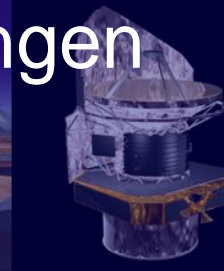
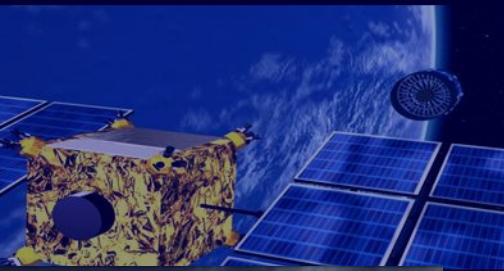


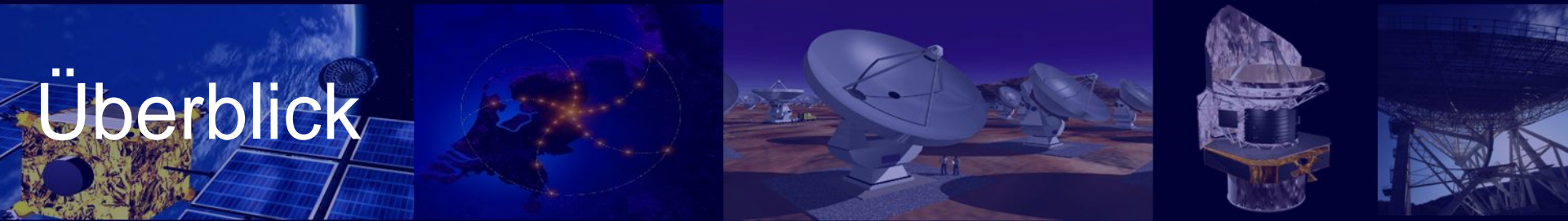
# Multifrequenz-Beobachtungen in der Astronomie

Sommersemester 2007



## Themen & Daten

- 19.04.: Überblick
- 04.05.: Grundlagen: Teleskope
- 18.05.: Durchmusterungen
- 01.06.: Deep Fields in „bunt“ Teil I
- **15.06.: Deep Fields in „bunt“ Teil II**
- 29.06.: „Multifrequenzrätsel“
- 13.07.: Multifrequenzkampagnen (Mrk 501, etc.)
- 27.07.: Virtual Observatories & die Multifrequenz-Zukunft



# Überblick



## Neuigkeiten!



### Nachtrag zur letzten Vorlesung:



**XBONGs**



**Elusive AGN**



**Etc.**



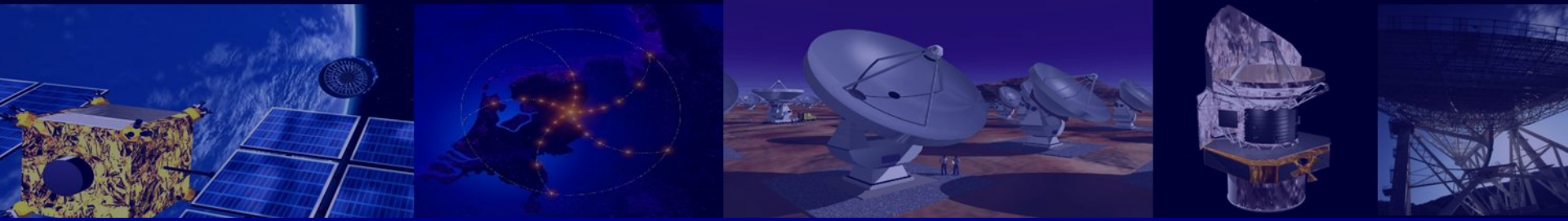
**Galaxien – Galaxiengruppen – Galaxienhaufen –  
Galaxiensuperhaufen: Klassifikation, Definition**



**Suche nach Galaxienhaufen: 2dXGS, XMMLP, XDCP,  
REFLEX-DXL, XMM Large Scale Structure survey**

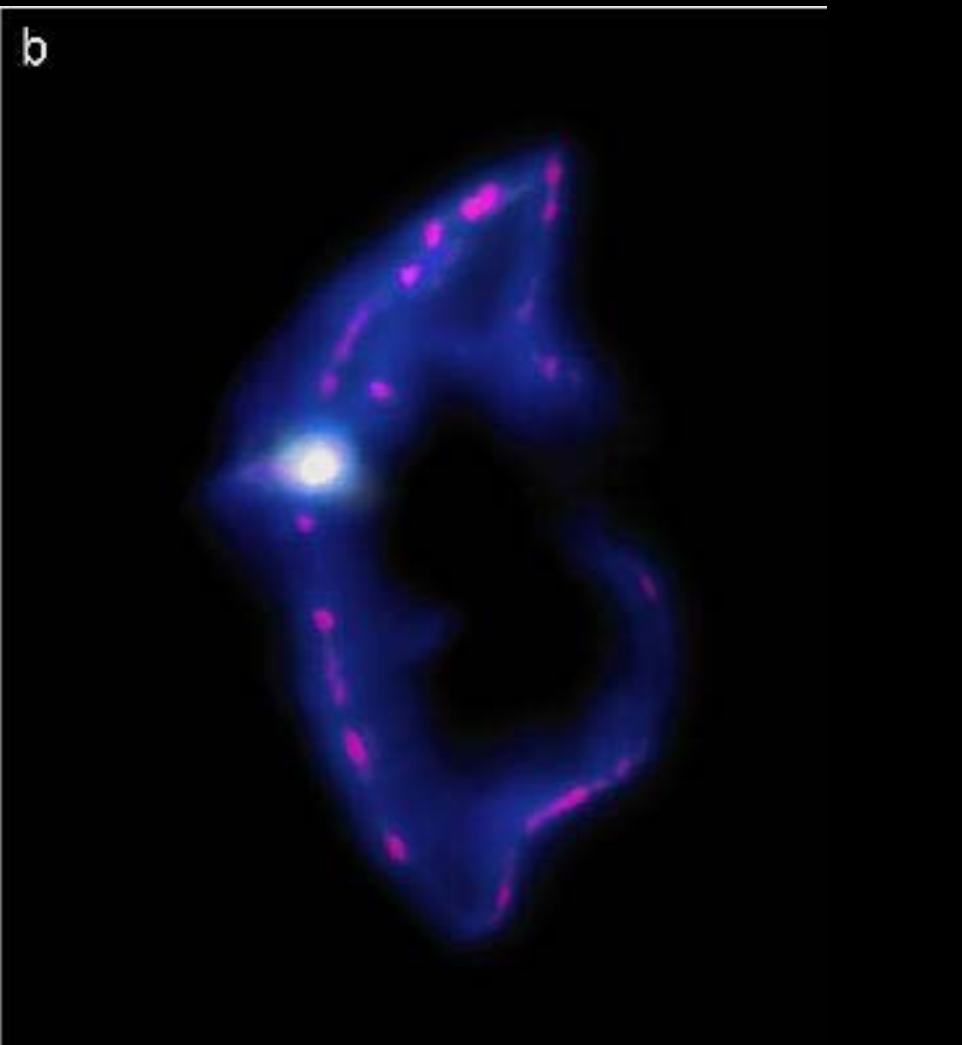
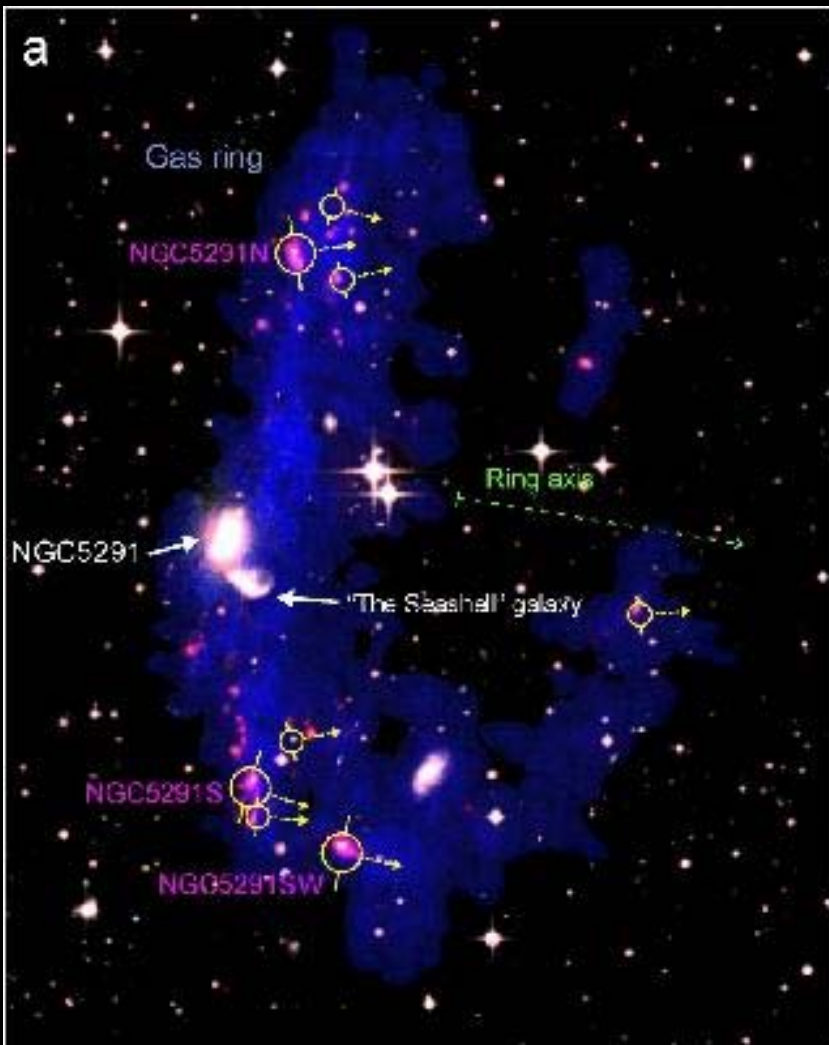


**Galaxienhaufen & Kosmologie & Dark Matter & Dark  
Energy**



# Aktuelle Neuigkeiten

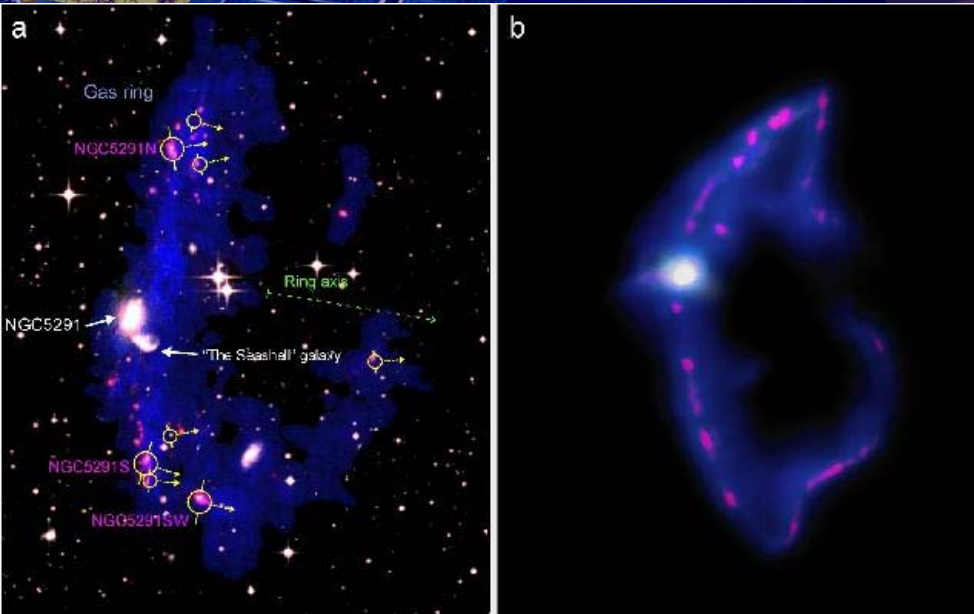
# Zwerge sind massiver als erwartet



**NGC 5291**



# Zwerge sind massiver als erwartet



Left: Composite radio/optical/ultraviolet image of NGC 5291 and its surroundings, including the debris propelled outward by collision with another galaxy. Blue is atomic Hydrogen observed with the VLA; white is optical; red is ultraviolet (Galex satellite). Red labels mark the dwarf galaxies studied in this research.

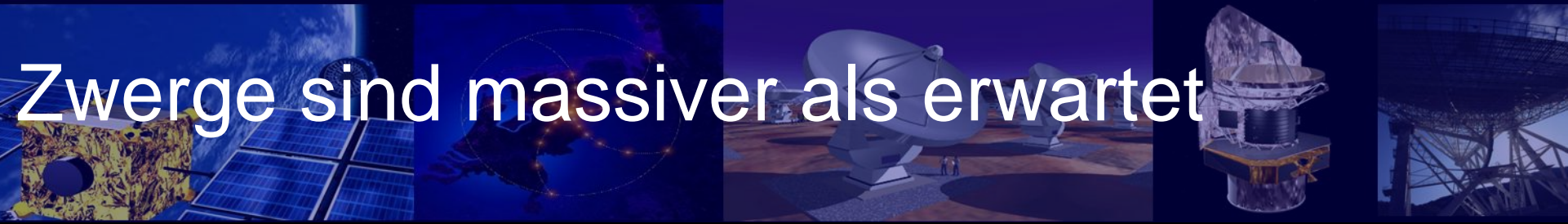
Right: Detail of image produced by computer simulation of the galactic collision, showing debris ring and condensations that became star-forming dwarf galaxies.

# Zwerge sind massiver als erwartet

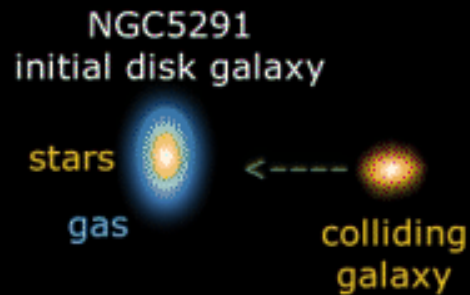


- Images from computer simulation of the collision of NGC 5291 with another galaxy 360 million years ago. Numbers are millions of years, with the collision time as zero. This simulation shows the collision causing material from the spiral galaxy to be ejected outward into a ring-like structure similar to that seen in the telescopic images below. The recycled dwarf galaxies are the red-purple objects in the ejected material.

# Zwerge sind massiver als erwartet



## Formation of NGC5291 Numerical simulation



CEA-CCRT/CNRS-AIM/F. Bournaud et al.

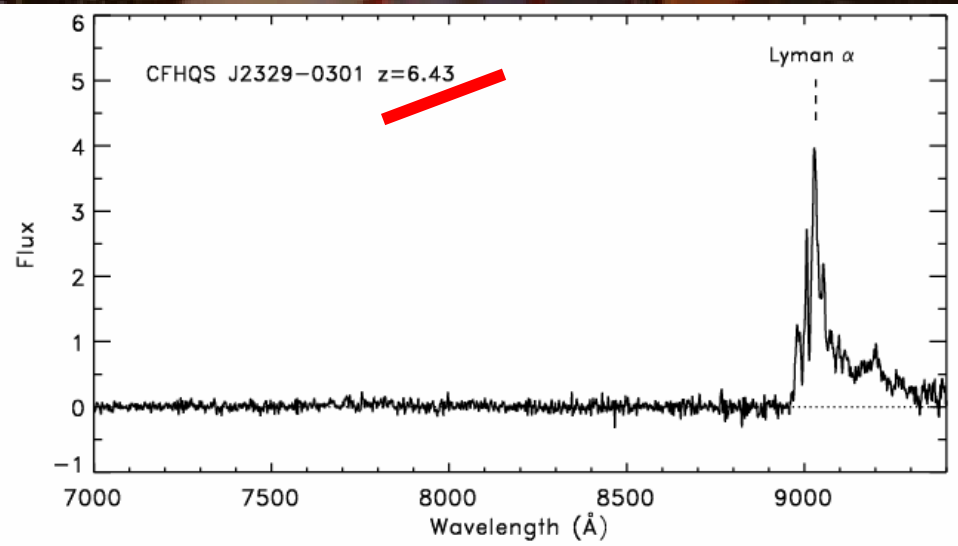
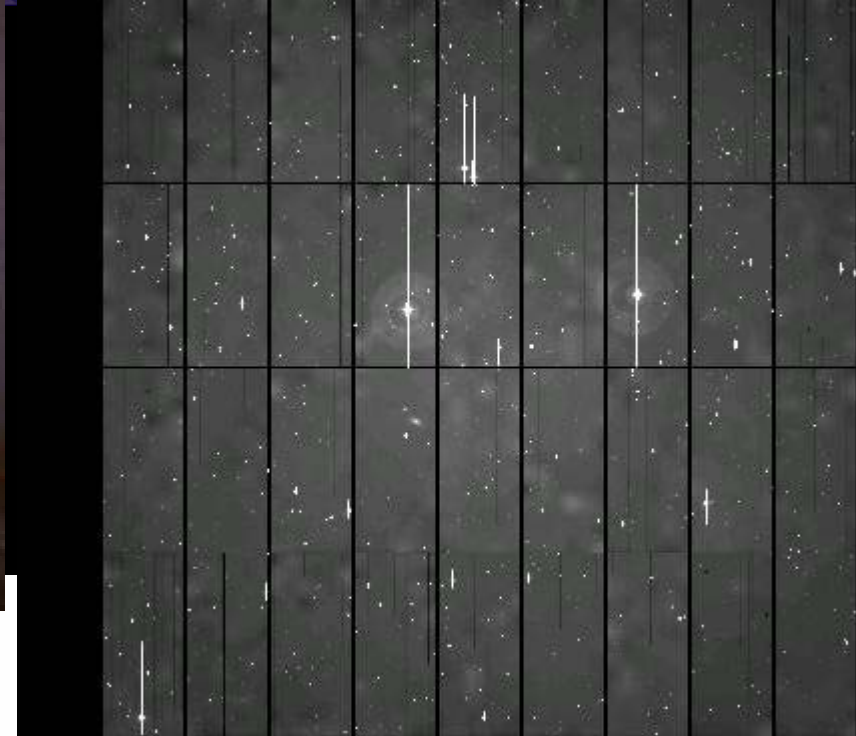
# Zwerge sind massiver als erwartet

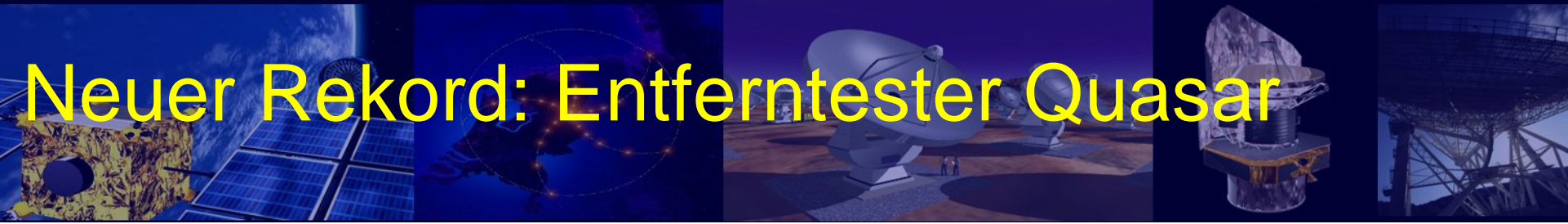


- Recycling: detaillierte Untersuchungen von 3 Zwerggalaxien
- Haben doppelt soviel ungesehene Materie wie sichtbare Materie
- Dunkle Materie? Vermutlich normale baryonische Materie, kalter molekularer Wasserstoff, schwierig zu detektieren



# Neuer Rekord: Entferntester Quasar



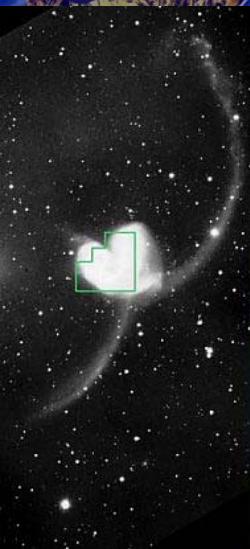


# Neuer Rekord: Entferntester Quasar

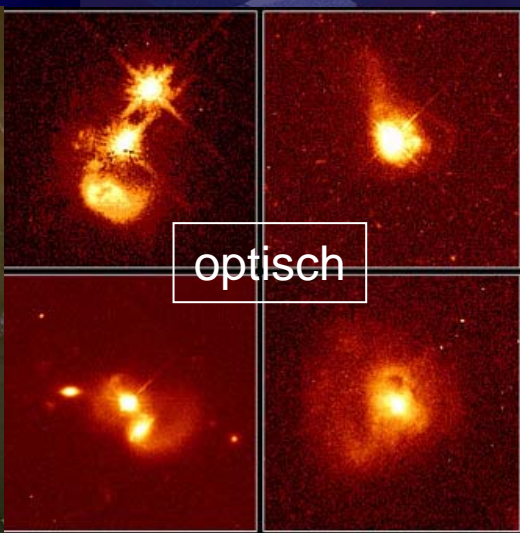
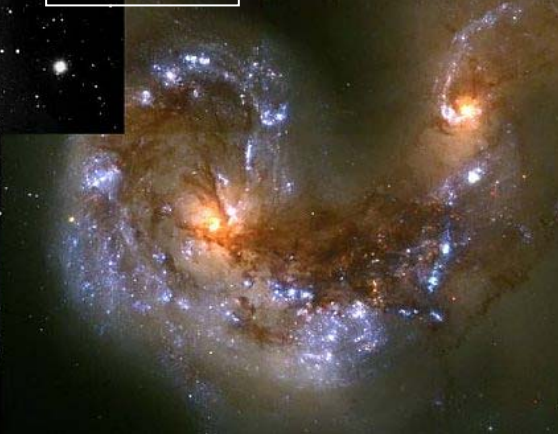
- Canada-France-Hawaii Telescope
- CFHQS: Canada-France High-z Quasar Survey (mehr als 10 Mio Sterne und Galaxien)
- $5 \times 10^8$  Sonnenmassen: zu früh zu schwer (870 Mio Jahre nach Urknall) ...



