

Einfuehrung in die Astron. & Astrophysik I

Wintersemester 2013/2014: Henrik Beuther & Christian Fendt

- 17.10 Einfuehrung: Ueberblick und Geschichte (H.B.)*
- 24.10 Koordinatensys., Sternpositionen, Erde/Mond (C.F.)*
- 31.10 Teleskope und Instrumentierung (H.B.)*
- 07.11 Strahlung, Strahlungstransport (C.F.)*
- 14.11 Planetensystem(e) und Keplergesetze (H.B.)*
- 21.11 Sonne & Sterne, Typen, Klassifikationen, HR-Diagramm (C.F.)*
- 28.11 Interstellare Materie: Chemie und Materiekreislauf (H.B.)*
- 05.12 Sternentstehung, Akkretionsscheiben und Jets (H.B.)*
- 12.12 Sternaufbau und Sternentwicklung: Hauptreihe (C.F.)*
- 19.12 Sternaufbau und Sternentwicklung: Endstadien (C.F.)*
- 26.12 und 02.01 –*
- 09.01 Mehrfachsysteme und Sternhaufen, Dynamik (C.F.)*
- 16.01 Exoplaneten und Astrobiologie (H.B.)*
- 23.01 Die Milchstrasse (H.B.)**
- 30.01 Zusammenfassung (C.F. & H.B.)*

08.02 Klausur, 15:00-17:00, Philosophenweg 12, alle 3 Hoersaele

Themen heute

Geschichte und generelle Eigenschaften

Rotation und Spiralstruktur

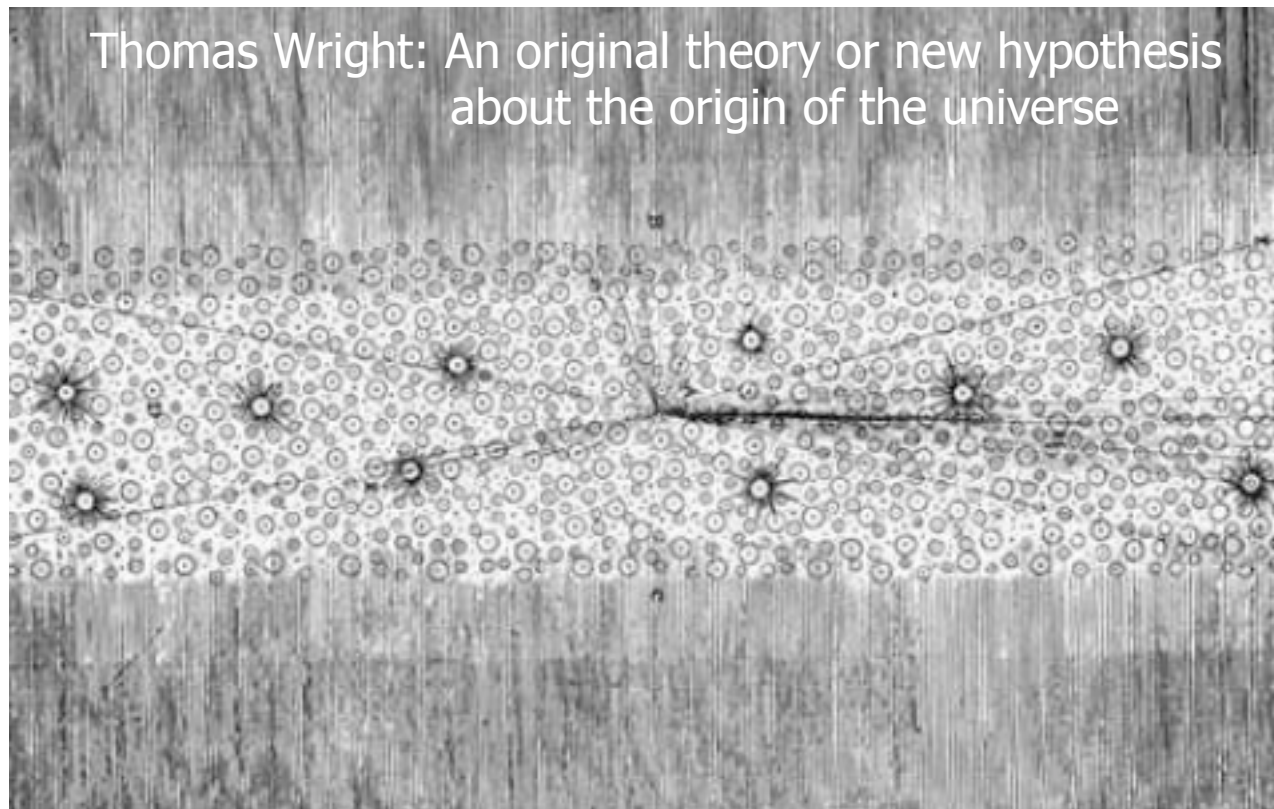
Das Galaktische Zentrum → Ein schwarzes Loch

Der Galaktische Halo und Zwerggalaxien



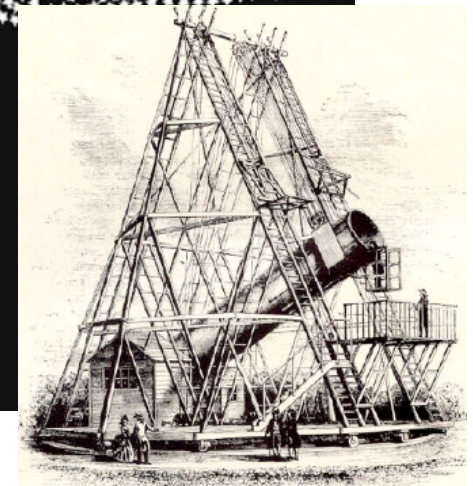
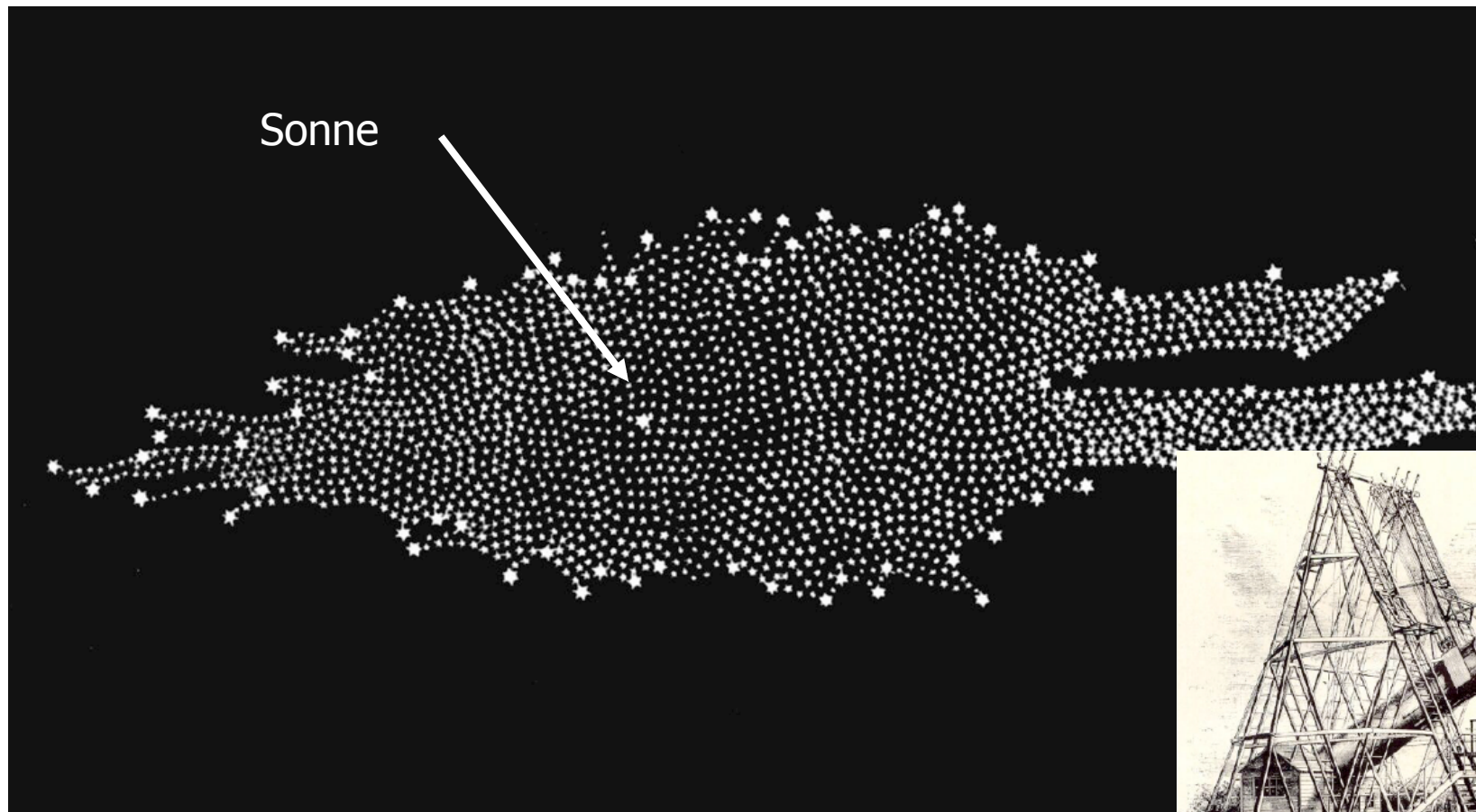
Geschichte

- 17. Jahrhundert: Galilei löst Milchstrasse in Ansammlung von Sternen auf.
- 18. Jahrhundert: Kant und Wright: Milchstrasse ist Scheibe aus Sternen.



Geschichte

- 1780: William Herschel zaeht Sterne in einigen 100 Feldern am Himmel.
→ Milchstrasse im Verhaeltis 4:1 abgeflacht, Milchstrasse hat einen Rand, Sonne nahe dem Zentrum.



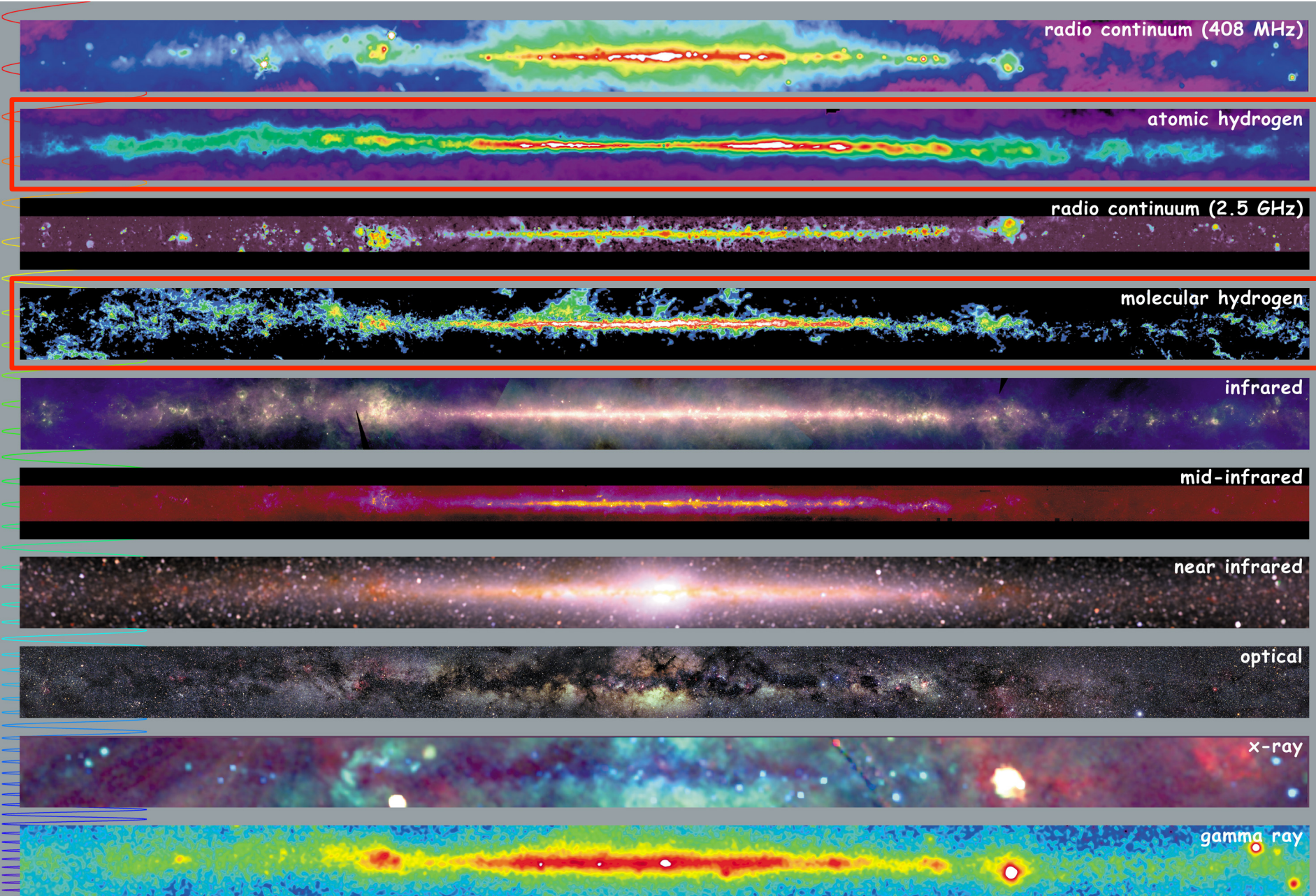
Geschichte

- 1920: Kapteyn: Messung der Entfernung von Sternen in der Scheibe
→ Groesse der Milchstrasse ca. 5kpc, Sonne nahe Zentrum
- 1920: Shapley: Messung der Entfernung von Kugelsternhaufen:
→ Groesse der Milchstrasse ca. 100kpc, Sonne 20kpc vom Zentrum.

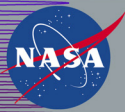
Wie loest sich diese offensichtliche Widerspruch?

- Viel Staub in der galaktischen Ebene → Absorption und Verdunklung im Optischen → Nur ein Teil der galaktischen Ebene wurde gesehen und damit Groesse unterschaezt.
- Wenig Staub im galaktischen Halo → Wenig Absorption → Emission Kugelsternhaufen ueberschaetzt → Groesse ueberschaetzt.

Um galaktische Struktur besser zu verstehen, braucht man Beobachtungen bei anderen, nicht optischen Wellenlaengen!



