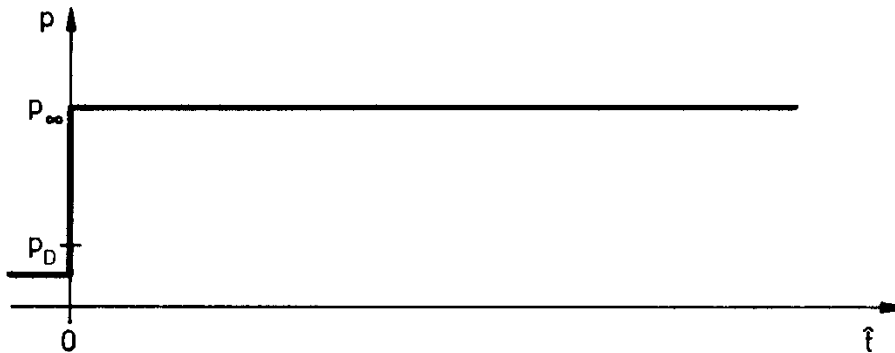


2.2.6 Blasen-Implosion (4)

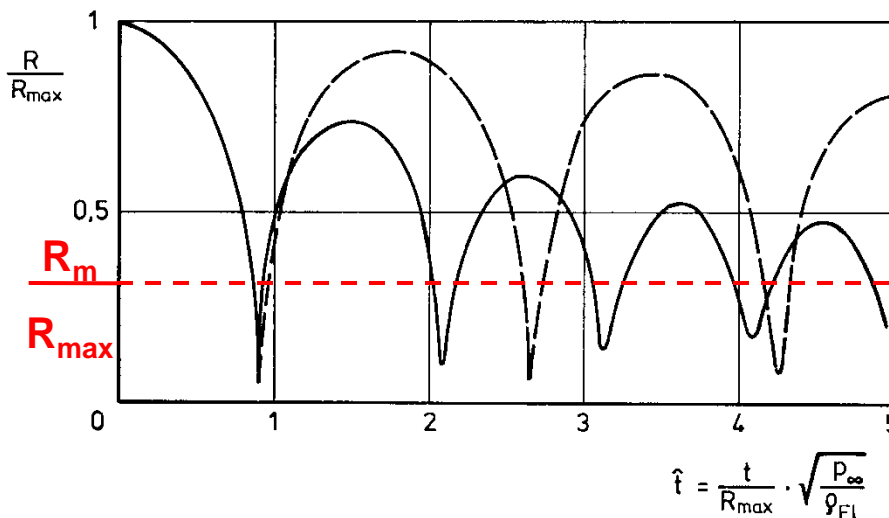


Zeitlicher Druckverlauf

$p_\infty = 1 \text{ bar}$; $p_v = 0,0234 \text{ bar}$

$p_{G,A} = 0,01 \text{ bar}$; $R_0 = 10^{-2} \text{ mm}$

adiabat $\kappa = 1,4$; $R_m/R_{\max} = 0,3$

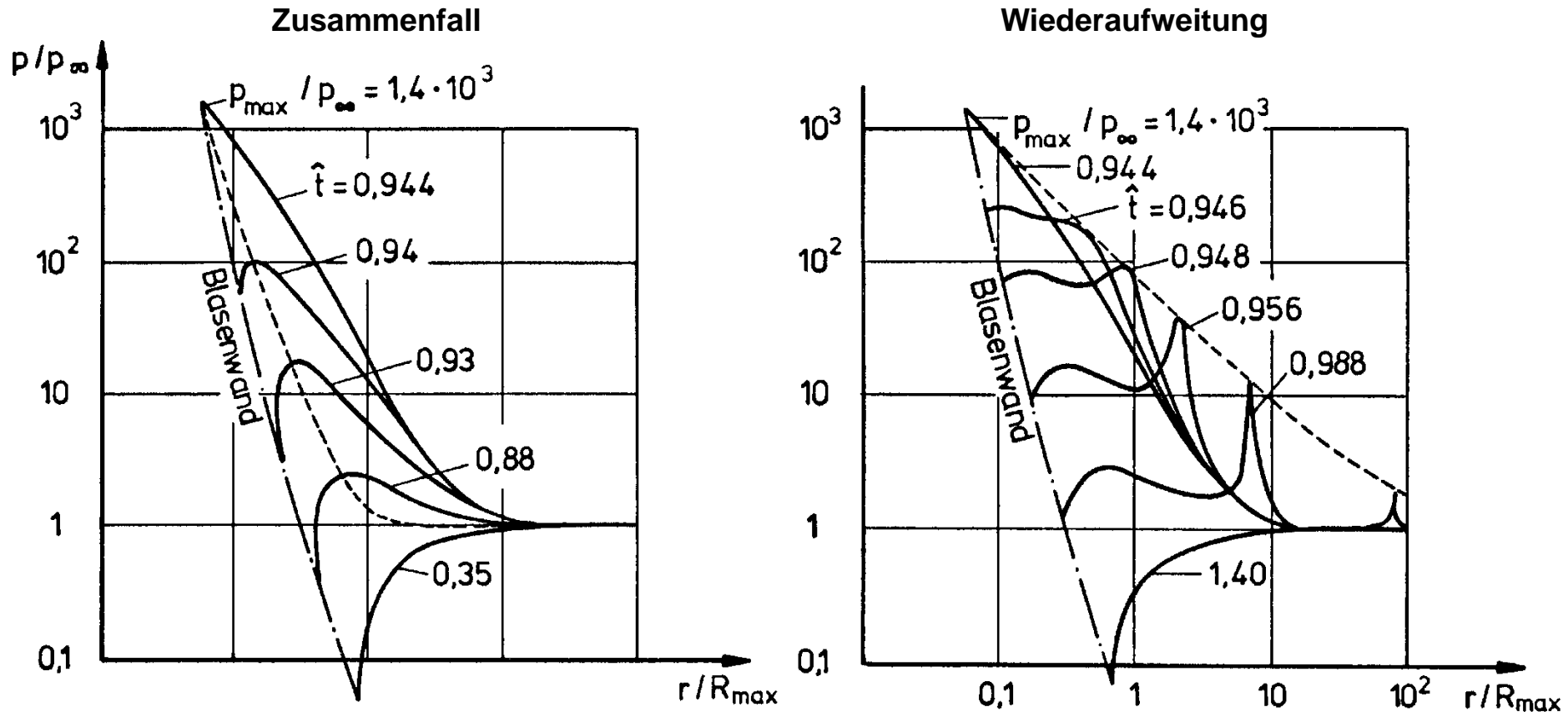


Zeitlicher Blasengrößenverlauf

----- Flüssigkeit inkompressibel

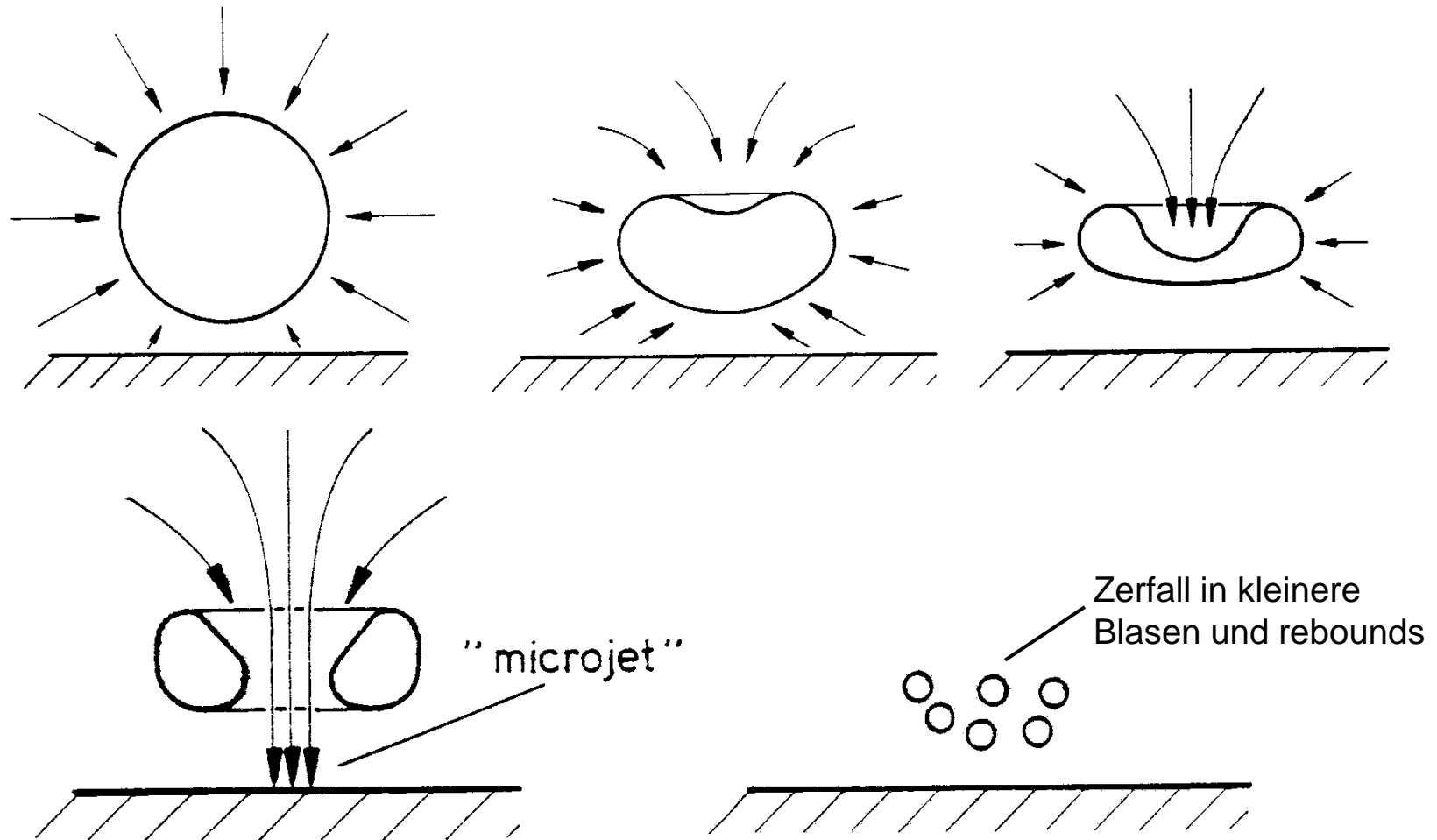
———— Flüssigkeit kompressibel

2.2.6 Blasen-Implosion (5)

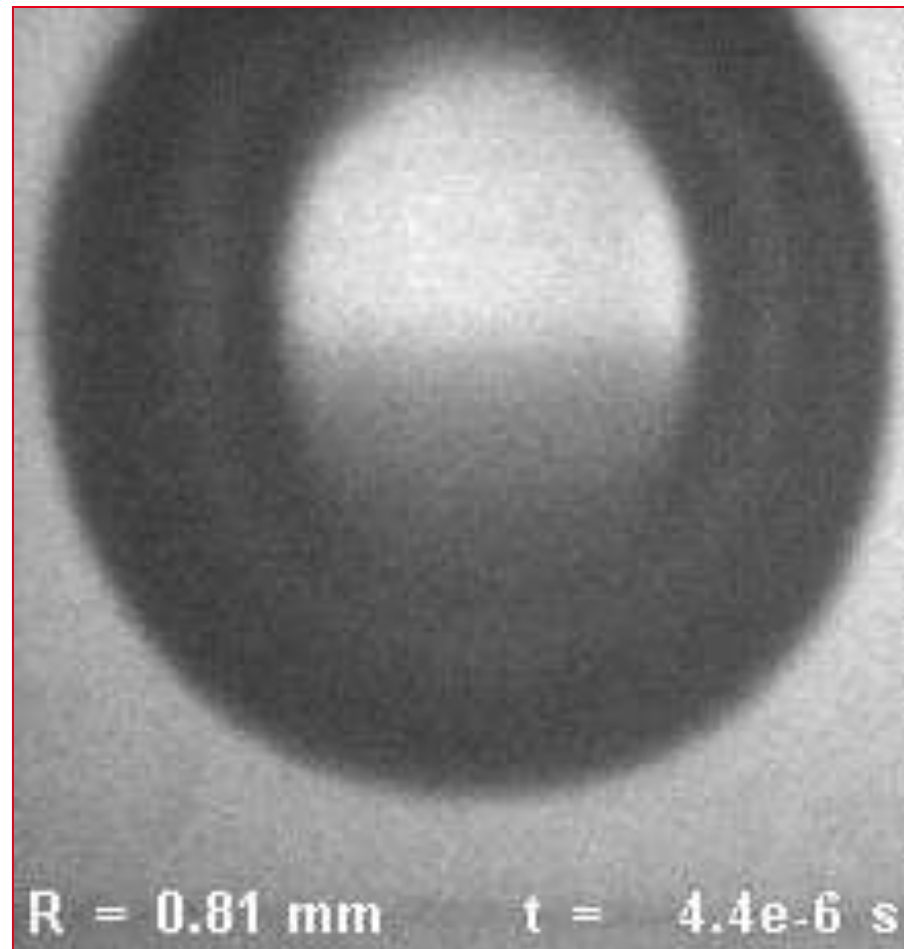


$p_{\infty} = 0,703 \text{ bar}, \quad \vartheta_{\infty} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}, \quad p_{G,A} = 0,007 \text{ bar}, \quad R_{\max} = 1 \text{ mm}$

2.2.6 Blasen-Implosion (6)



2.2.6 Einzelblasenkollaps (1)



