

Kraft- und Arbeitsmaschinen

Klausur zur Diplom-Hauptprüfung, 17. August 2012

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 einer radialen Entspannungsturbine.

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 Druckerhöhung 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.

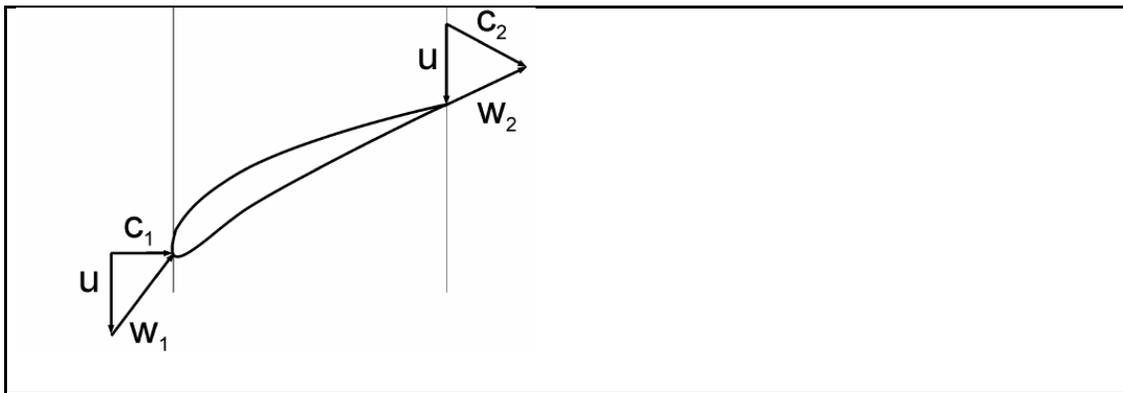


Abb. 1: Geschwindigkeitsdreiecke eines axialen Verdichters

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)

Eine Fontäne im See erreicht eine Höhe von $H = 35 \text{ m}$ und benötigt einen Volumenstrom von $\dot{V} = 125 \text{ m}^3/\text{h}$ Wasser welches direkt aus dem See angesaugt wird.

- a) Berechnen Sie die minimale Antriebsleistung für diese Fontänenhöhe $H = 35 \text{ m}$. (1)

Ohne die Reibung an der Luft würde die Fontäne eine Höhe von $H' = 40 \text{ m}$ erreichen. Die Pumpe hat einen isentropen Wirkungsgrad von 70%.

- b) Berechnen Sie die tatsächlich benötigte Antriebsleistung der Pumpe. (1)

- c) Wie groß ist die Austrittsgeschwindigkeit des Wassers c_3 aus der Düse und welcher Druck liegt vor der Düse vor? (2)

Das Wasser strömt durch ein Rohr von 8 cm Durchmesser und 1 m Länge.

- d) Wie groß sind bei maximalem Wasserstrom der Strömungsdruckverlust vom Pumpenaustritt bis zu Düsenaustritt und die zugehörige Leistung? Wie viel ist das relativ zur zugeführten Leistung?
Der Druckverlust in der Düse beträgt $\Delta p = 0,04 \cdot \rho/2 \cdot c_3^2$ (4)

Damit keine Fische angesaugt werden und keine Algen die Pumpe verstopfen, sind vor dem Ansaugrohr ein feinmaschiger Käfig und ein Filter angebracht. Dabei entsteht ein Druckverlust von $\Delta p = 0,1 \text{ bar}$.

- e) Wie groß muss der Durchmesser des Ansaugrohres mindestens sein, damit der Druckverlust vom Filter bis zum Laufrad geringer als $\Delta p = 0,2 \text{ bar}$ ist? (1)

Die Umdrehungszahl der Pumpe beträgt 1500 U/min und der Aussendurchmesser des Pumpenlaufrades $d_2 = 0,3 \text{ m}$.

