

Kraft- und Arbeitsmaschinen

Klausur zur Diplom-Hauptprüfung, 18. August 2011

Bearbeitungszeit: 120 Minuten

Umfang der Aufgabenstellung: **6** nummerierte Seiten;

Das Skript und Ihre Mitschrift der Vorlesung „Kraft- und Arbeitsmaschinen“ und Lehrbücher sind als Hilfsmittel zugelassen.

Bearbeiten Sie die Fragen 1 bis 5 bitte auf den Blättern der Aufgabenstellung.

Die Aufgaben 1 und 2 bearbeiten Sie bitte auf separaten Papierbögen (werden ausgestellt).

Geben Sie diese Aufgabenstellung bitte zusammen mit Ihren Lösungsblättern ab. Füllen Sie die Angaben zu Ihrer Person aus und versehen Sie jedes Lösungsblatt mit Ihrem Namen.

Name:

Vorname:

Matrikelnummer:

Unterschrift:

Angaben zur Korrektur

Frage	Maximale Punktzahl	Erreichte Punkte	Korrekteur
1	6		
2	4		
3	2		
4	5		
5	1		
Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punkte	Korrekteur
1	20		
2	12		
	Summe		
	Bewertung		

1. Frage Strömungsmaschinen (6 Punkte)

Die Abbildung 1 zeigt typische Geschwindigkeitsdreiecke eines axialen Verdichters.

Da das Ziel des Verdichters die Druckerhöhung ist, ergibt sich die **Frage** wie viel der Druck durch den Rotor steigt und wie die Erhöhung der Geschwindigkeit zur Drucksteigerung beitragen kann. (Hinweis: Betrachten Sie die Euler-Gleichung).

Skizzieren Sie die Form der Statorschaufeln im rechten Feld, die die Strömung so verändert, dass die Eintrittsbedingung für die zweite Rotorreihe genauso ist wie für die erste Reihe.

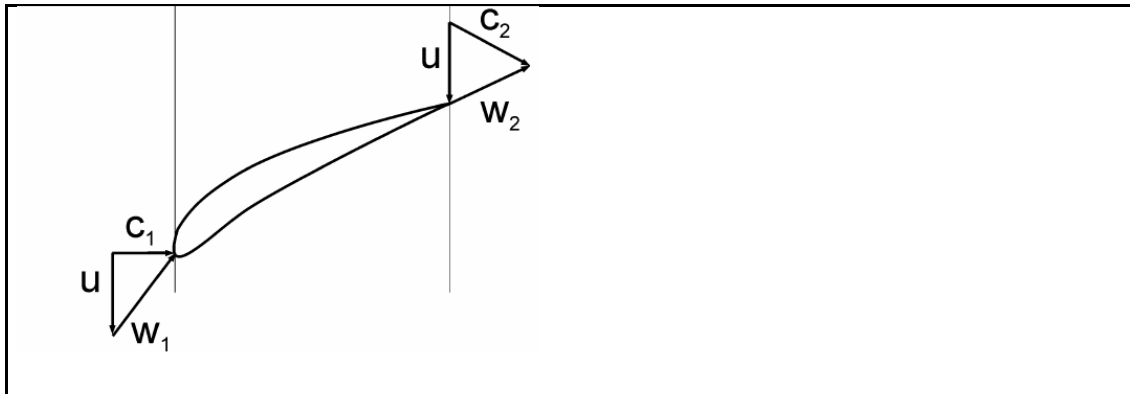


Abb. 1: Geschwindigkeitsdreiecke eines axialen Verdichters

2. Frage Kreiselpumpe (4 Punkte)

Eine Kreiselpumpe fördert bei Umgebungsdruck ($p_a = 1013,25 \text{ mbar}$) Alkohol mit einer Temperatur von 20°C .

- a) Wie hoch kann man Alkohol maximal ansaugen, falls der Dampfdruck vernachlässigbar ist? $\rho(T=20^\circ\text{C})=790 \text{ kg/m}^3$
- b) Wie groß ist die maximale Saughöhe der Pumpe, wenn sie bei dem vorgegebenen Volumenstrom einen NPSH-Wert von 3 (m Wassersäule) aufweist?

Hinweis:

Dampfdruck und Dichte von Alkohol bei 20°C betragen $p_s = 0,0592 \text{ bar}$, $\rho' = 790 \text{ kg/m}^3$,
Dichte von Wasser $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$.

3. Frage Strahltriebwerke (2 Punkte)

Wie wurde in den vergangenen 30 Jahren die Leistung moderner Strahltriebwerke gesteigert und der Verbrauch verringert?
Begründen Sie bitte die Antwort.

