

Klausur
Strömungsmaschinen I
SS 2010

17. August 2010, Beginn 13:00 Uhr

Prüfungszeit: 90 Minuten

Zugelassene Hilfsmittel sind:

- Vorlesungsskript (einschließlich handschriftlicher Notizen und Formelsammlung) und zugehörige Abbildungen
- Foliensatz
- Taschenrechner, Geodreieck, Zeichenmaterial

Nicht zugelassene Hilfsmittel sind:

- Alte Klausuren
- Übungen der Vorlesung
- Handy, Laptop, Fachbücher, programmierbarer Taschenrechner, sonstige Fachunterlagen

Aufgabe	geschätzte Dauer	Punkte
1. Verständnisfragen	15 min	
2. Axialverdichter	30 min	
3. Axialturbine	15 min	
Gesamt	60 min	

Name, Vorname:

Matrikelnummer:

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg!

Prof. J. Seume

R. Adamczuk / C. Natkaniec

1. Verständnisfragen

- a) Warum hat bei einer stationären Gasturbine der Verdichter mehr Stufen als die Turbine?
- b) Skizzieren Sie einen verlustbehafteten Gasturbinenprozess in ein h-s-Diagramm und leiten Sie anhand der Enthalpieänderungen die Beziehungen für den isentropen Wirkungsgrad η_s des Verdichters sowie der Turbine ab.
- c) Nennen Sie den Unterschied zwischen Rotating Stall und Pumpen.
- d) Skizzieren Sie eine druckseitige Inzidenz mit Hilfe von Geschwindigkeitsvektoren an einer Verdichterschaufel.
- e) Zeichnen Sie schematisch die Geschwindigkeitsdreiecke am Eintritt einer Turbinenlaufschaufel im Naben-, Mitten- und Außenschnitt bei über die Schaufelhöhe konstantem Zuströmwinkel sowie konstanter Zuströmgeschwindigkeit.

2. Axialverdichter

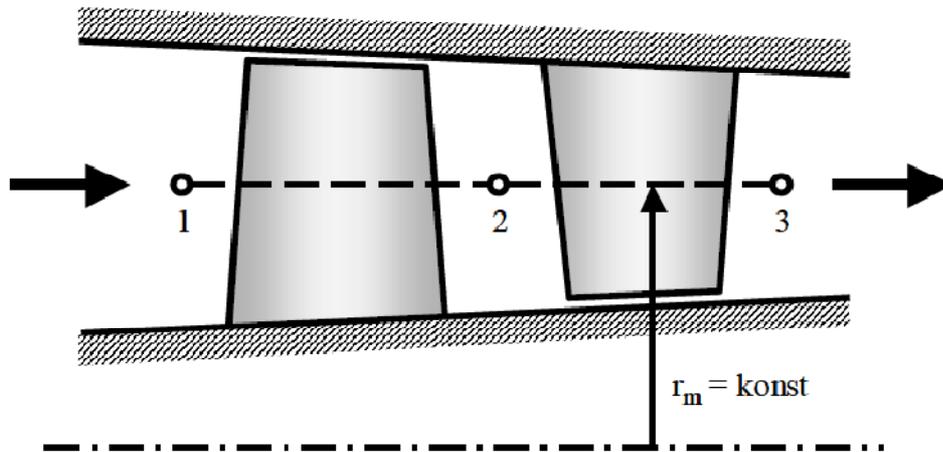


Abbildung 2.1: Axialverdichter

Die Abbildung 2.1 zeigt schematisch einen einstufigen Axialverdichter mit konstantem Eulerradius, drallfreier Zu- und Abströmung sowie den Betriebsdaten aus der nachfolgenden Tabelle.

statische Referenztemperatur (für Luft)	$T_{ref} = 288,15$	$[K]$
statischer Referenzdruck (für Luft)	$p_{ref} = 1,01325$	$[bar]$
statische Temperatur am Stufeneintritt	$T_1 = 300$	$[K]$
statischer Druck am Stufeneintritt	$p_1 = 1,0$	$[bar]$
Eulerradius der Beschaufelung	$r_m = 160$	$[mm]$
Drehzahl	$n = 12000$	$\left[\frac{1}{min}\right]$
Massendurchsatz	$\dot{m} = 5$	$\left[\frac{kg}{s}\right]$
Stufenleistung	$P = 100$	$[kW]$
Axialgeschwindigkeit am Eintritt	$c_{ax,1} = 100$	$\left[\frac{m}{s}\right]$
Isentropenexponent	$\kappa = 1,4$	$[-]$
Isentroper Wirkungsgrad	$\eta_{s,v} = 0,8$	$[-]$
Spezifische Wärmekapazität	$c_p = 1004,5$	$\left[\frac{J}{kg K}\right]$
Gaskonstante	$R = 287$	$\left[\frac{J}{kg K}\right]$

