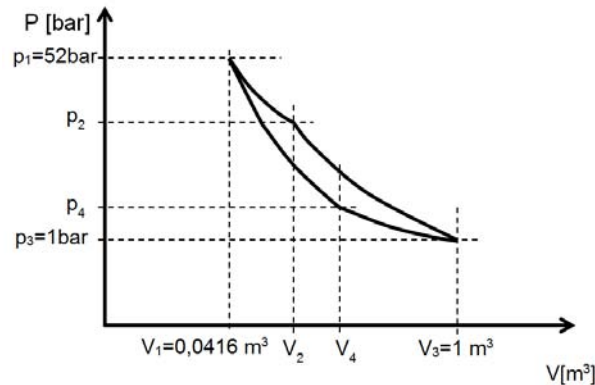


Schriftliche Prüfung aus VO Kraftwerke am 10.10.2017

Name/Vorname: _____ / _____ Matr.-Nr./Kanz.: _____ / _____

1. Carnot Prozess (25 Punkte)

Die Masse m des idealen Gases Luft durchläuft einen Carnot-Kreisprozess. Die untere Temperatur beträgt $T_3 = 25^\circ\text{C}$. Das pV -Diagramm des Carnot-Kreisprozesses ist in der unteren Abbildung mit den Werten zu den wichtigsten Punkten gegeben:



Für Luft gilt weiteres: $c_p = 1,015 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$; $\kappa_{\text{Luft}} = 1,4$; $R = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$.

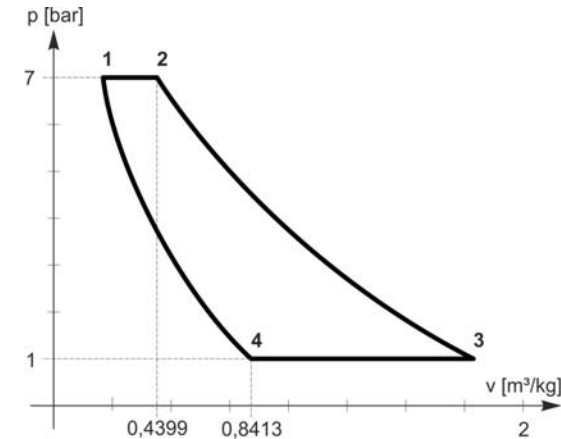
- (3) Wie groß ist die **Masse m** die den Prozess durchläuft?
- (5) Leiten Sie allgemein mithilfe der Beziehung $\kappa = \frac{dH}{dU}$ und $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ eine Gleichung für $T_1 = f(T_2, p_1, p_2)$ für die **isentropen Zustandsänderung** ($dS = dQ = 0$) her.
- (3) Bestimmen Sie **alle fehlenden thermodynamischen Zustandsgrößen** des Carnot Prozesses (**Temperatur, Druck und Volumen**).

Hinweis: Rechnen Sie nun mit $p_2=14,9\text{bar}$, $V_2=0,145\text{m}^3$ und $p_4=3,5\text{bar}$ und $V_4=0,286\text{m}^3$

- (3) Wie groß ist die **Wärmeabfuhr Q_{34}** ?
- (3) Wie groß ist die **Verdichtungsarbeit W_{41}** ?
- (3) Wie groß ist die **zugeführte Wärme Q_{12}** ?
- (3) Wie groß ist die **abgegebene Nutzarbeit**?
- (2) Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad** (Carnot Faktor)?

2. Gasturbine (25 Punkte)

Eine offene Gasturbine arbeitet mit Luft nach dem Joule-Prozess. Das $p-v$ -Diagramm der Gasturbine ist in der unteren Abbildung mit den Werten zu den wichtigsten Punkten gegeben:



Für Luft gilt weiteres: $c_p = 1,015 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$; $\kappa_{\text{Luft}} = 1,4$; $R = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

- (3) Zeichnen Sie das **Ersatzschaltbild** eines offenen Gasturbinen-Prozess und **beschriften** Sie die Symbole und die thermodynamisch relevanten Punkte.
- (6) Wie hoch sind die **Temperaturen T_2 und T_4** (maximale Prozesstemperatur und Ansaugtemperatur)?
- (4) Wie hoch sind die **Temperaturen T_3 und T_1** (nach dem Verdichter und nach der Turbine)?
- (2) Wie groß ist die **spezifische Verdichterarbeit W_{t41}/m** , die dem Verdichter bei keinerlei Verlusten zugeführt werden muss?
- (2) Wie groß ist die **spezifische Turbinenarbeit W_{t23}/m** ?
- (2) Wie groß ist die **spezifische Nutzarbeit**?
- (3) Wie groß sind der **thermische Wirkungsgrad** und das **Arbeitsverhältnis**?
- (3) Wie hoch ist der **Gasdurchsatz in kg/s** durch die Turbine wenn 200MW elektrischer Leistung erzeugt werden sollen? Der Generatorwirkungsgrad beträgt 98%.

