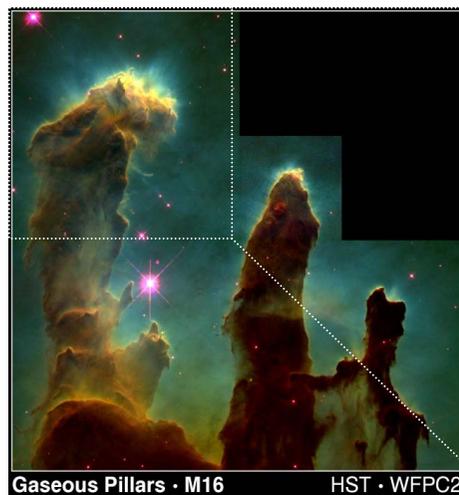
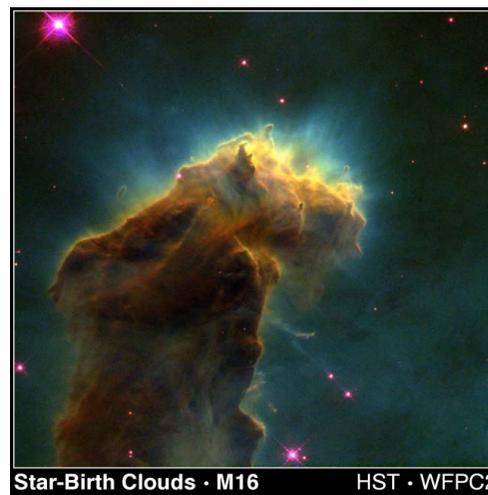


**Staub** im molekularen Gas **absorbiert** das Licht der Sterne



Gaseous Pillars · M16 HST · WFPC2



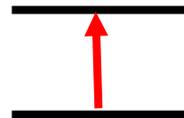
Star-Birth Clouds · M16 HST · WFPC2

## Das H<sub>2</sub> molekül

- **Diatomares Molekül:** das einfachste bekannte Molekül
- **Anregungszustände:**



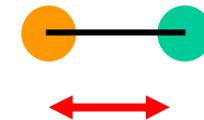
Elektronischer Übergang:



$$E = 11.2 \text{ eV} \rightarrow \lambda = 1240 \text{ nm} \cdot \left( \frac{\text{eV}}{E} \right) = 111 \text{ nm}$$

liegt im **UV-bereich**

Elektronische Übergänge spalten in Vibrationsübergänge auf:



Die **Amplitude** wird durch die **Quantenzahl**  $v = 0, 1, \dots$  beschrieben:

$$E_v - E_{v-1} = 0.15 \text{ eV}$$

# Vereinfachtes Energiediagramm von H<sub>2</sub>

Angeregtes elektronisches Band

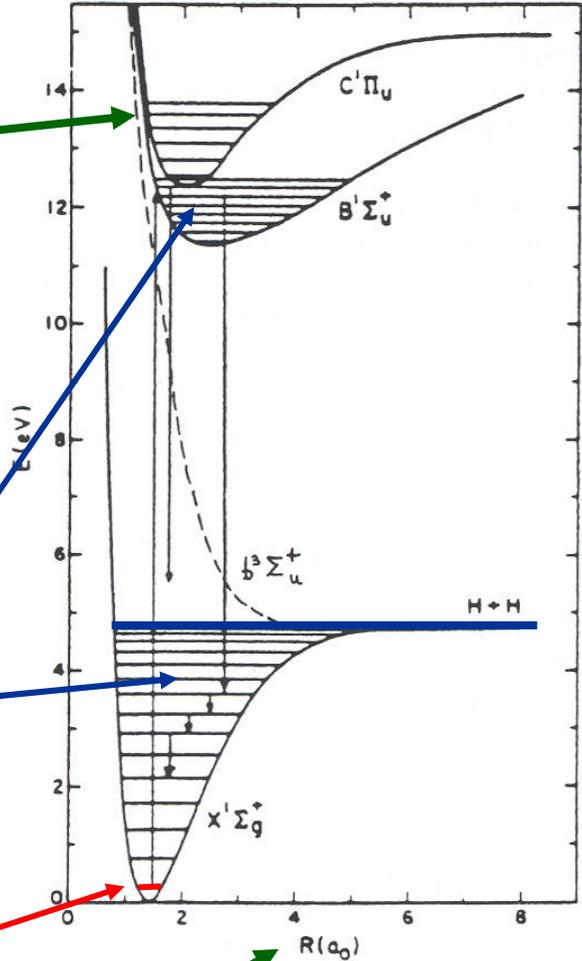
Jedes Band zerfällt wiederum in enge **Rotationsbänder**  $J = 0, 1, \dots$  mit  $E_J - E_{J-1} = 0.015 J \text{ eV}$



