

Klausur

Strömungsmaschinen I

SoSe 2012

22. August 2012, Beginn 13:30 Uhr

Prüfungszeit: 90 Minuten

Zugelassene Hilfsmittel sind: Taschenrechner, Geodreieck, Zeichenmaterial

Andere Hilfsmittel, insbesondere:

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

sind nicht zugelassen.

Ist kein Feld auf dem Aufgabenblatt dafür vorgesehen, sind die Ergebnisse und Lösungsweg auf einem separaten Blatt darzustellen!

Aufgabe	geschätzte Dauer	Punkte
1. Verständnisfragen	10 min	21
2. Turbinenschaufel	15 min	23
3. Axialturbine	15 min	23
4. Radialverdichter	15 min	22
5. Radiales Gleichgewicht	15 min	18
Gesamt	70 min	107

Die Klausur hat ca. 10% Überhang!

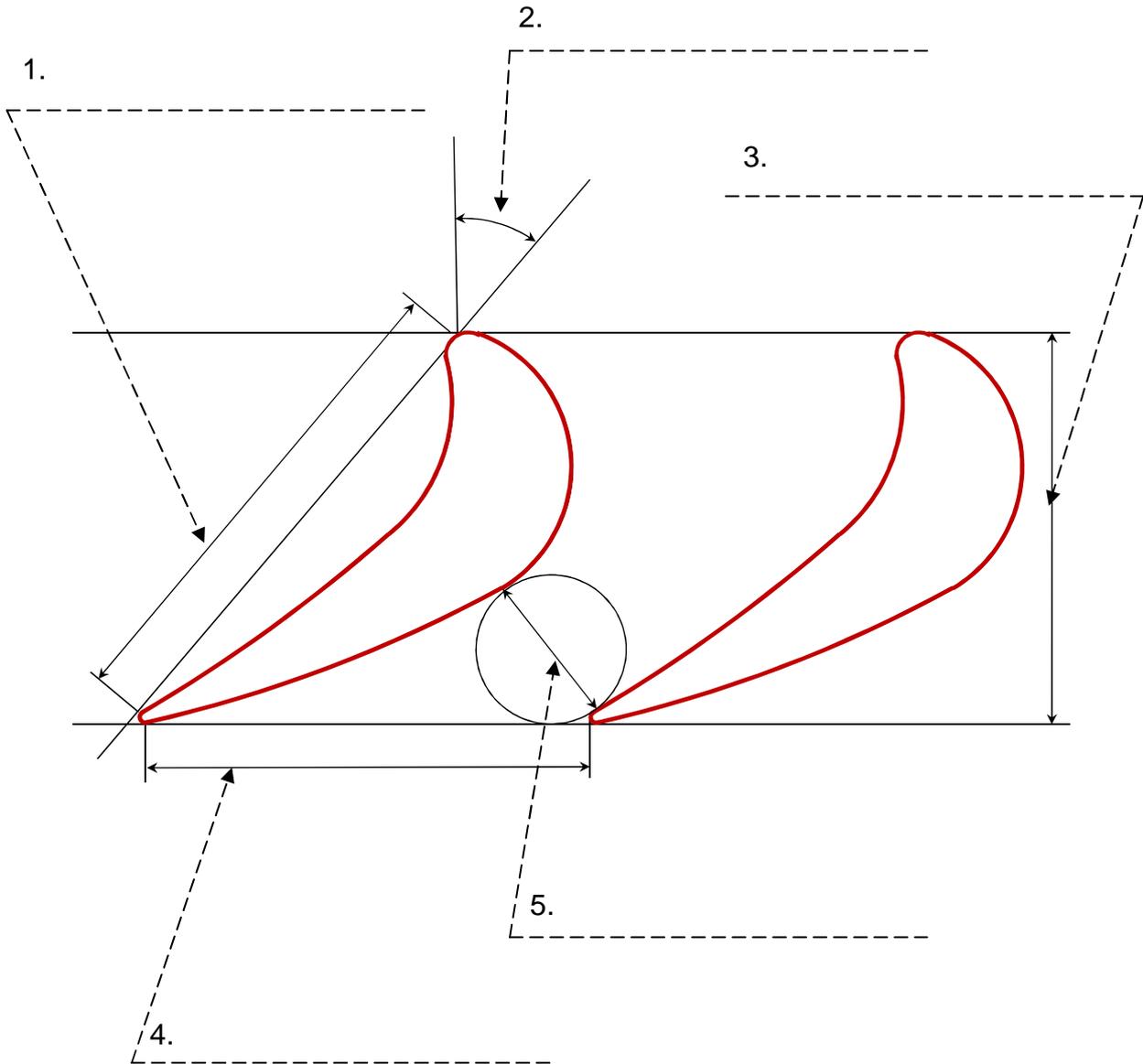
Name, Vorname:

Matrikelnummer:

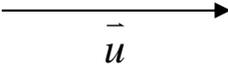
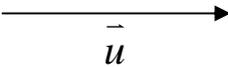
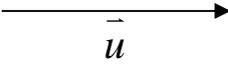
Wir wünschen Ihnen viel Erfolg!
Prof. Dr.-Ing. J. Seume
Dipl.-Ing. R. Adamczuk
M.Sc. S. Teichel

Aufgabe 1 – Verständnisfragen:

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



1.2 Zeichnen Sie, qualitativ die Geschwindigkeitsdreiecke für folgende Reaktionsgrade einer Laufschaufel in die dafür vorgesehenen Felder: (6 Punkte)

<p>Reaktionsgrad 0%</p> $c_{u,2} + c_{u,1} = 2u$	
<p>Reaktionsgrad 50%</p> $c_{u,2} + c_{u,1} = u$	
<p>Reaktionsgrad 100%</p> $c_{u,2} + c_{u,1} = 0$	

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

1.4 Warum kann im Radialverdichter im Unterschied zum Axialverdichter das Fluid verdichtet werden ohne, dass es verzögert wird? Ist dieser Prozess stärker oder weniger verlustbehaftet als die Druckerhöhung durch Verzögerung? (2 Punkte)

1.5 Verdichter „Pumpen“ und „Rotating Stall“: Bei welchem der beiden Strömungsphänomenen in Verdichtern, löst die Strömung nur ab (und wo), bei welchem bricht die Strömung komplett zusammen oder kehrt sich sogar um. (2 Punkte)

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

	Massenstrom	Druckverhältnis
Groß		
Klein		

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

1.8 Nennen Sie die beiden Grenzfälle der Geschwindigkeitsverteilung, die sich aus dem Radialen Gleichgewicht ergeben. (2 Punkte)

Aufgabe 2 – Turbinenschaufel:

Ein Industrieprozess produziert einen Abwärmegasstrom, der mit einer Axialturbine genutzt werden soll. Bestimmen Sie mit Hilfe der folgenden Randbedingungen die angegebenen Größen der Turbine.

Massenstrom	$\dot{m} = 5 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$
Eintrittsdruck	$p_0 = 200 \text{ kPa}$
Eintrittstemperatur	$T_0 = 473 \text{ K}$
Austrittsdruck	$p_2 = 100 \text{ kPa}$
Isentroper Wirkungsgrad	$\eta_s = 0,85$
Max. Umfangsgeschwindigkeit der Schaufelspitzen am Turbinenaustritt	$u_{2,\text{max}} = 80\% \text{ Schallgeschwindigkeit}$
Konstanter Gehäusedurchmesser	$d_{1,\text{außen}} = d_{2,\text{außen}} = d_{\text{außen}} = 0,5 \text{ m}$
Nabenverhältnis am Turbinenaustritt;	$v = \frac{d_{2,\text{innen}}}{d_{2,\text{außen}}} = 0,35$
Drallfreie An- und Abströmung	$c_0 = c_2$
Gaskonstante	$488,2 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Isentropenexponent	1,29

Annahmen:

- Drallfreie An- und Abströmung der Turbinenstufe
- Falls keine Turbinenaustrittstemperatur in Aufgabenteil 2.1 berechnet werden konnte, kann eine Temperatur von 400 K angenommen werden.

