

Kraft- und Arbeitsmaschinen

Klausur, 18. August 2014

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 3 bitte auf den Blättern der Aufgabenstellung.

Die Frage 4 und die Aufgaben 1 und 2 bearbeiten Sie bitte auf separaten Papierbögen (werden ausgeteilt).

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 | 3 | | |
| 3 | 2 | | |
| 4 | 9 | | |
| Aufgabe | Maximale Punktzahl | Erreichte Punkte | Korrekteur |
| 1 | 16 | | |
| 2 | 16 | | |
| | Summe | | |
| | Bewertung | | |

1. Frage Strömungsmaschinen (4 Punkte)

Zeichnen Sie typische Geschwindigkeitsdreiecke einer Radialpumpe mit rückwärts gekrümmten Schaufeln beim Eintritt (1) und Austritt (2) des Fluids.

Da das Ziel der Pumpe die Druckerhöhung im Fluid ist, ergibt sich die Frage wie viel der Druck im Rotor steigt und wie die Verminderung der Geschwindigkeit c_2 auf $c_3 = c_1$ im Diffusor (3) zur Druckerhöhung beitragen kann. (Hinweis: Betrachten Sie die Euler-Gleichung).

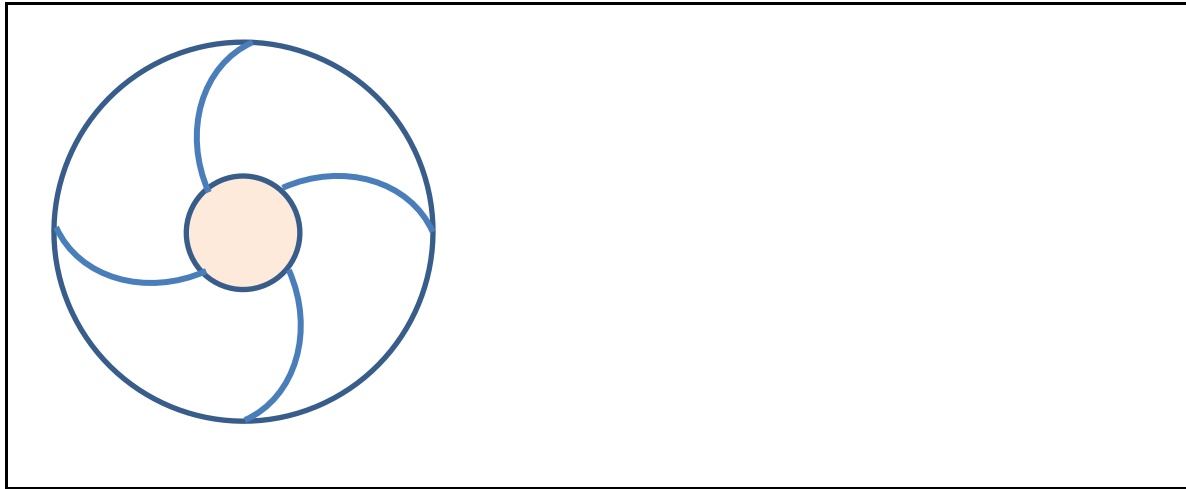


Abb. 1: Geschwindigkeitsdreiecke einer radialen Pumpe

Zeichnen Sie die in der Ebene liegenden Geschwindigkeitsvektoren an den Rotorschaukeln.

2. Frage Kreiselpumpe (3 Punkte)

Eine Kreiselpumpe saugt aus einem Tank Wasser beim Druck ($p = 1 \text{ bar}$).

- a) Wie hoch kann man das Wasser maximal ansaugen, falls der Dampfdruck vernachlässigbar ist?
- b) Wie groß ist die maximale Saughöhe der Pumpe, wenn das Wasser $T = 80^\circ\text{C}$ hat und die Pumpe bei dem vorgegebenen Volumenstrom einen NPSH-Wert von 3 (m Wassersäule) aufweist?

Hinweis:

Dichte von Wasser $\rho(0^\circ\text{C}) = 999,65 \text{ kg/m}^3$. $p_U = 1 \text{ bar}$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Wasser $\rho(80^\circ\text{C}) = 971,77 \text{ kg/m}^3$. $p_s(80^\circ\text{C}) = 0,474 \text{ bar}$

3. Frage Gasturbinenkraftwerk (2 Punkte)

Welche Methoden werden aktuell diskutiert zur Erhöhung der Leistung und des Wirkungsgrades moderner Gasturbinenkraftwerke?

