

**Universität Hannover**

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

**Klausur  
Strömungsmaschinen  
SS 2006**

22. August 2006, Beginn 13:00 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. Schaufelgittertypen	10 min	14
2. Axialturbine	35 min	64
3. Radialverdichter	10 min	22
<hr/>		
Gesamt	55 min	100

***Wir wünschen Ihnen viel Erfolg!***

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

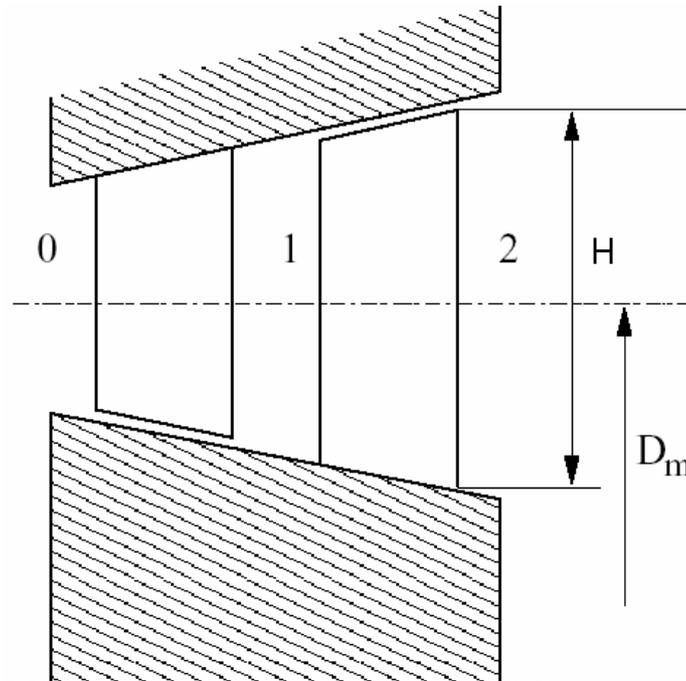
## 1) Schaufelgittertypen

Für die Leitgitter von axialen Strömungsmaschinen sind Schaufelpläne aufzutragen. Die Strömungsmaschinen sind so ausgeführt, dass die axialen Geschwindigkeitskomponenten am Ein- und Austritt der Gitter gleich groß sind.

- a) Zeichnen Sie die Schaufelprofile der Leitgitter folgender Gittertypen
  - 1) Beschleunigungsgitter
  - 2) Verzögerungsgitter
- b) Stellen Sie dazu jeweils die Zustandsänderungen (totale und statische Zustände) im  $h,s$  – Diagramm dar.
- c) Dieselben Gitter sollen nun in einem Laufrad Verwendung finden. Ordnen Sie jedem Gittertyp einen Maschinentyp (Verdichter/ Turbine) zu. Geben Sie je nach Maschinentyp die Richtung der Umfangsgeschwindigkeit an.
- d) Zeichnen Sie das Schaufelprofil der Laufschaufel einer Impulsbeschaufelung.

## 2) Axialturbine

Die folgende Abbildung zeigt schematisch eine kleine Industriedampfturbine für mechanische Antriebe an. Hierbei handelt es sich um eine einstufige Maschine.



Zur Verfügung steht überhitzter Dampf mit folgenden Daten:

Dampfwerte der Zuströmung:  $p_0 = 5 \text{ bar}$ ,  $T_0 = 350^\circ\text{C}$

Druck nach der Expansion:  $p_2 = 2 \text{ bar}$

Annahmen:

- An- und Abströmung der Stufe seien axial und von gleichem Betrag
- Der Dampf sei ein perfektes Gas mit  $\kappa = 1,3$  und  $c_p = 2 \text{ kJ}/(\text{kgK})$

