

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

(1/2)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

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



Ähnlichkeitskennzahl bei Kavitationsversuchen

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

Für Kavitationsbeginn:

$$\sigma = \sigma_i$$

Bei **strenger** Ähnlichkeit:

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

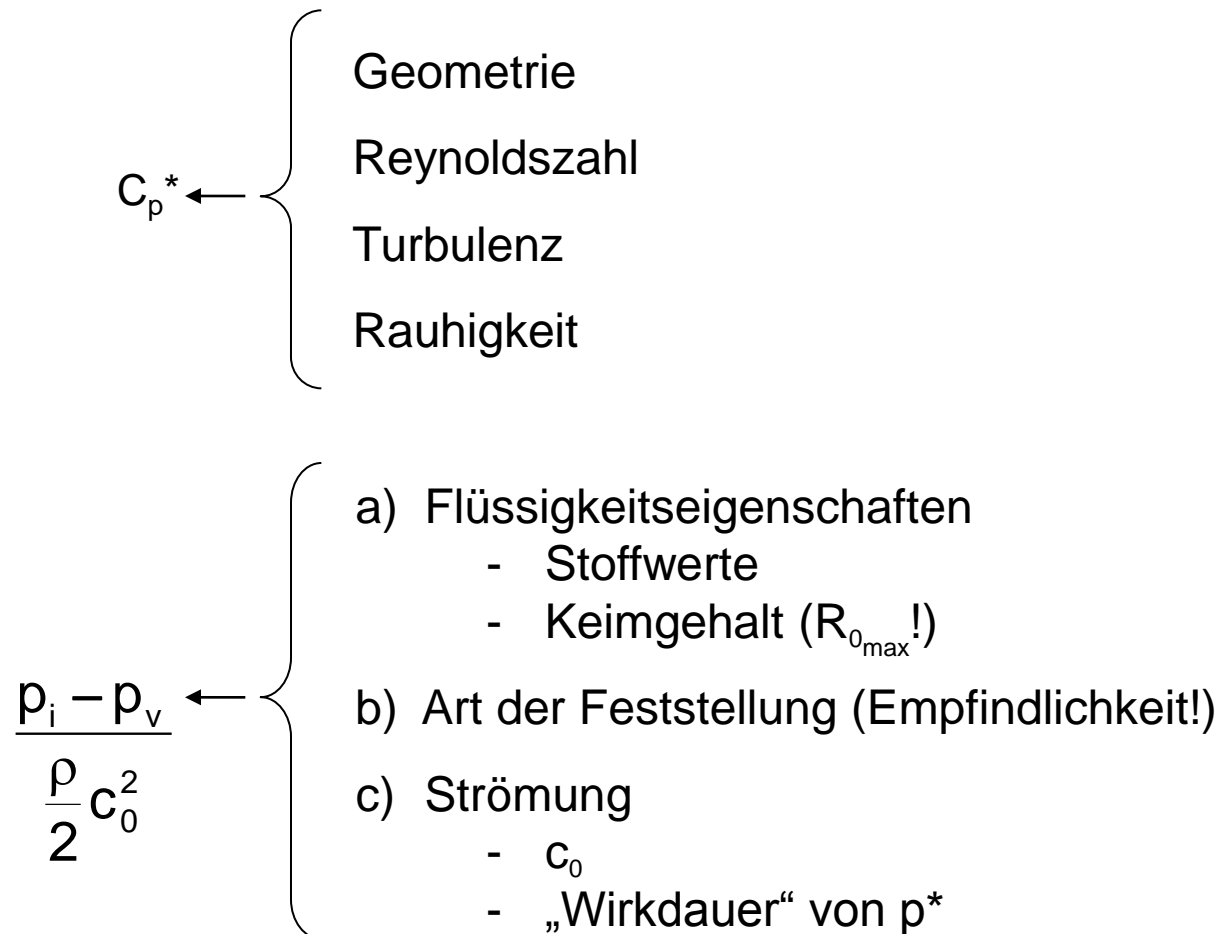
Wenn nur **geometrische** Ähnlichkeit: $(\sigma_i)_{\text{Original}} \neq (\sigma_i)_{\text{Modell}}$

Maßstabeffekte
(„scale effects“)