2.2.6 Einzelblasenkollaps (2)



2.2.6 Kavitation an einem „ratternden“ Druckbegrenzungsventil



Inhaltsübersicht zum Kapitel 3 „Untersuchungen zum Kavitationsbeginn“

3.1 Einleitung

3.2 Physikalische Einflussgrößen auf den Kavitationsbeginn

3.2.1 Flüssigkeitseigenschaften

3.2.1.1 Keimgehalt

3.2.1.2 Zugfestigkeit

3.2.2 Art der Feststellung

3.2.3 „Wirkdauer“ Δt von p_i

3.2.4 Hydrodynamische Einflüsse

3.2.4.1 Potentialtheoretische Druckverteilung

3.2.4.2 Reibungseffekte

3.3 Empirische Ansätze von Keller für die hydrodynamische Maßstabeffekte

3.3.1 Geschwindigkeitseinfluss

3.3.2 Größeneinfluss

3.3.3 Einfluss der Turbulenz

3.1 *Einleitung (1)*

Art und Zweck

- A** Nachweisversuche → Nachweis
- B** Entwicklungsversuche → Verbesserung
(d.h. Optimierung zu kleineren σ -Zahlen)
Erprobung
- C** Grundlagenversuche → Allgemeine Einflüsse und Gesetzmäßigkeiten

Versuchsdurchführung und -auswertung

- Geometrie, Strömung konstant
- Variation von p
- Feststellung des Kavitationsbeginns
- Messung des zugehörigen Zustandes

Bei **A**, **B** (**Modell**versuche):

- Übertragung der Ergebnisse auf Originalbedingungen

3.1 Einleitung (2)

Ähnlichkeitskennzahl bei Kavitationsversuchen

$$\sigma = \frac{p_0 - p_v}{\frac{\rho}{2} c_0^2}$$

Für Kavitationsbeginn:

$$\sigma = \sigma_i$$

Bei **strenger** Ähnlichkeit:

$$(\sigma_i)_{\text{Original}} = (\sigma_i)_{\text{Modell}}$$

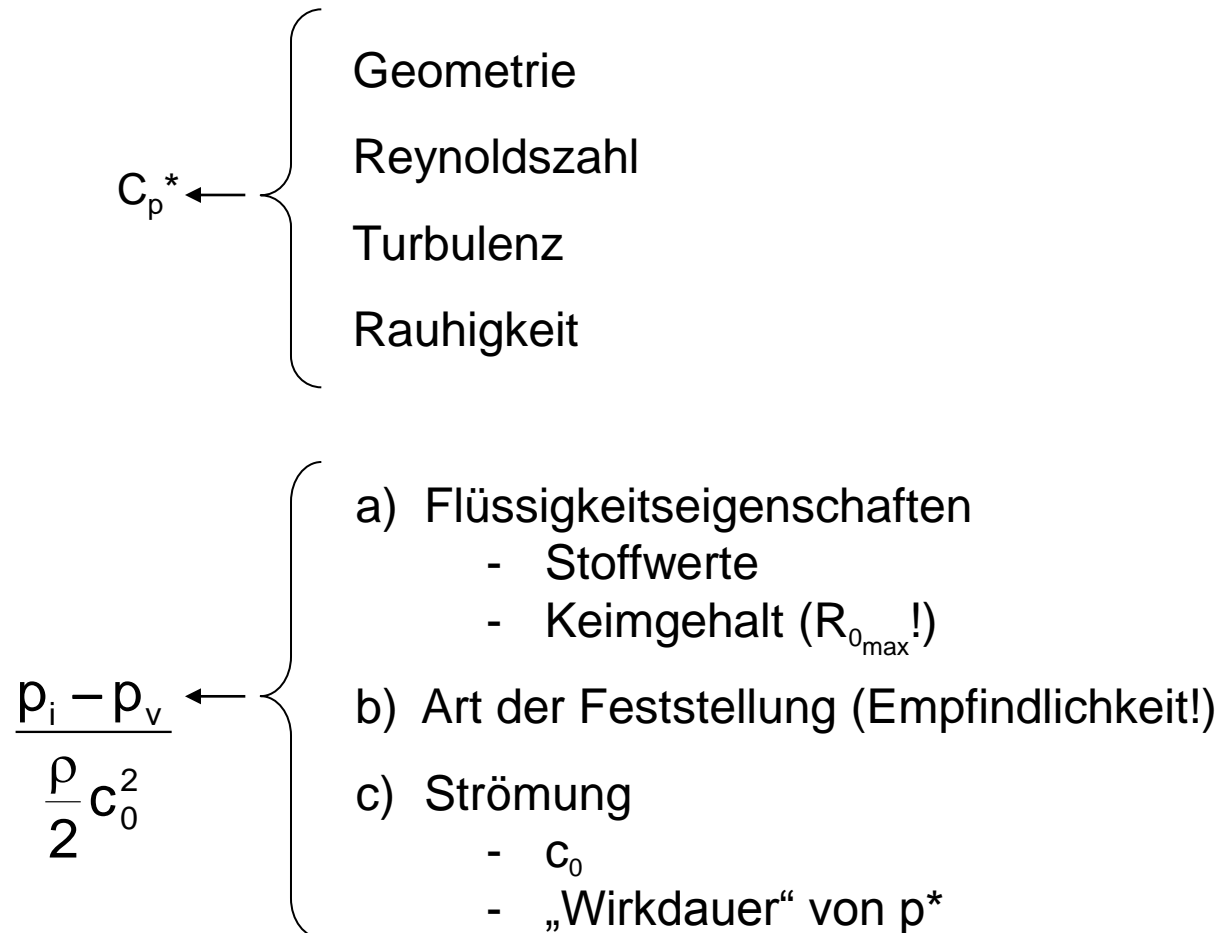
Wenn nur **geometrische** Ähnlichkeit: $(\sigma_i)_{\text{Original}} \neq (\sigma_i)_{\text{Modell}}$