- f) Welche Höhe hat der Strömungsquerschnitt am Aussendurchmesser ? (1)

- g) Welche spezifische technische Arbeit muß dem Wasser zugeführt werden und welches Drehmoment ist erforderlich ? (2)

- h) Das Wasser tritt drallfrei in das Pumpenlaufrad 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:	$\lambda = (1,819 * \lg(Re) - 1,64)^{-2}$	$\Delta p = \sum \lambda \frac{\rho}{2} \frac{w^2 L}{D}$
Wasser:			
Dichte:	$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$		
Kinematische Viskosität:	$\nu = 1,305 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$		
Erdbeschleunigung:	$g = 9,807 \text{ m/s}^2$		

2. Aufgabe Dampfkraftprozess (12 Punkte)

Da bei der Biogasnutzung in Blockheizkraftwerken die Temperatur der Verbrennungsgase noch sehr hoch ist, sollen sie in einem nachgeschalteten ORC-Prozess weiter genutzt werden. Die Abgase stehen für diesen Prozess bei einer Temperatur von $T_{\text{Abgas, ein}} = 200 \text{ °C}$ und einem Massenstrom von $\dot{m} = 100 \text{ kg/s}$ zur Verfügung. Die Wärme soll an das Arbeitsmedium HMDS übertragen werden, welches von $T_2 = 30 \text{ °C}$ bis zu Siedetemperatur $T_3 = T_s$ aufgeheizt wird. Die minimale Temperaturdifferenz beträgt $\Delta T = 20 \text{ K}$. In einer neuartigen Turbine wird die siedende Flüssigkeit entspannt und verläßt die Turbine als überhitzten Dampf mit einer Überhitzung von $\Delta T = 5 \text{ K}$ bei dem Kondensationsdruck $p_5 = p_1 = 0,11329 \text{ bar}$. Die kondensierte Flüssigkeit wird um 5 K unterkühlt und von der Speisepumpe auf den Druck p_2 gefördert. (Umgebungsbedingungen: $T_u = 288,15 \text{ K}$ und $p_u = 1013,25 \text{ mbar}$).

- Zeichnen Sie den Dreiecksprozess in ein T,s -Diagramm. (2)
- Welche Leistung kann aus dem Abgas maximal gewonnen werden? (2)
- Welchen Druck muss die Speisepumpe erzeugen, wenn im Wärmeübertrager ein Druckverlust von $\Delta p_{23} = 0,5 \text{ bar}$ auftritt und welcher Massenstrom HMDS kann maximal erhitzt werden? (2)
- Welchen isentropen Wirkungsgrad hat die Turbine? (3)
- Welche Antriebsleistung muss der Pumpe zugeführt werden? Welche Nutzleistung ergibt dieser Dreiecksprozess? Wie groß sind thermischer und exergetischer Wirkungsgrad? (3)

Stoffdaten von HMDS = Hexamethyldisiloxan

Zweiphasengebiet HMDS:

t °C	p bar	ρ' kg/m ³	ρ'' kg/m ³	h' kJ/kg	h'' kJ/kg	s' kJ/kgK	s'' kJ/kgK
20	0,04251	763,43	0,28533	-160,11	72,168	-0,48134	0,31102
30	0,07080	753,91	0,46112	-141,06	86,579	-0,41744	0,33346
40	0,11329	744,24	0,71725	-121,76	101,22	-0,35483	0,35724
180	6,5317	571,99	36,903	178,26	319,02	0,42970	0,74031
190	7,8459	553,77	45,363	202,37	334,17	0,48182	0,76638
200	9,3500	533,64	55,82	227,02	348,85	0,53388	0,79136
210	11,064	510,93	69,054	252,31	362,81	0,58608	0,81479

Überhitzter Dampf und unterkühlte Flüssigkeit von HMDS:

t °C	p bar	ρ kg/m ³	h kJ/kg	s kJ/kgK	t °C	p bar	ρ kg/m ³	h kJ/kg	s kJ/kgK
40,0	0,11329	0,71726	101,22	0,35724	45,0	0,11329	0,70528	108,87	0,38147
41,0	0,11329	0,71483	102,75	0,36210	46,0	0,11329	0,70293	110,41	0,38630
42,0	0,11329	0,71241	104,28	0,36695	47,0	0,11329	0,70061	111,95	0,39112
43,0	0,11329	0,71002	105,81	0,37179	48,0	0,11329	0,69830	113,50	0,39593
44,0	0,11329	0,70764	107,34	0,37663	49,0	0,11329	0,69600	115,04	0,40074