

Klausur
Strömungsmaschinen I
SoSe 2013

14. August 2013, Beginn 13:00 Uhr

Prüfungszeit: 90 Minuten

Zugelassene Hilfsmittel sind: nichtprogrammierbarer Taschenrechner, Geodreieck, Zeichenmaterial

Andere Hilfsmittel, insbesondere:

- Alte Klausuren
- Übungen der Vorlesung, eigenes Skript, Folienumdruck
- Handy, Laptop, Fachbücher

sind nicht zugelassen.

Aufgabe	geschätzte Dauer	Punkte
1. Verständnisfragen	15 min	21
2. Cordier Diagramm	15 min	21
3. Radialturbine	15 min	23
4. Axialverdichter	30 min	39
Gesamt	75 min	104

Name, Vorname:

Matrikelnummer:

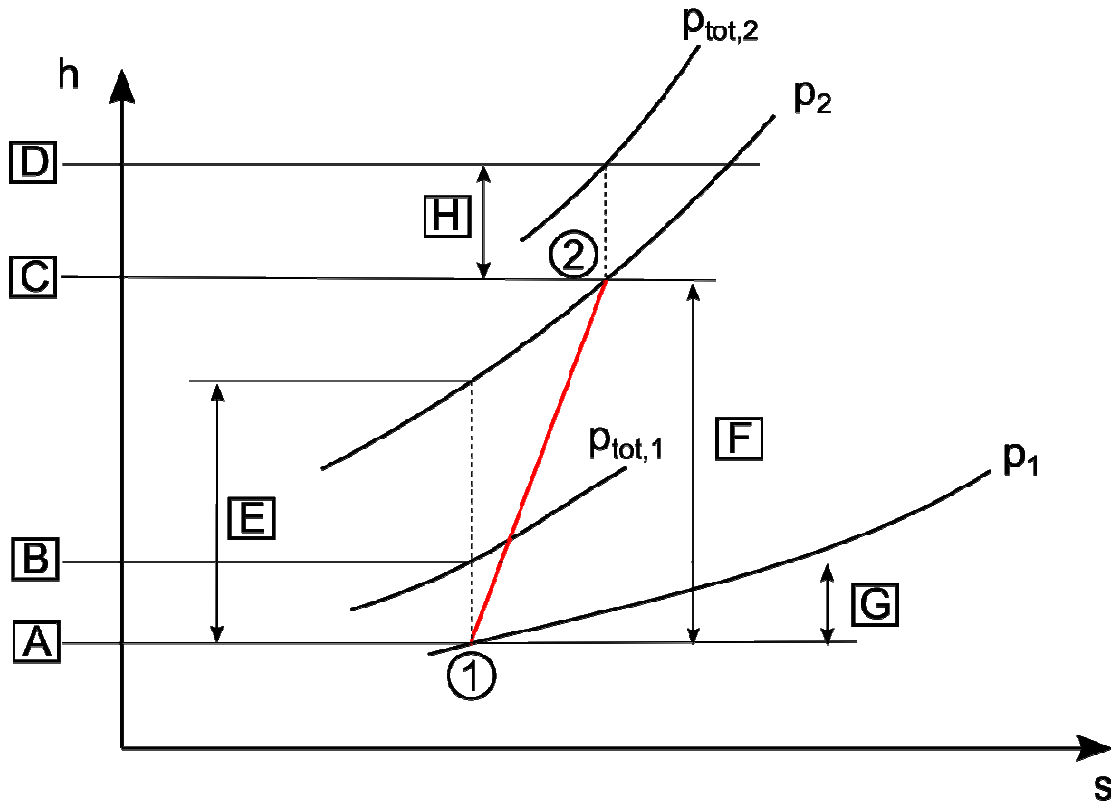
Wir wünschen Ihnen viel Erfolg!
Prof. Dr.-Ing. J. Seume
Dipl.-Ing. R. Adamzcuk
M.Sc. S. Teichel

Aufgabe 1 – Verständnisfragen:

1.1 Gezeigt ist das h-s Diagramm eines Verdichterlaufrades. Ordnen Sie den entsprechenden Positionen im Diagramm (A,B,C,...) die folgenden Größen zu und tragen sie diese in die unten stehende Tabelle ein.