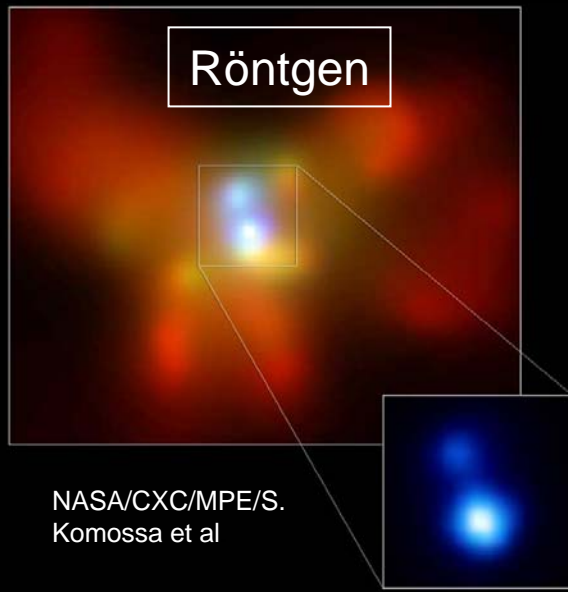
# Supermassive Binäre Schwarze Löcher auf verschiedenen Skalen, Entwicklungszuständen?



optisch



optisch



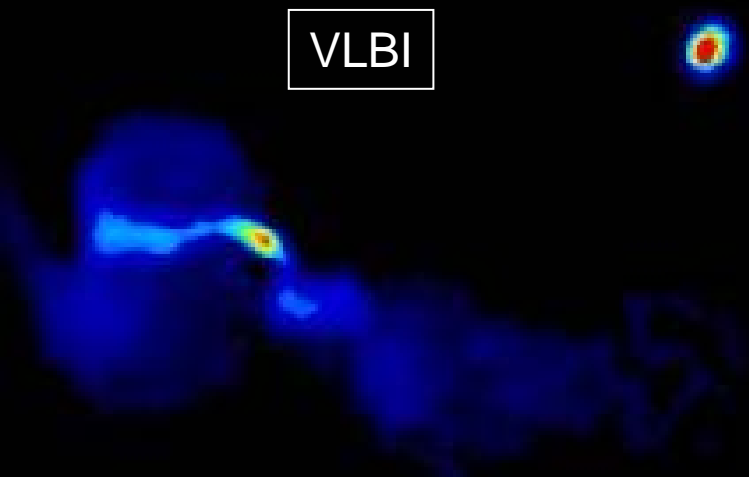
Röntgen

NASA/CXC/MPE/S.  
Komossa et al

Quasar Host Galaxies  
the Telescope - Wide Field Planetary Camera 2

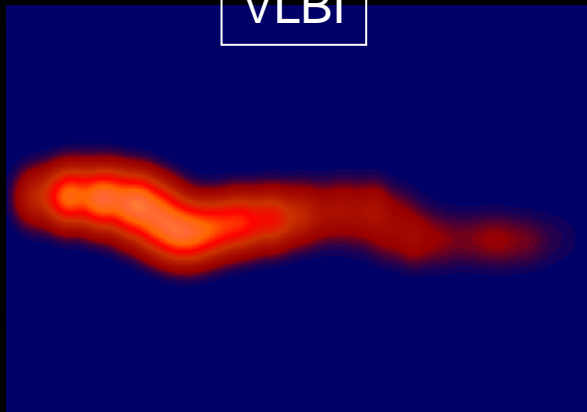
J. Bahcall (Institute for Advanced Study), M. Disney (University of Wales) and NASA

VLBI



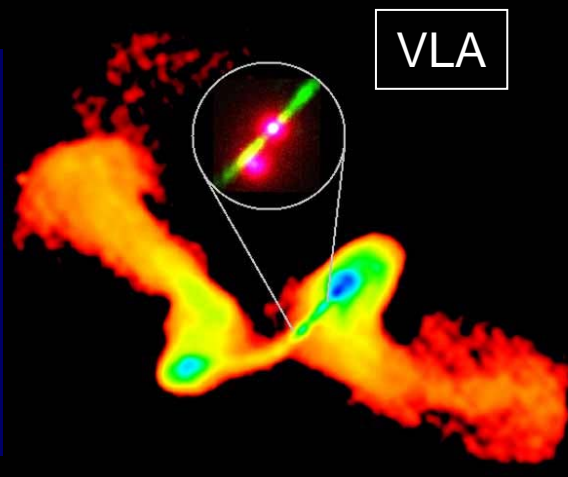
Hardcastle et al. 1996

VLBI



Lobanov & Roland 2004

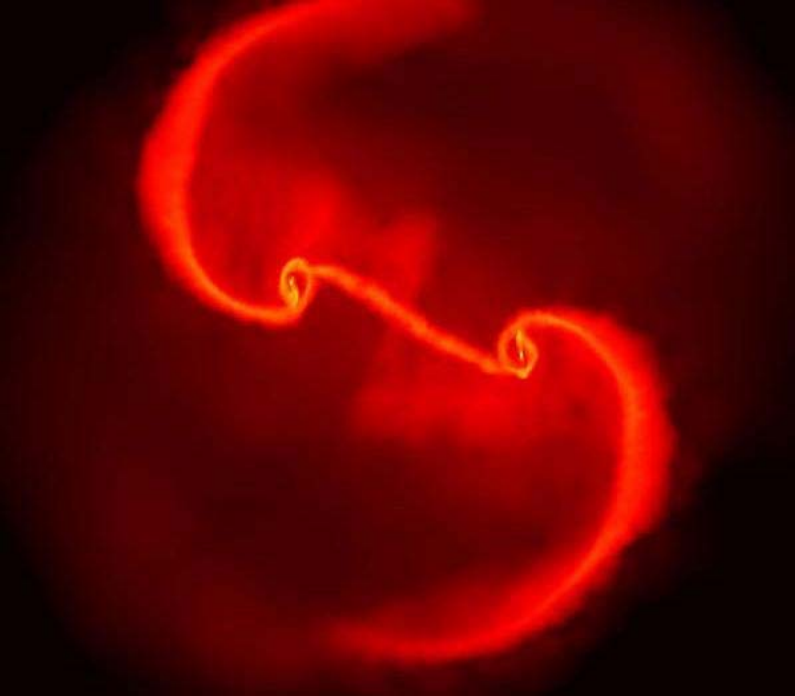
VLA



Murgia et al.



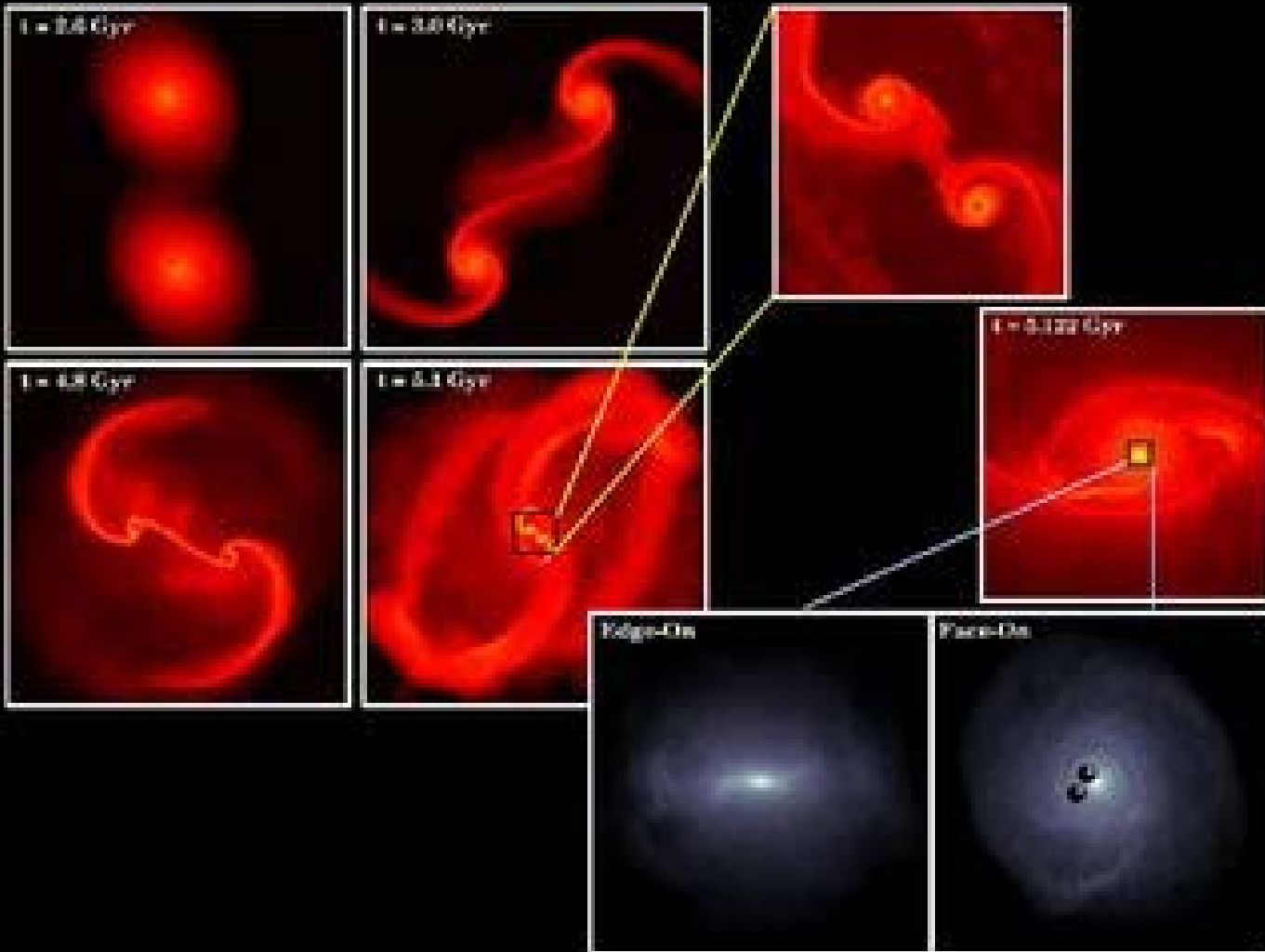
# Verschmelzung Schwarzer Löcher beschleunigen



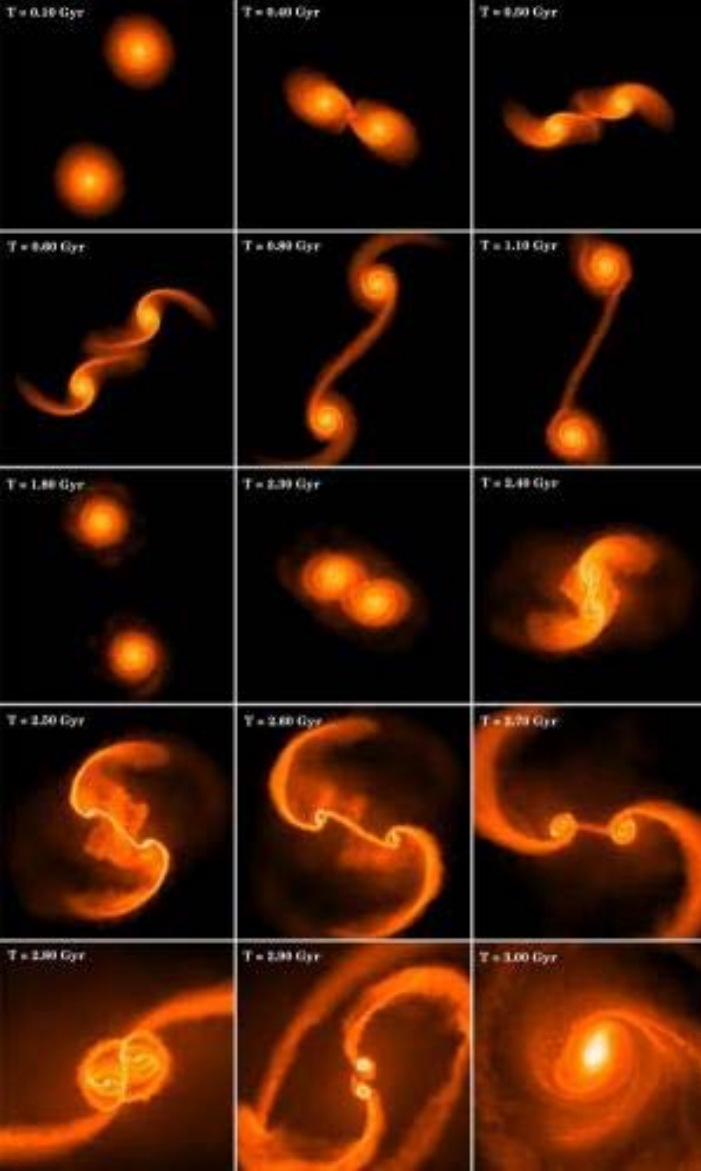
- Simulation: 2 Galaxien ähnlich unserer Milchstraße, 300 000 Lichtjahre von einander entfernt
- Sehr viel Gas endet im Zentrum des Systems!! Massereiche Gasscheibe entsteht, Gas nimmt Bahnenergie auf und führt sie nach außen ab
- Danach dauert es nur noch weniger als eine Mio Jahre um die Schwarzen Löcher bis zu einer Entfernung von wenigen Lichtjahren zu bringen
- Gas wirkt wie Windwiderstand und bremst die Schwarzen Löcher ab, wodurch sie sich schneller annähern



# Verschmelzung Schwarzer Löcher beschleunigen

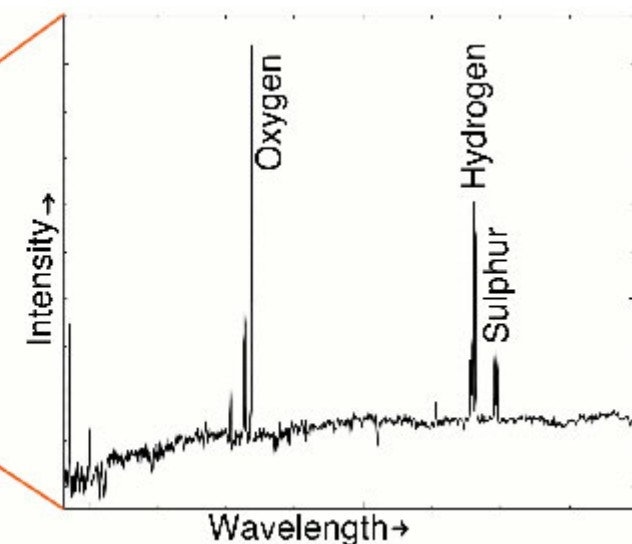
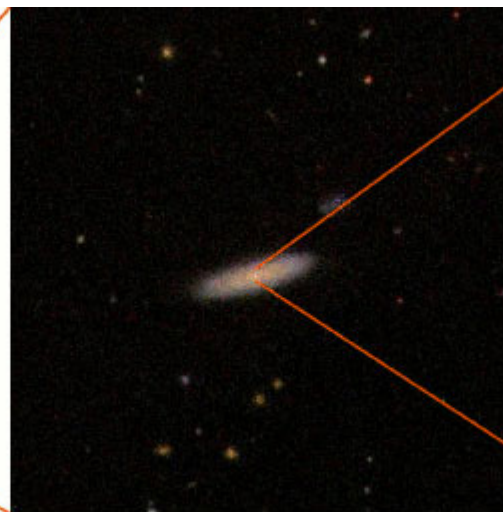
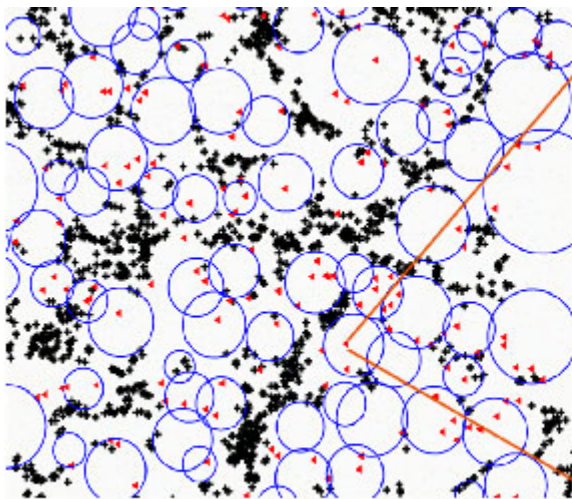


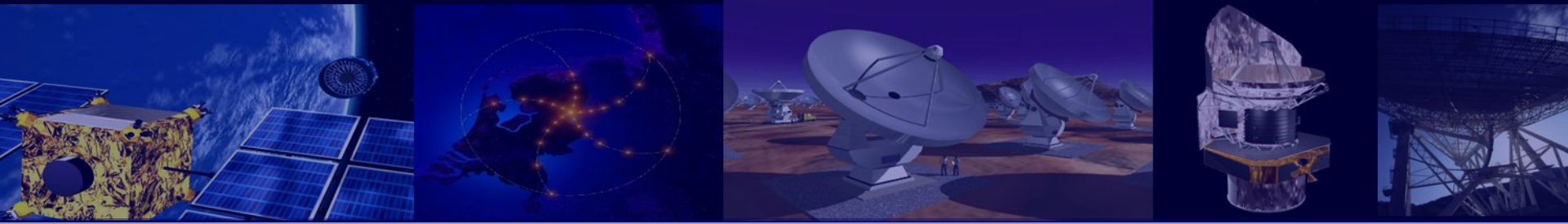
# Verschmelzung Schwarzer Löcher beschleunigen



# Supermassive SL wachsen auch in leeren Himmelsregionen

- Mehr als 1000 Void-Galaxien des SDSS untersucht: Supermassive Schwarze Löcher wachsen dort wo Galaxien und Wechselwirkungen rar sind, aber Akkretion ist langsamer
- Nur 5% der Galaxien leben in diesen Voids
- Sternentstehung stärker als in dichteren Regionen-> genügend „Futter“ vorhanden, wird aber nicht effizient nach innen gebracht



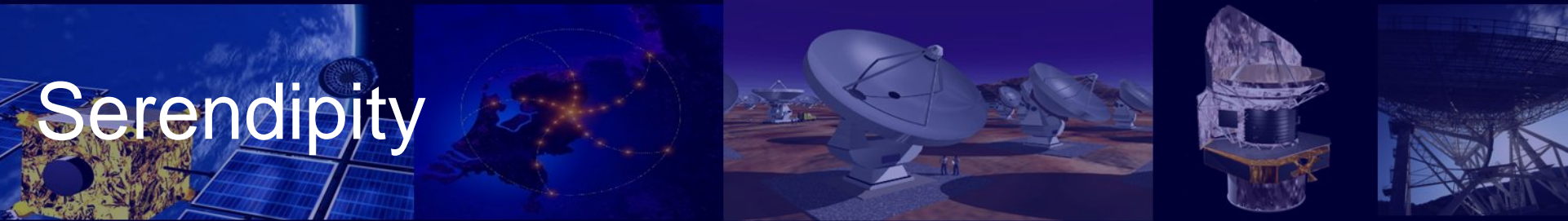


# Nachtrag letzte Vorlesung

*XBONGs*

*Elusive AGN*





# Serendipity

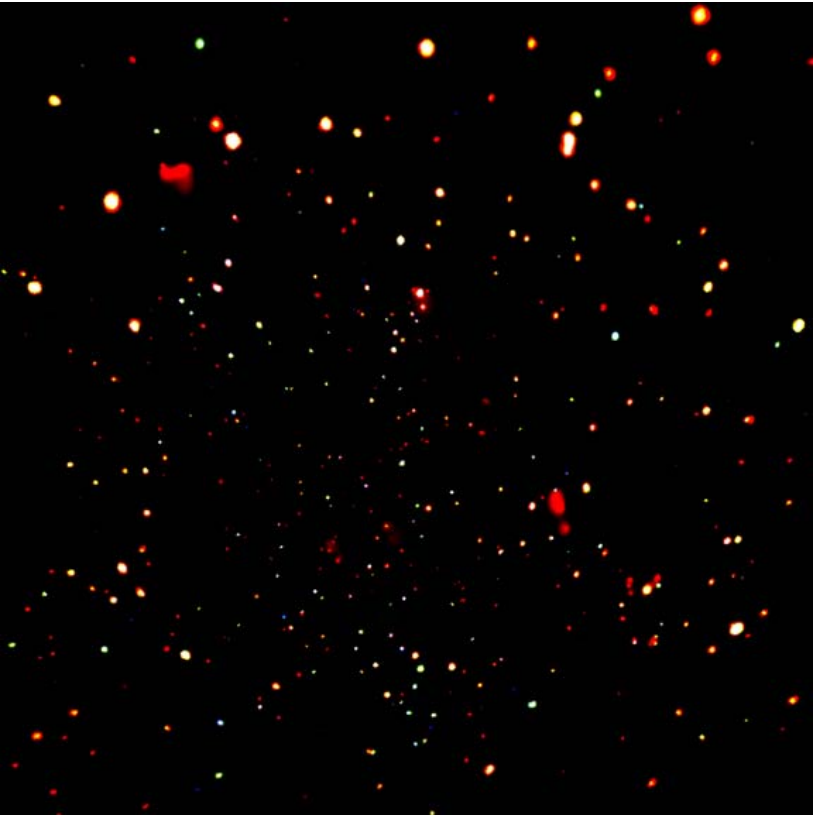
**Serendipity**, manchmal **Serendipity-Prinzip** (oder auch selten eingedeutscht **Serendipität**) bezeichnet eine zufällige Beobachtung von etwas nicht ursprünglich gesuchtem, das sich als neue und überraschende Entdeckung erweist. Deutsch, allerdings weiter gefasst: „Glücklicher Zufall“. Serendipity betont zusätzlich „Untersuchung“; auch „intelligente Schlussfolgerung“ oder Findigkeit.

Erstmals hatte der englische Autor Horace Walpole (1717 - 1797) den Ausdruck in einem Brief vom 28. Januar 1754 an Horace Mann verwendet. Er erläutert darin, er habe ihn in Anlehnung an ein persisches Märchen mit dem englischen Titel „*The Three Princes of Serendip*“ geprägt, wo die drei Prinzen viele dieser unerwarteten Entdeckungen machen. Serendip ist die alte persische Bezeichnung für Ceylon, das heutige Sri Lanka.

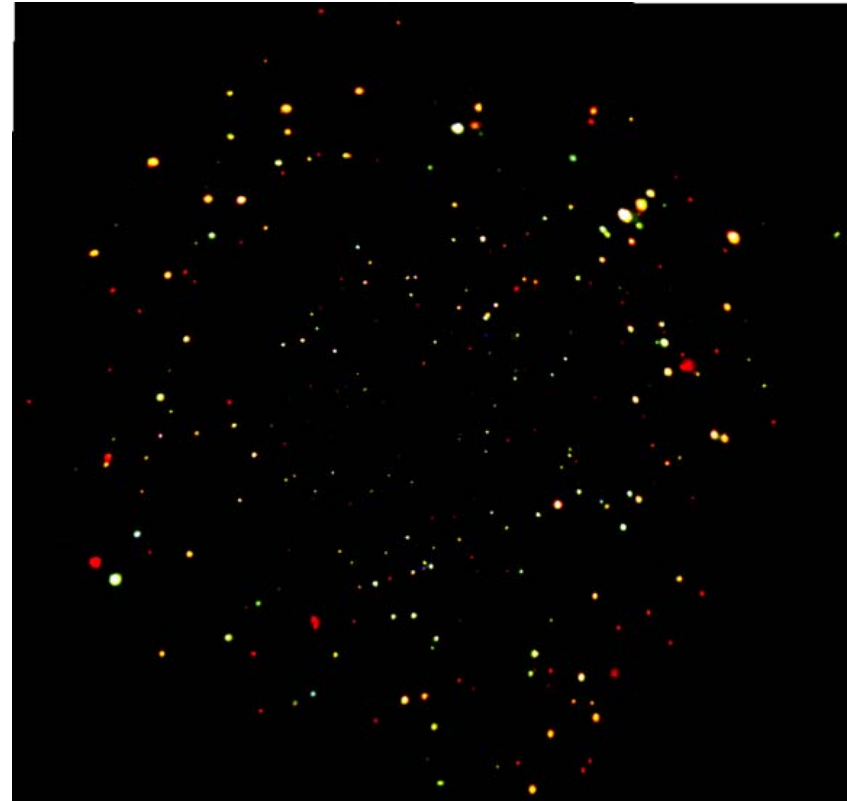
=>Penicillin, Röntgenstrahlung, kosmische Hintergrundstrahlung, etc.