Maßstabeffekte
(„scale effects“)

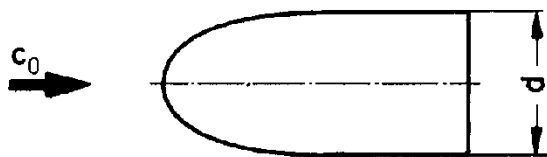
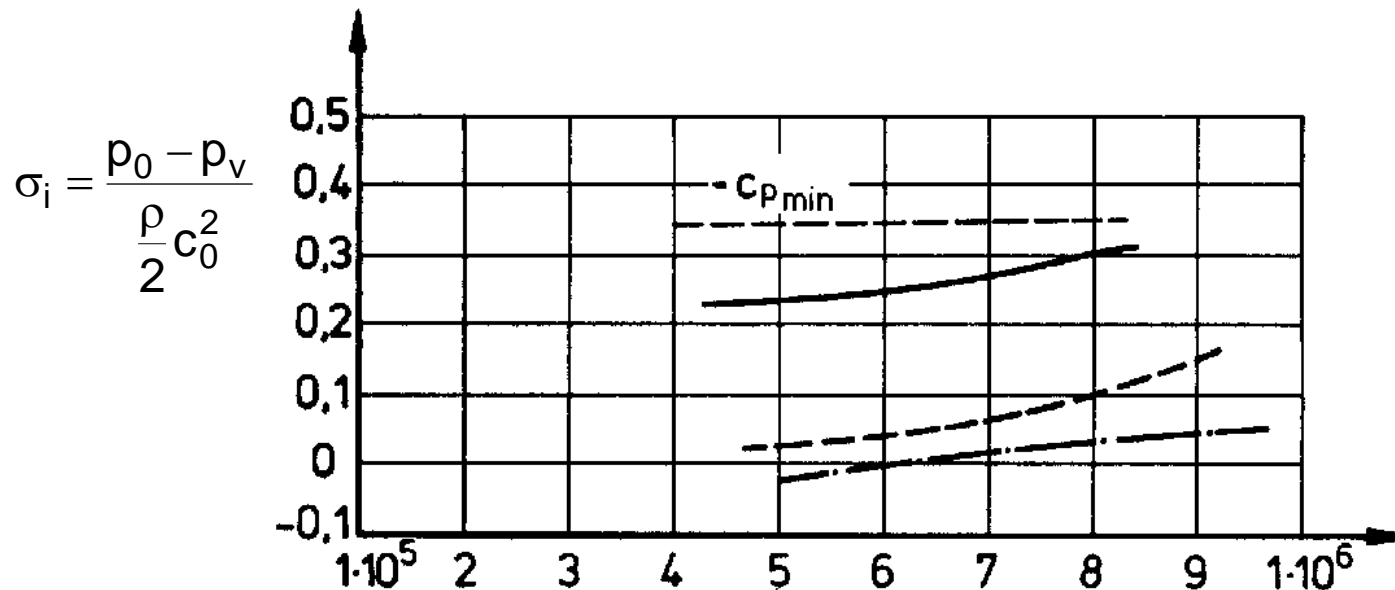
$$\sigma = \sigma_i, \text{ wenn } p^* = p(\vec{r}^*, t^*) = p_i \quad \Rightarrow \quad \sigma_i = \left(\frac{p_0 - p_v}{\frac{\rho}{2} c_0^2} \right)_i = \underbrace{\frac{p_0 - p^*}{\frac{\rho}{2} c_0^2}}_{-c_p^* > 0} + \underbrace{\frac{p_i - p_v}{\frac{\rho}{2} c_0^2}}_{\leq 0}$$

(für „echte“ Kavitation)

