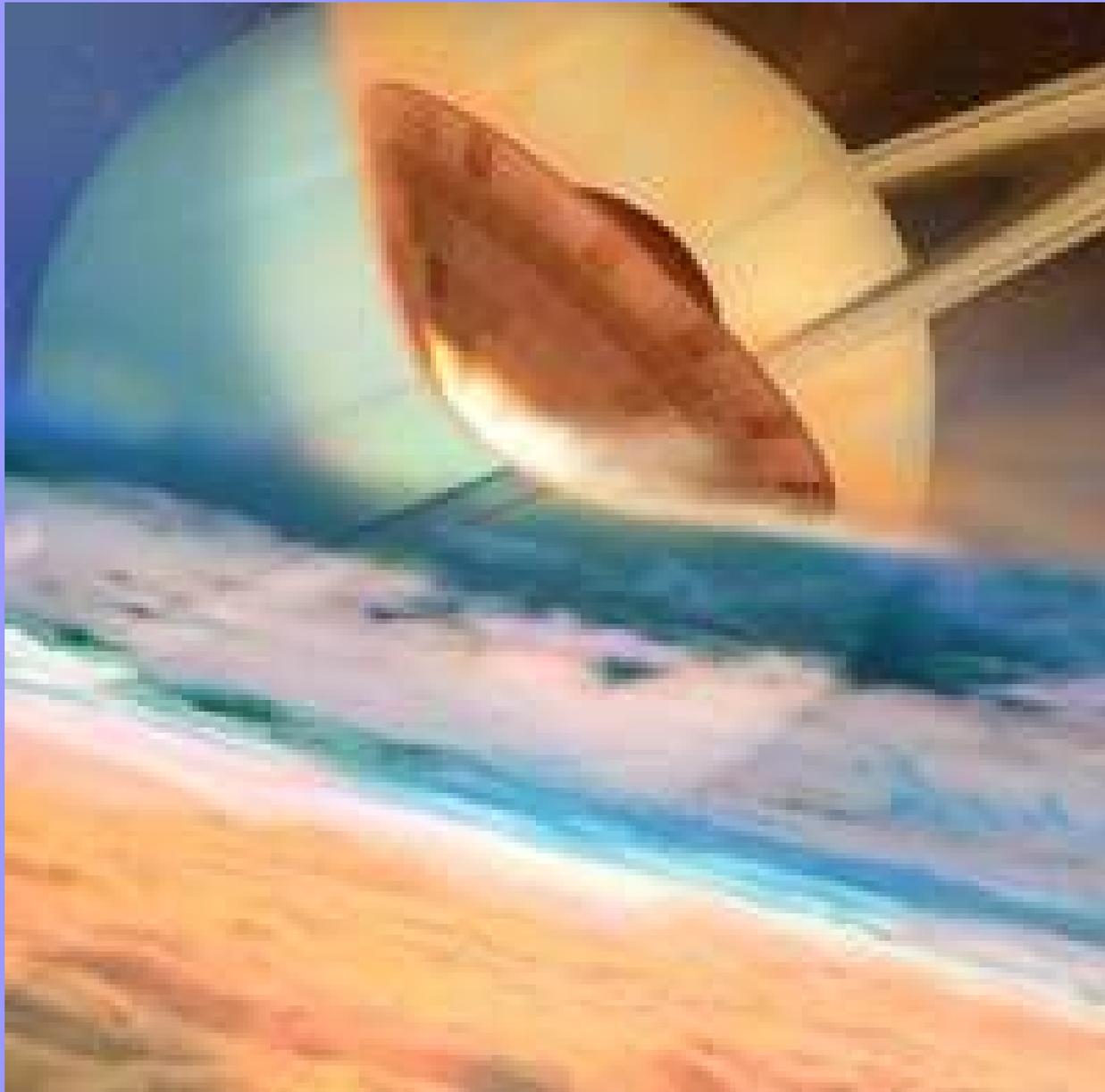


# Titanlander vor Landung auf Saturnmond



# „Huygens' Minuten der Wahrheit nahen“

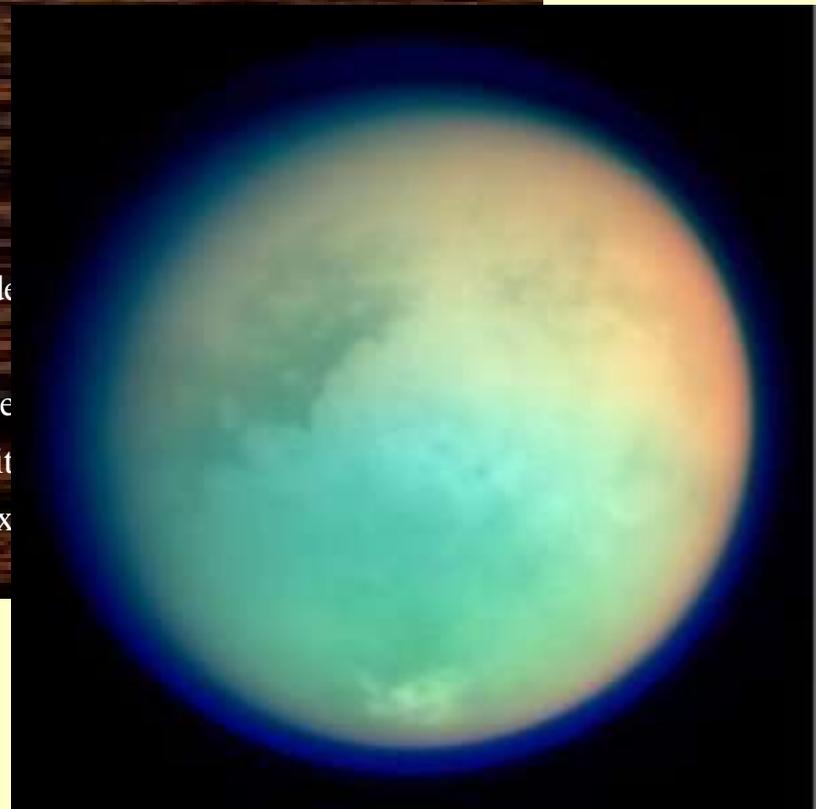


- In 1.25 Milliarden km Entfernung zur Erde
- Cassini seit 1997 unterwegs
- ESA-Sonde: 343 kg
- Durchmesser Titan 5150 km, halb so groß wie die Erde
- Einziger Mond mit Atmosphäre aus Stickstoff und Methan
- Temperaturen von -180 Grad
- zweitgrößter Mond im Sonnensystem, Abstand zum Planeten: 1 221 830 km
- Huygens: Eintritt mit 6 km/s in die Atmosphäre
- Erforschung der Bedingungen, wie sie auch auf der Erde geherrscht

haben könnten



Titan: Falschfarbenaufnahme des zweitgrößten Monde  
des Sonnensystems im infraroten und  
ultravioletten Wellenlängenbereich. Aufgenomme  
am 26. Oktober 2004 von der Cassini Kamera mit  
vier Farbfiltern. Auflösung: 6,4 Kilometer pro Pix  
(Bild: NASA/JPL/Space Science Institute)



# Komet Machholz C/2004 Q2

Machholz (C2004 Q2)

