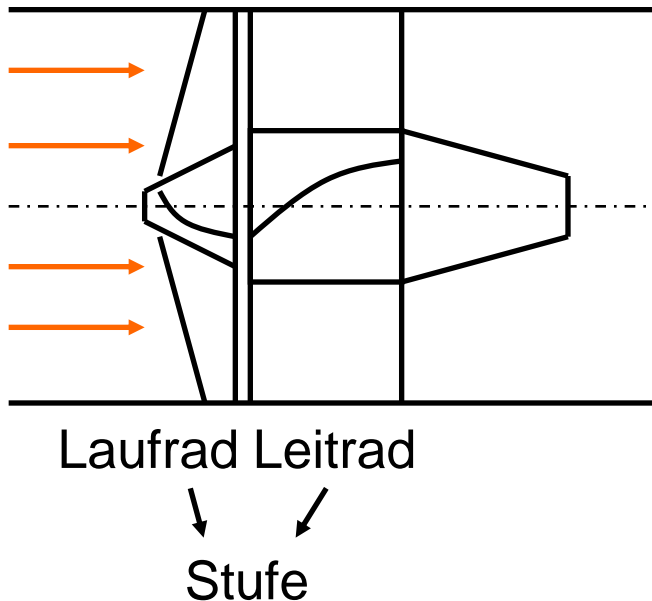


# Kolben- und Strömungsmaschinen

## Seminar 3

Energieübertragung in einer Turbomaschine



## Laufrad:

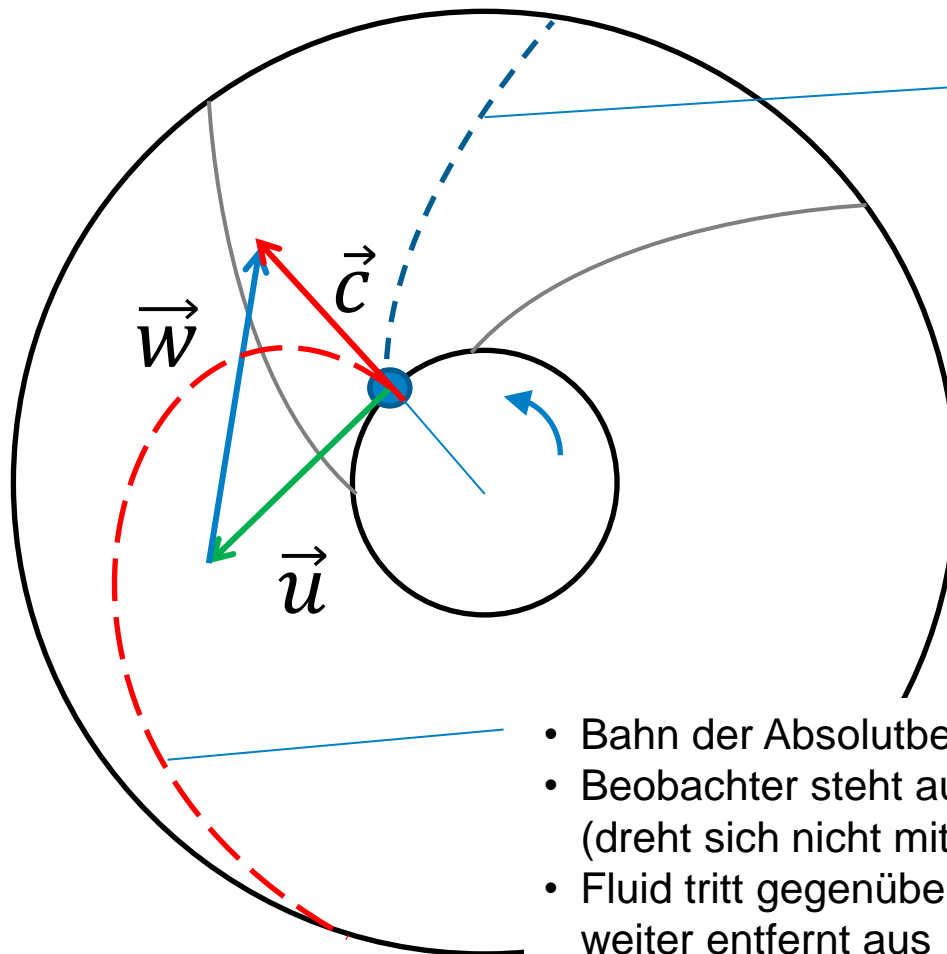
Arbeitsübertragung durch Dralländerung

- 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  $E_{\text{kin}} \Leftrightarrow E_{\text{pot}}$ )