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

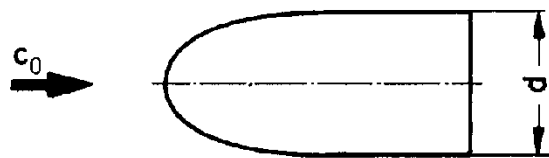
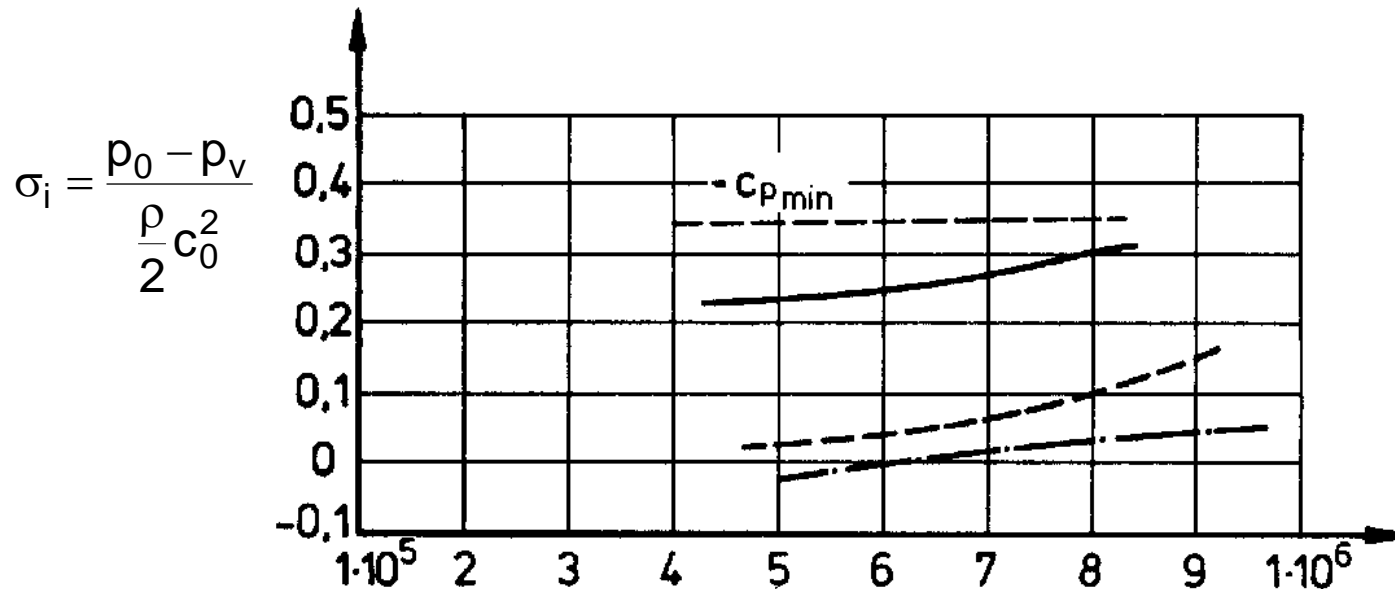
(für „echte“ Kavitation)

3.2 Physikalische Einflussgrößen auf den Kavitationsbeginn



3.2.1.1 Keimgehalt

(1/16)



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

(2/16)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Keimgehalt abhängig von:

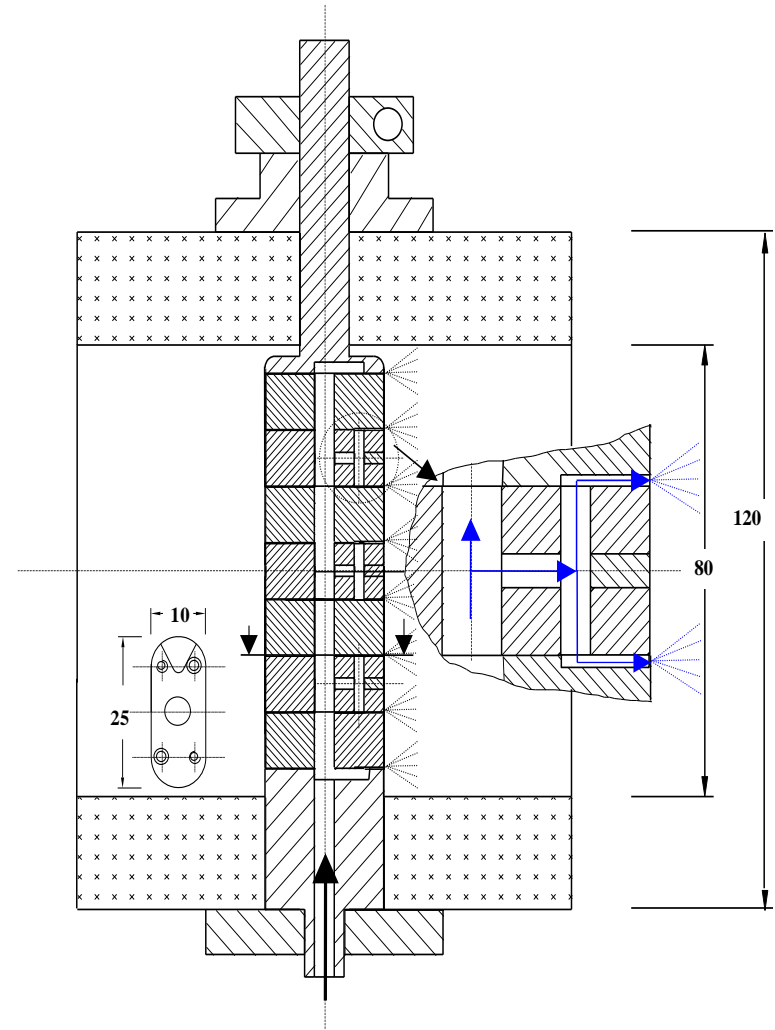
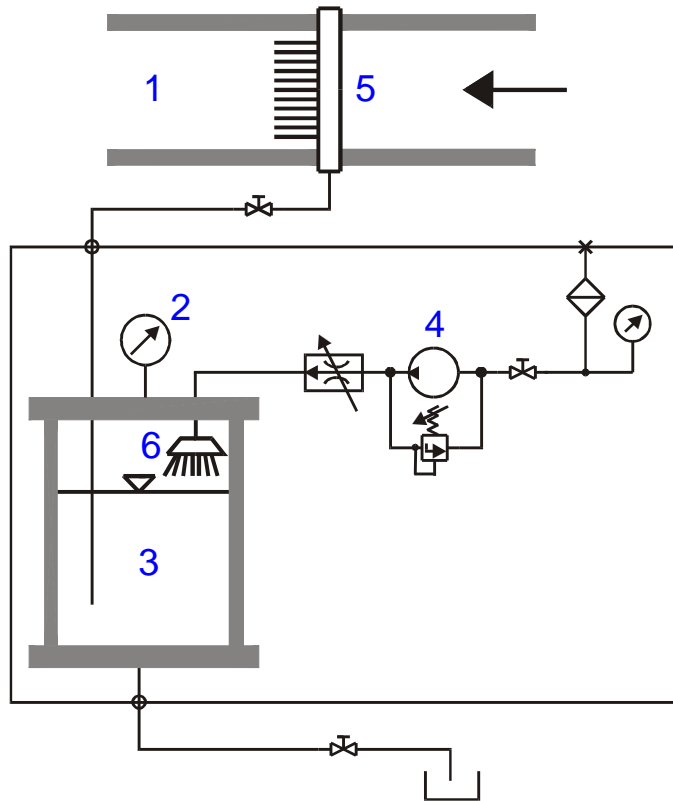
- Vorbehandlung des Fluids
(d.h. Beruhigen, Filtern, Aufheizen, Unterdruck)
- Konzentration der gelösten Gase
(→ Diffusionsvorgänge)
- Vorgeschichte
(d.h. Geschwindigkeits- und Druckänderungen
infolge der Anlagengestaltung)
- Referenzdruck p_0
(Keimgehalt ist abhängig vom Druckniveau)
- evtl. Keiminjektion

3.2.1.1 Keimgehalt - Hilfssystem Keimgenerator

(3/16)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



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

3.2.1.1 Keimgehalt - Meßverfahren

(4/16)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

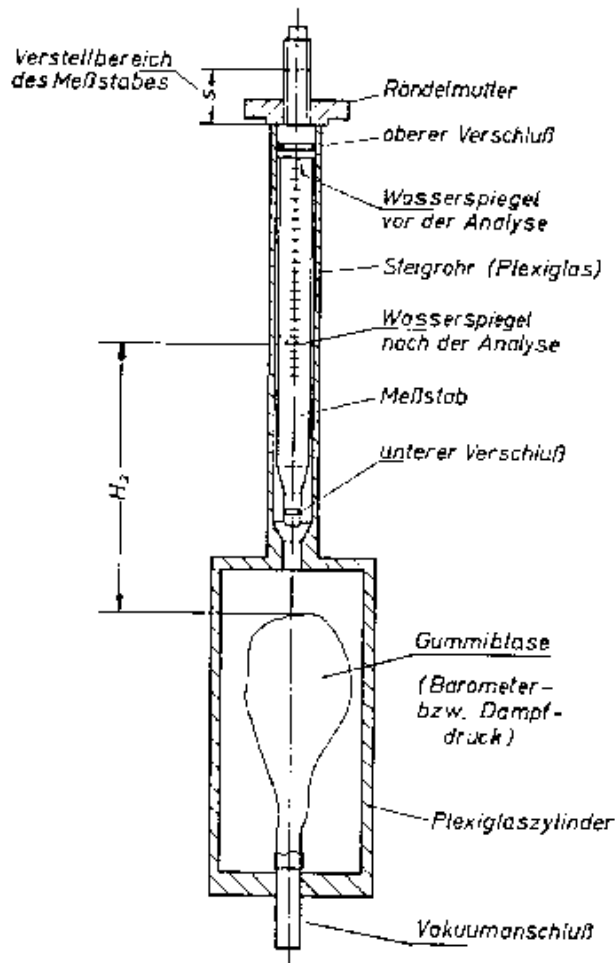
- Van-Slyke-Apparat → **totales Gasvolumen**
 - mikroskopische Aufnahmen, Holographie
 - Laser-Streulicht-Verfahren
 - Venturi-Düse mit Center-Body
 - in-situ-Düse
 - akustisches Verfahren
- } → **Keimspektrum**
 $N = N(R_0) [1/\text{cm}^3]$
- einfache Venturi- Düse, Wirbeldüse
 - in-situ-Düse → **kritischer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