# Deep Extragalactic X-ray Surveys



**CHANDRA Deep Field-North: 28'**



**CHANDRA Deep Field-South: 24'**

# Deep Extragalactic X-ray Surveys



- Gefundene **AGN** Typen

- **Unobscured AGN**, über einen weiten Rotverschiebungsbereich (0-5), signifikanter Teil der hellsten Röntgenquellen
- **Obscured AGN** with clear optical/UV AGN signatures, Typ 1 und Typ 2 Klassifikationen
- **Optically faint X-ray sources**, können spektroskopisch nicht identifiziert werden, viele könnten verdeckte, leuchtkräftige AGN bei höheren Rotverschiebungen und schwächeren optischen Leuchtkräften darstellen
- **XBONGs**, Galaxien vom frühen Typus ( $z \sim 0.05-1$ ) mit Röntgenleuchtkräften, Röntgenspektren, etc. die auf einen AGN moderater Stärke deuten, aber: keine Emissionslinien und nicht-thermische Strahlung in optischen Spektren

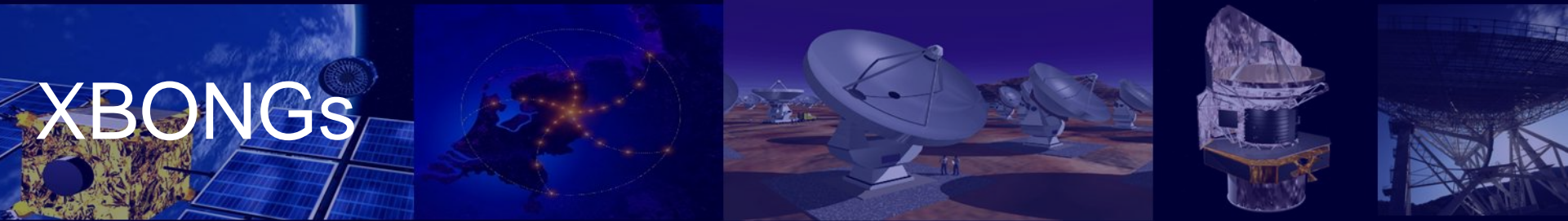
(X-ray Bright Optically Normal Galaxies)

# Deep Extragalactic X-ray Surveys

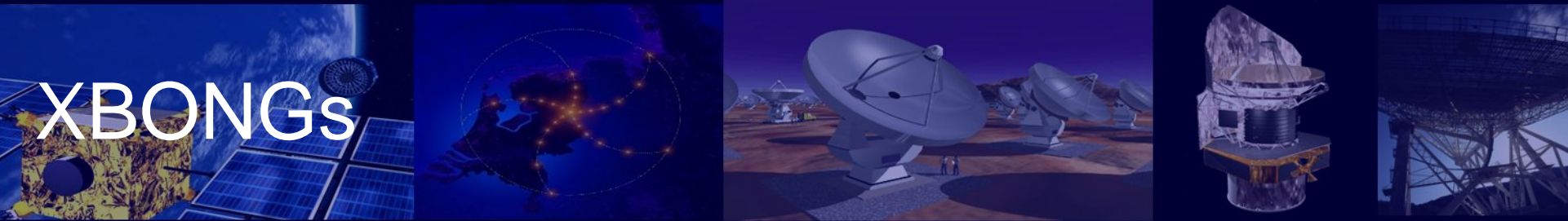


- Letzte Vorlesung:
- Die mögliche Natur der **XBONGs**:
  - AGN mit inneren ineffizienten Akkretionsflüssen
  - AGN die stark verdeckt sind
  - BL Lac artige Objekte
  - Möglicherweise gibt es eine Verbindung zu “optically dull galaxies” und “elusive AGN”

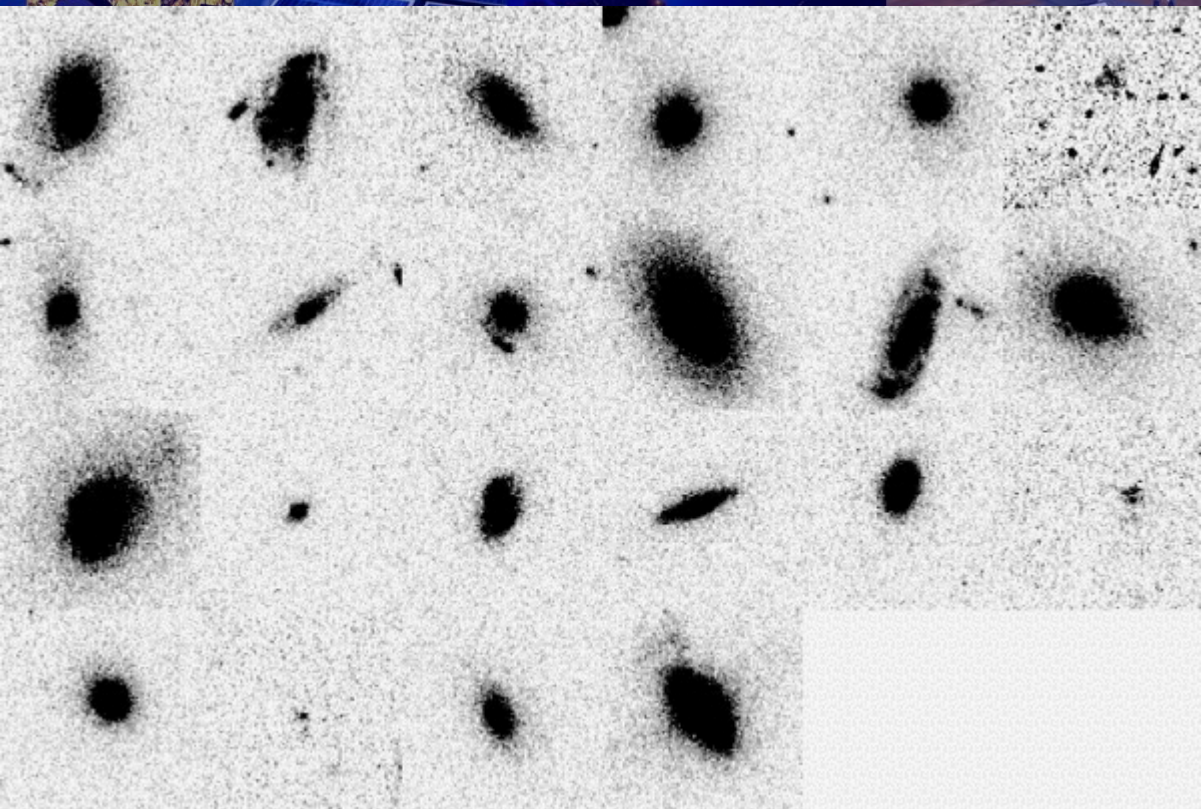




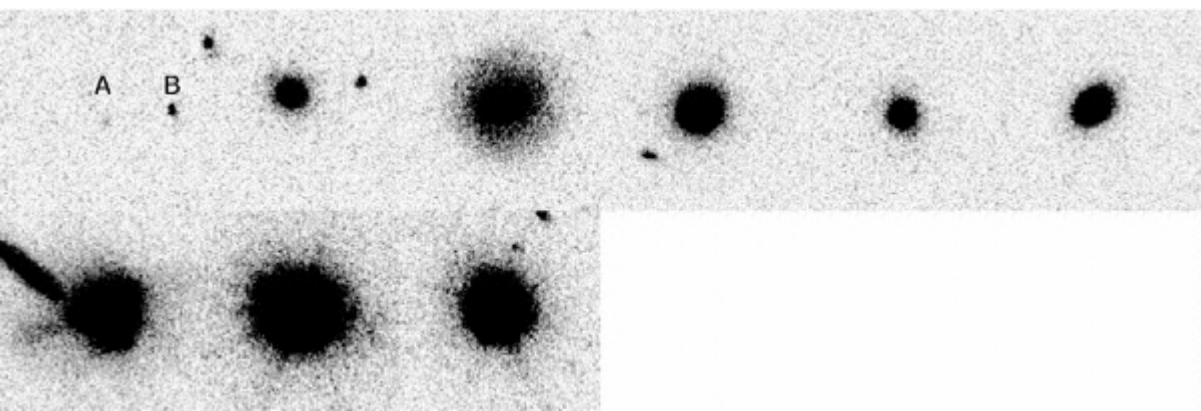
- In tiefen Durchmusterungen zeigen 40-60% der röntgenselektierten AGN keine Anzeichen für nukleare Akkretion in ihren optischen Spektren (keine AGN Emissionslinien, aber typische Host-Galaxien)
- Diese Quellen heißen:
  - Optically dull
  - Optically normal
  - Oder: X-ray bright optically normal (XBONG)
- Wie kann eine Quelle enorme Röntgenleuchtkräfte produzieren, die deutlich nukleare Akkretion verlangen aber keine optische Evidenz für Akkretion zeigen?



- Vergleich von 22 optically dull und 9 optically active AGN ( $0.5 < z < 0.8$ )
- Speziell: Vergleich der Morphologien
- XBONGs zeigen einen weiten Bereich an verschiedenen Achsenverhältnissen, normale AGN dagegen vorwiegend runde Achsenverhältnisse
- Ergo: XBONGs sieht man unter verschiedenen Inklinationen, während normale AGN vorwiegend face-on gesehen werden

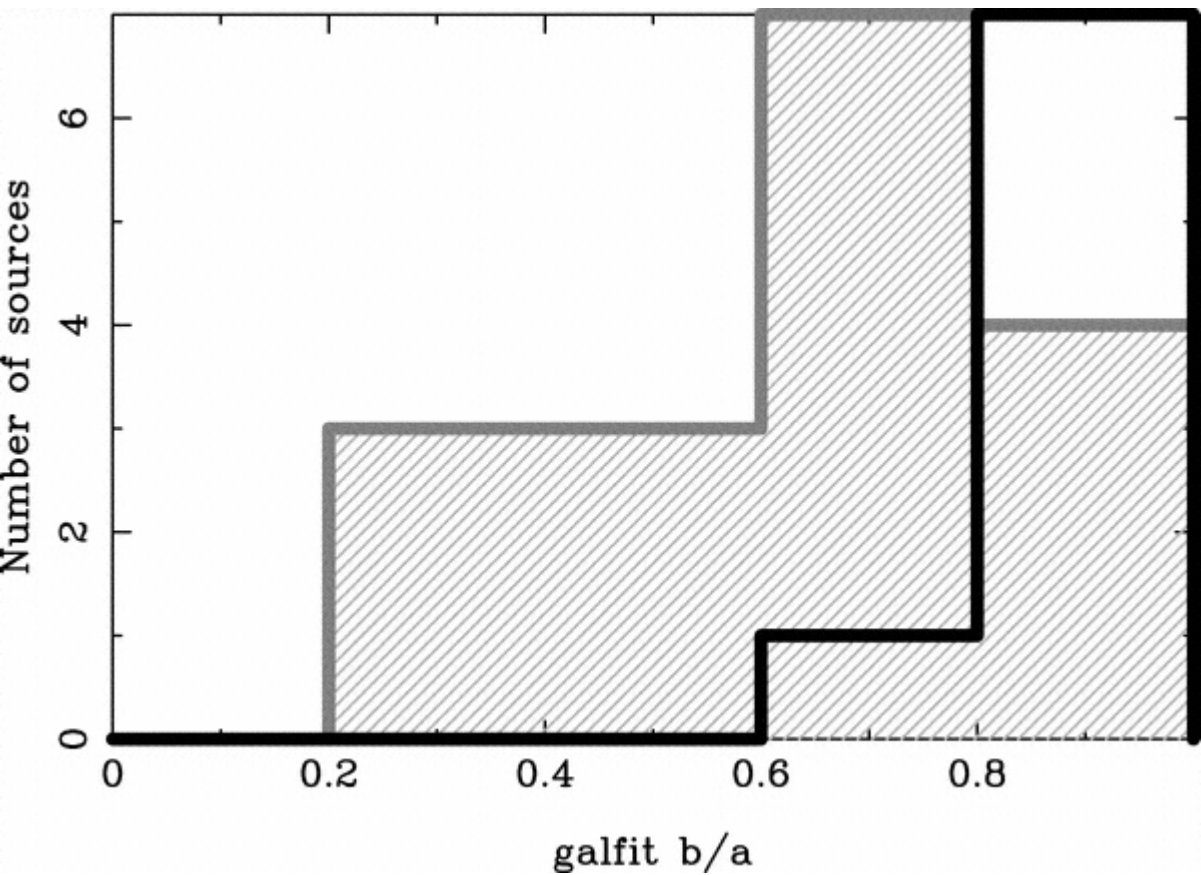
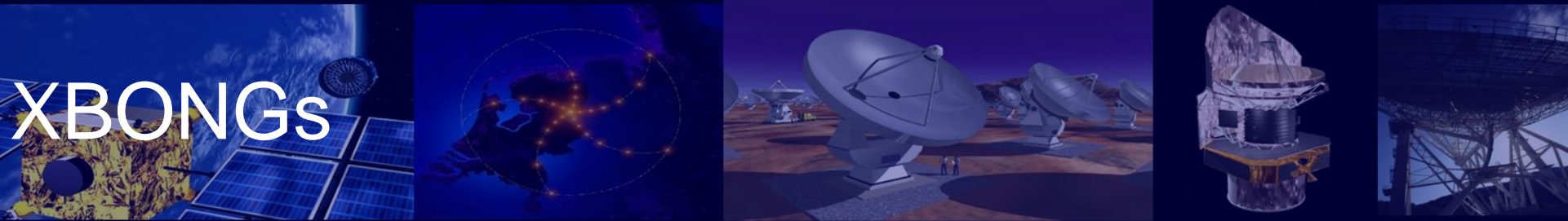


Oben: XBONGs  
Unten: normale AGN  
Daten mir HST von GOODS



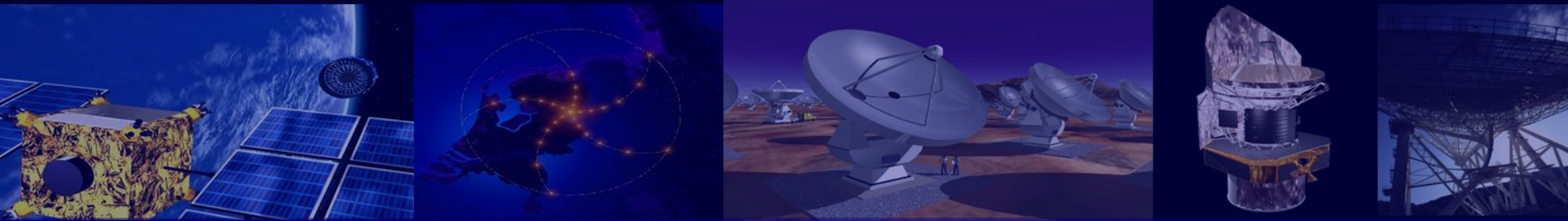


# XBONGs



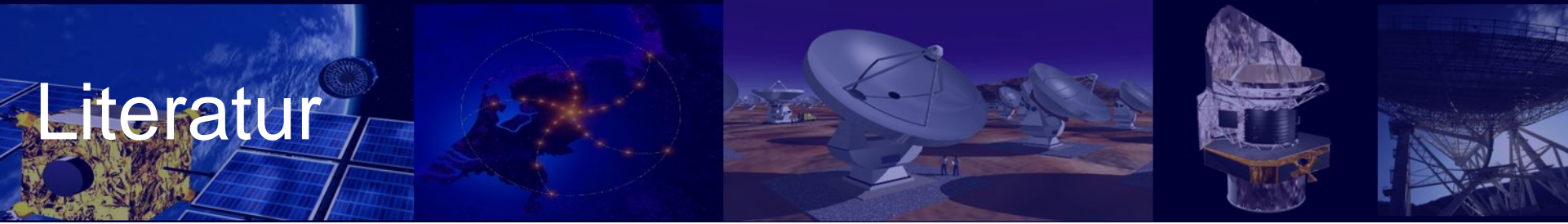
- Achsenverhältnis der XBONGs und normalen AGN
- Schraffiert: XBONGS





# Deep fields in „bunt“, Teil II

## *Galaxienhaufen*



# Literatur

- ⌄ The Evolution of X-ray Clusters Of Galaxies, P. Rosati, S. Borgani, C. Norman, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 2002, **40**, 539-577
- ⌄ Mehr auf der Internetseite

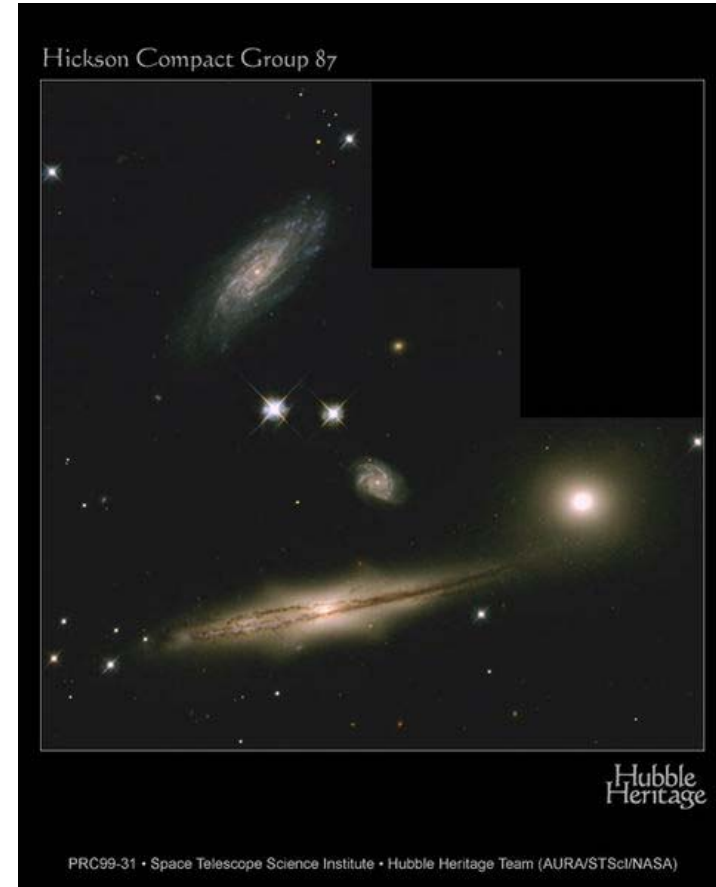
# Tiefe Felder (01.06.07)



- Hubble Deep Field – North
- Hubble Deep Field – South
- Hubble Ultra Deep Field
- Ergebnisse der Hubble Deep Fields
- Deep Fields in „bunt“ – Notwendigkeit der Nachbeobachtungen
  - VLA, MERLIN, WSRT, etc.
- [CDFN](#) (*The Chandra Deep Field-North Survey*)
- [CDF-S](#) (*The Chandra Deep Field South Survey*)

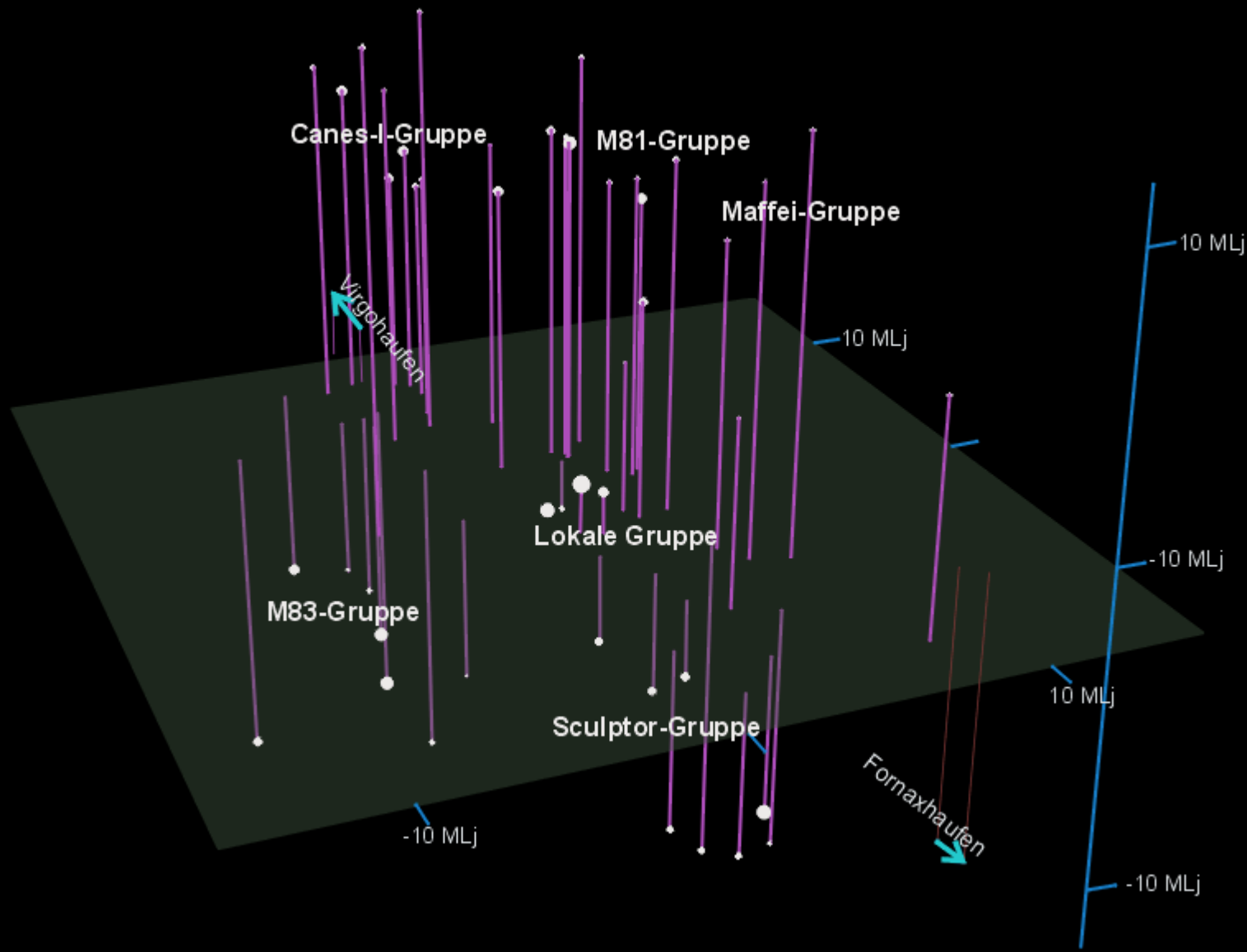
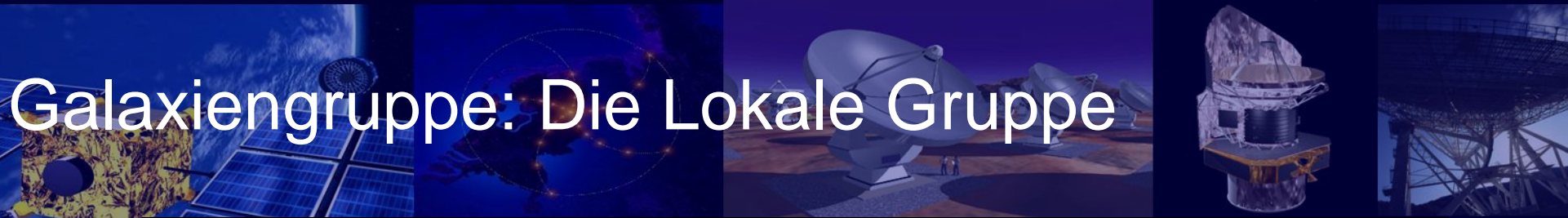
# Galaxienhaufen

- Galaxien sind nicht gleichmäßig im Universum verteilt, stattdessen: gehäuftes Auftreten in Strukturen, den Galaxiengruppen oder Galaxienhaufen
- Strukturen sind Teile einer großräumigen schaumartigen Verteilung von Haufen und verbindenden Filamenten, die sich um Hohlräume (engl. Voids) mit geringer Galaxiendichte gruppieren
- **Gruppe:** Ansammlung von weniger als 50 Galaxien in einem Volumen mit einem Durchmesser von bis zu 10 Mio Lichtjahren (Masse: ca.  $10^{13}$  Sonnenmassen) (z.Bsp. Milchstraße befindet sich in der *Lokalen Gruppe*)
- Lokale Gruppe: Objekte im Umkreis von 5 – 7 Mio Lichtjahren

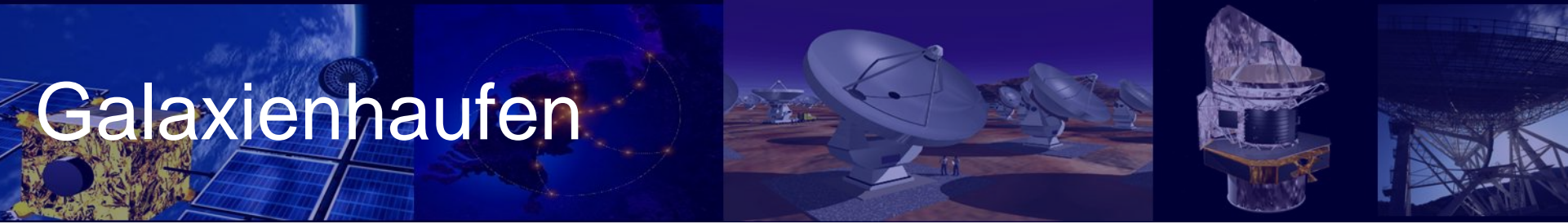




# Galaxiengruppe: Die Lokale Gruppe



# Galaxienhaufen



- **Galaxienhaufen:** haben eine Größe von bis zu einigen 1000 Einzelgalaxien, die sich alle mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten im gemeinsamen Schwerefeld des Haufens bewegen. Masse:  $10^{14}$ - $10^{15}$  Sonnenmassen in einem Gebiet von 10 bis 20 MioLj. Hauptteil der Masse: Dunkle Materie (80%). Dünnes, heißes Gas durchdringt die Galaxienhaufen (10 – 100 Mio K). Macht 15% der Masse aus. Der Rest der Masse (5%) ist in Sternen und Planeten zu finden. Im Zentrum häufig riesige Elliptische Galaxie (Bsp. **M87 im Virgo-Galaxienhaufen**).