Plejaden

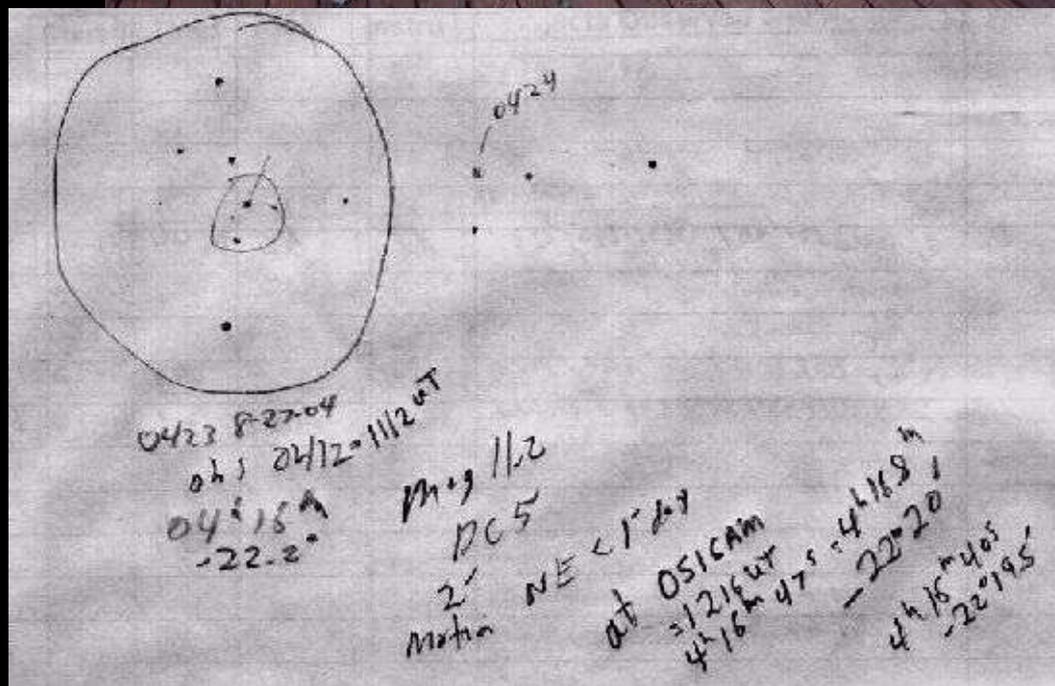
Orion

27.08.2004: Entdeckung

120 000 Jahre für eine Umrundung d. Sonne

5.01.2005: in 52 Mio km Entfernung zur Erde

13.01.2005 21:00 MEZ



# Deep Impact erfolgreich gestartet

**DEEP IMPACT LAUNCHED - January 12, 2005 at 1:47:08 p.m.**



Aufprall mit 36 000 km/h, Krater mit 120 x 25 m

(Kometenkern: 4-6 km): Ziel: Untersuchung der Urmaterie

WS 2004/05

# Hochauflösende Radiobeobachtungen aktiver Galaxienkerne

Silke Britzen

MPIfR, Bonn



Max-Planck-Institut  
für  
Radioastronomie

**Jede 2. Woche!**

**Termine:**

**05.11.2004**

**Im Internet auf:**

**19.11.2004**

**<http://www.mpifr-bonn.mpg.de/staff/sbritzen>**

**03.12.2004**

**pdf-Version der Vorlesung im Internet**

**17.12.2004**

**Vorlesungsfreie Zeit**

**14.01.2005**

**Meine e-mail:**

**[sbritzen@mpifr-bonn.mpg.de](mailto:sbritzen@mpifr-bonn.mpg.de)**

**28.01.2005**

**Heute:**

**11.02.2005**

**Wechselwirkung & Aktivität**

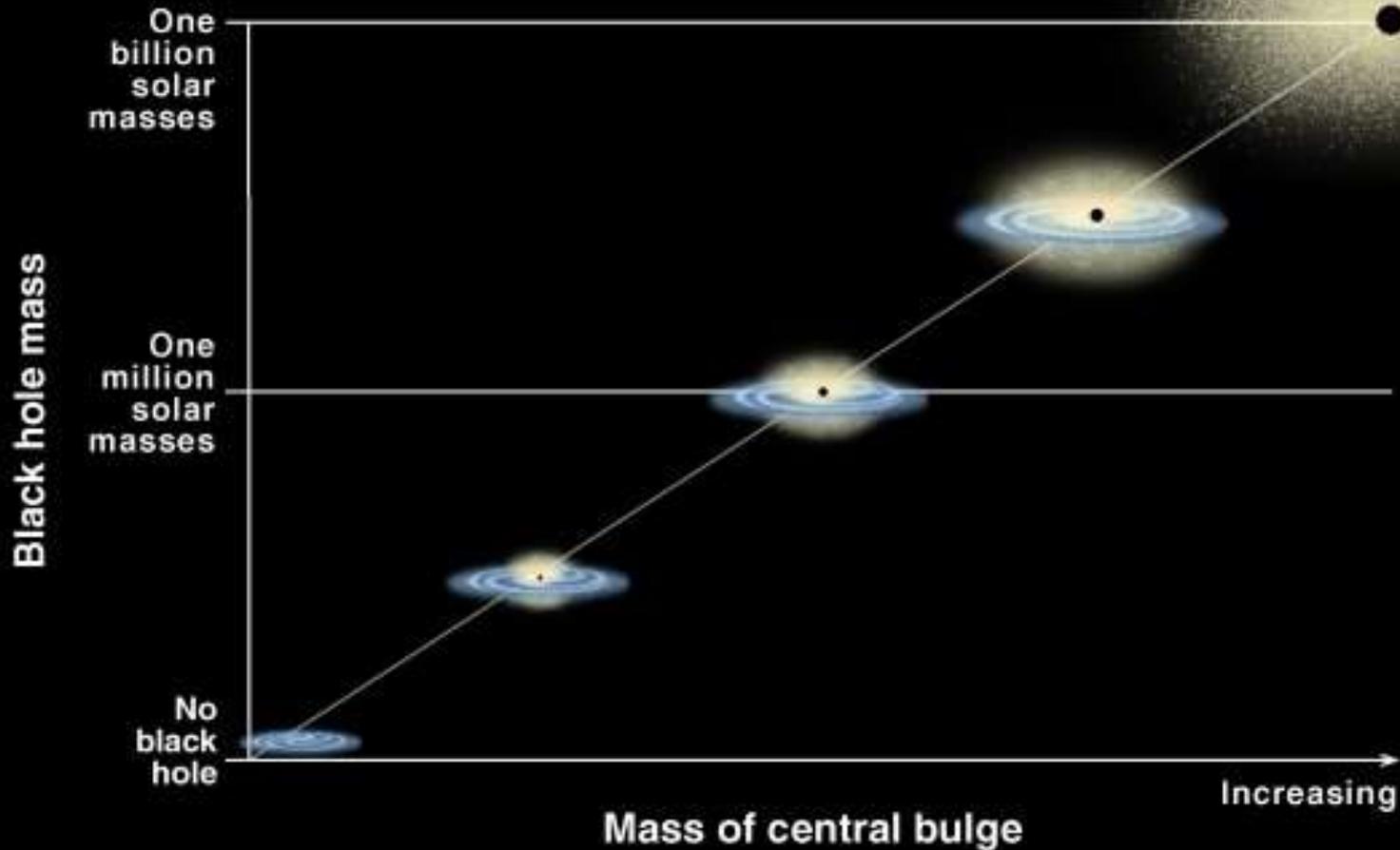
# Literatur

## ■ Articles:

- *The Space Distribution of Quasars*, F.D.A. Hartwick & D. Schade, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 1990. 28: 437-89
- *Dynamics of Interacting Galaxies*, J.E. Barnes & L. Hernquist, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 1992. 30: 705-42
- *The Fueling and Evolution of AGN: Internal and External Triggers*, S. Jogee, astro-ph

# Kurze Zusammenfassung

# Correlation Between Black Hole Mass and Bulge Mass



22 000 Systeme .... Emissionslinien, Sternentstehung

Ferrarese & Merritt 2000; Kauffmann et al.

- **Seyfert Galaxien**

- Assoziiert mit späten Galaxientypen, häufiger in reichen Feldern; werden in wechselwirkenden Galaxien mit nahen Begleitern gefunden; einige Seyferts zeigen multiple Kerne und Gezeiten-Effekte, viele amorph oder anders gestört



Galaxie im Sternbild Circinus,  
Typ 2 Seyfert Galaxie. 2 starburst  
Ringe (Hubble, NASA, A. Wilson et al.)

## ■ QSOs und Quasare

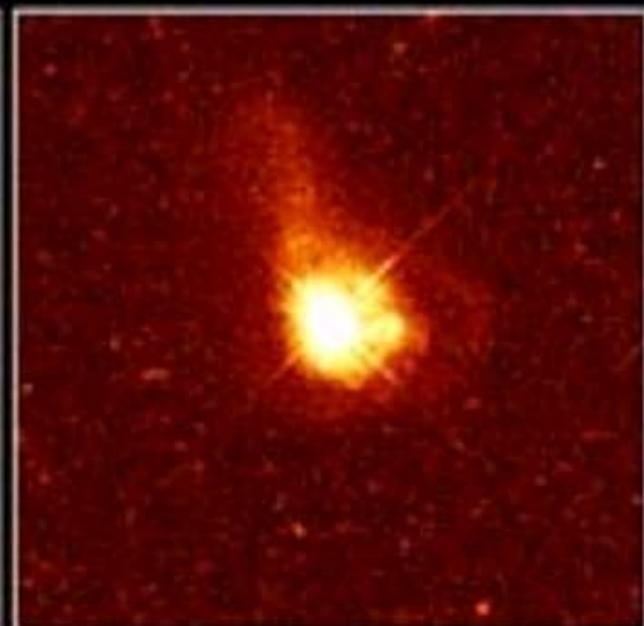
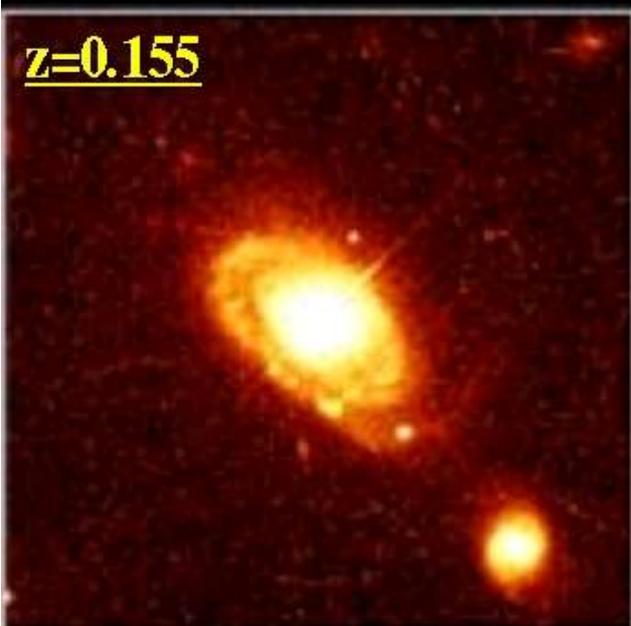
- Quasar Aktivität wird durch Galaxien Kollisionen getriggert; 70% der nahen Objekte haben Begleiter; viele leuchtkräftige IRAS Galaxien sind „buried quasars“; oder Systeme die sich in Quasare entwickeln werden

normale Spiralgalaxie

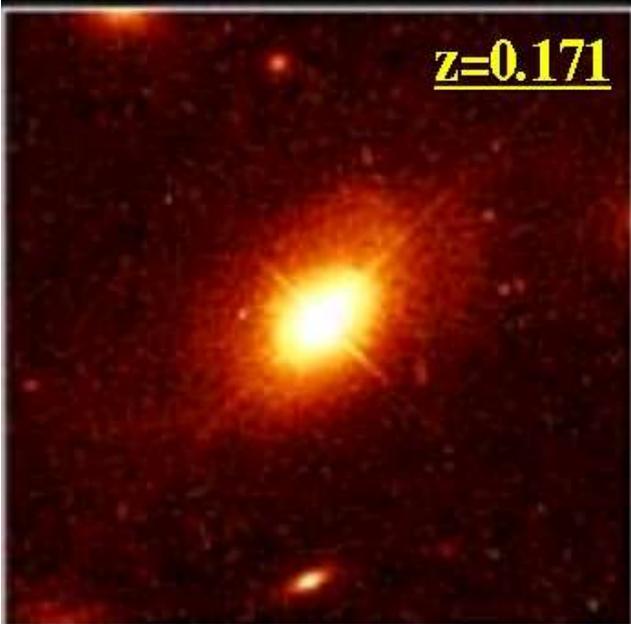
zerrissen,  $z=0.286$

?,  $z=0.265$

$z=0.155$



$z=0.171$



normale elliptische Galaxie

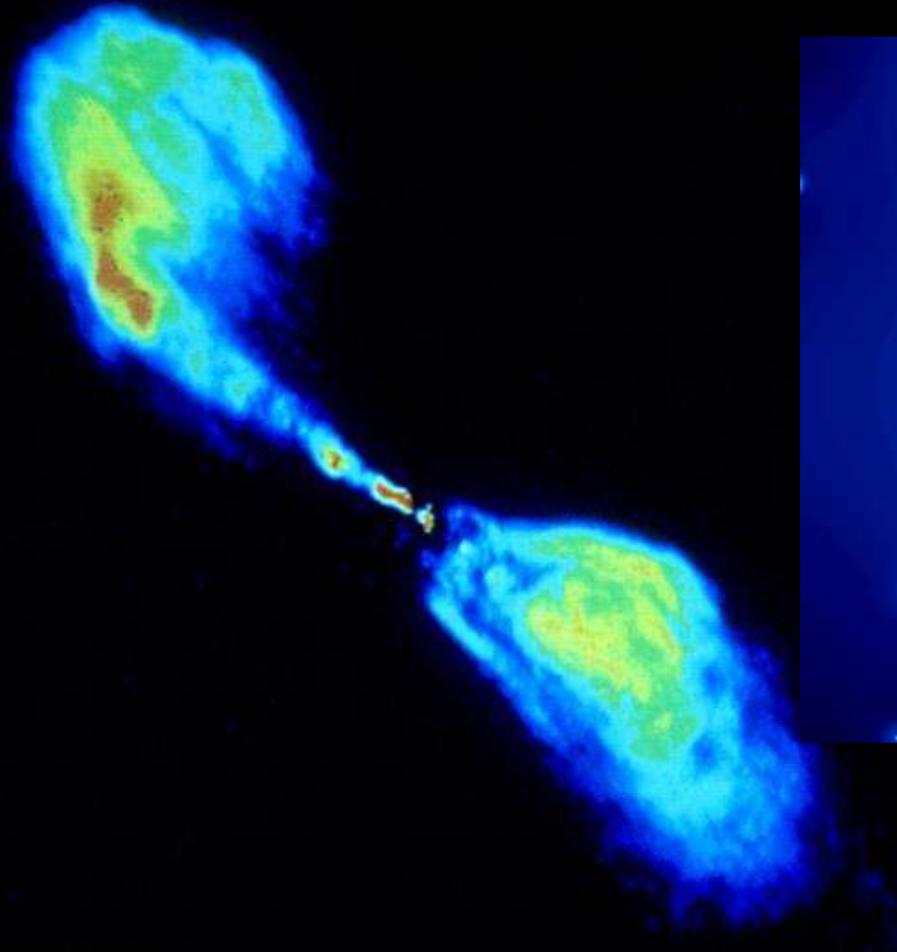
"merger",  $z=0.187447$

"merger",  $z=0.205102$

## ■ Radio Galaxien

- Viele Radio Galaxien sind die Produkte von kürzlichen Verschmelzungsprozessen; Verschmelzungsreste sind morphologisch vergleichbar den elliptischen Galaxien => Centaurus A

