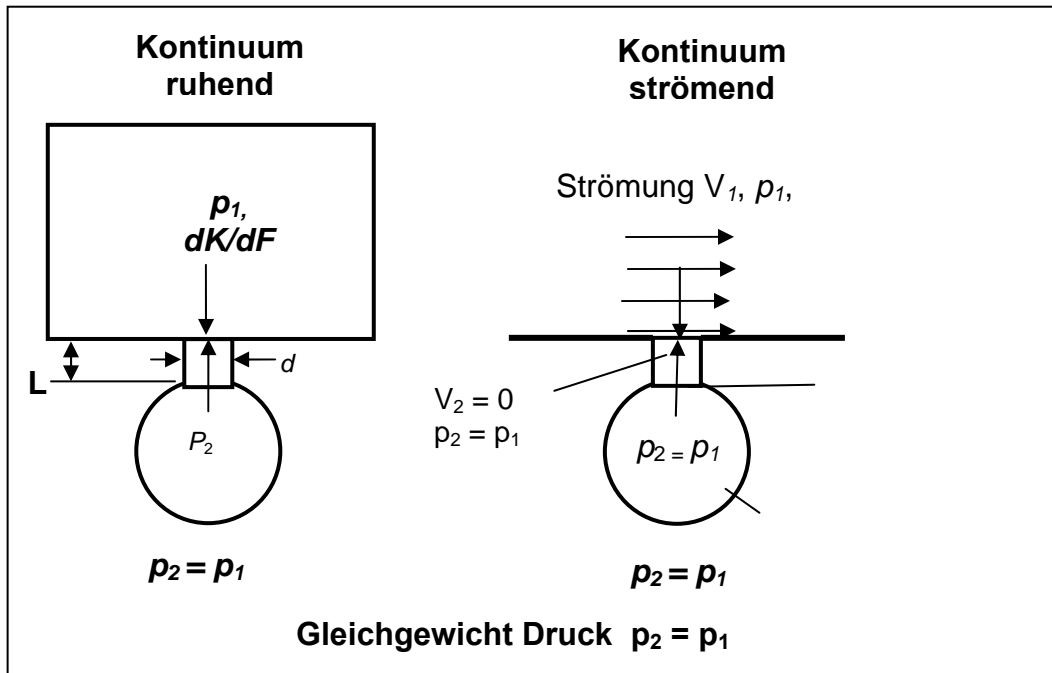


## Kap 4. Drucksonden für verdünnte Gase

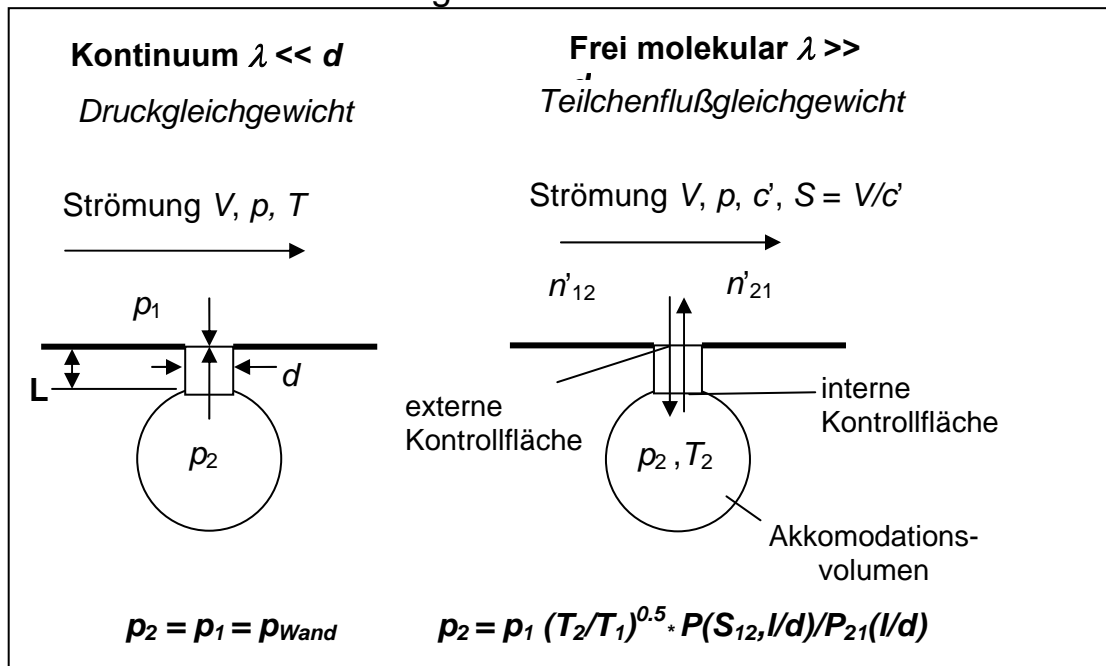
1. Unterschiede in Druckinterpretation( Kontinuum- Molekular)
2. Drucksonden im Kontinuum und Reynoldszahleinfluß auf Staudruckmessung
3. Freimolekulare Sonden
4. Der Atmospheric Explorer als Beispiel

