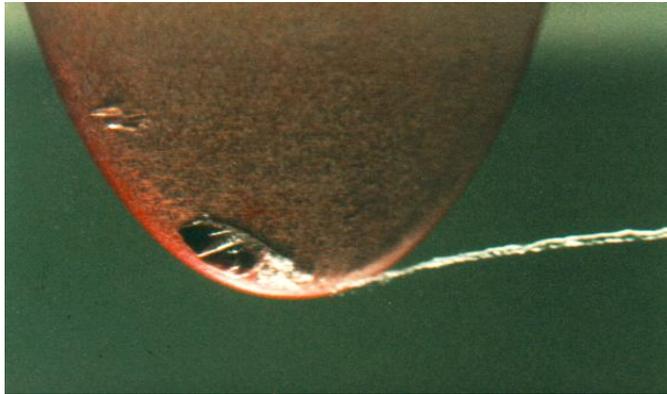


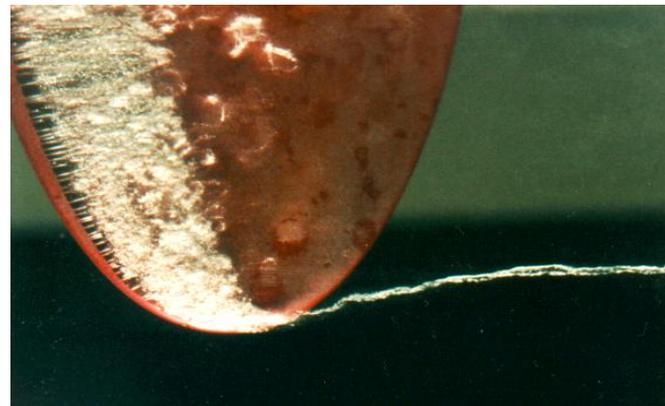
3.3.2 Größeneinfluss (1)



50 mm

$$c_0 = 11,0 \text{ m/s}$$

$$\sigma = 2,49$$



100 mm

$$c_0 = 11,0 \text{ m/s}$$

$$\sigma = 2,49$$



200 mm

$$c_0 = 11,0 \text{ m/s}$$

$$\sigma = 2,49$$

3.3.2 Größeneinfluss (2)

$$\sigma_0 = k \cdot \left(\frac{L}{L_{\text{ref}}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

mit: Referenzlänge L_{ref} = charakteristische Körperabmessung

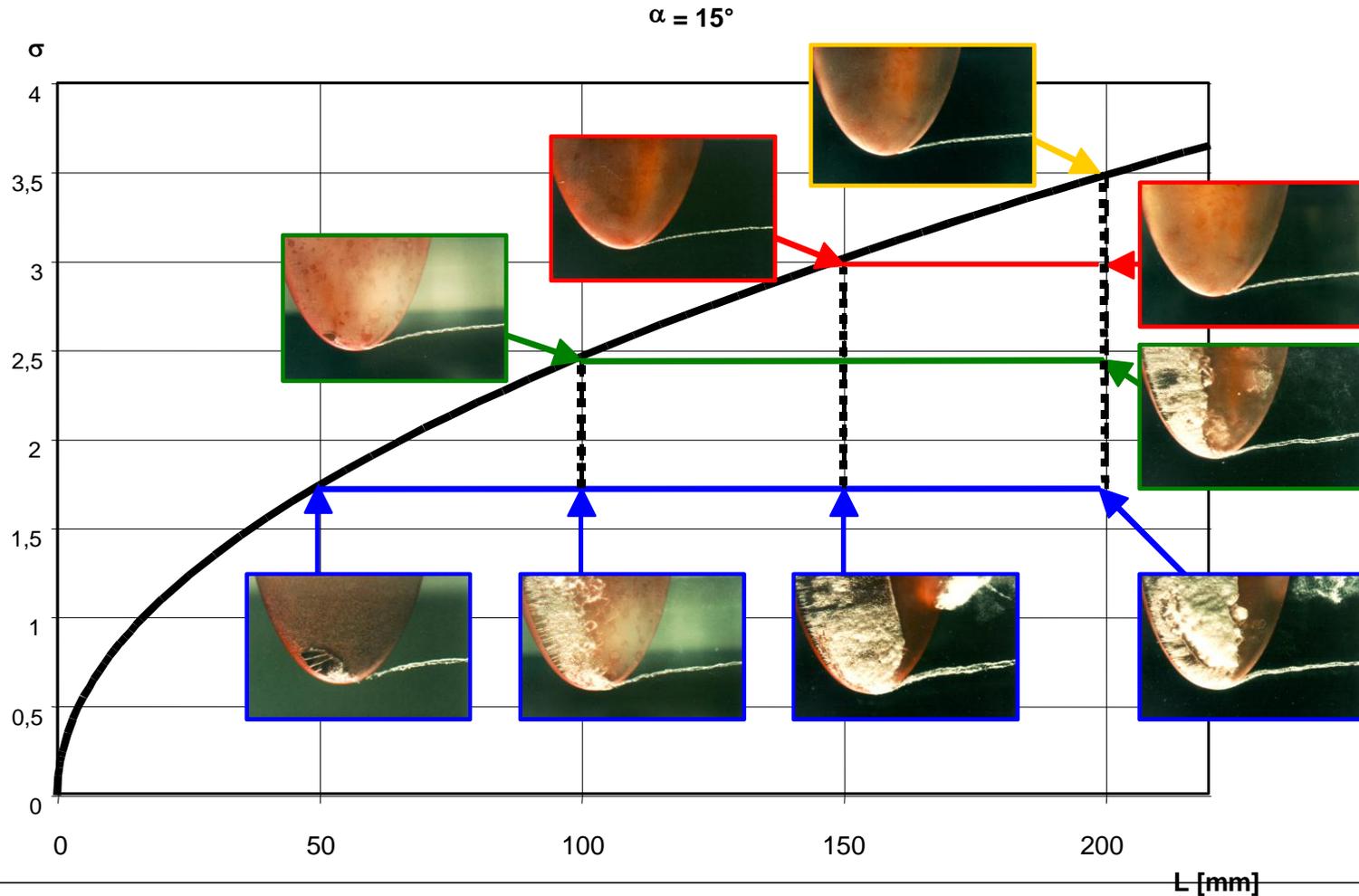
Formparameter k = f(Körperform)

d.h. kleine k-Werte entsprechen
strömungsgünstigen Körperformen;

strömungsungünstige Formen haben
große k-Werte

3.3.2 Größeneinfluss (2)

Größenmaßstab: Tragflügelprofil (8 m/s, 1% Turbulenz)



3.3.3 Einfluss der Turbulenz

Bei gleichen Strömungsgrößen

- wächst die Kavitationszahl für beginnende Kavitation
- entwickelt sich die Kavitation stärker für fortgeschrittene Kavitation

mit zunehmenden Turbulenzgrad der Zuströmung.

Der Einfluss zeigt annähernd lineare Abhängigkeit.

