

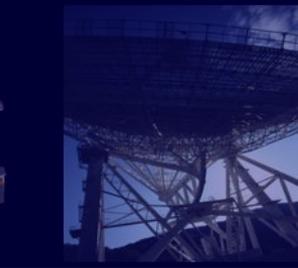
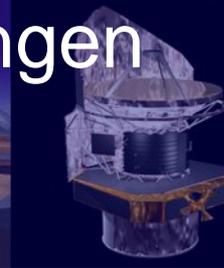
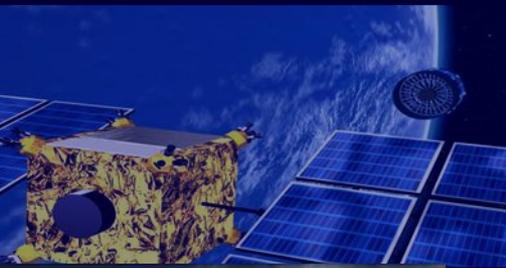
# Multifrequenz-Beobachtungen in der Astronomie

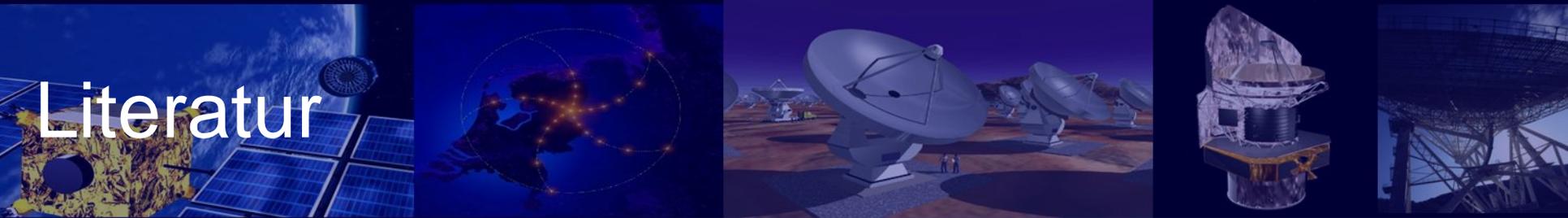
Sommersemester 2007

## 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

**Geändert!!**

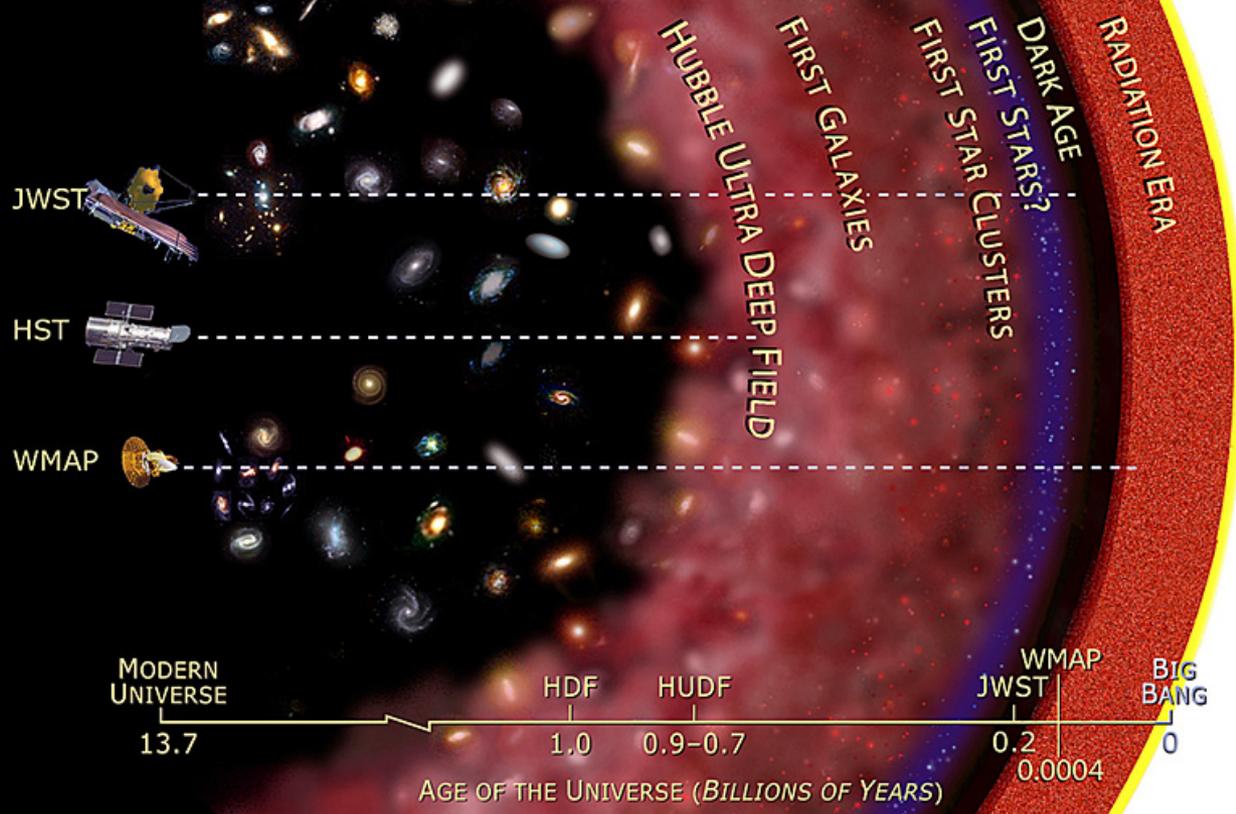




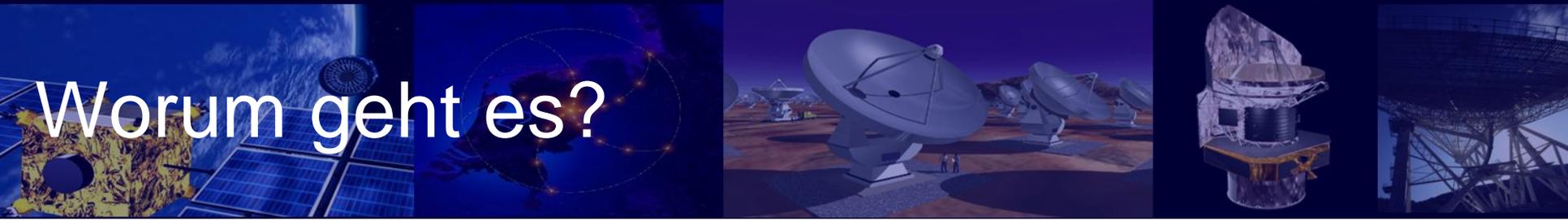
# Literatur

- ⌄ The Hubble Deep Fields, H.C. Ferguson, M. Dickinson, R. Williams, 2000, *Annual Reviews of Astronomy & Astrophysics* **38**, 667-715
- ⌄ The Hubble Deep Fields, H.C. Ferguson, 2000, ASP Conf. Ser., **216**, Astronomical Data Analysis Software and Systems, 395
- ⌄ Deep Extragalactic X-ray Surveys, W.N. Brandt & G. Hasinger, 2004, *Annual Reviews of Astronomy & Astrophysics* **43**

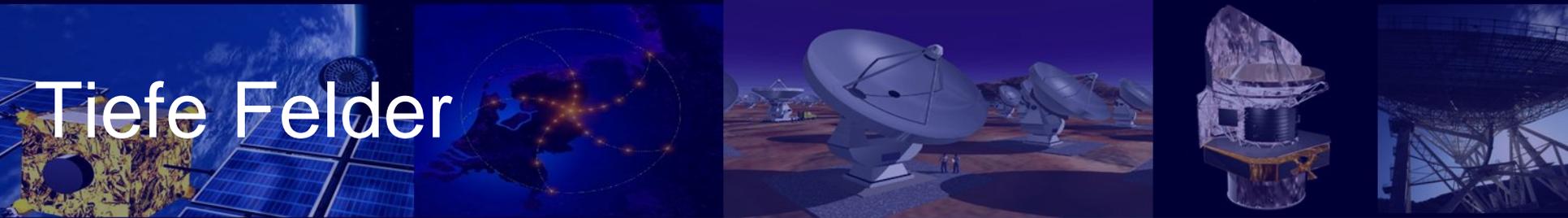
# LOOKING BACK TO COSMIC DAWN



# Worum geht es?



- Tiefe Beobachtungen eines Himmelsausschnitts -> Teleskop wirkt als Zeitmaschine und zeigt auch die entfernteren (und damit schwächsten) Objekte, sowie die schwächeren Objekte in der Nähe -> erlaubt das Studium der Frühphasen des Universums und der Strukturentwicklung im Universum und die Überprüfung des chemischen Recyclings -> Historie
- Tiefe Beobachtungen im Optisch -> ergibt Entfernung über Spektrallinien oder photometrische Argumente -> unbiased gegenüber Aktivität
  - Zeigt im Falle der Aktiven Galaxienkerne nur die hostgalaxie
  - Keine Information über Aktivität
  - > Nachbeobachtungen in anderen Wellenlängen notwendig: Radio – Röntgen zur Identifikation der Objekte
- Nachbeobachtungen notwendig -> zentriert auf den optischen Beobachtungen, mit besserer Auflösung im Radiobereich -> Problem der Identifikation der beobachteten Quellen



# Tiefe Felder

- 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*)
- [E-CDF-S](#) (*The Extended Chandra Deep Field-South Survey*)
- X-ray Cluster surveys
- Chandra + Spitzer



# Deep Fields in „Bunt“ Hubble

# Hubble Deep Fields, Ergebnisse



- Sterne und Galaxien bis zu  $V \sim 30$
- Pushed to limits: Kosmologische Tests mit jedem Teleskop
- Skepsis vor Hubble Start: nicht mehr Galaxien, als man vom Boden aus auch sehen kann (Leuchtkraft der Galaxien unterschätzt) !!!!!

# Hubble Deep Field



- 10% der Beobachtungszeit ist „Director’s Discretionary (DD) Time“ (eigentlich für unerwartete vorübergehende Phänomene)
- Robert Williams, Direktor des Space Telescope Science Institute, entschließt sich, kleinen (signifikanten) Teil der Zeit für die Untersuchung entfernter Galaxien zu nutzen (lange Diskussionen)
- Hubble Deep Field (HDF): ein scheinbar leerer Bereich im Großen Bären, relativ frei von störenden Sichteinflüssen und umgebenden hellen Sternen
- Größe von 144 Bogensekunden (Tennisball in 100m Entfernung)
- Bild ist Zusammenstellung von 342 Einzelbildern, mit der Wide Field and Planetary Camera 2 (WFPC2) aufgenommen
- 10 Tage, 18.-28.12.1995
- Daten innerhalb von 4 Wochen „öffentlich“
- 400 wissenschaftliche Artikel folgten



# Hubble Deep Field: Auswahl des Feldes

- Kriterien, die das zu beobachtende Feld erfüllen soll:
  - Weit weg von der galaktischen Scheibe der Milchstraße (Staub und verdunkelnde Materie verhindern die Beobachtung von weit entfernten Galaxien)
  - Darf keine Objekte enthalten, die sichtbares Licht, infrarot-, ultraviolett- und Röntgenstrahlen emittieren: erleichtert Nachfolgebeobachtungen
  - In einem Gebiet mit einem dünnem Infrarotzirkus (diffuse Infrarotemission von warmem Staub in kalten Wasserstoffwolken (HI-Gebiete))
  - Sollte in Hubbles ständiger Beobachtungszone (continuous viewing zones, CVZs) liegen (=Gebiete, die nicht teilweise durch die Erde oder den Mond verdeckt werden)
  - Nördliche CVZ: da Keck und VLA Nachfolgebeobachtungen ausführen können sollten

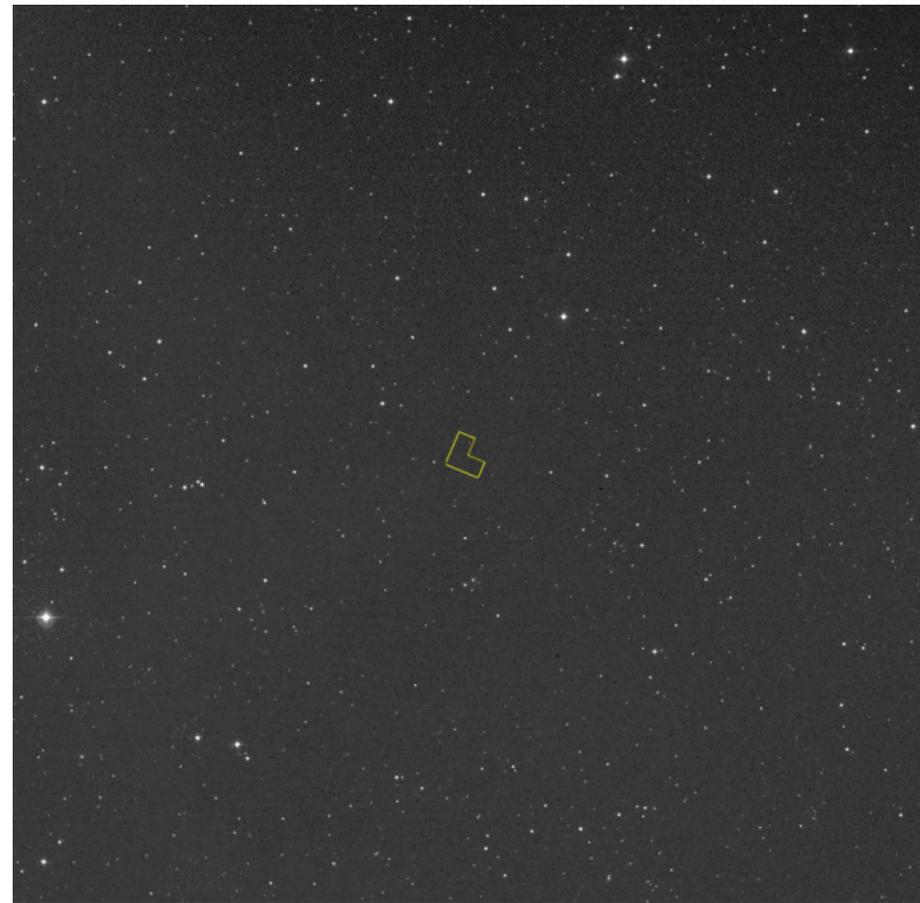
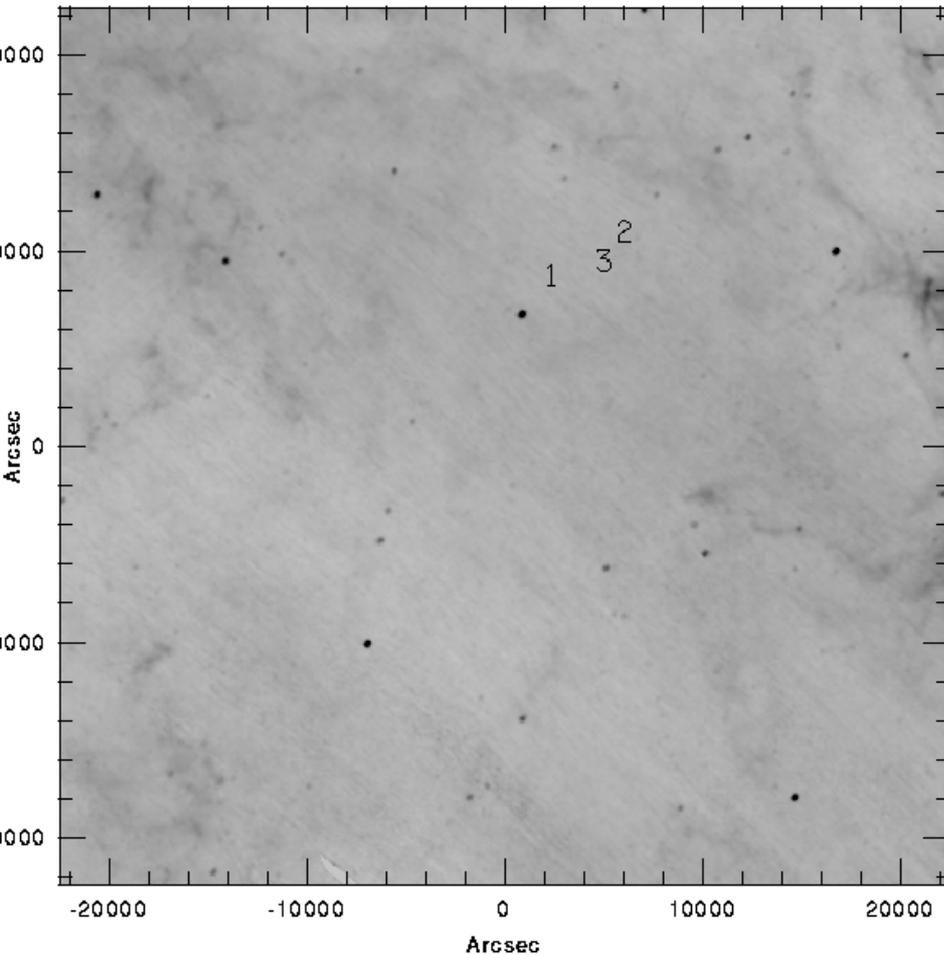


# Hubble Deep Field: Auswahl des Feldes

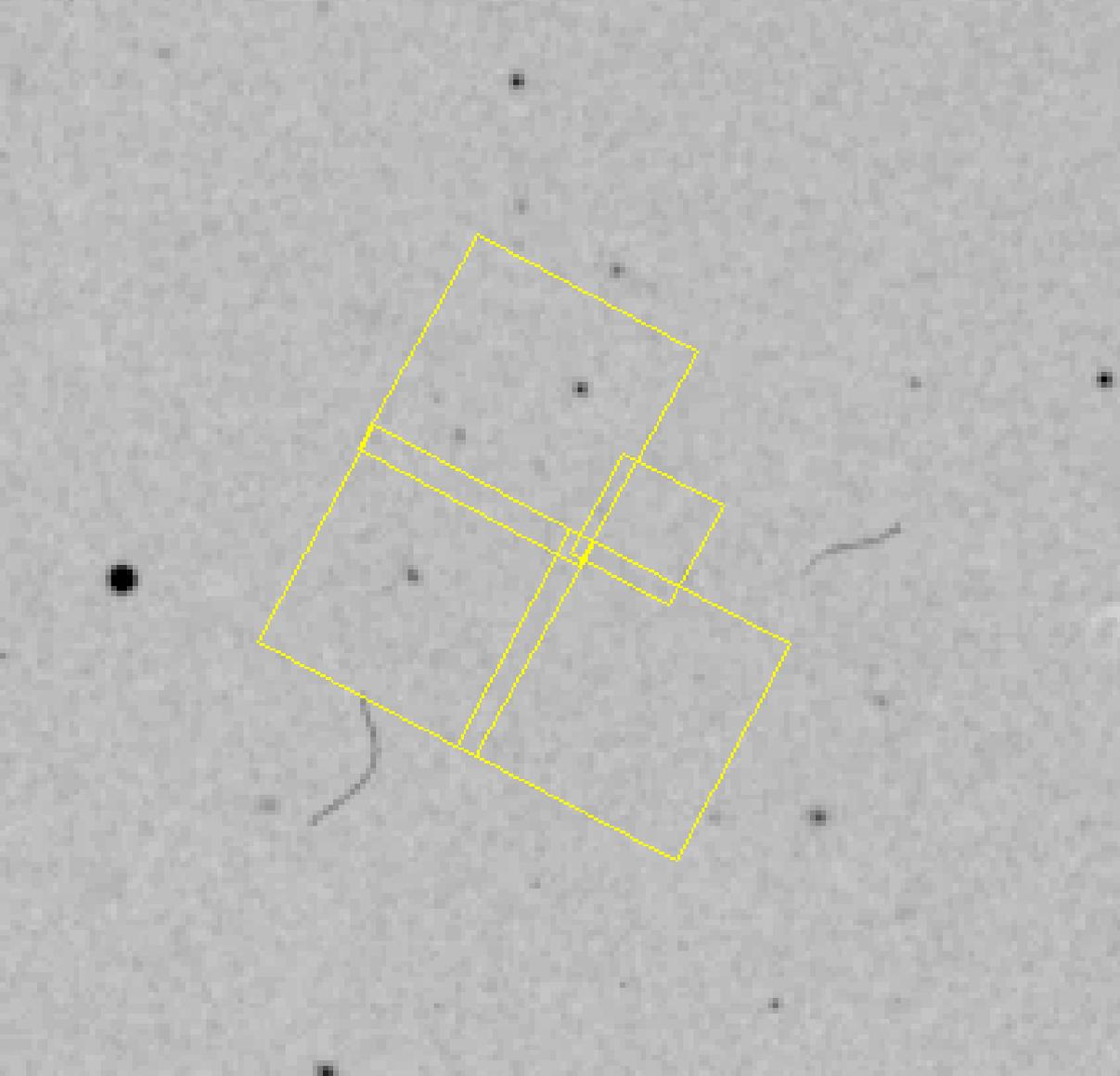
- 20 Gebiete erfüllen sämtliche Kriterien
- 3 optimale Kandidaten werden ausgewählt (alle im Großen Bären)
- Radio-Schnappschuss: ein Feld fällt wg. Starker Radioquelle aus
- Verfügbarkeit von Leitsternen: endgültige Entscheidung (zwei Sterne, an denen sich Teleskopleitensoren während der Beobachtung orientieren können), zusätzliches Sternenpaar für Notfall gewünscht (Bedeutung der Beobachtungen)

# Auswahl des Hubble Deep Fields

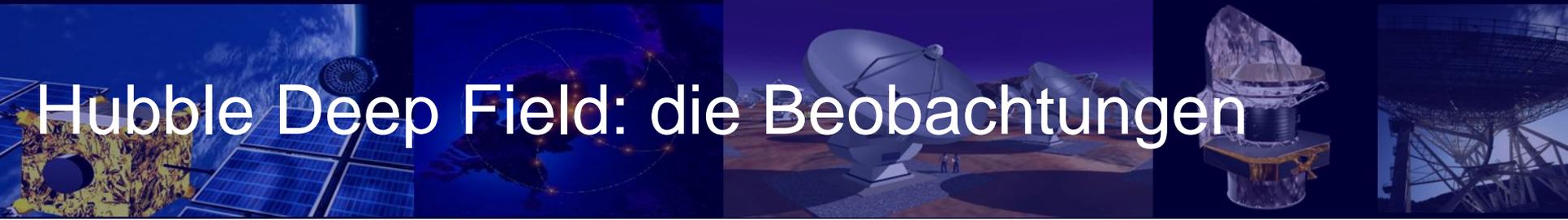
- HDF: Hubble Deep Field = 1 auf IRAS-Karte, ein Feld von 5.3 Quadratgrad



# Auswahl des Hubble Deep Fields



- HDF auf SDSS-Karte



# Hubble Deep Field: die Beobachtungen

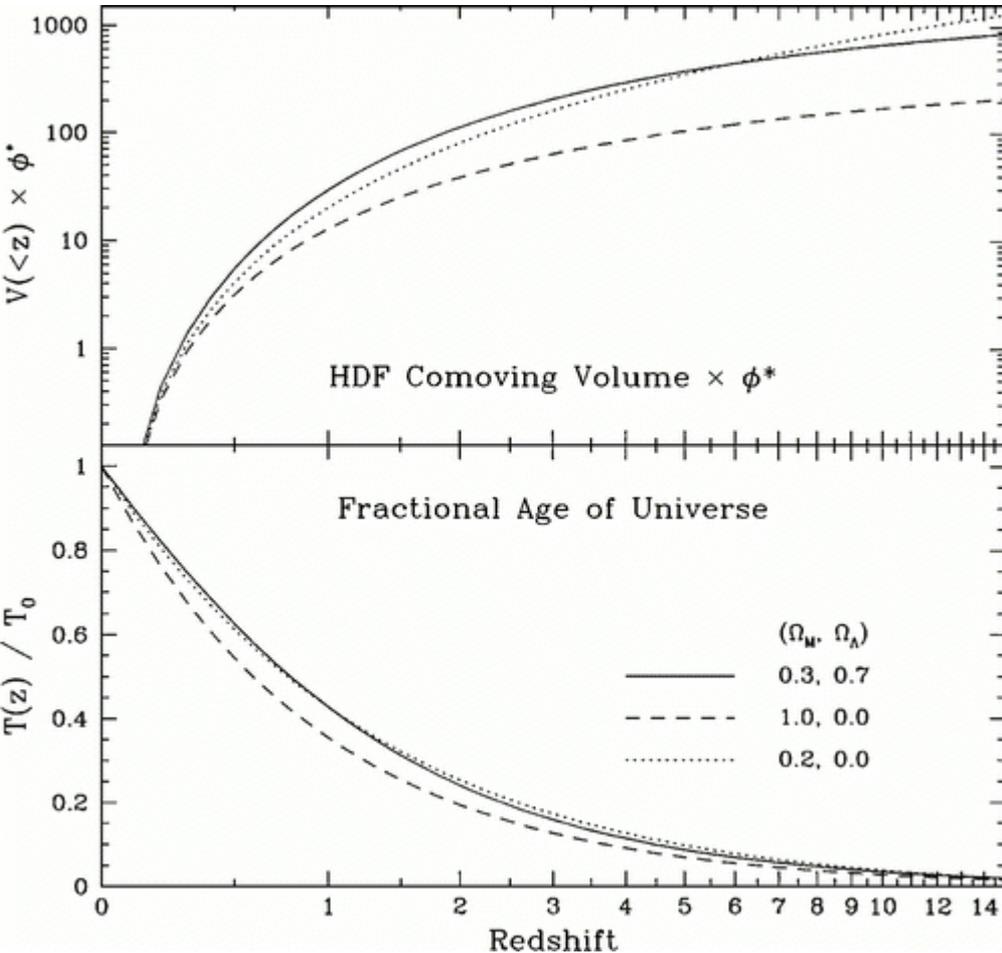
- WFPC2 ist mit 48 Filtern ausgestattet: 4 Breitbandfilter zentriert um 300 nm (nahes UV), 450 nm (blaues Licht), 606 (Rotes Licht), 804 nm (nahes IR)
- Belichtungszeiten:
  - 42.7 Stunden (300 nm)
  - 33.5 Stunden (450 nm)
  - 30.3 Stunden (606 nm)
  - 34.3 Stunden (814 nm)
  - Insgesamt 342 Einzelbeobachtungen um die Bilder nicht der starken Beschädigung durch die kosmische Strahlung auszusetzen
- 10 Tage Aufnahmen: 150 Umrundungen der Erde



