

## Klausur im Fach „Höhere Thermodynamik“ am 03.03.2011

Name:

Vorname:

Aufgabe	1	2	3	4	$\Sigma$
mögliche Punkte	11,5	16	13,5	13	54
erreichte Punkte					

### 1. Aufgabe

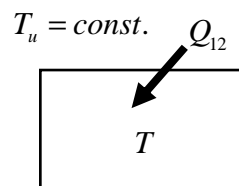
Beantworten Sie die folgenden Fragen und Teilaufgaben!

- a) Skizzieren und erklären Sie den Verlauf einiger Isothermen eines idealen Gases im  $p,v$ -Diagramm! Kennzeichnen Sie qualitativ die Höhe der Temperatur der Isothermen zueinander!
- b) Zwei Studenten bekommen die Aufgabe die Austauschentropie  $S_Q$  der Zustandsänderung  $1 \rightarrow 2$  des Systems (siehe Skizze) zu berechnen.

Einer schreibt  $S_Q = \frac{Q_{12}}{T_u}$  und der andere berechnet die Austauschentropie mittels

Integration des Wärmestroms und der Systemtemperatur nach  $S_Q = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$ .

Wer hat Recht?



- c) Bei einem stationären Turbinentest wird die Entropie vor und nach der Turbine mit Hilfe der aufgenommenen Druck- und Temperaturwerte berechnet. Die Entropien unterscheiden sich bis auf einige Stellen nach dem Komma faktisch nicht.

Erklären Sie die gewonnenen Ergebnisse!

- d) Auf einem Abenteuerurlaub im Winter ohne fließendes Wasser sind Sie für das Warmwasser zum Waschen verantwortlich. Am ersten Morgen holen Sie vom See einen Eimer Eiswasser. Sie entnehmen ein paar Liter Wasser und bringen es zum Sieden. Gerade als Sie kalt und warm mischen wollen, sagt ihr Freund, dass er noch eine Viertelstunde schlafen will.

Damit er sich möglichst warm waschen kann, mischen Sie das Wasser jetzt oder lieber kurz bevor er aufsteht? Begründen Sie ihre Antwort!

- e) Ist die folgende Aussage richtig oder falsch? Begründen Sie ihre Antwort!

„Wenn ein adiabater Wärmeübertrager bei niedrigeren Temperaturen die gleiche Wärmemenge überträgt, verschlechtert sich der Prozess, da auch die irreversible Entropie ansteigt und damit der Exergieverlust zunimmt.“

- f) In einem Zylinder mit beweglichen Kolben wird ein ideales Gas zunächst adiabat verdichtet und anschließend isobar auf die Temperatur vor der Verdichtung gekühlt.

Wie haben sich Enthalpie und Entropie verändert?

- g) Ein Erfinder behauptet, er habe einen adiabaten Kompressor gebaut, der gesättigten Wasserdampf von 100 °C auf 300 °C und 10 bar komprimiert.

Ist so ein Apparat möglich? Begründen Sie Ihre Antwort!

- h) Wenn eine bestimmte Menge des Heizstoffs (Öl, Gas oder Kohle) im heimischen Ofen verbrannt wird, erzeugt dieser die Wärmemenge X.

Wenn dieselbe Menge des Heizstoffs in einem Kraftwerk verbrannt wird und alle so erzeugte Elektrizität dem heimischen Ofen zu Gute käme, würde der Elektroofen

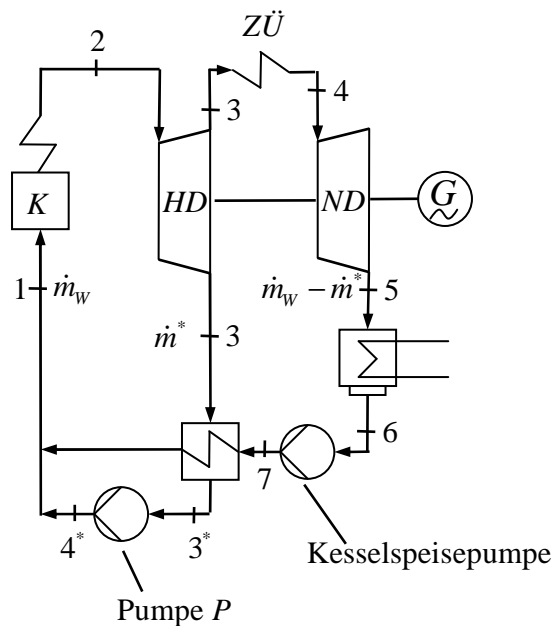
- eine höhere Wärmemenge als die Wärmemenge X,
- die gleiche Wärmemenge wie die Wärmemenge X
- oder eine geringere Wärmemenge als die Wärmemenge X liefern?