Vibrationsbänder  $\Delta E = 0.15 \text{ eV}$

**Grundzustand** ist **4.7 eV** niedriger als die Summe der **Bindungsenergien** von 2 isolierten H-Atomen.  $\rightarrow$  Diese Energie wird **abgestrahlt**, wenn sich H<sub>2</sub> bildet.

Entfernung der H-Atome



(Lequeux, 05)

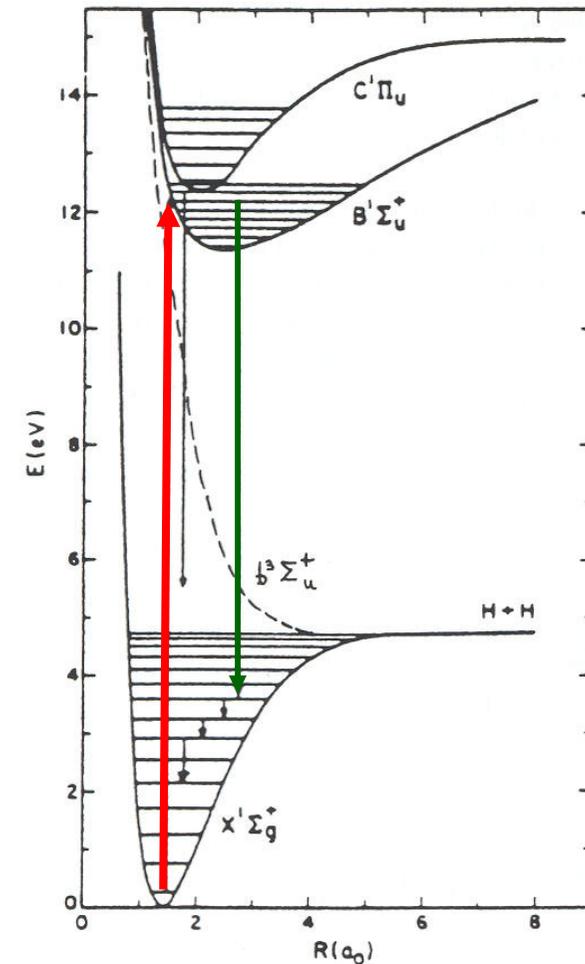
- Übergänge zwischen **angeregten Niveaus** im **UV**.
- Übergänge zwischen  $v$  and  $J$  Moden im **IR-** und **Radiobereich**.

Da  $H_2$  ein **symmetrisches Molekül** ist, hat es **kein Dipolmoment** im Grundzustand.

**Rotationsübergänge** können aber nur dann abgestrahlt werden, wenn das Dipolmoment  $>0$  ist  $\rightarrow$  erster **angeregter Zustand**.

$\rightarrow$  **UV Absorptionslinien**

Diese Linien werden erst für  $T > 100 \text{ K}$  angeregt.



