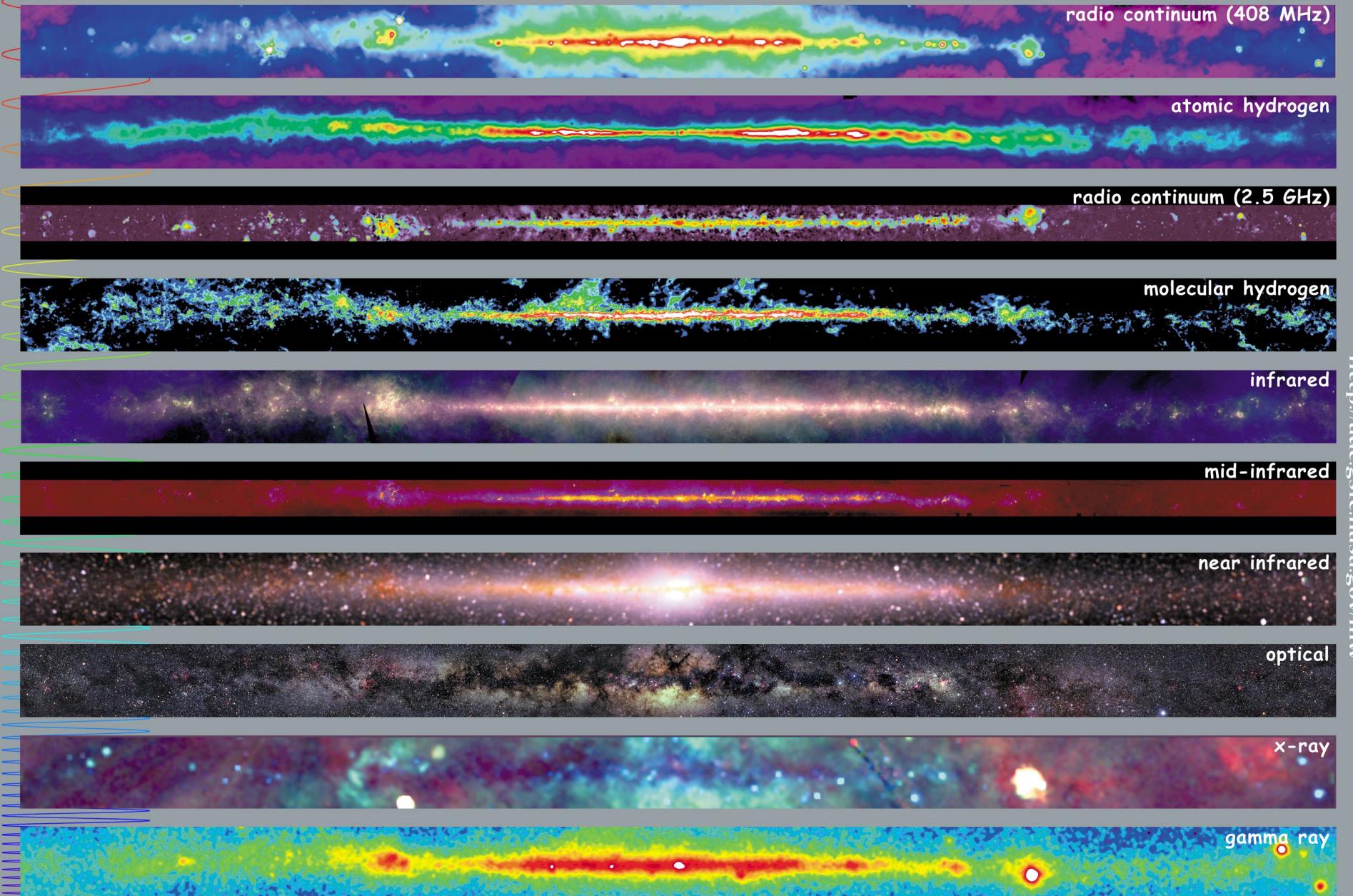


Vorlesung 8

Prof. Sascha Quanz

Dr. Adrian Glauser

Die Milchstrasse



Multiwavelength Milky Way

https://mwmw.gsfc.nasa.gov/mmw_product.html

In-class activity

- Was sind Vor- und Nachteile von
 weltraumgebundenen Teleskopen?

8. Die Milchstrasse

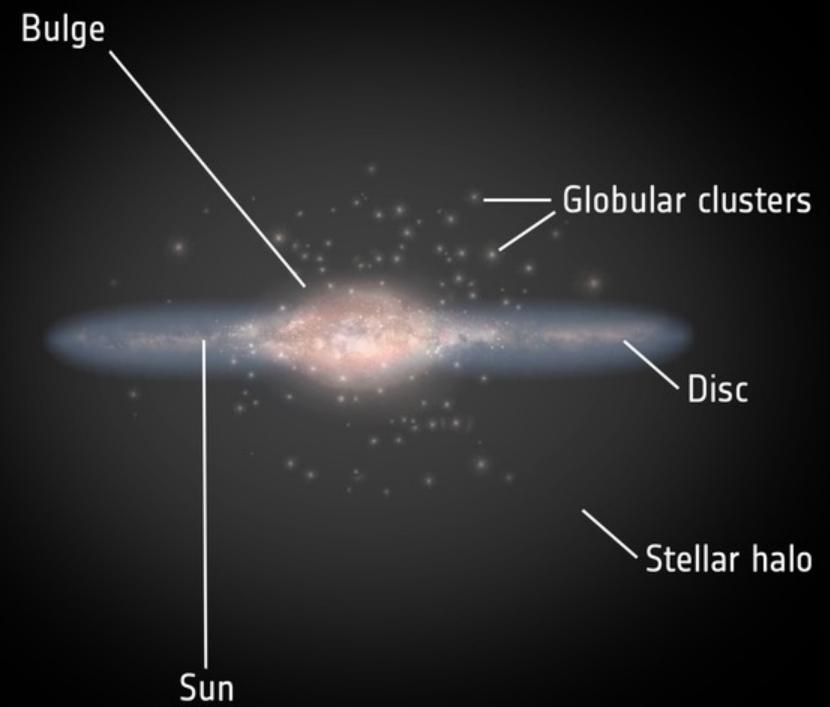
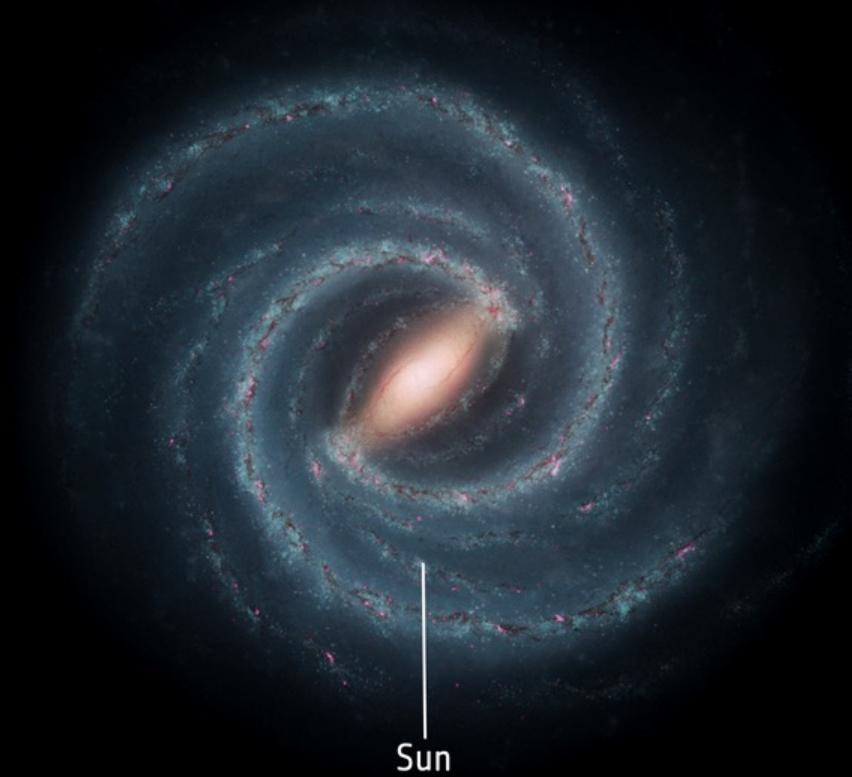
Die Galaxis – unsere Milchstrasse – ist eine grosse Spiralgalaxie (oder Scheibengalaxie) mit folgenden Parametern:

- Hubble Typ SBc (ausgedehnte Balkenspirale)
- Masse ca. $10^{12} M_{\odot}$
- Anzahl Sterne ca. $3 \cdot 10^{11}$
- Durchmesser ca. 35 kpc
- Distanz der Sonne zum Galaktischen Zentrum ca. 8.3 kpc
- Umlaufzeit der Sonne um das galaktische Zentrum ca. 250 Mio. Jahre

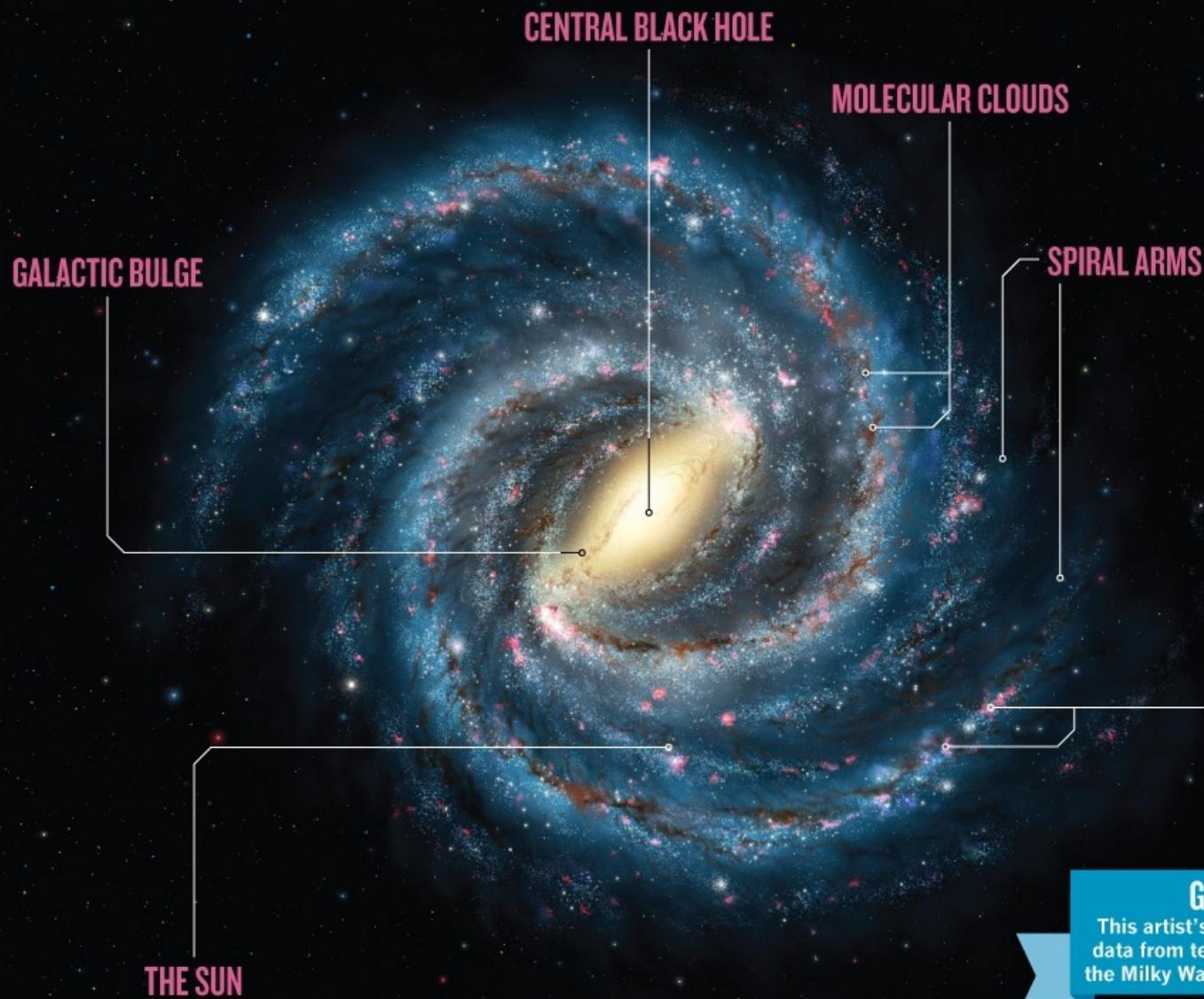


Hauptkomponenten der Milchstrasse

→ ANATOMY OF THE MILKY WAY



Hauptkomponenten der Milchstrasse



GALACTIC PORTAIT

This artist's impression, based on the latest data from telescopes and simulations, shows the Milky Way viewed from outside the Galaxy.

Hauptkomponenten der Milchstrasse

Die Herausforderung besteht darin, die geometrische und dynamische Struktur von etwas herauszufinden, von dem man selber ein Teil ist.



The Milky Way's Galactic Center in the night sky above ESO's Paranal Observatory in Chile.

8.1 Verteilung und Bewegung der Sterne

Aus der Verteilung und Bewegung der Sterne kann die lokale Struktur der Milchstrasse abgeleitet werden. Mit den Resultaten des GAIA-Satelliten werden in den kommenden Jahren exakte Daten für einen grossen Teil der Milchstrasse vorhanden sein.

Die **6 Messparameter**, 3 Orts- und 3 Geschwindigkeitskomponenten, für die Sterne sind:

- Position RA und Dec (α, δ) im Äquatorsystem Länge und Breite (l, b) in galaktischen Koordinaten
 - $l=0^\circ, b=0^\circ$ ist die Richtung zum galaktischen Zentrum
 - die Scheibenebene liegt entlang der Linie mit $b=0^\circ$
- Die Distanz (jährliche Sternparallaxe) π [arcsec] = $1/d$ [pc]
- Die tangentiale Eigenbewegung v_t oder π_α und π_δ [arcsec/yr]
- Die radiale Eigenbewegung v_r oder RV [km/s]

Sternstatistik

Die rote Kurve veranschaulicht schematisch die Sternstatistik für eine Sichtlinie senkrecht zur Scheibe.

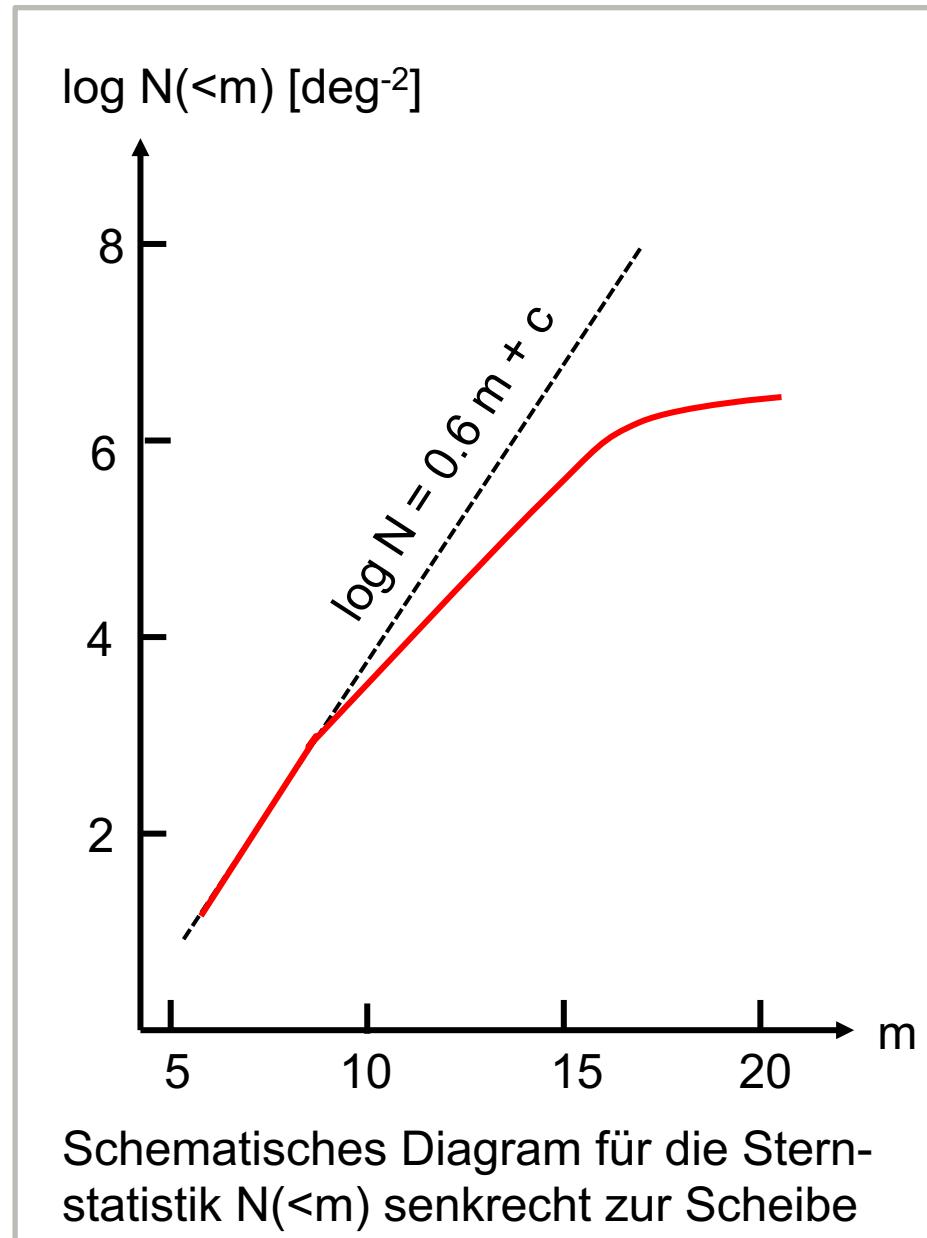
Weil die Sonne sich fast in der Mittelebene der Scheibe befindet, ist die Sternverteilung zuerst homogen und die Anzahl Sterne ist