<http://adc.gsfc.nasa.gov/mw>

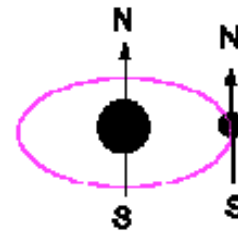


Multiwavelength Milky Way

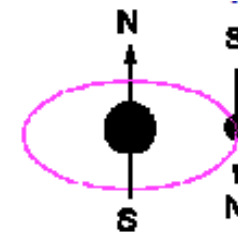
Neutral atomarer Wasserstoff

- Verbotene Spininversionslinie bei 21cm Wellenlaenge:

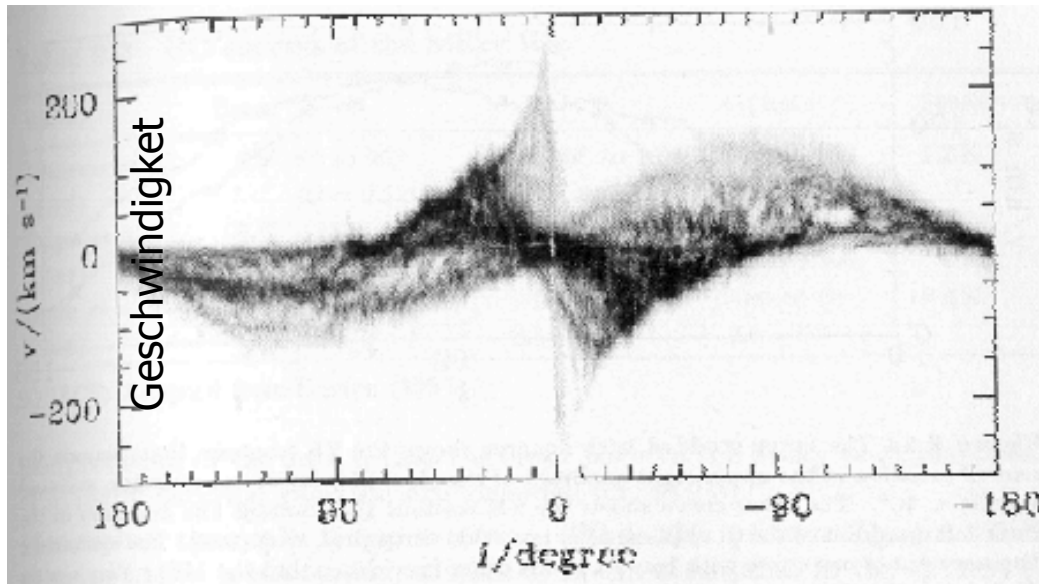
- ◆ Anregung über Stöße ($t_c \sim 500 \text{ a}$)
- ◆ Abregung durch Strahlung ($t_r \sim 10^7 \text{ a}$)



Paralleler Spin
(höheres Energie-
niveau)



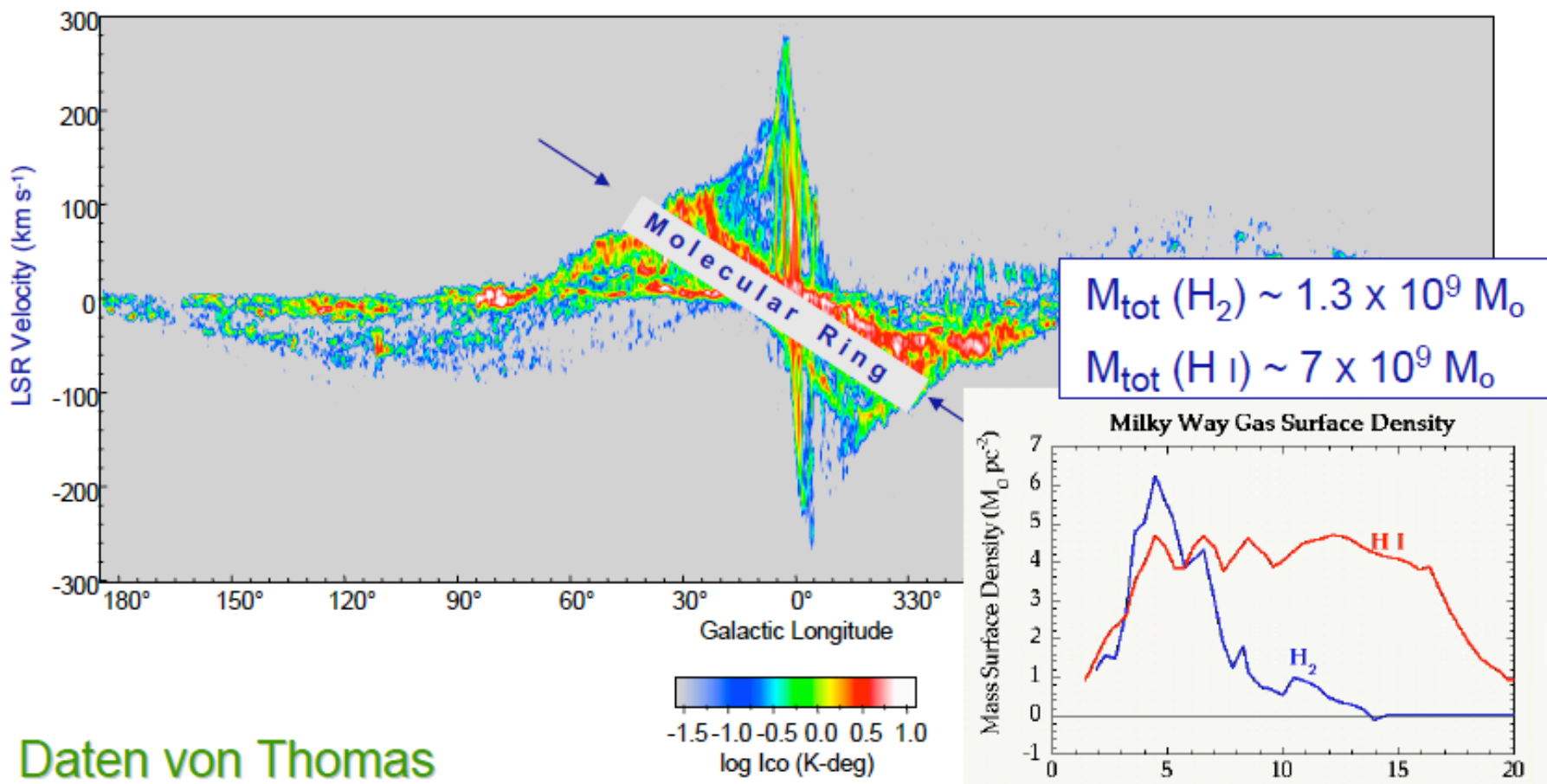
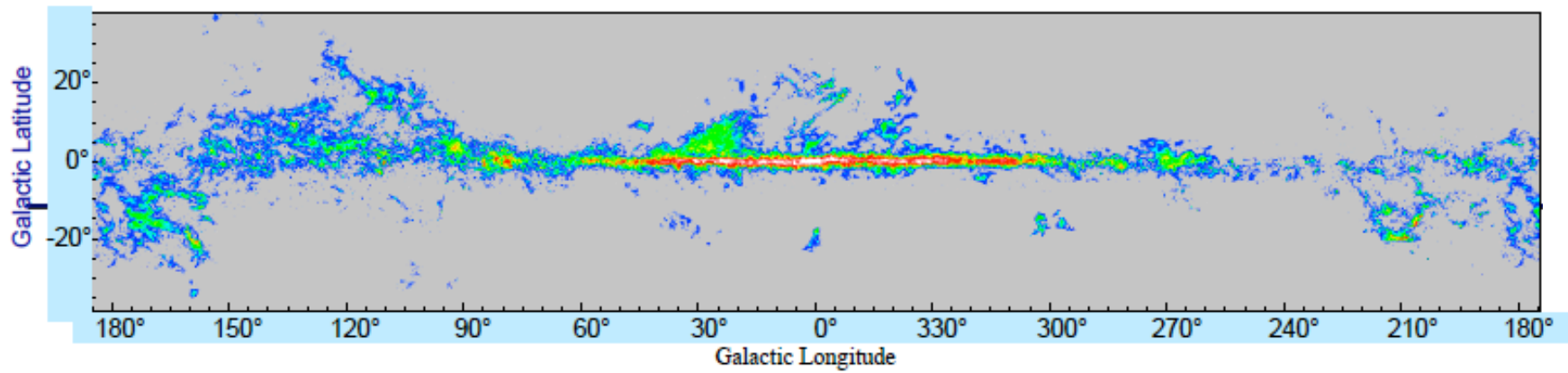
Antiparalleler Spin
(niedrigeres Energie-
niveau)



Galaktische Ebene $n \sim 1 \text{ cm}^{-3}$

Außenbereiche
der Molekülwolken $n \sim 10 \dots 100 \text{ cm}^{-3}$

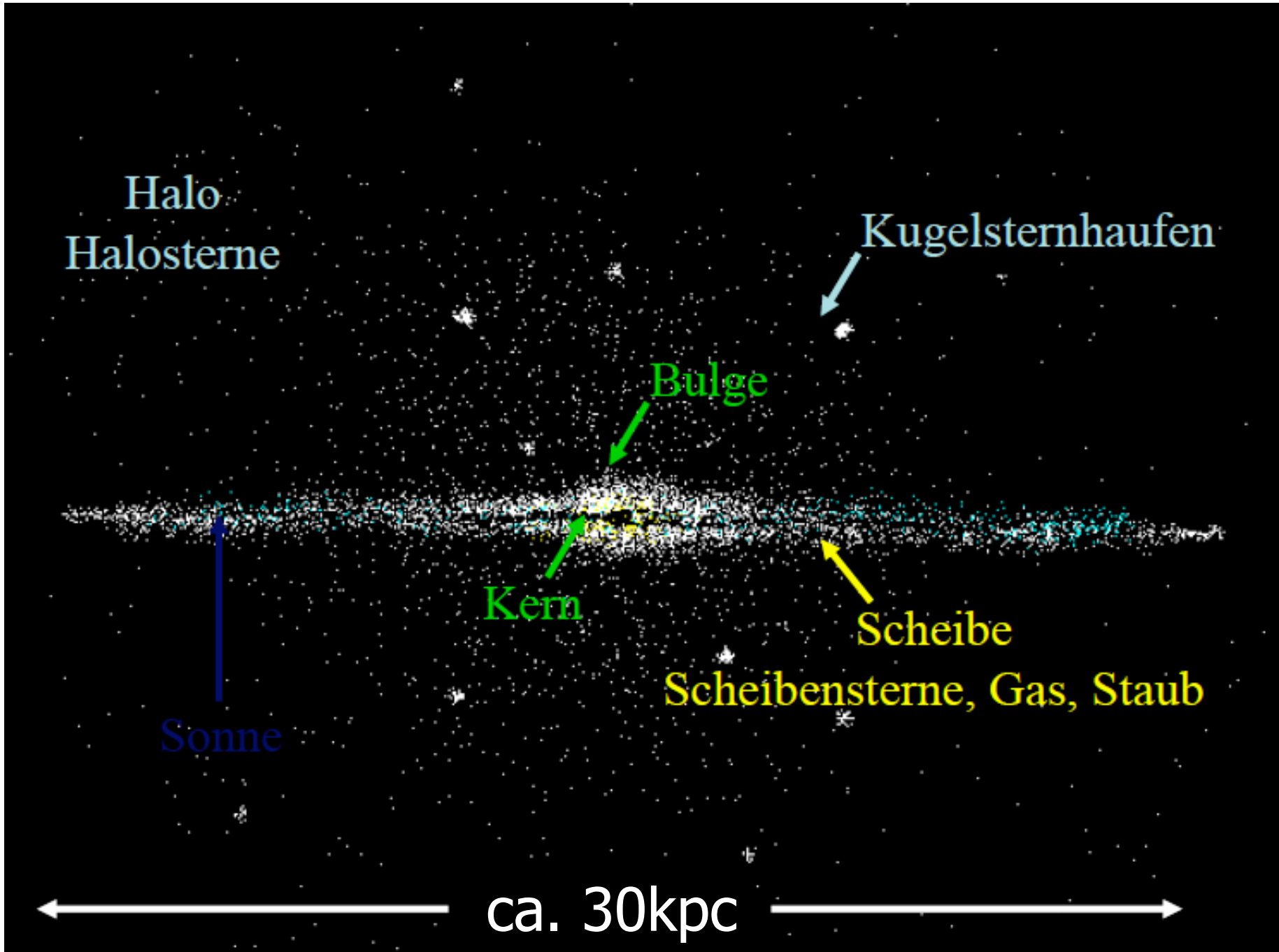
Diffuse Materie
zwischen Wolken $n \sim 0,05 \dots 0,2 \text{ cm}^{-3}$



Daten von Thomas
Dame, CfA Harvard

Zentrale Parameter unser Galaxie

- Distanz Sonne-galaktisches Zentrum R_{Sonne} ca. 8.5kpc (z.B. aus Periode-Leuchtkraft-Beziehung von RR Lyra Sternen im galaktischen Zentrum)
- Durchmesser ca. 30kpc oder 100.000 Lichtjahre. Im Durchschnitt hat Scheibe eine Dicke von ca. 1000 Lichtjahren.
- Geschwindigkeit der Sonne um gal. Zentrum $v_{\text{Sonne}} \sim 220\text{km/s}$
Winkelgeschwindigkeit $\omega_{\text{Sonne}} \sim 26 \text{ km/s/kpc}$
- Umlaufzeit der Sonne in Galaxie ~ 250 Millionen Jahre
- 100-300 Milliarden Sterne
- Masse innerhalb der Sonnenbahn (Annahme sphaerische Symmetrie):
$$\omega_{\text{Sonne}}^2 R_{\text{Sonne}} = GM(<R_{\text{Sonne}})/R_{\text{Sonne}}^2 \rightarrow M \sim 10^{11} M_{\text{sonne}}$$
- Galaktischer Halo:
 - Durchmesser ca. 165.000 Lichtjahre und sphaerisch.
 - ca. 150 Kugelsternhaufen und weitere meist alte Sterne.
 - Dunkle Materie ca. $10^{12}M_{\text{Sonne}}$



Sternpopulationen

■ Population I

- ◆ junge Sterne
- ◆ In der Scheibe der Milchstraße
- ◆ Metallhäufigkeiten ähnlich der Sonne
- ◆ Elemente ähnlicher Relativanteil wie in der Sonne
- ◆ Geringe Relativgeschwindigkeiten, nehmen an der Rotation der Scheibe um das galaktische Zentrum teil

■ Population II

- ◆ alte Sterne
- ◆ im Bulge und Halo (Kugelsternhaufen) der Milchstraße
- ◆ i.allg. metallarm (insbesondere im Halo)
- ◆ Hohe Relativgeschwindigkeiten zum LSR, kaum systematische Rotation