## Das CO-Molekül:

- **CO** ist das **zweithäufigste** Molekül im ISM
- **Heteronukleares Molekül**  $\longrightarrow$  **Rotationsübergänge** sind erlaubt im selben Energieband und mit der selben Vibrationsquantenzahl  
 $\longrightarrow$  leicht beobachtbare **mm-Linien**

Table 8.1 CO rotation lines

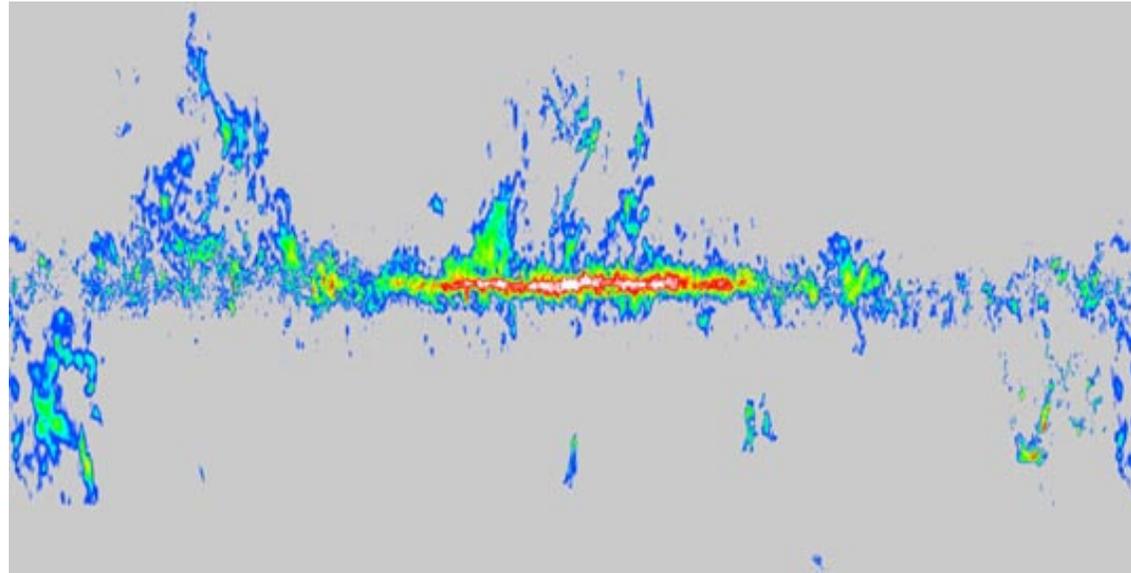
Species	Relative abundance	Transition	$N_{\tau=1}({}^{12}\text{CO})$	$N_{\tau=1}(\text{H}_2)$	
${}^{12}\text{C}^{16}\text{O}$	1	$J = 2 \rightarrow J = 1$	$5.5 \times 10^{19}$	$3.9 \times 10^{23}$	$\lambda = 2.6 \text{ mm}$
${}^{13}\text{C}^{16}\text{O}$	1/65	$1 \rightarrow 0$	$2.2 \times 10^{20}$	$1.7 \times 10^{24}$	$\lambda = 2.72 \text{ mm}$
		$2 \rightarrow 1$	$3.6 \times 10^{21}$	$2.8 \times 10^{25}$	
${}^{12}\text{C}^{18}\text{O}$	1/500	$1 \rightarrow 0$	$1.5 \times 10^{22}$	$1.1 \times 10^{26}$	
		$2 \rightarrow 1$	$2.8 \times 10^{22}$	$2.2 \times 10^{26}$	
		$1 \rightarrow 0$	$1.1 \times 10^{23}$	$8.5 \times 10^{26}$	

NOTES: For each species,  $N_{\tau=1}({}^{12}\text{CO})$  is the density in atoms  $\text{m}^{-2}/\text{km s}^{-1}$  of  ${}^{12}\text{C}^{16}\text{O}$  molecules at  $T = 20 \text{ K}$  that yields optical depth unity in the given line;  $N_{\tau=1}(\text{H}_2)$  is the corresponding column density of molecular hydrogen for an assumed ratio  $N({}^{13}\text{CO})/N(\text{H}_2) = 2 \times 10^6$  (Dickman 1978).