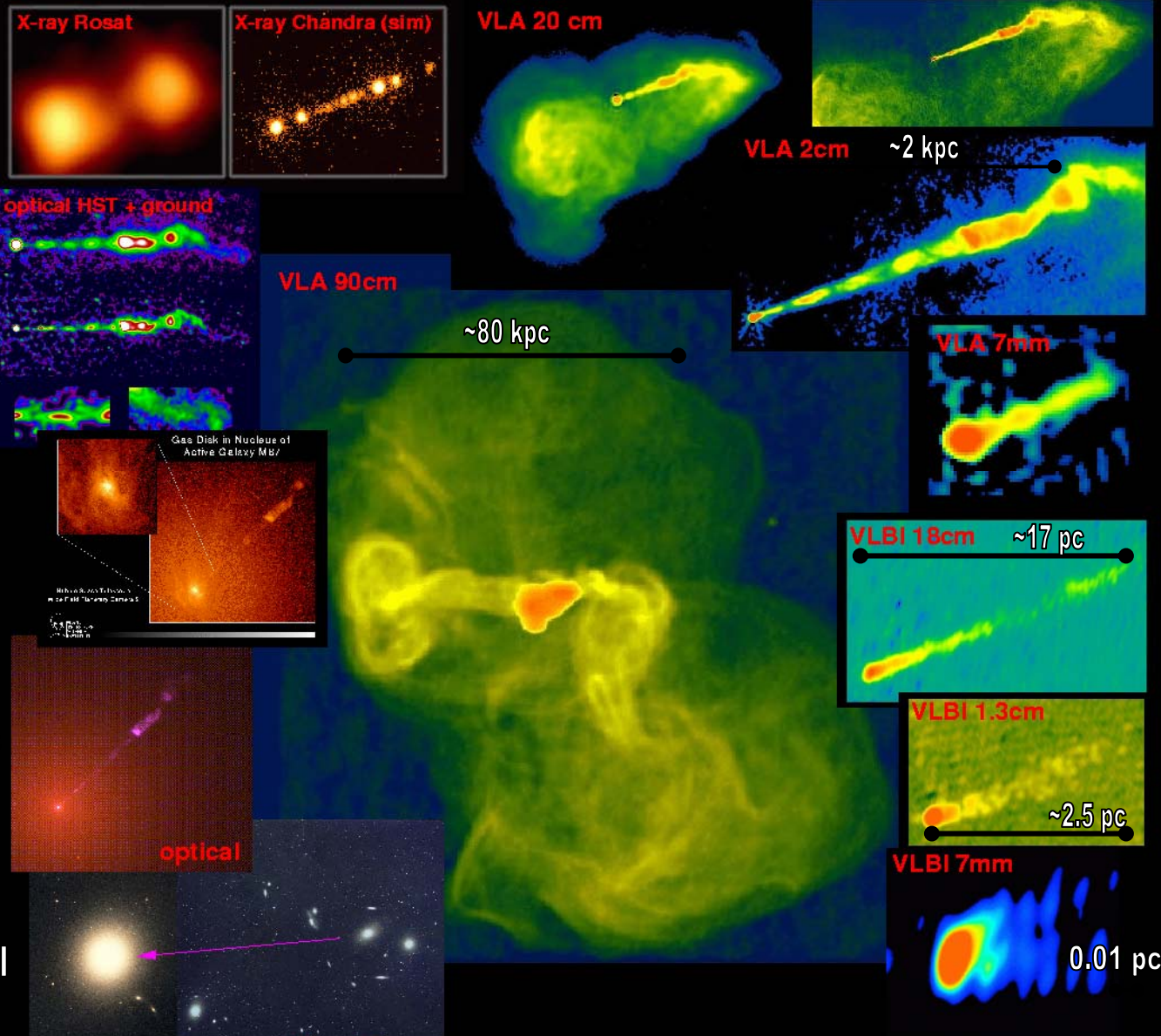
Wichtig: in den dichten Zentralregionen von Galaxienhaufen finden sich Elliptische Galaxien. Galaxien am Rand von Haufen, in Gruppen und Feldgalaxien sind vorwiegend Spiralgalaxien.

# Galaxienhaufen: Virgohaufen



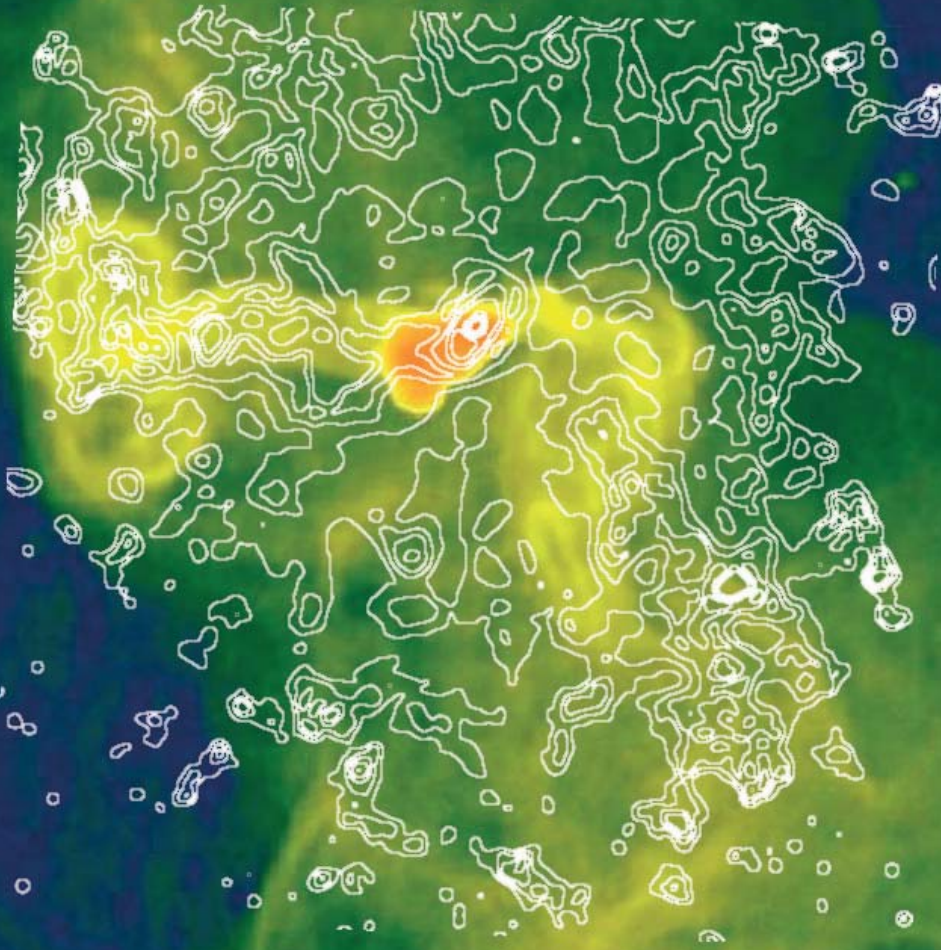


# M87 (Virgo A) - From half a million light years to 0.1 light years

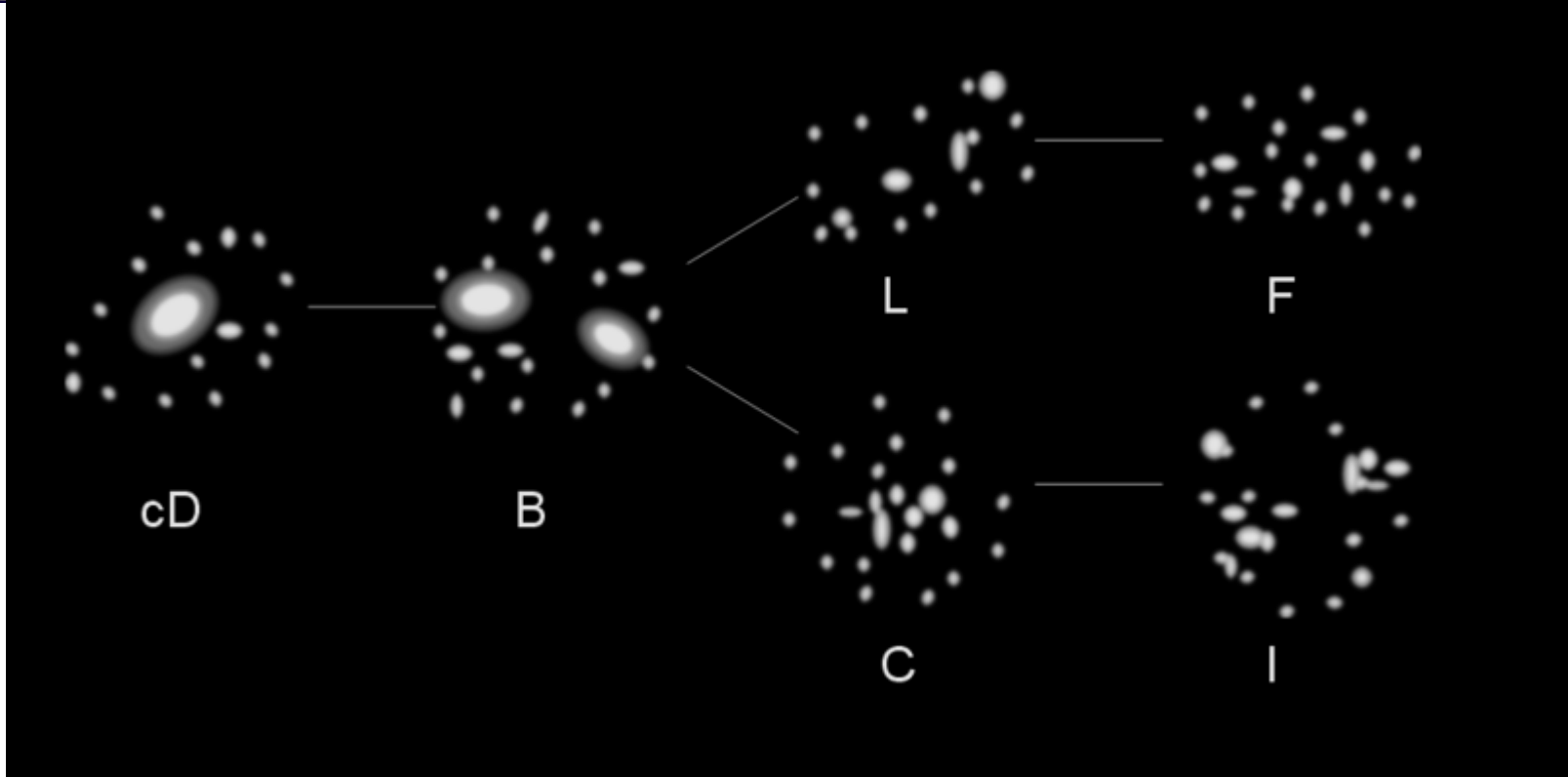




Radiokarte der Umgebung  
von M87, überlagert mit  
den Röntgenmessungen  
von XMM-Newton

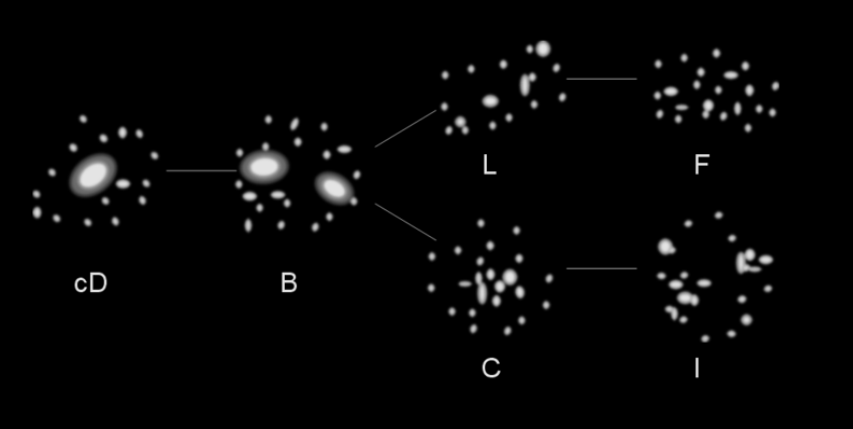


# Galaxienhaufen: Klassifizierung



- Schema von Rood und Sastry (RS-Schema) unterscheidet anhand der Verteilung der zehn hellsten Mitglieder:

# Galaxienhaufen: Klassifizierung



- Anhand der Verteilung der zehn hellsten Mitglieder:
  - cD-Haufen: dominiert von einer einzelnen riesigen cD-Galaxie im Zentrum
  - B-Haufen (binär) werden von einem Paar von cD-Galaxien dominiert
  - L-Haufen: annähernd lineare Anordnung der größten Galaxien
  - C-Haufen (core): ein einzelner dichter Kern mit mehreren Großgalaxien
  - F-Haufen: flach, in einer Richtung stark abgeplattet, ohne starke Konzentration im Zentrum
  - I-Haufen: irreguläre Struktur, ohne klar definiertes Zentrum oder mit mehreren Zentren



# Galaxienhaufen finden

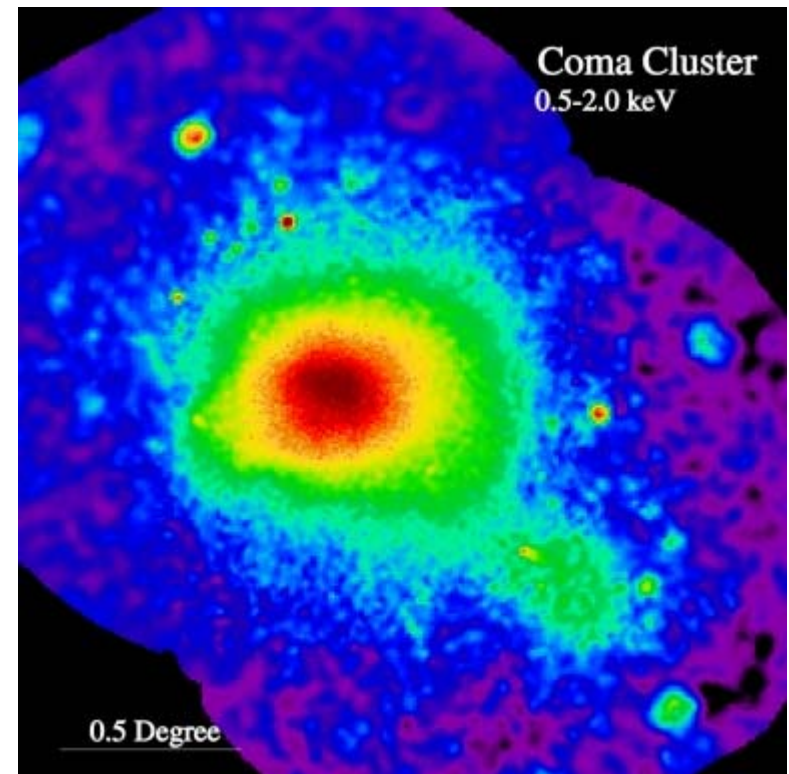


- Galaxienhaufen sind als Konzentration heller Galaxien in Himmelsaufnahmen erkennbar, verfeinerte Methode durch George Abell und seine Mitarbeiter, die seit den 1950er Jahren im Palomar Observatory Sky Survey durch entsprechende Beobachtungen am Südhimmel insgesamt über 4000 Galaxienhaufen bis zu Rotverschiebungen von 0.2 identifizierten
- In Röntgensurveys können sie über ihr heißes Gas gefunden werden
- Kleine Veränderungen der kosmischen Hintergrundstrahlung beim Durchgang durch das heiße Gas eines Galaxienhaufens (Sunyaev-Zeldovich-Effekt) können mit Radioteleskopen identifiziert werden

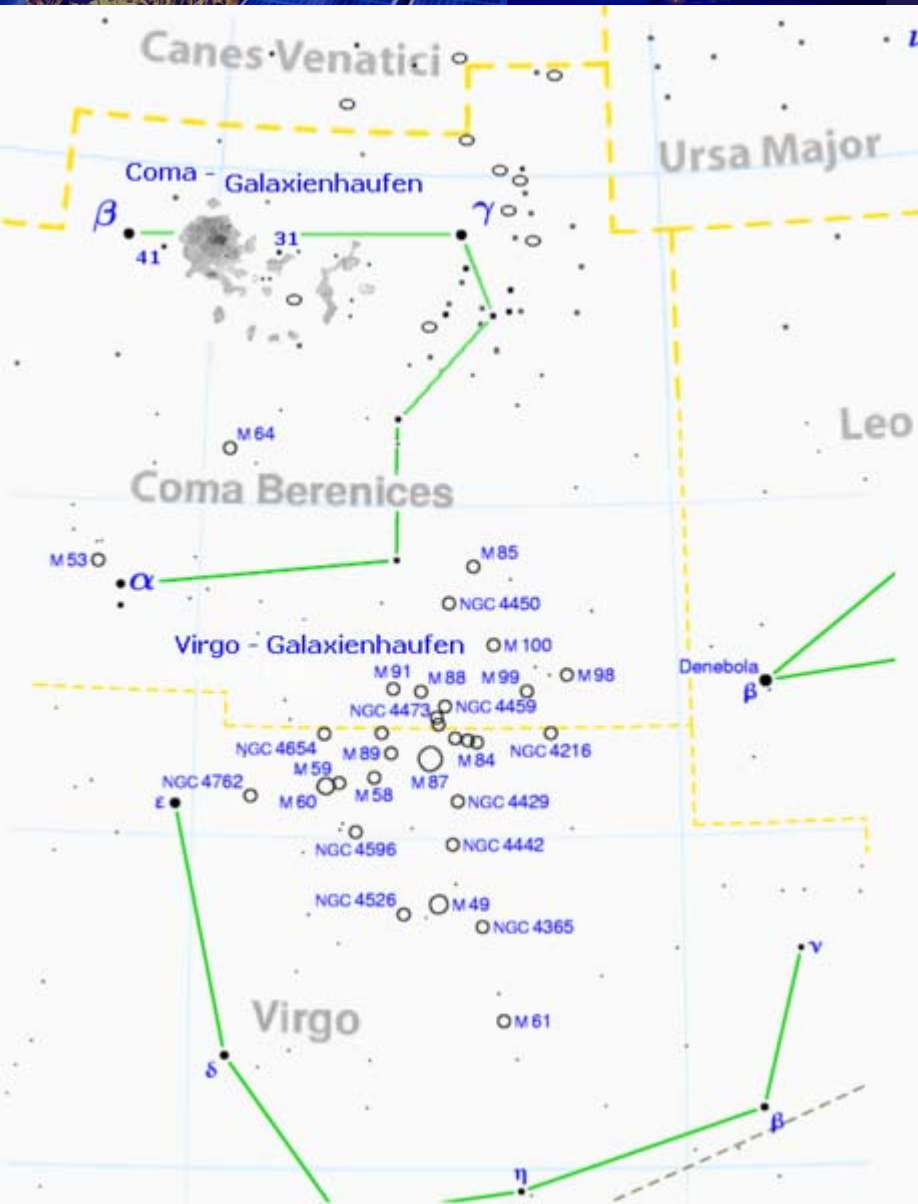


# Galaxienhaufen & Dunkle Materie

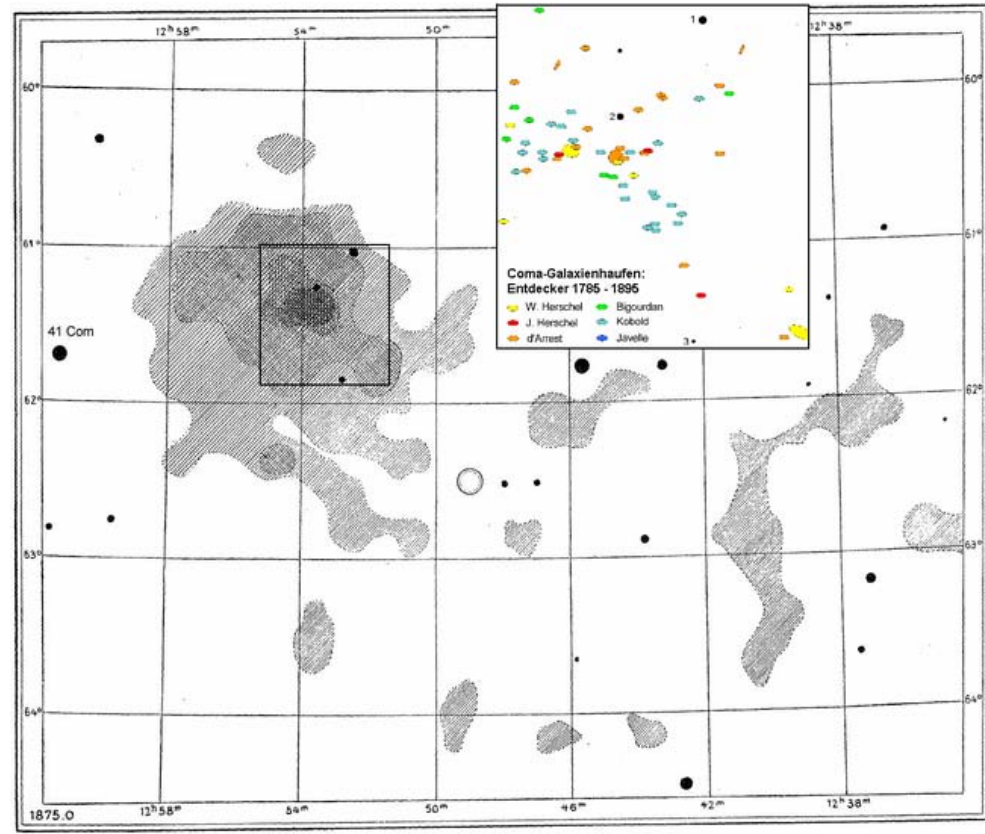
- Eigenbewegungen der Galaxien in Galaxienhaufen: die gesamte sichtbare Materie reicht nicht aus, um den Zusammenhalt der Haufen durch die Schwerkraft sicherzustellen (zuerst 1933 von Zwicky am Coma-Galaxienhaufen)
- Auch Gas hat nicht genügend Masse
- Coma-Haufen: ein „alter Haufen“, am Ende der Kollapsphase, nahezu im dynamischen Gleichgewicht, ww mit einem kleinen Galaxienhaufen



# Galaxienhaufen: Comahaufen



- Riesige Ansammlung von über 1000, auch Abell 1656
- Langbelichtete Aufnahme von Max Wolf 1901





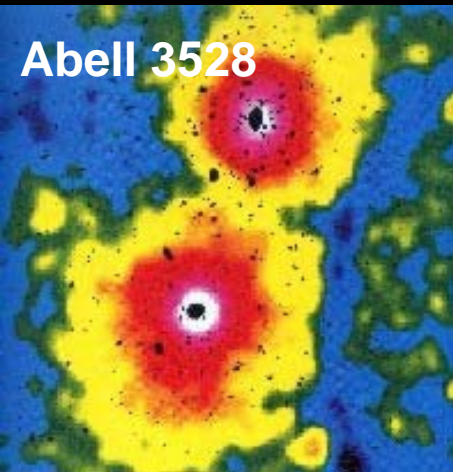
# Galaxienhaufen: Comahaufen



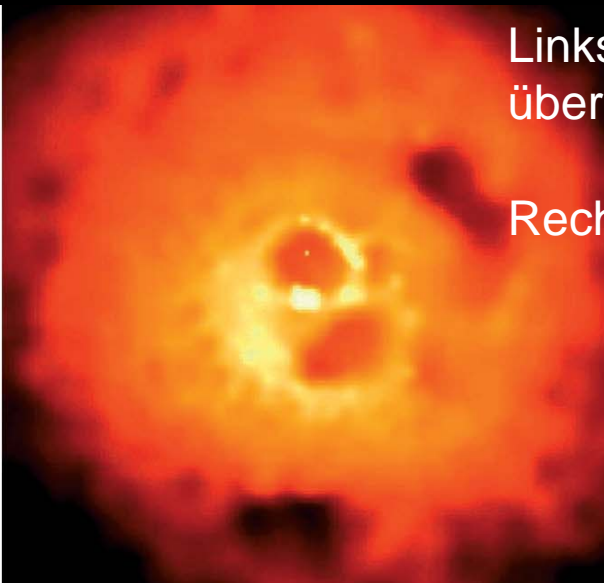
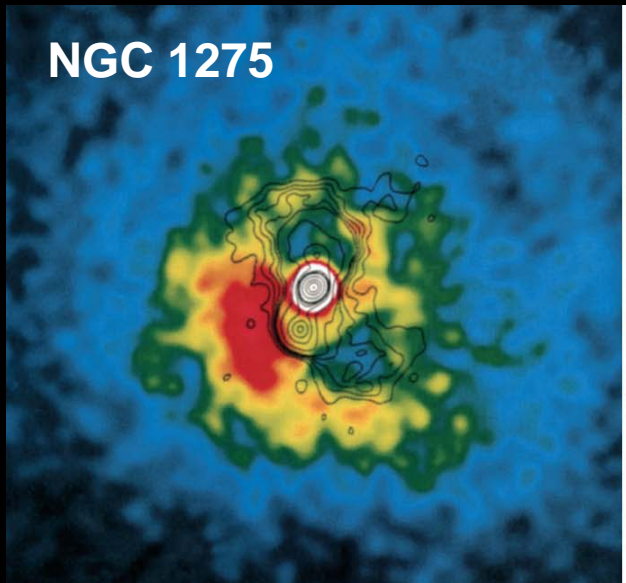
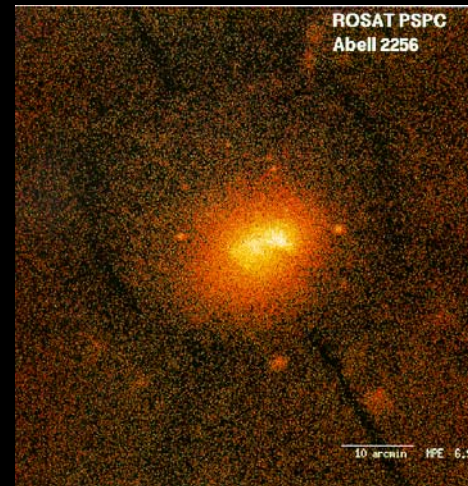
- Die hellsten Nebelflecke wurden zw. 1760 und 1780 katalogisiert, vor allem von C. Messier
- W. Herschel fand von 1783-85 23 Galaxien des Comahaufens
- H.L. d'Arrest entschlüsselte den Galaxienhaufen 1861-1867 durch systematisch angelegte Beobachtungen
- G. Bigourdan entdeckt 12 weitere Nebel (1885-1895)
- H. Kobold weitere 22
- Erst in den letzten Jahrzehnten wird die riesige Menge an Galaxien detektiert