1. Unterschiede der Druckeinstellung und Interpretation  
(Kontinuum- Molekular)

Druckeinstellung im Kontinuum




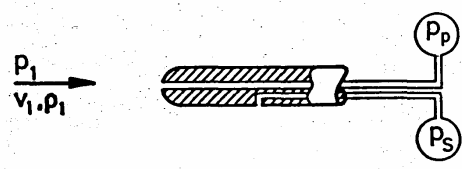
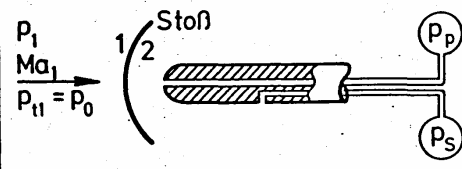
Druckeinstellung Kontinuum und frei molekular



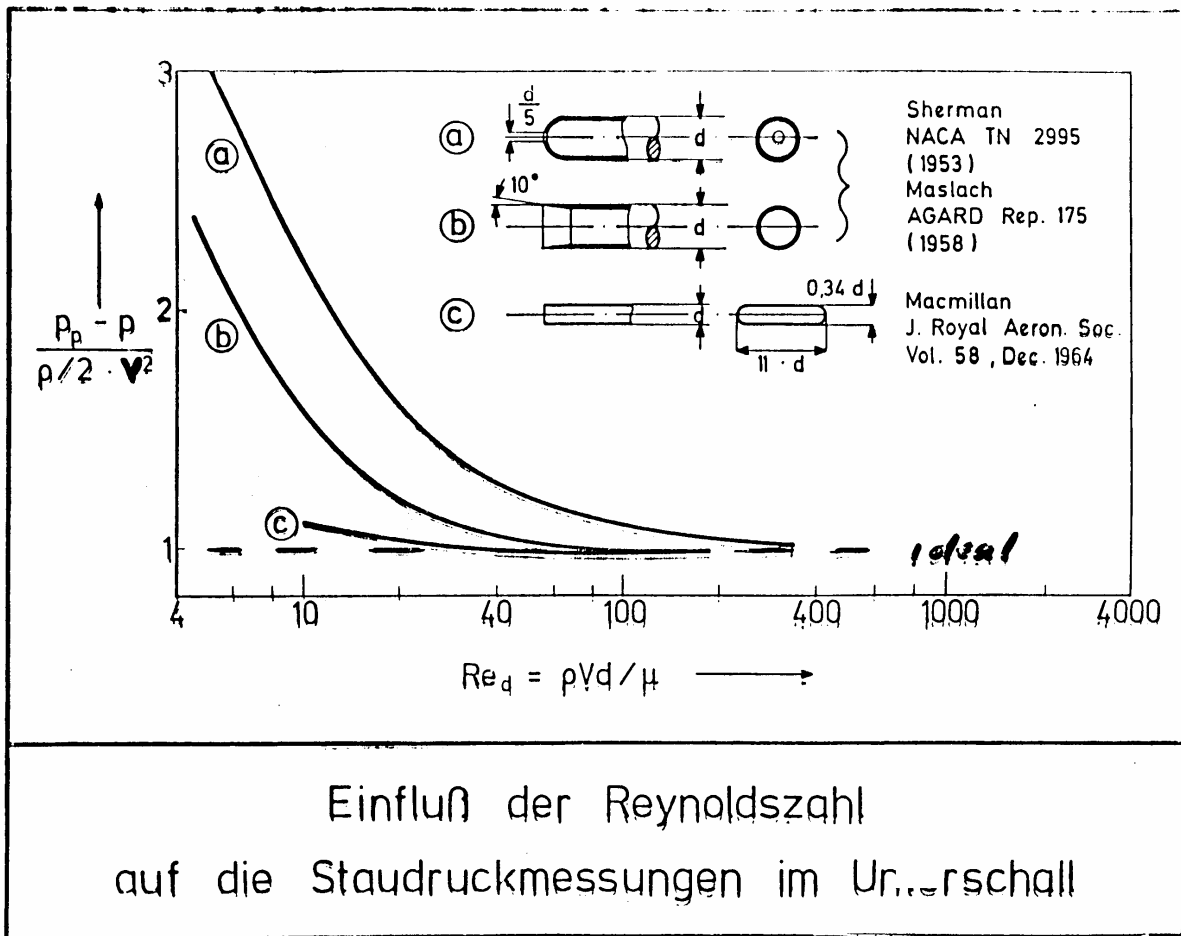
Kontinuum: Druckgleichgewicht  
Frei molekular: Teilchenflußgleichgewicht