(Binney & Merrifield 1998)

## Galaktische CO Verteilung

(Dame, 2000)

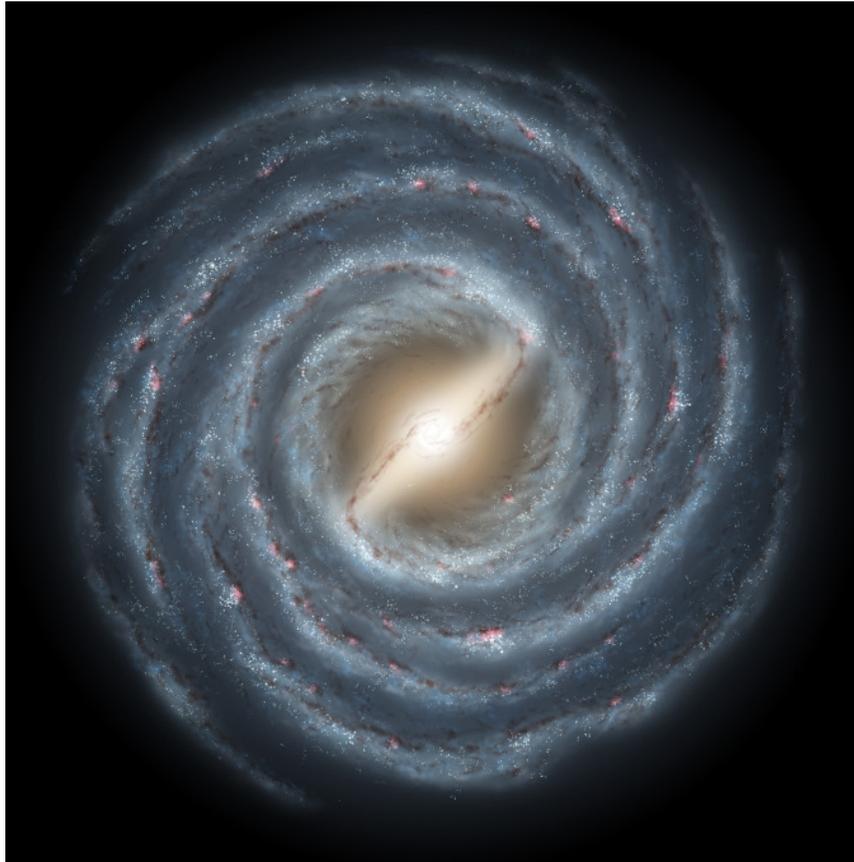


- Das meiste molekulare Gas befindet sich in **Molekülwolken**.
- Die Molekülwolken befinden sich in einer **dünnen galaktischen Scheibe**.
- **Gesamtmasse** an molekularem Wasserstoff:  $2 \cdot 10^9 M_{\odot}$

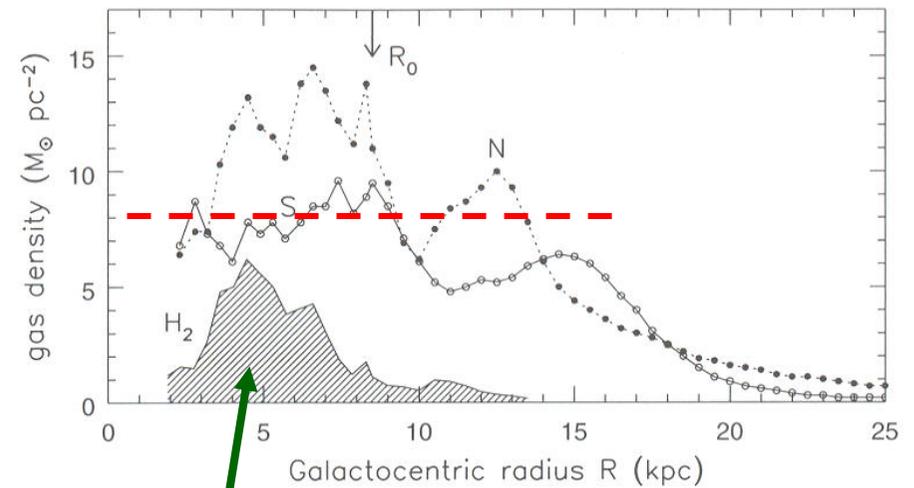
Das ist **~ 50%** der gesamten Gasmasse in der Milchstraße.

