

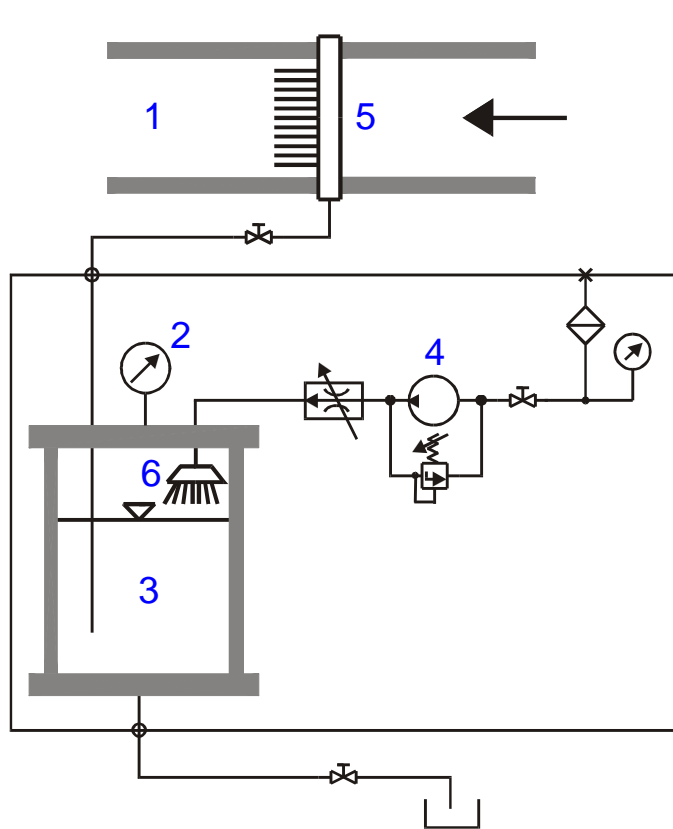
## 3.2.1.1 Keimgehalt (2)



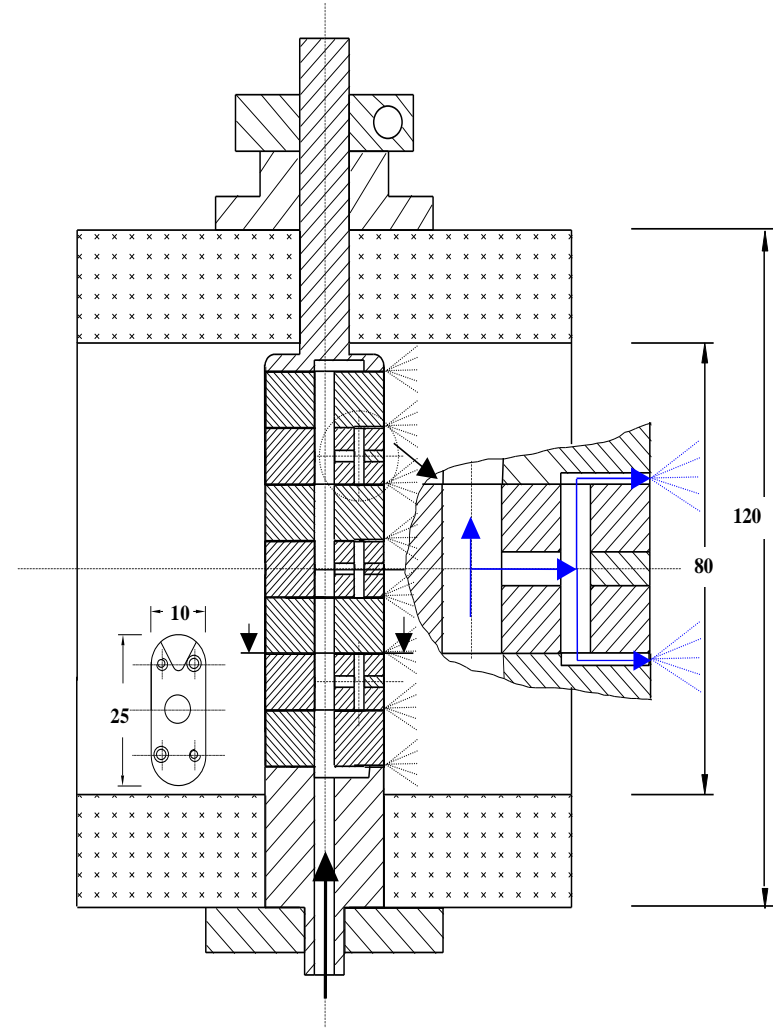
### Keimgehalt abhängig von:

- Vorbehandlung des Fluids  
(d.h. Beruhigen, Filtern, Aufheizen, Unterdruck)
- Konzentration der gelösten Gase  
(→ Diffusionsvorgänge)
- Vorgeschichte  
(d.h. Geschwindigkeits- und Druckänderungen  
infolge der Anlagengestaltung)
- Referenzdruck  $p_0$   
(Keimgehalt ist abhängig vom Druckniveau)
- evtl. Keiminjektion

# 3.2.1.1 Keimgehalt (3) - Hilfssystem Keimgenerator



- 1 Messstrecke
- 2 Manometer
- 3 Sättigungsbehälter
- 4 Hochdruckpumpe
- 5 Segmente
- 6 Brausenkopf

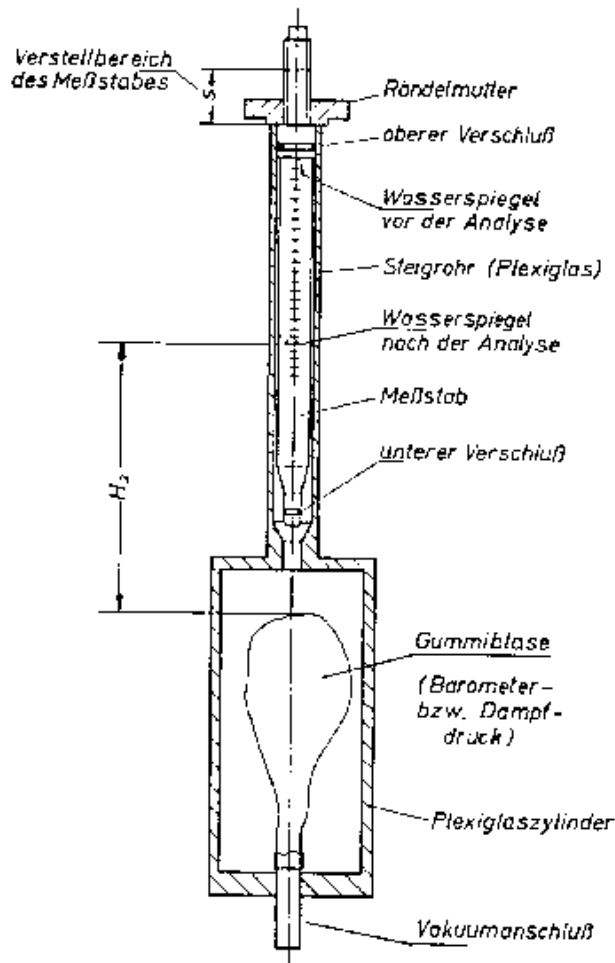


## 3.2.1.1 Keimgehalt (4) – Meßverfahren



- Van-Slyke-Apparat → **totales Gasvolumen**
  - mikroskopische Aufnahmen, Holographie
  - Laser-Streulicht-Verfahren
  - Venturi-Düse mit Center-Body
  - in-situ-Düse
  - akustisches Verfahren
- } → **Keimspektrum**  
 $N = N (R_0) [1/\text{cm}^3]$
- einfache Venturi- Düse, Wirbeldüse
  - in-situ-Düse
- **kritischer Druck**