$$\frac{c_2^2}{2}, h_1, \Delta h, h_2, \frac{c_1^2}{2}, h_{tot,2}, \Delta h_s, h_{tot,1}$$

(8 Punkte)



A	
B	
C	
D	

E	
F	
G	
H	

1.2 Kennzeichnen Sie in der nachfolgenden Tabelle für welche Betriebsbedingungen sich ein einstufiger Axialverdichter besser als ein einstufiger Radialverdichter eignet? (2 Punkte)

	Massenstrom	Druckverhältnis
Groß		
Klein		

1.3 Was ist die wichtigste Eigenschaft einer Repetierstufe? (1 Punkt)

1.4 Der Betriebsbereich eines Verdichters ist durch a) einen minimalen und b) einen maximalen Massenstrom begrenzt. Benennen Sie diese Betriebsgrenzen. (2 Punkte)

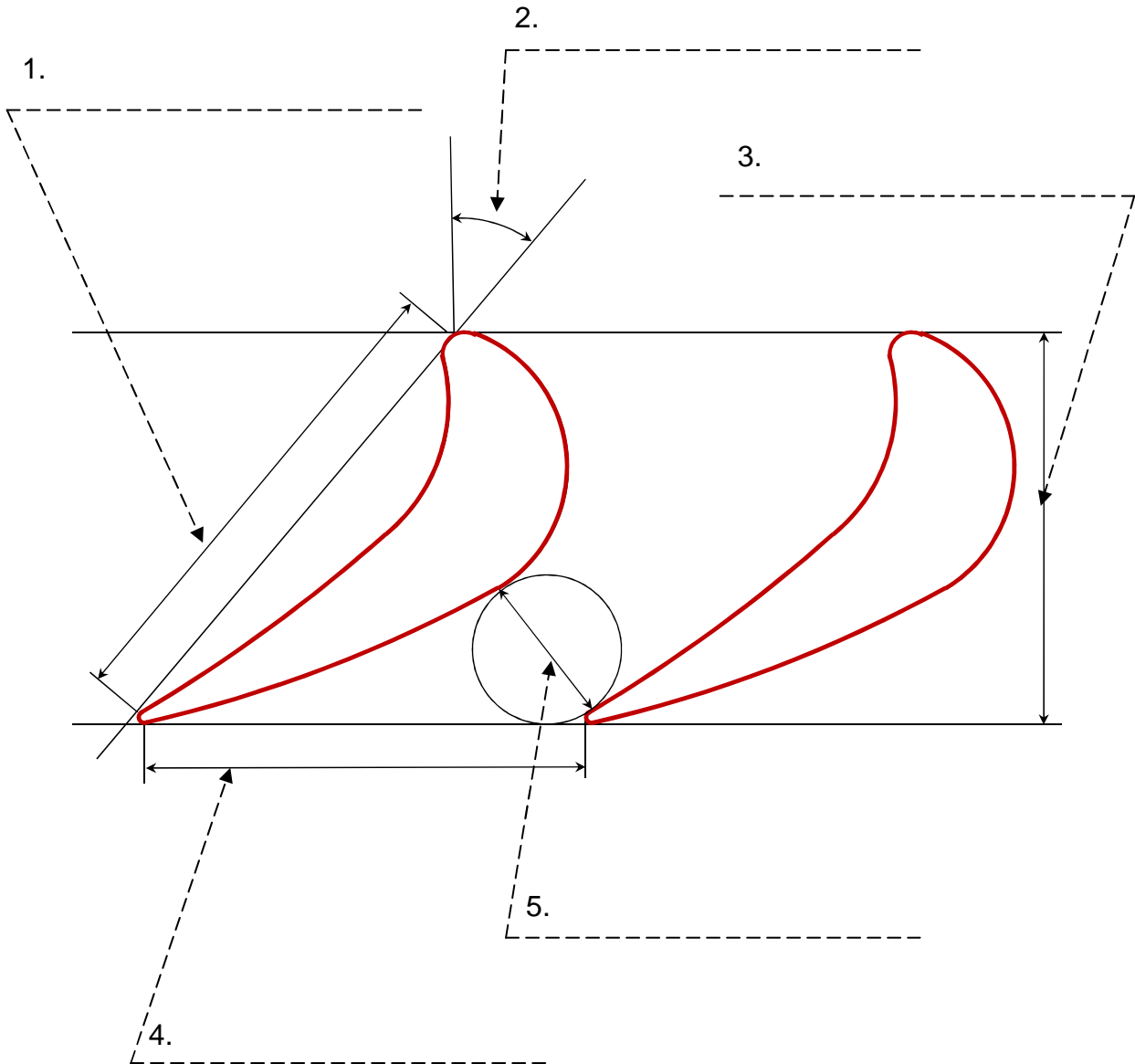
a) Minimaler Massenstrom:

b) Maximaler Massenstrom:

1.5 Bei welchem Reaktionsgrad spricht man von einem „symmetrischen Geschwindigkeitsdreieck“? (1 Punkt)

1.6 Welche Kräfte sind beim Radialen Gleichgewicht im Gleichgewicht? (2 Punkte)

1.7 Benennen Sie (deutsch oder englisch) in der folgenden Grafik die verschiedenen Bezeichnungen einer Turbinenschaufelreihe? (5 Punkte)



Aufgabe 2 – Cordier Diagramm – Pelton-Turbine

Für viele zahnärztliche Behandlungen werden druckluftbetriebene Bohr-/Fräswerkzeuge angewendet. Angetrieben werden diese Werkzeuge in der Regel von einer sogenannten „Pelton-Turbine“ (siehe Abbildung 1). Dieser Typ von Strömungsmaschine findet z.B. auch in Wasserkraftwerken Anwendung.

Bestimmen Sie im Folgenden aus den gegebenen Größen den Massenstrom, Eintrittsvolumenstrom, die isentrope Stufenarbeit und die Leistung der Pelton Turbine. Nutzen Sie das Cordier-Diagramm um den Durchmesser einer wirkungsgradoptimalen Pelton-Turbine für die gegebenen Betriebsgrößen zu bestimmen.



Abbildung 1 – Pelton-Turbine als Antriebsaggregat für zahnärztliches Werkzeug (Quelle: Sirona Dental)

Stufenzahl	1
Austrittsvolumenstrom	$\dot{V}_2 = 200 \frac{l}{min}$
Turbineneintrittstemperatur	$T_1 = 300 K$
Druckverhältnis über Turbine	$\frac{p_1}{p_2} = 3$
Austrittsdruck	$p_2 = 100 kPa$
Turbinendrehzahl	$n = 300000 min^{-1}$
Gaskonstante	$R = 287 \frac{J}{kg \cdot K}$
Isentropenexponent	$\kappa = 1,4$

Gegeben:

- **Spezifische Drehzahl:** $\sigma_M = \left(2\pi^2\right)^{1/4} \cdot \frac{n\sqrt{\dot{V}_1}}{|y|^{3/4}}$
- **Spezifischer Durchmesser:** $\delta_M = \left(\frac{\pi^2}{8}\right)^{1/4} \cdot \frac{D_B|y|^{1/4}}{\sqrt{\dot{V}_1}}$
- **Isentrope Stufenarbeit:** $y = \Delta h_{Stufe, isentrop}$

Stellen Sie den kompletten Berechnungsweg dar!

Bestimmen Sie:

- 2.1 den Massenstrom und Eintrittsvolumenstrom (10 Punkte)
- 2.2 die isentrope Stufenarbeit und Leistung (5 Punkte)
- 2.3 die spezifische Drehzahl (2 Punkte)
- 2.4 den spezifischen Durchmesser aus dem Cordier Diagramm und kennzeichnen sie diesen im Diagramm (2 Punkte)
- 2.5 den Maschinendurchmesser (2 Punkte)

