

Klausur

Strömungsmaschinen I

SoSem 2014

20. August 2014, Beginn 13:00 Uhr

Prüfungszeit: 90 Minuten

Zugelassene Hilfsmittel sind:

- Taschenrechner
- Geodreieck
- Zeichenmaterial
- gestellte Formelsammlung

Andere Hilfsmittel, insbesondere:

- alte Klausuren
- Übungsunterlagen, Skript, Folienumdruck, eigene Formelsammlung
- Handy, Laptop, Fachbücher

sind nicht zugelassen.

Anmerkungen zur Bearbeitung:

- Verwenden Sie dokumentenechte Stifte (nicht rot!).
- Rechen- und Lösungswege sind darzustellen.
- Zusätzliche Annahmen sind kenntlich zu machen.
- Zwischen- und Endergebnisse sind deutlich hervorzuheben

Aufgabe	Geschätzte Dauer	mögliche Punkte	erreichte Punkte
1. Verständnisfragen	15 min	25	
2. Radialturbine, Cordier-Diagramm	30 min	31	
3. Axialverdichter	35 min	33	
4. Axialturbine	10 min	8	
Gesamt	90 min	97	

Name, Vorname:

Matrikelnummer:

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg!

Prof. Dr.-Ing. J. Seume

S. Teichel, M.Sc.

Dipl.-Ing. Lutz Schwerdt

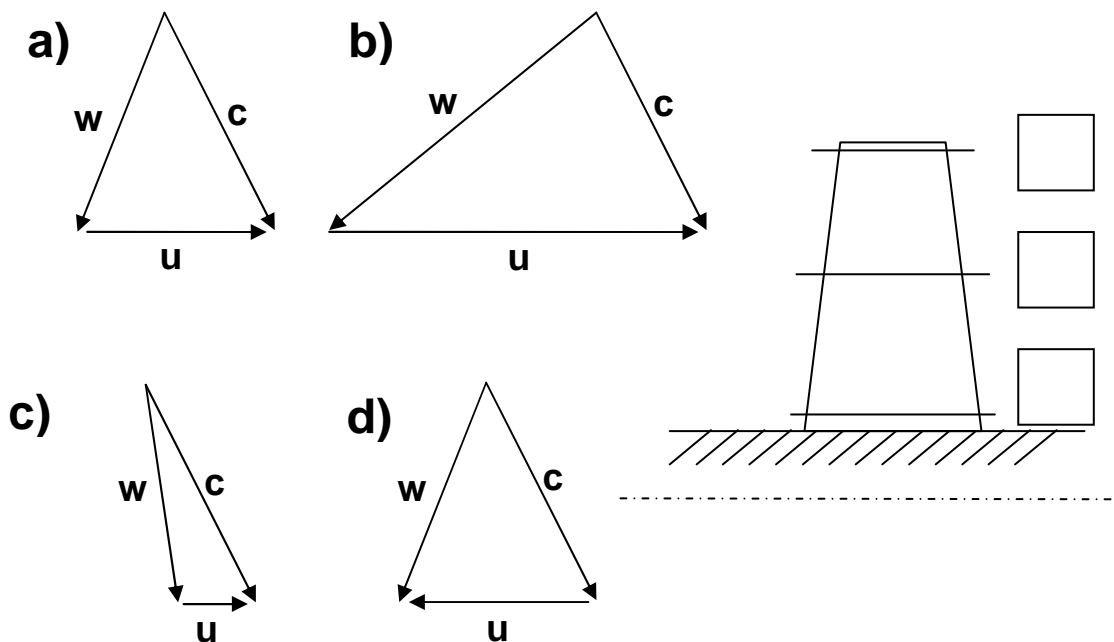
Aufgabe 1 – Verständnisfragen

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

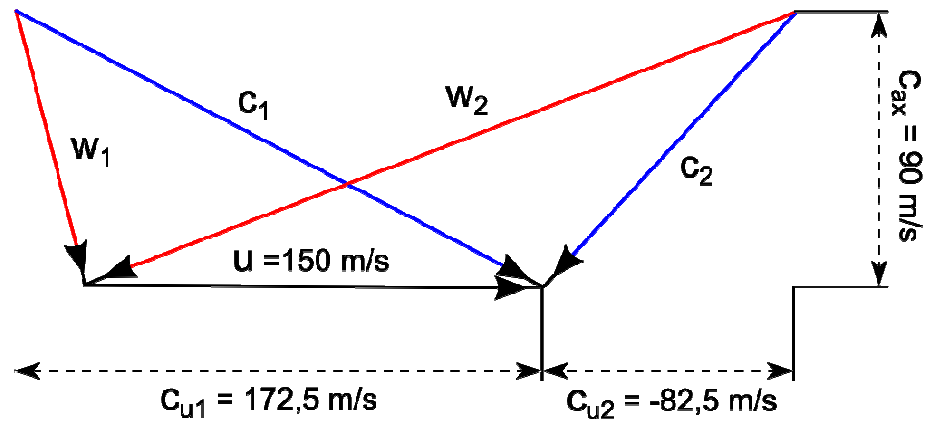
1.2 Welche Kräfte sind beim Radialen Gleichgewicht im Gleichgewicht? (2 Punkte)

1.3 Welches Verhältnis bzw. welches Produkt ist bei der Annahme eines Festkörperwirbels konstant und welches bei der Annahme eines Potentialwirbels? (2 Punkte)

1.4 Ordnen Sie die drei richtigen Geschwindigkeitsdreiecke den entsprechenden Schnitten der Turbinenschaufel zu, indem Sie die Bezeichnungen in die vorgesehenen Felder eintragen. (4 Punkte)

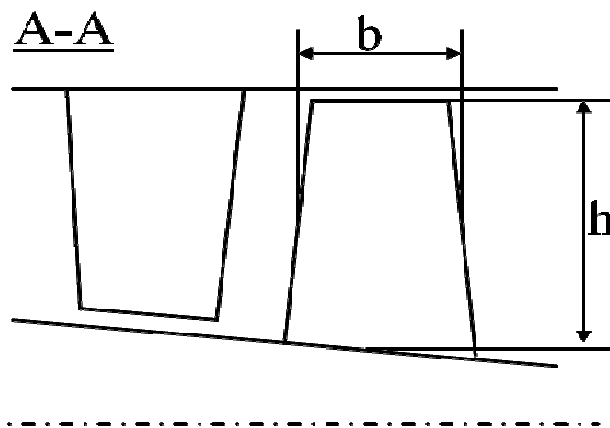
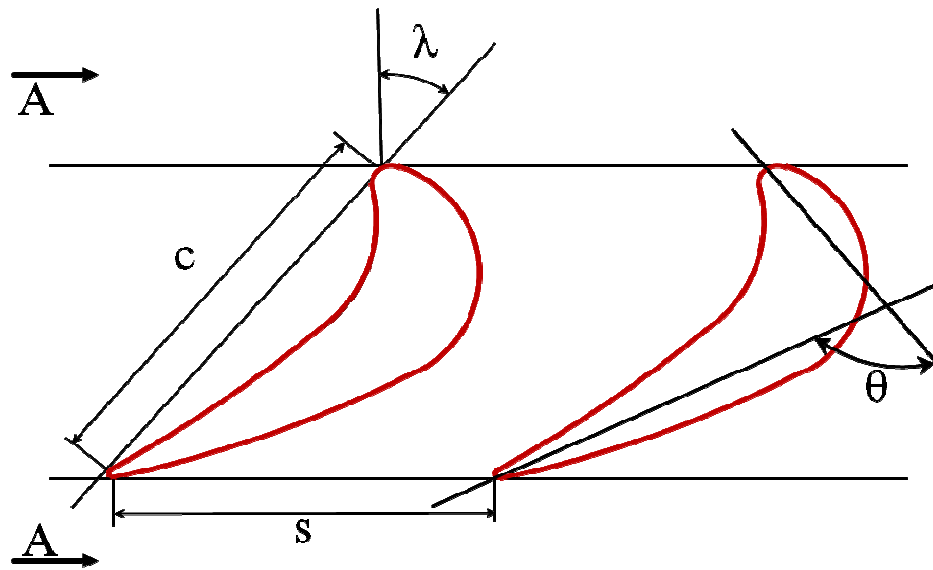


