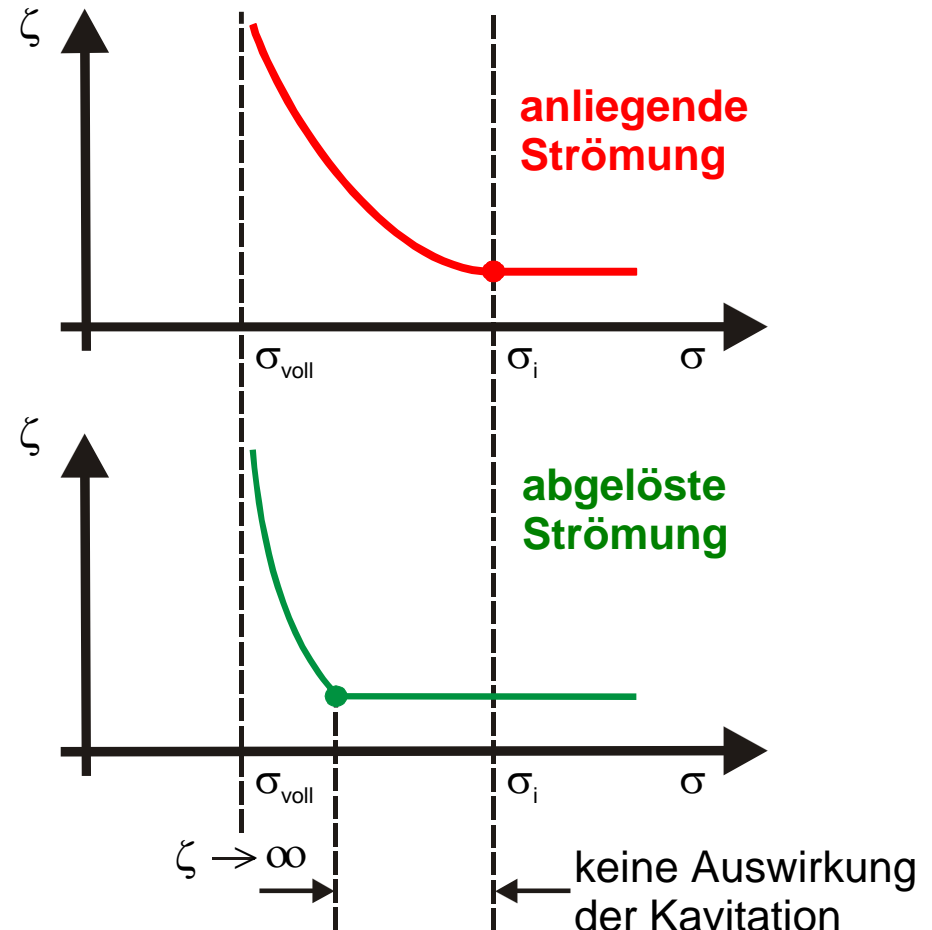


5.2.1 Innenströmung (3)

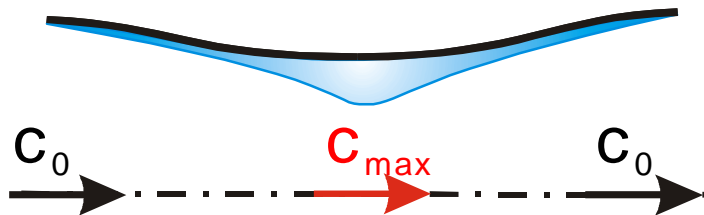
Für $\sigma \leq \sigma_i$

$\zeta =$ f(Geometrie,
Rauhigkeit (K/L),
Reynoldszahl,
Fortschrittsgrad der
Kavitation (σ -Wert))



5.2.1 Innenströmung (4)

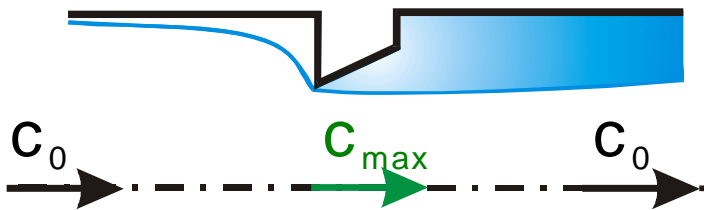
Venturidüse (anliegende Strömung)