- i) Hängt der Heizwert eines Brennstoffs davon ab, mit welchem Luftverhältnis die Verbrennung abläuft?

- j) Das Essenkochen in siedendem Wasser geht am schnellsten

- im Gebirge,
- auf Meereshöhe,
- oder gleich schnell an beiden Standorten?

## 2. Aufgabe



Ein Dampfkraftwerk arbeitet näherungsweise gemäß folgendem Kreisprozess mit einfacher Speisewasservorwärmung und Zwischenüberhitzung:

Das Speisewasser ( $\dot{m}_w = 150 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ ) tritt mit einem Druck  $p_1 = 160 \text{ bar}$  in den Kessel  $K$  ein und wird isobar auf die Temperatur  $\vartheta_2 = 530^\circ\text{C}$  gebracht. Der Dampf expandiert in der Hochdruckturbinen  $HD$  auf den Zustand  $p_3 = 35 \text{ bar}$  und  $\vartheta_3 = 320^\circ\text{C}$ . Ein Teilstrom des Dampfes ( $\dot{m}^*$ ) wird von hier zur Speisewasservorwärmung abgezweigt, während der Hauptdampfstrom im Zwischenüberhitzer  $ZÜ$  isobar auf  $\vartheta_4 = 530^\circ\text{C}$  aufgeheizt wird. Anschließend entspannt der Dampf in der Niederdruckturbinen  $ND$  auf den Zustand  $p_5 = 0,05 \text{ bar}$  und  $x_5 = 0,9$  und wird danach im Kondensator isobar auf den Siedezustand 6 gebracht. In der Kesselspeisepumpe wird der Druck des Speisewassers auf  $p_7 = p_1$  erhöht, wobei sich eine Temperatur  $\vartheta_1 = 250^\circ\text{C}$  erwärmt, wobei der eine Temperatur  $\vartheta_7 = 50^\circ\text{C}$  einstellt. Anschließend wird das Speisewasser im Vorwärmer isobar auf  $\vartheta_1 = 250^\circ\text{C}$  erwärmt, wobei der abgezweigte Heizdampfstrom vom Zustand 3 isobar auf den Siedezustand  $3^*$  gelangt und danach in der Pumpe  $P$  auf den Zustand  $4^*$  ( $p_{4^*} = 160 \text{ bar}$ ,  $\vartheta_{4^*} = 250^\circ\text{C}$ ) gebracht wird, um dann dem Hauptstrom zugemischt zu werden.

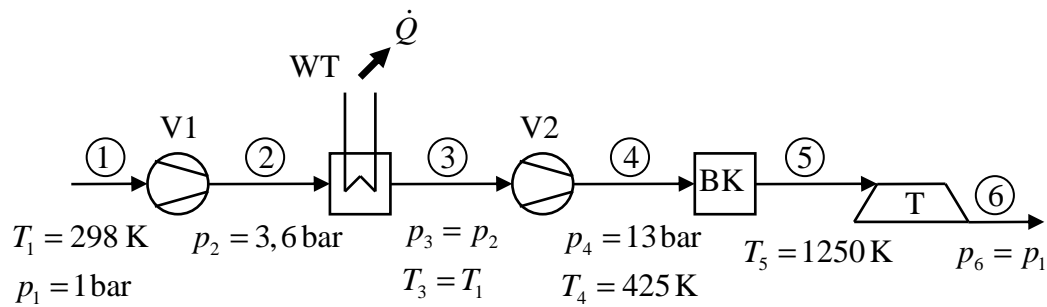
Hinweis: Alle Turbomaschinen und der Vorwärmer sollen adiabat sein. Äußere Energien sind zu vernachlässigen.

- Skizzieren Sie gesamten Prozess im  $T, s$ -Diagramm!
- Wieviel Dampf  $\dot{m}^*$  muss der Hochdruckturbinen für die Speisewasservorwärmung entnommen werden?
- Wie groß sind die im Kessel, im Zwischenüberhitzer und im Kondensator übertragenen Wärmeströme?
- Bestimmen Sie die Leistung der Kesselspeisepumpe und die Turbinenleistungen!
- Berechnen Sie den thermischen Wirkungsgrad des Dampfkraftwerks, wenn die Leistung der Pumpe  $P$  vernachlässigt wird!

f) Bestimmen Sie den Exergieverluststrom der gesamten Anlage unter der Annahme, dass im Kessel und Überhitzer eine konstante Reservoirtemperatur  $T_r = 1000 \text{ K}$  herrscht (Umgebungstemperatur  $T_u = 293 \text{ K}$ )!

