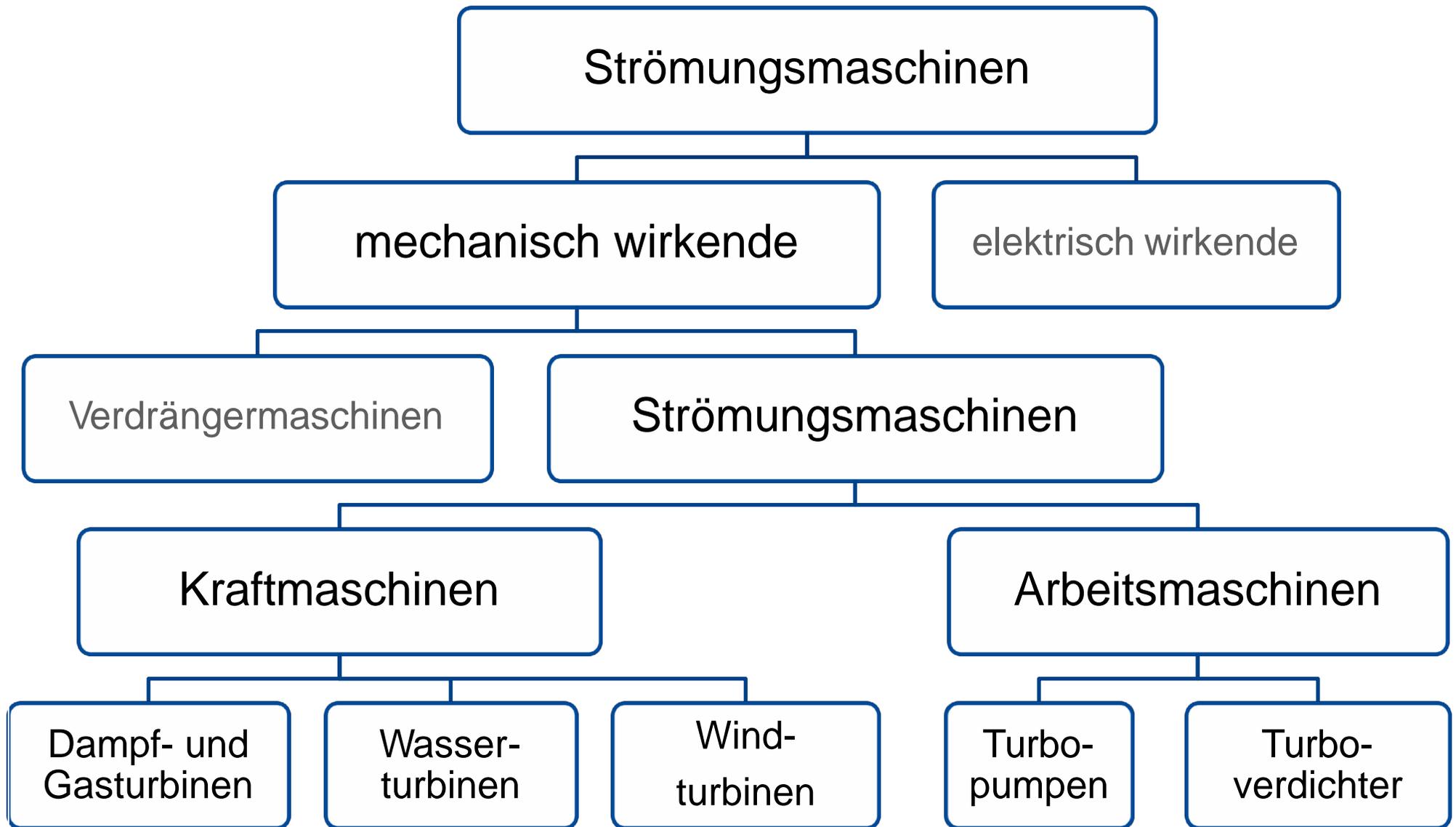


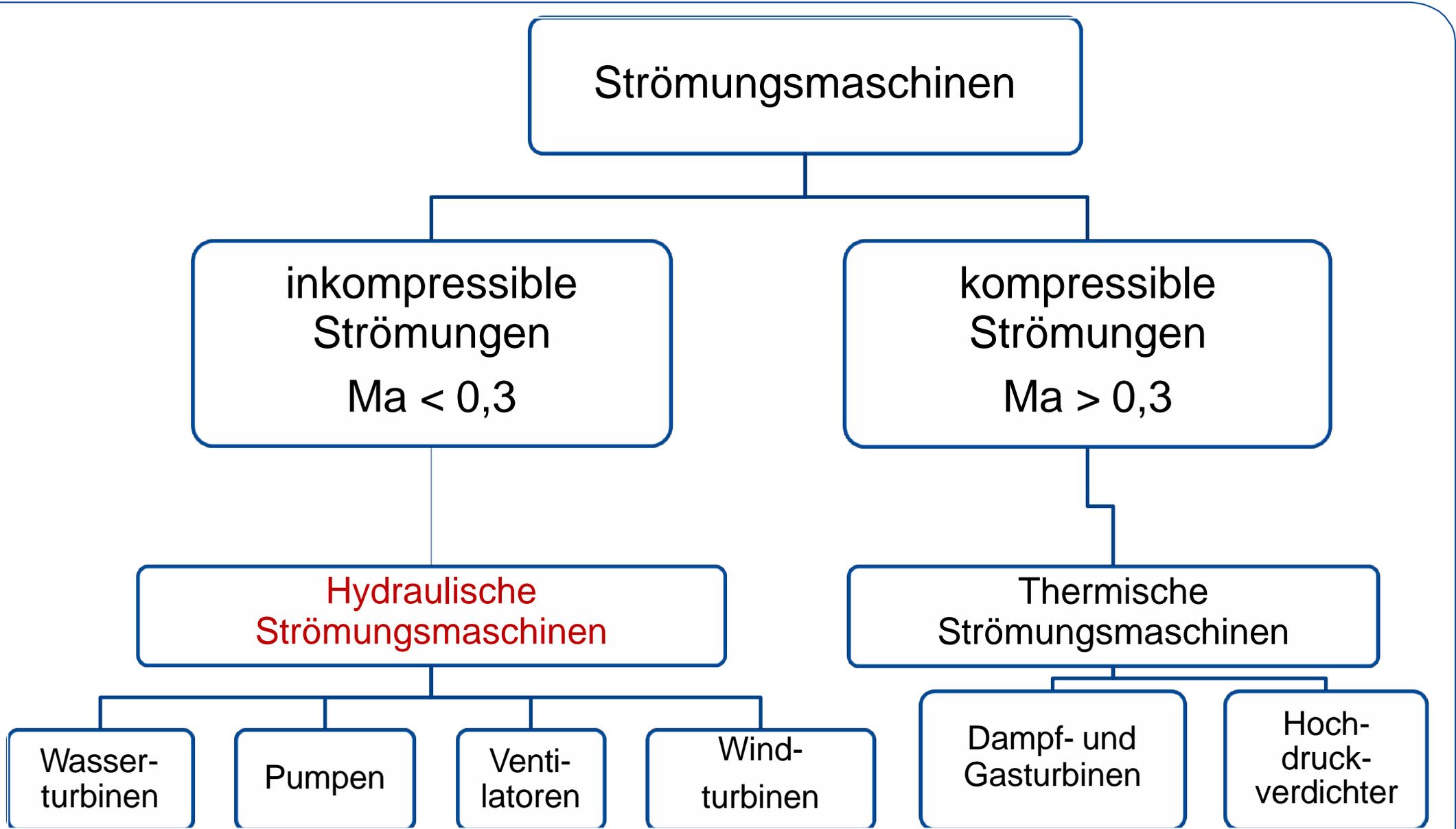
Sommersemester 2016

Kolben- und Strömungsmaschinen

Prof. Dr. Hendrik Wurm
Lehrstuhl für Strömungsmaschinen

- Einführung, Arten und grundsätzlicher Aufbau von Strömungsmaschinen
- Aufbau und Funktionsweise von Flugtriebwerken und den enthaltenen Strömungsmaschinen
- Aufbau und Funktionsweise von Windturbinen
- Aufbau, Funktionsweise und Kennlinien von Pumpen
- **Entwurfsmethoden**
- Optimierungsmethoden





