

4.1 Begriffe zur fortgeschrittenen Kavitation - Einzelblasenkavitation (1/2)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



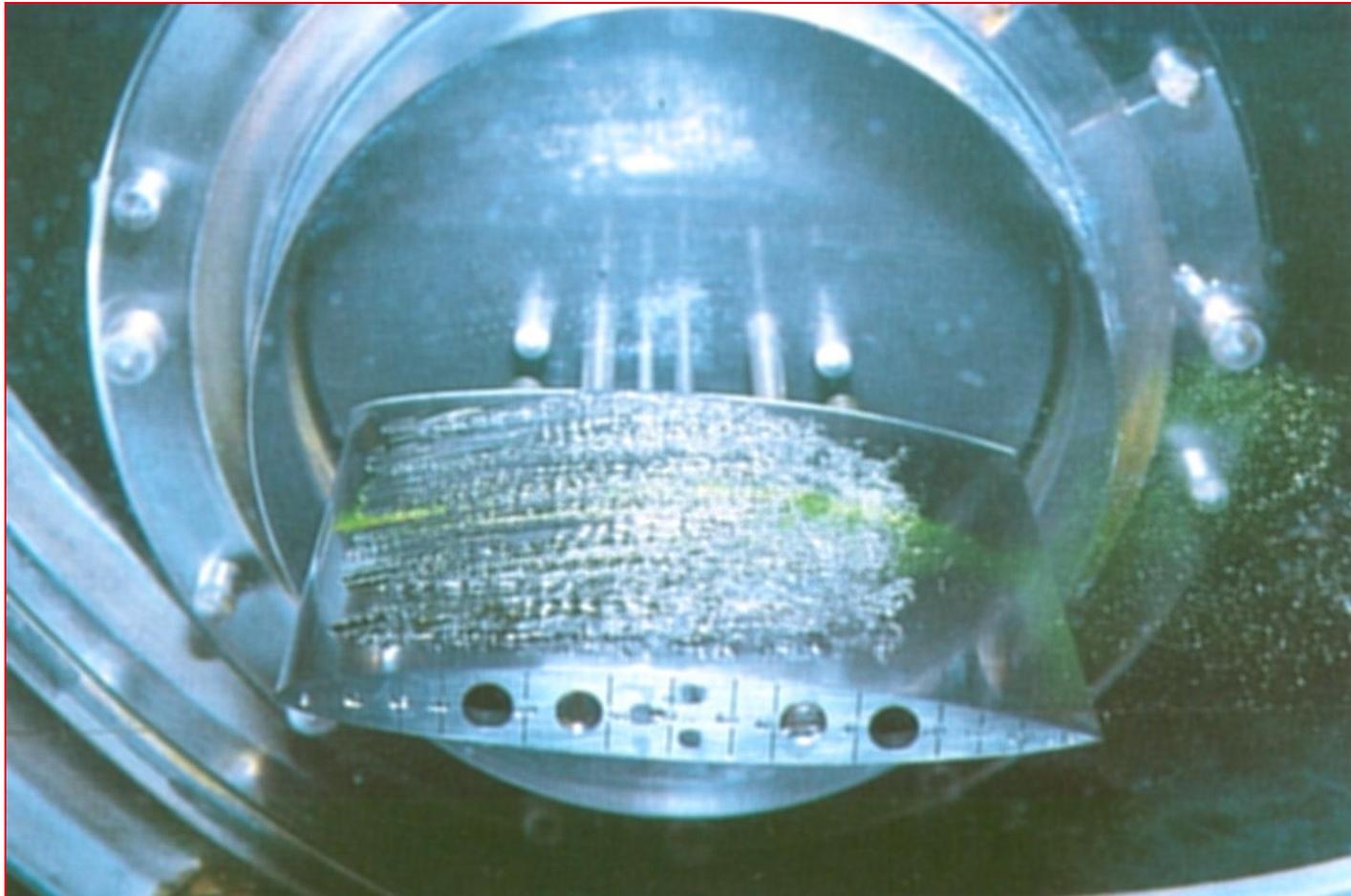
4.1 Begriffe zur fortgeschrittenen Kavitation - Einzelblasenkavitation (2/2)



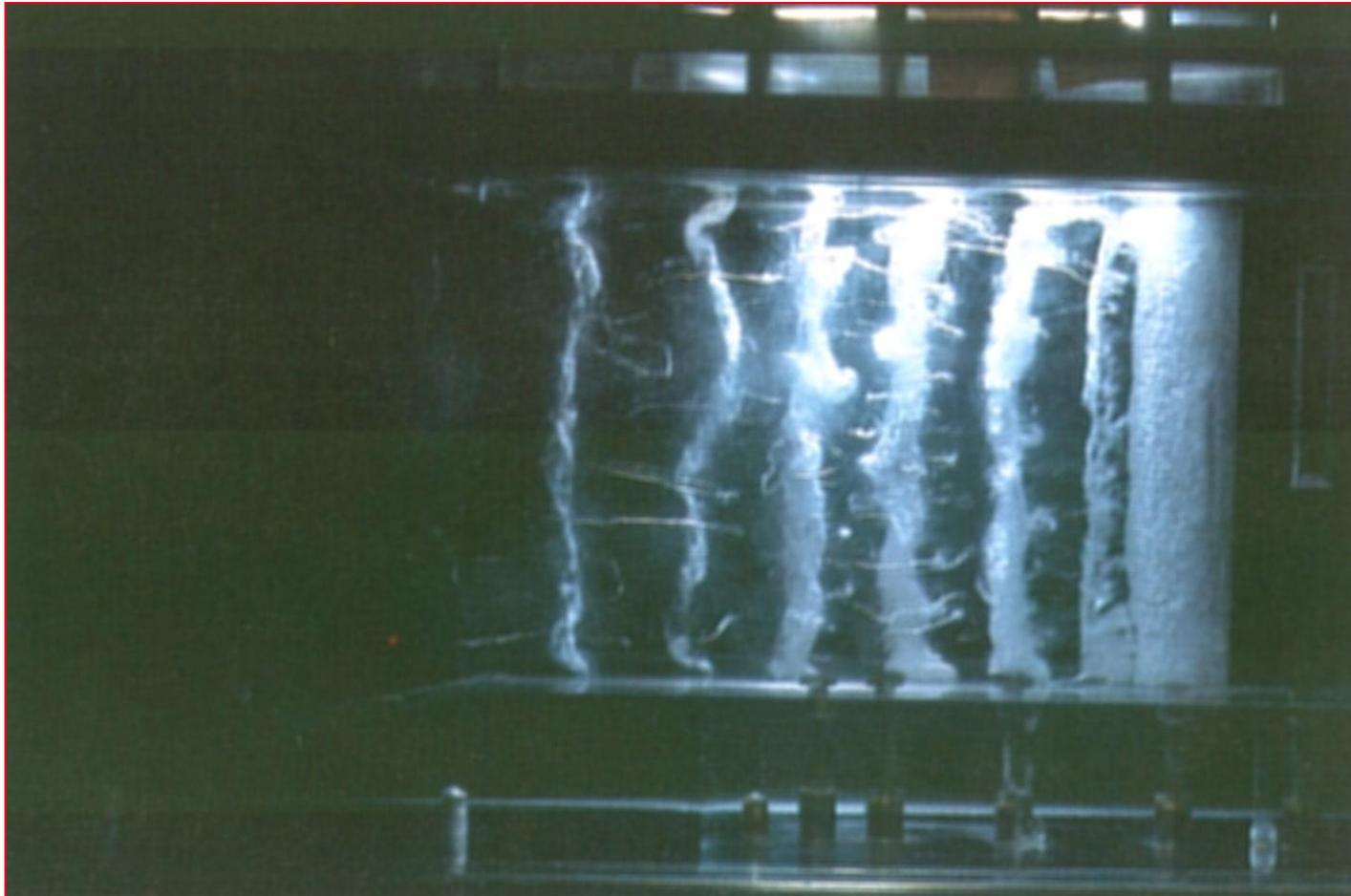
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



