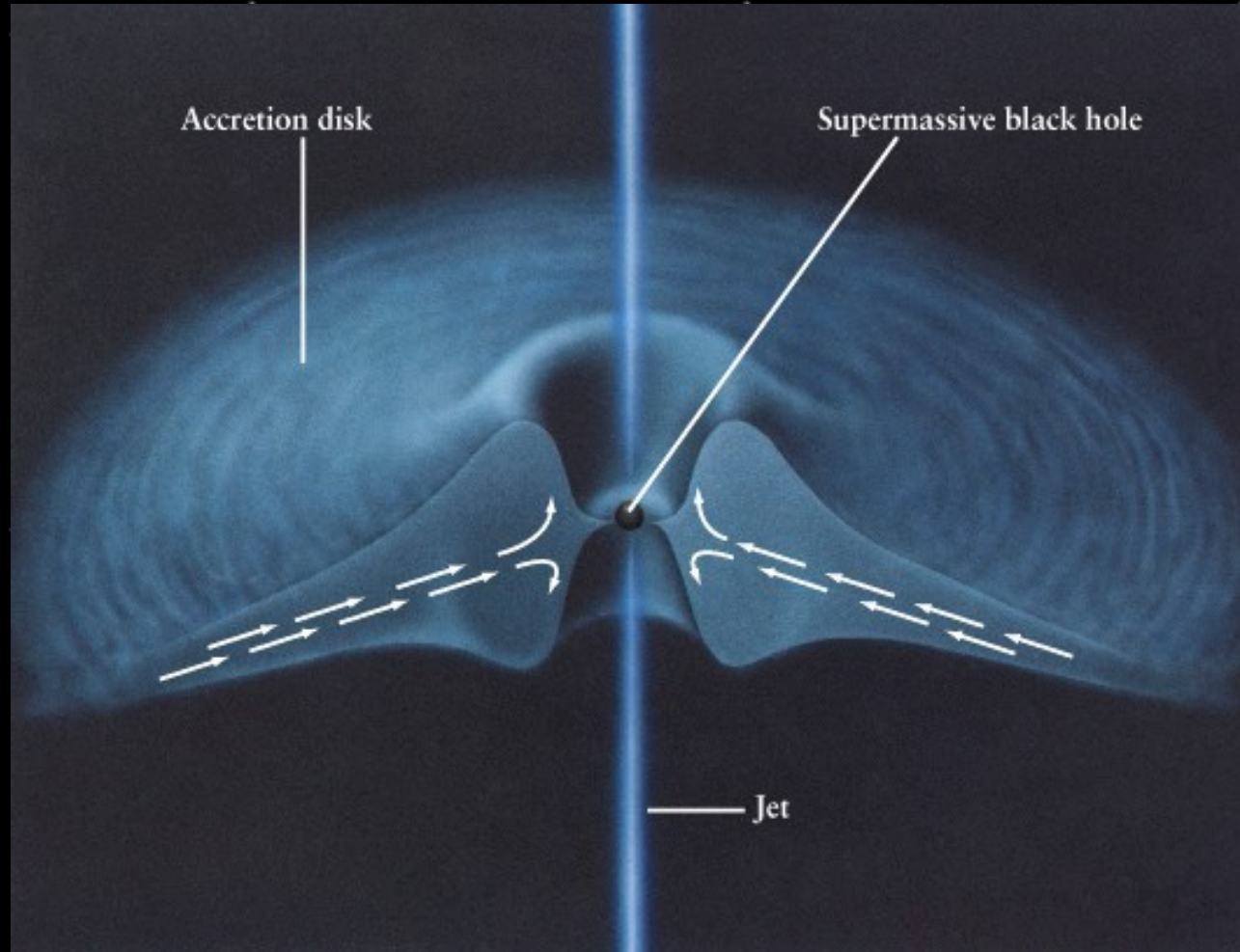
c) Optisch

(M87 Punkt in Mitte)