# Verteilung von HI und H2 in Galaxien

Zeichnung der Milchstraße



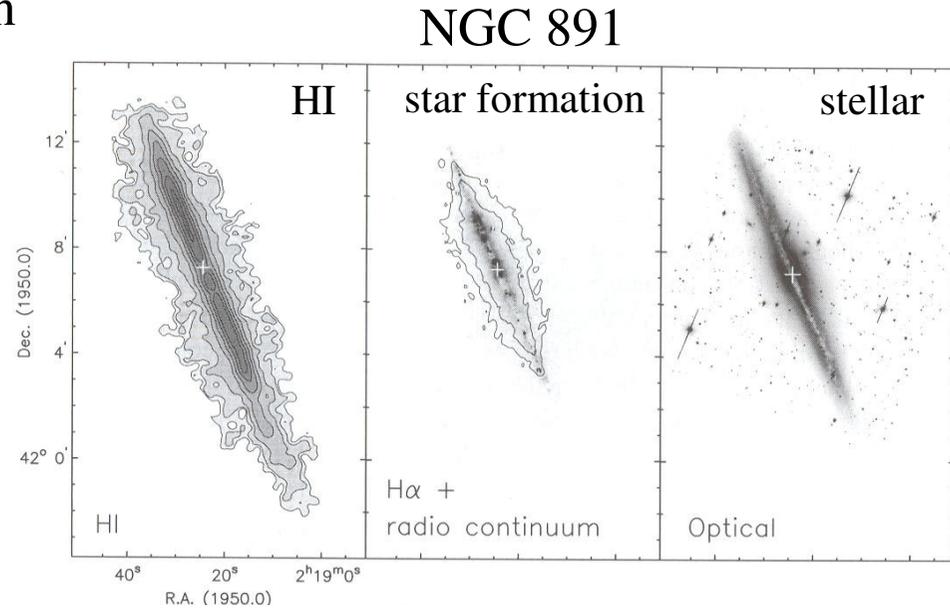
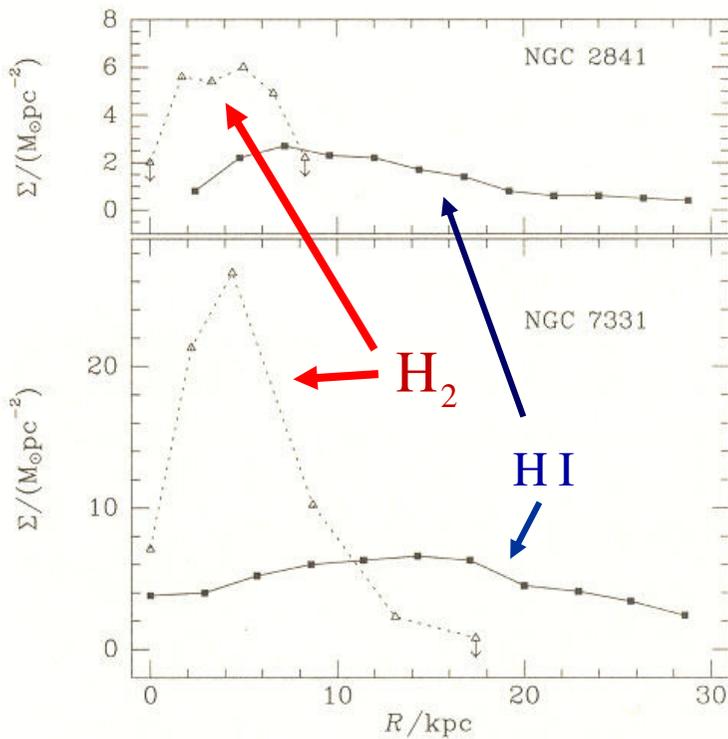
Gasverteilung in der Milchstraße



Molekularer Ring

Wie entsteht daraus eine exponentielle stellare Scheibe?