3.2.1.1 Keimgehalt - Brandt'scher Apparat

(5/16)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



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.

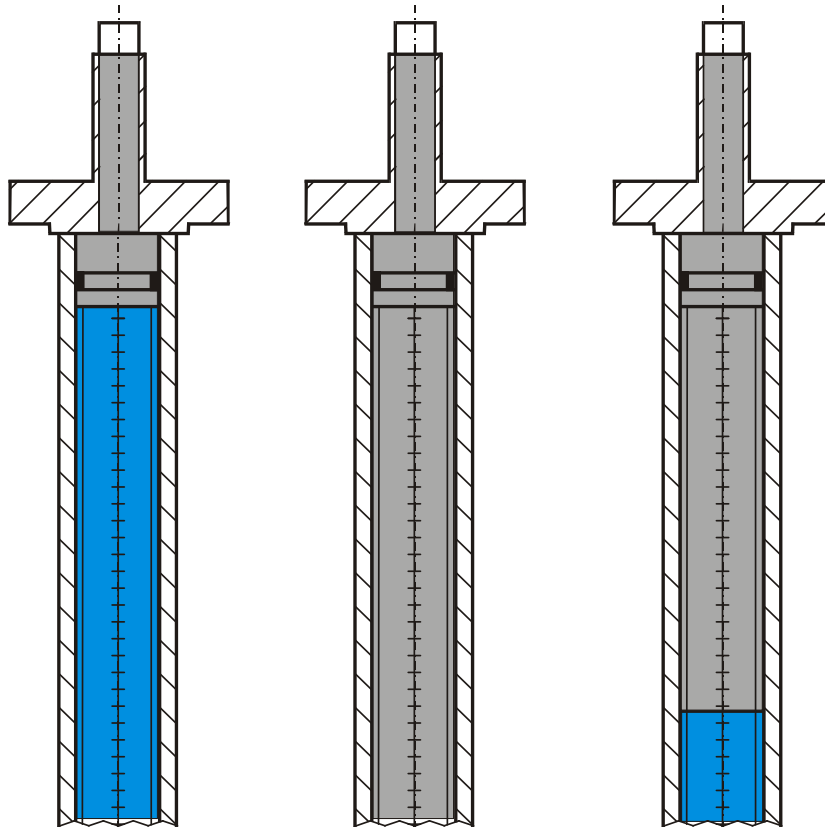
1 - 6 muss fünf bis sechs mal wiederholt werden