Themen heute

Geschichte und generelle Eigenschaften

Rotation und Spiralstruktur

Das Galaktische Zentrum → Ein schwarzes Loch

Der Galaktische Halo und Zwerggalaxien

Dichteverteilung und Rotationskurven

- Newton + zentrifugales Gleichgewicht
(vereinfacht für sphärische Symmetrie)

$$\frac{G M(< R)}{R^2} = \frac{v^2(R)}{R} = \omega^2(R) R$$

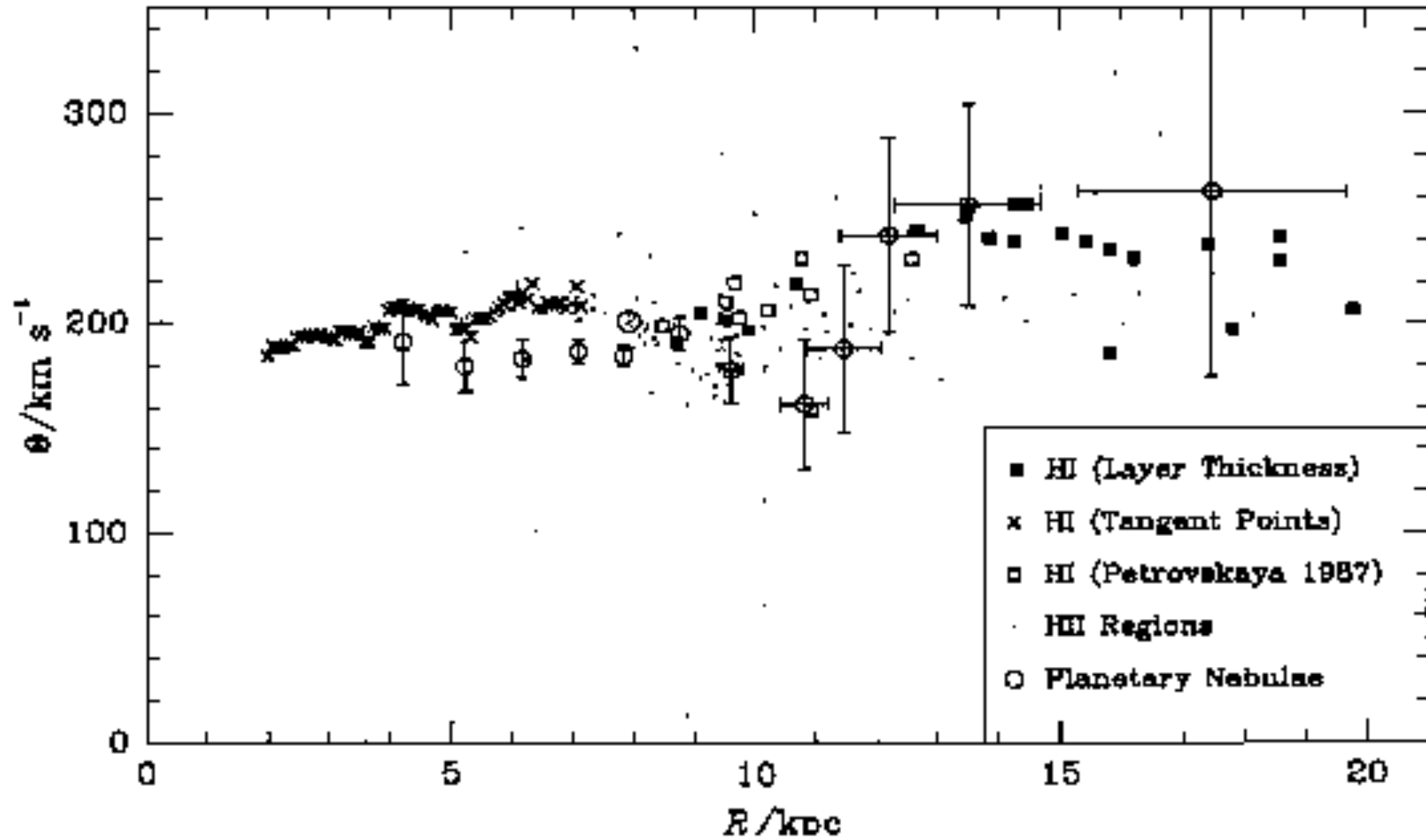
- Masse innerhalb Radius R

$$M(< R) = \int_0^R dr \varrho(r) r^2$$

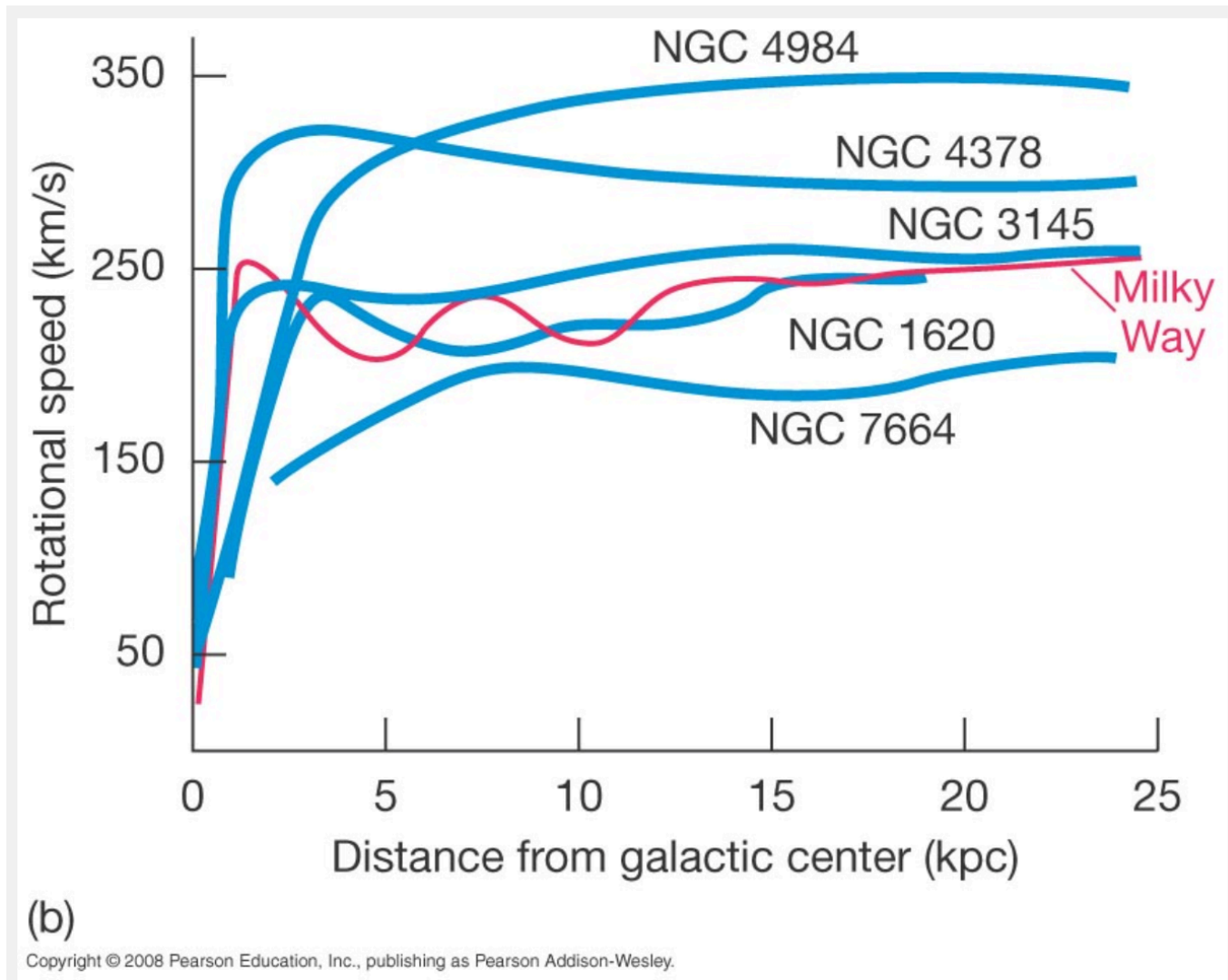
- Beispiele

- ◆ $\varrho = \text{const.} \Rightarrow M \propto R^3 \Rightarrow v \propto R, \omega = \text{const.}$
- ◆ $\varrho \propto R^{-2} \Rightarrow M \propto R \Rightarrow v = \text{const.}, \omega = 1/r$
- ◆ Punktmasse $\Rightarrow v \propto \frac{1}{\sqrt{R}}$ (keplersch)

Rotationskurve unserer Galaxie

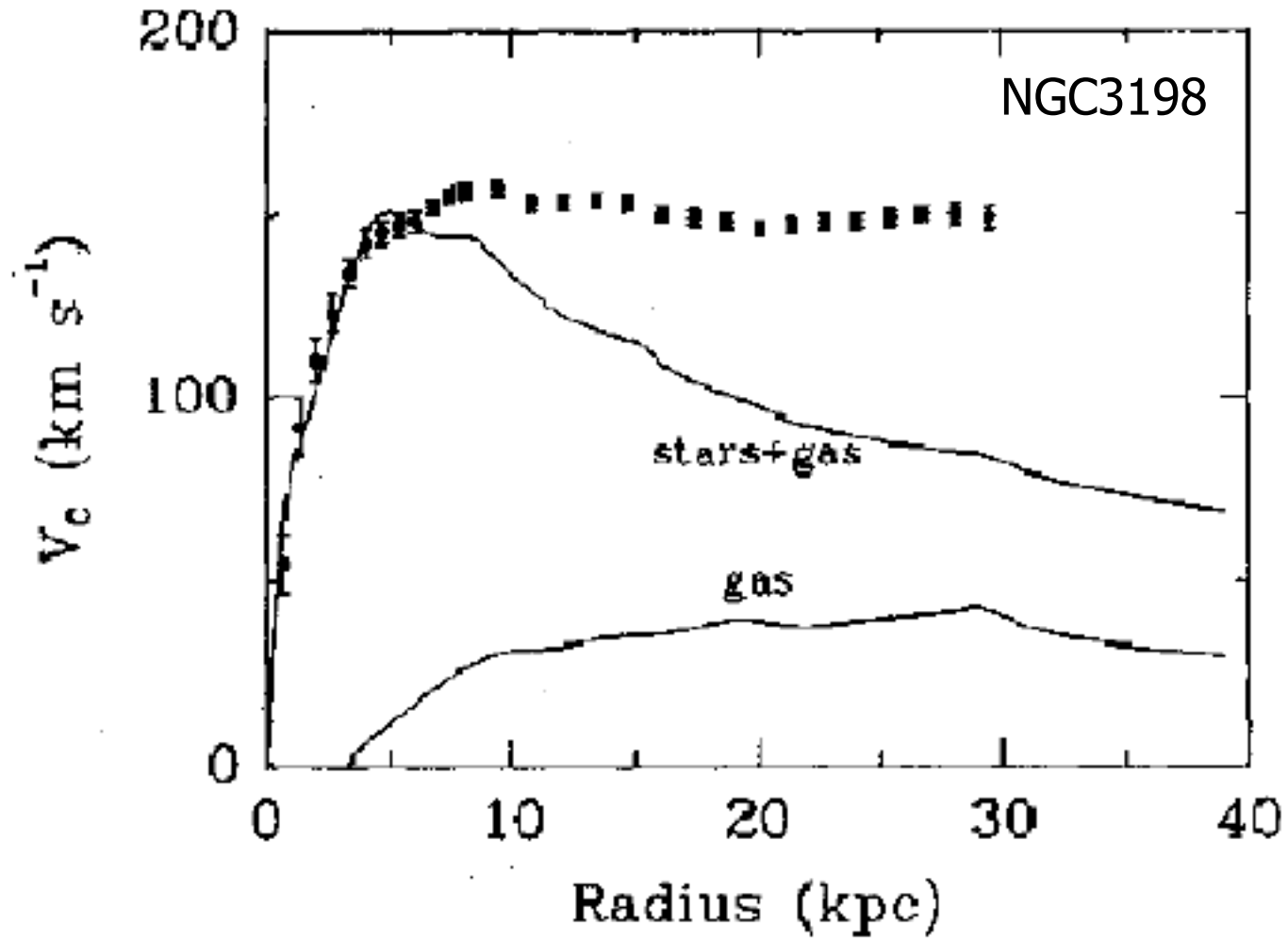


Rotationskurven anderer Galaxien

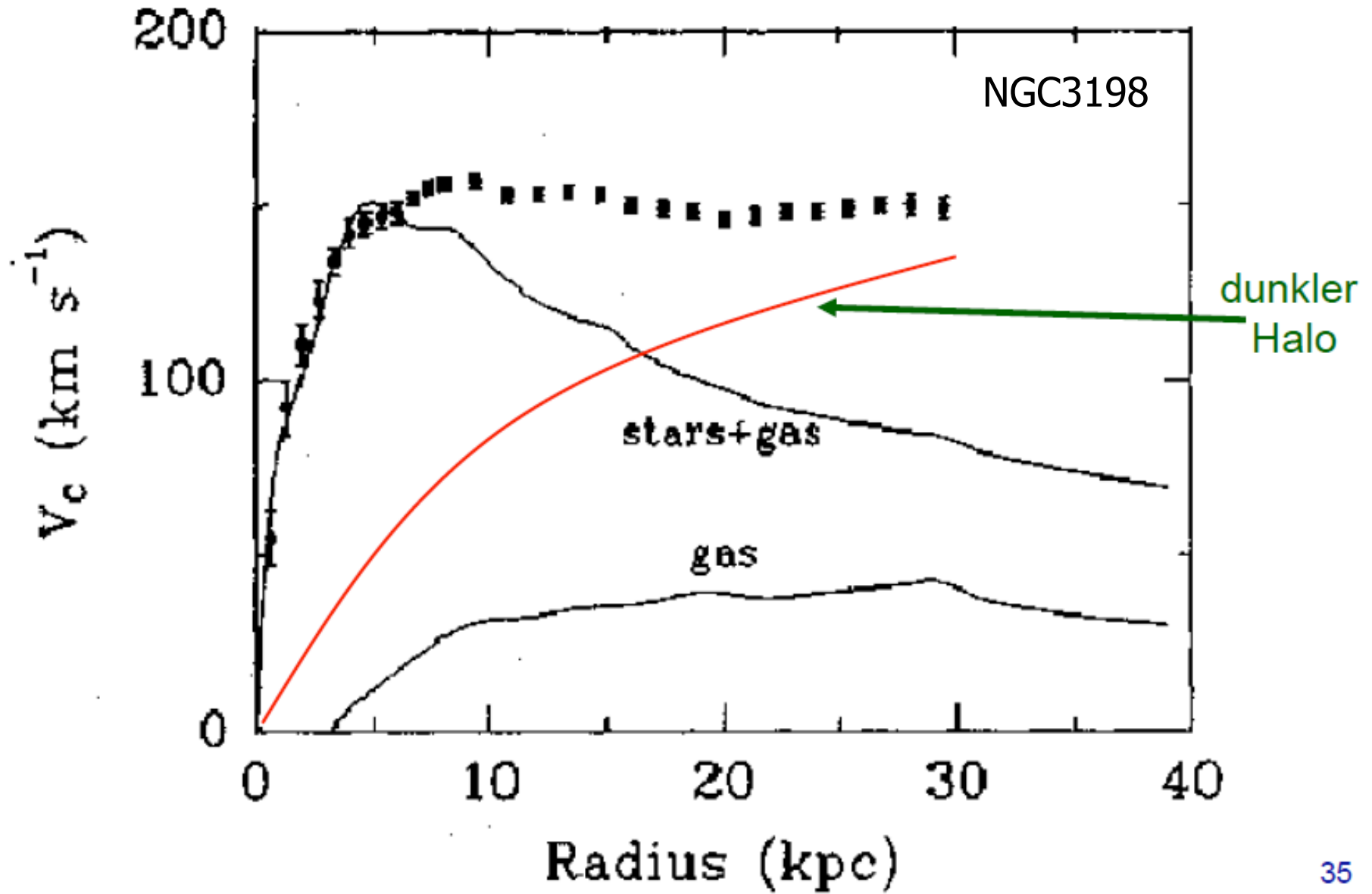


Rotation curves of spiral galaxies. (Credit: © 2012 Pearson Education, Inc., publishing as Addison Wesley.)

