

Kraft- und Arbeitsmaschinen

Klausur zur Diplom-Hauptprüfung, 26. August 2013

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	4		
2	4		
3	2		
4	3		
5	3		
Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punkte	Korrekteur
1	17		
2	17		
	Summe		
	Bewertung		

1. Frage Strömungsmaschinen (4 Punkte)

Die Abbildung 1 zeigt ein typisches Geschwindigkeitsdreieck einer axialen Entspannungsturbine mit axialem Eintritt und axialem Austritt.

Da das Ziel der Turbine die Enthalpieverminderung des Gasstroms ist, ergibt sich die **Frage** wie viel der Druck durch den Rotor sinkt und wie die Erhöhung der Geschwindigkeit c_1 zur Druckverminderung beitragen kann. (Hinweis: Betrachten Sie die Euler-Gleichung).

Skizzieren Sie im rechten Feld die Form der Statorschaufeln, die die Strömung so lenkt, dass die Eintrittsbedingung für die nächste Rotorstufe so ist wie beim vorherigen Rotor.

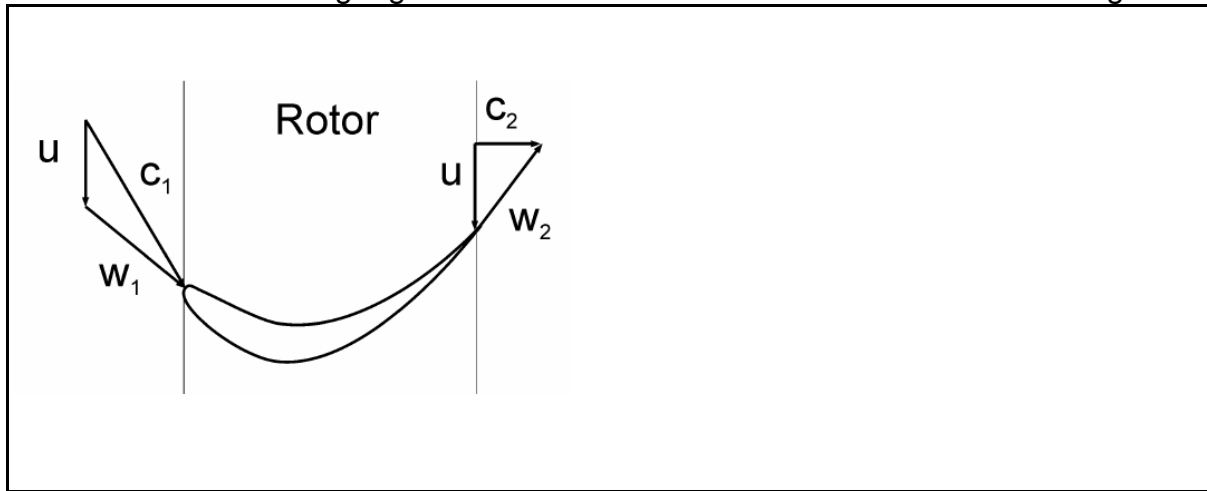


Abb. 1: Geschwindigkeitsdreiecke einer axialen Turbine

Zeichnen Sie die in der Ebene liegenden Geschwindigkeitsvektoren der Statorschaufel.

2. Frage Kreiselpumpe (4 Punkte)

Eine Kreiselpumpe saugt aus einem Behälter beim Druck ($p = 1 \text{ bar}$) Ethylalkohol mit einer Temperatur von 50°C .

- a) Wie hoch kann man Alkohol maximal ansaugen, falls der Dampfdruck vernachlässigbar ist? $\rho(T=60^\circ\text{C}) = 857,77 \text{ kg/m}^3$
- b) Wie groß ist die maximale Saughöhe der Pumpe, wenn sie bei dem vorgegebenen Volumenstrom einen NPSH-Wert von 4 (m Wassersäule) aufweist?