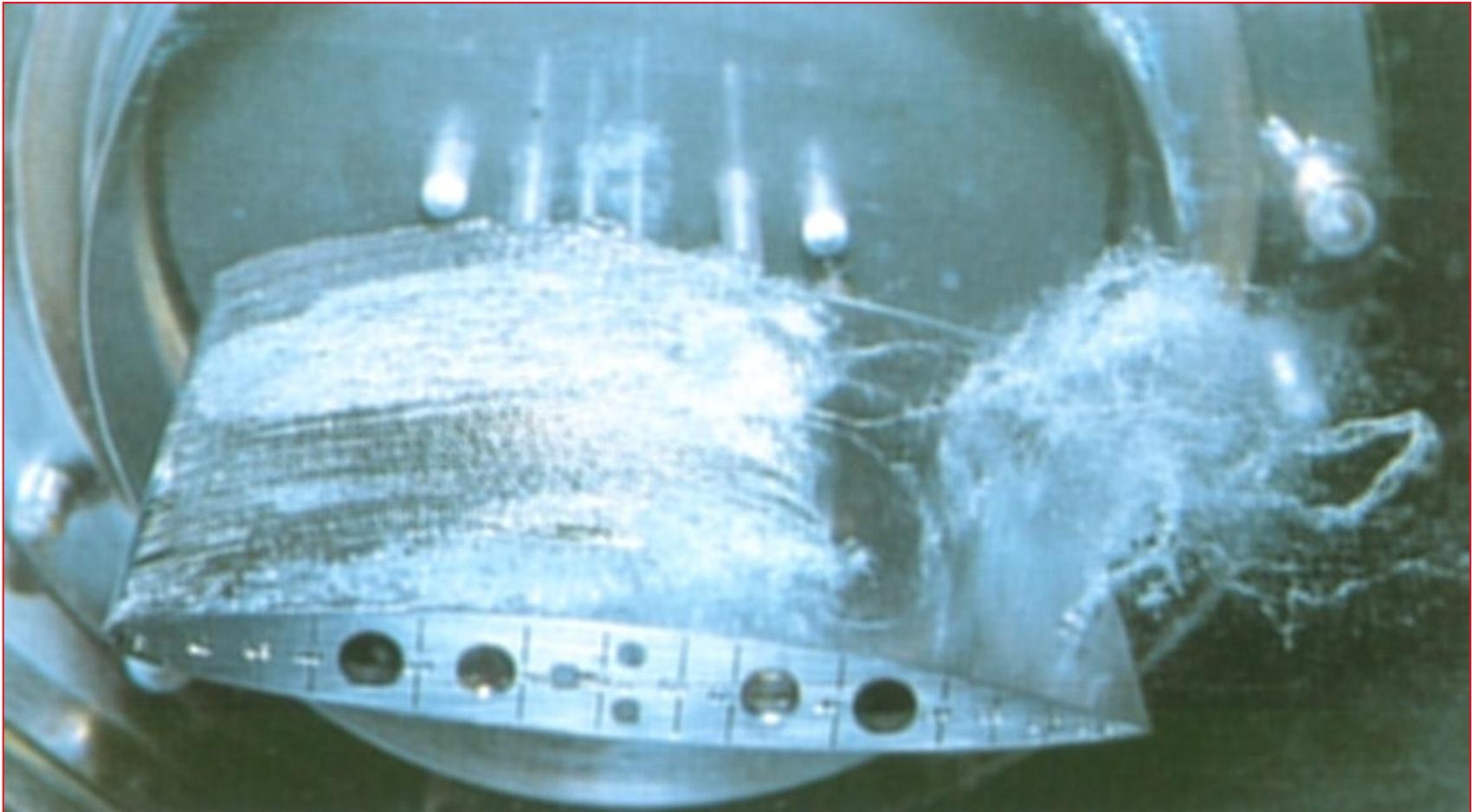
4.1 Begriffe zur fortgeschrittenen Kavitation - Schichtkavitation



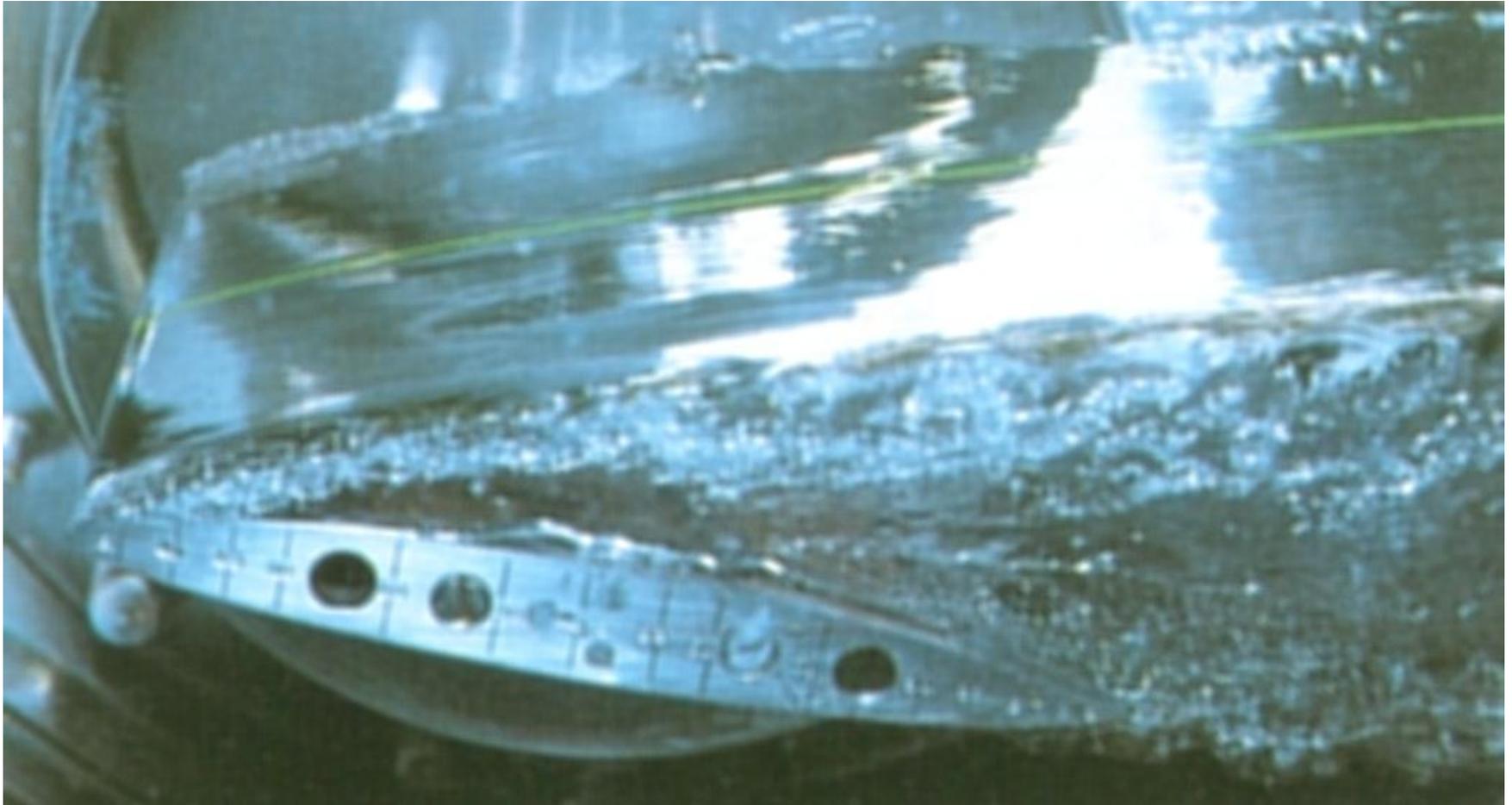
4.1 Begriffe zur fortgeschrittenen Kavitation - Wirbelkavitation in einer Scherschicht