- Viele Galaxien mit **großem Bulge** haben einen **molekularen Ring**.
- Im Gegensatz zu HI, findet man kein **molekulares Gas** außerhalb der (exponentiellen) stellaren Scheibe.



(Sparke & Gallagher)

- Bei Spiralen **ohne Bulge** dominiert die CO emission im Zentrum.

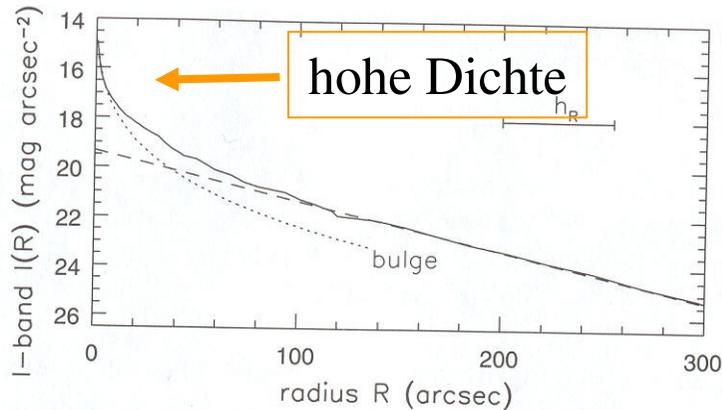
(Binney & Merrifield)

# NGC 7331:

NGC 7331 hat **überwiegend HI-Gas**

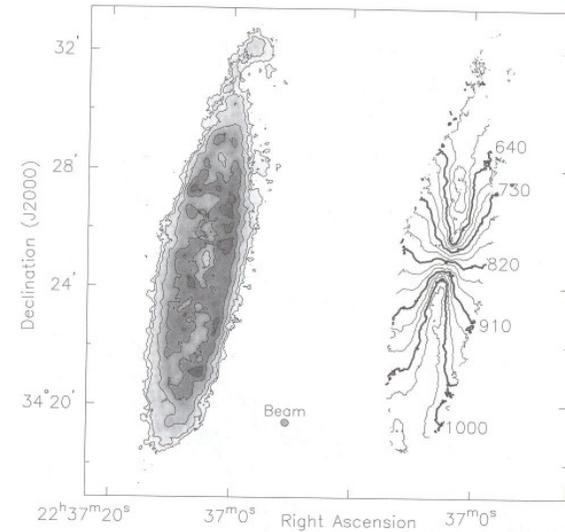
$$M_{\text{HI}} \approx 10^{10} M_{\odot}$$

**Stellare Verteilung:** *Exponentielles Profil*

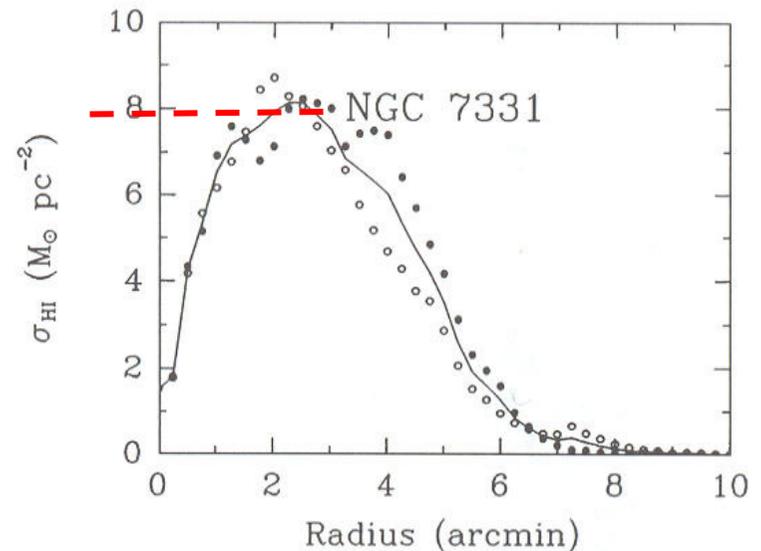


## HI-Verteilung:

- **HI-Scheibe** doppelt so groß wie **Sternscheibe**
- **Keine** exponentielle Scheibe.
- Im **Zentrum** kaum Gas