# Galaxienhaufen im Röntgenlicht



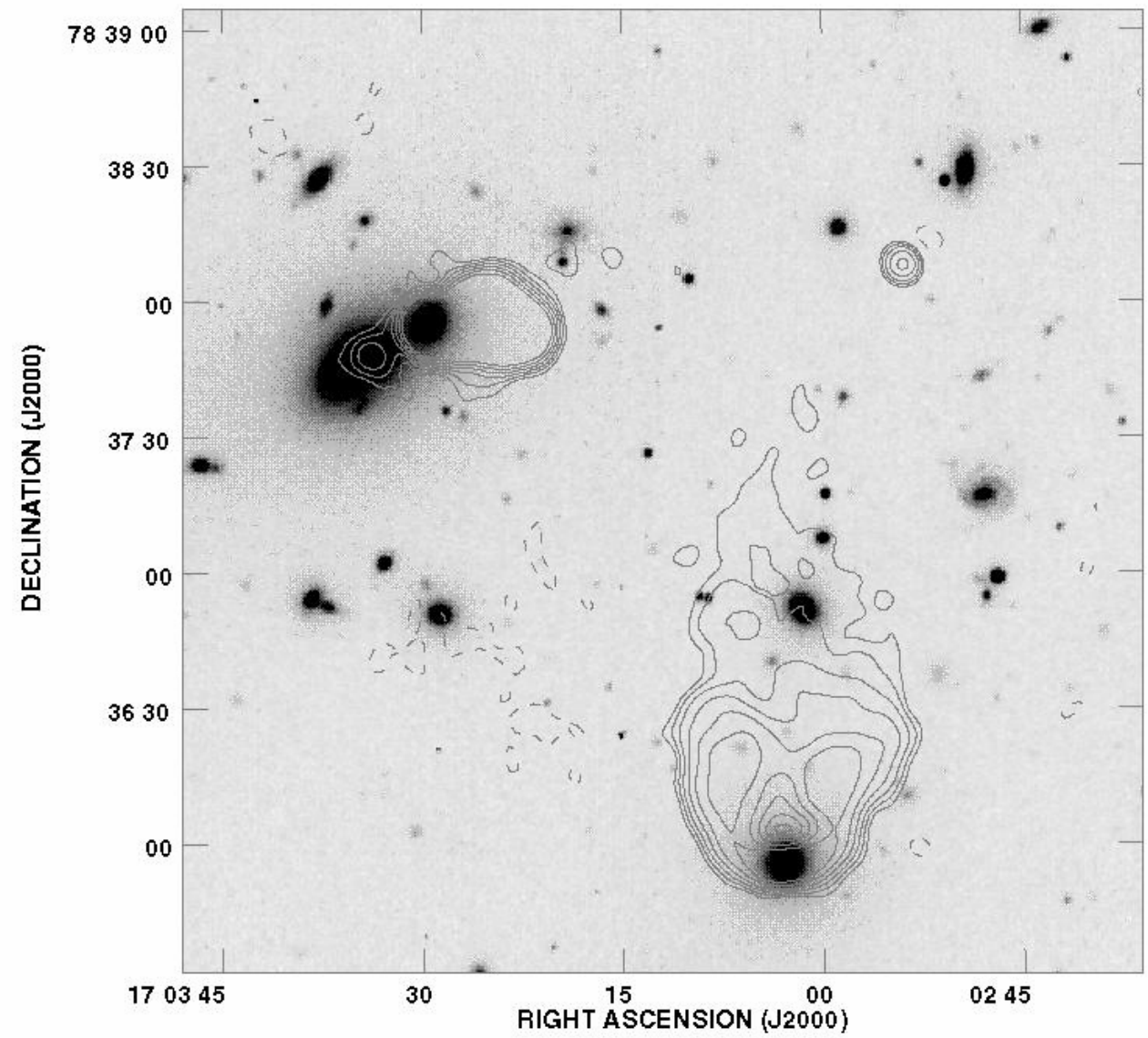
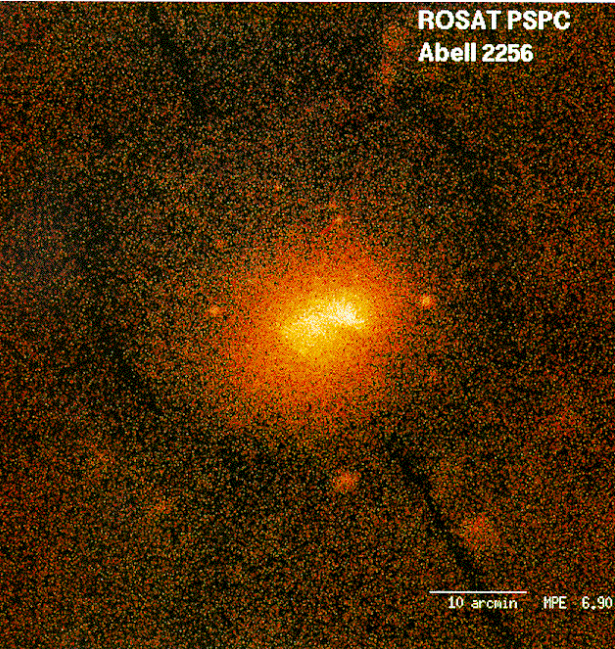
Haufen kollabieren, in beiden Zentren  
Besonders große Galaxien  
Optisch:schwarz



Links: ROSAT-Aufnahme mit überlagerter Radio-Konturenkarte

Rechts: Chandra-Aufnahme





# Galaxienhaufen & Kosmologie



- Galaxienhaufen stellen die größten Strukturen im Universum dar und haben einen Gleichgewichtszustand erreicht
- Sitzen an den Knoten des kosmischen Netzwerks
- Karten der Galaxienhaufen zeigen zugleich die Materiekonzentration im Universum über große Distanzen
- Galaxienhaufen wachsen durch Akkretion die durch die Kosmologie bestimmt wird
- 80% Dunkle Materie
- Viriales Gleichgewicht für die Galaxien und hydrostatisches Gleichgewicht für das Gas
- Röntgenemission des Gases: Bremsstrahlungs Kontinuumsemission plus Fluoreszenzlinien von schweren Elementen
- Gehören zu den hellsten Röntgen-Quellen -> auch das ferne Universum kann untersucht werden

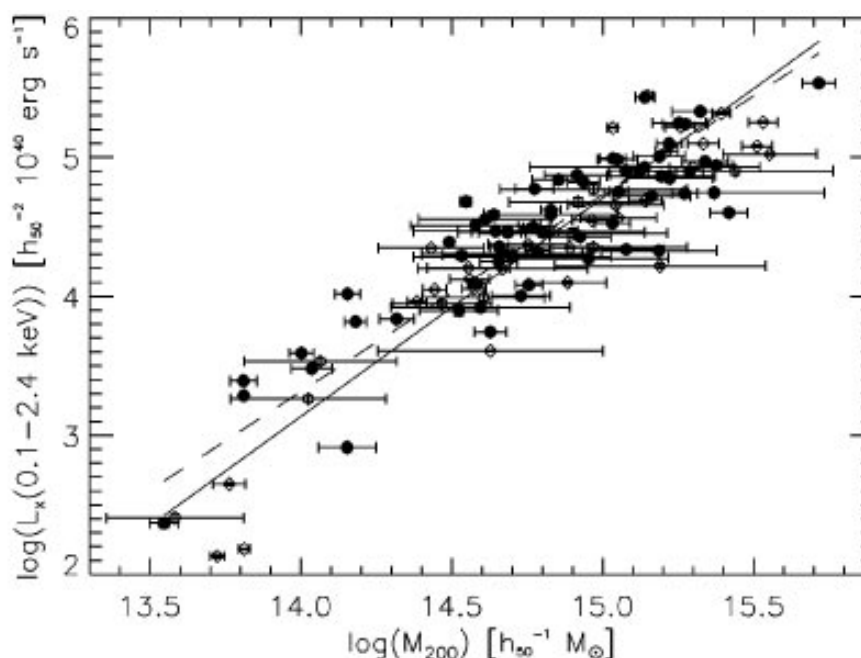
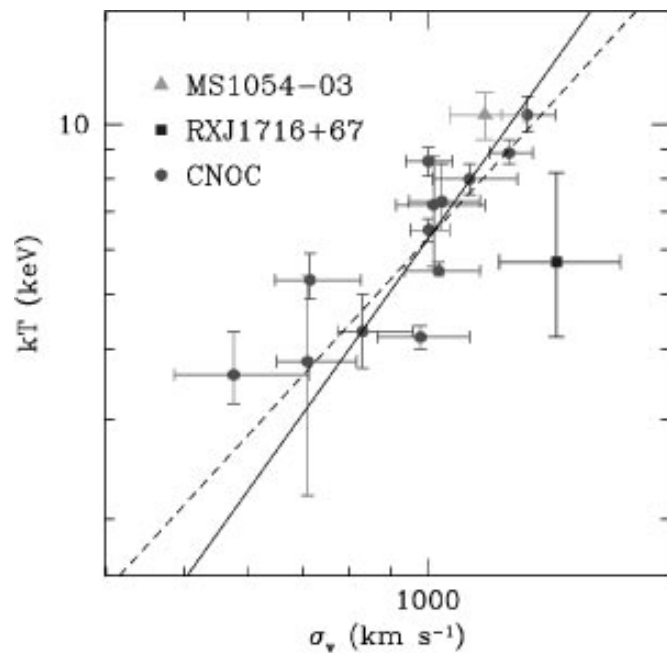
# Galaxienhaufen: Temperatur



- Mit XMM und Chandra können auch andere Prozesse untersucht werden:
  - Gasaufheizung durch Gravitationsprozesse
  - Sternentstehung
  - Energie Feedback von Supernovae
  - Galaktische Nukleare Aktivität
- Unterliegt das Gas derselben Dynamik wie die Galaxien, hat es eine typische Temperatur (abhängig von Geschwindigkeitsdispersion, Protonenmasse, mittlerem molekularem Gewicht)  $k_b T \approx \mu m_p \sigma_v^2$
- Korrelation stimmt für nahe und entfernte Galaxienhaufen

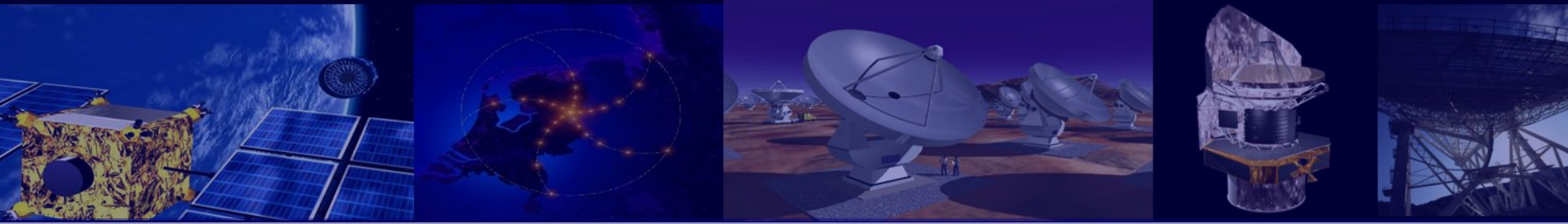


# Galaxienhaufen: Temperatur



- Beziehung zwischen Galaxien-Geschwindigkeits-Dispersion und intracluster Medium Temperatur
- Links:  $z > 0.15$ , durchgezogenen Linie: Formel; gestrichelt: bester Fit an die Daten
- Rechts: geringe Rotverschiebungen, Röntgenleuchtkraft als Funktion der Masse innerhalb eines mittleren Radius





# Deep fields in „bunt“, Teil II

## *Galaxienhaufen Durchmusterungen*

# Galaxienhaufen vor XMM & Chandra



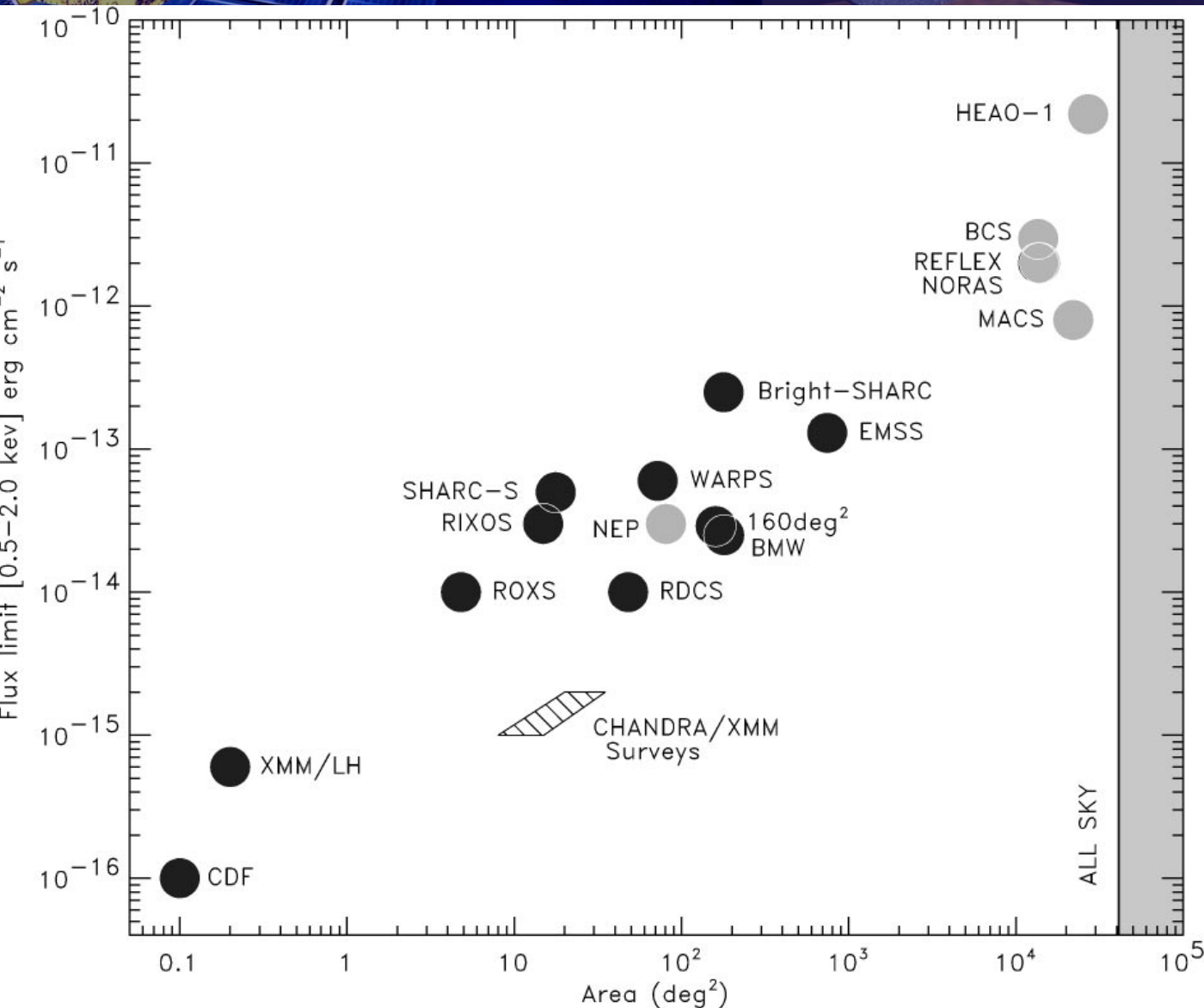
- UHURU (~1972): zum ersten mal den Zusammenhang zwischen großen Galaxienhaufen und hellen Röntgenquellen; Galaxienhaufen gehören zu den leuchtkräftigsten Röntgenquellen, sind ausgedehnt und zeigen keine Variabilität
- HEAO-1 (1977): ~100 Galaxienhaufen
- Einstein Medium Sensitivity Survey: 93 Galaxienhaufen bis  $z=0.58$ ; erste Untersuchung der Entwicklung von Galaxienhaufen
- ROSAT All-Sky Survey (RASS): mehr als 1000 Galaxienhaufen bis  $z\sim 0.5$ 
  - REFLEX, südliche Hemisphäre mit 450 Objekten
  - NORA, nördlicher Himmel, North Ecliptic Pole survey: 64 Galaxienhaufen bis  $z\sim 0.81$
- Insgesamt haben die Röntgendurchmusterungen mehr als 10 000 Quadratgrad beobachtet und mehr als 1000 Galaxienhaufen detektiert (bis zu einer Rotverschiebung von  $z\sim 0.5$ ); ein Drittel war bereits in Abell oder Zwicky Katalogen identifiziert



# Galaxienhaufen vor XMM & Chandra

- ROSAT follow-up Untersuchungen:
  - NORAS, Northern ROSAT All-Sky Survey
  - REFLEX: ROSAT-ESO flux limited X-ray cluster survey
  - NEP: North Ecliptic Pole
  - RIXOS survey
  - RDCS, ROSAT Deep Cluster Survey
  - SHARC, Serendipitous High-Redshift Archival ROSAT Cluster survey
  - WARPS, Wide Angle ROSAT Pointed X-Ray Survey of clusters
  - ROXS, ROSAT Optical X-Ray Survey
- Am ROSAT Flußlimit sind 10% der extragalaktischen Röntgenquellen Galaxienhaufen

# Galaxienhaufendurchmusterungen



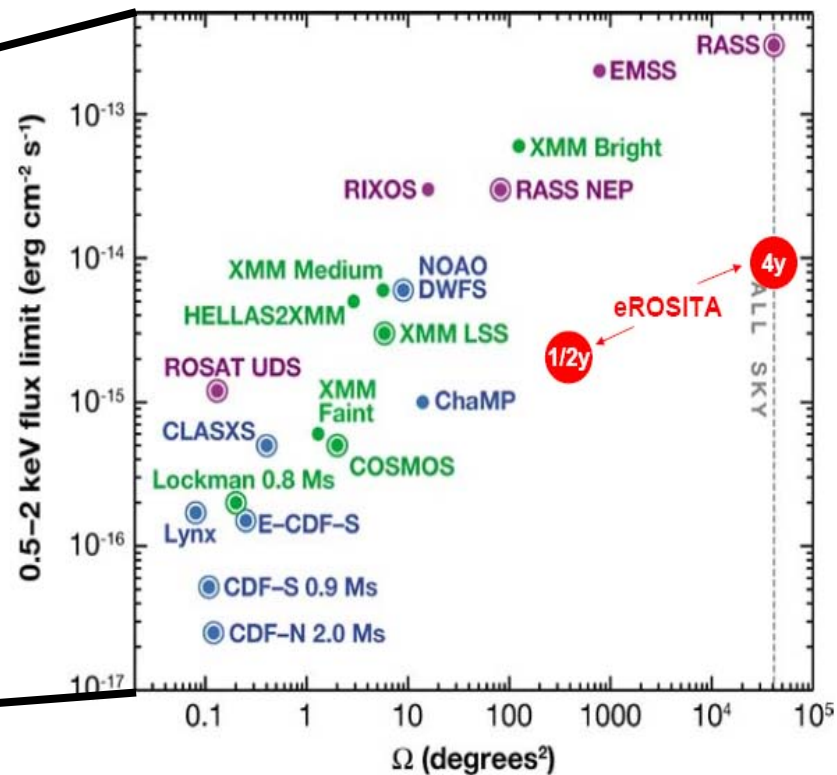
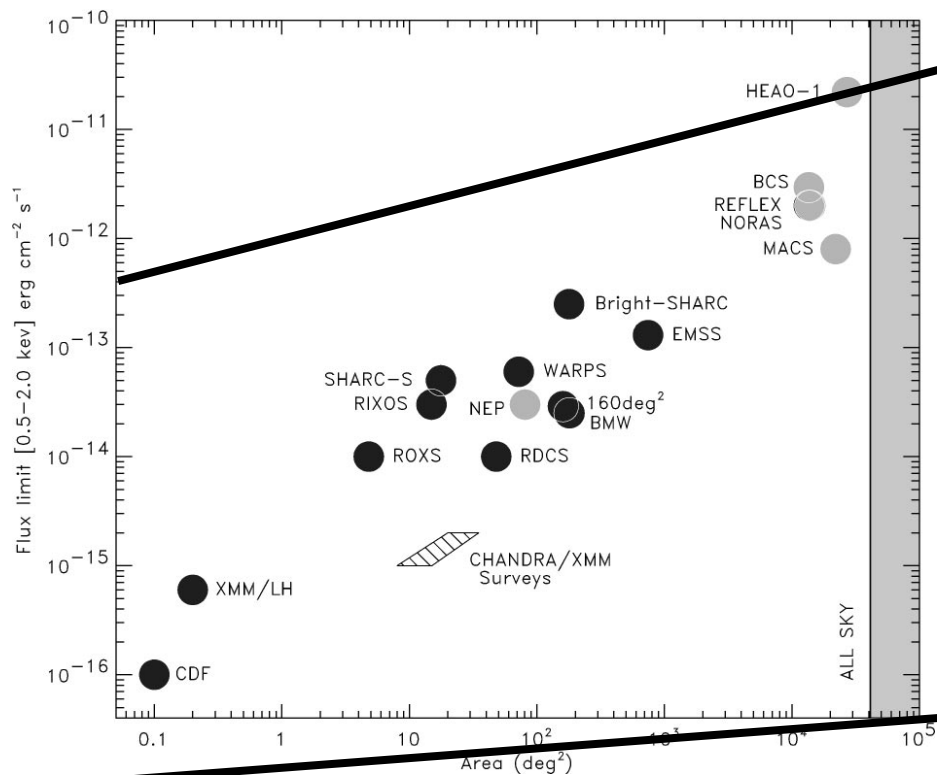
Röntgen Galaxienhaufen  
Durchmusterungen in  
den letzten beiden  
Jahrzehnten

Dunkle Punkte:  
serendipitous surveys  
konstruiert aus  
Einzelbeobachtungen

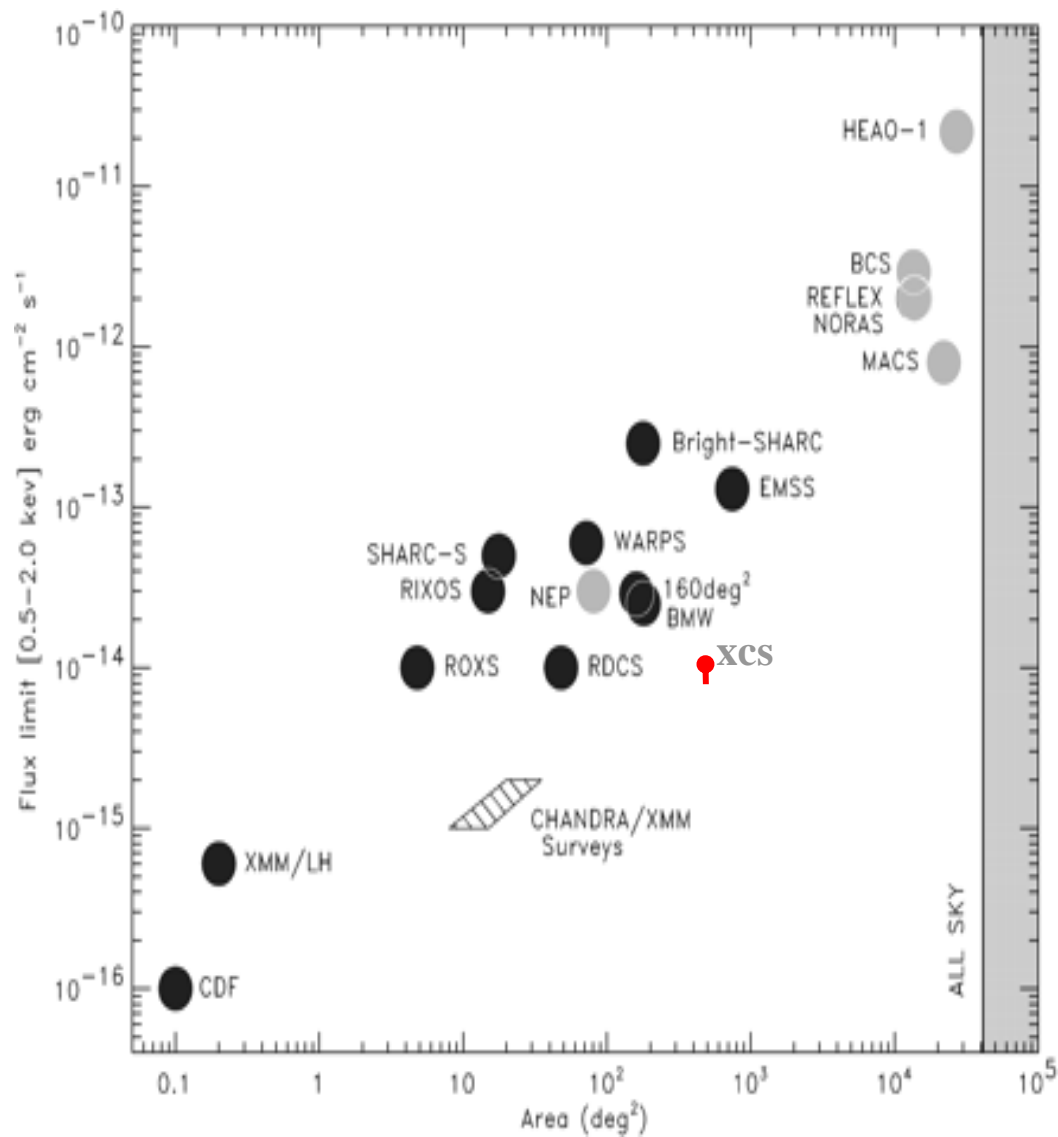
Helle Punkte:  
kontinuierliche  
Himmelsausschnitte



# Galaxienhaufendurchmusterungen



# Galaxienhaufendurchmusterungen





# Galaxienhaufen mit XMM

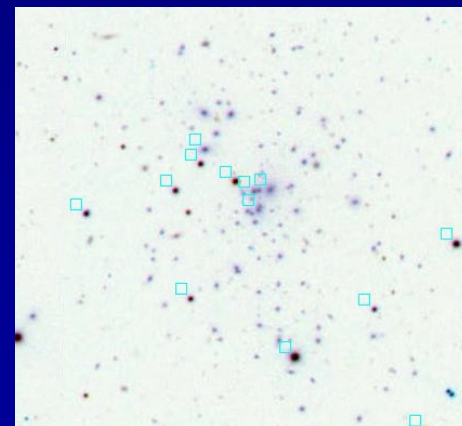
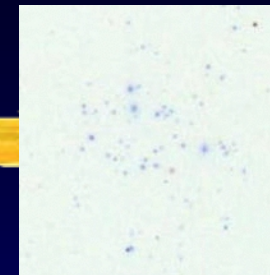
- X-ray serendipitous X-ray Cluster Survey (XCS): Ziel ist
  - Die Bestimmung der Amplitude der Dichte-Störungen auf kleinen Skalen  $8/h$  Mpc, „sigma 8“
  - Die totale Materiemenge im Universum  $\Omega_M$
  - Energiedicht in der Form der kosmologischen Konstanten,  $\Omega_\Lambda$

# What is XCS?

- The XMM Cluster Survey aims to mine the entire XMM science archive for galaxy clusters.
- The science goals of the XCS are:
  - To measure cosmological parameters  $\sigma_8$ ,  $\Omega_M$ ,  $\Omega_\Lambda$  to 5, 10 and 15 per cent accuracy respectively.
  - To study the evolution of the cluster gas (i.e., the luminosity—temperature relation) to high redshift.
  - To provide a statistically significant, homogeneously selected sample of high redshift clusters, in order to test theories of cluster galaxy formation and evolution.