## 3.2.1.1 Keimgehalt (5) – Brandtscher Apparat

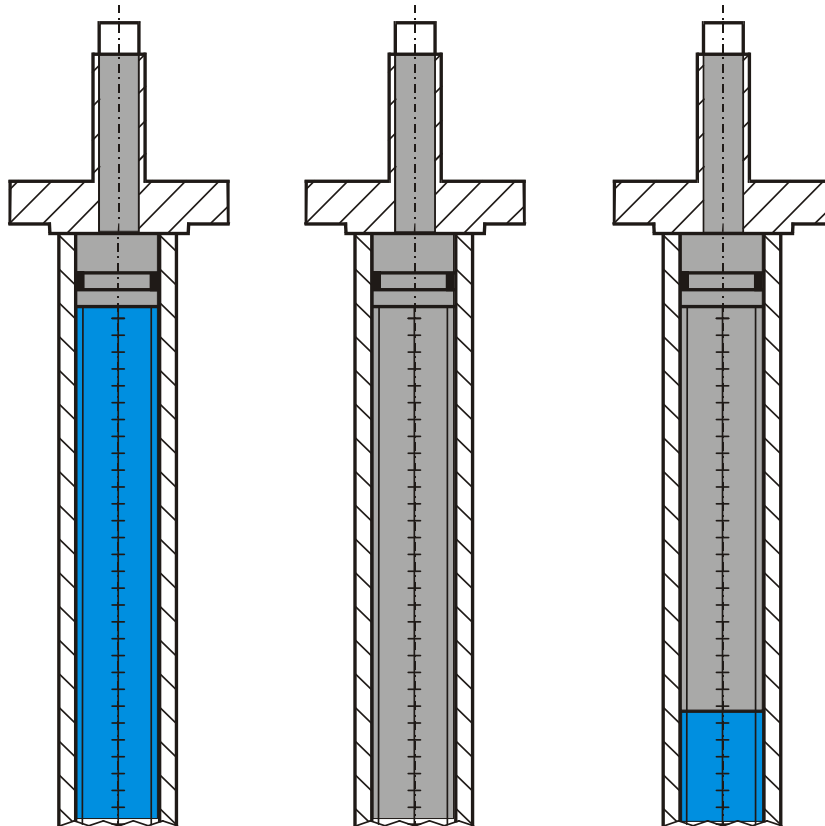


### Vorgehen:

- 1.) Vor Befüllen Gummiblase soweit aufblasen, dass sie die Gehäusewand gerade nicht berührt.
- 2.) Steigrohr füllen und mit Messstab verschließen, so dass sich keine Luft mehr im Steigrohr befindet und die Nullmarkierung mit dem Wasserspiegel abschließt.
- 3.) Füllgewicht bestimmen.
- 4.) Druckabsenkung in der Blase. Der frei werdende Raum wird von dem ausgeschiedenen Gas und Wasserdampf eingenommen.
- 5.) Belüftung der Blase.
- 6.) Sammeln des Gases im Steigrohr durch schütteln.

**1 - 6 muss fünf bis sechs mal wiederholt werden**

## 3.2.1.1 Keimgehalt (6) – Brandtscher Apparat



Nach Befüllen

Unter Vakuum

Nach Schütteln

■ Gas, Wasserdampf, Luft

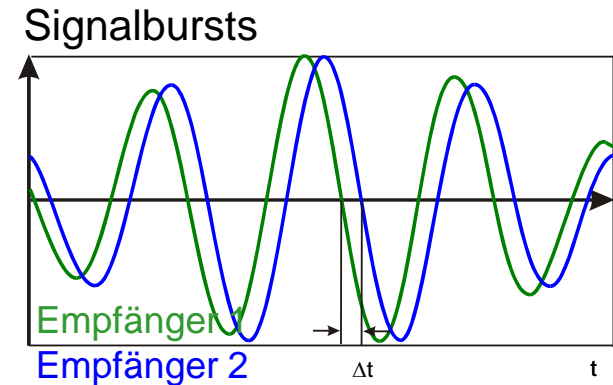
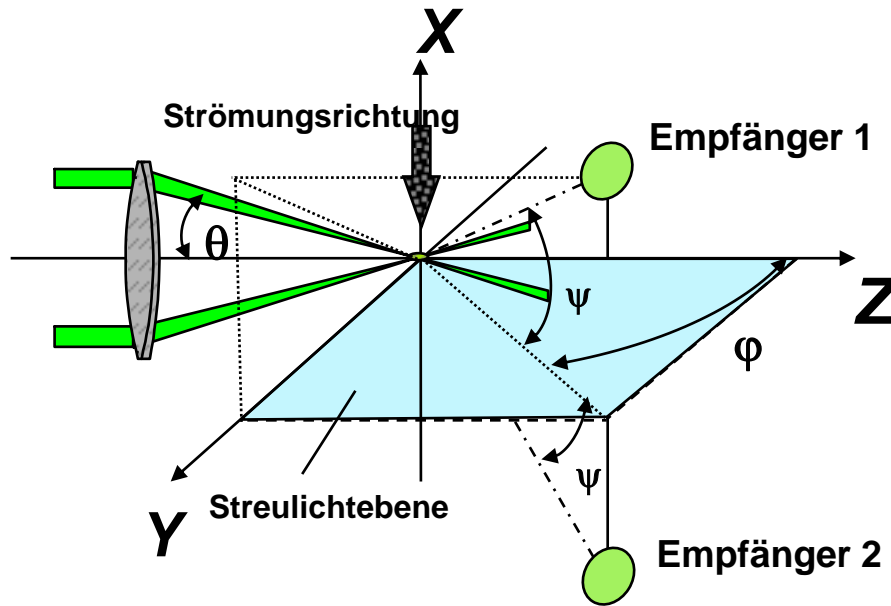
■ Testflüssigkeit

$$p = p_B - \rho_W \cdot g \cdot H_2$$

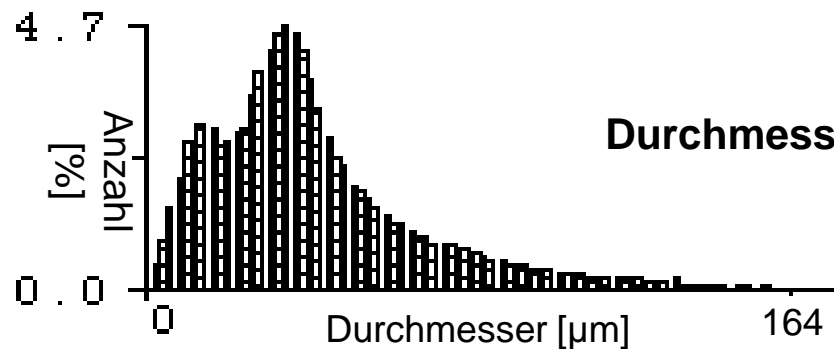
$$V_{G/B} = V_G \cdot \frac{p_B - \rho_W \cdot g \cdot H_2}{p_B}$$

$$c = \frac{V_G}{V_W} \cdot \left( 1 - \frac{\rho_W \cdot g \cdot H_2}{p_B} \right)$$