# Radio Galaxien

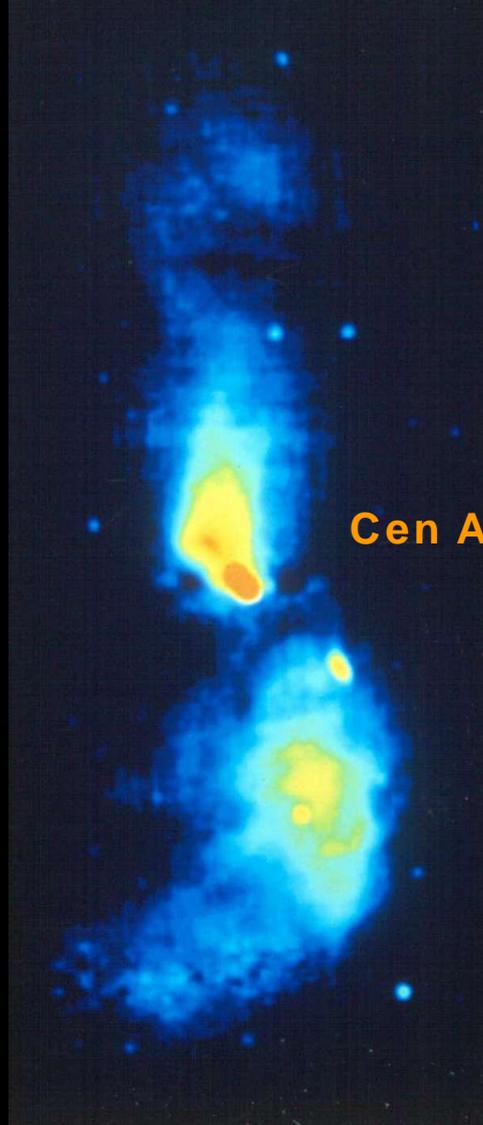


CHANDRA Röntgen Bild,  
Lichtlänge: 30000 Lichtjahre

Centaurus A, Radio (left, Burns & Price 1987);  
Radio+optical  
(right, Anglo Australian Telescope, VLA);  $z=0.0006$



Mond



Cen A

Das Bild zeigt die ganze Ausdehnung der Radiostrahlung von Centaurus A bei 6 cm Wellenlänge.

Die scheinbare Ausdehnung am Himmel beträgt über 8 Grad; das entspricht 16 Mondbreiten!

In einer Entfernung von ca. 10 Millionen Lichtjahren ist das eine lineare Ausdehnung von über 2 Millionen Lichtjahren.

Bilder: N. Junkes, R. Gendler

# *Centaurus A (NGC 5128)*

X-ray, radio, and optical images suggest that the galaxy is in tremendous turmoil with energetic arcs and jets after merging with the barred spiral some 100 million years ago

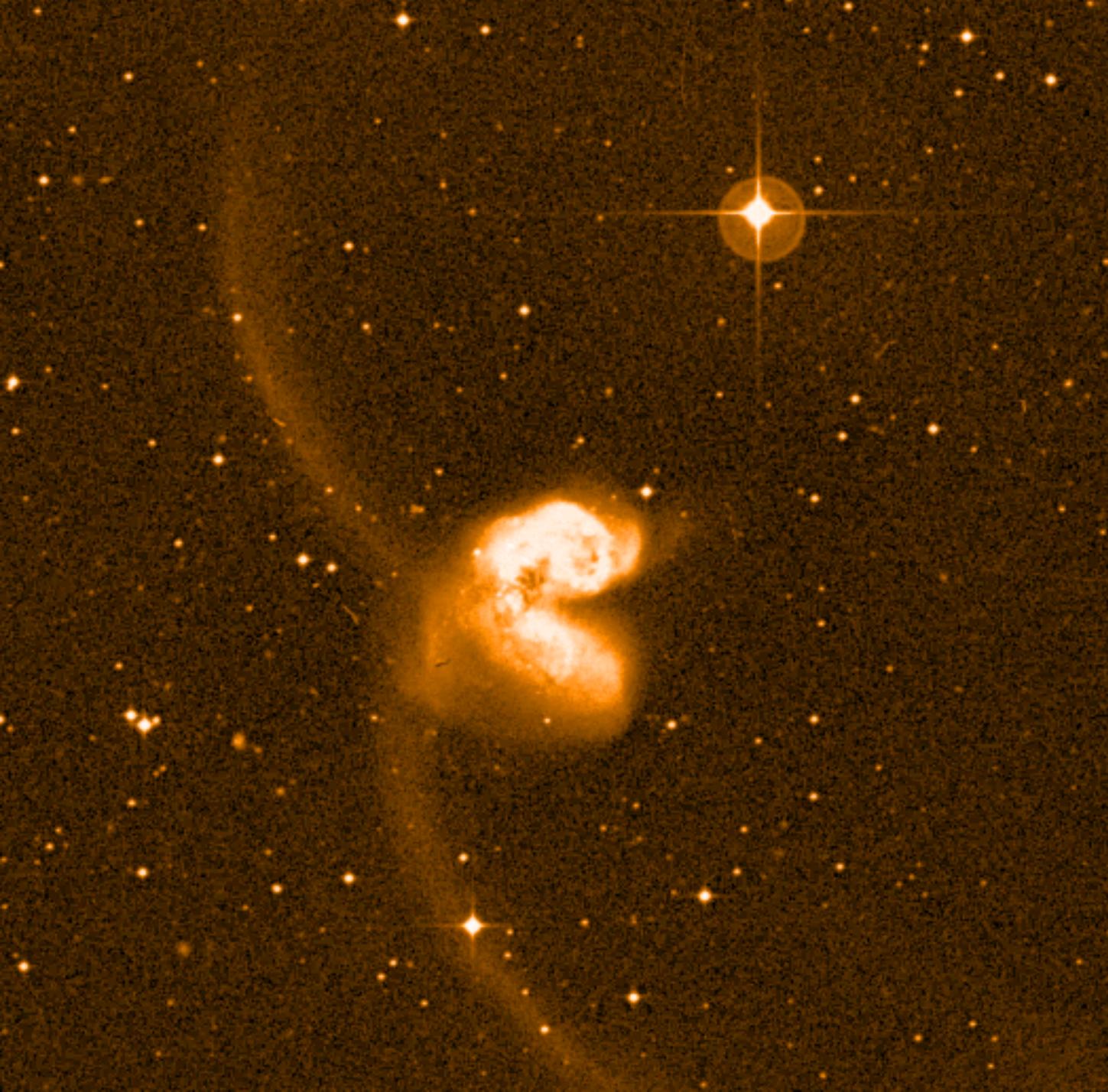
1. Juni 2004, Infrarot-Beobachtungen



*The warped and twisted disk of a spiral galaxy devoured by Centaurus A has dust shaped like a parallelogram around 1,000 ly wide (Spitzer Space Telescope)*



*X-ray (CXC/NASA/Karovska et al, 2002); radio 21-cm (NRAO/VLA/Schiminovich et al), and continuum (NRAO/VLA/Condon et al); and optical (Digitized Sky Survey/UK Schmidt/STScI)*