$$\log N(<m) \approx 0.6 m + c$$

Ab ca. $m \approx 9$ mag gibt es wegen dem vertikalen Dichteabfall ein Defizit von Sternen verglichen zur homogenen Verteilung.

Bei $m \approx 16$ mag erreicht dieses Beispiel die Empfindlichkeitsgrenze der Beobachtungen.

Prinzipiell kann ein Defizit auch aus Extinktionseffekten ergeben.



Die Sterndichte in der Sonnenumgebung

Die Anzahl Sterne pro 1000 pc³ (Kugel mit r=6.2 pc) hängt sehr stark vom Sterntyp ab:

	O	B	A	F	G	K	M
Riesen				0.05	0.16	0.4	0.03
Hauptreihensterne	$3 \cdot 10^{-5}$	0.1	0.5	2.5	6.3	10	50
Weisse Zwerge		1.3	2	1.3	0.6	1	

Und spiegelt auch die Altersverteilung der Sterne wider.

Die Verteilung senkrecht zur galaktischen Scheibe ist auch ein guter Altersindikator für eine Sternart. Beschreibt man die Verteilung mit

$$D_s(z) = D_s(0)^{-z/\beta}$$

wobei β die Äquivalenthöhe ist, so misst man für verschiedene Typen

Hauptreihensterne	O	B	A	F	G	K	M
β [pc]	50	60	115	190	340	350	350

Auch andere Komponenten der Milchstrasse zeigen eine mit dem Alter korrelierte vertikale Verteilung, z.B.

Molekülwolken	$\beta = 40$ pc
HI-Wolken	$\beta = 110$ pc
Halo Sterne / Kugelsternhaufen	$\beta = 4000$ pc

Bewegung der Sterne

Bezugssysteme für die Definition der Eigenbewegung:

- relativ zum Mittelpunkt der Galaxie
- relativ zum Mittel der benachbarten Sterne (lokales Bezugssystem)

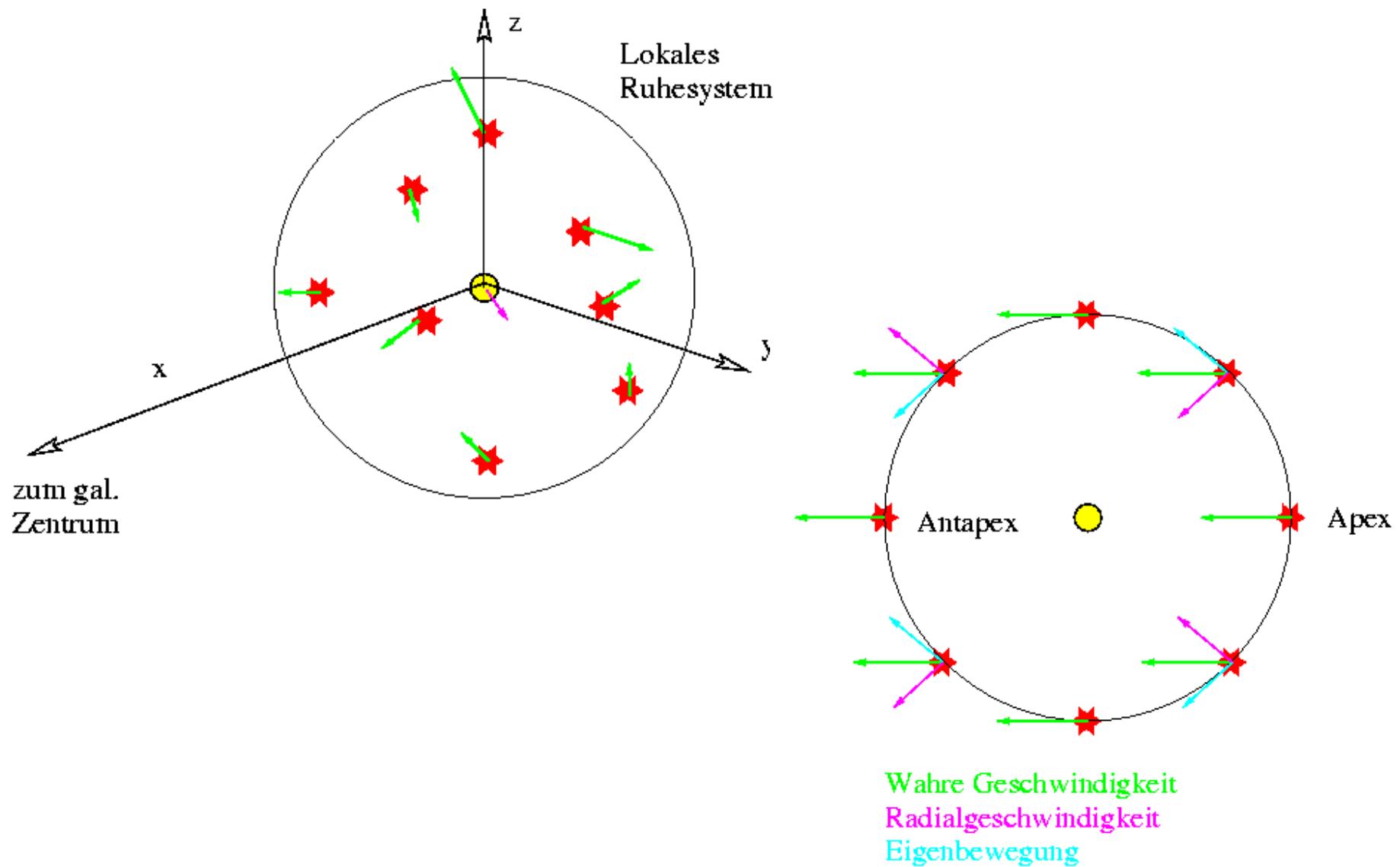
→ Sonnenbewegung

folgt aus der Relativbewegung zur mittleren Geschwindigkeit aller Sterne innerhalb eines Radius r um die Sonne:

$$\sum_{i=1}^N \vec{u}_i = 0 \quad \rightarrow \quad \vec{u}_\odot = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \vec{v}_i$$

→ Sonne bewegt sich Richtung Sonnenapex: $\alpha=18^\text{h}$ $\delta=30^\circ$ mit ca. 20 km/s (Vega: $\alpha=18^\text{h} 34^\text{m}$ $\delta=38^\circ 41'$)

Illustration Sonnenapex und Radialgeschwindigkeit naher Sterne



8.2 Galaktische Rotationskurve

Annahme: Kreisbahnen mit differentieller Rotation
(also kein starrer Rotator).