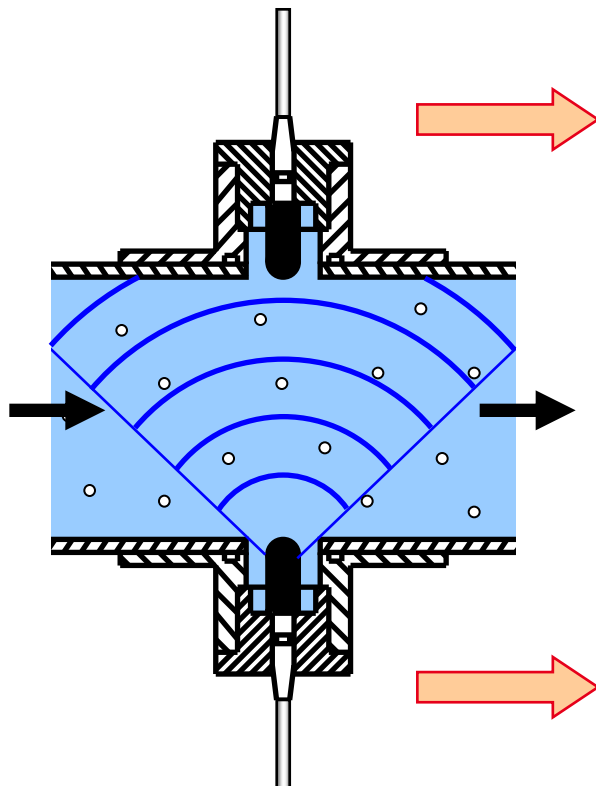
# 3.2.1.1 Keimgehalt (7) – Phasen-Doppler-Anemometer (PDA)



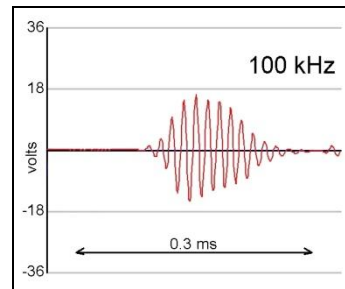
$\Delta t \sim$  Durchmesser



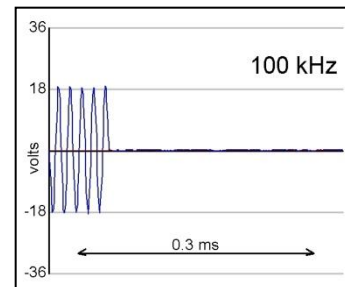
# 3.2.1.1 Keimgehalt (8) – Acoustic Bubble Spectrometer (ABS)



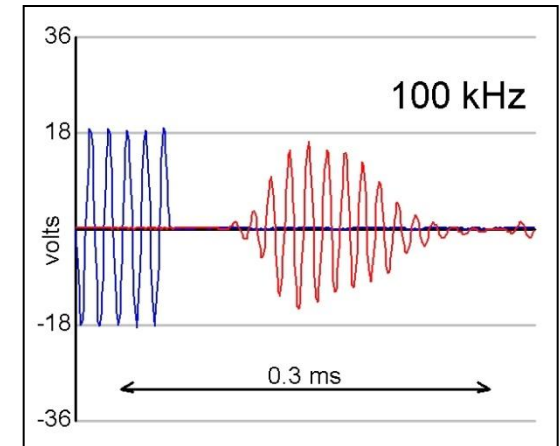
**Gegenüberliegende Hydrophone**



Empfangenes Signal



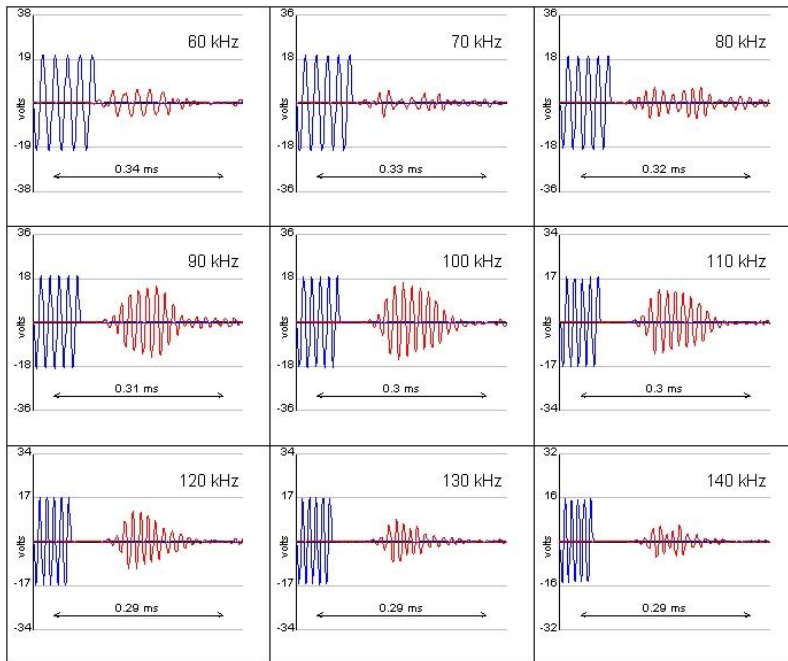
Emittiertes Signal



**Vergleich**  
ergibt Schallübertragungsverhalten des Fluids

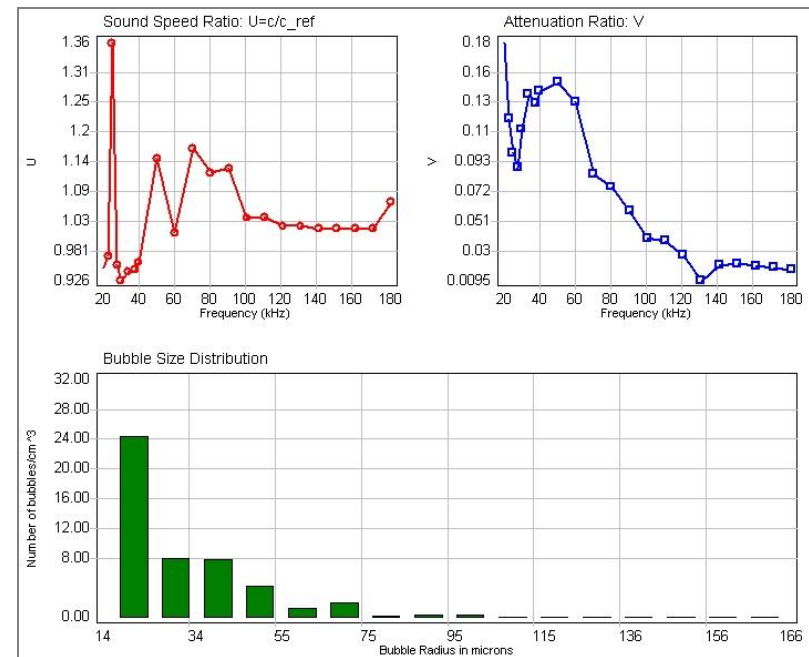
**Keime**  
verändern das Übertragungsverhalten