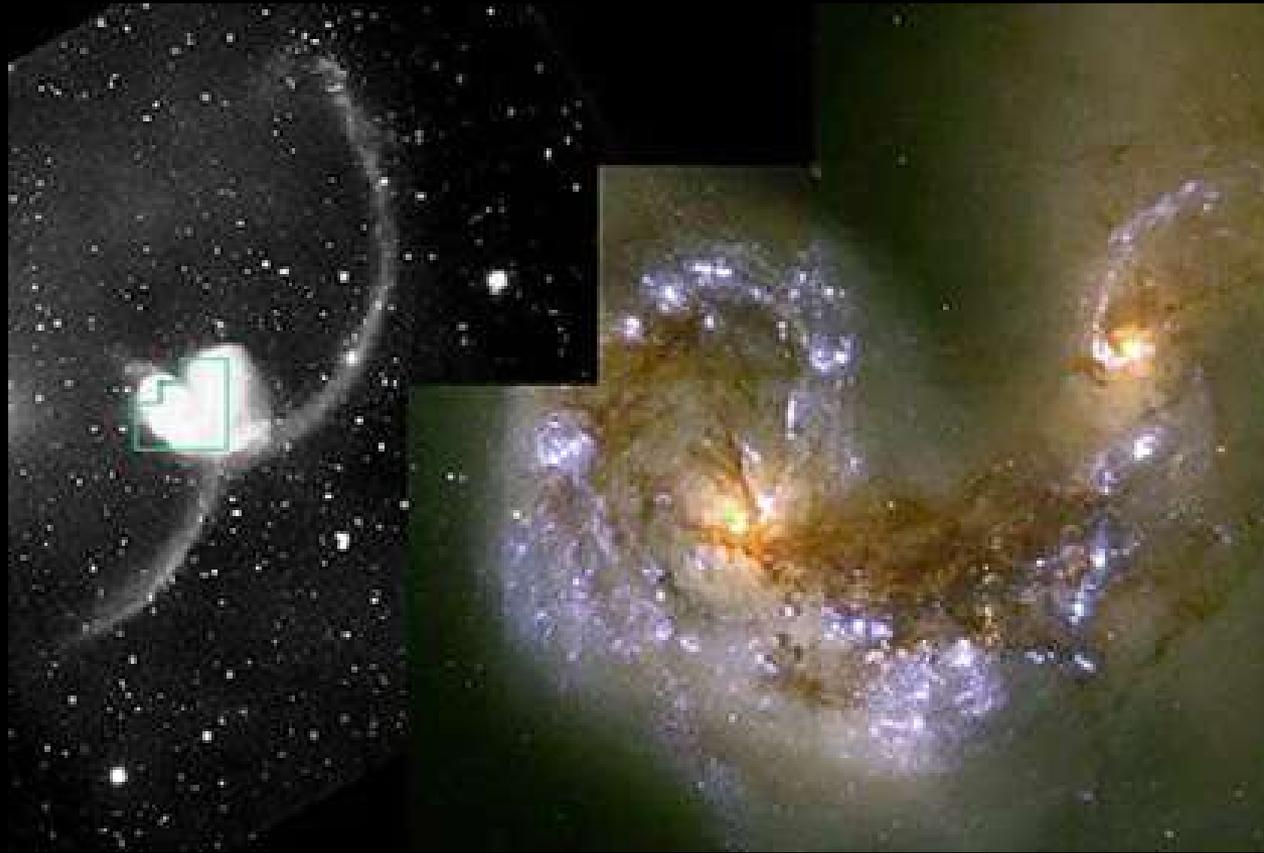
NGC4038/4039

Antennengalaxie

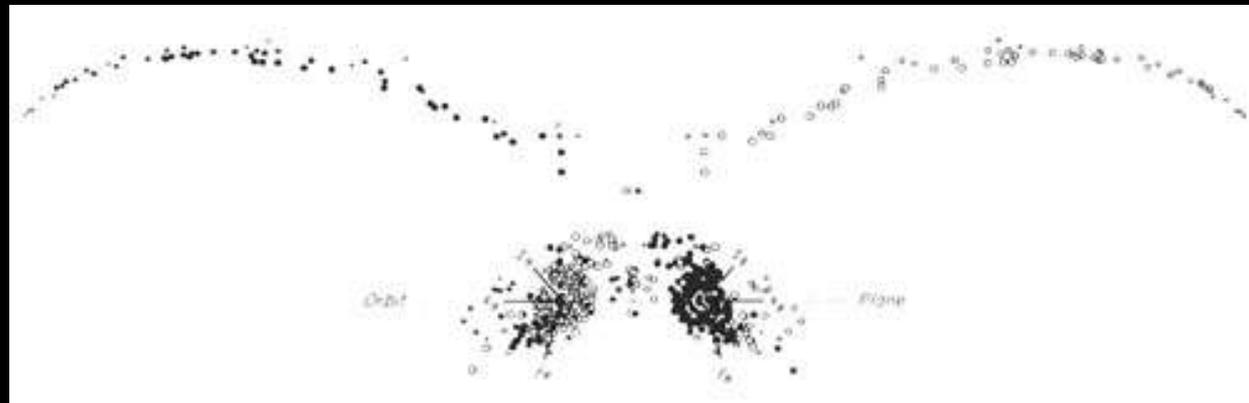
The interacting galaxies

NGC 4038/4039

(Antennae galaxies)



Toomres' model  
of the galaxy pair

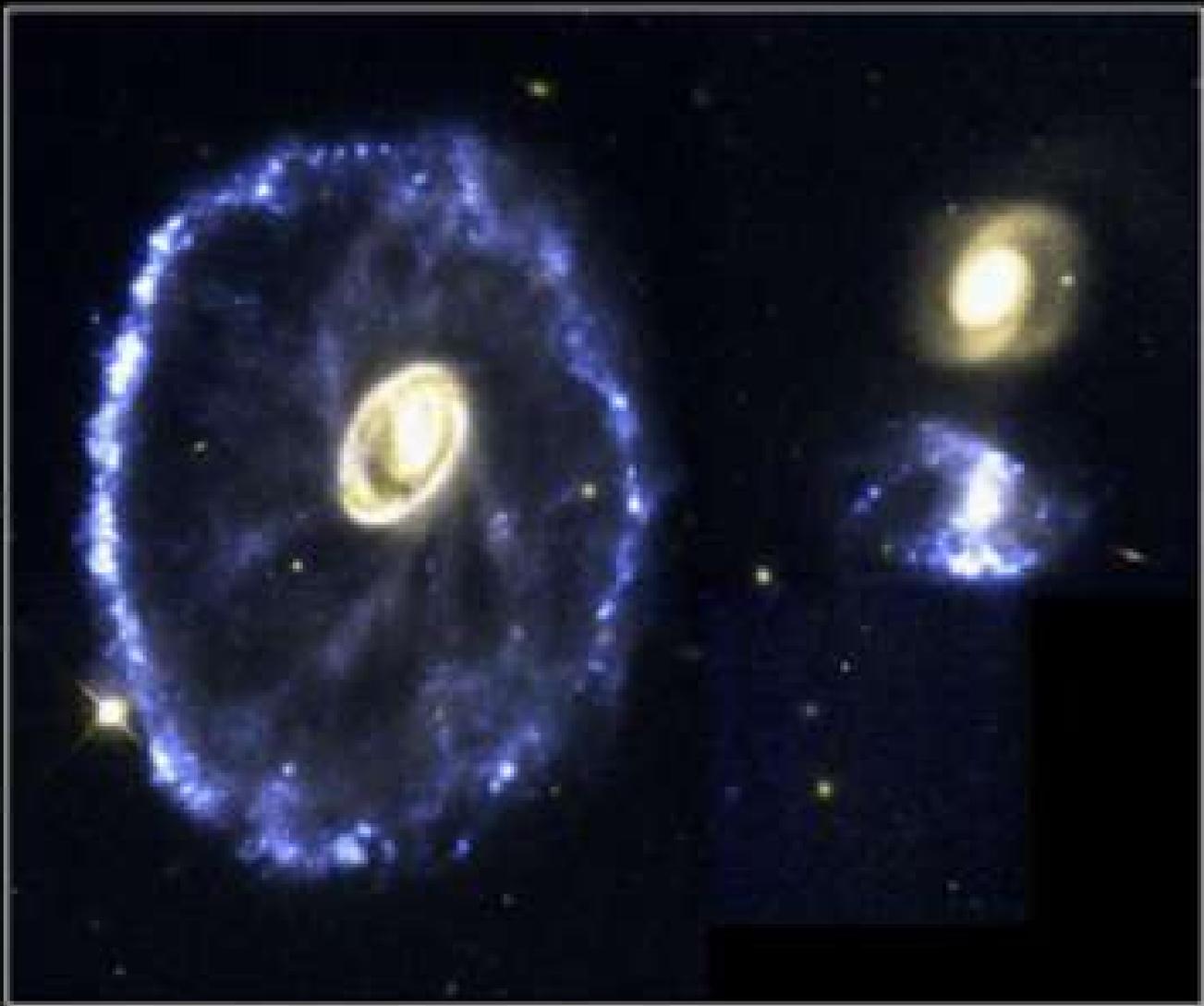


# Wechselwirkungen

- Zwicky (1956, 1959) beschrieb das Spektrum der verschiedenen ausgedehnten Strukturen als: „clouds, filaments and jet of stars which are ejected massively from galaxies in collision“ by „large scale tidal effects“.
- Brücken: in wechselwirkenden Scheiben-Galaxien, große Galaxien in WW mit kleinen Begleitern
- „Wagenrad“ Galaxie: Galaxien mit deutlichen Ringen, wenn Begleiter-Galaxie senkrecht durch die Ebene des Opfers fällt, Oszillationen in der Ziel-Scheibe werden angeregt
- Gestörte Elliptische Galaxien: interessanter wenn WW zwischen elliptischen Galaxien, denn in reichen Haufen sind die WW schneller und die gestörten elliptischen Galaxien produzieren „Sprays“ an Sternen statt schmalen Filamenten; Systeme werden nicht zerstört sondern Halos entstehen; dumbbell galaxies: letztes Stadium von Verschmelzungen reicher Haufen

# Die Wagenrad-Galaxie





# Cartwheel Galaxy

HST · WFPC2

PR85-02 - ST ScI CPO - January 1995 - K. Boone (ST ScI), NASA

12/23/94 agf

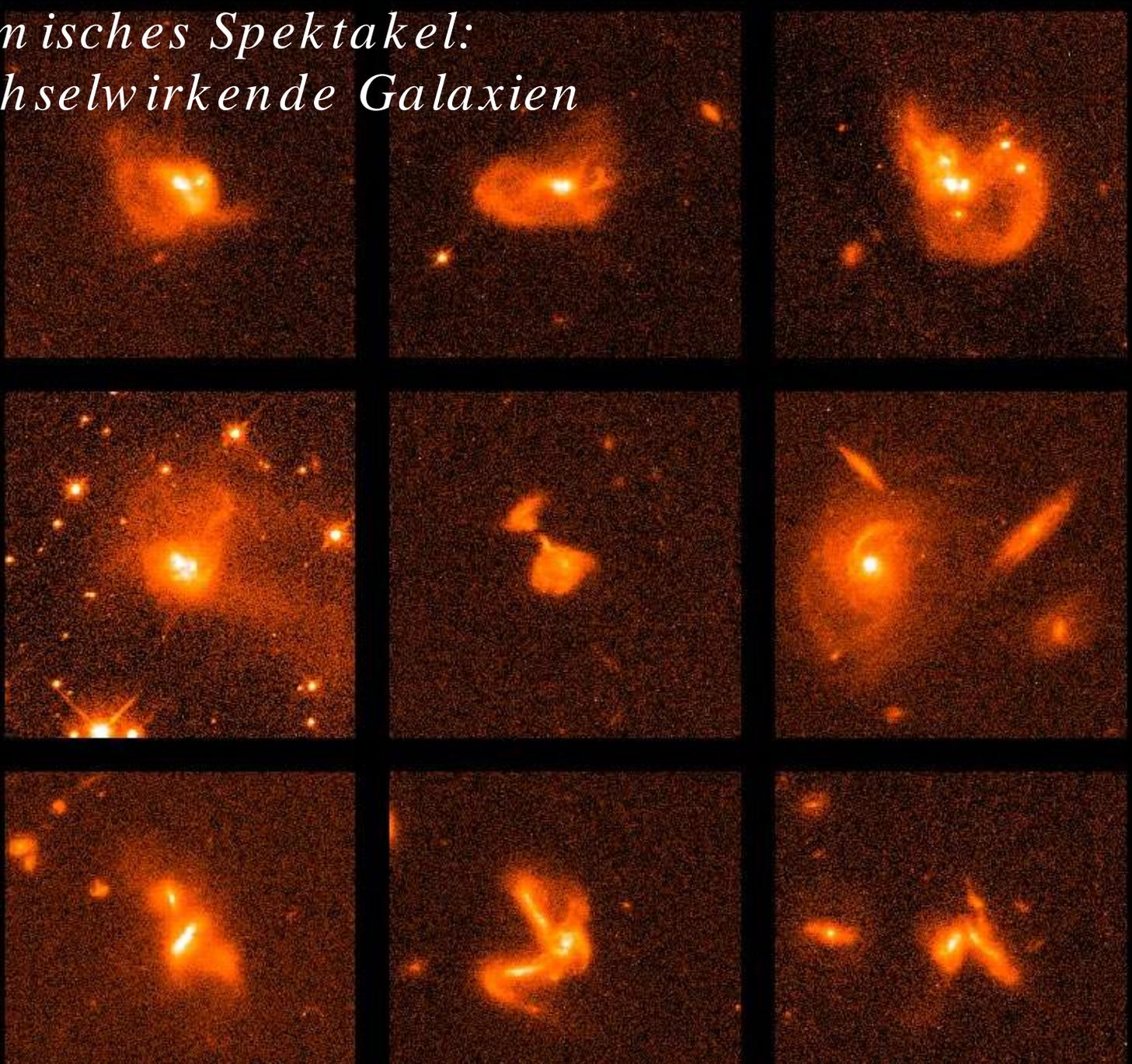
# Wechselwirkungen

- Zwicky (1959) beschrieb als erster ein mögliches Szenario einer Verschmelzung naher Begleiter: „considerable disruption of both systems [or] total mutual capture“.
  - Sphärische Systeme: kein gebundenes Paar von Galaxien kann dem Verschmelzen entgehen, Zerfallszeit kann in Einzelfällen lang sein, es bildet sich eine ausgedehnte Region; Kernradien vergleichbar der Opfergalaxien, zentrale Dichten und Geschwindigkeitsdispersionen aber größer; einfache Formen und Kinematik
  - Scheiben/Halo Systeme: Dynamik wird bestimmt durch die WW der ausgedehnten dunklen Halos; auch wenn sich die optischen Komponenten komplett verpassen, kann dies zu einem sehr schnellen Zerfall führen; Formen und Kinematik der Überbleibsel komplexer als bei sphärischen Systemen