3.2 Physikalische Einflussgrößen auf den Kavitationsbeginn



3.2.1.1 Keimgehalt (1)



rot. symm. Halbkörper
(entstanden aus Punktquelle)

$$Re = \frac{c_0 \cdot d}{\nu}$$

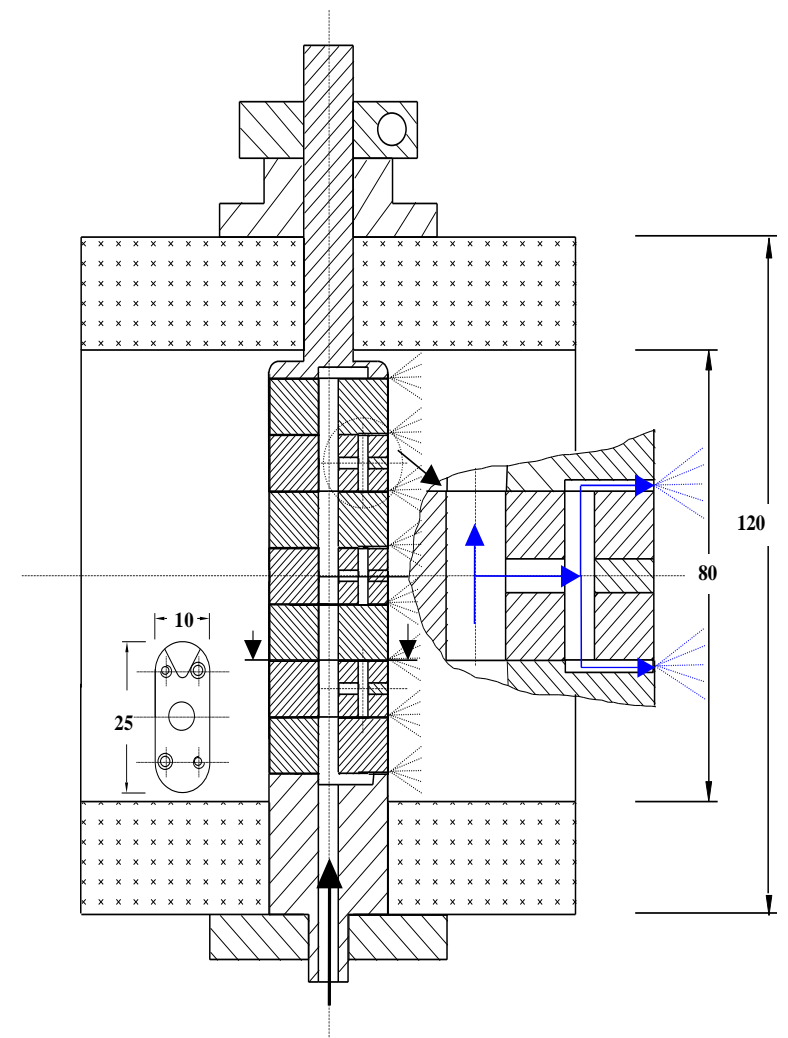
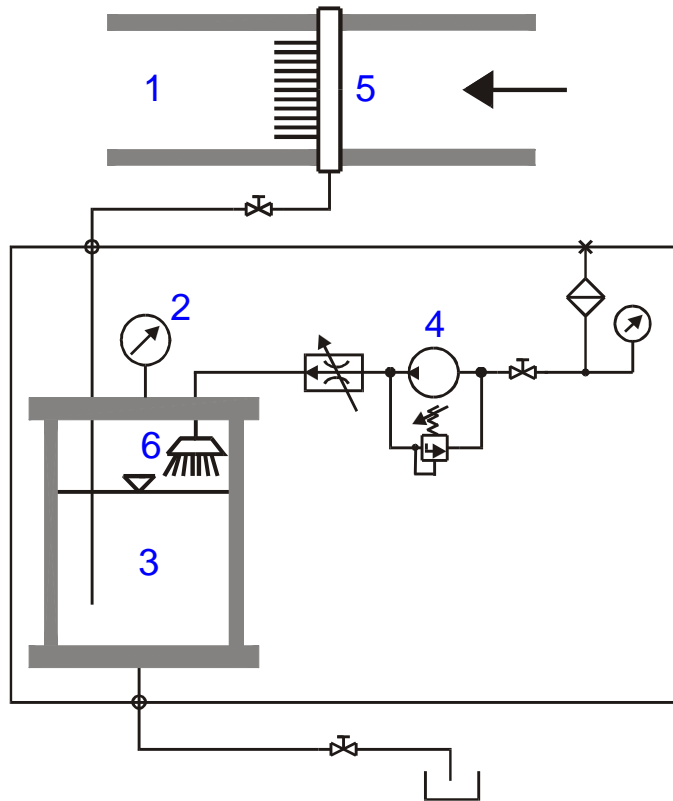
- Frisches Leitungswasser
- - - - Wasser entgast
- · - · - Wasser entgast und gefiltert

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

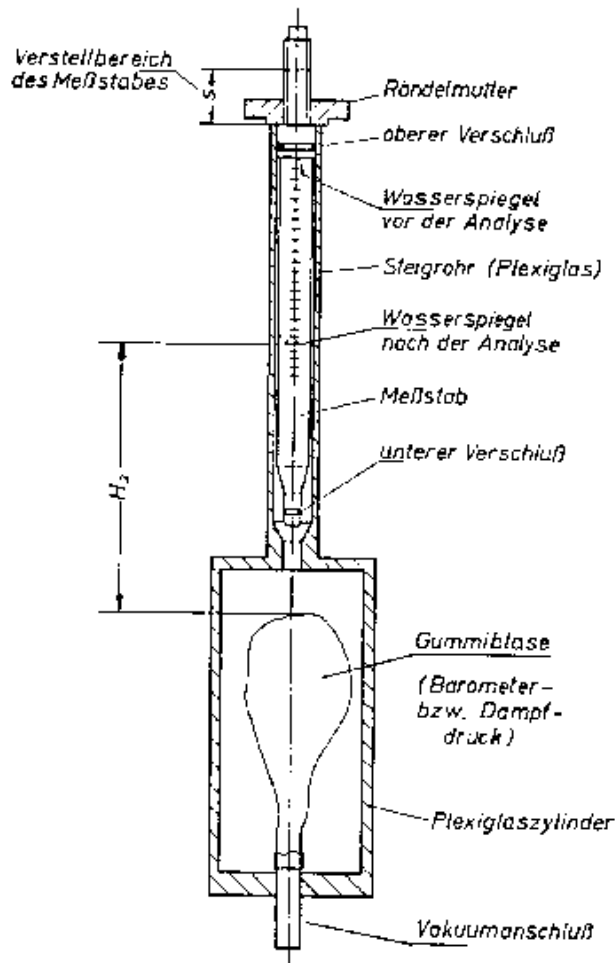


- 1 Messstrecke
- 2 Manometer
- 3 Sättigungsbehälter
- 4 Hochdruckpumpe
- 5 Segmente
- 6 Brausenkopf