4.1 Begriffe zur fortgeschrittenen Kavitation - instationäre Wolkenkavitation



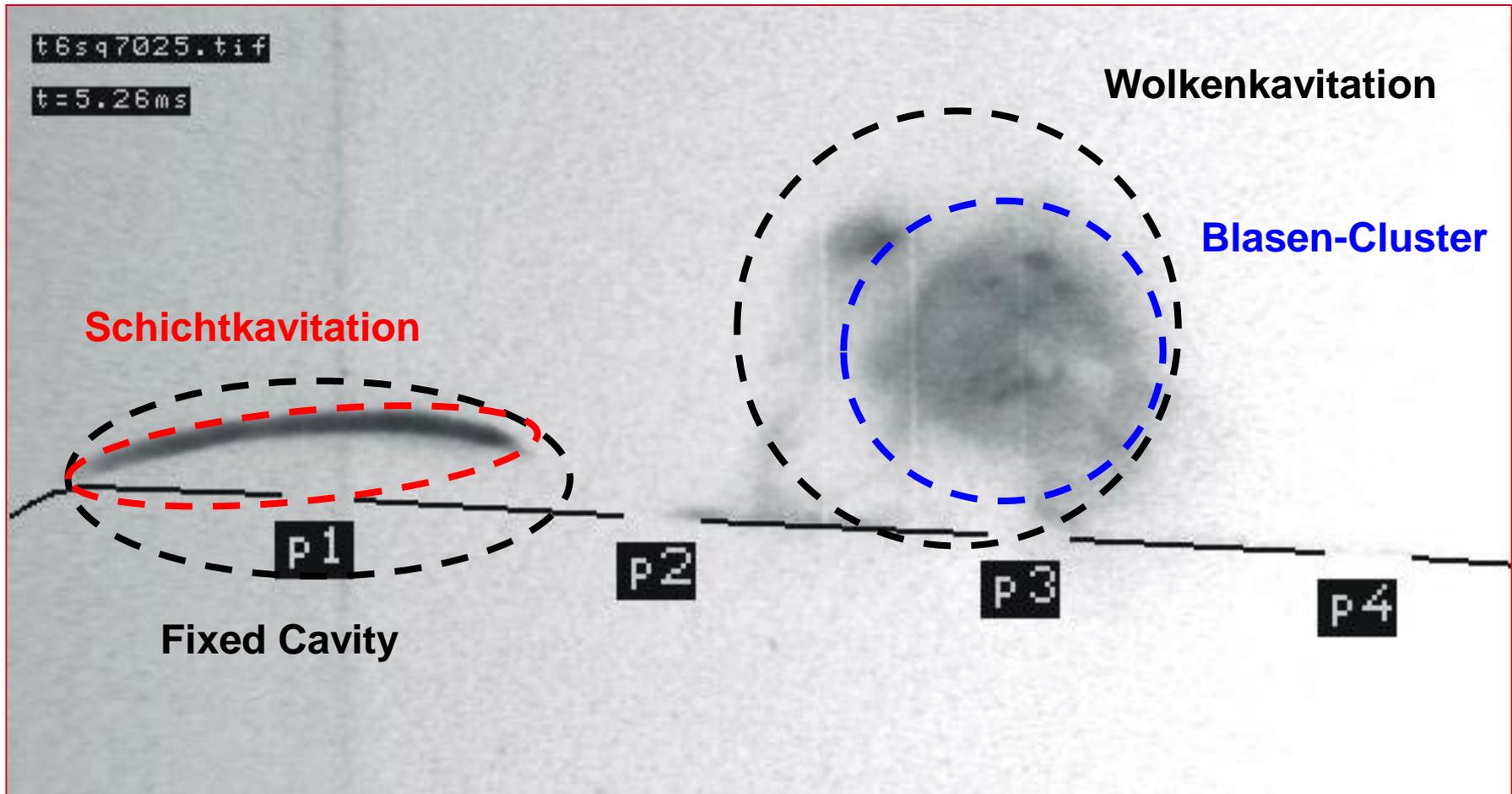
4.1 Begriffe zur fortgeschrittenen Kavitation - Superkavitation



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 („choking cavitation“):	Kavitation ohne Druckrückgewinn bei Innenströmung
Superkavitation:	Kavitation über den gesamten Körper bei Außenströmung

4.1 Begriffe zur fortgeschrittenen Kavitation



4.2 Wolkenkavitation („cloud cavitation“) (1/4)



Zu betrachten:

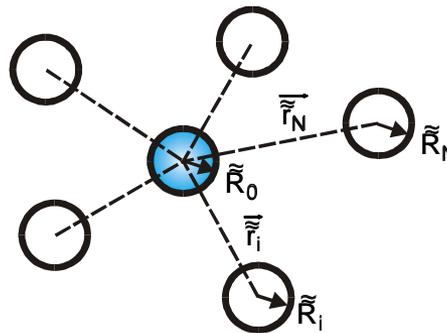
Blasen - Cluster

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

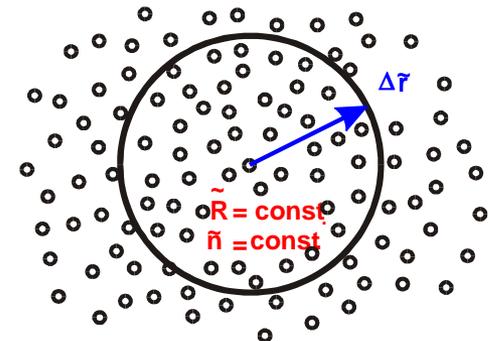
Zu berücksichtigen:

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“) (2/4)



⇒ 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

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

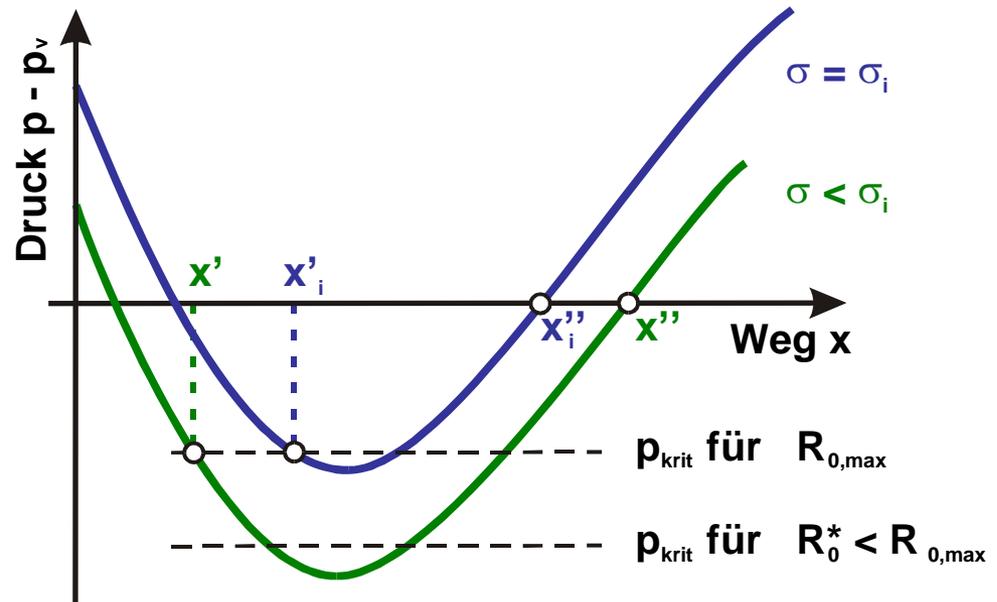
4.2 Wolkenkavitation („cloud cavitation“) (3/4)



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)



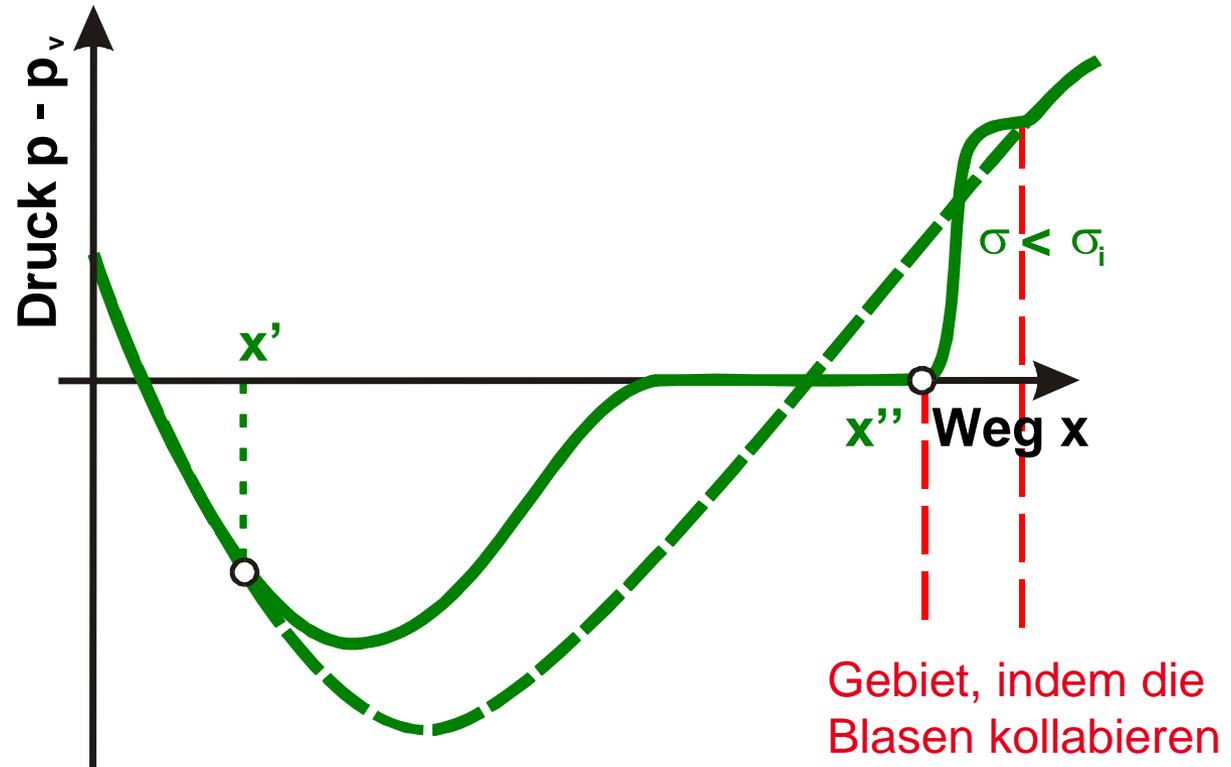
Abnehmendes σ :