# 3.2.1.1 Keimgehalt (9) – Acoustic Bubble Spectrometer (ABS)



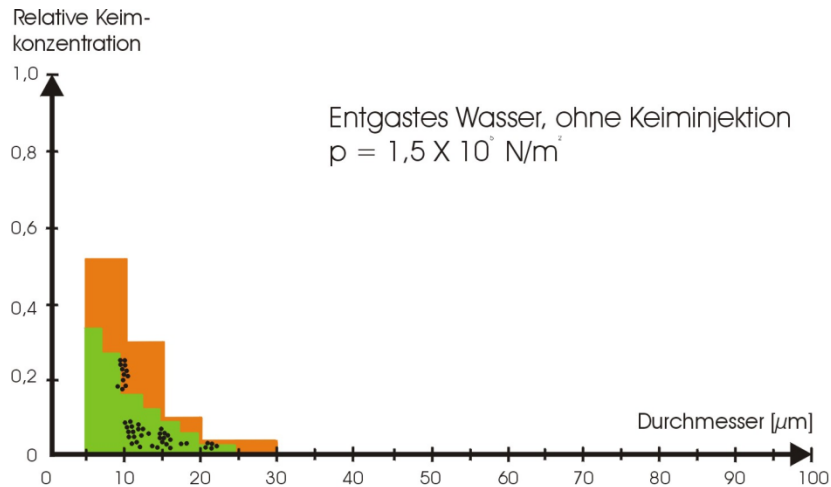
**Auswertung**  
Schallgeschwindigkeit  
und -dissipation für alle  
Frequenzen  
=> Keimspektrum

**Messung**  
Übertragungsverhalten  
bei 22 Frequenzen  
(zw. 20 und 180 kHz)



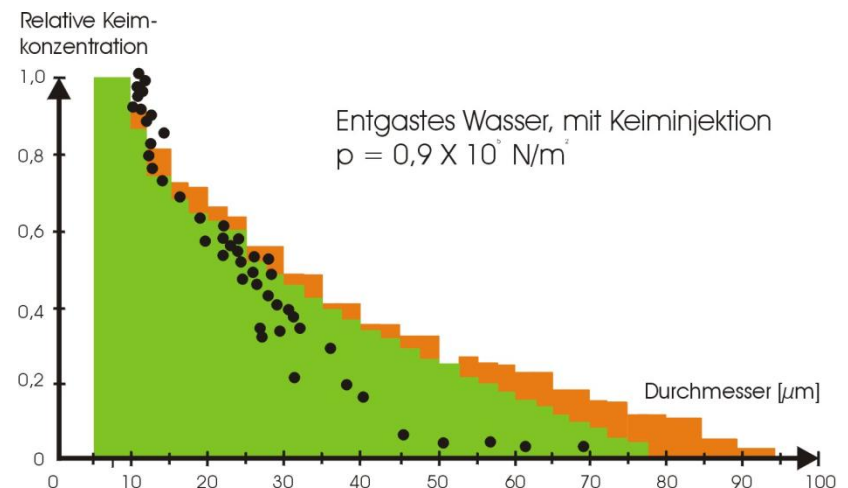


# 3.2.1.1 Keimgehalt (10) – Vergleich unterschiedlicher Messverfahren



## Legende

- Holography
- PDA
- Venturi - Düse mit Centerbody



## 3.2.1.1 Keimgehalt (11) – Vor- und Nachteile unterschiedlicher Messverfahren



### Holography

- Auflösung abhängig von Fremdlichteinfall und Körnigkeit der fotosensitiven Schicht
- hochgenau, jedoch keine in-situ Messung möglich.

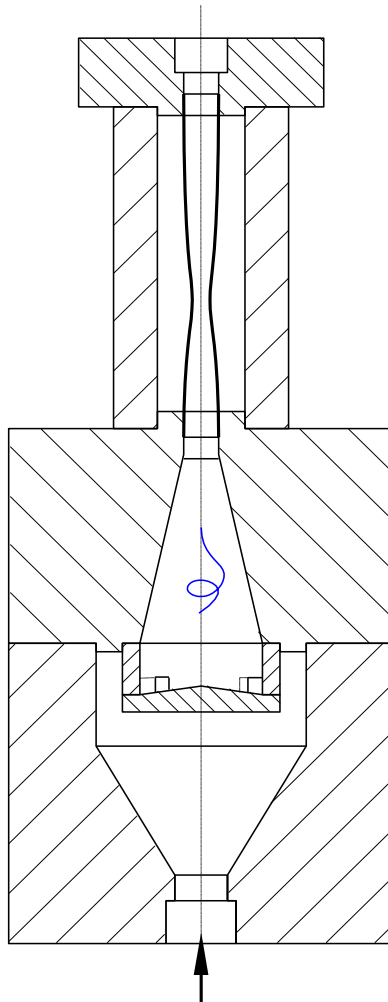
### PDA

- Feststoffpartikel werden mit gemessen
- praktische Durchführung sehr schwierig (Einstellungen am Lasersystem)

### Venturi-Düse mit Centerbody

- besitzt nur einen gewissen Messbereich
- prinzipbedingte Schwierigkeiten (Blasendynamik, Wechselwirkung von Nachbarblasen, zeitliches Auflösungsvermögen)