## 2. Drucksonden im Kontinuum und Reynoldszahleinfluß auf Staudruckmessung

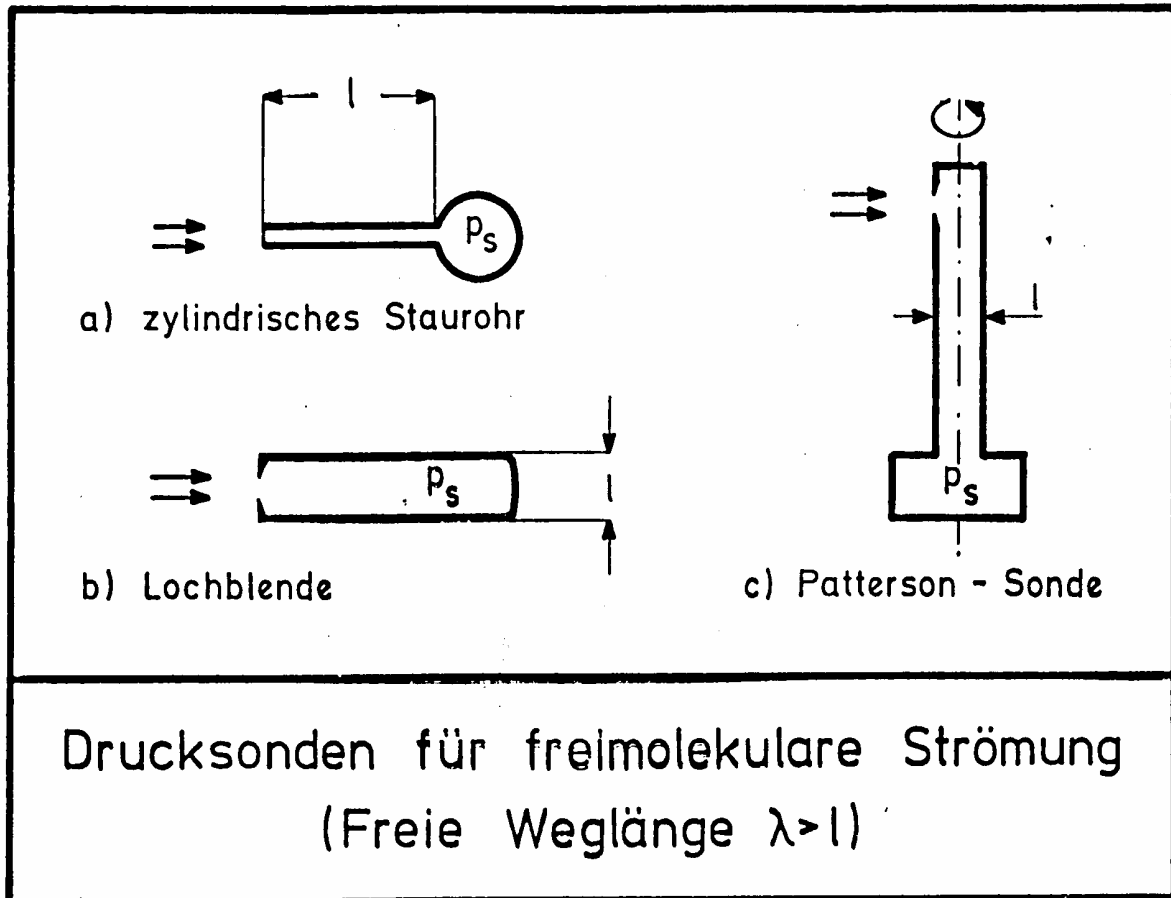
### 2.1 Staudrucksonde reibungsfrei

$p, p_s$ = statischer Druck ; $p_t, p_g$ = Gesamtdruck ; $p_p$ = Pitotdruck ; $q$ = Staudruck	
<u>a. ruhende Umgebung</u>	
$p_1$ 	= statischer Druck $p_1$
<u>b. Unterschallanströmung (inkompressibel)</u>	
	= Gesamtdruck $p_t = p_1 + \frac{\rho}{2} v_1^2$ = statischer Druck $p_1$ Staudruck $q = p_t - p_1 = \rho \frac{1}{2} v_1^2$
<u>c. Überschallanströmung</u>	
	= Gesamtdruck $p_{t2}$ (Raleigh-Pitotformel) $p_{t2} = p_1 \left[ \frac{\chi+1}{2} \cdot Ma_1^2 \right]^{\frac{\chi}{\chi-1}} \cdot \left[ \frac{\chi+1}{2\chi \cdot Ma_1^2 - (\chi-1)} \right]^{\frac{\chi}{\chi-1}}$ = statischer Druck $p_1 = p_0 \cdot \left( 1 + \frac{\chi-1}{2} Ma_1^2 \right)^{\frac{\chi}{\chi-1}}$
Drucksonden in reibungsfreier Kontinuumströmung	

## 2.2 Zähigkeitseinfluß bei kleinen Reynoldszahlen im Unterschall



### 3. Freimolekulare Sonden



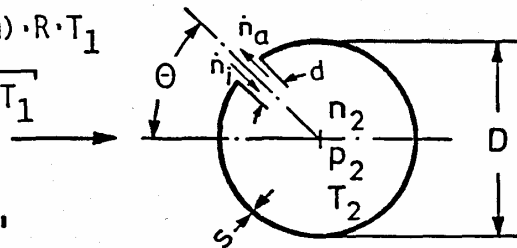
## Patterson-Sonde

$$p_1 = (n_1 \cdot m) \cdot R \cdot T_1$$

$$c_1' = \sqrt{2R \cdot T_1}$$

$$v_1$$

$$S_1 = v_1 / c_1'$$



Bedingung:

$$\lambda_1 \gg D$$

$$s \ll d$$

### 1. Gleichgewichtsbedingung:

Eintretender Teilchenfluss  $\dot{n}_1 =$  Austretender Teilchenfluss  $\dot{n}_2$

$$\dot{n}_1 = n_1 \cdot \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\pi}} \cdot c_1' \cdot \chi(S_1 \cdot \cos \theta)$$

$$\dot{n}_2 = n_2 \cdot \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\pi}} \cdot c_2' \quad c' = (2RT)^{0.5}$$

$$n_2 \cdot c_2' = n_1 \cdot c_1' \cdot \chi(S_1 \cdot \cos \theta)$$

### 2. Druck im Sondenraum:

$$\frac{p_2}{\sqrt{T_2}} = \frac{p_1}{\sqrt{T_1}} \cdot \chi(S_1 \cdot \cos \theta)$$