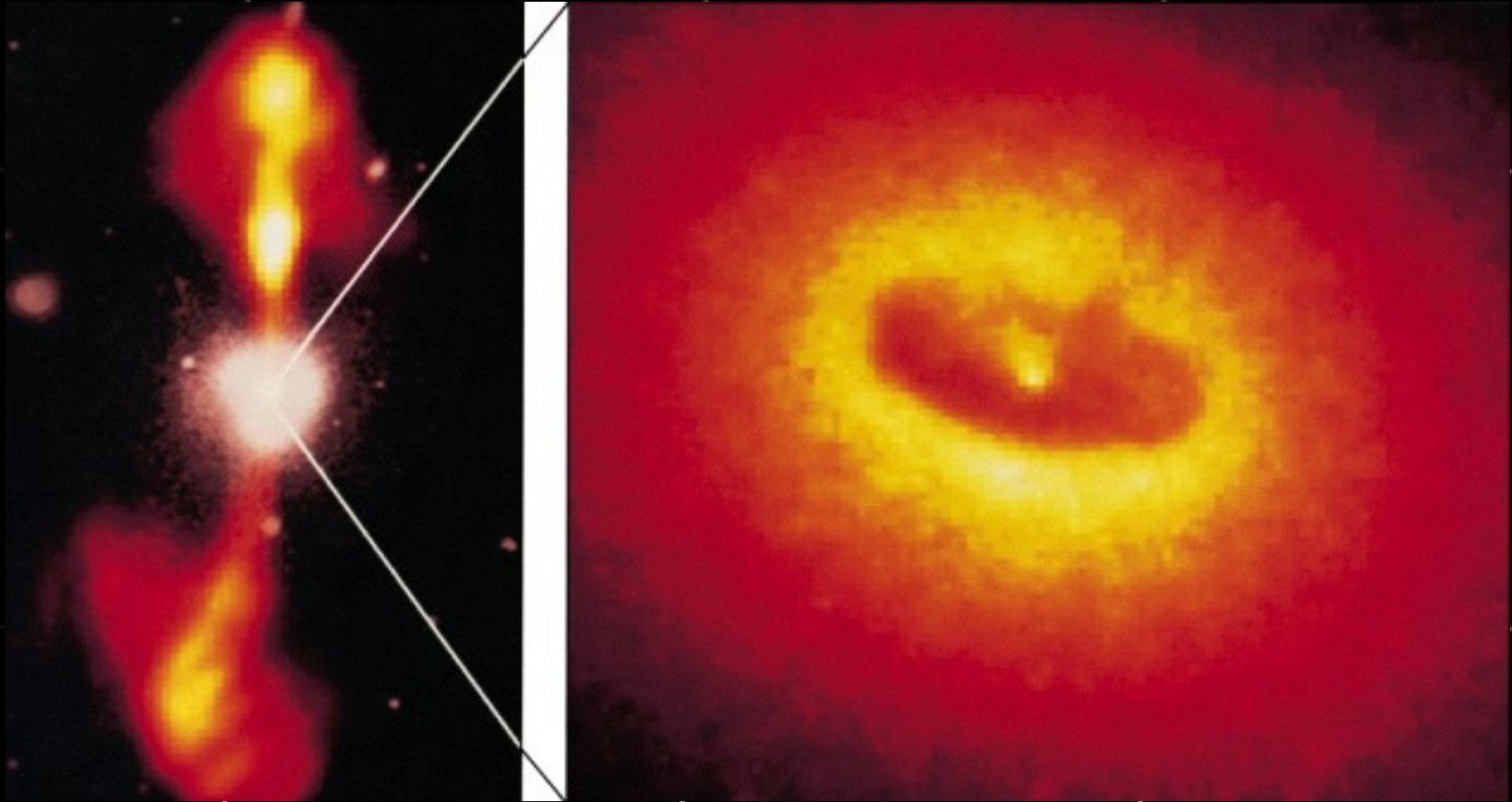
(Kern von M87)