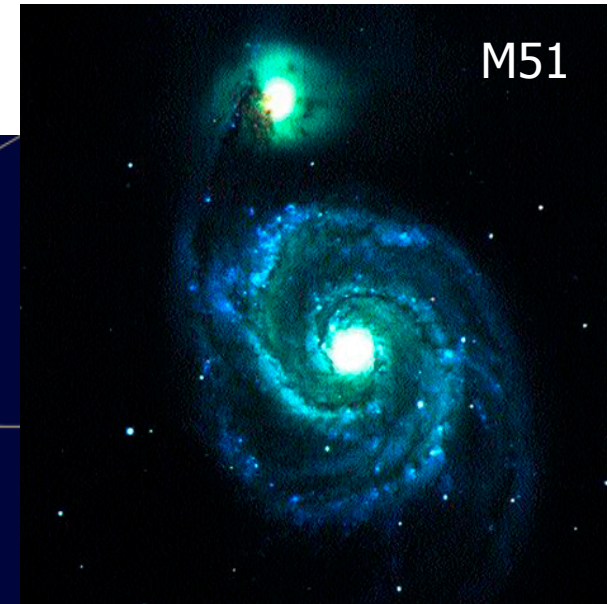
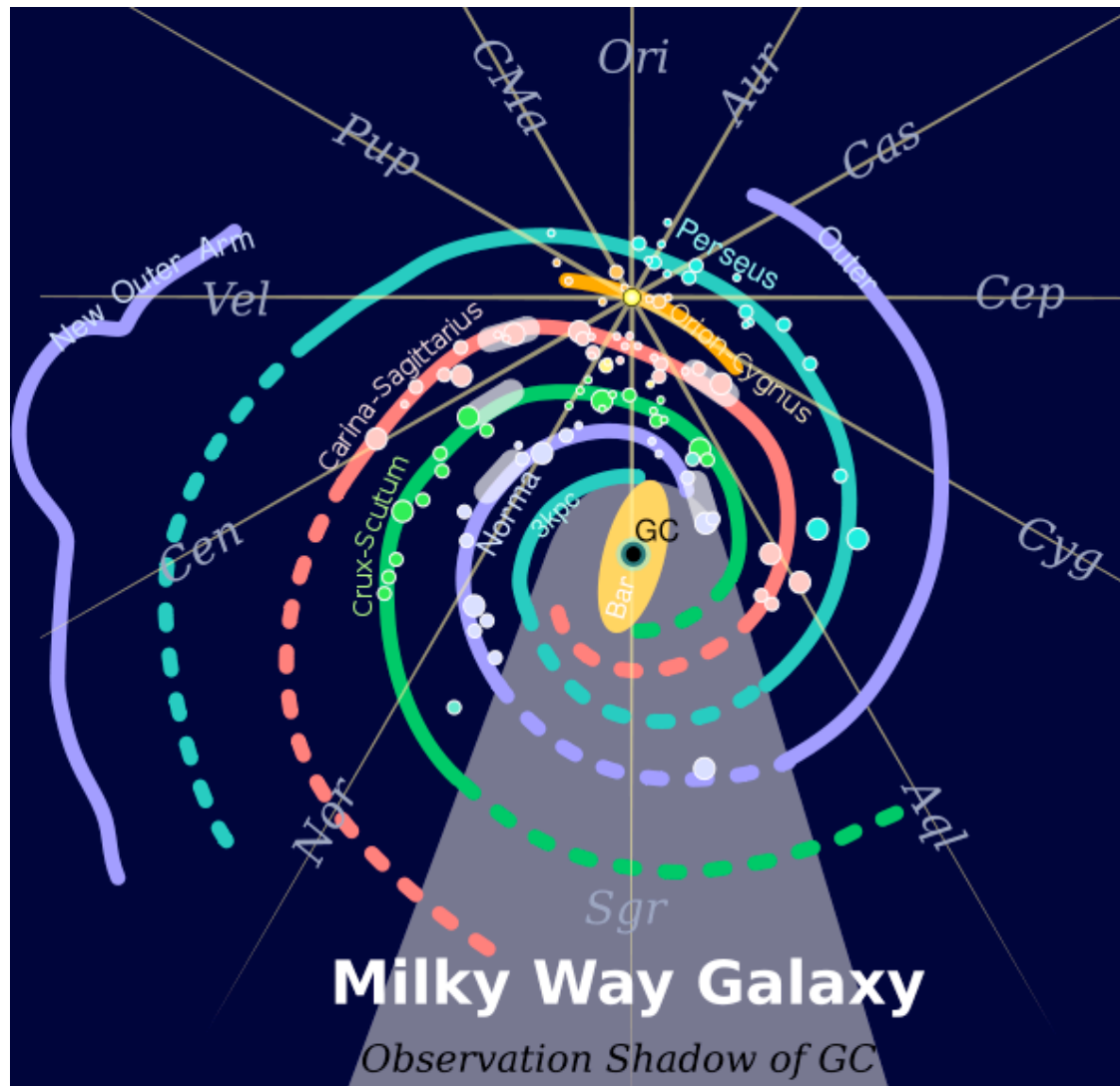
Dunkle Materie



Dunkle Materie



Spiralstruktur



Spiralarme zeichnen sich durch hohe Dichte an massereichen und jungen Sternen, Molekuelwolken und HII Regionen aus. Masseaermere langlebigere Sterne verteilen sich ueber die Galaxie. Spiralarme koennen anhand ersterer vermessen werden.

Spiralarme – Das Aufwickelproblem

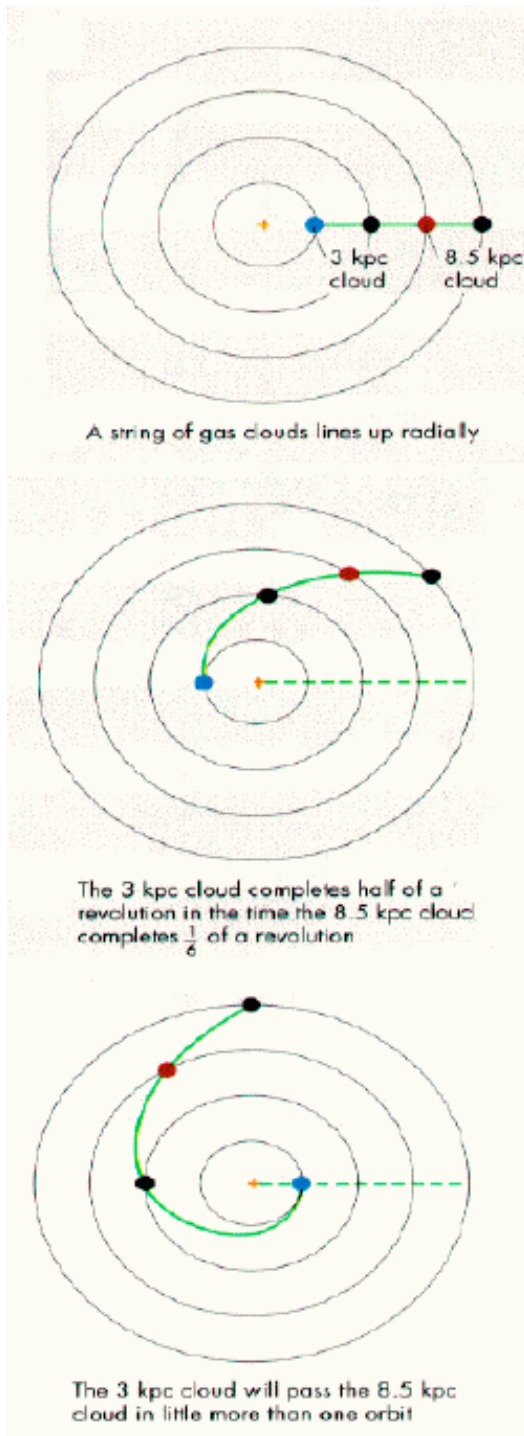
- Galaxie rotiert ungefaehr mit $v = \text{konstant}$
 - $\omega \sim 1/r$
 - Strukturen wuerden schnell verwaschen.

Aber Spiralarme sind langlebige Strukturen!!!

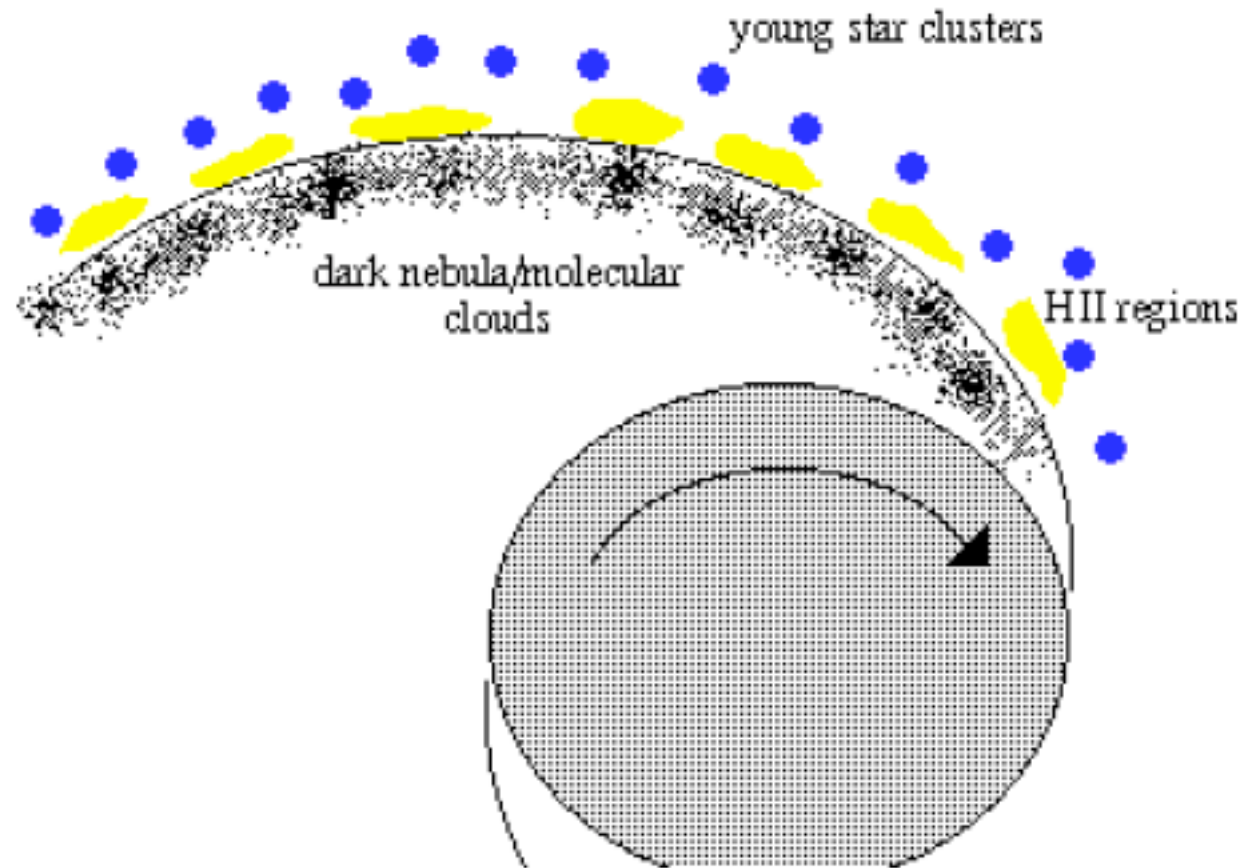
Dichtewellentheorie: Lindblad in Zwanziger Jahren,
Lin spaeter in den Sechzigern:

- Dichtewelle mit $\omega_{\text{Dichte}} \sim 13.5 \text{ km/s}$ (halbe stellare und Gasrotationsgeschwindigkeit) umlaeuft Galaxie.
 - Interstellares Gas laeuft in Dichtewelle, wird in Potential komprimiert, Sterne entstehen, verlassen Dichtewelle anschliessend.

Probleme: Was bestimmt ω_{Dichte} ? Unter welchen Um-
staenden entstehen keine Spiralen? Was facht Dichte-
wellen an? Was daempft sie? Gezeitenwirkungen mit
Nachbargalaxien sind eine Moeglichkeit (Magellansche
Wolken).



Sternentstehung in/nahe bei Spiralen



Da Gaswolkenrotation schneller als Dichtewellenrotation, wandern Wolken in Dichtewellenpotentiale, werden komprimiert und Sterne entstehen. Diese wandern wieder aus den Armen heraus. Da massereiche Sterne kurzlebig sind, findet man sie immer noch nahe den Armen.

Themen heute

Geschichte und generelle Eigenschaften

Rotation und Spiralstruktur

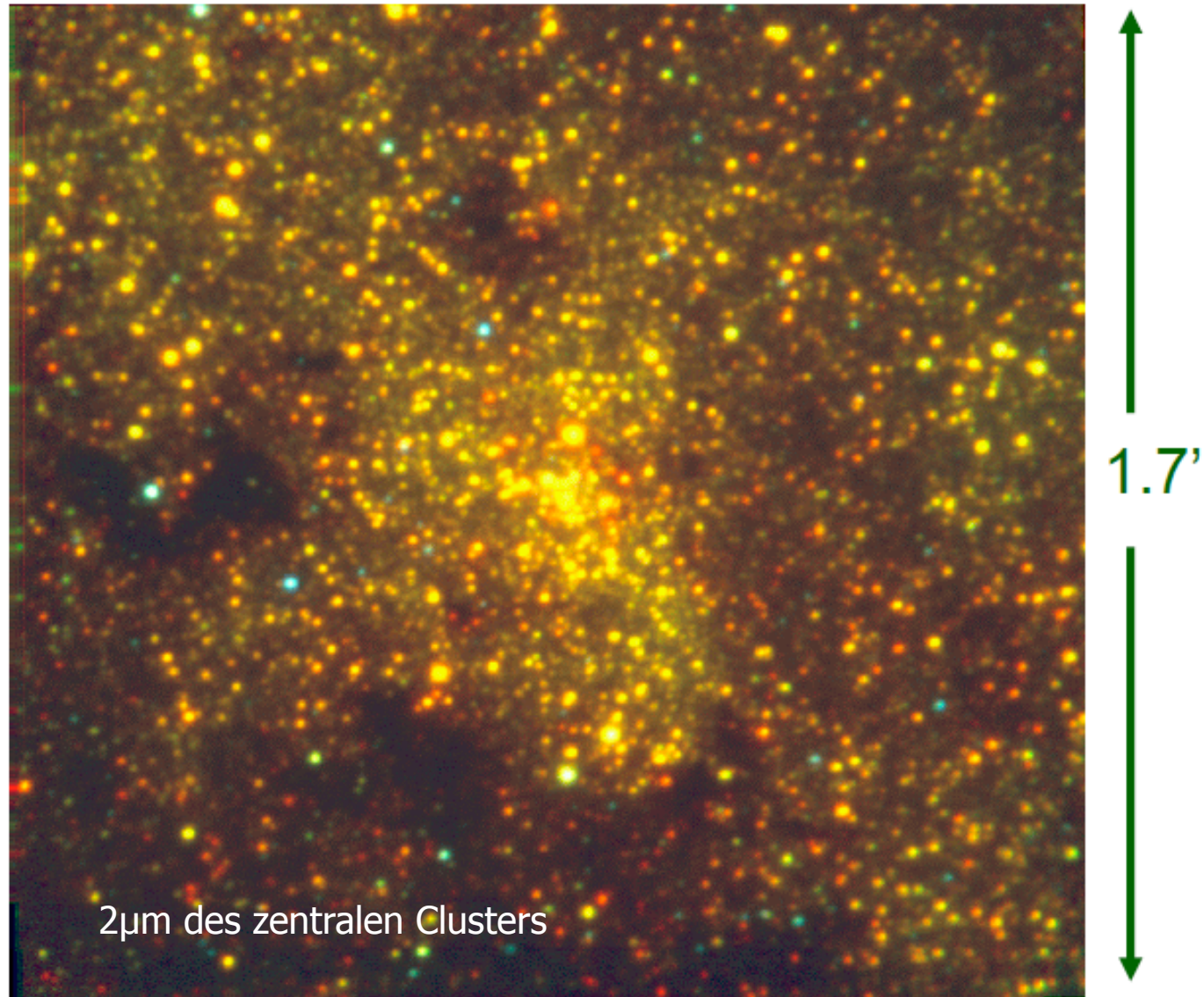
Das Galaktische Zentrum → Ein schwarzes Loch

