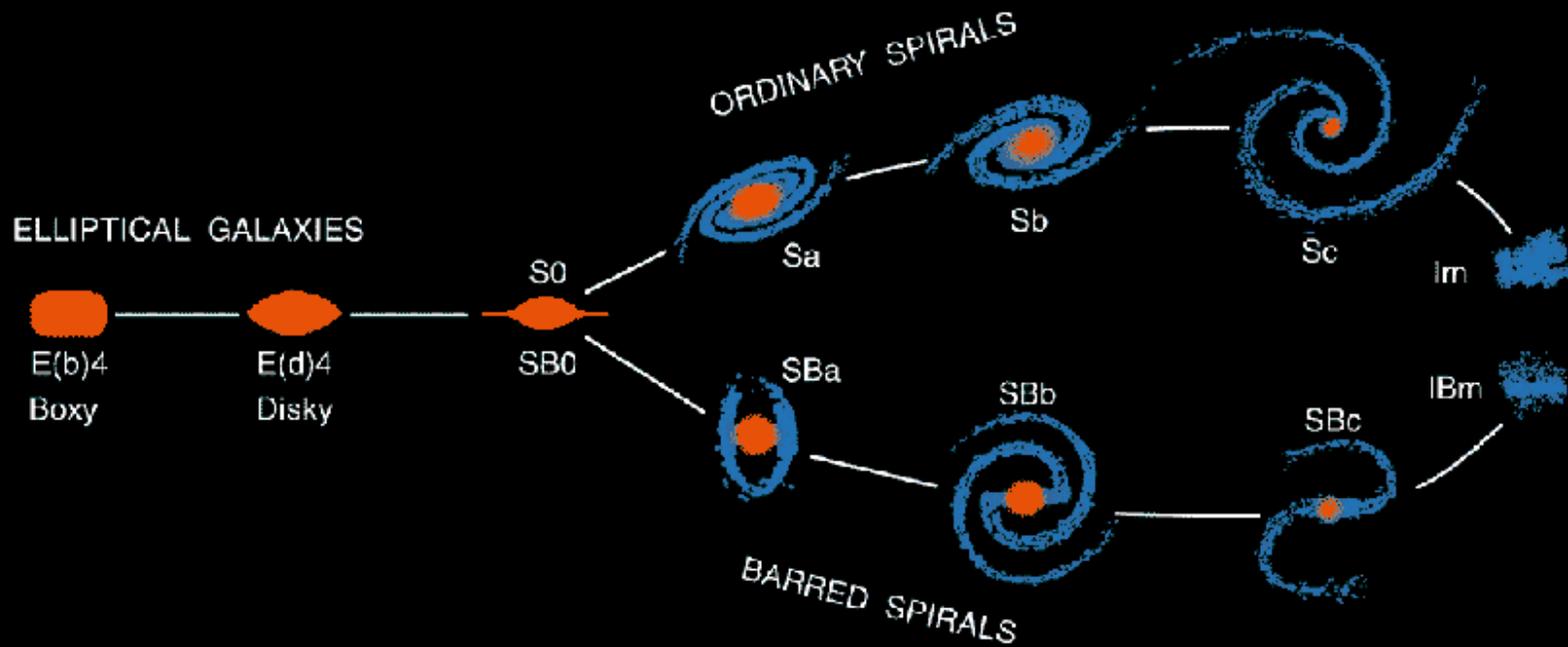


Gasverteilung in Galaxien

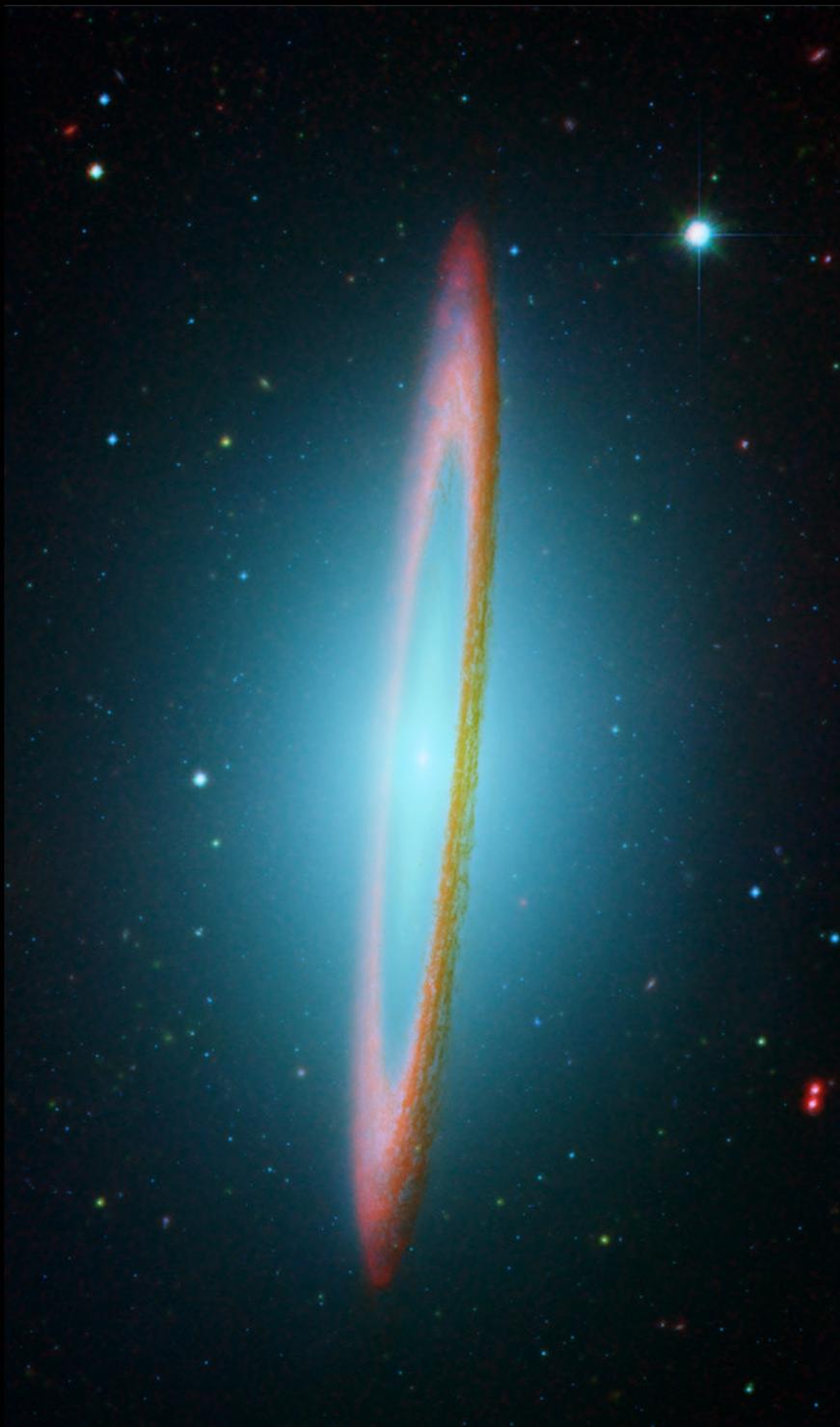


Die Spiralgalaxie M81