- Zahl der Kavitationsblasen steigt
- Kavitationsgebiet dehnt sich aus

4.2 Wolkenkavitation („cloud cavitation“) (4/4)



**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

(1/4)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

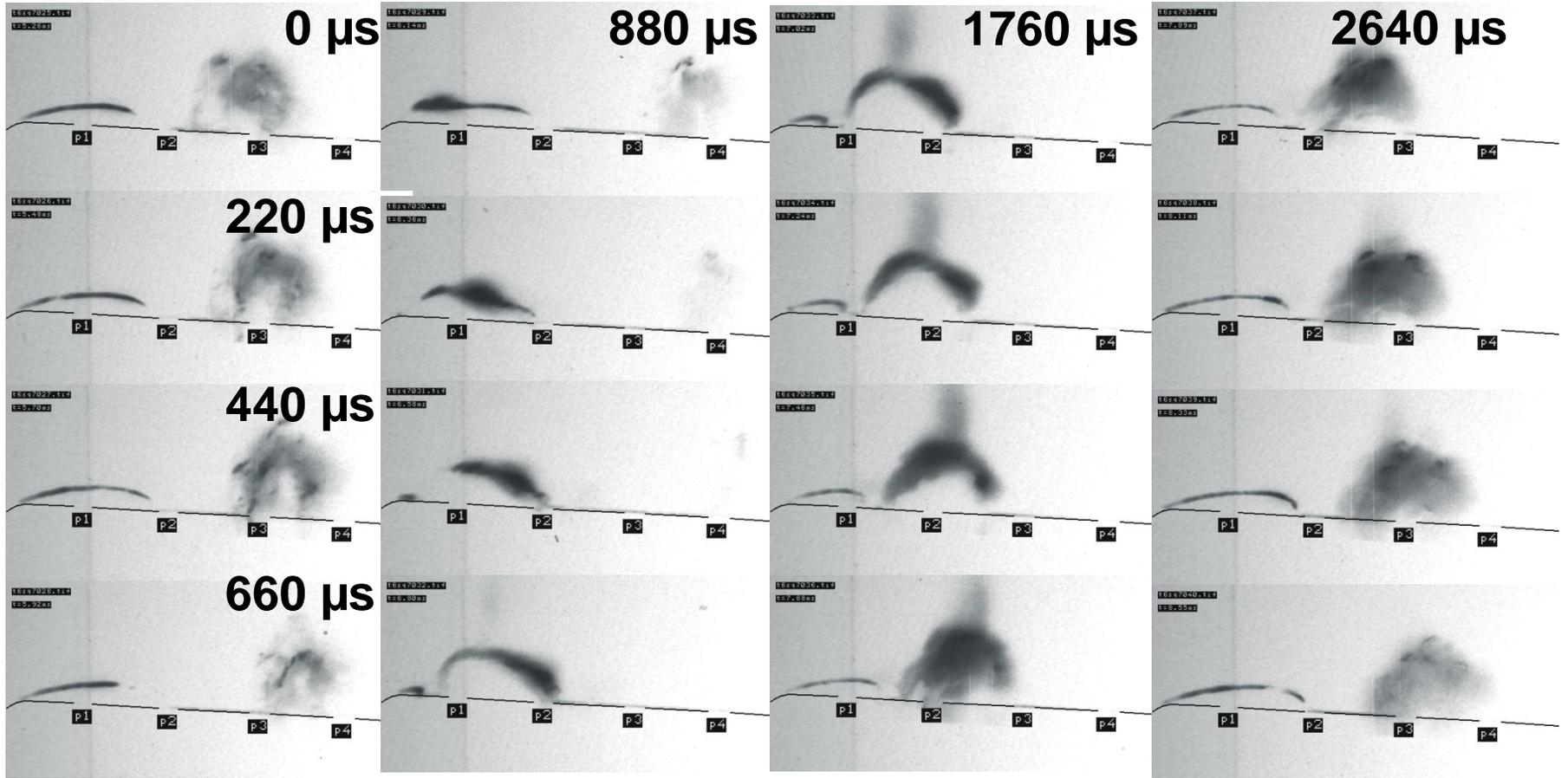
Definition

- 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

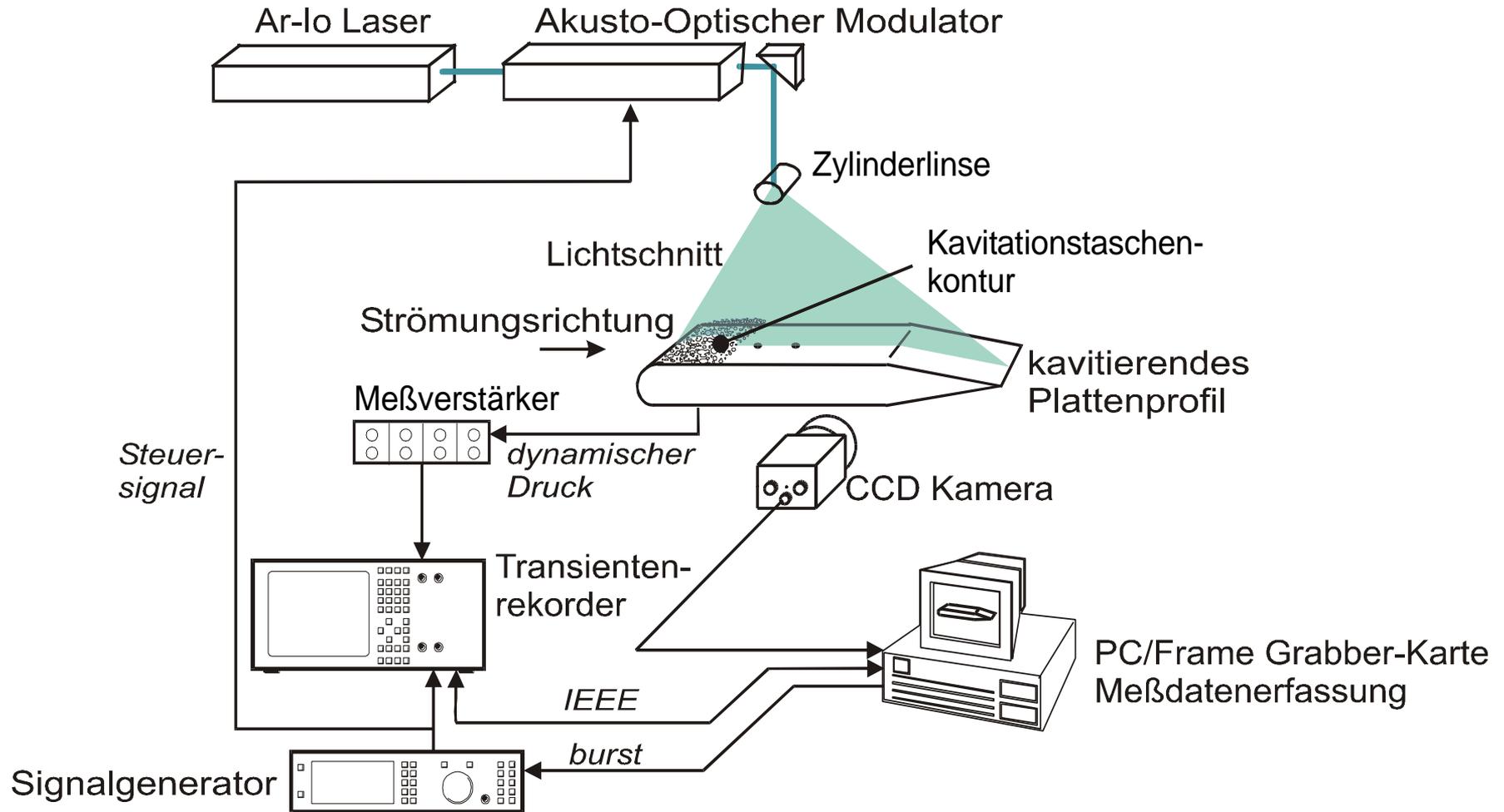


4.3 Fixed Cavity

(3/4)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