Energiequelle von AGNs

Schwarze Loch mit Akkretionsscheibe



Energiequelle von AGNs

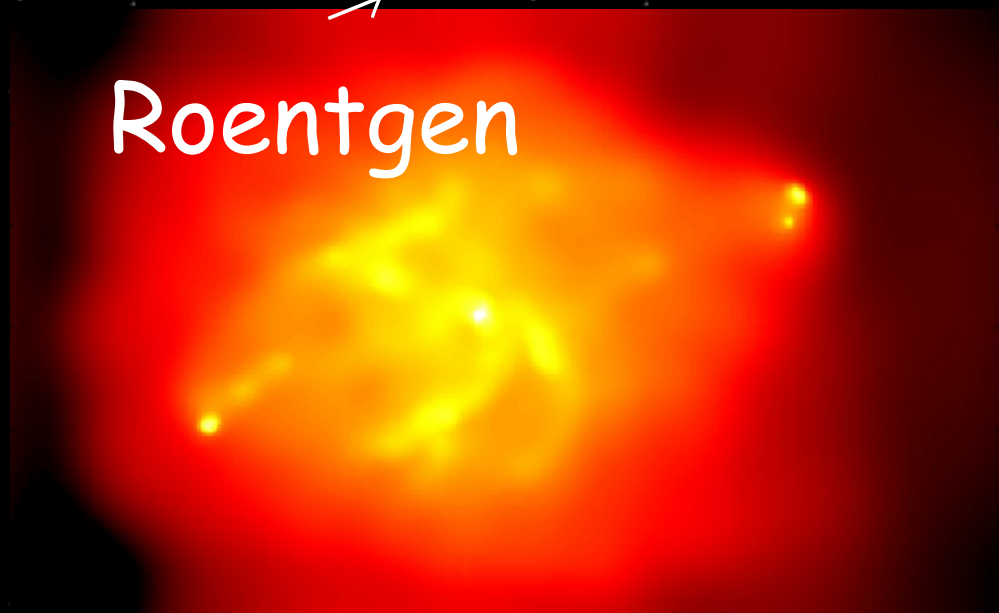
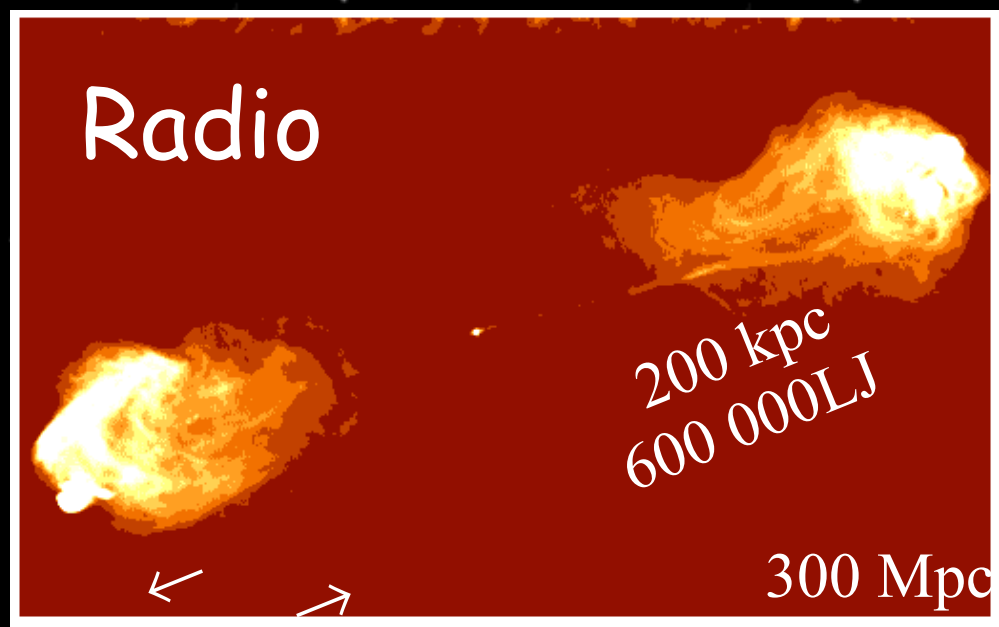


NGC 4261:

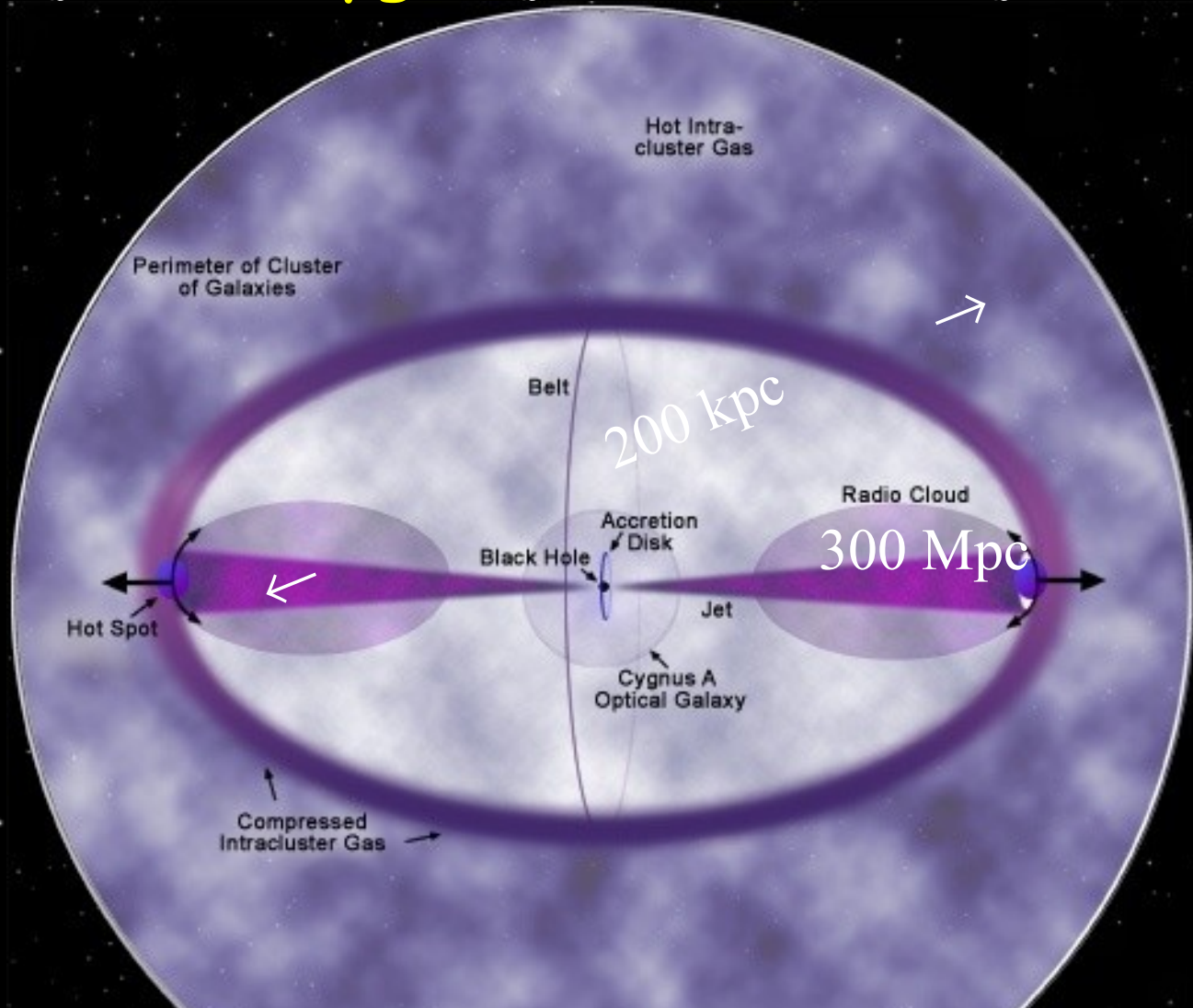
Links: Optisch (weiß) + radio- (orange)