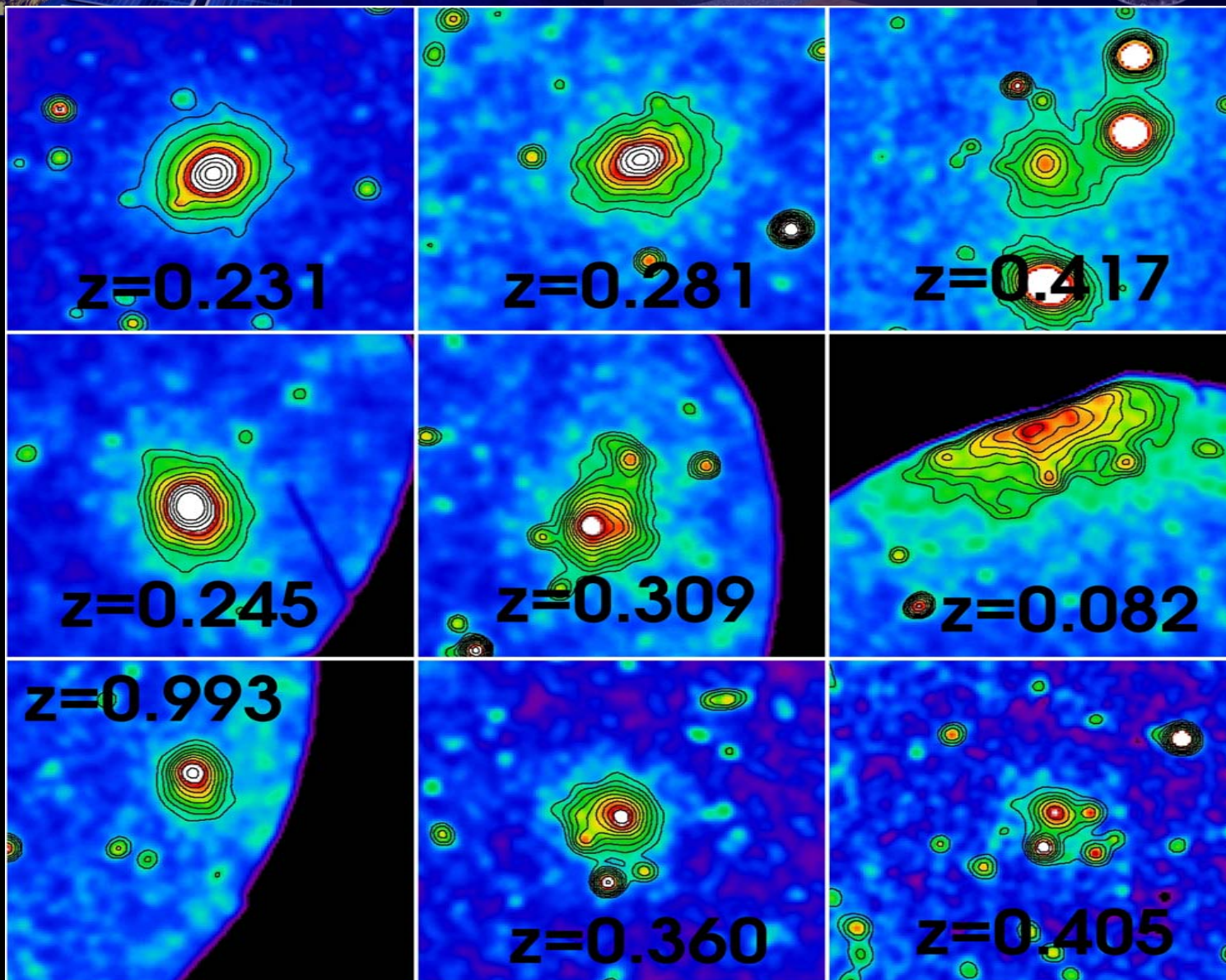


RA DEC	XMM	PSPC	HRI	SDSS	NVSS	Comments
183.39698, 2.8973317						GC1str <a href="#">[VMF98] 116</a> , $z=0.39$ , OFF-AXIS ANGLE=6', EXP=22.5ks
44.138340, 0.096784697						Target. GC1str <a href="#">RX J0256.5+0006</a> , $z=0.36$ , EXP=20.9ks
155.91657, 4.1861450						Target. CIG <a href="#">ZW3146/ZwCl 1021.0+0426</a> , $z=0.2906$ . Strong cooling flow. EXP=53.5ks
354.40846, 0.27000458						Target. GC1str <a href="#">Abell 2631</a> , $z=0.273$ , EXP=13.3ks
29.821208, 0.50374322						GC1str <a href="#">[VMF98] 021</a> , $z=0.26$ , OFF-AXIS ANGLE=10.5', EXP=9.8ks
139.46771, 51.727259						GC1str <a href="#">RXC J0917.8+5143</a> , $z=0.217$ . Associated with A773. EXP=14.3ks
197.87286, -1.3422175						Target. GC1str <a href="#">Abell 1689</a> , $z=0.1832$ , EXP=37.4ks.





# Röntgenrotverschiebungen für 9 XCS Galaxienhaufen



# XCS and $z > 1$ Clusters

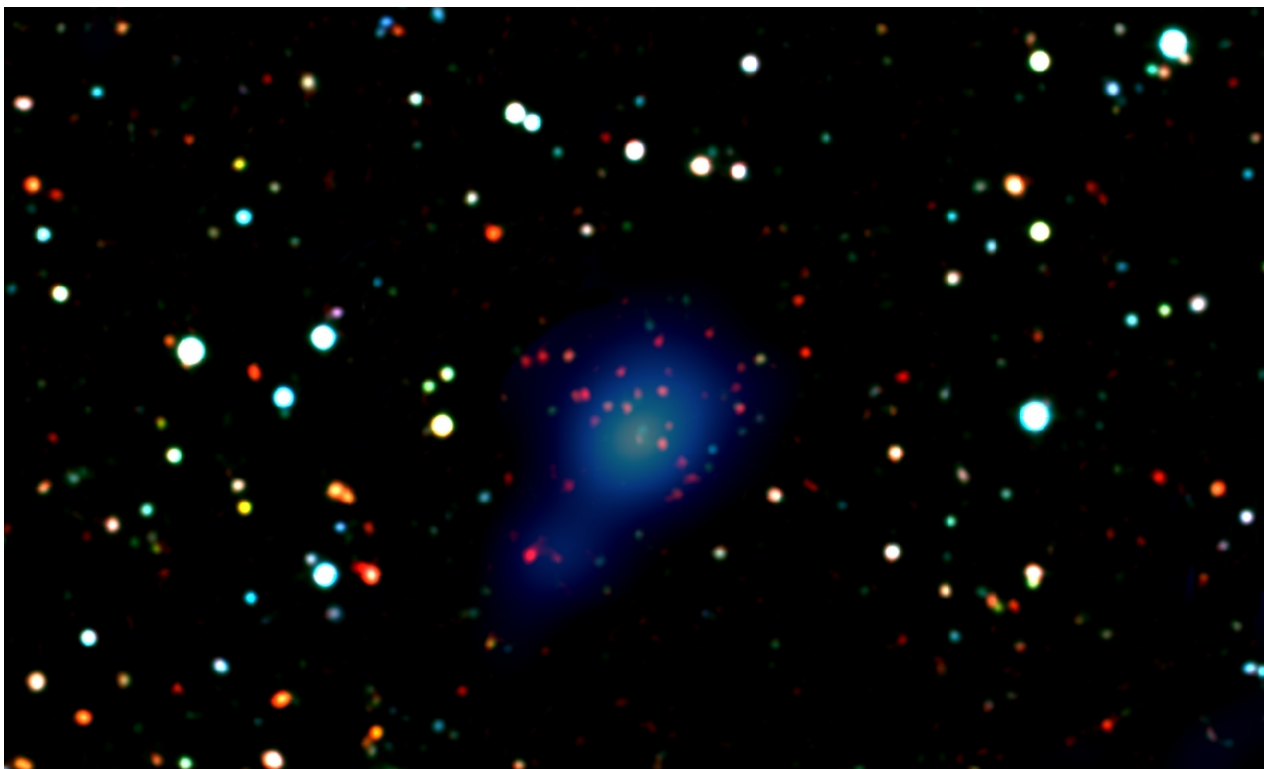
- As well as providing the tightest constraints on cosmological parameters and the evolution of the L—T relation, the highest redshift clusters can also be used to constrain models of cluster galaxy formation and evolution – progress here is currently being hampered by a lack of examples at  $z > 1$ .

<b>Redshift</b>	<b>Identification</b>	<b>Reference</b>
<i>Z=1.45</i>	<i>XMMXCS J2215.9</i>	<i>Stanford et al. 2006</i>
<i>Z=1.41</i>	<i>ISCS J143809</i>	<i>Stanford et al. 2005</i>
<i>Z=1.393</i>	<i>XMMU J2235.3</i>	<i>Mullis et al. 2005</i>
<i>Z=1.273</i>	<i>RDCS J0848.6</i>	<i>Stanford et al. 1997b</i>
<i>Z=1.265</i>	<i>RDCS J0848.9</i>	<i>Rosati et al. 1999</i>
<i>Z=1.237</i>	<i>RDCS J1252.9</i>	<i>Rosati et al. 2004</i>
<i>Z=1.14</i>	<i>RX J1053.7</i>	<i>Hashimoto et al. 2004</i>
<i>Z=1.11</i>	<i>RDCS J0910</i>	<i>Stanford et al. 2002</i>
<i>Z=1.05</i>	<i>XLSS J022403.9</i>	<i>Andreon et al. 2005</i>
<i>Z=1.0</i>	<i>XLSS J022708.7</i>	<i>Andreon et al. 2005</i>



# XMMXCS J2215.9-1738

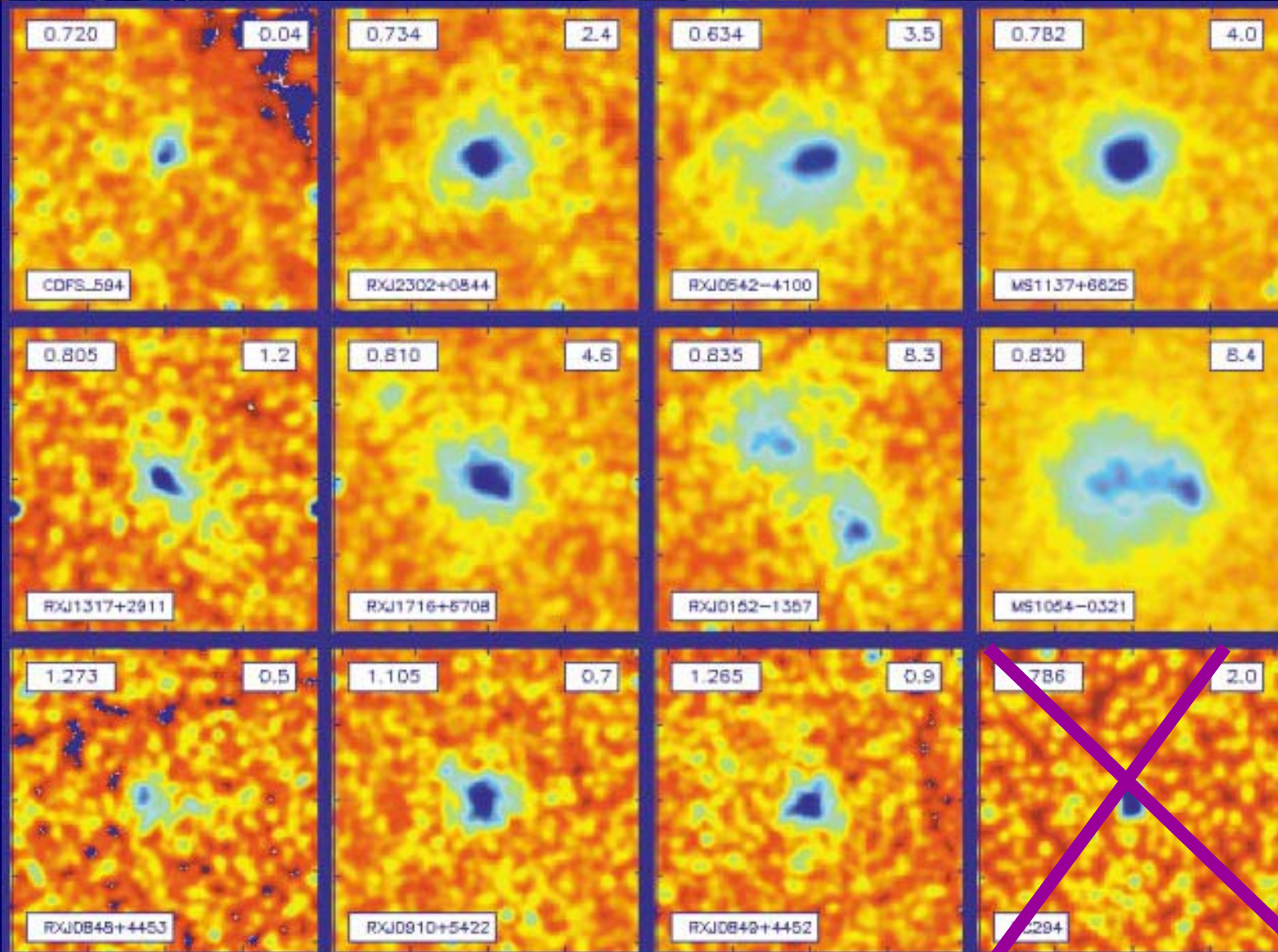
- der entfernteste (bekannte) – XMMXCS J2215.9-1738,  $z=1.45$  (Stanford et al. 2006, astro-ph/0606075)
- Hunderte von Galaxien, Gas ist heißer als 10 Mio Grad
- Voll von alten Galaxien: zu alt für diese Entfernung!!







# Galaxienhaufen gesehen von Chandra







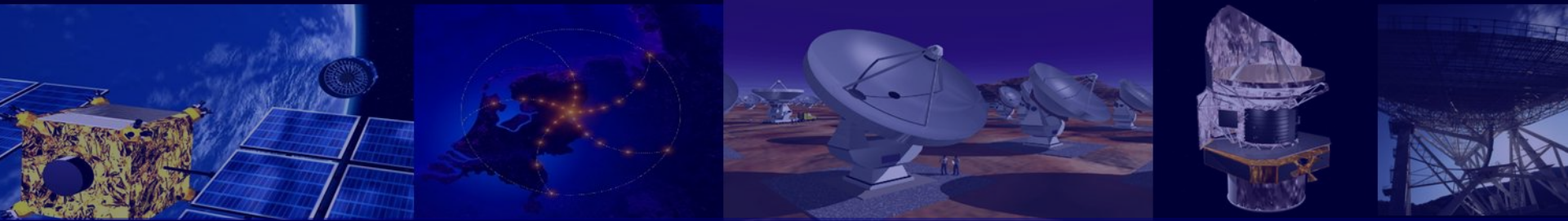
# Galaxienhaufen mit XMM

- **XMM Large Scale Structure survey (XMM-LSS)**: Ziel ist eine Entwicklung in der Raumverteilung der Galaxienhaufen bis zu einer Rotverschiebung von 1 zu suchen, dazu sollen 2 x 400 cluster in den Rotverschiebungsbereichen  $0 < z < 0.5$  und  $0.5 < z < 1$  gefunden werden
- Aussagen, die man machen können möchte:
  - Verglichen mit  $\Omega_M = 1$  Modellen zeigen offene Universen eine wesentlich langsamere Entwicklung der cluster-Dichte
  - Je nach Art der Dunklen Energie unterscheidet sich die Rotverschiebungsverteilung der Galaxienhaufen

# Galaxienhaufen finden: weitere Möglichkeiten



- Galaxienhaufen vorwiegend in optischen oder Röntgen-Durchmusterungen gesucht; alternative Möglichkeiten:
  - Ungewöhnliche Galaxiendichten um hochrotverschobene AGN (Nahinfrarot); einzige Möglichkeit bei  $z > 1.5$
  - Sunyaev-Zeldovich (SZ) Effekt; Galaxienhaufen finden durch das Messen der Verteilung der kosmischen Hintergrundstrahlung
  - Gravitationslinsen; durch Störung von Hintergrund-Galaxienbildern
  - Um gekrümmte Doppel-Radioquellen; oft assoziiert mit dichtem ICM,
  - Häufung von Absorptionsliniensystemen; einige Entdeckungen von Proto-Haufen ( $z > 2$ )

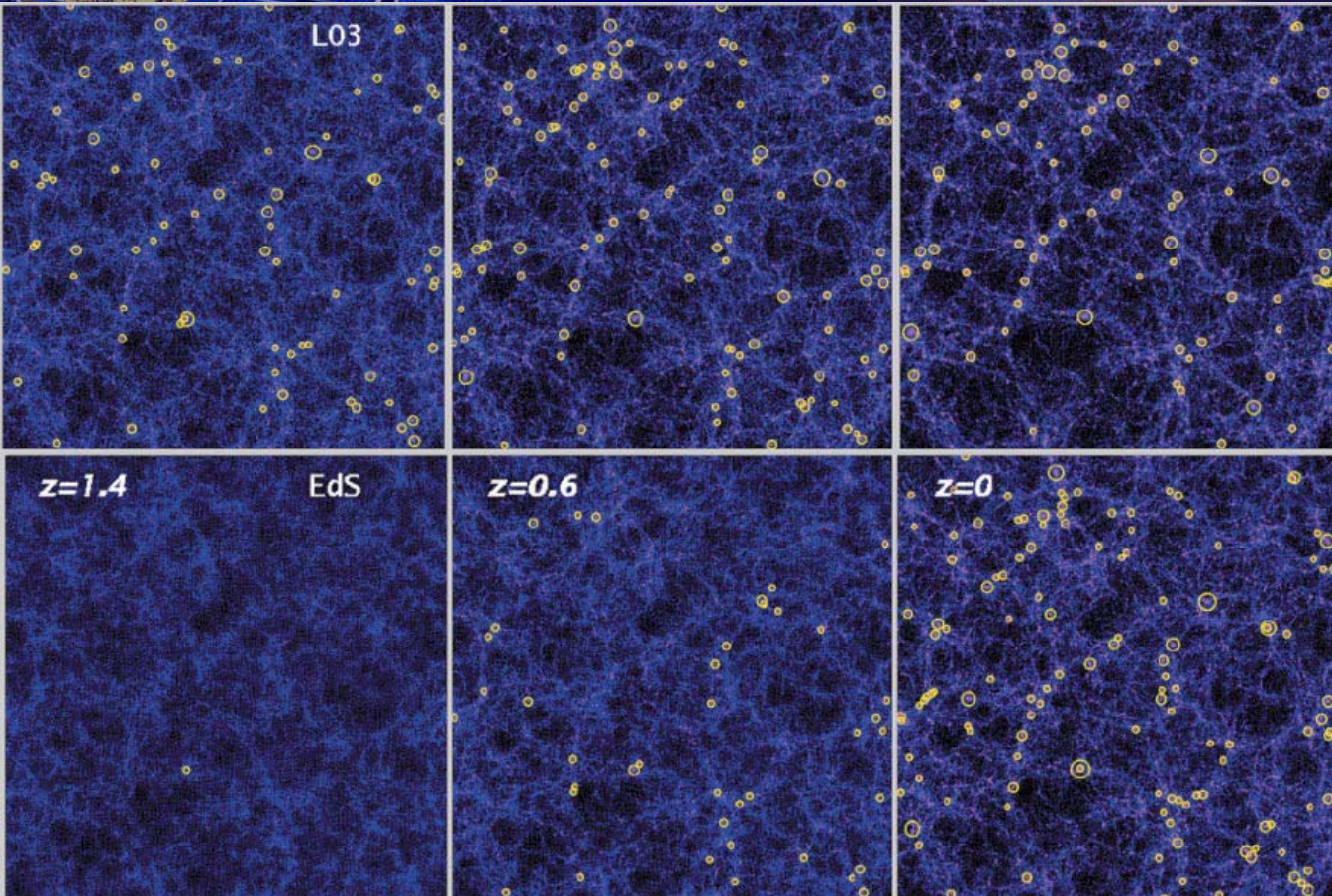


# Deep fields in „bunt“, Teil II

## *Galaxienhaufen & Kosmologie*



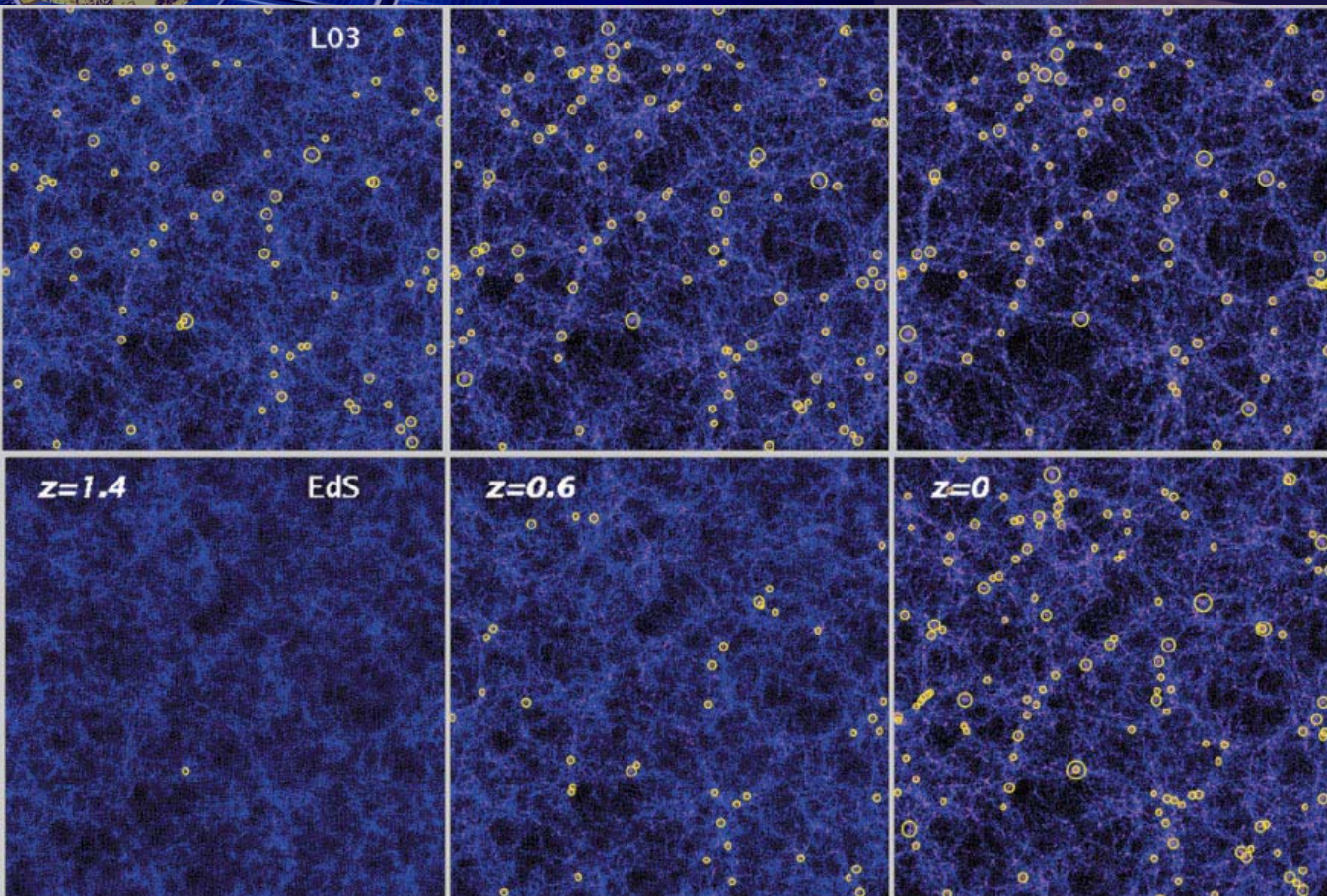
# Galaxienhaufen: Entwicklung



- Entwicklung der Galaxienhaufenpopulation aus N-Körper Simulationen in zwei verschiedenen Kosmologien
- Oben: flaches Universum geringer Dichte  $\Omega_M = 0.3$ ,  $\Omega_\Lambda = 0.7$
- Unten: Einstein-de Sitter Modell,  $\Omega_M = 1$
- Überlagert: gelbe Kreise markieren die Positionen von Galaxienhaufen
- Größe:  $250 \times 75h^{-1}$  Mpc