### 3. Teilchenflussfunktion $\chi$ :

$$\chi = e^{-(S_1 \cdot \cos \theta)^2} + \sqrt{\pi} \cdot S_1 \cdot \cos \theta \left[ 1 + \operatorname{erf}(S_1 \cdot \cos \theta) \right]$$

$$|S_1 \cdot \cos \theta| \ll 1 : \quad \chi = 1 + \sqrt{\pi} \cdot S_1 \cdot \cos \theta$$

$$|S_1 \cdot \cos \theta| \rightarrow +\infty : \quad \chi = 2 \cdot \sqrt{\pi} \cdot S_1 \cdot \cos \theta$$

$$|S_1 \cdot \cos \theta| \rightarrow -\infty : \quad \chi = 0$$

Theorie der Patterson-Sonde (Ideale Lochblendensonde)

a. ruhende Umgebung	
	$p_2 = p_1 \cdot \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$
b. strömende Umgebung: Bestimmung der molekularen Machzahl $S_1$	
	$p_2(0^\circ) = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} \cdot p_1 \cdot X(S_1)$
	$p_2(90^\circ) = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} \cdot p_1$
$\frac{p_2(0^\circ)}{p_2(90^\circ)} = X(S_1)$	
c. Vereinfachungen:	
Unterschall: $\frac{p_2(0^\circ)}{p_1(90^\circ)} = 1 + \sqrt{\pi} \cdot S_1$ ,	
Hyperschall: $\frac{p_2(0^\circ)}{p_1(90^\circ)} = 2 \cdot \sqrt{\pi} \cdot S_1$ ,	

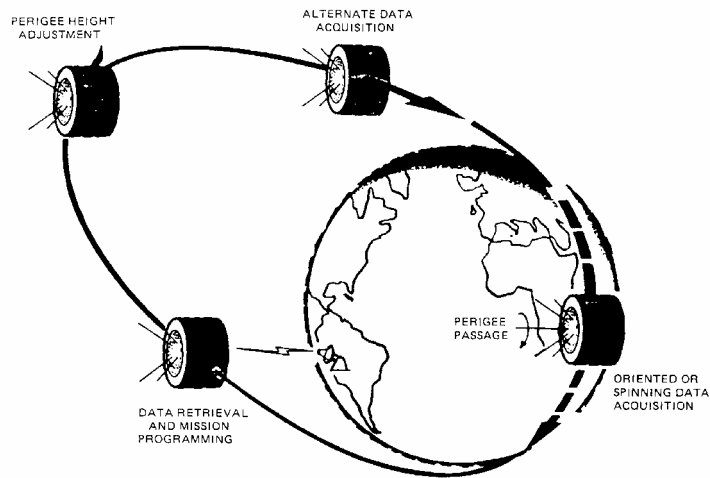
Ideale Pattersonsonde in frei molekularer Strömung

Sonde zylindrisch, um Achse drehbar, Wanstärke  $s \ll d$  Druckbohrung

	<p>1. Oberflächendruck <math>p_w</math></p> $\frac{p_w(\theta)}{\frac{\rho}{2} V_1^2} = 2 \cdot \cos^2 \theta + \sqrt{\pi} \cdot \frac{1}{S_1} \cdot \sqrt{\frac{T_w}{T_1}} \cdot \cos \theta$
	<p>2. Druck im Sondenraum</p> $\frac{p_s(\theta)}{\frac{\rho}{2} V_1^2} = 2 \cdot \sqrt{\pi} \cdot \frac{1}{S_1} \cdot \sqrt{\frac{T_w}{T_1}} \cdot \cos \theta$
<p>Druck auf die Oberfläche und Druck im Sondenraum bei frei molekularer Hyperschallströmung (<math>S_1 = \frac{V_1}{C_1} \gg 1</math>)</p>	

## 5. Der Atmospheric Explorer als Beispiel

( NASA SP 490, Into the Thermosphere, The Atmosphere Explorers, NASA 1987)