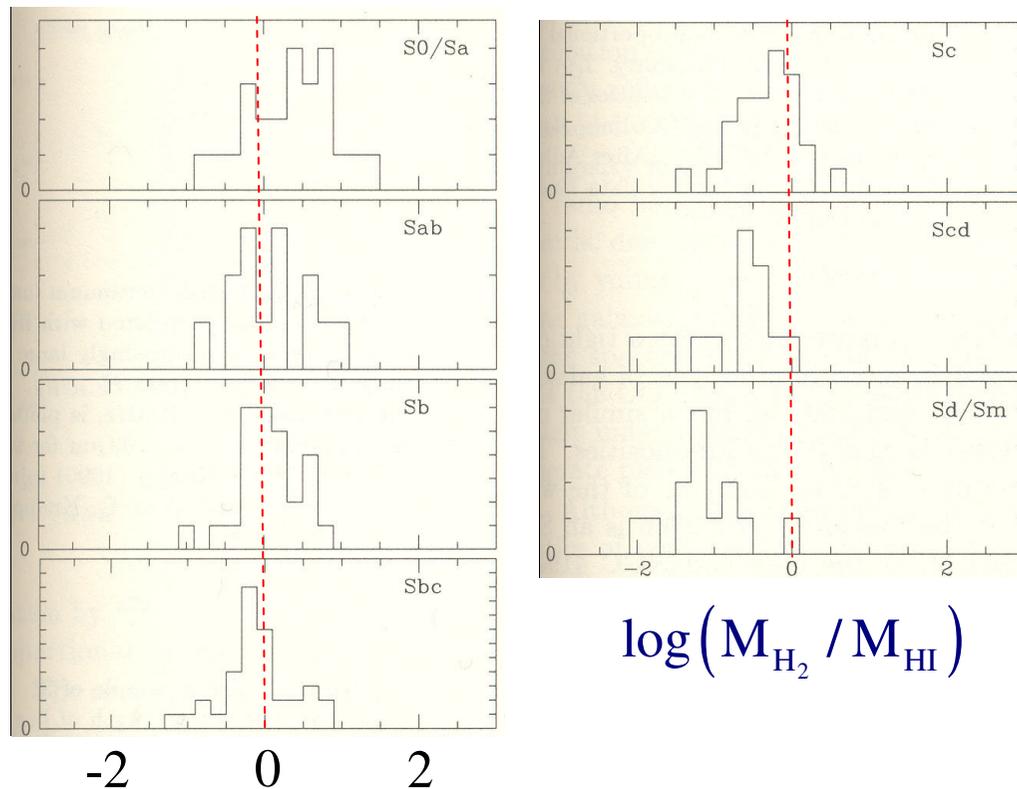
Die elliptische Galaxie M87



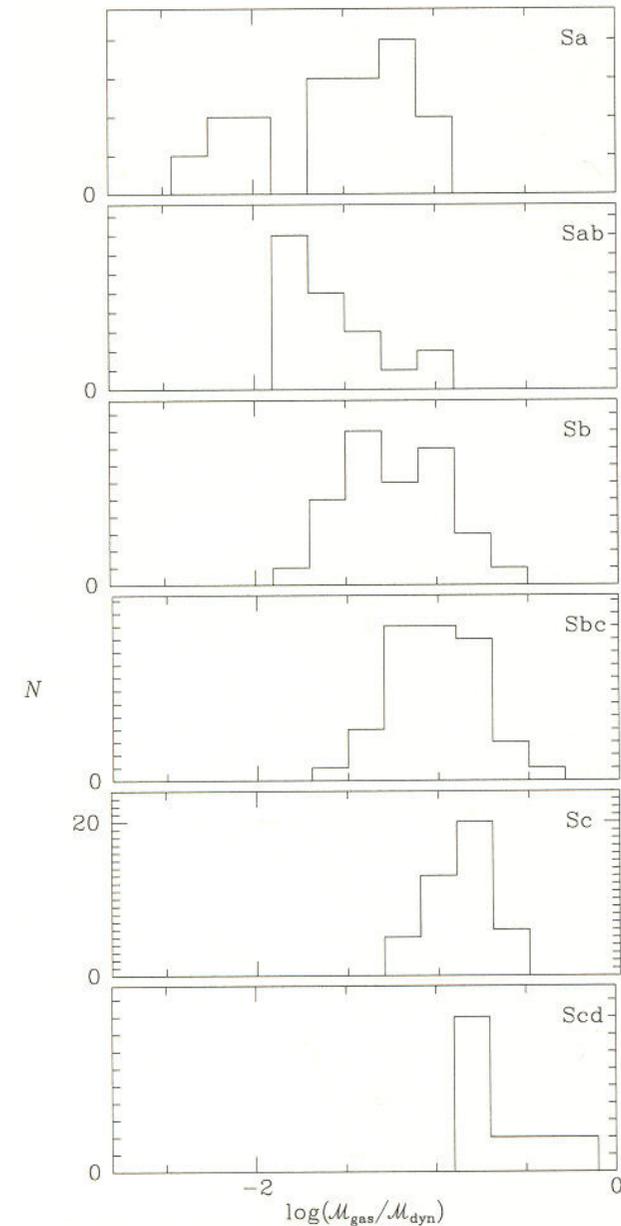


- Der **Gasanteil** wächst von frühen zu späten **Spiralgalaxien** um einen **Faktor 5**.
- Dies ist im wesentlichen eine Folge eines **größeren HI-Anteils**:
 $M_{\text{HI}} / M_{\text{H}_2}$ nimmt um einen Faktor 5 zu.