Verwenden Sie zum Lösen der Aufgabe das  $h, s$ -Diagramm für Wasser!

### 3. Aufgabe



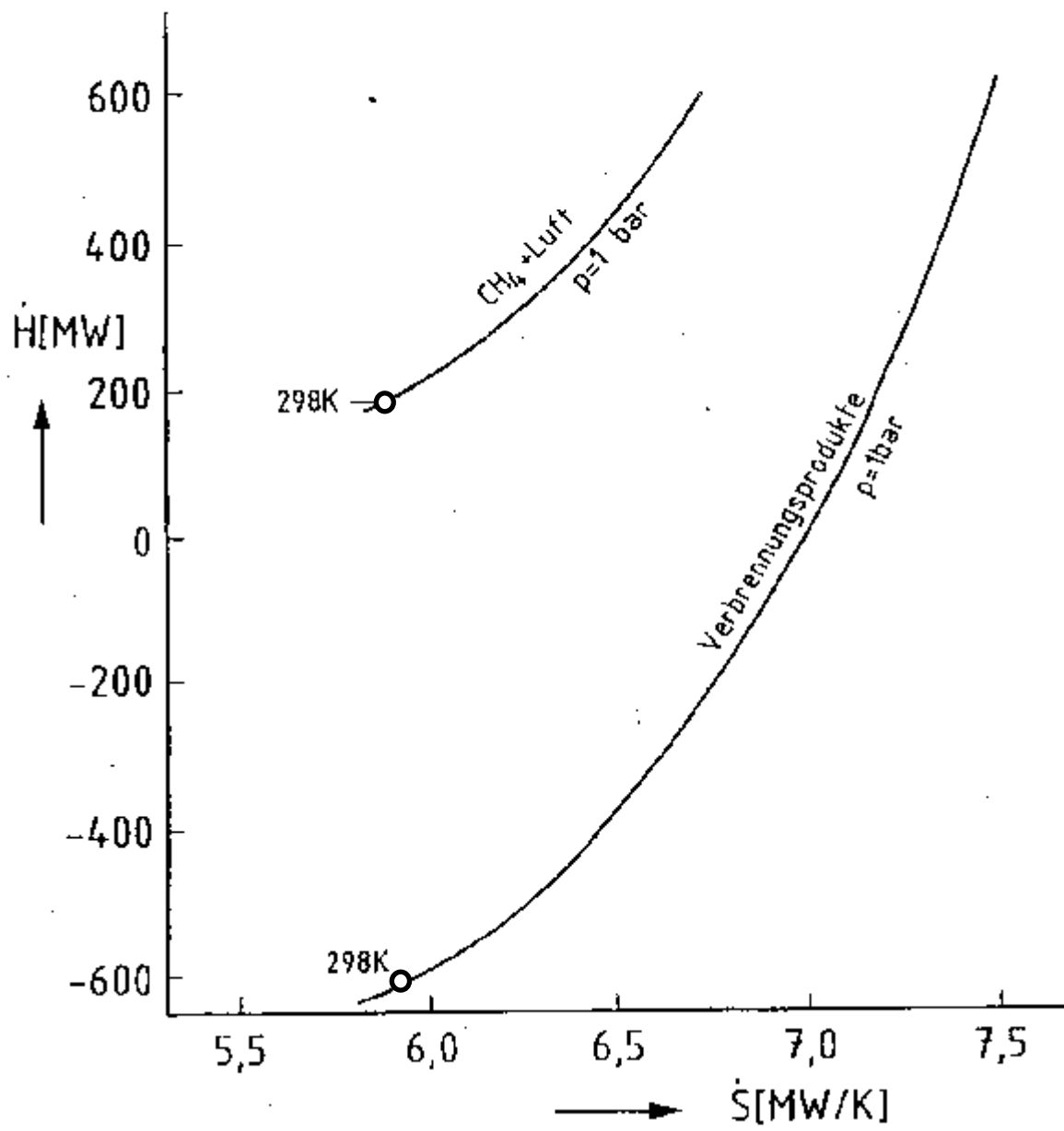
Ein Gemisch aus  $CH_4$  und trockener Luft ( $79\% N_2, 21\% O_2, \lambda > 1$ ) wird im Verdichter V1 adiabatisch und reibungsfrei auf den Druck  $p_2$  verdichtet. Der Mengenstrom  $CH_4$  beträgt  $1 \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$ . Im Wärmetauscher WT wird das Gemisch bei konstantem Druck von der Temperatur  $T_2$  auf  $T_3 = T_1$  zurückgekühlt, um im Verdichter V2 adiabatisch und reibungsfrei auf den Zustand 4 ( $p_4, T_4$ ) verdichtet zu werden. In der adiabaten Brennkammer BK wird das Gemisch bei konstantem Druck vollständig verbrannt, wobei sich die Temperatur  $T_5$  einstellt. Die Verbrennungsprodukte werden in der Turbine adiabatisch und reibungsfrei auf den Druck  $p_6 = p_1$  entspannt. Das Brennstoff-Luft Gemisch und die Verbrennungsprodukte können als ideale Gase betrachtet werden.