Hinweis:

Dampfdruck und Dichte von Ethylalkohol bei 50°C betragen $p_s = 0,29407 \text{ bar}$,
 $\rho' = 763,11 \text{ kg/m}^3$, Dichte von Wasser $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$. $p_U = 1 \text{ bar}$

3. Frage Dampfkraftwerk (2 Punkte)

Welche Methoden werden aktuell diskutiert zur Erhöhung der Leistung und des Wirkungsgrades moderner Dampfkraftwerke? (Geben Sie bitte mindestens 2 Beispiele)
Begründen Sie bitte die Antwort.

4. Frage Luftverdichter (3 Punkte)

Wie kann man bei einem Kolbenverdichter zur Befüllung von Druckgasflaschen mit $p = 300 \text{ bar}$ mit mehreren Verdichtungsstufen die Kompressionsleistung verringern, bei gleichem Massenstrom und Druckverhältnis?

Daten von Luft: $R_{\text{Luft}} = 0,287 \text{ kJ/(kg K)}$, $T_u = 300 \text{ K}$, $\kappa = 1,4$, $p_{\text{Umgeb.}} = 1 \text{ bar}$

- Wie groß wäre die spezifische Arbeit bei einstufiger Kompression?
- Wie groß wäre die spezifische Arbeit mit 4 bzw. 5 Kompressionsstufen?
- Welche Art der Kompression wäre noch sparsamer?

5. Frage Pumpen (3 Punkte)

Für welche Anwendungen sind die folgenden Pumpen besonders geeignet? Begründen Sie bitte ihre Antwort.

- Zahnradpumpe

- Rootsverdichter

- Membranpumpe

1. Aufgabe Radialturbine (17 Punkte)

In einer Turbine soll gesättigte Flüssigkeit entspannt werden, so dass während des Durchströmens der Turbinenkanäle immer mehr Dampf entsteht und am Austritt leicht überhitzter Dampf vorliegt.

Als Arbeitsmedium ist Hexan vorgesehen, welches bis 200°C aufgeheizt wird und dann mit dem Massenstrom $\dot{m} = 1 \text{ kg/s}$ und der Geschwindigkeit $c_1 = 5 \text{ m/s}$ axial in das Turbinenrad eintritt. Im Zentrum der Turbine wird der Flüssigkeitsstrom in radiale Richtung umgelenkt und auf 5 Kanäle verteilt. Der Durchmesser des Turbinenrades beträgt 3,4 m. Es dreht mit 3000 U/min.

- Wie groß müssen die Eintrittsquerschnitte der 5 Kanäle jeweils sein? (1)
- Der Dampf entspannt auf einen Druck, der 145 mbar unter dem Kondensationsdruck zur Temperatur 40°C liegt. Der am Turbinenrand austretende Dampf wird in einem Diffusor verzögert und auf den Kondensatordruck aufgestaut. Dabei wird angenommen, dass sich ein isentroper Wirkungsgrad von 80% einstellt. Welche Temperatur, welcher Druck und welche spezifische Enthalpie liegen am Rand des Turbinenrades und am Turbinenaustritt vor? (2)
- Welche Turbinenleistung ist unter den bei b) genannten Bedingungen zu gewinnen? (1)
- Falls das Turbinenrad mit 3000 U/min dreht, welche Umfangsgeschwindigkeit u_2 und welche Austrittsgeschwindigkeit c_{2u} ergeben sich damit? (1)
- Am Außenrand ist das Turbinenrad 2 cm hoch. Mit welcher radialen Geschwindigkeit verläßt der Dampf das Rad? Wie groß sind die Absolutgeschwindigkeit und die Relativgeschwindigkeit des Dampfes. Welche Austrittsgeschwindigkeit w_2 und welcher Austrittswinkel liegen vor? (3)

Das Flüssigkeits/Dampfgemisch strömt durch einen rechteckigen Kanal dessen Breite und Höhe sich stetig erweitern.