3.2.1.1 Keimgehalt - Brandt'scher Apparat

(6/16)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Nach Befüllen

Unter Vakuum

Nach Schütteln

■ Gas, Wasserdampf, Luft

■ Testflüssigkeit

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

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

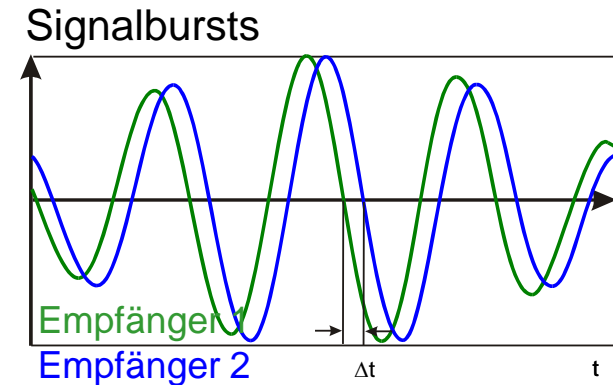
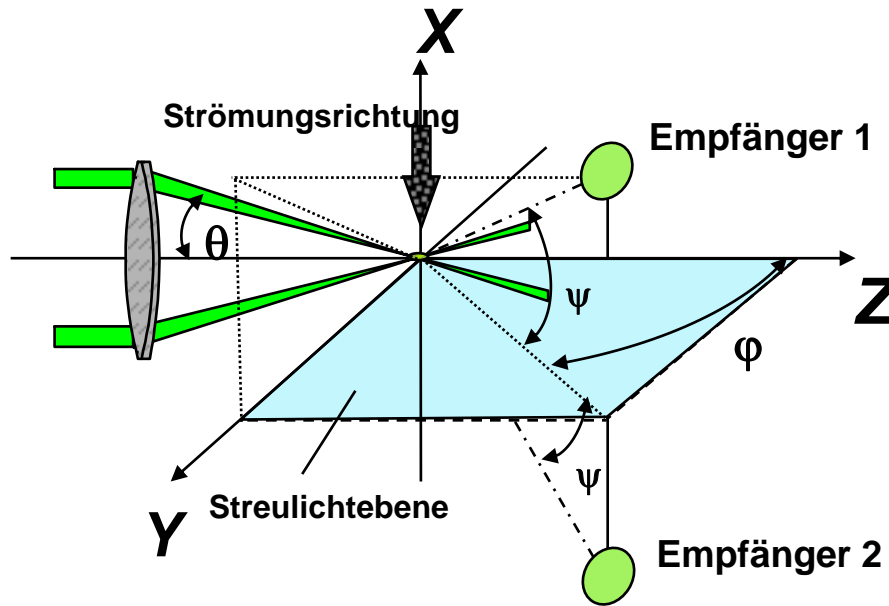
$$c = \frac{V_G}{V_W} \cdot \left(1 - \frac{\rho_W \cdot g \cdot H_2}{p_B} \right)$$

3.2.1.1 Keimgehalt - Phasen-Doppler- Anemometer (PDA)

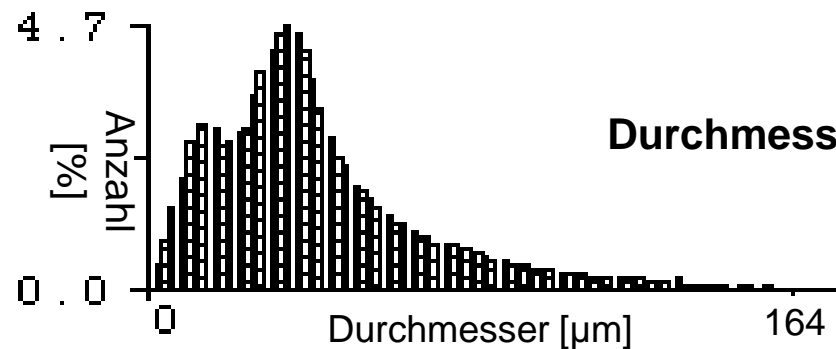
(7/16)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



$\Delta t \sim$ Durchmesser

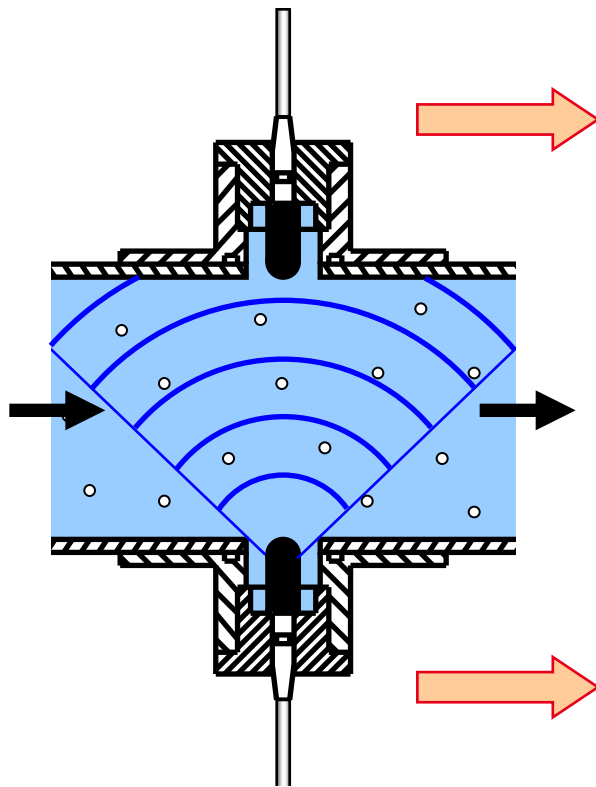


3.2.1.1 Keimgehalt - Acoustic Bubble Spectrometer (ABS)

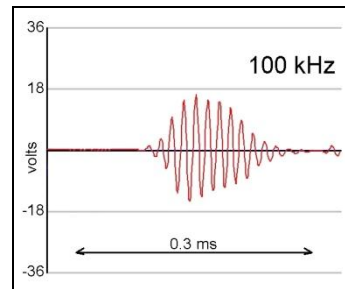
(8/16)