# Aktive Galaxien

- Gibt es einen Zusammenhang zwischen Aktivität und Wechselwirkung und wie sieht er aus?
- **Starburst Galaxien**
  - Larson & Tinsley (1978): pekuliäre Galaxien im Arp-Atlas (1966) sind blauer als isolierte Counterparts; beste Anpassung durch intensive Sternentstehung; Hinweise auf induzierte Sternentstehung zwischen kollidierenden Galaxien; mögliche Erklärung: WW beschleunigen Sternentstehung wenn Gas komprimiert wird in Schocks und Wolken-Wolken WW
- **Infrarot Galaxien**
  - Extreme Beispiele von Starburst-Galaxien: Emission wird vorwiegend im Kern erzeugt; WW verantwortlich; Verschmelzungen zw. Scheiben vergleichbarer Masse erzeugen substantielle nukleare Gaskonzentrationen (Arp 220); sieht so aus als ob alle ultraleuchtkräftigen IRAS Objekte doppelte Kerne besäßen, Intensität der Emission ist korreliert mit der Distanz der Kerne, unerwartet, Doppel-Kern-Phase ist nur kurzlebig

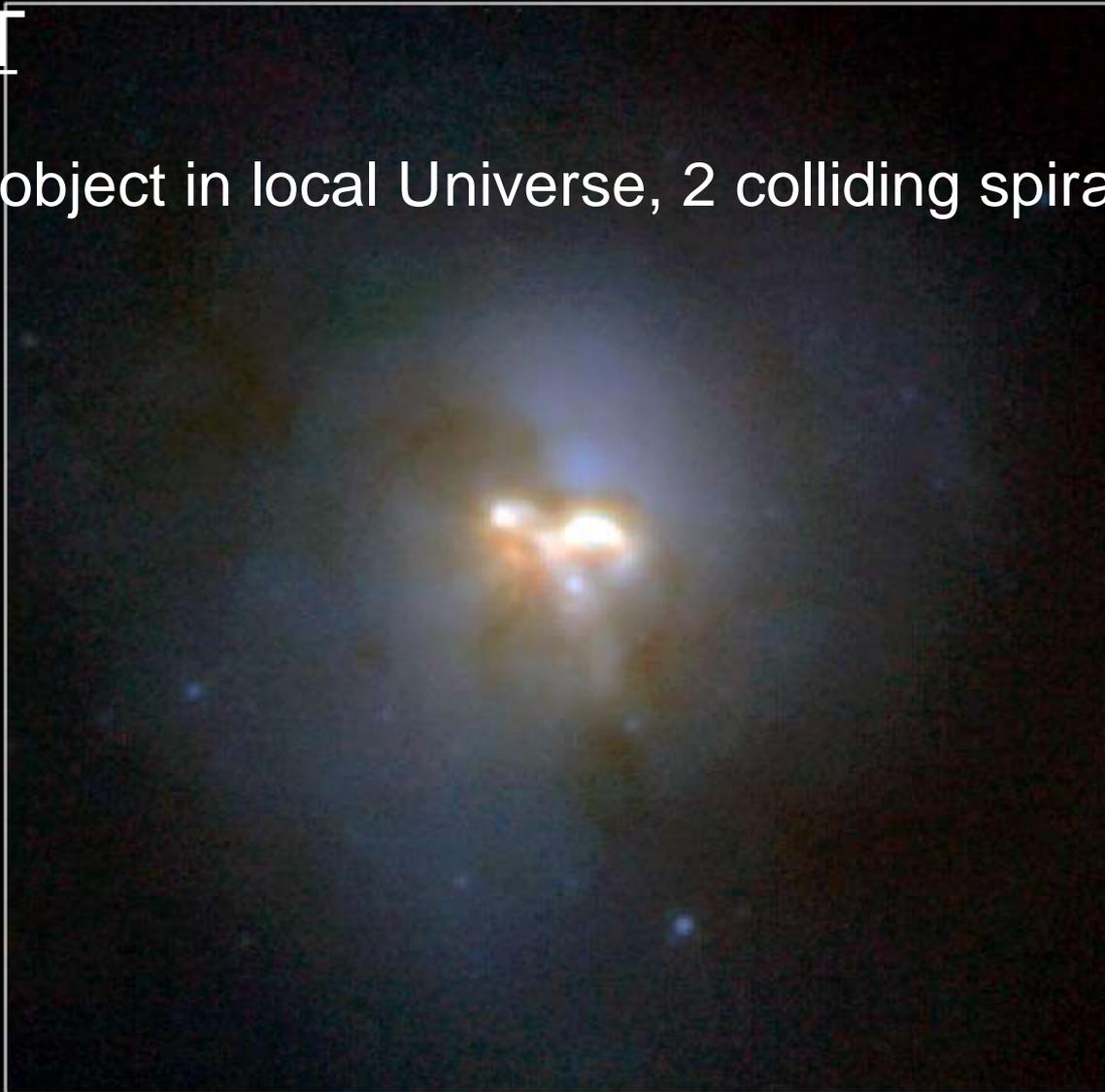
*Kosmisches Spektakel:  
Wechselwirkende Galaxien*



HST observations of ULIRGs: ultra-luminous infrared galaxies

# Arp 220 - HST

Brightest object in local Universe, 2 colliding spiral galaxies



**Ultraluminous Infrared Galaxy Arp 220**

HST • NICMOS

PRC97-17 • ST ScI OPO • June 9, 1997

R. Thompson (University of Arizona),

N. Scoville (California Institute of Technology) and NASA

250 million light years (redshift  $z = 0.018$ ), Kerne in 1200 l

# Arp 220 - CHANDRA



Kollision vor 10 Mio Jahren, heißes Gas bis in 75 000 LJ Entf.,

Entstehung eines supermassiven Schwarzen Lochs?

# Black Hole Merger Rates

- Hierarchical clustering predicts halo mergers...
  - if the halos merge, eventually so do the MBHs inside
- Final stages of MBH binary coalescence result in emission of low-frequency gravitational radiation...
  - the kind that LISA will be able to detect
- LISA detections...
  - Can probe into galaxy formation at high redshifts
  - Could help answer some of the major questions still unanswered about hierarchical clustering

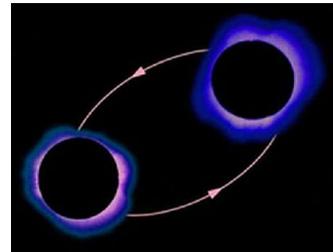
LISA: Laser Interferometer Space Antenna

URL: <http://lisa.jpl.nasa.gov/>

LISA

Opening a new window on the Universe

Laser Interferometer Space Antenna



# Gravitationswellen

# „Urknall schlug Wellen ins All“



SDSS, 46 000 Positionen von Galaxien in Raum mit 5

Milliarden LJ Durchm.

# Aktivität Schwarzer Löcher

## Wachstumsepoche der Schwarzen Löcher

- Akkretion mit Standard Strahlungseffizienz von 0.1 während der Quasar-Ära kann die Massendichte der Schwarzen Löcher in lokalen ( $z < 0.1$ ) frühen Galaxientypen erklären => heutzutage kein signifikantes Anwachsen der Schwarzen Löcher verglichen mit der Quasar-Ära;  
vermutlich unterscheiden sich die lokalen AGN deutlich von den leuchtkräftigen Quasaren nahe  $z=2.5$

- Natur des dominanten Fütterungsmechanismus,
- Menge des kalten Gasvorrates,
- Natur der host Galaxie
- Wechselwirkungen und Verschmelzungen vermutlich in der Quasar-Ära wesentlich häufiger als heute

the most powerful eruption ever witnessed in the  
Universe in the galaxy cluster MS 0735.6+7421



Masse entsprechend 300 Mio Sonnenmassen konsumiert

## Fragen:

- Warum sind nicht alle massiven Galaxien aktiv, obwohl sie doch supermassive Schwarze Löcher beinhalten?
- Antwort: Drehimpuls-Problem, Materie in einer Entfernung von einigen 100 pc muß 99.99% des spez. Drehimpulses verlieren um von einem Schwarzen Loch konsumiert zu werden

# Das Drehimpuls-Problem

- $L = r \times v$ , für ein BH der Masse  $M_8 \times 10^8$  Sonnenmassen ist  $10^{24} M_8 \text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ ; Materie in einer Entfernung von 10 kpc hat spezifischen Drehimpuls von einigen  $10^{29} M_8 \text{cm}^2 \text{s}^{-1}$   $\Rightarrow$  muß um einen Faktor  $10^4$  reduziert werden; in einer Entfernung von 200 pc immer noch um Faktor 1000 zu groß  $\Rightarrow$  Suche nach Mechanismen um Drehimpuls abzuführen

# Mechanismen um den Drehimpuls zu reduzieren

# Das Drehimpuls-Problem

## ■ **Verschiedene Möglichkeiten:**

- Gravitations-Scherung Auf Zeitskalen vergleichbar den Bahnumlaufzeiten, effizientester Weg um Drehimpuls auf den Skalen von einigen 10 kpc-100 pc zu reduzieren,
- Dynamische Reibung
- Viskose Scherung
- Hydrodynamische Scherung (Schocks)

## Physik der Wechselwirkungsprozesse in „major mergers“

- „Major merger“: Verschmelzung zweier Scheibengalaxien mit Massenverhältnis von 1:1, erzeugen große Gasflüsse in die inneren kpc hinein und können möglicherweise Sternentstehung und AGN-Aktivität triggern
- Nicht alle Kombinationen (Geschwindigkeiten, Energien, Drehimpulse, Orientierungen) sind gleich effizient; wenn Spin und Bahn-Drehimpuls gleich ausgerichtet sind, geschieht die Verschmelzung schneller (als in rückläufigen Systemen), größeres Auseinanderreißen ist die Folge
- Hydrodynamische Scherung (Schocks) sind am Beginn der Kollision von Bedeutung, gravitationelle Scherung dominiert später