Aufgaben:

Bestimmen Sie:

- 2.1 Leistung der Turbine in kW: (6 Punkte)
- 2.2 Drehzahl: (2 Punkte)
- 2.3 Am Turbinenaustritt (4 Punkte):
 - 2.3.1 Nabendurchmesser
 - 2.3.2 Mittlerer Durchmesser
 - 2.3.3 Schaufelhöhe
 - 2.3.4 Austrittsfläche
- 2.4 Schaufelhöhe am Eintritt (Ebene 0, z.B. Abbildung 3.1) (5 Punkte)

Aufgabe 3 – Axialturbine

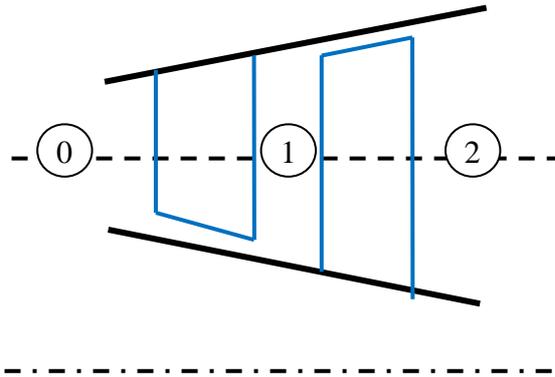


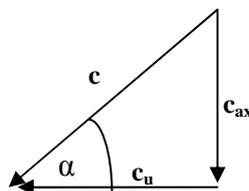
Abbildung 3.1: Axialturbine

Die Abbildung 3.1 zeigt schematisch einen einstufigen Axialturbine mit konstantem Radius im Mittenschnitt sowie den Betriebsdaten aus der nachfolgenden Tabelle.

Leistung	$P = 170 \text{ kW}$
Eintrittsfläche	$A_0 = 0,04 \text{ m}^2$
Austrittsfläche	$A_2 = 0,5 \text{ m}^2$
Dichte des Mediums am Eintritt der Leitschaufel	$\rho_0 = 3,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Dichte des Mediums am Austritt der Laufschaufel	$\rho_2 = 1,02 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Absolutgeschwindigkeit am Eintritt der Leitschaufel	$c_0 = 130 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Winkel der Absolutgeschwindigkeit am Eintritt der Leitschaufel	$\alpha_0 = 70^\circ$
Winkel der Absolutgeschwindigkeit am Austritt der Laufschaufel	$\alpha_1 = 20^\circ$

Annahmen:

- Alle Berechnungen werden für den Mittenschnitt durchgeführt.
- Die Entspannung erfolgt isentrop.
- Die Zuströmung der Laufschaufel erfolgt im Relativsystem drallfrei.
- Die Abströmung aus der Laufschaufel erfolgt im Absolutsystem drallfrei.
- Das Geschwindigkeitsdreieck ist wie folgt definiert. Die Abbildung soll die Definition des Winkels α verdeutlichen und macht keine Aussagen über Richtung und Betrag der Geschwindigkeiten!



Aufgaben:

- 3.1 Berechnen Sie die Geschwindigkeiten c_1 , u_1 , w_1 , c_2 , u_2 und w_2 .
(Hinweis: Zeichnen Sie sich zum besseren Verständnis vor der Berechnung eine Skizze) (15 Punkte)
- 3.2 Skizzieren Sie nicht maßstabsgetreu ($\pm 20\%$, rechte Winkel bitte kennzeichnen) die vollständigen Geschwindigkeitsdreiecke im Mittenschnitt in den Ebenen 1 und 2. Skizzieren Sie zudem grob die Skelettlinie und Dickenverteilung der Leit- sowie Laufschaufeln. (8 Punkte)

Aufgabe 4 Radialverdichter

Die folgende Abbildung zeigt einen einstufigen, einfach aufgebauten Radialverdichter mit rein radialem Laufrad sowie beschaukelten Diffusor.