Druckzahl	$\psi_D$	=	2
Durchflusszahl	$\phi$	=	0,45
Drehzahl	$n$	=	20000 1/min
Dampfmassenstrom	$\dot{m}_D$	=	4,8 kg/s
Gaskonstante der Luft	$R$	=	463 J/(kgK)
Isentropenexponent	$\kappa$	=	1,3
Schaufeleintrittswinkel, Rotor (Relativwinkel)	$\beta_1$	=	26 °

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

Aufgaben:

- a) Bestimmen Sie das isentrope Stufenenthalpiegefälle  $\Delta h_s$  und aus der Druckzahl die Umfangsgeschwindigkeit  $u$ .
- b) Bestimmen Sie für den Mittenschnitt in der Ebene 0 die axiale Komponente der Absolutgeschwindigkeit, die Durchtrittsfläche am Eintritt und den mittleren Durchmesser  $D_m$ .
- c) Bestimmen Sie die vollständigen Geschwindigkeitsdreiecke im Mittenschnitt für die Ebenen 1 und 2. Wie groß sind die Zu- und Abströmwinkel? Tragen Sie die Geschwindigkeitsdreiecke auf.
- d) Berechnen Sie die aerodynamische Stufenarbeit und Stufenleistung mit Hilfe der unter c) berechneten Daten.
- e) Ermitteln Sie den kinematischen Reaktionsgrad und die Schaufelarbeitszahl  $\Psi$  für den Rotor.

Zusatzaufgabe:

- f) Die Beschau felung der Turbinenstufe soll unter Beachtung des einfachen radialen Gleichgewichts ausgelegt werden. Dabei gibt es für die Schaufelauslegung zwei Auslegungskriterien:
  - die Axialgeschwindigkeit ist über die Schaufelhöhe konstant ( $c_{ax}(r) = \text{const.}$ )
  - der Austrittswinkel bleibt über die Schaufelhöhe unverändert ( $\alpha(r) = \text{const.} = \alpha_0$ )

Leiten Sie für jedes Auslegungskriterium den Zusammenhang zwischen Umfangsgeschwindigkeit und Radius und zwischen Axialgeschwindigkeit und Radius her.

### 3) Radialverdichter

Von einem Radialverdichter mit verstellbarem Vorleitrad (IGV) sind die in den auf Seite 6 dargestellten Kennfelder (Druckverhältnis und **polytroper** Wirkungsgrad) für folgende Auslegungsdaten experimentell ermittelt worden:

Eintrittstemperatur	$T_1$	=	294 K
Eintrittsdruck	$p_1$	=	1,013 bar
Gaskonstante der Luft	$R$	=	287 J/(kgK)
Isentropenexponent	$\kappa$	=	1,4

Die Zustandsänderungen in dieser Verdichterstufe können als adiabat und polytrop angesehen werden.

Aufgaben:

- Kennzeichnen Sie in beiden Diagrammen den optimalen Betriebspunkt des Verdichters für drallfreie Zuströmung ( $\Delta\alpha=0^\circ$ ) und berechnen Sie den Leistungsbedarf  $P$ .
- Bezeichnen und erläutern Sie die beiden Grenzen, die den stabilen Arbeitsbereich festlegen.
- Auf welcher Seite des Schaufelprofils löst die Strömung bei Erreichen niedriger Massenströme ab? (Begründung)

Der Radialverdichter fördert für eine verfahrenstechnische Anlage. Zur Regelung ist ein großer Speicher vorgesehen, dessen Druck auf einen konstanten Wert, entsprechend einem Druckverhältnis von  $p_3/p_1 = 1,8$  geregelt werden soll. Im stationären Betrieb ist dazu ein konstanter Massenstrom von  $\dot{m} = 1,5 \text{ kg/s}$  erforderlich.

- Kennzeichnen Sie den zugehörigen Betriebspunkt in beiden Kennfeldern für den Fall, dass die genannten Werte mit dem verstellbaren IGV eingestellt werden. Bestimmen Sie die Vorleitgitterstellung  $\Delta\alpha$  und berechnen Sie die benötigte Leistung.