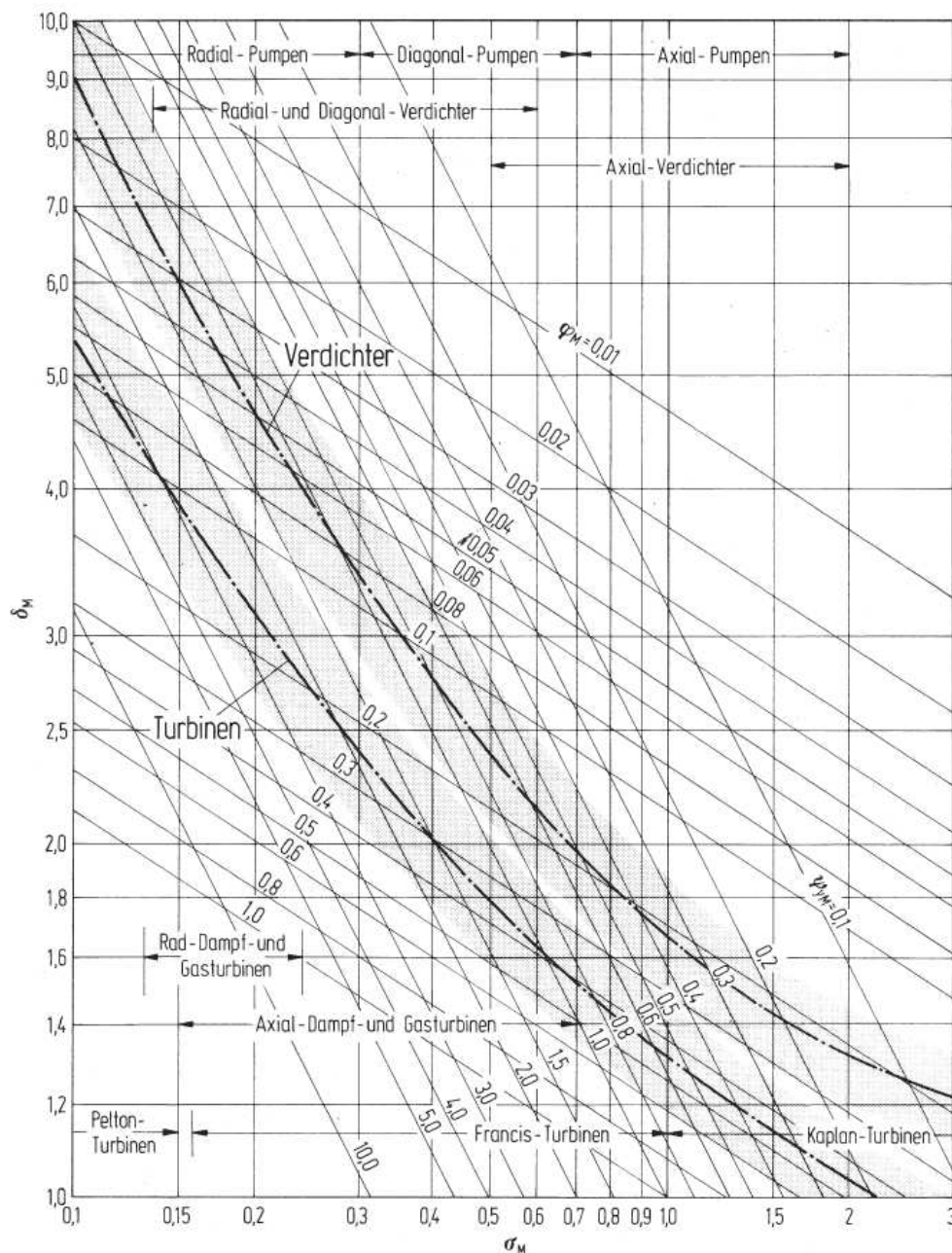


Bild 31. Durchmesser-Kenngröße δ_M in Funktion der spezifischen Drehzahl σ_M für einstufige Turbomaschinen (Cordier-Diagramm)

Aufgabe 3 – Radiallüfter

Die Strömung in einem Radiallüfter soll anhand der gegebenen Daten im Datenblatt (Tabelle) analysiert werden. Eine Prinzipskizze der Maschine ist in Abbildung 2 gegeben.