Es existieren unterschiedliche Entwurfsmethoden für

- radial durchströmte Laufräder (Radialpumpen, Radialverdichter etc. – Gegenstand der Vorlesung „Hydraulische Strömungsmaschinen“)
- axial durchströmte Laufräder mit Gehäuse (Axialpumpen, Axialverdichter, etc. – Gegenstand der Vorlesung „Thermische Strömungsmaschinen“)
- axial durchströmte Laufräder ohne Gehäuse (Schiffspropeller, Wind- und Gezeitenturbinen, etc. – Gegenstand der Vorlesung „Windturbinen und alternative Energiequellen“)

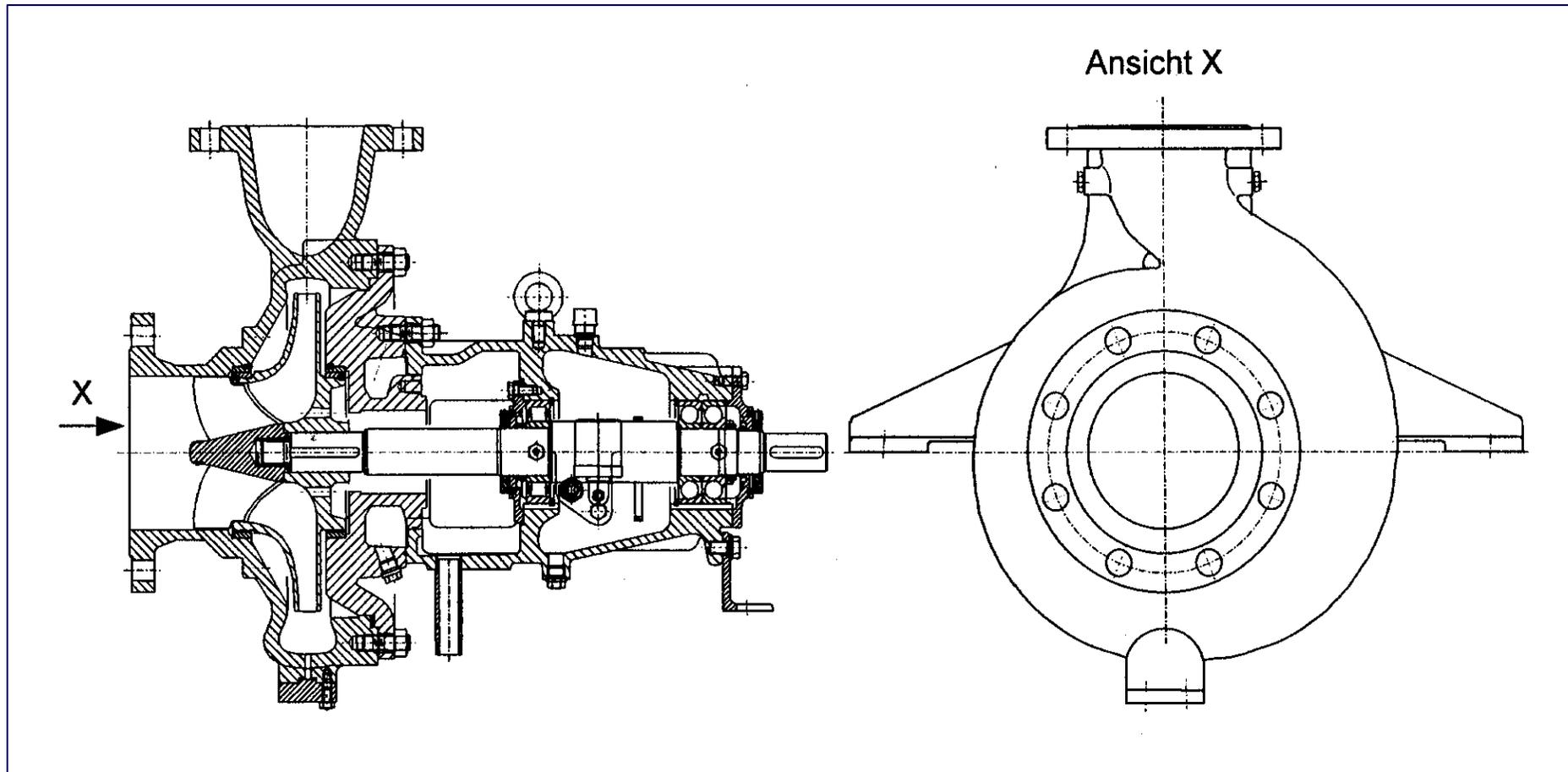


- Leiträder
- Leiträder in Kombinationen mit Rückführschaufeln
- Spiralgehäuse (selten in Kombination mit einem Leitrad)