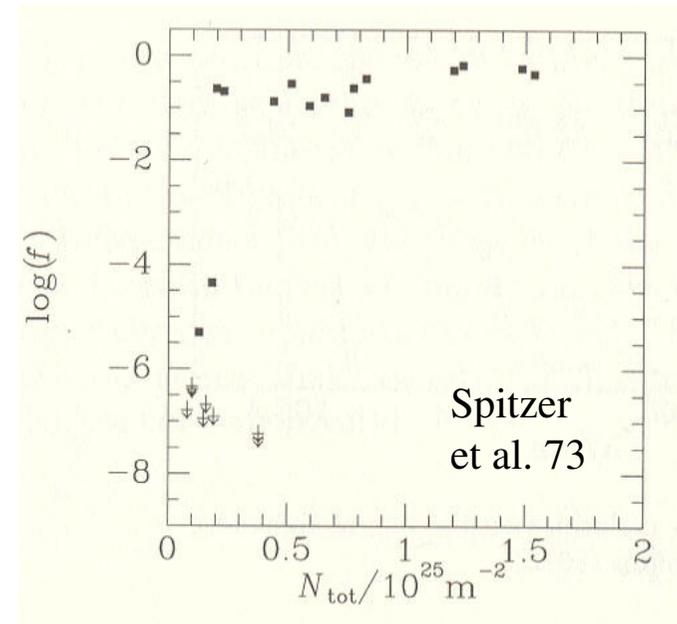
(Thornley & Bambic)



Der **molekulare Anteil**, abgeleitet aus den **Absorptionslinien** der UV-Spektren von 23 Sternen:

Oberflächendichte

$$f_{\text{H}_2} \equiv \frac{2 N(\text{H}_2)}{N(\text{HI}) + 2 N(\text{H}_2)}$$

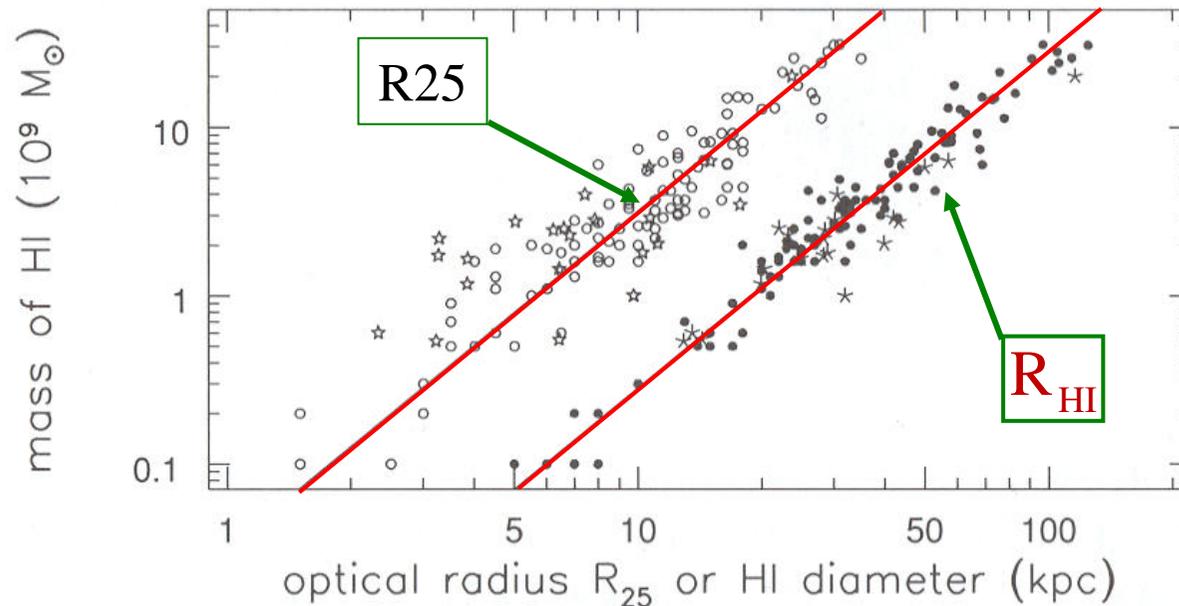


Für  $N(\text{H}_{\text{tot}}) < 2 - 5 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-2}$  ist der **Anteil an H<sub>2</sub>** klein.

