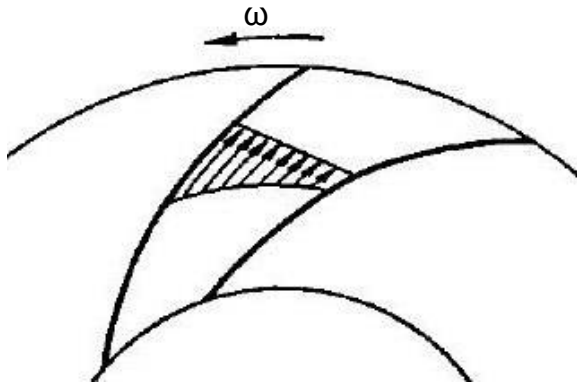


# Kolben- und Strömungsmaschinen

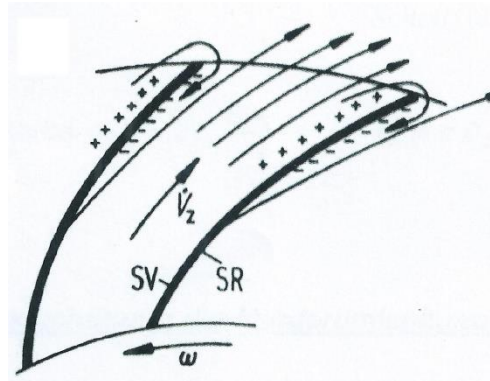
## Seminar 6

Reales Laufrad:  
Berücksichtigung der endlichen Schaufelzahl

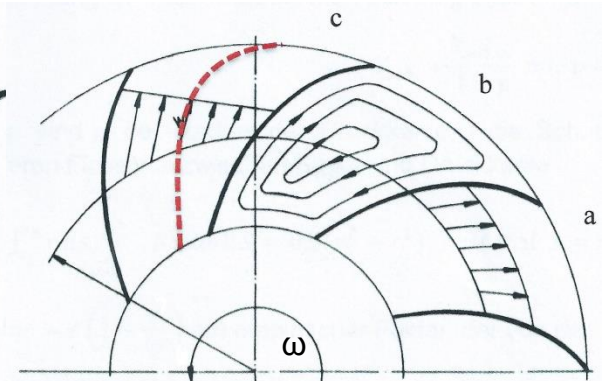
- Bisher bei Strömungsverhältnisse und Energieübertragung Einfluss der endlichen Schaufelanzahl vernachlässigt (Idealfall: völlig schaufelkongruente Strömung)
- Real: endliche Schaufelzahl, relevante Schaufeldicke  
→ Abweichung der Strömung von der Schaufelkontur!



a) Veränderung der Verteilung der Relativgeschwindigkeit aufgrund der Druckverteilung



b) Schaufelumströmung zum Druckausgleich

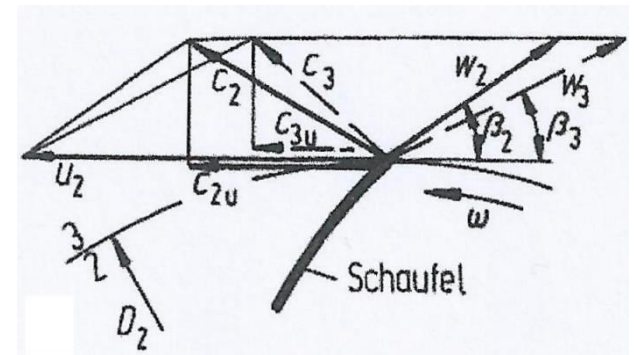


c) Effekt des relativen Kanalwirbels

Daraus resultierend:

- geringerer Austrittswinkel  $\beta_3$
- Geringere Drallübertragung  $c_{3u}$

Quelle: Sigloch; Strömungsmaschinen



## Index:

- 0... auf der Saugseite des Laufrades, unmittelbar vor den Schaufeln  
→ **ungestörte**, von den Schaufeln noch nicht beeinflusste Strömung
- 1... unmittelbar nach dem Eintritt in den Schaufelkanal des Laufrades  
→ **innerhalb der Schaufeln! Schaufelkongruente Strömung**
- 2... unmittelbar vor dem Austritt aus dem Schaufelkanal des Laufrades  
→ **innerhalb der Schaufeln! Schaufelkongruente Strömung**
- 3... auf der Druckseite des Laufrades, unmittelbar hinter den Schaufeln  
→ **ungestörte**, von den Schaufeln nicht mehr beeinflusste Strömung