- zunehmende Verringerung des Strömungsquerschnittes
- Vergrößerung von Δc
- größere dissipative Wirkung

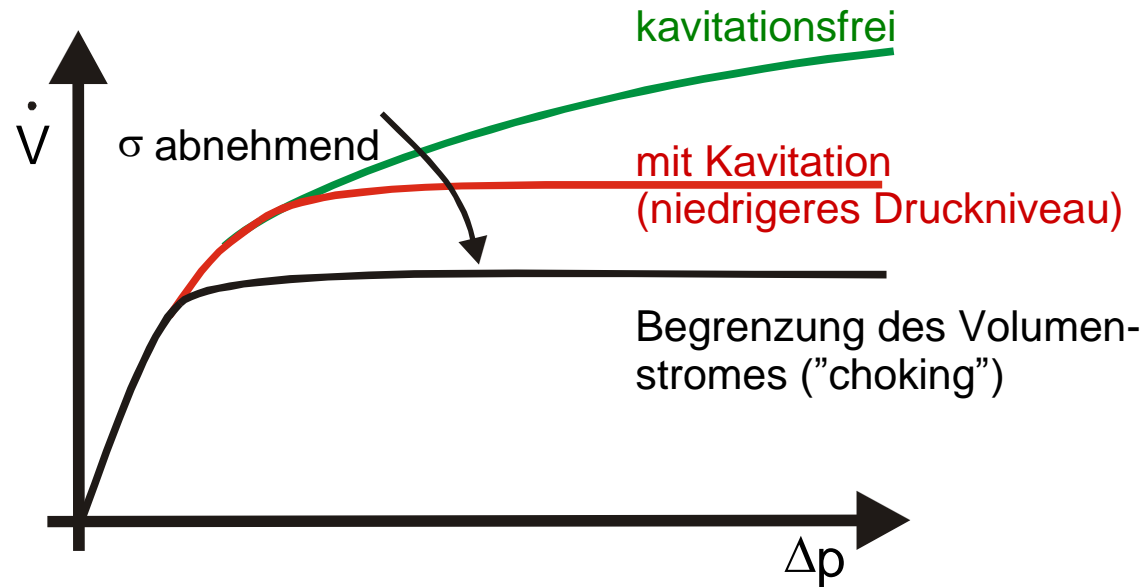
Gelegentlich macht sich ein gegenläufiger Effekt, die Verringerung der Wandreibung, bei beginnender Kavitation bemerkbar.

Blende (abgelöste Strömung)



- Keine Behinderung der Strömung, solange das Dampfgebiet auf das Ablösegebiet beschränkt bleibt.

5.2.1 Innenströmung (5)



$$\left. \begin{array}{l} \frac{c_{\max}}{c_0} = \text{const} \\ p_{\min} = p_v \end{array} \right\} \text{in der "vena contracta"}$$

5.2.1 Innenströmung (6)

Zur Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten

$$a = \sqrt{\frac{E_{\text{Fl}}}{\rho_{\text{Fl}}}} \quad \text{mit} \quad \frac{\Delta V}{V} = -\frac{1}{E_{\text{Fl}}} \Delta p$$

Wasser (20°C): $E_{\text{Fl}} = 2 \cdot 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

$$a_{\text{Fl}} = 1450 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

in Flüssigkeits-/Gas-Gemischen („void fraction“)

1.) $\alpha = \frac{V_{\text{Gas}}}{V_{\text{Gas}} + V_{\text{Fl}}} \rightarrow \frac{1}{E_{\text{m}}} = \frac{\alpha}{E_{\text{Gas}}} + \frac{1-\alpha}{E_{\text{Fl}}}$