Molekularer Gasanteil in Spiralgalaxien

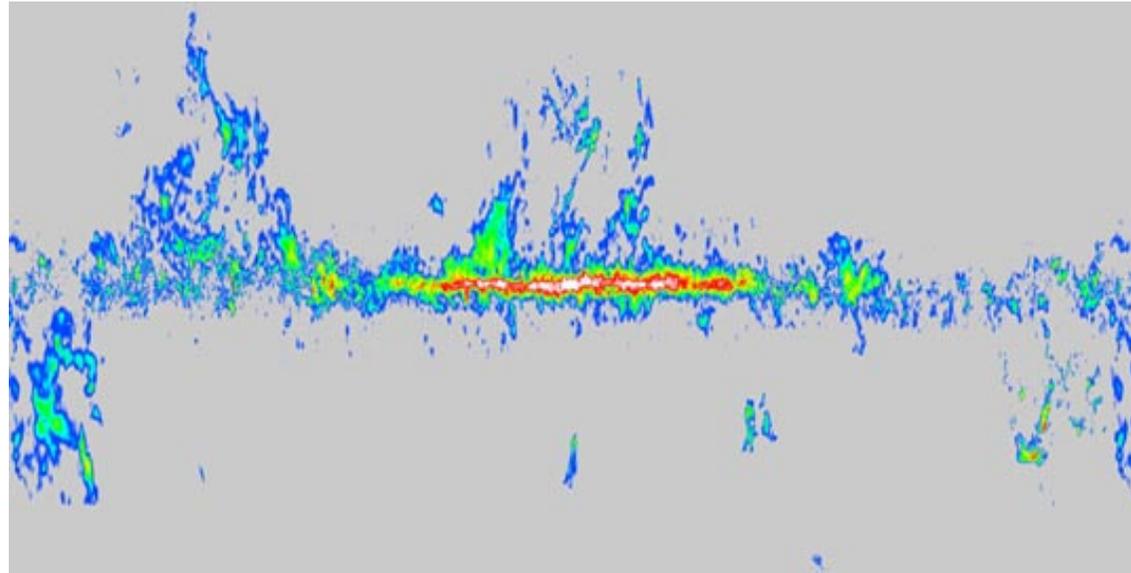


Gas- zu dynamischer Masse



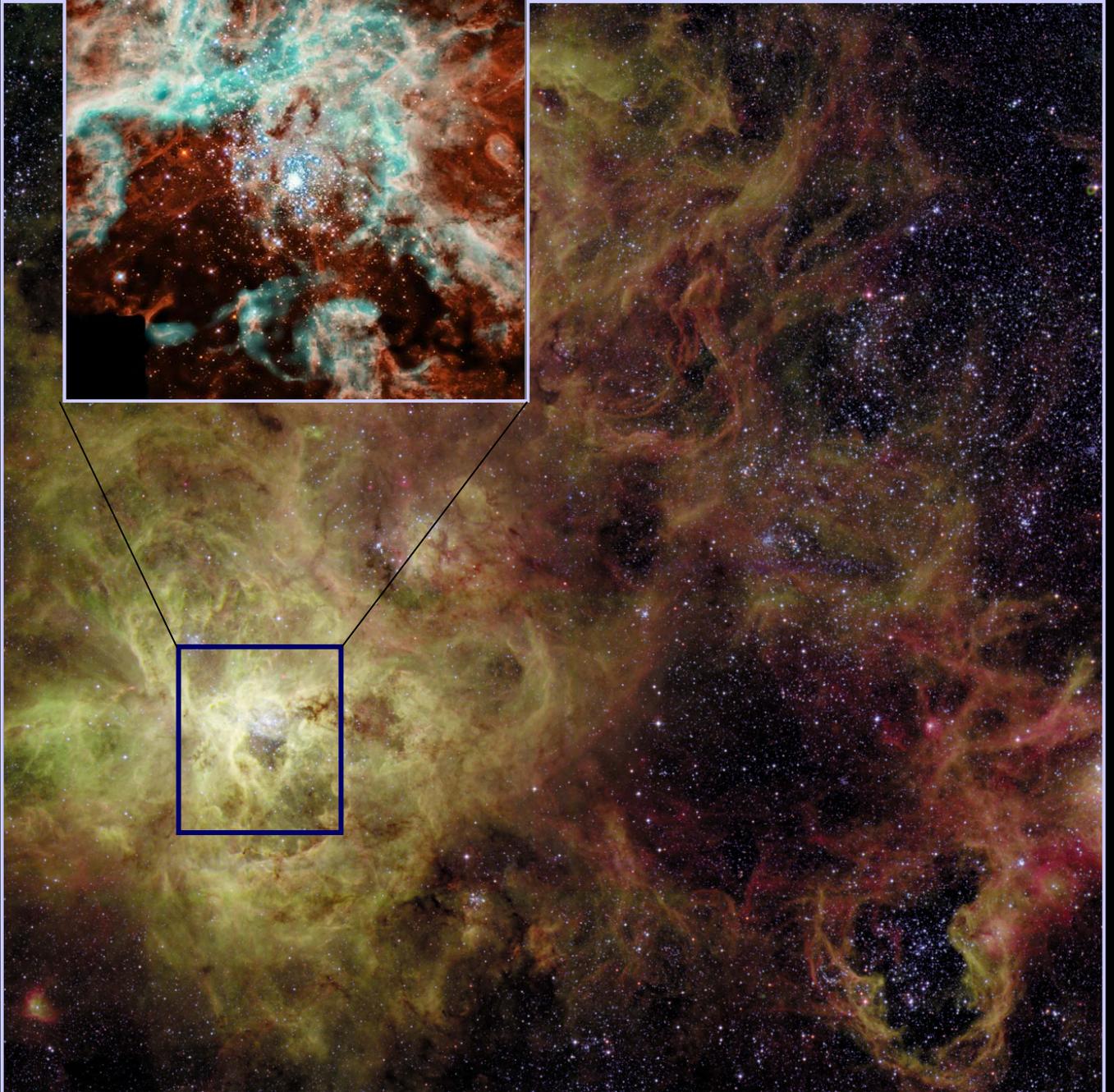
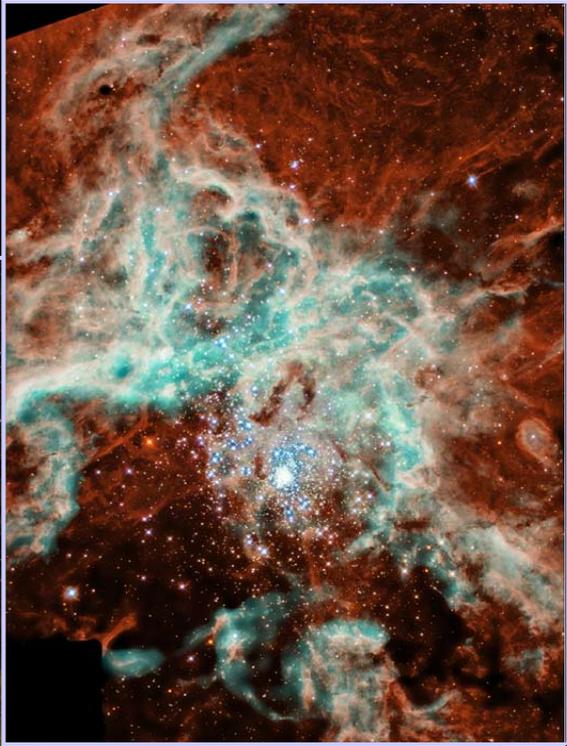
Galaktische CO Verteilung