3.3.3 Einfluss der Turbulenz



3.3.3 Einfluss der Turbulenz

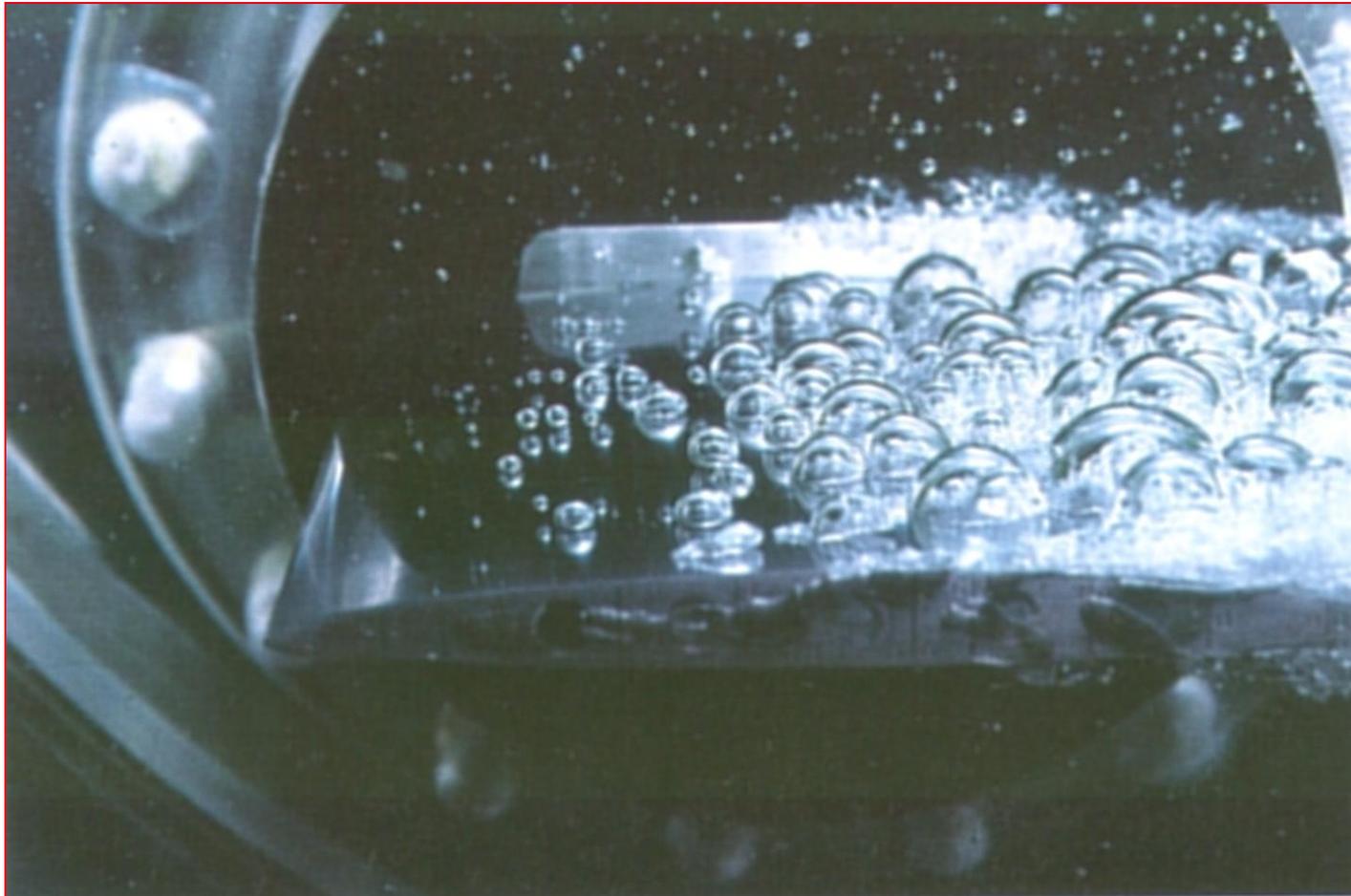


Inhaltsübersicht zum Kapitel 4 „Fortgeschrittene Kavitation“

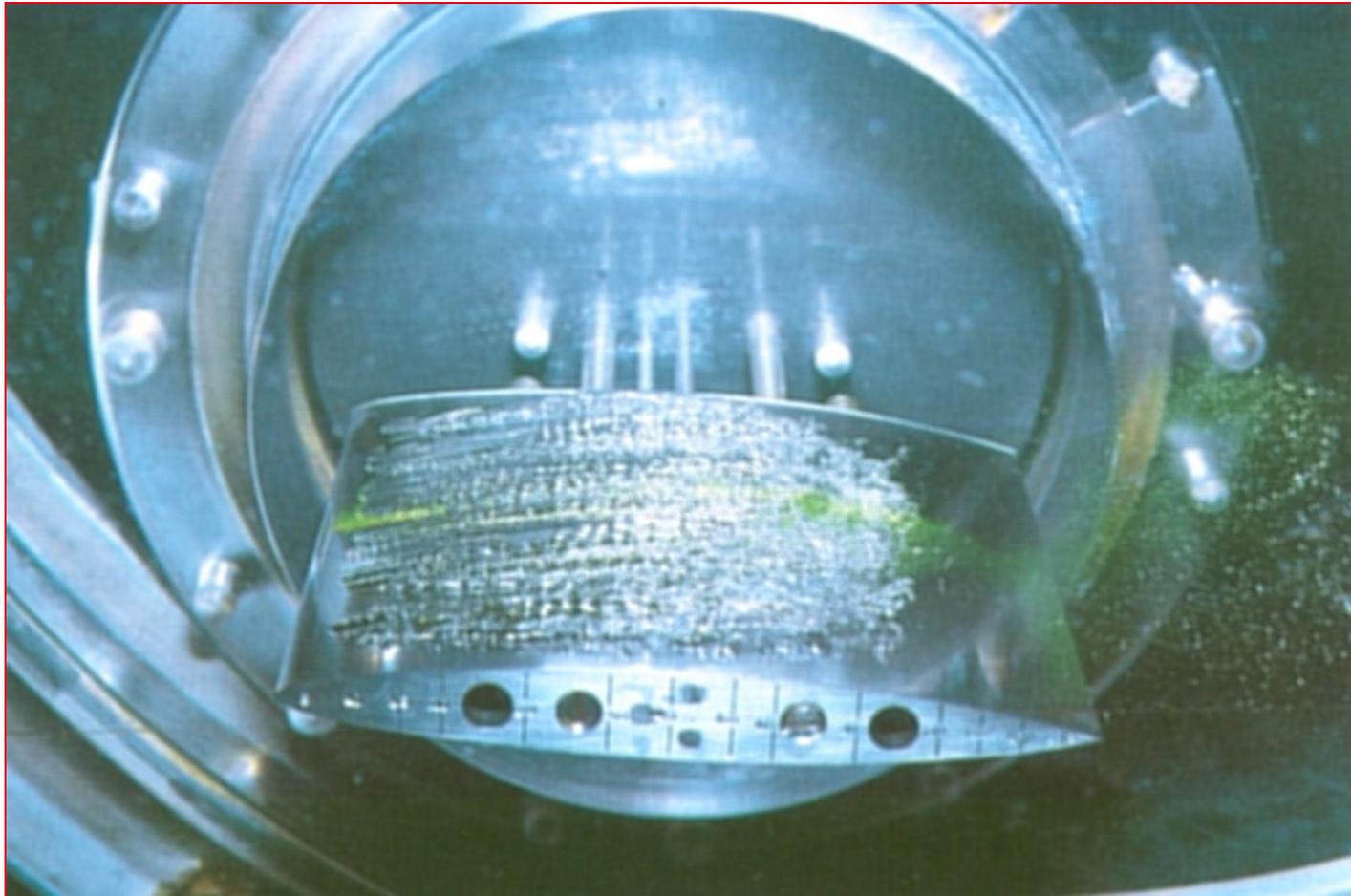


- 4.1** Begriffe zur fortgeschrittenen Kavitation
- 4.2** Wolkenkavitation („cloud cavitation“)
- 4.3** „Fixed Cavity“
- 4.4** Beispiel zur Beeinflussung der fortgeschrittenen Kavitation
- 4.5** Zustände für $\sigma \ll \sigma_i$