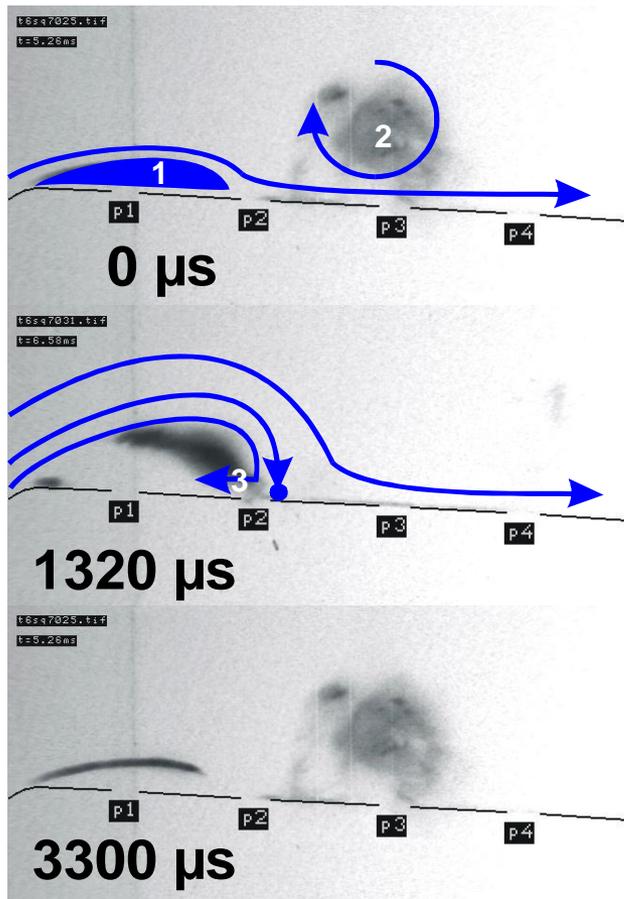


4.3 Fixed Cavity

(4/4)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



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

(1/5)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Fortgeschrittene Kavitation

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

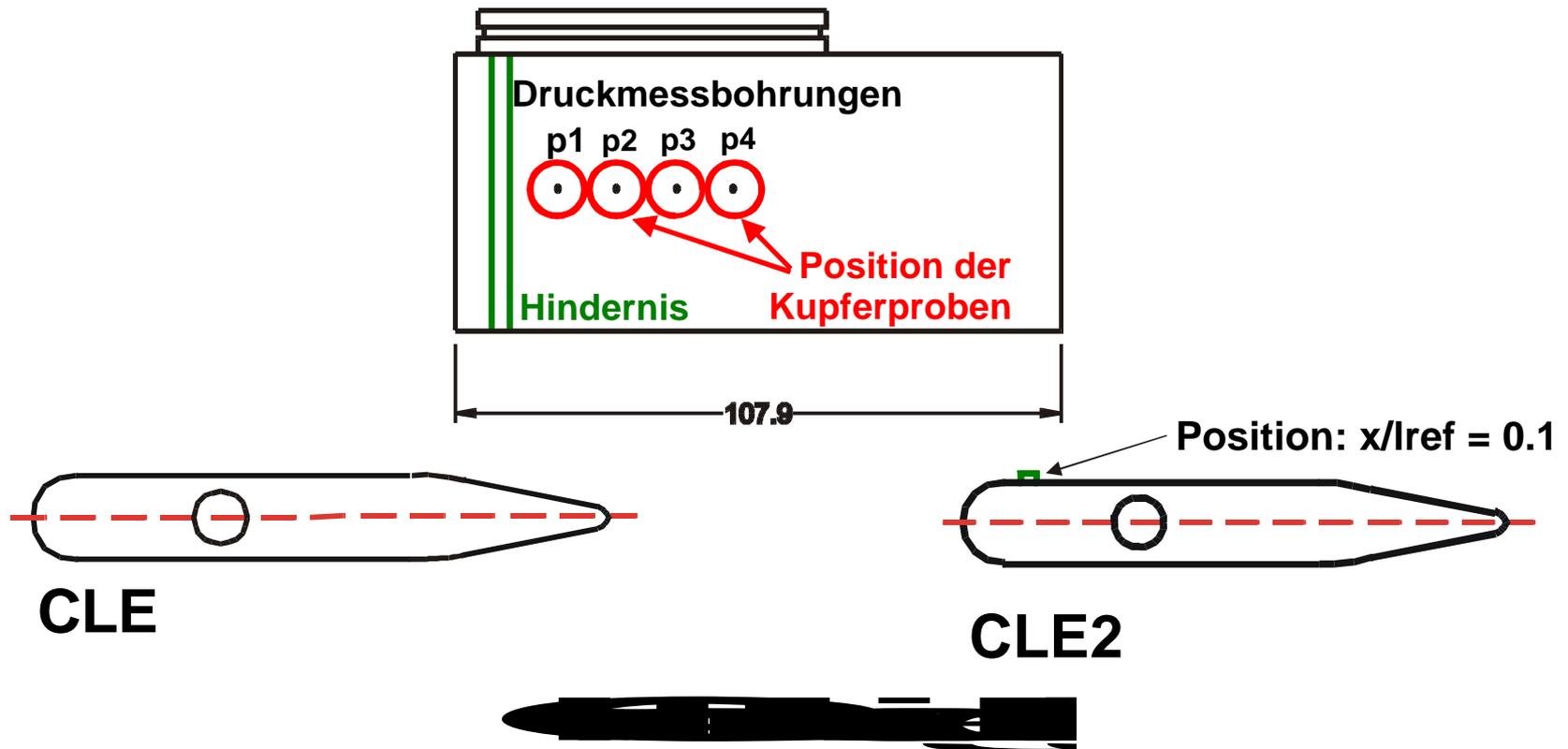
⇒ derzeit keine zuverlässige Vorhersage über Kavitationserscheinung möglich, aber Beeinflussung möglich:

- saugseitiger Druck
- Geometrie
- Gasgehalt
- Volumenstrom

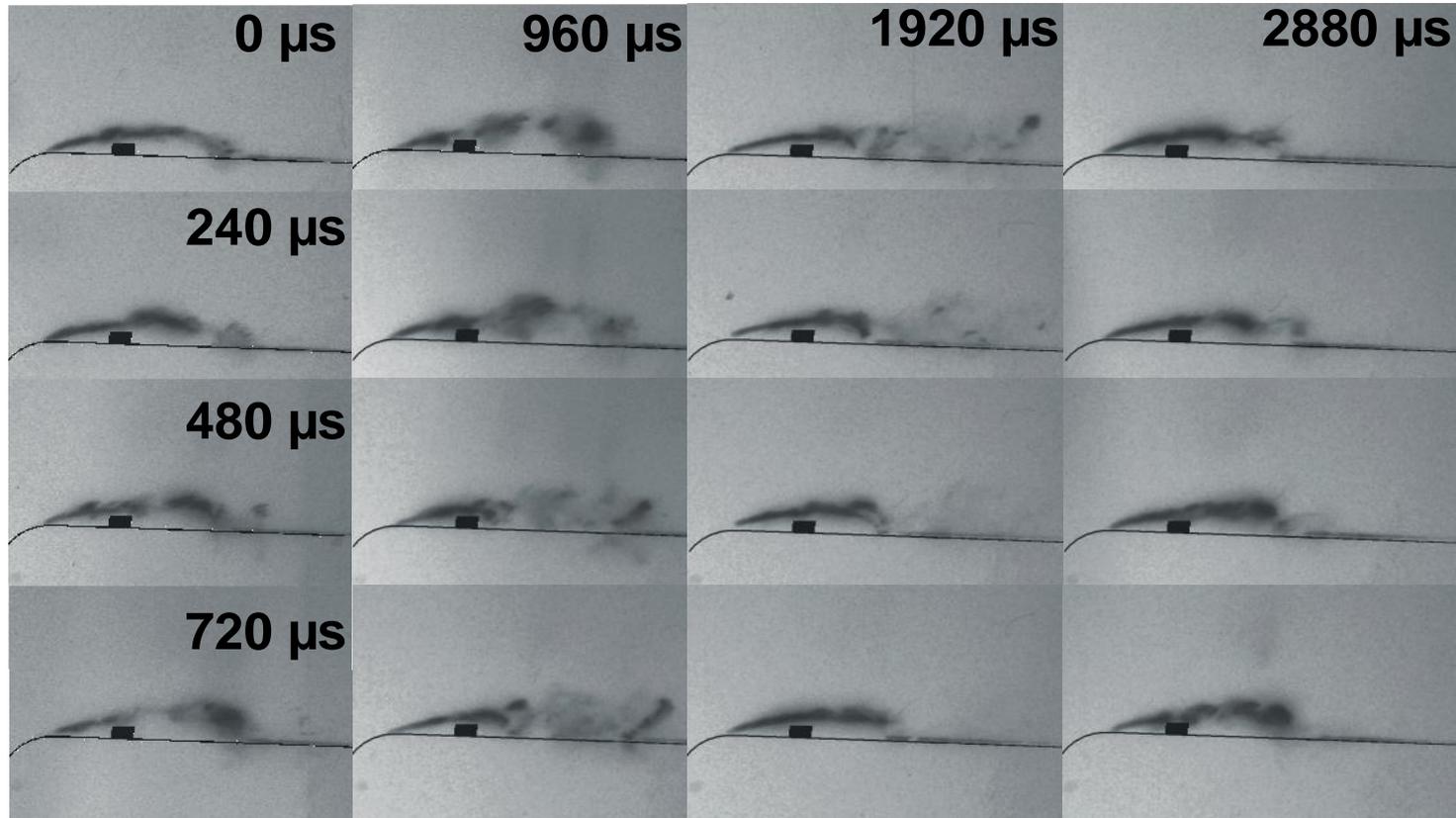
4.4 Beispiel zur Beeinflussung der fortgeschrittenen Kavitation

Beispiel

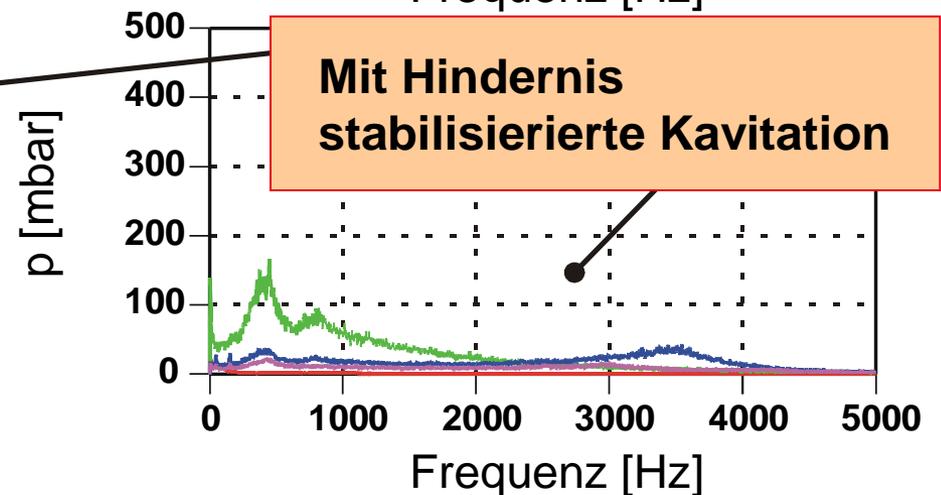
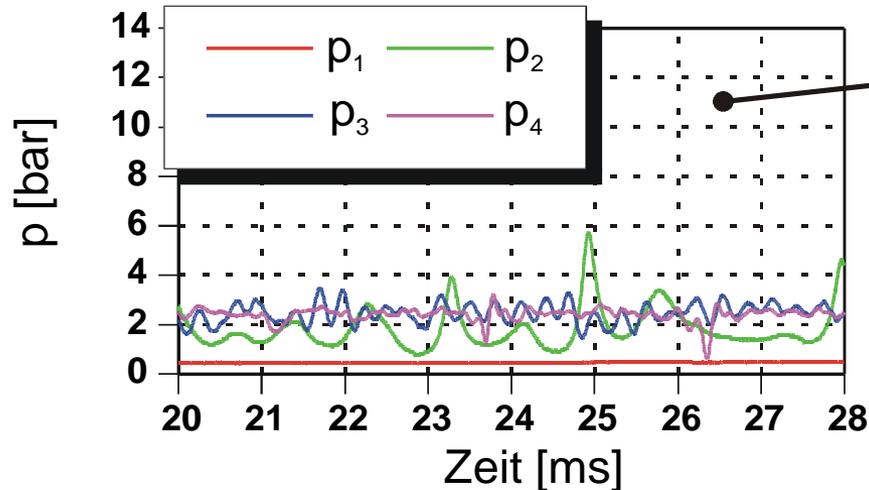
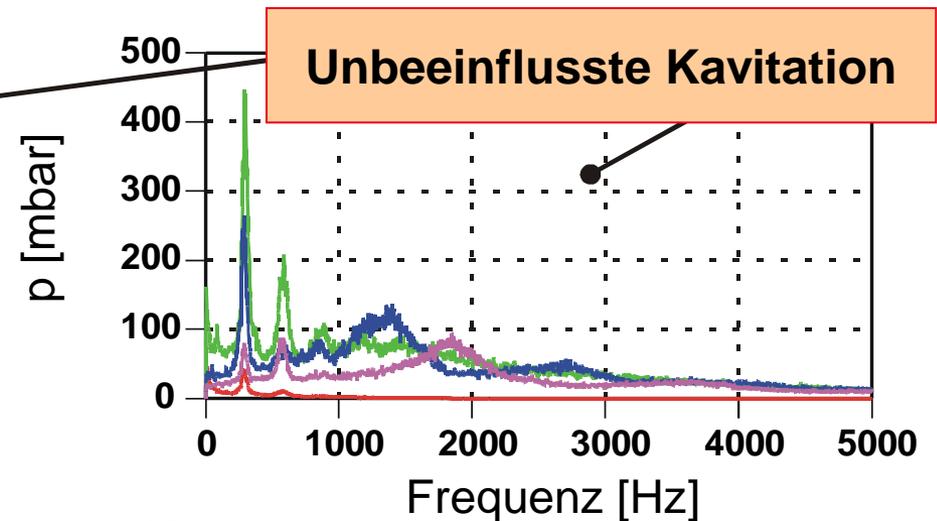
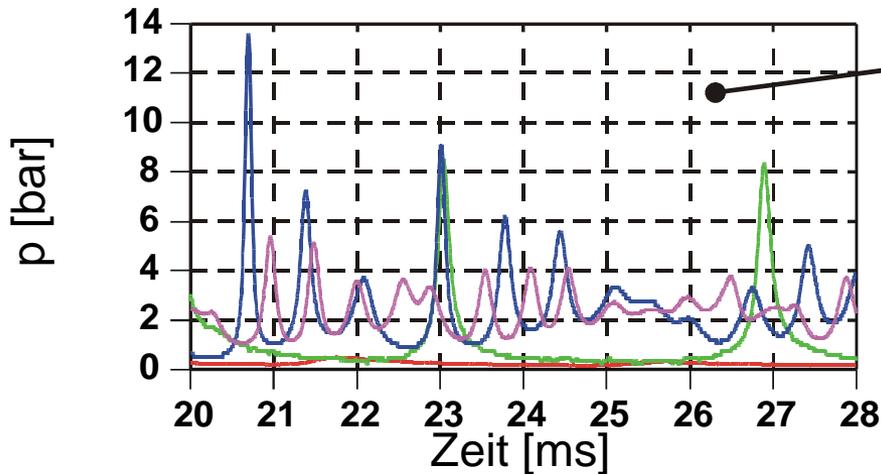
Variation der Geometrie durch ein Hindernis