# Galaxienhaufen: Entwicklung



Materiedichteparameter  $\Omega_m$  bestimmt die Entwicklung der Dichtefluktuationen

Universen mit hoher oder niedriger Dichte zeigen deutlich unterschiedliche Entwicklungsmuster

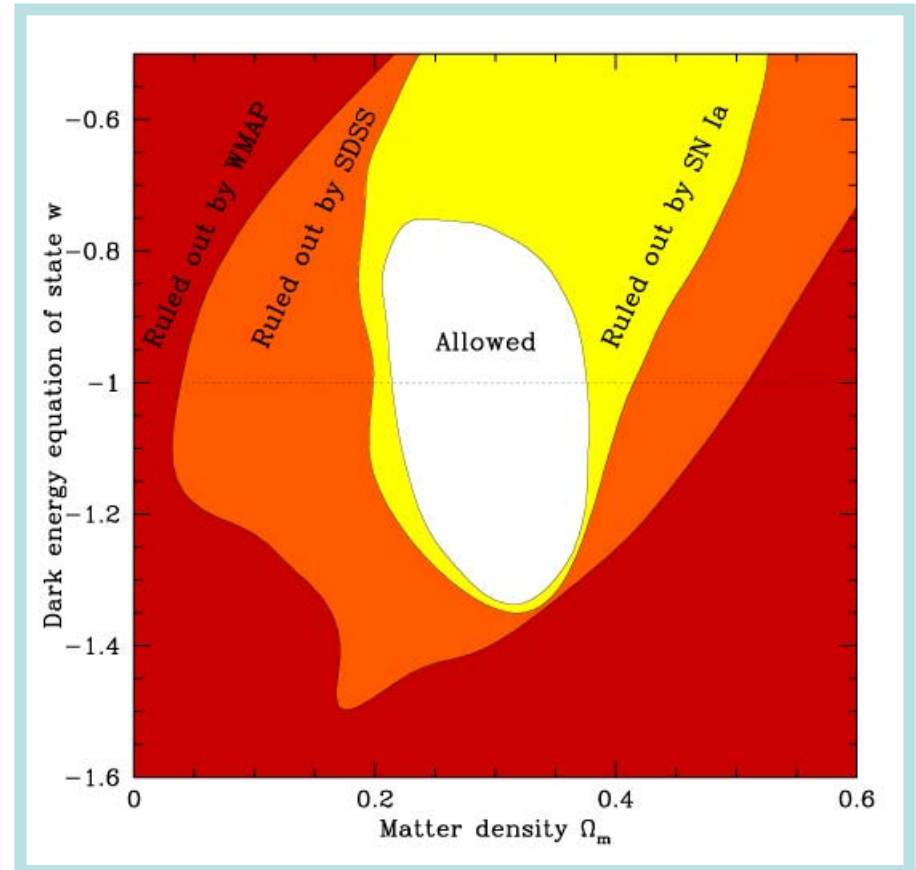
Raumdichte der Galaxienhaufen kann zur kosmologischen Diagnose dienen

Was Modelle

vorhersagen: die Anzahldichte der Galaxienhaufen bei einer bestimmten Masse und verschiedenen Rotverschiebungen

# Key Techniques for Measuring the Dark Energy Equation of State Parameter

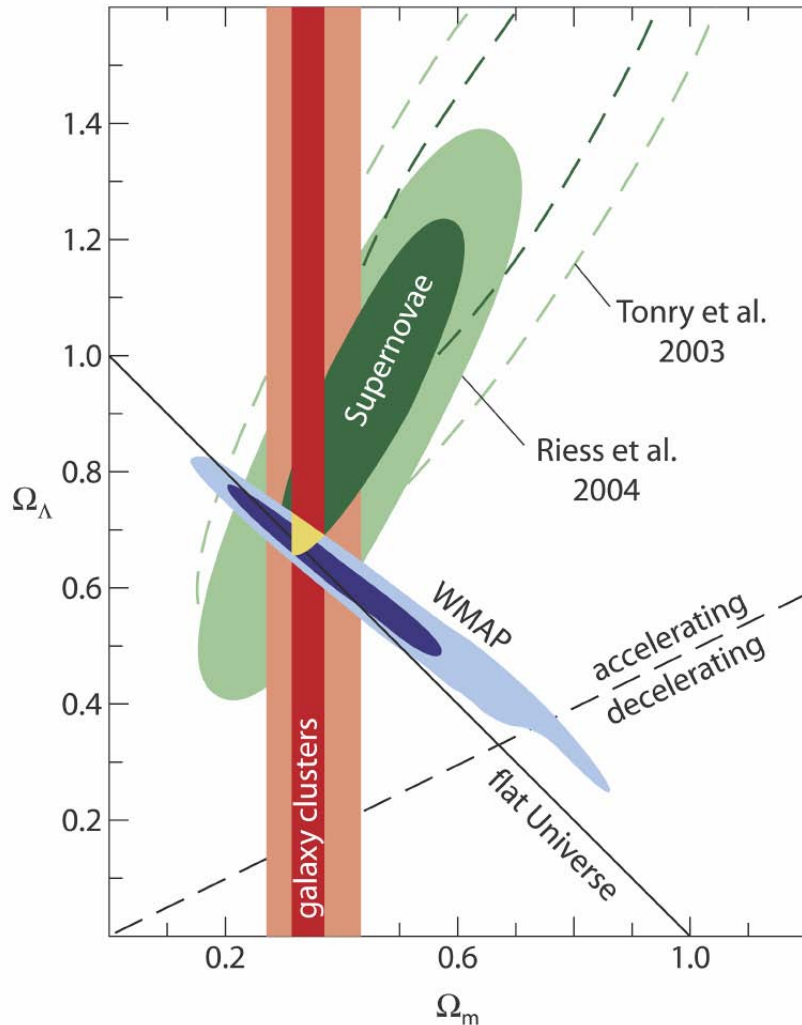
1. Type Ia Supernovae as standard candles
2. Power spectrum measurements using galaxies or clusters
3. Cosmic Microwave Background anisotropy
4. Weak lensing measurements
5. Galaxy cluster surveys



Tegmark et al 2004



# Galaxienhaufen & Kosmologie

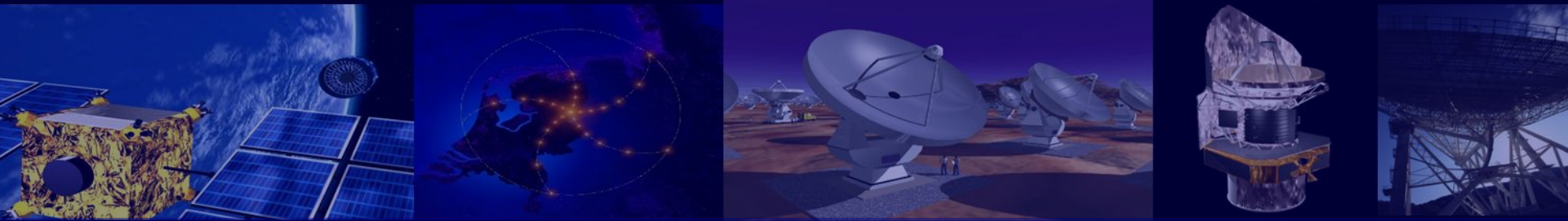


Constraining the Cosmological Parametres

- Zeigt die momentanen – durch die Beobachtungsergebnisse bedingten – Grenzen für die kosmische Materiedichte ( $\Omega_M$ ) und die Dunkle Energie ( $\Omega_\Lambda$ )

□  $\Omega_M \sim 0.3$  und  $\Omega_\Lambda \sim 0.7$

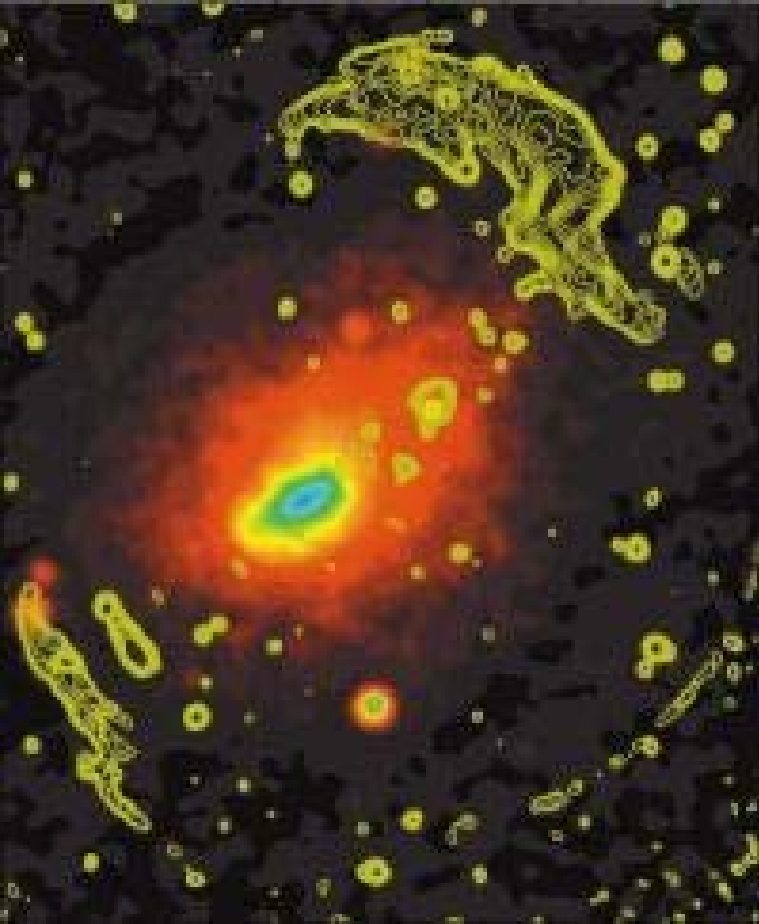
- Dunkelrot: 95% Sicherheit



# Deep fields in „bunt“, Teil II

## *Galaxienhaufen in Kollision*

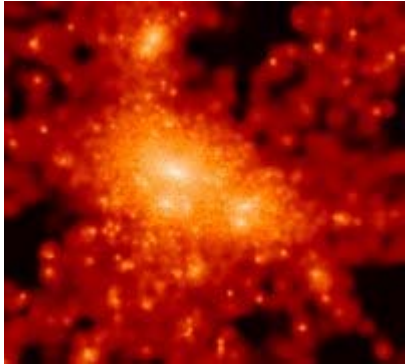
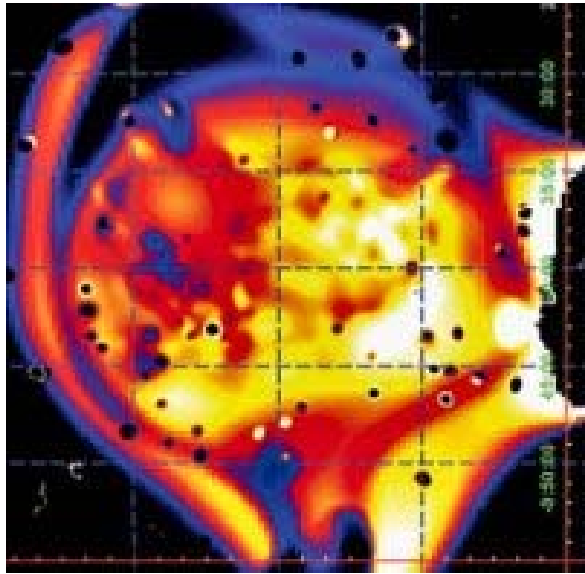
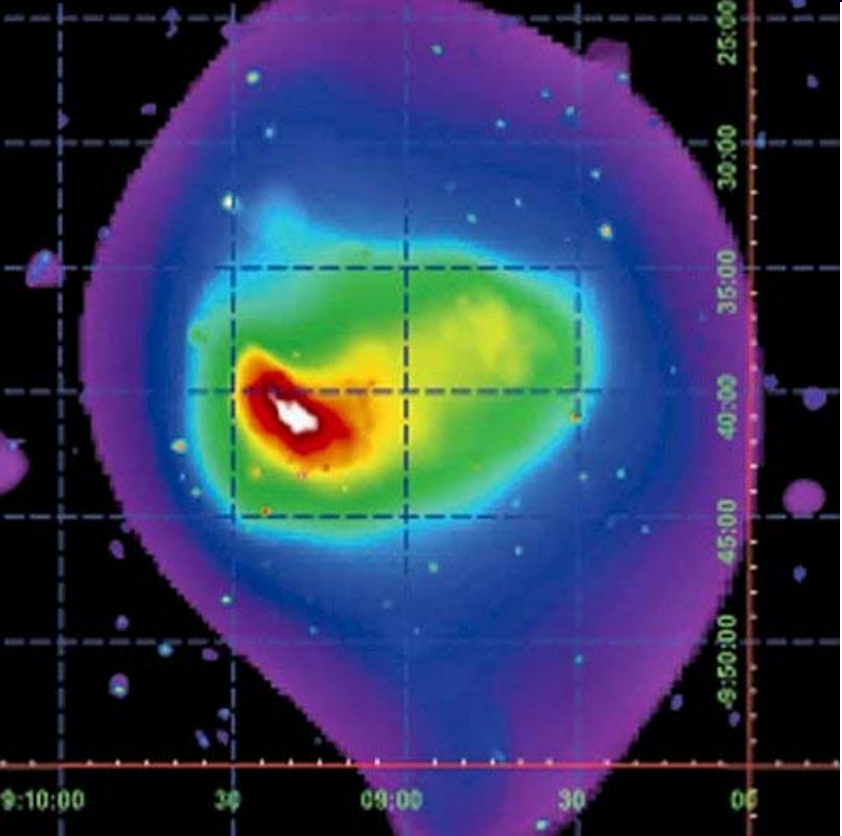
# Galaxienhaufen in Kollision



- 2001: vorher vage Anhaltspunkte für die Kollision von Galaxienhaufen
- Abell 3667, 700 Mio Jahre von der Erde entfernt, Radioemission zeigt Radiobögen, die aus der Kollision übrig geblieben sind
- Beobachtungen mit Mologlo Observatory Synthesis Telescope (MOST)



# Galaxienhaufen in Kollision

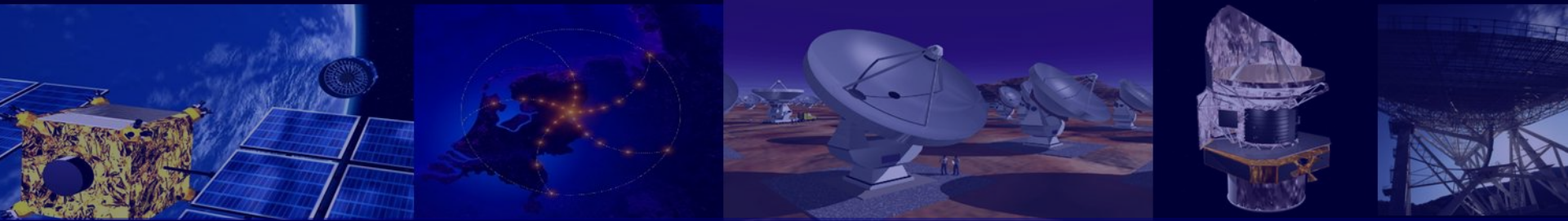


- Links: Abell 754, weiß stellt hellste Teile dar; frühere Kollision mit Abell 754 (1000 und 300 Galaxien); die größte Kollision, die je im Detail studiert wurde
- Rechts: Temperaturverteilung, weiß heißeste Region, Schockheizung
- Ganz rechts: Modell des hierarchischen Wachstums im Universum; Dunkle Materie-Verteilung der kollidierenden Galaxienhaufen

# Galaxienhaufen in Kollision



- R. Mushotzky: „Detailed theory says that all objects in the universe form from mergers: small things coming together to form big things.“



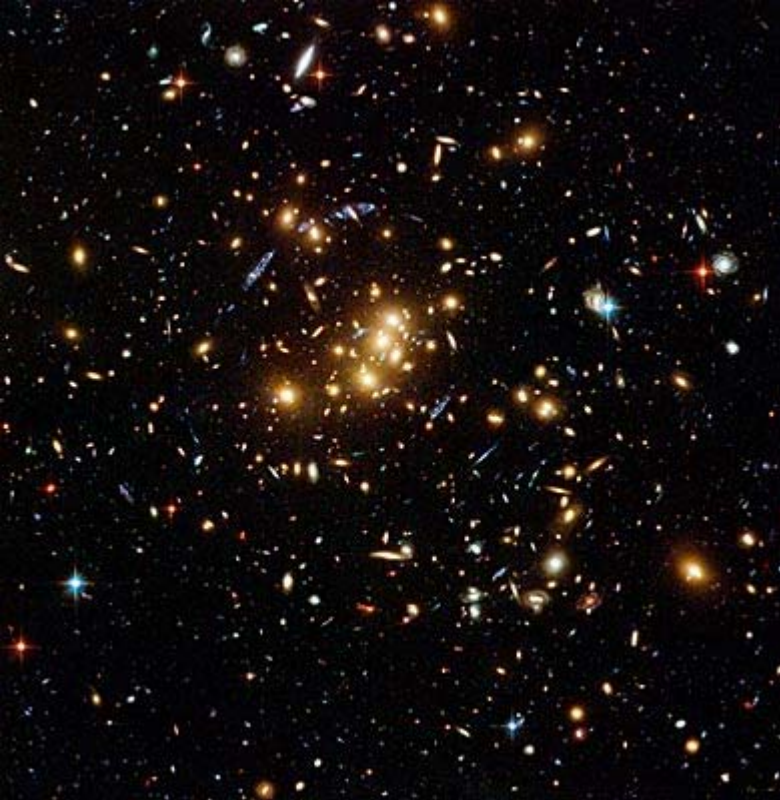
# Deep fields in „bunt“, Teil II

## *Galaxienhaufen & Dunkle Materie*





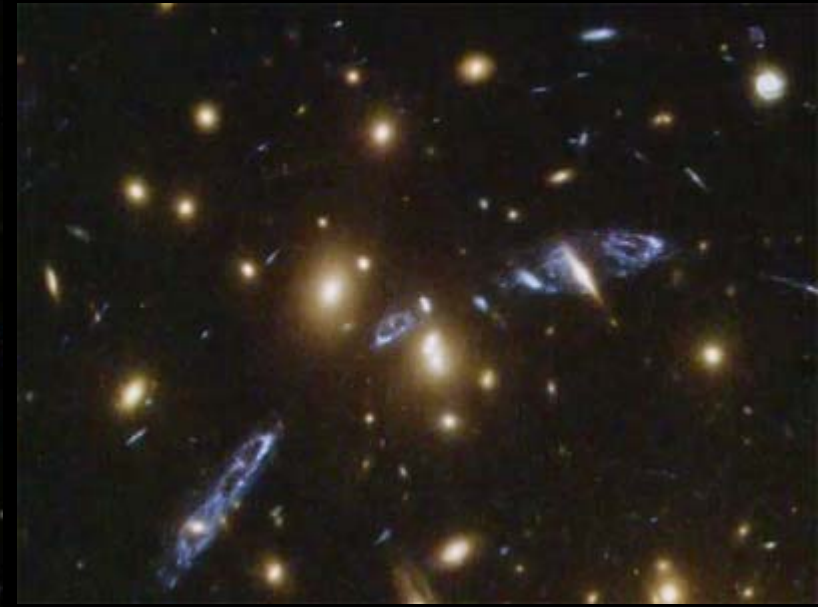
# Galaxienhaufen & Dunkle Materie



- ZwCl 0024+17 (ZwCl 0024+1652) mit HST
- Das Licht weit entfernter Hintergrundgalaxien wird durch das starke Gravitationsfeld des Galaxienhaufens im Vordergrund gekrümmt.
- Beim Kartieren des „gestörten“ Lichts, um daraus die Verteilung der Dunklen Materie im Galaxienhaufen abzuleiten, wird der Ring Dunkler Materie entdeckt.
- Eine der Hintergrundgalaxien ist doppelt so weit entfernt wie die Haufengalaxien im Vordergrund und ist 5-fach abgebildet in den blauen Bögen.



