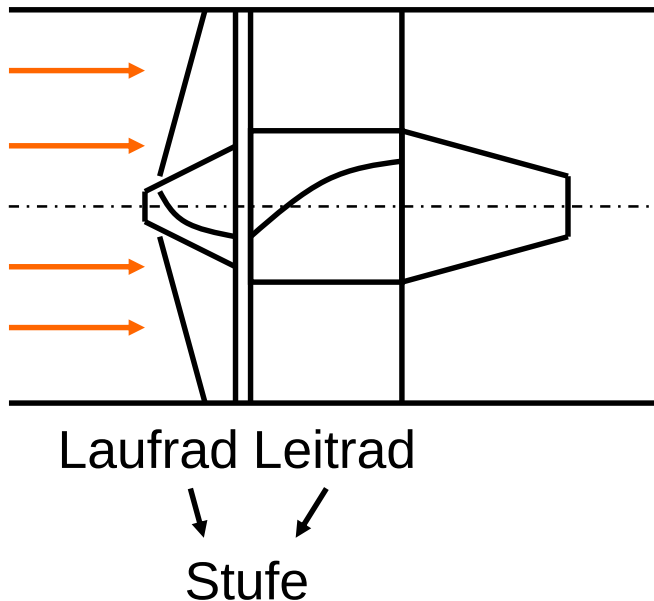


Kolben- und Strömungsmaschinen

Seminar 3

Energieübertragung in einer Turbomaschine



Laufblad:

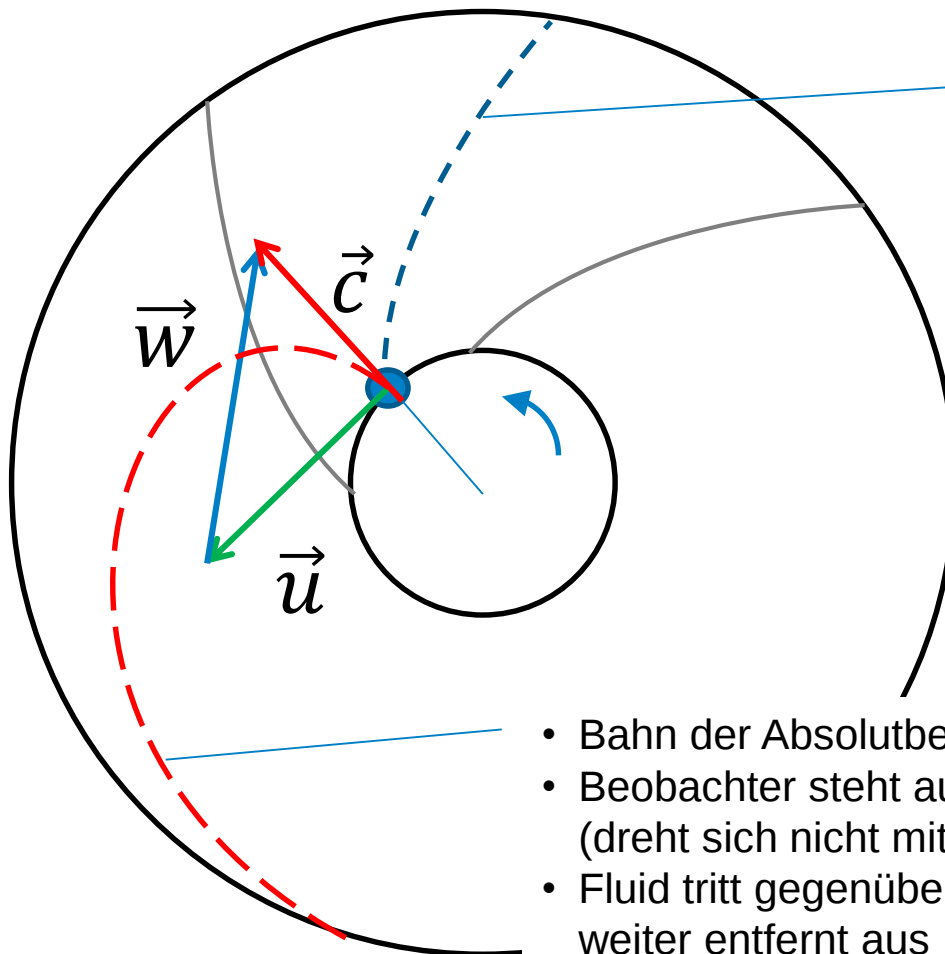
Arbeitsübertragung durch Dralländerung

- Arbeitsmaschinen:
 - Drehmoment an Welle erzeugt Rotation
 - Fluid wird beschleunigt und durch Schaufeln umgelenkt
- Kraftmaschine:
 - Fluid übt durch Umlenk-/Rückstoßwirkung Kraft auf Schaufeln aus
 - resultierende Rotation bewirkt Drehmoment an der Welle

Leitrad:

Dralländerung bzw. Änderung der Strömungsrichtung ohne Arbeitsübertragung (aber Energieumwandlung $E_{\text{kin}} \Leftrightarrow E_{\text{pot}}$)

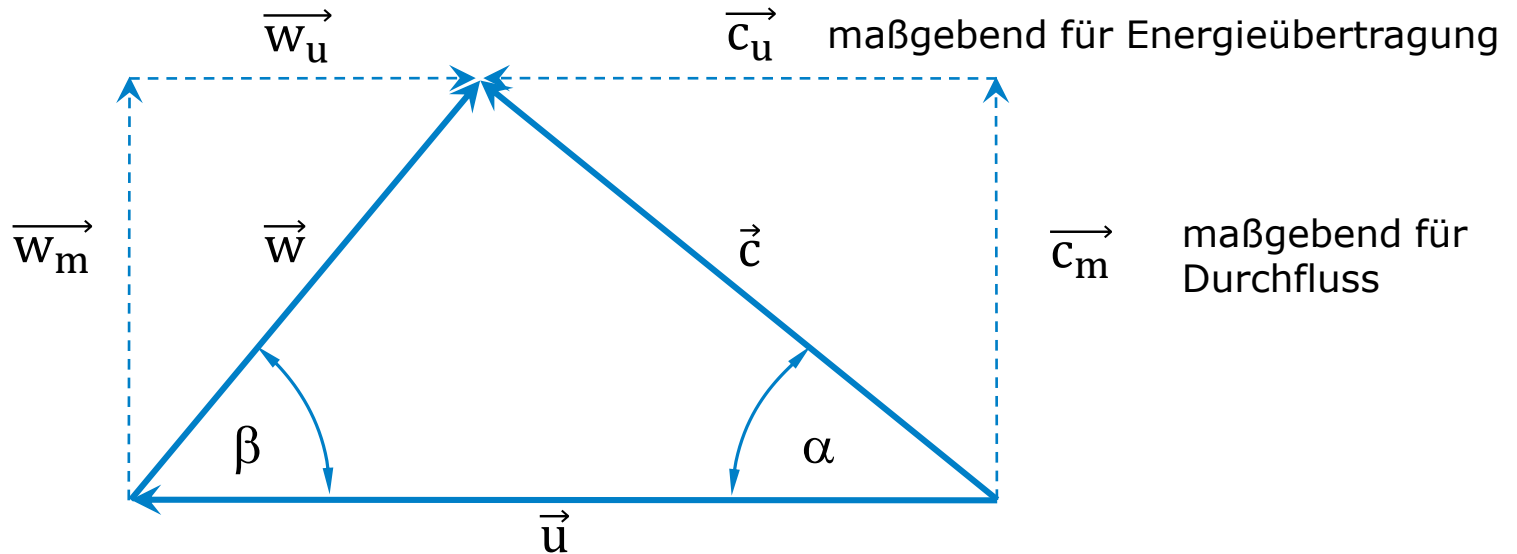
- Arbeitsmaschine: Diffusorwirkung $E_{\text{kin}} \rightarrow E_{\text{pot}}$
- Kraftmaschine: Beschleunigung durch Querschnittsverengung $E_{\text{pot}} \rightarrow E_{\text{kin}}$