Der Galaktische Halo und Zwerggalaxien

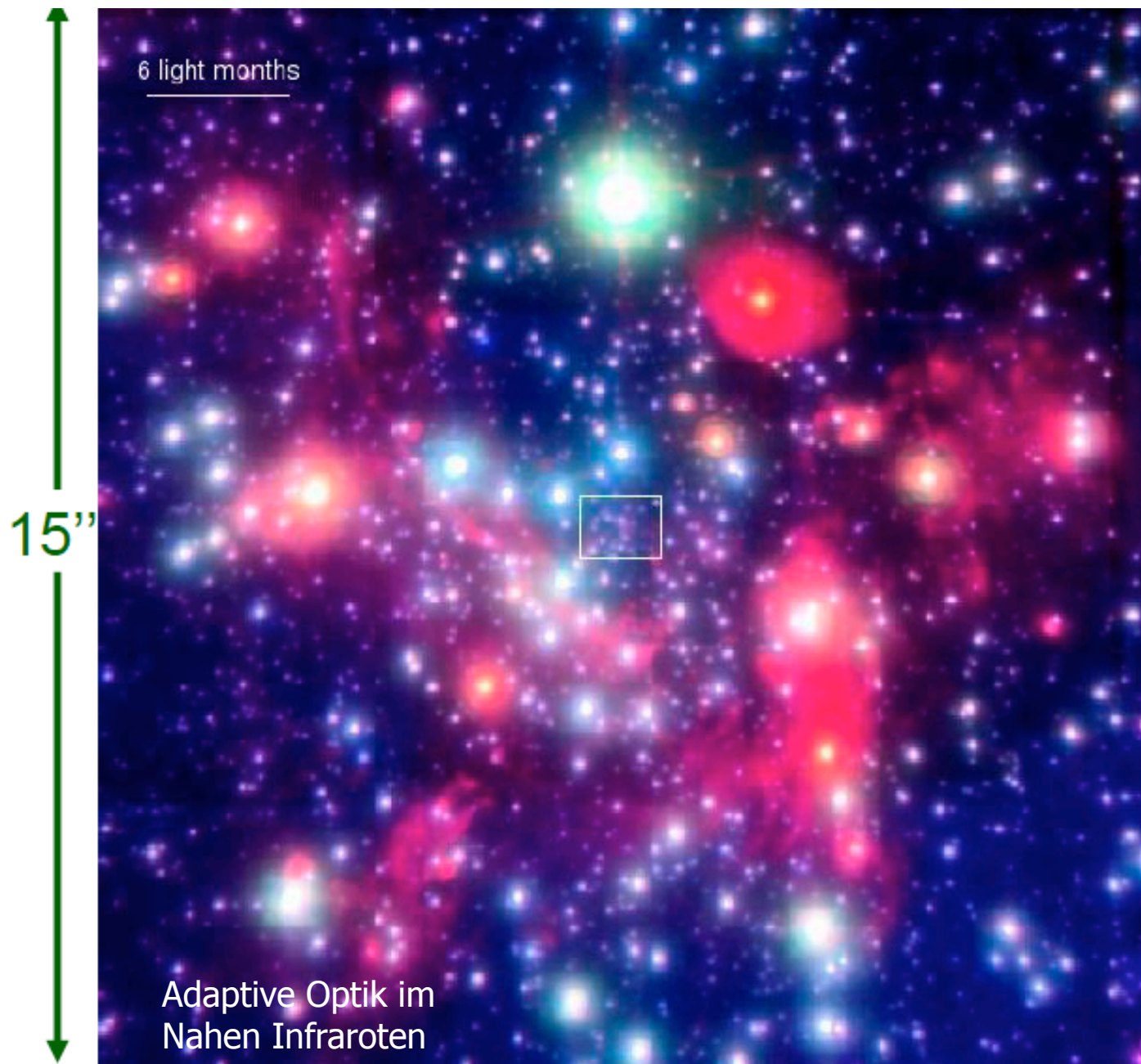
Das Galaktische Zentrum

- Staub absorbiert jegliche optische Emission vom galaktischen Zentrum.
- Zuerst 1933 von Karl Jansky in Radiostrahlung detektiert.
- Siebziger Jahre: SgrA* nicht-thermische Radioquelle ohne optische oder Nahinfrarotquelle.
- Neunziger Jahre: Nachweis der Roentgenstrahlung mit ROSAT.