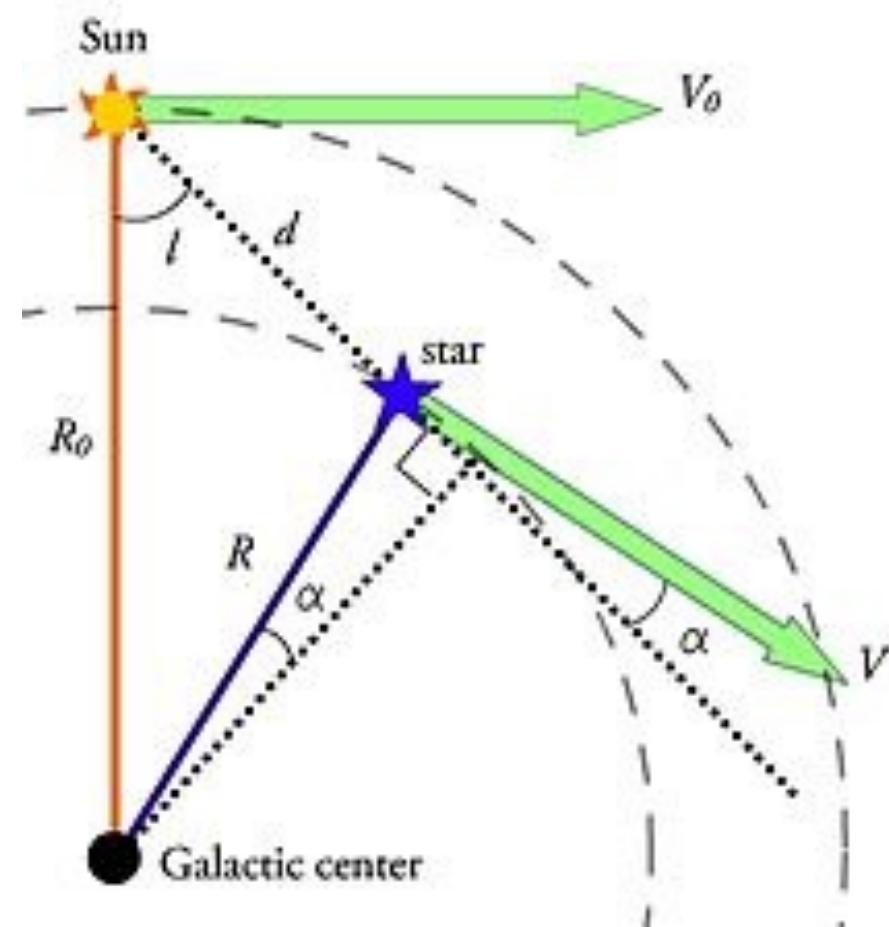
-> Ableitung von Zusammenhang zw. v_r und R :

Aus

$$v_r = V^* \cos(\alpha) - V_\odot^* \sin(l)$$

folgt:

$$v_r = R_\odot (V/R - V_\odot/R_\odot) \sin(l)$$

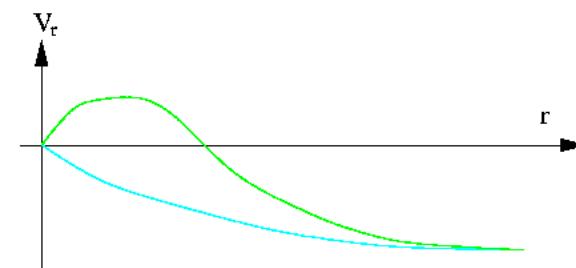
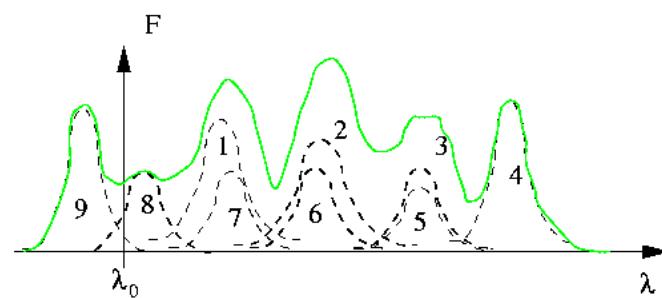
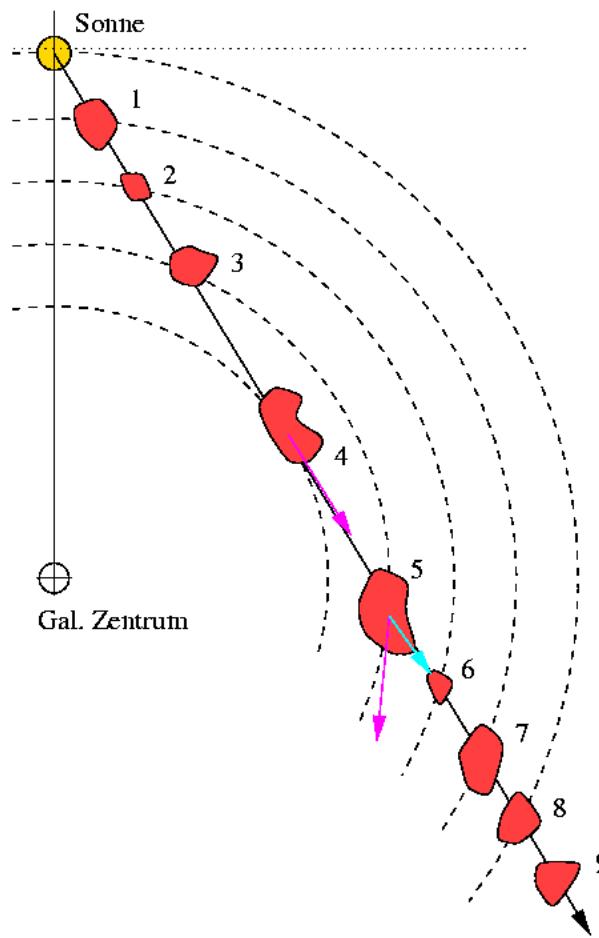


Radiobeobachtungen von HI und CO

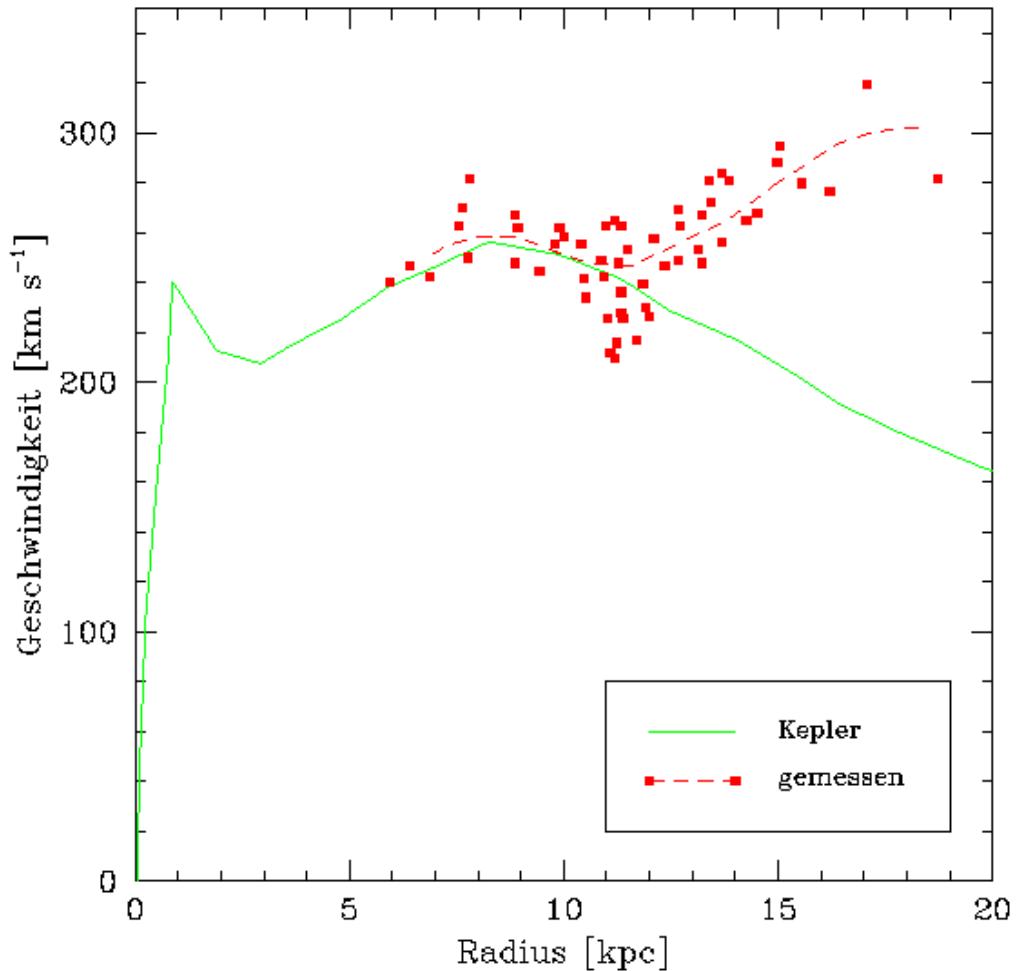
H : $\lambda = 21\text{cm}$, Spinumkehr Kern - e^- $A \approx 10^{-15} \text{ s}^{-1}$