4. Frage Luftverdichter (5 Punkte)

Weshalb ist es vorteilhaft bei der Luftverdichtung auf sehr hohe Drücke die Kompression mehrstufig mit Zwischenkühlung durchzuführen?

Vergleichen Sie die spezifische Arbeit bei einer einstufigen isentropen Kompression von $p_1 = 1$ bar auf $p_2 = 500$ bar mit einer 5-stufigen isentropen Kompression mit Zwischenkühlungen auf die Ansaugtemperatur.

Welche Art der Kompression wäre noch sparsamer?

$R_{\text{Luft}} = 0,287$ kJ/(kg K), $T_u = 300$ K, $\kappa = 1,4$

5. Frage Pumpen (1 Punkte)

Welche Pumpenbauart ist besonders für das Fördern von Flüssigkeiten auf hohe Drücke geeignet?

1. Aufgabe Kreiselpumpe (20 Punkte)

Das Pumpspeicherkraftwerk Kopswerk II in Vorarlberg kann mit 3 Pumpen jeweils maximal $\dot{V} = 19,3 \text{ m}^3/\text{s}$ Wasser aus dem Unterbecken ansaugen und in das maximal 818 m höher gelegene Becken des Kopssees pumpen.

- a) Welche Antriebsleistung ist für maximalen Wasserstrom bei einer Höhendifferenz von $\Delta h=737,5 \text{ m}$ (Kopssee ist fast leer, das Unterbecken voll) mindestens, d.h. verlustlos, erforderlich? (2)

Die aufgenommene Motorleistung, die dem europäischen Stromverbund entnommen wird, beträgt $3 \times 150 \text{ MW}$.

- b) Wie groß ist der Wirkungsgrad der Pumpen? (2)

Das Wasser strömt durch einen geneigten Druckschacht von $L_1=1135 \text{ m}$ Länge und $D_1=3,80 \text{ m}$ Durchmesser und danach durch einen horizontalen Druckstollen von $L_2=5552 \text{ m}$ Länge und $D_2=4,90 \text{ m}$ Durchmesser.

- c) Wie groß sind bei maximalem Wasserstrom der Strömungsdruckverlust und die zugehörige Leistung? Wie viel ist das relativ zur zugeführten Leistung? (4)
 d) Wie groß wären der Strömungsdruckverlust und die Verlustleistung, wenn die Rohre jeweils die Hälfte des Durchmessers hätten? (2)

Die Pumpen sind jeweils 3-stufig und erhöhen in jeder Stufe den Druck um $1/3$ der gesamt benötigten Druckdifferenz. Die Umdrehungszahl beträgt 500 U/min und der Aussendurchmesser des Pumpenlaufrades $d_2= 3,5 \text{ m}$. Die Höhe des Strömungsquerschnitts am Aussendurchmesser beträgt $h_2=0,1 \text{ m}$.

- e) Welche spezifische technische Arbeit muß pro Stufe der Pumpe real zugeführt werden ($P=150 \text{ MW}$)? (2)
 f) Das Wasser tritt drallfrei in jede Pumpenstufe ein. Berechnen Sie den Austrittswinkel β_2 des Laufrades und zeichnen Sie qualitativ das Geschwindigkeitsdreieck für den Austritt. Zeichnen Sie neben der Absolut-, Relativ- und Umfangsgeschwindigkeit auch die Radial- und Umfangskomponente der Absolutgeschwindigkeit, sowie den Winkel β_2 ein. (8)

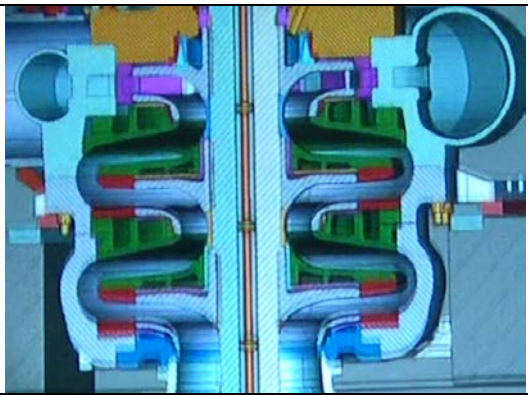
Gegeben:	Rohrreibungszahl: $\lambda = (1,819 * \lg(Re) - 1,64)^{-2}$	$\Delta p = \sum \lambda \frac{\rho \cdot w^2 L}{2 D}$
	Volumenstrom	$\dot{V} = 19,3 \text{ m}^3/\text{s}$
	Antriebsleistung pro Pumpe:	$P_P = 150 \text{ MW}$
	Laufreddurchmesser	$d_2 = 350 \text{ cm}$
	Schaufelhöhe	$h_2 = 10 \text{ cm}$
	Drehzahl	$n = 500 \text{ min}^{-1}$
	Anzahl der Stufen	$n_{\text{Stufen}} = 3$
	Wasser:	
	Dichte:	$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
Kinematische Viskosität:	$\nu = 1,305 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	
Erdbeschleunigung:	$g = 9,807 \text{ m/s}^2$	