- für alle Maschinenausführungen gleich
- Optimierung des strömungs- und des strukturmechanischen Verhaltens

Typische Industripumpe zur Förderung von Prozessmedien oder für Heiz- und Kühlanwendungen



einstufige Spiralgehäusepumpe mit radial durchströmten Laufrad, Sulzer Pumpen AG

Laufrad: Erzeugung des gewünschten Dralls in jedem Schnitt

Leitrad: Abbau des Dralls bis zum gewünschten Restdrall und Verzögerung der Strömung → Druckaufbau

—→ Realisierung der Ziele mit möglichst geringem Totaldruckverlust und oft auch Einhaltung von Kavitationskriterien

$$M = M_{Sch} + \sum M_R$$

an der Welle übertragenes Moment

$$M_{Sch} = \dot{m}(r_{2m}c_{3u} - r_{1m}c_{0u})$$

von den Schaufeln übertragenes Moment

mit $u = \omega \cdot r$

$$P_{Sch} = M_{Sch} \cdot \omega = \dot{m}(u_{2m}c_{3u} - u_{1m}c_{0u})$$

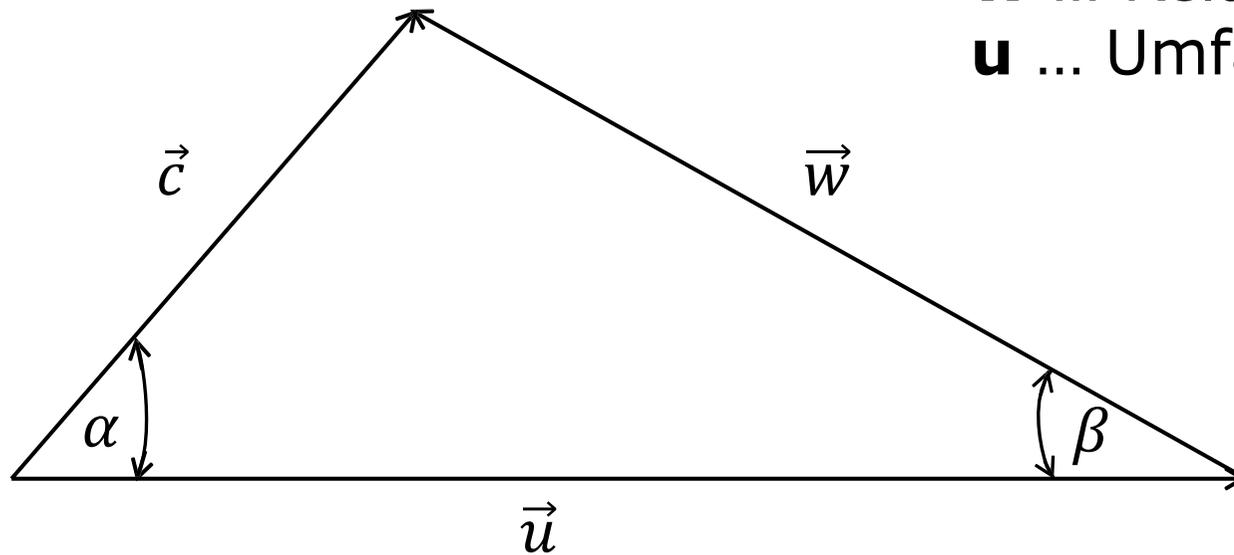
Leistung

$$Y_{Sch} = \frac{P_{Sch}}{\dot{m}}$$

spezifische Förderarbeit

$$Y_{Sch} = u_{2m}c_{3u} - u_{1m}c_{0u}$$

**Euler'sche Turbinengleichung
(1754)**



c ... Absolutgeschwindigkeit
w ... Relativgeschwindigkeit
u ... Umfangsgeschwindigkeit

$$\vec{c} = \vec{u} + \vec{w}$$

Die Absolutgeschwindigkeit ist gleich der vektoriellen Summe aus Relativ- und Umfangsgeschwindigkeit.