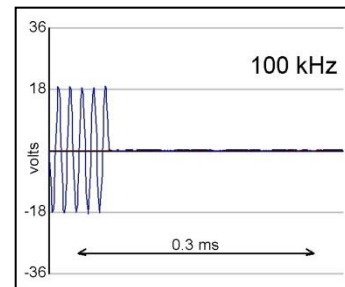
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



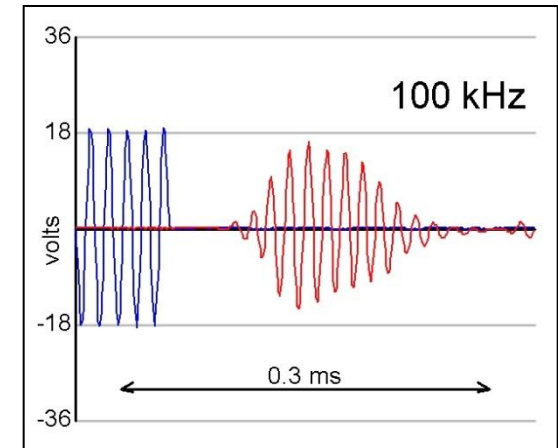
**Gegenüberliegende
Hydrophone**



Empfangenes Signal



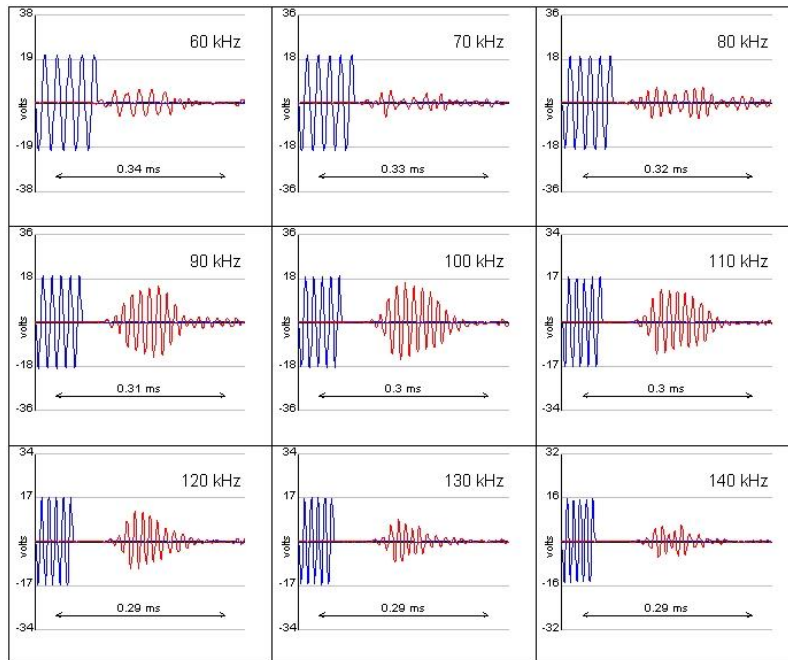
Emittiertes Signal



Vergleich
ergibt Schallübertragungsverhalten des Fluids

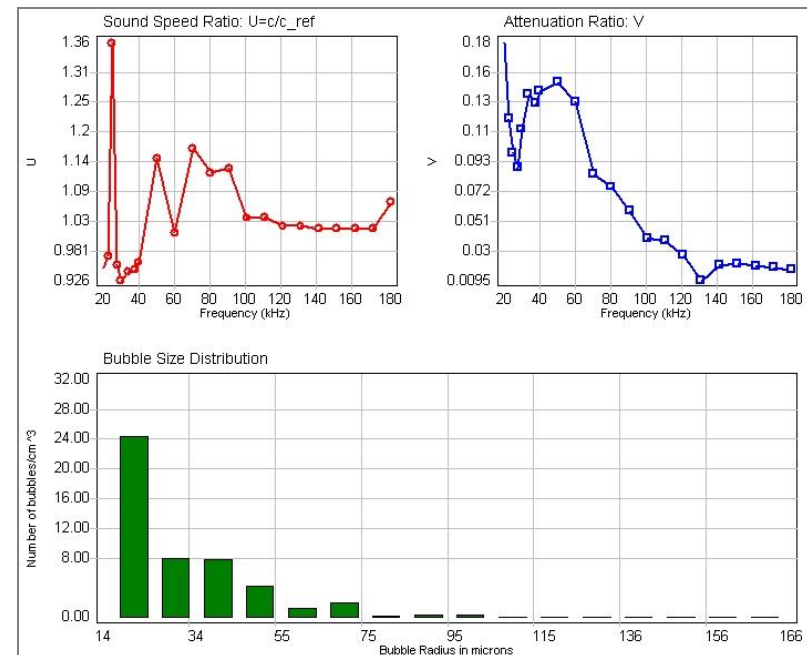
Keime
verändern das Übertragungsverhalten