# Hubble Deep Field: die Auswertungen

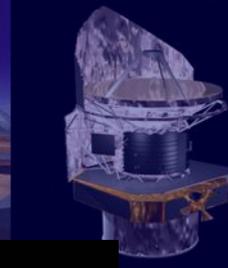
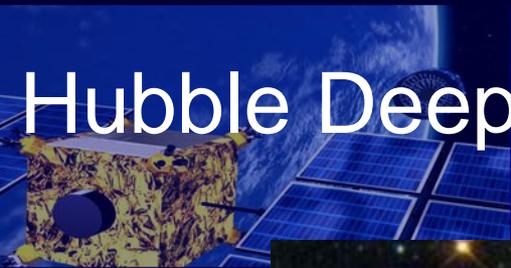
- Kombination der 342 Einzelbilder zu Gesamtbild, vorher:
- Entfernung von: kosmischer Strahlung, Spuren von Weltraummüll, künstlicher Satelliten, gestreutes Licht der Erde
- Vier monochrome Bilder, Kombination zu Farbbild
- Das fertige Bild: 3000 klar erkennbare Galaxien
- Weniger als 10 Vordergrundsterne

# Hubble Deep Fields, Ergebnisse



- Raum und Zeit im HDF
- **Der Großteil der kosmischen Zeit geschieht bei geringen Rotverschiebungen, wo der Hubble-“Raum“ sehr klein ist**
- Skaliert mit heutiger Normierung der Galaxien Leuchtkraft Funktion
- Bei  $z < 1$ : 10-30 Galaxien pro Volumen
- 20x mehr Volumen bei  $2 < z < 10$  als bei  $0 < z < 1$

# Hubble Deep Field: das Ergebnis



# Hubble Deep Fields: Ergebnisse / HDF-N

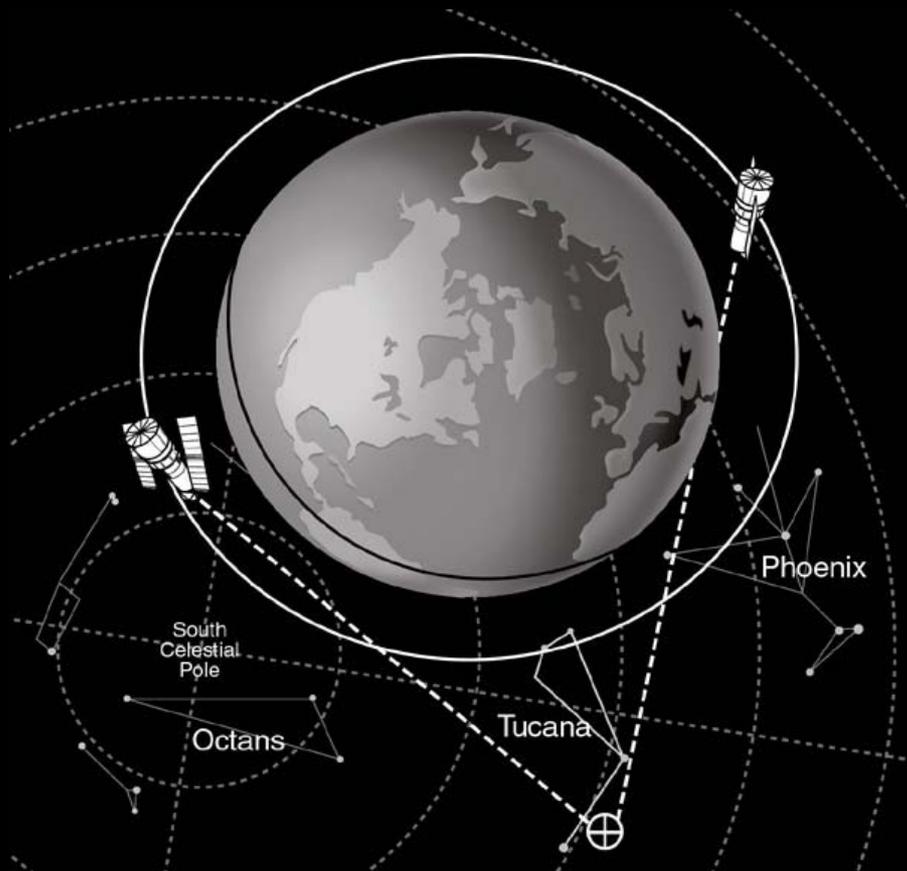
Number	Type of source
- 3000	Galaxies at $U_{300}$ , $B_{450}$ , $V_{606}$ , $I_{814}$
- 1700	Galaxies at $J_{110}$ , $H_{160}$
- 300	Galaxies at $K$
9	Galaxies at $3.2 \mu\text{m}$
- 50	Galaxies at $6.7$ or $15 \mu\text{m}$
- 5	Sources at $850 \mu\text{m}$
0	Sources at $450 \mu\text{m}$ or $2800 \mu\text{m}$
6	X-ray sources
- 16	Sources at $8.5 \text{ GHz}$
- 150	Measured redshifts
- 30	Galaxies with spectroscopic $z > 2$
<20	Main-sequence stars to $I = 26.3$
- 2	Supernovae
0-1	Strong gravitational lenses



# Hubble Deep Field South

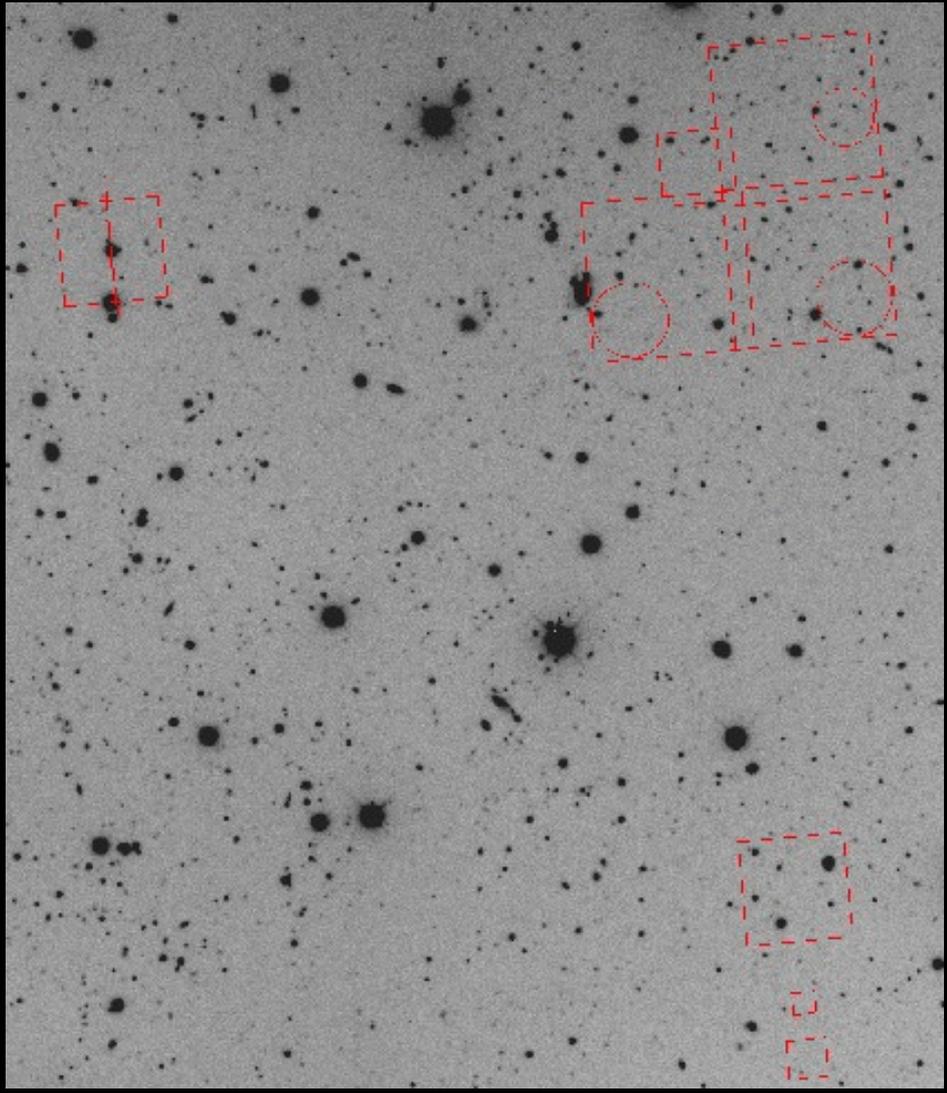
- 3 Jahre nach HDF (September, Oktober 1998): Feld in der südlichen Hemisphäre ausgesucht, auf die gleiche Weise beobachtet und ausgewertet: Hubble Deep Field South (HDF-S)
- Auch mit Space Telescope Imaging Spectrograph (STIS) und Near Infrared Camera und Multiobject Spectrometer (NICMOS)
- Ähnliche Auswahl des Feldes, 8 Filter; aber: ein Quasar in der Mitte des Feldes (d.h. Suche zunächst nach geeignetem Quasar)
- Auflösung: 0.0398 Bogensekunden
- 150 orbits (995 Belichtungen) des primären Feldes und 27 orbits der flanking fields
- Mittlere Beobachtungszeit: 30-45 Minuten
- Insgesamt 2 500 Galaxien
- Gemeinsamkeiten: Universum ist homogen und isotrop

# Hubble Deep Field South



## Hubble Deep Field South Target

Turning its vision toward southern skies, the Hubble Space Telescope made a 10-day-long observation across the universe to uncover thousands of never-before-seen galaxies.

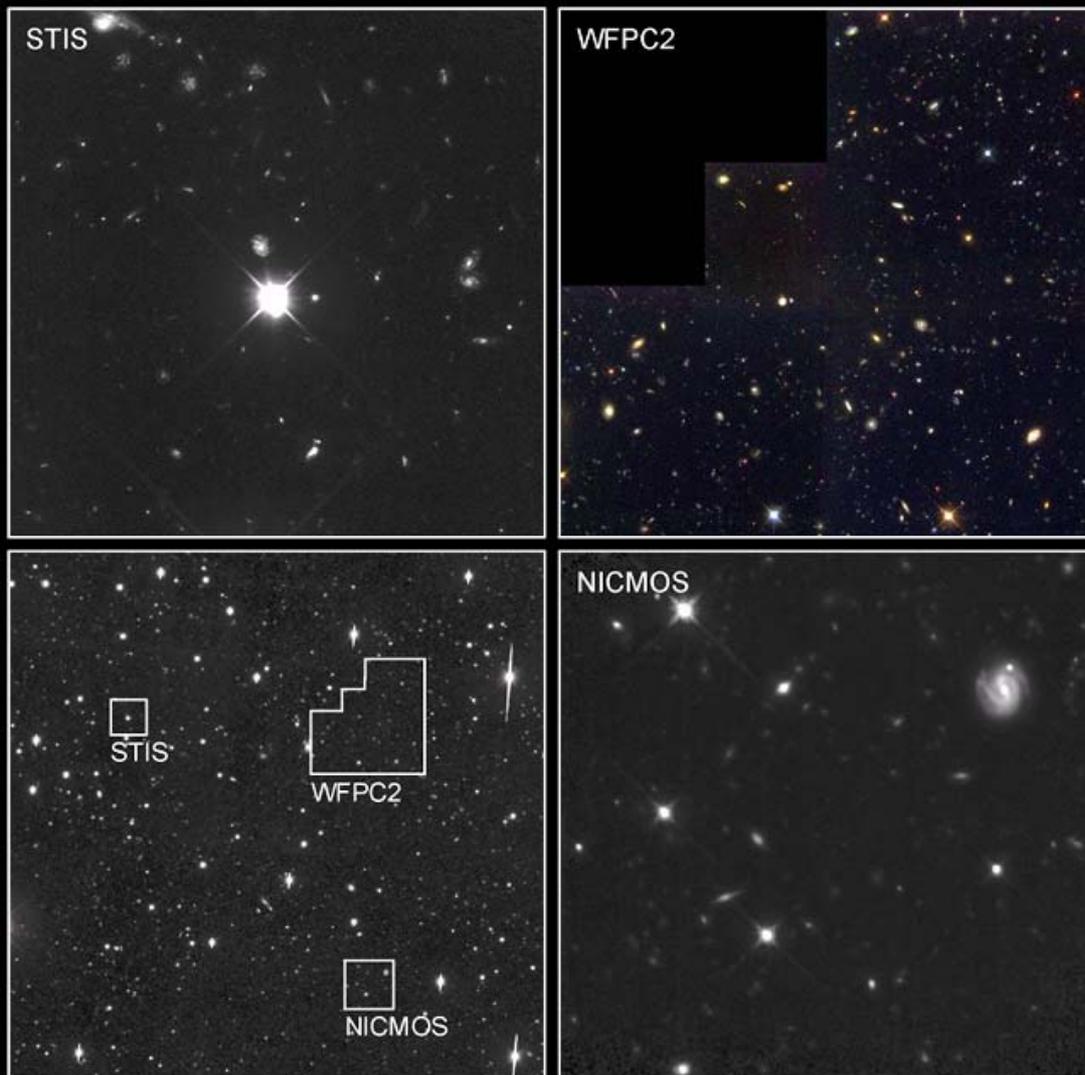


# Hubble Deep Field: Flanking Fields



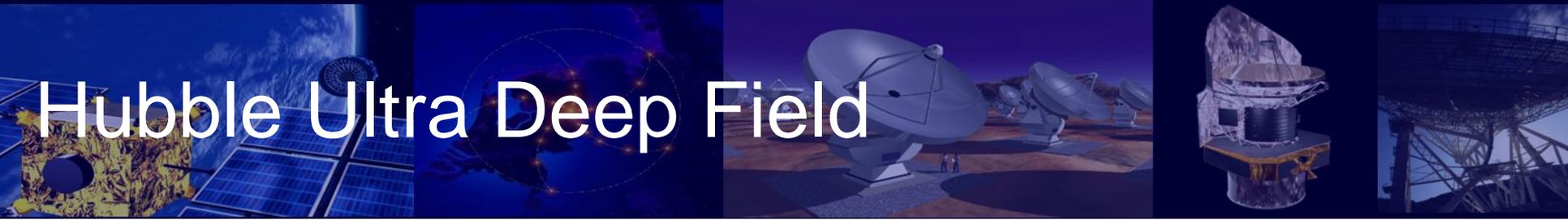
- Flanking Fields werden nur (jeweils) in einem Filter beobachtet
- Wide-area imaging
- Für Korrelations-Untersuchungen (nahe dem QSO)
- Bessere Statistik für weniger häufige, hellere Galaxien
- Optische Morphologie für Galaxien typisch für erdegebundene Spektrographen
- Wurden erst kurz vor den Beobachtungen final festgelegt

# Hubble Deep Field South



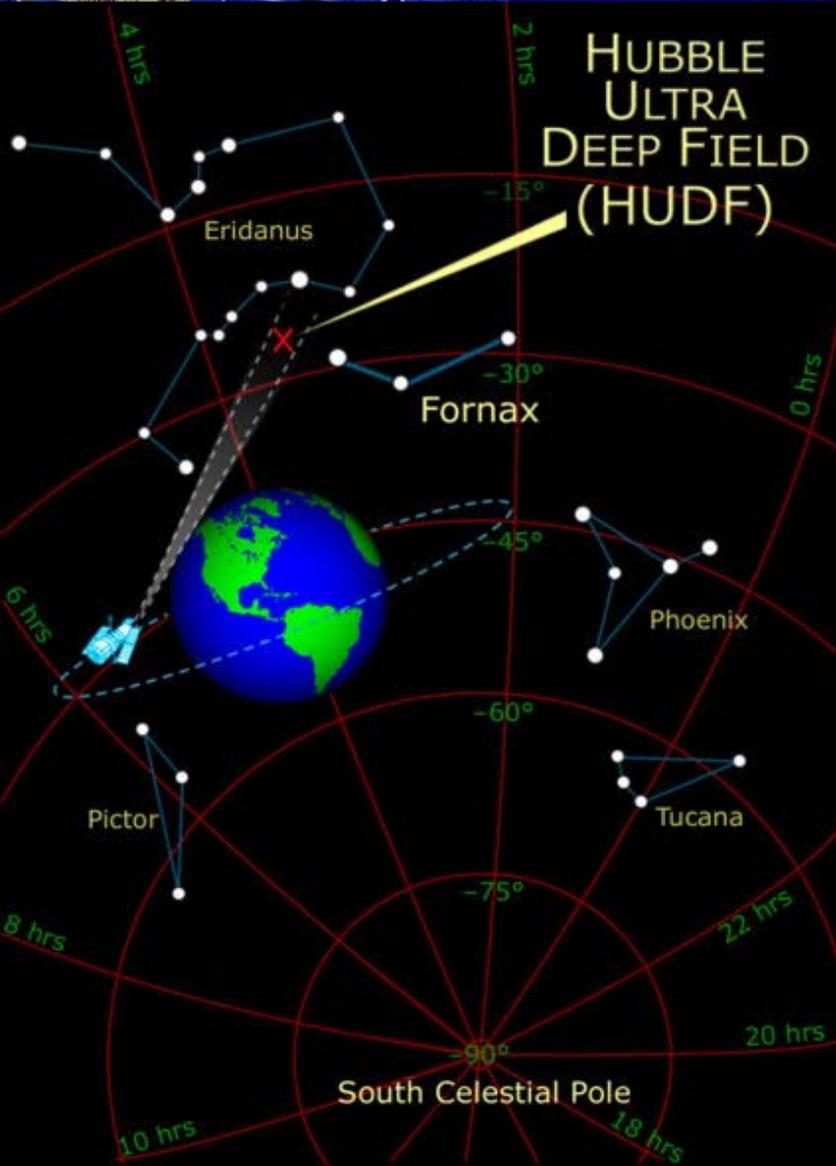
- O.l.: STIS zur Bestimmung der Wasserstoffwolken auf dem Weg des Lichts zu uns
- O.r.: WFPC2 Spiralen, elliptische und kollidierende Galaxien
- U.l.: Aufnahme von der Erde
- U.r. NICMOS Infrarot und Multiobjekt Spektrometer

# Hubble Ultra Deep Field



- 2004: 11.3 Tage Beobachtungen (3.09.2003 – 16.01.2004): Hubble Ultra Deep Field (HUDF): das tiefste astronomische Bild, welches jemals im Bereich des sichtbaren Lichts aufgenommen wurde
- Kaum störende Vordergrundsterne
- Südwestl. Von Orion im Sternbild Chemischer Ofen
- Ein Zehntel des Monddurchmessers
- 10 000 Galaxien
- Zwei separate Aufnahmen durch Hubbles Advanced Camera for Surveys (ACS) und NICMOS
- Bild besteht aus 800 Einzelaufnahmen (400 Erdumkreisungen)
- Belichtungszeit: eine Million Sekunden = 11.3 Tage (ACS) + 4.5 Tage (NICMOS)
- Den gesamten Himmel in diesem Modus zu beobachten würde 1 Mio Jahre ununterbrochenen Beobachtens bedeuten
- 50 x HUDF um den Mond zu bedecken

# Hubble Ultra Deep Field

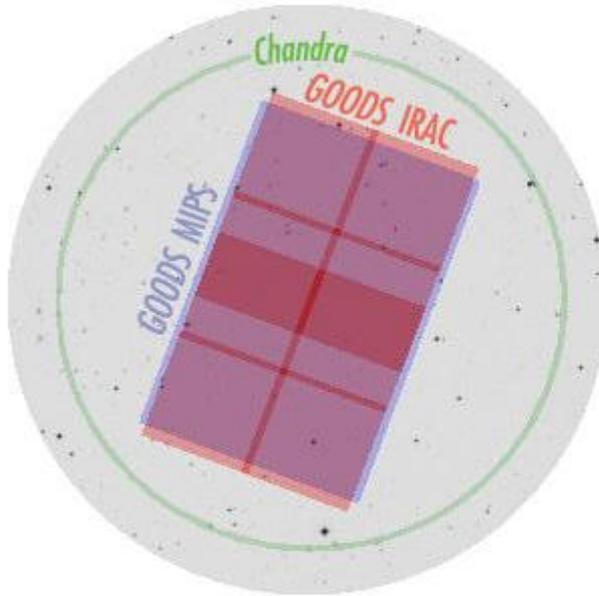


- Ergebnisse: Anteil der Irregulären Galaxien nimmt mit der Entfernung zu
- Durchschnittliche Galaxiengröße nimmt mit Entfernung ab
- Sternentstehungsrate früher wesentlich höher als heute
- Viele eigentümliche Ergebnisse ...

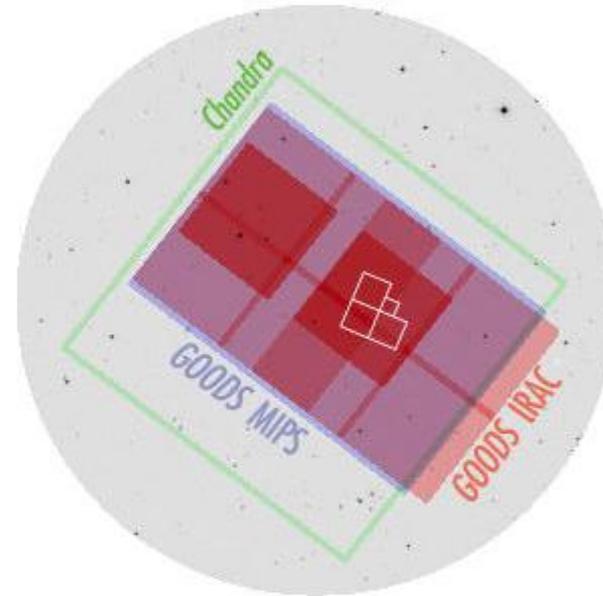
# ***GOODS: The Great Observatories Origins Deep Survey***

- GOODS vereinigt tiefe Beobachtungen von Spitzer, Hubble, Chandra, XMM und den wichtigsten erdgebundenen Teleskopen
- Ziel: das ferne Universum bis zu den schwächsten Quellen zu beobachten
- 320 Quadratminuten in zwei Feldern zentriert im HDFN und CDFS
- Galaxienbildung ( $z=4$ ), stellare Entwicklung, Strahlung aus Sternentstehung und AGK
- IRAC (25 Stunden pro Band), MIPS (Stunden), ...
- deep, not wide!

# GOODS: The Great Observatories Origins Deep Survey



CDF-S



HDF-N

- rot: SIRTf IRAC (3.6-8 $\mu$ m), ultratiefe Beobachtung: 75 Stunden
- blau: SIRTf MIPS
- grün: Chandra ACIS Felder
- weiß: HST HDF-N zentrales WFPC2+NICMOS

# Deep Optical/Infrared

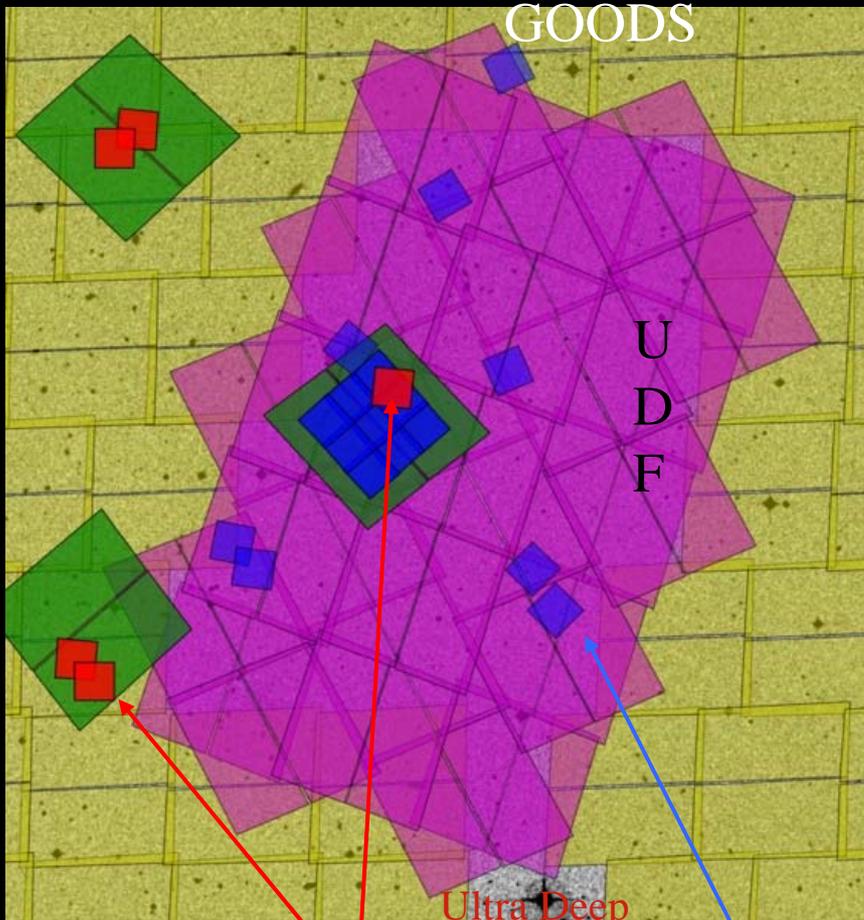
## Fields

Now, there is a growing number of search fields with deep optical and infrared data in which high redshift dropouts can be found.....