- Entwurfsverfahren müsse Änderungen der Strömung am Ein- und Austritt des Schaufelkanals berücksichtigen.



$$\beta_0 = \arctan \frac{c_{0m}}{u_1 - c_{0u}}$$

$$\beta_3 = \arctan \frac{c_{3m}}{u_2 - c_{3u}}$$

Minderumlenkung, Deviationswinkel – Verhältnisse am LR-Austritt

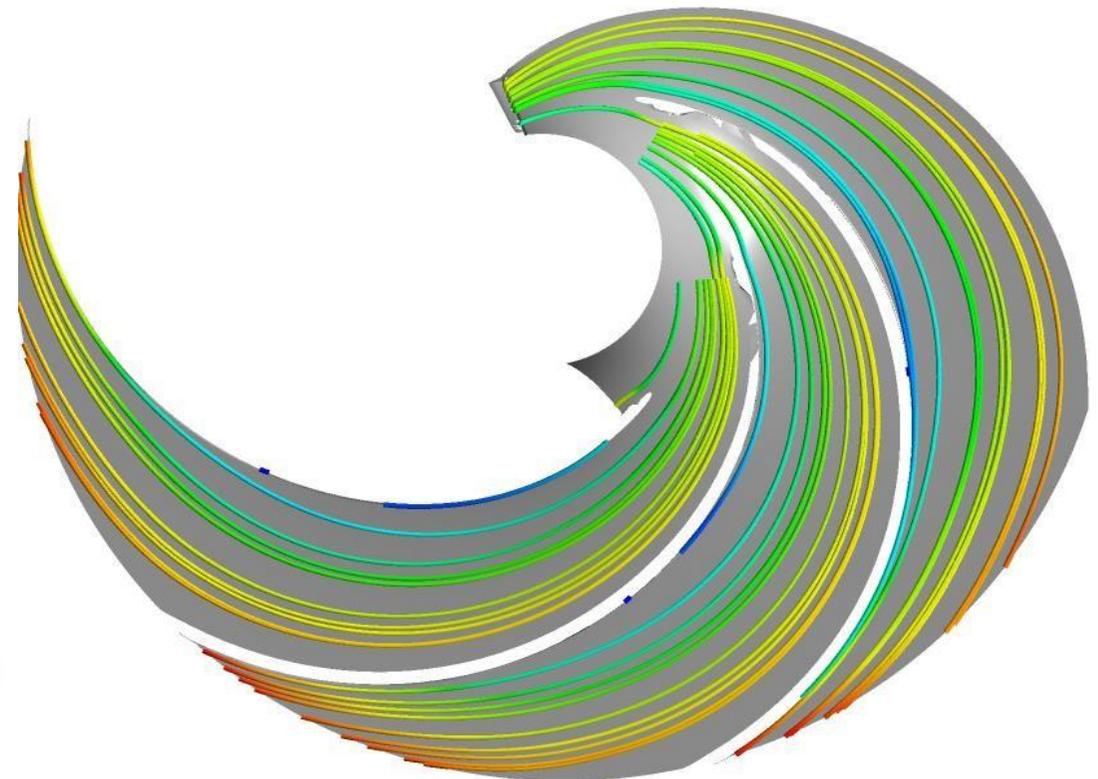
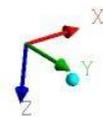
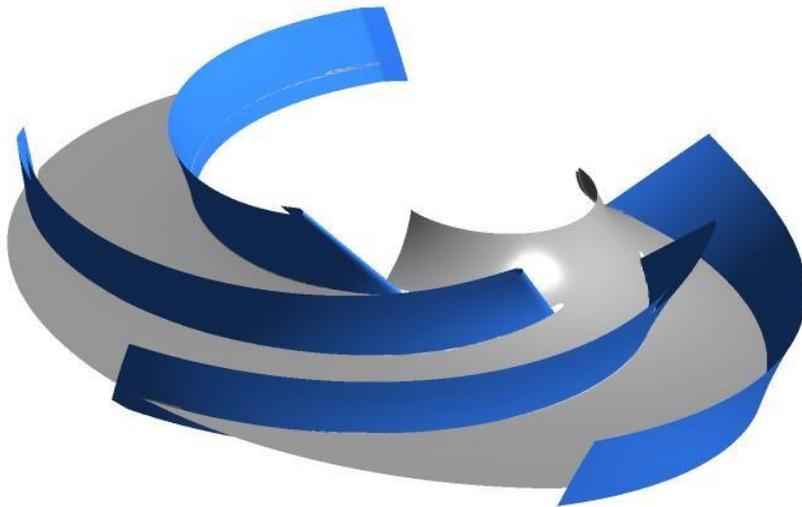
In der Realität ist die Abströmung aus dem Laufrad nicht schaufelkongruent.