## Einfluss der Laufschaufelzahl $z_{La}$

- Laufschaufelzahlen bei üblichen radialen Kreiselpumpen: 5 ... 15

	Kleine Schaufelzahl	Große Schaufelzahl
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geringe Verengung des Saugkantenquerschnitts</li> <li>▪ Geringere Strömungsverluste durch Reibung</li> <li>▪ Geringerer Fertigungsaufwand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gute Führung des Fluidstromes</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schlechtere Stromführung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Höhere Reibungsverluste (größere Schaufelfläche)</li> <li>▪ Höhere Herstellungskosten</li> <li>▪ Große Saugkantenversperrung</li> </ul>

## Einfluss der Schaufeldicke: Schaufelversperrung

- Durch Schaufeldicke wird der freie Strömungsquerschnitt im Schaufelbereich vermindert
- Erhöhung der Meridiangeschwindigkeit
- Schaufelverengungsfaktor  $\tau$

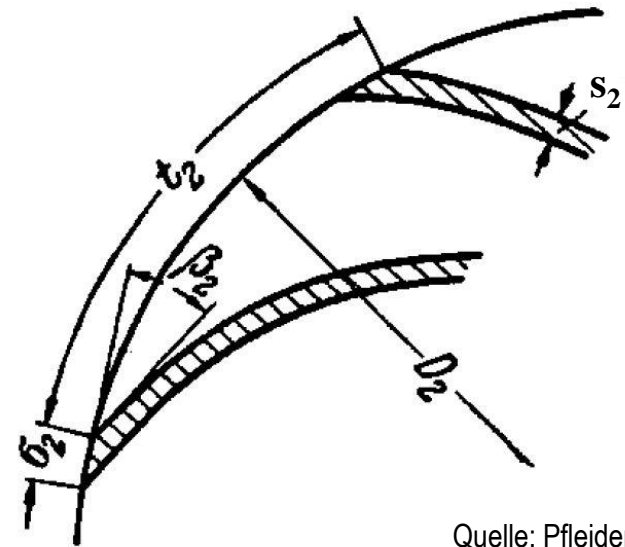
Saugkante  $\tau_1 = \frac{t_1}{(t_1 - \sigma_1)}$

Druckkante  $\tau_2 = \frac{t_2}{(t_2 - \sigma_2)}$

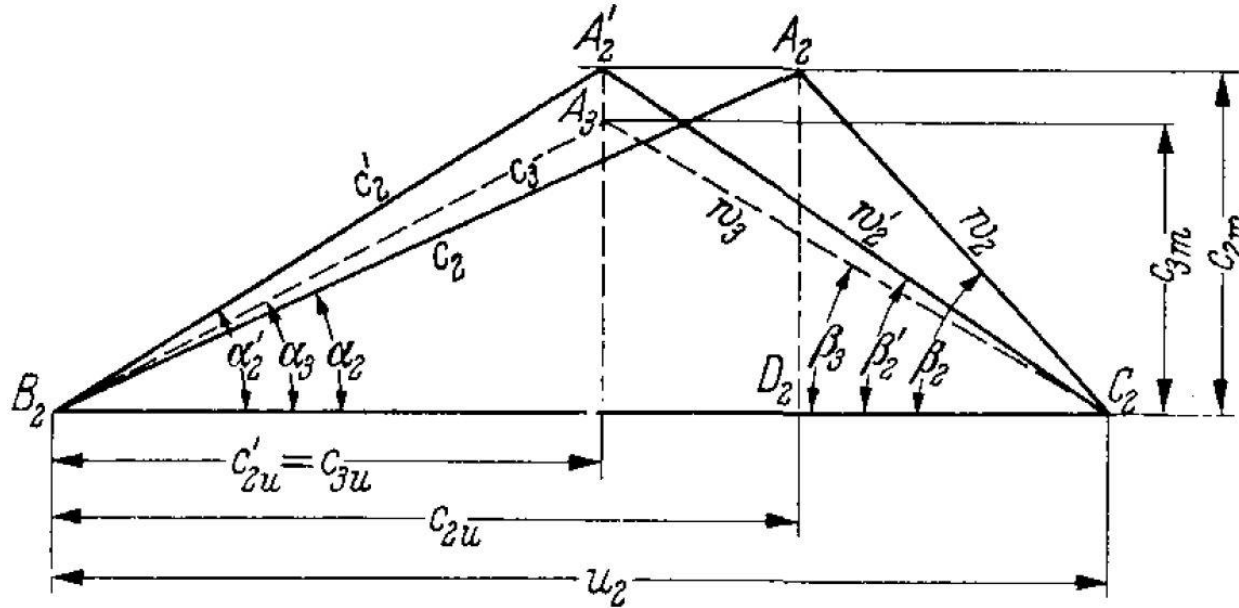
Schaufelteilung  $t = \frac{D \cdot \pi}{z_{La}}$  ( $z_{La}$ : Anzahl der Schaufeln)