CDF

South

GOODS



U  
D  
F

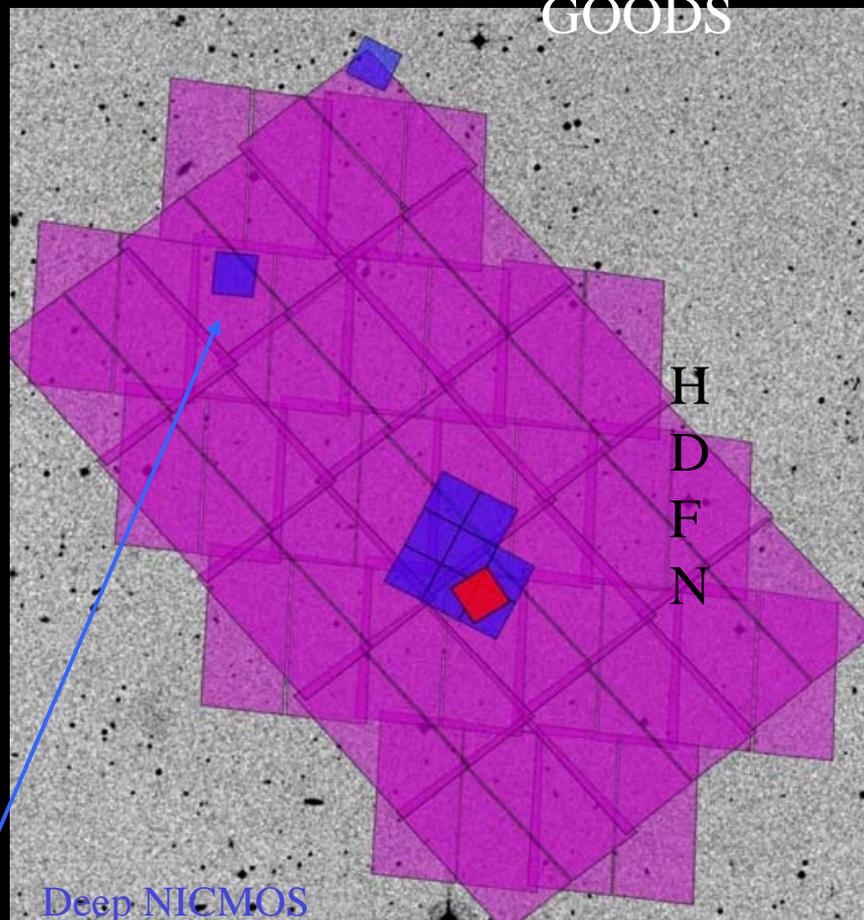
Ultra Deep  
NICMOS

$AB > \sim 28 (5\sigma)$

HDF

North

GOODS



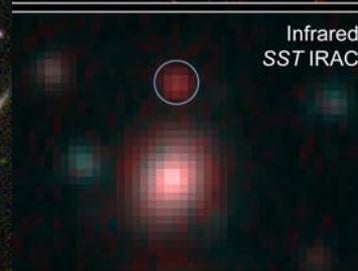
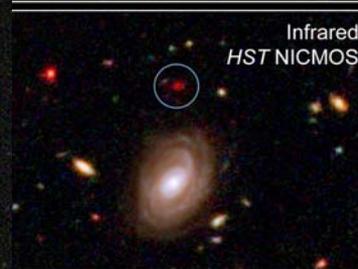
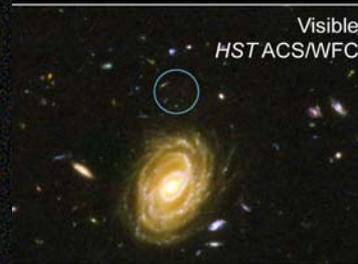
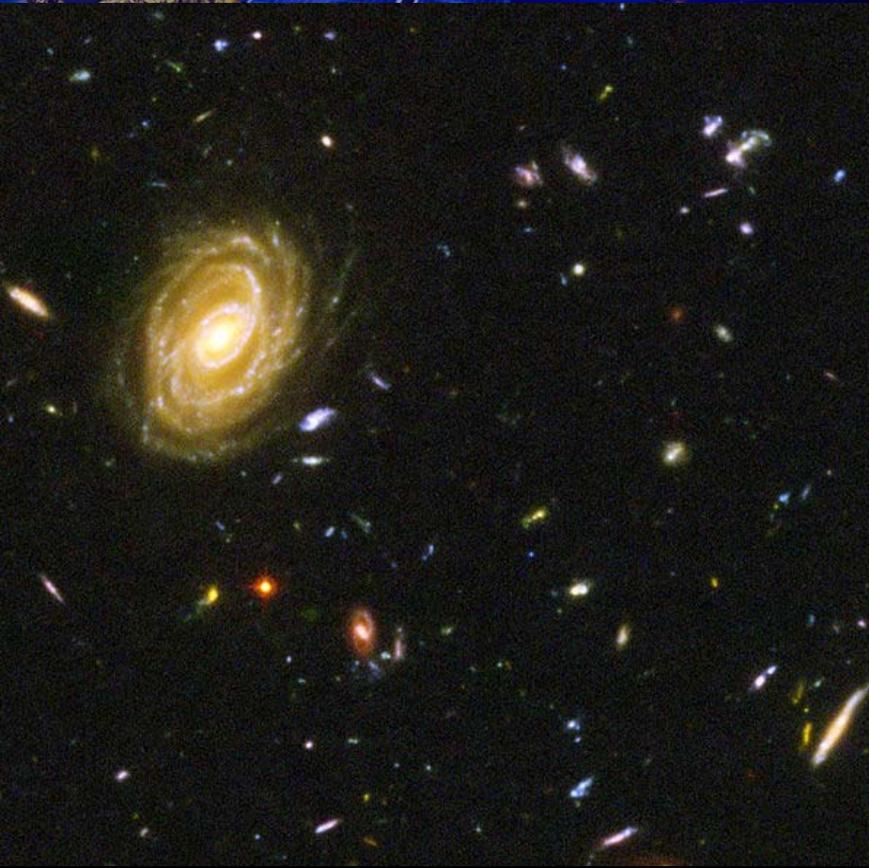
H  
D  
F  
N

Deep NICMOS

$AB > \sim 27 (5\sigma)$

$\sim 19 \text{ arcmin}^2$  of very deep optical + IR area

# Hubble Ultra Deep Field: Ergebnisse



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

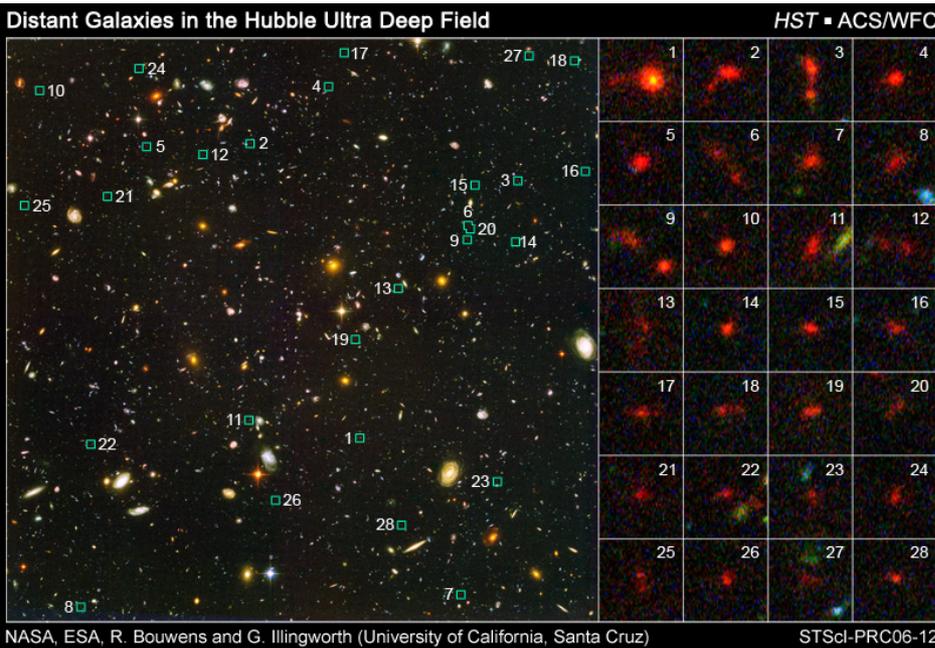
NASA, ESA, and B. Mobasher (STScI/ESA)

STScI-PRC05-28

- Spitzer und Hubble; GOODS: Galaxie viel zu schwer und entwickelt, viel größer als andere Galaxien in ähnlicher Entfernung (Universum war 800 Mio Jahre alt)
- „Monolithic“, vermutlich nicht durch merger entstanden
- Hell im Infrarot

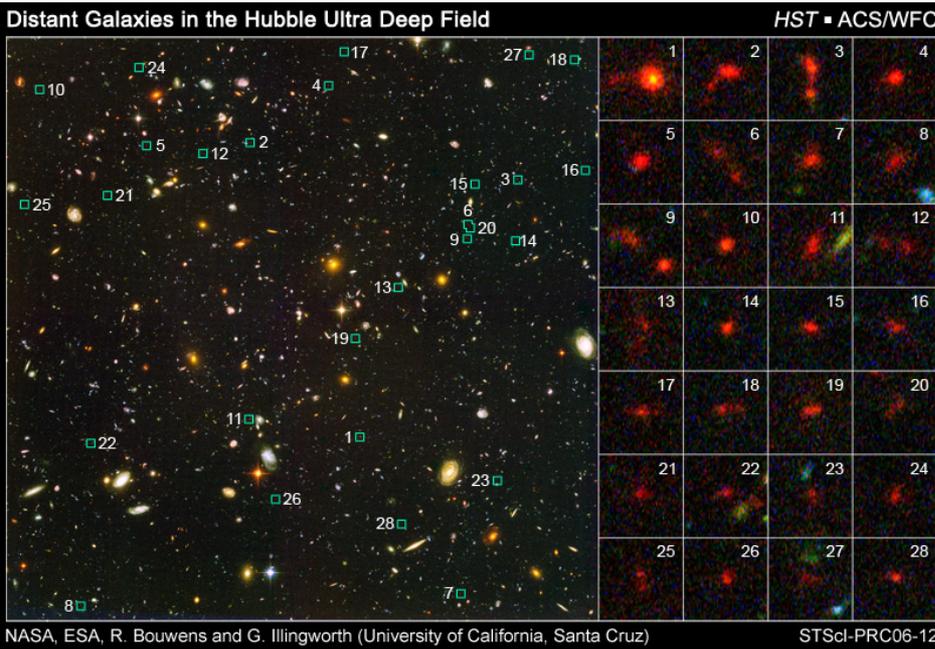


# Hubble Ultra Deep Field: Ergebnisse



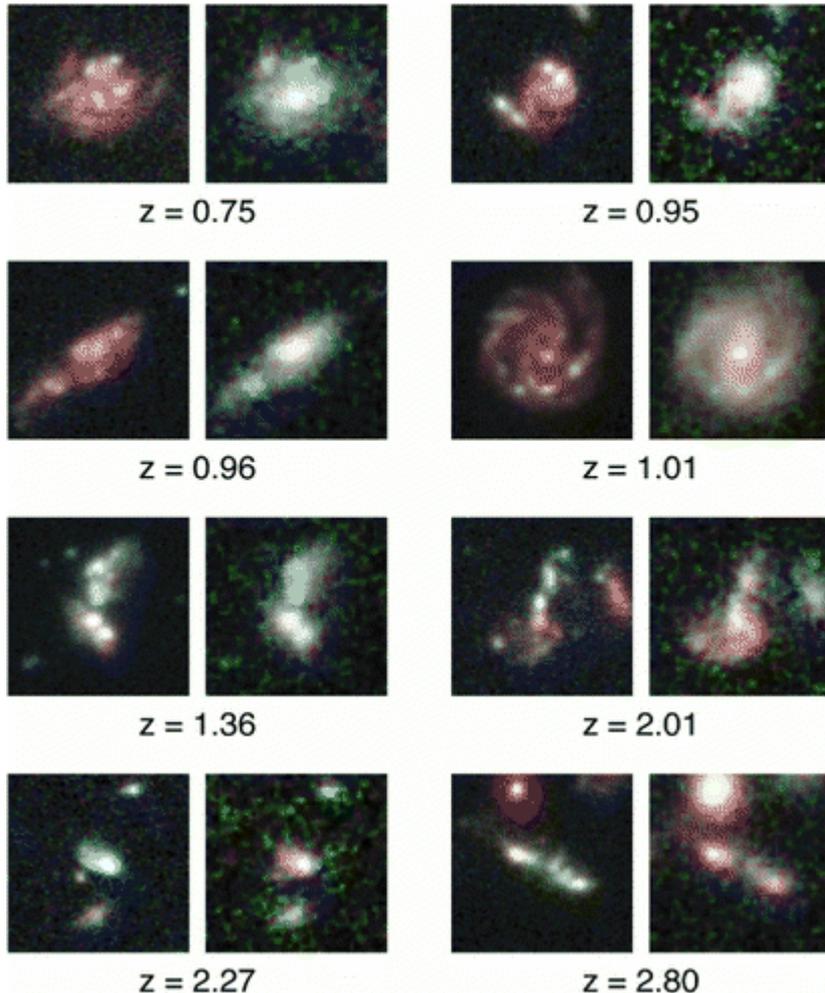
- Zwei der tiefsten Bilder von Hubble analysiert
- Goldmiene: mehr als 500 Galaxien, weniger als eine Milliarde Jahre nach dem Big Bang entstanden (7% des Alters)
- Studium der frühen Phasen
- Kleiner als heutige Galaxien
- Blauer
- => Galaxien entstehen vermutlich aus Zwerggalaxien; Verschmelzungen erzeugen dann größere Galaxien: bestätigt hierarchische Theorie der Galaxienentstehung

# Hubble Ultra Deep Field: Ergebnisse



- Zwerggalaxien produzieren Sterne mit furioser Rate: 10x schneller als heute in nahen Galaxien
- Genügend Strahlung von heißen Sternen um kalten Wasserstoff wieder zu erhitzen?
- Mehr Informationen mit der neuen Infrarot-Kamera und JWST (James Webb Space Telescope, 2013)

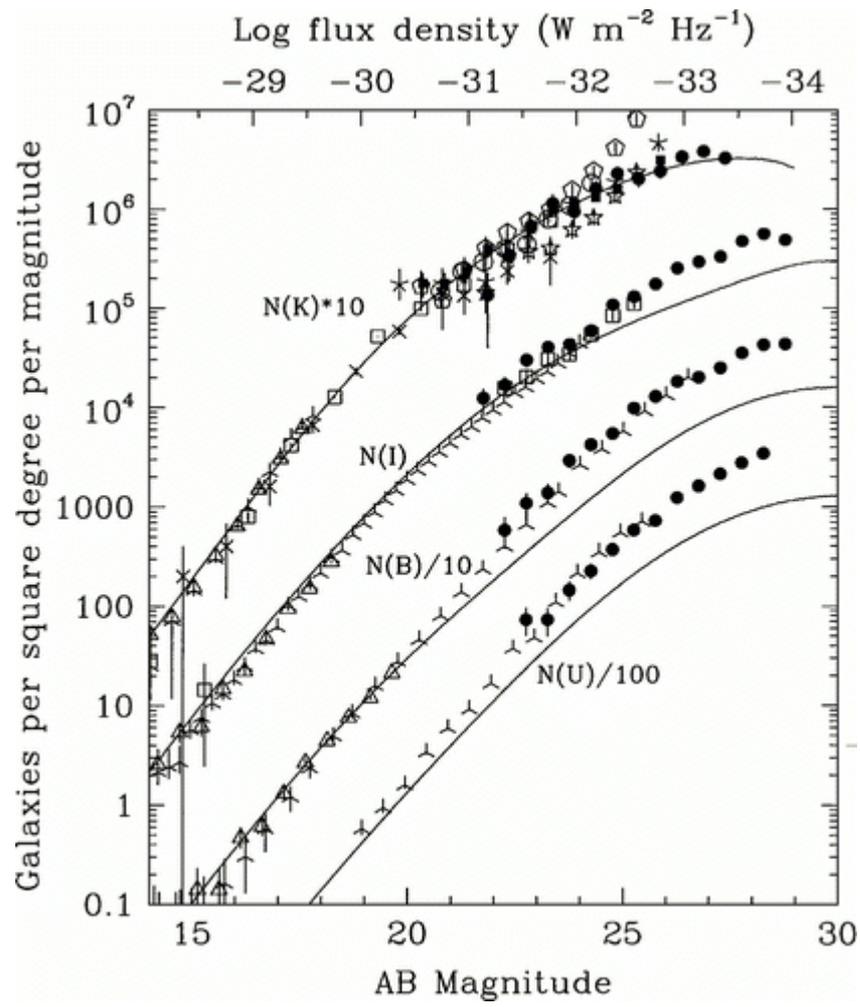
# Hubble Deep Fields, Ergebnisse



- Im nahen Universum: viele „normale“ Galaxien, wechselwirkende Galaxien sind ziemlich selten (2-7% im lokalen Volumen)
- Bei geringeren Leuchtkräften ( $I=25$ ): Irreguläre/wechselwirkende/pekuariere Systeme stellen 40% der Galaxien dar; Änderungen in der Morphologie mit der Rotverschiebung sind vermutlich real

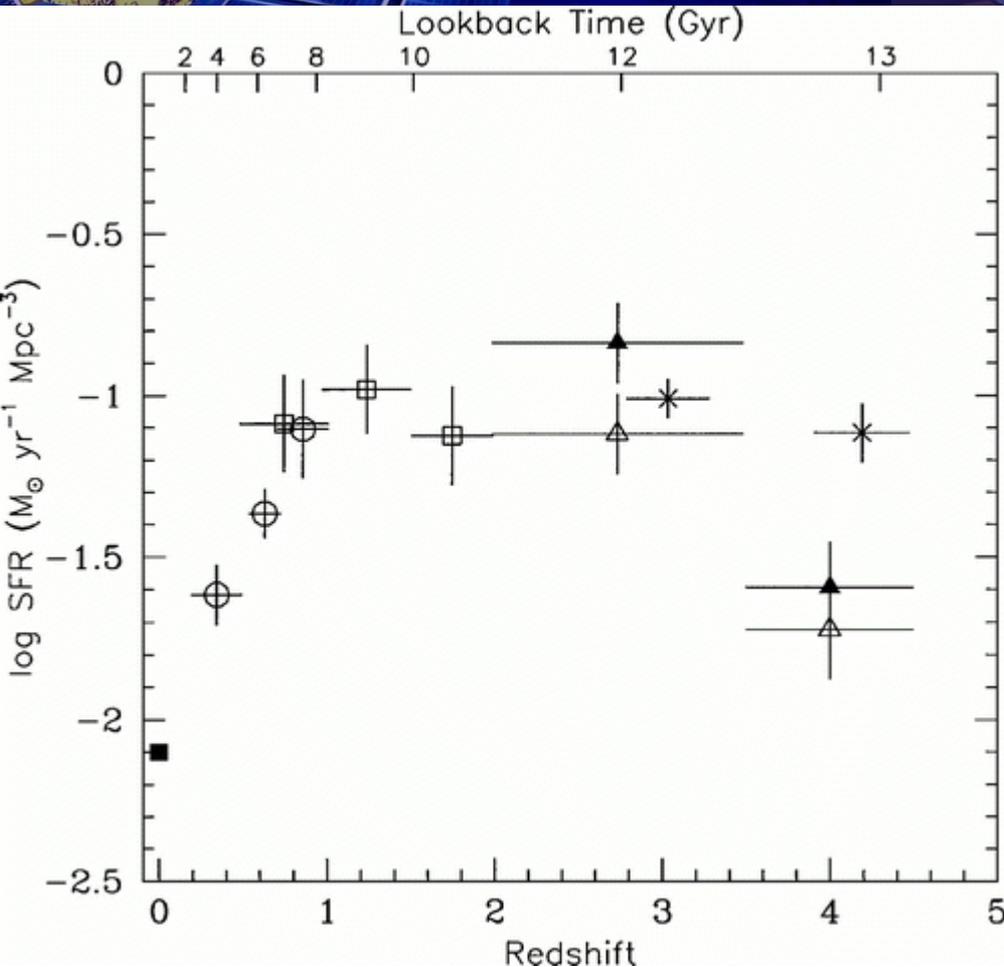


# Hubble Deep Fields, Ergebnisse



- Galaxienzählungen: keine präzise Wissenschaft
- Unterschiedliche Zählungen für sich überlappende Isophoten
- HDF: gefüllte Symbole
- Erdbundene Teleskope: offene Symbole

# Hubble Deep Fields, Ergebnisse



Sternentstehungsratendichte / Rotverschiebung,  
aus UV Leuchtkraftdichte

## Galaxien

- Kosmische Sternentstehungsrate mit Rotverschiebung bestimmen
- Sternentstehungsrate bei  $z \sim 3$  Faktor 3 höher als jetzige Rate, Rate stieg bis  $z \sim 1.5$  an und fiel um Faktor 10 von  $z=1$  bis heute
- Wichtige Übereinstimmung zwischen Metallanreicherung als Funktion der Rotverschiebung aus Galaxienleuchtkräften und Vorhersagen der hierarchischen Modelle (Peak bei  $z \sim 1-2$ )
- Close the loop: Emissionsgeschichte des Universums produziert die Metallhäufigkeiten und stellaren Farben, die wir bei  $z \sim 0$  sehen



# Hubble Deep Fields, Ergebnisse

## Galaxiengrößen

- Unerwartet: geringe Durchmesser der leuchtschwachen Galaxien
- Verschiedene Messmöglichkeiten
- Reine Leuchtkraft-Entwicklungsmodelle (PLE)?
- Etc.



# Hubble Deep Fields, Ergebnisse

- Was war so besonders bei HDF?
  - Wissenschaftlich einzigartige Daten und können vielfach verwendet werden
  - Öffentlich: Daten und Projekt sind öffentlich, Astronomie-Community nimmt teil und trägt bei
  - Beobachtungsstrategie optimiert auf Teleskop
  - Daten im Campaign-mode statt über eine lange Zeit aufgenommen
  - Die Daten vollständig reduziert in sehr kurzer Zeit veröffentlicht



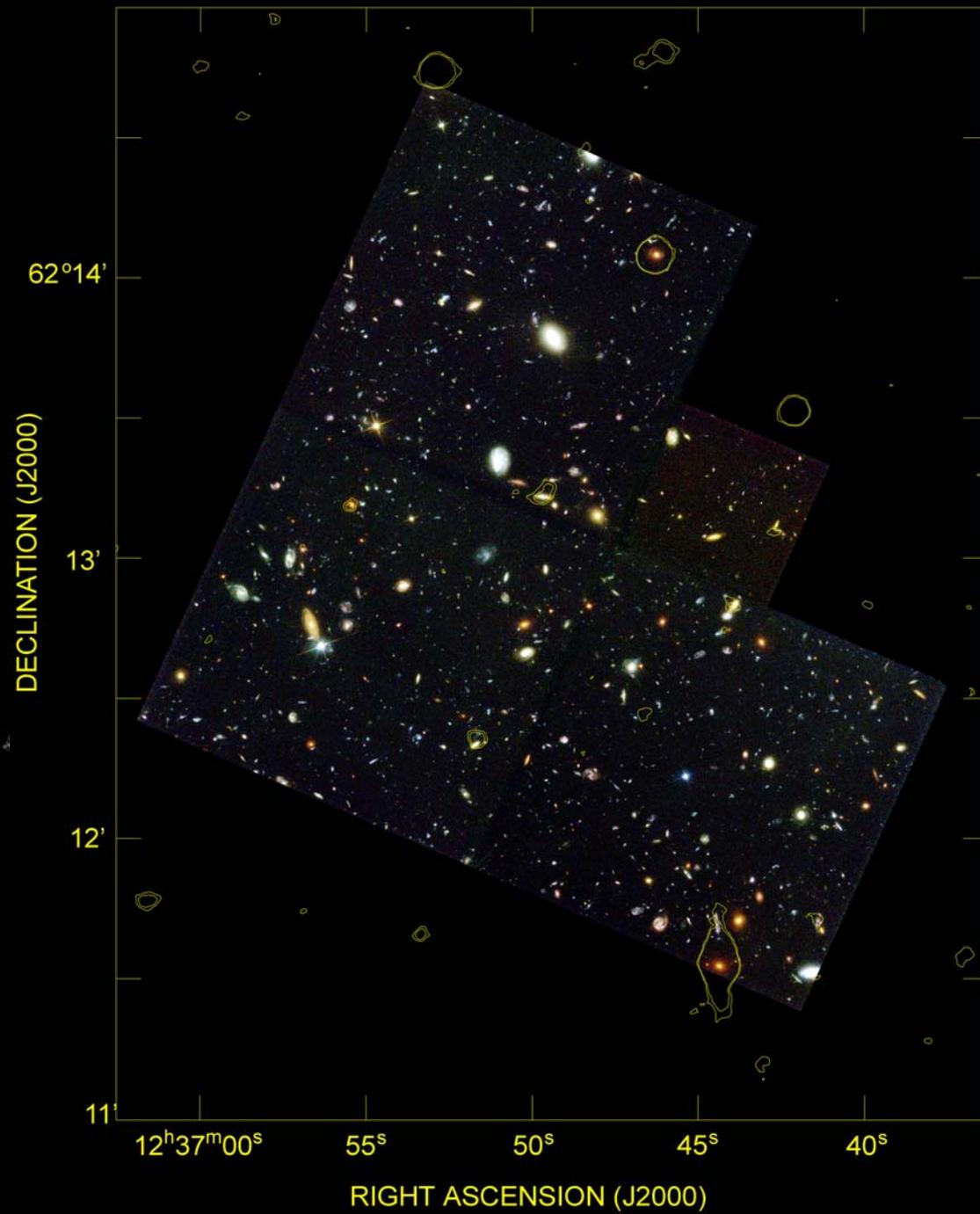
Deep Fields in „Bunt“  
Hubble  
In **bunt**



# Hubble Deep Field: im Radiolicht

- Frage nach der Entwicklung der Radiopopulation
- Im Gegensatz zu den optischen Beobachtungen **steigen die Zahlen der Radioquellen** in den tiefsten Mikrojansky Durchmusterungen (VLA) an
- **Die schwächsten Radioquellen dominieren die Radioleuchtkraft des Universums**
- Was sind dies für Quellen?
- Durchmusterungen mit dem VLA: 1 Mio mal sensitiver als die Cambridge surveys
  - 1.4 GHz und 8.5 GHz, VLA, Auflösung: 1.8“ + MERLIN bei 1.4 GHz = Auflösung 0.2“
  - 18.23 Tage MERLIN + 50 Stunden VLA

