

Sommersemester 2005

Aktive Galaxienkerne vom Radio- zum Gamma-Bereich



Silke Britzen

e-mail: sbritzen@mpifr-bonn.mpg.de

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

Max-Planck-Institut
für
Radioastronomie



Sommersemester 2005

Termine & Programm

15.04.:Ausblick (dieses Semester) &

Zusammenfassung (letztes Semester)

29.04.:Beobachtungstechniken

13.05.:Ausgewählte AGN - typische Eigenschaften &

Spektrale Energieverteilung

27.05.:Zusammenfassung & Schwarze Löcher, Multiple Systeme

10.06.:Kosmologie & AGN

Teil I) AGN finden – Durchmusterungen (optisch - Radio - Röntgen)

24.06.:Kosmologie & AGN

Teil II) Kosmologische Entwicklung der AGN

08.07.: Licht



Zusammenfassung:
Auf der Suche nach
Aktiven Galaxienkernen

Die Suche nach Aktiven Galaxienkernen



- Quasare als Testobjekte für die Entwicklung des Universums
- 2 Ziele:
 - 1) Charakteristiken der Population als Funktion der Rotverschiebung
 - 2) die entferntesten Objekte als Markierungsobjekte für das Einsetzen der Galaxienbildung im Universum
- aus Durchmusterungen erhofft man sich:
 - die Quasar Oberflächendichte: die Zahl der Quasare pro Quadratgrad als Funktion der Flußdichte und der Rotverschiebung - >
 - die Leuchtkraft-Funktion: relative Anzahl der AGN bei einer bestimmten Leuchtkraft + Raumdichte: Gesamtzahl der Quellen pro mitbewegtem Einheits-Volumen über einen spezifischen Leuchtkraft-Bereich; log N- log S Tests

Die Suche nach Aktiven Galaxienkernen

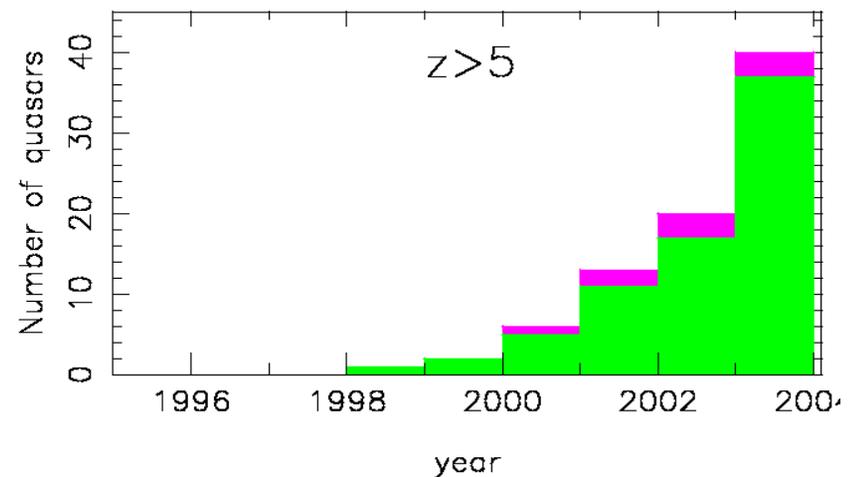
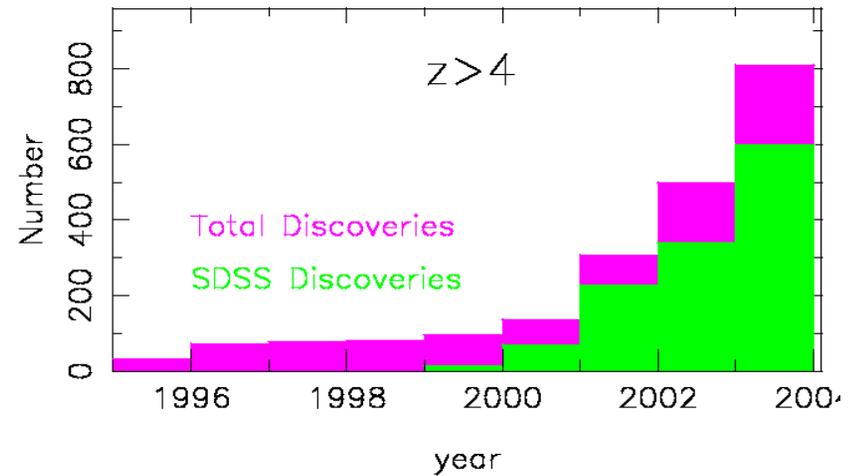


- Wie entwickelt sich ein Quasar? 2 Möglichkeiten existieren:
- ein kleiner Teil der hellen Galaxien beherbergt ein AGN und die Leuchtkraft dieser Objekte ändert sich systematisch mit der Zeit (**Leuchtkraft Evolution; Raumdichte bleibt konstant mit Zeit, Objekte sind heute schwächer als sie es waren**)
- alle hellen Galaxien beherbergen AGN, aber zu jeder Zeit sind die meisten im "Schlafzustand", der Anteil der Quellen im "aktiven Zustand" ändert sich mit der Zeit (**Dichte Evolution; Form der Leuchtkraft Funktion ändert sich nicht mit der Zeit, aber die mitbewegte Raumdichte der AGN**)

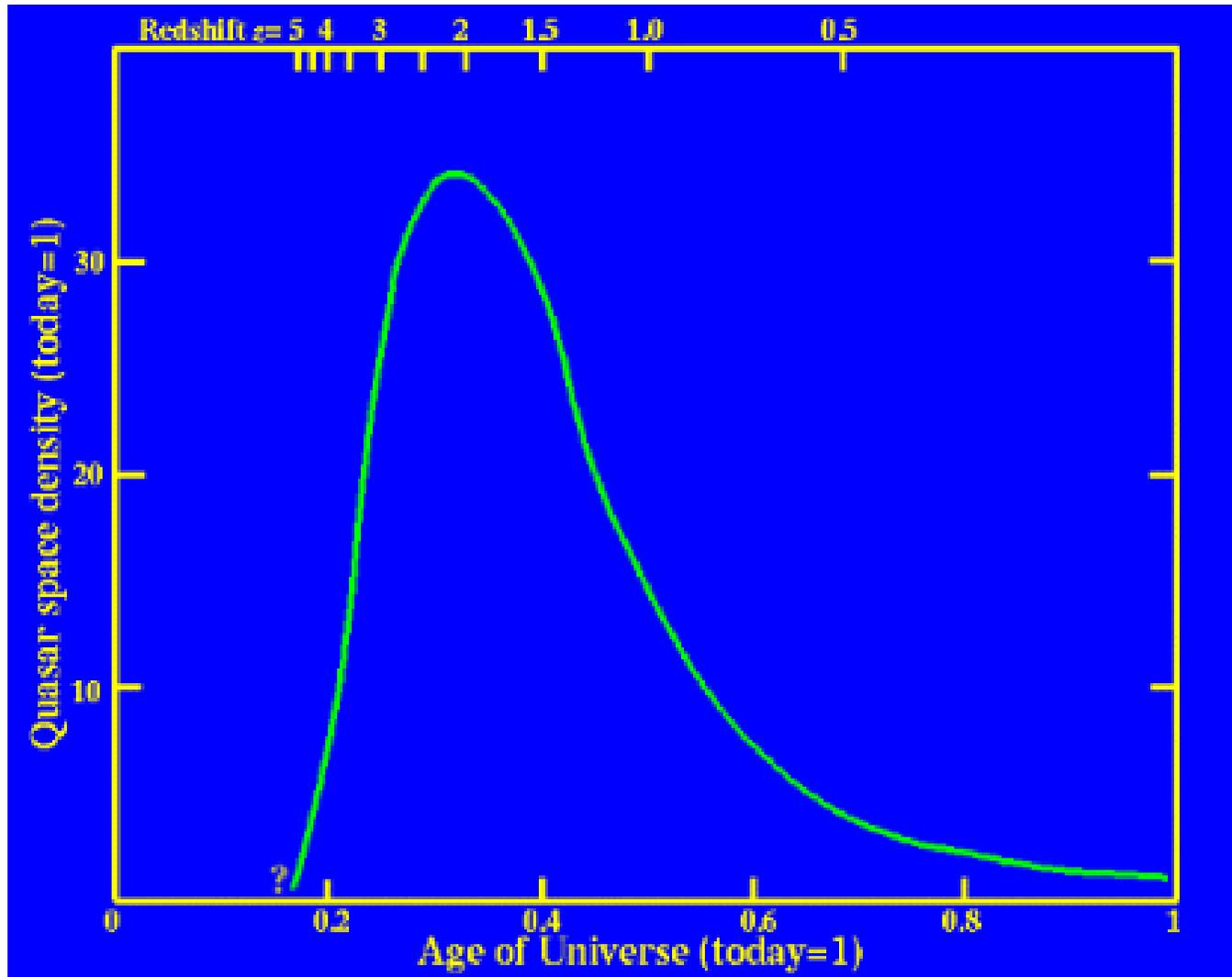
Die höchstrotverschobenen Quasare



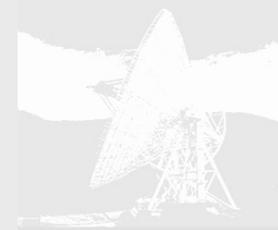
- $z > 4$: ~700 bekannt
- $z > 5$: ~30
- $z > 6$: 7
- 20 – 40 bei $z \sim 6$ erwartet im gesamten survey



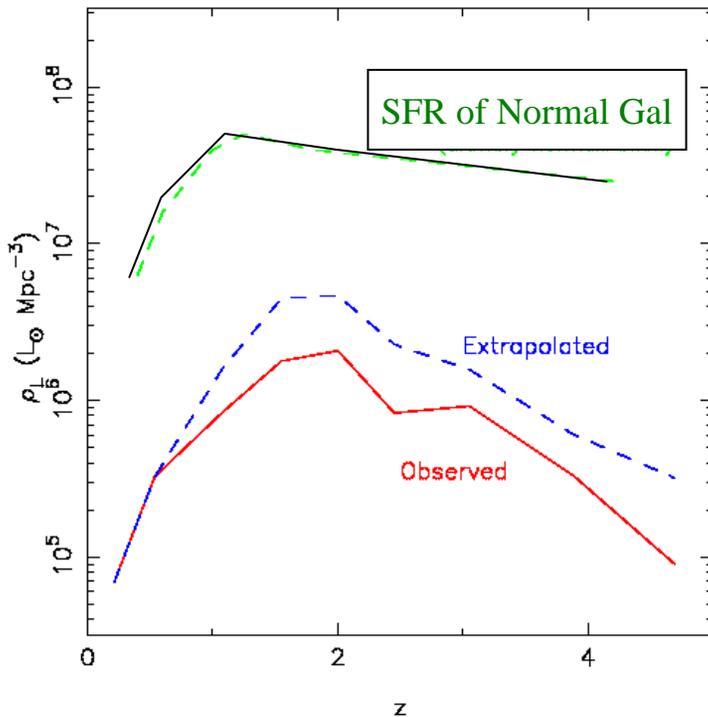
Geschichte der Durchmusterungen



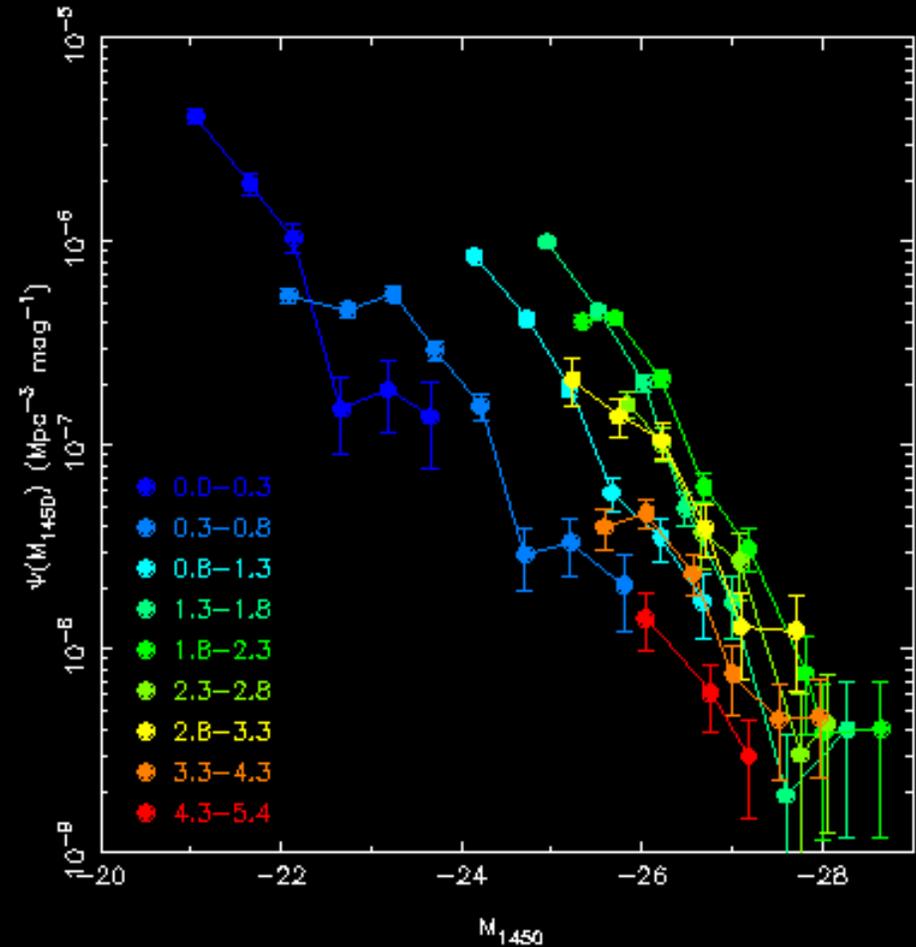
Entwicklung der Quasar Leuchtkraft Funktion



Evolution of Quasar Luminosity Density



SDSS Quasar Luminosity Function : $0 < z < 5.4$

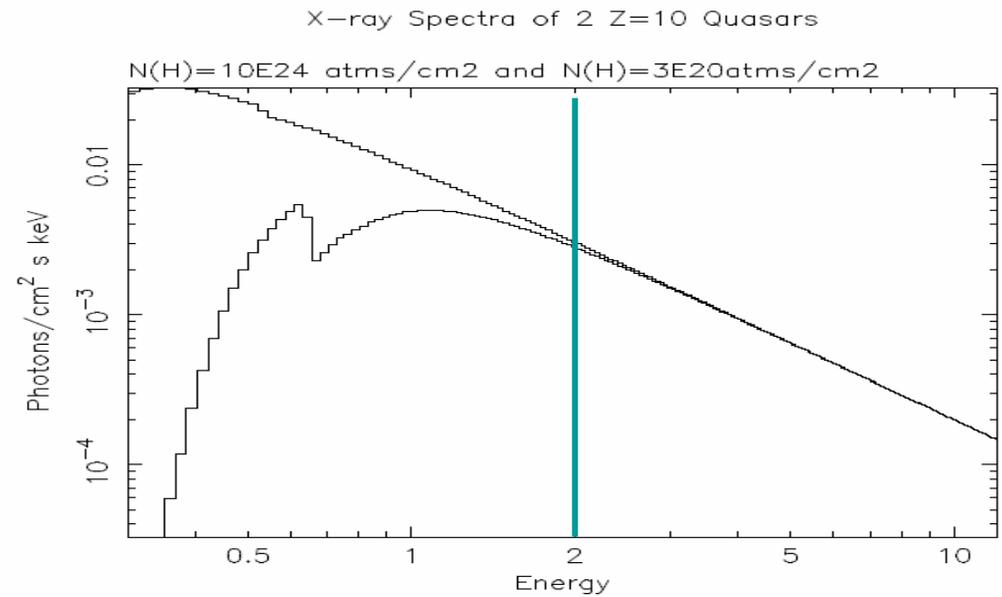
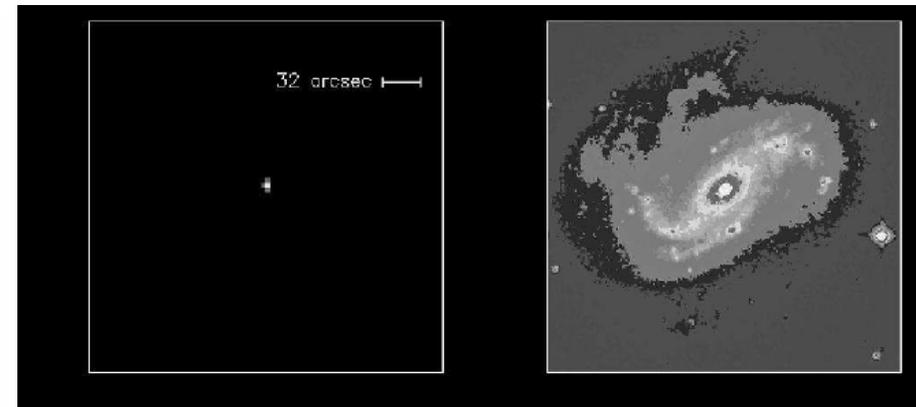
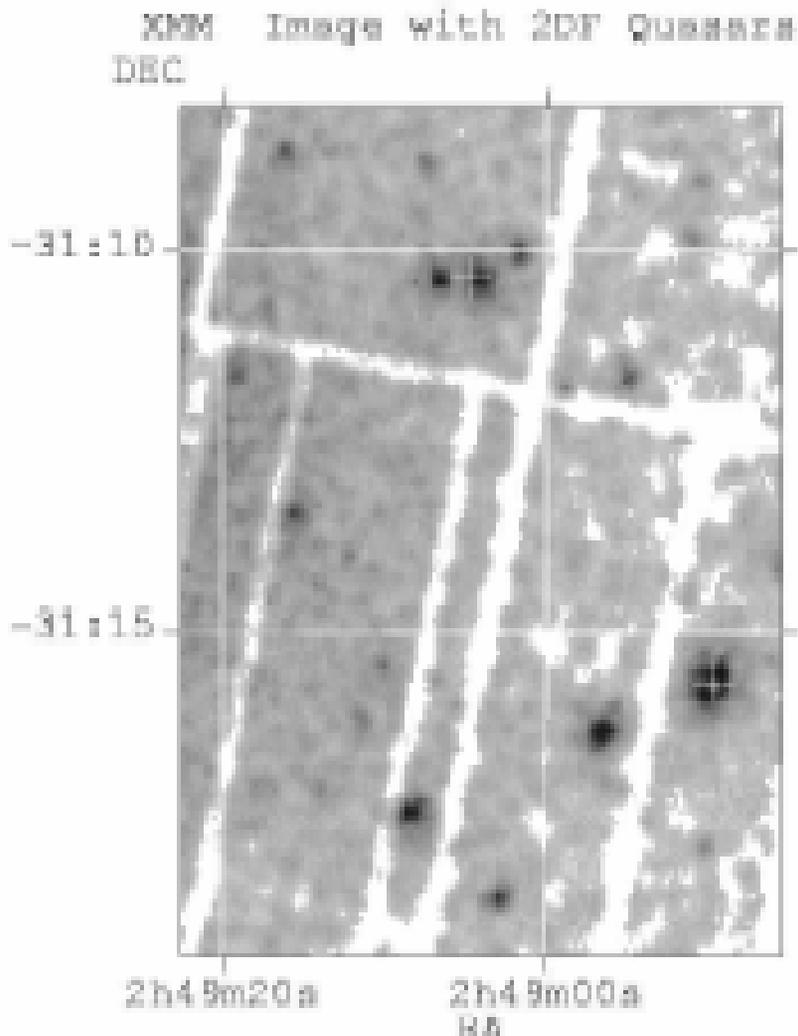


Exponentieller Abfall der Quasar-Dichte mit hoher Rotverschiebung, Verschieden von normalen Galaxien

Geschichte der Durchmusterungen - Röntgen -

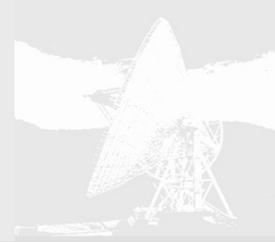


Vergleich 2dF - XMM



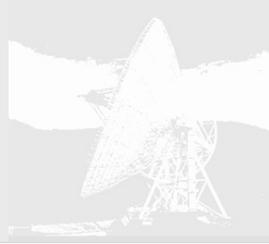
Geschichte der Durchmusterungen

- Röntgen -



- Großer Teil der bolometrischen Energie (3-20%) wird im Röntgenbereich abgestrahlt.
- Große Flächendichte (400 Quadratgrad)
- Große Amplitude und Frequenz der Variabilität im Röntgen-Band.
- Wenig Kontamination mit anderen Objekten
- Hoch-rotverschobenen Quasare sind leicht zu detektieren
- Spart Nachfolge-Arbeiten

Geschichte der Durchmusterungen - Röntgen -



- Weiche Röntgen-Durchmusterungen
- Harte Röntgen-Durchmusterungen
 - Pre-*Chandra* und *XMM-Newton*
 - Tiefe *Chandra* und *XMM-Newton* Durchmusterungen
- 2Ms Chandra Point-Source CATA

XMM, Mkn 205, 5 Stunden, 60 weitere Quellen detektiert

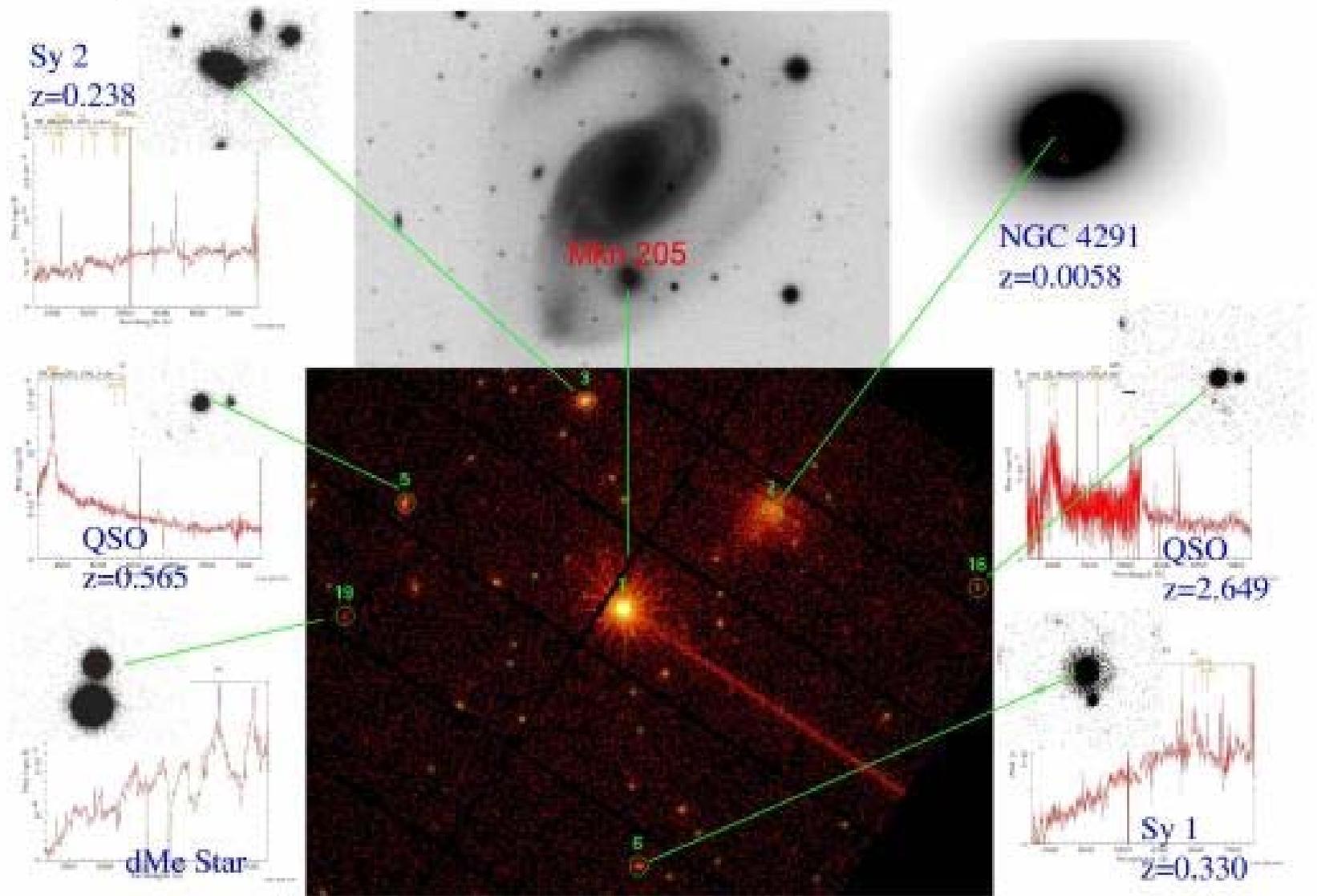
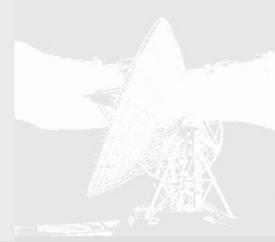


Image courtesy of X. Barcons,
Instituto de Fisica de Cantabria, Spain,
SSC, AXIS and ESA.