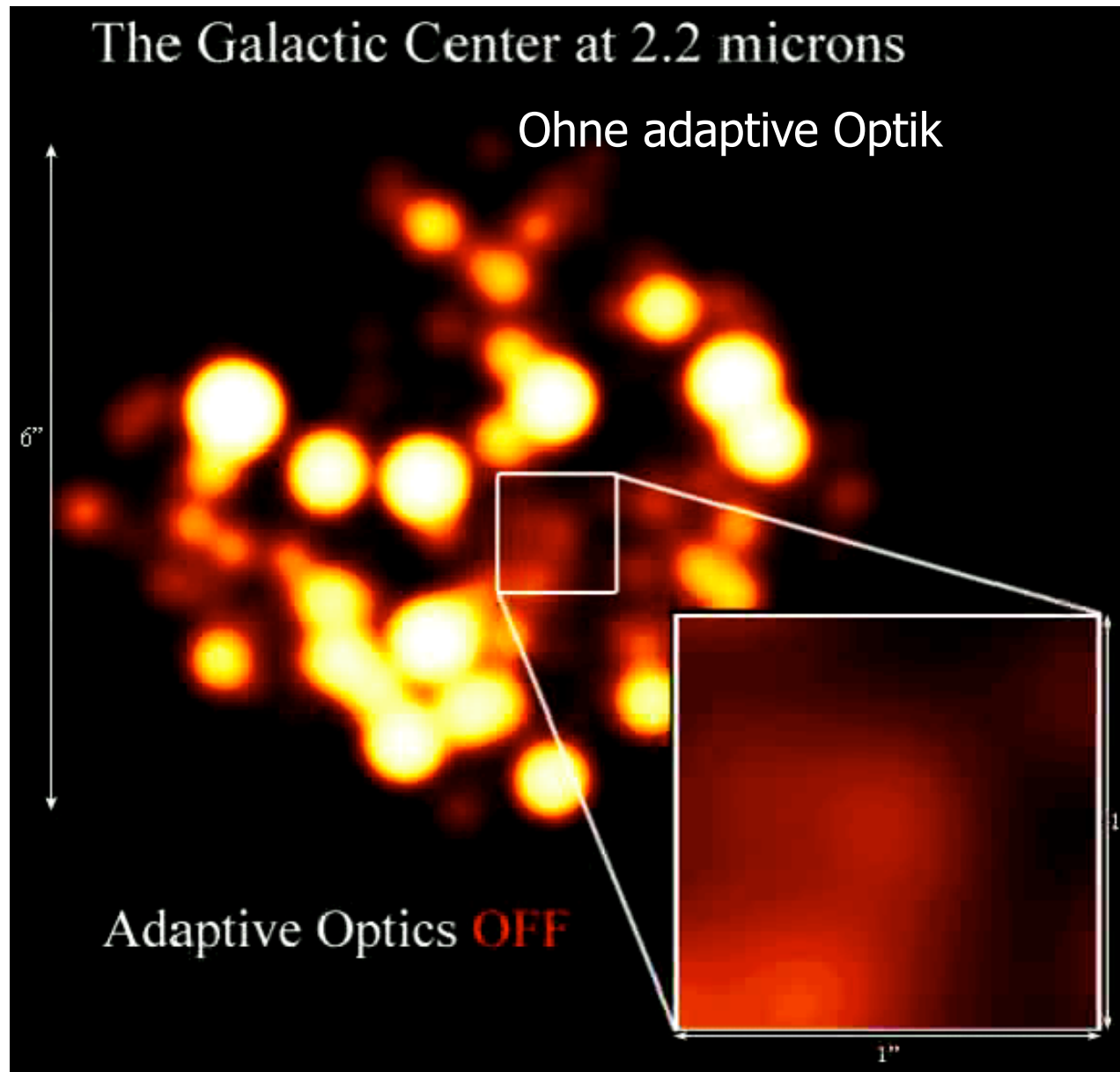
Zooming into the Galactic Center



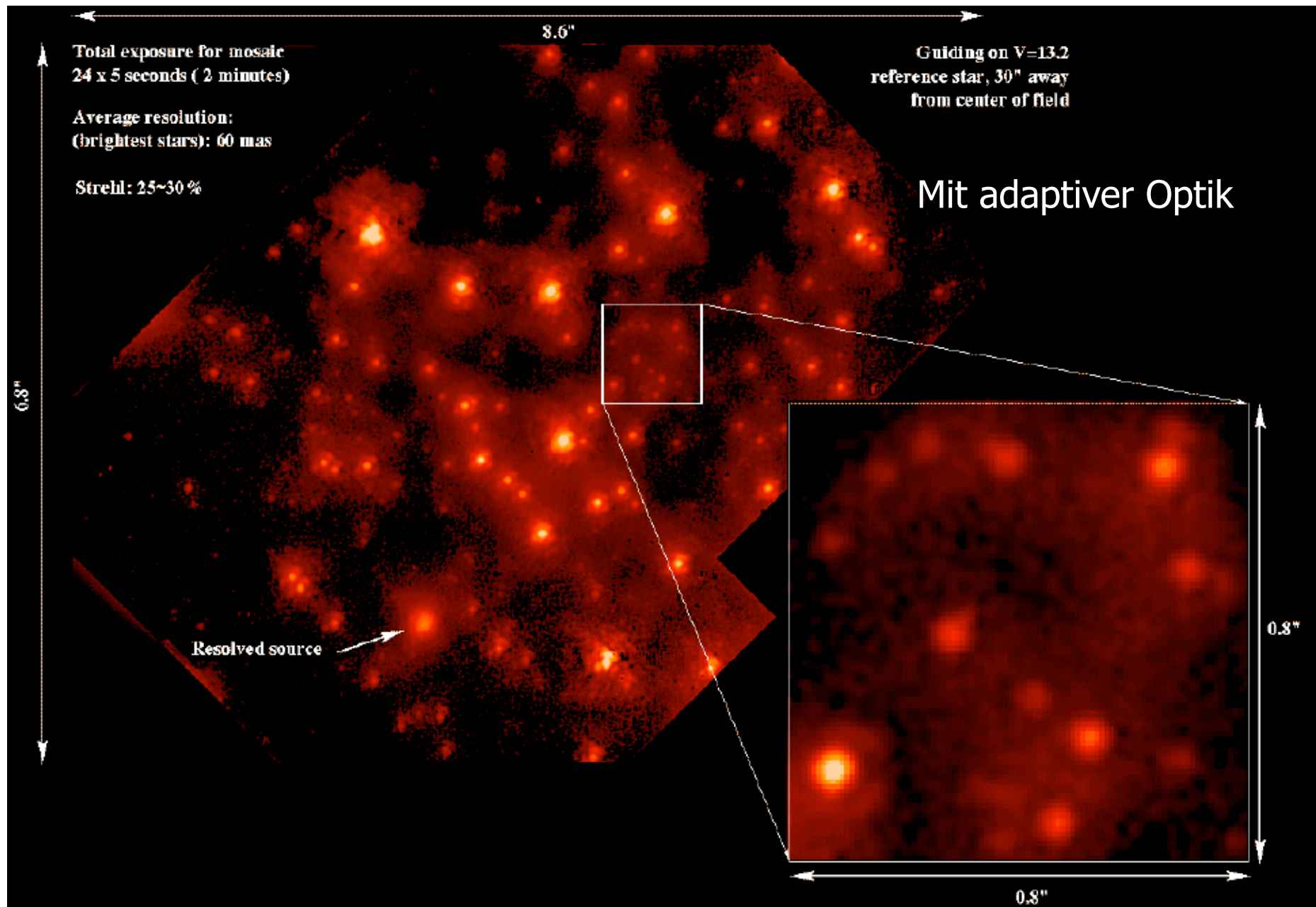
Zooming into the Galactic Center



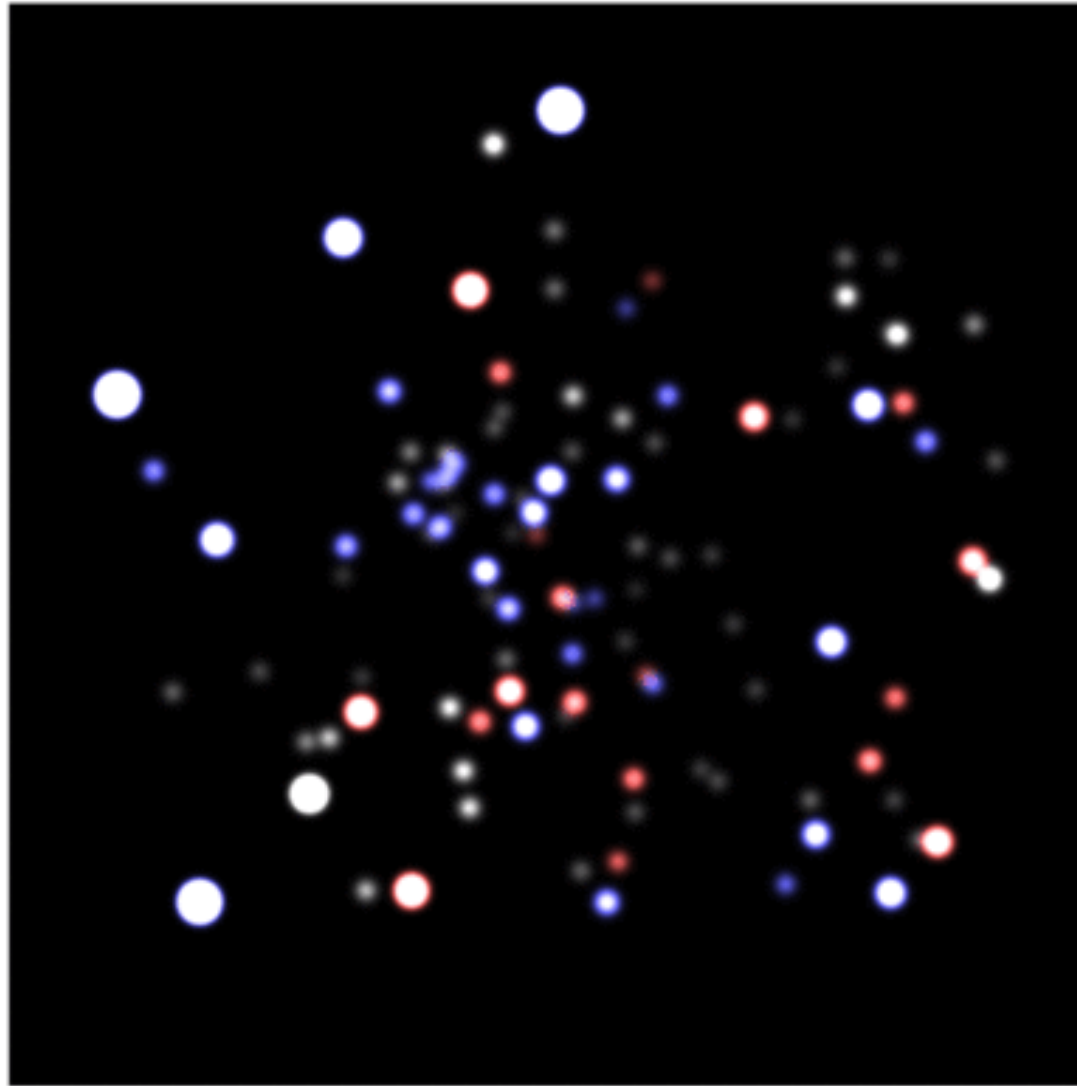
Zooming into the Galactic Center



Zooming into the Galactic Center

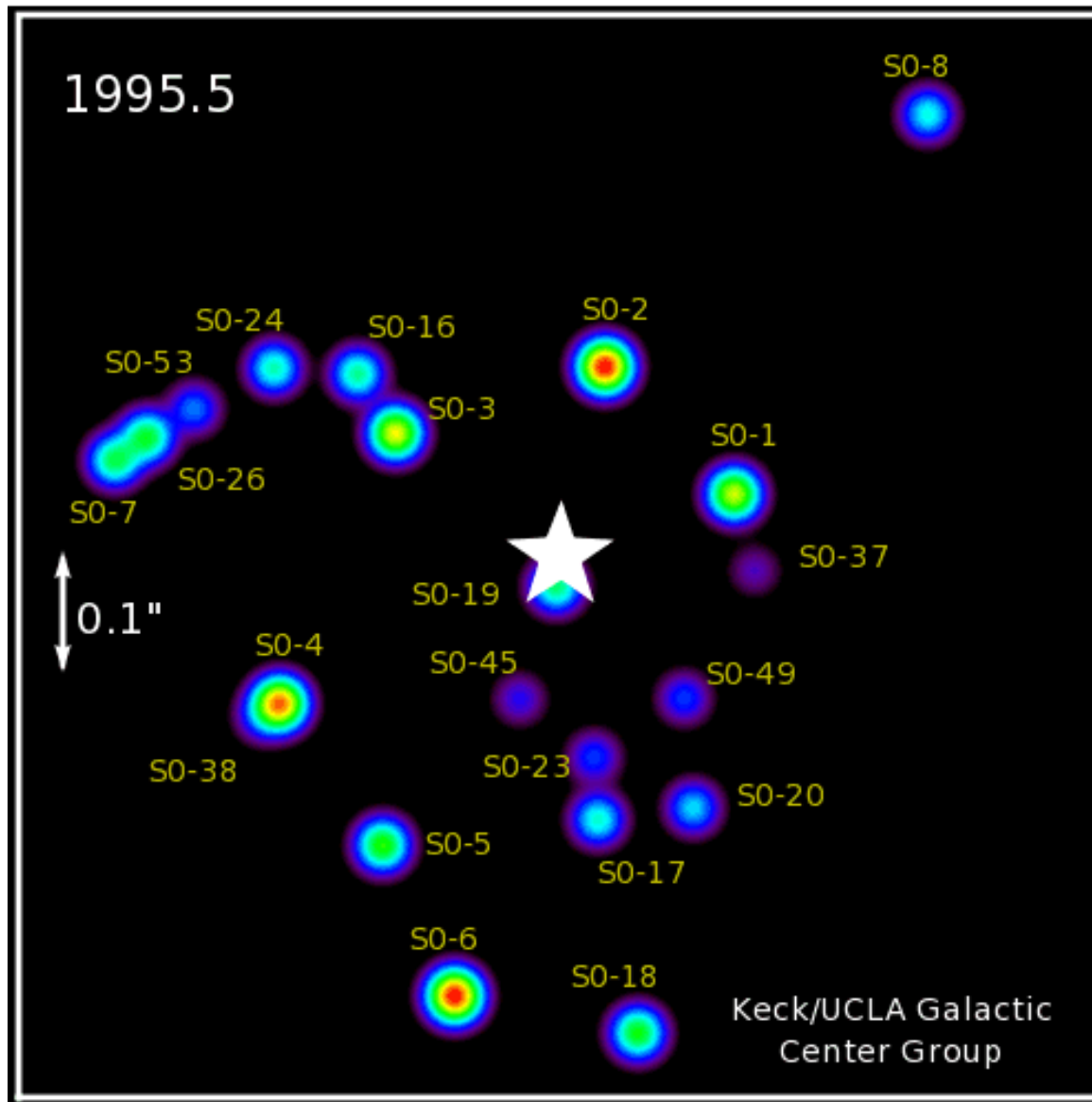


Eigenbewegungen der Sterne



3" Groesse Nahinfrarotbild, Epochen von 1992 bis 2008, MPE Garching

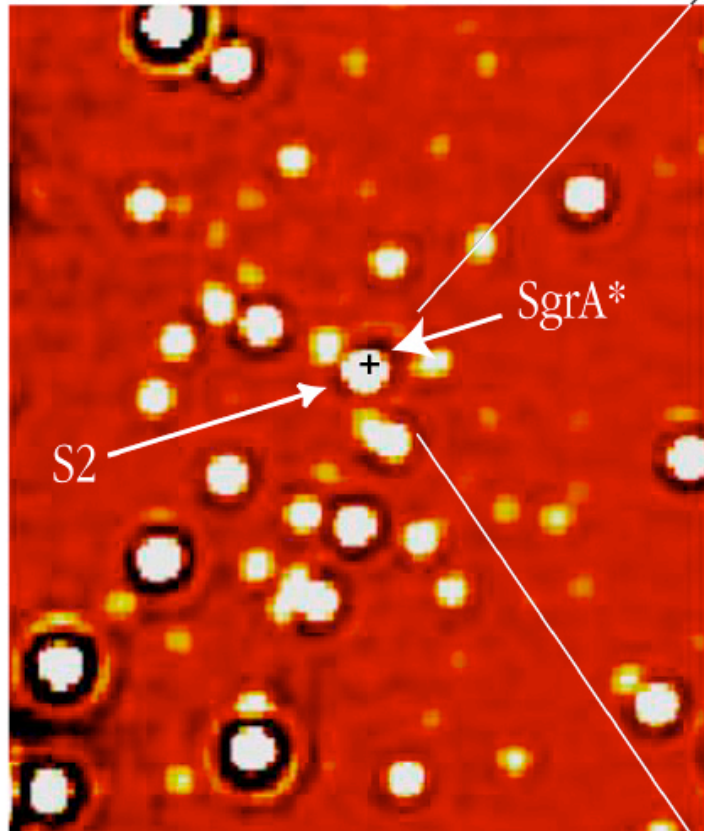
Eigenbewegungen der Sterne



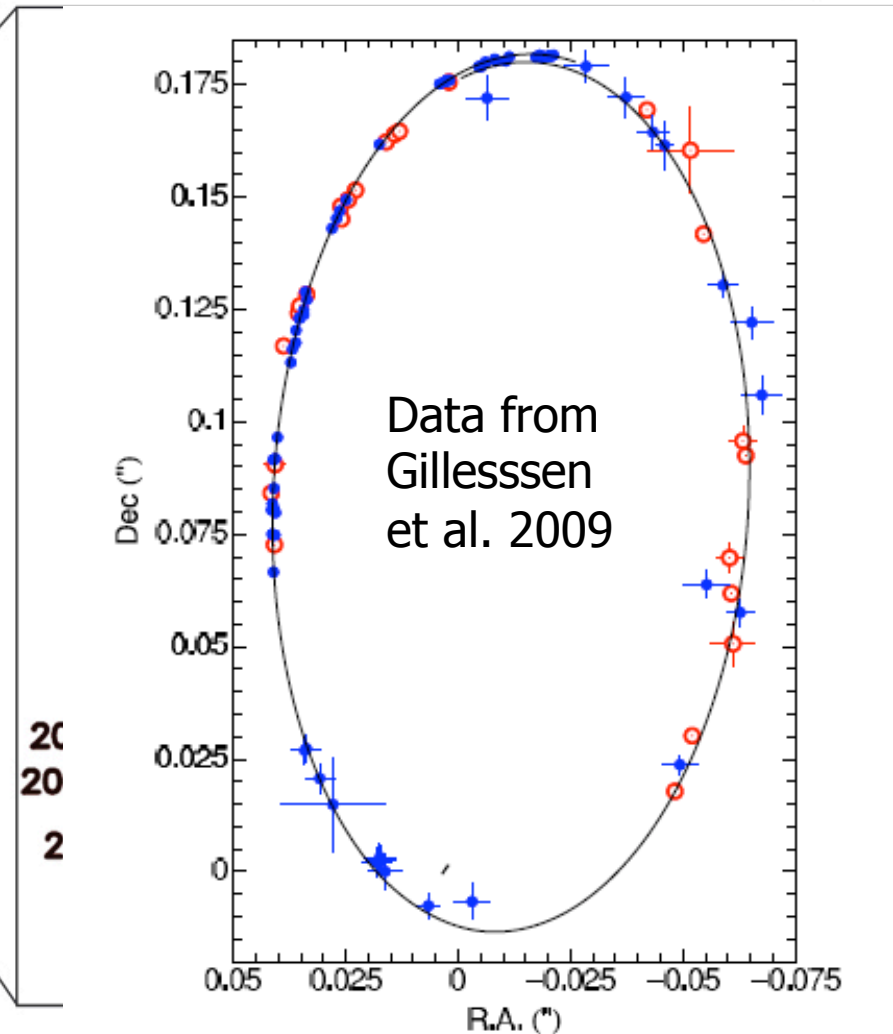
UCLA, Andrea Ghez

Der Stern S2

NACO May 2002

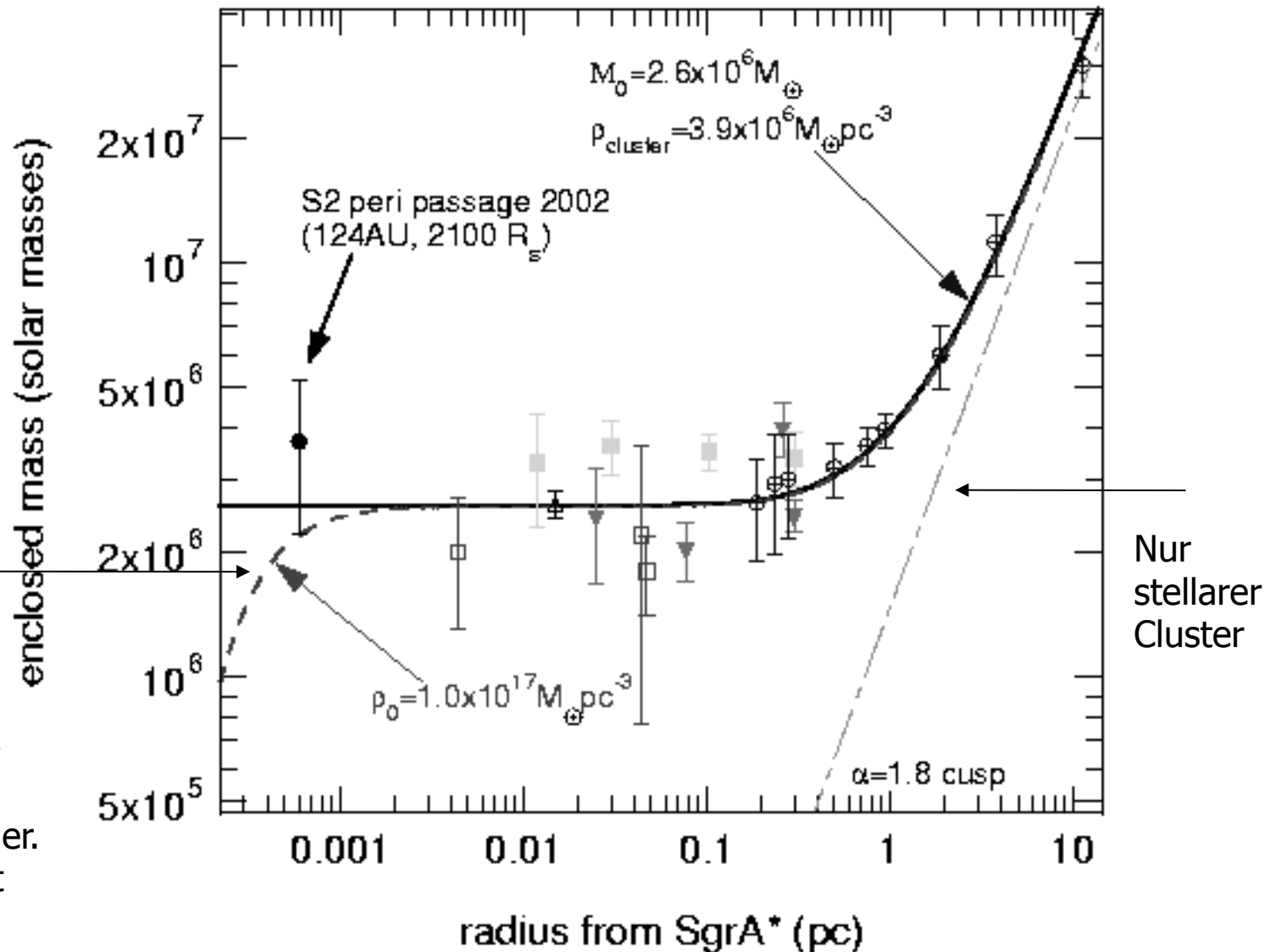


S2 Orbit around SgrA*



Stern S2 passiert SgrA* 2002 in nur 17 Lichtstunden Abstand mit $v > 5000 \text{ km/s}$.
→ Mit Kepler 3 ($U^2 = 4\pi a^3 / (G(m_1 + m_2))$) bestimmt sich Masse des schwarzen Loches zu $\sim 3.7 \times 10^6 M_{\text{Sonne}}$.

