

**Universität Hannover**

**Institut für Turbomaschinen und  
Fluid-Dynamik  
Prof. Dr.-Ing. J. Seume**

**Klausur  
Strömungsmaschinen  
WS 2006/2007**

20. Februar 2007, Beginn 14:00 Uhr

Prüfungszeit: 90 Minuten

Zugelassene Hilfsmittel sind:

- das Vorlesungsskript (einschließlich handschriftlicher Notizen) und die zugehörigen Abbildungen
- Taschenrechner, Geodreieck, Zeichenmaterial.

Andere Hilfsmittel, insbesondere Handys, PCs und Fachbücher und auch die Übungsmaterialien sind nicht zugelassen.

<b>Aufgabe</b>	<b>geschätzte Dauer</b>	<b>Punkte</b>
1. Vorleitapparat Axialverdichter	10 min	14
2. Radialverdichter	35 min	65
3. Radialturbine	10 min	24
<hr/>		
Gesamt	55 min	103

***Wir wünschen Ihnen viel Erfolg!***

***Prof. J. Seume  
und E. Imetovski***

# 1) Vorleitapparat Axialverdichter

Gegeben ist eine Axialverdichterstufe mit verstellbarem Vorleitapparat. Der dazugehörige Schaufelplan ist in Bild **a** wiedergegeben. Bild **b** zeigt die für den Auslegungspunkt **A** (siehe auch Bild **c**) gültigen Geschwindigkeitsdreiecke. In Bild **c** ist schließlich das Kennfeld der Stufe mit Linien konstanter Vorleitradstellung dargestellt.

- Skizzieren Sie die sich nach der externen Drosselung des Massenstroms von Betriebspunkt **A** auf den Betriebspunkt **AD** einstellenden Geschwindigkeitsdreiecke in Bild **b**!
- Um die durch die Drosselung aufgeprägte Falschanströmung zum Laufrad zu korrigieren, soll der Vorleitapparat verstellt werden.

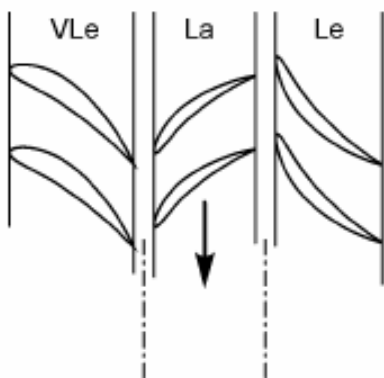


Bild a

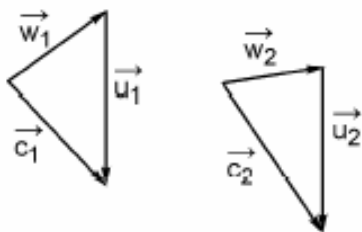


Bild b

- Tragen Sie den Winkel um den das Vorleitrad verstellt werden muss in das Bild **a** qualitativ ein.
- Tragen Sie den Betriebspunkt nach der Vorleitradverstellung in das Bild **c** an Hand der gestrichelten Linien unter folgenden Bedingungen ein (Begründung mit Geschwindigkeitsdreiecken und Euler-Gleichung):

- Der Massenstrom wird durch die Vorleitradverstellung nicht verändert.
- Durch die Anlagenkennlinie ändert sich der Massenstrom bei der Vorleitradverstellung

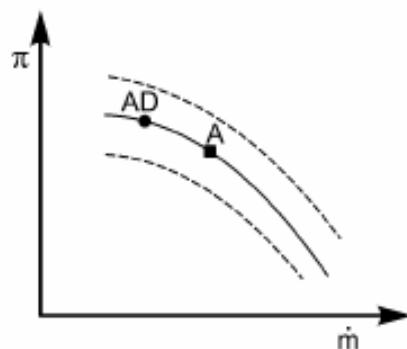


Bild c

## 2) Radialverdichter

Eine einfach gebaute Radialverdichterstufe mit rein radialen Schaufeln und beschaufeltem Diffusor soll als Repetierstufe ausgelegt werden. Das zu verdichtende Medium soll als ideales Gas mit  $\kappa = 1,4$  und  $c_p = 1004,5 \text{ J/(kgK)}$  betrachtet werden.

Umfangsgeschwindigkeit des Rades	$u_2$	=	240	m/s
Durchflusszahl am Laufradaustritt	$\phi_2$	=	0,4	
Durchmesserverhältnis	$d_1/d_2$	=	0,55	
Außendurchmesser des Rades	$d_2$	=	240	mm
Schaufelhöhe	$h$	=	45	mm
Stat. Druck vor dem Verdichter	$p_1$	=	1	bar
Stat. Temperatur vor dem Verdichter	$T_1$	=	20	°C
Massenstrom	$\dot{m}$	=	3	kg/s
Gaskonstante der Luft	$R$	=	287	J/(kgK)
Schaufeleintrittswinkel, Rotor (Absolutwinkel)	$\alpha_1$	=	60	°
Schaufeleintrittswinkel, Stator (Relativwinkel)	$\beta_2$	=	85	°

**Achtung:** Winkel beziehen sich auf die Ebene senkrecht zur Maschinenachse (Umfangsrichtung entspricht dem Winkel von 0°)!!!