- Damit sich molekularer Wasserstoff bilden kann benötigt man eine **HI-Oberflächendichte** die hoch genug ist, damit das Gas **optisch dick** wird.
- Sonst wird das H<sub>2</sub> durch die **stellare UV-Strahlung** effizient dissoziiert.

**→ HI-Scheiben ohne Sternentstehung**

## Radiale Ausdehnung der Stern- und HI Scheiben in Galaxien



(Broeils &  
de Blok)

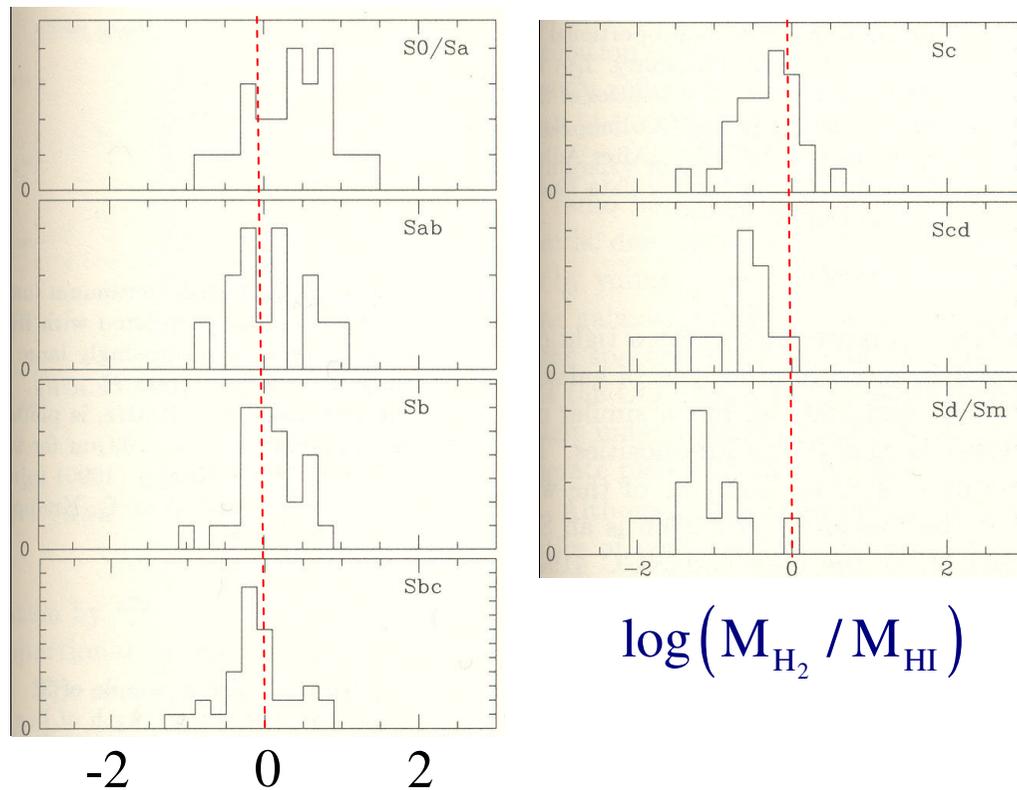
- Der **Rand** der HI-Scheibe (Oberflächendichte  $< 1 M_{\odot} \text{pc}^{-2}$ ) nimmt proportional zum **Quadrat der HI-Gasmasse** zu:

$$\Sigma_{\text{HI}} = \frac{M_{\text{HI}}}{R_{\text{HI}}^2 \pi} = 5 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-2}$$

- Der **optische Radius** der Galaxie ist **halb so groß** wie der Radius der HI-Scheibe

- 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