3.2.1.1 Keimgehalt (9/16) - Acoustic Bubble Spectrometer (ABS)



Auswertung
Schallgeschwindigkeit
und -dissipation für alle
Frequenzen
=> Keimspektrum

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



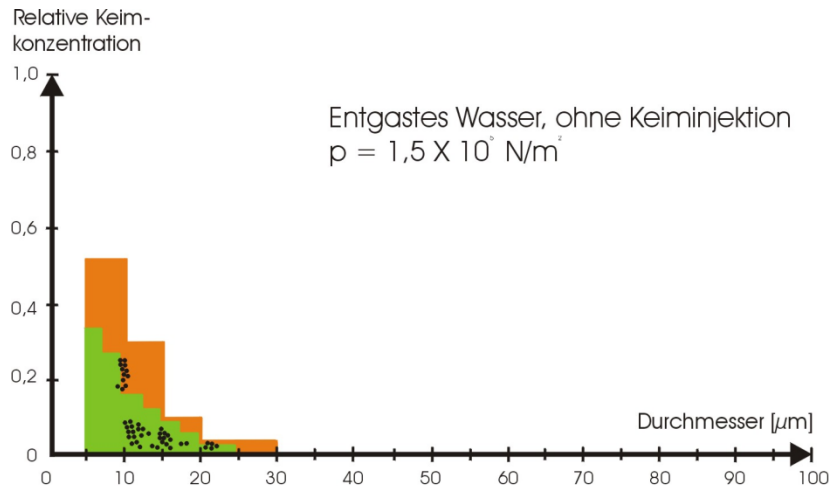
3.2.1.1 Keimgehalt

- Vergleich verschiedener Messverfahren

(10/16)

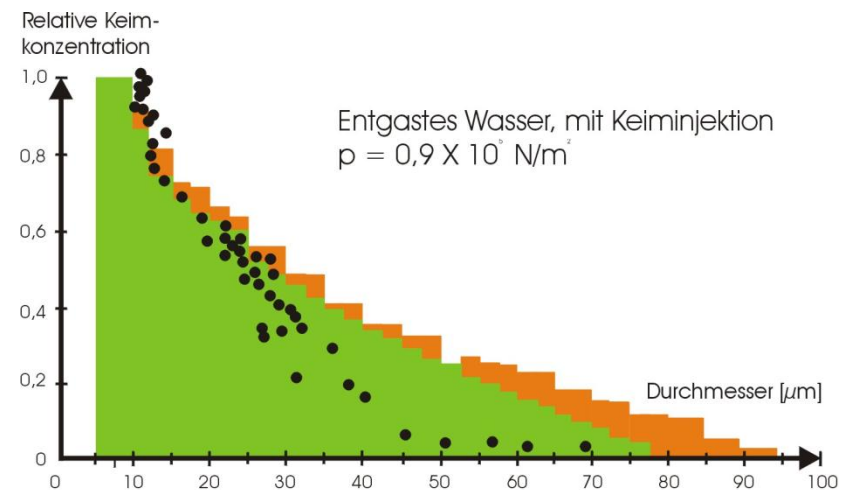


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Legende

- Holography
- PDA
- Venturi - Düse mit Centerbody



3.2.1.1 Keimgehalt (11/16) - 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

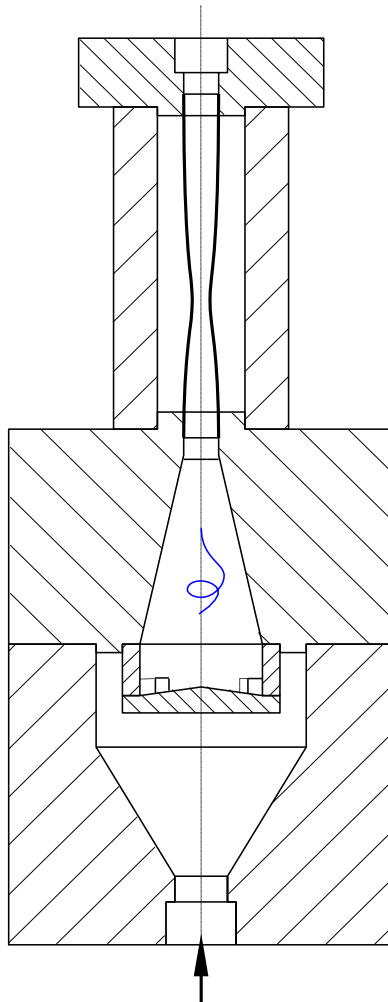
- besitzt nur einen gewissen Messbereich
- prinzipbedingte Schwierigkeiten (Blasendynamik, Wechselwirkung von Nachbarblasen, zeitliches Auflösungsvermögen)