- Bahn der Relativbewegung (zur Laufradbewegung)
- Beobachter dreht sich mit Schaufel
- Fluid bleibt auch bei Laufraddrehung zwischen den beiden Schaufeln

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

- Bahn der Absolutbewegung
- Beobachter steht außerhalb des Laufrades (dreht sich nicht mit)
- Fluid tritt gegenüber Eintritt in Drehrichtung weiter entfernt aus



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 ($\parallel \vec{u}$)

Index:

- 0... auf der Saugseite des Laufrades, unmittelbar vor den Schaufeln
- 1... unmittelbar nach dem Eintritt in den Schaufelkanal des Laufrades
- 2... unmittelbar vor dem Austritt aus dem Schaufelkanal des Laufrades
- 3... auf der Druckseite des Laufrades, unmittelbar hinter den Schaufeln
- 4... unmittelbar vor dem Schaufelkanal des Leitrades
- 5... unmittelbar nach dem Eintritt in den Schaufelkanal des Leitrades
- 6... unmittelbar vor dem Austritt aus dem Schaufelkanal des Leitrades
- 7... unmittelbar hinter den Schaufeln des Leitrades

Prämissen:

- a) Arbeitsfluid ist inkompressibel ($\rho = \text{const.}$)
- b) Strömung verläuft reibungsfrei ($\eta_h = 1,0$)
- c) Schaufelkongruente Strömung (Schaufelwinkel = Strömungswinkel)
- d) Rotationssymmetrisches Laufrad
- e) Stationäre Strömung
- f) Einfluss der Schwere vernachlässigbar

Bilanzfläche 1:

Massestrom $\dot{m}_{La}$ mit dem Drehimpuls

$$\dot{m}_{La} \cdot r_{1m} \cdot c_{0u}$$

Bilanzfläche 2:

Massestrom $\dot{m}_{La}$ mit dem Drehimpuls

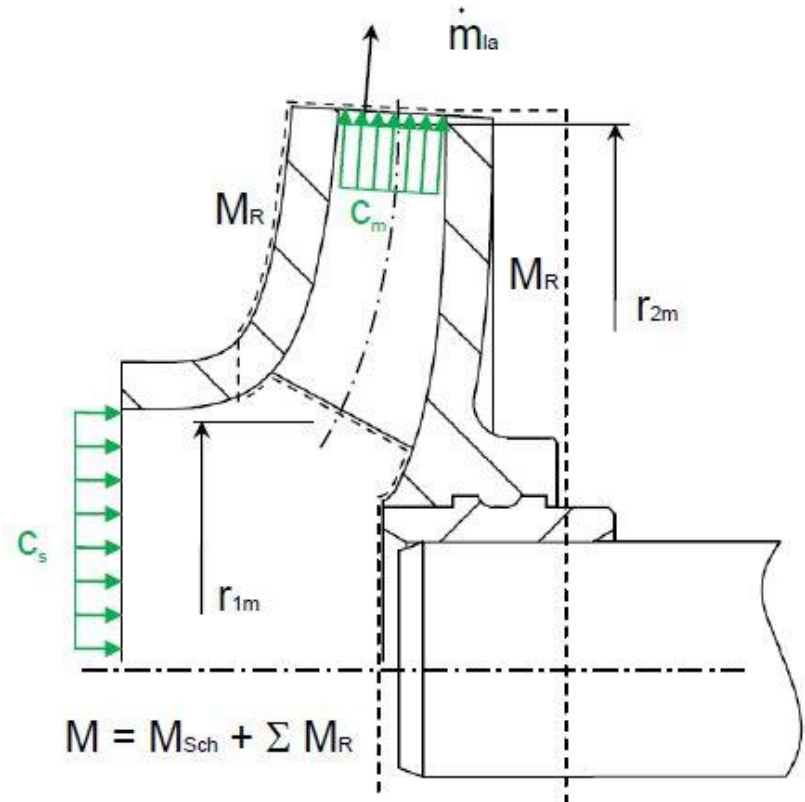
$$\dot{m}_{La} \cdot r_{2m} \cdot c_{3u}$$

an den festen Berandungen:

Moment wegen der Radseitenreibung M
(im Folgenden vernachlässigt)

an der Welle:

übertragenes Drehmoment M



von den Schaufeln übertragenes Moment:

$$M = M_{\text{sch}} = \dot{m}_{\text{La}} (r_{2m} \cdot c_{3u} - r_{1m} \cdot c_{0u})$$

Theoretische Laufradleistung:

$$P_{\text{th}} = M \cdot \omega \quad \text{mit} \quad \omega = u/r$$

$$P_{\text{th}} = \dot{m} \cdot Y_{\text{th}} \quad (Y_{\text{th}} = \text{theoretische spezifische Förderarbeit})$$

Euler'sche Strömungsmaschinen-Hauptgleichung

(für Arbeitsmaschinen)

$$Y_{th} = u_{2m} \cdot c_{3u} - u_{1m} \cdot c_{0u}$$

Andere Schreibweise

(Umstellen der Formel):

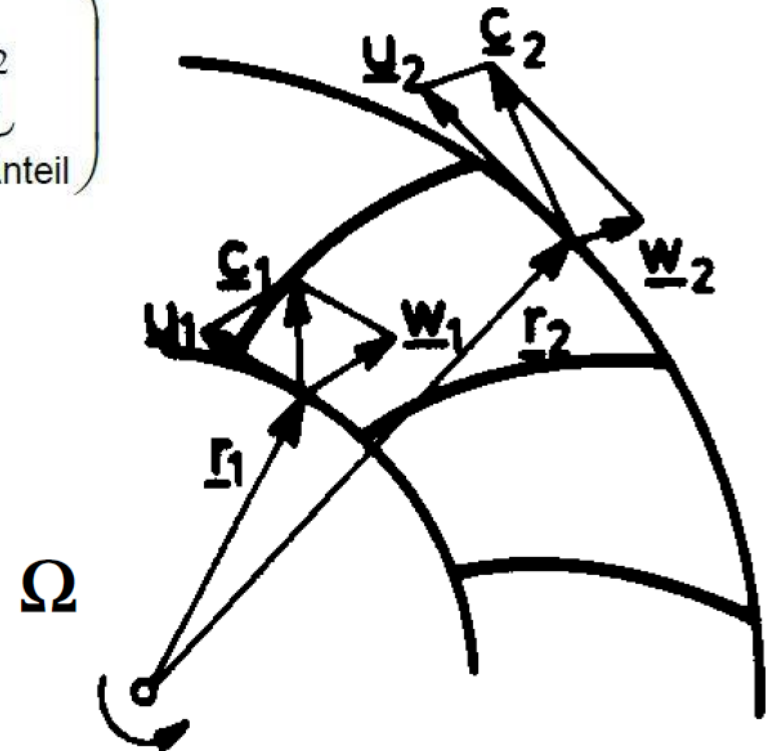
$$Y_{th,\infty} = \frac{1}{2} \left(\underbrace{u_2^2 - u_1^2 + w_1^2 - w_2^2}_{\text{statischer Anteil}} + \underbrace{c_2^2 - c_1^2}_{\text{kinetischer Anteil}} \right)$$

Übertragung von potenzieller Energie (Druckenergie):

Durch Erhöhung von u und Verringerung von w (Verzögerung bewirkt Verdichtung der Teilchenmasse) wird der statische Druck im Laufrad erhöht.