# VLA OBSERVATIONS OF HUBBLE DEEP FIELD

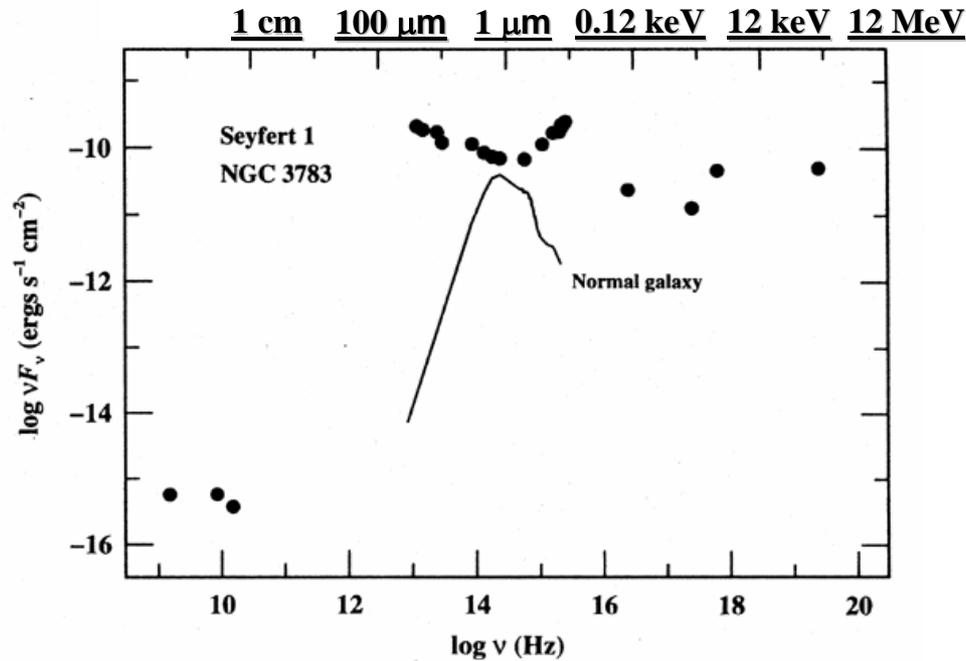


# Hubble Deep Field: mit dem VLA

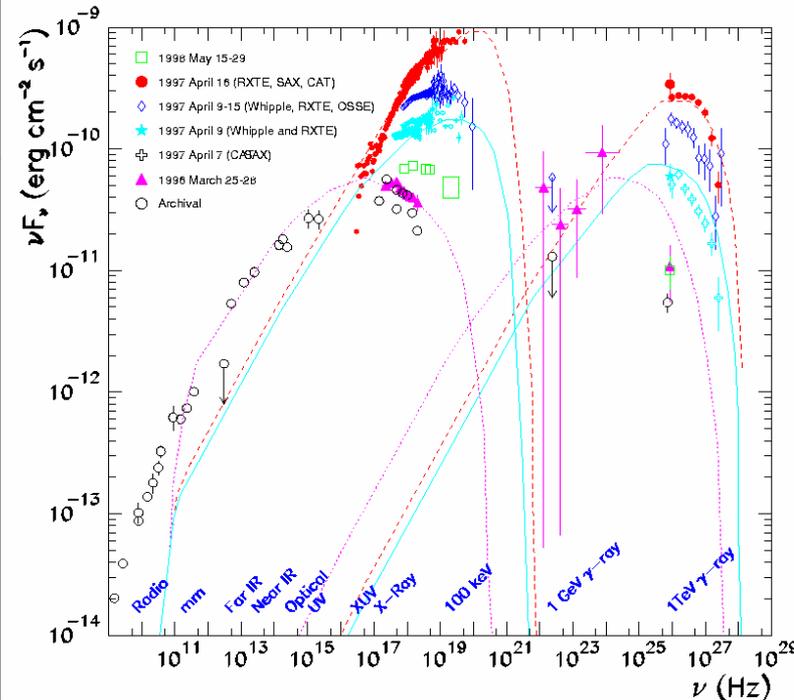


- 29 Radioquellen bei 8.5 GHz detektiert (7 im HDF, 22 in den Flanking Fields)
- Radioquellen in tiefen Feldern sind fast ausschließlich **normale Galaxien** (keine Sterne, Quasare oder gigantische Elliptische)
- Zuviel blaues Licht, morphologisch gestört: Sternentstehung durch Wechselwirkung, AGN kann involviert sein
- Mittlere Rotverschiebung:  $z \sim 0.8$  (breite Verteilung,  $0.1 < z < 3$ )

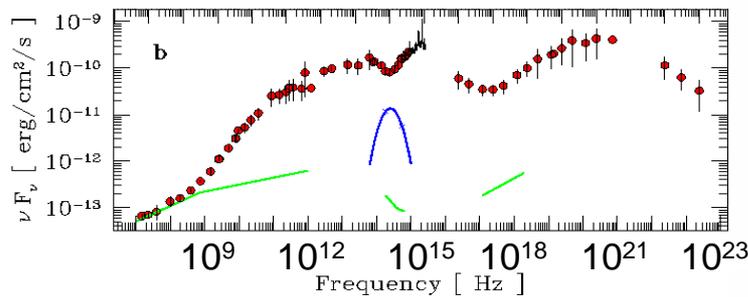
# AGK / Spektrale Energieverteilung



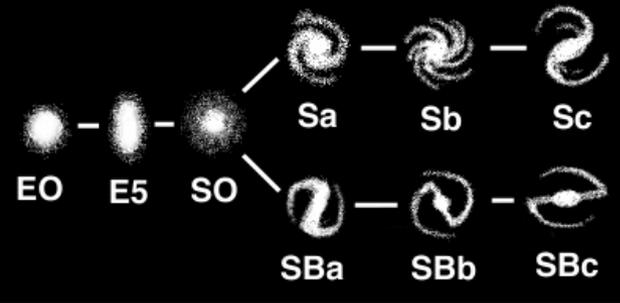
## Mkn 501



## Quasar 3C273

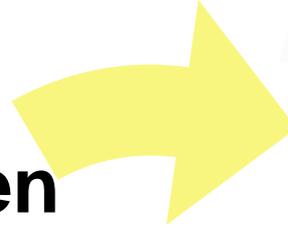


# AGK eine Aktivitätsphase normaler Galaxien?



Hubble 1926

**Galaxien**



**Merger**



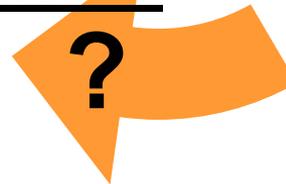
Toomre & Toomre 1972



**Aktive  
Galaxienkerne**



**Starburst**

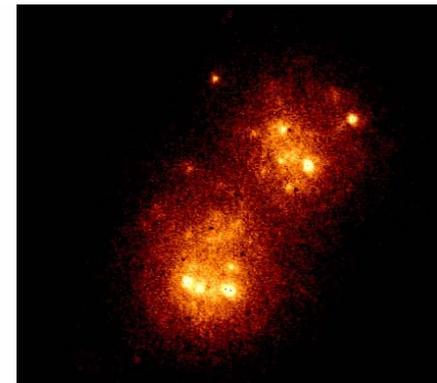


Cen A



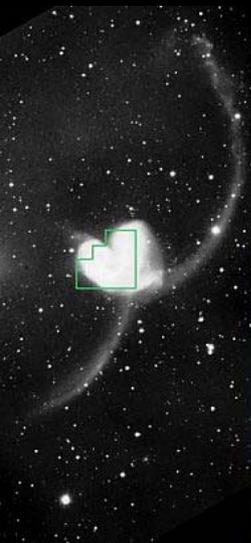
NASA/Chandra/CXO/M. Karovska et al.

NGC 1741

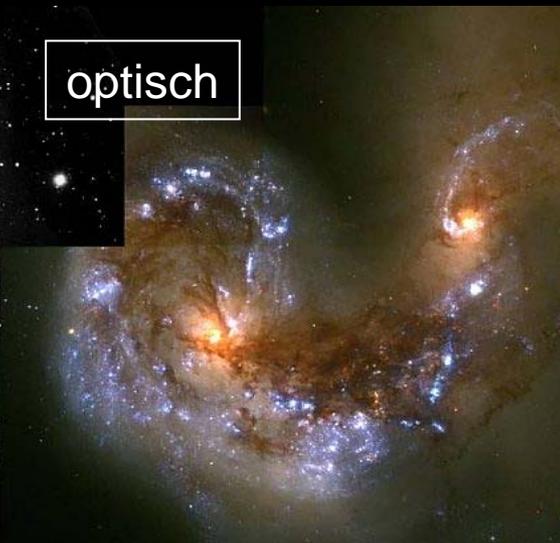


# Supermassive Binäre Schwarze Löcher

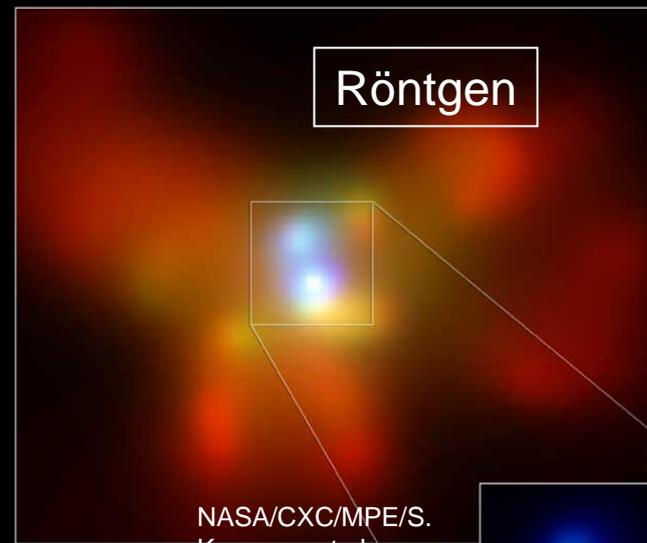
auf verschiedenen Skalen, Entwicklungszuständen?



optisch

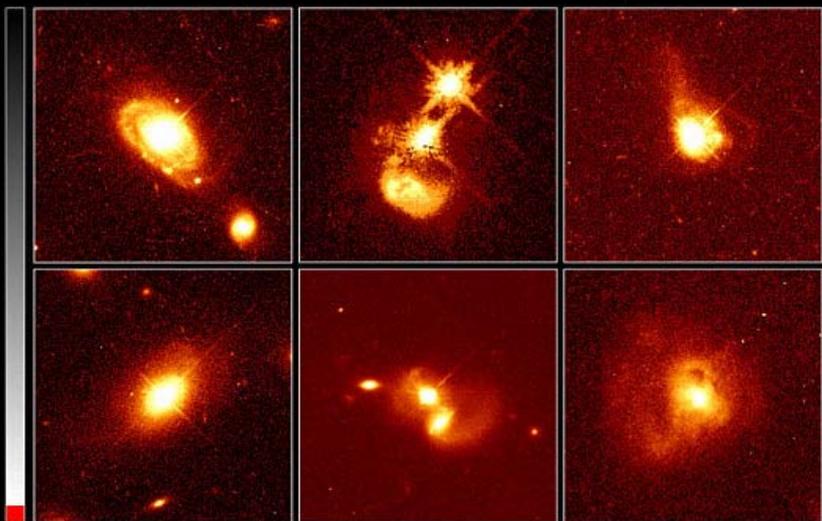
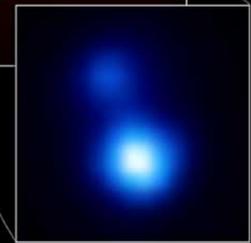


optisch



Röntgen

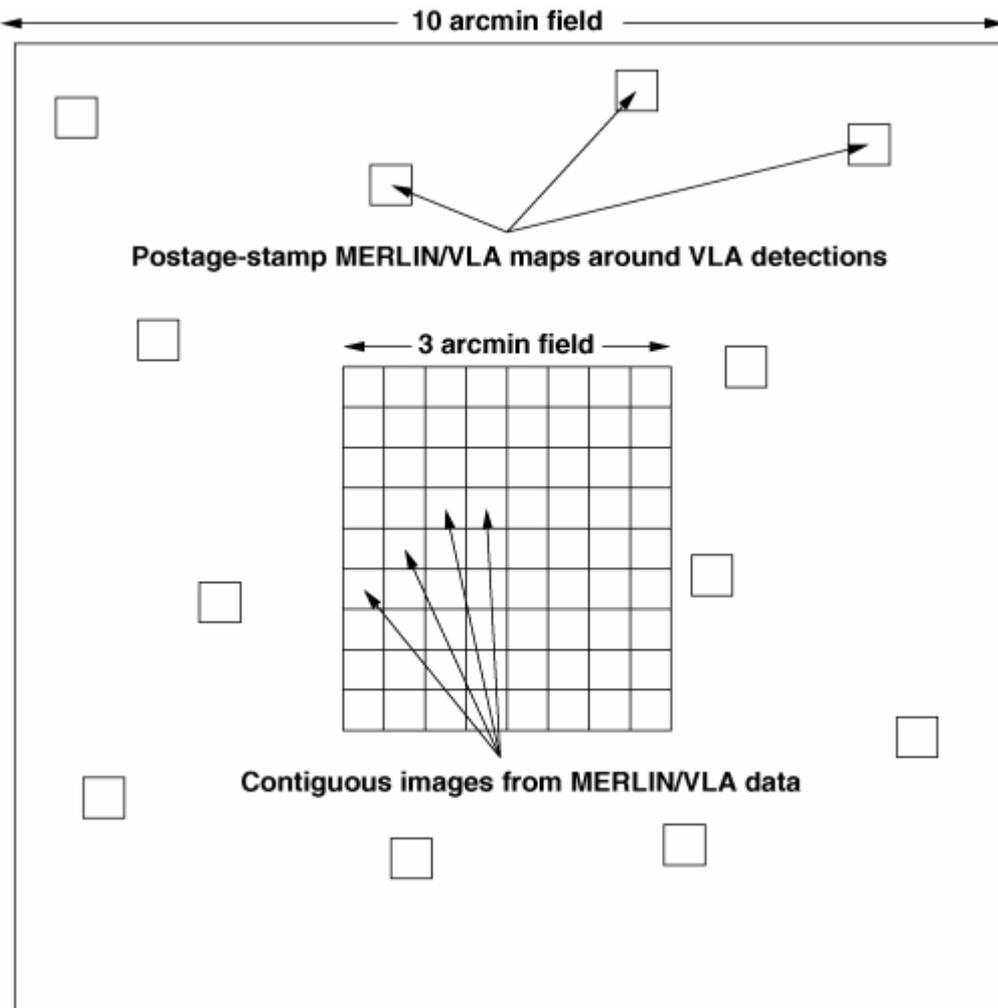
NASA/CXC/MPE/S.  
Komossa et al



**Quasar Host Galaxies**  
Hubble Space Telescope · Wide Field Planetary Camera 2



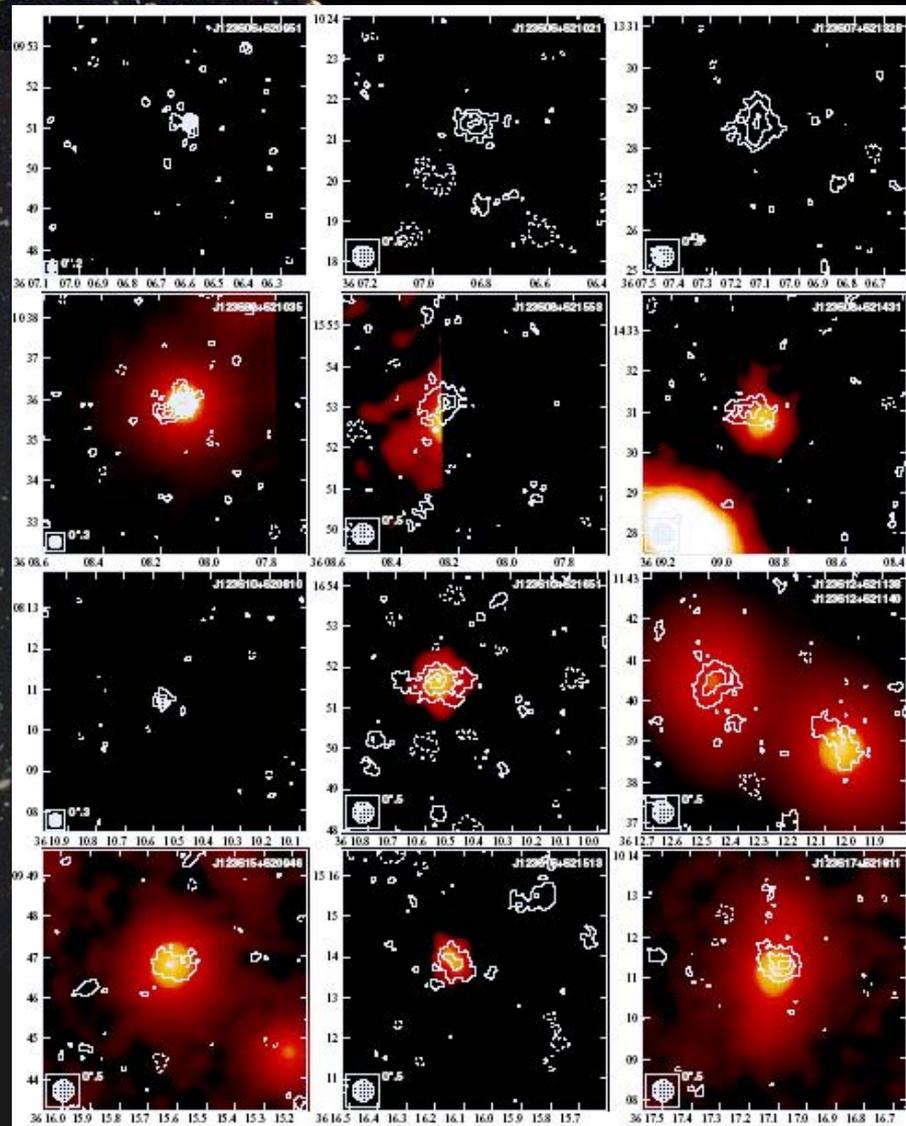
# Hubble Deep Field: mit Merlin



- Alle 92 detektierten Quellen wurden separat vom VLA und Merlin beobachtet, dann einzeln kombiniert
- Das innere Minimosaik mit 3x3 Quadratbogenminuten mit 72 Bildern

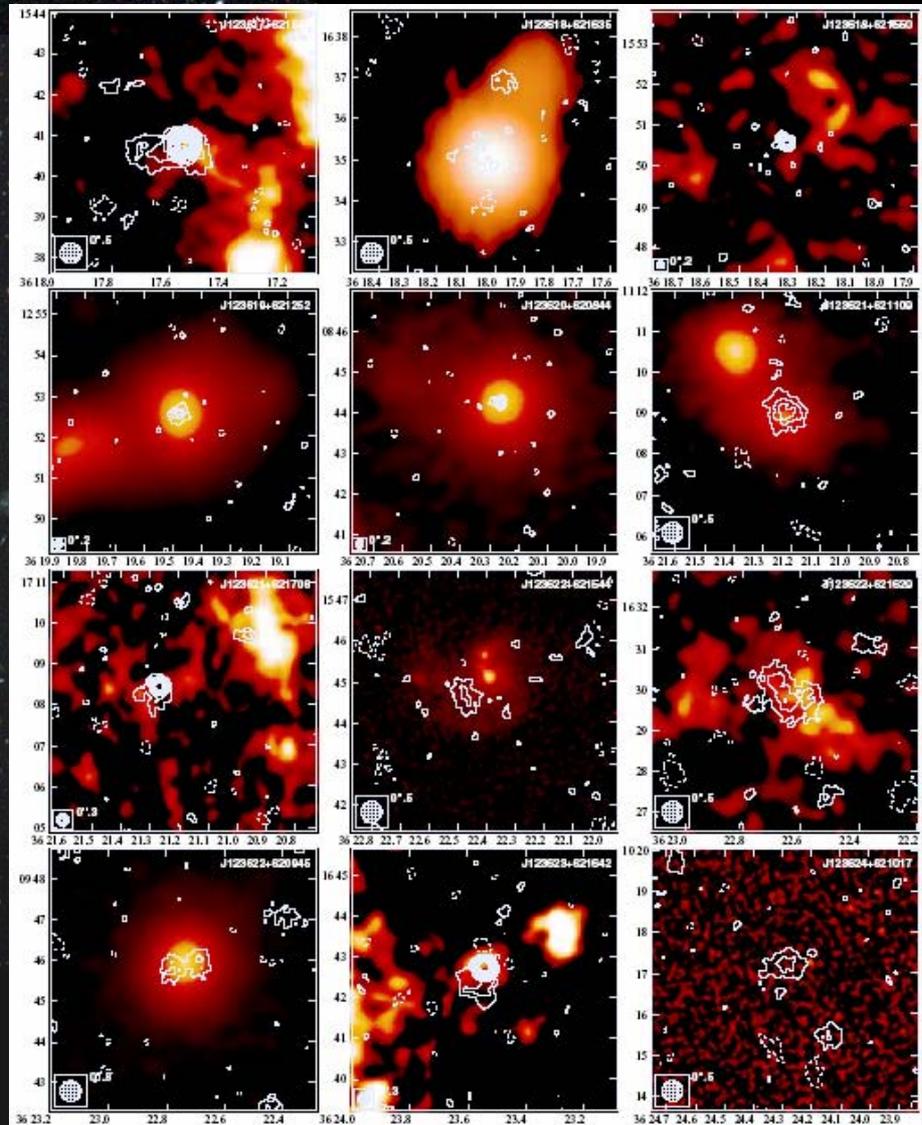
◆ MERLIN+VLA 1.4 GHz obs.  
(Muxlow et al. 2005)

- 10-arcmin field
- 92 radio source ( $S_{1.4} > 40$  Jy)
- noise level  $\sim 3.3$  Jy/beam



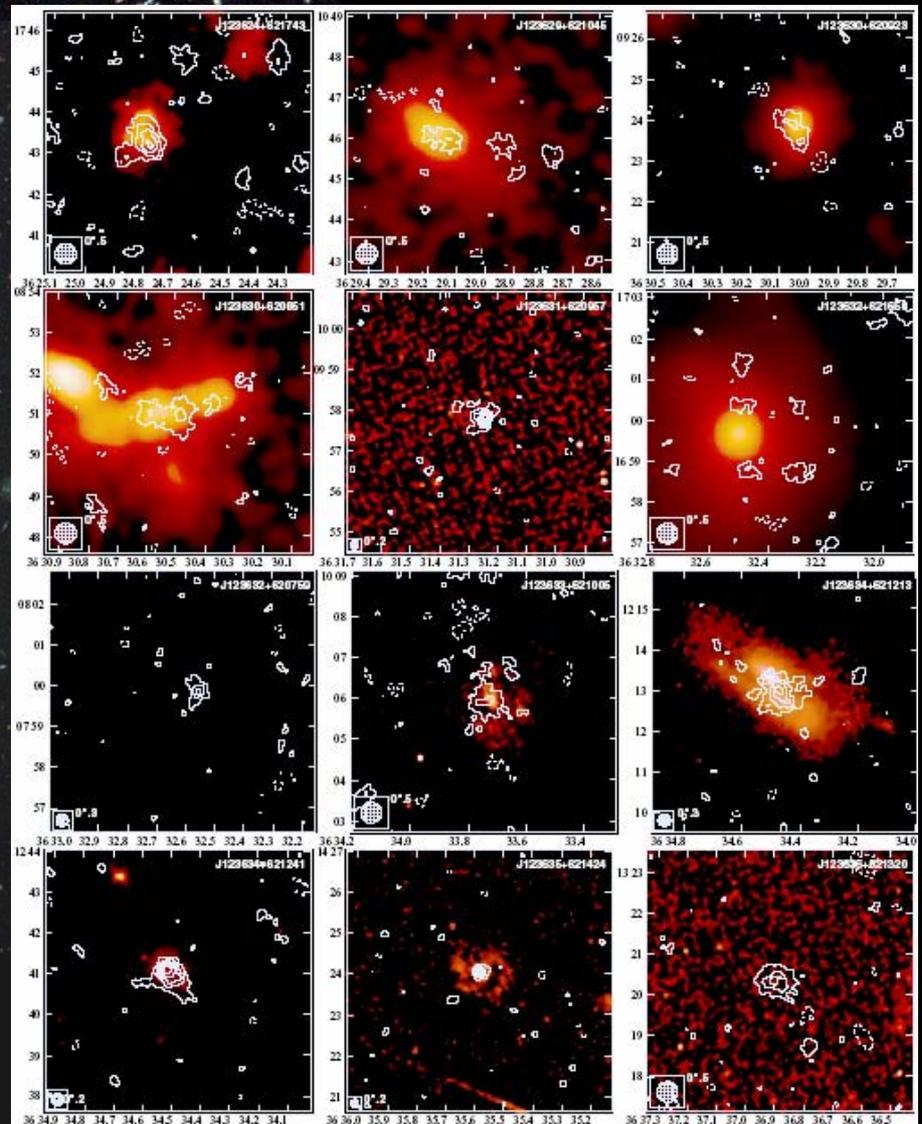
◆ MERLIN+VLA 1.4 GHz obs.  
(Muxlow et al. 2005)

- 10-arcmin field
- 92 radio source ( $S_{1.4} > 40$  Jy)
- noise level  $\sim 3.3$  Jy/beam



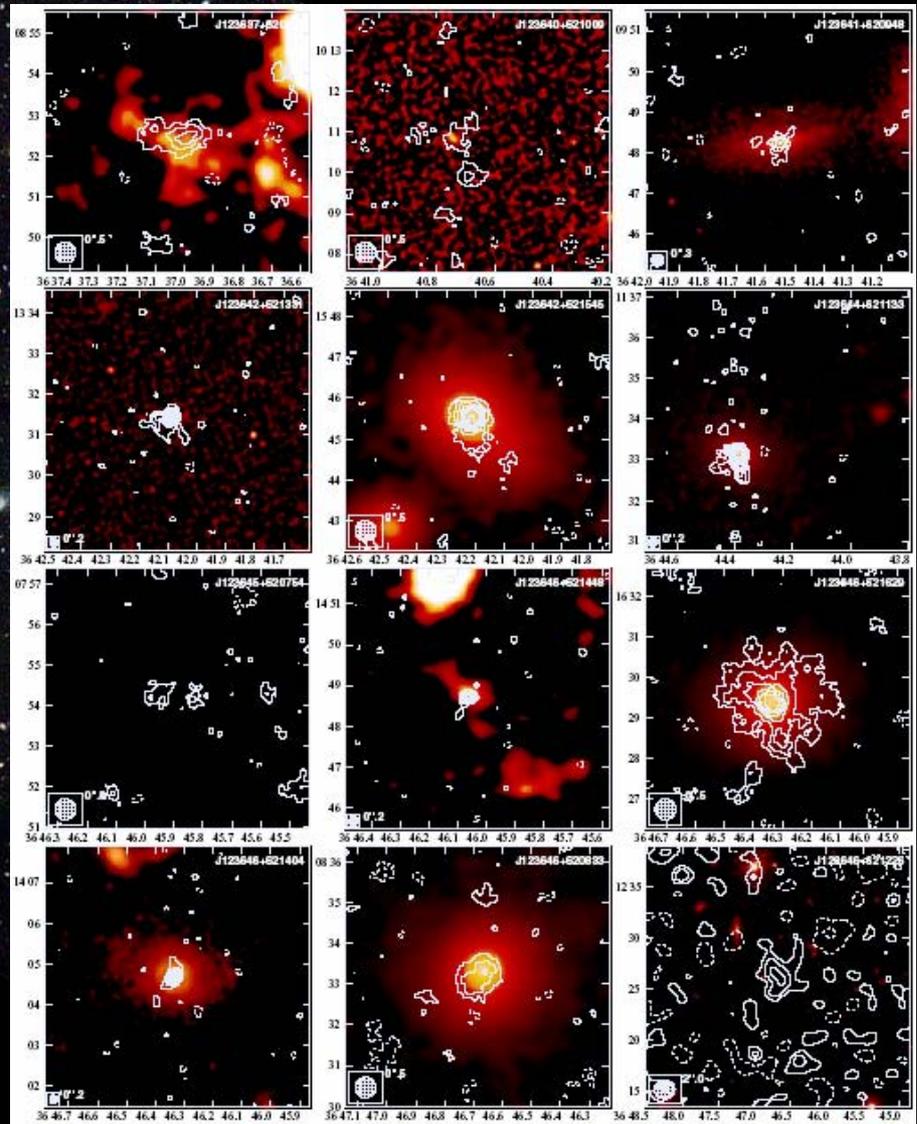
◆ MERLIN+VLA 1.4 GHz obs.  
(Muxlow et al. 2005)

