

1.3 Formen der Kavitation (16/16)



[Einzelblasenkollaps in Wandnähe \(Movie I\)](#)

[Einzelblasenkollaps in Wandnähe \(Movie II\)](#)

[Kavitation am CLE-Profil - Seitenansicht \(Movie\)](#)

[Kavitation am CLE-Profil - Draufsicht \(Movie\)](#)

[Druckseitenkavitation an einer Axialpumpenschaufel \(Movie\)](#)

[Saugseitenkavitation an einer Axialpumpenschaufel \(Movie\)](#)

[Spaltkavitation an einer Axialpumpenschaufel \(Movie\)](#)

[Gepfeiltes CLE-Profil mit Druckmessbohrungen](#)

[Kavitation am 25° gepfeilten CLE-Profil -Draufsicht \(Movie\)](#)

[PIV/LIF Anwendung am 15° gepfeilten CLE-Profil \(Movie\)](#)

[PIV/LIF Anwendung am 15° gepfeilten CLE-Profil - Einzelbilder](#)

[PIV/LIF Anwendung am 15° gepfeilten CLE-Profil - Mittelung](#)

[Statistische Bildauswertung am 25° gepfeilten CLE-Profil](#)

[Formen der Kavitation & Beispiele für Zugspannungsfestigkeitseinfluss](#)

1.4 Hydrodynamische Ursachen für das Entstehen von Kavitation (1/3)

Absinken des statischen Druckes

- a) in horizontalen Leitungen im Bereich einer Einschnürung des freien Querschnitts

Technische Bedeutung: Armaturen

- a) an einem umströmten Tragflügelprofil auf Saug- und/oder Druckseite

Technische Bedeutung: Beschaufelung von
Strömungsmaschinen

1.4 Hydrodynamische Ursachen für das Entstehen von Kavitation (2/3)

Einfache Hypothese für Kavitationsbeginn (= Kavitationseinsatz)

$$p_{\min} = p_v$$

Verallgemeinerung durch Einführung Dimensionsloser Kennzahlen

Druckbeiwert:

$$c_p(\vec{r}, t) = \frac{p(\vec{r}, t) - p_0}{\frac{\rho}{2} \cdot c_0^2}$$

$$C_{p,\min} = \frac{p_{\min} - p_0}{\frac{\rho}{2} \cdot c_0^2}$$

Kavitationszahl:

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

Die Grenzbedingung lautet dann

$$\sigma_i = -C_{p,\min}$$

1.4 Hydrodynamische Ursachen für das Entstehen von Kavitation (3/3)

$$\sigma = \frac{p_{\infty} - p_V}{\frac{\rho}{2} \cdot c_{\infty}^2} \quad [-]$$

Universelle Kavitationskennzahl zur grundlegenden hydrodynamischen Beschreibung kavitierender Strömungen.

$$X_F = \frac{p_1 - p_2}{p_1 - p_V} \quad [-]$$

Spezielle Kennzahl zur Beschreibung von kavitationsbehafteten Betriebszuständen in Drosselarmaturen.