Aufgaben:

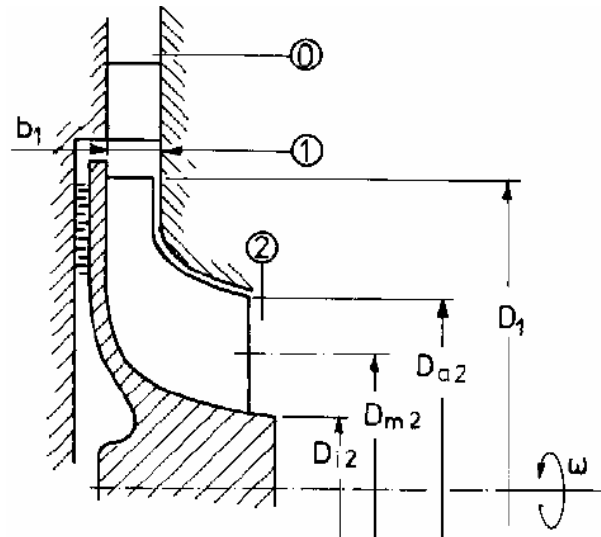
- Skizzieren Sie einen Meridianschnitt und einen Achsnormalschnitt (Schaufelplan, Drehrichtung des Rotors) der Verdichterstufe und tragen Sie die drei Kontrollebenen ein.
- Ermitteln Sie die Drehzahl, die Absolutgeschwindigkeit und die Umfangsgeschwindigkeit am Eintritt des Laufrades. Wie hoch ist die Umfangsgeschwindigkeit am Austritt des Leitrades?
- Bestimmen Sie die vollständigen Geschwindigkeitsdreiecke in den drei Ebenen. Wie groß sind der relative und der absolute Zu- und Abströmwinkel? Wie groß ist die Absolutgeschwindigkeit am Stufenaustritt?

Zusatzaufgaben:

- Berechnen Sie die aerodynamische Stufenarbeit und Stufenleistung mit Hilfe der unter c) berechneten Daten.
- Ermitteln Sie den kinematischen Reaktionsgrad, die Durchflusszahl  $\Phi$  und die Schaufelarbeitszahl  $\Psi$  für den Rotor der ersten Stufe.
- Skizzieren Sie das vollständige  $h,s$ -Diagramm der Stufe für das Absolutsystem mit allen Bezeichnungen dar. Beachten Sie dabei die qualitative Aufteilung der Zustandsänderung auf Lauf- und Leitrad ( $\Delta h''$  und  $\Delta h'$ ).

### 3) Radialturbine

In einem verfahrenstechnischen Prozess fällt ein Restgas an, dessen Energie in einer Radialturbine ausgenutzt werden soll.



Folgende Daten für die Turbine und das Restgas sind gegeben.

Massenstrom	$\dot{m}$	=	0,95	kg/s
Druckverhältnis Stufeneintritt/ Stufenausritt	$p_0/p_2$	=	1,8	-
statischer Druck am Eintritt	$p_0$	=	1,8	bar
statische Temperatur am Eintritt	$T_0$	=	700	K
statische Temperatur am Austritt	$T_2$	=	615	K
kinematischer Reaktionsgrad	$r_k$	=	0,5	
stat. polytroper Stufenwirkungsgrad	$\eta_T = \eta_T' = \eta_T''$	=	0,85	-
Nabenverhältnis	$D_{m2}/D_1$	=	0,45	
Isentropenexponent	$\kappa$	=	1,35	-
Gaskonstante des Verbrennungsgases (id. Gas)	$R$	=	288	J/kgK

Die Zustandsänderung in der Turbine kann als adiabat und polytrop betrachtet werden. Im Folgenden soll diese Radialturbine für die oben genannten Eckdaten unter Verwendung des Cordier-Diagramms (siehe S.5) ausgelegt werden.

- In welchem Bereich liegen für den hier gewählten Strömungsmaschinentyp die dimensionslosen Kenngrößen  $\delta_M$  bzw.  $\sigma_M$ ? Geben Sie  $\sigma_{Mmin}$ ,  $\sigma_{Mmax}$ , sowie  $\delta_{Mmin}$  und  $\delta_{Mmax}$  an und markieren Sie den entsprechenden Bereich im Cordier-Diagramm.
- Berechnen Sie für eines in etwa im mittleren Bereich liegendes Zahlenpaar ( $\delta_M$ ,  $\sigma_M$ ) die Turbinendrehzahl  $n$  und den größten Laufraddurchmesser  $D=D_1$ . Bestimmen Sie aus der Standardreihe ( $D=80/130/225/375/630$  mm) den optimalen Laufraddurchmesser. Ermitteln Sie des Weiteren die Druckkenngröße  $\psi_M$ , die Durchflusskenngröße  $\phi_M$ .
- Berechnen Sie den thermodynamischen Zustand des Fluids am Laufradeintritt ( $p_1$ ,  $T_1$ ).