- Medium: Luft, angenommen als ideales Gas mit $c_p = konst.$
- Alle Berechnungen werden für den Eulerradius durchgeführt.
- Für die Umrechnung zwischen reduzierten und realen Größen sind die Zustandsgrößen am Eintritt einzusetzen.
- Die axiale Geschwindigkeit ist wegen der Zustandsänderung sowie Querschnittsänderung konstant ($c_{ax,1} = c_{ax,2} = c_{ax,3}$).

- Für den Reaktionsgrad soll die folgende Definition verwendet werden:

$$r_k = \frac{\text{statische Enthalpieänderung im Laufrad}}{\text{statische Enthalpieänderung in der Stufe}}$$

- Die Verdichtung erfolgt adiabat.

Aufgaben:

- a) Berechnen Sie die Geschwindigkeiten u , c_1 , c_2 , w_1 und w_2 . Skizzieren Sie den Verlauf der Größen h , h_t , p_t , p , c und w in axialer Richtung einer Verdichterstufe.
- b) Zeichnen Sie die Geschwindigkeitsdreiecke im Eulerradius in den Ebenen 1 und 2.
- c) Bestimmen Sie die Verzögerungsverhältnisse $\frac{w_2}{w_1}$ und $\frac{c_3}{c_2}$. Erfüllt die Beschauelung das De-Haller-Kriterium?
- d) Berechnen Sie am Eulerradius die Durchflusszahl ϕ , die Druckzahl Ψ_D , der Leistungszahl Ψ sowie den kinematischen Reaktionsgrad r_k (Definition siehe oben).
- e) Bestimmen Sie das Druckverhältnis $\pi = \frac{p_3}{p_1}$ der Stufe sowie \dot{m}_{red} und n_{red} . Zeichnen Sie schematisch ein entsprechendes Verdichterkennfeld mit den zugehörigen Kennfeldgrößen und tragen Sie den Betriebspunkt ein. Kennzeichnen Sie die Betriebsgrenzen.

3. Axialturbine

Für eine Axialturbine sind folgende Daten bekannt:

Leistung	P	=	30	MW
Massendurchsatz	\dot{m}	=	100	kg/s
Turbineneintrittstemperatur	T_E	=	900	K
Isentroper Enthalpieabbau	$ \Delta h_s $	=	350	kJ/kg
Umfangsgeschwindigkeit erste Stufe im Eulerradius	u_{mE}	=	141,37	m/s
Austrittsdruck	p_A	=	1,0	bar
Nabenverhältnis am Turbineneintritt	v_E	=	0,8	
Schaufelhöhe am Eintritt	H_E	=	0,1	m
Isentropenexponent	κ	=	1,4	
Gaskonstante	R	=	287	J/kgK

Annahmen:

1. Der Nabendurchmesser ist konstant.
2. Die Axialgeschwindigkeit ist am Ein- sowie Austritt gleich.
3. Die Axialgeschwindigkeit ist gleich der Meridiangeschwindigkeit $c_{ax} = c_m$
4. Das Medium Luft kann als ideales Gas angenommen werden mit $c_p = konst.$
5. Die Zustandsänderung in der Turbine kann als adiabat betrachtet werden.
6. Der Betrag der Absolutgeschwindigkeit bleibt am Ein- und Austritt konstant.

Aufgaben:

- a) Bestimmen Sie den isentropen Wirkungsgrad η_s , die Austrittstemperatur hinter der Turbine T_A sowie den Eintrittsdruck in die Turbine p_E .
- b) Bestimmen Sie den Eulerradius am Eintritt der Turbine d_{mE} , die Drehzahl n sowie die Eintritts- und Austrittsfläche A_E und A_A der Turbine