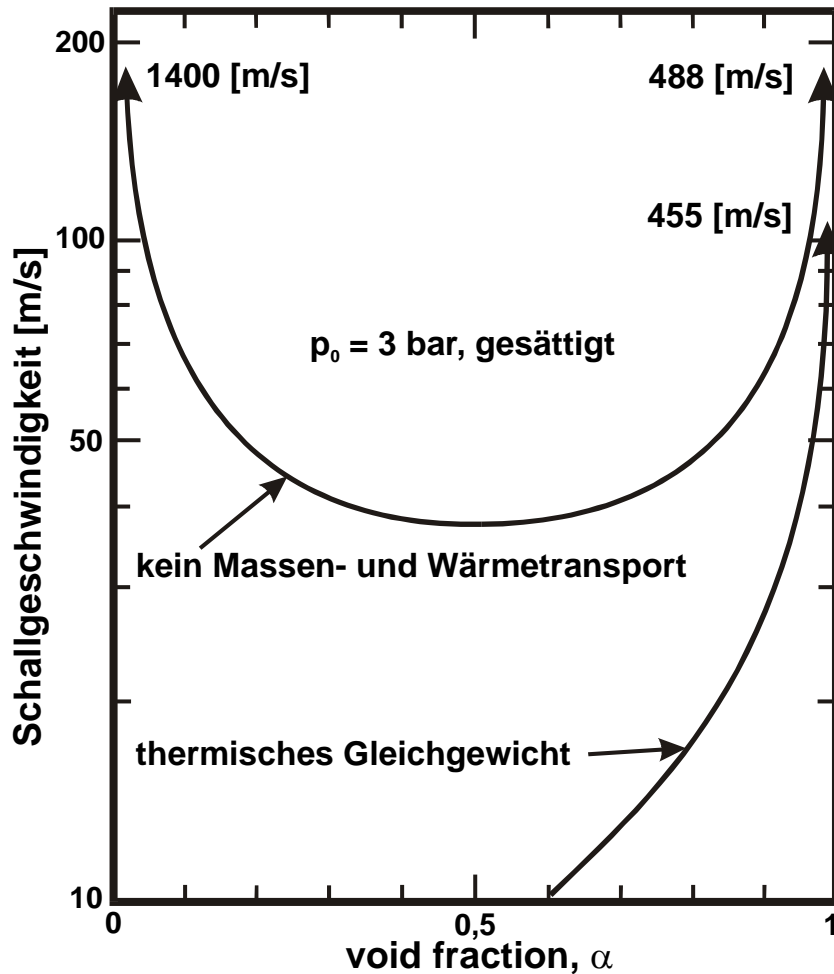
2.) für $E_{\text{Fl}} \gg E_{\text{Gas}}$: $E_{\text{m}} \approx \frac{E_{\text{Gas}}}{\alpha} \approx \frac{p}{\alpha}$ (ideales Gas)

$$\rho_{\text{m}} = \alpha \rho_{\text{Gas}} + (1-\alpha) \rho_{\text{Fl}}$$

für $\rho_{\text{Fl}} \gg \rho_{\text{Gas}}$: $\rho_{\text{m}} = (1-\alpha) \rho_{\text{Fl}}$

$$\Rightarrow \frac{1}{a_{\text{m}}} = \sqrt{\frac{(1-\alpha)^2}{a_{\text{Fl}}^2} + \frac{\alpha^2}{a_{\text{Gas}}^2} + \frac{\alpha(1-\alpha)\rho_{\text{Fl}}}{p}}$$

5.2.1 Innenströmung (7)



Gase

$$a = \sqrt{\kappa \cdot R \cdot T} \quad a (\text{Luft, } 20^\circ\text{C}) = 340 \text{ m/s}$$

Flüssigkeit

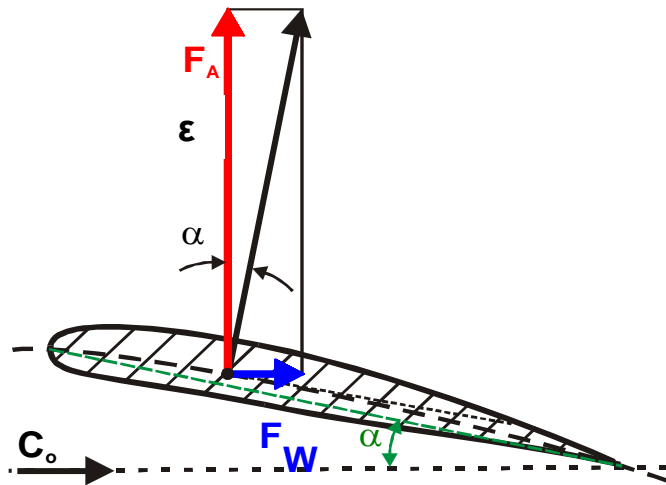
$$a = \sqrt{\frac{E_{\text{Fl}}}{\rho_{\text{Fl}}}} \quad a (\text{H}_2\text{O, } 20^\circ\text{C}) = 1450 \text{ m/s}$$