Abb.1: Radialpumpen eines Pumpspeicherkraftwerks

2. Aufgabe HAT/STIG-Gasturbine (12 Punkte)

Eine HAT/STIG-Gasturbine verbindet die Kompression einer befeuchteten Gasturbine mit der Entspannung eines Dampfkraftwerks. Im Kompressor wird nach jeder Stufe flüssiges Wasser eingespritzt, welches durch die Verdunstung die komprimierte Luft kühlt. Die heißen Abgase der Gasturbine werden in einem Kessel zur Aufheizung und Verdampfung von Wasser genutzt, welches hinter der Brennkammer den Abgasen der Gasturbine isobar beigemischt wird und gemeinsam mit ihnen in der Turbine entspannt. (Umgebungsbedingungen: $T_u = 288,15 \text{ K}$ und $p_u = 1013,25 \text{ mbar}$).

Die Kompression der angesaugten Umgebungsluft erfolgt in 15 Stufen. Der isentrope Wirkungsgrad beträgt $\eta_{s,K} = 90 \%$. Nach jeder Stufe wird genau so viel Wasser eingespritzt, daß die Sättigung gerade erreicht wird. Das kühlt die Luft, so daß die Kompressionsendtemperatur nur $T_2 = 403,05 \text{ K}$ beträgt. Die spezifische Kompressionsarbeit verringert sich auf $w_{t12} = 358,75 \text{ kJ/kg}$ trockene Luft. Der anfängliche Feuchtegrad $x_1 = 0,00527$ erhöht sich auf $x_2 = 0,09573 \text{ kg Wasser/kg trockene Luft}$.

Bei der Verbrennung des zugegebenen Brennstoffs erhöht sich der Wassergehalt auf $x_3 = 0,1443 \text{ kg/kg Abgas}$ und das Abgas heizt sich auf $T_3 = 1600 \text{ K}$ auf und wird durch die Zugabe des Dampfes wieder auf $T_4 = 1415,2 \text{ K}$ abgekühlt.

Die trockene und die feuchte Luft können als ideale Gase angesehen werden.

Angesaugter Luftstrom (trocken)	$\dot{m}_{tr,L} = 50 \text{ kg/s}$
spezifische isobare Wärmekapazität	$c_p^0 = 1007 \text{ J/(kg K)}$
Isentropenexponent	$\kappa = 1,3935$
Verdichtungsverhältnis	$\Pi = 20,0$
Brennstoffzufuhr in der Brennkammer	$f = 0,02 = m_{CH_4}/m_{tr,Luft}$
Druckverlust in der Brennkammer	$\Delta p_{23} = 3\%$
Turbineneintrittstemperatur	$T_4 = 1415,2 \text{ K}$

Die Verbrennungsgase können als ideales Gas betrachtet werden.

Die Stoffdaten der nassen Verbrennungsgase werden als konstant angenommen.

Trockener Abgasstrom (trocken)	$\dot{m}_{tr,Abgas} = 48,75 \text{ kg/s},$
Wasserdampfgehalt nach Verbrennung	$x_3 = 0,1443 \text{ kg/kg} = m_{WD}/m_{tr,Abgas}$
Zugegebener Dampfmassenstrom	$\dot{m}_{D,Stig} = 9,274 \text{ kg/s}$
Isentropenexponent	$\kappa = 1,307$
spezifische isobare Wärmekapazität	$c_p^0 = 1411 \text{ J/(kg K)}$
Gaskonstante des Verbrennungsgases	$R = 331,3 \text{ J/(kg K)}$
isentropen Wirkungsgrad der Turbine	$\eta_{s,T} = 93 \%$

- a) Berechnen Sie für einen trockenen Kompressor die Kompressionsendtemperatur und die Kompressionsleistung. Wie groß ist die Einsparung an spezifischer Kompressionsarbeit beim HAT-Prozess? (4)
- b) Berechnen Sie die Leistung der Turbine für den STIG-Prozess, bei einer Wasserzugabe von $\dot{m}_{D,Stig} = 9,274 \text{ kg/s}$ für die Entspannung auf Umgebungsdruck. (6)
- c) Wie groß ist der thermische Wirkungsgrad bei einer Wärmezufuhr von 80 MW? (2)