- Ursachen: 1) der relative Kanalwirbel (Sekundärströmung von der SS zur DS durch Corioliskräfte)
- 2) Reduzierung des Druckunterschiedes zwischen SS und DS im „Schrägabschnitt“

Deviationswinkel:

$$\delta = \beta_2 - \beta_3$$

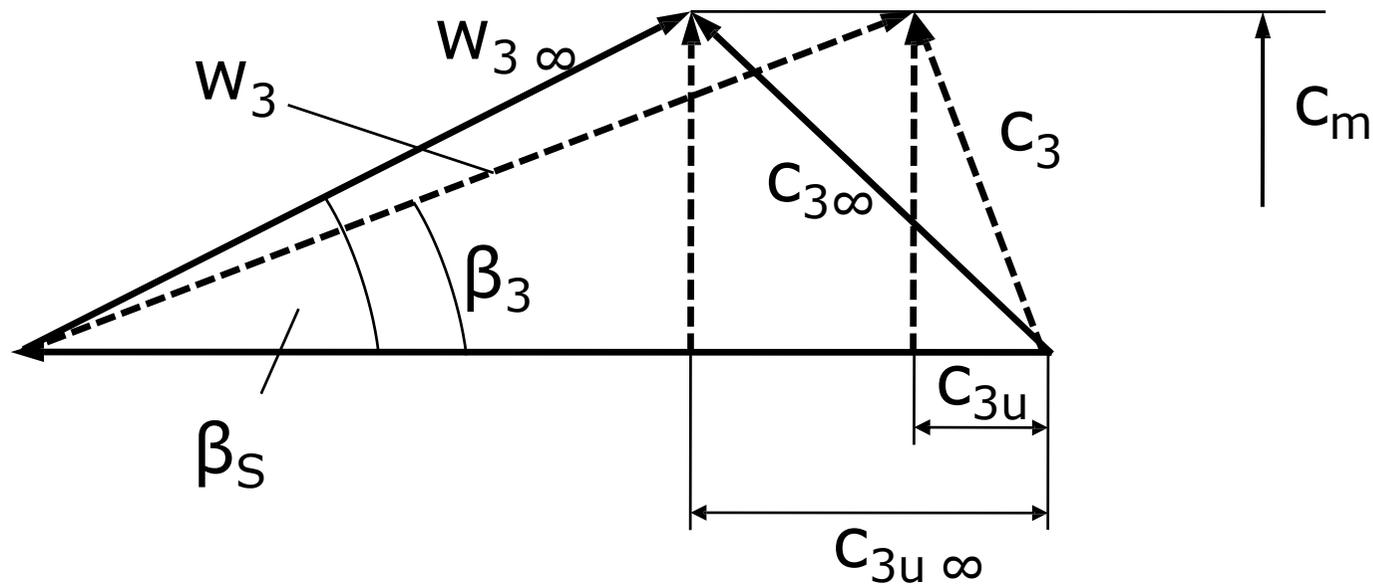
$$\beta_{\text{Schaufel}} = \beta_2$$

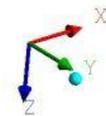
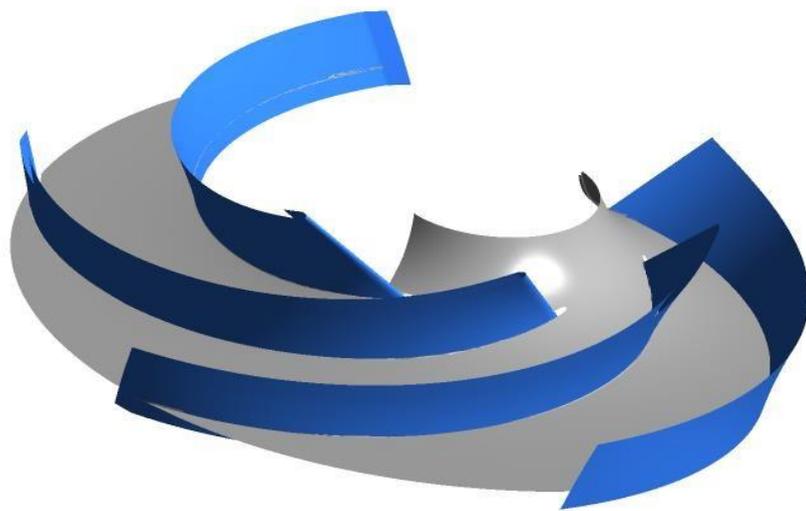
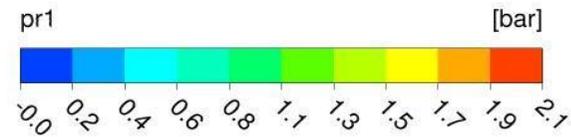