CO : $\lambda = 2.6\text{mm}$, $J = 1 \rightarrow J = 0$ $A \approx 7 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}$

Die Übergangswahrscheinlichkeit des 21 cm Übergangs ist so klein, dass die ganze Galaxie durchsichtig ist



8.2 Rotationskurve der Milchstrasse



Abweichung von Kepler Gesetz
deutet auf Existenz von
zusätzlicher Materie hin, die nicht
sichtbar ist und die Milchstrasse
umgibt
-> Dunkle Materie Halo

Ähnliche Rotationskurven sind
auch bei anderen Galaxien
nachgewiesen worden.

Dichtewellentheorie

Die Galaxie UGC 12158, die unserer Milchstrasse sehr ähnlich erscheint.



Die Spiralarme bestehen *nicht* immer aus denselben Sternen!

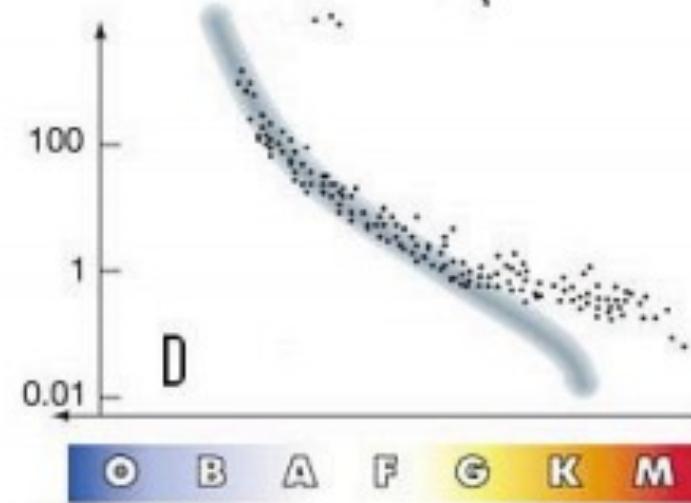
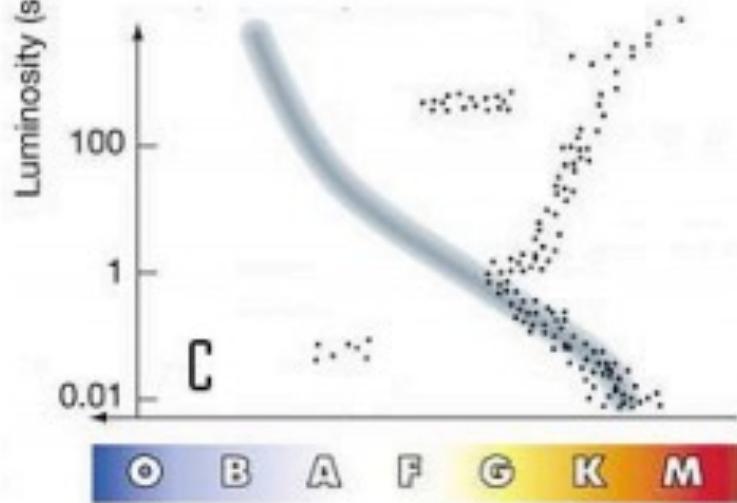
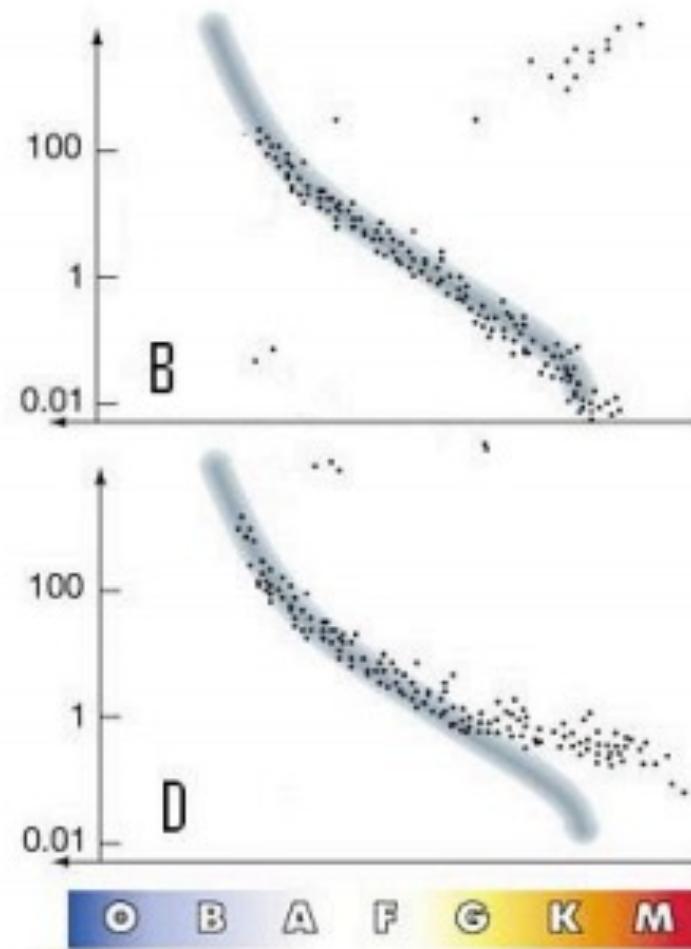
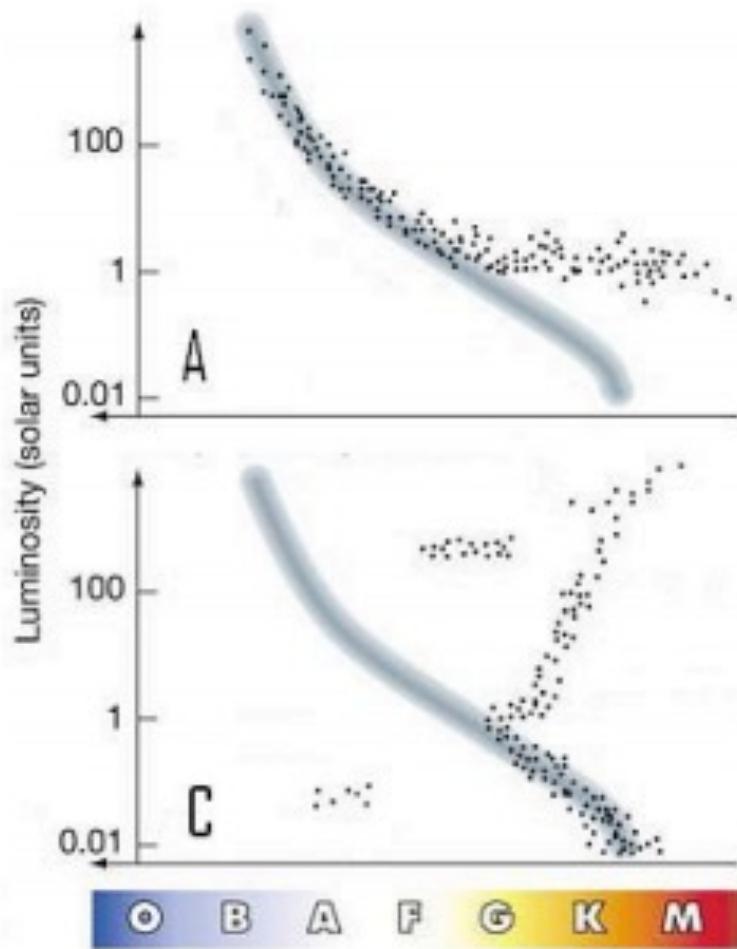
Die langfristige Erhaltung der Spiralstruktur wird mit Hilfe von "Dichtewellentheorie" beschrieben (ähnlich wie eine Wasserwelle aus immer anderen Wassermolekülen besteht). Die Grundidee ist, dass in der differentiellen Rotationsstruktur eine Region grösserer Dichte eine Änderung des Gravitationspotentials hervorruft, was wiederum die Geschwindigkeit der Sterne beeinflusst und damit die Dichte. Die spiralförmige Dichtewelle hat etwa die halbe Sterngeschwindigkeit (die Sterne „überholen“ die Dichtewelle).