Kreisprozess

Nr	T [°C]	p [MPa]	ρ [kg/m ³]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg K]	w_s [m/s]	$\eta = v * \rho$ Viskosität [μPa·s]
1	200.00	1.80342	437.725	375.12	0.91277	304.409	67.5248
2	39.08	0.02279	0.768	286.45	0.97118	176.365	6.8888
3	48.10	0.03729	1.230	301.22	0.97118	177.627	7.1070
3sät.	40.00	0.03729	1.265	286.95	0.92619	177.627	6.9270
4	40.00	0.03729	640.742	-68.50	-0.20888	175.140	254.6679
5	40.54	1.80342	642.513	-65.74	-0.20888	991.815	260.3139
6=1	200.00	1.80342	437.725	375.12	0.91277	991.815	67.5248
2sät	27.83	0.022792	0.799	267.22	0.90845		6.6390
3s	40.00	0.037292	1.280	282.75	0.91277		6.9270

- Welche Leistung kann die Turbine abgeben, welcher Wärmestrom muss dem Dreiecksprozess zugeführt werden? Wie groß ist der thermische Wirkungsgrad? (3)
- Skizzieren Sie den Dreiecksprozess in einem T, s-Diagramm und einem log(p), h- Diagramm. (4)
- Schätzen Sie den Reibungsdruckverlust $\Delta p_{\text{Verlust}}$ in den Kanälen. Nehmen Sie eine Länge = 1,5 * R, **D = 1,78 cm an.** (2)

Gegeben: $\Delta p = \sum \lambda \frac{\rho L}{2D} w^2$ Rohrreibungszahl: $\lambda = (1,819 * \lg(Re) - 1,64)^{-2}$

2. Aufgabe Gasturbinenprozess mit innerem Wärmeübertrager (17 Punkte)

In Solarturm-Kraftwerken werden Gasturbinen eingesetzt, deren Arbeitsmedium im Receiver von konzentrierter Sonnenstrahlung aufgeheizt wird. In einer Turbine wird das heiße Gas entspannt und anschließend abgekühlt. Ausgehend von der tiefsten Temperatur wird das Gas wieder komprimiert und in den Wärmeübertrager geleitet.

Um im Receiver keine zu hohen Drücke zu haben, soll der Gasturbinenprozess mit einem inneren Wärmeübertrager ausgelegt werden.

- Die adiabate Verdichtung beginnt bei $p_1 = 1$ bar, $T_1 = 320$ K.
Sie endet bei $p_2 = 3,25$ bar, $\eta_{s,K} = 0,9$.
 - In einem inneren Wärmeübertrager wird das Gas aufgeheizt.
 - Nach diesem Wärmeübertrager strömt das Gemisch in den Receiver und wird auf $T_4 = 1300$ K aufgeheizt.
 - Der Druckverlust in den Wärmeübertragern beträgt $0,1$ bar .
 - Die Entspannung von $p_5 = 3,15$ bar auf $p_6 = 1,1$ bar verläuft adiabat mit $\eta_{s,T} = 0,92$.
 - Die Aufheizung bzw. Abkühlung im inneren Wärmeübertrager benötigt mindestens eine Temperaturdifferenz von $\Delta T = 30$ K.
 - Im letzten Bauteil wird das Arbeitsgas auf die Anfangstemperatur zurückgekühlt.
- a) Skizzieren Sie in einem T, s-Diagramm qualitativ den Verlauf des gesamten Prozesses. (2)
- b) Welche Temperaturen werden nach der Kompression (T_2) und Expansion (T_5) erreicht? (3)
- c) Berechnen Sie die spezifischen Arbeiten für Kompression und Expansion. (2)
- d) Wie groß ist der Luftmassenstrom für ein Kraftwerk mit $P_{\text{Nutz}} = 10$ MW? (2)
- e) Welchen thermischen Wirkungsgrad hat das Kraftwerk? (1)
- f) Welchen exergetischen Wirkungsgrad hat das Kraftwerk? ($T_u = 310$ K) (2)
- g) Wie groß wäre der thermische Wirkungsgrad, falls die Wärmeübertrager keinen Druckverlust hätten? (4)
- h) Wie könnte man der Wirkungsgrad sonst noch erhöhen? (Zwei Vorschläge reichen.) (1)

Stoffdaten der Luft:

$c_p = 1,007$ kJ/(kg K), $R_L = 0,2871$ kJ/(kg K)