Geschichte der Durchmusterungen - Röntgen -

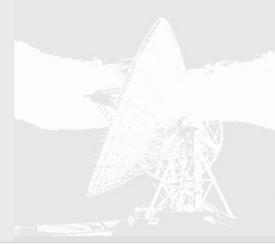


- Akurate Positionen mit *Chandra*
 - ~ 0.5 arcsec

| Einstein | EXOSAT | ROSAT | BBXRT /ASCA | Chandra | XMM- Newton |
|----------|--------|-------|----------------|----------------|----------------|
| 4 | 18 | 4 | 75 | 0.5 | 20 |

Geschichte der Durchmusterungen

- Röntgen -



- Röntgen-Beobachtungen
- Vorteil der Röntgen-Durchmusterungen:
 - Röntgenstrahlung stammt aus den innersten Regionen: direktes Fenster zu den Akkretionsprozessen
 - Weniger geschwächt durch Absorption als optisch/UV
 - Mehr und schwächere Quellen (einfachere Auswahlkriterien)

- Ergebnisse:

- Mitbewegte Raumdichte der **leuchtschwachen** AGN ($L_{2-8 \text{ keV}} < 10^{44} \text{ erg}$) AGN in harten Röntgen-Durchmusterungen peakt bei $z = 1.0$ (e.g. Barger et al 2003, Cowie et al 2003)
- **leuchtkräftige** ($L_{2-8 \text{ keV}} > 10^{44} \text{ erg}$) Objekte dagegen bei $z \approx 2.5$, (ähnlich zu optischen Durchmusterungen)

=>: reine Leuchtkraft-Evolution definitiv ausgeschlossen

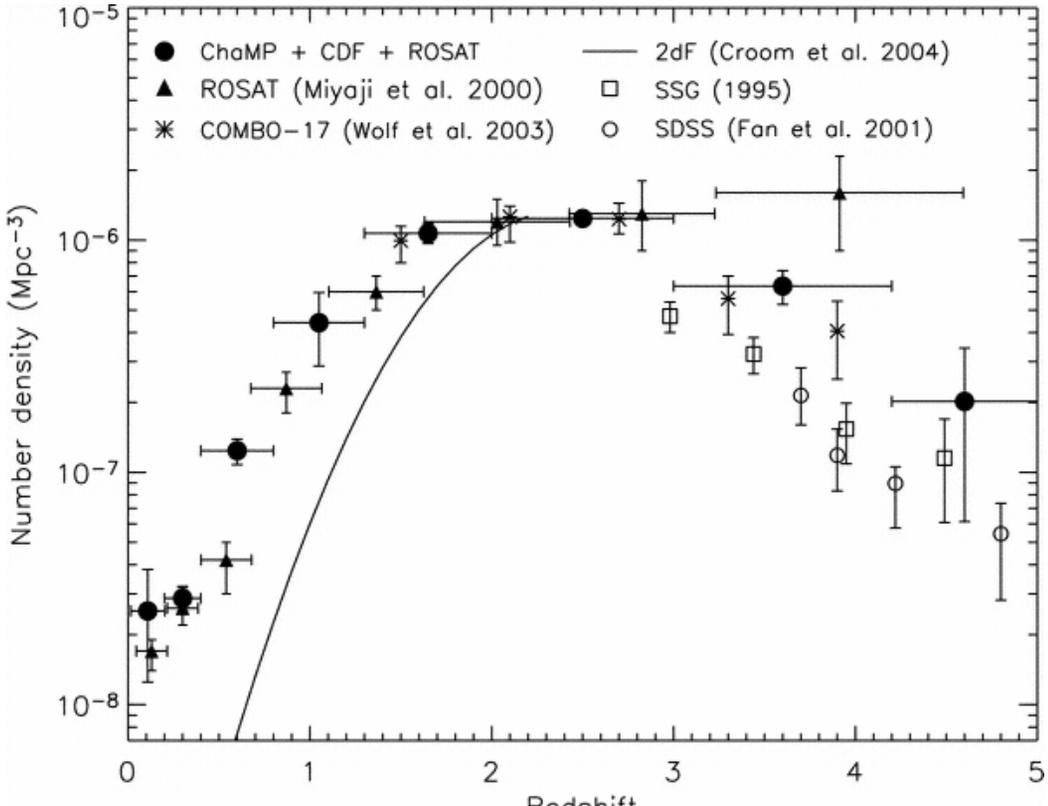
Geschichte der Durchmusterungen

- Röntgen -

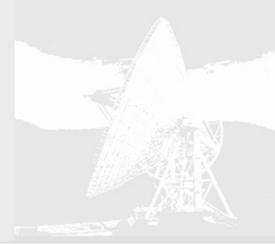


Röntgen: Rückgang bei hohen z

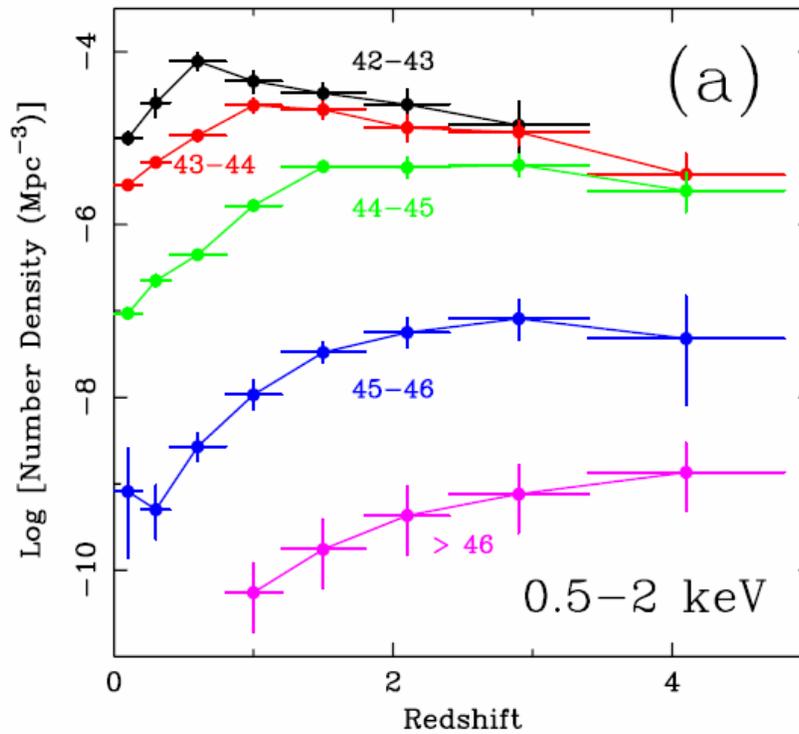
- Silverman et al (2005):
 - die Raumdichte der leuchtkräftigen, Röntgen selektierten AGN peakt bei $z = 2.5$, und nimmt ab für $z > 3$, wie für helle, optische Quasare
 - lechtschwache, Röntgen selektierte AGN erscheinen eher bei geringen Rotverschiebungen ($z < 1$)



Geschichte der Durchmusterungen - Röntgen -

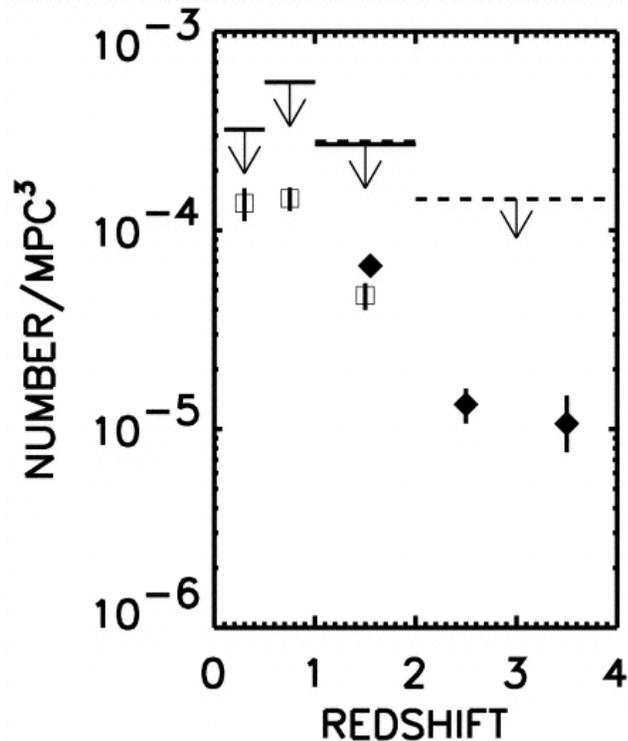
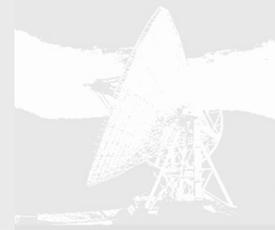


- zunächst kein Abfall bei hohen z beobachtet (e.g. Miyaji, Hasinger, & Schmidt, 2000)
- Chandra und XMM-Newton lösen den Röntgen-Hintergrund zu 90% auf
- aber: Röntgen-Hintergrund Normierung könnte zu niedrig sein (um 30%) (e.g. Moretti et al 2003)
- Worsley et al (2004): 80-90% aufgelöst bei 2-6 keV, nur 50-70% aufgelöst bei 6-10 keV

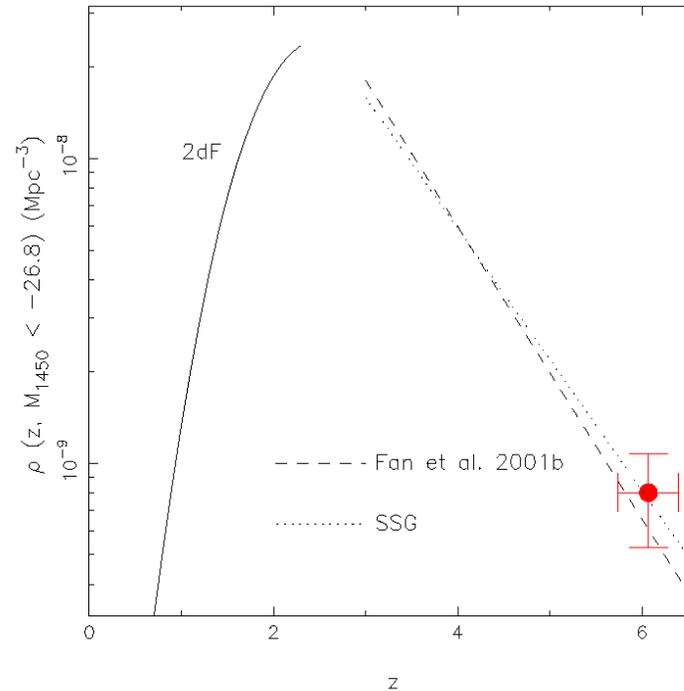


Mitbewegte Raumdichte der AGN im
0.5-2 keV-Band als Funktion der
Rotverschiebung, verschiedene Leuchtkraft
Hasinger et al. 2005

Entwicklung der Quasar/AGN Dichte

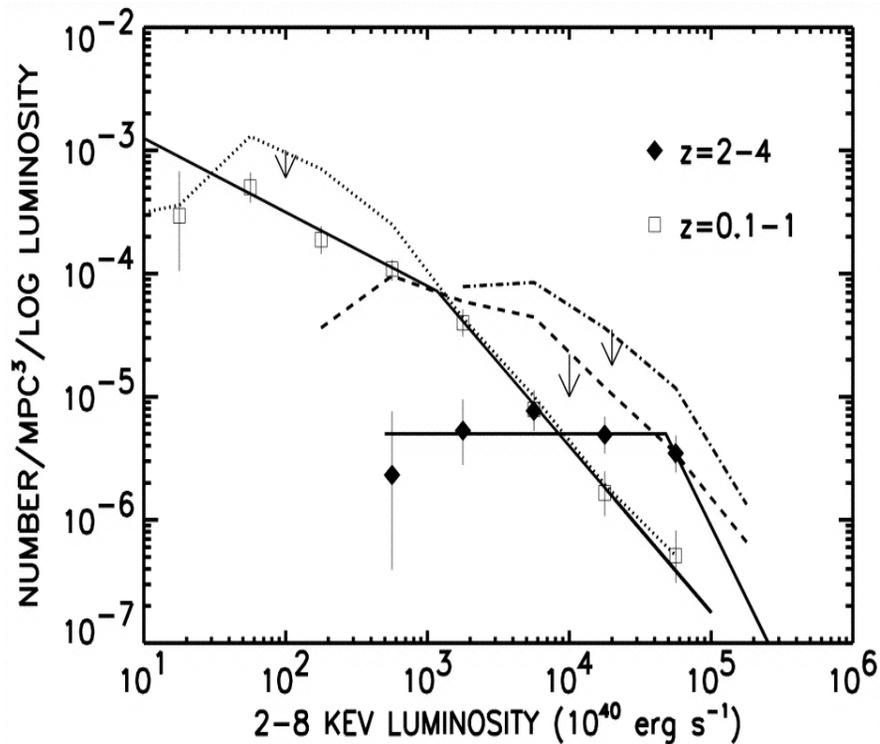


X-ray, geringe Leuchtkraft



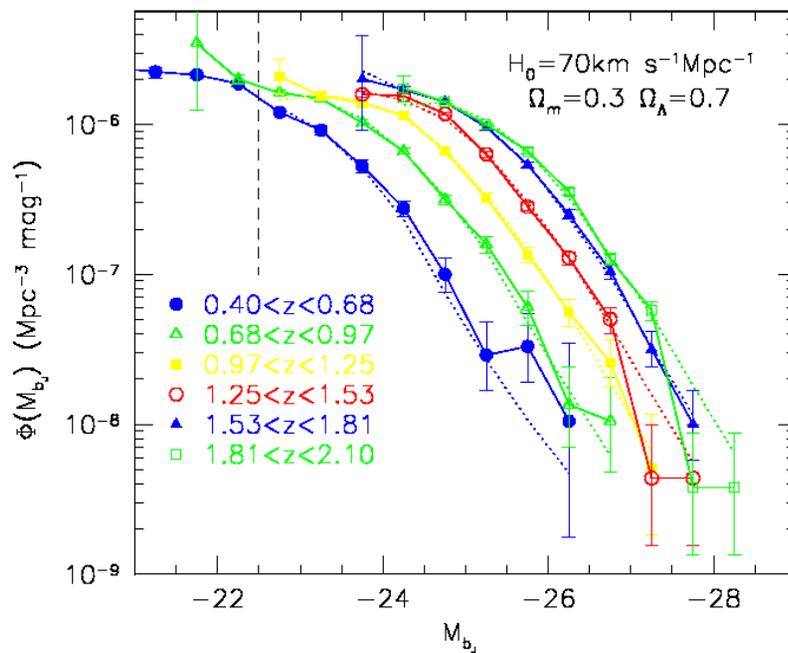
Optisch, große Leuchtkraft

Röntgen- im Vergleich mit der optischen Leuchtkraftfunktion

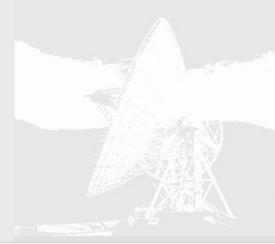


Es gibt wenig Überlappung...

- *entwickeln sich leuchtschwache Quasare anders als leuchtkräftige Quasare?*



Geschichte der Durchmusterungen - Röntgen -



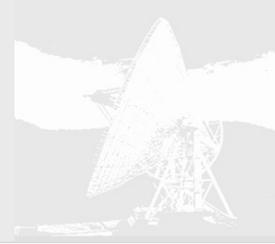
Tiefe extragalaktische Röntgen Stichproben

- Haupt- **AGN** Typen

- **Unverdeckte** AGN
- **Verdeckte** AGN mit deutlichen optisch/UV AGN Signaturen.
- Optisch schwache Röntgenquellen, spektroskopisch nicht identifizierbar
- XBONGs (X-ray Bright Optically Normal Galaxies), frühe Galaxientypen, $z=0.05-1$

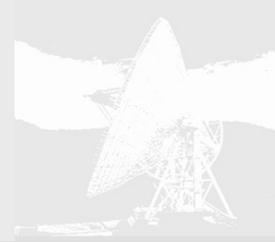
Geschichte der Durchmusterungen

- Zusammenfassung -



- es gibt starke Hinweise auf eine kosmologische Evolution der Quasare
- diese Evolution kann weder mit reiner Dichte- noch mit reiner Leuchtkraft-Evolution erklärt werden
- Multi-Wellenlängen Beobachtungen zeigen, daß Bedeckung nicht die offensichtliche LF (Umknicken bei hohem z) dominiert, aber Bedeckung spielt wichtige Rolle
- benötigt werden: schwächere Durchmusterungen bei geringem z , Röntgen-Durchmusterungen über weite Himmelsfelder, mehr Radio-Durchmusterungen, die auch im Optischen untersucht werden
- Hierarchische Strukturbildungsmodelle erklären die wesentlichen Phänome: Bedeckung muß besser modelliert werden
- wichtig: Multi-Wellenlängen-Durchmusterungen, Suche nach spektralen Signaturen der Vorgänge im Innern der AGN (Akkretion), Gravitationswellen

Limitierungen der heutigen Quasar Durchmusterungen

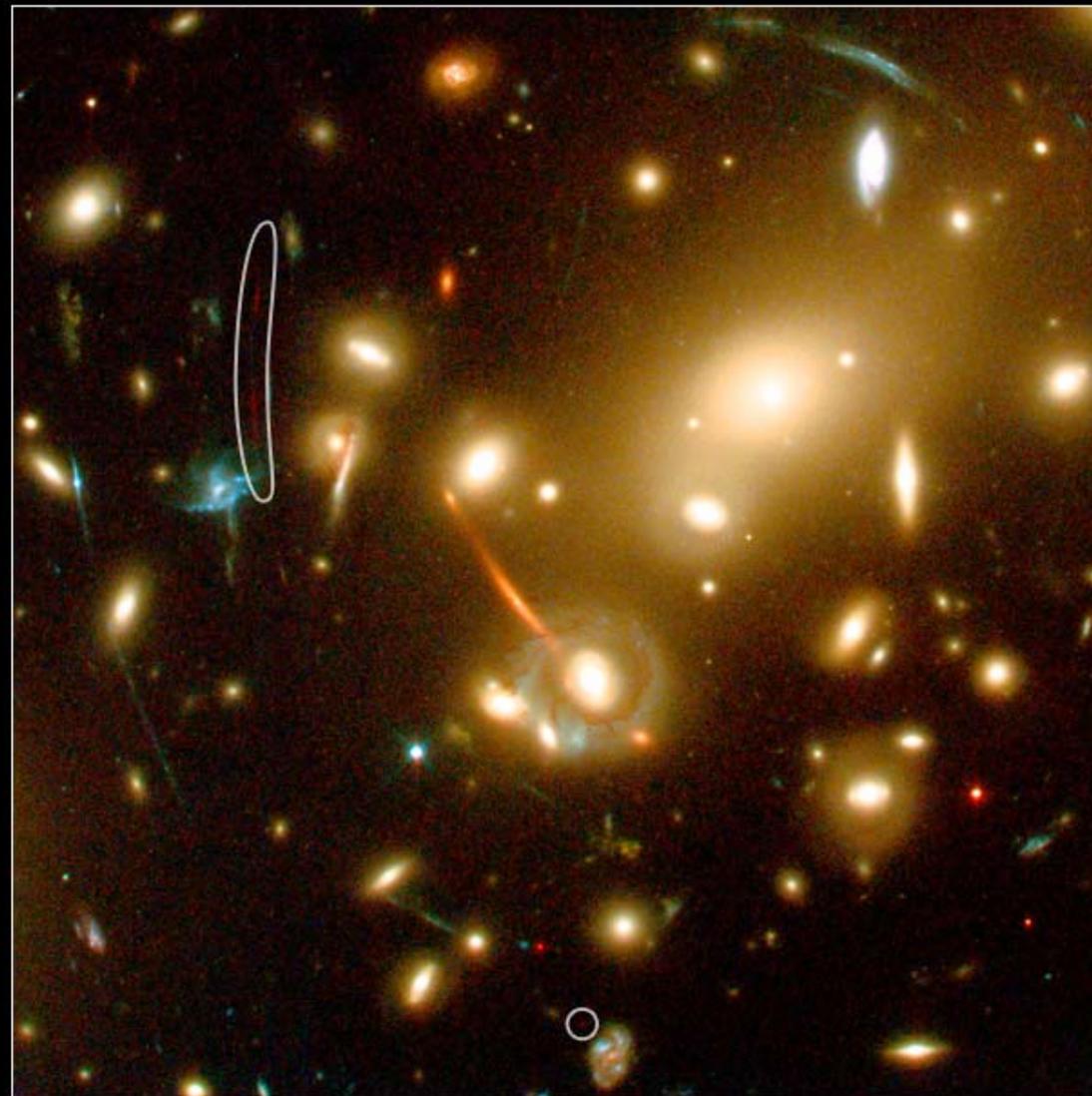


- Flach: Sie finden nur die leuchtkräftigsten Quasare → ***Großteil der hochrotverschobenen Quasare sind vermutlich noch nicht gefunden worden!***
 - Entwicklung der leuchtschwachen Quasare ist somit unbekannt Evolution of faint quasars unknown
 - Hauptteil des UV Hintergrunds bei großen Rotverschiebungen noch nicht detektiert
- Optisch: Höchste detektierte Rotverschiebung ~ 6.7

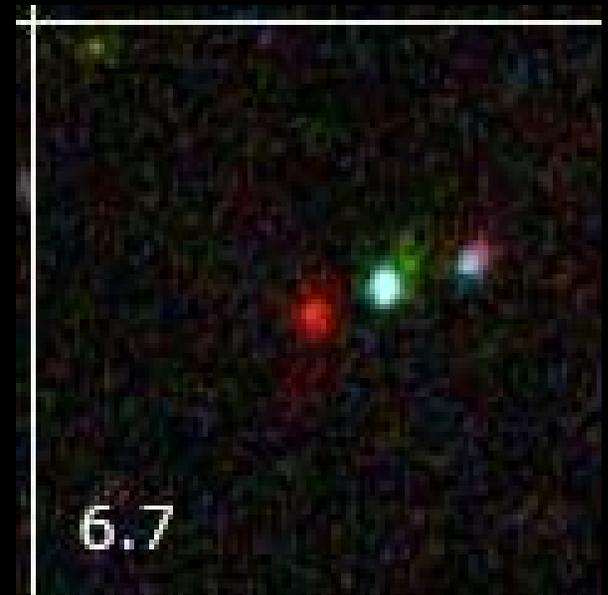
Gravitationslinsen: jüngste Galaxien entdecken



Distant Galaxy Lensed by Cluster Abell 2218 HST • WFPC2 • ACS



Intensive UV-Strahlung,
wesentlich stärker als in
näheren Galaxien
-> vorwiegend massive Sterne?



Gravitationslinsen



Gravitationslinsen



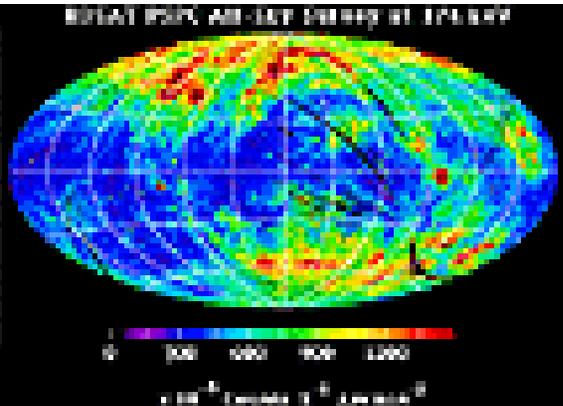
A field of white daisies with yellow centers, growing in a green field. A white text box is overlaid in the center.