1.5 Die folgende Abbildung zeigt das Geschwindigkeitsdreieck einer Turbomaschine im Mittenschnitt. Beantworten Sie mit Hilfe der Informationen in der folgenden Abbildung die unten stehenden Fragen. Stellen Sie Rechenwege vollständig dar und begründen Sie ihre Antworten. (10 Punkte)



- 1.5.1 Bestimmen Sie die Durchflusszahl (eng. flow coefficient). (2 Punkte)
- 1.5.2 Bestimmen Sie die Leistungszahl (eng. load coefficient). (2 Punkte)
- 1.5.3 Bestimmen Sie den kinematischen Reaktionsgrad. (2 Punkte)
- 1.5.4 Beschreibt das Geschwindigkeitsdreieck die Laufreihe einer Turbine oder eines Verdichters? Begründen Sie Ihre Antwort. (2 Punkte)
- 1.5.5 Handelt es sich um eine Radial- oder Axialmaschine? Begründen Sie Ihre Antwort. (2 Punkte)

1.6 Tragen Sie die Bezeichnungen der in den Abbildungen markierten Parameter (deutsch oder englisch) einer Turbinenschaufelreihe in die Tabelle ein. (6 Punkte)



λ	
c	
s	
θ	
b	
h	

Aufgabe 2 – Radialturbine, Cordier-Diagramm

Die folgende Abbildung zeigt das Laufrad einer einstufigen Radialturbine eines Abgasturboladers.

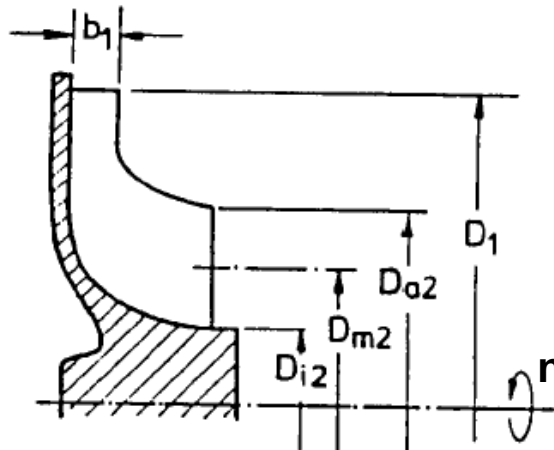


Abbildung 2.1: Laufrad einer Radial-Turbine

Mit Hilfe des in Abbildung 2.2 gegebenen Cordier-Diagramms ist die Auswahl des Laufraddurchmessers D_1 durchzuführen. Für die Wahl des Laufraddurchmessers D_1 steht eine Standardreihe zur Verfügung:

$$(D_1 = 80 / 130 / 225 / 375 / 630 \text{ mm})$$

Anschließend sind die Austrittsbedingungen und –durchmesser zu berechnen.