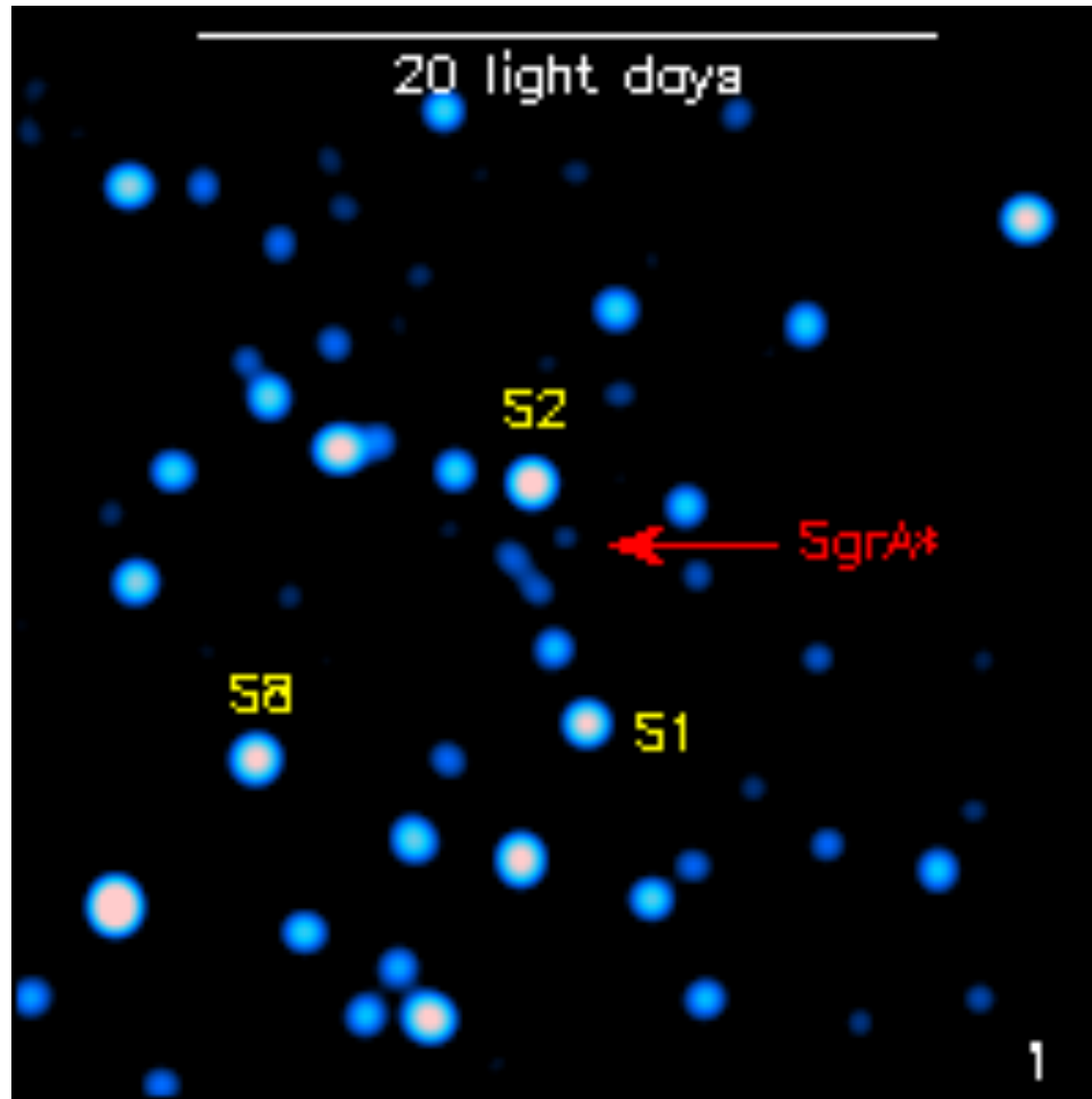
Der Stern S2



Hypothetischer Cluster dunkler astrophysikalischer Objekte, z.B. Neutronensterne oder schwarze Loecher. Aber Lebenszeit $< 10^5$ Jahre.

Massenverteilung flach innerhalb 0.2pc.
 Mit allen Daten Schwarzwlochmasse $\sim 4 \times 10^6 M_{\text{Sonne}}$.

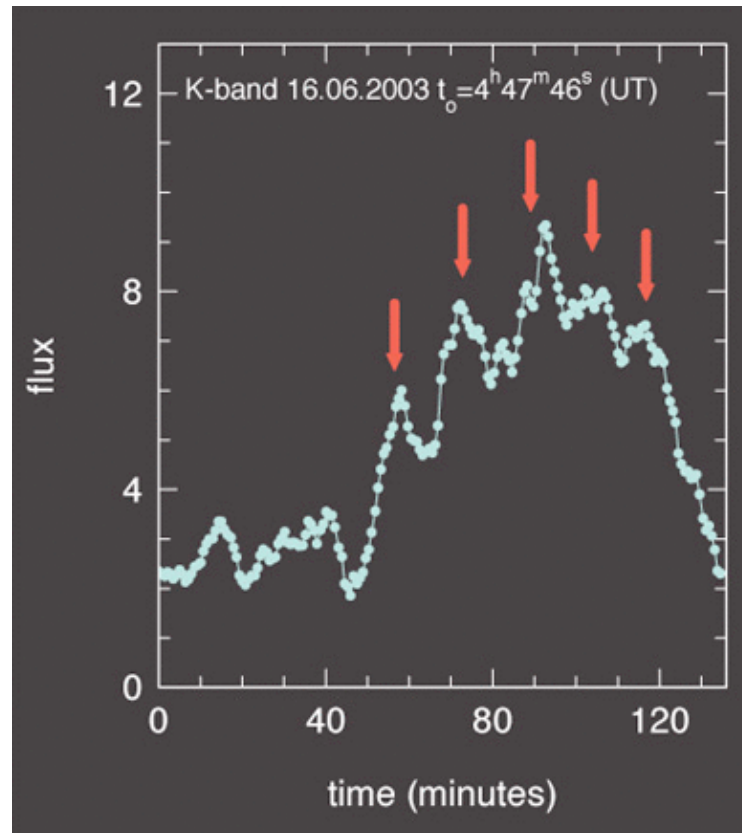
Variabilitaet im galaktischen Zentrum



Signatur von Akkretion und Rotation des schwarzen Loches.

Credit: ESO & MPE (Genzel et al.)

Variabilitaet im galaktischen Zentrum



*Credit: ESO &
MPE (Genzel et al.)*

- Gesamtflare etwas ueber eine Stunde mit Subperiodizitaet von 17min.
- Flare wahrscheinlich durch heisses Gas am Rande des letzten stabilen Orbits verursacht bevor es hineinfaellet.
- Scharfer Anstieg und Abfall indiziert, dass es innerhalb 10 Schwarzschildradien sein muss (Schwarzschildradius hier $\sim 10^{12}\text{cm} \sim 0.1\text{AU}$).
- Nichtrotierendes schwarzes Loch haette Periodizitaet von 27min.
→ 17min Periodizitaet indiziert rotierendes schwarzes Loch.