3.2.1.1 Keimgehalt - Wirbeldüse

(12/16)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Funktionsprinzip

Überlagerung von

- Wirbelströmung
- Düsenströmung

liefert im engsten Querschnitt

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

p_{WK} = Druck im Wirbelkern

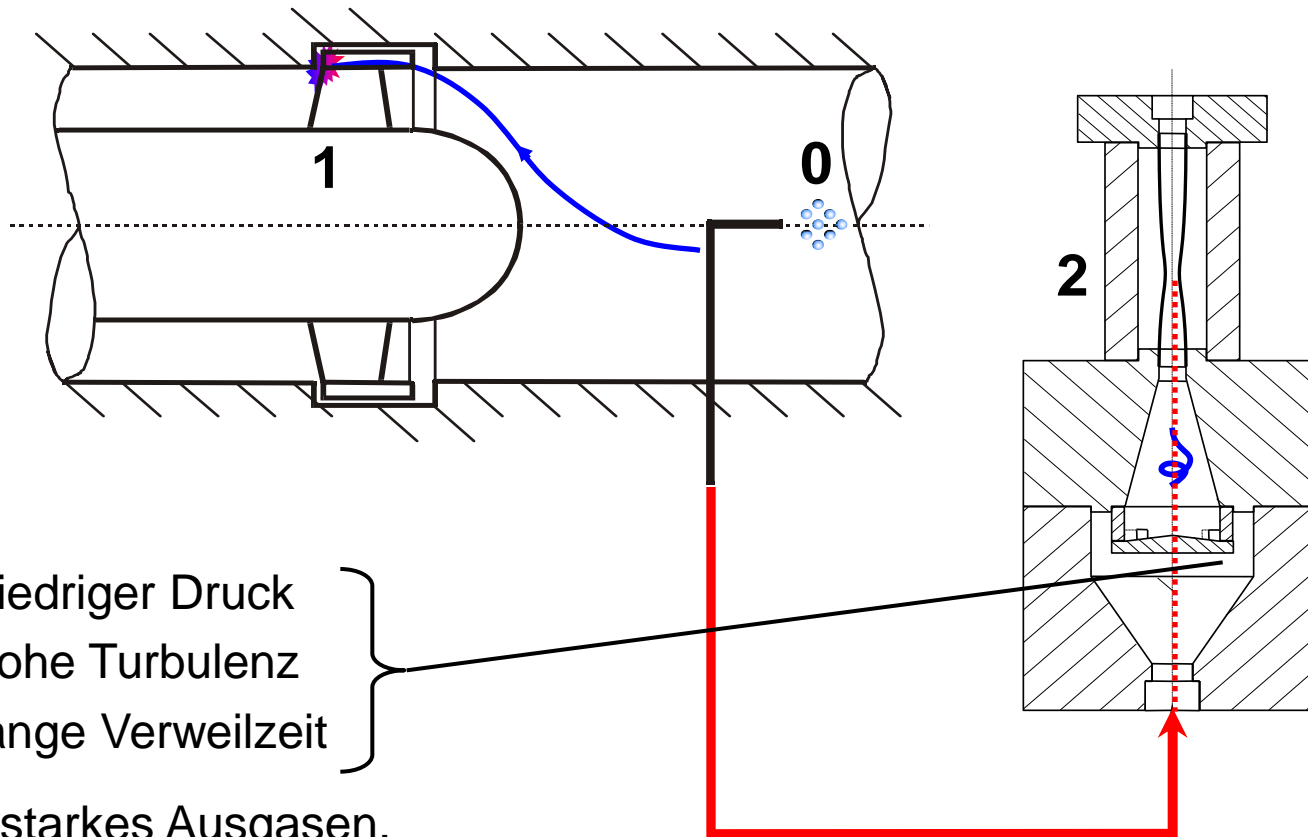
p_{WD} = Druck vor dem Eintritt in die Wirbeldüse

Q_{WD} = Durchfluss durch die Wirbeldüse

K = Kalibrierfaktor

= f(Geometrie, Grenzschicht, Reibung)

3.2.1.1 Keimgehalt (13/16) - 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 - Aufbau der in-situ-Düse

(14/16)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