Die folgende Abmessungen und Strömungszustände sind gegeben:

Drehzahl n	40.500 min^{-1}
Massenstrom \dot{m}	$0,5 \text{ kg/s}$
Statischer Druck am Eintritt p_1	$2,3 \text{ bar}$
Statische Temperatur am Eintritt T_1	860 K
Leistung P	$-66,5 \text{ kW}$
Gaskonstante des Abgases R	$288 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$
Polytroper Wirkungsgrad $\eta_{polytrop}$	$0,95$
Durchflusszahl am Eintritt Φ_1	$0,6$
Durchflusszahl am Austritt Φ_2	$0,8$
Isentropenexponent des Abgases κ	$1,35$
Statisches Druckverhältnis π	$2,3$
Durchmesserverhältnis D_{m2}/D_1	$0,5$

$$\text{Mittlerer Durchmesser: } D_m = \frac{D_a + D_i}{2}$$

$$\text{Spezifische Stufenarbeit: } w_{12} = y = \Delta h_{polytrop}$$

Annahmen:

- 1) Das Verbrennungsgas kann als ideales Gas angenommen werden.
- 2) Die Zustandsänderung in der Turbine sei adiabatisch und polytrop.
- 3) Im Cordier-Diagramm wird linear interpoliert.
- 4) Schaufelspitzenspalte sind zu vernachlässigen.

Aufgaben:

- a) Bestimmen Sie die spezifische Stufenarbeit y , die Dichte ρ_1 , und den Volumenstrom \dot{V}_1 am Laufradeintritt. (5 Punkte)
- b) Berechnen Sie die spezifische Drehzahl σ_M und ermitteln Sie daraus mit Hilfe des Cordier-Diagramms den spezifischen Durchmesser δ_M . Wählen Sie einen geeigneten Laufraddurchmesser D_1 aus der gegebenen Standardreihe und begründen Sie Ihre Wahl. (6 Punkte)
- c) Berechnen Sie mit dem gewählten Eintrittsdurchmesser D_1 die radiale Eintrittsgeschwindigkeit $c_{1,rad}$ und bestimmen Sie die Breite b_1 der Schaufeln am Eintritt. (6 Punkte)
- d) Bestimmen Sie den Volumenstrom \dot{V}_2 , die Dichte ρ_2 und die axiale Austrittsgeschwindigkeit $c_{2,ax}$ am Austritt. Berechnen Sie weiterhin die Austrittsfläche A_2 , die Kanalhöhe am Austritt h_2 , den inneren $D_{i,2}$ und den äußeren $D_{a,2}$ Durchmesser am Austritt. (14 Punkte)