In-class activity

- Wo findet man die massereichsten Sterne der Milchstrasse?

In-class activity

- Ordnen Sie die Sternenhaufen A-D nach Alter?



O B A F G K M

O B A F G K M

8.3 Das galaktische Zentrum

Das galaktische Zentrum ist im visuellen Bereich wegen der starken interstellaren Staubabsorption ($A_V = 30$ mag) nicht sichtbar. Es kann aber im IR- (oder Radio- und Röntgen)-bereich beobachtet werden.

Der Balken im inneren Bereich erstreckt sich vom Zentrum bis ca. 3 kpc. In diesem Bereich gibt es praktisch kein kühles Gas ausser im allerinnersten Teil ($d < 300$ pc). Die Sterne bewegen sich wie in einem Sternhaufen in ungeordneten Bahnen um das galaktische Zentrum.

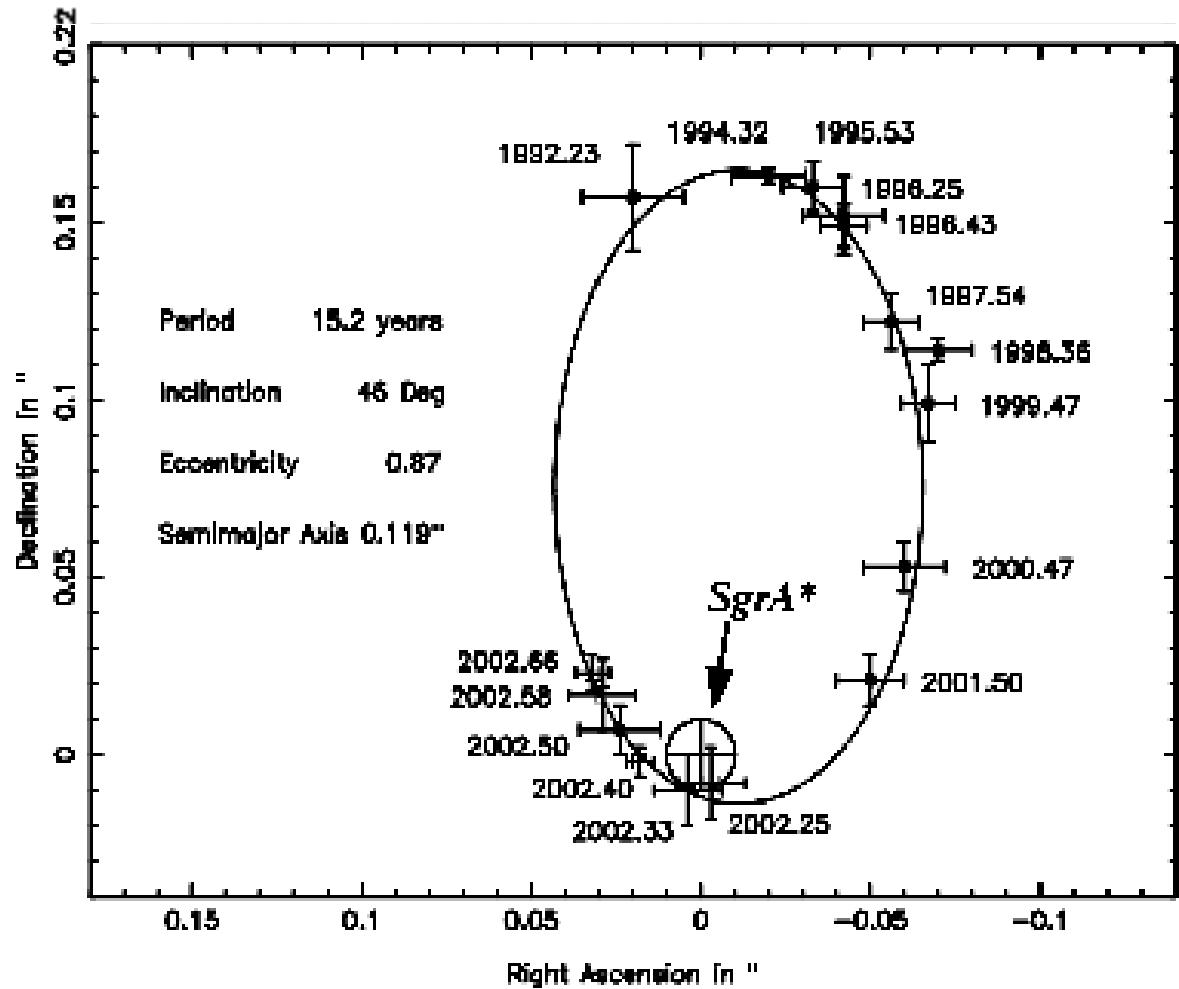
Eine auffällige Gasscheibe befindet sich innerhalb der zentralen 300 pc, mit sehr viel Sternentstehung, jungen Sternhaufen und Supernova-Überresten. Im innersten Bereich gibt es eine helle Quelle von nichtthermischer Radiostrahlung (Sgr A) und hochenergetischer Röntgenstrahlung.

Ein superschweres Schwarzes Loch im Zentrum konnte durch die Bewegung der Sterne nachgewiesen werden.

Nachweis des Schwarzen Lochs

In einer Distanz von etwa 8 kpc entspricht eine Halbachse von 0.12" etwa 960 AE.

Typische Bahn-
geschwindigkeiten sind
dann etwa
~ 5000 km/s.