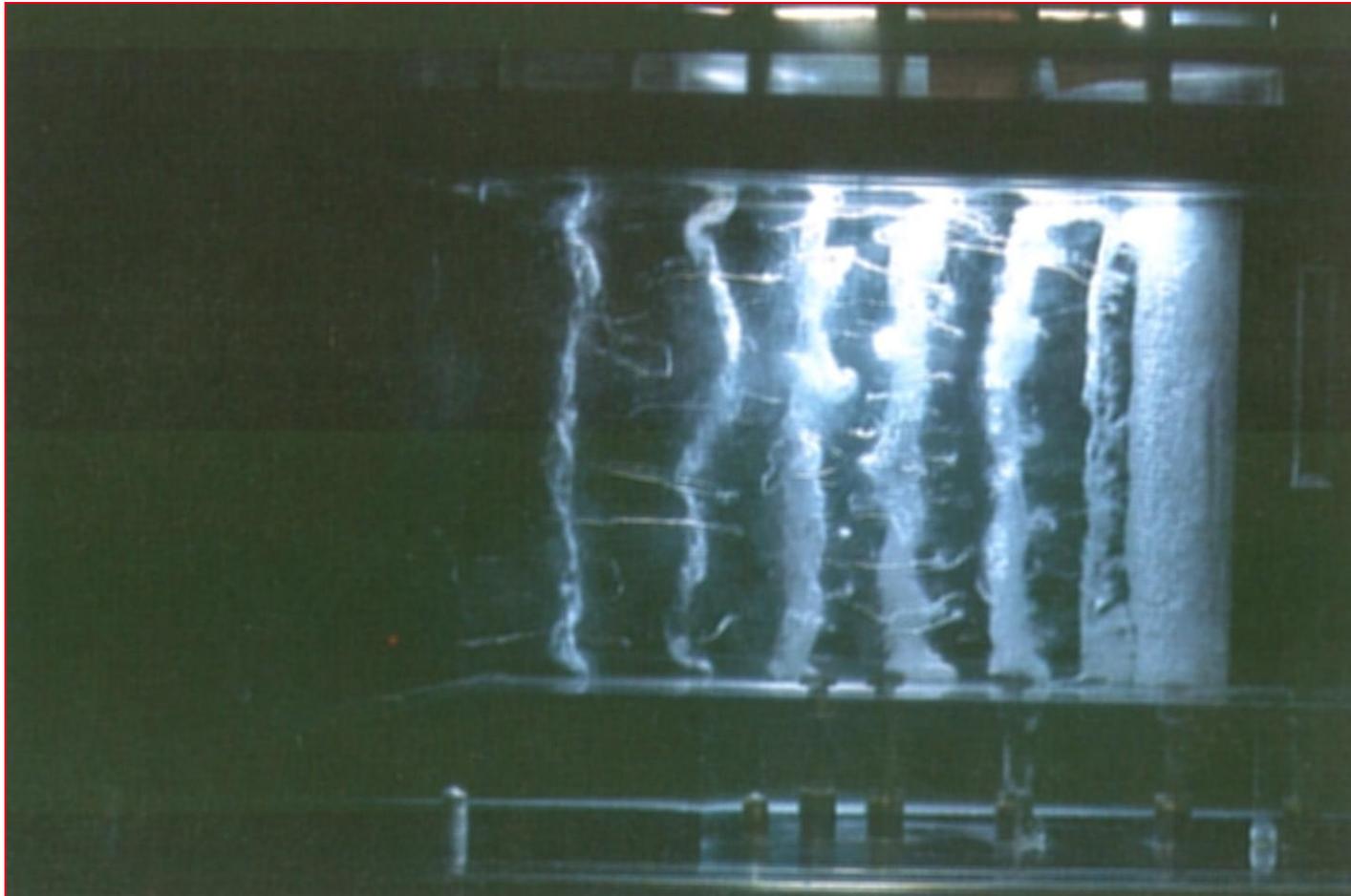
4.1 Begriffe zur fortgeschrittenen Kavitation - Einzelblasenkavitation



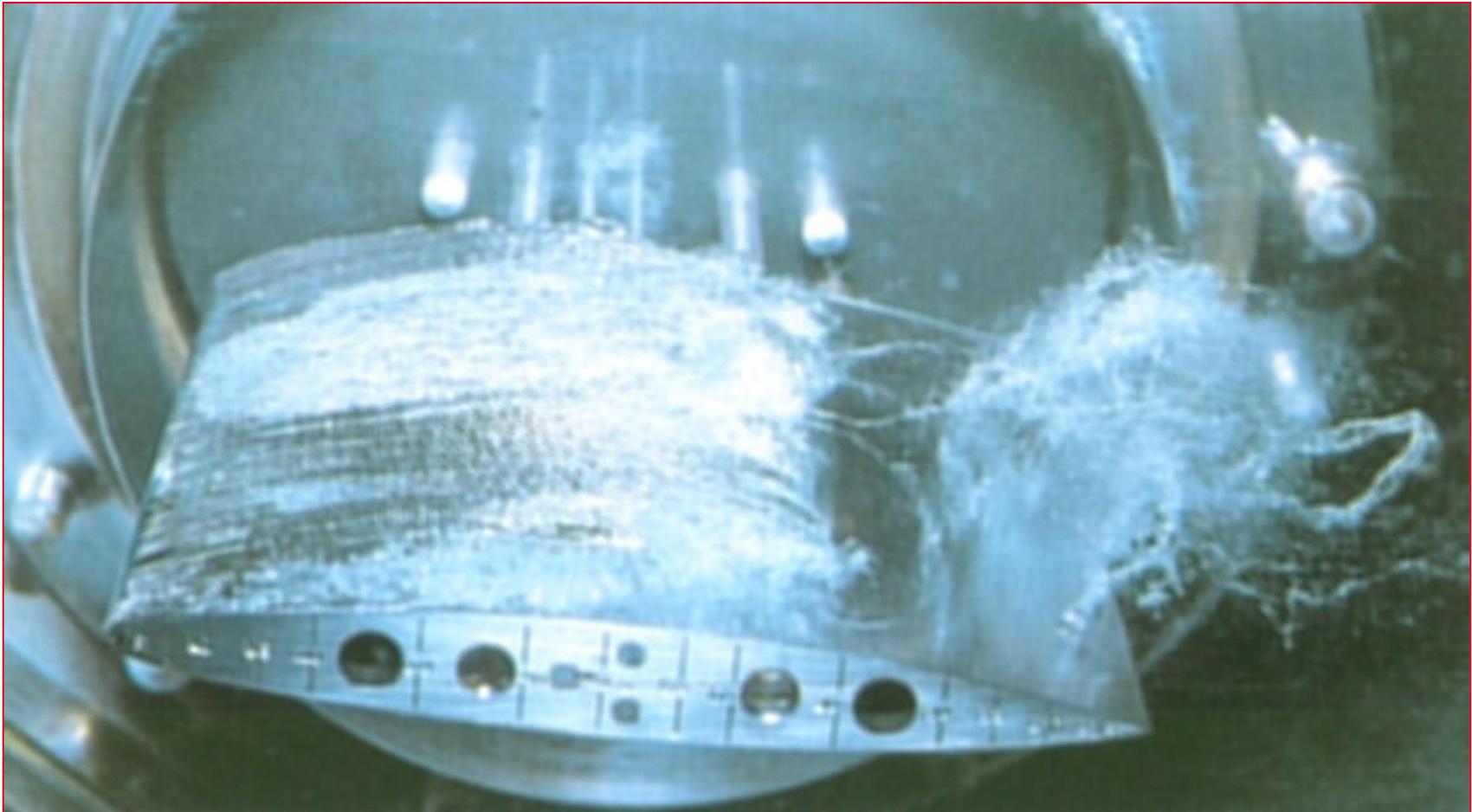
4.1 Begriffe zur fortgeschrittenen Kavitation - Schichtkavitation



4.1 Begriffe zur fortgeschrittenen Kavitation - Wirbelkavitation in einer Scherschicht



4.1 Begriffe zur fortgeschrittenen Kavitation - instationäre Wolkenkavitation



4.1 Begriffe zur fortgeschrittenen Kavitation - Superkavitation



4.1 Begriffe zur fortgeschrittenen Kavitation



Einzelblase

(„bubble cavitation“)

Dampfblase, ohne Wechselwirkung

Blasen-Cluster:

Dampfblasen, mit Wechselwirkung

„Void fraction“:

Hohlraumvolumen eines Flüssigkeits-Blasen-Gemischs

Schichtkavitation

(„sheet cavitation“):

Zusammenhängendes Dampfgebiet

Wirbelkavitation

(„vortex cavitation“):

Kavitation im Kern eines Wirbels (Ort des minimalen Drucks)

Wolkenkavitation

(„cloud cavitation“):

Instationäre Kavitation in lokalen Gebieten (Blasen-Cluster)

anhaftende Kavitation

(„fixed cavitation“):