Rechts: HST Optisch

Cygnus A: 3C 405

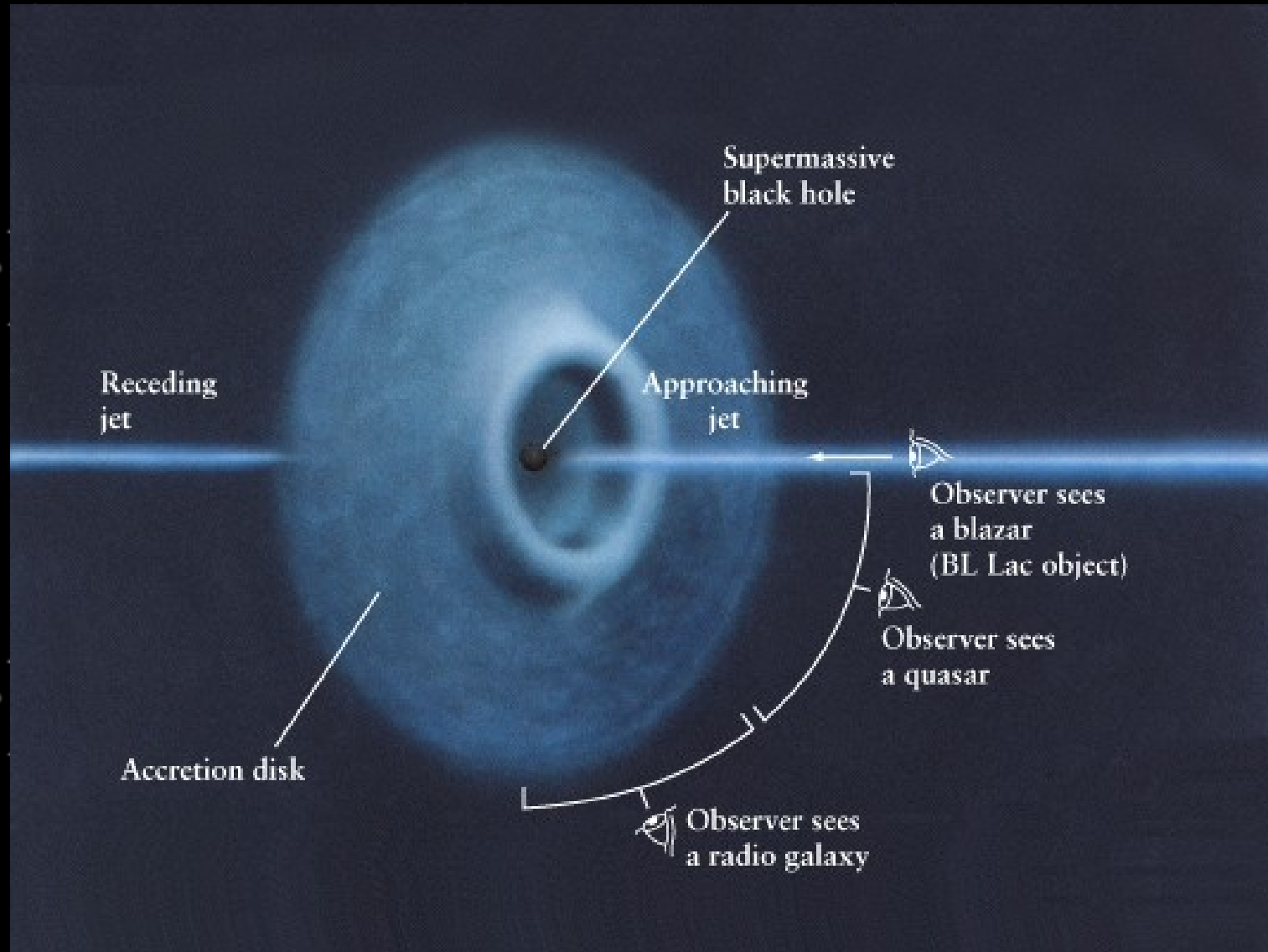


Cygnus A: 3C 405



Jets sind über mehrere Millionen Jahre stabil kollimiert!
Das schwarze Loch muss ständig gefüttert werden!

Unified Model/ starke Emission, radiolaute Quellen



Unified Model