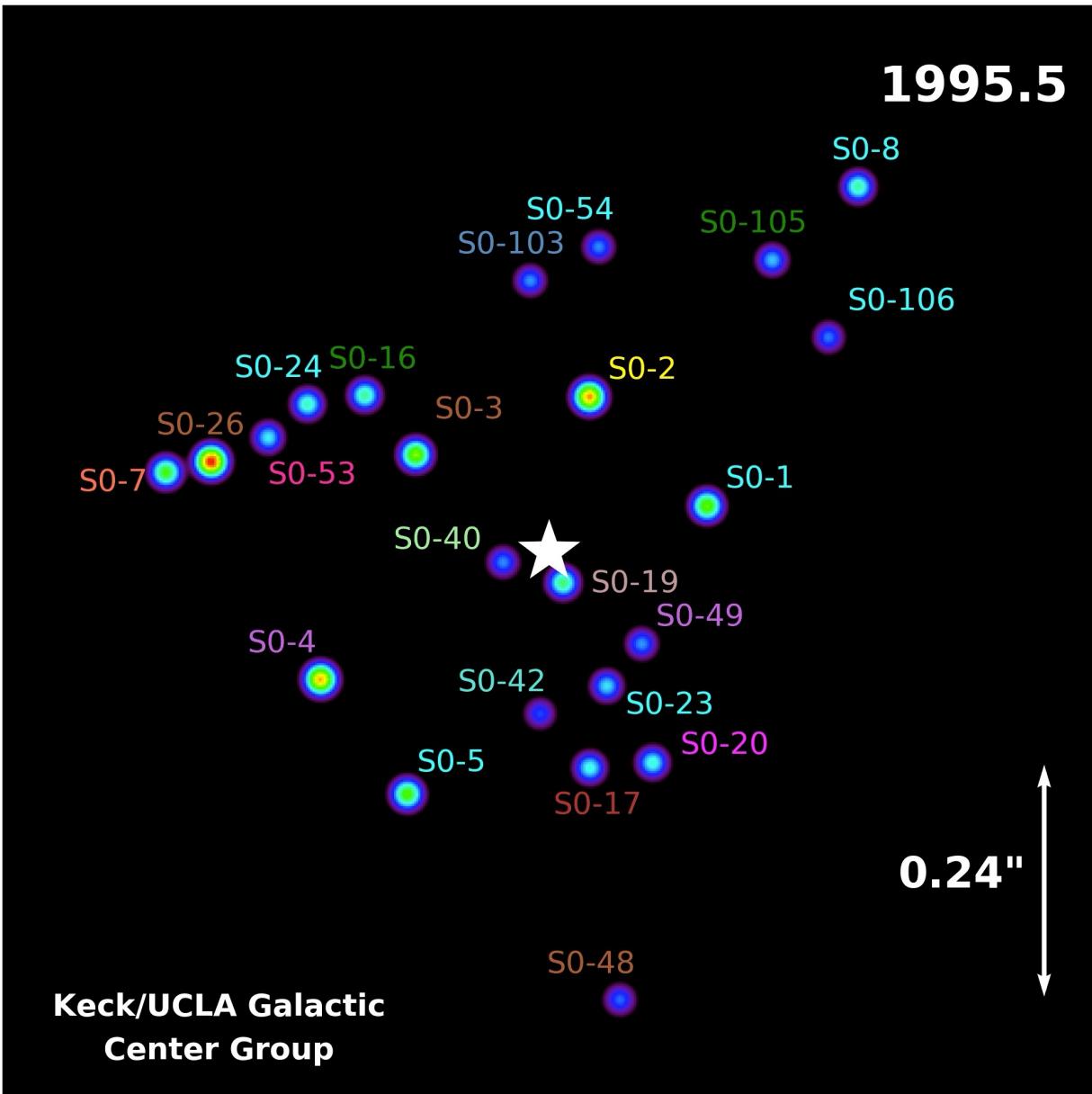


Die Masse folgt aus dem 3. Kepler'sches Gesetz für den Stern S2:

$$M = \frac{4\pi^2}{G} \frac{a^3}{P^2} = 7 \cdot 10^{36} \text{ kg} = 3.5 \cdot 10^6 M_{\odot}$$

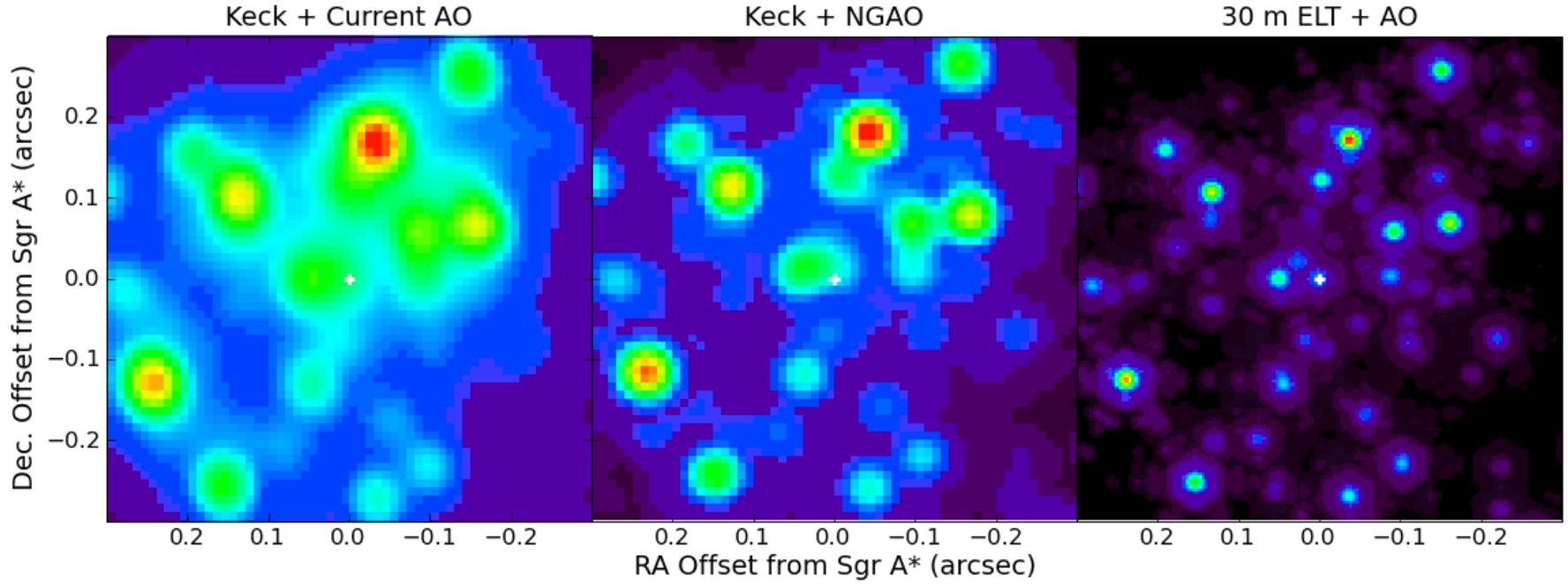
wobei: $a = 960 \text{ AE} = 1.4 \cdot 10^{14} \text{ m}$, $P = 15.2 \text{ J} \cdot 3 \cdot 10^7 \text{ s/J}$, $G = 6.7 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$.

Nachweis des Schwarzen Lochs im Zentrum der Milchstrasse



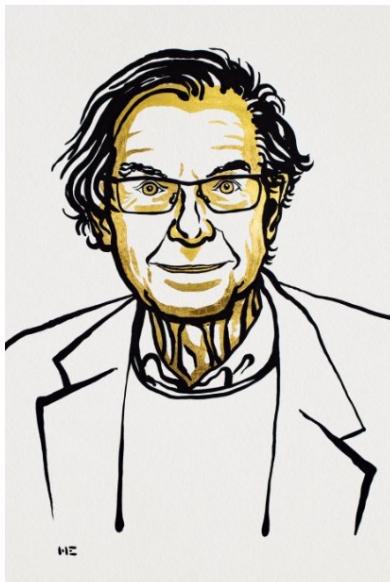
"These images/animations were created by Prof. Andrea Ghez and her research team at UCLA and are from data sets obtained with the W. M. Keck Telescopes."

Nachweis des Schwarzen Lochs im Zentrum der Milchstrasse

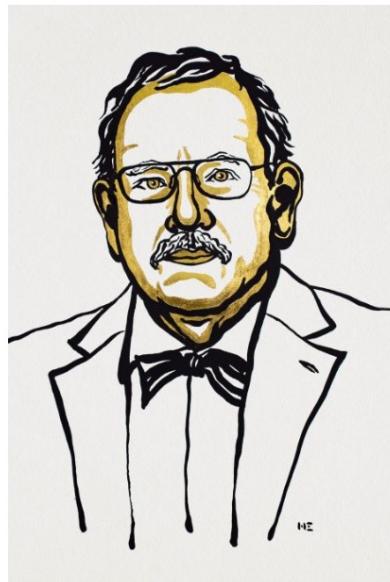


"These images/animations were created by Prof. Andrea Ghez and her research team at UCLA and are from data sets obtained with the W. M. Keck Telescopes."