## 3.2.1.1 Keimgehalt (12) – Wirbeldüse



### Funktionsprinzip

Überlagerung von

- Wirbelströmung
- Düsenströmung

liefert im engsten Querschnitt

$$p_{WK} = p_{WD} - K Q_{WD}^2$$

$p_{WK}$  = Druck im Wirbelkern

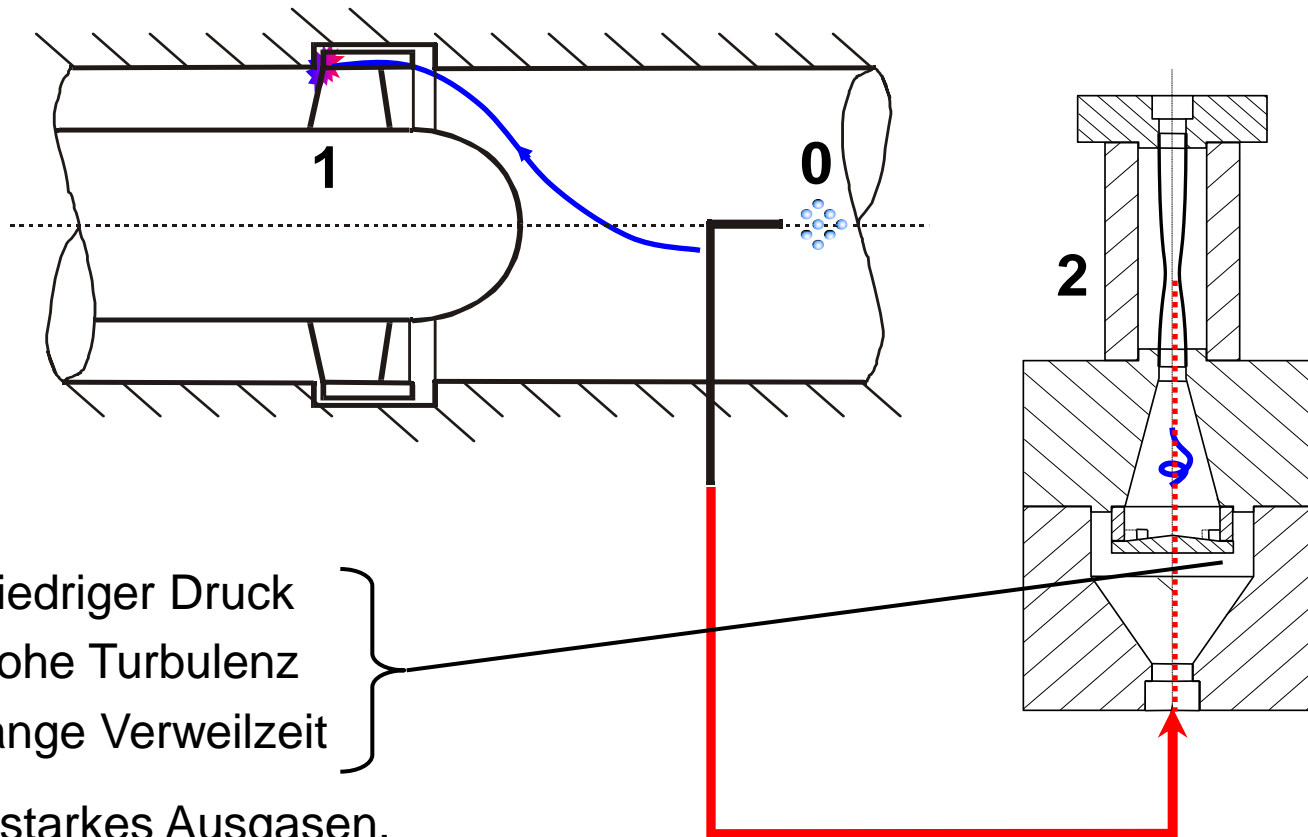
$p_{WD}$  = Druck vor dem Eintritt in die Wirbeldüse

$Q_{WD}$  = Durchfluss durch die Wirbeldüse

$K$  = Kalibrierfaktor

= f(Geometrie, Grenzschicht, Reibung)

### 3.2.1.1 Keimgehalt (13) – Einsatz der Wirbel- düse am Prüfstand und Ihre Nachteile

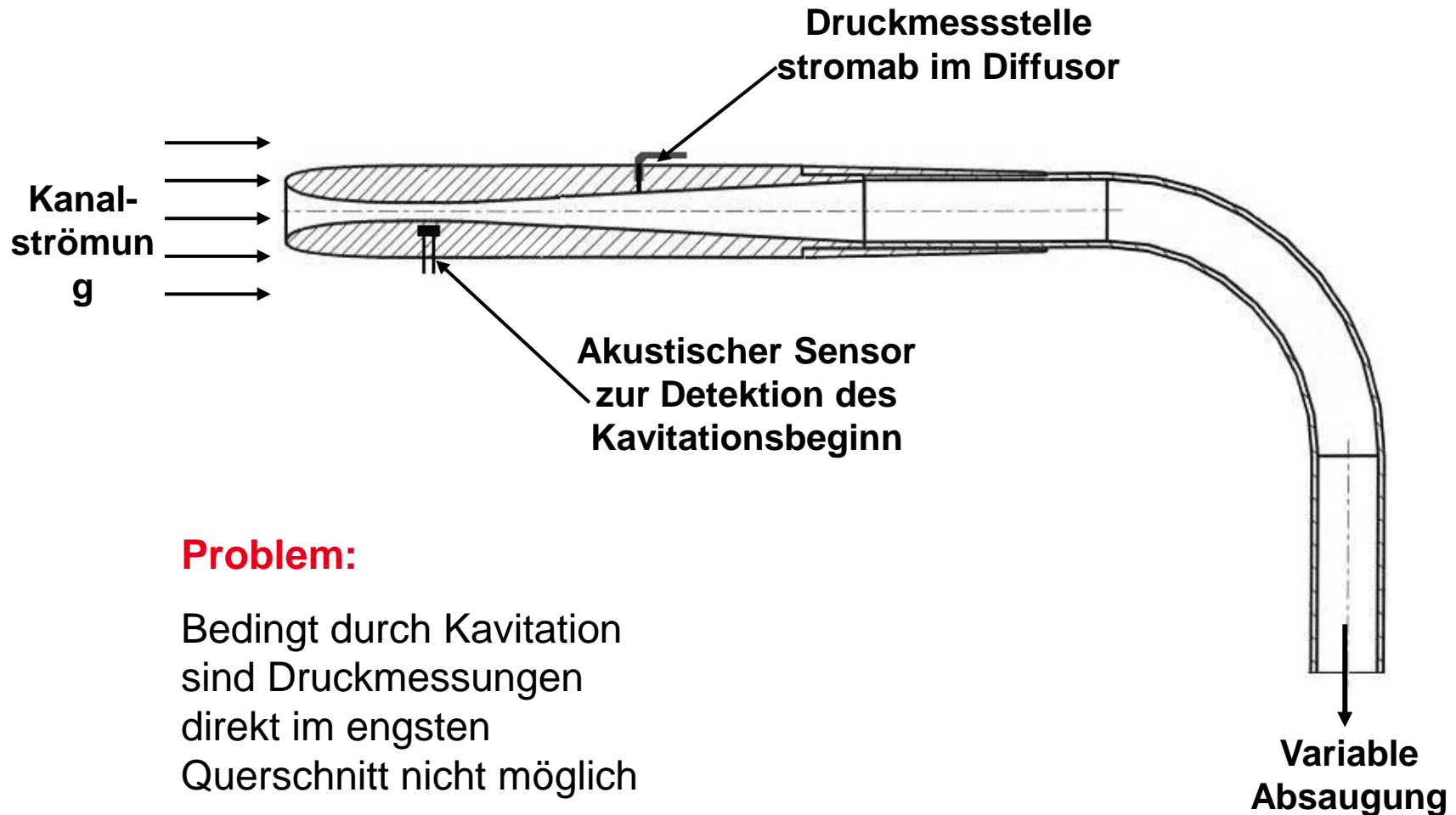


- niedriger Druck
- hohe Turbulenz
- lange Verweilzeit

Ggf. starkes Ausgasen,  
Entstehen von Keimen,  
die Wasserqualität ändert sich.