(Geben Sie bitte mindestens 2 Beispiele)

Begründen Sie bitte die Antwort.

4. Frage: Luftverdichter (9 Punkte)

Für die Speicherung von überschüssigem Wind- und Photovoltaikstrom werden Druckluftspeicherkraftwerke entwickelt. Dabei wird Umgebungsluft auf $p = 100 \text{ bar}$ verdichtet und in große Kavernen oder andere Druckbehälter gepresst.

- a) Wie groß wäre die spezifische Arbeit bei einstufiger isentroper Kompression? Welche Kompressionsendtemperatur wird dabei erreicht? (1)

Nach einigen Stunden Verweilzeit in der Kaverne ist die Lufttemperatur auf $T = 60 \text{ °C}$ abgesunken. Bei der Expansion erhält man weniger Arbeit als bei der Kompression aufgewandt wurde.

- b) Wie groß ist der relative Arbeitsverlust, wenn Kompression und Expansion mit dem Wirkungsgrad $\eta_s = 90\%$ verlaufen? (2)

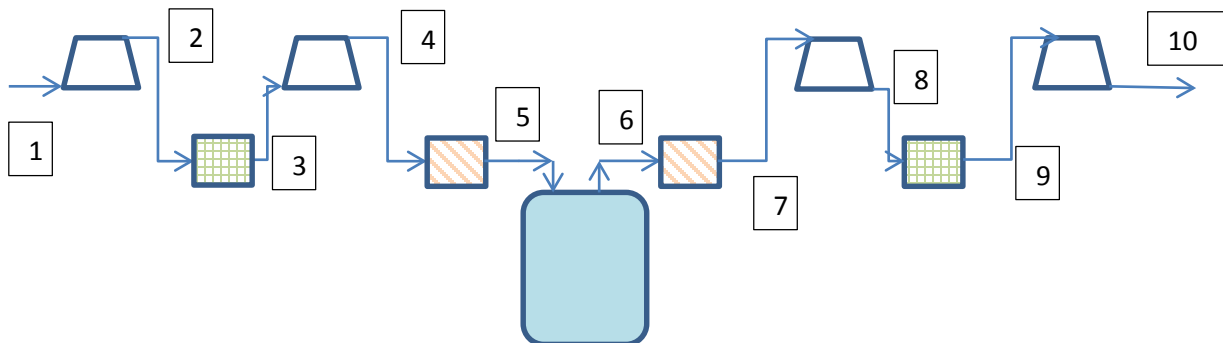
Zur Verringerung dieses Verlustes sollen die Kompression und Expansion jeweils zweistufig durchgeführt werden und nach beiden Kompressionen die Luft abgekühlt werden. Diese abgegebene Wärme wird zwischen gespeichert und vor und nach der ersten Expansion der Luft wieder zugeführt.

- c) Wie groß sind die spezifischen Arbeiten der beiden Kompressionsstufen bei gleichem Druckverhältnis (Wirkungsgrad $\eta_s = 90\%$) und einer Abkühlung auf $T_3 = T_u + 20 \text{ K}$? (2)

Die Luft kann auf eine Temperatur 40 K unter der jeweiligen Kompressionsendtemperatur aufgeheizt werden. $T_7 = T_4 - 40 \text{ K}$, $T_9 = T_2 - 40 \text{ K}$

- d) Wie groß sind die spezifischen Expansionsarbeiten und wie groß ist der relative Arbeitsverlust (Wirkungsgrad $\eta_s = 90\%$)? (4)

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



Die Rechtecke stellen die Wärmespeicher dar. Die von $2 \rightarrow 3$ aufgenommene Wärme wird von $8 \rightarrow 9$ wieder abgegeben. Entsprechend $4 \rightarrow 5$ und $6 \rightarrow 7$.

1. Aufgabe Radialturbine (16 Punkte)

Ein Feuerwehrmann steht auf einer 20 m langen um 45° geneigten Leiter, deren Drehpunkt in 2 m Höhe über der Pumpe liegt. Der Wasserschlauch hat einen Innendurchmesser $D_i = 42$ mm und eine Länge von 25 m. Aus dem C-Rohr mit einer Düse von 9 mm Durchmesser treten $\dot{V} = 100$ l/min aus.