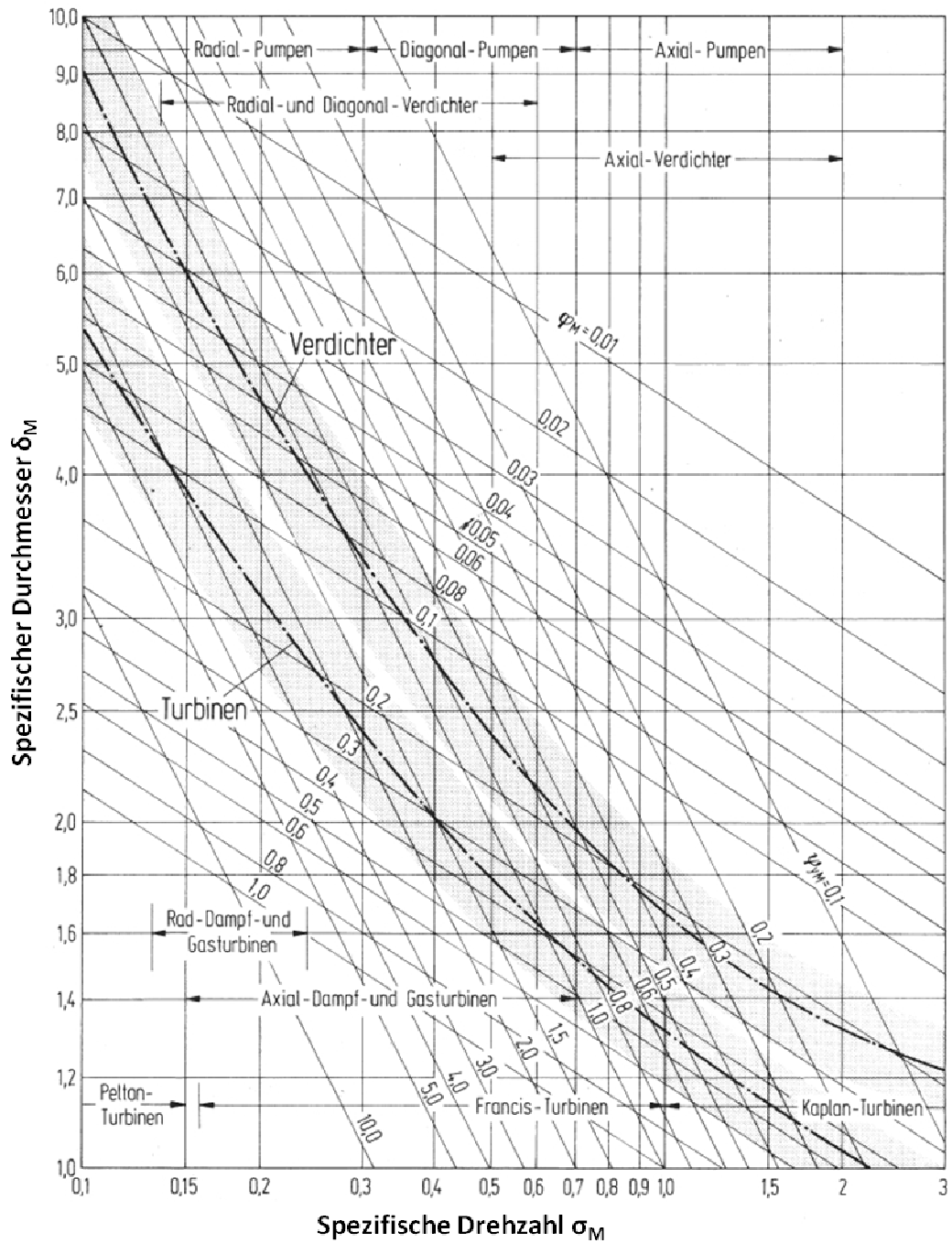


Abbildung 2.2: Cordier-Diagramm für einstufige Turbomaschinen (Dubbel, 22. Aufl.)

Aufgabe 3 – Axialverdichter

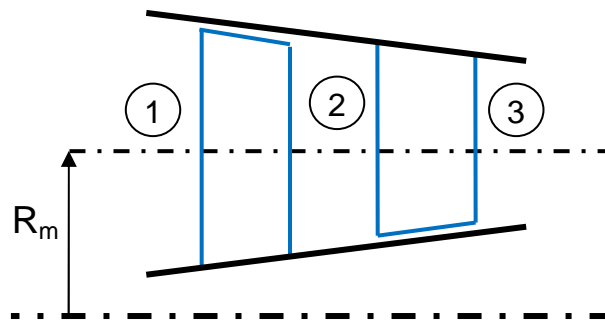


Abbildung 3.1: Meridionalschnitt - Axialverdichter

Ihre Aufgabe ist es, die grundlegenden Strömungsgrößen des Laufrads eines einstufigen Axialverdichters (Abbildung 3.1) mit konstantem Radius im Mittenschnitt zu bestimmen.

Die Werte in der nachfolgenden Tabelle spezifizieren die Strömung im Laufrad der Maschine.

Allgemeine Maschine:	Massenstrom	$\dot{m} = 13 \frac{kg}{s}$
	Drehzahl	$n = 21.000 \text{ min}^{-1}$
Ebene 1:	Mittenschnitt Radius	$R_m = 0,125 \text{ m}$
	Schaufelhöhe	$h_1 = 0,1 \text{ m}$
	Dichte des Mediums	$\rho_1 = 1,2 \frac{kg}{m^3}$
Ebene 2:	Durchflusszahl (flow coefficient)	$\phi_{m,2} = \frac{c_{m,ax,2}}{u_{m,2}} = 0,5$
	Leistungszahl (work coefficient)	$\psi_{m,2} = -\frac{(u_{m,2} \cdot c_{m,u,2} - u_{m,1} \cdot c_{m,u,1})}{u_{m,2}^2} = -0,4$

Annahmen:

- Alle Berechnungen werden für den Mittenschnitt durchgeführt.
- Die absolute Zuströmung der Laufschaufel erfolgt drallfrei.
- Der Schaufelspitzenpalt ist vernachlässigbar klein.