The Nobel Prize in Physics 2020



© Nobel Media. Ill. Niklas Elmehed.
Roger Penrose
Prize share: 1/2



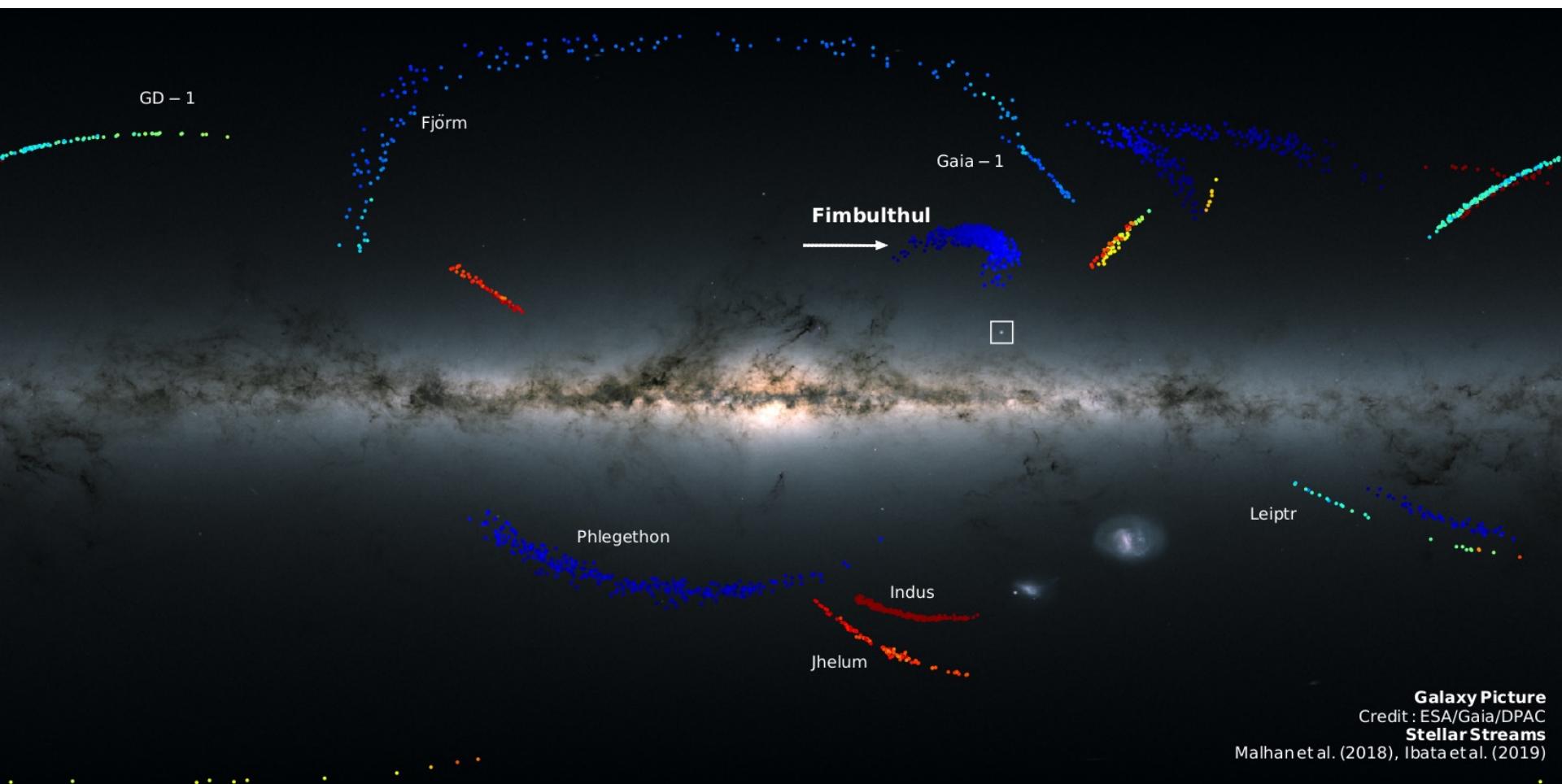
© Nobel Media. Ill. Niklas Elmehed.
Reinhard Genzel
Prize share: 1/4



© Nobel Media. Ill. Niklas Elmehed.
Andrea Ghez
Prize share: 1/4

The Nobel Prize in Physics 2020 was divided, one half awarded to Roger Penrose "for the discovery that black hole formation is a robust prediction of the general theory of relativity", the other half jointly to Reinhard Genzel and Andrea Ghez "for the discovery of a supermassive compact object at the centre of our galaxy."

8.4 Stellar Streamers

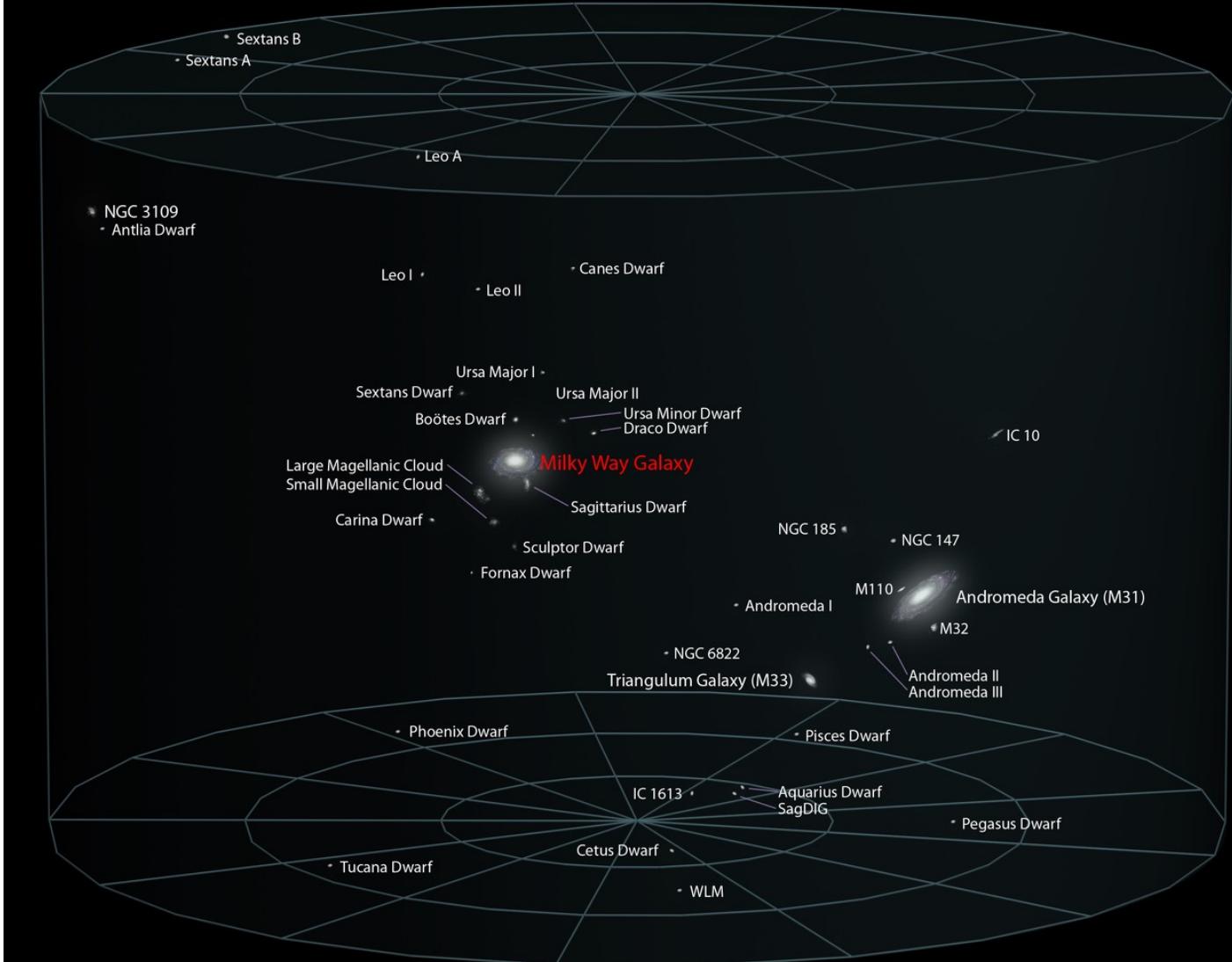


Tidal stellar streams are a special class of star structures that have recently gained a lot of importance in the field of astrophysics. These "fossil" remnant structures are extremely important as tracers of the galaxy formation process. The new GAIA catalog is a unique dataset to identify and investigate stellar streamers.

8.5 Die Lokale Gruppe

Die Milchstrasse und die Andromeda Galaxie bilden ein Doppelsystem von Spiralgalaxien und sie sind die grössten Galaxien in der Lokalen Gruppe, einer Ansammlung von ca. 50 Galaxien.

Die Grosse und Kleine Magellansche Wolke sind die grössten Galaxien, die die Milchstrasse umkreisen.



Graphik: Andrew Z. Colvin

Der Virgo Super-Cluster

Die Lokale Gruppe ist Teil des Virgo Super-Clusters der aus ungefähr 100 Galaxiengruppen und kleineren Clustern besteht.

Er ist ca. $33 \cdot 10^6$ pc gross und einer von mehreren Millionen beobachtbaren Super-Clustern, die die häufig in den Knotenpunkten des Kosmischen Netz (cosmic web) sitzen.