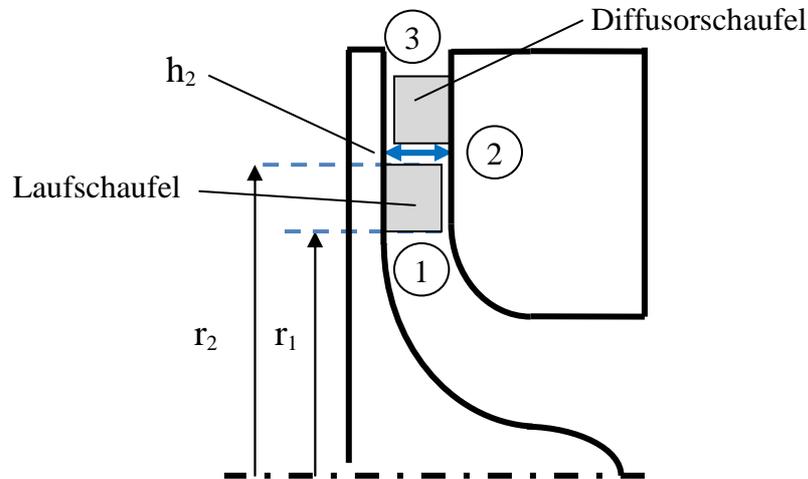


Abbildung 4.1: Radialverdichter

Die folgende Abmessungen und Strömungszustände sind gegeben:

Massendurchsatz	$\dot{m} = 0,5 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$
Umfangsgeschwindigkeit Eintritt des Laufrads	$u_1 = 40 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Radius am Eintritt der Laufschaufel	$r_1 = 0,01 \text{ m}$
Verhältnis der Durchmesser zwischen Laufradein- und Austritt	$R = 0,4$
Kanalhöhe am Austritt der Laufschaufel	$h_2 = 0,05 \text{ m}$
Relativgeschwindigkeit am Austritt des Laufrads	$w_2 = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Dichte des Mediums am Austritt des Laufrads	$\rho_2 = 3,89 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Annahmen:

1. Das Fluid kann als ideales Gas angenommen werden.
2. Die Zustandsänderung im Verdichter kann als isentrop betrachtet werden.
3. Das Laufrad wird im Absolutsystem rein radial angeströmt.

Aufgaben:

- 4.1 Bestimmen Sie die Drehzahl n , die Rotoraustrittsfläche A_2 , die Geschwindigkeiten u_2 und c_{u2} , die Leistung P des Verdichters sowie die Absolutgeschwindigkeit c_2 am Austritt des Laufrads (18 Punkte).
- 4.2 Zeichnen Sie das Geschwindigkeitsdreieck am Austritt sowie die Absolutgeschwindigkeit am Eintritt des Laufrades in die unten stehende Abbildung (4 Punkte).

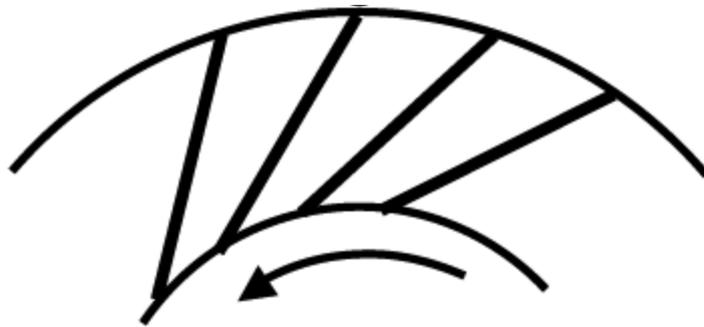


Abbildung 5.2: Laufrad des Radialverdichters

Aufgabe 5 – Radiales Gleichgewicht:

- 5.1 Leiten Sie für eine isentrope, inkompressible Strömung die Gleichung für das radiale Gleichgewicht (Gl. (1)) für ein Fluidelement (Abb. 1) aus den unten gegebenen Gleichungen für Fliehkraft und der Bernoulli Gleichung her. (11 Punkte)
- 5.2.1 Ersetzen Sie in Gl. (1) die Meridionalgeschwindigkeit (c_m) durch Radial- und Axialgeschwindigkeit (c_r und c_z). (3 Punkte)
- 5.2.2 Vereinfachen Sie diese Gleichung, unter der Annahme achsenparalleler Stromlinien (keine Krümmung in der Meridionalebene, $R \rightarrow \infty$). (2 Punkte)
- 5.2.3 Zeigen sie die nötigen Umformungsschritte um Gl. (2) zu erhalten. (3 Punkte)

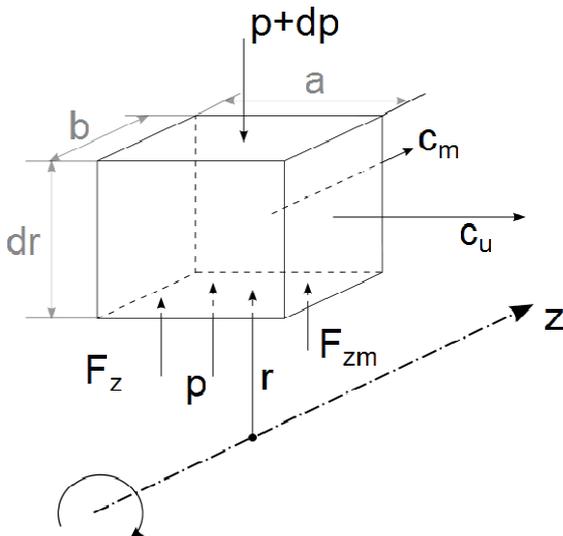


Abb. 1 – Kontrollvolumen Fluidelement
- Radiales Gleichgewicht

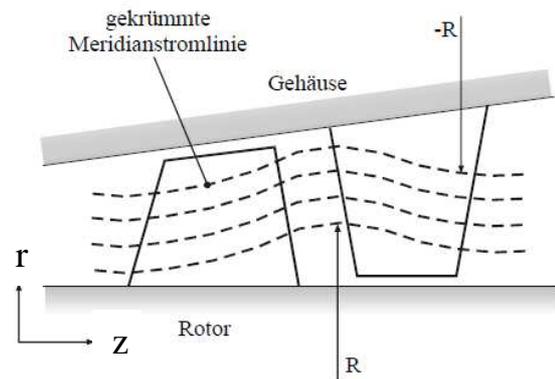


Abb. 2 – Meridionalansicht gekrümmt
Stromlinien

<p>Fliehkraft: $dF_z = dm \cdot r \cdot \omega^2$</p>	<p>Bernoulli: $\frac{p}{\rho} + \frac{c^2}{2} = const.$ mit $\rho = const.$</p>
<p>Winkelgeschwindigkeit: $\omega = \frac{c_u}{r}$</p>	<p>Produktregel: $\frac{d(A \cdot B)}{dr} = A \cdot \frac{dB}{dr} + B \cdot \frac{dA}{dr}$</p>

Radiales Gleichgewicht:
$$\left(\frac{c_u^2}{r} + \frac{c_m^2}{R} \right) + c_m \frac{dc_m}{dr} + c_u \frac{dc_u}{dr} = 0 \quad (1)$$

Einfaches Radiales Gleichgewicht:
$$\frac{c_u}{r} \cdot \frac{d}{dr} (rc_u) + c_z \frac{dc_z}{dr} = 0 \quad (2)$$