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

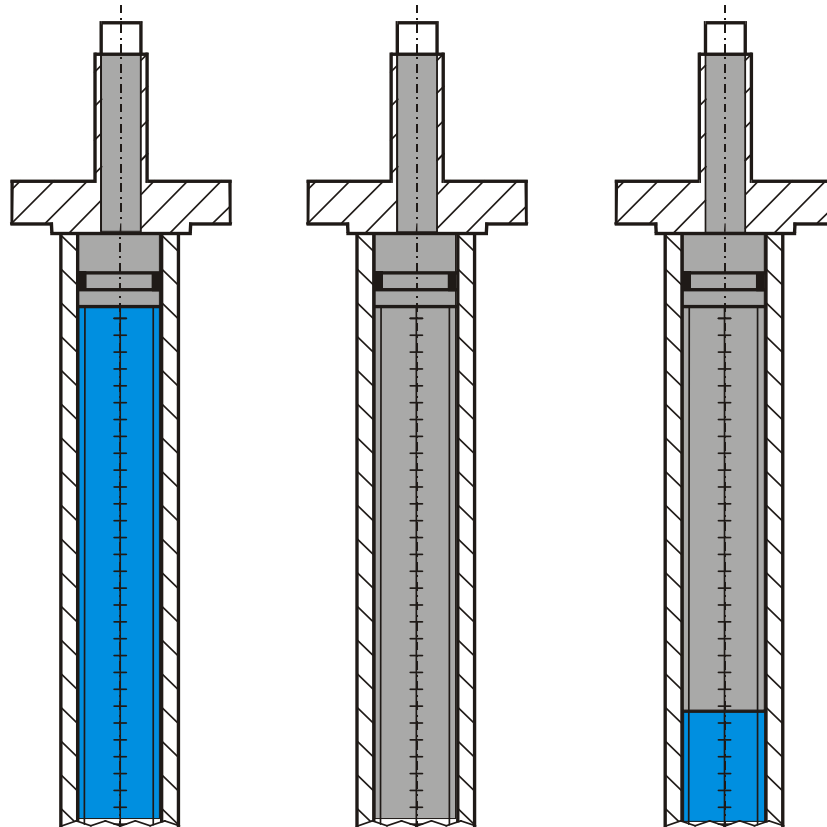


Vorgehen:

- 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

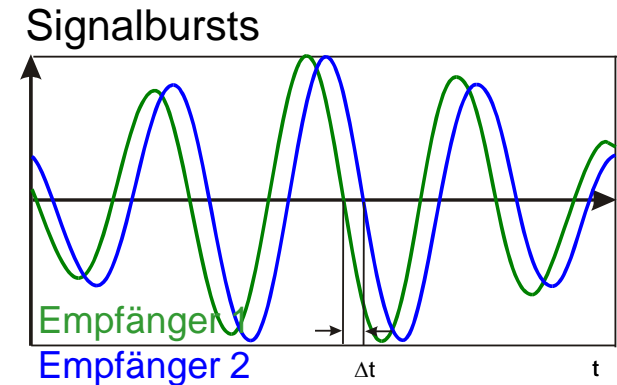
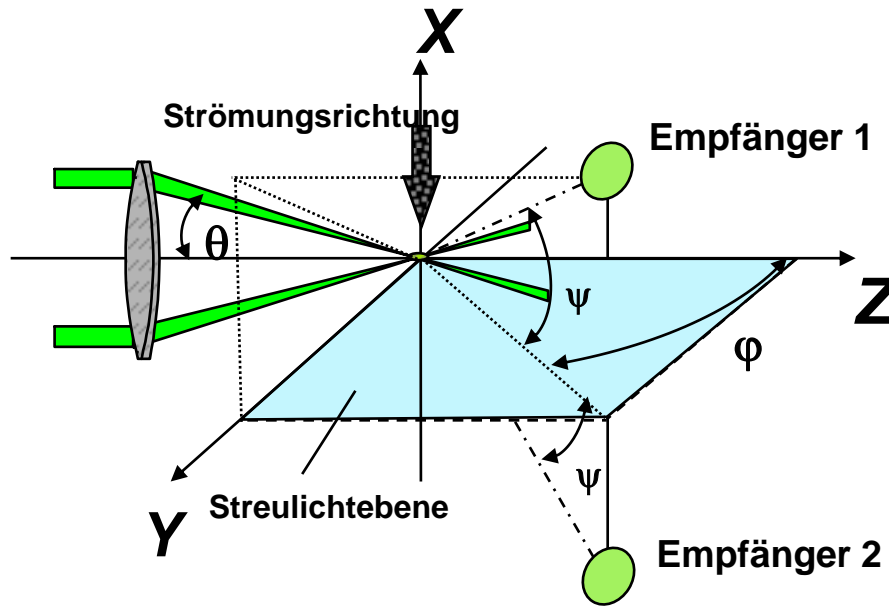
■ Testflüssigkeit

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

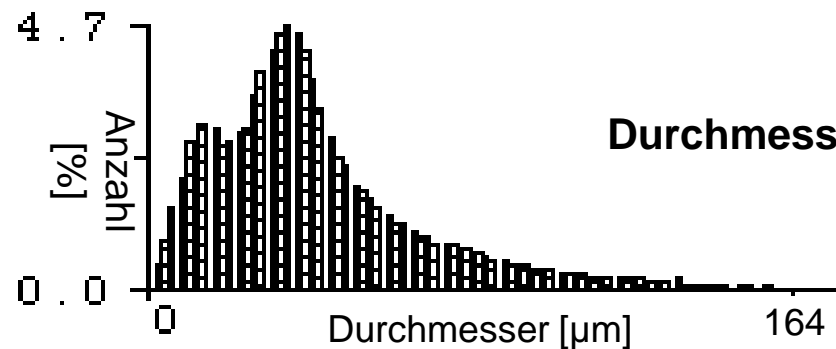
$$V_{G/B} = V_G \cdot \frac{p_B - \rho_W \cdot g \cdot H_2}{p_B}$$