Anhaftendes Kavitationsgebiet eines instationären Kavitationszustandes

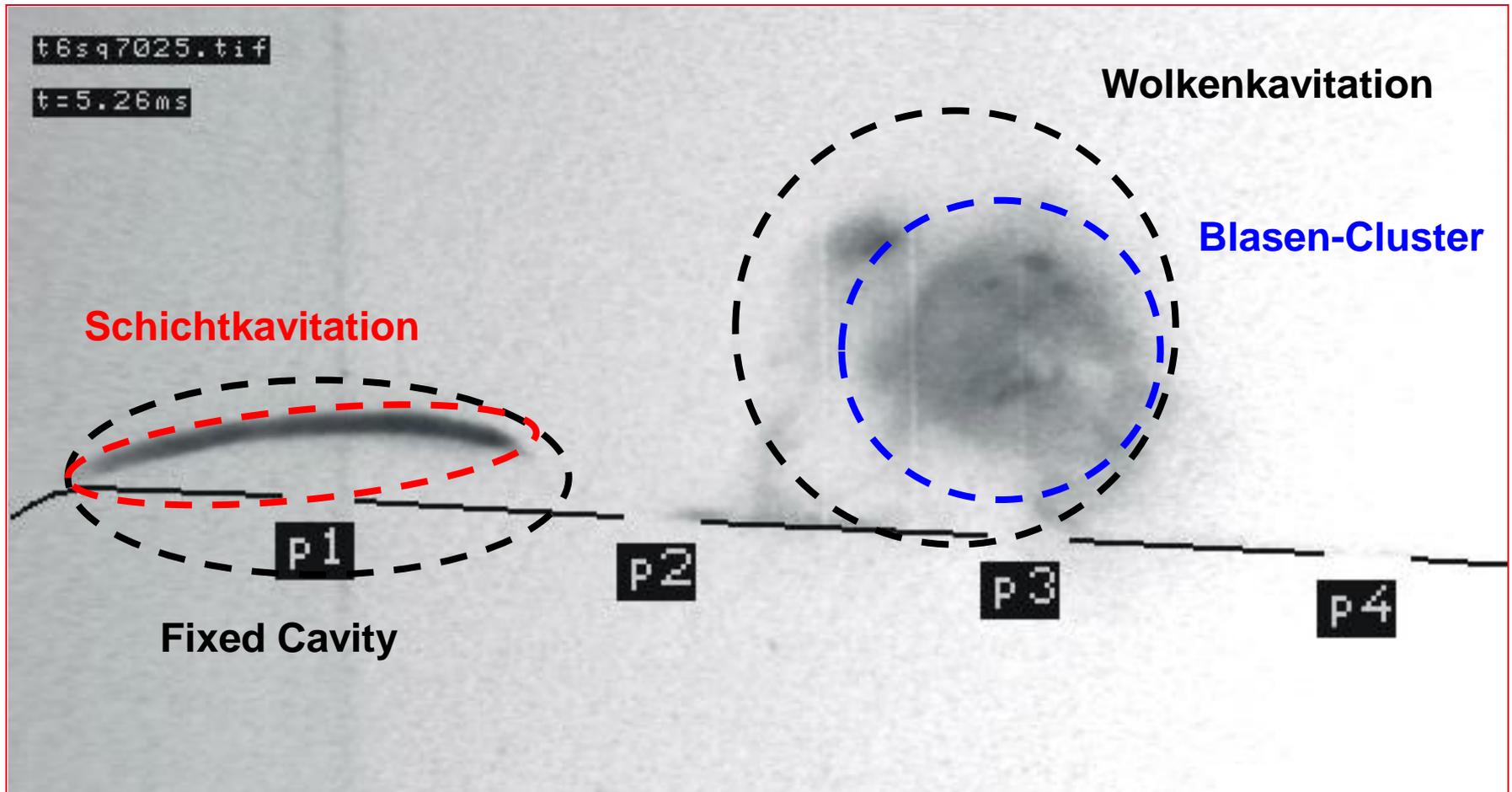
Vollkavitation:

Kavitation ohne Druckrückgewinn bei Innenströmung

Superkavitation:

Kavitation über den gesamten Körper bei Außenströmung

4.1 Begriffe zur fortgeschrittenen Kavitation



4.2 Wolkenkavitation („cloud cavitation“) (1)

Zu betrachten:

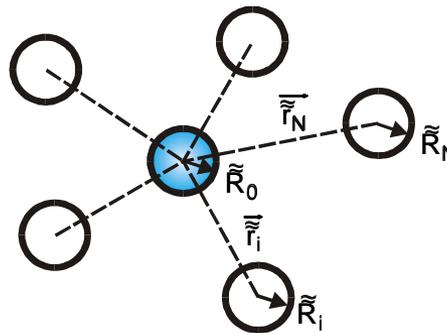
Blasen - Cluster

D.h. Interaktion zwischen den Blasen, geänderte Wachstums- und Implosionsgeschwindigkeit

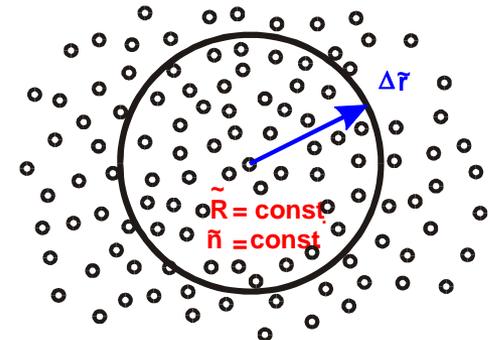
Zu berücksichtigen:

1.) Cluster - Modell von KUBOTA & KATO

- gleicher Radius \tilde{R} aller Blasen
- homogene räumliche Verteilung \tilde{n} [1/m³]
- „Einflussradius“ $\Delta \tilde{r}$



Blasenordnung im Cluster



Einflussradius $\Delta \tilde{r}$

4.2 Wolkenkavitation („cloud cavitation“) (2)



⇒ modifizierte RAYLEIGH-PLESSET-Gleichung

$$\left[1 + \underline{2\pi(\Delta\tilde{r})^2 \cdot \tilde{n} \cdot \tilde{R}} \right] \cdot \tilde{R} \cdot \ddot{\tilde{R}} + \left[\frac{3}{2} + \underline{4\pi(\Delta\tilde{r})^2 \cdot \tilde{n} \cdot \tilde{R}} \right] \cdot \dot{\tilde{R}}^2 + \underline{2\pi(\Delta\tilde{r})^2 \cdot \dot{\tilde{n}} \cdot \tilde{R}^2 \cdot \dot{\tilde{R}}} = \frac{1}{\rho_{\text{Fl}}} (p_{\text{FL,W}} - p_{\infty})$$

2.) Rückwirkung auf p_{∞}

Flüssigkeits-Blasen-Gemisch mit Volumenanteil
(„void fraction“)

$$\alpha = \frac{\sum V_{\text{Bl}}}{\sum V_{\text{Bl}} + \sum V_{\text{Fl}}}$$

Makroskopisches Modell

- $\alpha = f(\vec{r}, t)$
- $\rho_{\text{m}} = \alpha \cdot \rho_{\text{Bl}} + (1 - \alpha) \cdot \rho_{\text{Fl}} \approx (1 - \alpha) \cdot \rho_{\text{Fl}}$

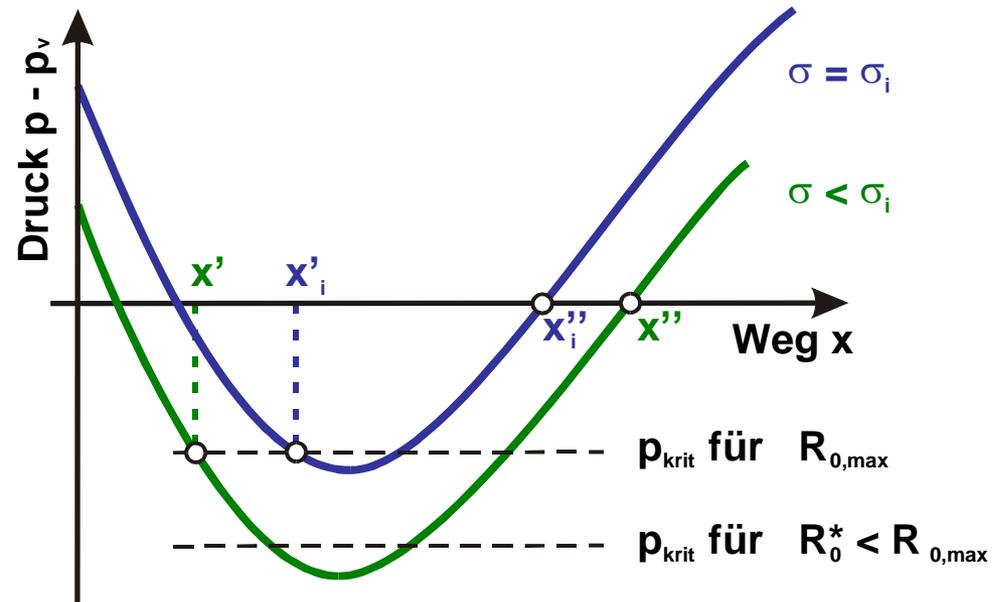
4.2 Wolkenkavitation („cloud cavitation“) (3)



Verknüpfung des mikroskopischen und des makroskopischen Modells:

$$\alpha \sim \tilde{n}\tilde{R}^3, \quad \alpha \rightarrow p_\infty \rightarrow \tilde{R}$$