- a) Bestimmen Sie das Verbrennungsluftverhältnis  $\lambda$  und die Gesamtmolenströme vor und nach der Verbrennung

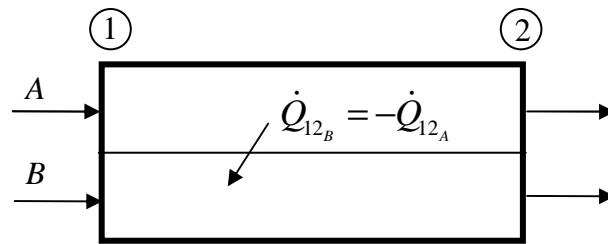
Hinweis: Nutzen Sie zur Bestimmung des Verbrennungsluftverhältnisses  $\lambda$  den im Diagramm gegebenen Enthalpiestrom des Zustands 1!

- b) Bestimmen Sie die Entropiedifferenz  $\dot{S}_3 - \dot{S}_1$  und  $\dot{S}_4 - \dot{S}_2$ . Zeichnen Sie anschließend die Isobaren für  $p_2 = 3,6 \text{ bar}$  und  $p_4 = 13 \text{ bar}$  der Edukte in das  $\dot{H}, \dot{S}$ -Diagramm!
- c) Zeichnen Sie den Prozess mit allen Zustandspunkten (1-6) maßstäblich in das  $\dot{H}, \dot{S}$ -Diagramm des Brenngemisches und der Verbrennungsprodukte ein.
- d) Bestimmen Sie den Exergieverluststrom des gesamten Prozesses, wenn im Wärmetauscher WT Wärme mit der Umgebung ausgetauscht wird.

$\dot{H}, \dot{S}$  Diagramm für 1 kmol/s  $\text{CH}_4$



#### 4. Aufgabe



In einem Gleichstrom-Wärmeübertrager tritt ein Luftstrom A vom Zustand 1 ( $p_{A1} = 1,5 \text{ bar}$ ,  $T_{A1} = 700 \text{ K}$ ,  $\dot{m}_A = 1 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ ) ein und überträgt Wärme an einen mit Umgebungstemperatur  $T_u = 300 \text{ K}$  und Umgebungsdruck  $p_u = 1 \text{ bar}$  eintretenden Wasserstrom B, dessen Temperatur sich um  $T_{B2} - T_{B1} = 10 \text{ K}$  ändert. Am Wärmeübertrageraustritt hat der Luftstrom eine Temperatur  $T_{A2} = 500 \text{ K}$  und einen Druck  $p_{A2} = 1 \text{ bar}$  angenommen. Der Wärmeübertrager soll als adiabat gegenüber der Umgebung angenommen werden. Die äußeren Energien können für beide Stoffströme vernachlässigt werden. Die Luft soll als ideales Gas mit konstanter spezifischer Wärmekapazität ( $c_{pA} = 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\times\text{K}}$ ,  $R_A = 0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\times\text{K}}$ ) und das Wasser als ideale Flüssigkeit ( $c_B = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\times\text{K}}$ ) angesehen werden.

Bestimmen Sie:

- den an das Wasser übertragenen Wärmestrom
- die Exergieänderung des Wasserstromes
- die Exergie des eintretenden Luftstromes
- die Exergieänderung des Luftstromes
- den Exergieverlust pro Zeiteinheit bei der Wärmeübertragung.