## Physik der Wechselwirkungsprozesse in „major mergers“

- In den frühen Phasen einer Wechselwirkung spielt der Balken die dominante Rolle
- In den späten Phasen ist das Gas der schnell variierenden Gravitations-Scherung und Schocks durch wechselwirkende Bahnen unterworfen, verliert Drehimpuls und Energie und große Gasflüsse nach innen resultieren
- Endprodukt einer Verschmelzung hat ein  $r^{1/4}$  de Vaucouleurs-Typ stellares Profil und ähnelt einer der vielen leuchtkräftigen elliptischen Galaxien

# Physik der Wechselwirkungsprozesse in „minor mergers“

- „**minor merger**“: Verschmelzung zwischen einer großen Scheibengalaxie und einer Satellitengalaxie mit Massenverhältnis von 1:10
- Sehr häufig!
- Satellit bewegt sich durch den Halo der dunklen Materie und erfährt dynamische Reibung und sinkt rapide Richtung Hauptscheibe (einige GJahr)
- Satellit regt über Gezeiten-Kräfte nicht achsensymmetrische Störungen großer Amplitude (Spiralen, Balken), Gas der Scheibe reagiert auf die Störung und wird durch Gravitation in die inneren 100 pc getrieben; Großteil des Gases in der Hauptscheibe kann auf diesem Wege in die zentralen Regionen gelangen

# Physik der Wechselwirkungsprozesse in „minor mergers“

- Satellit verliert Großteil seines Materials bevor er in den inneren Teil der Hauptscheibe fällt
- „minor mergers“ führen zu großen Gaskonzentrationen in den inneren 100 pc und diese könnten relevant sein für die Erzeugung starker Sternentstehung („starburst“) oder AGN

# Gravitation:

## ■ Spielen Balken und Spiralen eine wichtige Rolle?

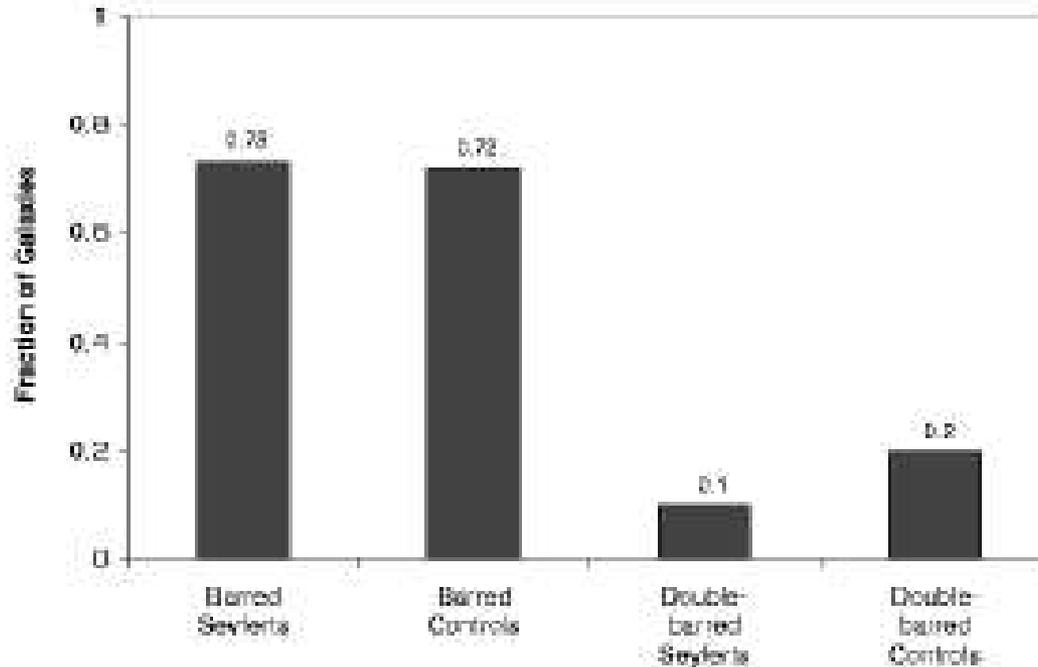


Figure 1. Fraction of barred and double-barred systems in the Seyfert and control galaxy samples. It is not possible to distinguish the two samples with the percentage of barred galaxies. Slightly more normal galaxies have double bars (from Mulchaey & Regan 1997)

Vermutlich kein Unterschied in der Balkenhäufigkeit  
zwischen AGN und nicht-aktiven Galaxien

## Korrelationen: Wechselwirkung / AGN

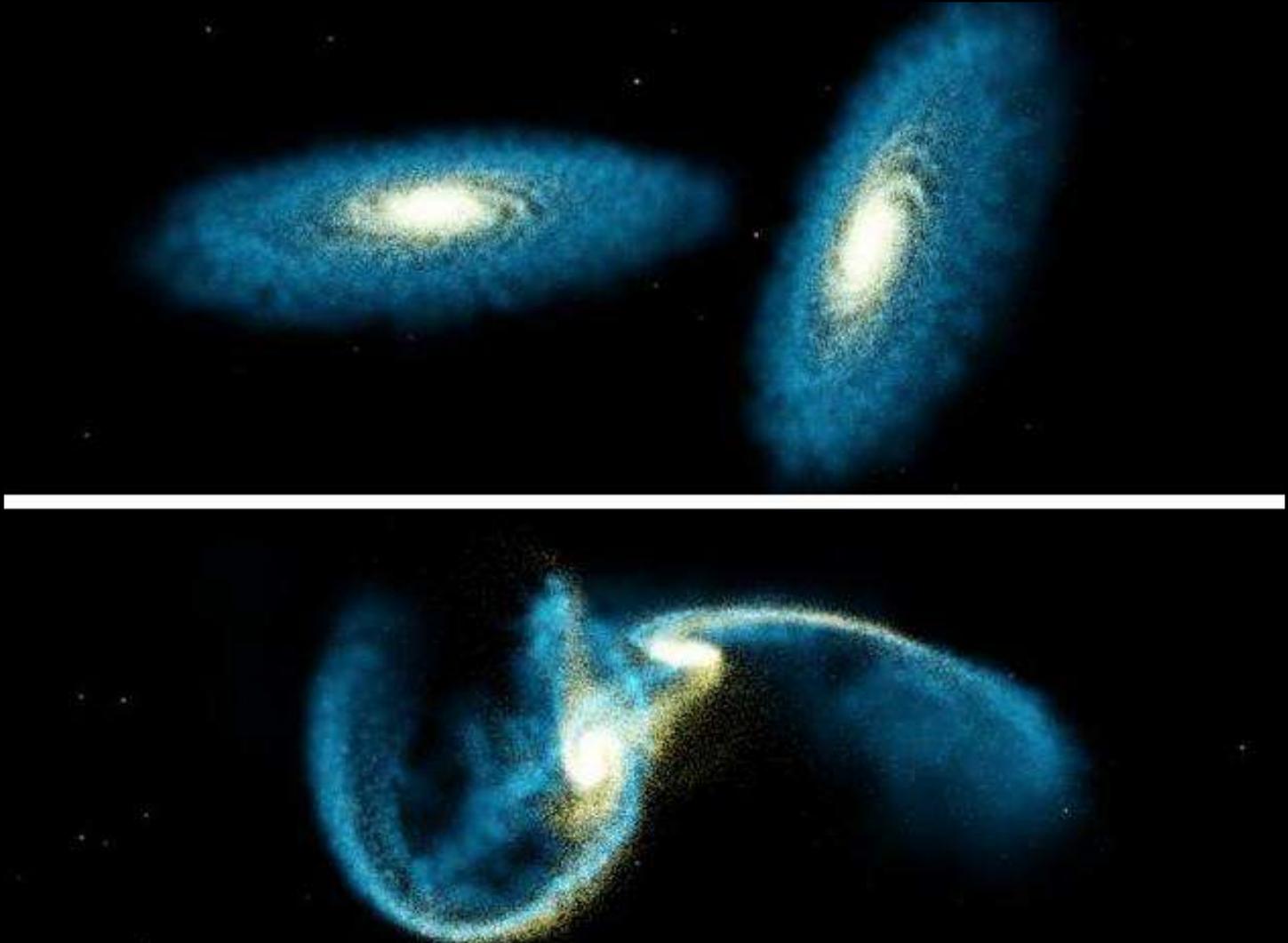
- Statistisch signifikante Korrelationen zwischen AGN-Aktivität und Zeichen starker Wechselwirkung werden nur in Systemen mit hoher Massen-Akkretions Rate ( $>10$  Sonnenmassen pro Jahr) (z.Bsp. Radio-laute Quasare) gefunden

# Milchstraße / Andromeda Kollision



Entfernung 2.2 Mio LJ, Kollision in 2-3 Milliarden J, Annäherung mit 500 000 km/h

# Die Metamorphose der Lokalen Gruppe



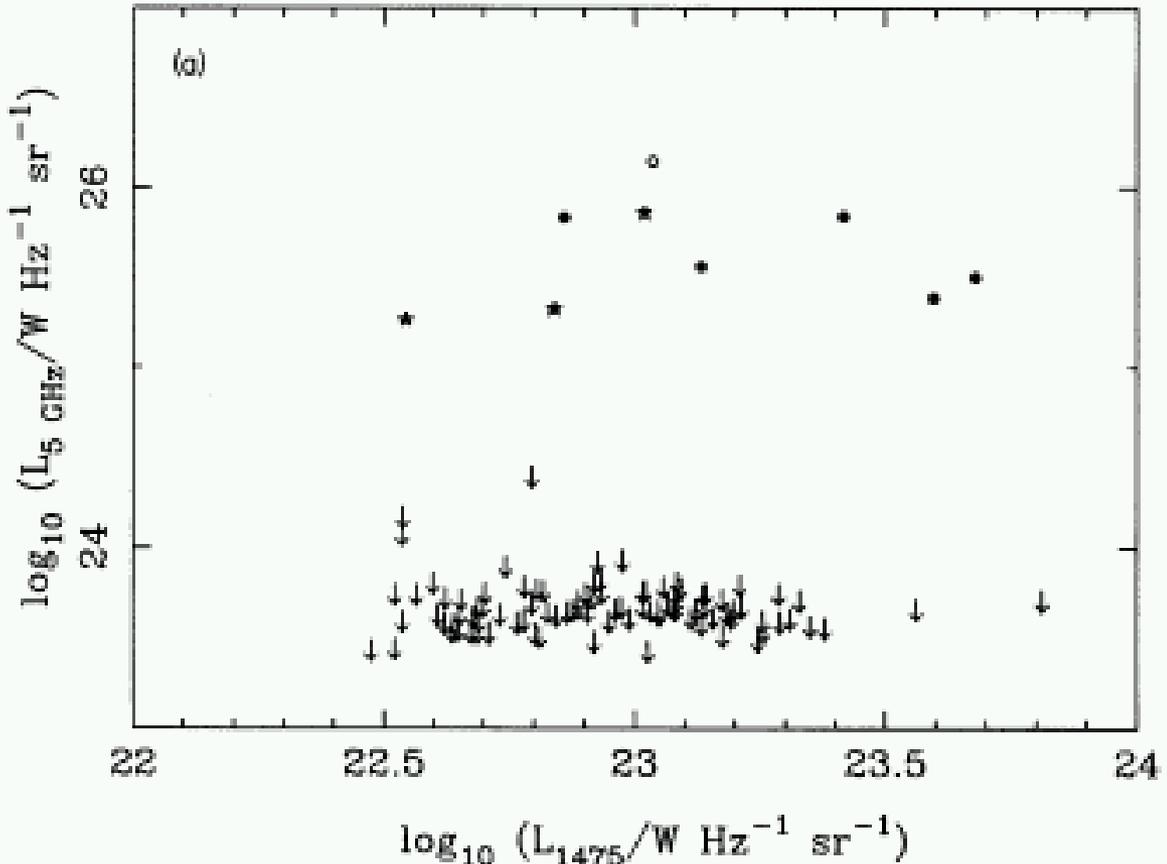
IMAGES: Frank Summers (Space Telescope Science Institute), Chris Mihos (Case Western Reserve University), Lars Hemquist (Harvard University)

# Radio-leise und Radio- laute Quasare

# Radio-leise QSOs

- 2 Populationen? Radio-laute Quasare und radio-leise QSOs?
- Fortsetzung von optisch hoch-leuchtkräftigen Seyfert Galaxien und BLRG elliptischen Radio-Galaxien ?