Gemisch

$$\frac{1}{a_m} = \sqrt{\frac{(1-\alpha)^2}{a_{\text{Fl}}^2} + \frac{\alpha^2}{a_{\text{Gas}}^2} + \frac{\alpha(1-\alpha)p_{\text{Fl}}}{p}}$$

$$a_m \leq a_{\text{Dampf}} \leq a_{\text{H}_2\text{O}}$$

5.2.2 Außenströmung (1)



Widerstand F_W aus

- Reibungswiderstand
- Formwiderstand

Auftrieb F_A durch

- Anstellung
- Wölbung

**dimensionsloser
Widerstandsbeiwert**

**dimensionsloser
Auftriebsbeiwert**

$$c_W = \frac{F_W}{\frac{\rho}{2} \cdot c_0^2 \cdot A}$$

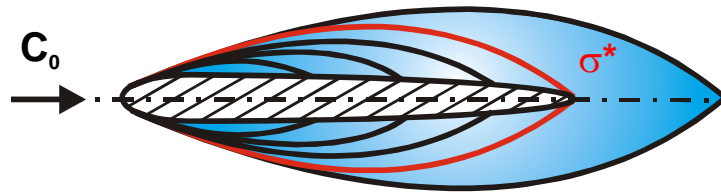
$$c_A = \frac{F_A}{\frac{\rho}{2} \cdot c_0^2 \cdot A}$$

f(Geometrie,
Anstellwinkel α ,
Reynoldszahl,
Rauhigkeit k/L ,
Turbulenzgrad,
Fortschrittsgrad der Kavitation σ)

5.2.2 Außenströmung (2)

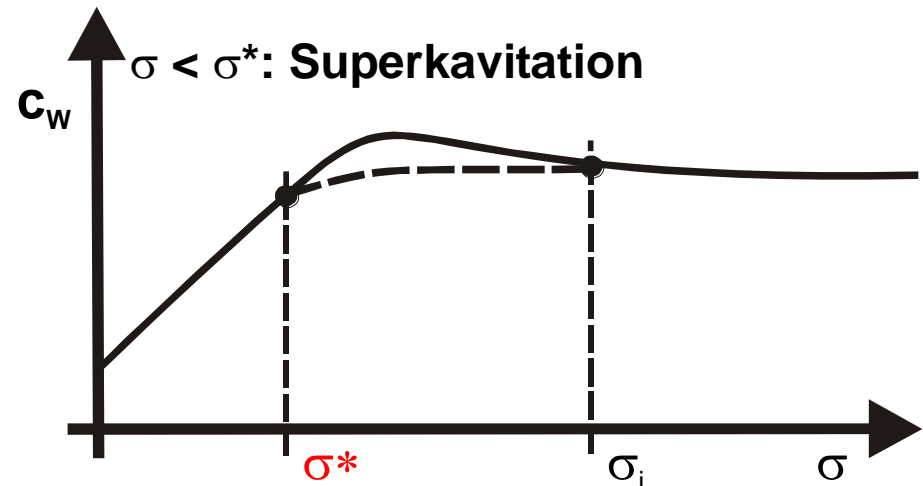
Symmetrische Körper ohne Anstellung

a.) schlanke Körper ($B \ll L$)



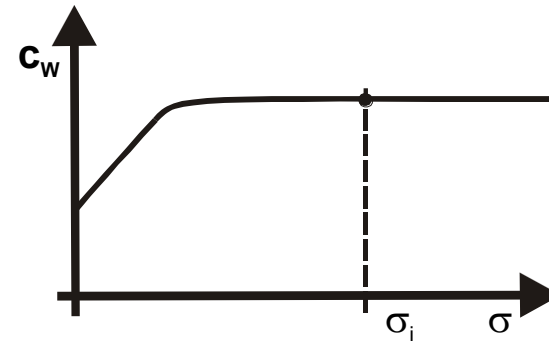
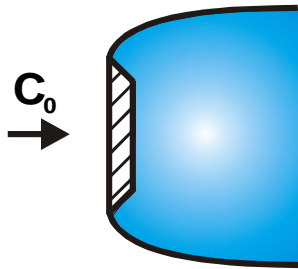
Erklärung der Widerstandsänderung