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

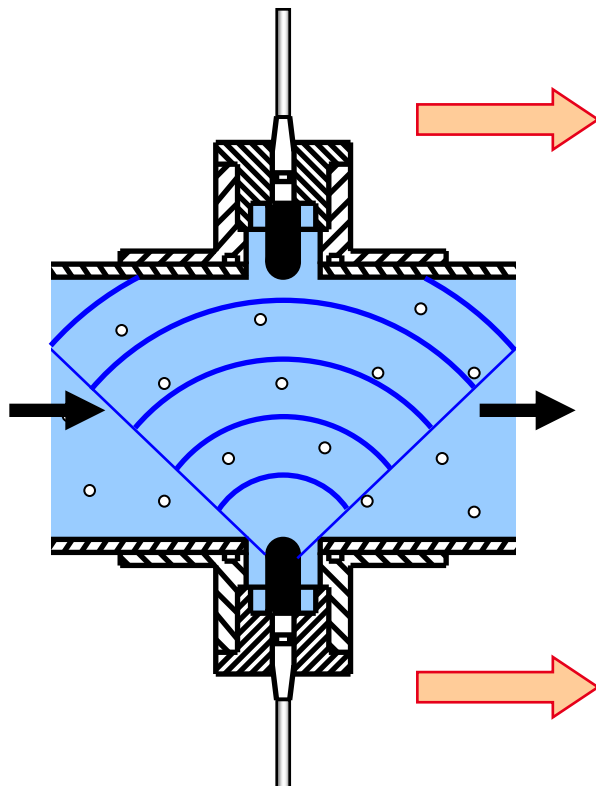
3.2.1.1 Keimgehalt (7) – Phasen-Doppler-Anemometer (PDA)



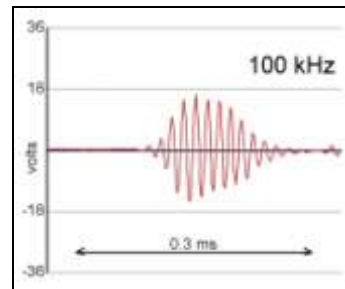
$\Delta t \sim$ Durchmesser



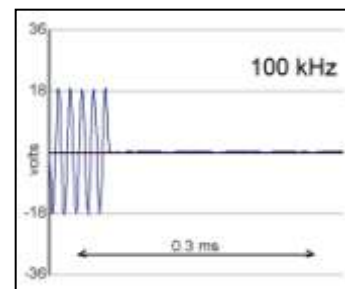
3.2.1.1 Keimgehalt (8) – Acoustic Bubble Spectrometer (ABS)