(Dame, 2000)



- Das meiste molekulare Gas befindet sich in **Molekülwolken**.
- Die Molekülwolken befinden sich in einer **dünnen galaktischen Scheibe**.
- **Gesamtmasse** an molekularem Wasserstoff: $2 \cdot 10^9 M_{\odot}$

Das ist **~ 50%** der gesamten Gasmasse in der Milchstraße.

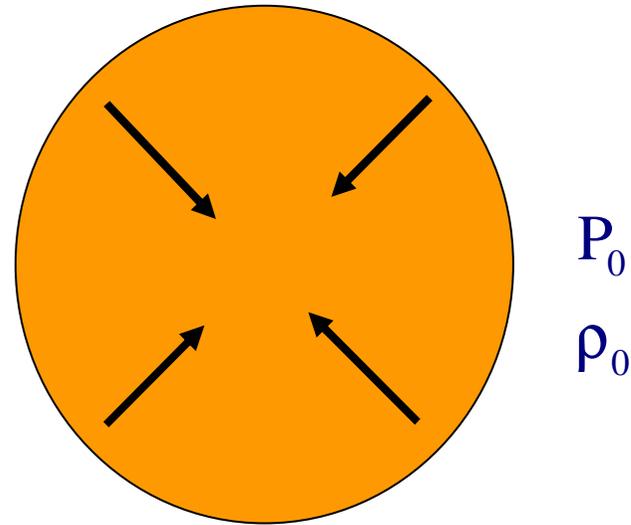


Die Jeansmasse:

Kritische Bonnor-Ebertmasse:

$$M_{\text{BE}} = \frac{1.18 c_s^4}{P_0^{1/2} G^{3/2}} \quad P_0 = \rho_0 c_s^2$$

Schallgeschwindigkeit



Die Jeansmasse:

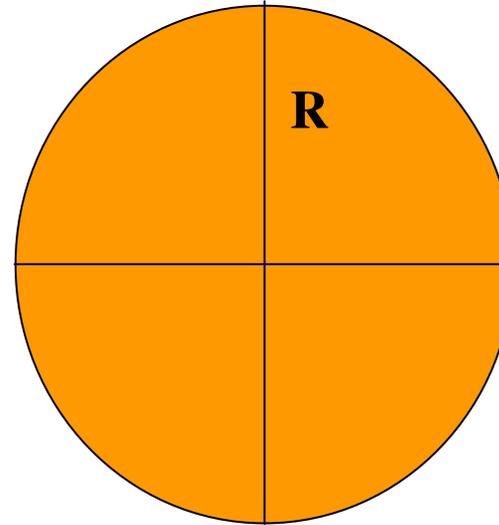
$$M_{\text{Jeans}} = \frac{1.18 c_s^3}{\rho_0^{1/2} G^{3/2}} = 1.0 M_{\odot} \left(\frac{T}{10 \text{ K}} \right)^{3/2} \left(\frac{n_{\text{H}_2}}{10^4 \text{ cm}^{-3}} \right)^{-1/2}$$

Gasgebiete mit einer Masse größer als die Jeansmasse sind **gravitativ instabil**.