★ Test: Radio-  
Beobachtungen einer  
optisch selektierten  
Stichprobe: breiter Bereich  
in optischer Leuchtkraft,  
schmaler Bereich in der  
Rotverschiebung ( $1.8 < z < 2.5$ ): radio-leise Objekte:  
Radio-Emission 1/100 der  
radio-lauten Objekte

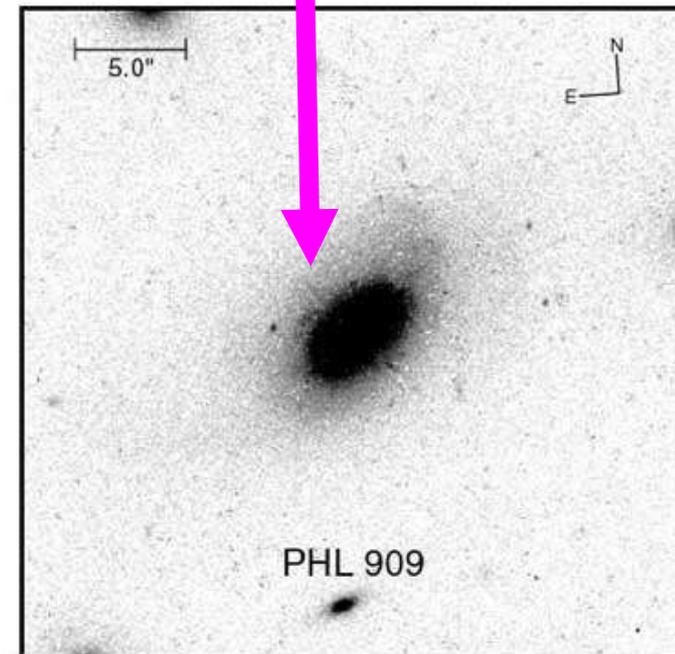
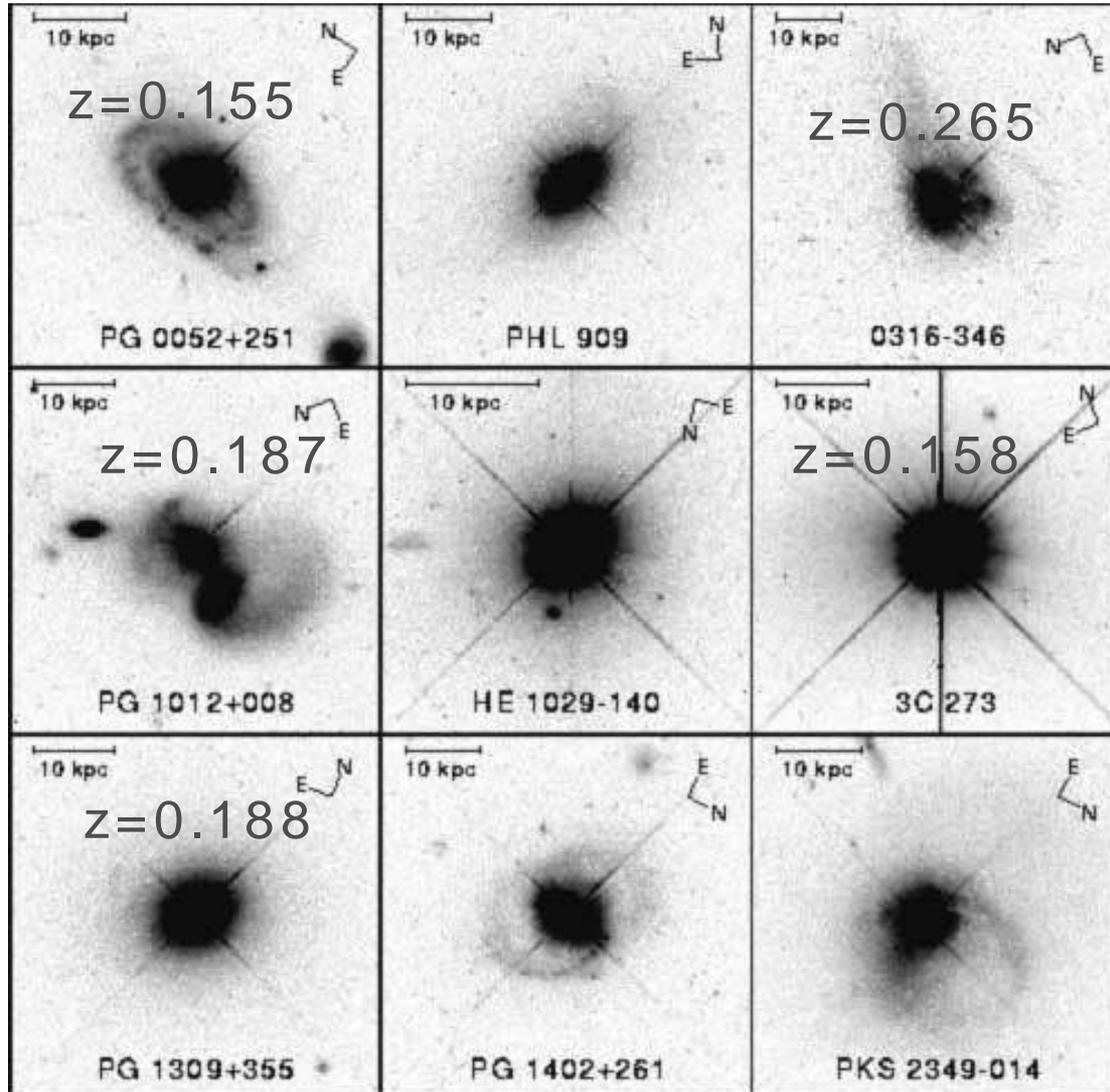


## Radio-laut und -leise: zwei Klassen?

- Mehr als 90% der optisch identifizierten Quasare sind radio-leise!!
- Zwei verschiedene Populationen? Was unterscheidet sie?
- Radio-laute Objekte in elliptischen, radio-leise Objekte in Spiral-Systemen?

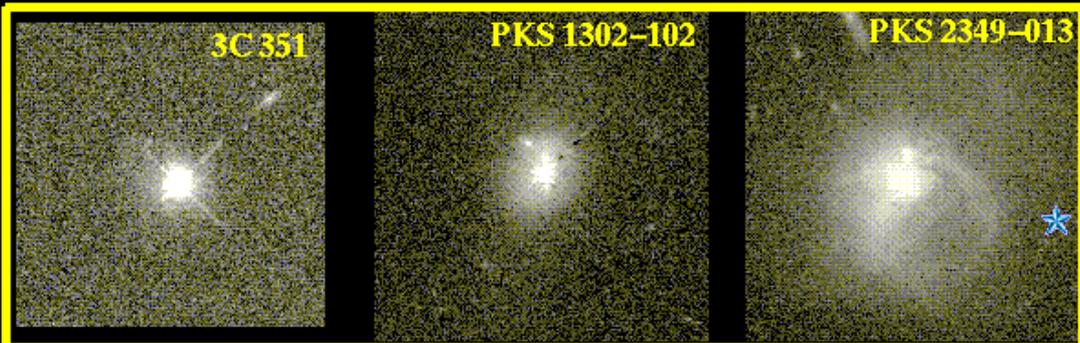
■ HST Aufnahmen von  
20 nahen  
leuchtkräftigen  
Quasaren

■ anscheinend normale  
elliptische Galaxie host  
Galaxie eines radio-

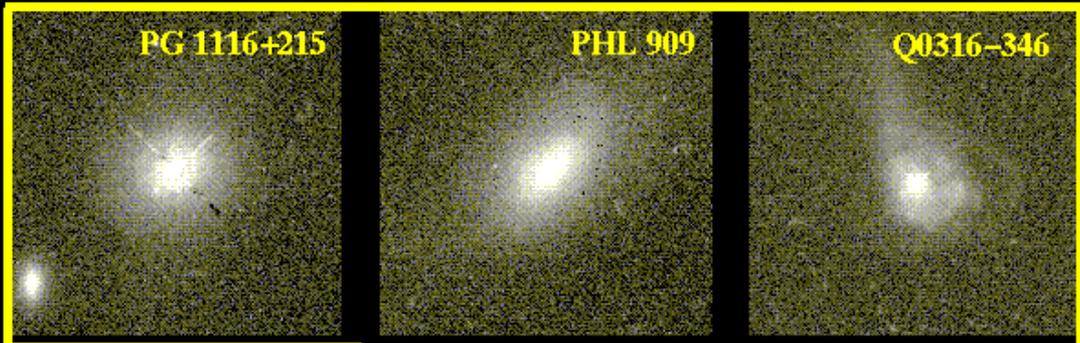


- populäre These: radio-laute Quasare leben in elliptischen Galaxien und radio-leise QSOs in Spiralen