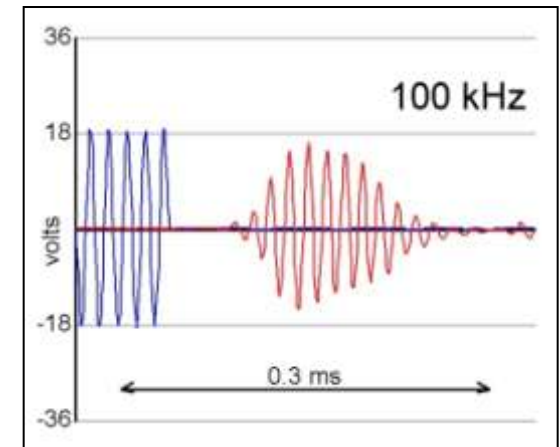
**Gegenüberliegende
Hydrophone**



Empfangenes Signal



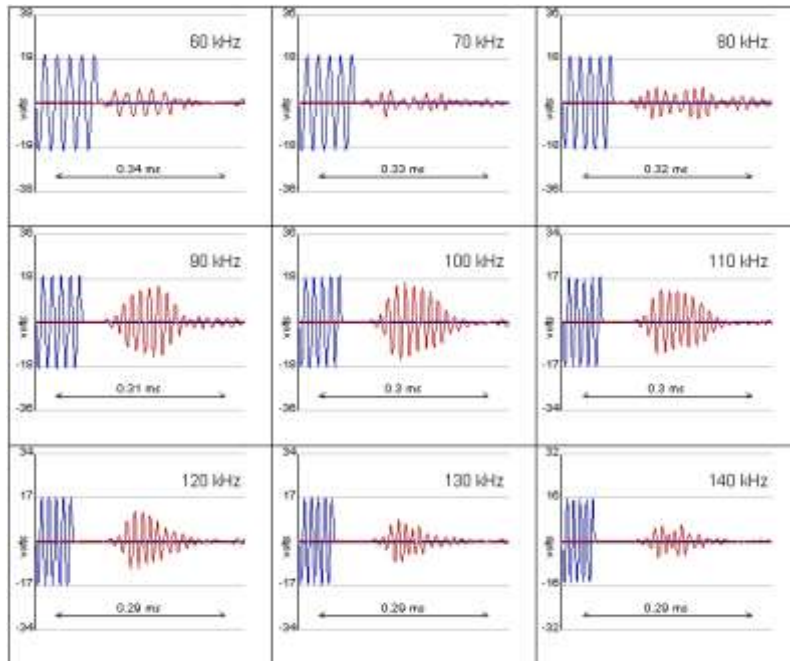
Emittiertes Signal



Vergleich
ergibt Schallübertragungsverhalten des Fluids

Keime
verändern das Übertragungsverhalten

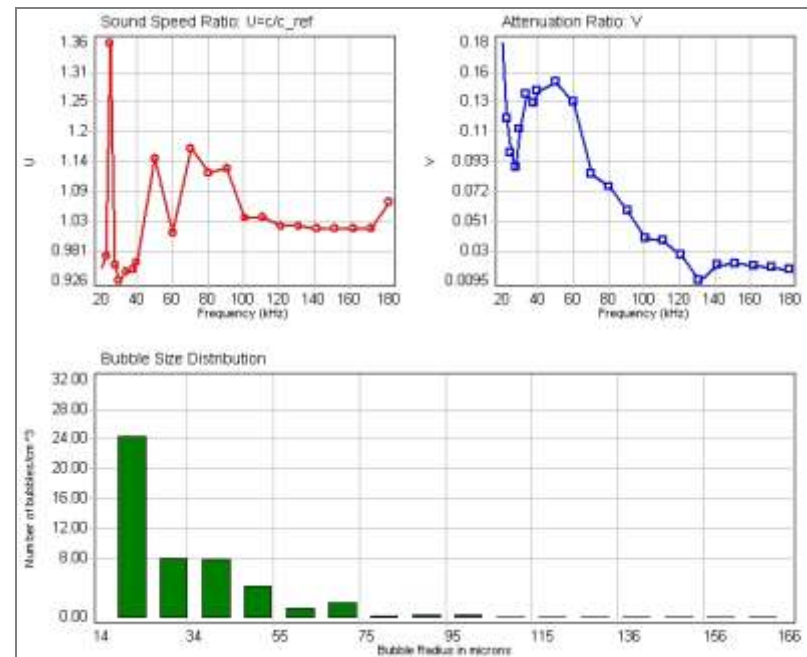
3.2.1.1 Keimgehalt (9) – Acoustic Bubble Spectrometer (ABS)



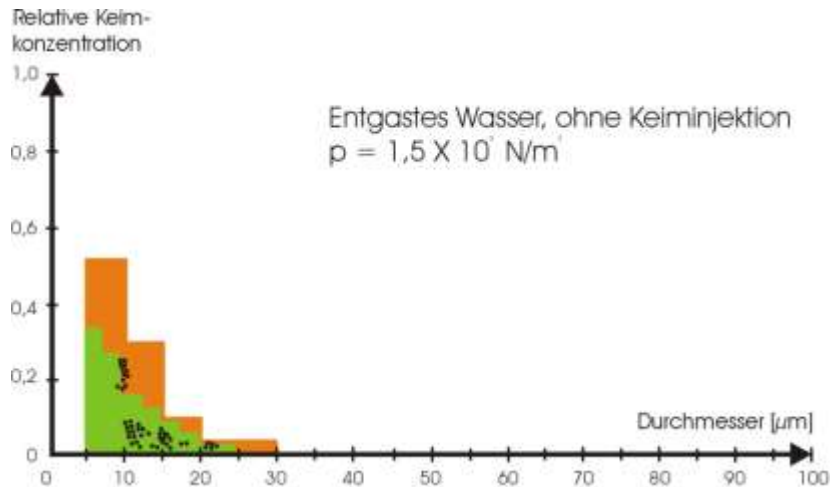
Auswertung
Schallgeschwindigkeit
und -dissipation für alle
Frequenzen

=> Keimspektrum




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

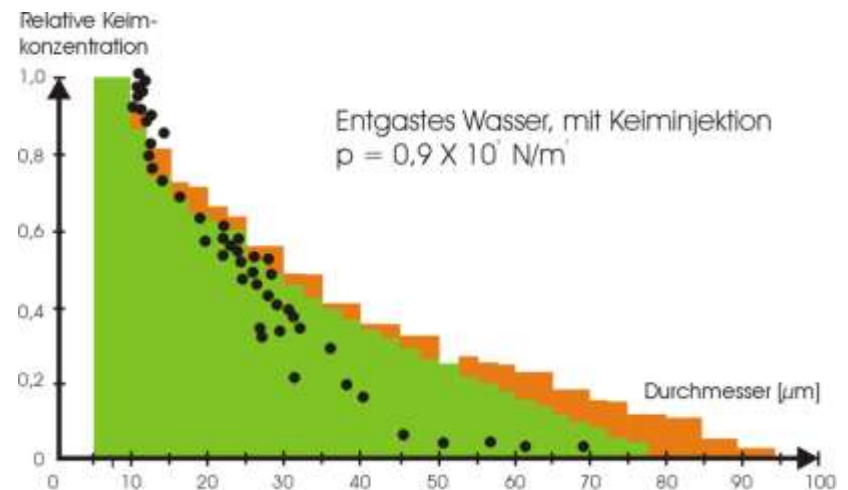


3.2.1.1 Keimgehalt (10) – Vergleich unterschiedlicher Messverfahren



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.

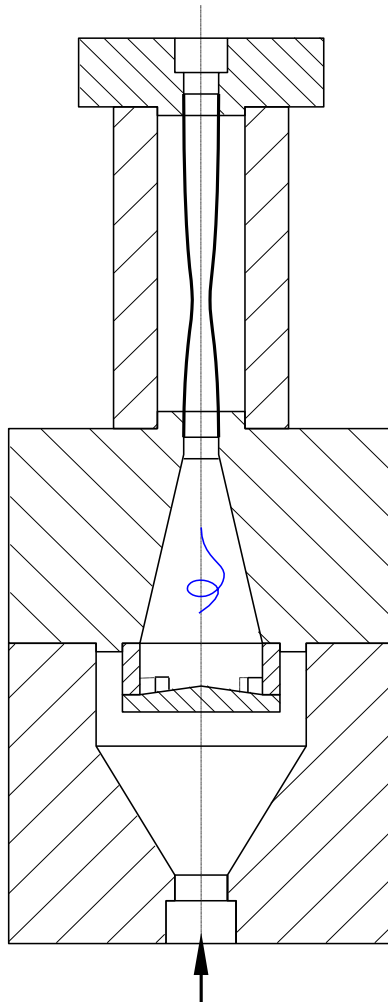
PDA

- 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)