- 10-arcmin field
- 92 radio source ( $S_{1.4} > 40$  Jy)
- noise level  $\sim 3.3$  Jy/beam



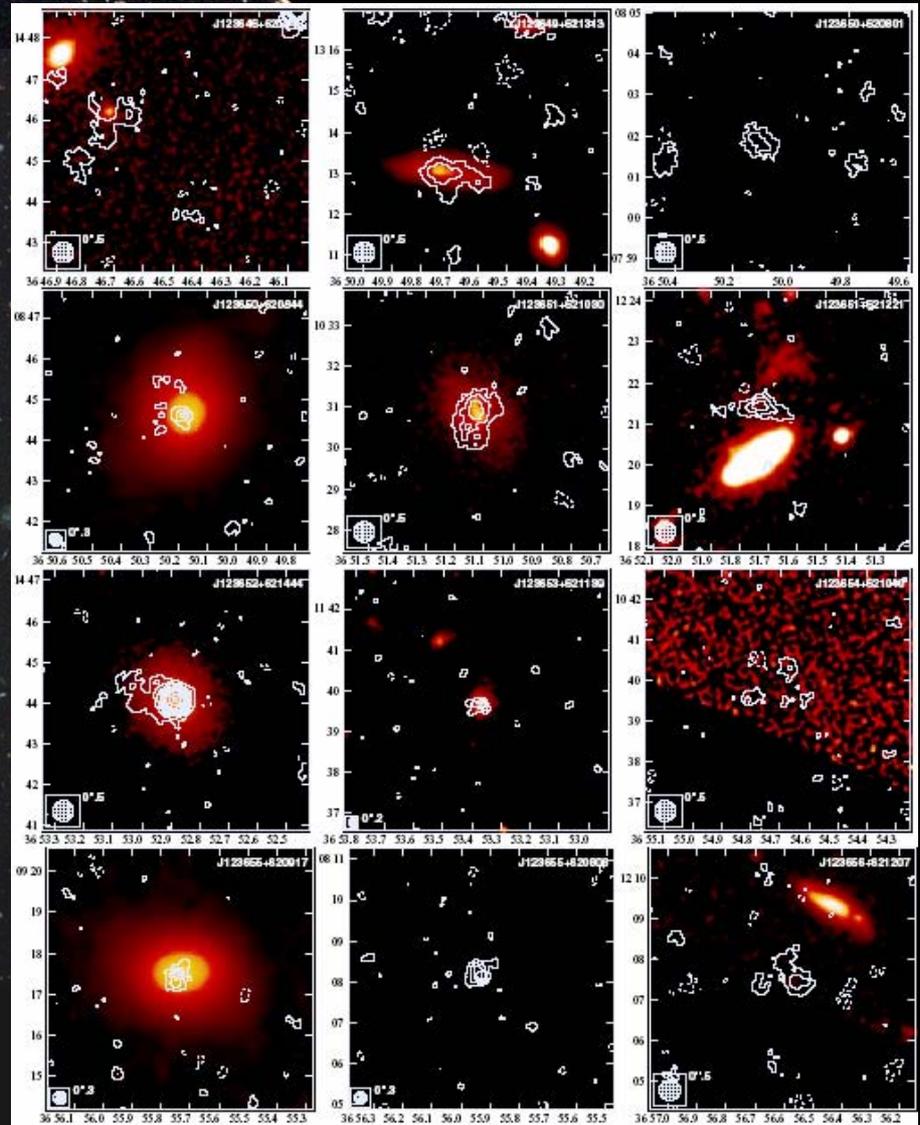
◆ MERLIN+VLA 1.4 GHz obs.  
(Muxlow et al. 2005)

- 10-arcmin field
- 92 radio source ( $S_{1.4} > 40$  Jy)
- noise level  $\sim 3.3$  Jy/beam



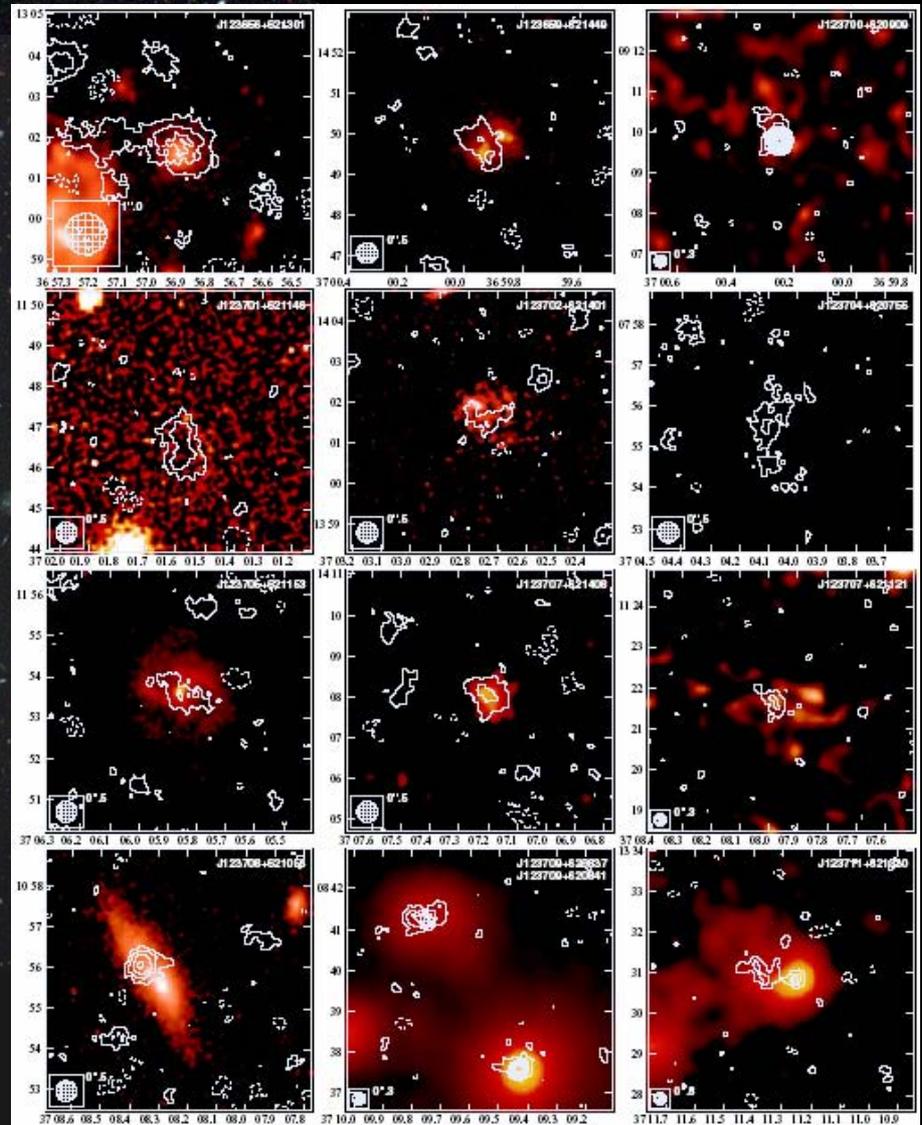
◆ MERLIN+VLA 1.4 GHz obs.  
(Muxlow et al. 2005)

- 10-arcmin field
- 92 radio source ( $S_{1.4} > 40$  Jy)
- noise level  $\sim 3.3$  Jy/beam



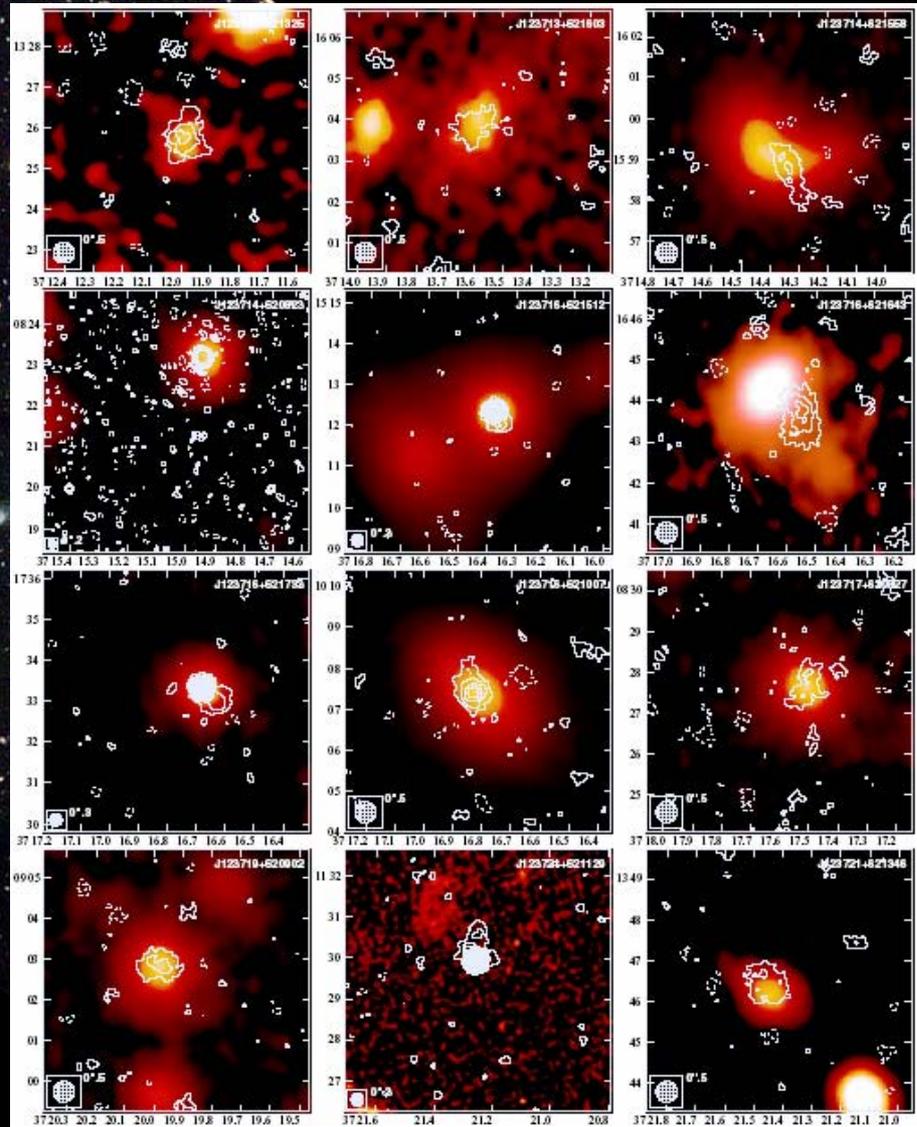
◆ MERLIN+VLA 1.4 GHz obs.  
(Muxlow et al. 2005)

- 10-arcmin field
- 92 radio source ( $S_{1.4} > 40$  Jy)
- noise level  $\sim 3.3$  Jy/beam



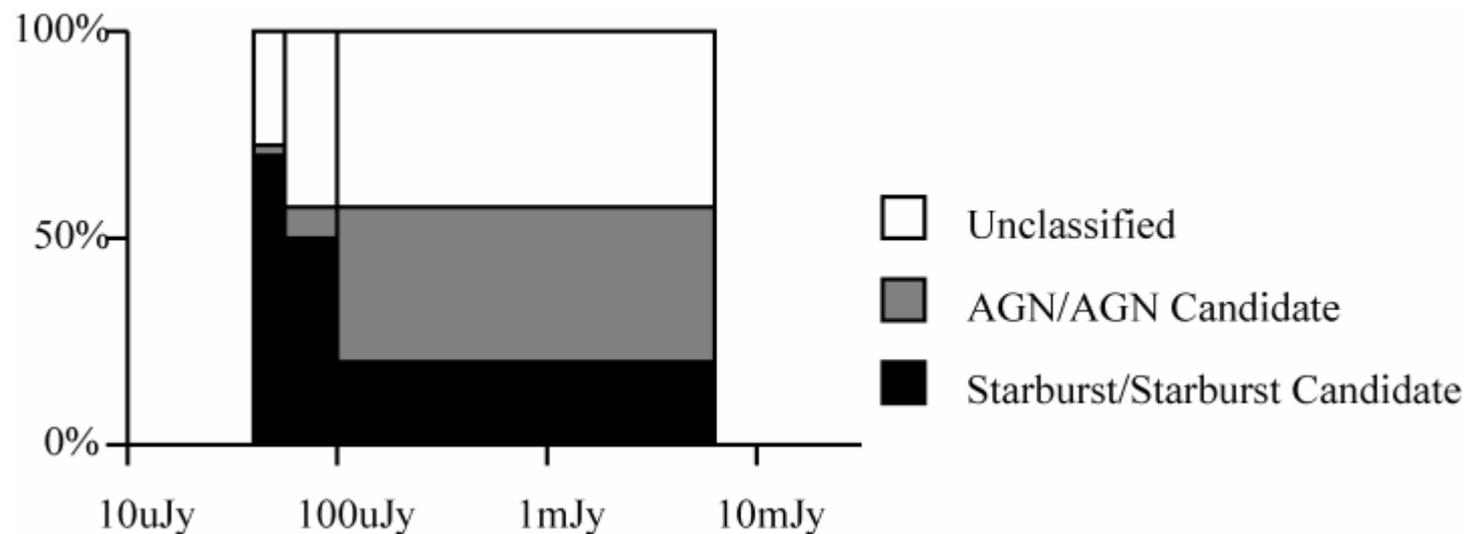
◆ MERLIN+VLA 1.4 GHz obs.  
(Muxlow et al. 2005)

- 10-arcmin field
- 92 radio source ( $S_{1.4} > 40$  Jy)
- noise level  $\sim 3.3$  Jy/beam

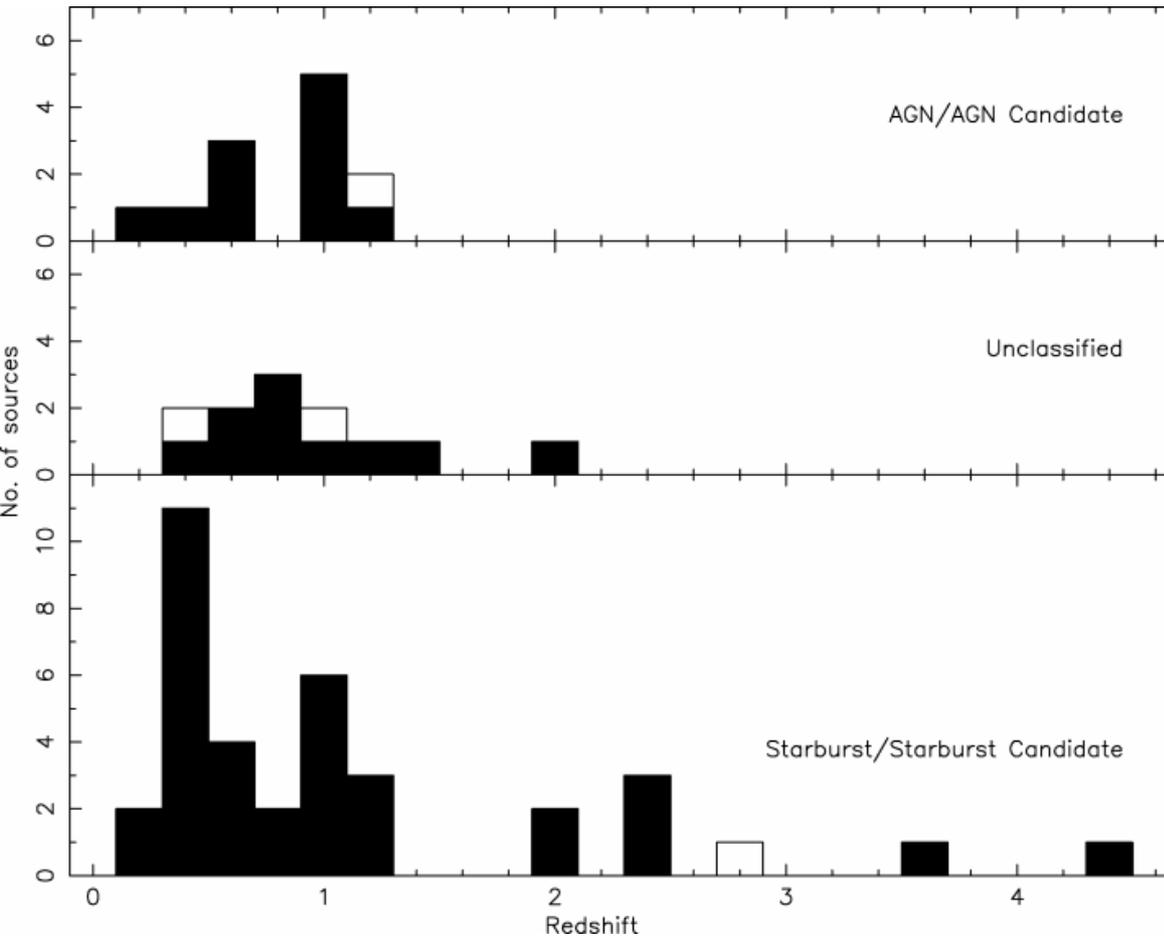


# Hubble Deep Field: mit dem VLA & Merlin

- 92 Radioquellen wurden im HDF und HFF vom VLA detektiert und von MERLIN + VLA beobachtet
- 72% starburst oder AGN; Rest ist noch nicht klassifiziert
- Bei Flußdichten  $< 50$  mJy bei cm-Wellenlängen eine Population von starburst-Systemen beginnt zu dominieren



# Hubble Deep Field: mit dem VLA & Merlin



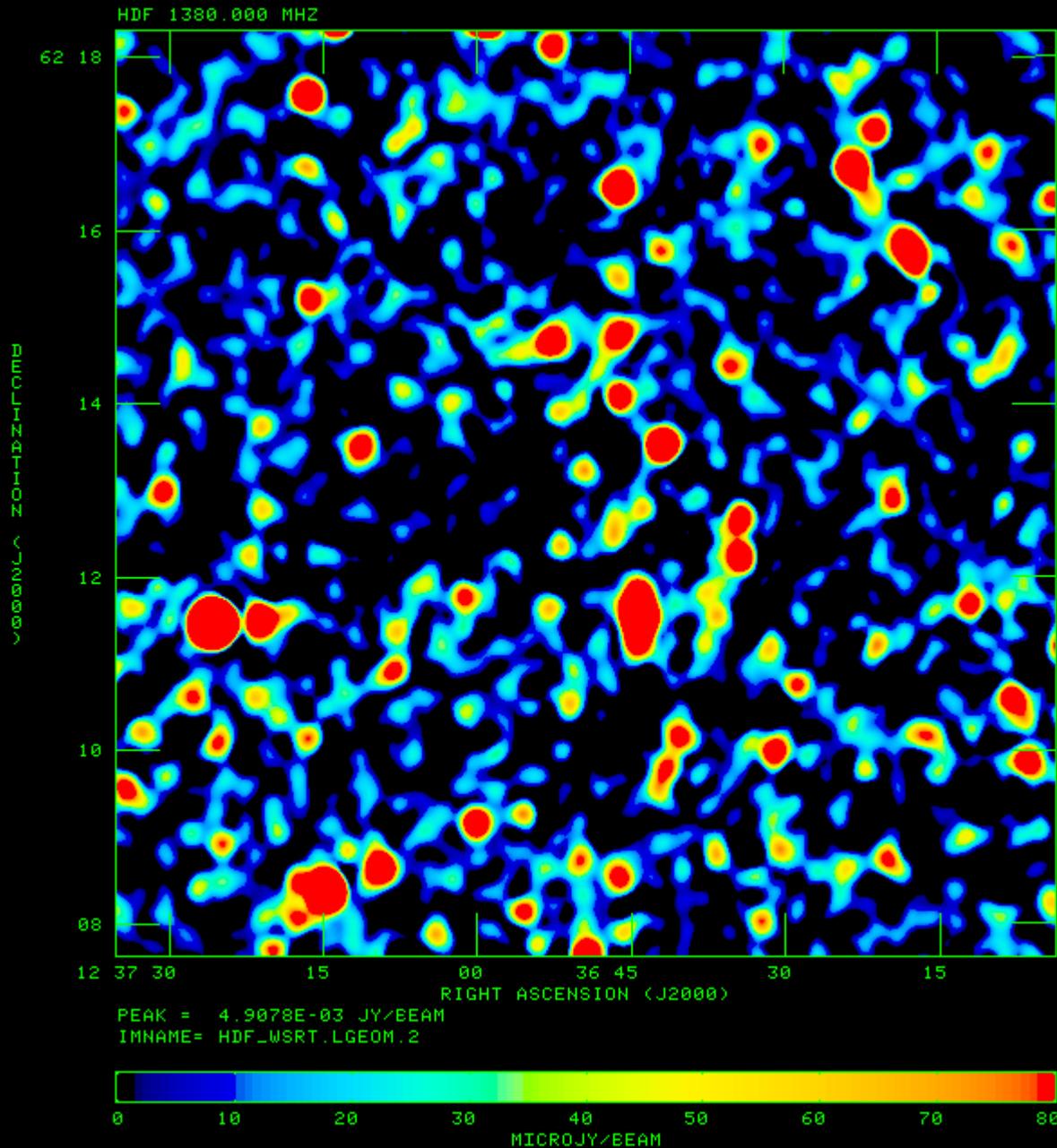
- 65% Rotverschiebungen
- Nur die starburst Systeme sind bei Rotverschiebungen >2 zu finden
- AGN haben Rotverschiebungen von ~0.9

# Hubble Deep Field: mit WSRT

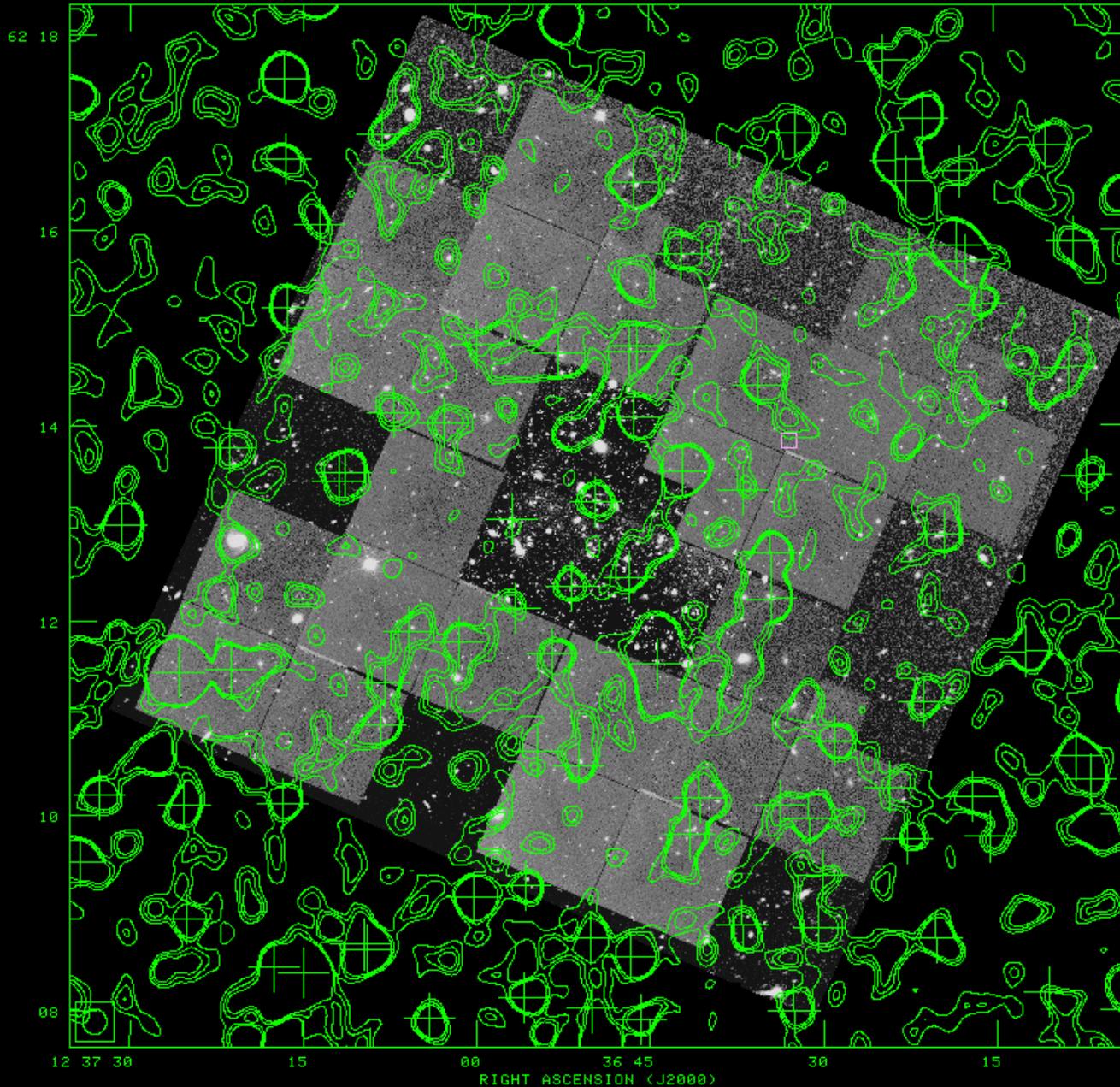


- Eine Anzahl von ausgedehnten Quellen, geringer Oberflächenhelligkeit könnten in den VLA-Beobachtungen verlorenggegangen sein .... Daher:
- WSRT-Beobachtungen mit geringerer Auflösung (15“) verglichen mit VLA (2“)
- Neue Entdeckungen: 85 Radioquellen mit dem WSRT, 63 davon auch vom VLA detektiert, 22 reien WSRT-Quellen