- Keine Wandschubspannung infolge der Dampfschicht.
- Umschlag von laminarer zur turbulenter Grenzschicht verlagert:
 - höhere Reibungsverluste (c_w vergrößert)
 - Verhinderung der Ablösung (c_w verkleinert)

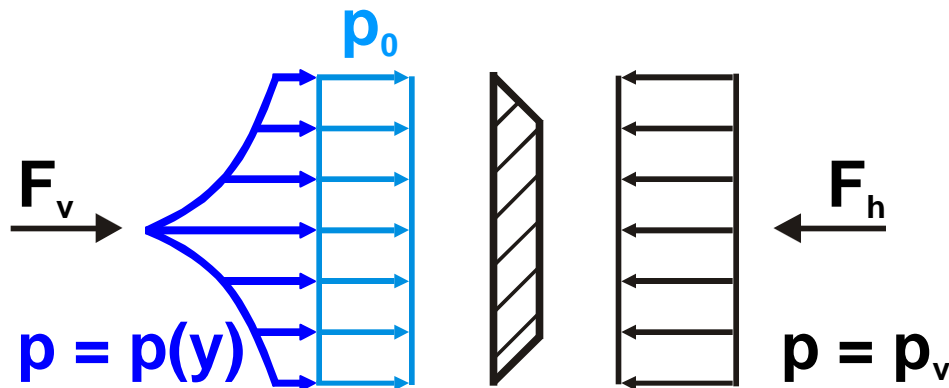


5.2.2 Außenströmung (3)

b.) stumpfe Körper ($L \ll B$)



Lineares c_w - σ -Gesetz bei Superkavitation



Änderung von σ durch p_0 ($F_r \sim p_0$)

$$p(y) + \frac{\rho}{2} c^2(y) = p_0 + \frac{\rho}{2} c_0^2$$

$$F_v = \int p(y) dA = \left[p_0 + \frac{\rho}{2} c_0^2 (1-k) \right] A$$

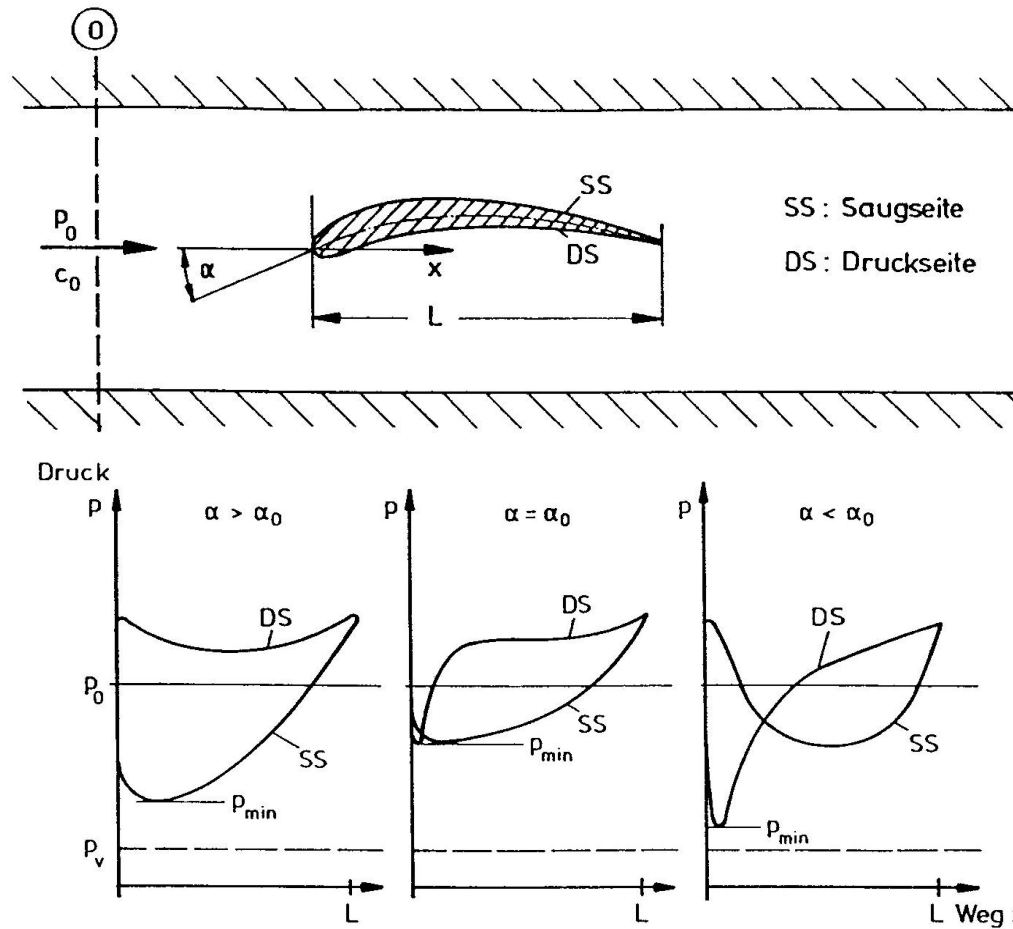
$$F_h = p_v \cdot A \quad \text{Formkonstante}$$