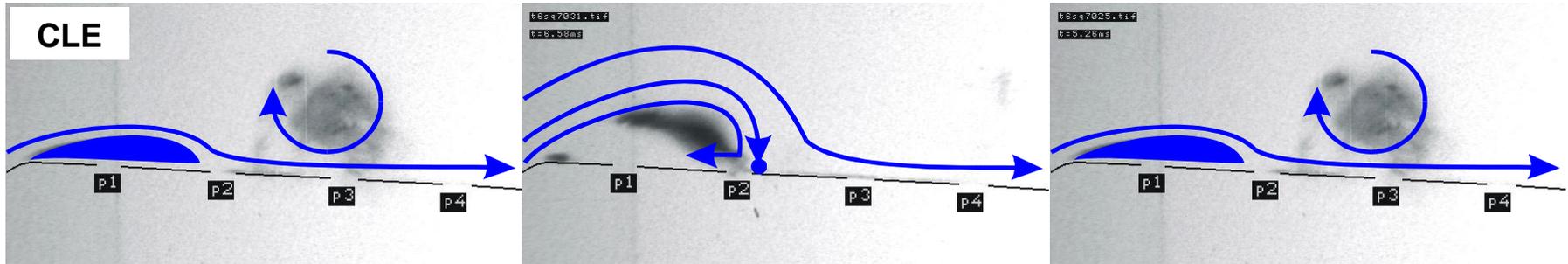
4.4 Beispiel zur Beeinflussung der fortgeschrittenen Kavitation



4.4 Beispiel zur Beeinflussung der fortgeschrittenen Kavitation



4.4 Beispiel zur Beeinflussung der fortgeschrittenen Kavitation

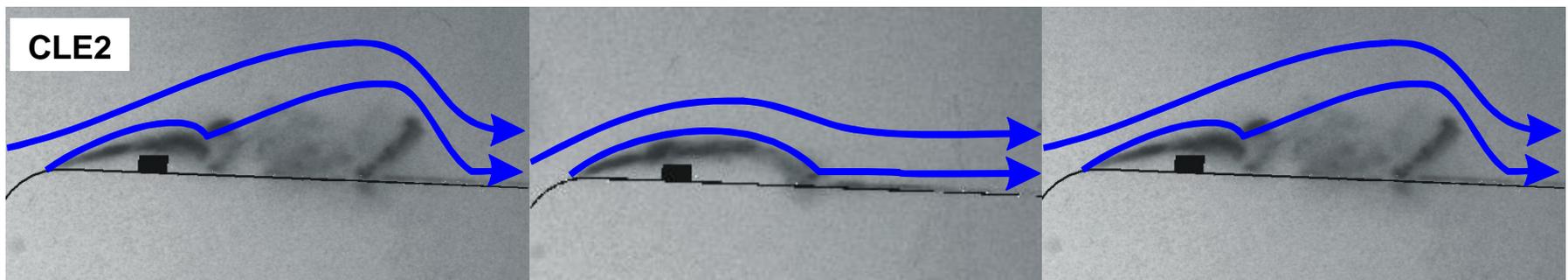


Instationäre Kavitation:

a.) Schichtkavitation;

b.) reentrant-jet;

c.) abschwimmende Wolke

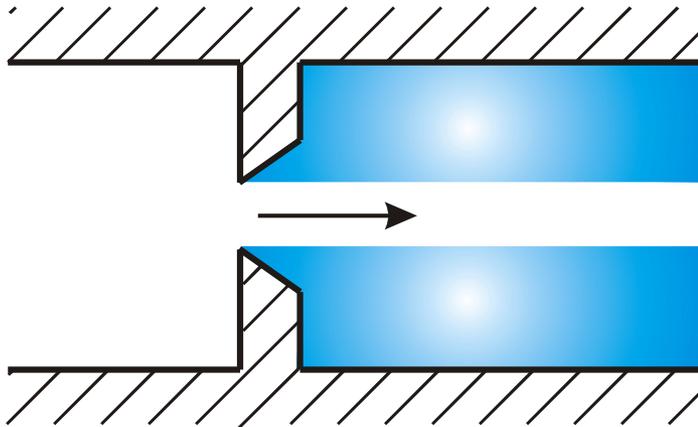


Stabilisierte Kavitation:

Reentrant-jet durch Hindernis unterdrückt \Rightarrow stationäre Kavitation

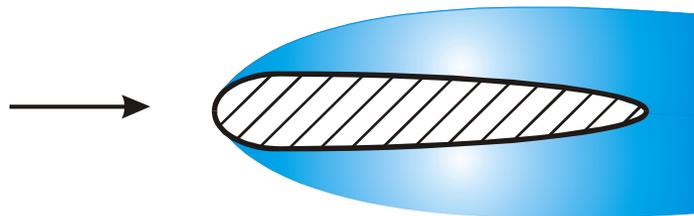
4.5 Zustände für $\sigma \ll \sigma_i$

Innenströmung



Vollkavitation

Außenströmung



Supercavitation

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



- Druckseitenkavitation an der Schaufel einer Axialpumpe
- Farbabtragsversuche am einen Einzelprofil (CLE)
- Kavitation an einem Einzelprofil (CLE Draufsicht)
- Kavitation an einem Einzelprofil (CLE Seitenansicht)
- Einfluss des Gasgehaltes auf Erscheinungsbild der Kavitation I
- Einfluss des Gasgehaltes auf Erscheinungsbild der Kavitation II
- Absenkung des statischen Druckes in einer Axialpumpe
- Vakuumsieden
- Re-entrant Jet

Inhaltsübersicht zum Kapitel 5 „Auswirkungen der Kavitation“



5.1 Schallakustische Auswirkung

5.2 Rückwirkung auf die Strömung

5.2.1 Innenströmung

5.2.2 Außenströmung

5.3 Kavitations-Erosion

5.3.1 Wirkungsmechanismus der erosiven Aggressivität von Kavitation

5.3.2 Messmethoden

5.3.3 Maßgebende Einflussgrößen