Radialrad mit Schaufeln

Minderumlenkung

Auswirkung der Minderumlenkung





Radialrad

Statischer Druckaufbau in den Laufradkanälen



Verfahren von Pfeiderer, Stepanoff, Gülich

- ▶ exemplarisch wird das Verfahren von Pfeiderer gezeigt

empirisches Verfahren zur Abschätzung der Minderumlenkung

$$Y_{th,\infty} = u_2 c_{3u} - u_1 c_{0u} \quad \text{Gleichung von Leonard Euler}$$

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

p ... Minderleistungsfaktor nach Pfeleiderer

Verfahren von Pfeleiderer

$$p = \frac{Y_{th\infty}}{Y_{th}} - 1 \quad p = \psi' \frac{r_2^2}{Z \cdot S}$$

Kreiselpumpe mit beschaufeltem

Leitrad

$$\psi' = 0,6 \left(1 + \frac{\beta_2^\circ}{60}\right)$$

Spiralgehäuse

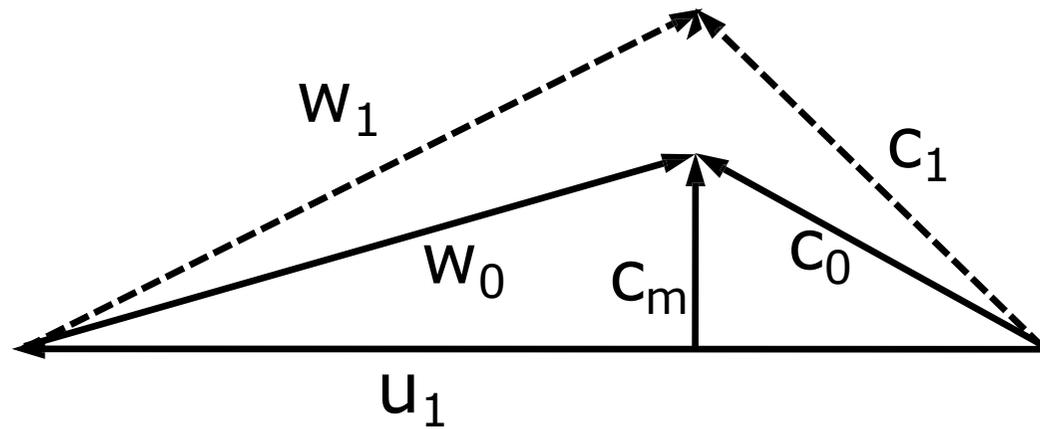
$$\psi' = (0,65 \dots 0,85) \left(1 + \frac{\beta_2^\circ}{60}\right)$$

schaufellosen Diffusor

$$\psi' = (0,85 \dots 1,0) \left(1 + \frac{\beta_2^\circ}{60}\right)$$

Statisches Moment der Stromlinie

$$S = \int_{r_1}^{r_2} r \, dx \Rightarrow S = \sum_{r_1}^{r_2} r \Delta x$$



$$Q = c_m \cdot A$$

c_{0m} erhöht auf c_{1m} durch Schaufelversperrung

$$c_{1m} = \tau_1 \cdot c_{0m}$$

$$\beta_0 = \arctan \frac{c_{0m}}{u_1 - c_{0u}}$$

$$\beta_1 = \arctan \frac{c_{1m}}{u_1 - c_{1u}}, \quad c_{1u} = c_{0u}$$

$$\tau_1 = \left(1 - \frac{z_{La} \cdot s_1}{\pi d_1 \sin \beta_1 \sin \lambda_1} \right)^{-1}$$