$$\Rightarrow \frac{F_v - F_h}{\frac{\rho}{2} \cdot c_0^2 \cdot A} = \frac{p_0 - p_v}{\frac{\rho}{2} \cdot c_0^2} + 1 - k$$

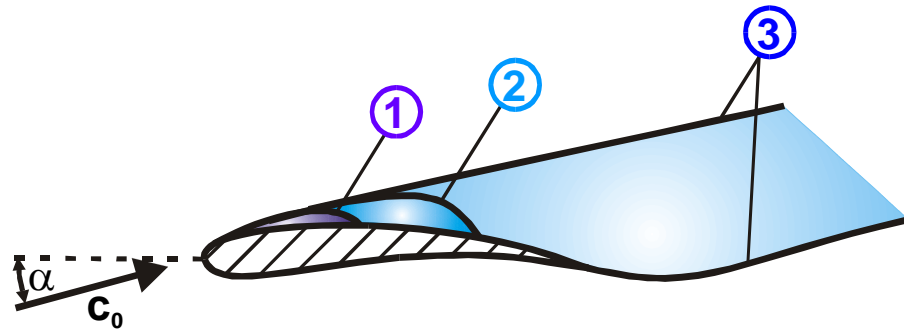
$$c_w = \sigma + 1 - k$$

5.2.2 Außenströmung (4)

Gewölbte schlanke Körper

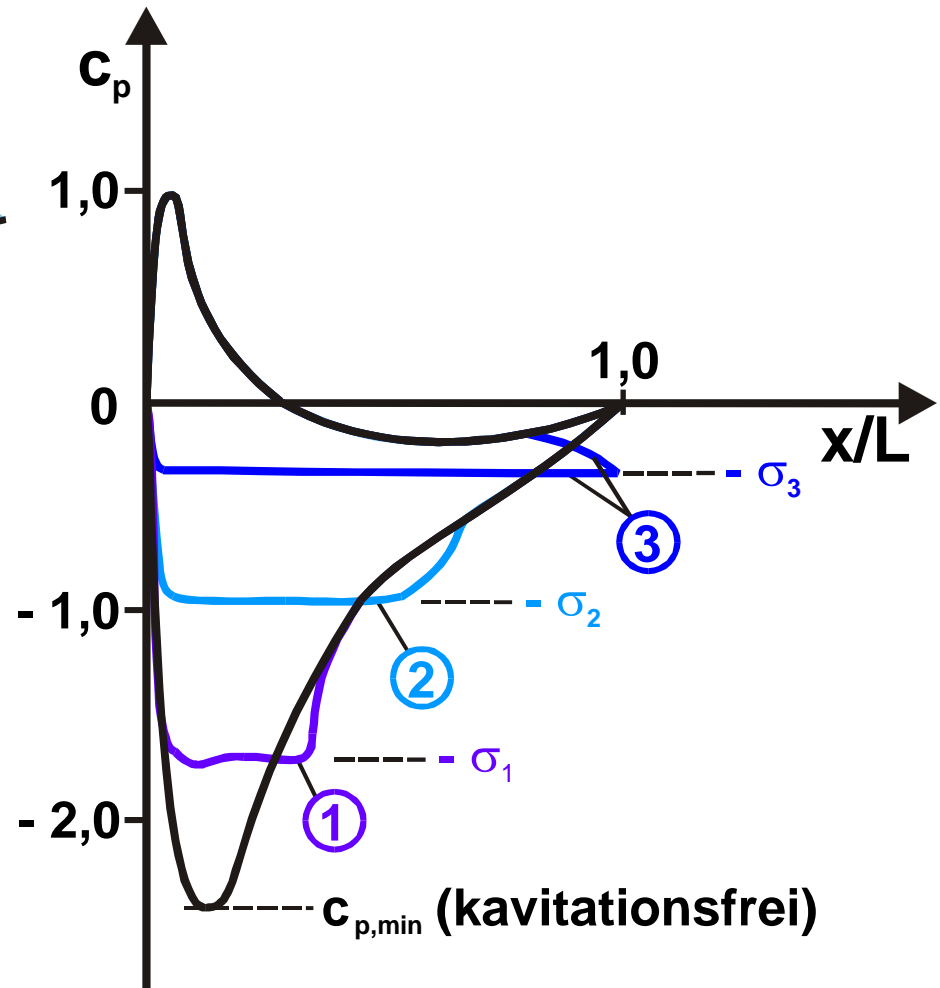


5.2.2 Außenströmung (5)

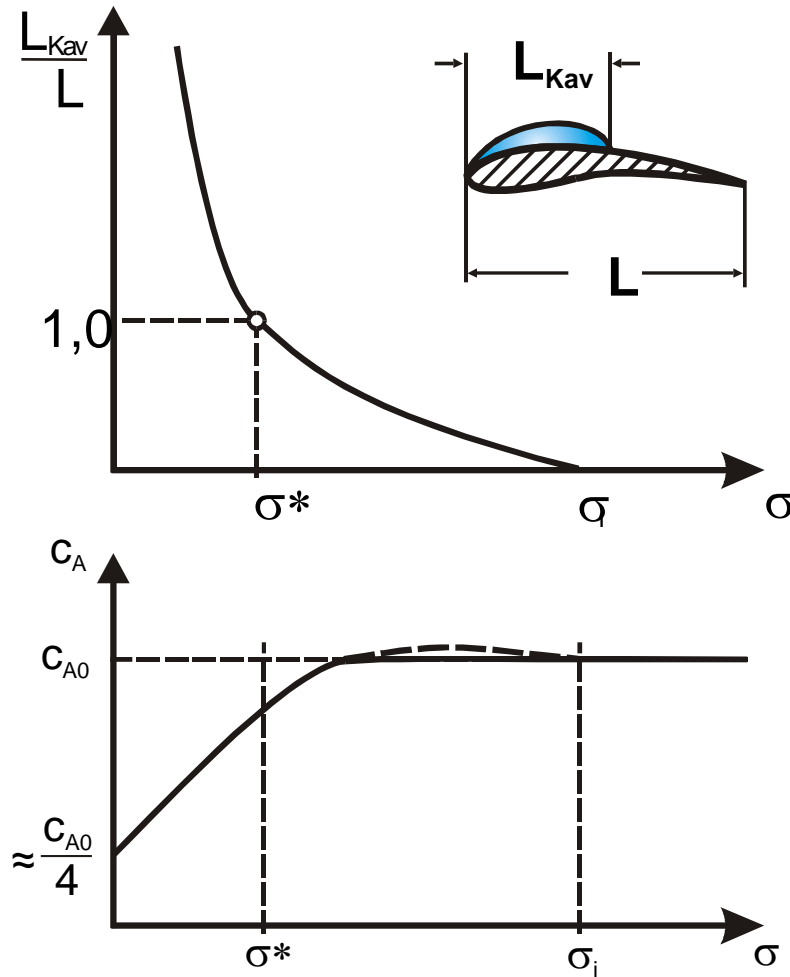


Mit steigendem Fortschrittsgrad der Kavitation Abnahme des Auftriebs (entspricht der eingeschlossenen Fläche beim c_p -Verlauf), da auf SS Dampfdruck nicht unterschritten werden kann.

Bei Superkavitation treffen sich c_{pSS} und c_{pDS} nicht bei Null, sondern bei $c_p(p_v)$



5.2.2 Außenströmung (6)



5.3 Kavitations-Erosion