Winkeldefinition:

- Alle Winkel sind relativ zur Umfangsgeschwindigkeit definiert. Die Abbildung 3.2 soll die Definition der Winkel α und β verdeutlichen und macht keine Aussagen über Richtung und Betrag der Geschwindigkeiten!
- Umfangsgeschwindigkeiten werden in Drehrichtung positiv angenommen.

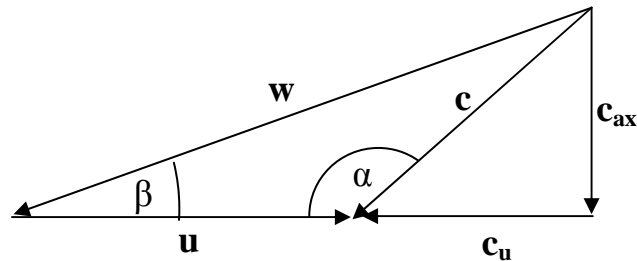


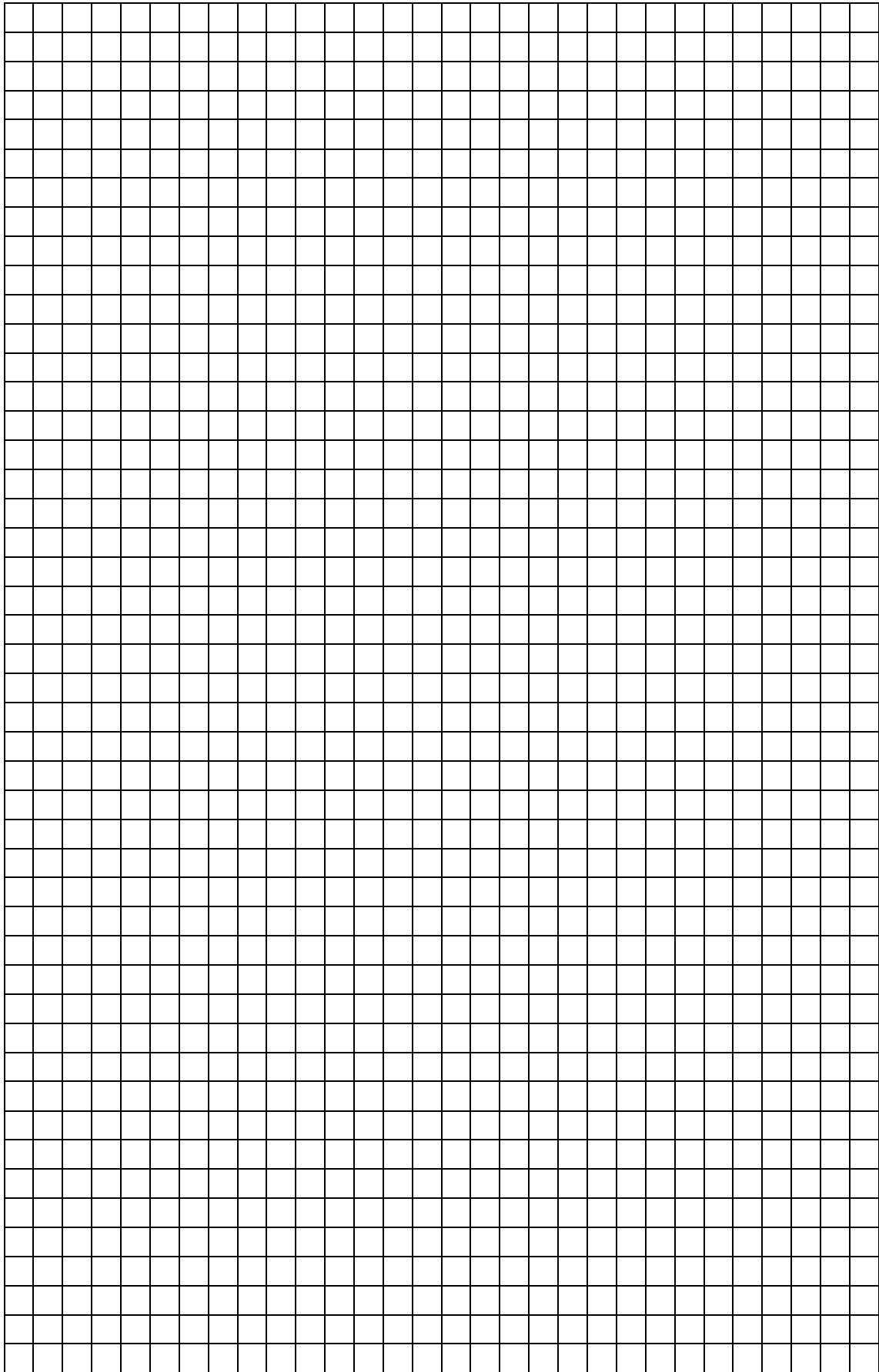
Abbildung 3.2: Definition Geschwindigkeitsdreieck