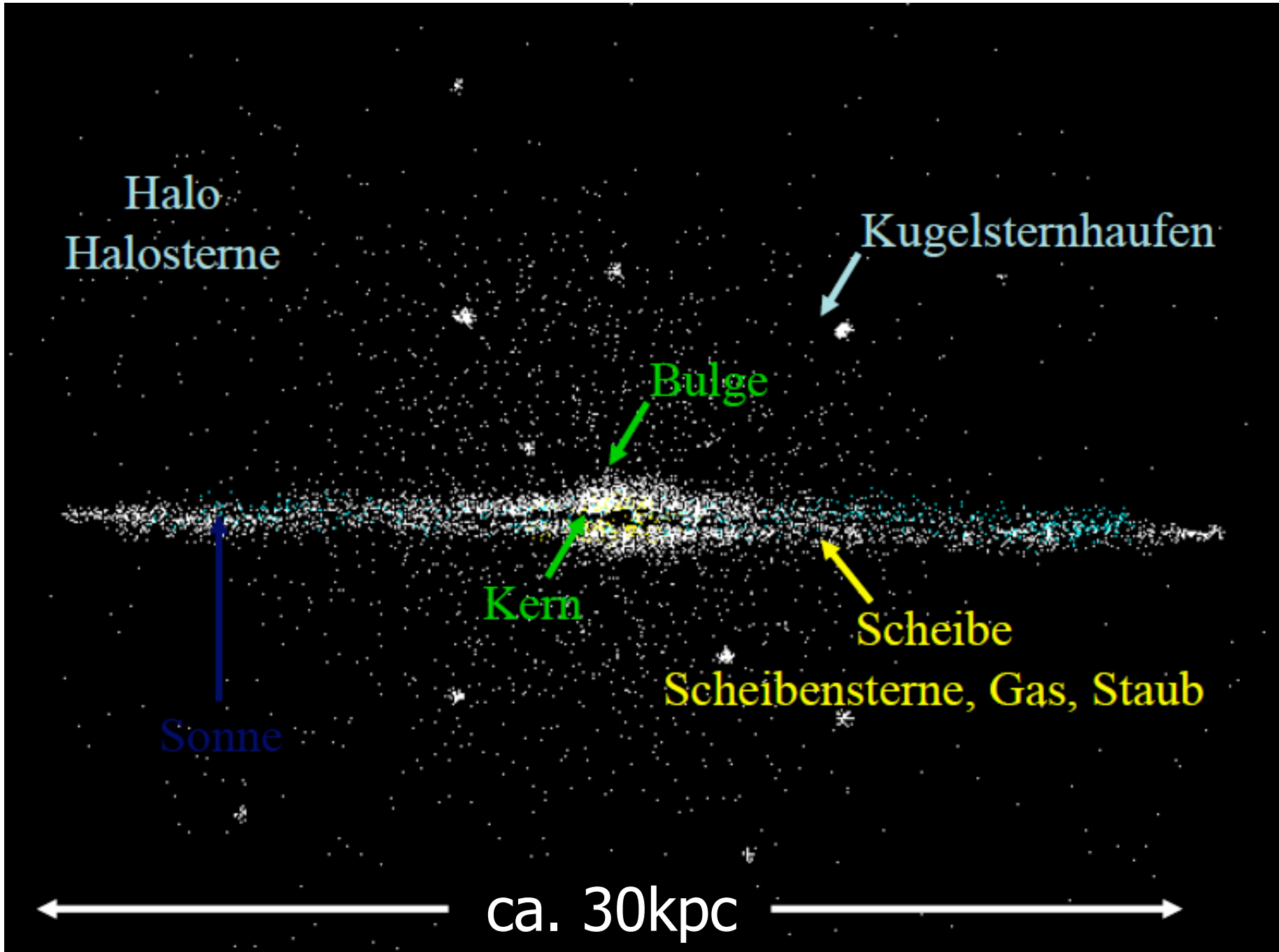
Themen heute

Geschichte und generelle Eigenschaften

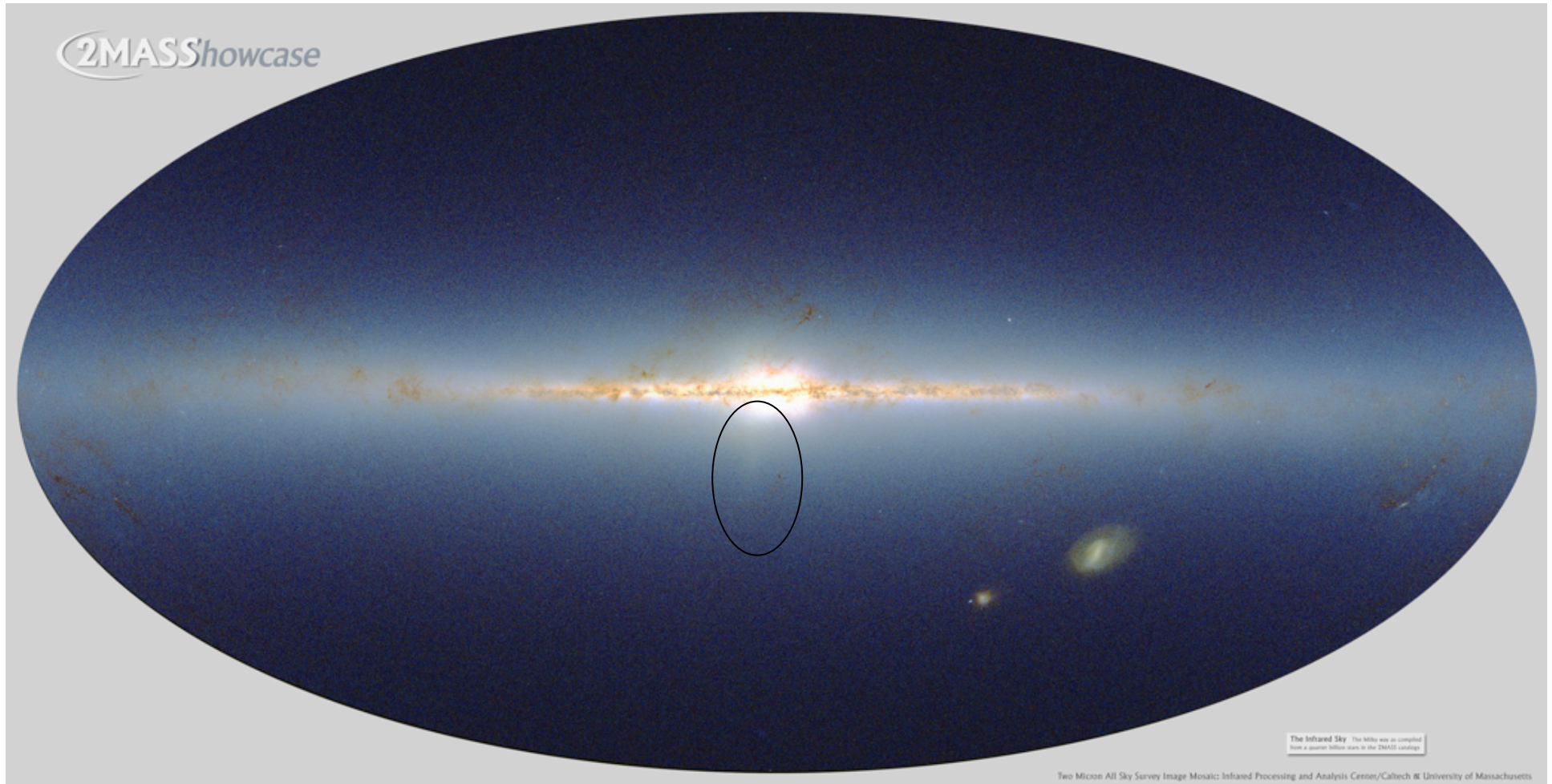
Rotation und Spiralstruktur

Das Galaktische Zentrum → Ein schwarzes Loch

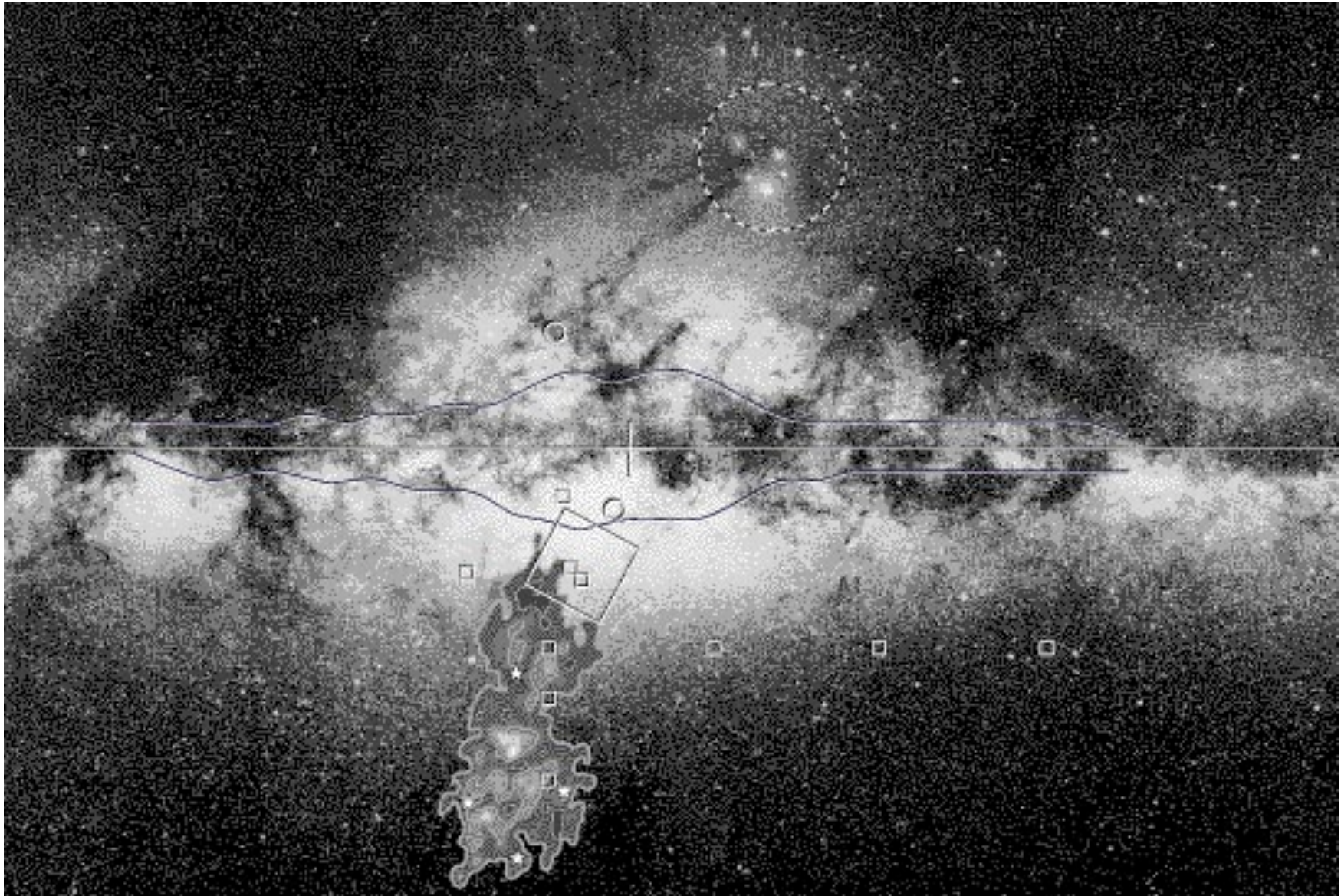
Der Galaktische Halo und Zwerggalaxien



Die Milchstrasse mit Halo im NIR

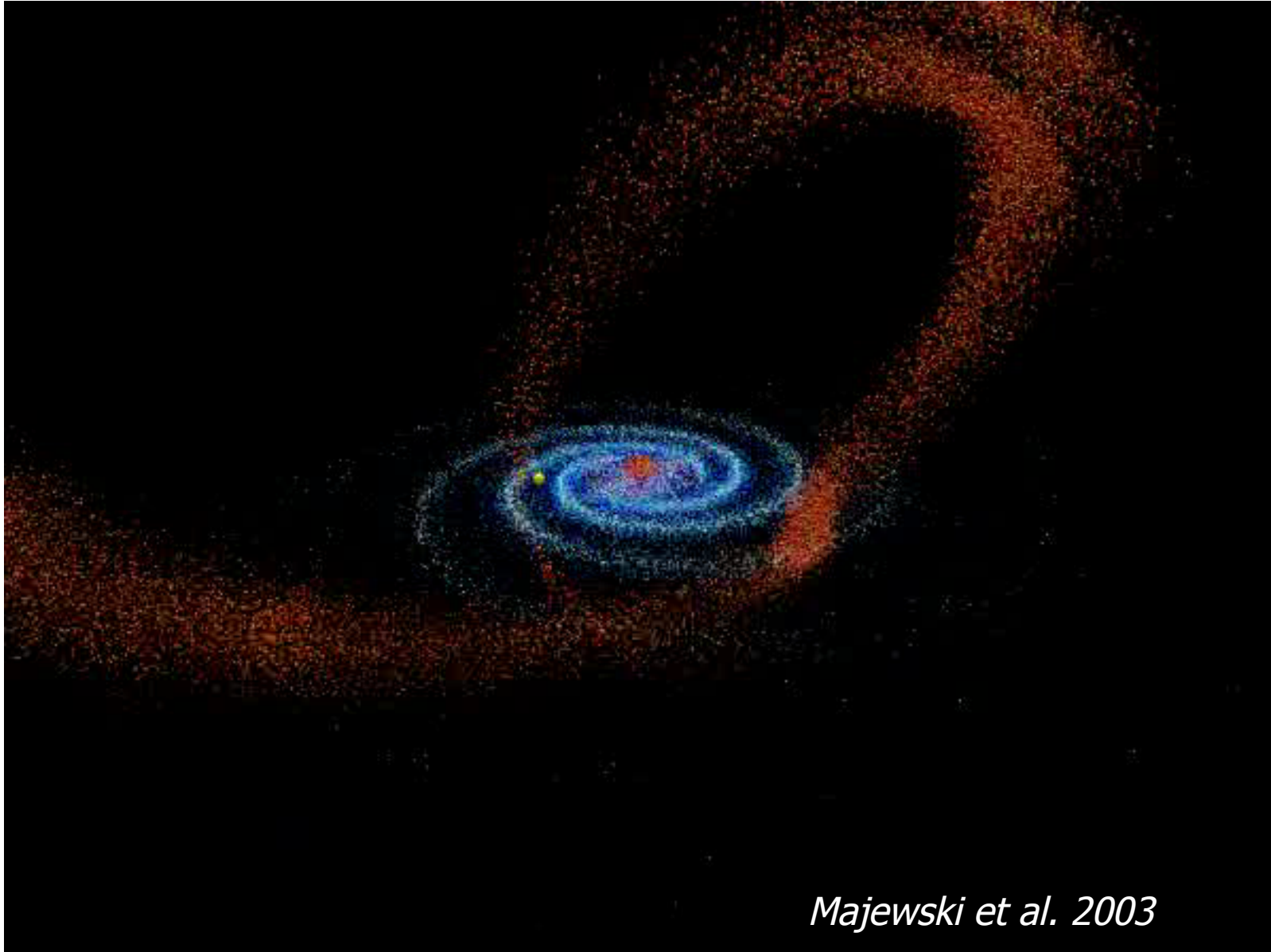


Sagittarius Zwerggalaxie



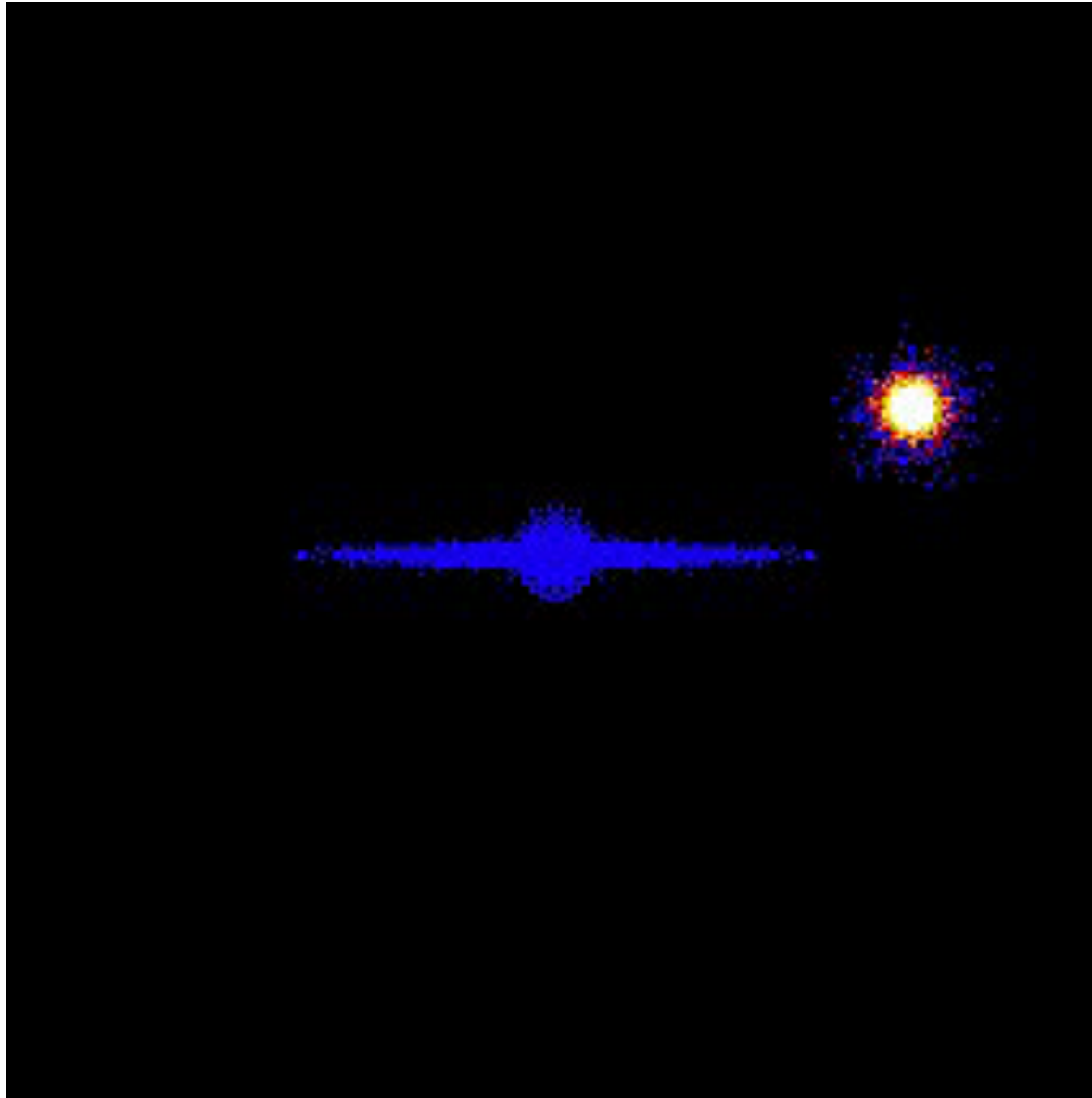
Majewski 2003

Sagittarius Zwerggalaxie



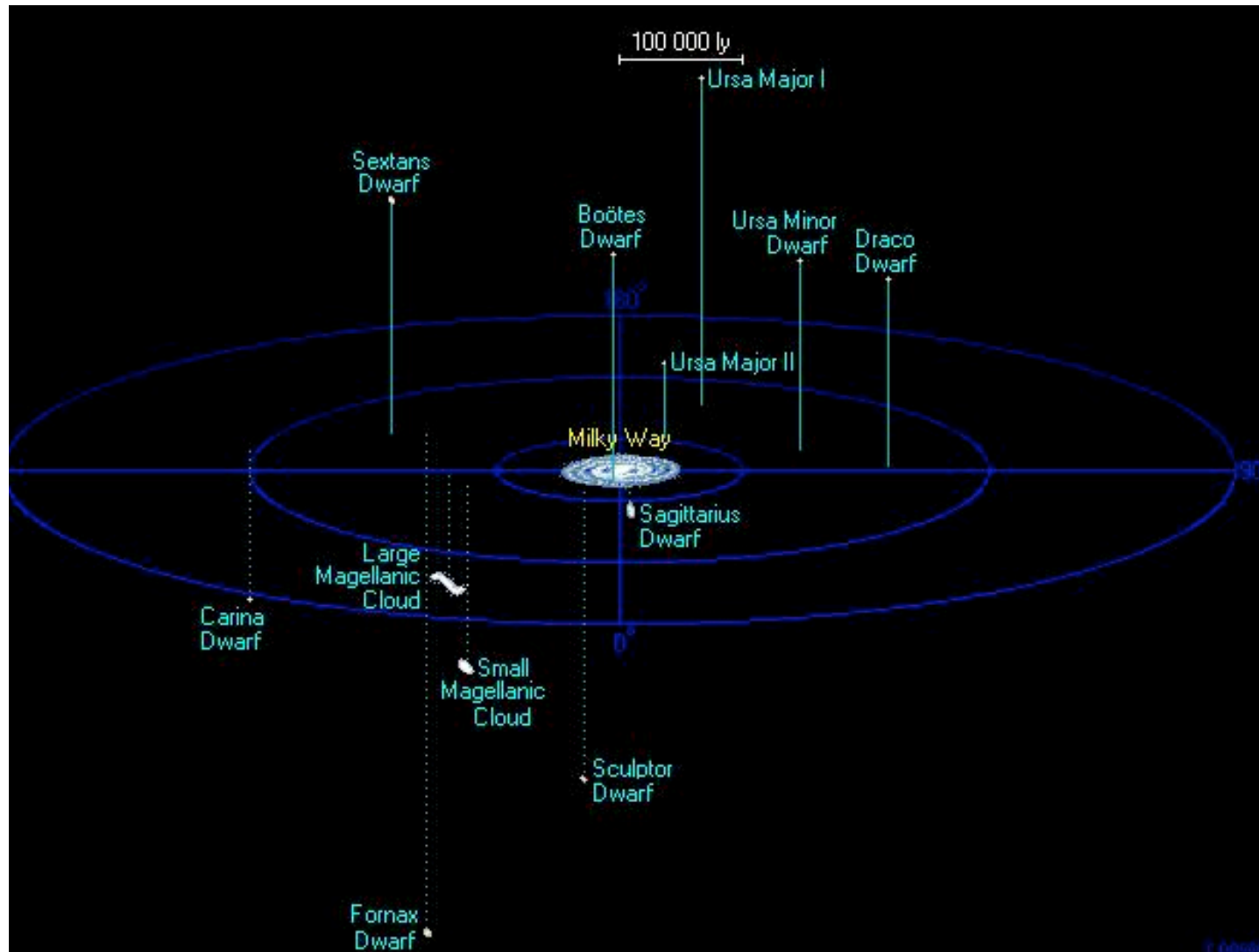
Majewski et al. 2003

Milchstrassen-Zwerggalaxien-Interaktionen



Kathryne Johnston

Milchstrassen-Zwerggalaxien



- > 20 Zwerggalaxien in Milchstrassenhalo bekannt, Anzahl steigend aber weniger als in CDM Kosmologie vorausgesagt. → **Naechstes Semester**

Einfuehrung in die Astron. & Astrophysik I

Wintersemester 2013/2014: Henrik Beuther & Christian Fendt

- 17.10 Einfuehrung: Ueberblick und Geschichte (H.B.)*
- 24.10 Koordinatensys., Sternpositionen, Erde/Mond (C.F.)*
- 31.10 Teleskope und Instrumentierung (H.B.)*
- 07.11 Strahlung, Strahlungstransport (C.F.)*
- 14.11 Planetensystem(e) und Keplergesetze (H.B.)*
- 21.11 Sonne & Sterne, Typen, Klassifikationen, HR-Diagramm (C.F.)*
- 28.11 Interstellare Materie: Chemie und Materiekreislauf (H.B.)*
- 05.12 Sternentstehung, Akkretionsscheiben und Jets (H.B.)*
- 12.12 Sternaufbau und Sternentwicklung: Hauptreihe (C.F.)*
- 19.12 Sternaufbau und Sternentwicklung: Endstadien (C.F.)*
- 26.12 und 02.01 –*
- 09.01 Mehrfachsysteme und Sternhaufen, Dynamik (C.F.)*
- 16.01 Exoplaneten und Astrobiologie (H.B.)*
- 23.01 Die Milchstrasse (H.B.)*

30.01 Zusammenfassung (C.F. & H.B.)

08.02 Klausur, 15:00-17:00, Philosophenweg 12, alle 3 Hoersaele