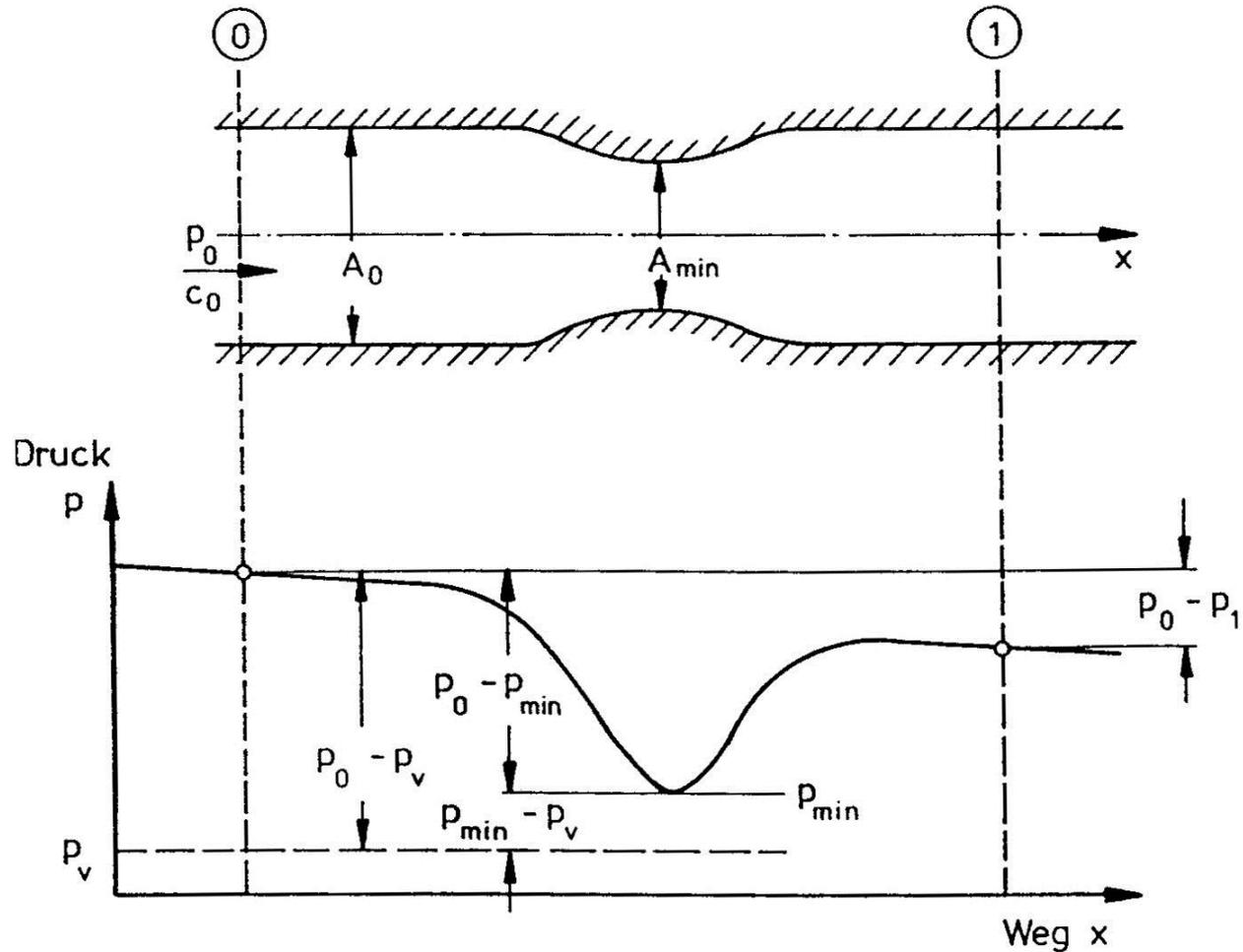
$$\text{NPSH} = \frac{p_{E,\text{tot}} - p_D}{\rho \cdot g} \quad [\text{m}]$$

Kavitationskennzahlen wie sie vorrangig im Bereich der hydraulischen Turboarbeitsmaschinen (Pumpen) zum Einsatz kommen.

$$n_{\text{ss}} = n \cdot \frac{Q_{\text{opt}}^{\frac{1}{2}}}{(\text{NPSH}_3)^{\frac{3}{4}}} \quad [\text{min}^{-1}]$$

$$\sigma_u = \frac{2 \cdot g \cdot \text{NPSH}}{u_{1a}^2} \quad [-]$$

1.4.1 Innenströmung (1/3)



1.4.1 Innenströmung (2/3)



Kontinuitätsgleichung:

$$c_0 \cdot A_0 = c_x \cdot A_x$$

$$\Rightarrow c_x = c_0 \cdot \frac{A_0}{A_x}$$

Bernoulli-Gleichung:

$$p_0 + \frac{\rho}{2} c_0^2 = p_x + \frac{\rho}{2} c_x^2 + \Delta p_{v_0 \rightarrow x}$$

$$\Rightarrow p_x = p_0 - \frac{\rho}{2} (c_x^2 - c_0^2) - \Delta p_{v_0 \rightarrow x}$$

$$p_x = p_0 - \frac{\rho}{2} c_0^2 \left[\left(\frac{A_0}{A_x} \right)^2 - 1 \right] - \Delta p_{v_0 \rightarrow x}$$

Am Ort $x(p_{\min})$ gilt :

$$p_{\min} = p_0 - \frac{\rho}{2} c_0^2 \left[\left(\frac{A_0}{A_{\min}} \right)^2 - 1 \right] - \Delta p_{v_0 \rightarrow \min}$$

$$\Rightarrow \Delta p = p_0 - p_{\min} = \frac{\rho}{2} c_0^2 \left[\left(\frac{A_0}{A_{\min}} \right)^2 - 1 \right] + \Delta p_{v_0 \rightarrow \min}$$