# Galaxienhaufen & Dunkle Materie

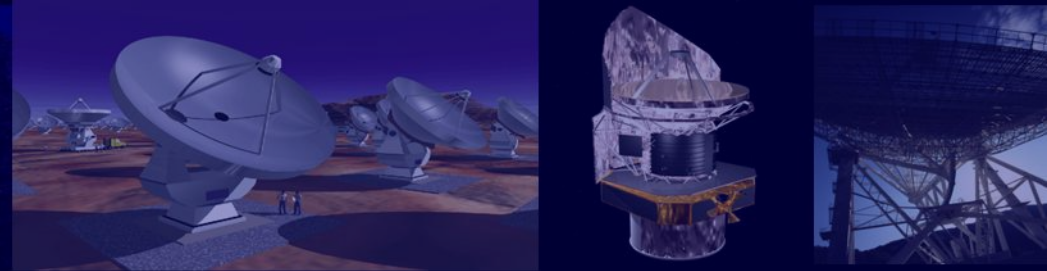
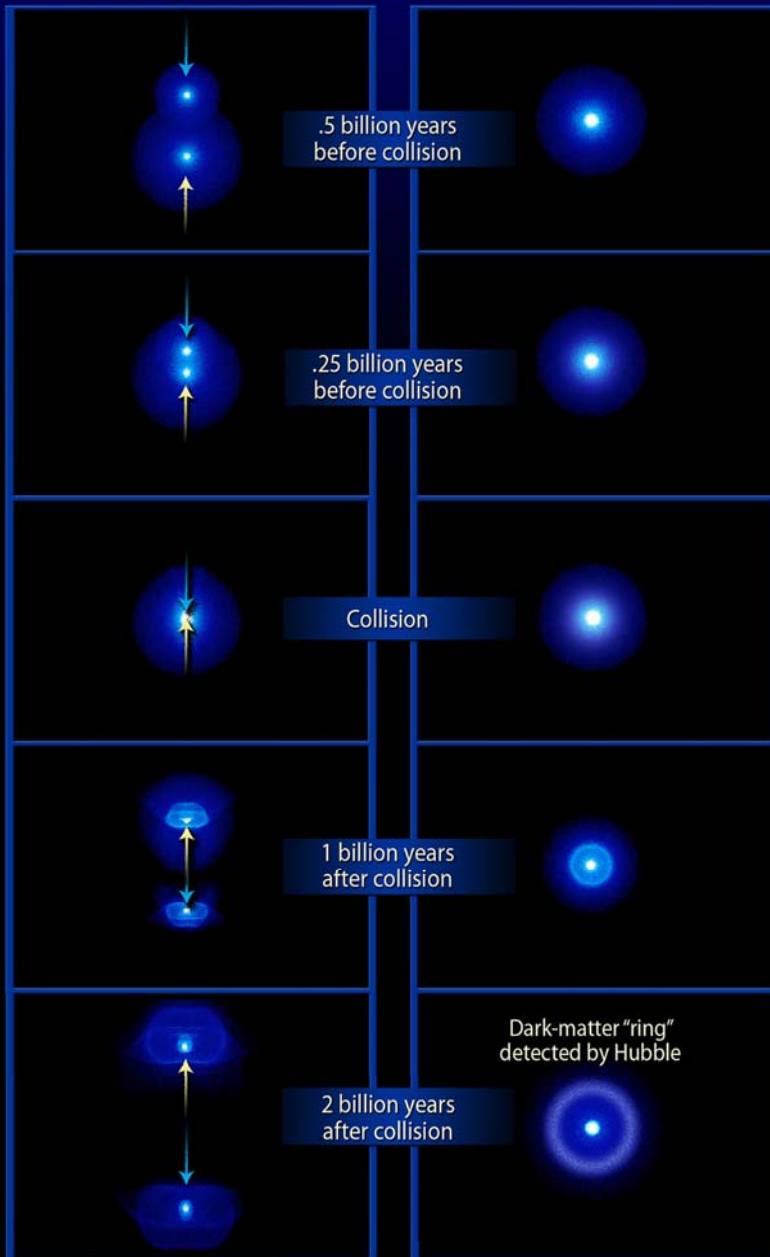




# Two views of interacting galaxy clusters

Side view of cluster collision

Cluster collision as seen from Earth



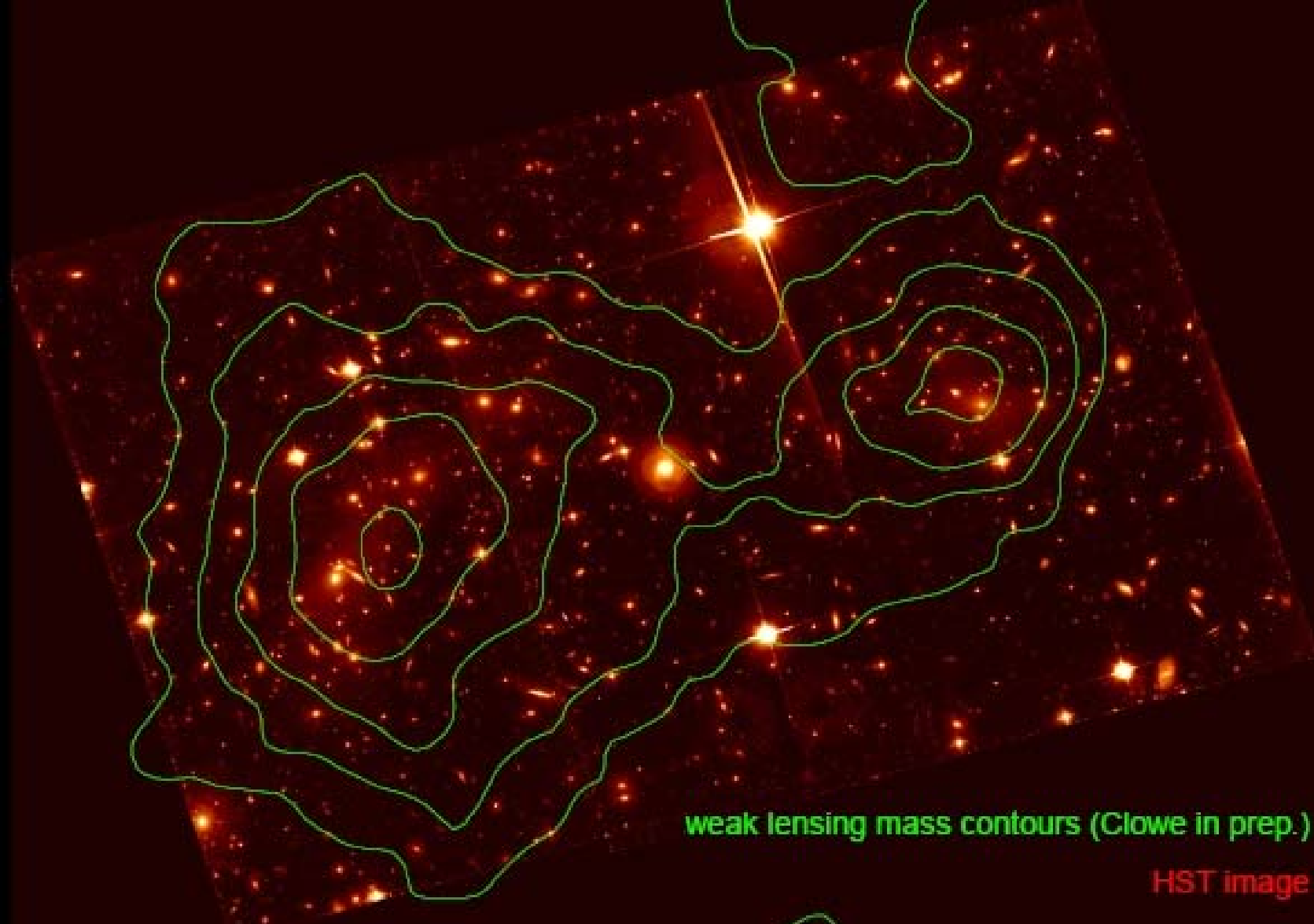
- Wir sehen „von oben“ auf das Ergebnis einer Kollision von Galaxienhaufen
- Nach der Kollision fällt Dunkle Materie in das Zentrum und schießt zurück
- Durch die Gravitation wird die Dunkle Materie langsamer und staut sich auf
- Verhalten der Dunklen Materie unter Gravitation kann untersucht werden ....

# Galaxienhaufen & Dunkle Materie



- Komposit-Bild
- Rot:  
Röntgenstrahlung
- Blau: kartierte  
Verteilung der  
Dunklen Materie  
basierend auf  
Gravitationslinsenr  
esultaten
- Klare Separation  
von Dunkler  
Materie und Gas
- Wiederum  
Ergebnis einer  
Galaxienkollision

# Galaxienhaufen & Dunkle Materie

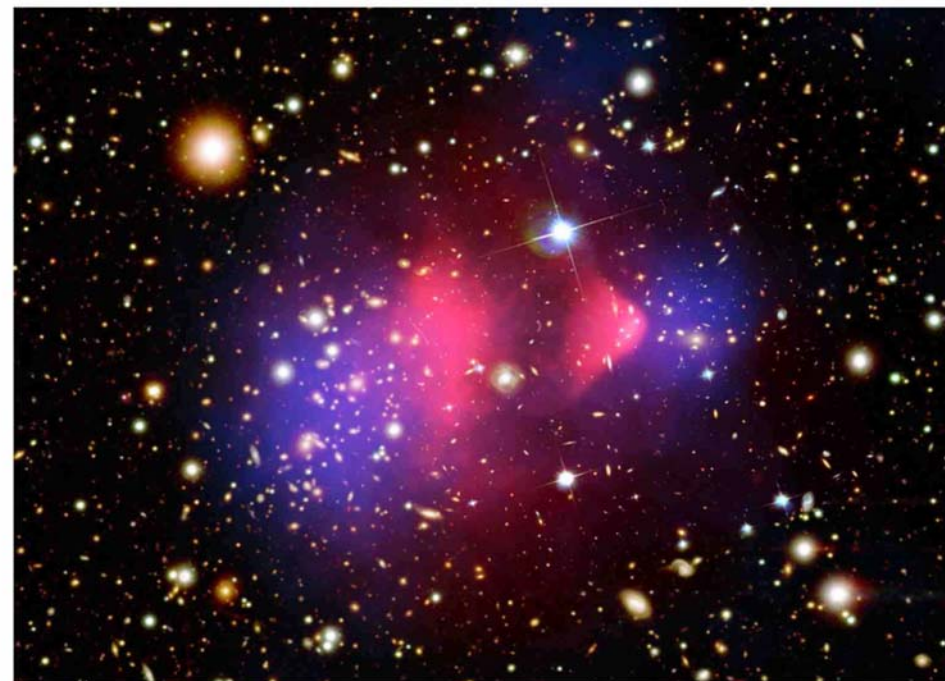
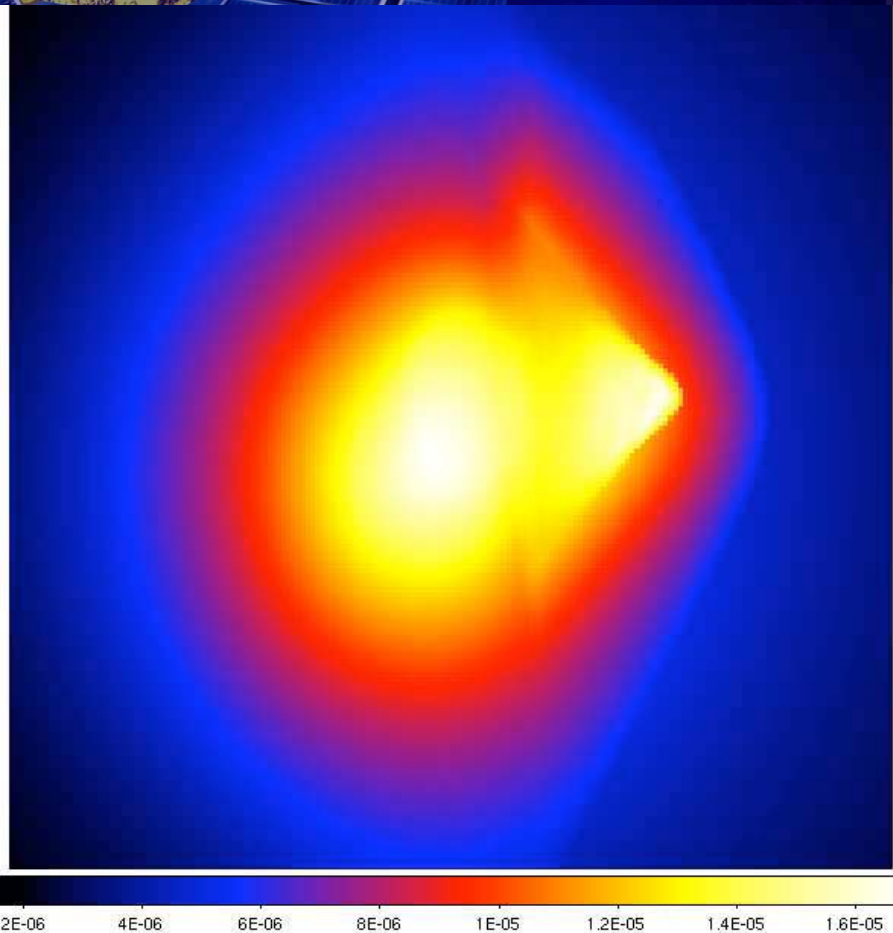


weak lensing mass contours (Clowe in prep.)

HST image

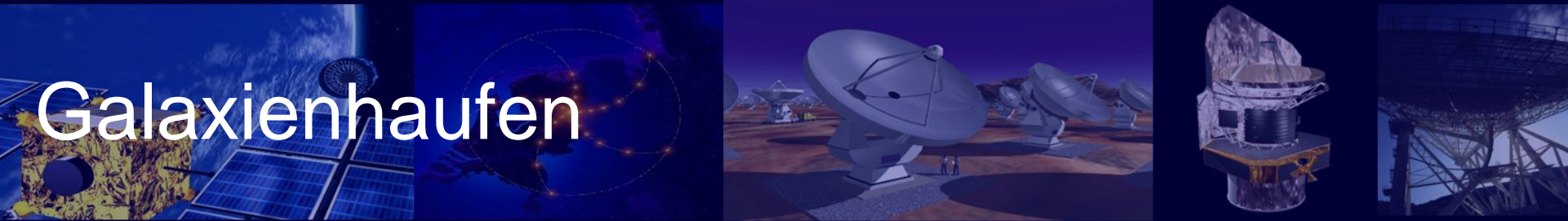


# Galaxienhaufen & Dunkle Materie



- Links: das Ergebnis einer Modellrechnung mit MOG (Modified Gravity) ohne Dunkle Materie (Brownstein & Moffat, 2007)

# Galaxienhaufen



- Vermutlich weniger Dunkle Materie in Galaxienhaufen als Theorien vorausgesagt haben
- Elemente in Galaxienhaufen (aus Röntgenspektren): Wasserstoff, Helium, Sauerstoff, Neon, Magnesium, Schwefel
- Röntgenleuchtkraftfunktion zeigt keinen Unterschied zwischen Galaxienhaufen bei  $z > 0.3$  und  $z < 0.3$
- Am leuchtkräftigen Ende der Verteilung gibt es Hinweise auf weniger stark leuchtkräftige (massivere) Galaxienhaufen bei Rotverschiebungen größer 0.3
- Ist das Gegenteil von dem was erwartet wurde: mehr stark leuchtkräftige Galaxienhaufen in früheren Zeiten (Relation von Leuchtkraft zu Masse sollte sich ändern)
- Mehr entfernte Galaxienhaufen sind notwendig für die Analyse
- Bislang: Leuchtkraftfunktion bestimmt
- Temperatur hat einfacheren Zusammenhang zur Masse als die Leuchtkraft und vermeidet Komplikationen durch Energieinjektionen wie Supernovae

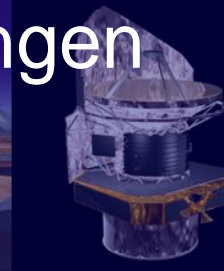
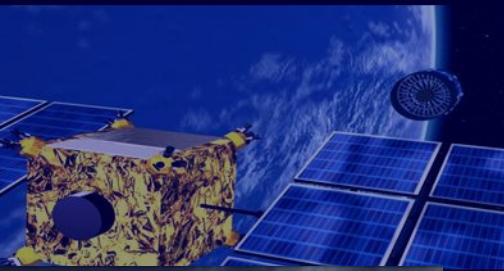
# Galaxienhaufen



- Probleme bei der Massenbestimmung der Galaxienhaufen:
    - Optische Durchmusterungen: Kontamination durch Galaxien davor und dahinter
    - Röntgendurchmusterungen haben nicht das Problem, detektieren das Gas
    - Röntgentemperatur benötigt (aus Röntgenspektrum) und Dichteprofil (Modell an die Oberflächenhelligkeits-Verteilung): schwierig zu bestimmen für schwächere Galaxienhaufen, nahezu unmöglich für entfernte Galaxienhaufen
    - Masse aus Leuchtkraftfunktion bestimmen: Problem ist, daß die Leuchtkraft eines Galaxienhaufens nicht nur durch dessen Masse (massivere Galaxienhaufen sind leuchtkräftiger) sondern auch durch Hydrodynamik und andere Effekte (Supernovae) bestimmt wird
- => Interpretation der Leuchtkraftfunktion ist schwieriger als der Massenfunktion



# Multifrequenz-Beobachtungen in der Astronomie Sommersemester 2007

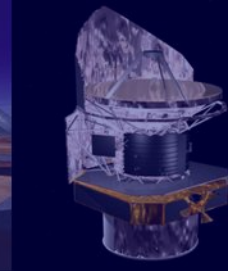


## Themen & Daten

- 19.04.: Überblick
- 04.05.: Grundlagen: Teleskope
- 18.05.: Durchmusterungen
- 01.06.: Deep Fields in „bunt“ Teil I
- 15.06.: Deep Fields in „bunt“ Teil II
- **29.06.: Multifrequenzrätsel“**
- 13.07.: Multifrequenzkampagnen (Mrk 501, etc.)
- 27.07.: Virtual Observatories & die Multifrequenz-Zukunft

Ar

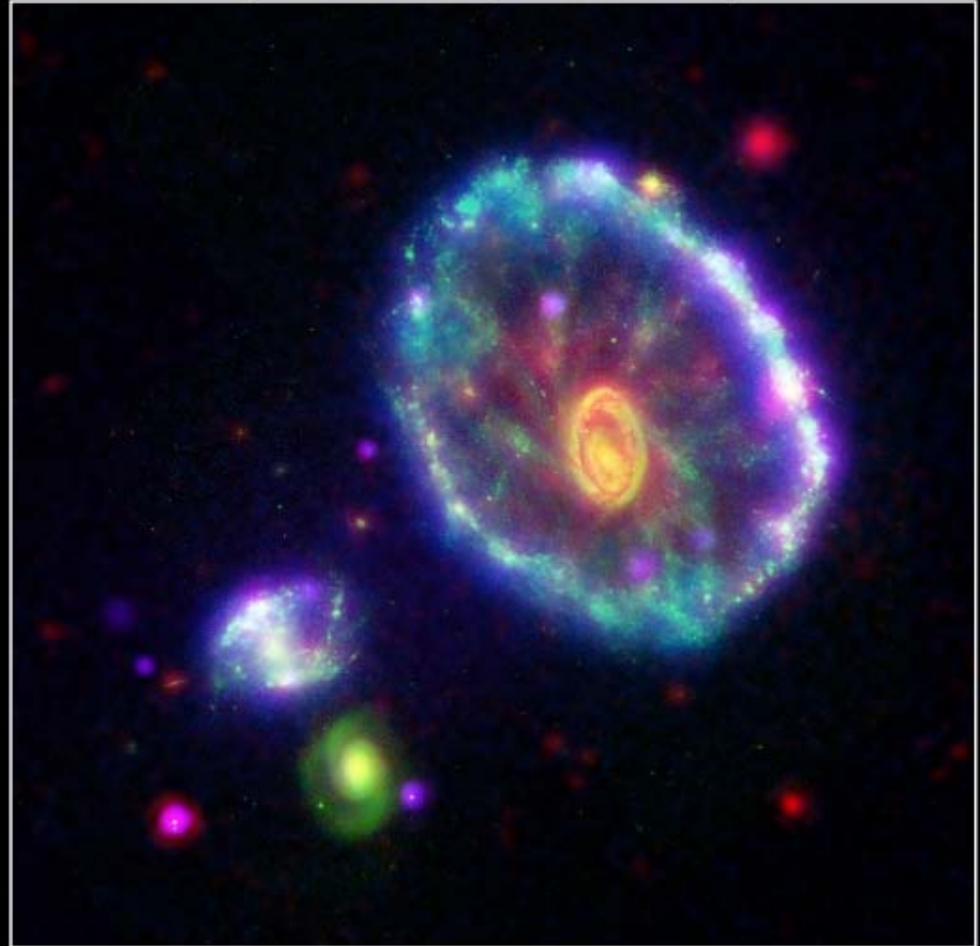
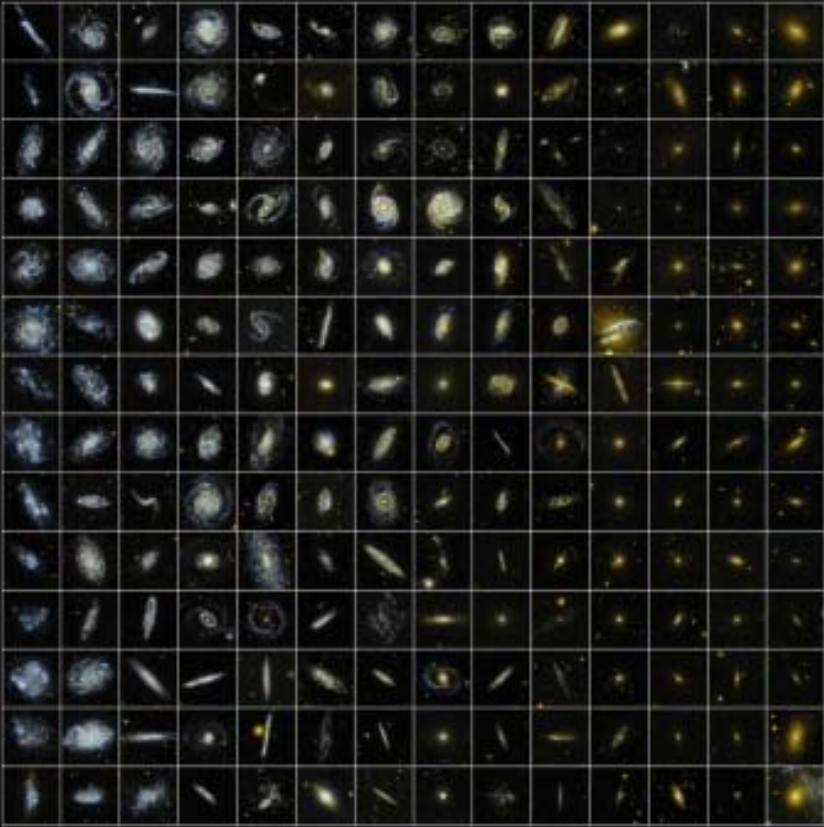






# GALEX Galaxy Evolution Explorer

## Ultraviolet Atlas of Nearby Galaxies



[www.galex.caltech.edu](http://www.galex.caltech.edu)

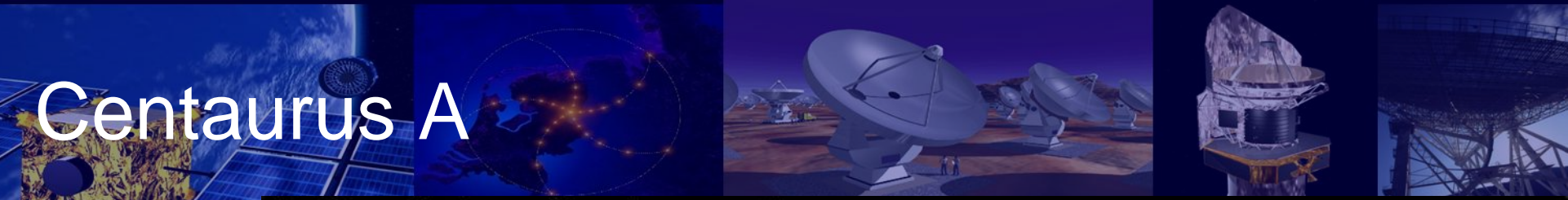
California Institute of Technology / The Observatories of the California Institute of Technology / Jet Propulsion Laboratory / University of California Berkeley / Lawrence Livermore National Laboratory / Texas A&M University / University of California at San Diego / Columbia University / Johns Hopkins University / University of Michigan

### Cartwheel Galaxy

NASA / JPL-Caltech / P. Appleton (SSC/Caltech)  
ssc2006-XX

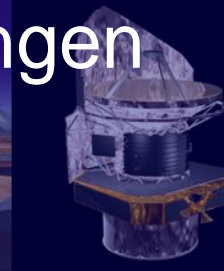
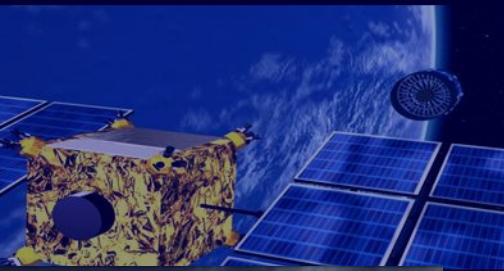
Chandra X-ray Observatory • ACIS-S  
GALEX • FUV  
Hubble Space Telescope • WFPC2  
Spitzer Space Telescope • IRAC

# Centaurus A





# Multifrequenz-Beobachtungen in der Astronomie Sommersemester 2007



## Themen & Daten

- 19.04.: Überblick
- 04.05.: Grundlagen: Teleskope
- 18.05.: Durchmusterungen
- 01.06.: Deep Fields in „bunt“ Teil I
- 15.06.: Deep Fields in „bunt“ Teil II
- **29.06.: Multifrequenzrätsel“**
- 13.07.: Multifrequenzkampagnen (Mrk 501, etc.)
- 27.07.: Virtual Observatories & die Multifrequenz-Zukunft