Geometry and Reference Data	Dimension
Height h     45 Inches	1.1435 m
Diameter 52.5 inches (enclosing circ. cylinder)	1.3350 m
Reference area (projected area in X direction)	1.5242 m <sup>2</sup>
Reference length	1.3350 m
Moment Reference Xm; Ym; Zm	0.0 m     0.0 m     0.5715 m
Total Mass	665 kg ±66,5 kg
<b>Orbital data</b>	
Apogee	3000 - 4500 km initial
Perigee	130 – 160 km
Inclination	68.°
<b>Attitude</b>	
Attitude	Flight direction normal to z axis
Adjustable Spin rate	0; or 1-10 rpm
<b>Launch dates:</b> AE-C / AE-D / AE-E	13. 12. 73 / 6.10.75 / 20.11.75

# Meßaufgaben der Atmospheric Explorer

Vermessung der Hohen Atmosphäre und Thermosphäre

Beispiele aus mehr als 17 Experimente

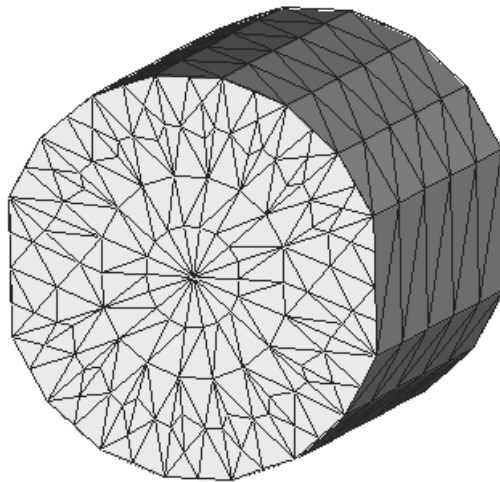
## **3—Achsen- Beschleunigungsaufnehmer**