1.4.1 Innenströmung (3/3)



$$\Delta p = p_0 - p_{\min} = f(\text{Geometrie:}$$

Flächenverhältnis
Form der Wandkontur

$$\frac{A_0}{A_{\min}}$$

Strömungsgeschwindigkeit

$$c_0 = \frac{\dot{V}}{A_0}$$

Reynoldszahl

$$Re = \frac{\rho \cdot c_0 \cdot D_h}{\mu}$$

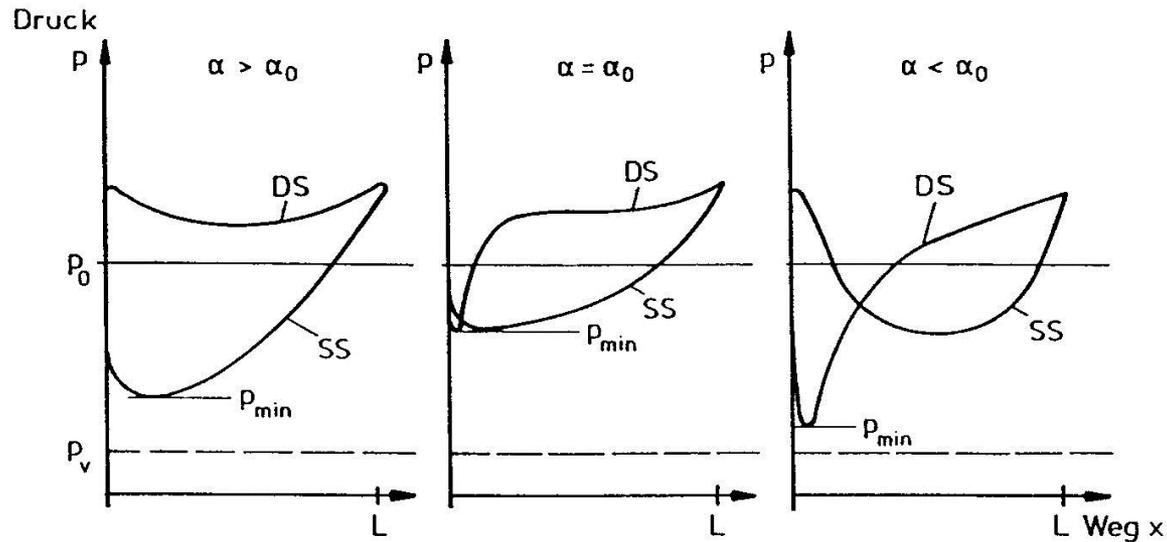
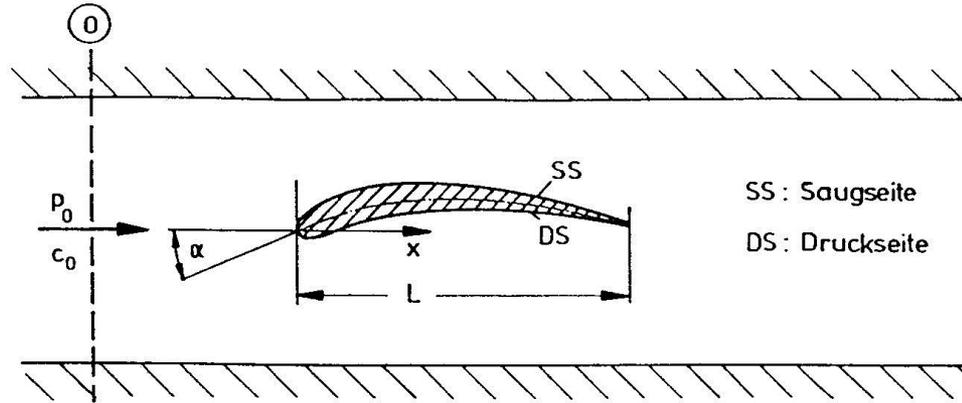
Turbulenzgrad