3. Auslegung eines Dampfkraftwerks (25 Punkte)

Ein Dampfkraftwerk soll grob ausgelegt werden. Die Dampfturbine ist zweiteilig. Nach Durchlaufen der ersten Turbine wird der Dampf in einem Zwischenüberhitzer auf die Frischdampf-temperatur zwischenüberhitzt. Die Speisewasserpumpe sitzt auf der gemeinsamen Welle und die von ihr verrichtete Arbeit ist in diesem Beispiel bei allen Rechengängen zu berücksichtigen. Als Vergleichsprozess soll der ideale Clausius-Rankine-Prozess herangezogen werden.

- a. (3) Gegeben sind folgende Werte einer Momentaufnahme eines Kohlekraftwerkes.
Vervollständigen Sie folgende Tabelle, soweit es **ohne Berechnung** möglich ist.

Hinweis: ein Feld kann ohne Bearbeitung der folgenden Teilaufgaben noch nicht befüllt werden!

| Nr. | Komponente | Temperatur danach | Druck danach |
|-----|--------------------|-------------------|--------------|
| 5 | Kondensator | | |
| 6 | Speisewasserpumpe | 46,135 ° C | |
| 7 | Vorwärmer | 311 ° C | |
| 8 | Verdampfer | | |
| 1 | Überhitzer | 500° C | 100bar |
| 2 | Hochdruckturbine | | 20 bar |
| 3 | Zwischenüberhitzer | | |
| 4 | Niederdruckturbine | | 0,1 bar |

- b. (6) Tragen Sie die **Punkte 1–8** aus obiger Tabelle in das beiliegende **T-s Diagramm** ein.
Vervollständigen Sie anschließend das T-s Diagramm.
- c. (3) Berechnen Sie den **Dampfgehalt** in % vor dem Kondensator.
- d. (3) Berechnen Sie die spezifische **Arbeit** zur Verdichtung durch die **Speisewasserpumpe**.
- Hinweis: im Fall dass die Werte aus der Dampftabelle nicht abgelesen werden können, können die nächstgelegenen aus der Dampftabelle herangezogen werden
- e. (5) Berechnen sie den **Wirkungsgrad** des Kreisprozesses mit Zwischenüberhitzung.
- f. (5) Welche **Speisewassermenge** in kg/h ist für die Verbrennung von 21,23 kg/s Steinkohle notwendig, unter der Berücksichtigung des Kesselwirkungsgrades von 97%? Der Heizwert von Steinkohle beträgt 33 MJ/kg.

4. CO₂ Vergleich (25 Punkte)

Zur Erzeugung von elektrischer Energie stehen zwei Kraftwerkstypen zur Auswahl:

KW1: Kohlekraftwerk mit Entstickung und Entschwefelung mit einem Gesamtwirkungsgrad der elektrischen Energieumwandlung von 38%. Die eingesetzte Kohle hat einen Heizwert von 31MJ/kg. Chemische Zusammensetzung der eingesetzten Kohle (Massenprozent):

Kohlenstoff: 96% Wasserstoff: 3% Schwefel: 1%

KW2: Gas- und Dampfkraftwerk (GUD) mit einem Gesamtwirkungsgrad der elektrischen Energieumwandlung von 50%. Der Heizwert von Erdgas beträgt 33,5MJ/kg. Chemische Zusammensetzung des eingesetzten Erdgas (Massenprozent):

Kohlenstoff: 88% Wasserstoff: 12%

Atom und Molekulargewichte:

H: 1 C: 12 O: 16 S: 32 Ca: 40

Das auszuwählende Kraftwerk soll 220MW elektrische Leistung erzeugen, davon werden 110MW_{el} zur Beheizung von Wohnungen mit einem elektrischen Heizwirkungsgrad von 93% verwendet.

- a. (8) Wie groß sind die **stündlichen Kohlendioxidausstöße** beider Kraftwerke?
- b. (2) Wie groß ist die zu deckende **thermische Last**?

Das Kohlekraftwerk (KW1) soll nun die thermische Last aus Punkt b) durch eine Fernwärmeauskopplung decken. Dadurch reduziert sich die zu erzeugende elektrische Leistung des Kraftwerks um 110MW.

- c. (5) Welche **Brennstoffzufuhr** ist für die elektrische und thermische Energieerzeugung notwendig? Wie groß ist der **Gesamtwirkungsgrad** des Kraftwerks?
- d. (5) Wie groß ist der **jährliche Kohlendioxidausstoß** des Kohlekraftwerks (bei der Fahrweise aus Punkt c.)), wenn die Vollaststundendauer des Kraftwerks 6000h/a beträgt?
- e. (5) Welche **stündliche Gipsmenge** und **Volumen** ($\rho_{\text{Gips}} = 2,3 \text{ t/m}^3$) fallen bei einem Entschwefelungsverfahren bei dieser Fahrweise des Kraftwerks an? Der Schwefel wird durch Einsprühen einer Kalklösung gebunden.

Hinweis: Bei diesem Verfahren wird Schwefel durch chemische Reaktion mit Kalk in Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$) umgewandelt.