**Blasen kavitation,
Ohne Wechselwirkung
der Blasen**
(Ausgangsvorstellung)

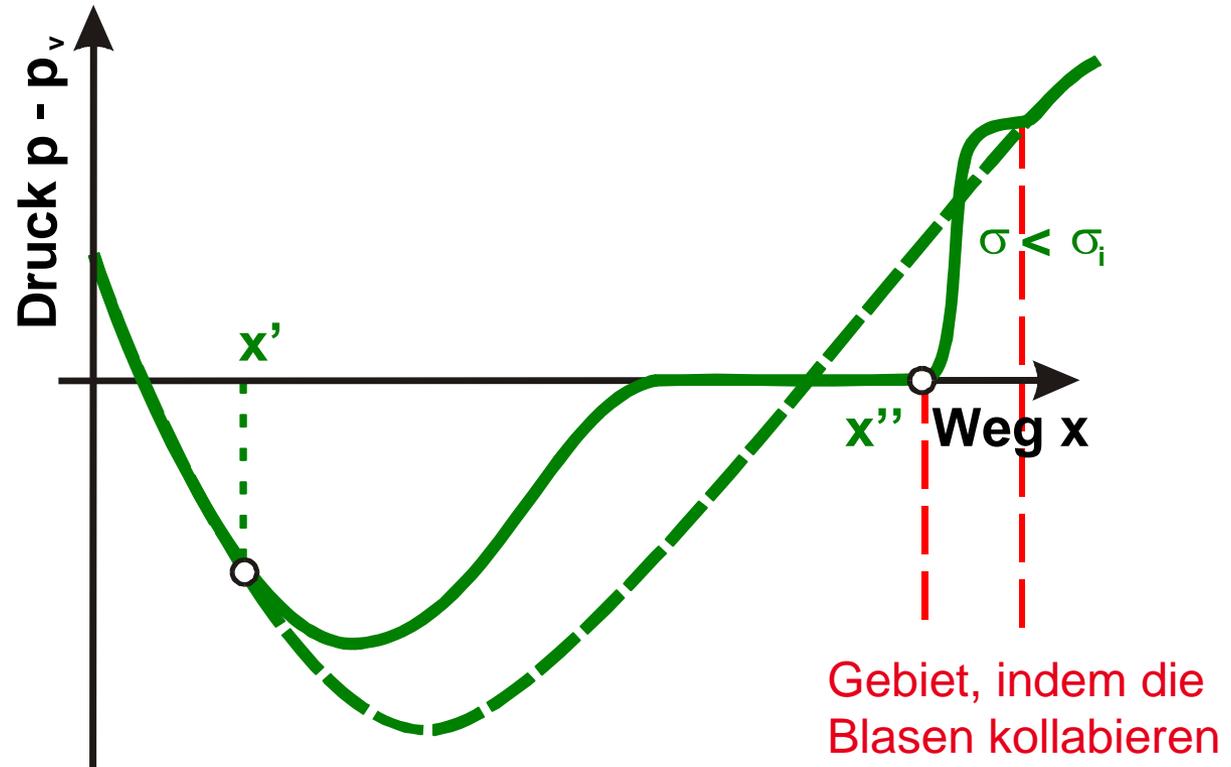


Abnehmendes σ :

- Zahl der Kavitationsblasen steigt
- Kavitationsgebiet dehnt sich aus

4.2 Wolkenkavitation („cloud cavitation“) (4)

**Blasen kavitation,
mit Wechselwirkung
der Blasen**
(Ergebnis der
Modellvorstellung)



Abweichung zwischen idealem Verlauf - - - und realem Verlauf — infolge des hohen Dampfanteils (d.h. theoretische Behandlung erfolgt als Zweiphasenströmung)

4.3 Fixed Cavity (1)



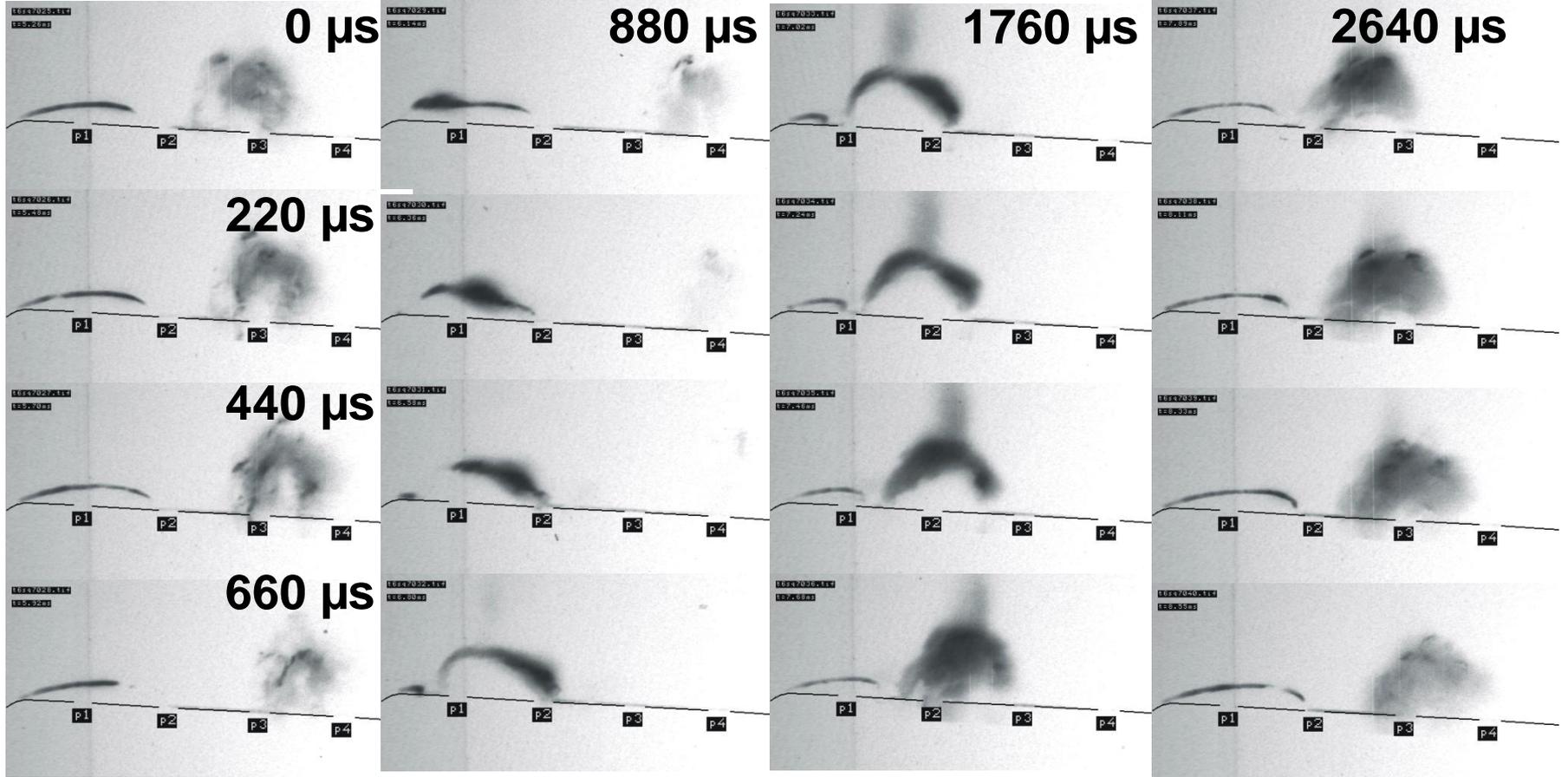
Definition

- Anhaftendes zusammenhängendes Dampfvolumen
- Entsteht in abgelösten Strömungen nach Auffüllen des Ablösegebietes mit Dampf