Die Kollapszeitskala:

Beschleunigung des Randes im druckfreien Kollaps:

$$\frac{d^2 R}{dt^2} = -\frac{GM}{R^2}$$



Substitution:

$$R \equiv R_0 \cdot \cos^2 \alpha \quad \rightarrow \quad R = R_0 \text{ für } \alpha = 0 \\ R = 0 \text{ für } \alpha = \pi/2$$

$$\tau \equiv t/t_0 \quad \text{mit} \quad t_0 = \sqrt{\frac{R_0^3}{2GM}} = \sqrt{\frac{3}{8\pi G\rho_0}}$$



$$\frac{d\alpha}{d\tau} = \frac{1}{2 \cos^2 \alpha} \quad \rightarrow \quad \alpha + \frac{1}{2} \sin(2\alpha) = \tau$$

Die Kollapszeitskala:

$$\alpha + \frac{1}{2} \sin(2\alpha) = \tau$$

$$R \equiv R_0 \cdot \cos^2 \alpha \rightarrow R = R_0 \text{ für } \alpha = 0 \text{ und } R = 0 \text{ für } \alpha = \pi/2$$

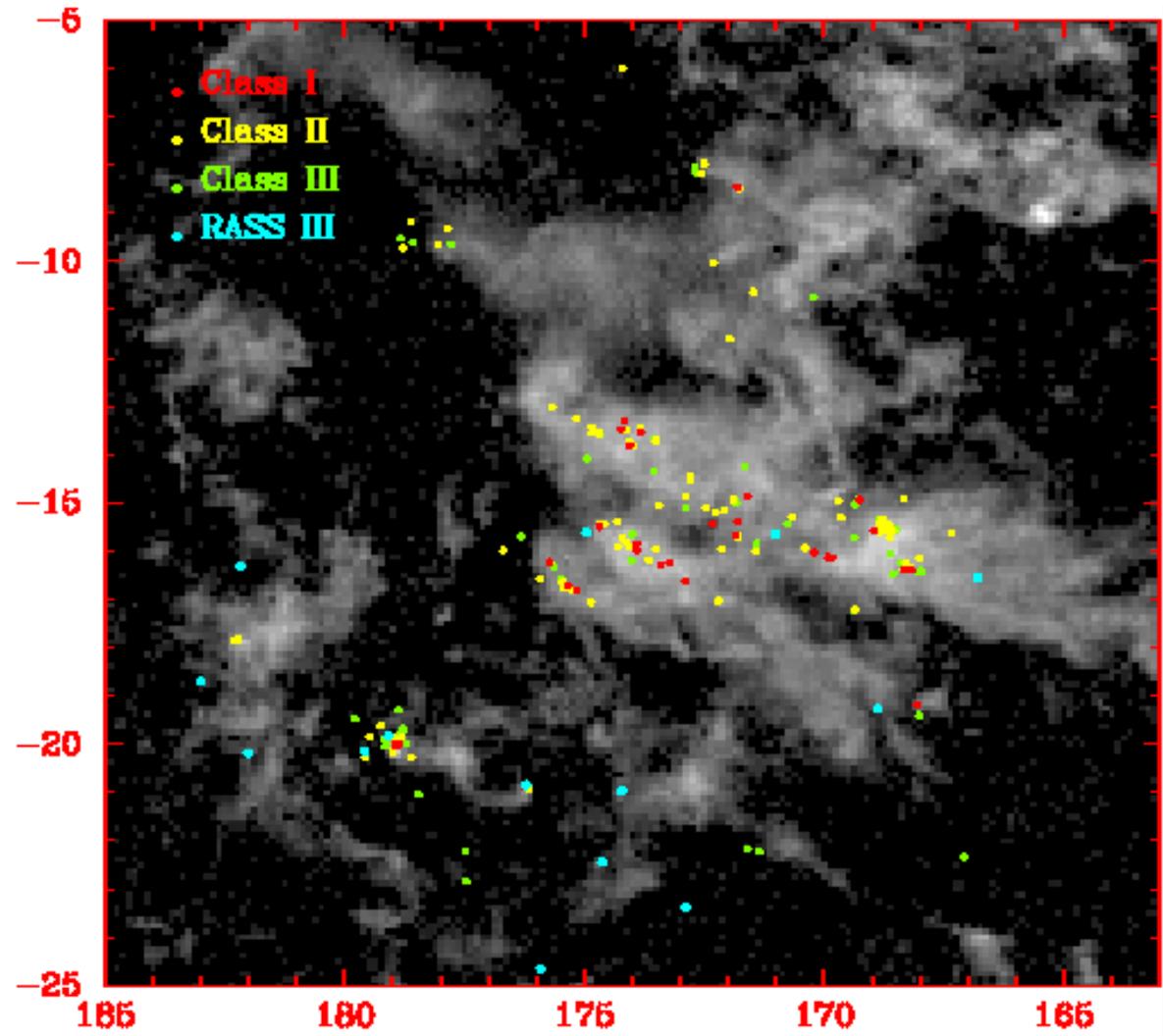
$$\tau \equiv t/t_0 \text{ mit } t_0 = \sqrt{\frac{R_0^3}{2GM}} = \sqrt{\frac{3}{8\pi G\rho_0}}$$