- a) Mit welcher Geschwindigkeit strömt das Wasser im Schlauch und aus der Düse? (2)
- b) Wie hoch kann das Wasser maximal spritzen ab der Düse des C-Rohres? (1)
- c) Das Wasser wird über eine 20 m lange, 8 cm dicke Saugleitung 3 m hoch angesaugt. Welche Leistung muss die Pumpe dem Wasserstrom mindestens zuführen bei Vernachlässigung der Reibung? (2)
- d) Welche Druckdifferenz tritt durch die Reibung in den beiden Schläuchen auf? (3)
- e) Welche Druckdifferenz ist an der Düse und insgesamt für das Hochpumpen erforderlich? (2)
- f) Die Pumpe arbeitet mit einem Wirkungsgrad von $\eta = 0,6$. Welche Leistung muss der Antriebsmotor der Pumpe aufbringen? (1)
- g) Das Pumpenlaufrad hat einen Durchmesser von $D_a = 20$ cm und eine Spalthöhe am Außenrand von $H = 5$ mm. Die Drehzahl beträgt 2500 U/min. Welche radiale und tangentielle Geschwindigkeit hat das austretende Wasser? (radialer Eintritt des Wassers in die Pumpe) (4)
- h) Wie müssen die Leitbleche der Radialpumpe am Außenrand gekrümmt sein? (1)

Gegeben:

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

$$\text{Druckverlust in einer Düse, } w_2 = \text{Austrittsgeschwindigkeit, } \Delta p = 0,04 \frac{\rho}{2} w_2^2$$

$$\text{Dichte des Wassers: } 1000 \text{ kg/m}^3, \quad \text{Viskosität: } \nu = 1,307 * 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

2. Aufgabe Gasturbinenprozess mit innerem Wärmeübertrager (16 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 $p_1 = 0,2 \text{ bar}$, $T_1 = 360 \text{ K}$.
Sie endet bei $p_2 = 1 \text{ bar}$, $\eta_{s,K} = 0,9$.
 - In einem inneren Wärmeübertrager wird das Gas auf T_3 aufgeheizt.
 - Nach diesem Wärmeübertrager strömt das Gemisch in den Receiver und wird auf $T_4 = 1300 \text{ K}$ aufgeheizt.
 - Der Druckverlust in den Wärmeübertragern beträgt $0,05 \text{ bar}$.
 - Die Entspannung von $p_4 = 0,95 \text{ bar}$ auf $p_5 = 0,25 \text{ bar}$ verläuft adiabat mit $\eta_{s,T} = 0,92$.
 - Die Aufheizung $2 \rightarrow 3$ bzw. Abkühlung $5 \rightarrow 6$ im inneren Wärmeübertrager, benötigt eine Temperaturdifferenz zwischen den Strömen von $\Delta T = 30 \text{ K}$.
 - Zuletzt wird das Arbeitsgas auf die Anfangstemperatur T_1 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? (2)
- c) Berechnen Sie die spezifischen Arbeiten für Kompression und Expansion. (2)
- d) Wie groß ist der Luftmassenstrom für ein Kraftwerk mit $P_{\text{Nutz}} = 40 \text{ MW}$? (2)
- e) Wie groß ist der größte Volumenstrom im Prozess? (1)
- f) Die Spiegel konzentrieren die Sonnenstrahlen auf $\dot{q} = 100 \text{ kW/m}^2$.
Wie groß muss die Receiverfläche ausgelegt werden? (1)
- g) Welchen thermischen Wirkungsgrad hat das Kraftwerk? (1)
- h) Welchen exergetischen Wirkungsgrad hat das Kraftwerk? ($T_u = 310 \text{ K}$) (2)
- i) Wie groß ist der Exergiestrom, der mit der Abwärme $6 \rightarrow 1$ abgegeben wird? Welche Leistung könnte ein nachgeschaltetes Dampfkraftwerk mit einem exergetischen Wirkungsgrad von 60% daraus noch gewinnen? (2)
- j) Wie könnte man den Wirkungsgrad erhöhen? (Zwei Vorschläge reichen.) (1)

Stoffdaten der Luft:

$c_p = 1,007 \text{ kJ/(kg K)}$, $R_L = 0,2871 \text{ kJ/(kg K)}$