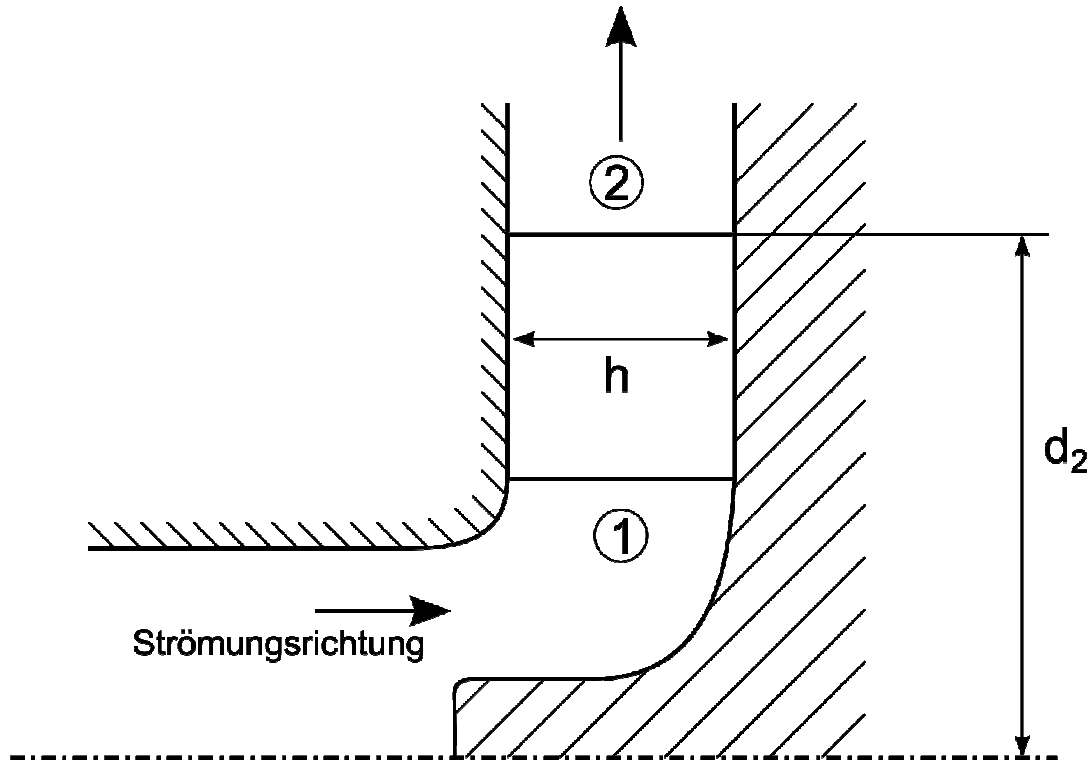


Abbildung 2 - Radiallüfter

Austrittsdruchmesser	$d_2 = 180\text{mm}$
Schaufelhöhe	$h = 60\text{mm}$
Lüfterdrehzahl	$n = 16000\text{min}^{-1}$
Austrittsvolumenstrom	$\dot{V}_2 = 3\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
Lüfterleistung	$P = 20\text{kW}$
Austrittstemperatur	$T_2 = 15^\circ\text{C}$
Austrittsdruck	$p_2 = 100\text{kPa}$
Gaskonstante	$R = 292\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$

Stellen Sie den kompletten Berechnungsweg dar!

Annahmen:

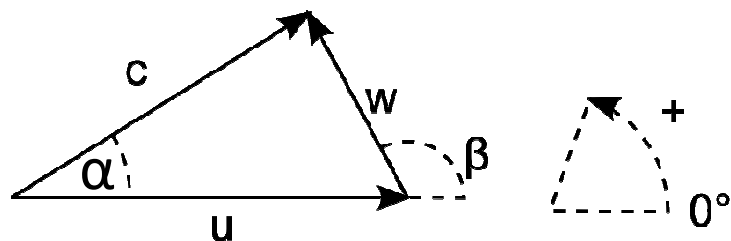
Rein radiale Laufradanströmung im Absolutsystem

Bestimmen Sie:

- 3.1 die Umfangsgeschwindigkeit am Austritt (2 Punkte)
- 3.2 den Massenstrom (4 Punkte)
- 3.3 die folgenden Größen und tragen Sie das Ergebnis in die Tabelle ein. (17 Punkte)

$c_2 =$	
$c_{u,2} =$	
$\alpha_2 =$	
$c_{r,2} =$	
$w_{u,2} =$	
$w_2 =$	
$\beta_2 =$	

Definition des Geschwindigkeitsdreiecks und der Winkel:



Aufgabe 4 – Axialverdichter

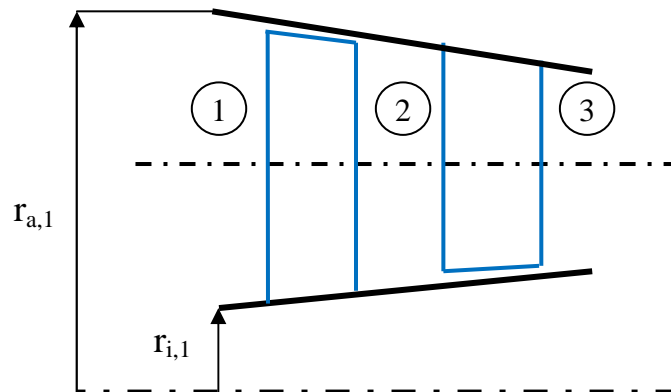


Abbildung 4.1: Axialverdichter

Ihre Aufgabe sind die Geschwindigkeitsdreiecke vor und nach dem Laufrads eines einstufigen Axialverdichters (Abbildung 4.1) mit konstantem Mittenschnitt zu bestimmen. Die Werte in der nachfolgenden Tabelle spezifizieren die Strömung im Laufrad der Maschine.

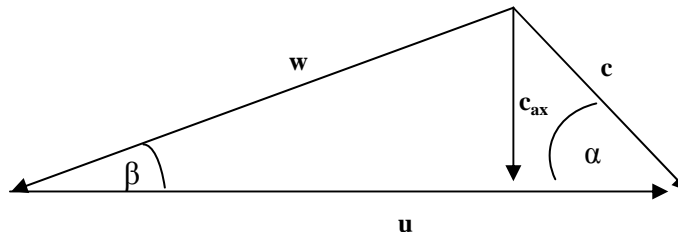
Allgemeine Maschine:	Massenstrom	20 kg/s
	Spezifische Gaskonstante	$R = 287 \text{ J/kgK}$
Ebene 1:	Durchflusszahl Laufschaufel	$\Phi = 0,8$
	Leistungszahl Laufschaufel	$\Psi = -0,6$
	Innenradius am Eintritt	$r_{i,1} = 0,2 \text{ m}$
	Außenradius am Eintritt	$r_{a,1} = 0,3 \text{ m}$
	Druck am Eintritt	$p_1 = 101300 \text{ Pa}$
	Temperatur am Eintritt	$T_1 = 293 \text{ K}$
	Metallwinkel am Eintritt	$\beta_1 = 40^\circ$
Ebene 2:	Metallwinkel am Austritt	$\beta_2 = 70^\circ$

Annahmen:

- Alle Berechnungen werden für den Mittenschnitt durchgeführt.
- Keine Inzidenz zwischen Strömung und Schaufel
- Die Radialkomponente der Strömung kann vernachlässigt werden

Winkeldefinition:

- Alle Winkel sind relativ zur Umfangsgeschwindigkeit definiert. Die Abbildung soll die Definition des Winkels α und β verdeutlichen und macht keine Aussagen über Richtung und Betrag der Geschwindigkeiten!
- Umfangsgeschwindigkeiten werden in Drehrichtung positiv angenommen.



Aufgaben:

- 3.1 Bestimmen Sie das Vollständige Geschwindigkeitsdreieck am Eintritt sowie den Winkel der Absolutgeschwindigkeit (18 Punkte)
- 3.2 Bestimmen Sie das vollständige Geschwindigkeitsdreieck am Austritt der Laufschaufel. Sollten Sie Aufgabenteil a) nicht gelöst haben verwenden Sie für die Bestimmung des Geschwindigkeitsdreiecks für die Umfangskomponente der Absolutgeschwindigkeit am Eintritt $c_{u1} = 10 \text{ m/s}$ und für die Umfangsgeschwindigkeit $u = 125 \text{ m/s}$ (13 Punkte)
- 3.3 Zeichnen Sie beide Geschwindigkeitsdreiecke. Zeichnen Sie dabei für beide Dreiecke folgende Größen ein: c , c_{ax} , c_u , w , w_u , u , α , β ($\pm 20\%$, rechte Winkel bitte kennzeichnen) (8 Punkte)