Röntgen-Hintergrund

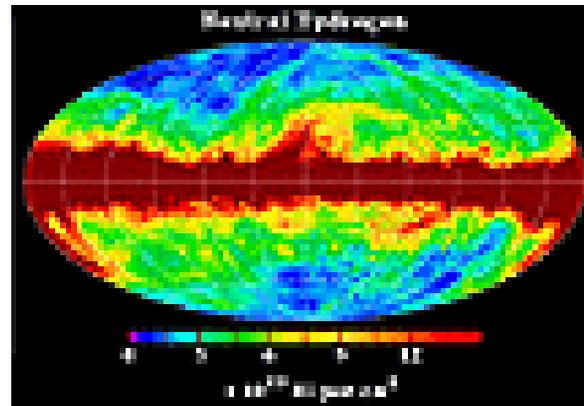
Röntgen-Hintergrund: Vom Rauschen lernen ...



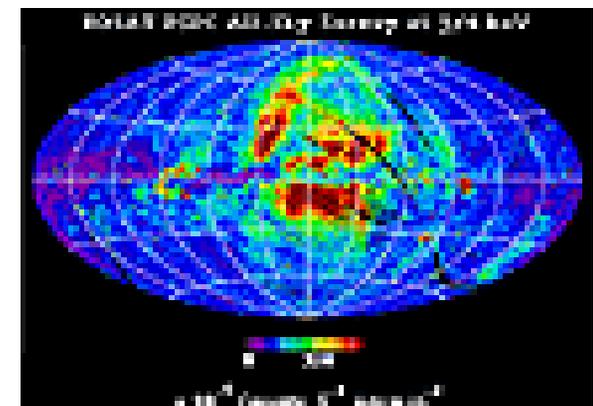
- Erste Beobachtungen in den späten 60iger Jahren
- Schlechte räumliche Auflösung



1/4 keV X-ray Background
ROSAT

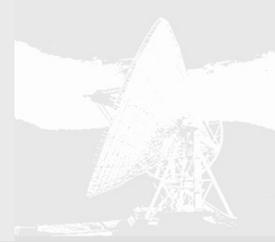


Galactic Hydrogen Distribution



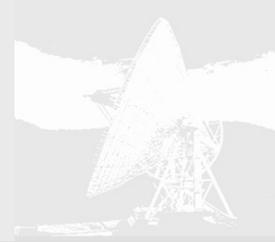
3/4 keV X-ray Background
ROSAT, Loop I, ~100 Grad
Ring, Supernova-Überrest,
In 150 pc Entfernung

Röntgen-Hintergrund: Vom Rauschen lernen ...



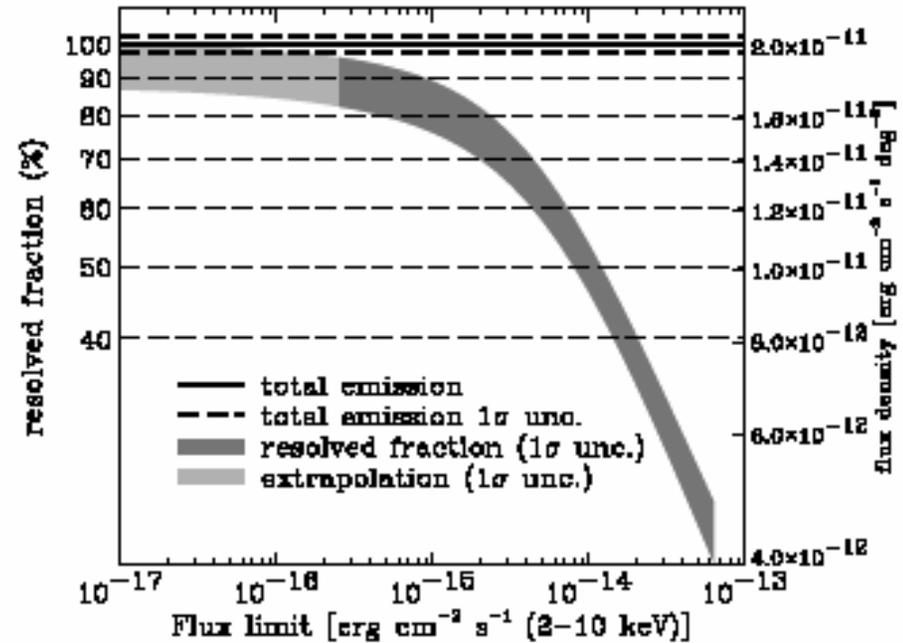
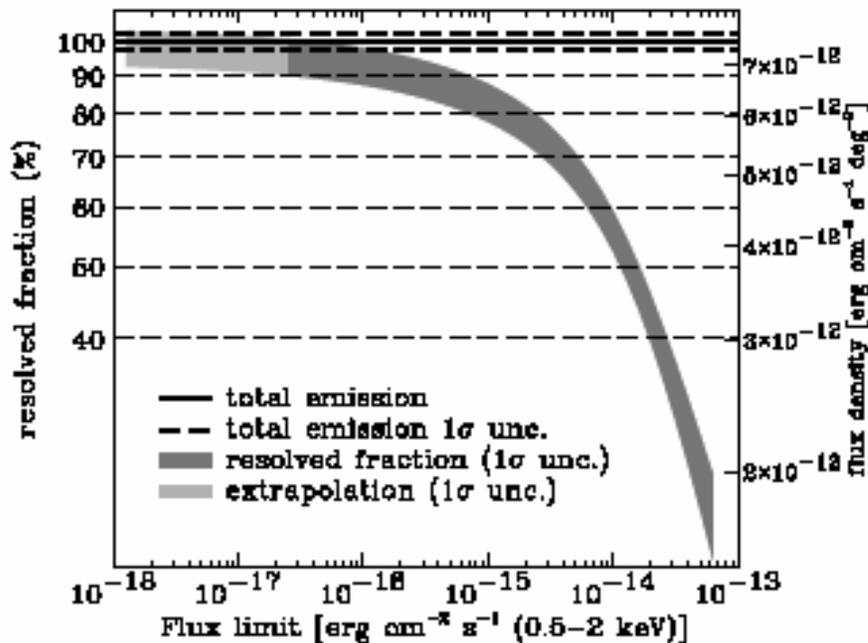
- Beobachtetes Röntgen-Rauschen kann erklärt werden durch:
 - „Soft end“ (<0.3 keV): Galaktische Röntgen-Emission (galaktischer Röntgen-Hintergrund), $0.1-0.3$ keV: thermische Emission von heißem (10^6 K) Plasma, 2 Komponenten:
 - in der Scheibe der Milchstraße
 - Plasma im Halo unserer Milchstraße
 - $0.5-1$ keV: sowohl extragalaktische Quellen als auch Galaktische Emission von heißem Plasma
 - 10%, „Hart end“ (>0.3 keV): Kombination nicht-aufgelöster Röntgen-Quellen außerhalb der Milchstraße (kosmischer Röntgen-Hintergrund, 80% nicht-verdeckte und verdeckte AGN, CHANDRA)

Röntgen - Hintergrund



- (zunächst kein Abfall bei hohen z beobachtet (e.g. Miyaji, Hasinger, & Schmidt, 2000))
- Chandra und XMM-Newton lösen den Röntgen-Hintergrund zu 90% auf
- aber: Röntgen-Hintergrund Normierung könnte zu niedrig sein (um 30%) (e.g. Moretti et al 2003)
- Worsley et al (2004): 80-90% aufgelöst bei 2-6 keV, nur 50-70% aufgelöst bei 6-10 keV

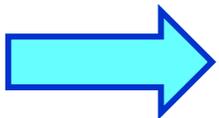
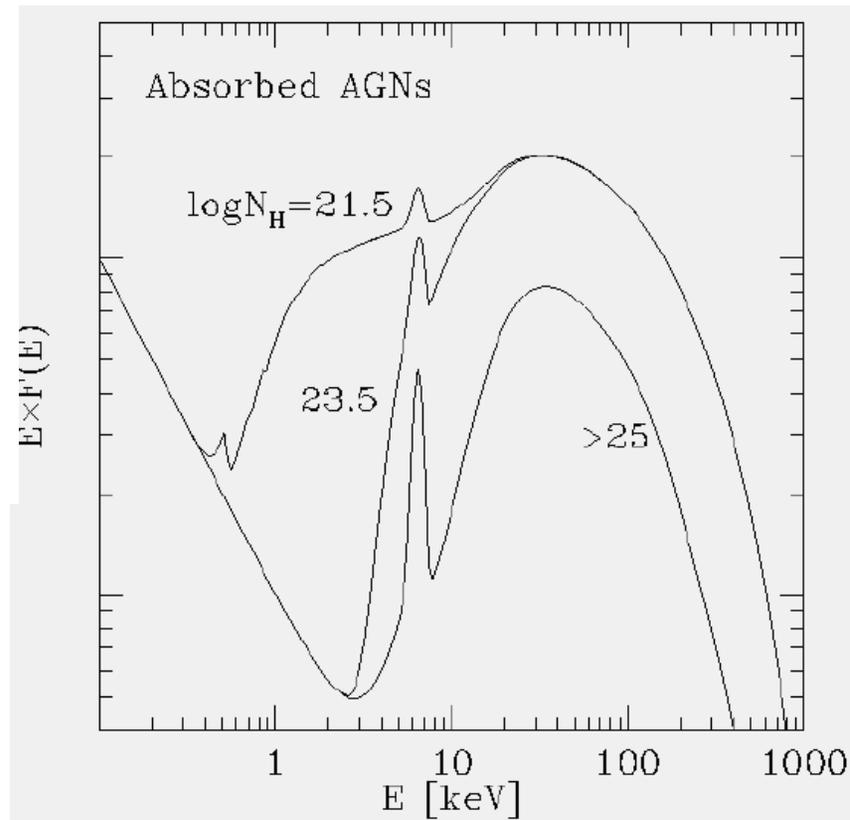
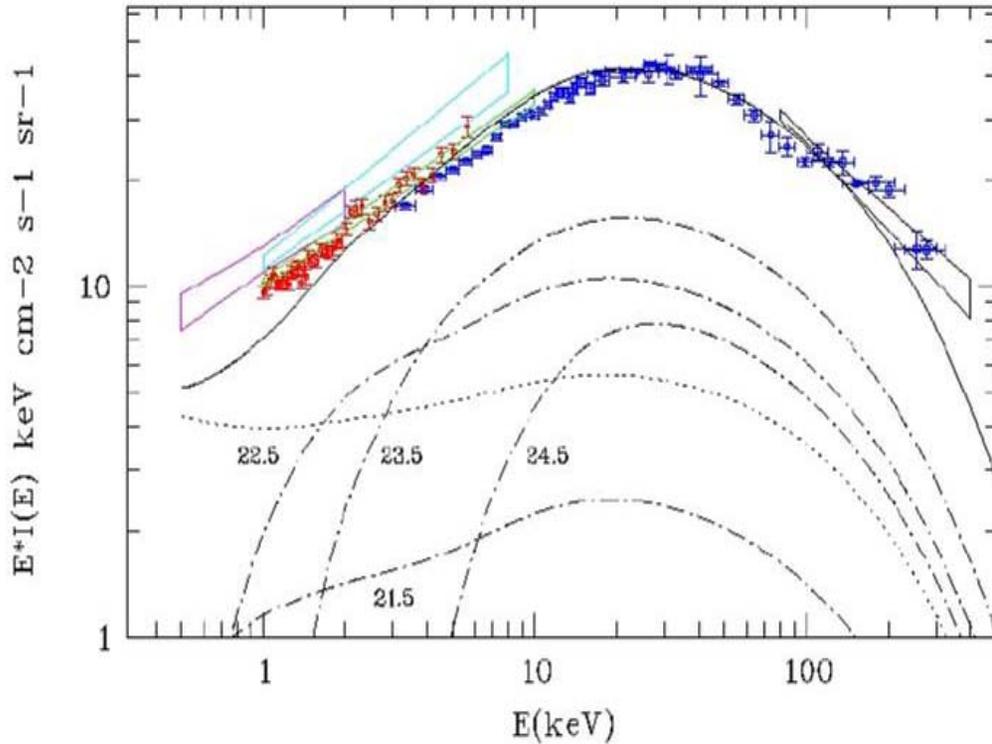
Röntgen-Hintergrund: Fehlende Population



Soft X-rays: 94% detektiert, Extrapolation ergibt gemessenen Fluß => alle Quellen bekannt

Hard X-rays: 89% detektiert, Extrapolation ergibt **93%** des gemessenen Flusses, Quellen fehlen => sehr leuchtschwache, harte Quellen?

Kosmischer Röntgen-Hintergrund

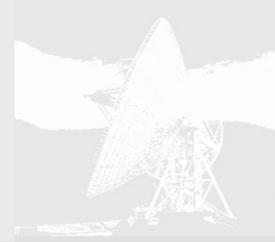


Verdeckte AGN

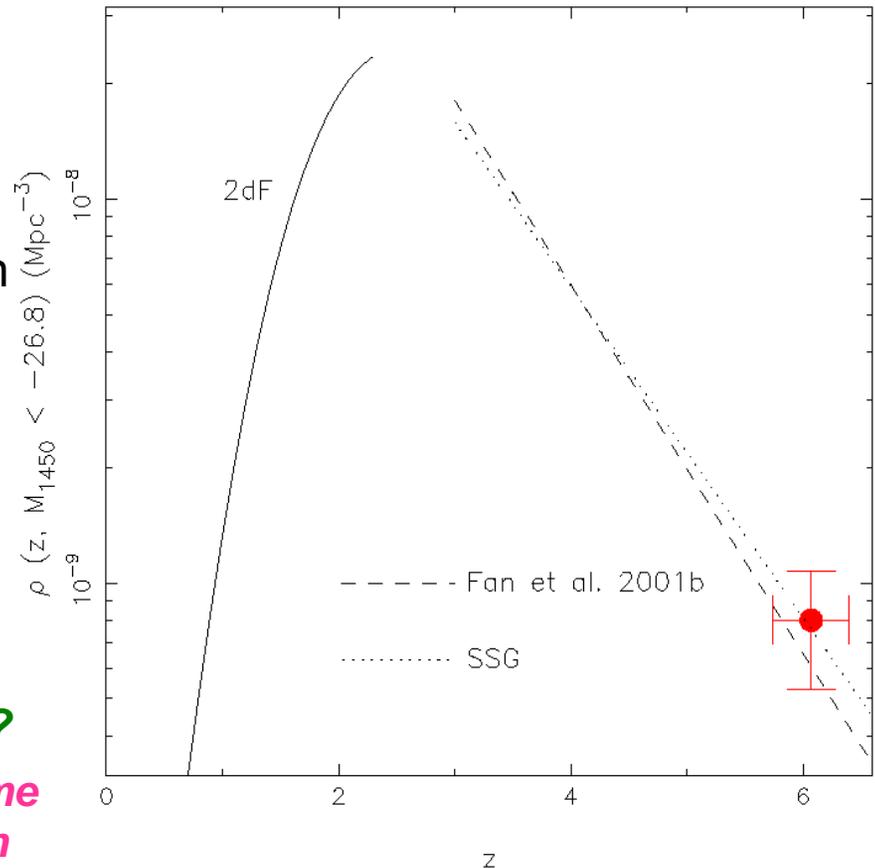


**Reionisation,
Lyman alpha,
Gunn-Peterson Trog**

Quasar Dichte bei $z \sim 6$



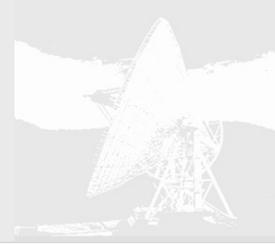
- Basierend auf 9 $z > 5.7$ Quasaren:
 - Dichte nimmt um Faktor ~ 20 ab von $z \sim 3$
 - Damit läßt sich die Bildung der frühesten supermassiven Schwarzen Löcher im Universum verfolgen
- Kosmologische Konsequenzen
 - $M_{\text{BH}} \sim 10^{9-10} M_{\text{sun}}$
 - $M_{\text{halo}} \sim 10^{13} M_{\text{sun}}$
 - **Wie können sich solch massive Galaxien und Schwarzen Löcher in einer Zeit $< 1 \text{ Gyr}$ gebildet haben??**
 - Mit Eddington Argument, **die Systeme müssen mit der Bildung begonnen haben vor $z \gg 10$**



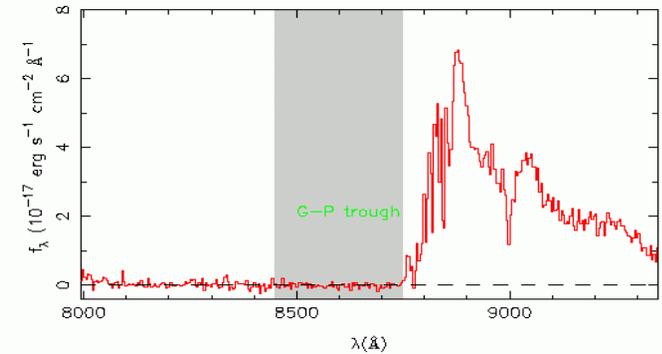
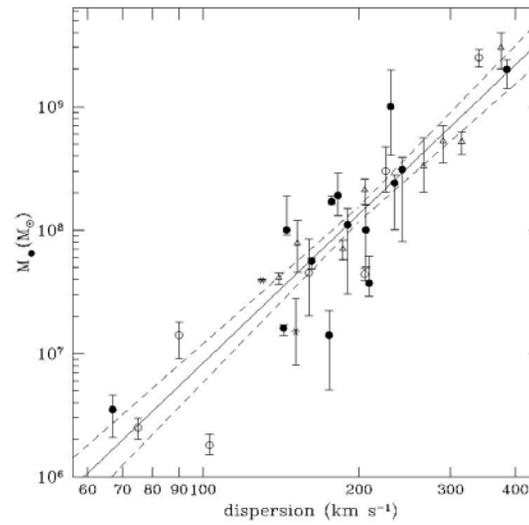
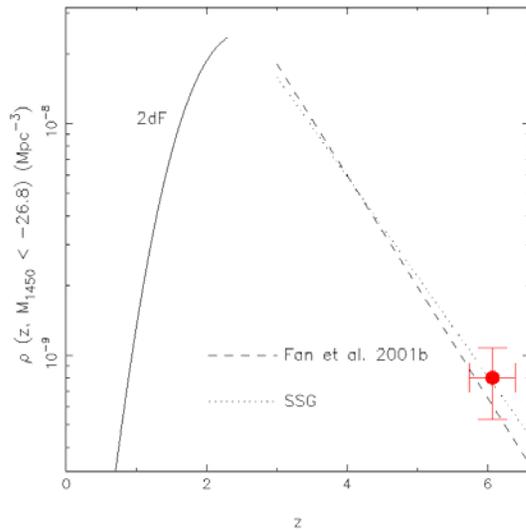
→ **co-Formation and co-Evolution der frühesten Schwarzen Löcher und Galaxien**

Fan et al. 2004

Quasare und Galaxien-Entwicklung



- Das Studium der Quasare liefert:
 - Geschichte der Akkretion in Schwarzen Löchern
 - **Beziehung zwischen dem Wachstum der Schwarzen Löcher und der Galaxien-Entwicklung**
 - Zustand des Intergalaktischen Mediums
 - **Geschichte der Reionisation → das Ende der dunklen Zeiten**



A Schematic Outline of the Cosmic History

Time since the Big Bang (years)

~ 300 thousand

~ 500 million

~ 1 billion

~ 9 billion

~ 13 billion



← The Big Bang

The Universe filled with ionized gas

← The Universe becomes neutral and opaque

The Dark Ages start

Galaxies and Quasars begin to form
The Reionization starts

The Cosmic Renaissance
The Dark Ages end

Epoche der Reionisation

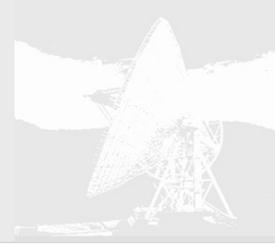
← Reionization complete, the Universe becomes transparent again

Galaxies evolve

The Solar System forms

Today: Astronomers figure it all out!

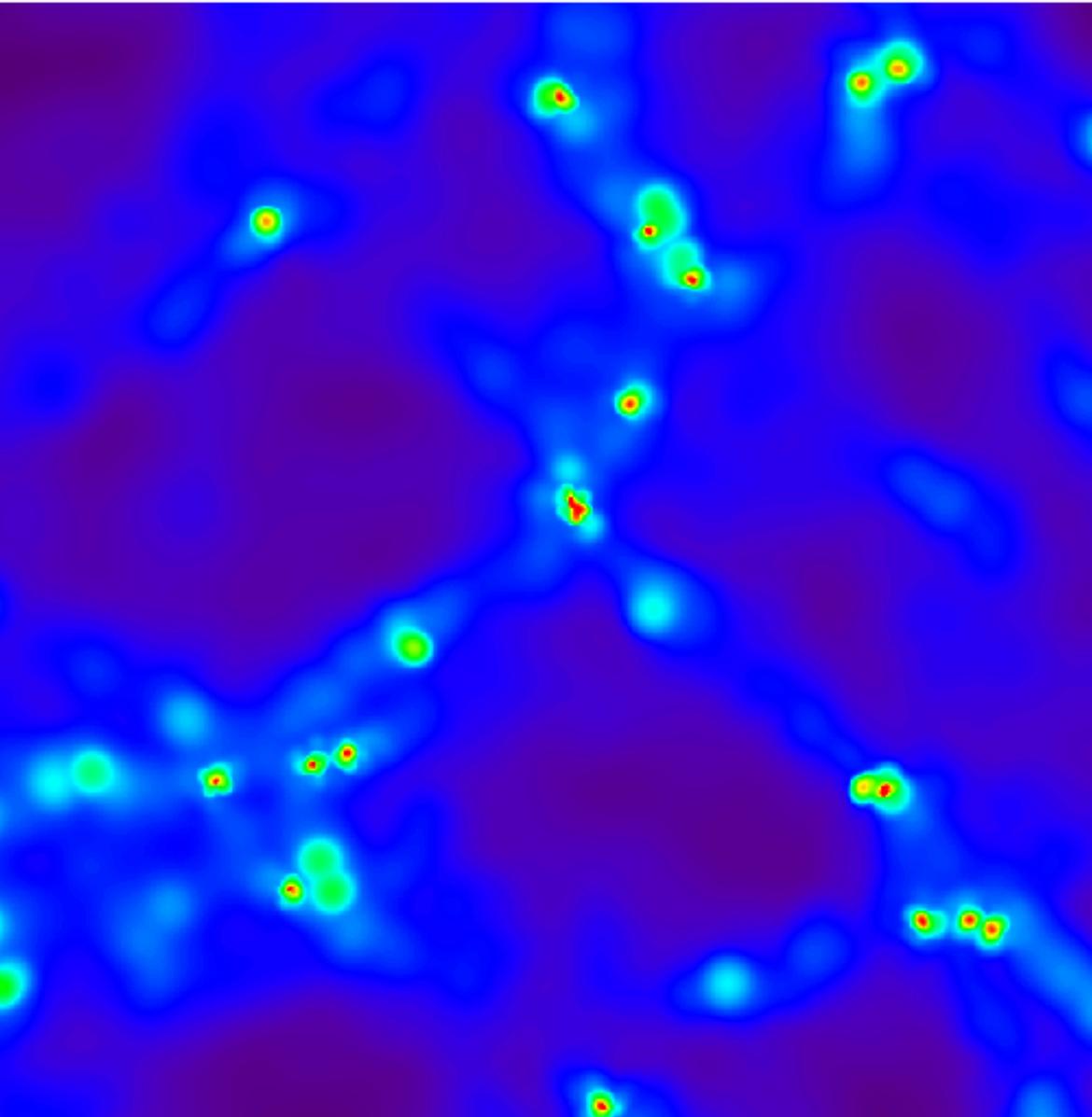
Geschichte des Universums



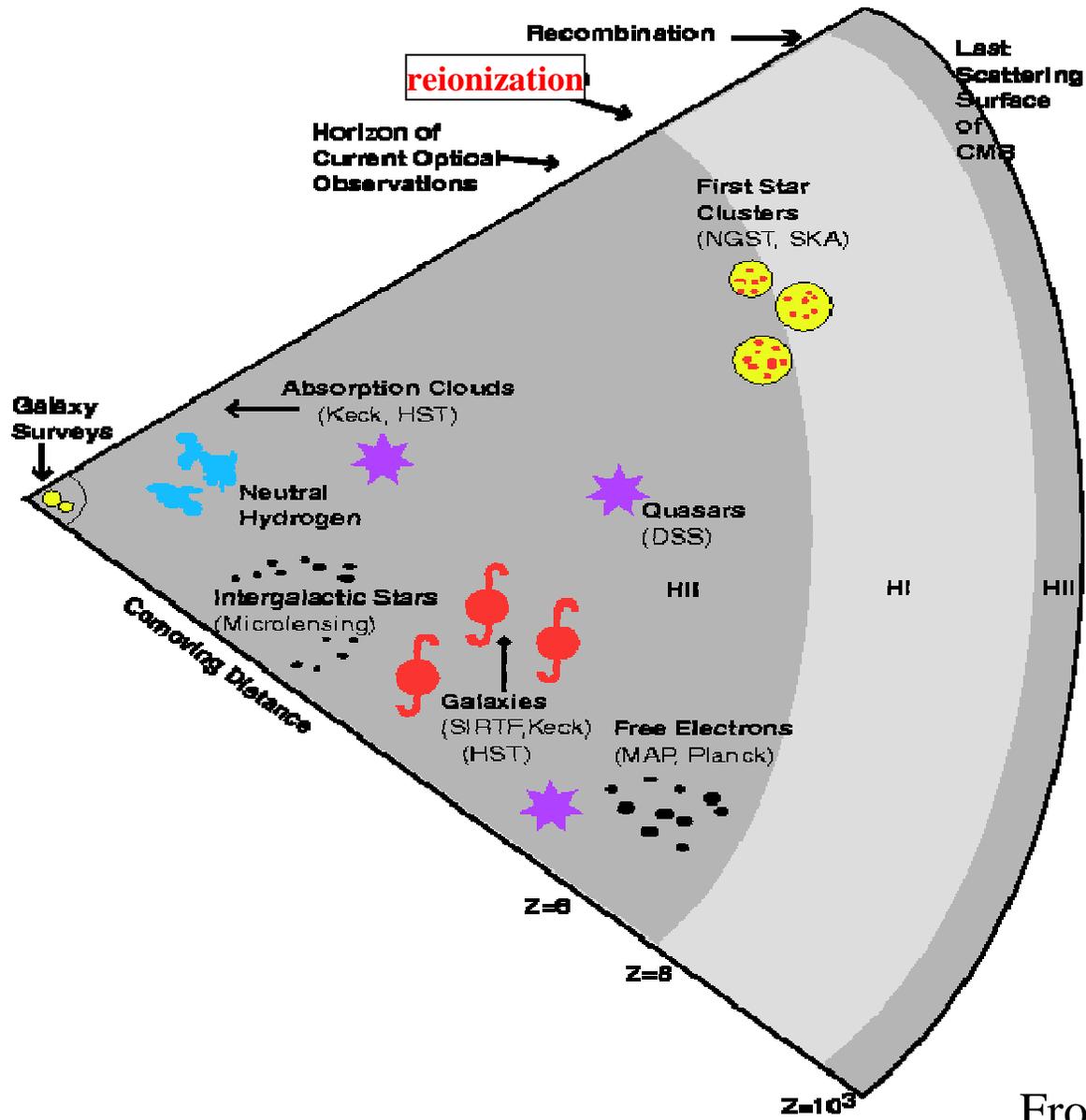
- Die ersten 3 Minuten: leichteste Atome (Wasserstoff & Helium) entstehen, wegen hoher dichte und Temperatur ionisiert, e- bewegen sich frei
- 300 000 Jahre: Universum dehnt sich aus und kühlt sich ab, wenn Gastemperatur < 5000 Grad: Atomkerne verbinden sich mit e- zu neutralen Atomen, keine Lichtquelle vorhanden, Licht der ersten Sterne wird vom neutralen intergalaktischen Gas absorbiert: Dunkles Zeitalter
- Zeitalter der Reionisation: Sterne und Schwarze Löcher haben sich gebildet, Strahlung ionisiert das umgebende Gas -> wird transparent, der Nebel lichtet sich, endet ca. 1 Milliarde Jahre nach dem Urknall

Wann begann die Reionisation? ...

Protogalaktische Klumpen



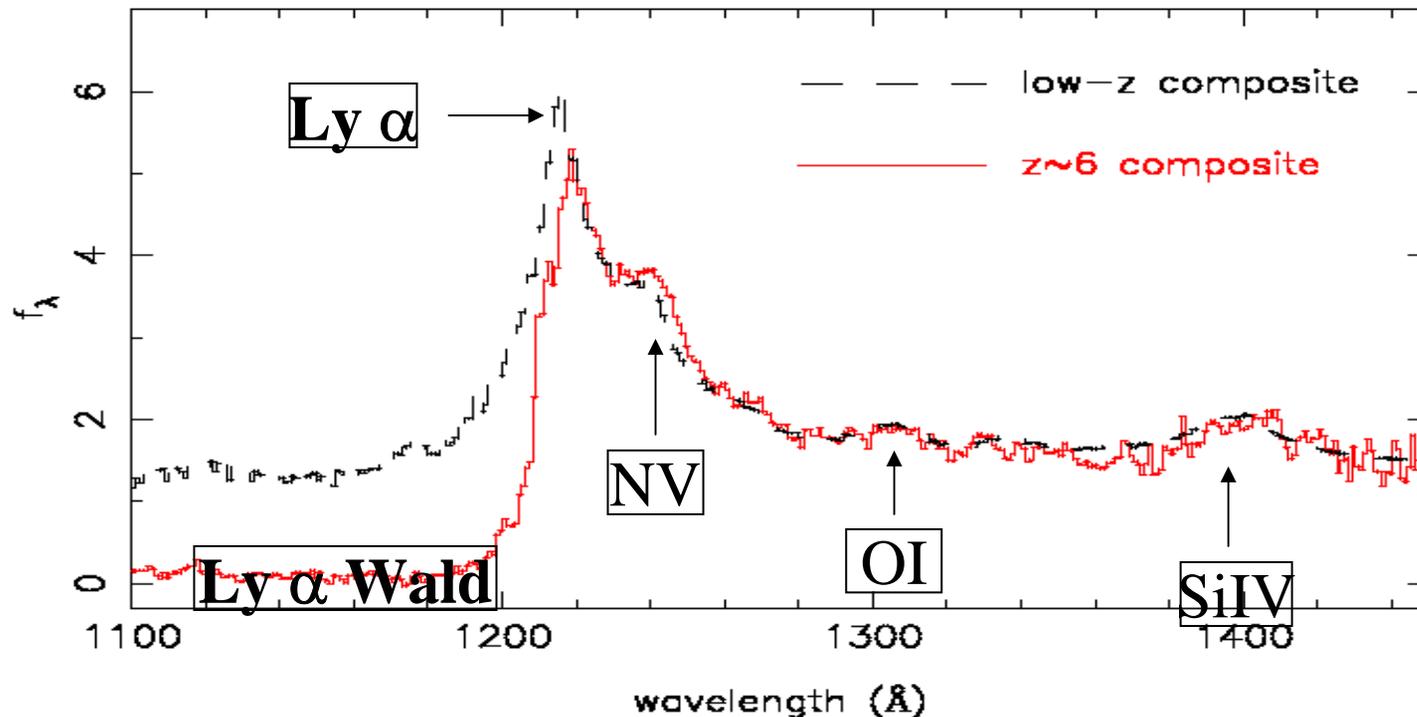
- 3x3 Mpc bei $z=3$
- Simulation
- 20 protogalaktische Klumpen
- Filament- und papierartige Strukturen, typisch für Gravitations-Haufenbildung
- WW zwischen intergalaktischem Medium und sich neubildenden hochrotverschobenen Galaxien studieren: Quasar Absorptions-Spektren



From Avi Loeb

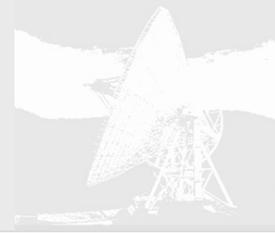
Quasare sind langweilig

Keine Entwicklung in Intrinsischen Spektralen Eigenschaften

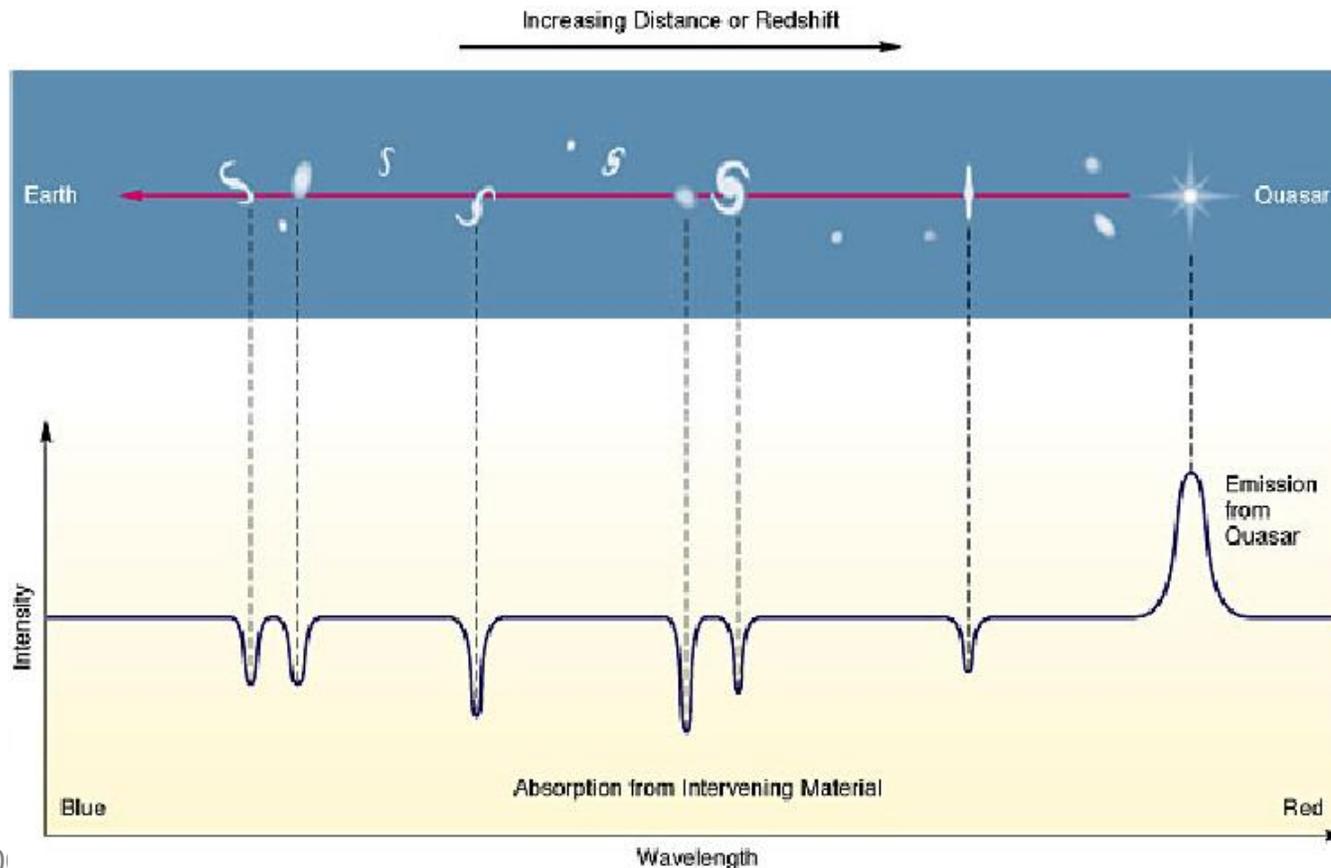


Hochrotverschobene Quasare und ihre Umgebung werden schnell erwachsen

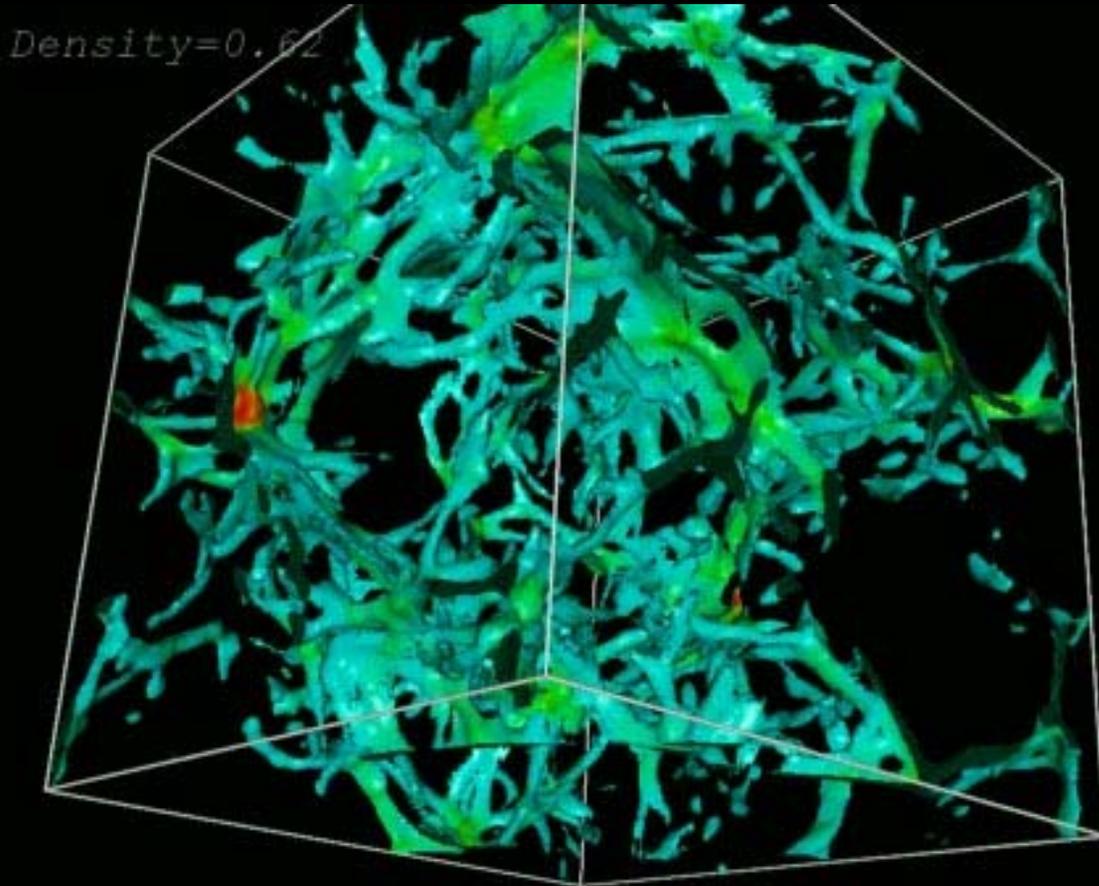
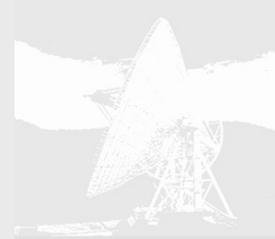
Quasar Absorptionslinien und Galaxien dazwischen



- Absorptionslinien von neutralem Wasserstoff und schwereren Elementen im ISM der Galaxien können in Quasar-Spektren gesehen werden.



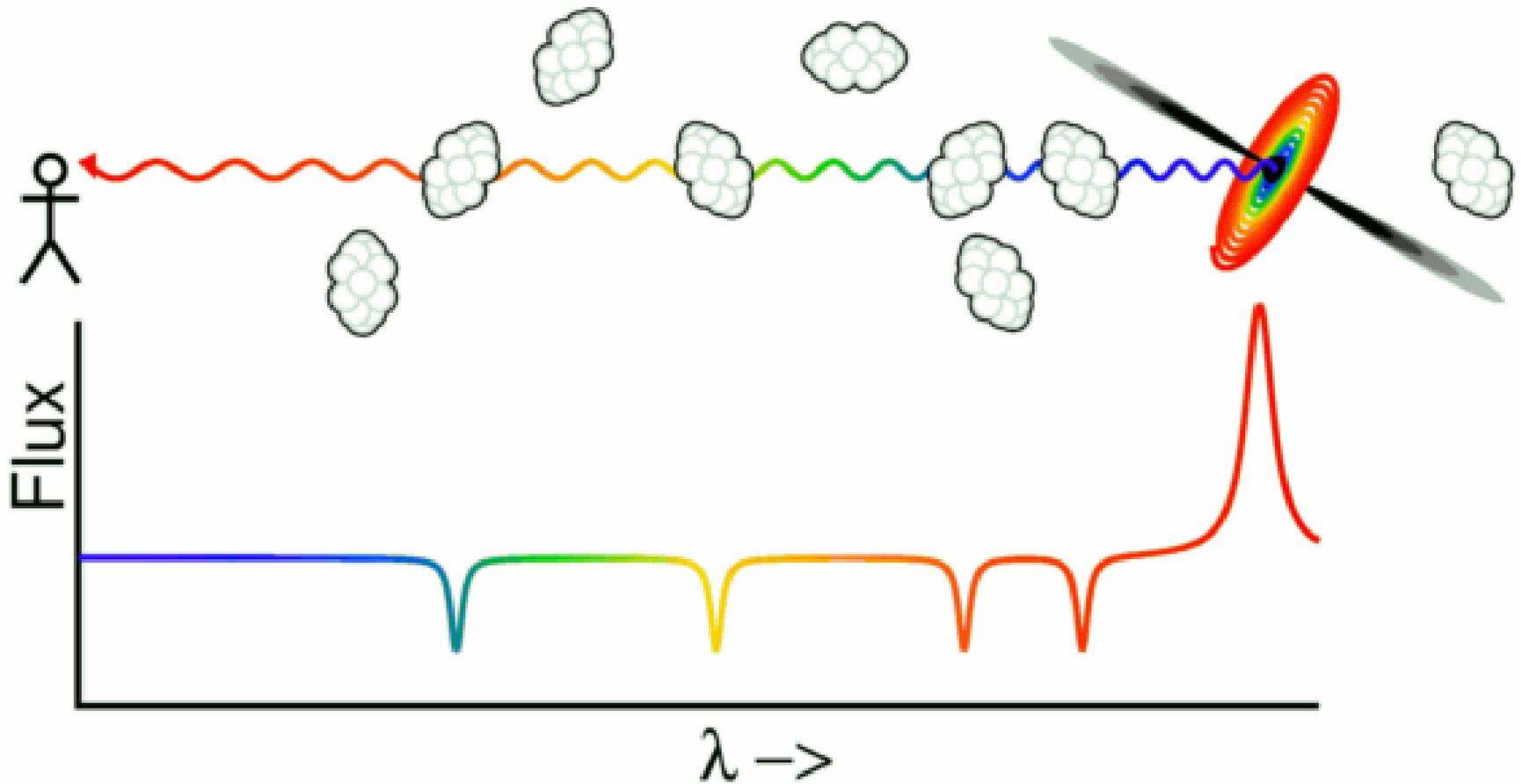
Wasserstoff-Wald



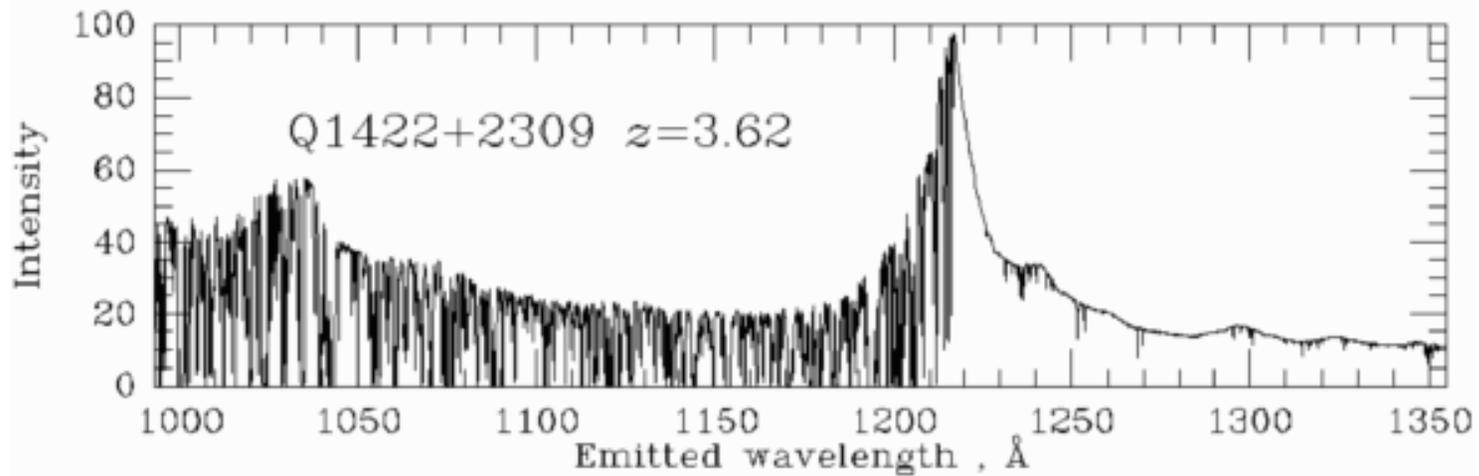
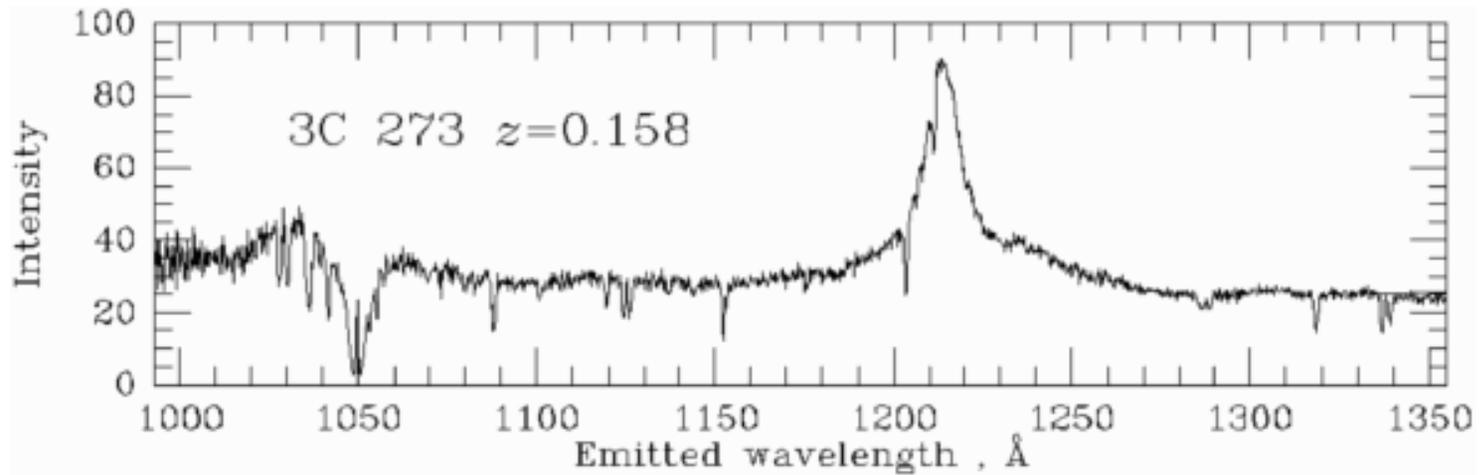
- Wasserstoff-Verteilung im Universum, absorbiert das Licht der entfernten Quasare -> Absorptionslinien, Lyman alpha-Wald
- mehr Lyman alpha-Wolken in entfernteren Quasaren
- Bild: $z=3$, jede Seite: 30 Mio Lichtjahre
- Offene Fragen:
Wie sehen sie wirklich aus?
Wie groß sind die Woken?
Warum gibt es heute so viel weniger Lyman alpha Wolken?

Shalf, Y. Zhang ([UIUC](#)) et al., [GCCC](#)

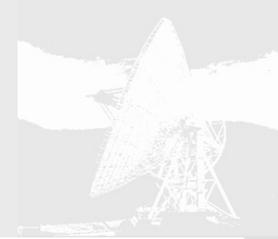
Lyman alpha



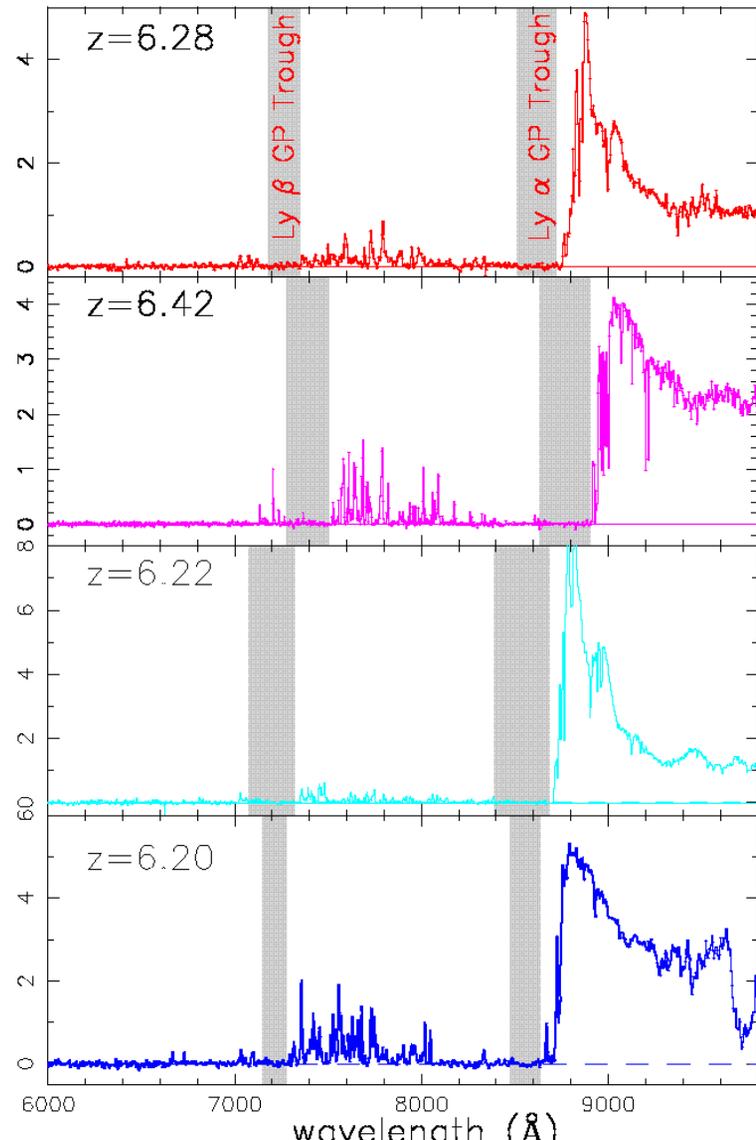
Lyman alpha



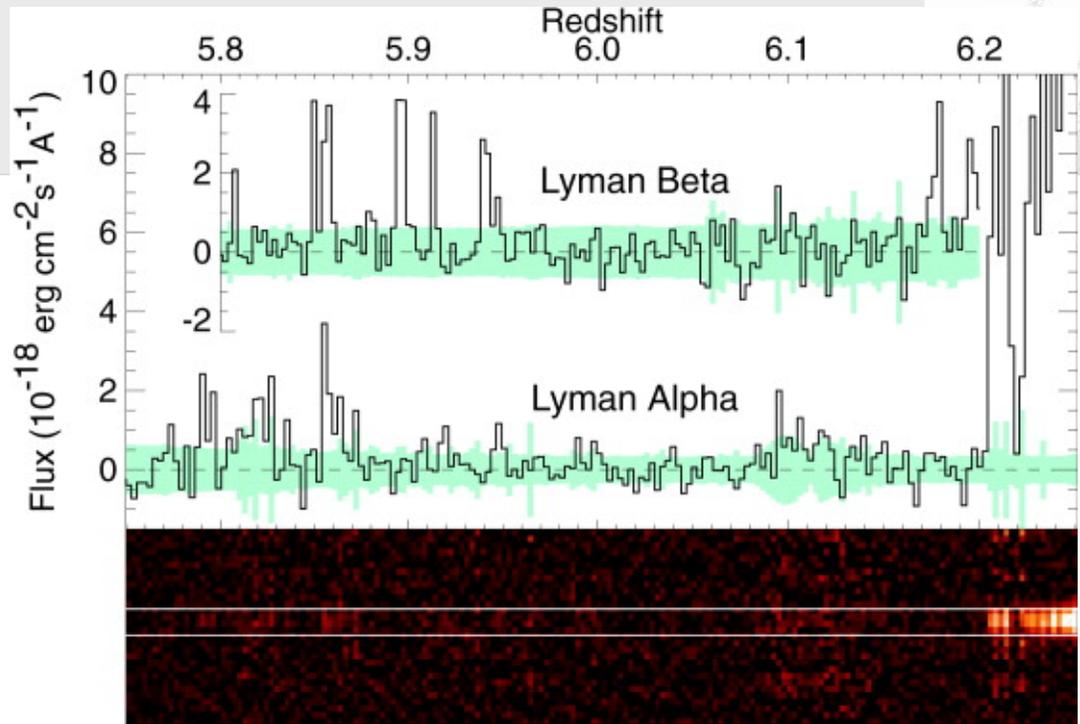
Gunn-Peterson Tröge in den höchst rotverschobenen Quasaren



- Vier Quasare bekannt bei $z > 6.2$
- Starke, tiefe Ly α und Ly β Absorption in allen 4 Objekten direkt nach der Ly α Emission...
- Keiner der Quasare bei $z < 6.2$ zeigt G-P Tröge

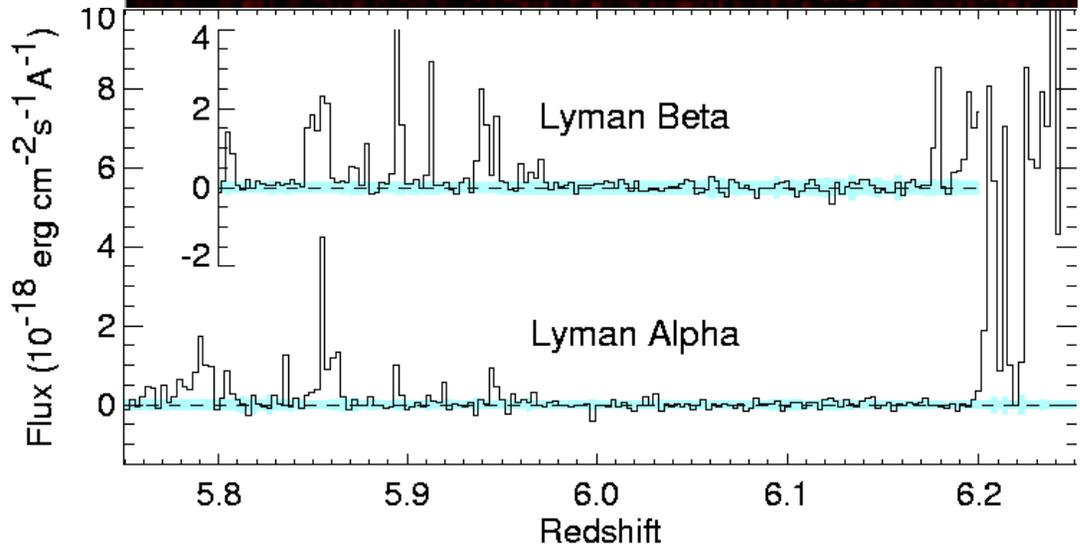


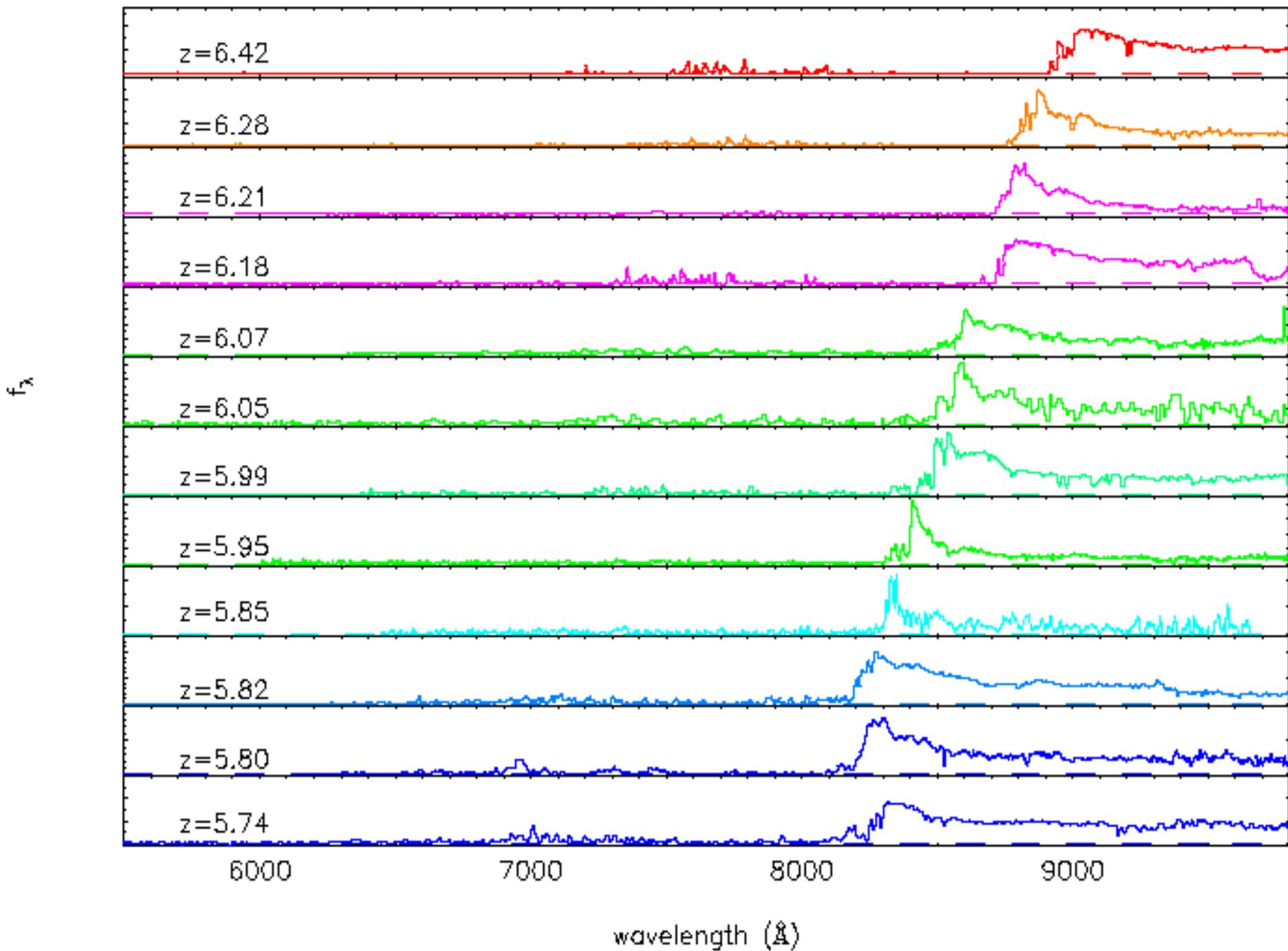
Keck/ESI 30min exposure →



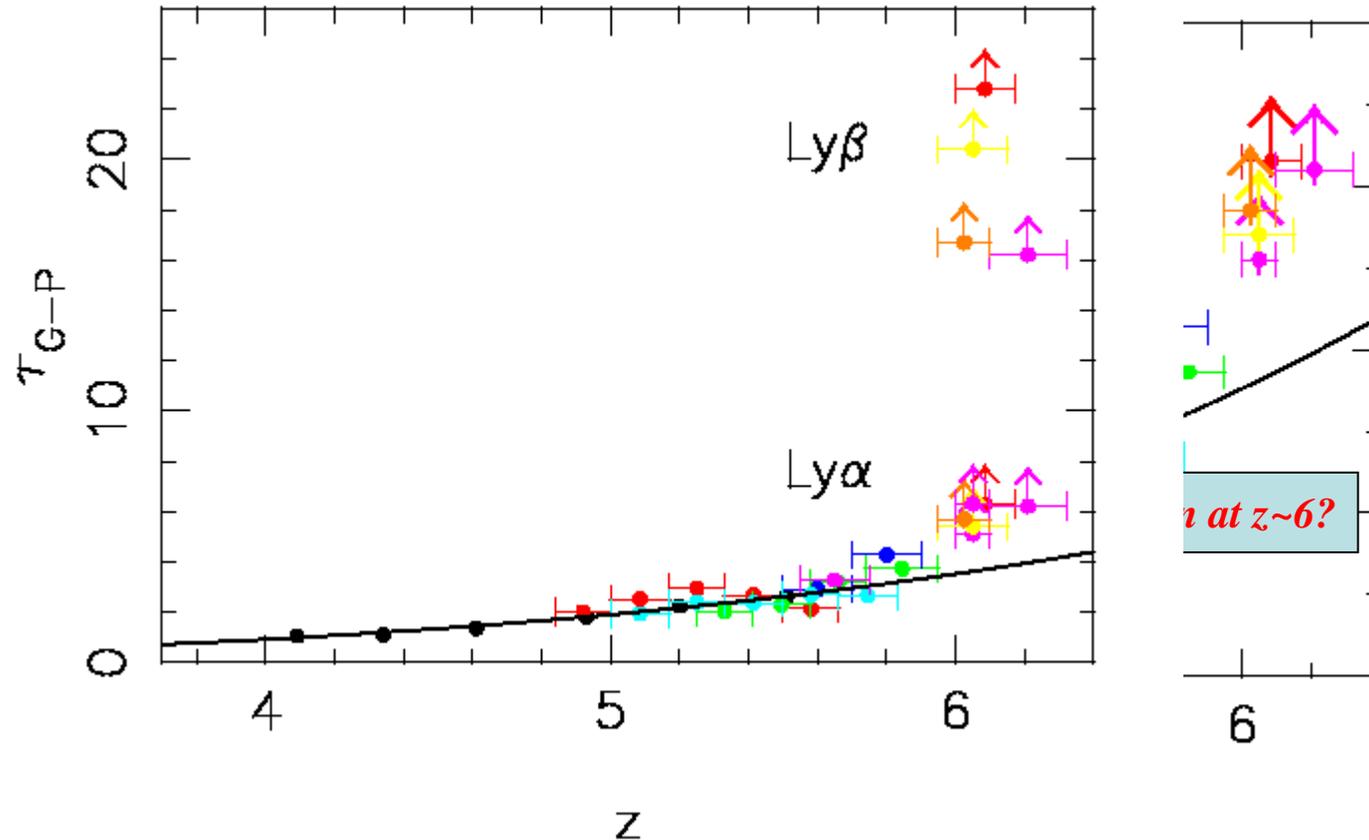
Gunn-Peterson Trog in $z=6.28$ Quasar

Keck/ESI 10 hour exposure →





Starke Entwicklung der Gunn-Peterson Optischen Tiefe

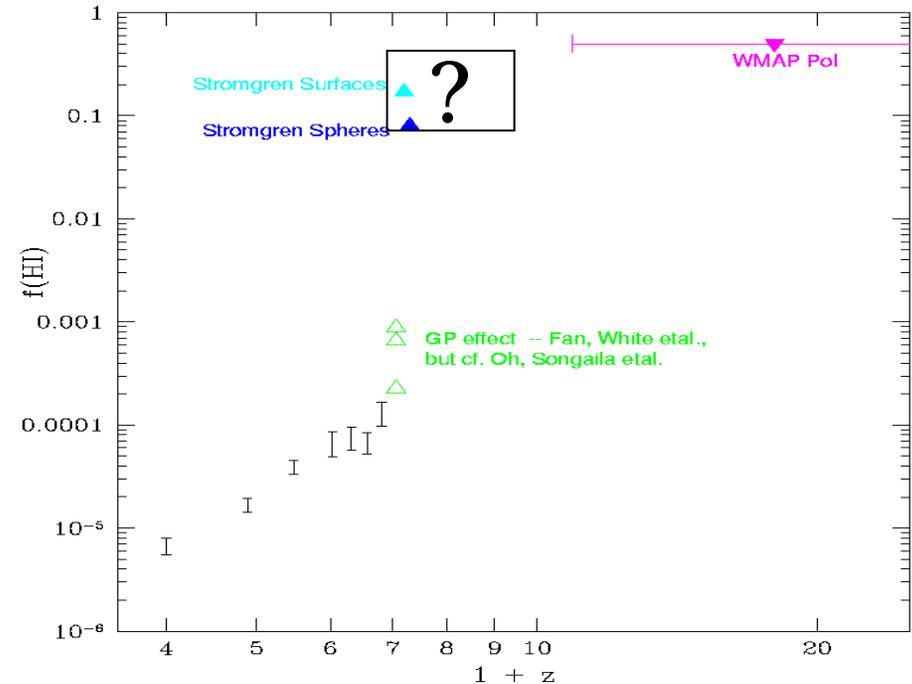


Fan et al. 2003

Die Puzzle-Teile zusammen setzen



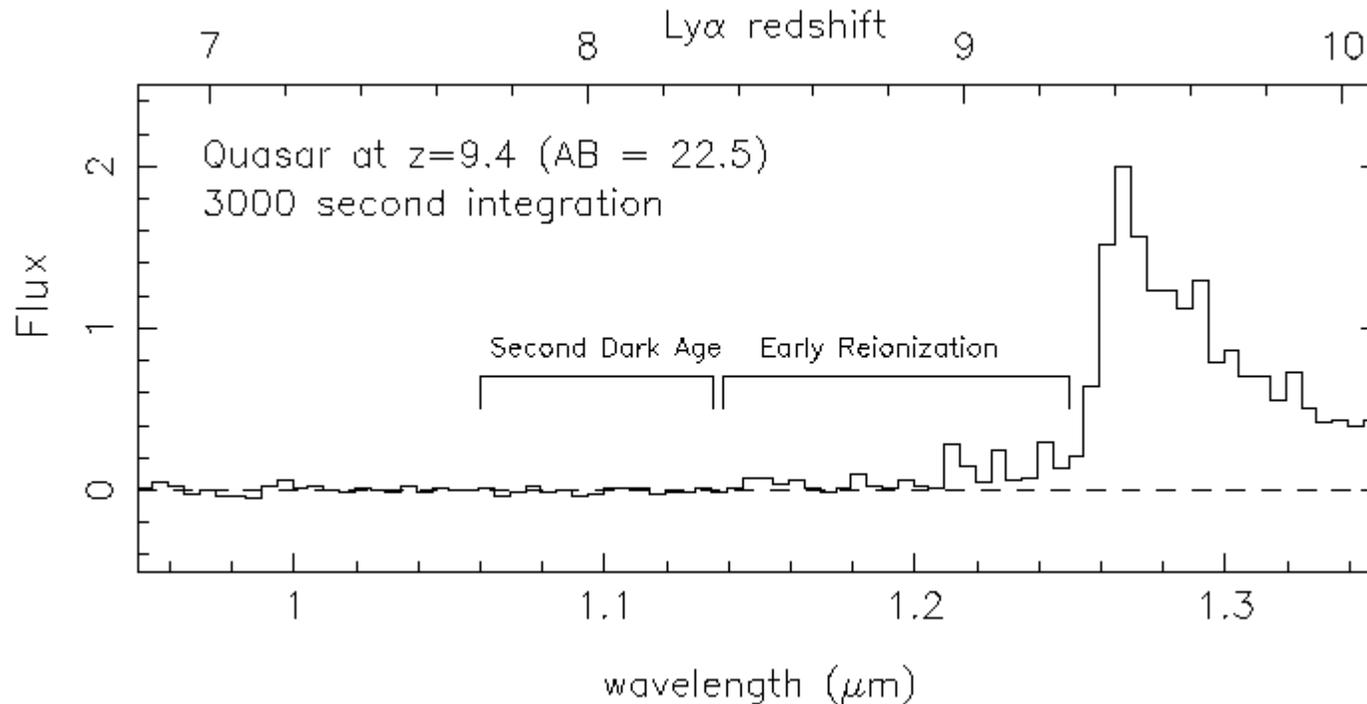
- G-P Resultate: $z \sim 6$ oder etwas früher
- CMB Polarisation zeigt: substantielle Ionisation bei $z \sim 17$
- Widersprechen sich nicht unbedingt; Kombination von GP mit CMB \rightarrow komplexe Reionisations Geschichte:
 - Erste Sternentstehung passiert sehr früh?
 - Reionisation dauert von 20 bis 6? (600 Millionen Jahre)
 - Mehrere Episoden der Reionisation?



Die Geschichte der Reionisation



SNAP Spectrograph



Doppeltes Reionisation, Model:

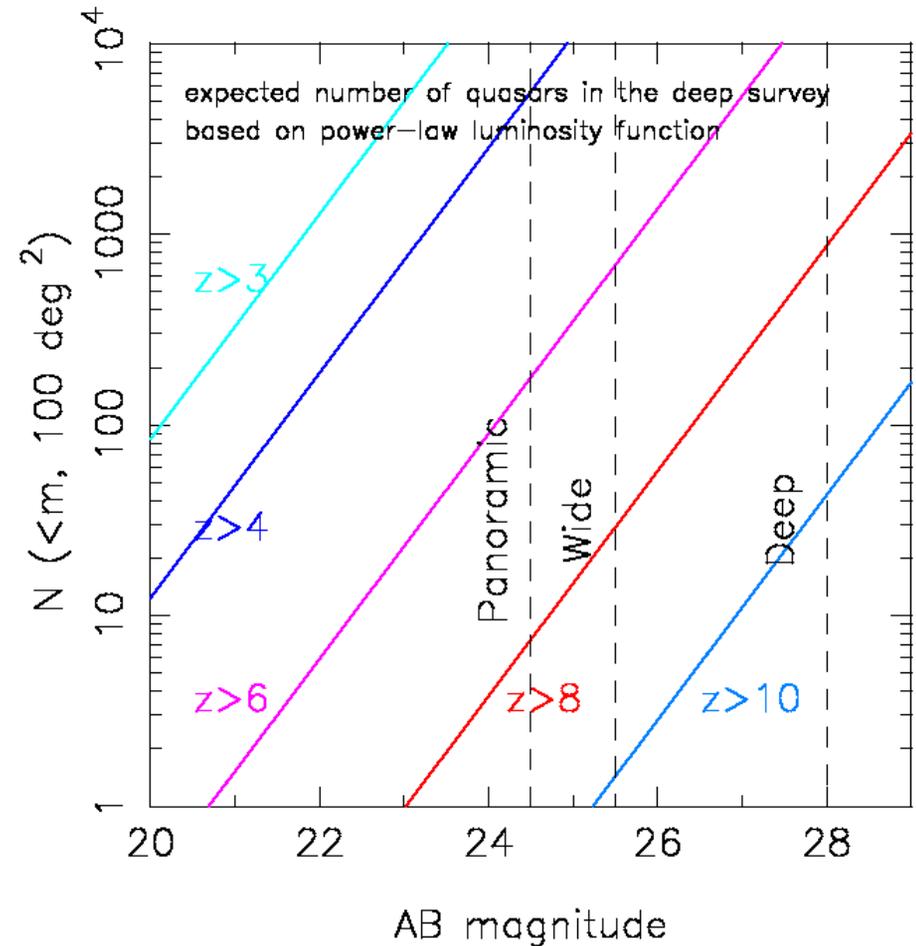
- Frühe Reionisation bei $z > 10$
- Zweites dunkles Zeitalter bei $z < 8.5$

Wann war das dunkle Zeitalter beendet?



• Zukunft:

- 7000 Quadratgrad, effiziente Auswahl bis runter zu 24.5
- $z \sim 3$ Quasare: 200 – 400 pro Quadratgrad
- Hunderte von $z \sim 6$ Quasaren
- Vielleicht 10 leuchtkräftige Quasare bei $z = 9 - 10$?



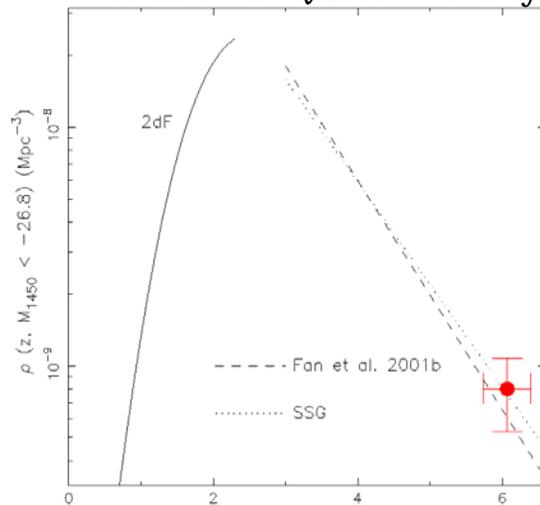
Hochrotverschobene Quasare und das Ende des dunklen Zeitalters



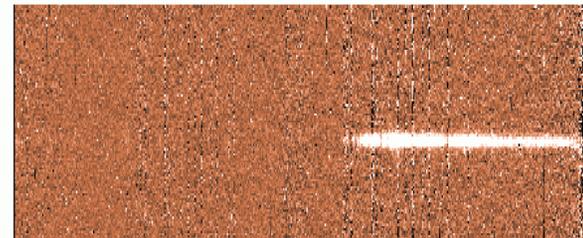
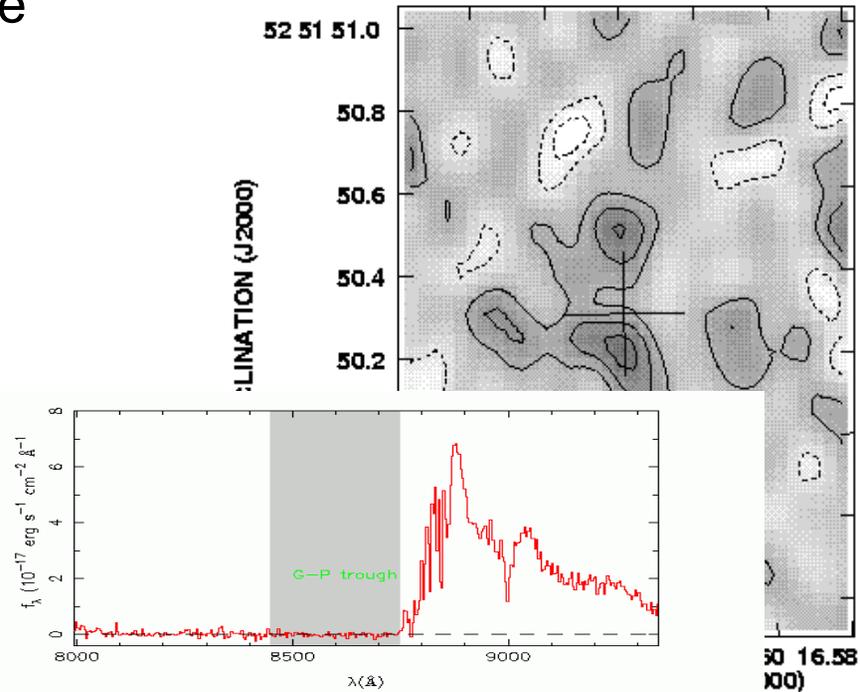
- Existenz von supermassiven Schwarzen Löchern am Ende des kosmischen dunklen Zeitalters

- *Das Ende der Reionisation?*
- Beziehung zwischen Entwicklung der Schwarzen Löcher und der Galaxien?

Evolution of Quasar Density

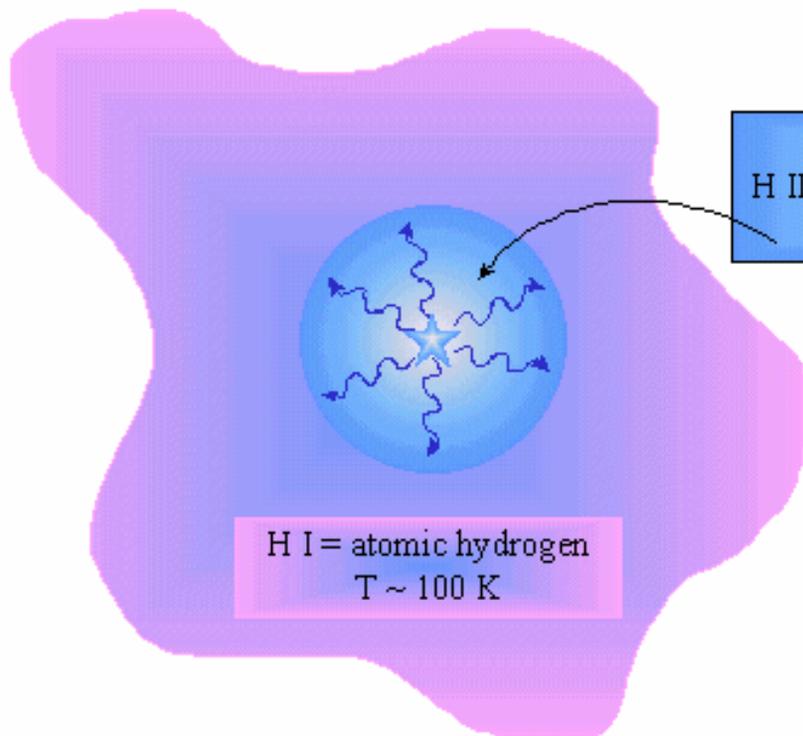


Resolved CO emission from z=6.42 quasar

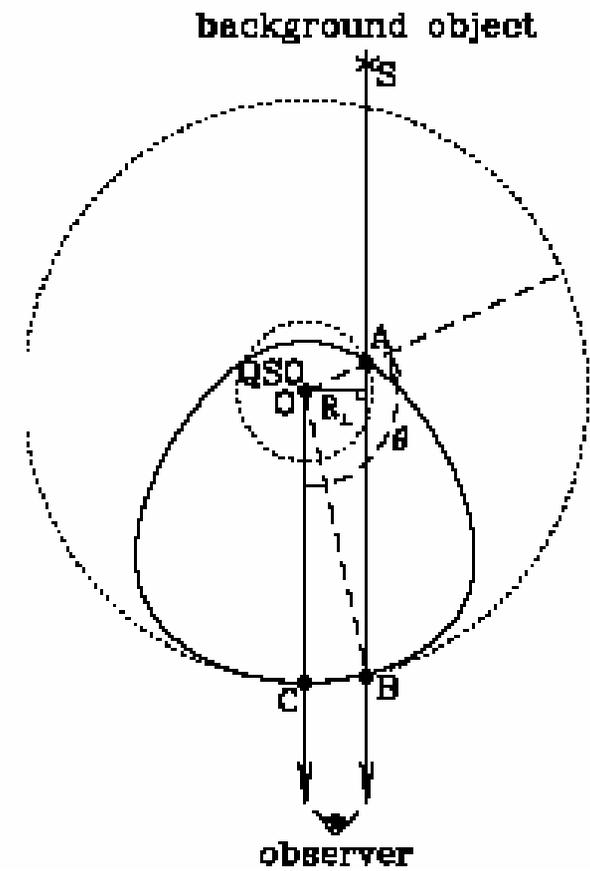


Detection of Gunn-Peterson Trough

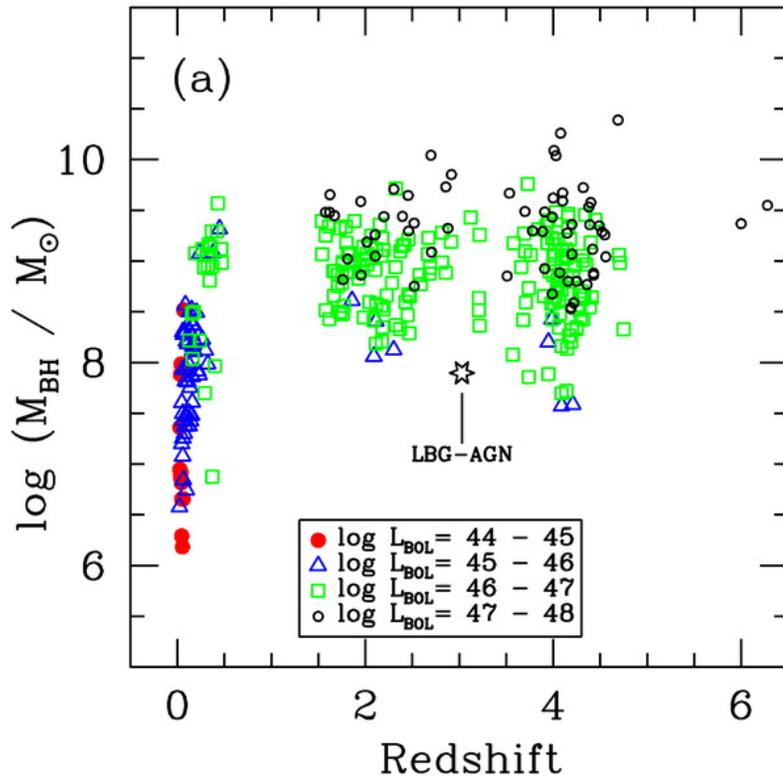
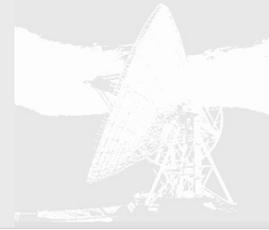
Stromgren Sphäre



Stromgren Sphere
H II region = ionized hydrogen
 $T = 10,000 \text{ K}$

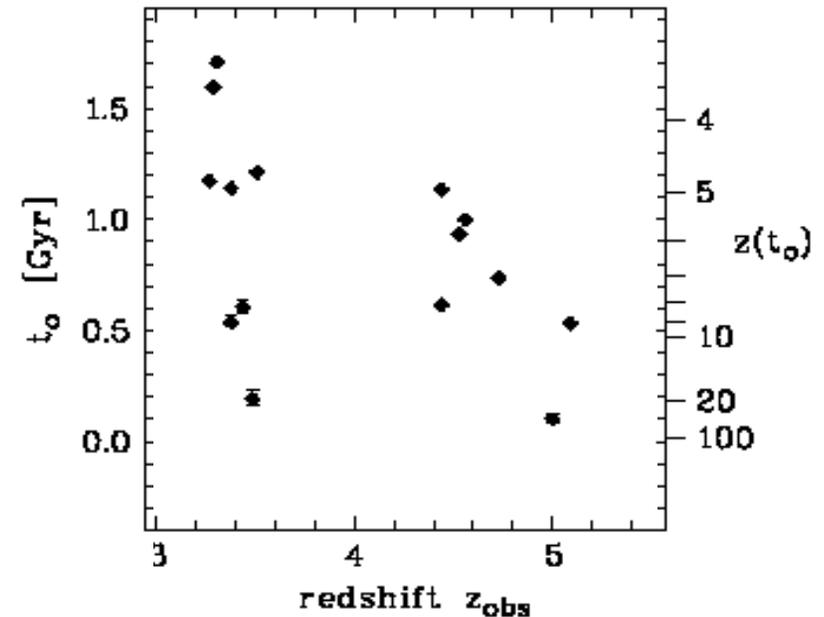


Frühes Wachstum von Supermassiven Schwarzen Löchern



Vestergaard 2004

Entwicklungszeitskala für supermassive Schwarze Löcher (ausgehend von Eddington und Anfangsmasse von 10^5 Sonnenmassen)



Dietrich and Hamann 2004

Wachstumszeit in Größenordnung von ~ 100 Myr, Quasare mit $z > 4.5$ müssen zwischen $z \sim 5-10$ gewachsen sein



Kosmologische AGN-Entwicklung

Neue Ergebnisse: Quasar- Entwicklung

- Supermassive Schwarze Löcher in allen massiven Galaxien mit bulge vermutet => alle Galaxien vermutlich durch eine aktive Phase gegangen
- Starke Korrelation zwischen Masse des BH und bulge Masse: direkte Verbindung zwischen Entwicklung des BH und der host Galaxie
- Beziehung unklar

Bestimmung der Virial-Masse des Schwarzen Lochs



- Annahme: Dynamik der BLR (Broad Line Region) wird wesentlich bestimmt durch die Gravitation des zentralen supermassiven Schwarzen Lochs. Dann gilt:

$$M_{\text{bh}} \sim G^{-1} R_{\text{BLR}} V_{\text{g}}^2$$

Radius der BLR

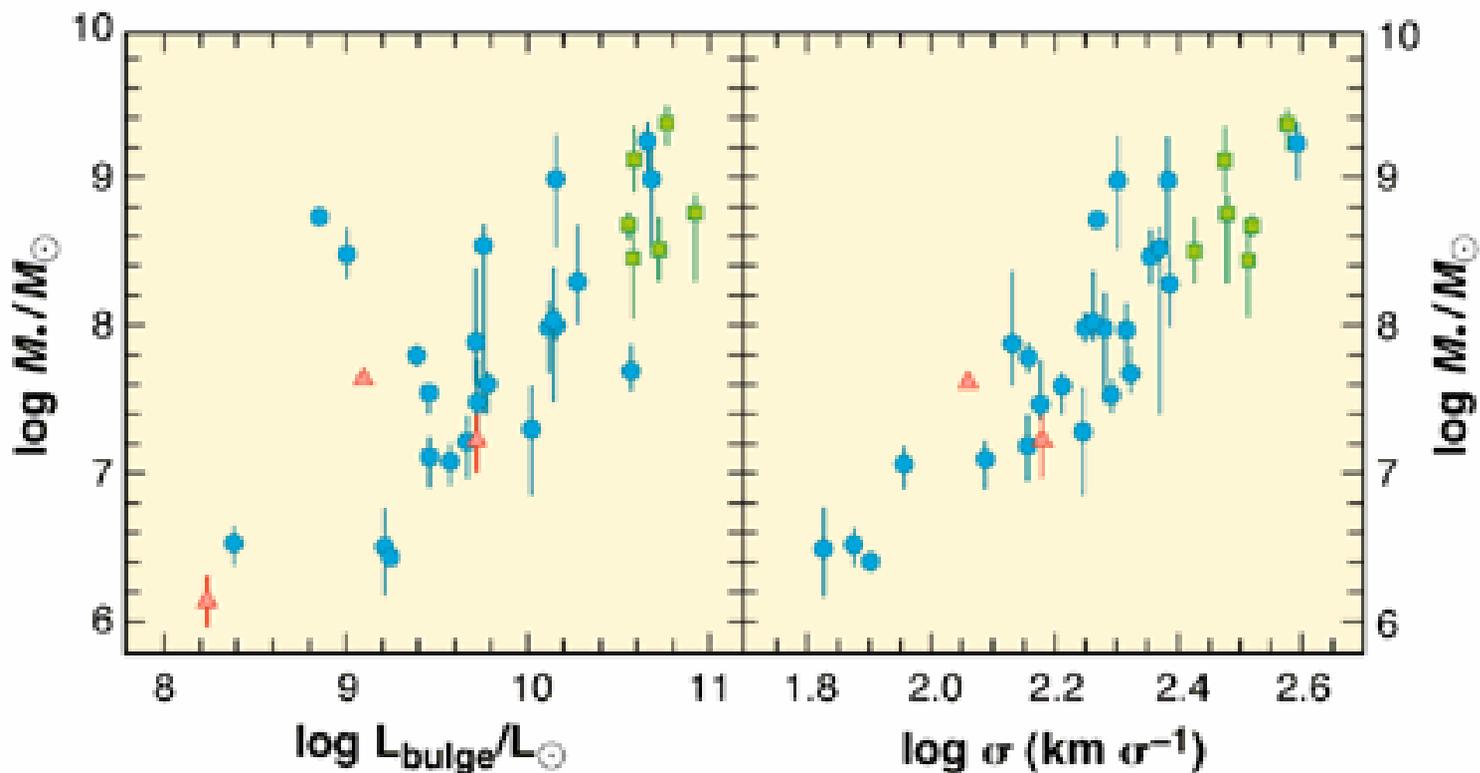
Geschwindigkeit des Linien-emittierenden Gases

Bestimmbar aus der FWHM der H β - Emissionslinie

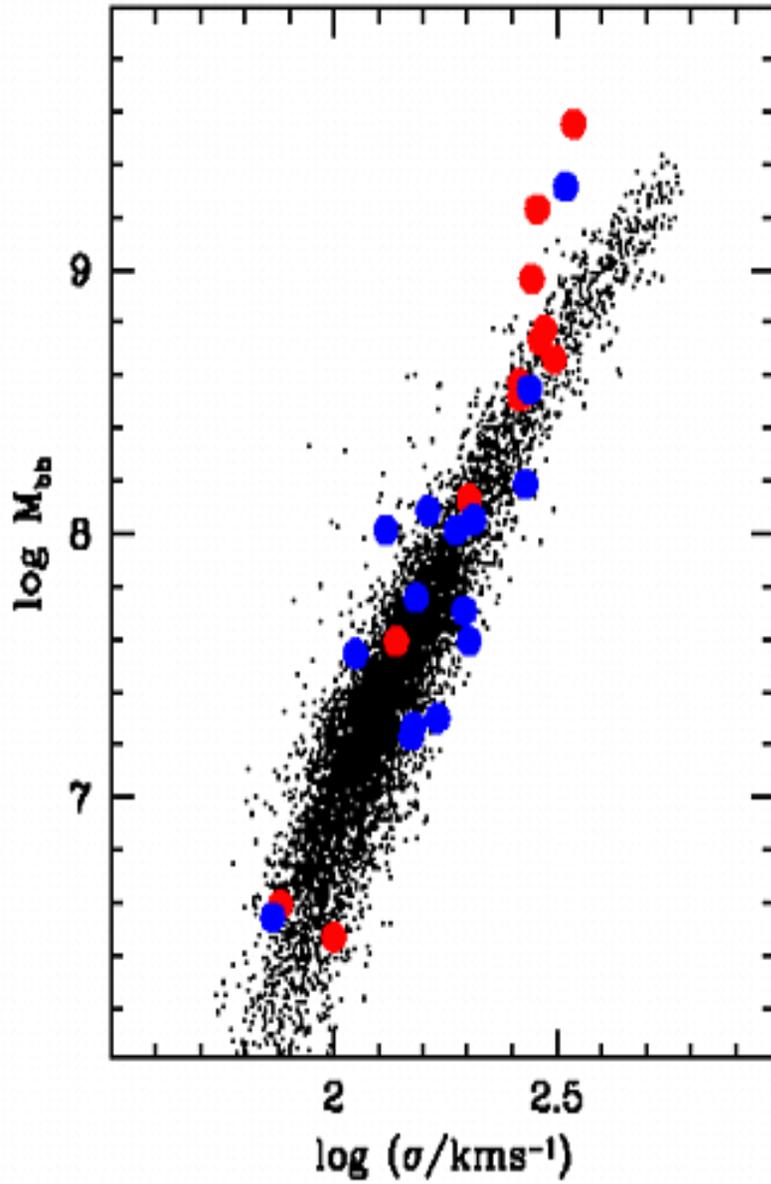
- Weiterhin: für hochrotverschobene AGN Kaspi et al. (2000) zeigen, daß R_{BLR} stark korreliert mit der Kontinuum-Leuchtkraft bei 3000 Angstrom, H β korreliert stark mit MgII und CIV-Emissionslinie
- Virial-Masse direkt bestimmbar aus Leuchtkraft und Emissionslinien



J. Kormendy

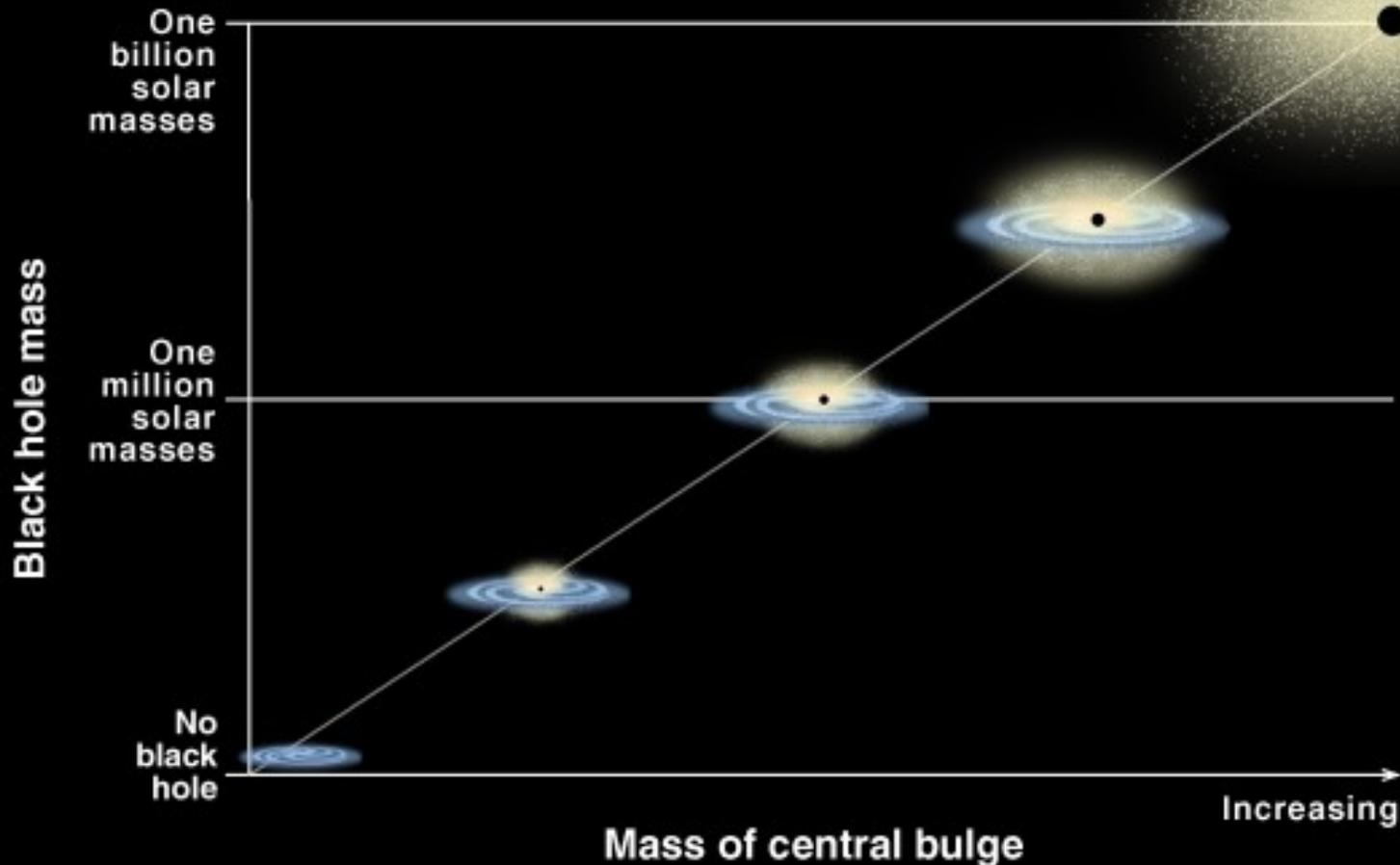


Links: Korrelation zwischen Masse des Schwarzen Lochs und Leuchtkraft der bulge-Komponente, leuchtkräftigere Körper enthalten massivere schwarze Löcher, Blau: Sternbewegung, Grün: Rotation heißer Gasscheiben, Rot: Rotation von kalten Maser Gasscheiben,
Rechts: Korrelation zwischen zufälliger Geschwindigkeit der Sterne und Masse der Schwarzen Löcher



Masse des supermassiven schwarzen Loches *vs.* Geschwindigkeitsdispersion der Galaxie für benachbarte Galaxien. Die roten und blauen Datenpunkte sind aus Ferrarese & Merritt und Gebhardt et al.

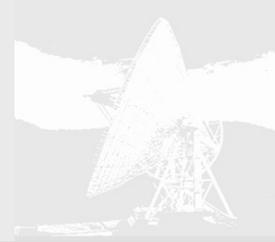
Correlation Between Black Hole Mass and Bulge Mass



22 000 Systeme Emissionslinien, Sternentstehung

Ferrarese & Merritt 2000; Kauffmann et al.

Neue Ergebnisse: Quasar-Entwicklung



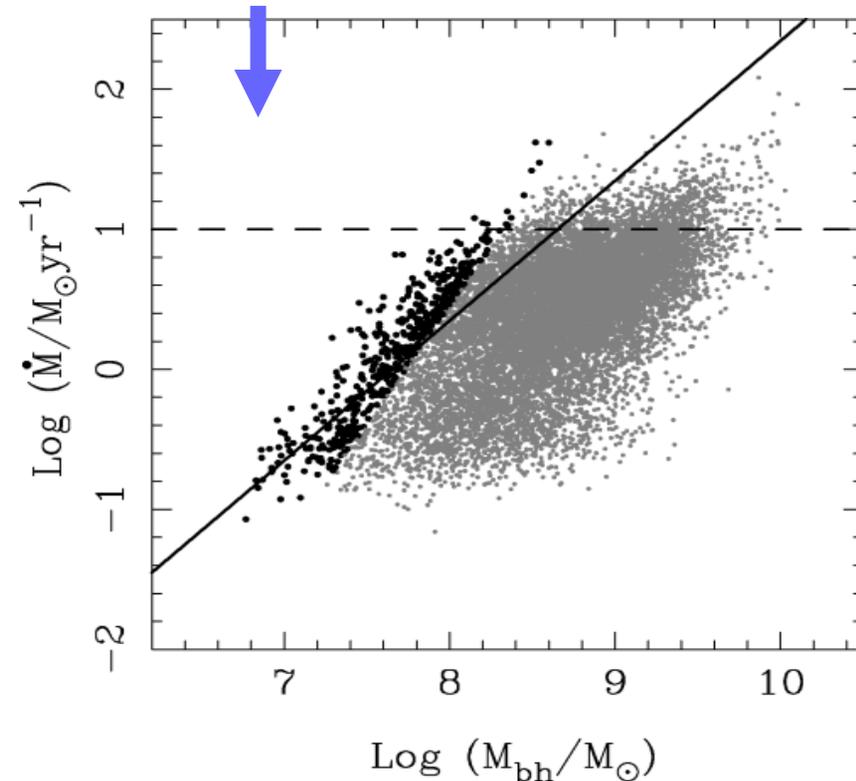
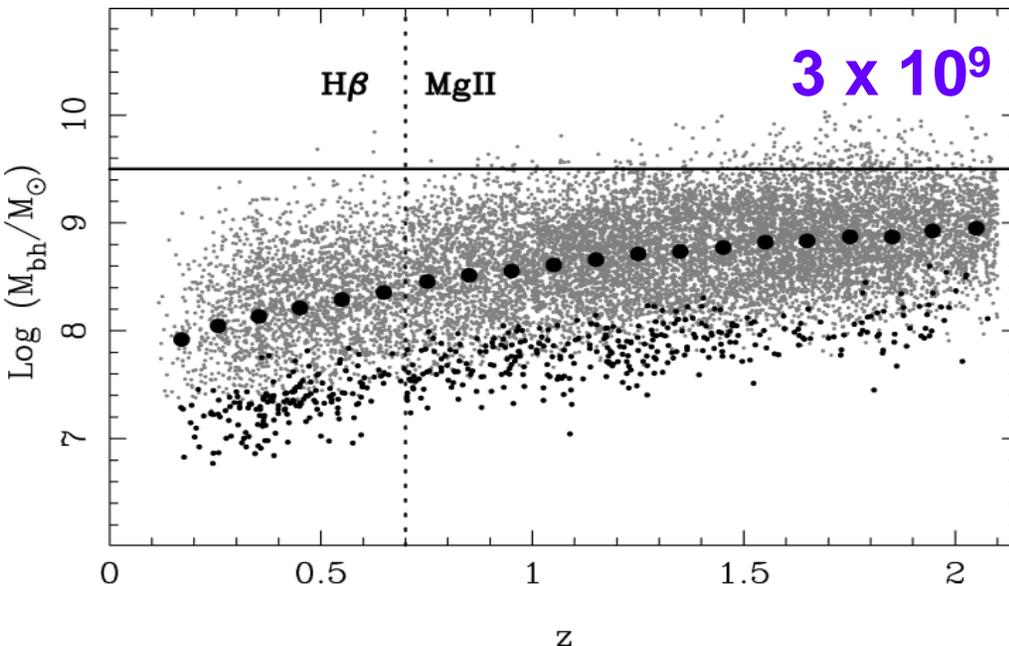
- Sloan Digital Sky Survey: 17000 Spectra von Quasaren zwischen $z=0.08$ und 2.3
- BH-Massenbestimmung für 12698 Quasare
 - Masse der Schwarzen Löcher liegt zwischen $\sim 10^7$ und
 - Obere Grenze für BH liegt bei 3×10^9 Sonnenmassen
 - Die Eddington Raten zeigen nur geringe Evolution über den Rotverschiebungsbereich von $0.0 < z < 2.1$, von $L_{\text{bol}} \sim \underline{0.15} L_{\text{Edd}}$ bei $z \sim 0.2$ zu $L_{\text{bol}} \sim \underline{0.5} L_{\text{Edd}}$ bei $z \sim 2.0$.
 - Die meisten Schwarzen Löcher mit Massen $> 10^{8.5}$ Sonnenmassen existieren bereits bei $z \sim 2$

Virial-Masse Schwarzer Löcher



Eddington Grenze

Akkretionsrate 10 Sonnenmassen/Jahr

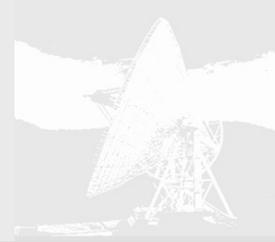


Grau: BLR

Schwarz: NLR

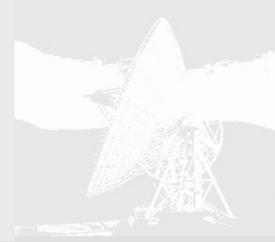
Akkretionsrate als Funktion der Masse

Neue Ergebnisse: Quasar-Entwicklung



- totale Massendichte schlafender BH: $\rho_{bh} = (2.8 \pm 0.4) \times 10^5$ Sonnenmassen Mpc^{-3} .
- Der Aktivierungsanteil Supermassiver Schwarzer Löcher bei $z \sim 2$ ist ansteigende Funktion der Masse
- Quasar Lebenszeiten sind in zunehmendem Maße Funktionen der BH-Masse
- Grenze der Lebenszeit eines Quasars liegt bei einer Masse von $10^{9.5}$ Sonnenmassen $> 2 \times 10^8$ Jahre. BH dieser Masse können nicht auf Massen $> 10^{10}$ Sonnenmassen ansteigen, physikalischer Prozeß (nicht Eddington Grenze), verhindert Akkretionsrate > 10 Sonnenmassen pro Jahr.

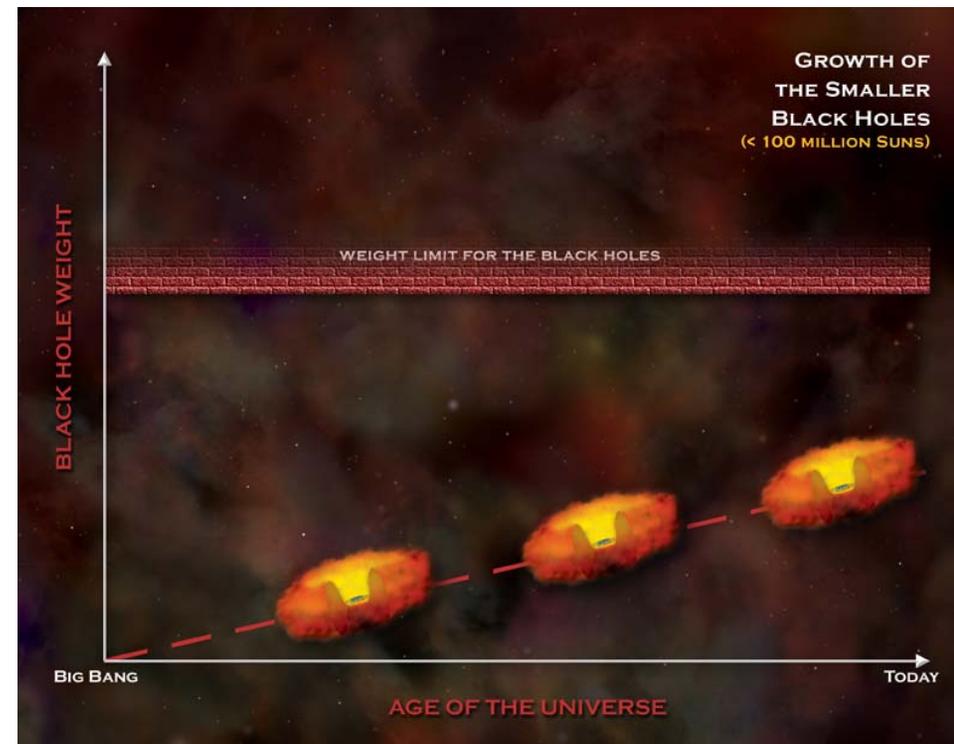
Wachstum Schwarzer Löcher

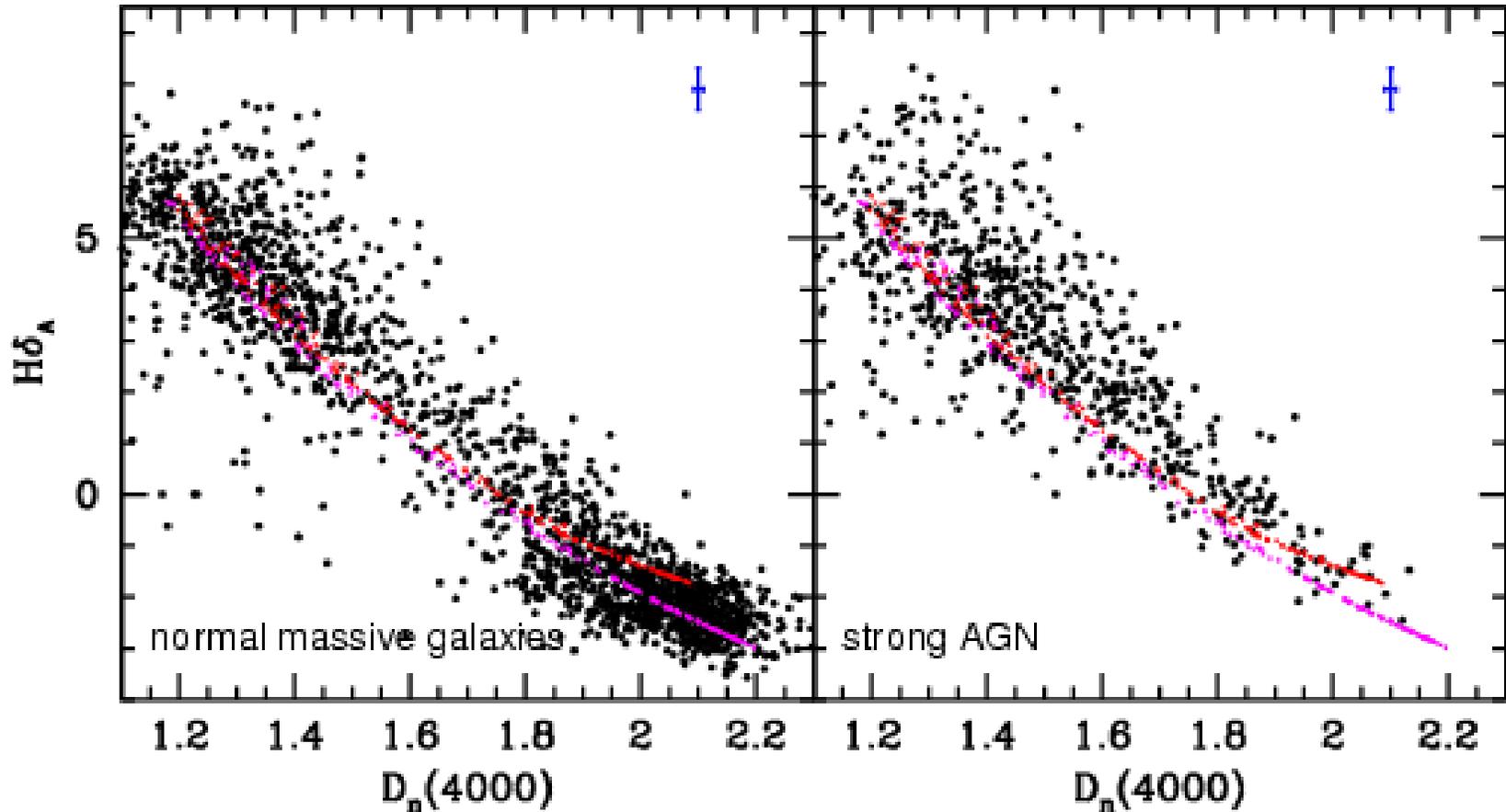


Massen > 100 Mio. Sonnenm.



Massen < 100 Mio. Sonnenm.



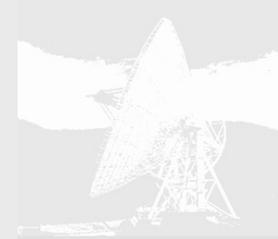


Ein Diagramm zur "Diagnose" von Ausbrüchen der Sternentstehung in AGN des *Sloan Digital Sky Survey*.

Die roten und magentafarbenen Punkte zeigen die vorausgesagten Positionen von Galaxien, die mit kontinuierlichen Sternentstehungsraten entstanden sind.

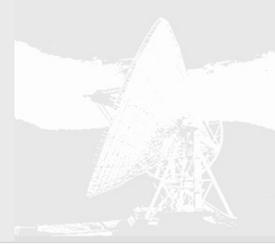
Die meisten gewöhnlichen Galaxien (links) liegen nahe an diesen theoretischen Voraussagen. Eine beträchtliche Zahl leuchtkräftiger AGNs (rechts) ist allerdings von der Linie, die von den Modellen mit kontinuierlichen Sternentstehungsraten belegt wird, verschoben. Dies zeigt, daß diese Objekte vor kurzem einen Ausbruch der Sternentstehung erfahren haben müssen.

Die Suche nach den schlafenden Schwarzen Löchern

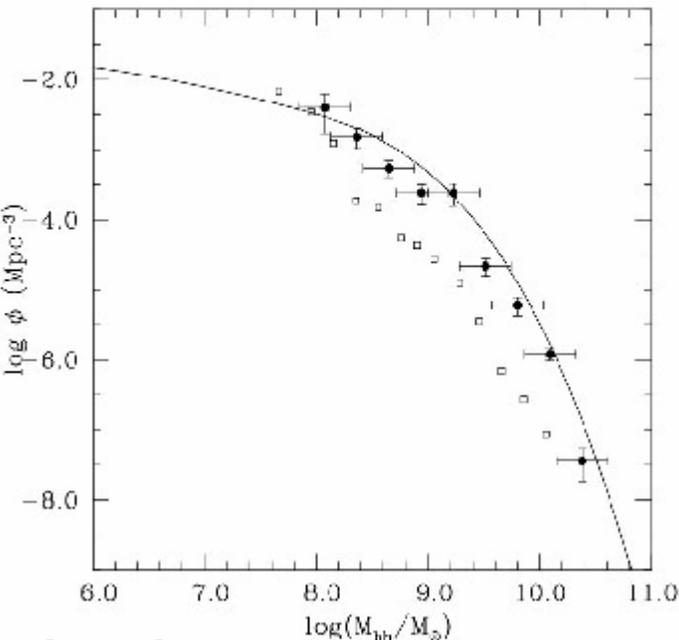


- Basierend auf Durchmusterungen (letzte Vorlesung) und aus der Intensität des Röntgen-Hintergrunds: Aktivität in Galaxienkernen muß in der Vergangenheit wesentlich höher gewesen sein, als heute
- Problem: Überreste finden
- Massive Dunkle Objekte: MDO = schlafende Schwarze Löcher?

Massenfunktion der Überreste Schwarzer Löcher in elliptischen Galaxien



Ausgehend von::
Leuchtkraft-Funktion der Galaxien
Bulge/Massen Beziehung

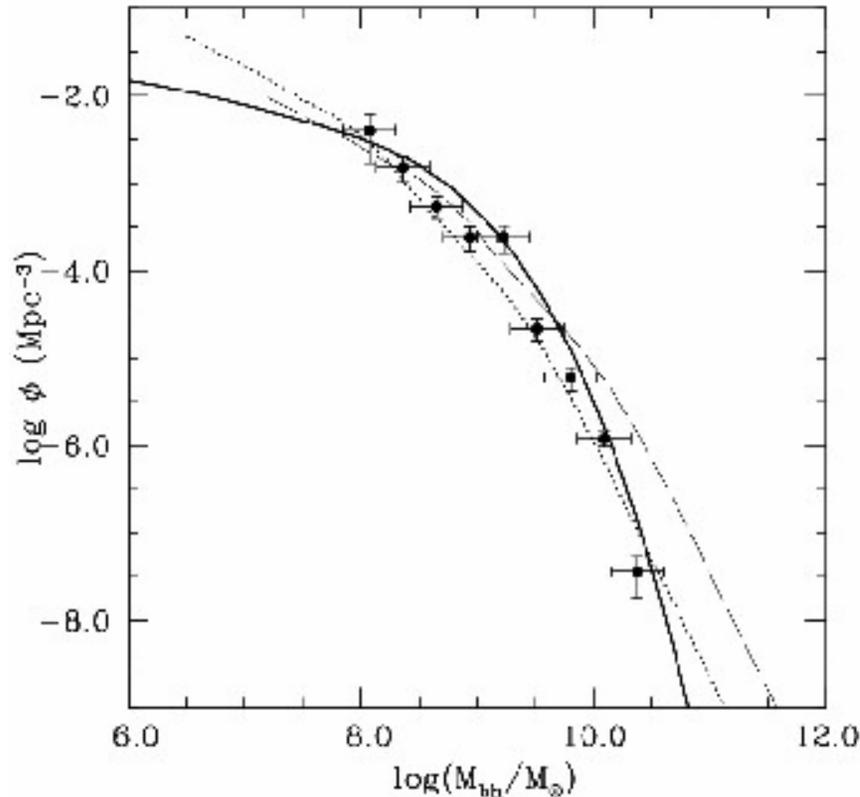


**Totale Massenfunktion
Schwarzer Löcher verglichen
mit den Detektionen**

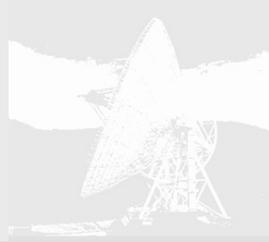
Annahme:

Die emittierte Leuchtkraft der Quasare steigt langsam mit Eddington Rate;
Berücksichtigt ist die Komponente der absorbierten (optisch) Quasare, die
den Röntgen-Hintergrund erzeugen

Massenfunktion der Überreste Schwarzer Löcher in elliptischen Galaxien

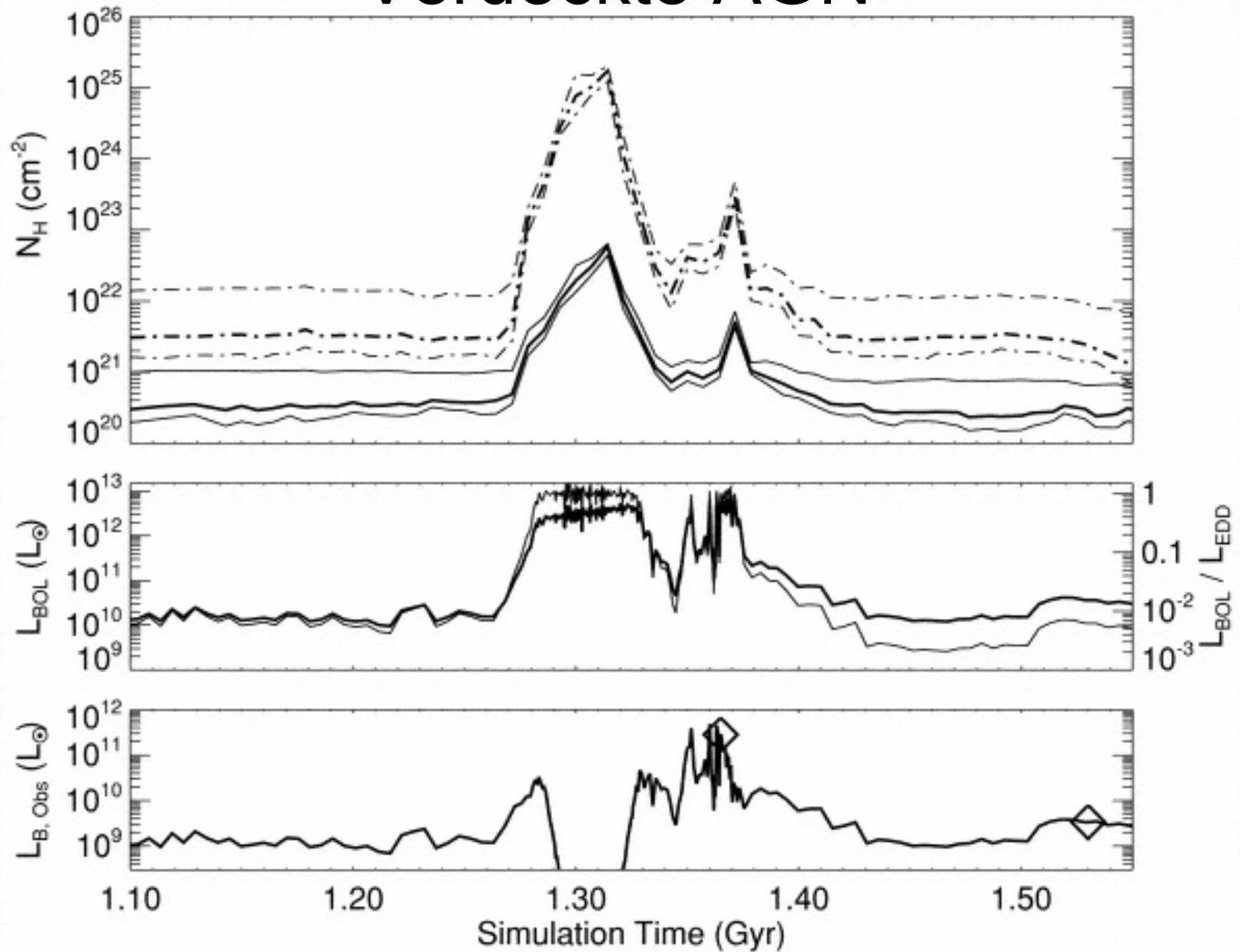


Die Massenfunktion des akkretierten Materials in AGN (gepunktet), verglichen mit der Massenfunktion Schlafender Schwarzer Löcher in Galaxien (durchgezogen und gefüllte Kreise)

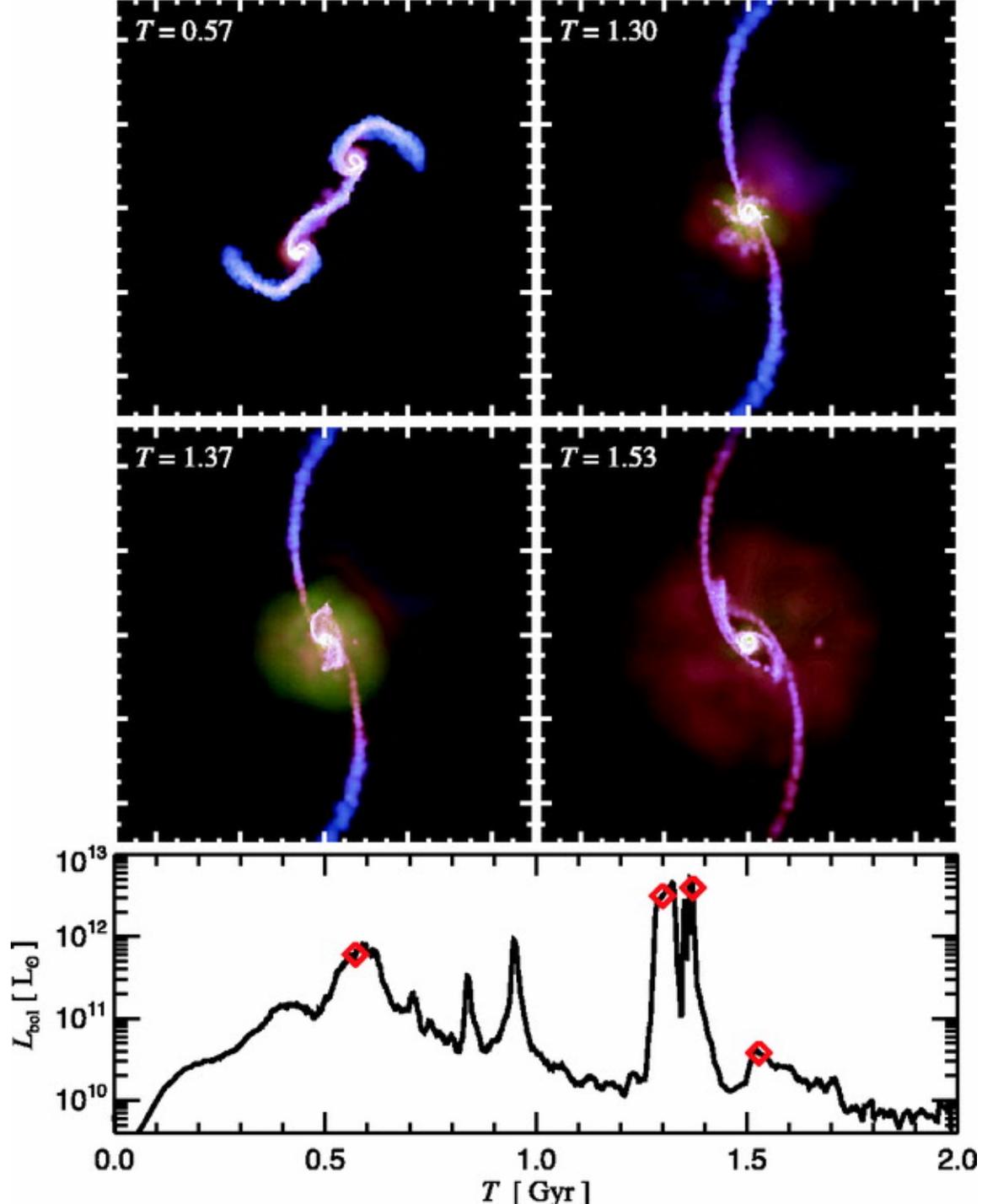


- Nukleare Aktivität ist einziges, kurzes Ereignis
- Proto-elliptische Galaxien sind die Wiege der Quasar Schwarzen Löcher