Die tiefste  
Beobachtung des  
HDF und des HFF  
mit WSRT



CONT: HDF 1380.000 MHZ HDF WSRT.LGEOM.2

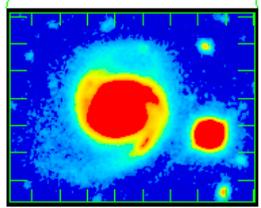
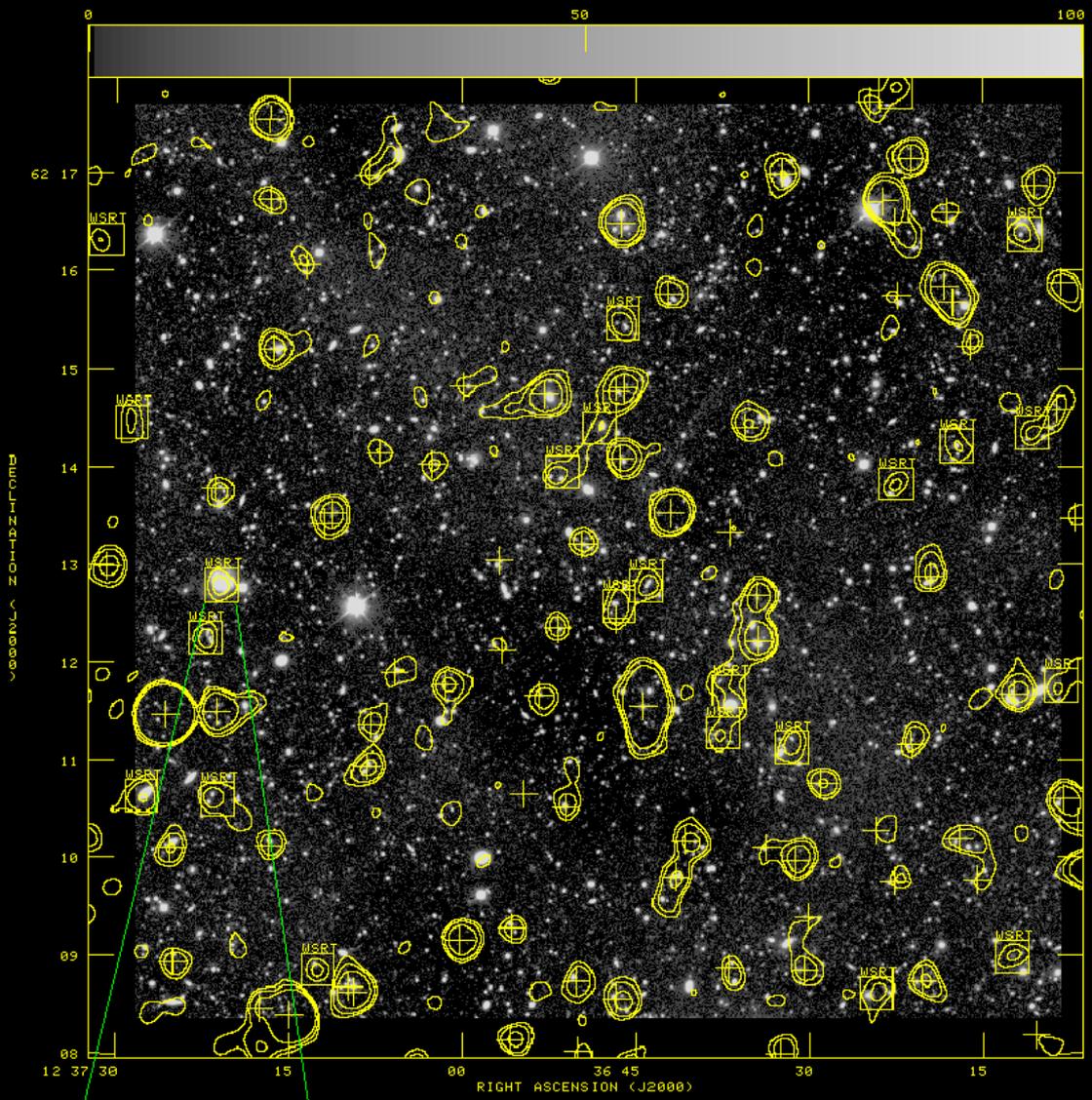


- WSRT-Karte über HDF und HFF

# WSRT-Karte über HDF-Region

Kreuze markieren VLA-Quellen

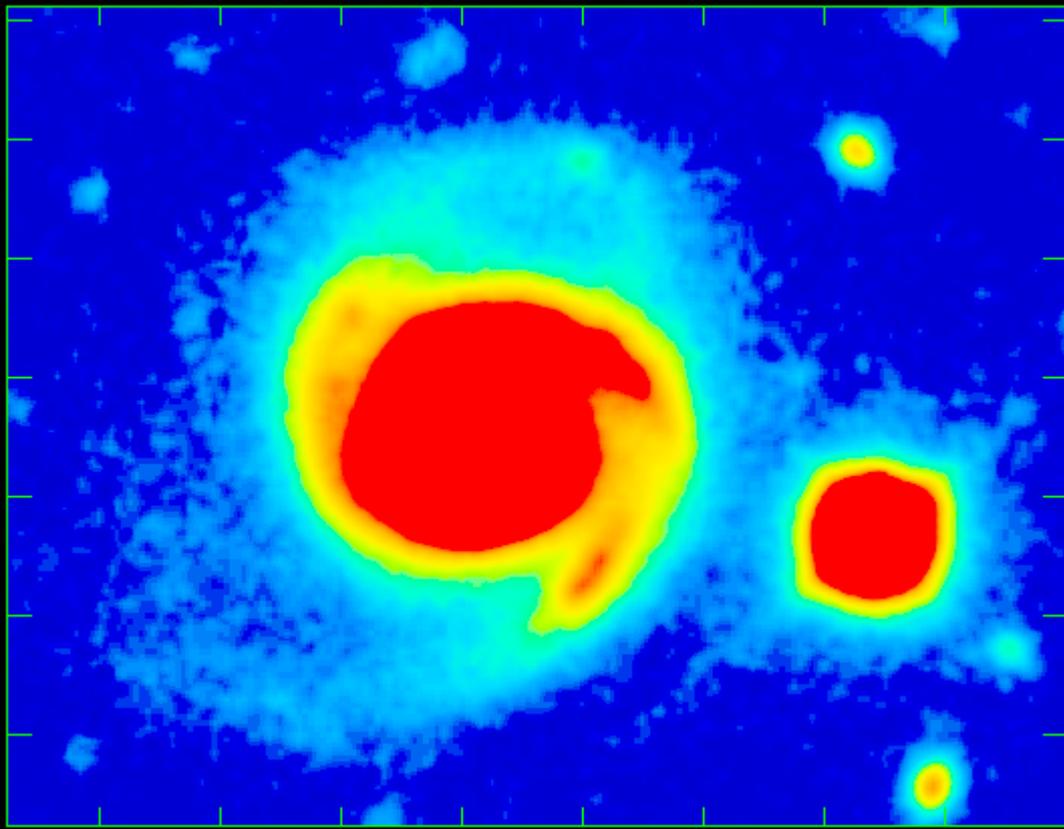
Quadrate markieren Neuentdeckungen mit WSRT



WSRT detects nearby and or extended radio emission that is resolved by higher resolution VLA-MERLIN observations.

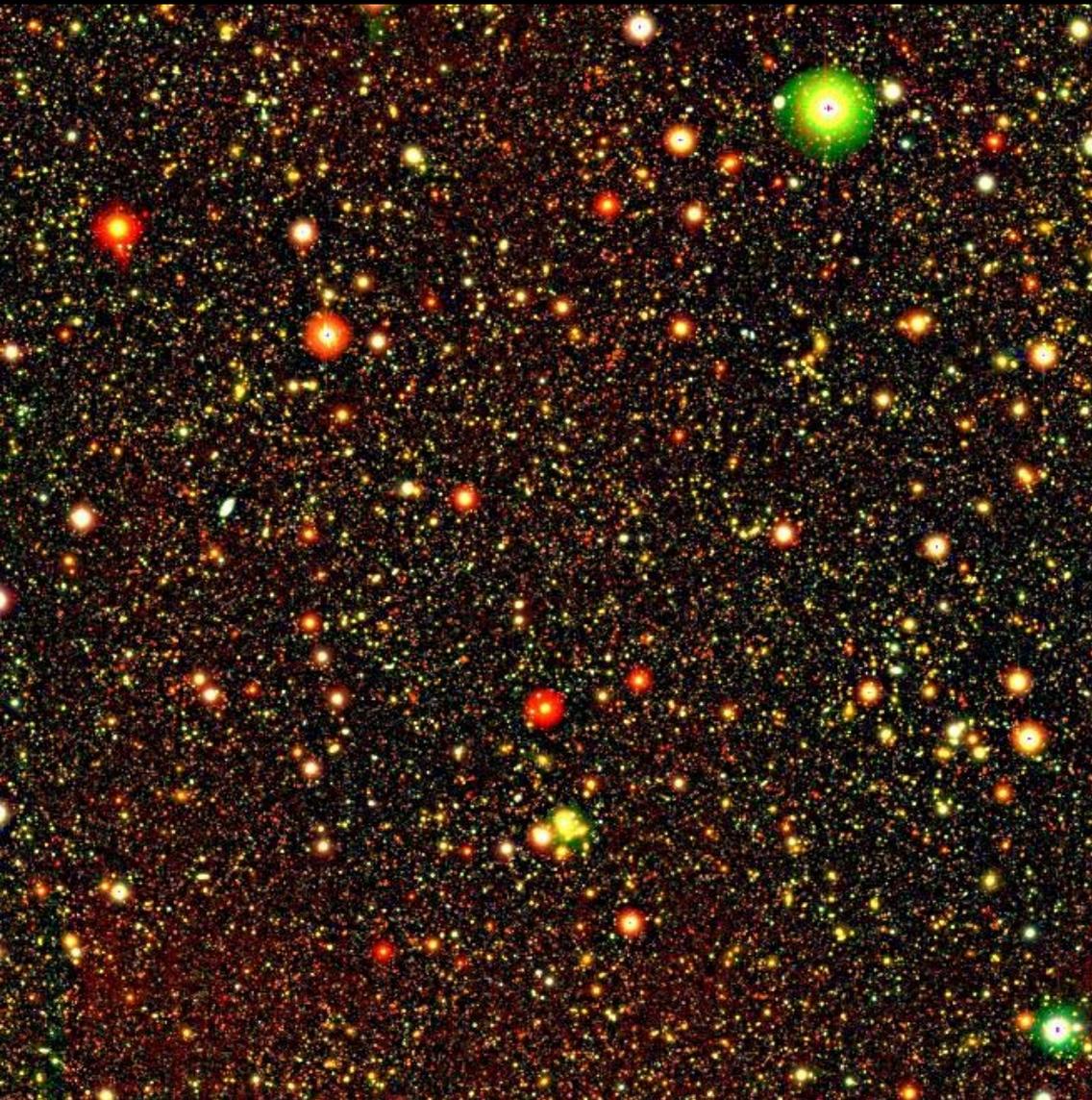
Thermal noise level is 7.5 microJy, rising to 9 microJy in the centre of the field due to confusion.

# Hubble Deep Field: mit WSRT



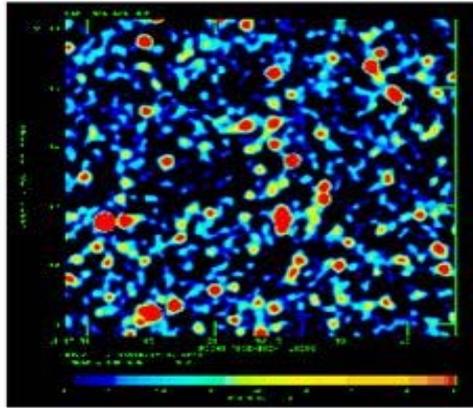
- Spiralgalaxie, nur mit WSRT detektiert

# Hubble Deep Field: Subaru, Hawaii-HDF-N

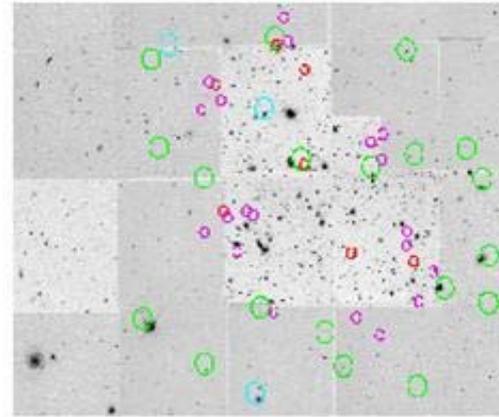


- 8.2m Subaru Teleskop (Japan) und 2.2m Hawaii

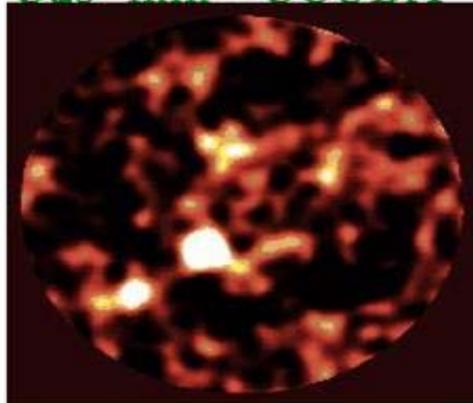
RADIO – Westerbork



Infra-Red – ISOCAM



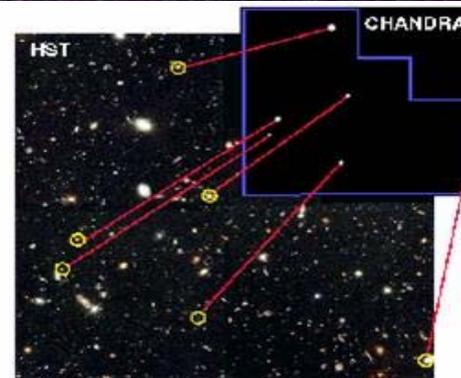
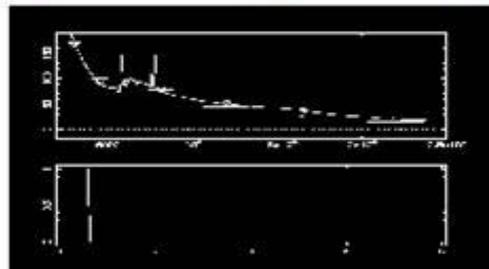
Sub-mm – SCUBA



Near Infra-Red KECK



Optical/IR Spectroscopy



X-rays – CHANDRA



# Hubble Deep Fields, in **bunt**

- ISO
  - 100 Quellen bei 6.7 oder 15 mm detektiert
  - 12 Radioquellen mit Infrarot-Counterpart sind klassifiziert als starburst Galaxien, 2 als AGN, 2 unklassifiziert
- Chandra
  - 43 der 92 Quellen sind durch Chandra detektiert
  - Keine direkte Korrelation mit Radioquellen-Klassifikation oder Flußdichte
- Scuba
  - 50 Stunden Beobachtungen, 5 Quellen detektiert
  - Nur eine Quelle kann zweifelsfrei identifiziert werden, Grund: schlechte Auflösung der submm-Daten
- Optisch
  - 13 der 92 Quellen können nicht optisch mit einer Quelle identifiziert werden

# Hubble Deep Field: EVN

Cambridge/MERLIN UK



Effelsberg (DE)



Jodrell Bank (UK)



Onsala Space Obs (SE)



WSRT (NL)



Torun (PL)



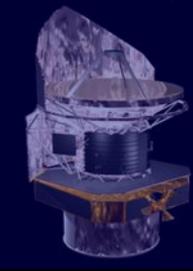
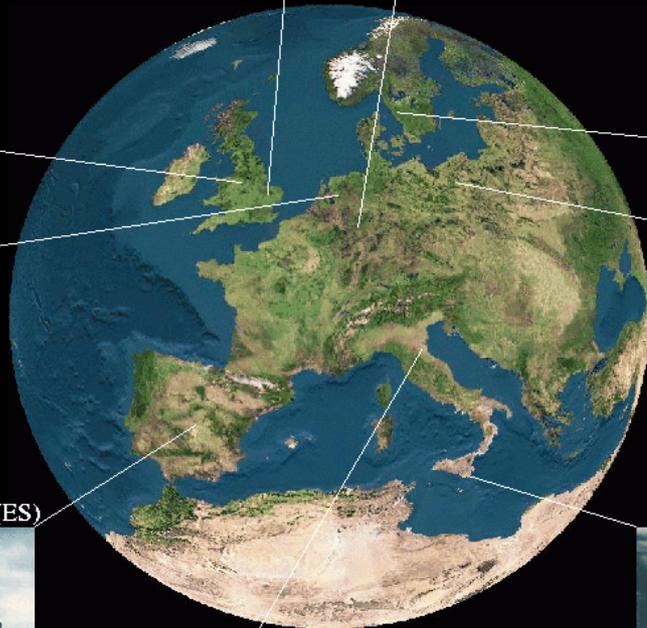
DSN Robledo (ES)



Noto (IT)

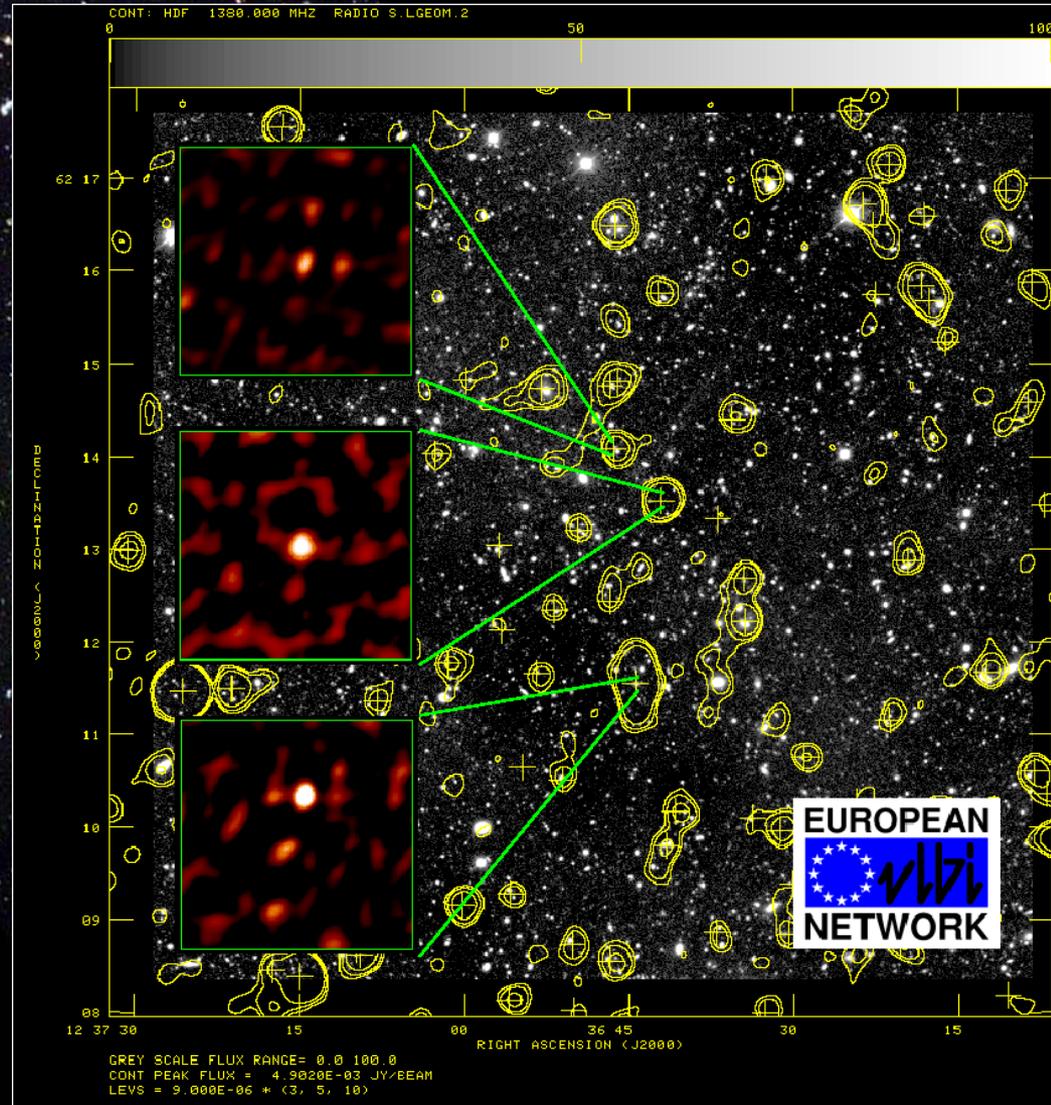


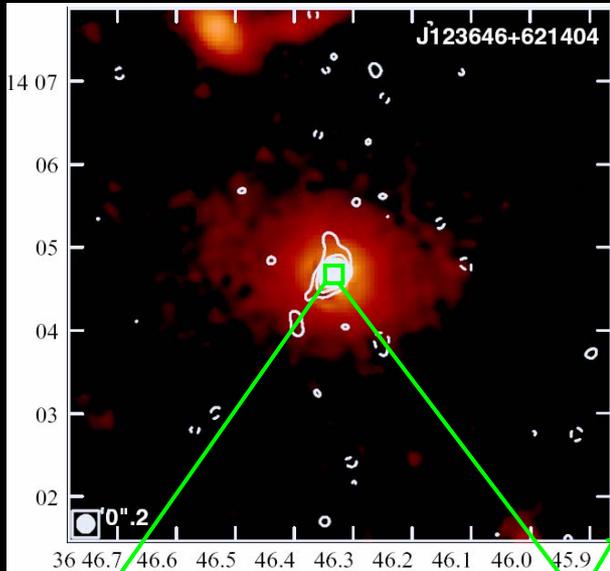
Medicina (IT)



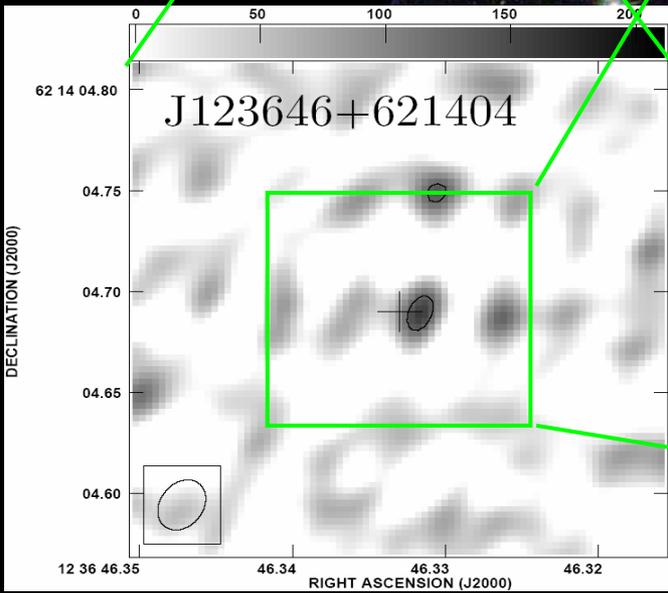
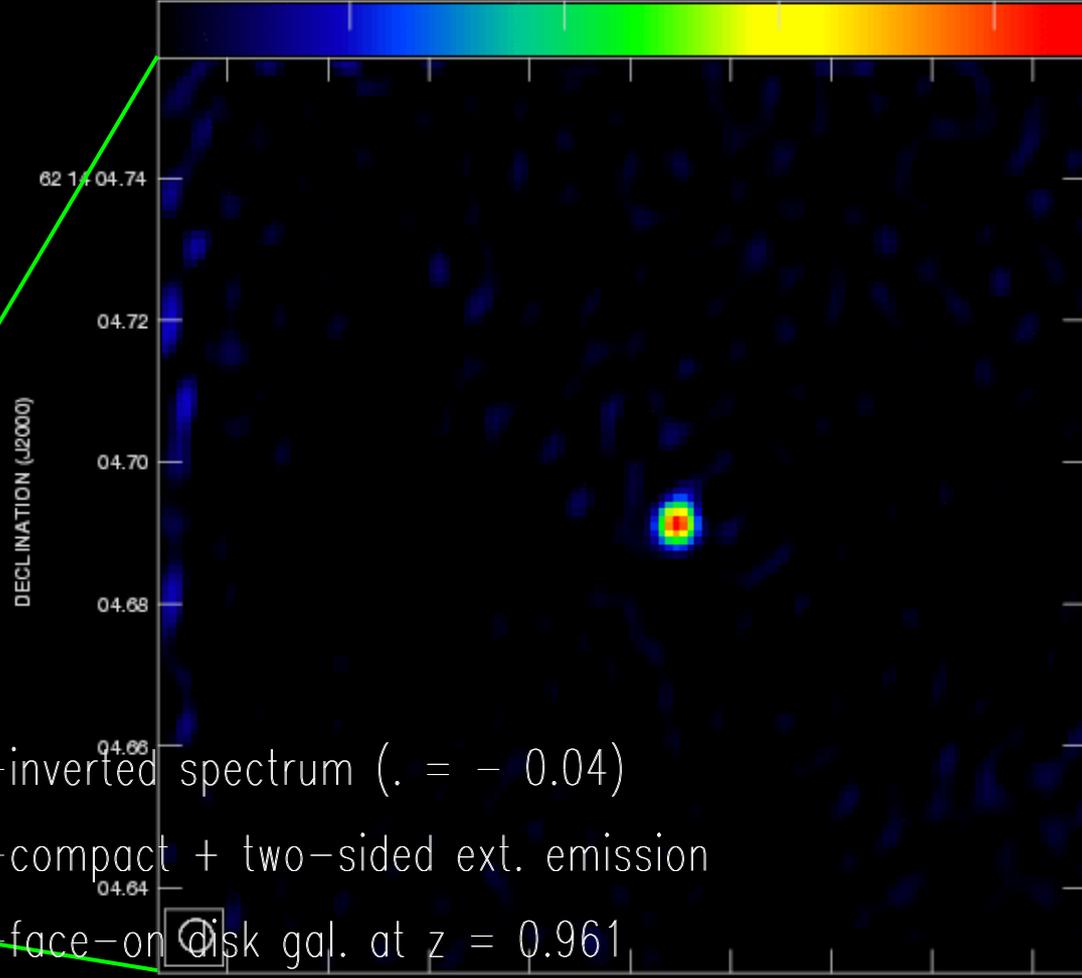
◆ EVN 1.6 GHz obs.  
(Garrett et al. 2001)

- 6 (MERLIN) targets
- noise level  $\sim 30$  Jy/beam  
(in dirty maps)
- 3 detections