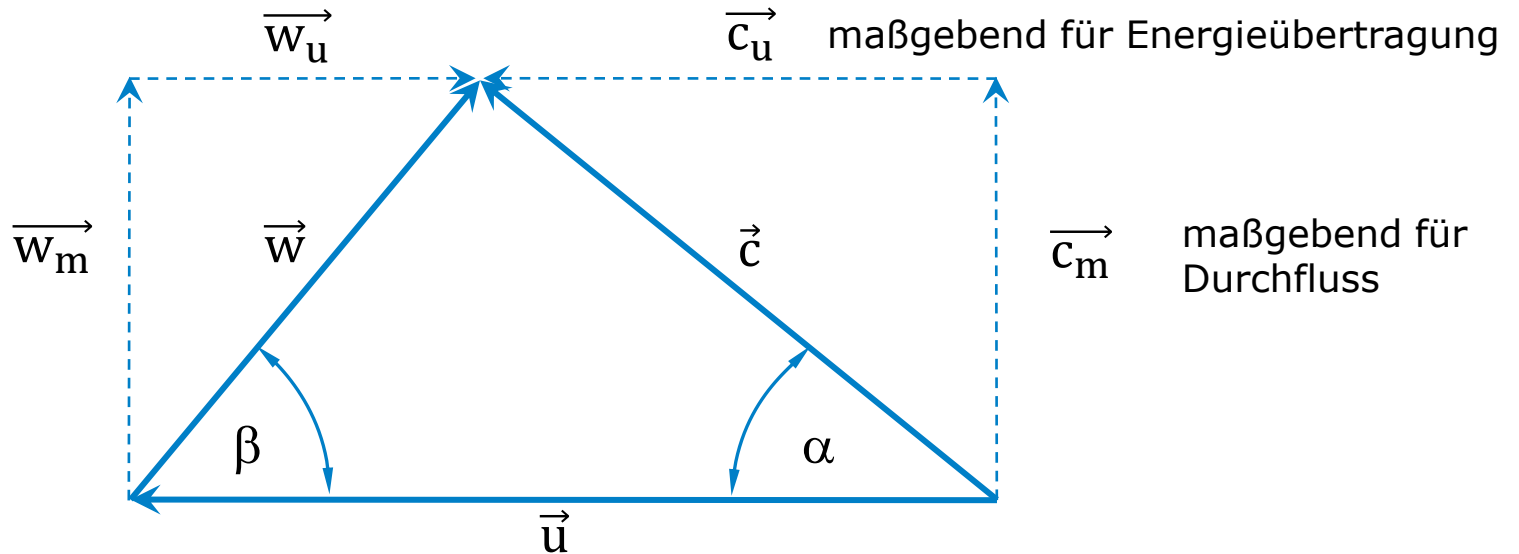
- Arbeitsmaschine: Diffusorwirkung  $E_{\text{kin}} \rightarrow E_{\text{pot}}$
- Kraftmaschine: Beschleunigung durch Querschnittsverengung  $E_{\text{pot}} \rightarrow E_{\text{kin}}$



- 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

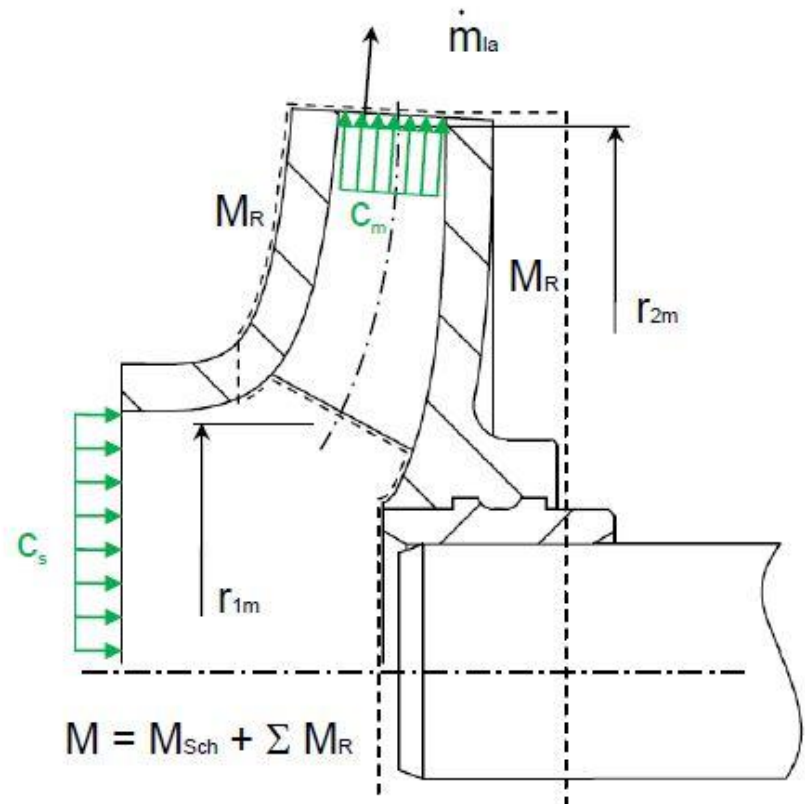
$$\dot{m}_{La} \cdot r_{2m} \cdot c_{3u}$$