⇒ modifizierte Kavitationszahl  
nicht anwendbar

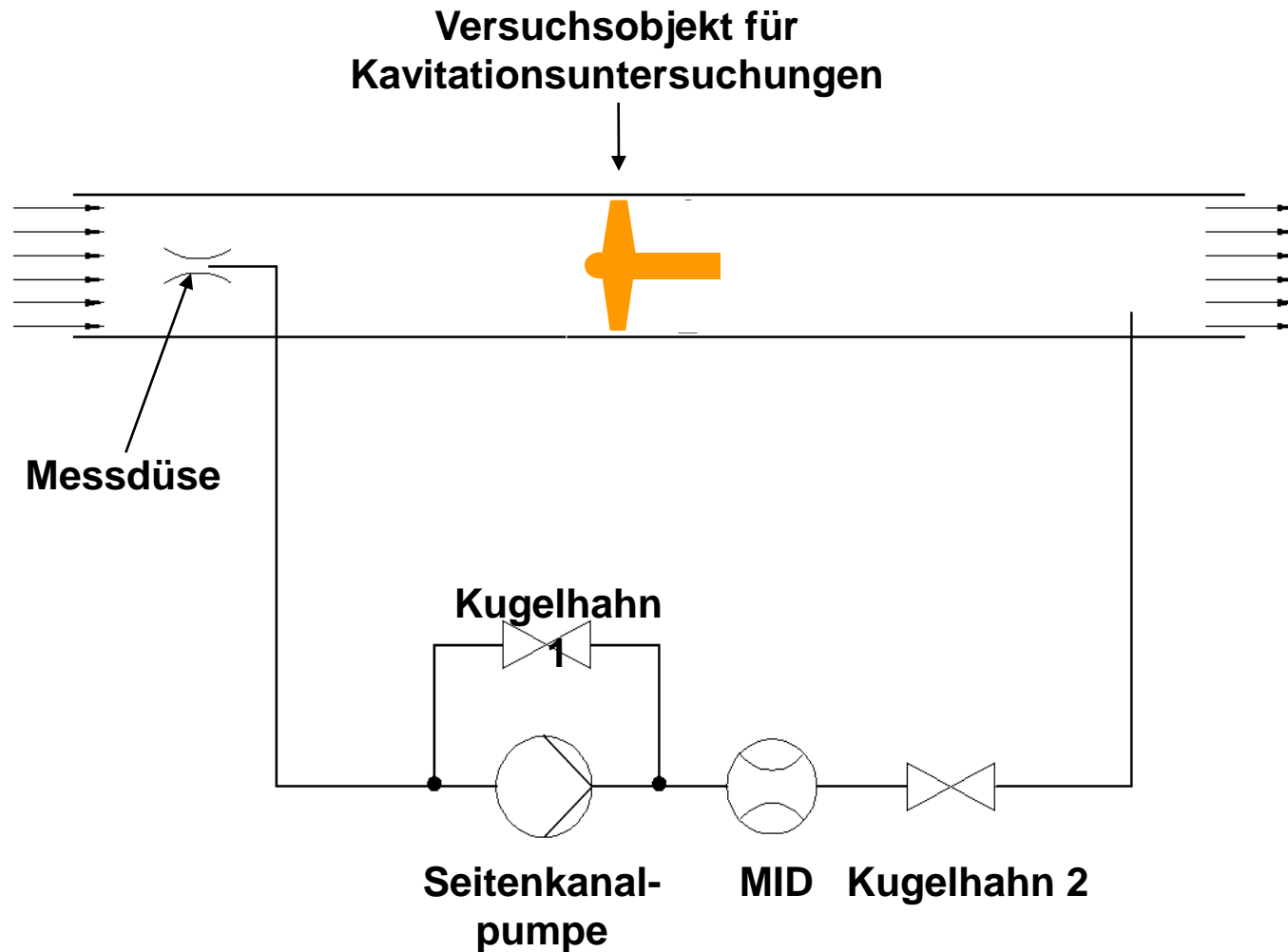
## 3.2.1.1 Keimgehalt (14) - Aufbau der in-situ-Düse



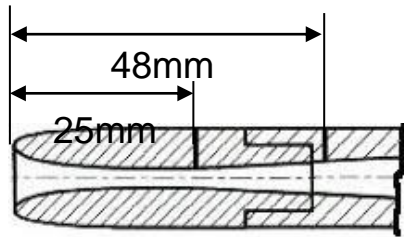
### Problem:

Bedingt durch Kavitation  
sind Druckmessungen  
direkt im engsten  
Querschnitt nicht möglich