Radio-loud

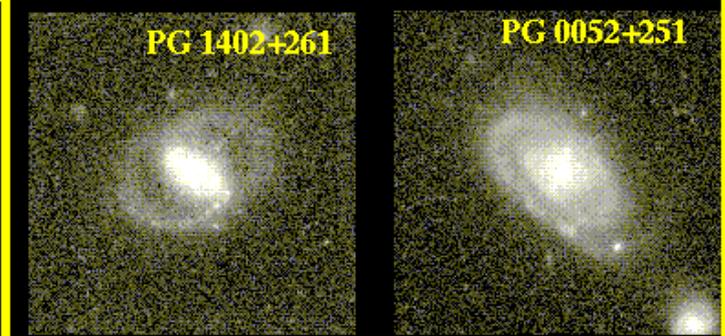


Radio-quiet



QSO Host Galaxies

HST images

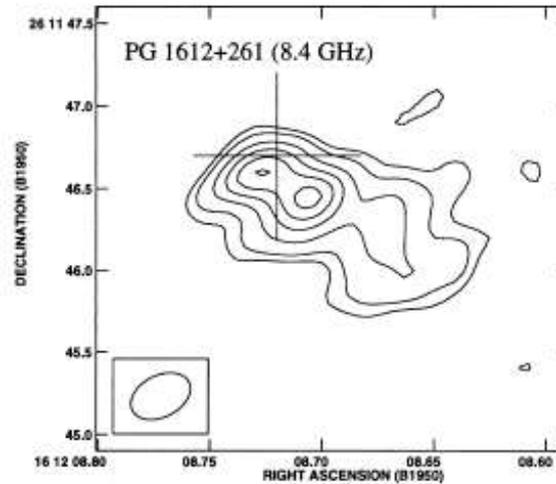
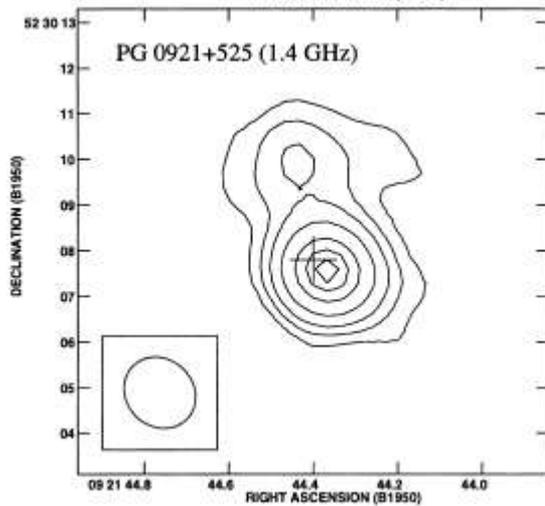


funktioniert nicht,  
beide können in  
elliptischen oder  
verschmelzenden  
Systemen  
gefunden werden

## Radio-laut und -leise: zwei Klassen?

- HST-Beobachtungen: 50% der radio-leisen Objekte werden in elliptischen Systemen gefunden; die Radioeigenschaften sind von der host-Galaxie unabhängig
- Radio-leise, nicht radio-ruhig, inzwischen radio-schwach
- Vermutung: Radio-schwache Objekte haben keine Jets

# Radiolaut und Radioleise: zwei Klassen?



Kukula et al., 1998

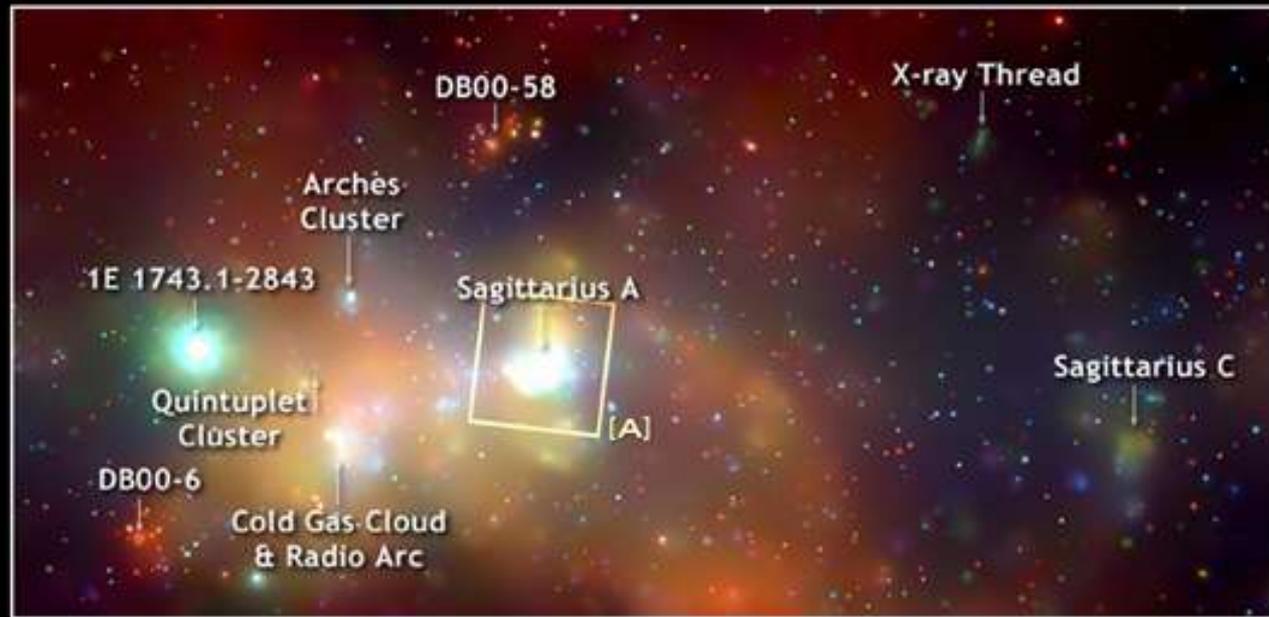
- Bewegungen in den Jets radio-schwacher Objekte gefunden (subluminal)
- Vermutung: Nur rotierende Schwarze Löcher können relativistische Jets produzieren und diese zeichnen die radio-lauten Objekte aus
- Erste Evidenz für schnelle Rotation des Schwarzen Lochs in einem radio-schwachen Objekt gefunden (MGC-6-30-

# Radiolaut und Radioleise: zwei Klassen?

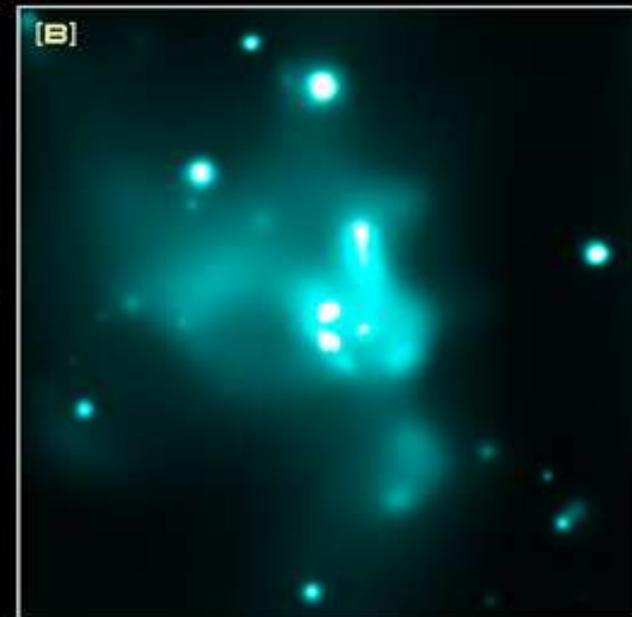
- Röntgen-selektierte Stichproben weisen das Zwei-Klassen-System nicht auf, viele Objekte dazwischen
- Neue Vermutung: „Abgebrochene Jets“ in radioschwachen Objekten? Möglicherweise erreichen die Jets die Entweichgeschwindigkeit nicht

# Schwarm Schwarzer Löcher nahe Galaktischem Zentrum

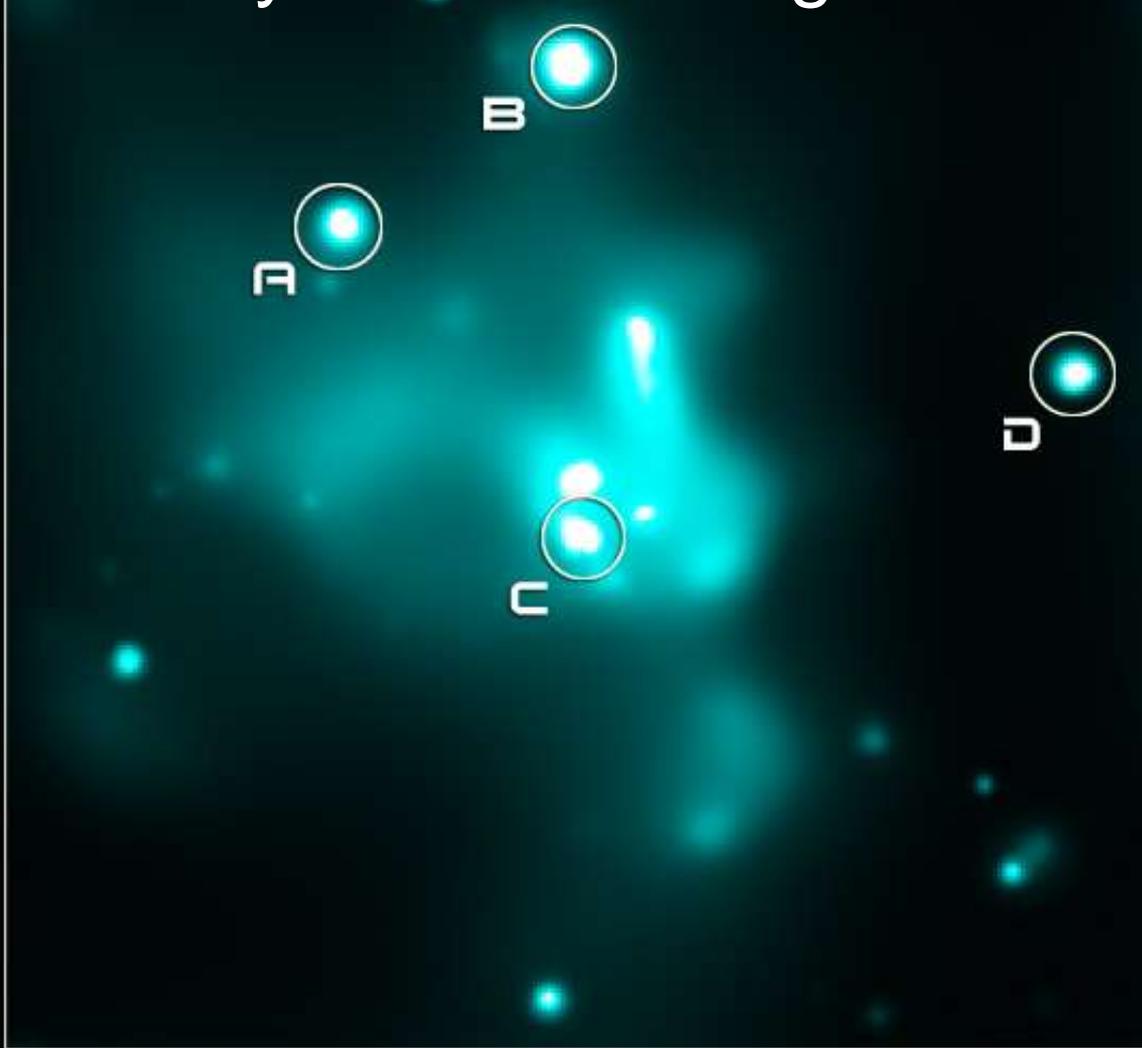
900 x 400 LJ



2000 Röntgen-Quellen



# Stellare dynamische Reibung



SOURCE A:

