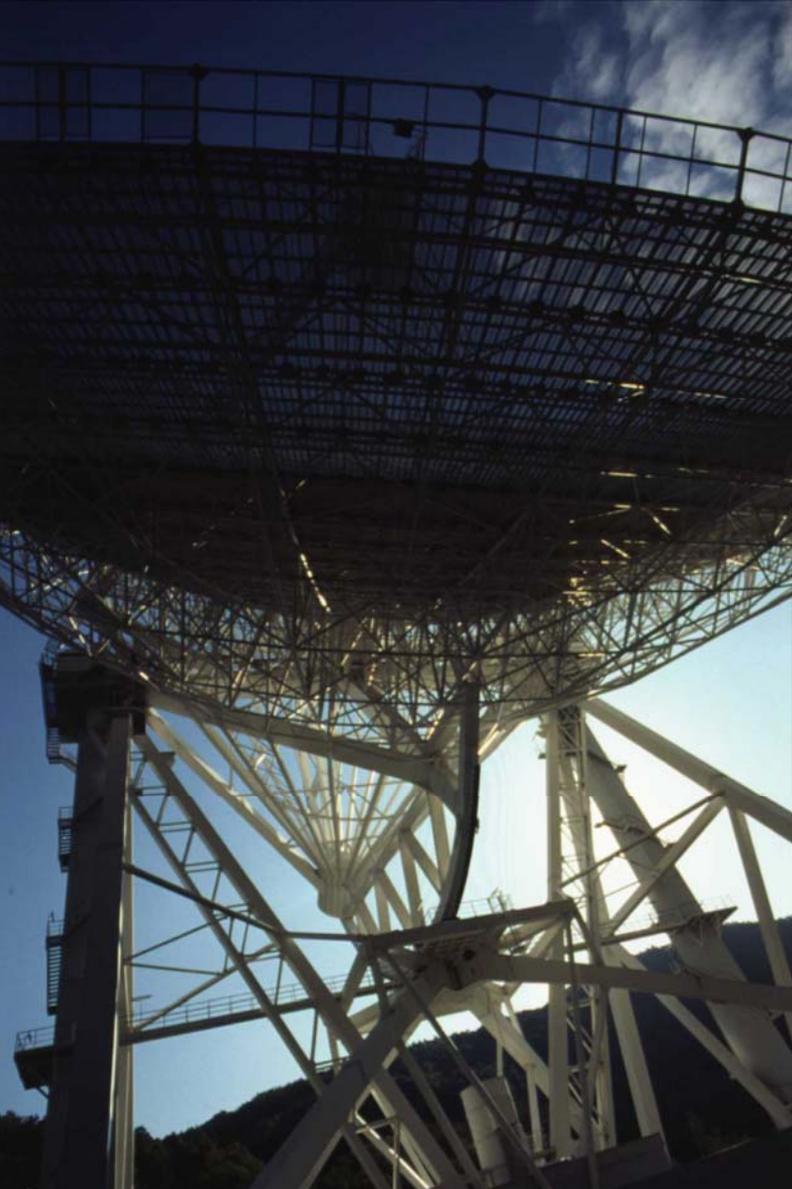


Sommersemester 2006



Der Radiohimmel
im Licht der
21 cm Linie



Heute



Themen
& Daten

- Einführung & Übersicht
- 12.05. Radioteleskope & Radiobilder & Katastrophen
- 26.05. Der Radiohimmel im Licht der 21cm-Linie
- **09.06.** Maser & das Interstellare Medium & AGN & Merger
- **23.06.** AGN & Binäre Schwarze Löcher (NEUES!)
- 07.07. Pulsar-Astronomie (heute & in Zukunft)
- 21.07.

21cm-Linie



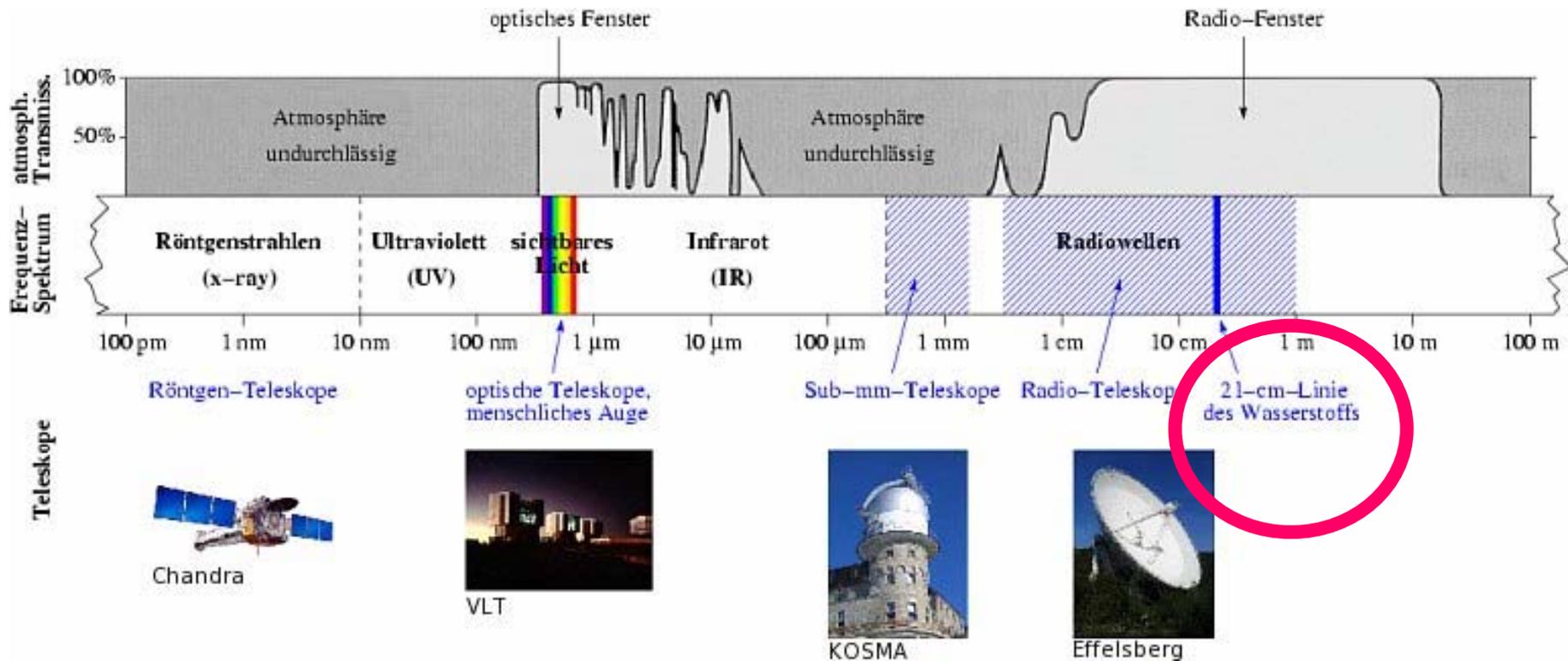
Übersicht

- Die 21cm-Linie, van de Hulst, ...
- Spiralarme in HI, Rotation der Milchstraße
- Tully-Fisher Relation
- Kinematik der Galaxien, Rotationskurven
- HVCs – High Velocity Clouds
- Dunkle Galaxien / Dunkle Materie
- HI in Galaxienhaufen
- **Wechselwirkende Galaxien in HI untersuchen**
- Perspektiven der Zukunft: die Reionisation und die 21cm-Linie

A background image of a starry night sky. The sky is dark blue with a central bright blue star. Numerous yellow and white stars are scattered across the field. The text 'Die Geschichte der HI-Linie' is written in white, handwritten-style font across the middle of the image.

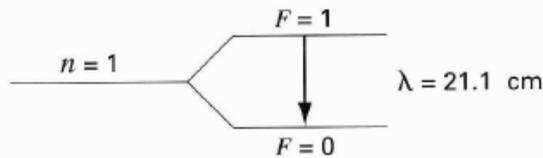
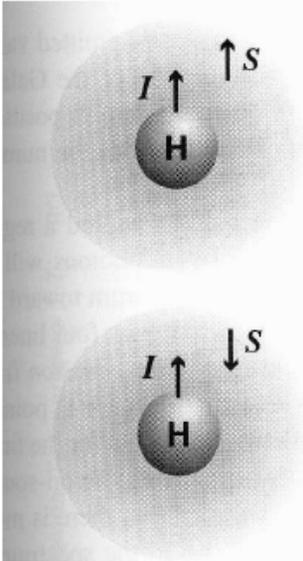
Die Geschichte der HI-Linie

Radiostrahlung & Quellen

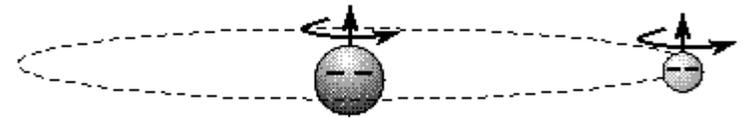


Linienstrahlung: 21 cm-Linie des atomaren Wasserstoffs, Großteil des interstellaren Gases in atomarer oder molekularer Form, atomarer Wasserstoff hat Temperatur zwischen 100 und 3000 K. Unsere Milchstraße hat 3 Milliarden Sonnenmassen HI-Gas, 70% davon weiter entfernt als die Sonne. Die 21cm Linie wird nicht durch Staub blockiert

Die 21cm-Linie



Neutral atomic Hydrogen creates 21 cm radiation



- 1944 Hendrik Christoffel van de Hulst
Die Existenz einer (Spin Flip) Linie (bei 21 cm, 1420,4058 MHz) wurde für die ISM 1944 von van de Hulst vorhergesagt.
- 1951 von Edward Mills Purcell und Harold Irwing Ewen und Gart Westerhold tatsächlich nachgewiesen (und von Crampton, Kleppner und Ramsey im Labor genau vermessen). Bis zur Entdeckung des Moleküls CO (Übergang $J = 1 \rightarrow 0$ mit $\lambda = 2,6$ mm) war die 21-cm Linie das wichtigste Mittel zur Durchmusterung der interstellaren Materie (ISM) der Galaxis.

Die 21cm-Linie

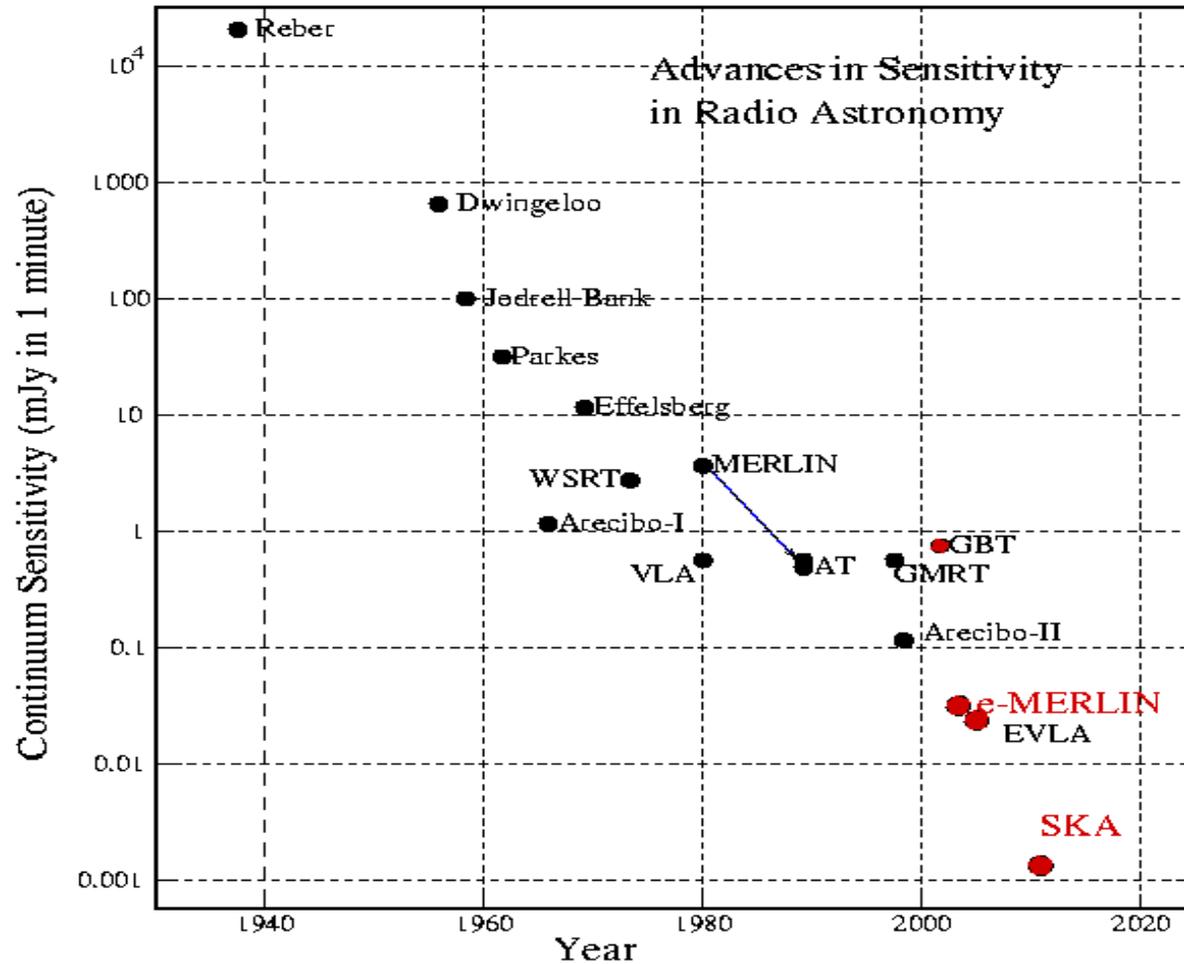


- Niederlande: „Würzburg Riesen“, Radarsystem mit einem Parabolspiegel von 7,5m Durchmesser; ursprgl. 1500, einige in den Dienst der Wissenschaft gestellt
- Radiodienst der Niederländischen PTT installierte einige Instrumente für die Erforschung der Ausbreitung von Radiowellen; *Stichting Radiostraling van Zon en Melkweg*, bauten das Gerät um, um die 21cm-Strahlung beobachten zu können
- 11.Mai 1951: C.A. Mulder und J.H. Oort beobachten in Kootwijk erstmals die 21cm Strahlung des neutralen Wasserstoffs
- 6 Wochen zuvor: Ewen und Purcell, Harvard Erstentdeckung
- Zwei Monate später: Australien
- 1 Jahr später: erste detaillierte Radiokarte von der Spiralstruktur unserer Milchstraße von Jan Oort auf einem Kongress in Rom präsentiert

Die 21cm-Linie



- Kootwijk Gruppe zog im Jahr 1955 nach Dwingeloo um
- am 17. April 1956 nimmt dort das 25m Teleskop seinen Dienst auf
- Für **ein Jahr** war es das größte bewegliche Radioteleskop weltweit
- Gegenüber Würzburg Riesen: 4mal höhere Auflösung



Der Radiohimmel im Licht der 21cm-Linie



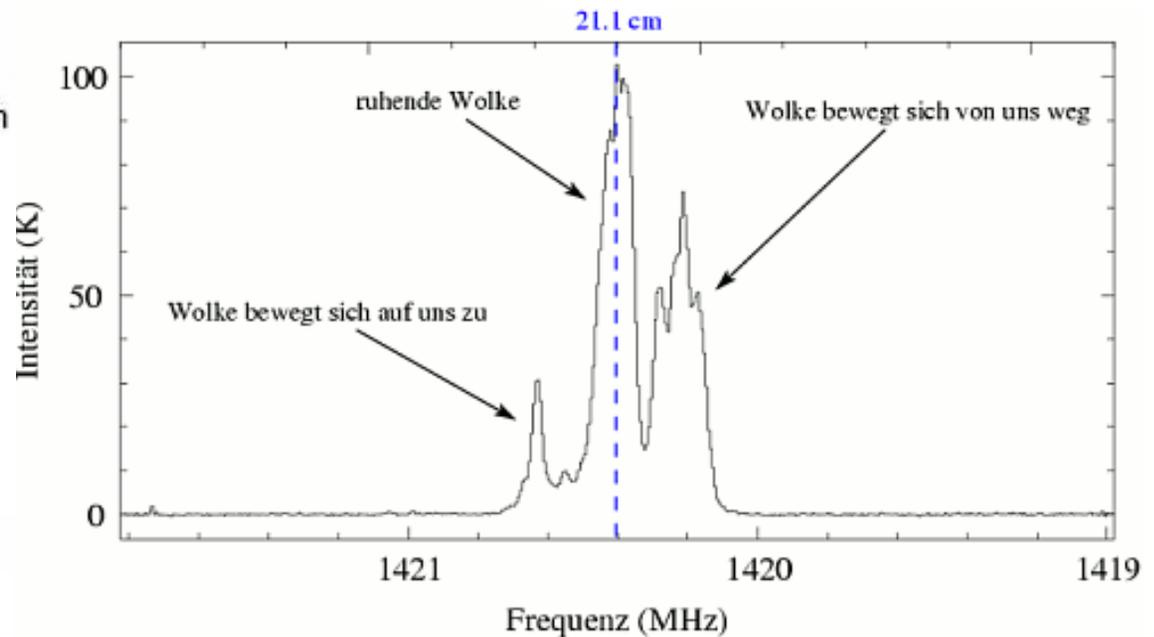
21 cm Linie

21 cm Linie (1420.4MHz) des neutralen Wasserstoffs wichtig für Bestimmung von:

- Geschwindigkeiten
- Temperaturen $T=30 \dots 80 \text{ k}$
- Teilchendichten $n=100 \dots 800 \text{ cm}^{-3}$
- Magnetfelder
- Struktur und Kinematik von Galaxien

Meist optisch dünn

- Emission
- Große Reichweite



Der Radiohimmel im Licht der 21cm-Linie



- Interstellarer Raum mit Wasserstoff gefüllt
- All-sky HI, keine Sterne, diffuse Gaswolken
- Bögen verursacht durch stellare Aktivität in der galaktischen Scheibe

HI: Rosettennebel

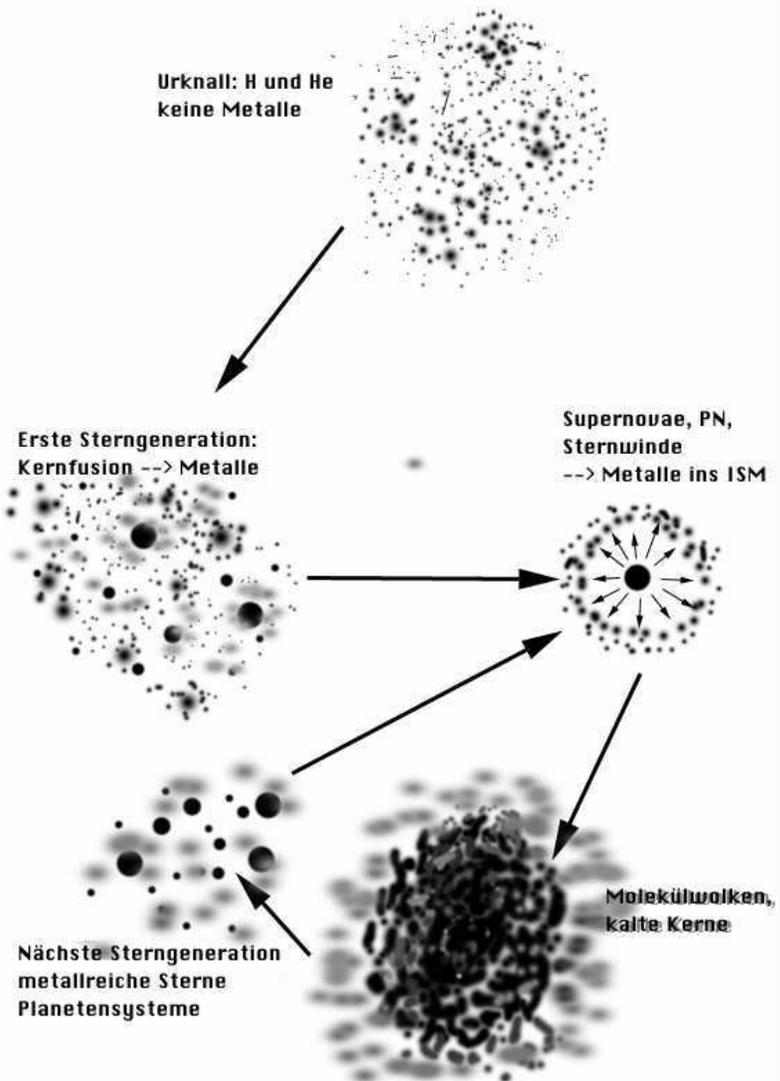


HI: Rosettennebel



- Im Sternbild Einhorn, galaktischer Nebel
- Im Zentrum: Sternhaufen NGC 2244
- Enthält 11000 Sonnenmassen ionisierten Wasserstoffs, Durchmesser: 16pc, Entf:1,4kpc
- Alter: 500 000 Jahre, vermutlich durch massiven Wind, der von NGC 2244 ausgeht, entstanden, 20 km/s, in einigen Mio Jahren wird er sich aufgelöst haben
- Dunkelwolken (Globulen) und neutraler Wasserstoff (HI)
- Elefantenrüssel entstehen an Grenzen zw. Dem nach außen drängenden HII-Gas und dem HI-Gas der Umgebung

Wasserstoff im Materiekreislauf

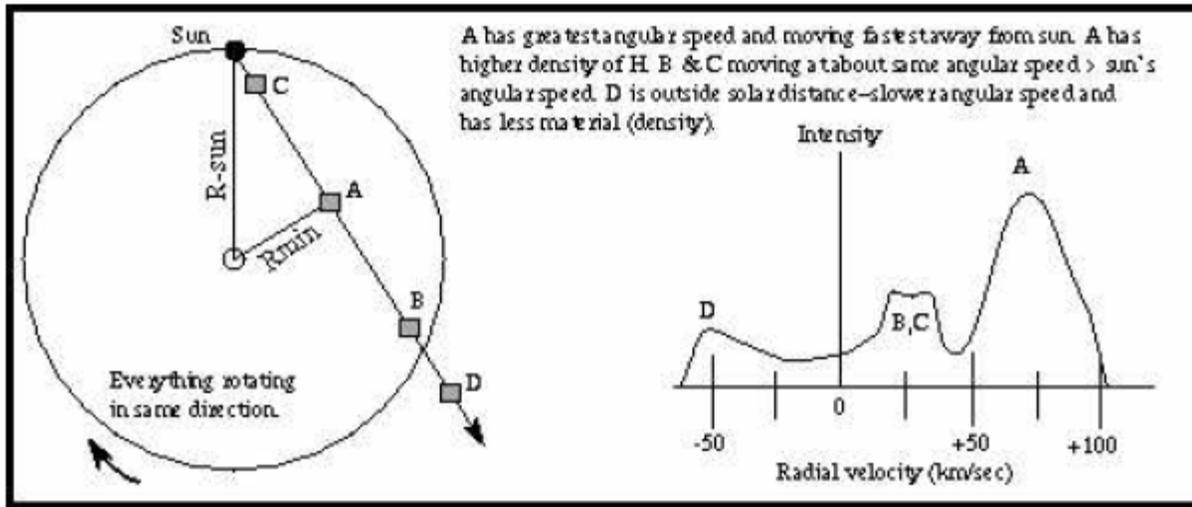


- Am Beginn aller Prozesse im Weltraum
- Frühphasen des Universums
- Beginn der Sternentstehung
- AGN-Aktivität? Zyklus?

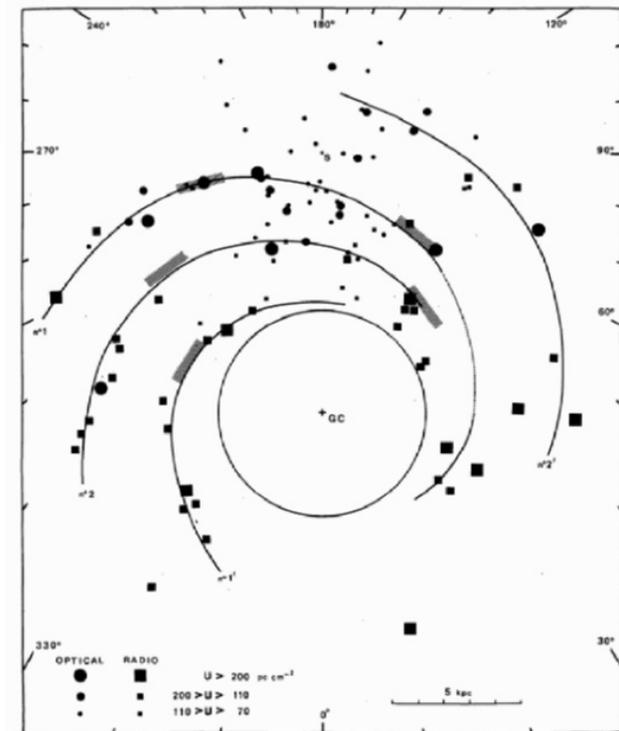
The background of the slide is a dark blue gradient, transitioning from a deep blue at the top to a lighter blue at the bottom. It is filled with numerous small, bright yellow and white stars, creating a starry night sky effect. A prominent, bright white star is visible near the center of the image.

H1: die Rotation
der Milchstraße

HI: Rotation der Milchstraße



- Intensität der 21cm-Linie ist abhängig von der Dichte des atomaren Wasserstoffs entlang der Sichtlinie
- Rotationskurve: Bahngeschw. als Funktion der Entfernung vom Galaxis-Zentrum
- Jan Oort: 1927, Sterne im Zentrum schneller als außen (differentielle Rotation)
- Rotationskurve wird bestimmt aus maximaler Dopplergeschwindigkeit entlang unterschiedlicher Sichtlinien

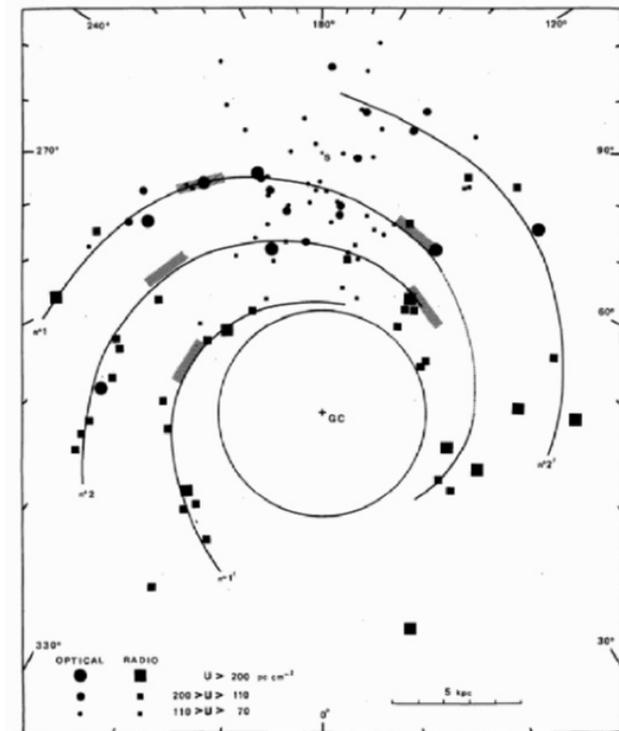


HI: Rotation der Milchstraße

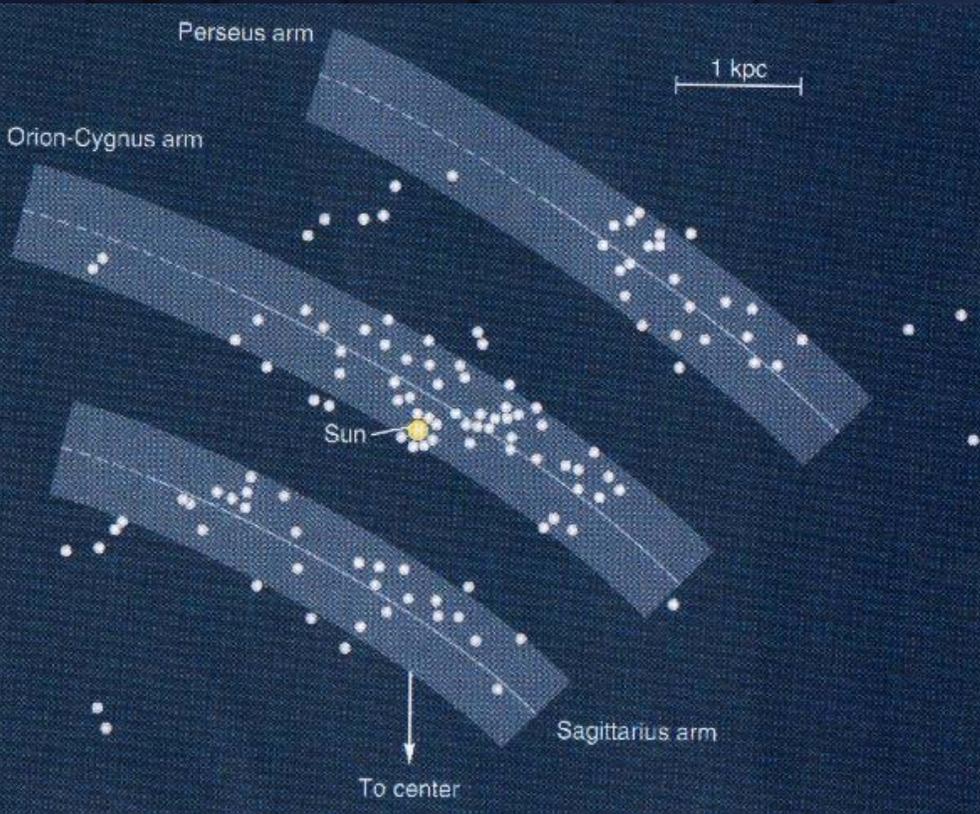


- Kohärente, großskalige Strukturen, die vermutlich Spiralarme darstellen
- Genaue Entfernungsbestimmungen zu den HI-Wolken schwierig
- CO-Beobachtungen, größerer Kontrast im Vergleich zu HI, ebenfalls Problem der Distanzen
- Georgelin and Georgelin 1976: kombinieren Beobachtungen junger Sterne und Radiodaten der HI-Wolken und HII-Emissionsregionen
- Standard-Modell für 30 Jahre!!
- Entfernungen? Zahl der Spiralarme?

Georgelin and Georgelin (1976)



HI: Rotation der Milchstraße

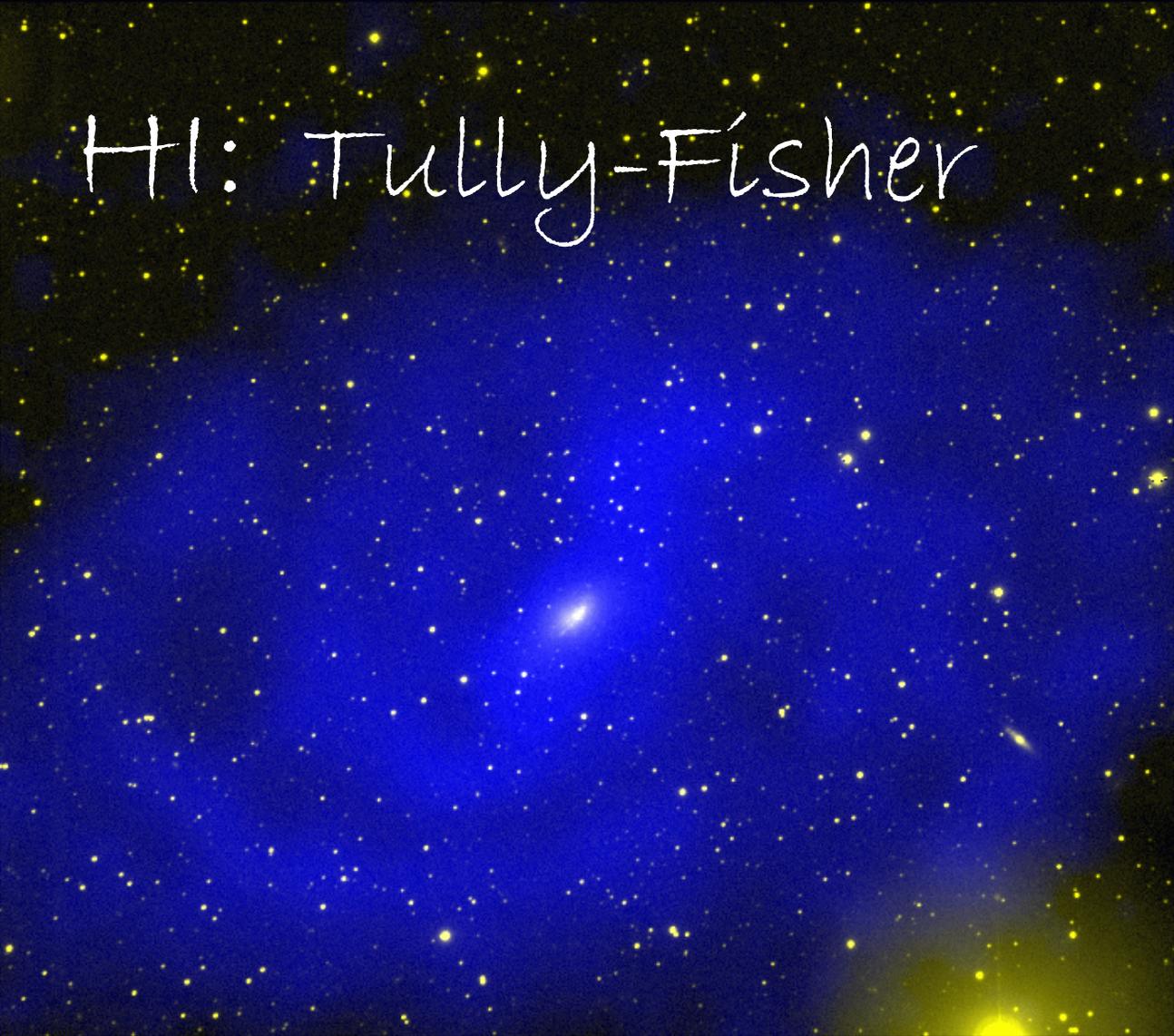


HI: Milchstraße, Form noch unklar



- Radiobeobachtungen zeigen Gasstruktur der Spiralarme
- Unklar ist bislang, ob normale Galaxie (wie Andromeda) oder Balkenspirale wie auf dem Bild
- Bulge der Galaxis elongiert in Richtung der Sonne: Balken?
- Neue Beobachtungen: Maser, nächste Vorlesung

H1: Tully-Fisher

A photograph of a starry night sky. The background is a deep blue, filled with numerous small, bright yellow and white stars. In the center, there is a prominent, bright blue star or nebula. The overall scene is a beautiful representation of a starry field.

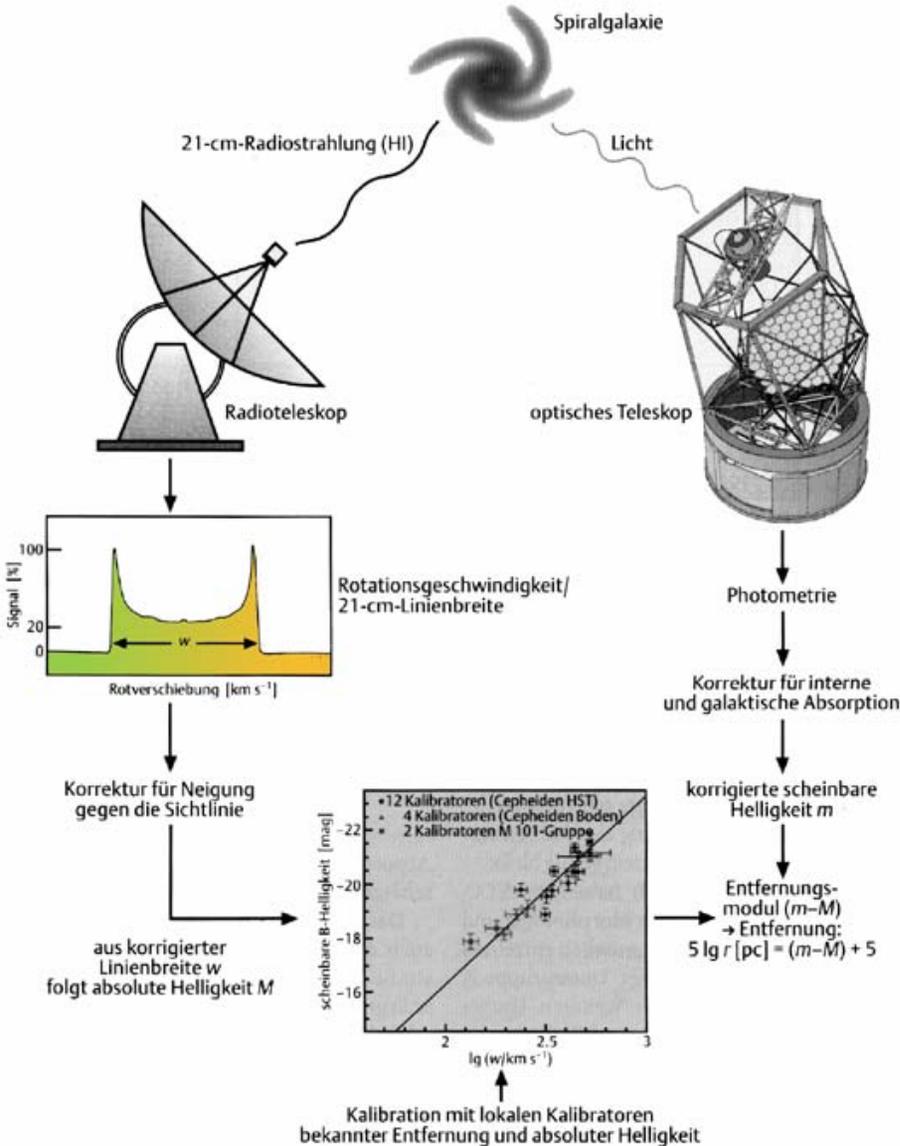
Tully-Fisher Relation



$$L \propto (v_{max})^4$$

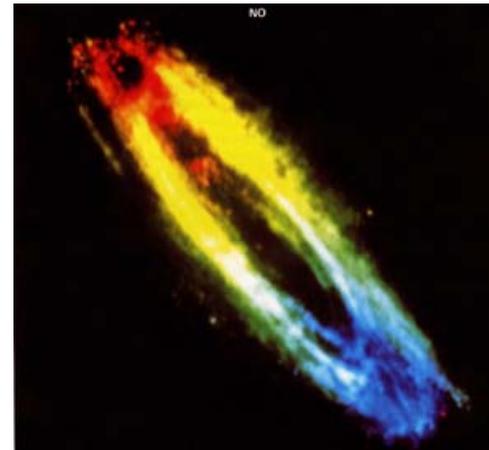
- Standardkerze, 1977 von Brent Tully und Richard Fisher veröffentlicht
- Empirisch gef. Zusammenhang zw. Rotationsgeschw. von Spiralgalaxien mit ihrer Leuchtkraft
- Aus Rotationsgeschw. (aus Verbreiterung der Spektrallinien) kann somit auf die Entfernung geschlossen werden
- Je größer die Masse, desto größer die Rotation
- Vorausgesetzt: Galaxien gleicher Masse haben vergleichbare absolute Leuchtkraft, Leuchtkraft wächst proportional zur Masse
- Eichung an bekannten Entfernungen von Galaxien notwendig (Eichquellen aus der Lokalen, Sculptor, Leo, M81, M101 Gruppe, Virgo-Haufen)

Tully-Fisher Relation



$$L \propto (v_{max})^4$$

21cm: Blau auf uns zu



Masse einer Galaxie



- Gegeben durch:
 - Linienbreite
 - Optische Ausdehnung
 - Entfernung
 - Modell- und Typenabhängige Konstante



H I: Gasgehalt ξ

Rotationskurven der Galaxien

Galaxien in HI



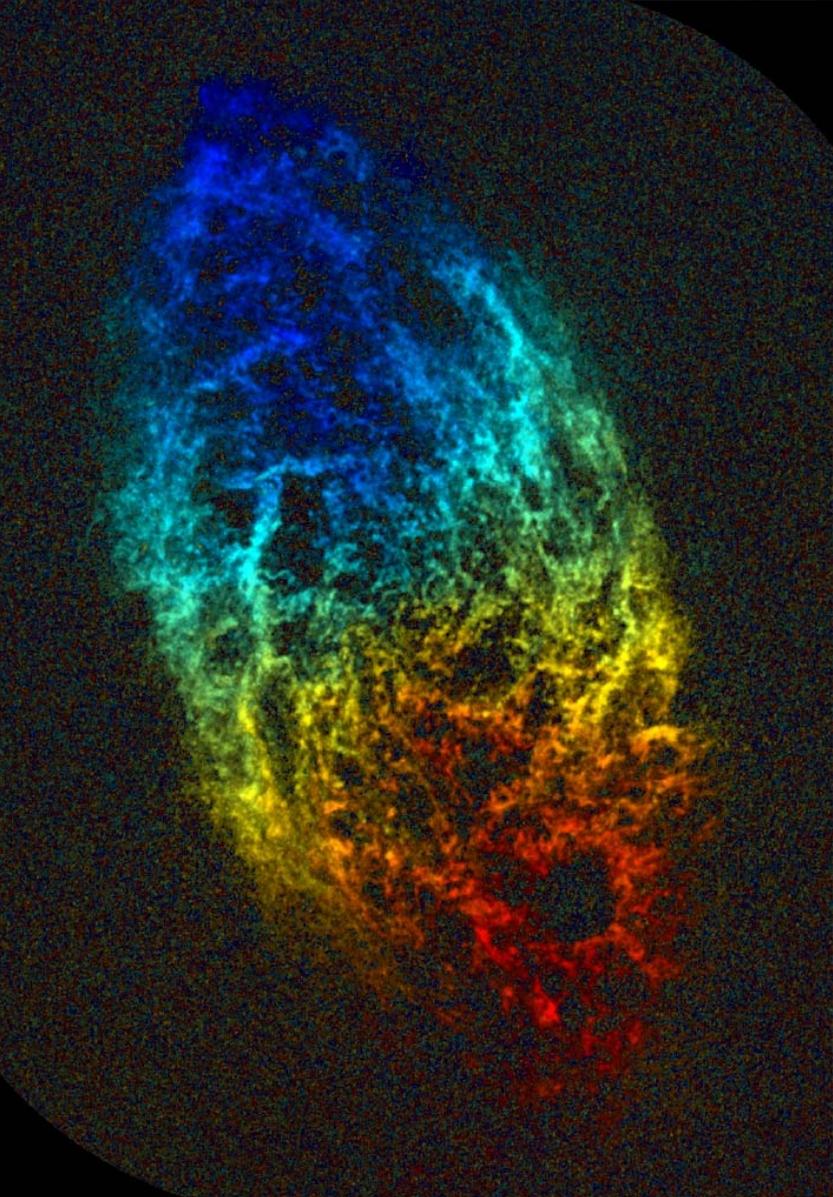
Image courtesy of NRAO/AUI and Tom Oosterloo, Astron, The Netherlands

- NGC 2403 Spiralgalaxie, rechts sichtbares Licht von Sternen, links Wasserstoff-Scheibe, Größe des Vollmonds
- Gasscheibe weitaus größer als optische Galaxie
- Löcher durch Supernovaexplosionen

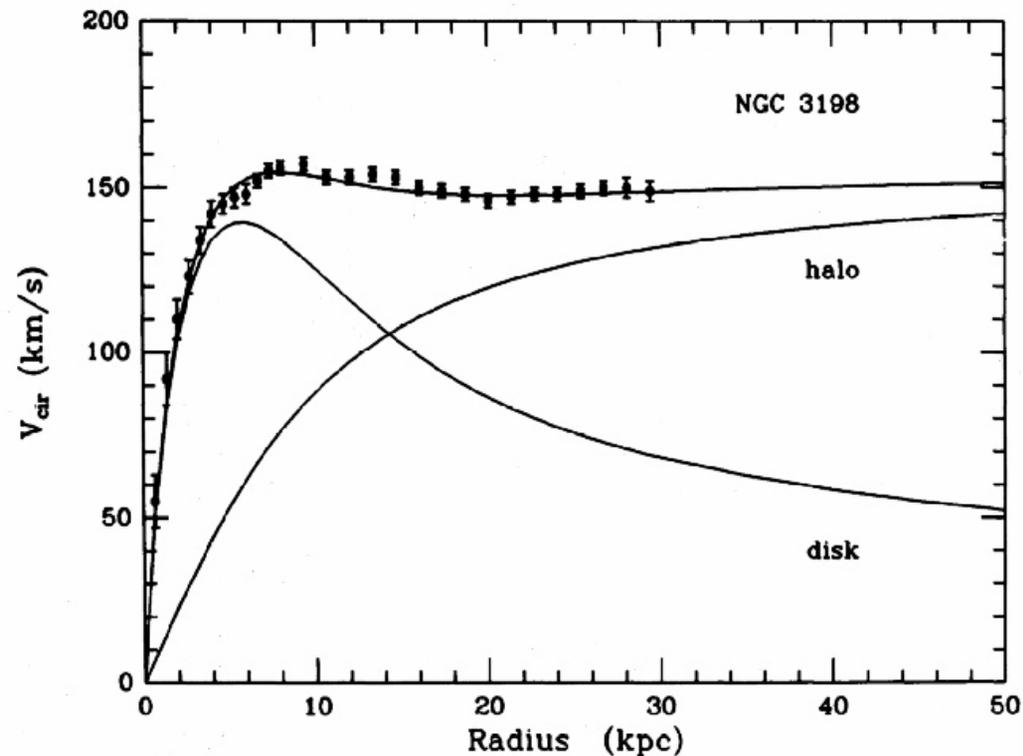
H I: Rotationskurven



- Auf uns zu: blau
- Unten: Modell einer gemessenen Rotationskurve



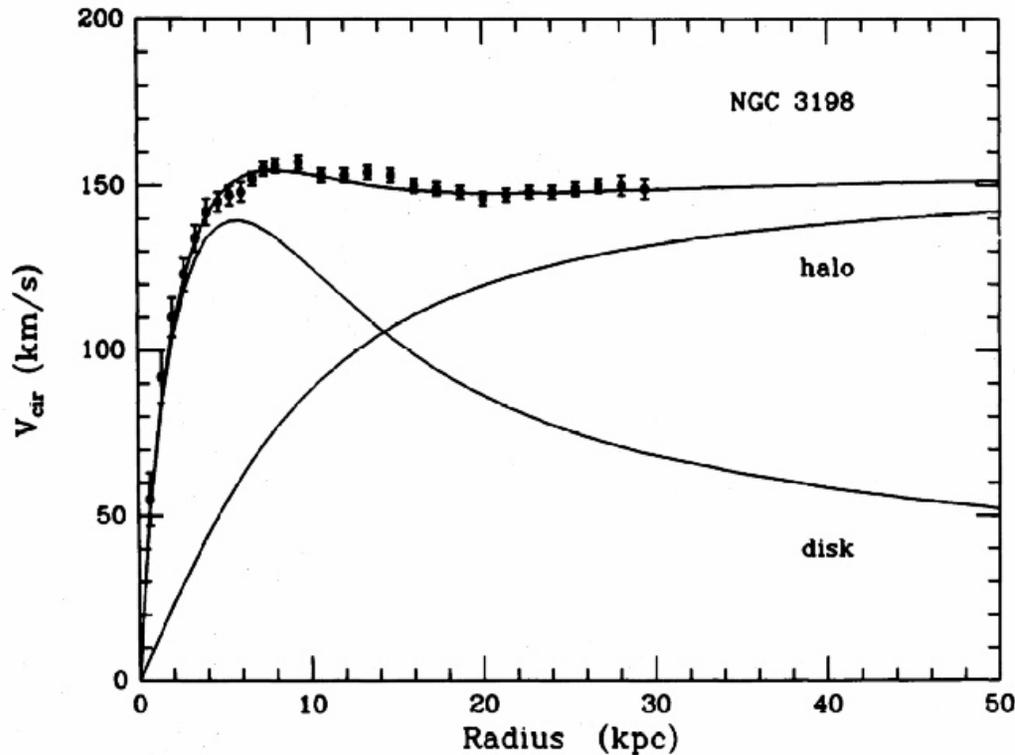
DISTRIBUTION OF DARK MATTER IN NGC 3198



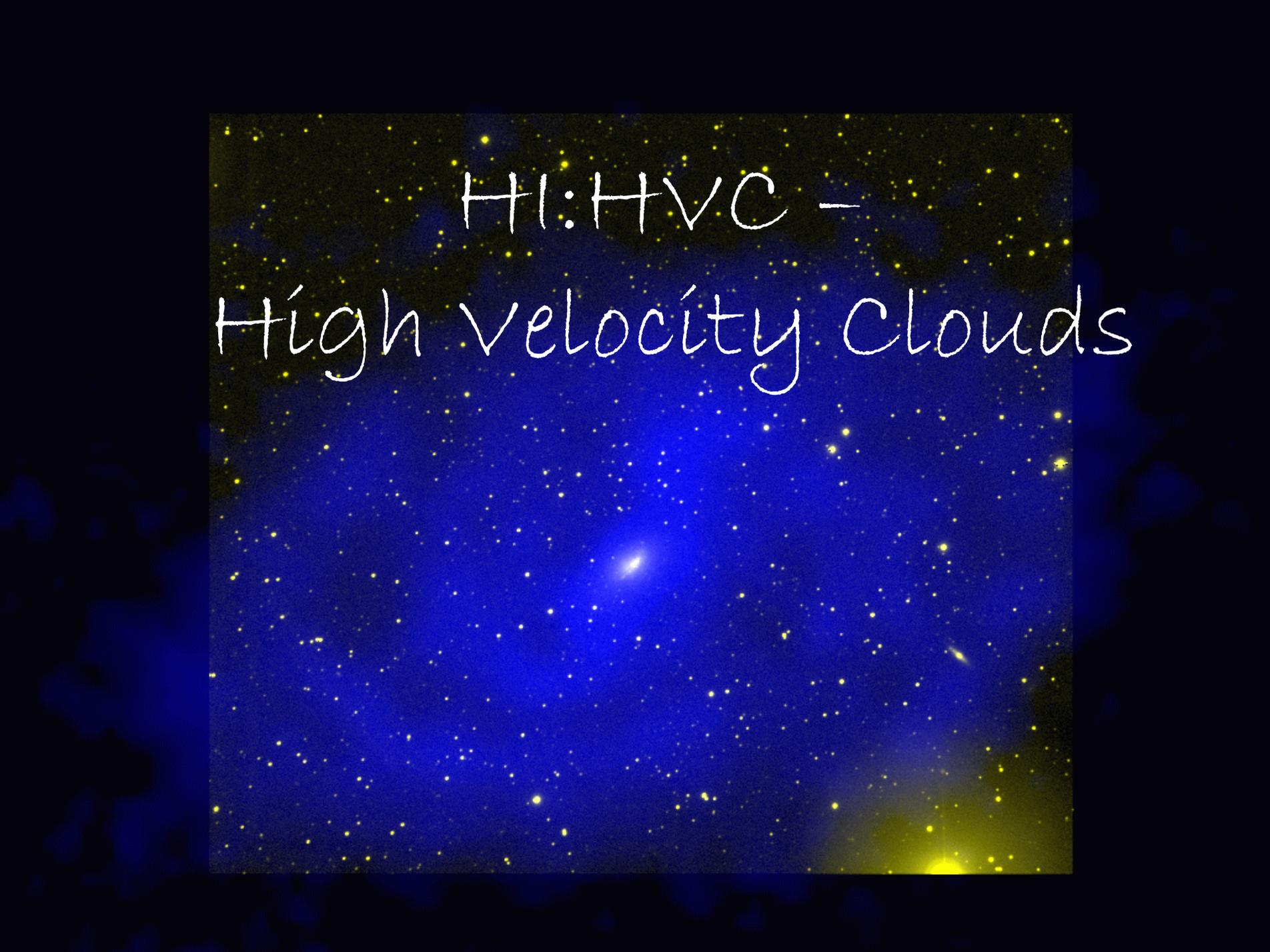
H I: Rotationskurven



DISTRIBUTION OF DARK MATTER IN NGC 3198



- Form der Halos?
- Nur aus Polar-ring Galaxien
- Bilden sich vermutlich in merger
- Sphärische Halos?
- Dunkle Materie so abgeflacht wie die Leuchtkraft?

A photograph of a starry night sky. The background is a deep blue, with a bright, glowing blue star in the center. Numerous yellow and white stars are scattered across the field of view. The text is overlaid on the upper portion of the image.

HI:HVC -
High velocity clouds

H I: High velocity clouds



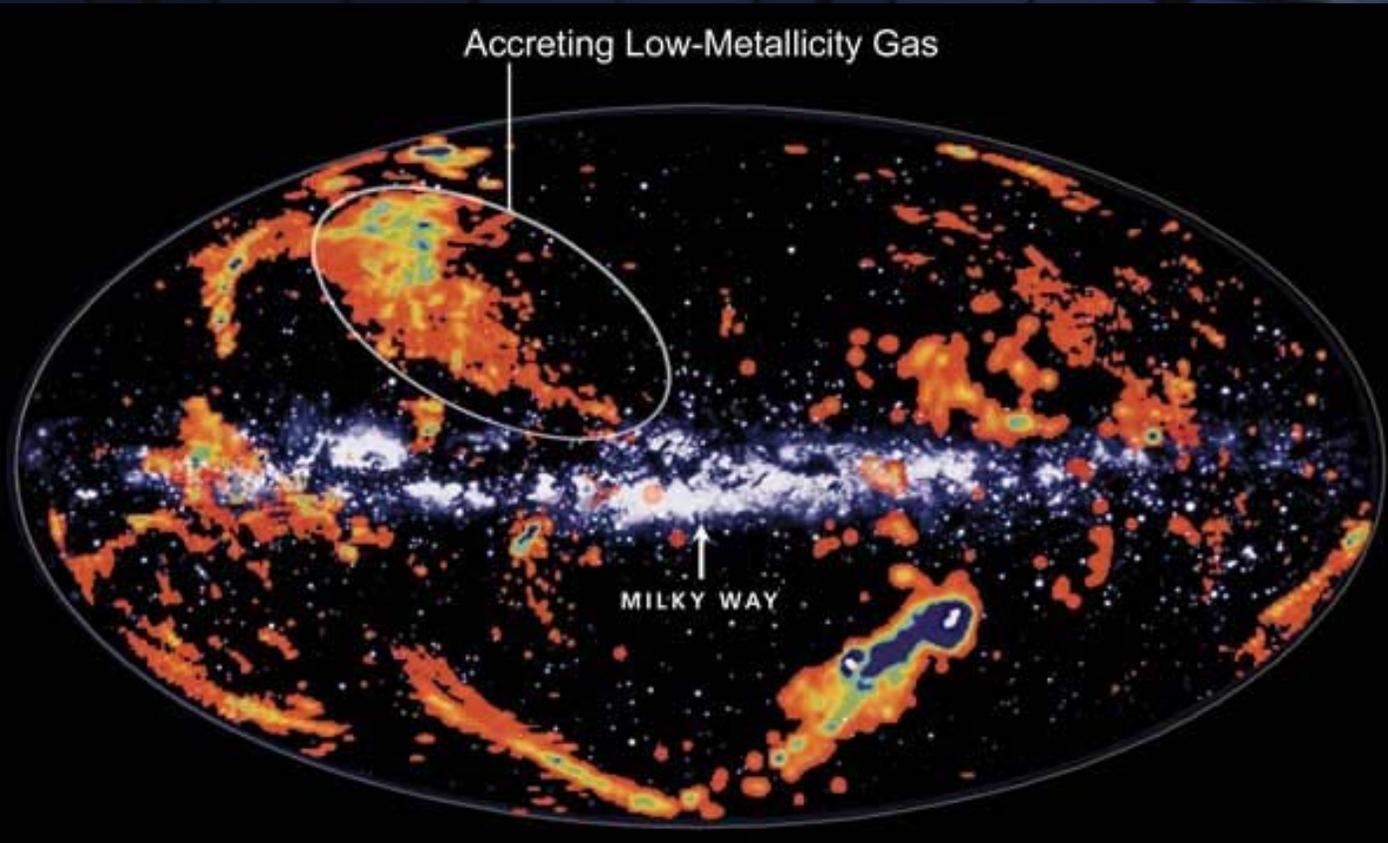
- High velocity clouds: interstellare Wolken mit Geschwindigkeiten, die wesentlich größer sind als durch die Rotation der Milchstraße erklärt werden kann
- Bestehen vorwiegend aus neutralem Wasserstoff und haben geringeren Gehalt an schwereren Elementen als üblich für interstellare Wolken in der Milchstraße
- Erklärung: Reste aus der Zeit der Bildung der Galaxis, aufgrund von Gezeitenkräften herausgeschleudertes Material aus anderen Galaxien oder Mitgliedern der Lokalen Gruppe

HI: High velocity clouds



- Erste Bestimmung eines Entfernungintervalls: 4-10 kpc
- All-sky HI surveys für HVCs seit den späten 80igern
- Typische Größe von 1.5 Grad, typische Distanz von 1 Mpc, typische Masse von 3×10^7 Sonnenmassen?
- WW zwische HVCs und Gas in der galaktischen Scheibe?
- Triggern von Sternentstehung durch einfallende HVCs in der Orion-Region?
- Extragalaktische HVCs: stärkere Evidenz für Zusammenhang zwischen HVCs und Sternentstehung; Überbleibsel der Bildung der Lokalen Gruppe

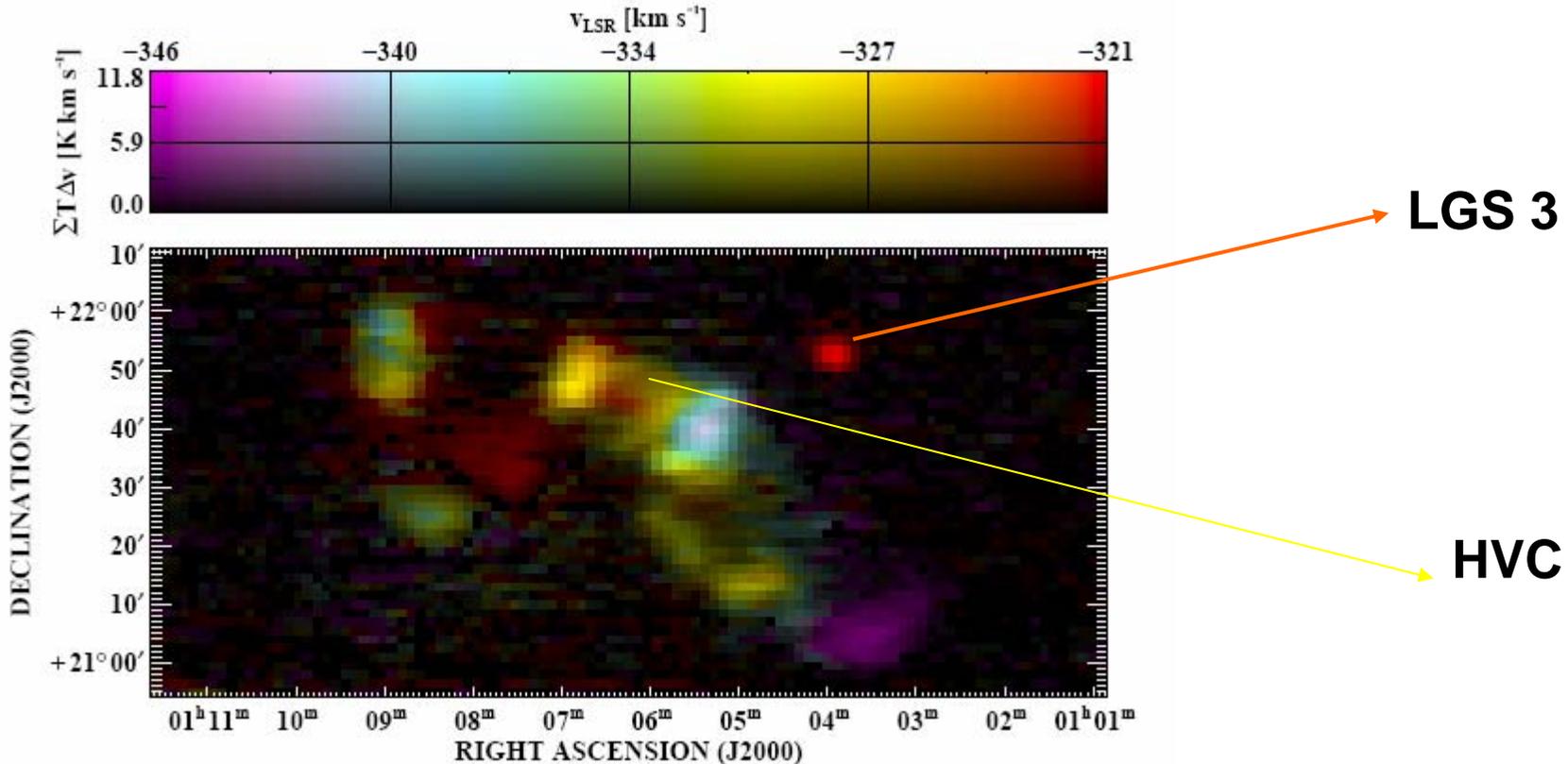
H I: High velocity clouds



Dwingelloo Durchmusterung
Hulsbosch & Wakker, 1988)

- Eine HVC im Halo unserer Milchstraße
- Zwei Wolken: chemische Häufigkeit deutet auf unterschiedlichen Ursprungsort
- Lokale Gasreste von Supernova-Explosionen in unserer Galaxis?
- Oder antike Zwerggalaxie-Reste die auf unsere Milchstraße fallen? Würde erklären, warum die Milchstraße weiterhin Sterne mit beobachteter Rate produzieren kann

HVC: High velocity clouds



- HI: HVC in der Nähe der Lokalen Gruppen-Zwerggalaxie LGS 3
- Rotiert – dominiert durch Dunkle Materie
- Tidal tails -> WW zwischen HVC und LGS 3
- Löst Problem mit CDM numerischen Simulationen und fehlendem Satelliten

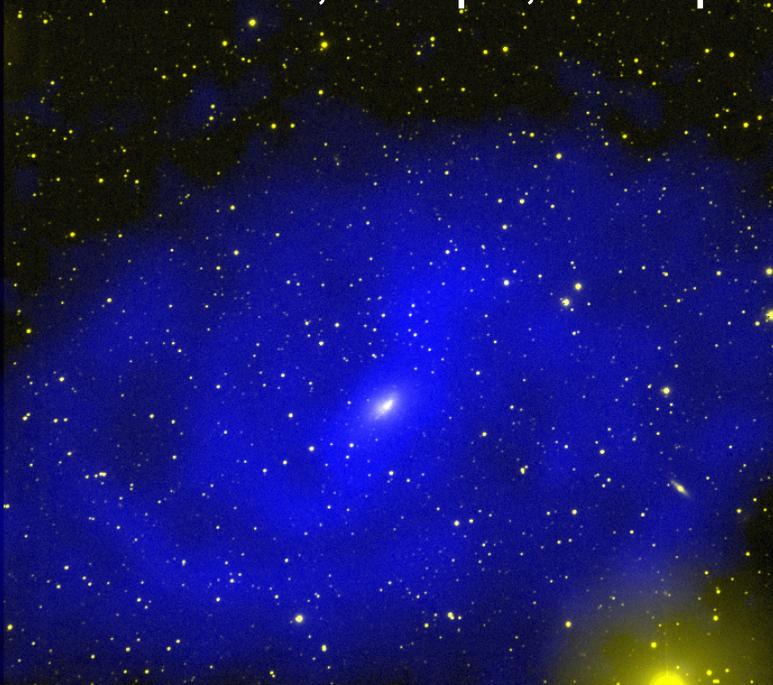
The background of the image is a dark blue to black gradient, filled with numerous small, bright yellow and white stars. A prominent, larger blue star is visible near the center. The text is written in a white, handwritten style.

H1: Blaue kompakte
Zwerggalaxien

HI: Blaue kompakte Zwerggalaxien

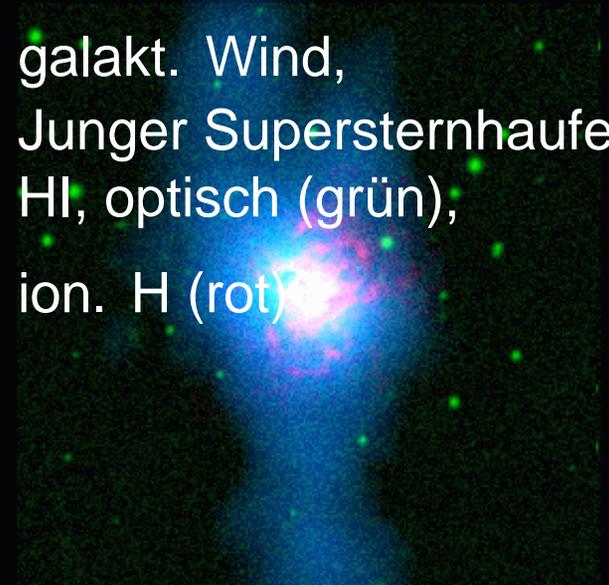


NGC 2915, 5 Mpc, HI+optisch



NGC 1705,
6 Mpc,

galakt. Wind,
Junger Supersternhaufen
HI, optisch (grün),
ion. H (rot)



- *Leuchtkräftige* starbursts: werden in wechselwirkenden und verschmelzenden Systemen gefunden
- *Leuchtschwache* starbursts (blaue kompakte Zwerge BCD): isoliert

HI: Blaue kompakte Zwerggalaxien



NGC 2915

NGC 1705

- > Suche nach Signatur eines starburst-triggers:
- beide zeigen HI-Scheiben über die optische Quellen hinaus
- flache Rotationskurven bei großen Radien
- dominiert durch Dunkle Materie
- ungewöhnlich hohe Dichten der Kerne der Dunklen Materie (vergl. Mit Zwerg-Irregulären und Spiralgalaxien)



H1: Galaxien aus
Dunkler Materie,
Dunkle Galaxien,
Geistergalaxien

Dunkle Galaxien



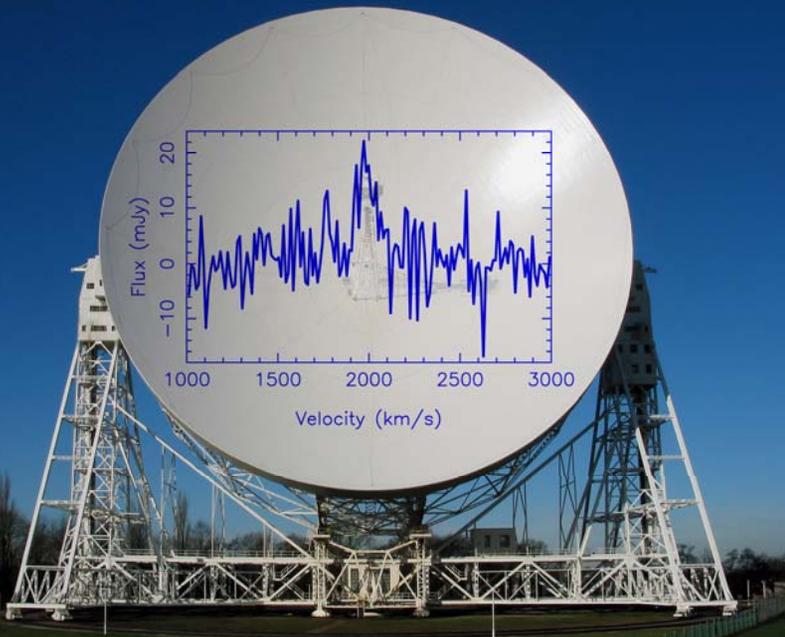
- Diskrepanz zw. CDM-Vorhersagen (wesentlich mehr Haloes Dunkler Materie als als Galaxien zu beobachten sind) und den Beobachtungen: zahlreiche dunkle Galaxien könnten es erklären
- Ohne Sternentstehung sollten sie metallarm sein. Ionisierter, atomarer und molekularer Wasserstoff entsprechend Gasdichten und -temperaturen. (Kandidaten: HVCs, tidal tails, Sind aber keine Galaxien)
- HI-Durchmusterungen bislang: unzureichende Empfindlichkeit oder Geschwindigkeitsauflösung, oder nicht ausreichende optische follow up-Beobachtungen
- Zukunft: Arecibo Legacy Fast ALFA (ALFALFA) 21-cm blinde Durchmusterung

Dunkle Galaxien



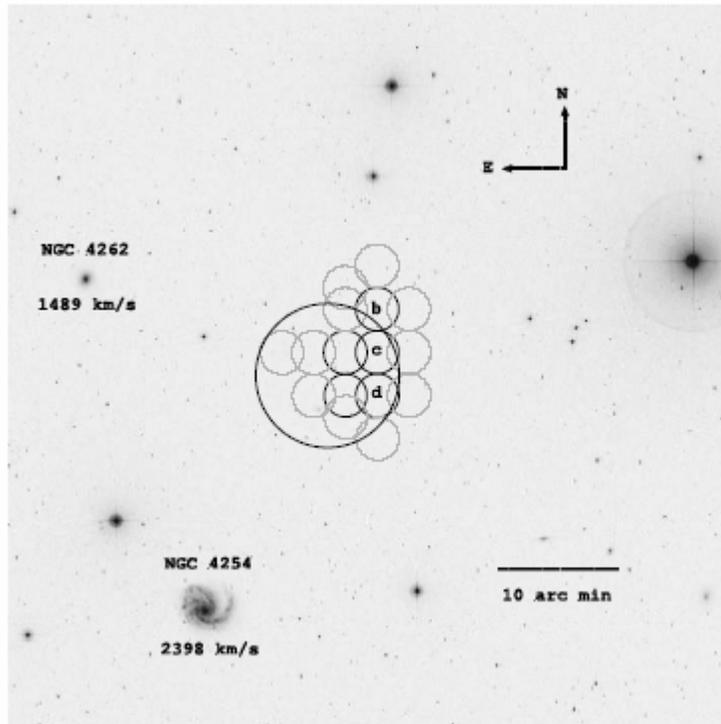
- HI-survey 300-ft, 183 Quadratgrad
- Arecibo HI Sky Survey: 13 deg², alle optischen counterpart
- Arecibo Slice Survey: 55 deg², alle bis auf eine optisch gefunden
- Arecibo Dual-Beam Survey: 430 deg², 11 Objekte ohne counterpart auf POSS1
- HI Jodrell All-Sky Survey: 1100 deg², no optical follow up
- HI Parkes All-Sky Survey (HIPASS) 21 000 deg², alle optischen counterpart

H I: Galaxien aus Dunkler Materie

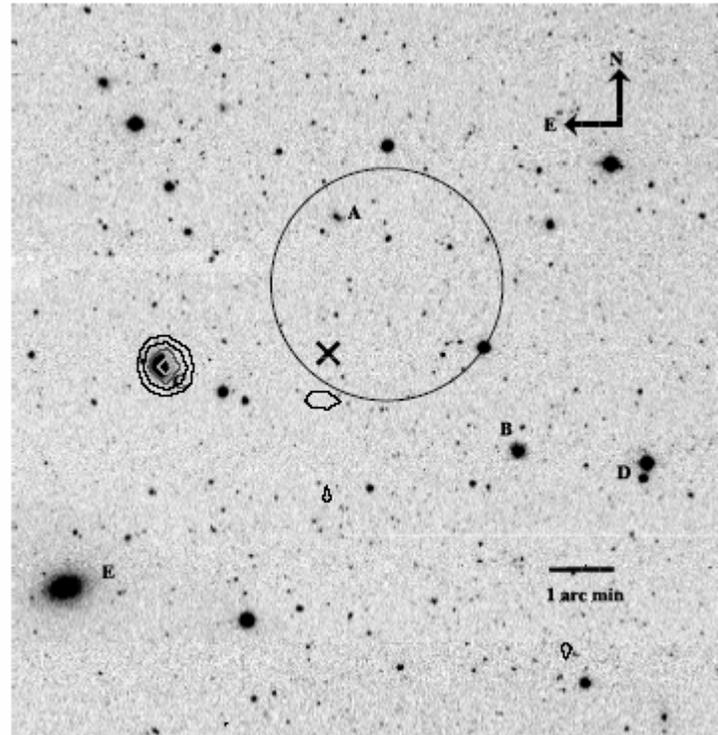


- Beobachtet mit Lovell und bestätigt mit Arecibo
 - „Beobachtungen in die Nacht aus sehr gut beleuchtetem Wohnzimmer“, schwierig die dunklen Bäume zu sehen
 - Untersuchung der Wasserstoff-Verteilung im Universum
 - Virgo-Haufen: Wasserstoff 100 Mio-fach der Sonnenmasse (Entf: 50 Mio Lj)
 - Galaxie: VIRGOHI211: aus Rotationsgeschwindigkeit: Masse ist 1000fach größer als durch H-Atome alleine erklärt werden kann
 - Beobachtungen auf La Palma: keine Galaxie!
- Sherlock Holmes: „Wenn man das Unmögliche ausgeschlossen hat, was auch immer übrig bleibt – wie unwahrscheinlich es auch ist – muß die Wahrheit sein!“

HI: Galaxien aus Dunkler Materie



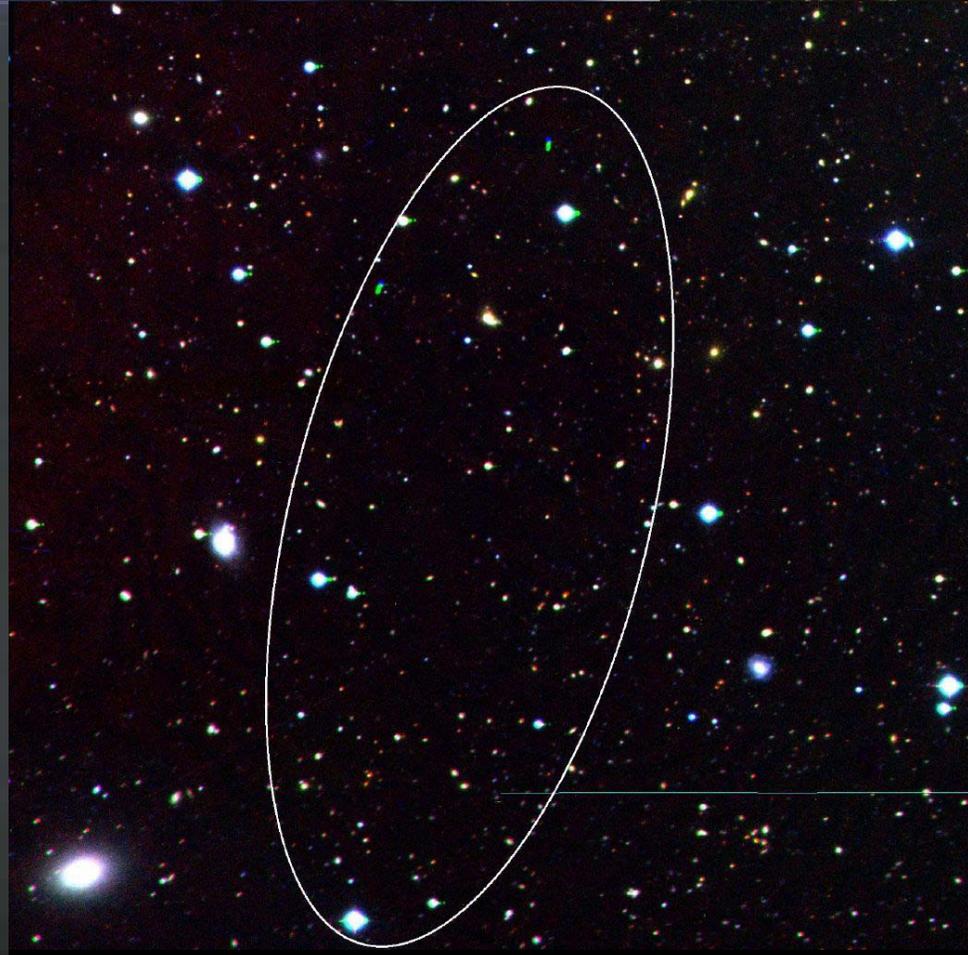
Arecibo pointing pattern



INT-Bild, La Palma,
Kreuz: Zentrum der HI:Beobachtung

- VIRGOHI21, 10^8 Sonnenmassen, Tully-Fisher: Galaxie mit 12m erwartet, stattdessen: nichts bis 27.5 B mag arcsec⁻²
- HI:Ausgedehnt über 16 kpc; dynamische Masse von 10^{11} Sonnenmassen
- Dunkler Halo? Reste einer WW?
- HIPASS

HI: Galaxien aus Dunkler Materie

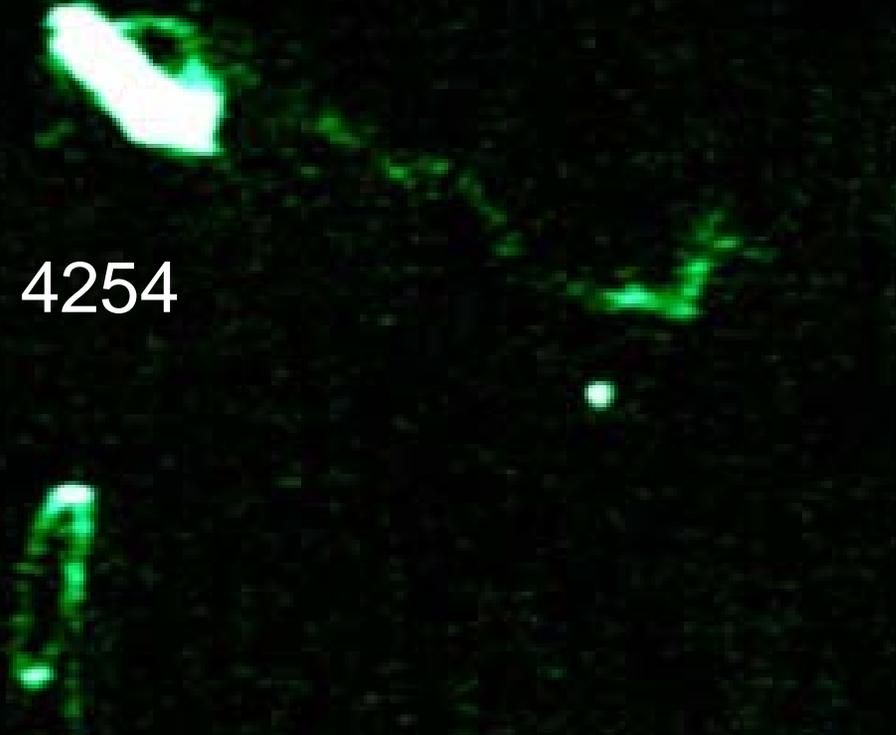


- **Dunkle Galaxie: fast vollständig aus Dunkler Materie bestehend? Riesenmasse, rotierend wie Galaxie, ohne Sterne, nur im Radiobereich zu detektieren**

HI: Galaxien aus Dunkler Materie



NGC 4254

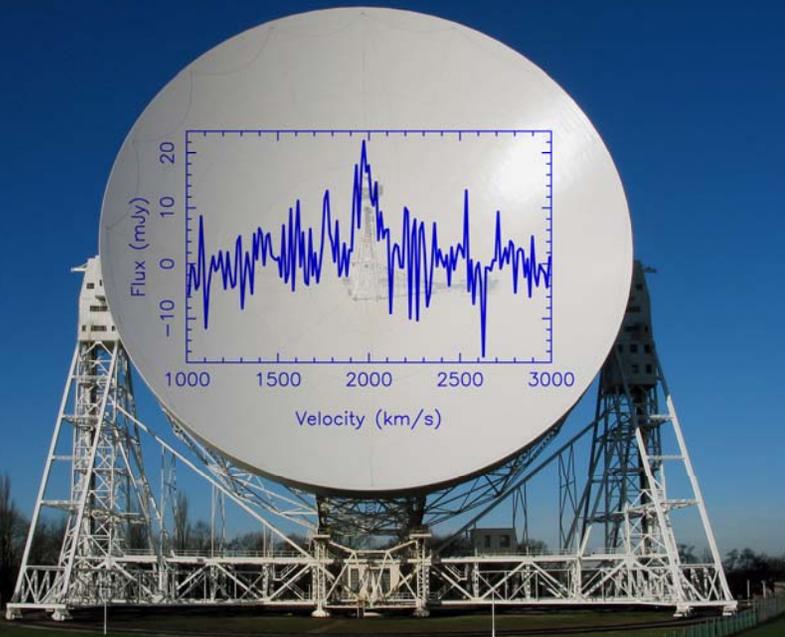


NGC 4262



Dunkle Galaxie VIRGOHI21

HI: Galaxien aus Dunkler Materie



- Dunkle Galaxie erklärt weiteres Phänomen:
 - NGC 4254, ein Spiralarm wesentlich länger als der andere
 - Bislang fehlende Begleitgalaxie
 - Suche nach weiteren Dunklen Galaxien mit ALFA, Arecibo

HI: Gas in

Galaxienhaufen

H1: M81-Gruppe

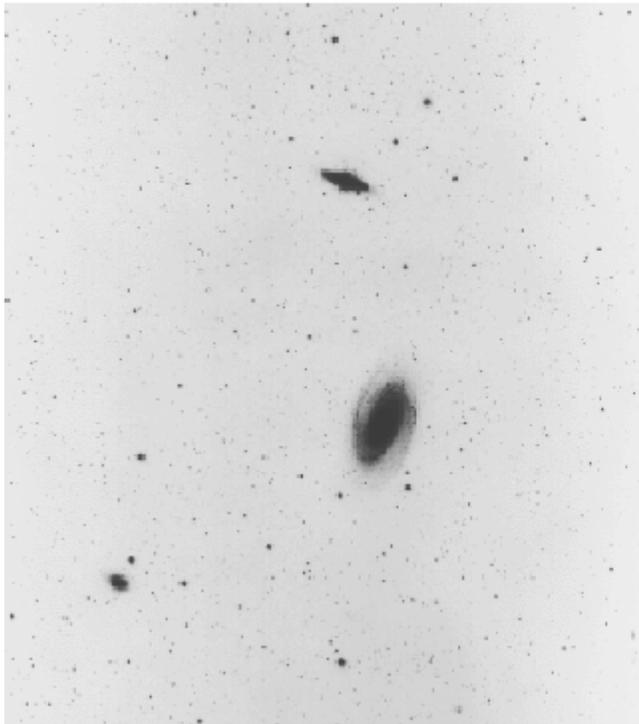


HI: M81

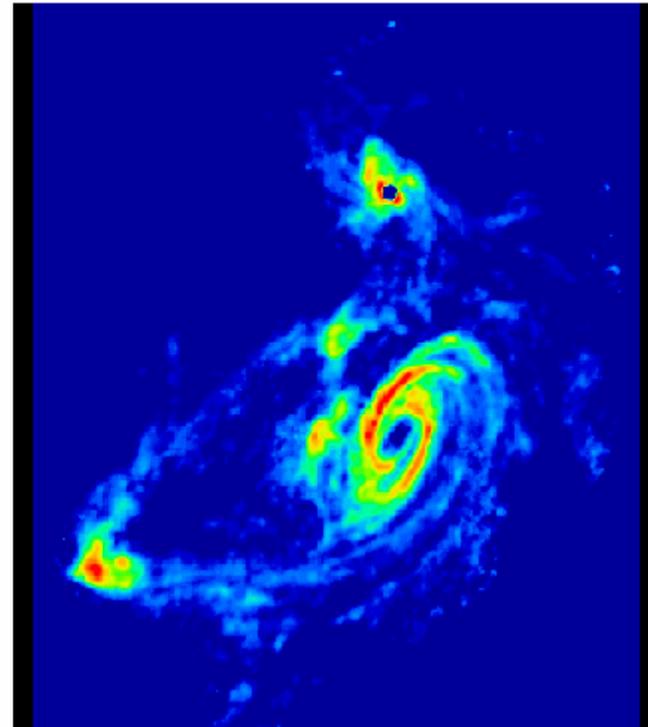


TIDAL INTERACTIONS IN M81 GROUP

Stellar Light Distribution

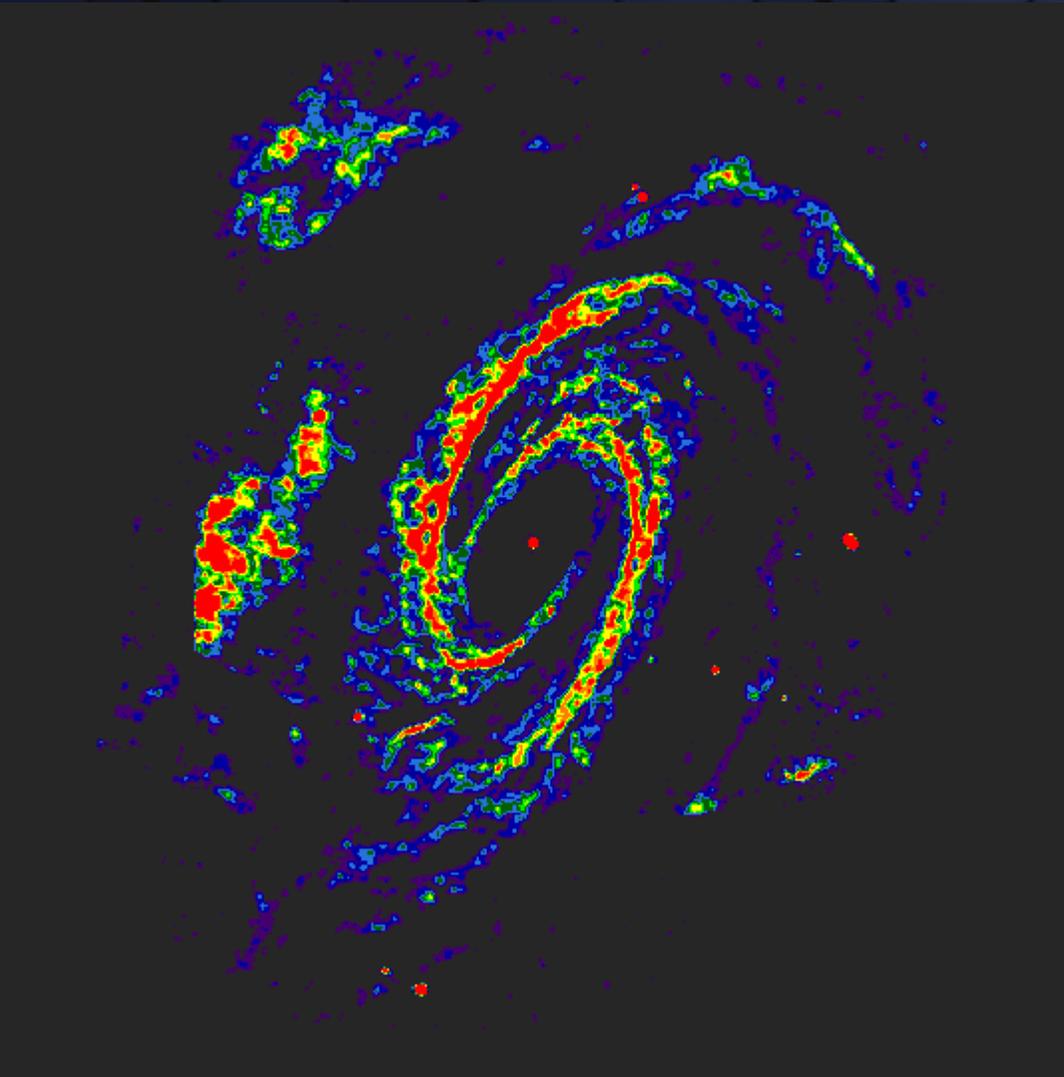


21cm HI Distribution



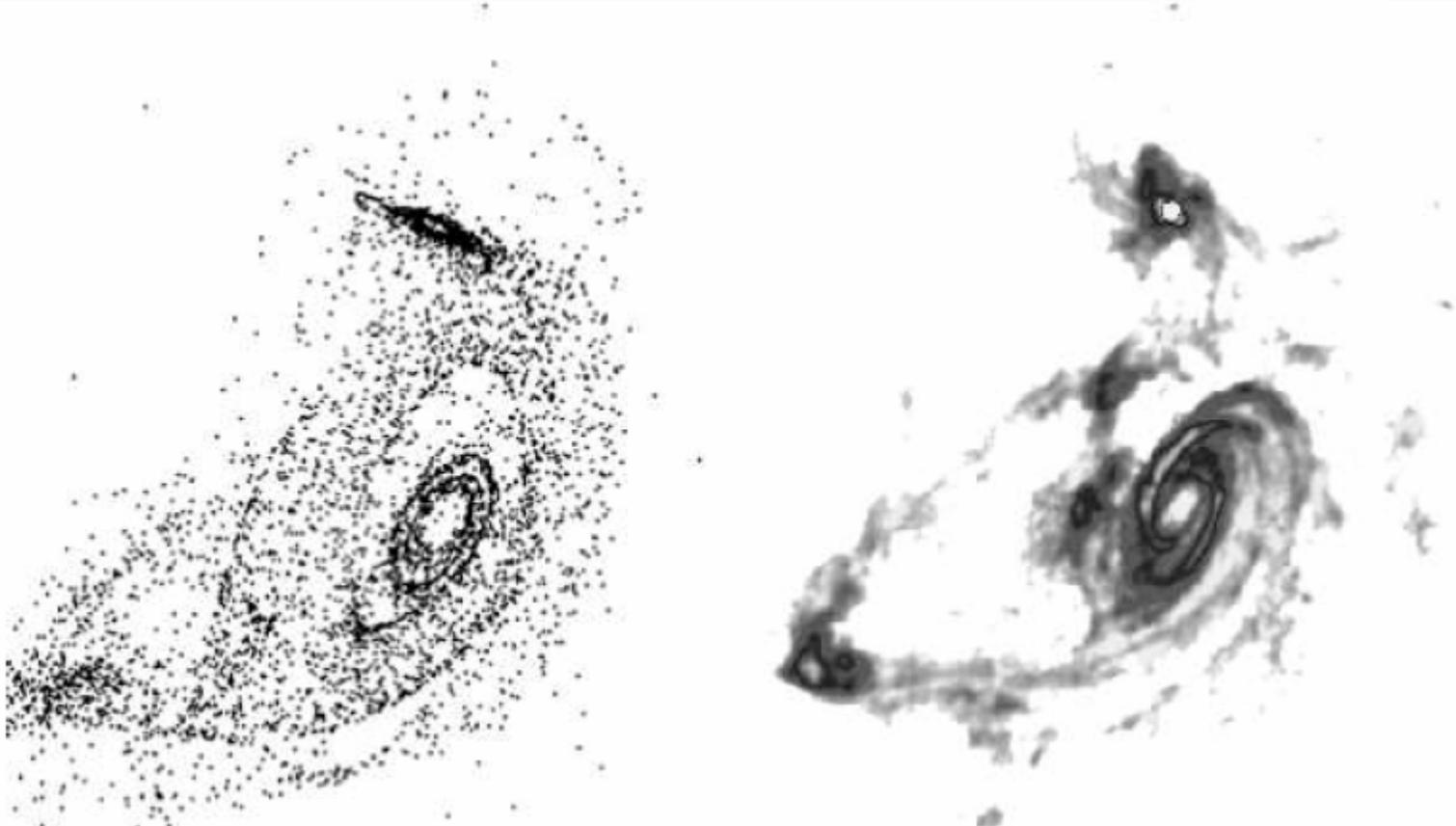
- Rechts: VLA, Gasströme verbinden die Galaxien, wechselwirkende Gruppe von Galaxien

HI: M81



- 11 Mio Lichtjahre
- 50 000 Lj Größe
- Beobachtungen: 60 Stunden Integration
- Rot: starke Radioemission in HI, blau: schwache Emission
- Auflösung: 1kpc
- Filamentartige Ströme, die alle 3 Galaxien betreffen

M81 simuliert



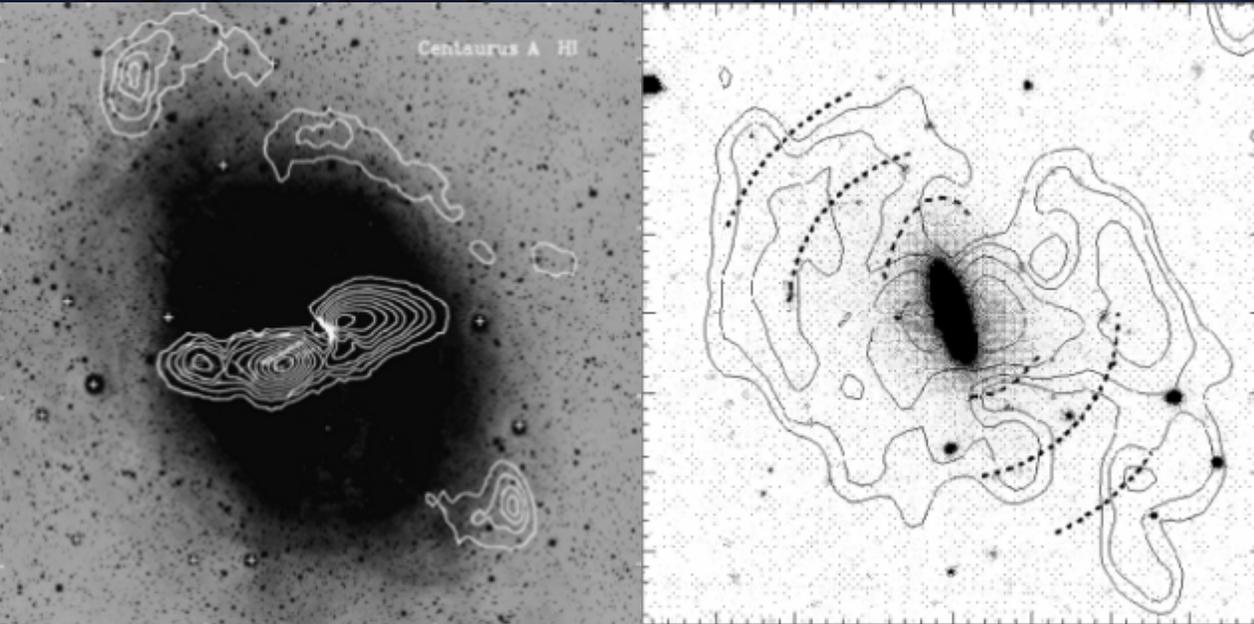
- M81 Gruppe eine der nächsten Gruppen, M81 + M82 + NGC3077, WW in HI sehr gut zu sehen
- Vorteil: Hauptgalaxie ist Spirale, tails deutlich zu beiden Galaxien, WW nur in den äußeren Teilen der Galaxien
- Ziel: in nicht-selbst-gravitierender Simulation die Dichteverteilung zu simulieren

H I:

Phasen der Verschmelzung



HI: Gas in Galaxien-Haufen

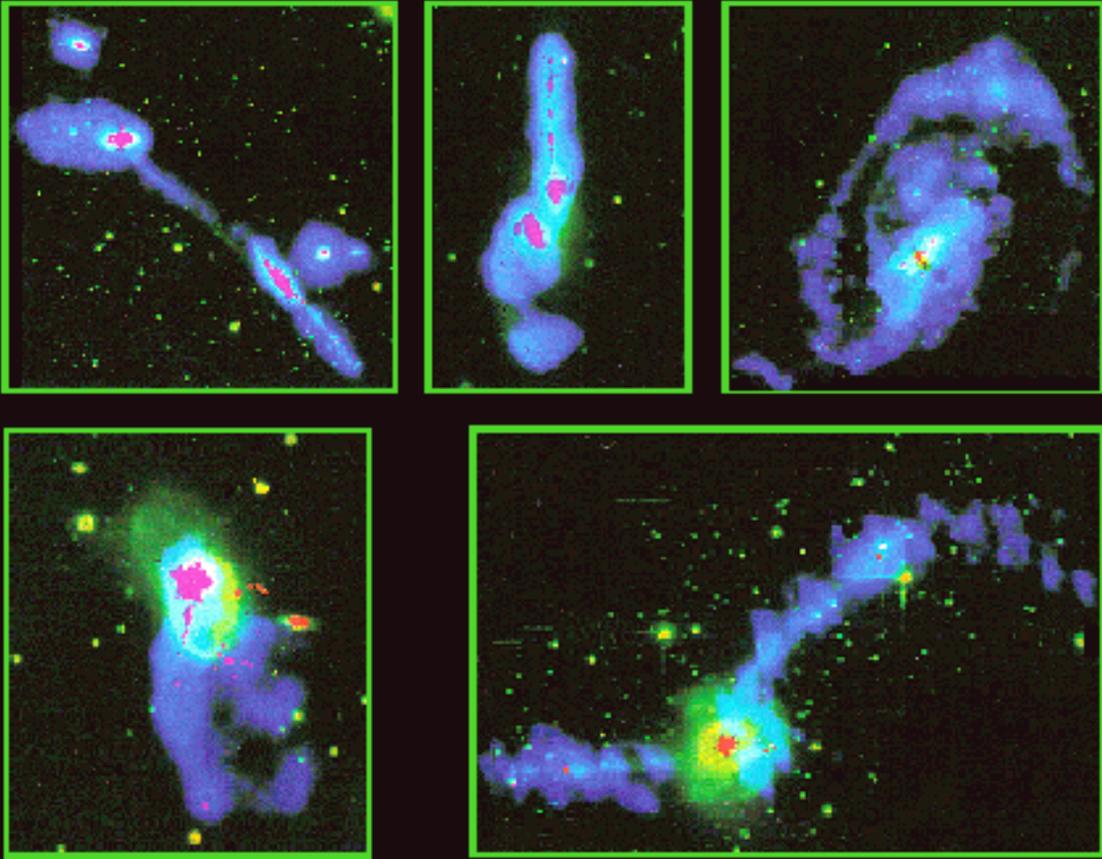


Links: NGC 5128,
Schiminovich et al. 1994

Rechts: MCG -5-7.1,
van Gorkom and
Schiminovich 1997

- Verschmelzende Galaxien: signifikante Mengen an Gas und Sternen der Scheibe werden in große Entfernungen getrieben und bilden tidal features
- Großteil bleibt im System gebunden und wird u.U. zurückfallen
- Zeitskalen mehrere Gyrs.

HI: Merger in verschiedenen Stadien



Arp 295, NGC4676, NGC520, NGC3921, NGC7252, im fortschreitenden Verschmelzungsprozeß

Frühe Phasen: große Mengen HI innerhalb der galaktischen Scheiben, Sternentstehung häufig, ionisiertes Gas hat die Form von Bögen (entstehen in Kernregionen)

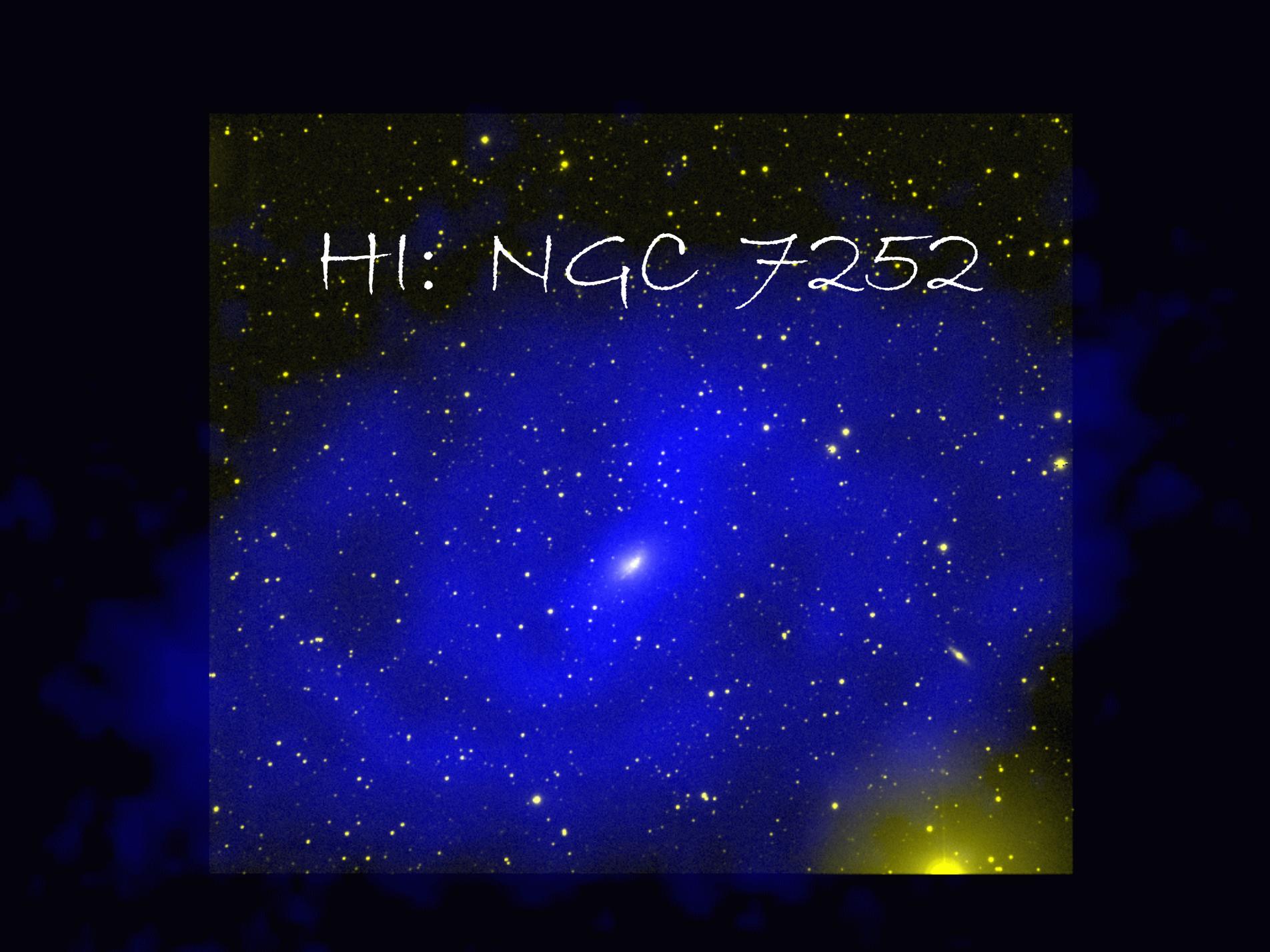
Finale Phasen: wenig HI im verbleibenden zentralen Objekt, Gezeitenmaterial bewegt sich nach innen; entwickeln sich zu elliptischen Galaxien

Aber: NGC520, ausgedehnte rotierende Gasscheibe -> nicht alle Merger zerstören die atomaren Gasscheiben der Vorgänger

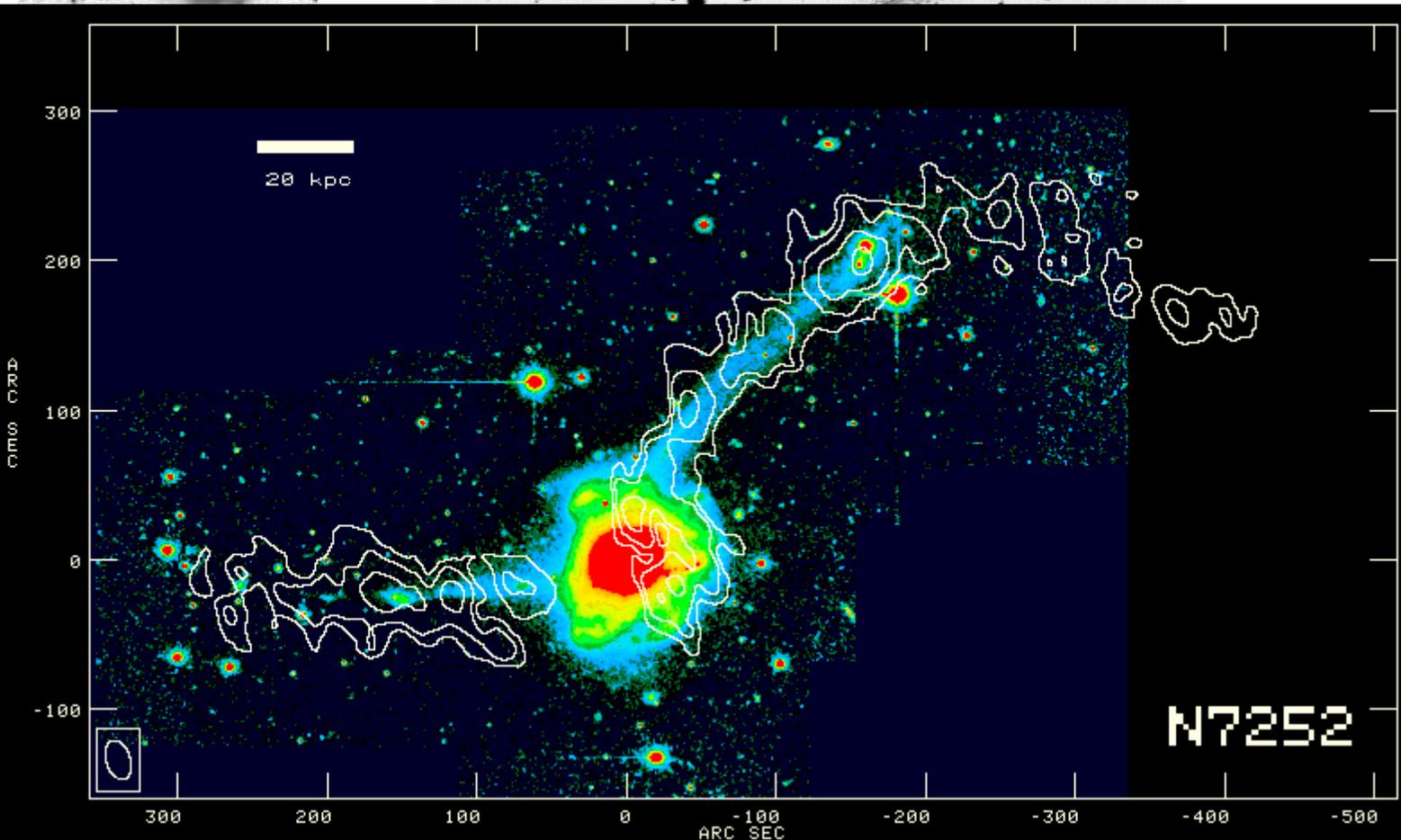
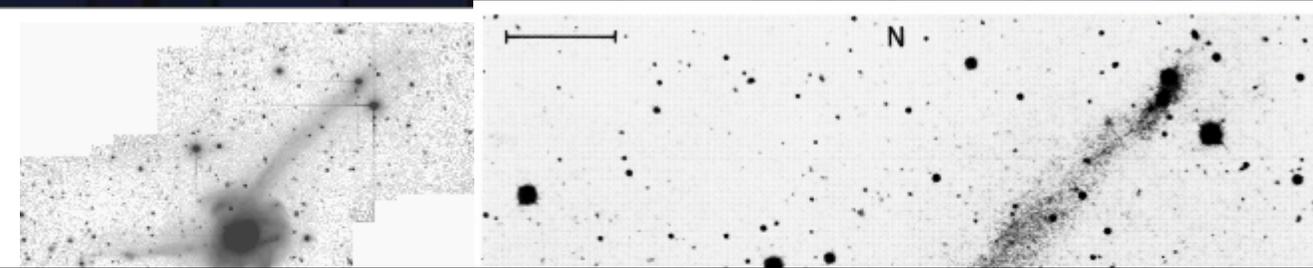
Große Mengen an Gas und Sternen in großen Entfernungen

Hibbard, van Gorkom

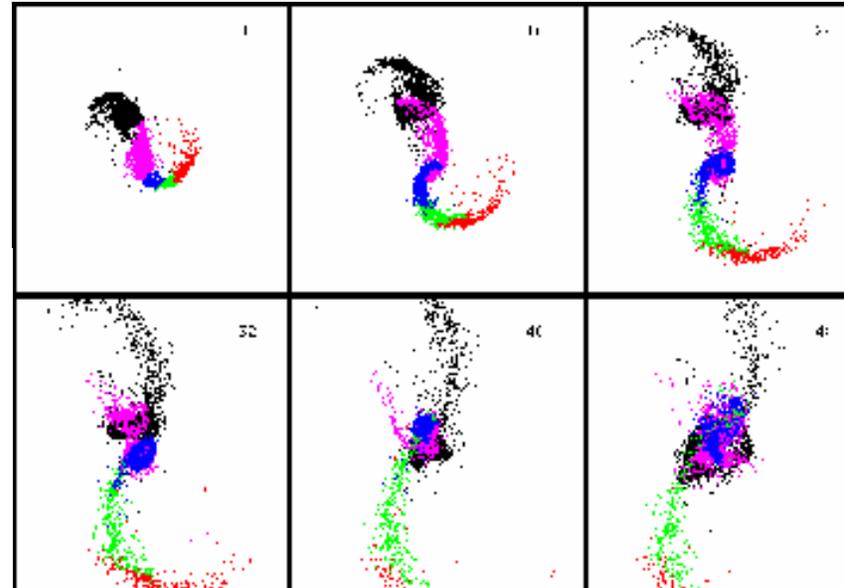
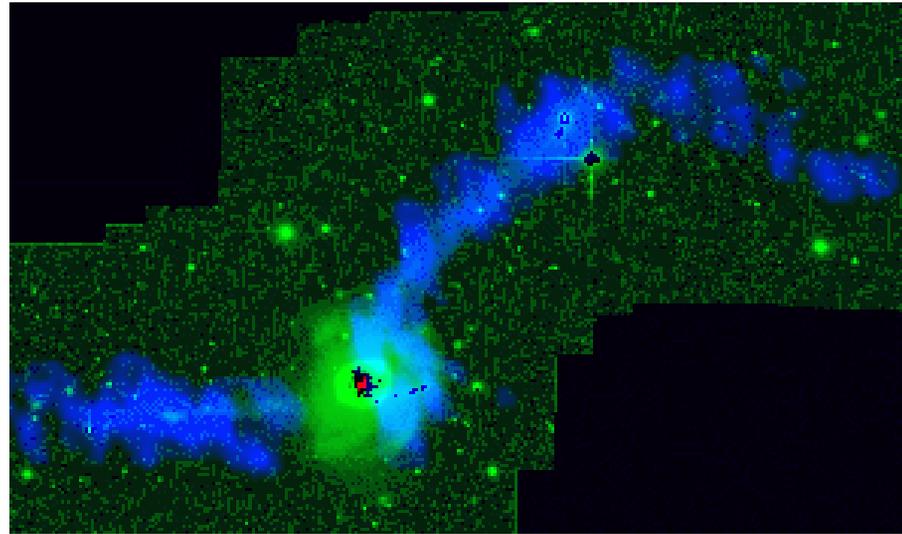
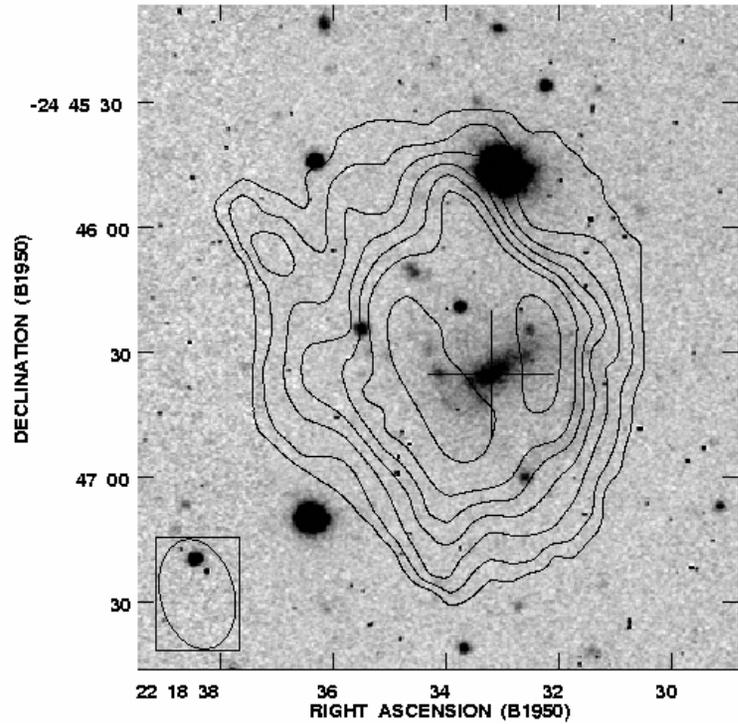
H1: NGC 7252



NGC 7252



NGC 7252

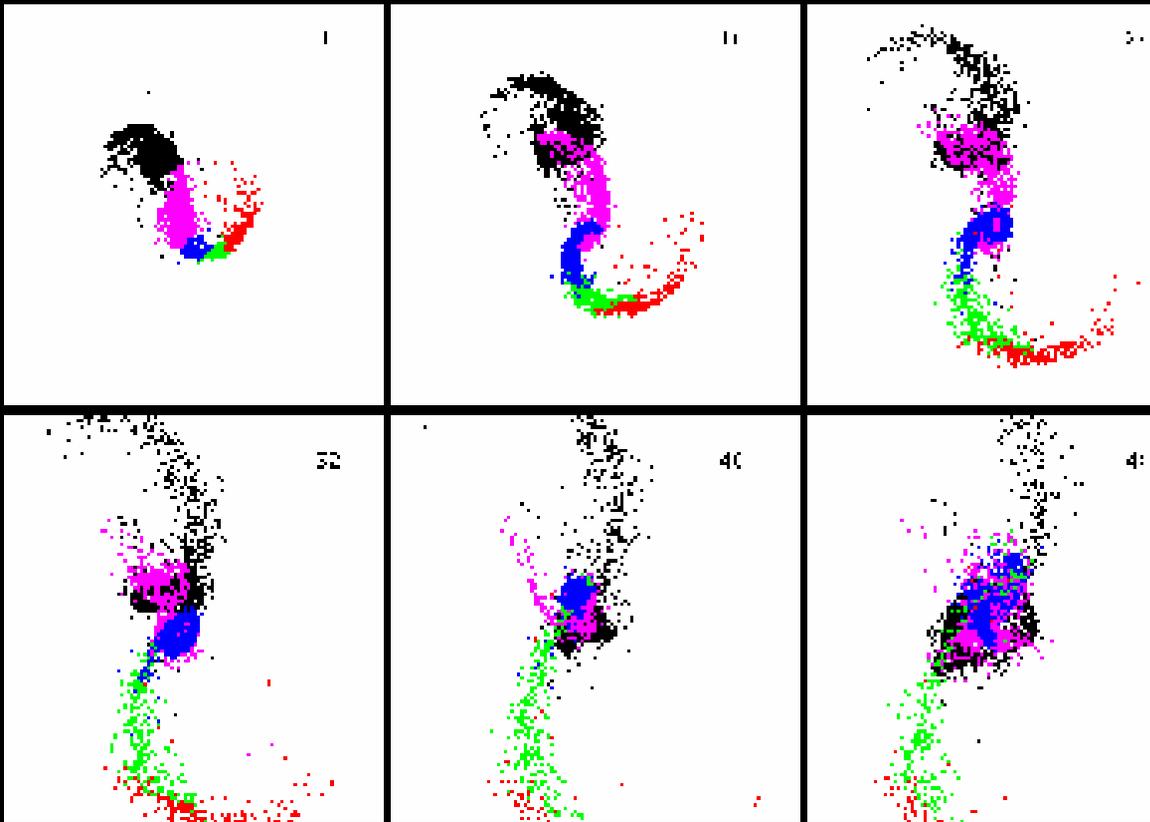


Protoyp der Merger Remnants;

aber

Sich gegeneinander bewegende tails

NGC 7252



Magenta: innen, stärksten gebundenes Scheibenmaterial (74% der originären Scheibe)

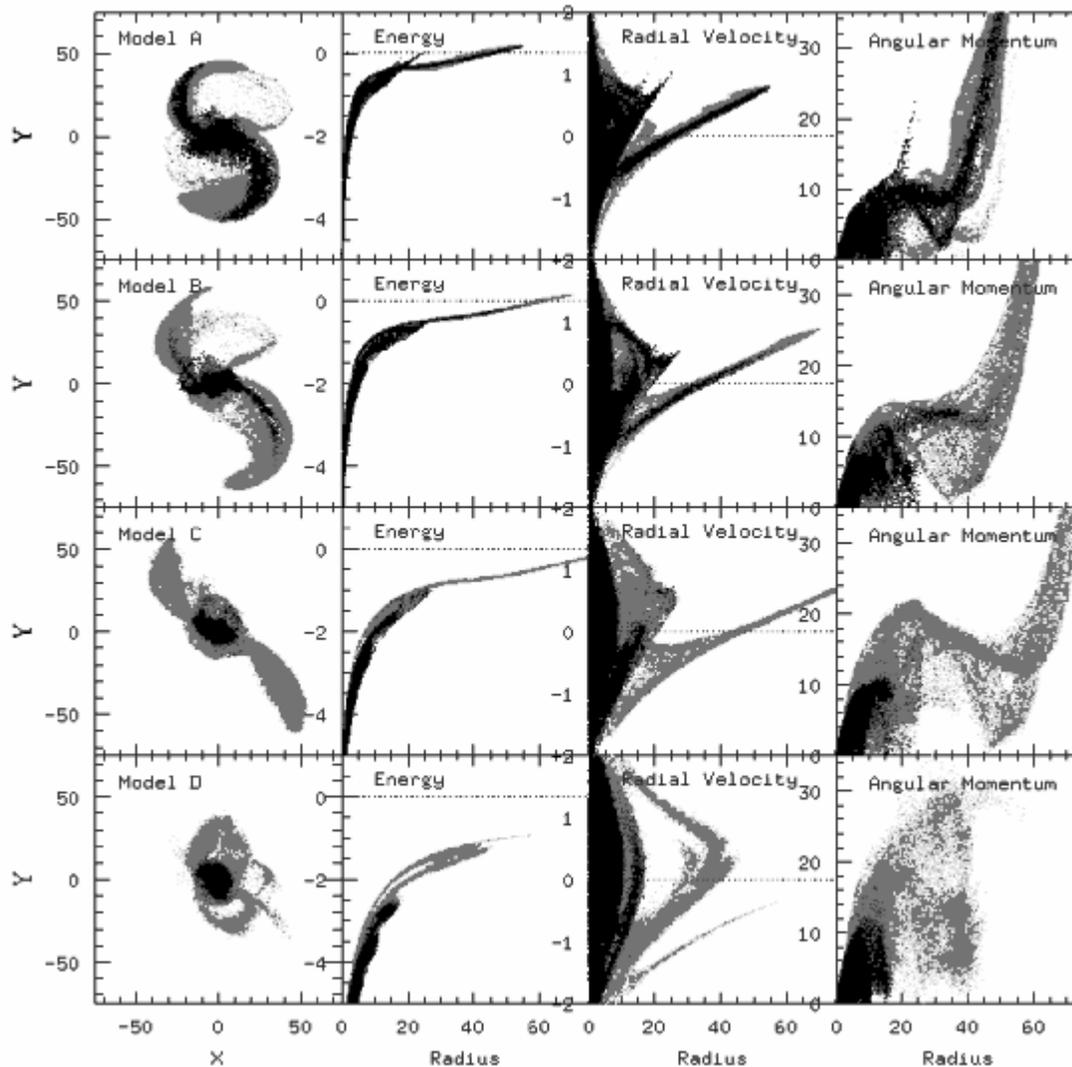
Blau: weiter außen, 12% des Scheibenmaterials

Dann **grün** und **rot**

Zunächst: leuchtkräftige tails aus 27% des Scheibenmaterials, Großteil fällt schnell zurück

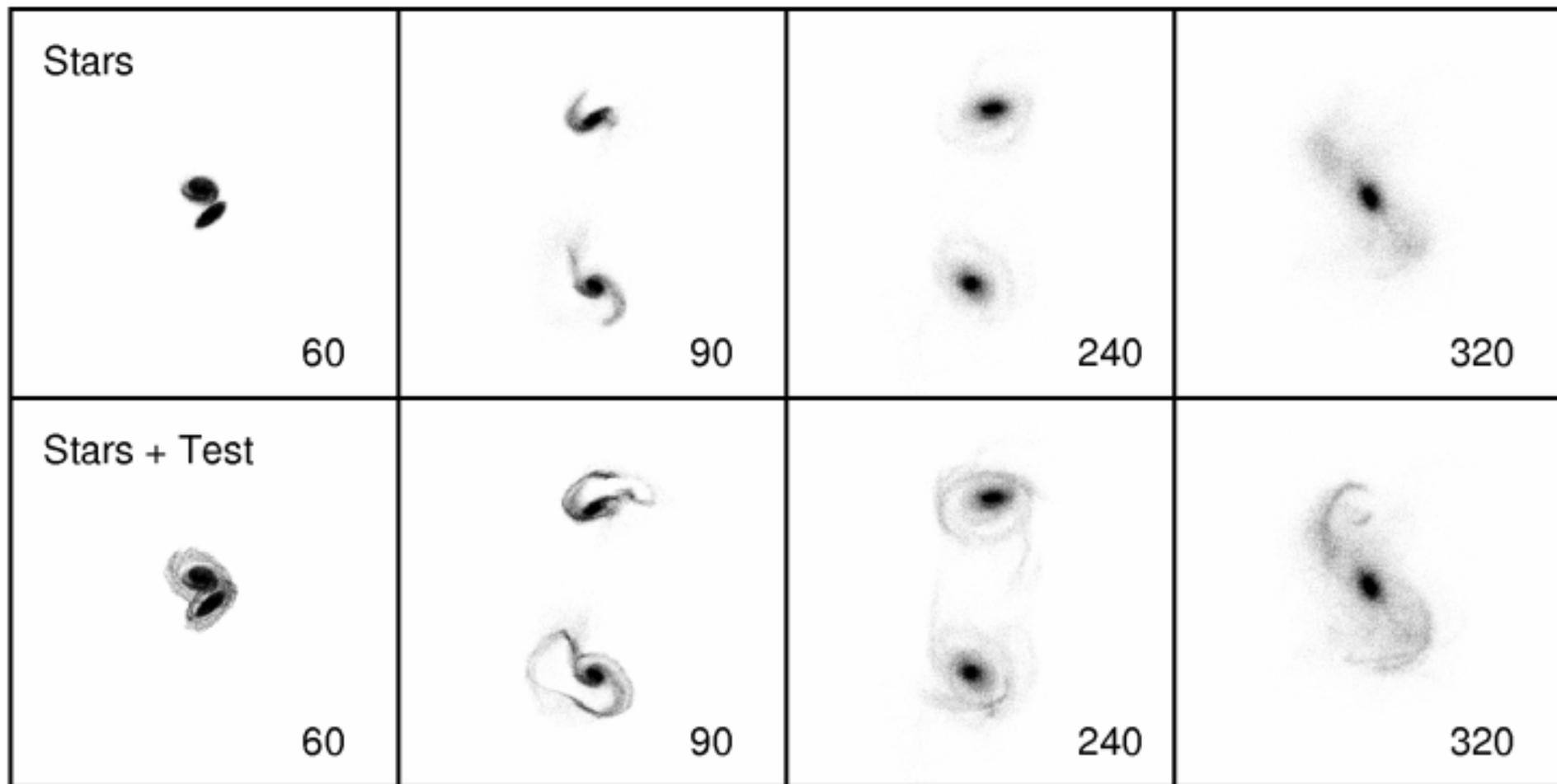
- **Jetzt:** nur rot bleibt in den tails, regnen zurück

NGC 7252



- Effekt unterschiedlicher Halos (dunkler Materie) auf die Morphologie und Kinematik der Gezeitenarme im Merger-Modell von NGC 7252
- Modelle mit geringen Halo-Massen stimmen mit Beobachtungen besser überein

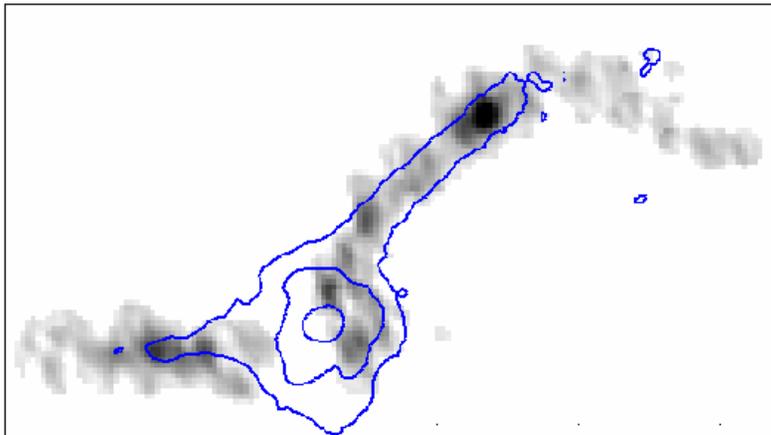
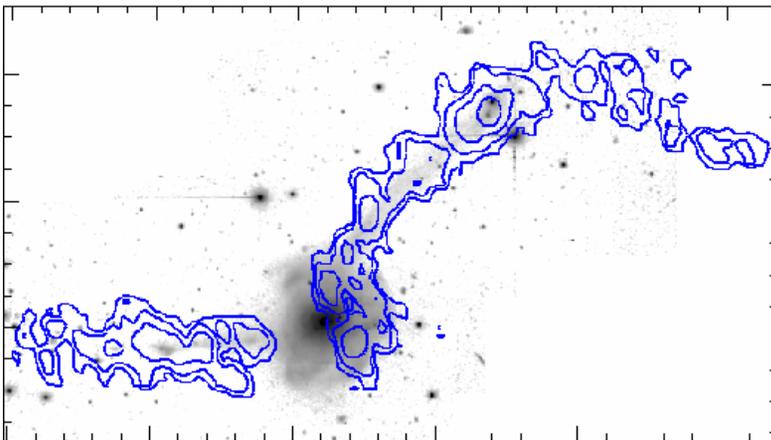
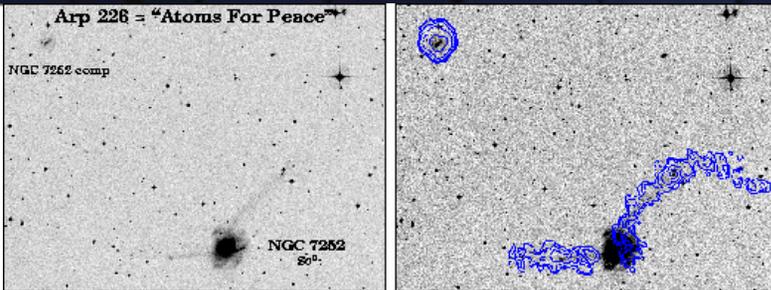
WW Simulationen, Halo



- Modell E, Halo-Masse: 32,1

Mihos, Dubinski & Hernquist 1998

HI: Merger



The Toomre Sequence merger NGC7252.

HI: VLA C+D-array, resolution, contours= cm .

Optical: DSS, FOV= (top panels) and CTIO 4m *R*-band
FOV= (bottom panels).

Notes: The bright clump in the northwest tail is associated with a putative Tidal Dwarf Galaxy.

Reference: Hibbard, J.E., Guhathakurta, P.,
van Gorkom, J. H., & Schweizer, F. 1994, AJ, 107, 67.

HI: Merger

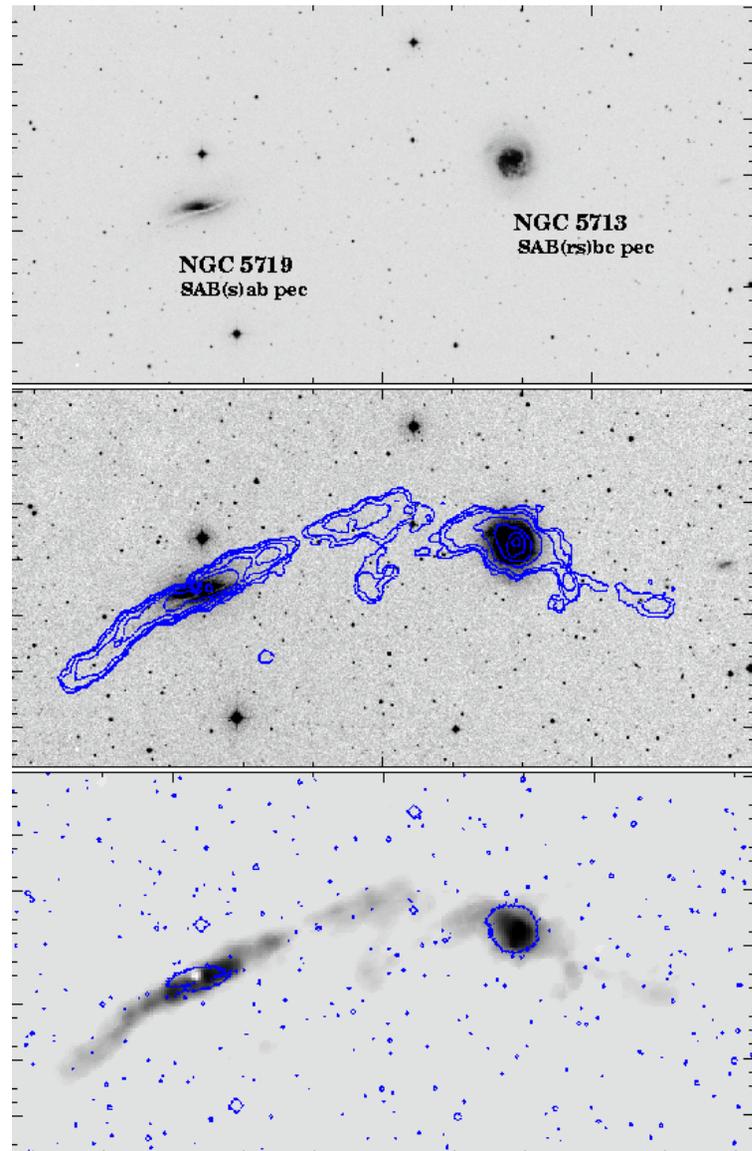


The NGC 5713/5719 System.

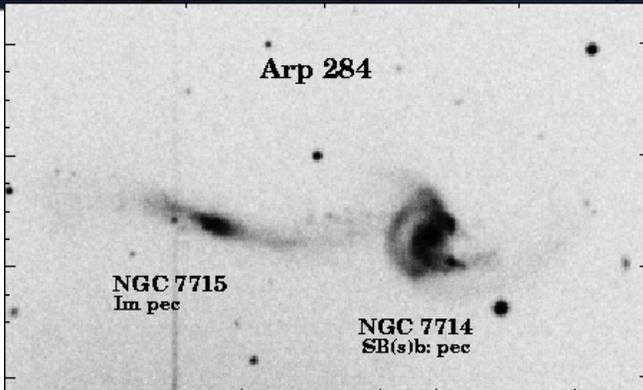
HI: VLA C-array, 30" resolution,
contours= cm .

Optical: DSS, FOV= .

Reference: Langston & Teuben



HI: Merger

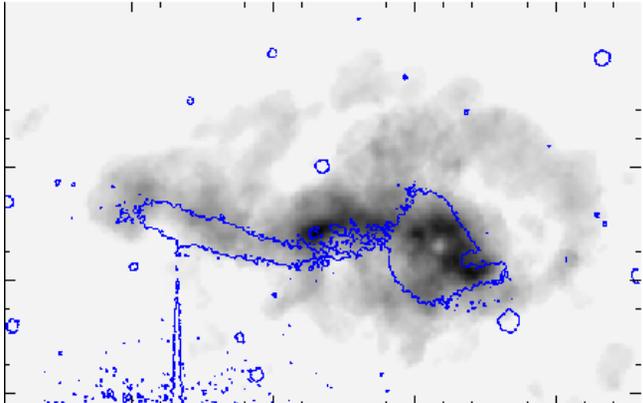
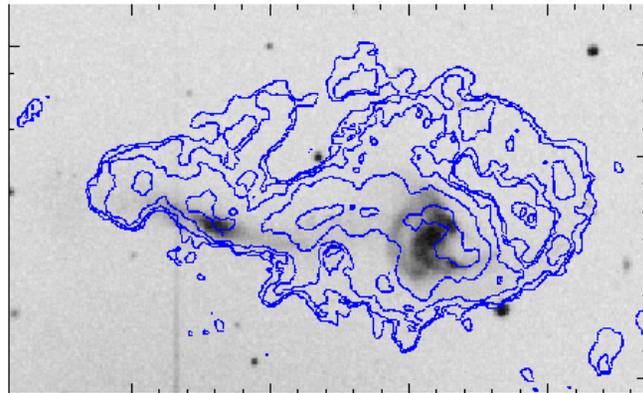


The NGC 7714/15 System.

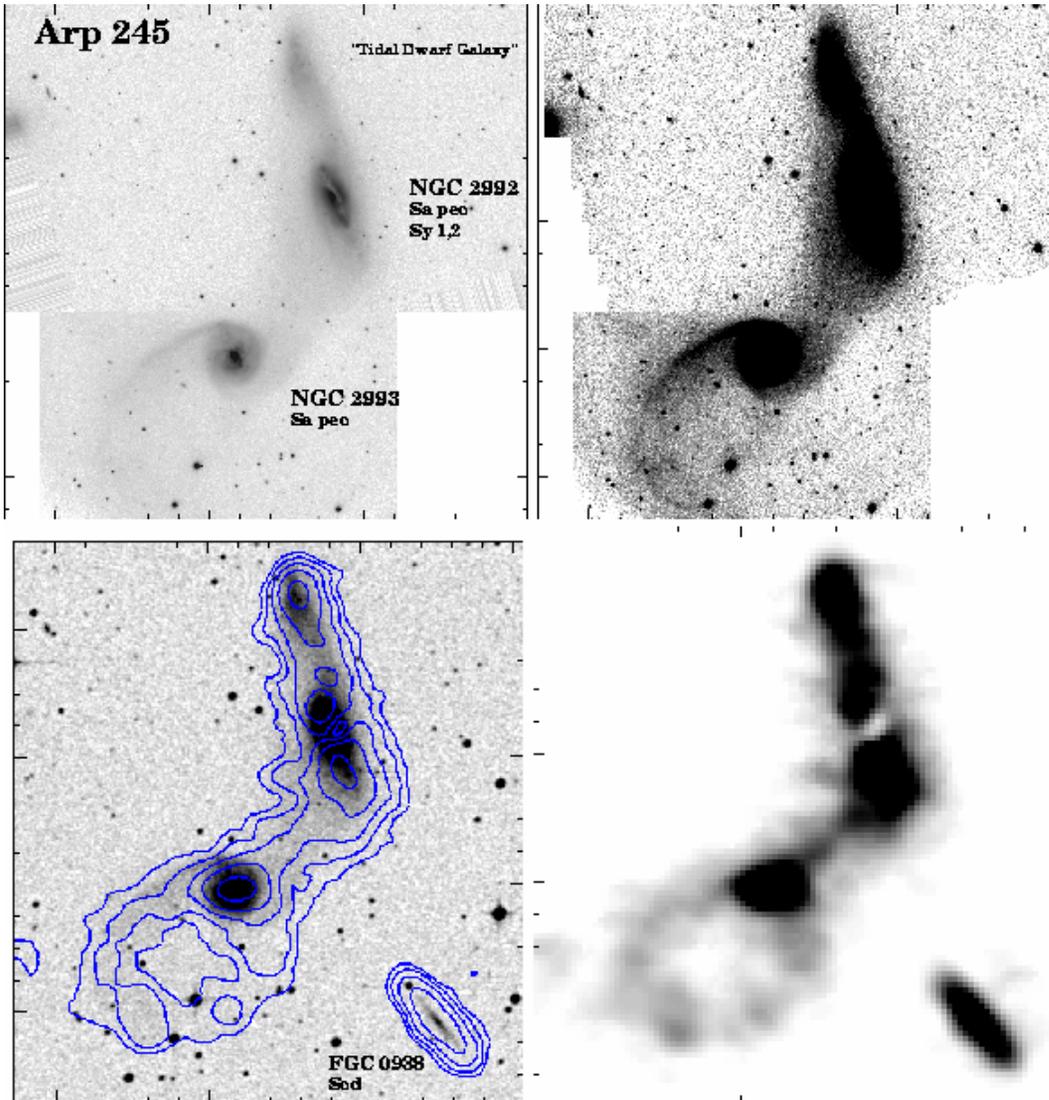
HI: VLA B+C+D-array, resolution, contours = cm .

Optical: DSS, FOV= .

Reference: Smith, B.J. 1991, ApJ, 393, 54
and Smith, B.J., Struck, C., & Pogge, R.W.
1997, ApJ, 483, 754



H I: Merger



The Arp 245 System.

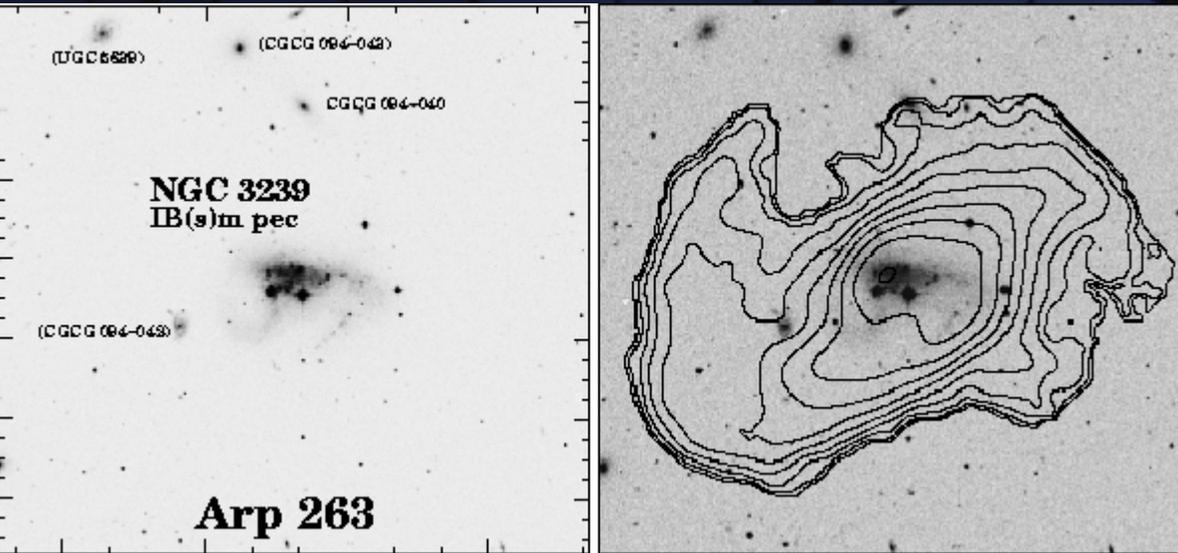
HI: VLA CS-array, 25" resolution, contours = cm .

Optical: Top: NTT+CFHT V-band. Bottom left: DSS.

FOV = .

Reference: Duc, P. - A., Brinks, E., Springel, V., Pichardo, B., Weilbacher, P., & Mirabel, I.F., 2000, AJ, 120, 1238.

HI: Merger



The Arp 263 System.

HI: VLA D-array, resolution, contours= cm .

Optical: DSS, FOV= .

Notes: The galaxies marked in parenthesis have redshifts which place them in the background. CGCG 094-040 has no known redshift.

Reference: Iyer et al.



HI: Gas & Wachstum
der Schwarzen Löcher

Timescales



- Ages of starbursts: 0.05 – 3Gyr
- Dynamical timescale $\sim 0.1 - 1$ Gyr
- Lifetimes of radio sources < 0.1 Gyr

The radio sources form in the later stages of the mergers (star formation and quasar/jet activity are

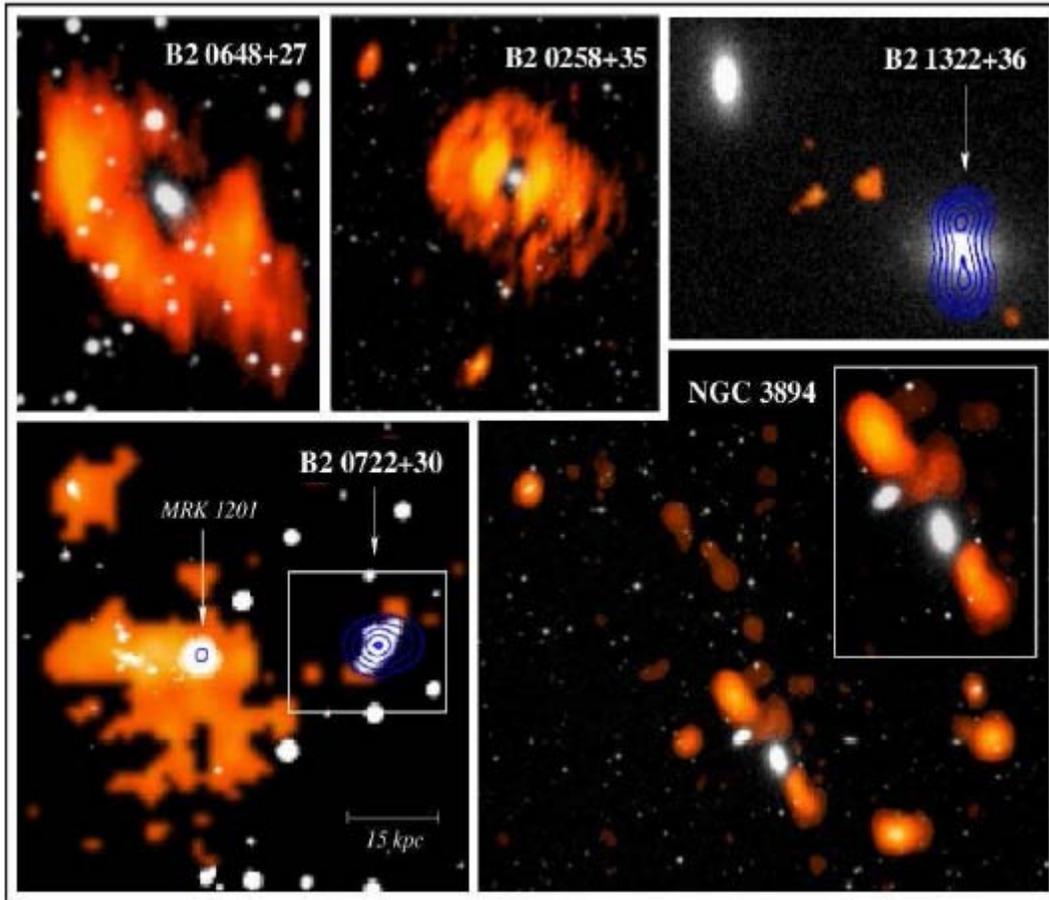
not necessarily coeval), or more than one phase of activity.

Conclusions



- **Timing of AGN activity:** the AGN/jet activity is not always coeval with the major merger-induced starburst associated with the triggering event
- **Outflows:** clear evidence for AGN-induced outflows on the $\sim 1-10$ kpc scales of galaxy bulges; significant mass outflow rates
- **Evolution of the ISM:** the quasar nuclei are cocooned in dust in some young radio sources, this dust is then swept aside by jet- and wind-driven outflows

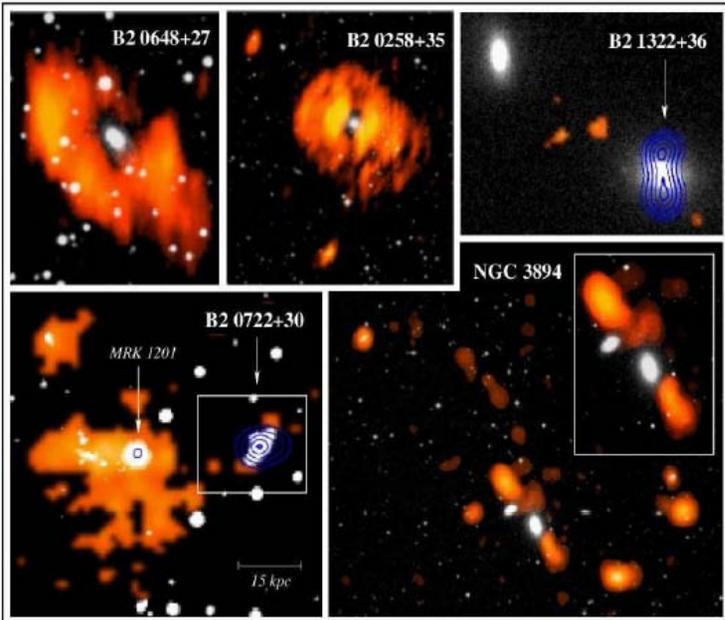
H I: in nahen Radiogalaxien



Emonts et al. 2005

- Sind Merger oder WW am Beginn der Radio-AGN Aktivität??
- Ausgedehnte H I-Emission in Scheiben- oder ringförmigen Strukturen: Hinweis auf major merger (mindestens einige Gyr)

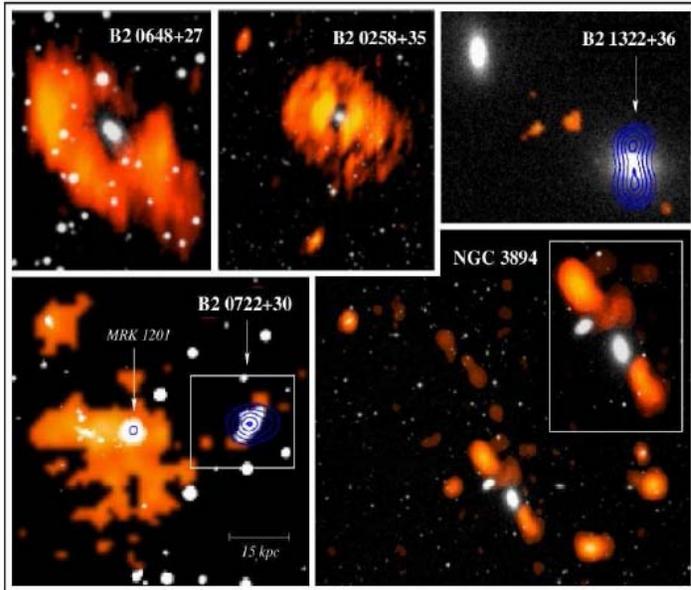
H I: in nahen Radiogalaxien



Emons et al. 2005

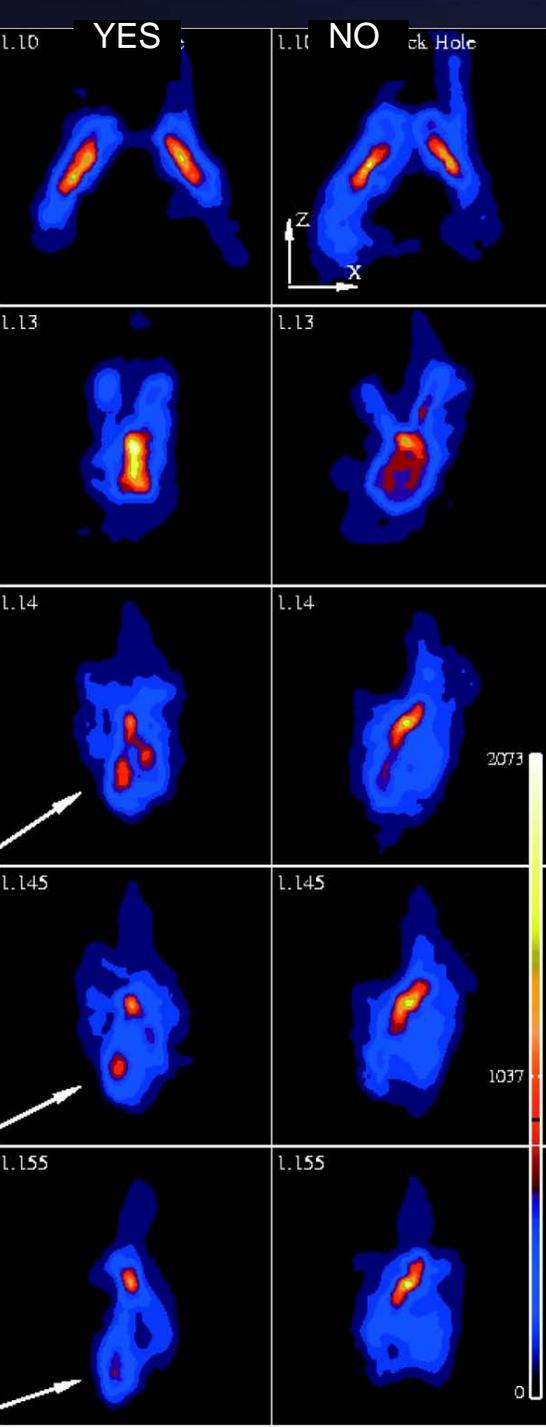
- WW anhand des HI verfolgen
- Gas wird benötigt für
 - Sternentstehung
 - Ausgedehnte Strukturen
- Eigenschaften und Zeitskalen können aus HI abgeleitet werden
- Alter der stellaren Populationen kann aus optischen Spektren bestimmt werden
- Vergleich mit Eigenschaften der Radioquellen: merger & AGN Aktivität untersuchbar

H I: in nahen Radiogalaxien



Emons et al. 2005

- Zeitskala der momentane radio-AGN Aktivität in HI-reichen Radio Galaxien ist viiiiel geringer als die WW-Zeitskalen: radio-AGN Aktivität könnte entweder spät während des Merger-Ereignisses gestartet haben, oder: hat gar nicht direkt etwas mit der WW zu tun!!
- HI-reiche Radiogalaxien haben kompakte Radioquellen ABER keine der ausgedehnten Radioquellen enthält soviel ausgedehntes HI



Feedback from AGN



Molekulares ISM in Merger-Galaxien

Molekulares Gas als Treibstoff für starbursts und Akkretion der Schwarzen Löcher

Massive Konzentrationen an molekularem Gas in ULIRGs, hoch angeregtes molekulares Gas in Regionen massiver starbursts

Fraglich ist Einfluß der AGN auf molekulares Gas
Hydrodynamische Simulationen

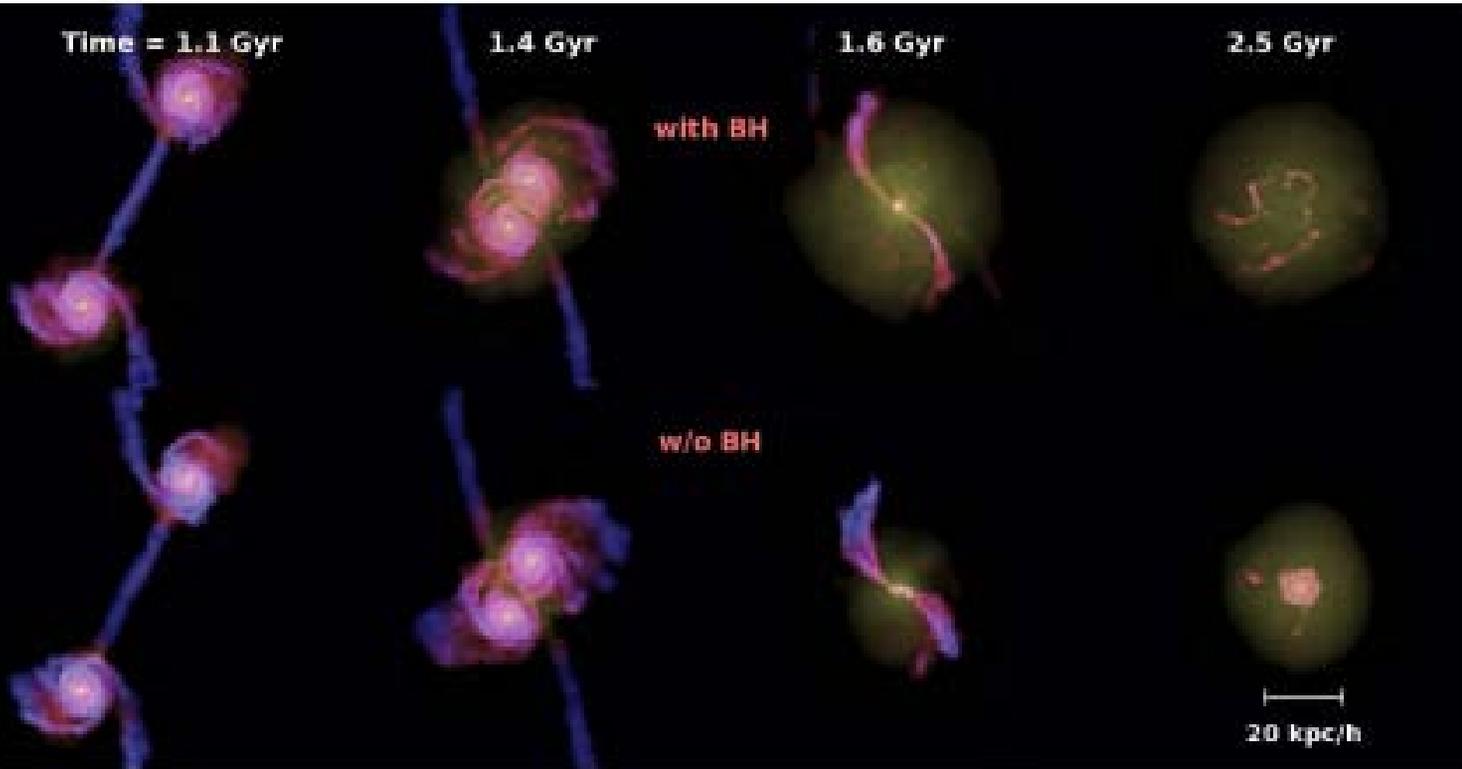
Molekulare Wolken in AGN-Winden erzeugen
ausgedehnte CO-Morphologie

Links, mit SL: große Mengen Gas werden nach dem Verschmelzen in die Kernregion gebracht und akkretieren auf das SL, feedback bläst große Mengen an molekularem Gas nach außen (ist rechts ohne SL nicht zu sehen)

Galaxien-Kollisionen und das Füttern Schwarzer Löcher

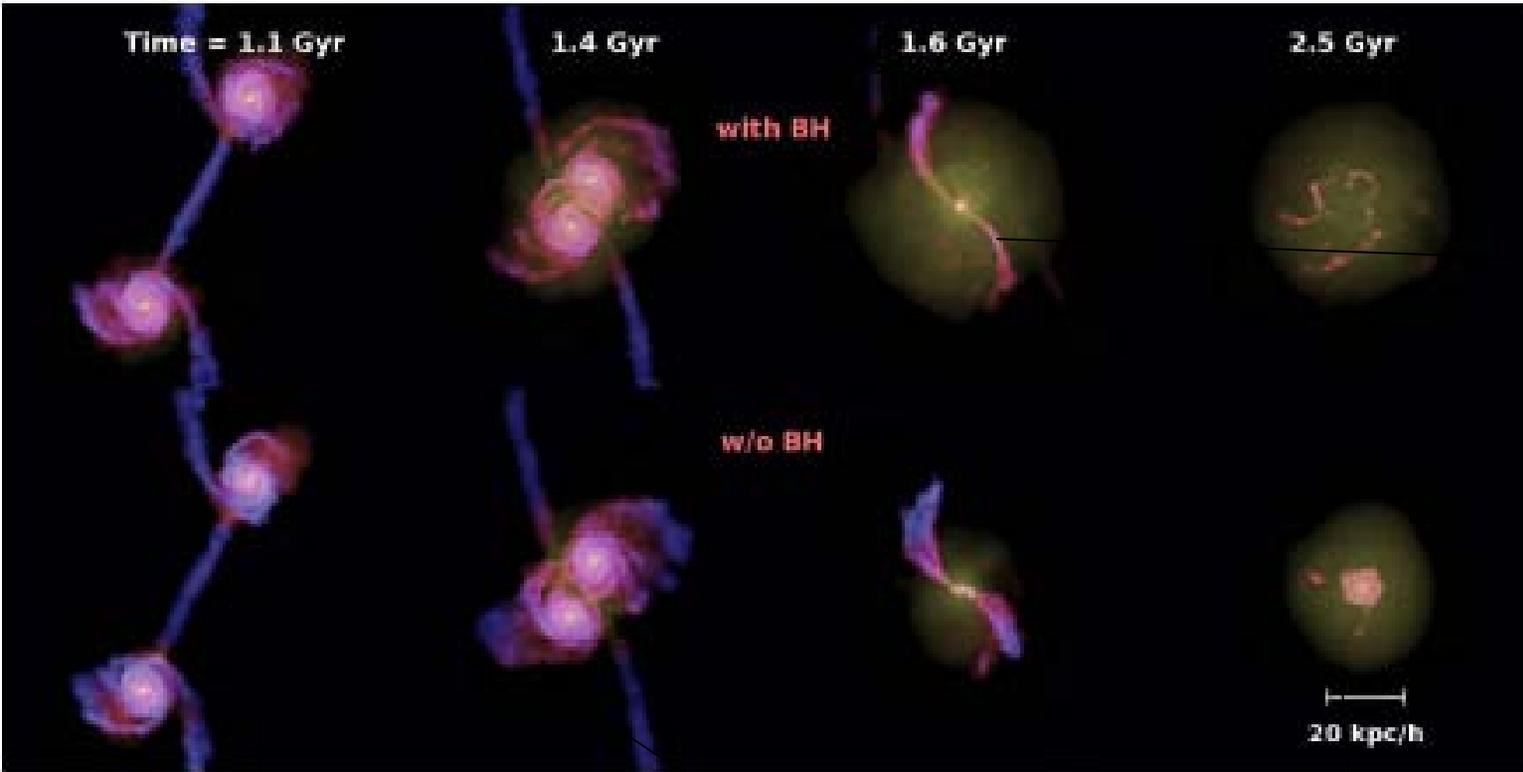


di Matteo et al.
2005



- Hydrodynamische Simulationen:
 - starburst + große Mengen Gas werden nach innen geführt und treiben den Quasar
 - Energieabstrahlung des Quasars reicht aus um Sternentstehung und weiteres Anwachsen des Schwarzen Lochs zu dämpfen -> Lebensdauer

Galaxien-Kollisionen und das Füttern Schwarzer Löcher



di Matteo et al.
2005

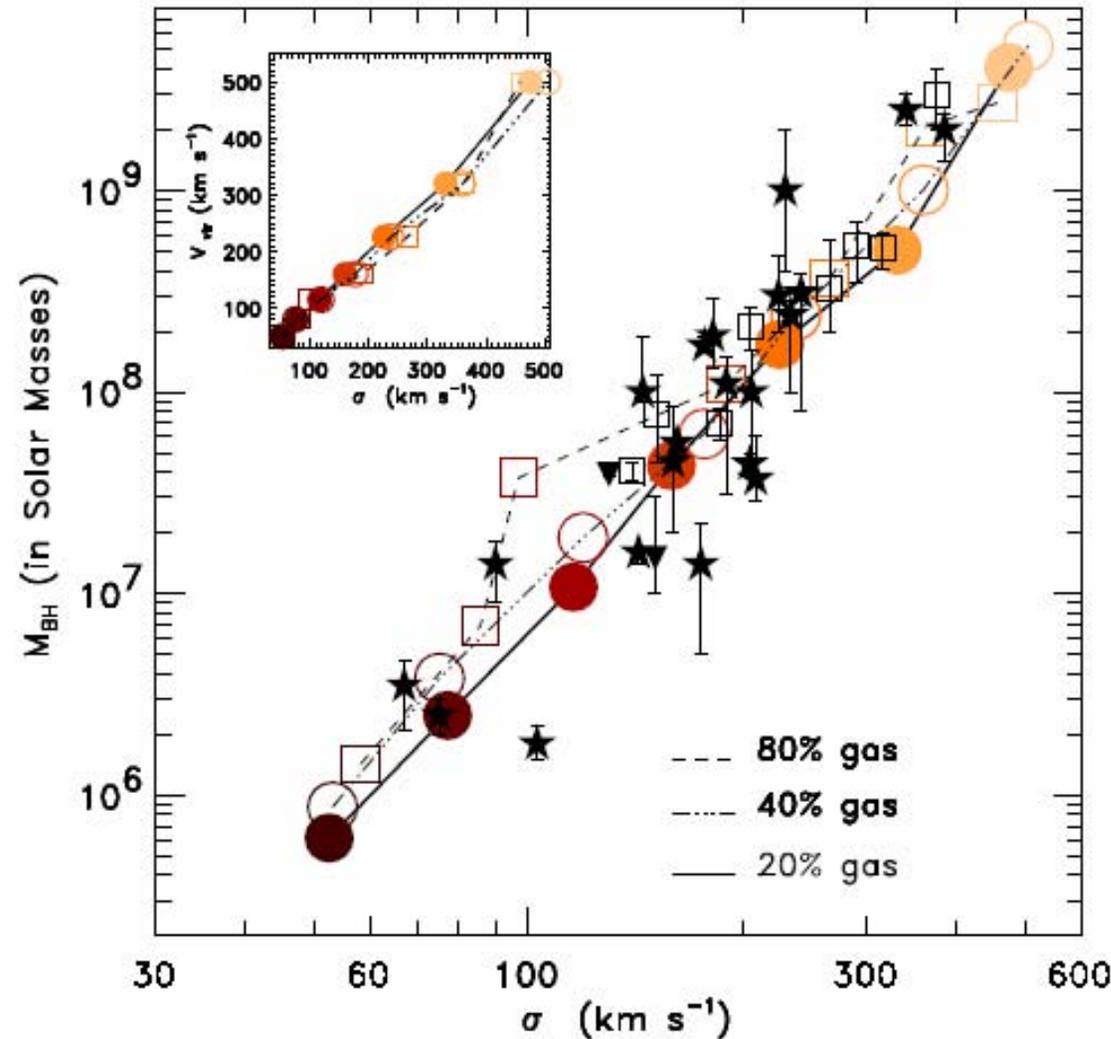
Starburst,
Rapid accretion;
Immer noch
Einfall ohne SLs
Feedback mit
SLs, wind;
heller
Quasar

Gezeitenkräfte treiben Scheiben in bi-symmetrische Spiralen,
Geringere Dichte und höhere Temperatur mit SLs

Sternentstehung unbeeinflusst durch SLs

Tote elliptische Galaxie mit roter
Sternpopulation; ohne SLs immer
Noch Sternentstehung

Galaxien-Kollisionen und das Füttern Schwarzer Löcher



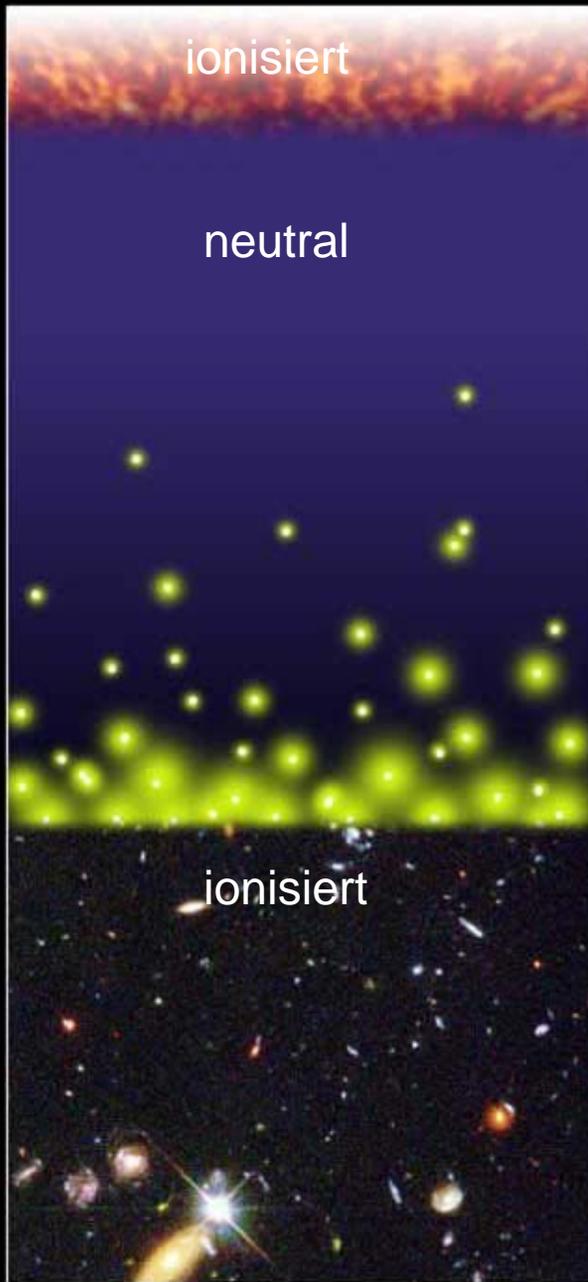
- Merger-Reste aus Simulationen und Beobachtungen (schwarze Symbole) im Vergleich
- 6 verschiedene Massen



HI & die Frühphasen
des Universums

A Schematic Outline of the Cosmic History

Time since the Big Bang (years)



~ 300 thousand

ionisiert

neutral

ionisiert

~ 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

Epoche der Reionisation

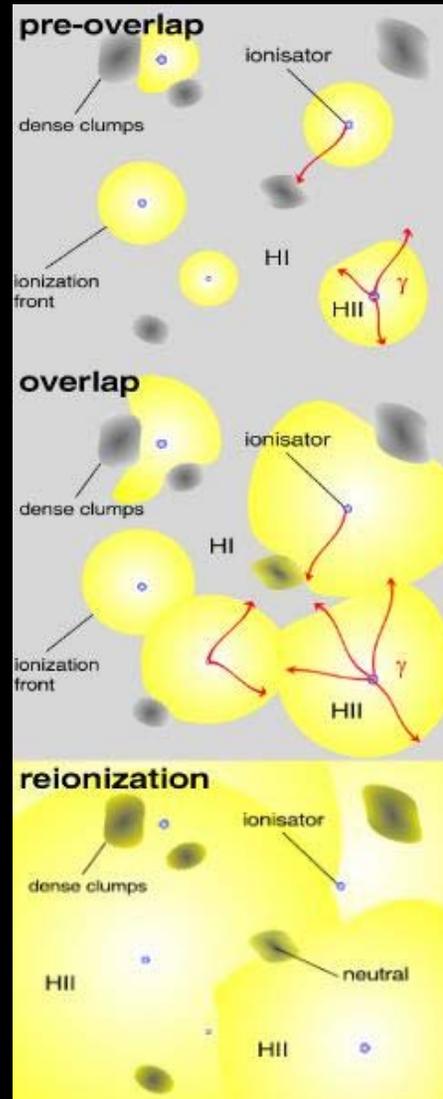
The Cosmic Renaissance
The Dark Ages end

← Reionization complete, the Universe becomes transparent again

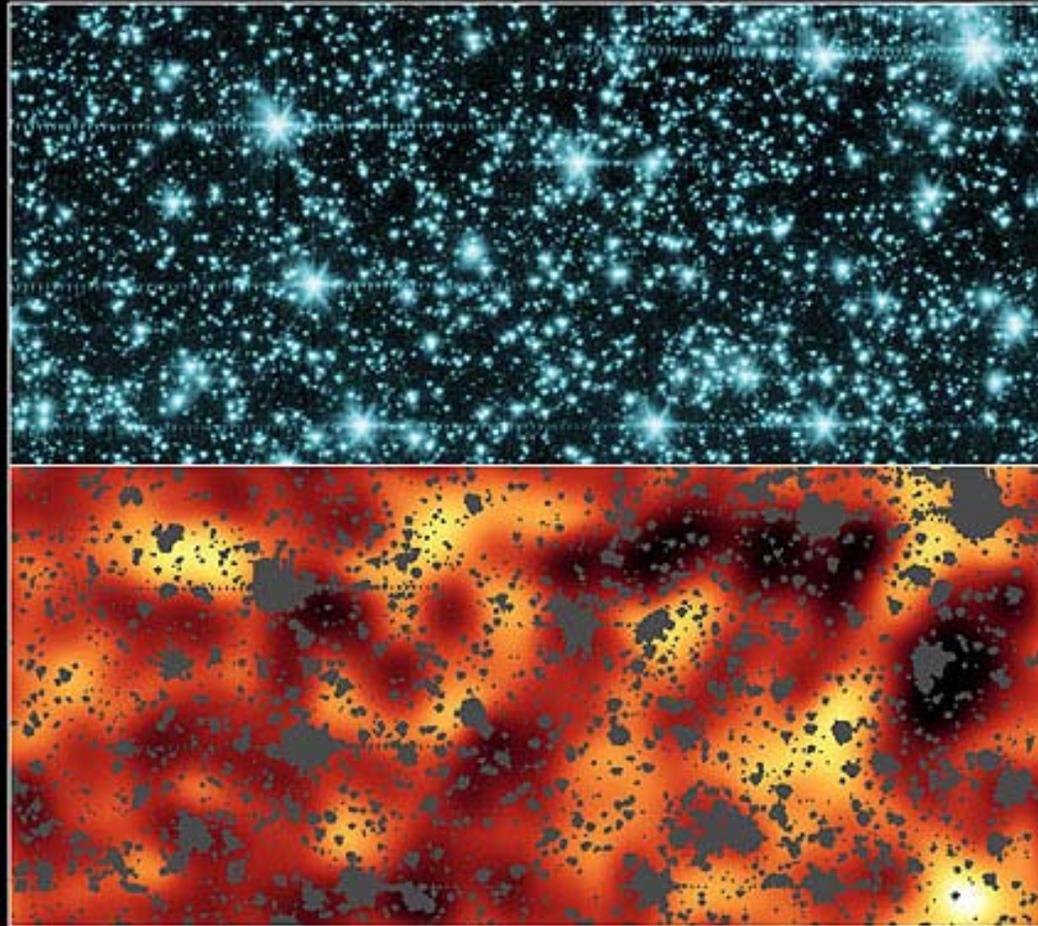
Galaxies evolve

The Solar System forms

Today: Astronomers figure it all out!



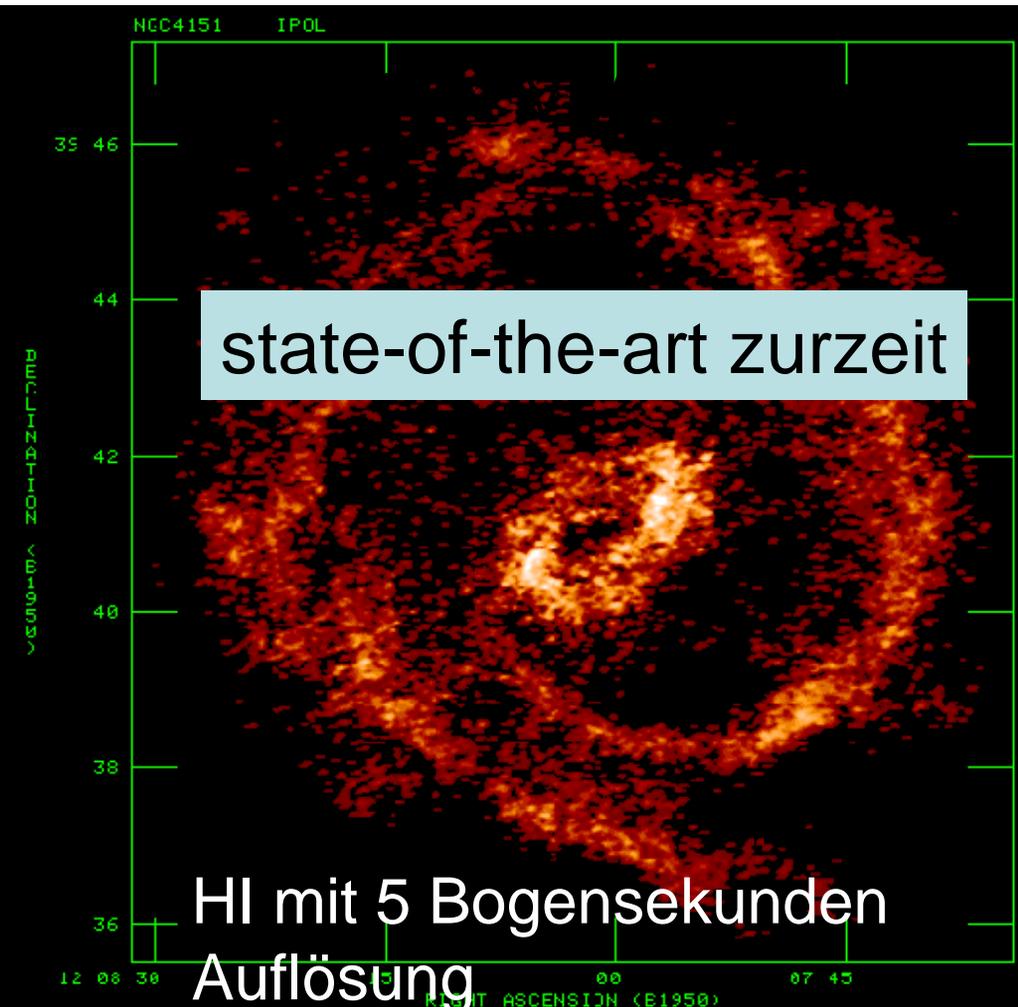
26.05. Der Radiohimmel im Licht der 21cm-Linie



Infrared Background Light from First Stars Spitzer Space Telescope • IRAC
NASA / JPL-Caltech / A. Kashlinsky (GSFC) ssc2005-22a

- Spitzer Space Telescope
- Sterne und Galaxien , 50 -100 Mio Lichtjahre (6-12 Bogenminuten)
- Infrarot, 3.6 microns
- Unteres Bild: Sterne, Galaxien und Artefakte aus dem Bild genommen, Hintergrund verstärkt: Glühen der ersten Sterne?

SKA Vision: HI mit sub-Bogensekunden Auflösung



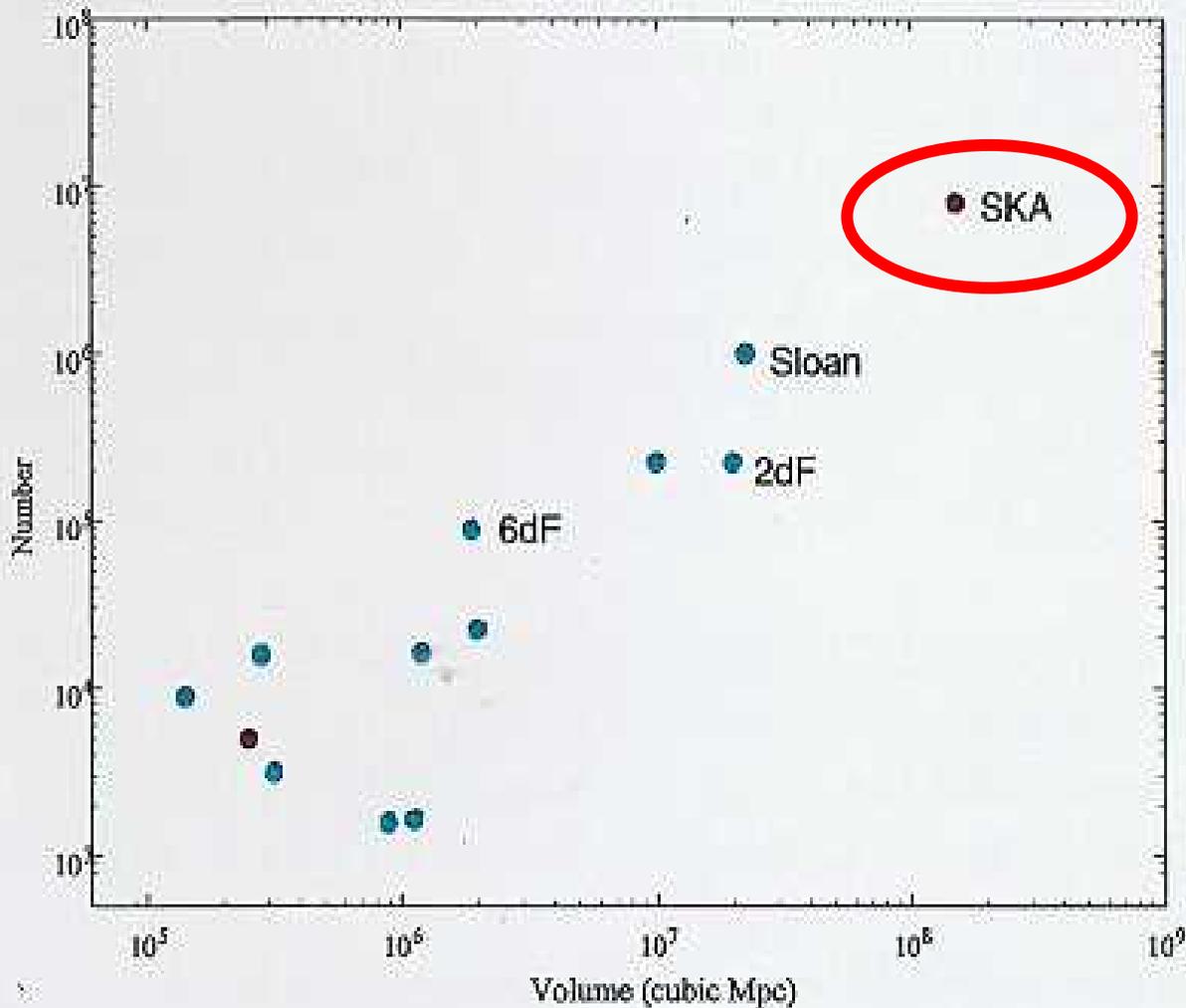
HI mit $<1''$ Auflösung benötigt
100x Empfindlichkeit des VLA

→ ~1 Quadrat-km Fläche
notwendig

→ lokale Galaxiendynamik
im Detail studieren

→ Galaxien bei hoher
Rotverschiebung in HI und
in Synchrotron Emission
detektieren

Großflächige Durchmusterungen in HI



Rotverschiebungen
und HI für entfernte
Galaxien



In zwei Wochen ...



Themen

& Daten

- 05.05 Einführung & Übersicht
- 12.05. Radioteleskope & Radiobilder & Katastrophen
- 26.05. Der Radiohimmel im Licht der 21cm-Linie
- **09.06. Maser & das Interstellare Medium & Merger**
- 23.06. AGN & Binäre Schwarze Löcher (NEUES!)
- 07.07. Pulsar-Astronomie (heute & in Zukunft)
- 21.07.