# 3.2.1.1 Keimgehalt (15) – Einsatz der in-situ-Düse am Prüfstand



### 3.2.1.1 Keimgehalt (16) – Durchflusscharakteristik der in-situ-Düse (Messung/Simulation)

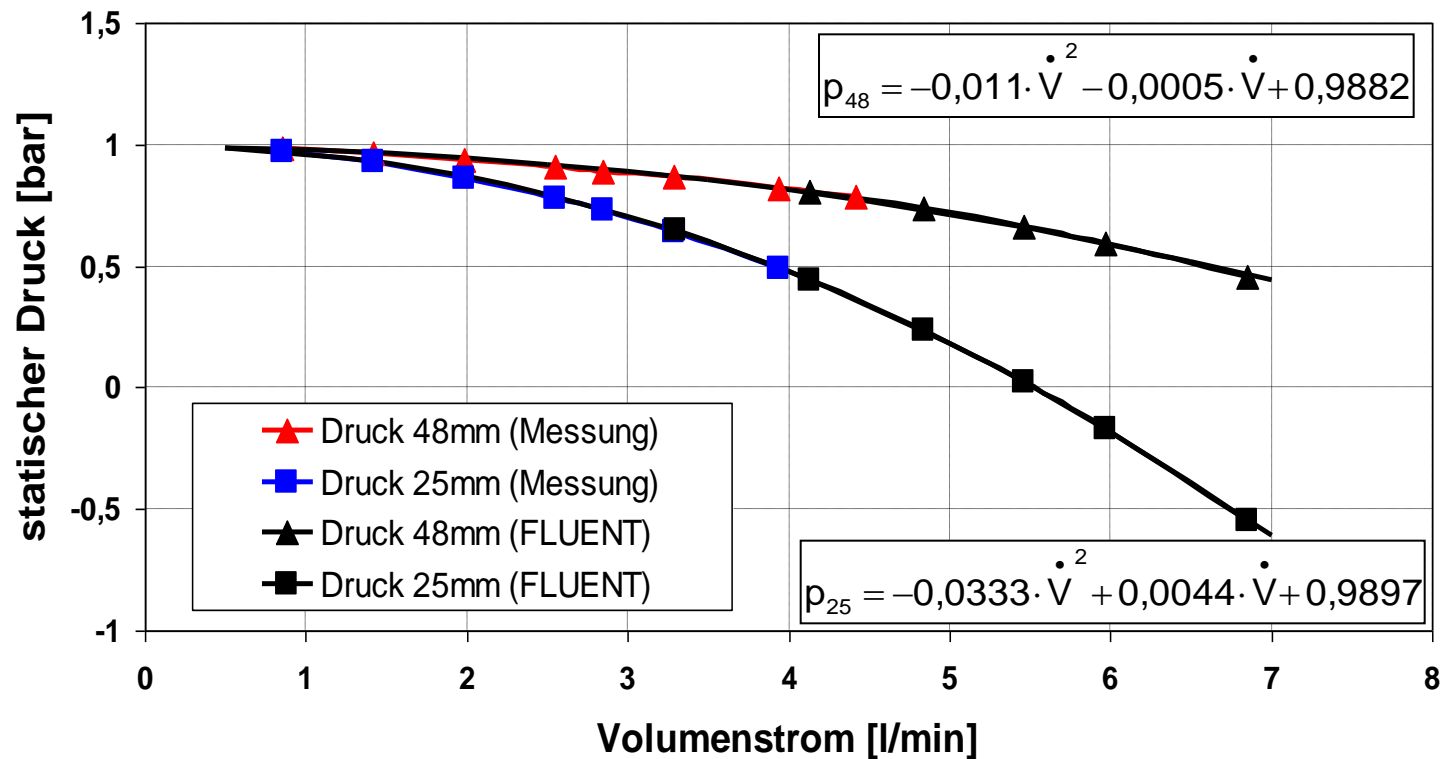


**Druckdifferenz (Düsencharakteristik):**

$$\Delta p = p_{48} - p_{25} = 0,0223 \cdot \dot{V}^2 - 0,0049 \cdot \dot{V} - 0,0015$$

**Zugspannung:**

$$Z_f = p_v - (p_{48} - \Delta p)$$

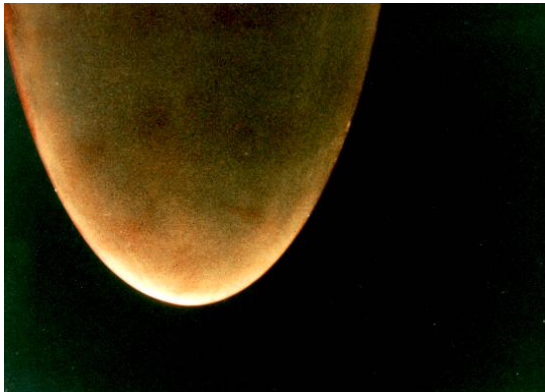


## 3.2.1.2 Zugfestigkeit (1)

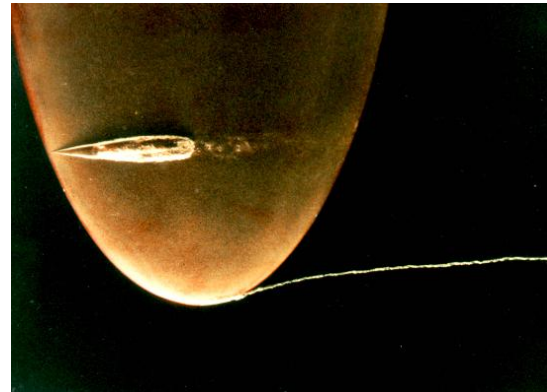
**Definition:**

$$Z = p_v(\vartheta) - p_{WK} = p_v(\vartheta) - p_{WD} + K \cdot Q_{WD}^2$$

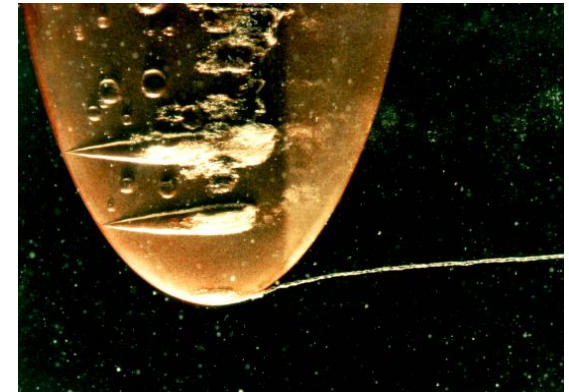
$$p_v(\vartheta) = \text{Dampfdruck}$$



$Z > 0$   
„zugfestigkeitsbehaftet“



$Z = 0$   
„zugfestigkeitsfrei“



$Z < 0$   
negative Zugfestigkeit  
(Pseudokavitation)

$$c_0 = 9,50 \text{ m/s}; \sigma = 0,69$$



## 3.2.1.2 Zugfestigkeit (2)

### Berücksichtigung der Zugfestigkeit

Einführung der „modifizierten Kavitationskennzahl“

$$\sigma_i' = \frac{p_0 - p_{\text{krit}}}{\frac{\rho}{2} \cdot c_0^2} = \frac{p_0 - (p_v - p_{\text{ts}})}{\frac{\rho}{2} \cdot c_0^2}$$