$$\rightarrow R = 0 \text{ für } \alpha = \frac{\pi}{2} \quad \xrightarrow{\tau = \pi/2} \quad \frac{t_{\text{ff}}}{t_0} = \frac{\pi}{2}$$

$$t_{\text{ff}} = \sqrt{\frac{3\pi}{32 G \rho_0}} \approx 4 \cdot 10^5 \text{ Jahre} \left(\frac{n_{\text{H}_2}}{10^4 \text{ cm}^{-3}} \right)^{-1/2}$$

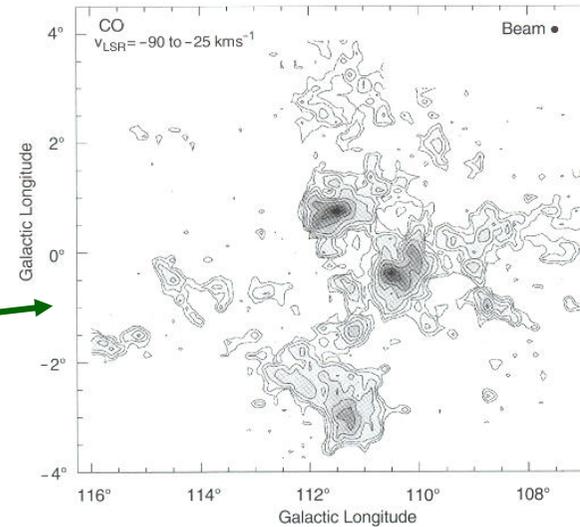
Taurus-Molekülwolke

(Hartmann 2003)



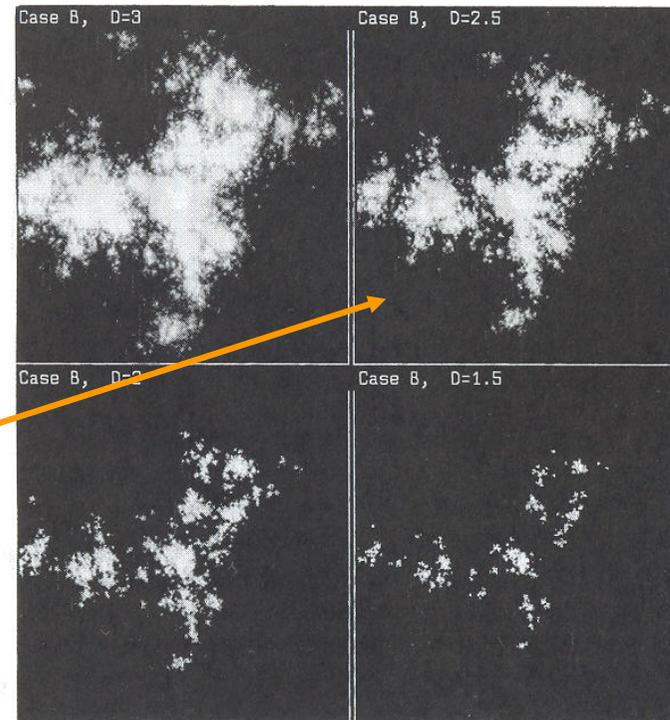
Die irregulär, fraktale (?) Structure von Molekülwolken:

Molekülwolke im **Perseusarm**
(Ungerechts et al.)



Simulation einer **fraktalen Wolke** mit
fraktaler Dimension **D**
(Pfenniger & Combes)

Beste Übereinstimmung mit den
Beobachtungen bei einer
fraktalen Dimension D=2.5.



Eigenschaften von Molekülwolken

Molekülwolken gehören zu den massereichsten Objekten der Galaxien.