Übertragung kinetischer Energie:

Erhöhung der Absolutgeschwindigkeit c , hauptsächlich durch Erhöhung von c_u (Drallerzeugung)



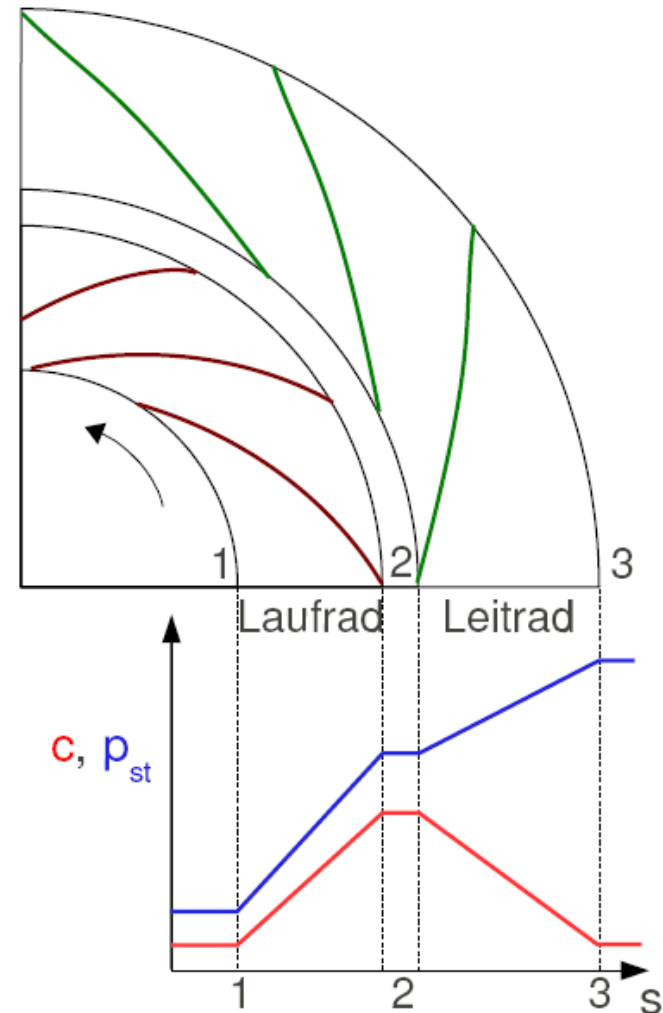
Pumpenlaufrad

Geschwindigkeits- und Druckverlauf über die Schaufellänge s durch eine Radialverdichterstufe:

Übertragung potenzieller und kinetischer Energie auf das Fluid im **Laufrad**

Umwandlung kinetische in potenzielle Energie im **Leitrad**

(Geschwindigkeit $\rightarrow$ Druck nach Bernoulli)



Aufgabe 3a Tischventilator

Für den Tischventilator aus Aufgabe 2b sollen die spezifische Förderarbeit Y_{th} und das Laufraddrehmoment M bestimmt werden.

Folgende Daten sind zusätzlich gegeben:

$$D_I/D_A = 0,36$$

$$\rho = 1,19 \text{ kg/m}^3$$

Aufgabe 3b Kühlwasserpumpe

Für das Zylinderkühlwassersystem eines Schiffsdieselmotors ist eine Umwälzpumpe einzusetzen. Vom Motorhersteller werden die Fördermenge von $246 \text{ m}^3/\text{h}$ sowie die zu überwindende Gesamtdruckdifferenz von 3 bar vorgegeben.

Es ist eine einstufige Radialpumpe vorzusehen, die eine Drehzahl von 1440 min^{-1} und einen Laufradaußendurchmesser von 300 mm aufweist.

Nebenbedingungen:

- Hydraulischer Wirkungsgrad der Pumpe: 90%
 - drallfreie Anströmung
 - gleiche Meridiangeschwindigkeit vor und nach dem Laufrad
 - $D_1/D_2=0,7$
 - $b_2/D_2=0,05$
 - $\rho_{\text{H}_2\text{O}}=\text{const.} = 1000 \text{ kg/m}^3$
- a) Ermitteln Sie die theoretische (P_{th}) und die tatsächlich erzeugte spezifische Förderleistung P .
- b) Bestimmen Sie die Laufradabmessungen (D_1 , D_2 , b_1 , b_2).
- c) Berechnen Sie die Geschwindigkeiten und zeichnen Sie maßstabsgerecht die Geschwindigkeitsdreiecke für Zu- und Abströmung.

Aufgabe 3b Kühlwasserpumpe: Geschwindigkeitsdreiecke