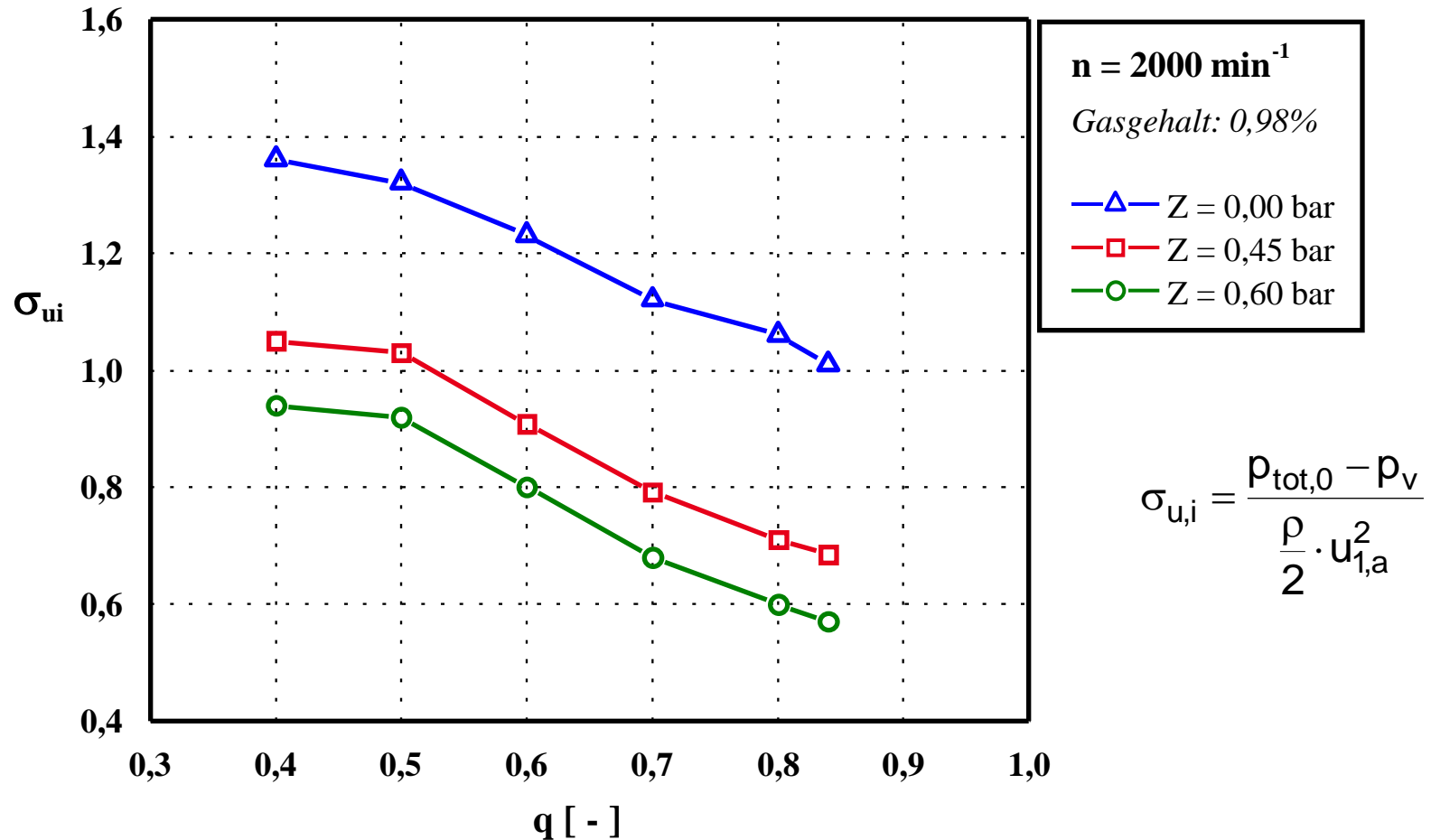
mit:  $p_{\text{ts}} = c \cdot Z$

$$0,26 \leq c \leq 0,46$$

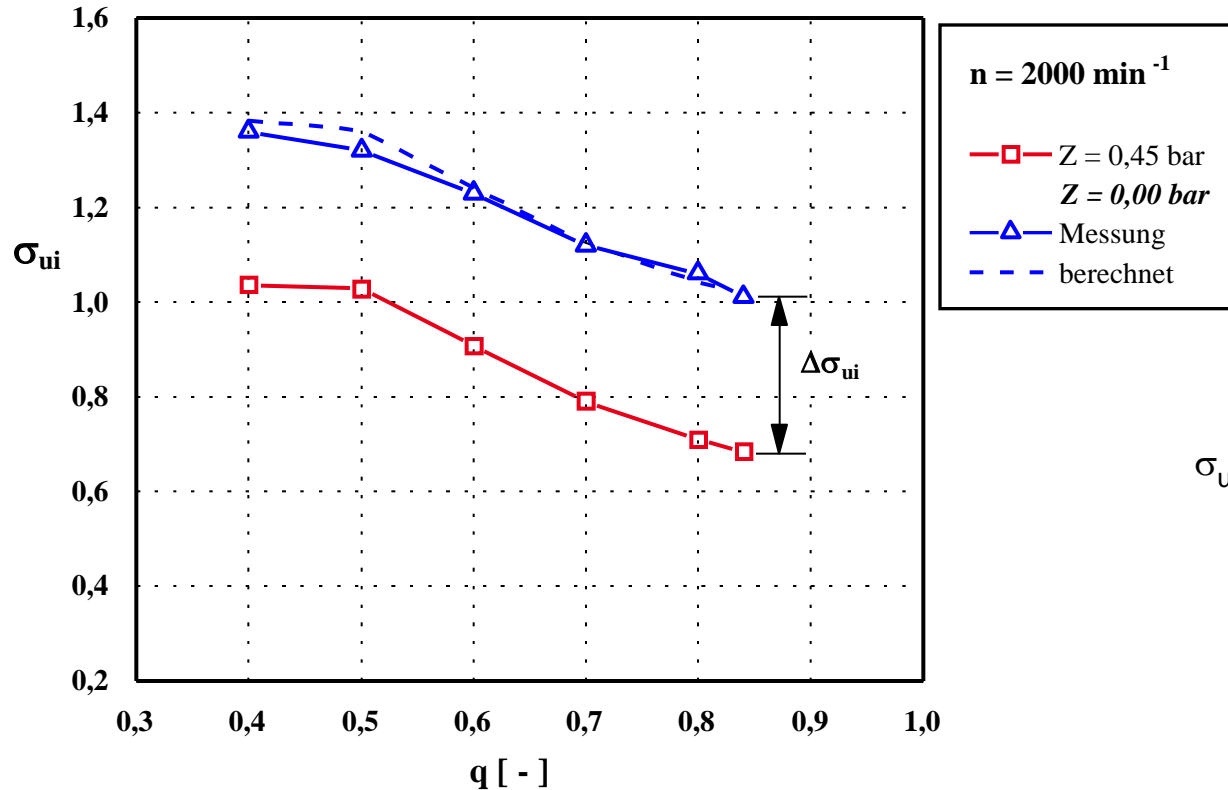
$$\sigma_i' = \sigma_i + \Delta\sigma_{\text{ts}}$$

mit:  $\Delta\sigma_{\text{ts}} = \frac{p_{\text{ts}}}{\frac{\rho}{2} \cdot c_0^2}$

## 3.2.1.2 Zugfestigkeit (3)



## 3.2.1.2 Zugfestigkeit (4)



$$\sigma_{u,i} = \frac{p_{\text{tot},0} - p_v}{\frac{\rho}{2} \cdot u_{1,a}^2}$$

$$\sigma'_{u,i} = (\sigma_{u,i})_{\text{ber.}} = \frac{p_{\text{tot},0} - p_{\text{krit}}}{\frac{\rho}{2} \cdot u_{1,a}^2} = \frac{p_{\text{tot},0} - (p_v - p_{\text{ts}})}{\frac{\rho}{2} \cdot u_{1,a}^2} = \sigma_{u,i} + \Delta\sigma_{u,i}$$

## 3.2.2 Art der Feststellung



### Visuell:

a.) optische Zugänglichkeit

- b.) Empfindlichkeit:
- $R_{\max} \geq R_{\text{Gr,vis}}$
  - Ereignis-Häufigkeit  
(da ja stochastischer Vorgang)

### Akustisch:

a.) akustische Zugänglichkeit

- b.) Empfindlichkeit:
- Aufnahmeart und -ort
  - Frequenzbereich
  - Störgeräusche
  - $R_{\max} \geq R_{\text{Gr,ak}}$
  - Ereignis-Häufigkeit  
(da ja stochastischer Vorgang)

Bedingung für  $R_{\max} \geq R_{\text{Gr,x}}$ :

- $p^* \leq p_{\text{krit}}$
- $\Delta t \geq \Delta t_{\min}(p_v - p^*, R_{\text{Gr}})$