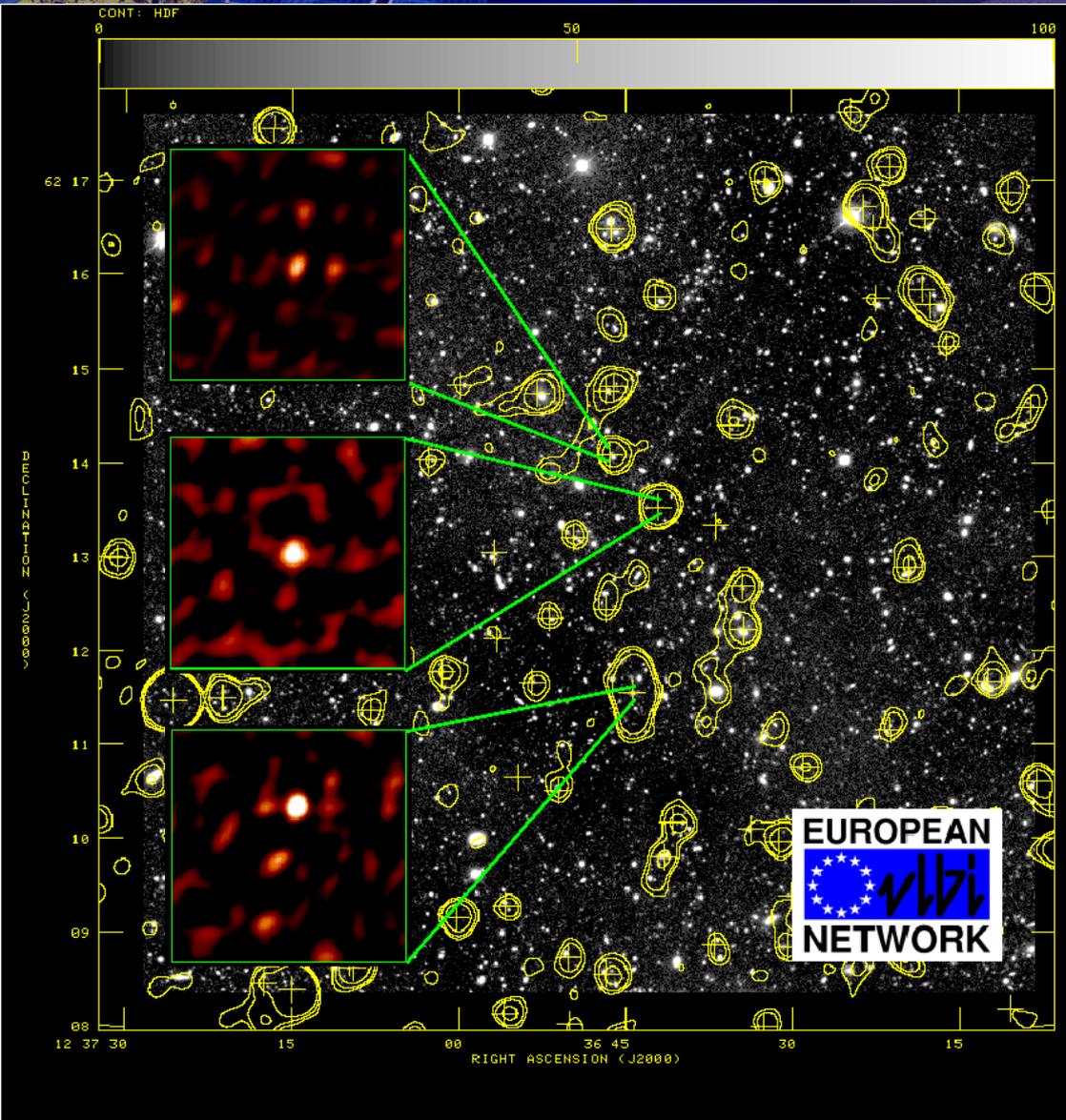
PLot file Version 1 created 07-JUL-2006 14:01:41  
GREY: HDF IPOL 1412.474 MHZ 1404 CL.ICL001.1



- inverted spectrum ( $\nu = -0.04$ )
- compact + two-sided ext. emission
- face-on disk gal. at  $z = 0.961$

Grey scale flux range= 7.0 220.0 MicroJY/BEAM

# Hubble Deep Field: EVN



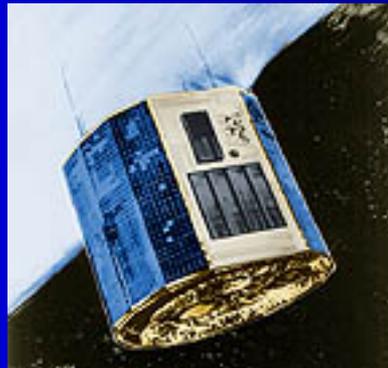
- 3 Radioquellen:
  - eine elliptische Galaxie
  - eine Spiralgalaxie
  - sehr weit entfernte, staubverdeckte starburst Galaxie
- Die schwächsten Radioquellen, die jemals mit Interferometrie detektiert wurden



# Deep Fields in „Bunt“ Chandra

# Early X-ray Surveys

- Uhuru (1970 10-1973 3) [2-20 keV]
- Ariel-V (1973 10-1980 3) [0.3-40 keV]
- HEAO-1 (1977 8-1979 1) [0.2keV-10MeV]



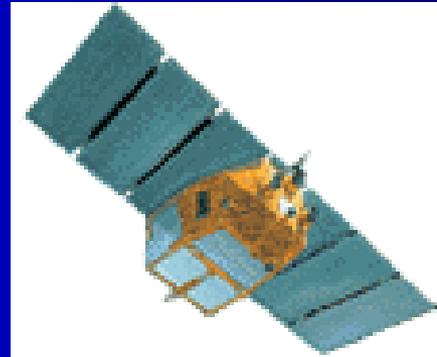
# Soft X-ray Surveys

- Einstein (1978 11-1981 4) [0.2-20 keV]
- ROSAT (1990 1-1999 2) [0.1-2.5 keV]



# Hard X-ray surveys

- ASCA (1993 2-2001 3) [0.4-10 keV]
- *BeppoSAX* (1996 4-2002 4) [0.1-300 keV]
- Fruit
  - ~ 500 serendipitous sources over ~ 100 deg<sup>2</sup>



# Deep Extragalactic X-ray Surveys



Einstein	EXOSAT	ROSAT	BBXRT /ASCA	<b>Chandra</b>	XMM-Newton
4	18	4	75	<b>0.5</b>	20

# Deep Extragalactic X-ray Surveys

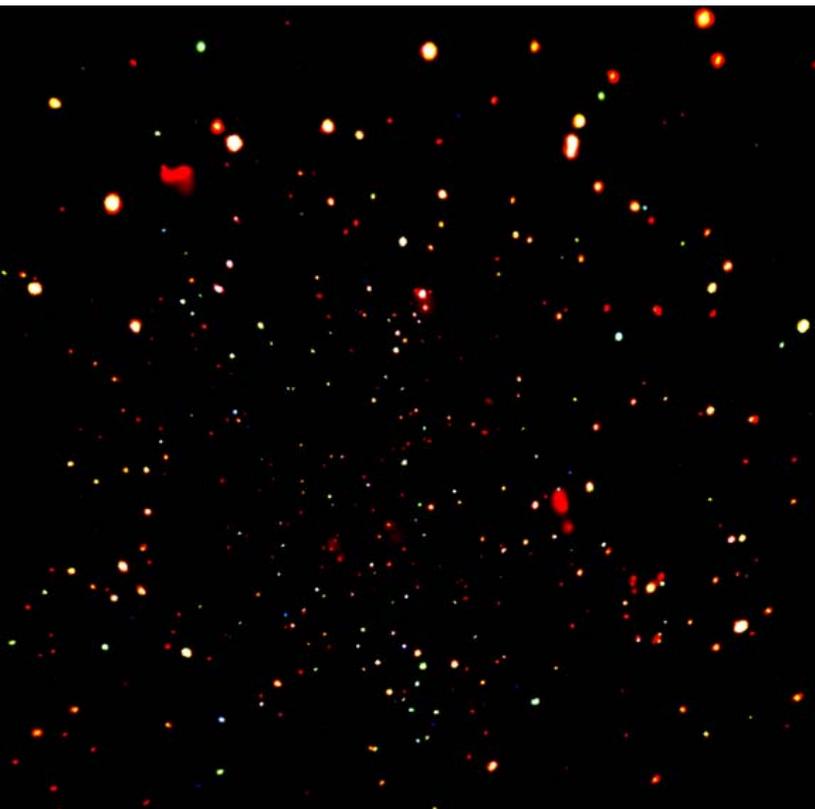
Chandra Deep Field-North

(a)

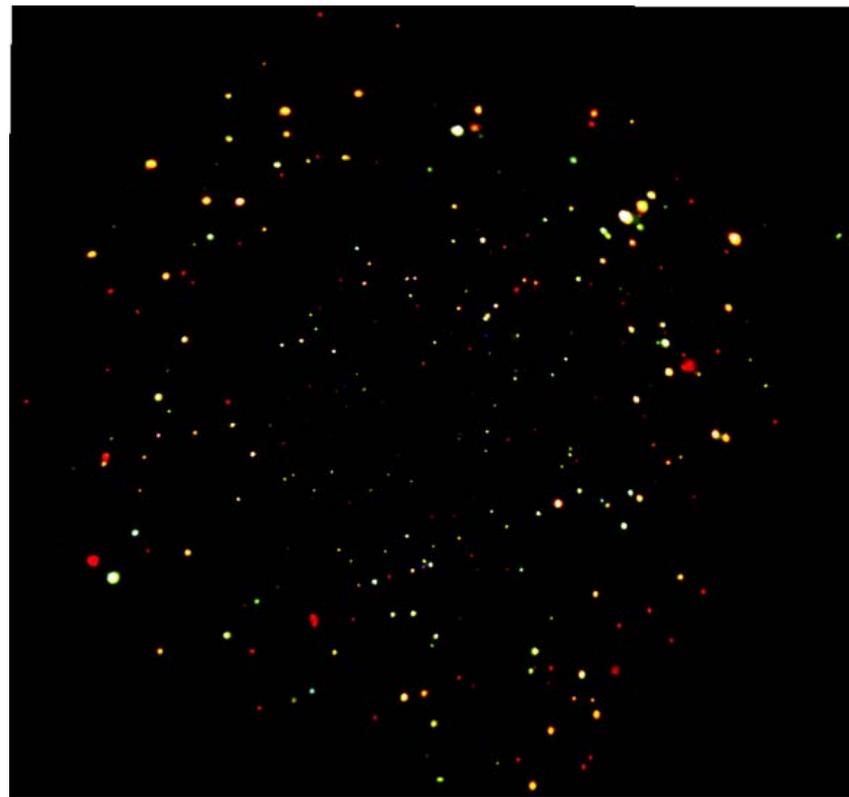


- Chandra Deep Field-North
- Tiefster 0.5-8.0 keV survey der jemals durchgeführt wurde
- 600 Quellen wurden detektiert
- 2 Ms Chandra ACIS-I über 448 Quadratgrad

# Deep Extragalactic X-ray Surveys



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



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

# Deep Extragalactic X-ray Surveys

Table 1: Deep Extragalactic X-ray Surveys with *Chandra* and *XMM-Newton*

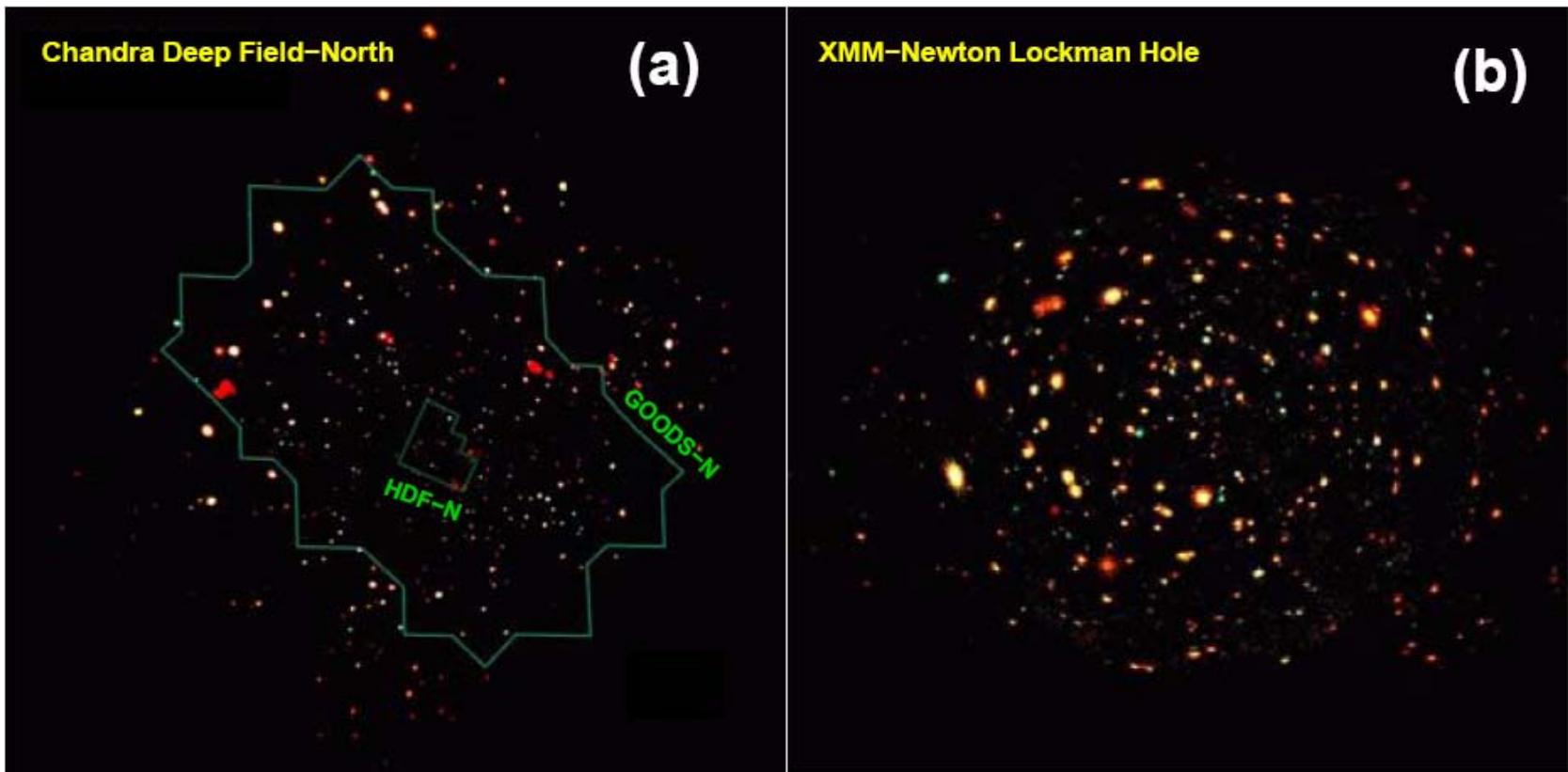
Survey Name	Max. Eff. Exp. (ks)	Solid Angle (arcmin <sup>2</sup> )	Representative Reference or Note
<i>Chandra</i>			
★ <i>Chandra</i> Deep Field-North	1950	448	Alexander et al. (2003b)
<i>Chandra</i> Deep Field-South	940	391	Giacconi et al. (2002)
HRC Lockman Hole	300	900	PI: S.S. Murray
Extended CDF-S	250	900	PI: W.N. Brandt
Extended Groth Strip	200	1800	Nandra et al. (2005)
Lynx	185	286	Stern et al. (2002a)
LALA Cetus	174	428	Wang et al. (2004b)
LALA Boötes	172	346	Wang et al. (2004a)
SSA13	101	357	Barger et al. (2001a)
Abell 370	94	357	Barger et al. (2001b)
3C 295	92	274	D'Elia et al. (2004)
SSA22 "protocluster"	78	428	Cowie et al. (2002)
ELAIS N1+N2	75	586	Manners et al. (2003)
<i>XMM-Newton</i>			
Lockman Hole	770	1556	Hasinger (2004)
<i>Chandra</i> Deep Field-South	370	802	Streblyanska et al. (2004)
<i>Chandra</i> Deep Field-North	180	752	Miyaji et al. (2003)
13 hr Field	130	665	Page et al. (2003)
Subaru <i>XMM-Newton</i> Deep	100	4104	PI: M.G. Watson
ELAIS S1	100	1620	PI: F. Fiore
Groth-Westphal	81	727	Miyaji et al. (2004)
Marano Field	79	2140	Lamer et al. (2003)
COSMOS	75	7200	PI: G. Hasinger

## C O S M O S

- HST Treasury Project, 2 .... mit der Advanced Camera for Surveys (ACS)
- tiefste Beobachtung, die HST je gemacht hat: 10% (640 Orbits) der HST-Zeit in zwei Jahren
- VLA, VLT, ... Subaru...
- Zusammenarbeit von 100 Wissenschaftlern
- Zusammenhang untersuchen: Großräumige Strukturen, Entstehung von Galaxien, Nukleare Aktivität in den Zentren
- Ziel:
  - 2 Mio Objekte mit  $z > 27$
  - 35 000 Lyman Break Galaxien (LBGs)
  - extrem rotverschobene Galaxien ( $z \sim 5$ )
- Alle HST Beobachtungen beendet, Nachfolgebeobachtungen beendet

# Deep Extragalactic X-ray Surveys

- 21 surveys haben insgesamt 80 Tage Aufnahmezeit
- Die empfindlichsten surveys: 2.0 Ms Chandrad Deep Field-North und 770 ks XMM-Newton Lockman Hole



# Deep Extragalactic X-ray Surveys

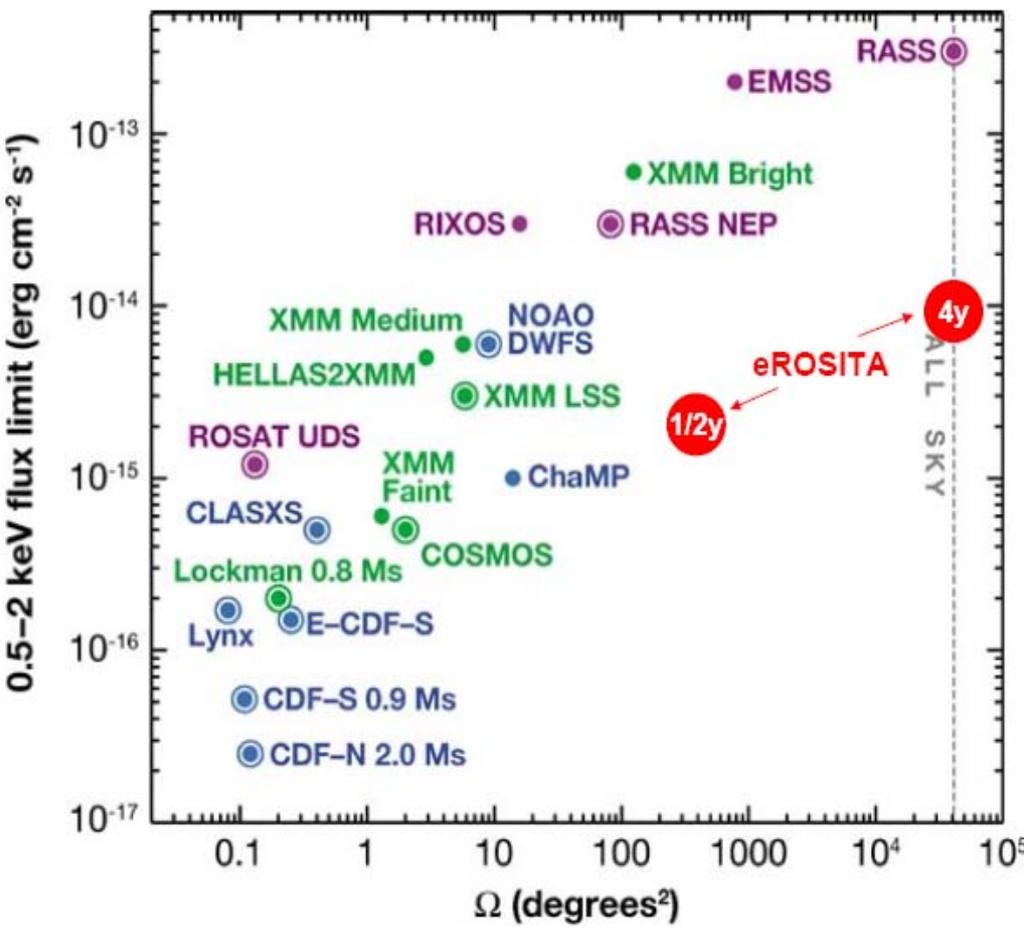


- Feldauswahl unterschiedlich zu Hubble Deep Field:
  - möglichst viel Multiwellenlängeninformation, oder schon ein interessantes astronomisches Objekt im Feld vorhanden
  - Wenig galaktische Vordergrund Röntgen-Absorption (Lockman)

- mehr als 70% der Röntgenquellen in tiefen Chandra- und XMM-Durchmusterungen sind AGN
- AGN Dichte in CDF ist 10-20 mal höher als in den tiefsten optischen spektroskopischen Durchmusterungen bei  $z > 4$ :
  - 30-150  $\text{deg}^{-2}$  im Röntgenbereich
  - und
  - 0.12  $\text{deg}^{-2}$  im Optischen (SDSS)



# Deep Extragalactic X-ray Surveys



• **eROSITA** (*extended Röntgen Survey with an Imaging Telescope Array*):  
 Faktor 30 tiefer als ROSAT (0.5-2keV)  
 100 000 Galaxienhaufen und 3.4 Mio AGK

Erwartet	[450, 120, 36, 10]
AGN@z >	[ 6, 7, 8, 9]



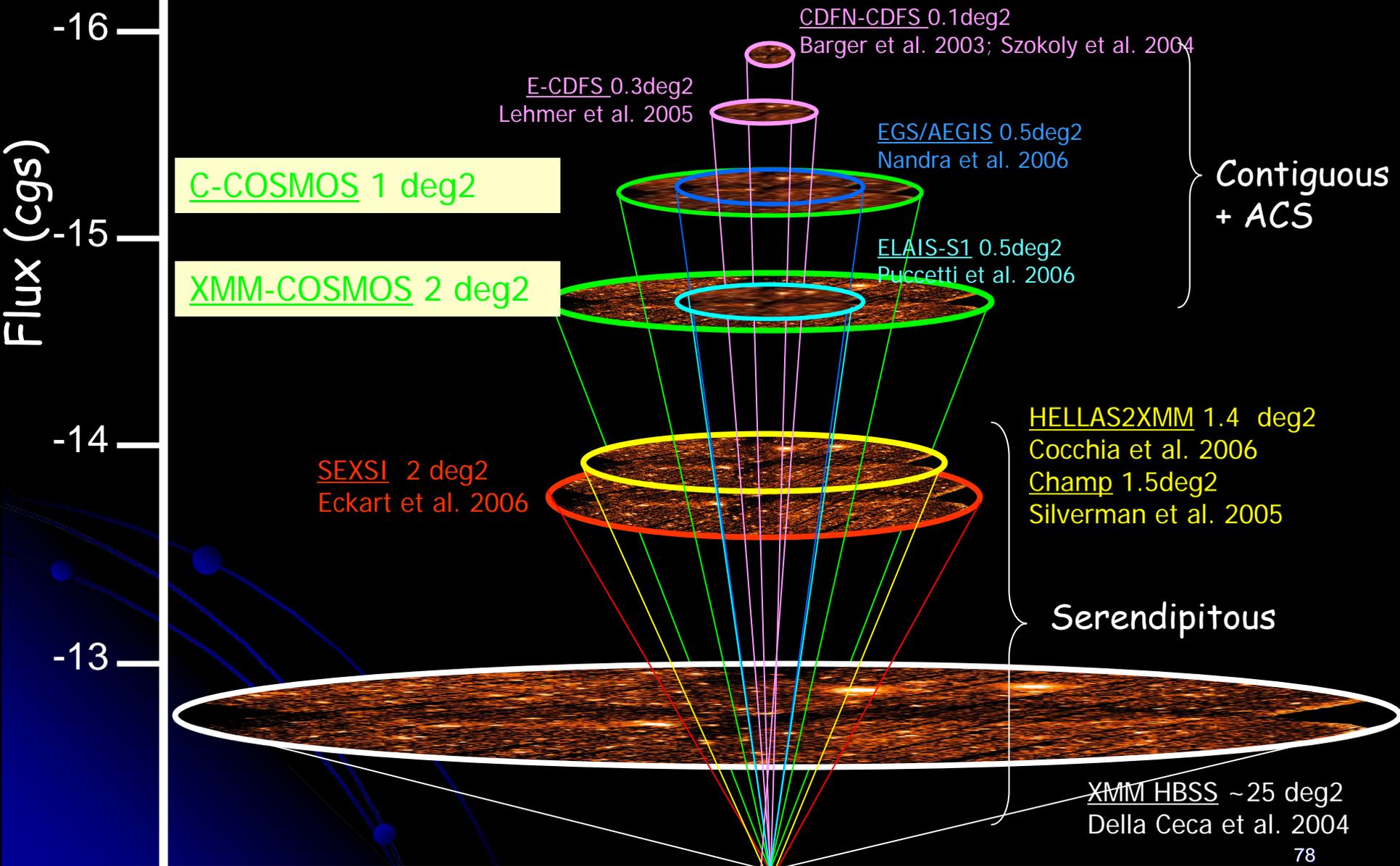
# ChaMP



- Multiwellenlängen-Identifikations-Programm für die Chandra-Quellen, die nicht identifiziert wurden
- kombiniert Radio-Röntgenbeobachtungen, optische Durchmusterung als Rückrat
- 8 Quadratgrad pro Jahr
- Röntgenpositionen 1“
- Röntgenflüsse 20x tiefer als bisher in Surveys
- außerdem: Chandra Galaktische Ebene Durchmusterung (ChaMPlane)

# X-ray surveys

F. Fiore, M. Brusa



(see Brandt & Hasinger 2005 review (ARA&A 43, 827))

# Deep Extragalactic X-ray Surveys



- Problematisch: die Klassifikation der in den tiefen Röntgen-surveys gefundenen:
  - die Quellen sind zu schwach, 50-70% Rotverschiebungen höchstens können bestimmt werden
  - Geringe optische Leuchtkraft der Quellen (Absorption) / Licht der hostgalaxie kann spektrale nukleare Indizien verdecken
  - Nicht alle Röntgenabsorbierten AGN haben Typ 2 optische Spektren und nicht alle AGN mit Typ 1 optischen Spektren sind Röntgen-nicht-absorbiert