## 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)

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

## Andere Schreibweise

(Umstellen der Formel):

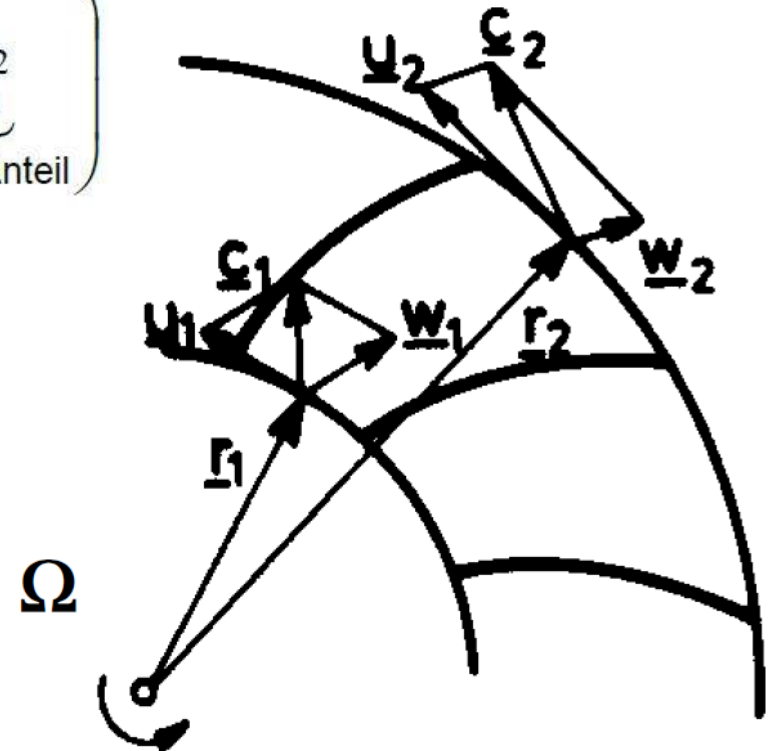
$$Y_{th,\infty} = \frac{1}{2} \left( \underbrace{u_2^2 - u_1^2 + w_1^2 - w_2^2}_{\text{statischer Anteil}} + \underbrace{c_2^2 - c_1^2}_{\text{kinetischer Anteil}} \right)$$

## 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)



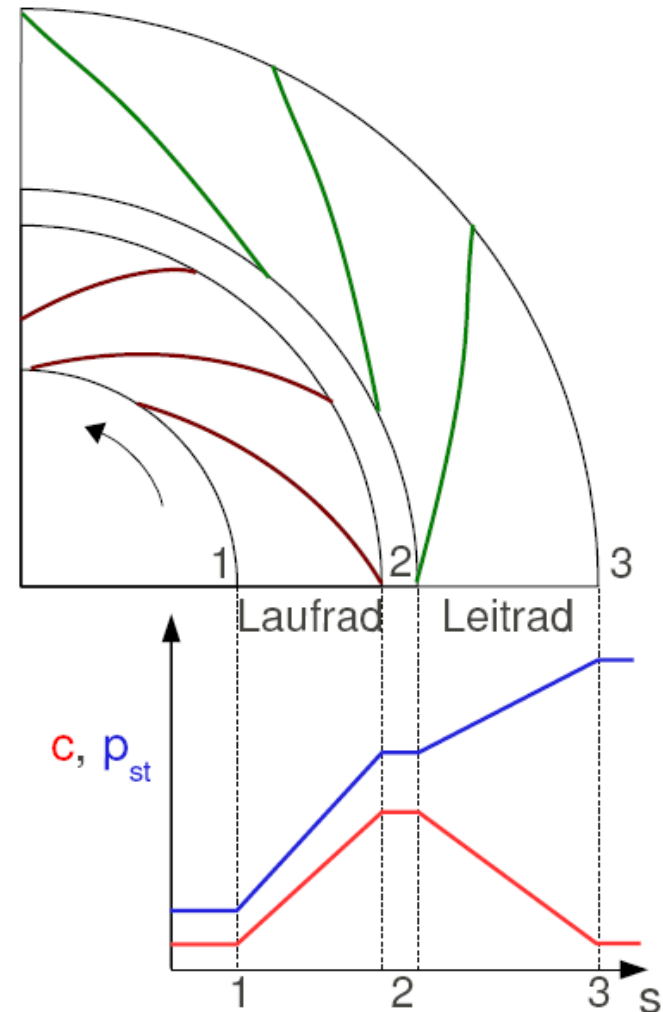
Pumpenlaufrad

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

Übertragung potenzieller und kinetischer Energie auf das Fluid im **Lauf**rad

Umwandlung kinetische in potenzielle Energie im **Leit**rad

(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  $1440 \text{ min}^{-1}$  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 ( $P_{\text{th}}$ ) 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.