Aufgaben:

- Bestimmen Sie die Eintrittsfläche und die Axialgeschwindigkeit in Ebene 1 (4 Punkte)
- Berechnen Sie die folgenden Größen für den Mittenschnitt: $c_1, u_1, w_1, \alpha_1, \beta_1, c_2, u_2, w_2, \alpha_2, \beta_2$ und tragen sie diese in die folgende Tabelle ein. (23 Punkte)

	Ebene 1	Ebene 2
c		
u		
w		
α		
β		

- Zeichnen Sie die vollständigen Geschwindigkeitsdreiecke im Mittenschnitt in den Ebenen 1 und 2 (Maßstab ca. 2 cm pro 100 m/s, rechte Winkel bitte kennzeichnen). (6 Punkte)



Aufgabe 4 – Axialturbine

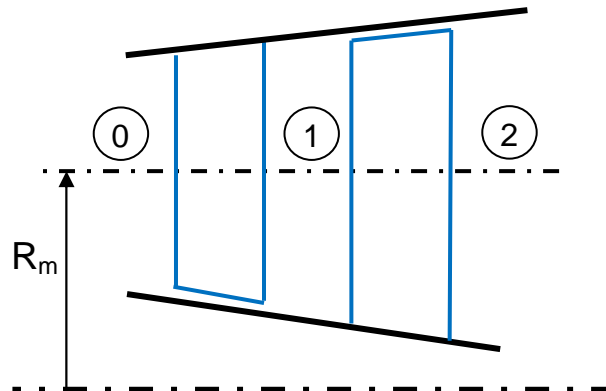


Abbildung 5: Meridionalschnitt - Axialturbine

Annahme: -Das System wird als verlustfrei (reibungsfrei und adiabat) betrachtet.
-Thermodynamische Größen werden als gleichförmig betrachtet.

Allgemeine Maschine:	Massenstrom	$\dot{m} = 8 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$
	Leistung	$P = -1,2 \text{ MW}$
	Spezifische Wärmekapazität	$c_p = 1178 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$
Ebene 0:	Totaltemperatur am Eintritt	$T_{tot,0} = 800 \text{ K}$
Ebene 2:	Geschwindigkeit am Austritt	$c_2 = 400 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Aufgaben

- Bestimmen Sie die spezifische Totalenthalpieänderung in Rotor und Stator und in der gesamten Stufe. (4 Punkte)
- Bestimmen Sie Totaltemperatur und die statische Temperatur am Austritt der Axialturbinstufe. (4 Punkte)