# 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

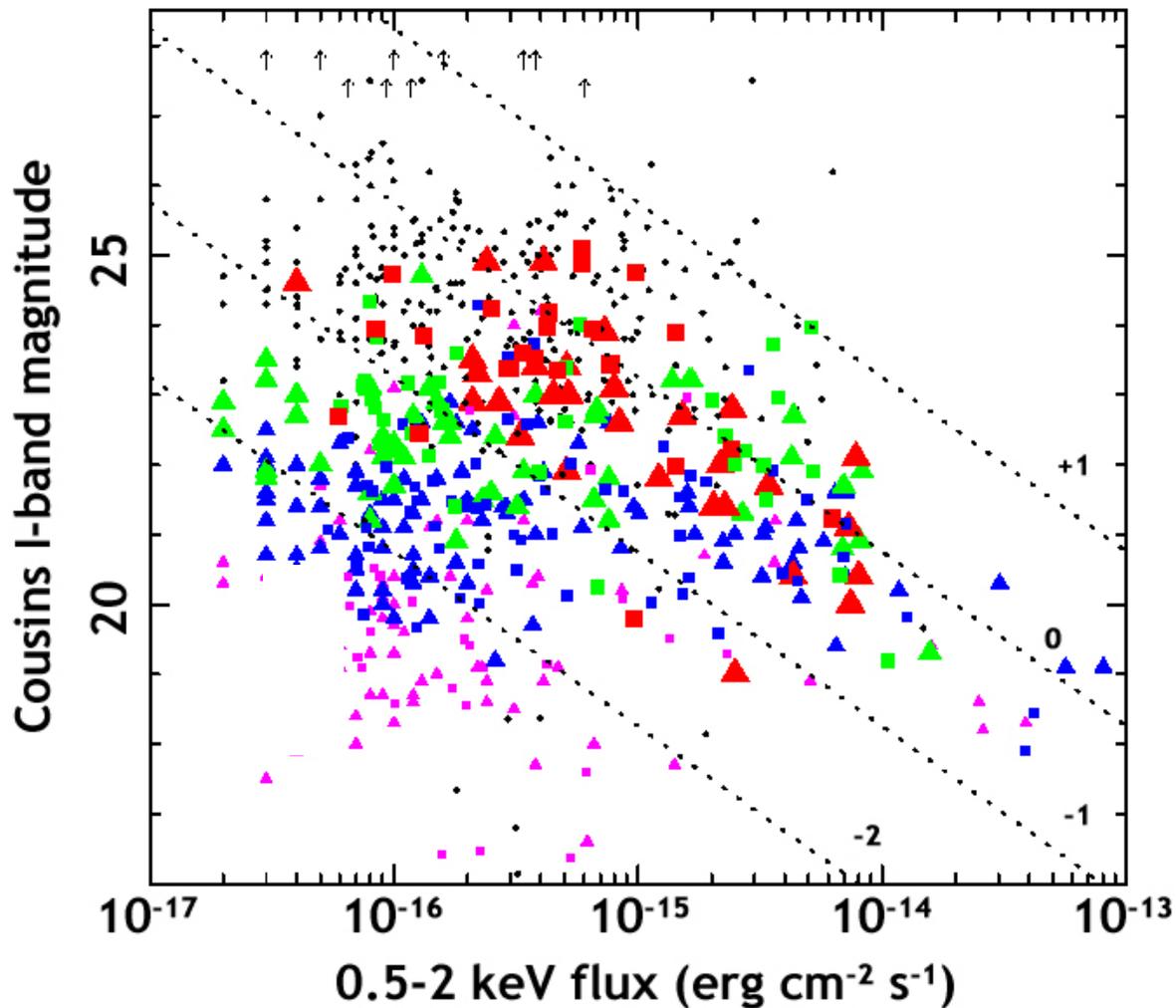
(X-ray Bright Optically Normal Galaxies)

# Deep Extragalactic X-ray Surveys



- 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”
- AGN in tiefen Röntgen-surveys finden sich in Galaxien mit signifikanten bulge-Komponenten
- Keine Anzeichen verstärkter Wechselwirkungen
- Die meisten AGN sind “radio leise”
- Weitere Objekte in diesen surveys:
  - Starburst und normale Galaxien, bei den schwächsten Flußniveaus
  - Galaxienhaufen ( $z \sim 0.1-1$ )
  - Galaktische Sterne

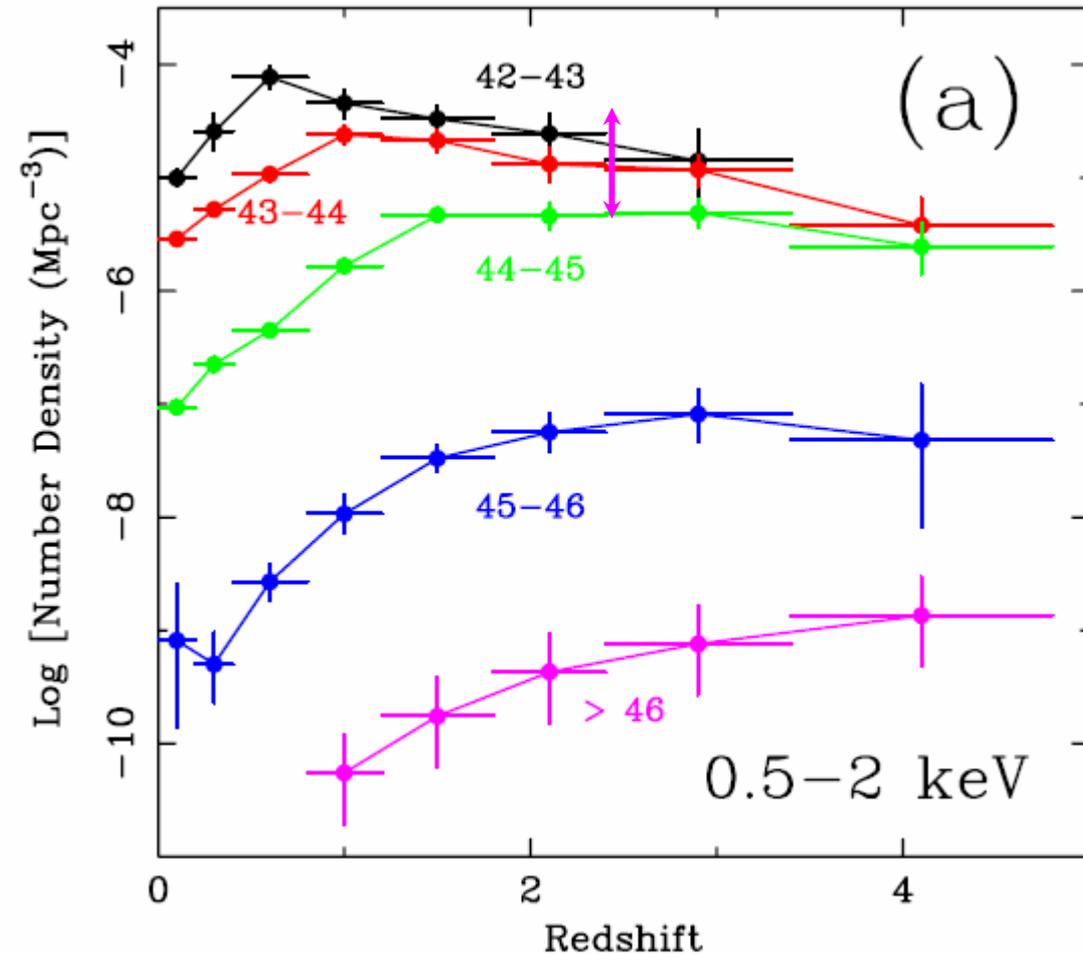
# Optical-X-ray Brightness for Chandra Deep Field Sources



- $z \sim 0-0.5$  violett
- $z \sim 0.5-1$  blau
- $z \sim 1-2$  grün
- $z \sim 2-6$  rot
- Schwarze Punkte: Quellen ohne spektroskopische Rotverschiebung, weiter Bereich in optischer Magnitude bei schwachen Röntgenflüssen
- Großer Teil der optisch schwachen Quellen hat keine spektroskopische Rotverschiebung

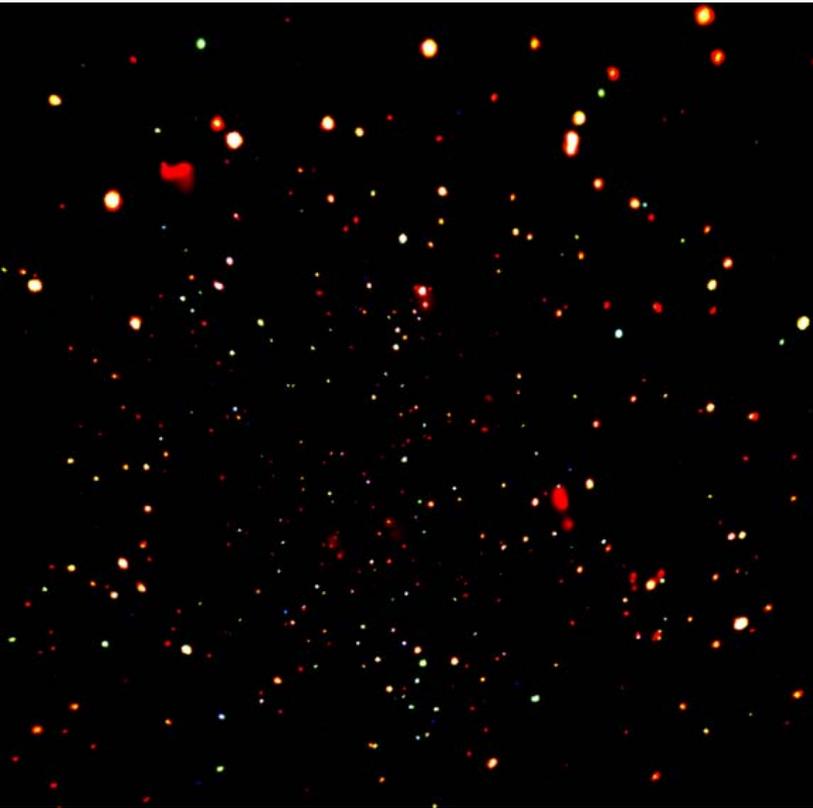
*Brandt & Hasinger 2004*

# Comoving space density

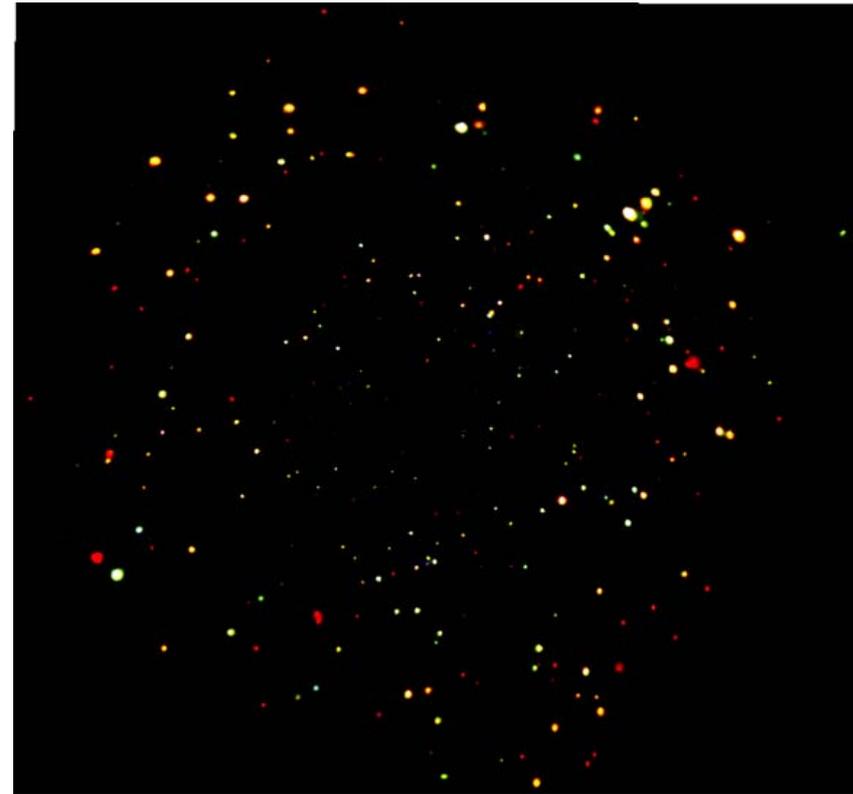


- Seit 1968 weiß man, daß Quasare sich positiv entwickeln mit einer comoving space density bei  $z \sim 2$ , die 1000 mal höher ist als bei  $z \sim 0$
- PLE oder PDE? LDDE? Reine Leuchtkraft-Entwicklung oder Leuchtkraft-abhängige Dichteentwicklung?
- Problem mit PLE: zu viele zu schwere Schwarze Löcher vorausgesagt
- Problem mit PDE: zu hohe lokale Dichte an Quasaren und CXRB
- Starke positive Entwicklung von  $z \sim 0-2$  nur bei starken Leuchtkräften, schwächere AGN entwickeln sich weniger stark

# Deep Extragalactic X-ray Surveys, Resultate



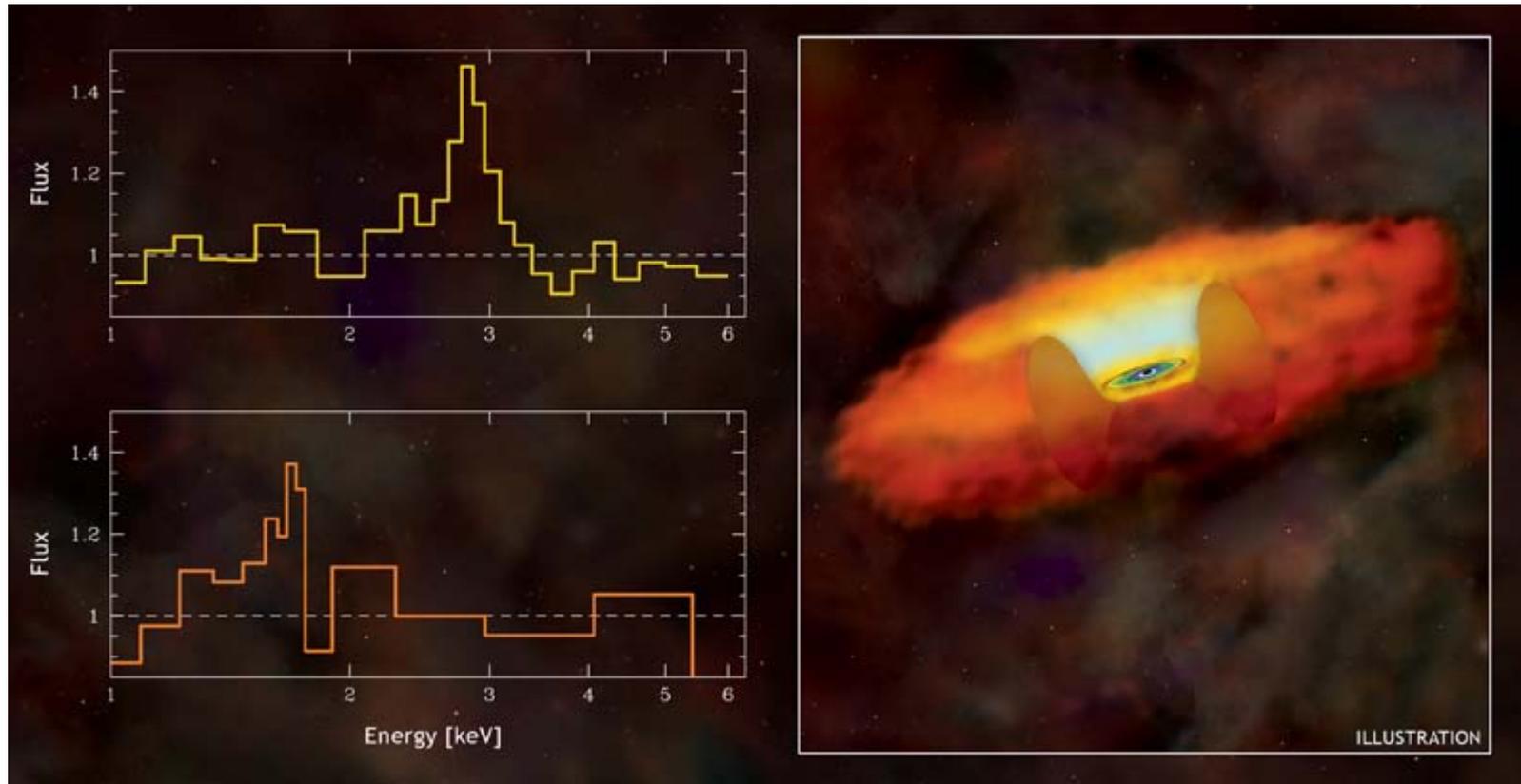
**CHANDRA Deep Field-North: 28'**



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

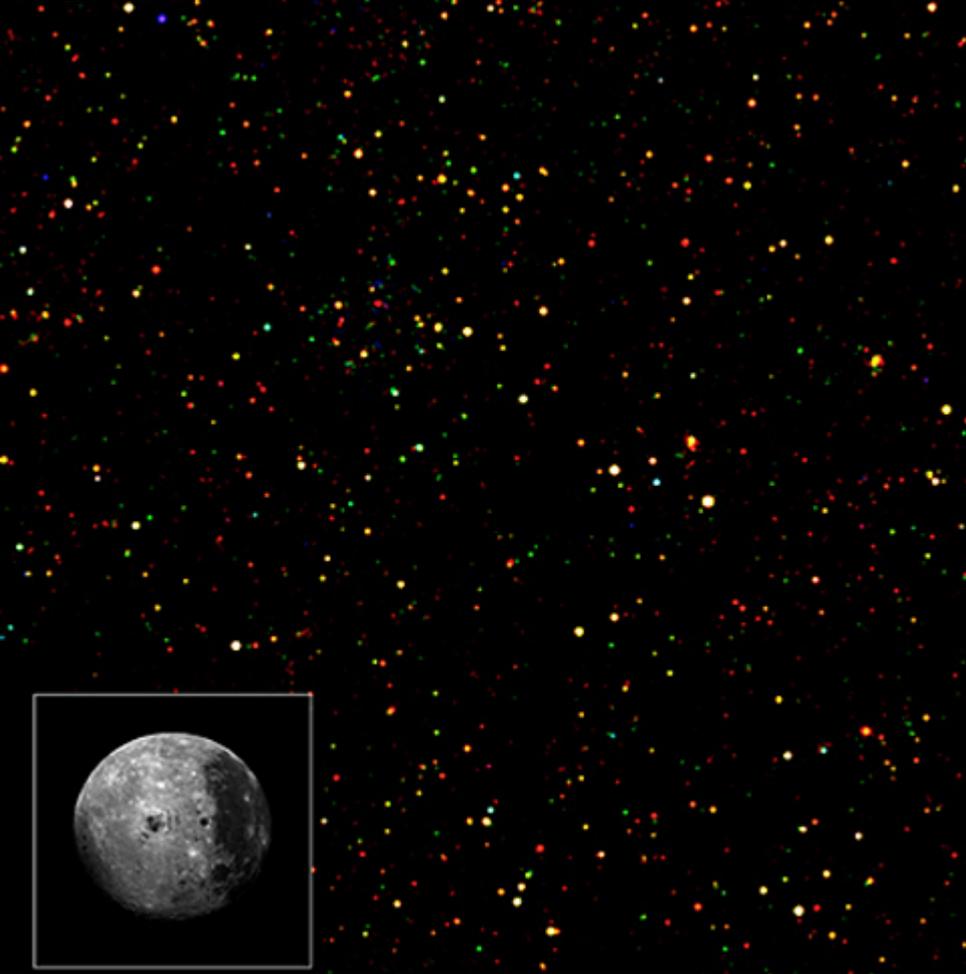
- Aus Spektren von mehr als 200 Supermassiven Schwarzen Löchern: Eisenmenge in den Zentren bestimmt

# Deep Extragalactic X-ray Surveys, Resultate



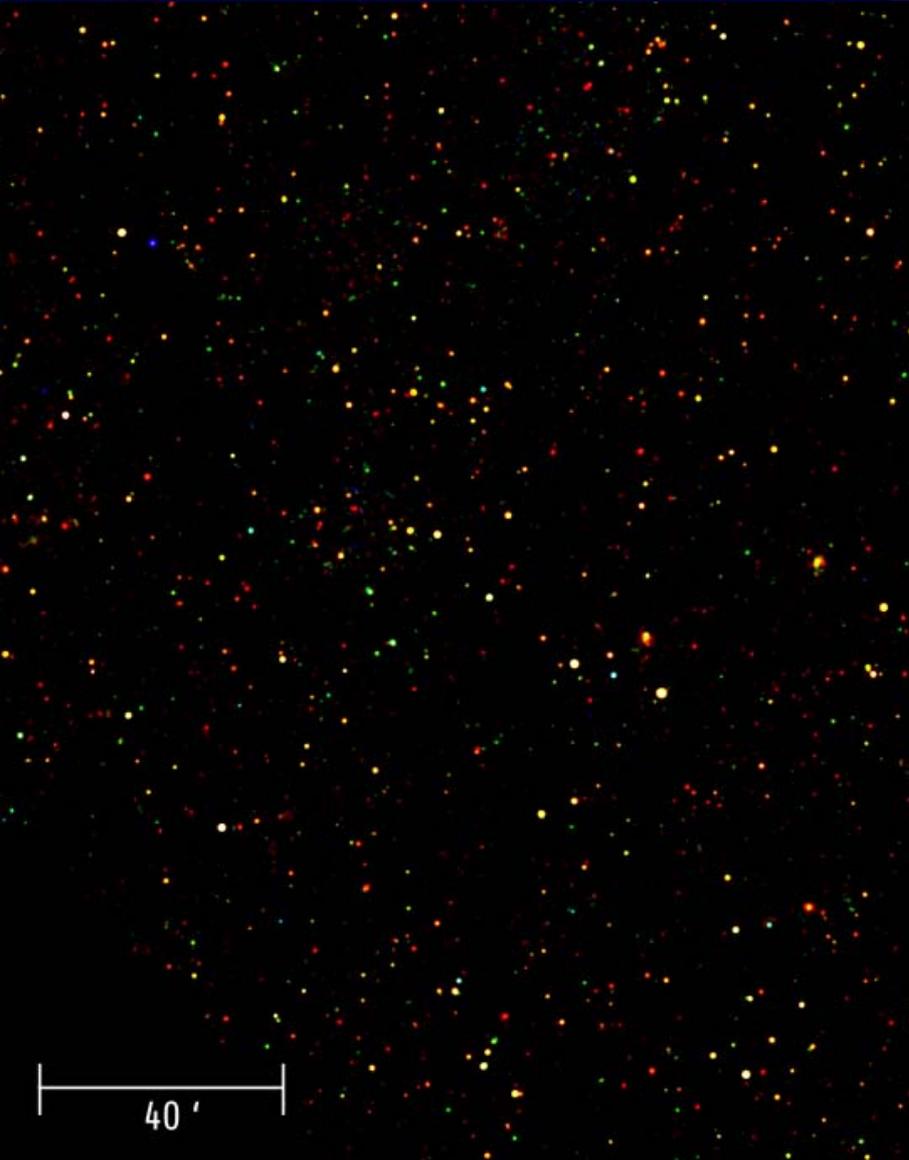
- Oben: 50 SL in 9 Milliarden Lj Entfernung
- Unten: 22 SL in 11 Milliarden Lj Entfernung
- => Eisenmenge hat sich vermutlich nicht signifikant geändert: Eisen wurde sehr früh in den Galaxien erzeugt

# Deep Extragalactic X-ray Surveys + Spitzer



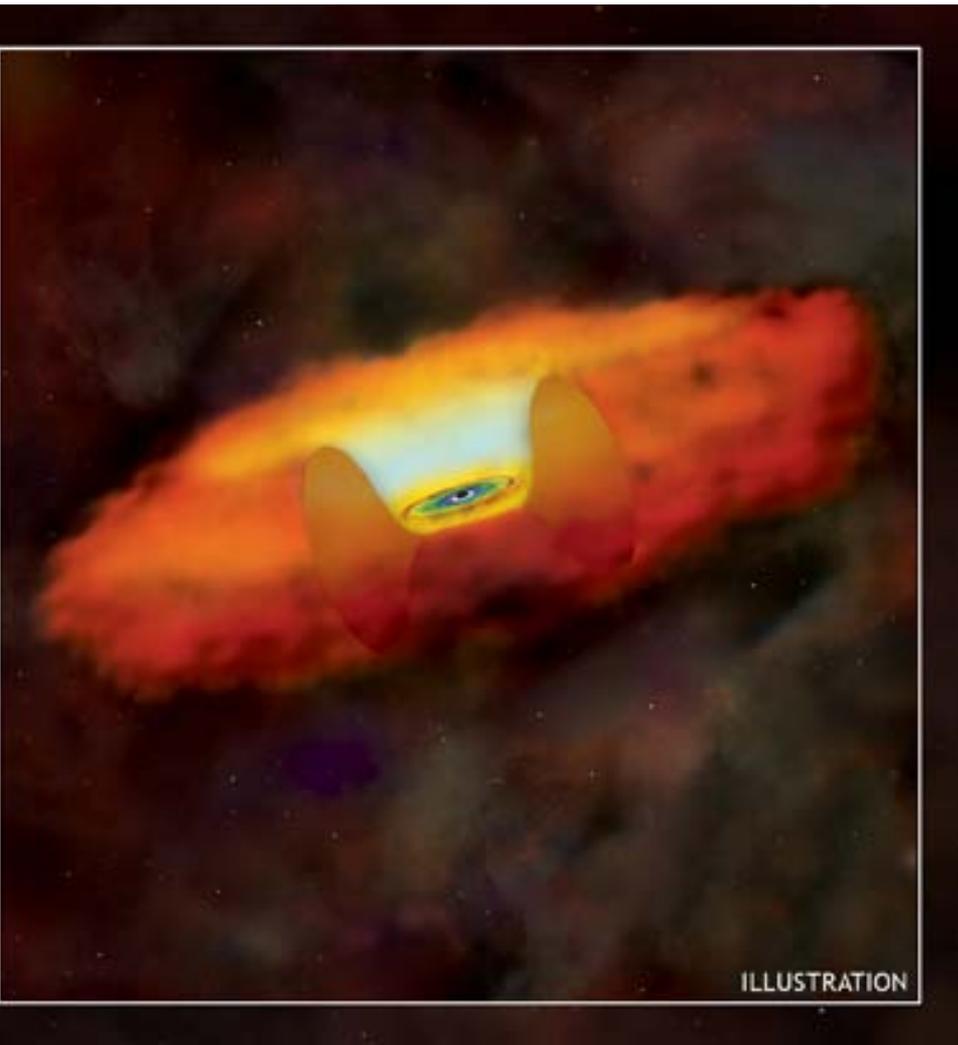
- CHANDRA & Spitzer (+bodengebundene optische Teleskope): Bild von mehr als 1000 Schwarzen Löchern
- Wide-field Panorama
- 126 separate CHANDRA Belichtungen (jede mehr als 5000 Sekunden)
- Das größte kontinuierliche Feld
- 9.3 Quadratgrad, 40 mal größer als der Vollmond

# Deep Extragalactic X-ray Surveys + Spitzer



- Ergebnisse: Zweifel am Gas-Torus
- Grund: erwartet wurden alle Sorten von Verdeckungen, statt dessen: entweder „nackt“ oder bedeckt, wenige dazwischen; 600 obscured und 700 unobscured, zw. 6 und 11 Milliarden Lichtjahre Entfernung
- Spitzer: erlaubt Separation zwischen AGN und Sterne und Galaxien: Multifrequenz

# Deep Extragalactic X-ray Surveys + Spitzer



## Zweifel am Torus:

- Möglicherweise „patchy“
- Existent?
- Absorptionsuntersuchungen?

# 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

**Geändert!!**