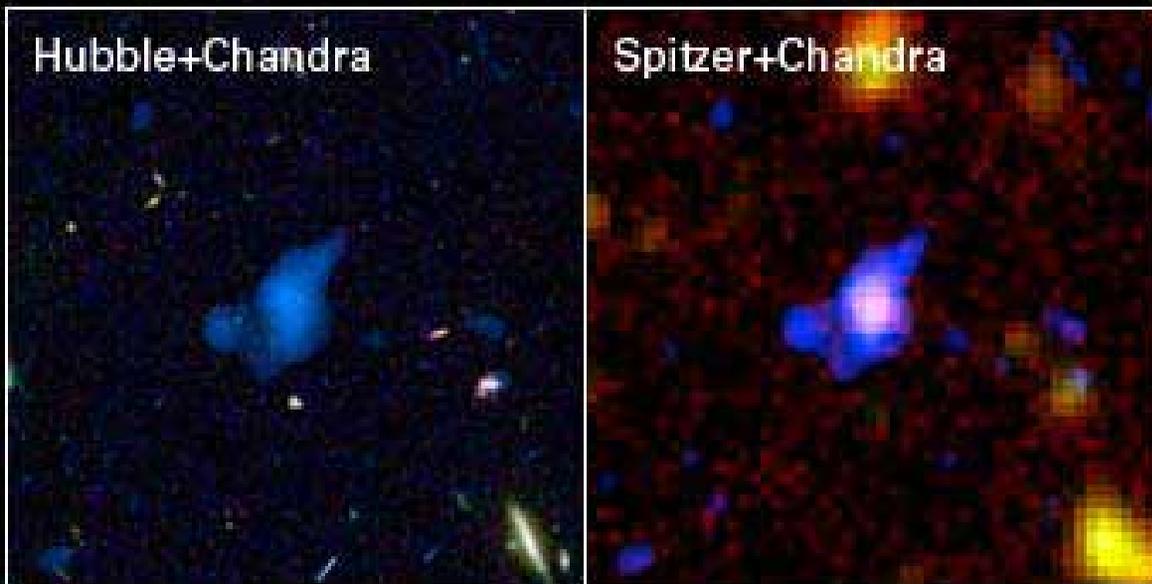
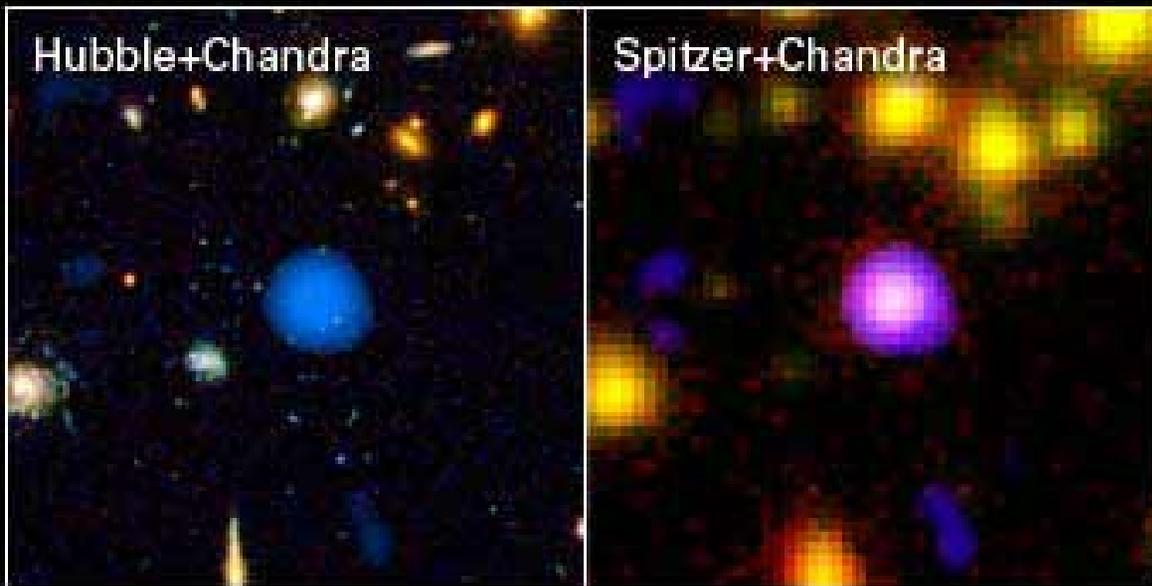
Verdeckte AGN



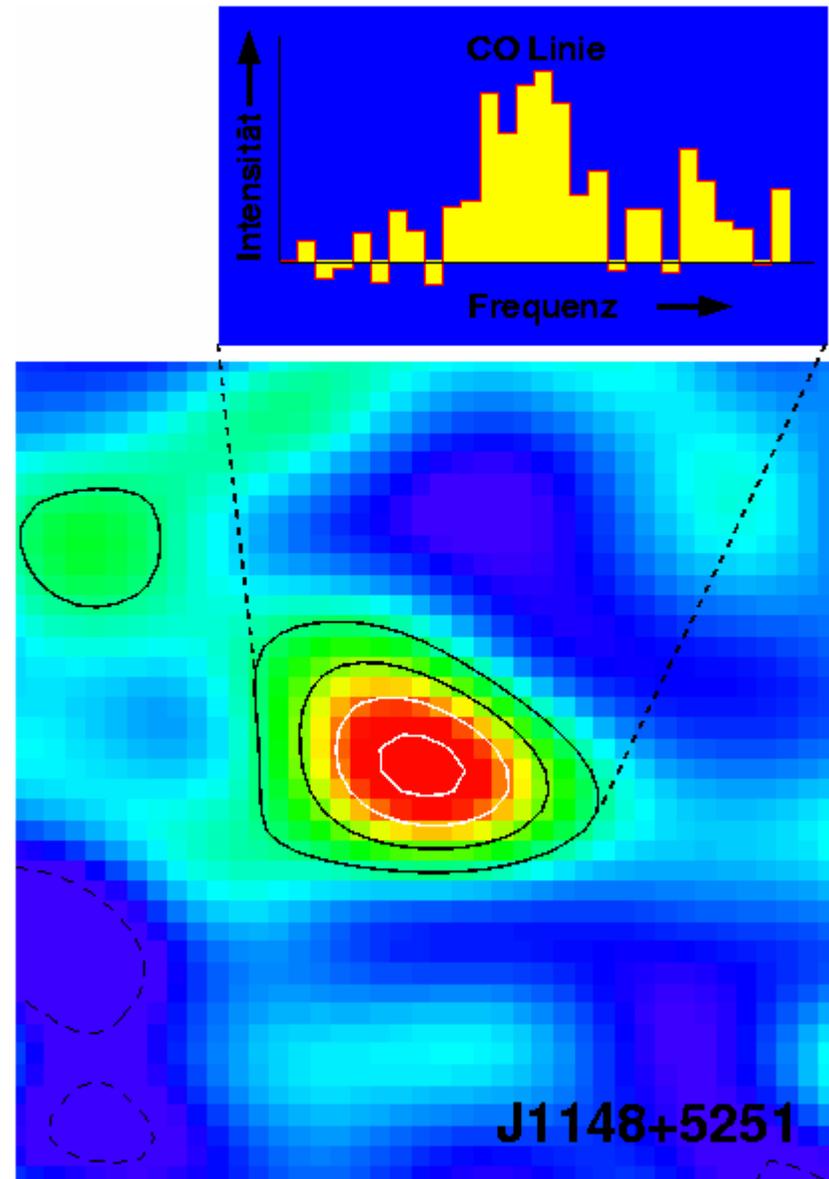
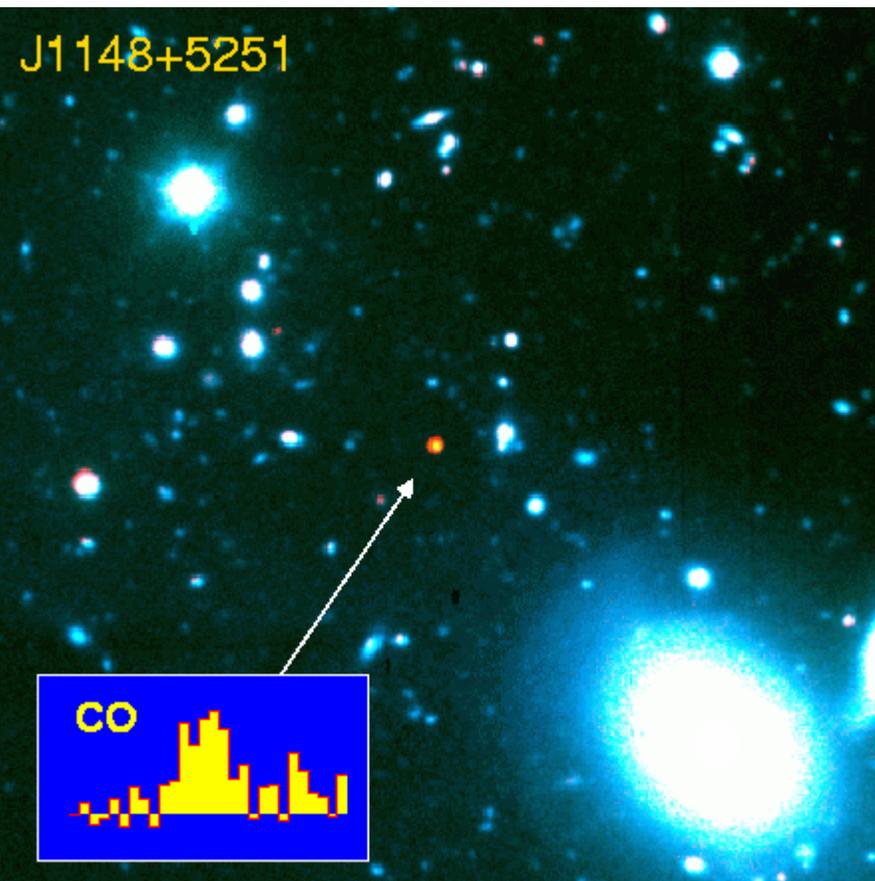
Silverman et al 2004, große verdeckte Population



Spitzer – neue Möglichkeiten

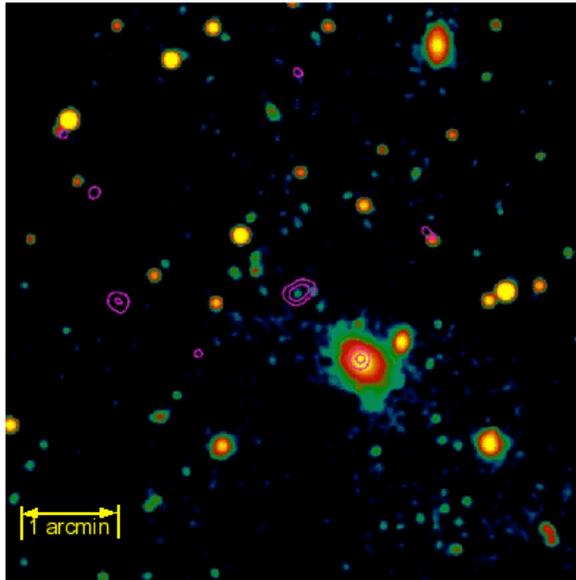


Molekulares Gas und Staub im entferntesten Quasar



Submm and CO detection in the highest-redshift quasar:

- Dust mass: $10^8 - 10^9 M_{\text{sun}}$
 - H_2 mass: $10^{10} M_{\text{sun}}$
 - Star formation rate: $10^3/\text{yr}$
- *co-formation of SBH and young galaxies*



SDSS J1148
MAMBO 1.2 mm (contour)
S/N on SLOAN r' image

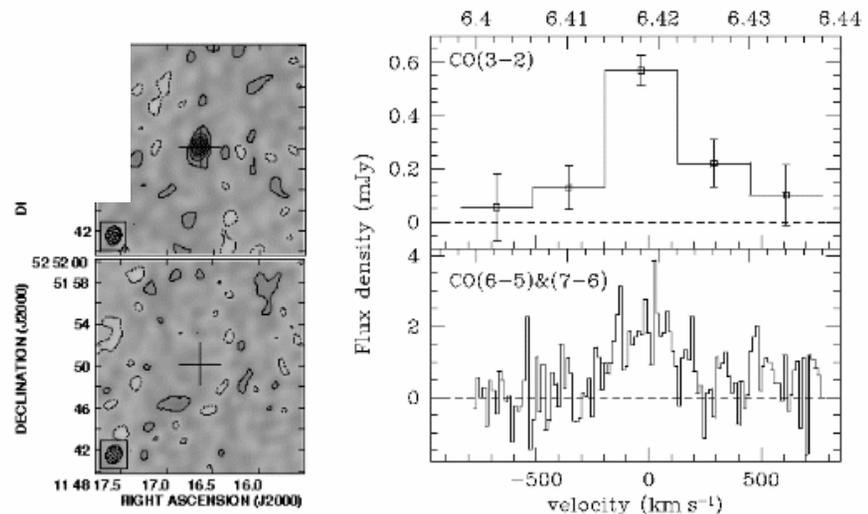
Dust

$7 \times 10^8 M_{\text{sun}}$

dust condensation in SNR
of massive star winds:
silicates and Fe

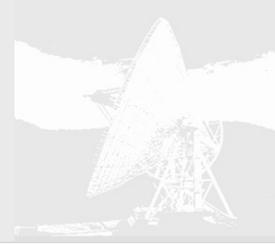
Bertoldi et al. 2003

S J1148: CO 3-2 (VLA), 6-5, 7-6 (PdBI)



Walter, Bertoldi, Carilli et al. 2003, Nature
Bertoldi, Cox, Neri et al. 2003, A&ALet

Mittelgewicht gefunden?



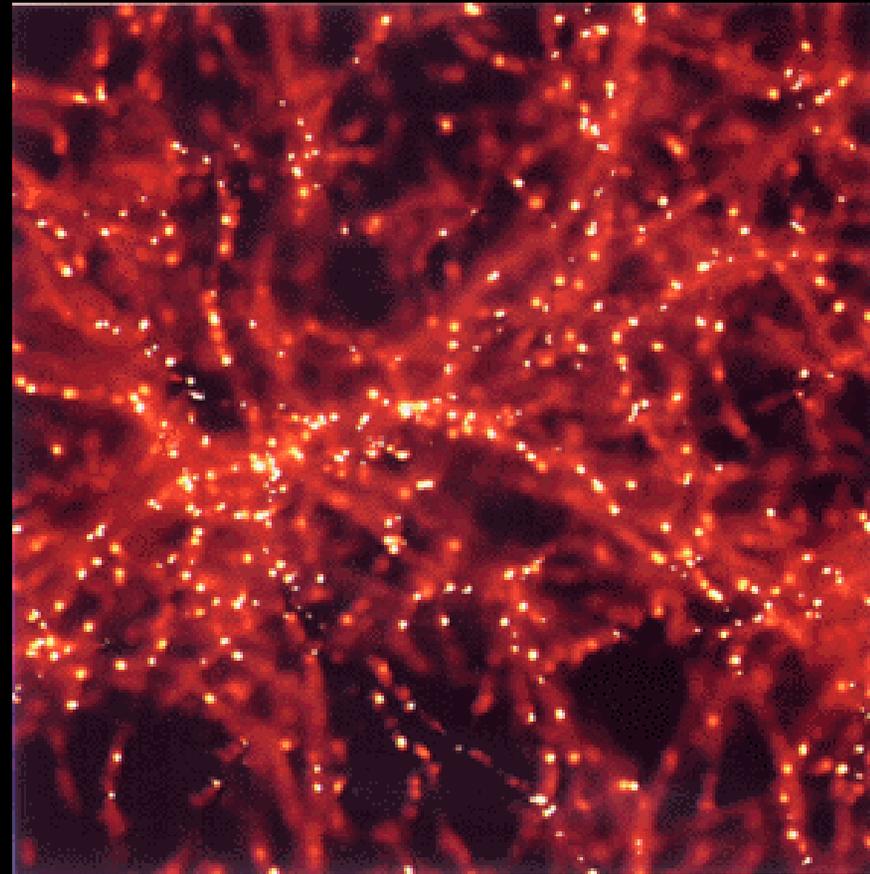
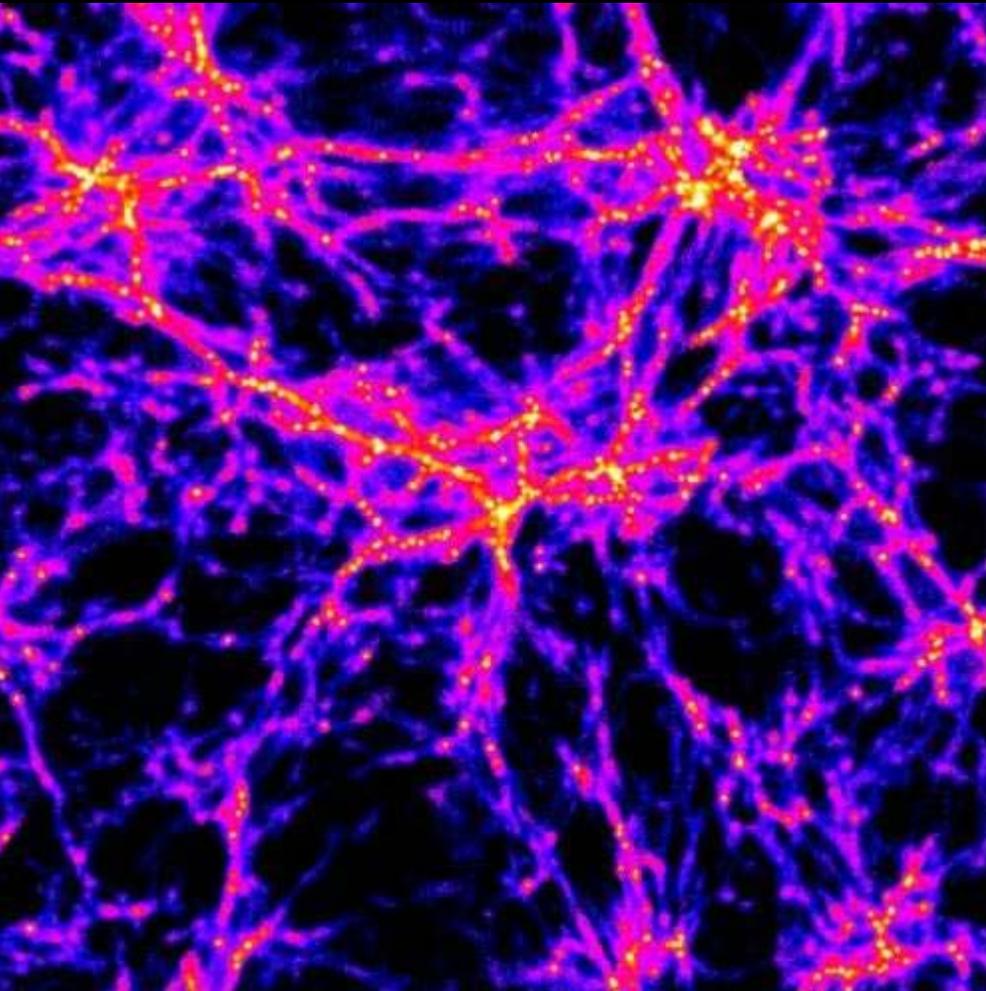
- 25 -40 fache Sonnenmasse

"I think it is still unclear whether black holes play any role in the formation of the first galaxies."

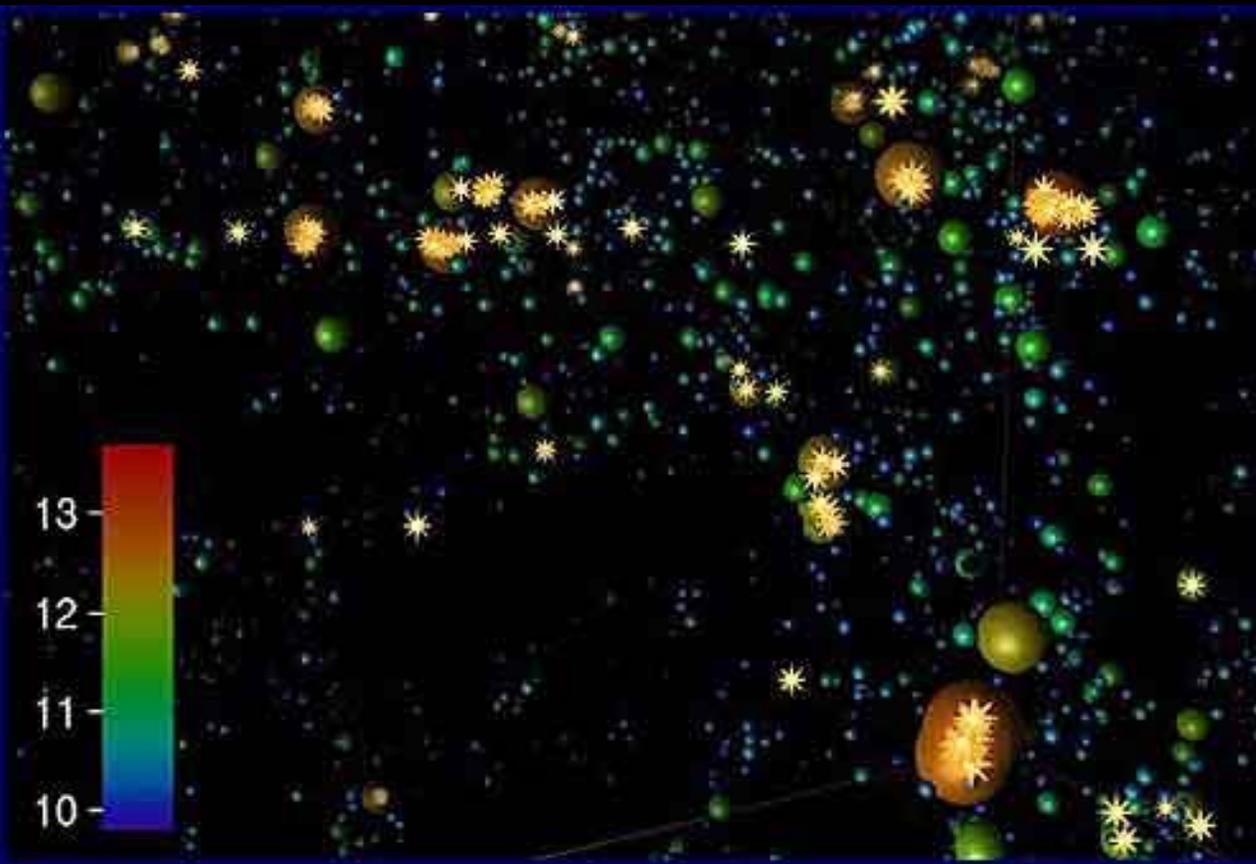
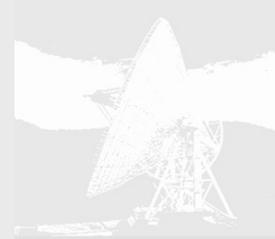
Sir Martin Rees

University of Cambridge

"It's filamentary, my dear Watson."



Central Quiescent Theory/ Collisional Starburst Scenario



- Central Quiescent Theory: Galaxien bilden sich langsam und stetig aus Gasmasse -> Sterne->Galaxien, werden heller, je mehr Sterne sich bilden
- Collisional starburst Szenario: viele bilden sich schnell durch Kollisionen zwischen Materieklumpen, nicht notwendigerweise im Zentrum der Halos. Sternentstehungsausbrüche, Gas wird effizient in Sterne umgewandelt