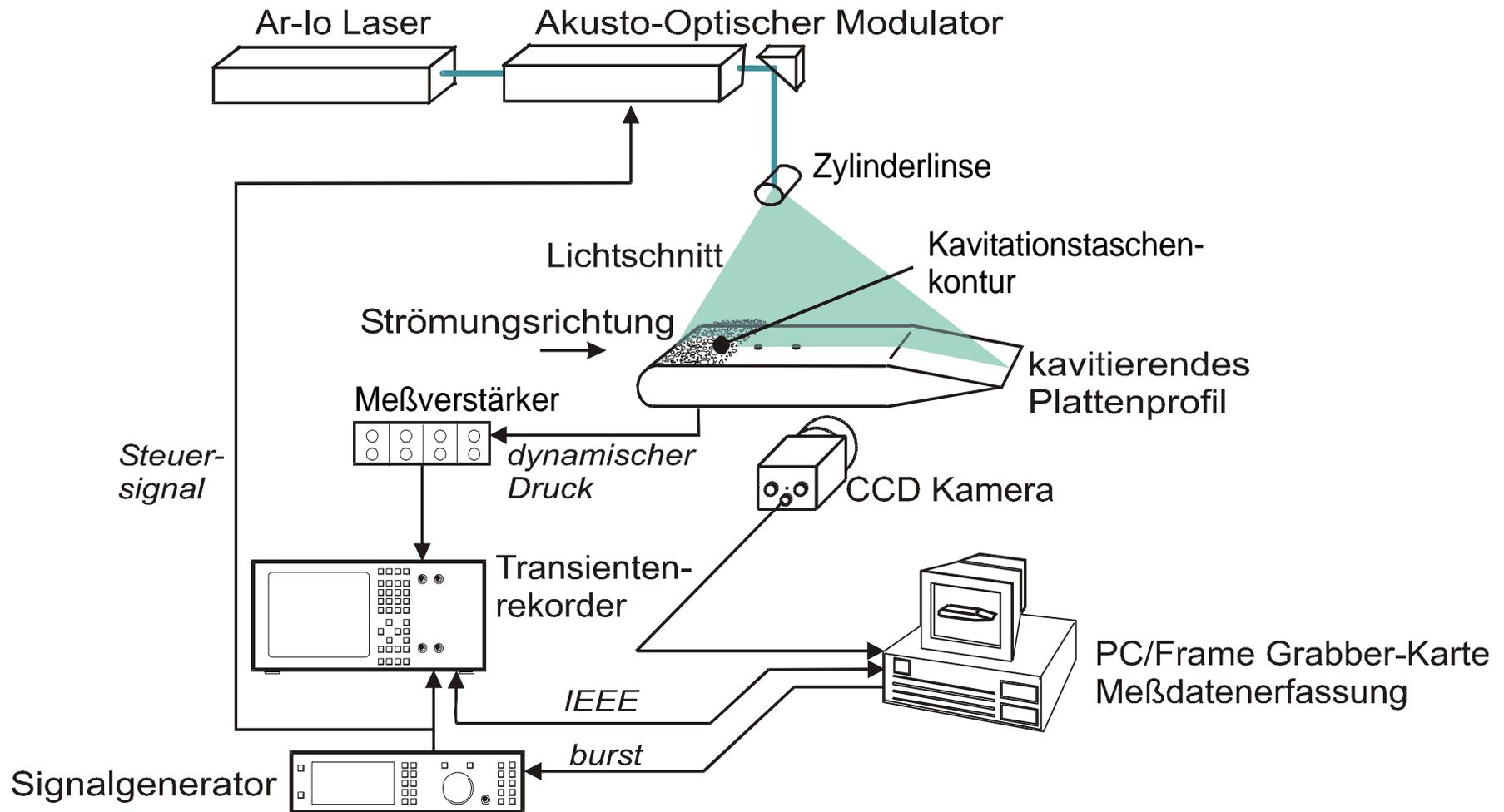
Aussehen der Trennfläche

- vorderer Bereich
 - klar bei laminarer Ablösung
 - rau (trüb) bei turbulenter Ablösung
- hinterer Bereich
 - instationär
 - Kollaps von Dampfanteilen

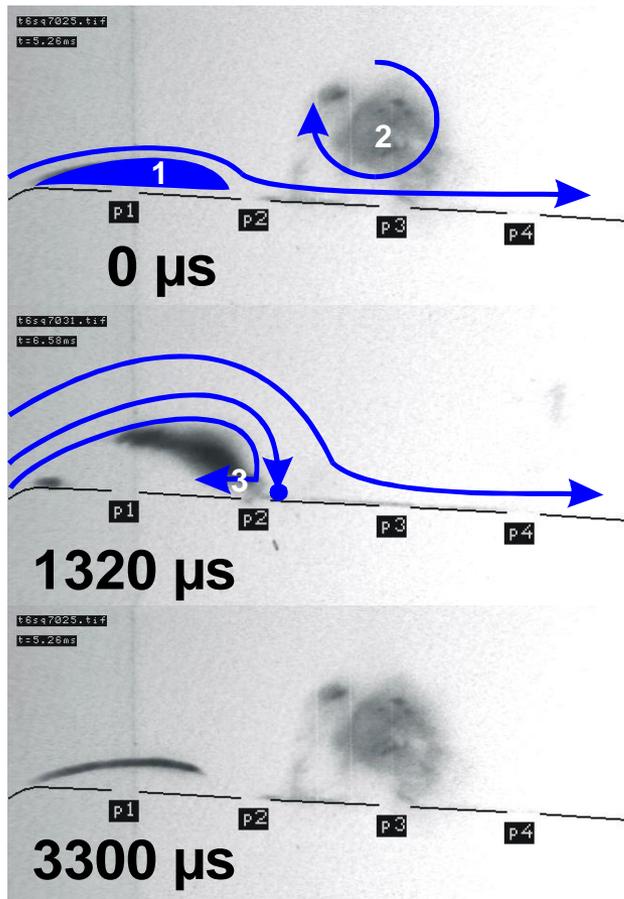
4.3 Fixed Cavity (2)



4.3 Fixed Cavity (3)



4.3 Fixed Cavity (4)



Kavitationszyklus

0 μs

- dampfgefülltes Ablösegebiet (1)
- abschwimmende Kavitationswolke (2)
Kavitationswolke schwimmt in Strömungsrichtung ab und zerfällt dabei in immer kleiner werdende cluster, bis diese verschwinden.

1320 μs

- reentrant-jet (3)
Wenn kinetische Energie groß genug, wandert der reentrant-jet zur Vorderkante.
⇒ Abschnürung des Ablösegebiets (1)

3300 μs

- Zyklus beginnt von vorne.

4.4 Beispiel zur Beeinflussung der fortgeschrittenen Kavitation (1)

Fortgeschrittene Kavitation

= f (Kavitationstyp,
Fortschrittsgrad,
Druckverlauf im Bereich der Kavitation,
Flüssigkeitseigenschaften,
Strömungsgeschwindigkeit)

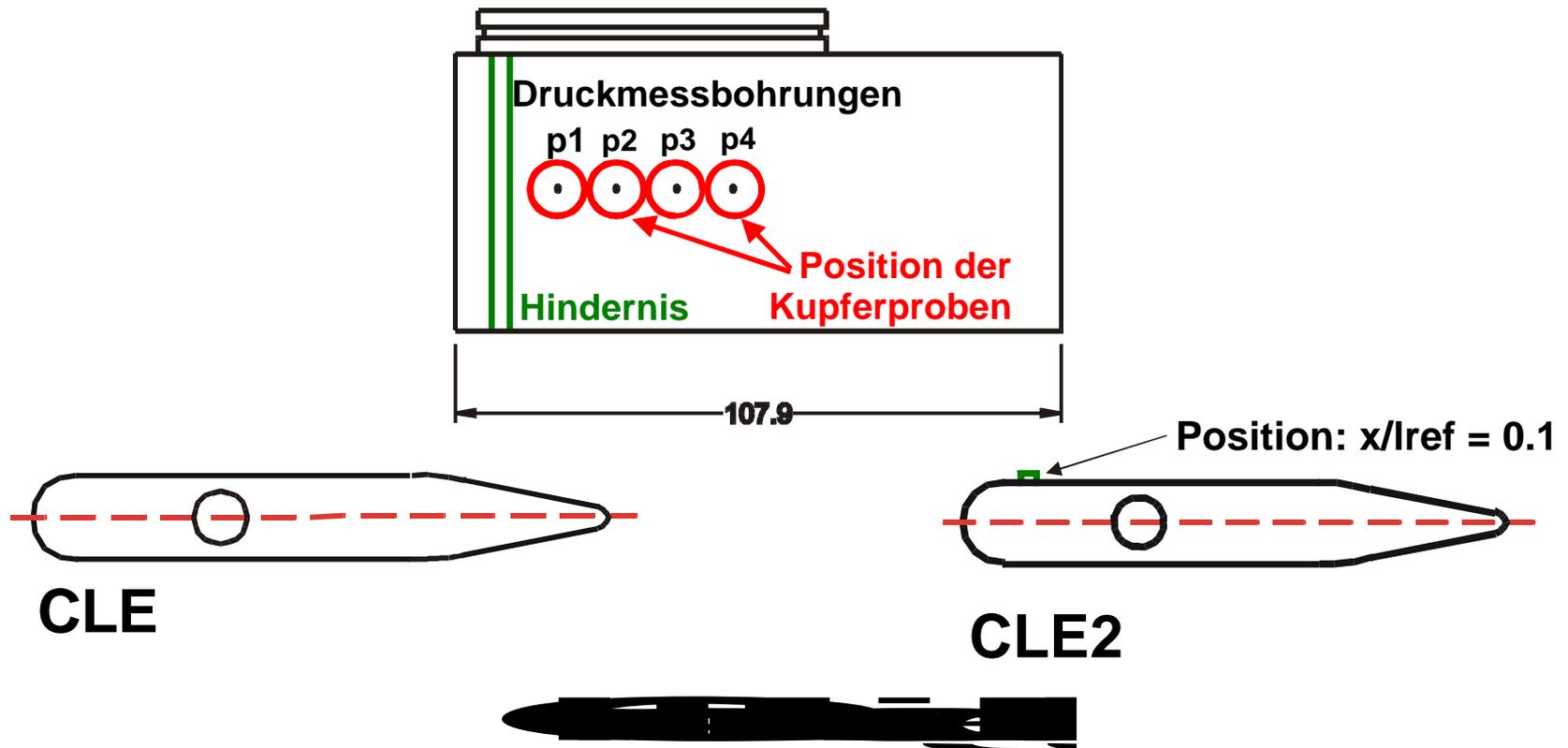
⇒ derzeit keine zuverlässige Vorhersage über Kavitationserscheinung möglich, aber Beeinflussung möglich:

- saugseitiger Druck
- Geometrie
- Gasgehalt
- Volumenstrom

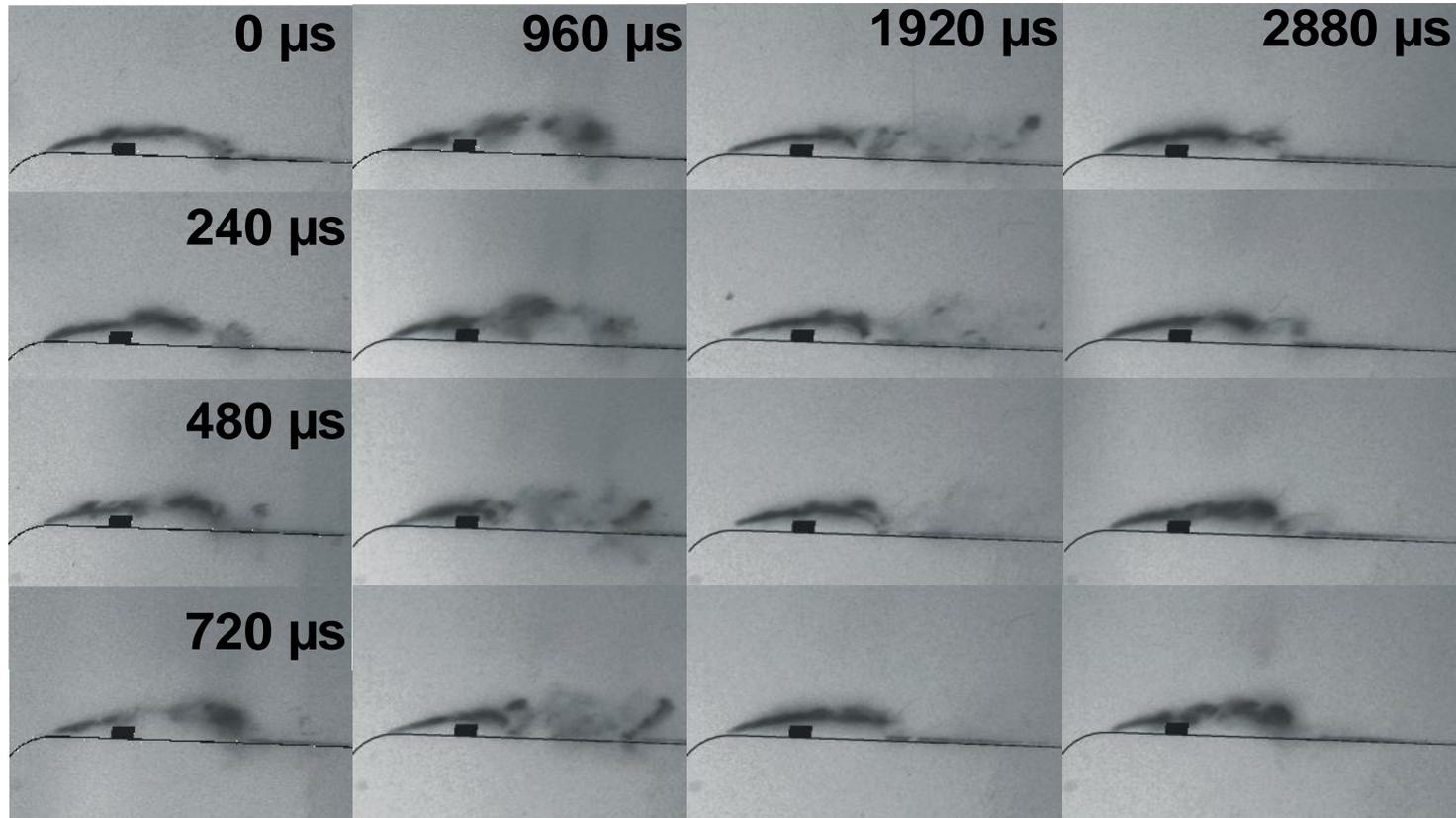
4.4 Beispiel zur Beeinflussung der fortgeschrittenen Kavitation (2)