Umfangsbogen  $\sigma = \frac{s}{\sin \beta}$  ( $s$ : Schaufeldicke)

(Projektion der Schaufeldicke auf den Umfang)



Quelle: Pfeleiderer; Strömungsmaschinen



Quelle: Pfleiderer; Strömungsmaschinen

Geschwindigkeitskomponenten

Umfang u

Axial a

Radial r



Meridiankomponente

$$\vec{c}_m = \vec{c}_a + \vec{c}_r$$

$\vec{c}_m$  Meridiankomponente der Absolutgeschwindigkeit ( $\perp \vec{u}$ )

$\vec{c}_u$  Umfangskomponente der Absolutgeschwindigkeit ( $\parallel \vec{u}$ , Drall)

$\vec{w}_m$  Meridiankomponente der Relativgeschwindigkeit ( $\perp \vec{u}$ )

$\vec{w}_u$  Umfangskomponente der Relativgeschwindigkeit ( $\parallel \vec{u}$ )

## Verhältnisse an der Druckkante

### Einfluss der Schaufelversperrung

$$c_{2m} = \dot{V}_{La} / A_{2m}$$

$$A_{2m} = z_{La} \cdot (t_2 - \sigma_2) \cdot b_2$$

$$A_{2m} = D_2 \cdot \pi \cdot b_2 \cdot \frac{1}{\tau_2}$$

$$c_{3m} = \dot{V}_{La} / A_{3m}$$

$$A_{3m} = D_3 \cdot \pi \cdot b_3 = D_2 \cdot \pi \cdot b_2$$

$$A_{3m} = A_{2m} \cdot \tau_2$$

$$c_{3m} = c_{2m} / \tau_2$$

### Einfluss der Minderumlenkung

$$Y_{th\infty} = u_2 \cdot c_{2u} - u_1 \cdot c_{1u}$$

$$Y_{th} = u_2 \cdot c_{3u} - u_1 \cdot c_{0u}$$

Drallfreie Anströmung:

$$Y_{th\infty} = u_2 \cdot c_{2u}$$

$$Y_{th} = u_2 \cdot c_{3u}$$

Minderleistungsfaktor:  $k_M = 1/(1+p)$       p: Arbeitsminderungszahl

$$Y_{th} = k_M \cdot Y_{th\infty} = \frac{Y_{th\infty}}{1+p}$$

$$c_{3u} = k_M \cdot c_{2u}$$

$$p = \psi' \cdot \frac{r_2^2}{(z_{La} \cdot S)}$$

$\psi'$       Schaufelwinkelbeiwert, abhängig von Radform und Leiteinrichtung

$$\psi' = (0,65 \dots 0,85) \cdot \left(1 + \frac{\beta_2}{60}\right) \quad \text{für Radialräder mit Spiralgehäuse}$$

S: statisches Moment erster Ordnung

$$S = \frac{1}{2} \cdot (r_2^2 - r_1^2) \quad \text{statisches Moment für Radialräder}$$

## Aufgabe 6 Minderleistung

Gegeben sei eine Radialpumpe mit Spiralgehäuse und folgenden bekannten Daten:

$\Delta p_{\text{ges}}$	5,8 bar
$Q$	200 m <sup>3</sup> /h
$n$	2880 1/min
$D_2$	0,21 m
$D_1$	0,1 m
$b_2$	10 mm
Schaufelzahl $z$	7
Schaufeldicke $s$	3 mm
Dichte $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$	1000 kg/m <sup>3</sup>

- Berechnen Sie die notwendige spezifische Förderarbeit des Laufrades, wenn der hydraulische Wirkungsgrad  $\eta_h$  0,72 beträgt.
- Wie groß ist der Relativströmungswinkel  $\beta$  an der Druckkante zu wählen, wenn die zuvor berechnete Förderarbeit unter der Annahme schaufelkongruenter Strömung übertragen werden soll? (Hinweis: nur eine Iteration mit  $\beta_2 = 60^\circ$  zur Berechnung der Schaufelversperrung als Anfangsbedingung)
- Welche Abweichung resultiert bei dieser Auslegung für die übertragene Förderarbeit und den Relativströmungswinkel, wenn die Minderumlenkung berücksichtigt wird?