- **Masse:** $10^4 - 10^6 M_{\odot}$
- **Dichte:** $100 \text{ cm}^{-3} \rightarrow M_{\text{Jeans}} \approx 20 M_{\odot}$
- **Temperatur:** $10 - 30 \text{ K} \rightarrow c_s = 0.3 \text{ km/s}$
- **Magnetfeldstärke:** $\sim 10^{-5} \text{ G}$
- **Kollapszeit:** $t_{\text{ff}} = 2 \cdot 10^6 \text{ yrs}$

Massenverteilung:

$$N(m) \sim m^{-2}$$

Wolken mit Massen von $10^5 M_{\odot} - 10^6 M_{\odot}$ enthalten das meiste molekulare Gas in der Galaxis.

Das Problem der Stabilität von Molekülwolken

Sternentstehungsrate: $SFR = \eta_{sf} \cdot \left(\frac{2 \cdot 10^9 M_{\odot}}{t_{ff}} \right) \approx 10 - 100 M_{\odot} / yr$

Beobachtung:

$$SFR = 1 M_{\odot} / yr \xrightarrow{\eta_{sf} \approx 1\% - 10\%} t_{sf} \approx 5 \cdot 10^7 yr \approx 20 \cdot t_{ff}$$

- Molekülwolken sollten **viele freie Fallzeiten** existieren

Was verhindert den Kollaps von Molekülwolken?

Innere Struktur der Taurus-Molekülwolke

(Mizuno et al. 1995)

- Klumpige Unterstruktur:

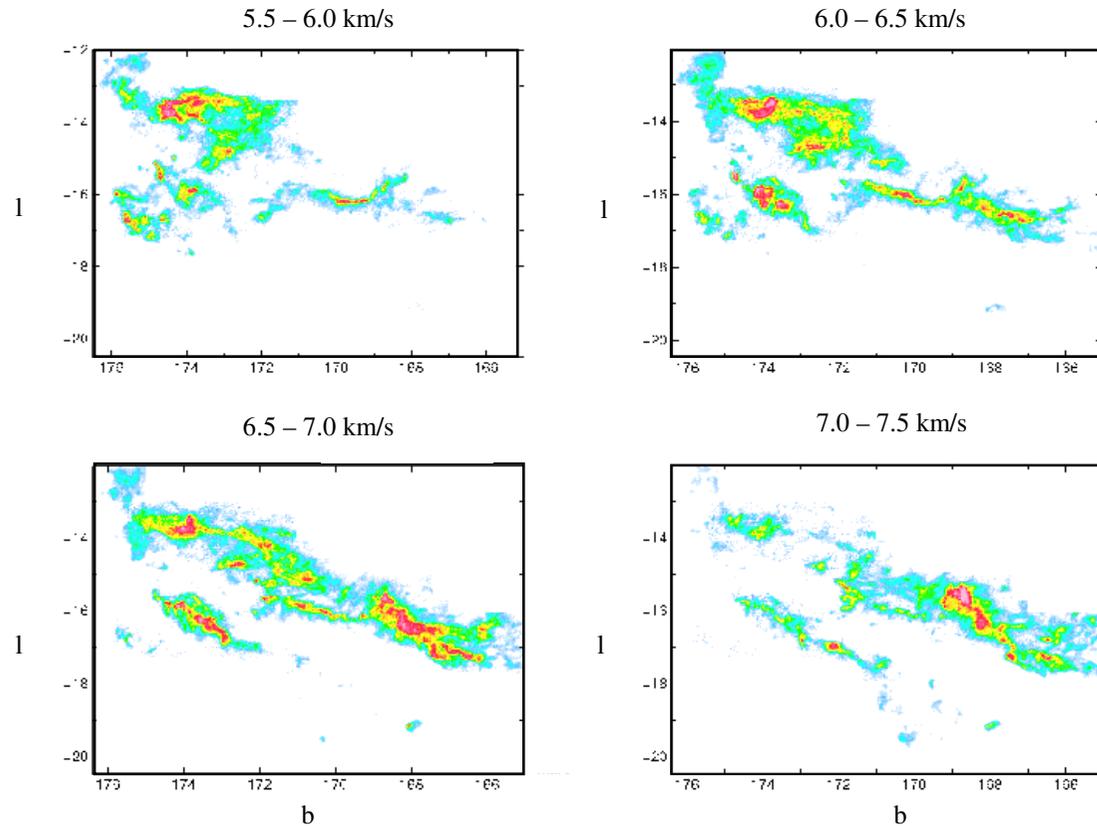
$$M_c \sim R_c^2, N_c \sim M_c^{-2}$$

- Geschwindigkeitsdispersion:

$$\sigma \approx 3 \text{ km/s} \approx 10 c_s$$

- Turbulente Jeansmasse:

$$M_{\text{Jeans}} \approx 2 \cdot 10^4 M_{\odot}$$



Molekülwolken werden durch den internen turbulenten Druck gestützt.