Beispiel

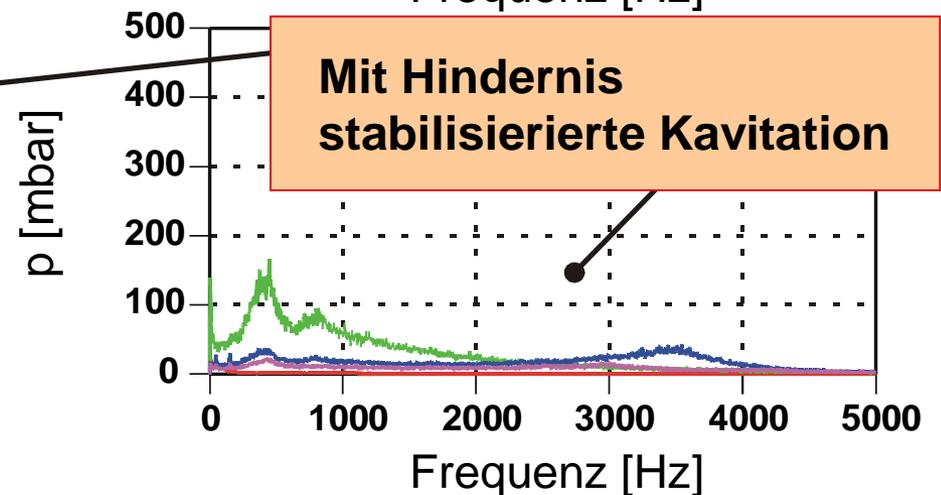
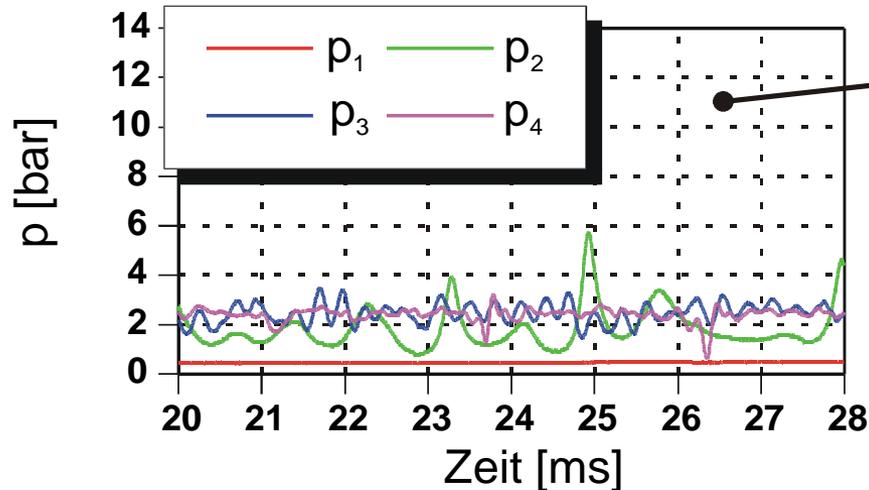
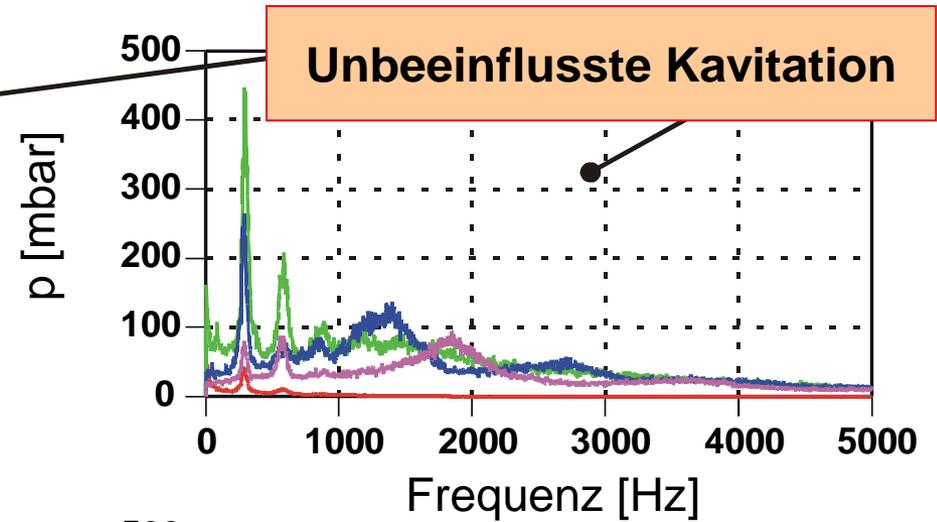
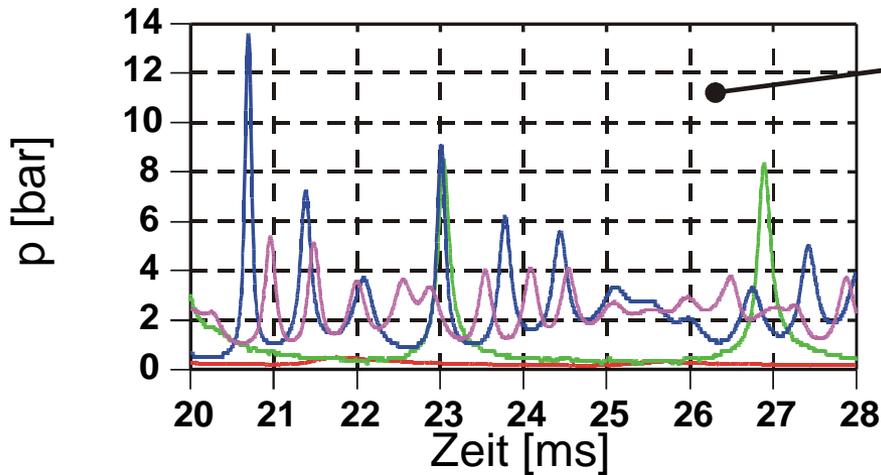
Variation der Geometrie durch ein Hindernis



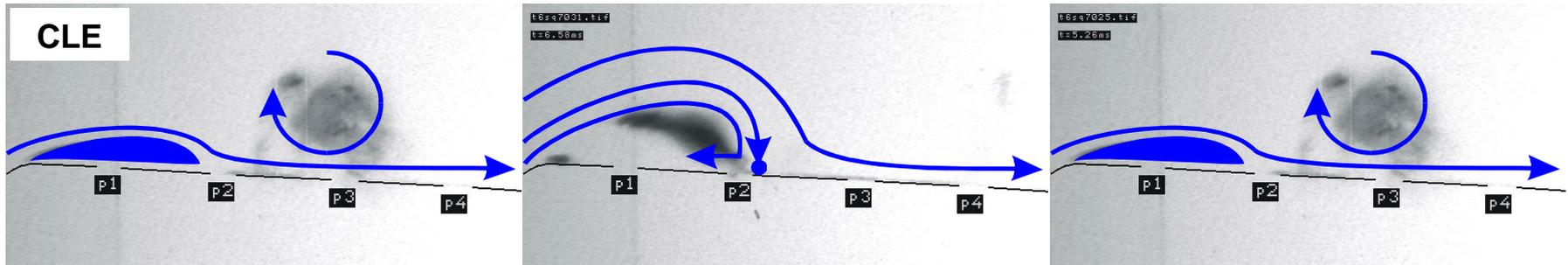
4.4 Beispiel zur Beeinflussung der fortgeschrittenen Kavitation (2)



4.4 Beispiel zur Beeinflussung der fortgeschrittenen Kavitation (2)



4.4 Beispiel zur Beeinflussung der fortgeschrittenen Kavitation (5)

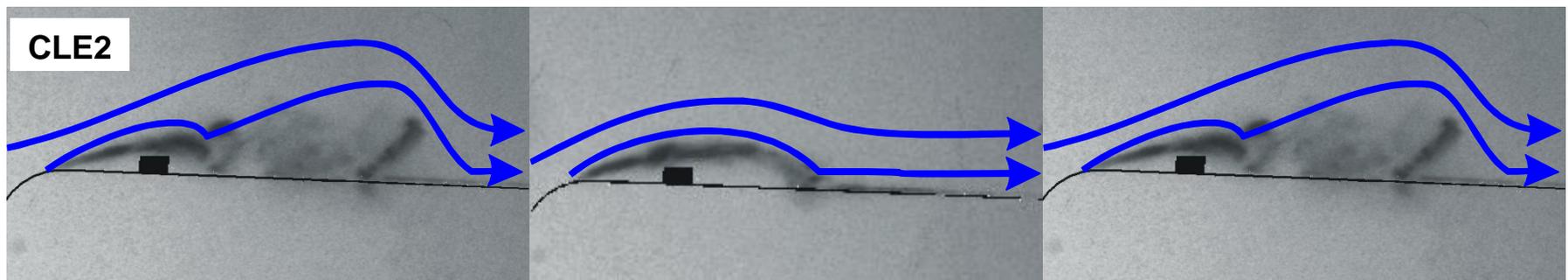


Instationäre Kavitation:

a.) Schichtkavitation;

b.) reentrant-jet;

c.) abschwimmende Wolke

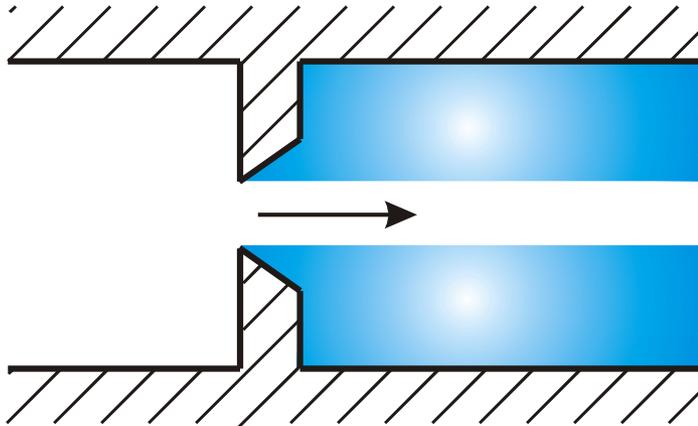


Stabilisierte Kavitation:

Reentrant-jet durch Hindernis unterdrückt \Rightarrow stationäre Kavitation

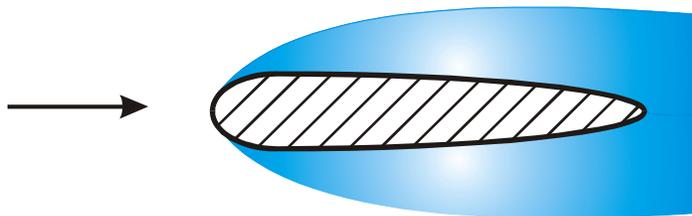
4.5 Zustände für $\sigma \ll \sigma_i$

Innenströmung



Vollkavitation

Außenströmung



Supercavitation

$$l_{\text{kav}} > l_{\text{Körper}}$$