$$Tu = \frac{\sqrt{c'^2}}{c_0}$$

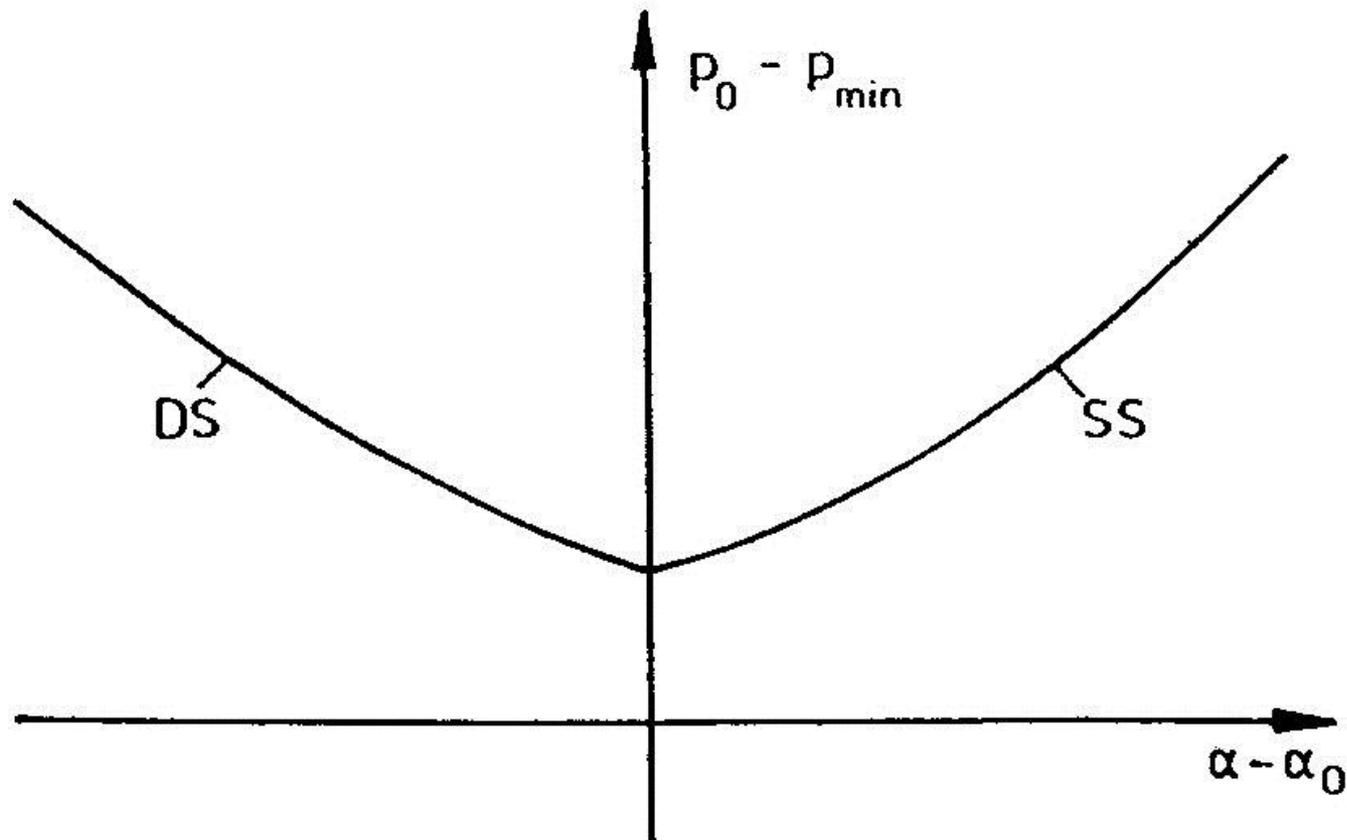
Wandrauhigkeit

$$k \quad)$$

1.4.2 Außenströmung (1/3)



1.4.2 Außenströmung (2/3)



1.4.2 Außenströmung (3/3)



Kavitationskennzahl:

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

Definition Kavitationsbeginn (klassische Vorstellung):

$$p_{x,\min} = p_v$$

$$\Rightarrow \sigma_i = \frac{p_0 - p_v}{\frac{\rho}{2} \cdot c_0^2}$$

$$\Rightarrow p_{0,i} = \sigma_i \cdot \frac{\rho}{2} \cdot c_0^2 + p_v$$

$$\Rightarrow c_{0,i} = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_0 - p_v)}{\sigma_i \cdot \rho}}$$

d.h.: bei geometrisch ähnlichen Konfigurationen ist eine Umrechnung auf andere Bedingungen:

- Flüssigkeiten
- Strömungsgeschwindigkeit
- Abmessungen

möglich.

1.4.3 Typische Orte möglicher Kavitation in einer Kreiselpumpe