Atmosphärische Dichtebestimmung über Abbremsung und Widerstandsbeiwert

**Massen-Spektrometer für neutrale Gase** ( Open Source Type)

## **Messung der Neutralgastemperatur**

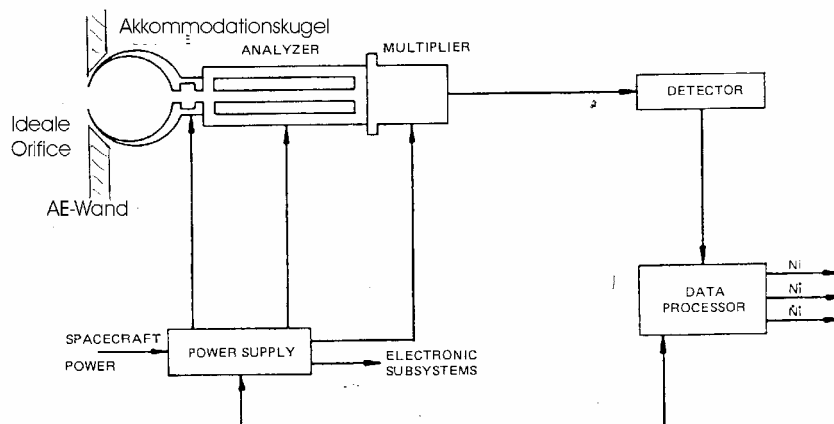
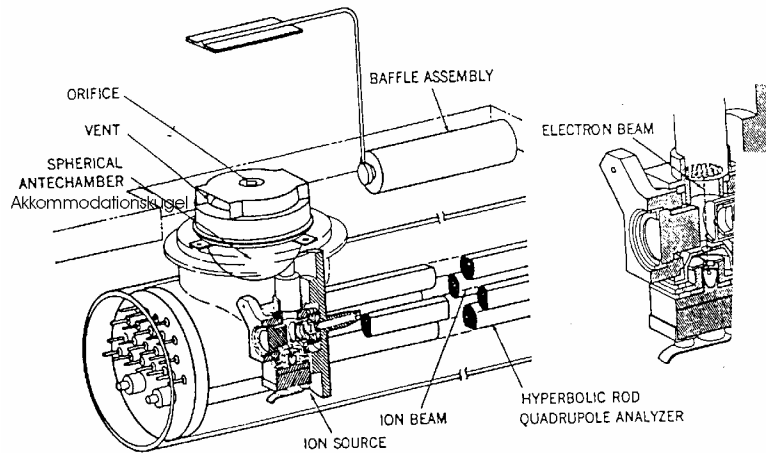
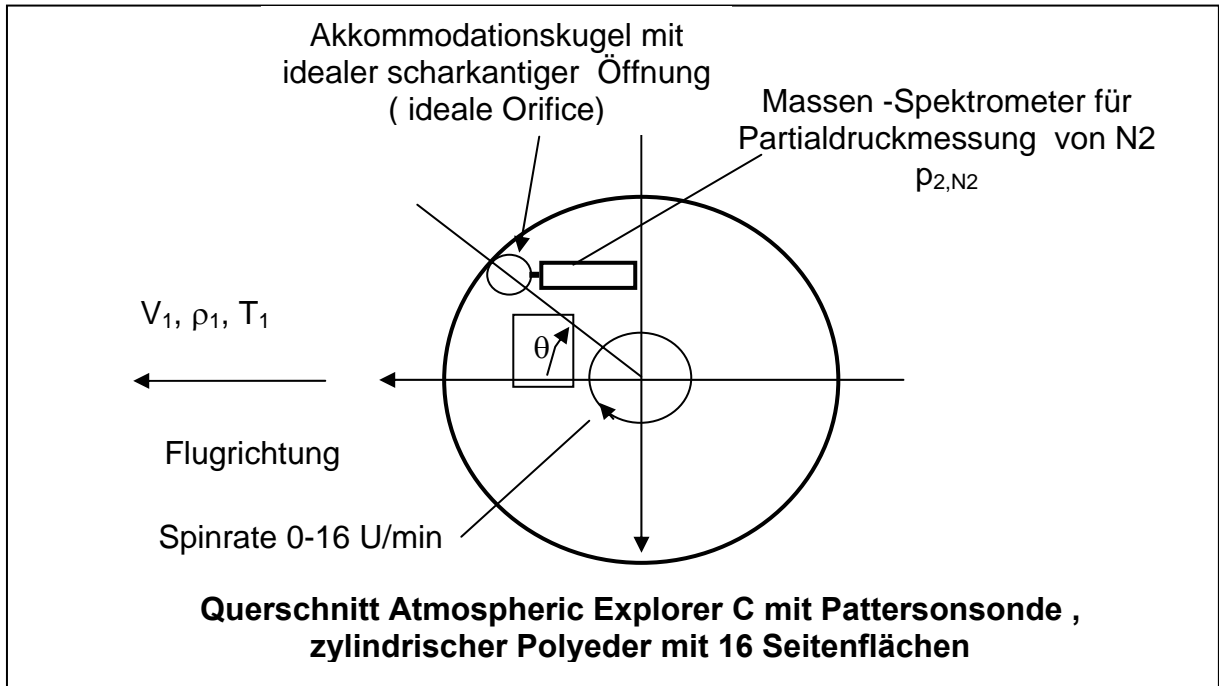
Ausführung als ‚ideale Pattersonsonde‘ mit N<sub>2</sub>-Partialdruckmessung über Massenspektrometer



**Äussere Geometrie AE**

# Messung der Neutralgastemperatur

Ideale Pattersonsonde' mit N<sub>2</sub>-Partialdruckmessung über Massenspektrometer



Bilder des Experimentaufbaus

# Auswertung mit Theorie Pattersonsonde

## Hyperschallannahme, Vereinfachung c

AE Explorer rotiert

Druck wird als Funktion des Drehwinkels gemessen.

Zwei Werte sind wichtig:

Senkrechte Anströmung :      Druckmaximum bei  $\theta = 0^\circ$ ,  
Parallele Anströmung:      Druck bei  $\theta = 0^\circ$ ,

Sondengleichung:

$$\frac{P(0^\circ)}{P(90^\circ)} = 2\sqrt{\pi}S$$

mit  $S = \frac{V}{c'} = \frac{V}{\sqrt{2RT}}$  und bekannter Fluggeschwindigkeit V kann T bestimmt werden.

$$T = 2\pi \frac{V^2}{R} \left( \frac{P(90^\circ)}{P(0^\circ)} \right)^2$$

Für R ist Gaskonstante von Stickstoff einzusetzen da Partialdrücke von Stickstoff gemessen wurden .