

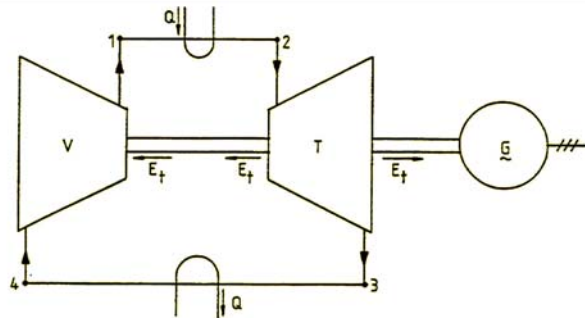
**Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Kraftwerke am 21.06.2017**

Hinweis: Bei den Berechnungen wurden alle Zwischenergebnisse in der technischen Notation<sup>1</sup> (Format ENG) dargestellt und auf drei Nachkommastellen gerundet. Für die weitere Rechnung wurde das gerundete Ergebnis verwendet.

Abhängig vom Rechenweg kann es aber dennoch zu leicht abweichenden Ergebnissen kommen!

**1. Gasturbine (25 Punkte)**

a. (2) Zeichnen Sie das Blockschaltbild des Gasturbinenprozesses und beschriften Sie die thermodynamisch relevanten Punkte.



- 1-2: isobare Wärmezufuhr („Brennkammer“)
- 2-3: isentrope Entspannung mit Abgabe äußerer Arbeit („Turbine“)
- 3-4: isobare Wärmeabfuhr („Ausstoß ins Freie, neue Frischluft“)
- 4-1: isentrope Verdichtung mit Zufuhr von Kompressionsarbeit („Verdichter“)

b. (4) Wie hoch sind die Temperaturen T1 und T3 (nach dem Verdichter und nach der Turbine)?

$$T_1 = 512,891K \quad (1.1)$$

$$T_3 = 810,460K \quad (1.2)$$

c. Zeichnen Sie das pv- und das Ts-Diagramm

i. (2) Berechnen Sie die spezifischen Volumina v1, v2, v3, v4.

$$v_1 = 0,210 \frac{m^3}{kg} \quad (1.3)$$

$$v_2 = 0,579 \frac{m^3}{kg} \quad (1.4)$$

<sup>1</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Wissenschaftliche\\_Notation](http://de.wikipedia.org/wiki/Wissenschaftliche_Notation)

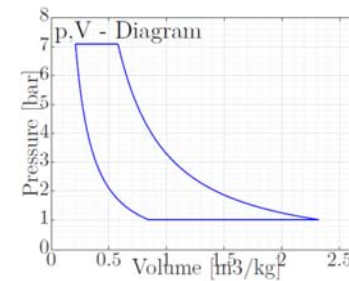
$$v_3 = 2,326 \frac{m^3}{kg} \quad (1.5)$$

$$v_4 = 0,844 \frac{m^3}{kg} \quad (1.6)$$

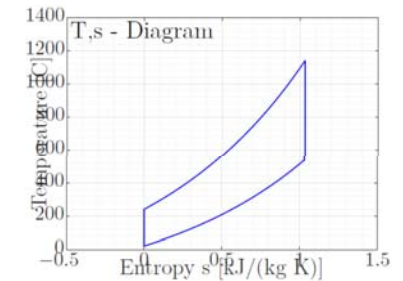
ii. (3) Berechnen Sie die Änderung der spezifischen Entropie s12.

$$s_{12} = 0,02872 \frac{kJ}{kgK} \quad (1.7)$$

iii. (2) Zeichnen Sie die beiden Diagramme und tragen Sie die berechneten bzw. gegebenen Werte für p,v und T,s in die beiden Diagramme ein. Nehmen Sie für s1=0 kJ/kgK an.



(a) p,v-Diagramm



(b) T,s-Diagramm

d. (2) Wie groß ist die spezifische technische Verdichterarbeit (Wt41/m – die dem Verdichter bei keinerlei Verlusten zugeführt werden muss)?

$$w_{t41} = 223,037 \frac{kJ}{kg} \quad (1.8)$$

e. (2) Wie groß ist die spezifische technische Turbinenarbeit Wt23/m?

$$w_{t23} = -611,73 \frac{kJ}{kg} \quad (1.9)$$

f. (2) Wie groß ist die spezifische Nutzarbeit?

$$w_{Nutz} = -388,693 \frac{kJ}{kgK} \quad (1.10)$$

g. (3) Wie groß ist die spezifische Wärmezufuhr und Wärmeabfuhr?

$$q_{12} = 913,763 \frac{kJ}{kg} \quad (1.11)$$

$$q_{34} = -525,12 \frac{kJ}{kg} \quad (1.12)$$

h. (3) Wie groß ist der thermische Wirkungsgrad und das Arbeitsverhältnis?

$$\eta = 0,4254$$

$$r_w = 0,635 \quad (1.13)$$

**2. Eigenbedarf**

- a. Bestimmen Sie die **Scheinleistung** und den **Nennstrom** des Antriebsmotors für die Kesselspeisepumpe. Berücksichtigen Sie dabei, dass der Motor aus Gründen der Redundanz auf die doppelte Wellenleistung ausgelegt ist.

$$S_M = 11,970 \text{ MVA} \quad (2.1)$$

$$I_M = 1,152 \text{ kA} \quad (2.2)$$

- b. Bestimmen Sie den **Anlaufstrom** des Antriebsmotors bei Nennbedingungen und damit den Kurzschlussstrombeitrag.

$$I_A = 6,337 \text{ kA} \quad (2.3)$$

- c. Schätzen Sie den **Gesamtkurzschlussstrom** für einen **dreipoligen Kurzschluss** an der Sammelschiene BBA ab, wenn entweder aus dem Haupt- oder aus dem Reservenetz gespeist wird. Nehmen sie dazu an, dass die Kurzschlussleistung des Haupt- bzw. Reservenetzes unendlich groß ist.

Gerechnet mit  $c = 1,1$

$$I_k^* = 33,890 \text{ kA} \quad (2.4)$$

- d. Berechnen Sie die **Resistanz** und die **Reaktanz** des anlaufenden Motors.

$$R_A = 0,098 \ \Omega \quad (2.5)$$

$$X_A = 0,538 \ \Omega \quad (2.6)$$

- e. Schätzen Sie den **Spannungseinbruch** an der Sammelschiene BBA ab, wenn alle anderen Lasten abgeschaltet sind und der Motor für die Kesselspeisepumpe anläuft. Vor Zuschaltung des Motors wird dabei die Spannung an der Sammelschiene BBA über den Stufensteller des speisenden Trafos auf 108% geregelt. Vernachlässigen Sie dazu den resistiven Anteil der Trafoimpedanz.

$$u_{BBA} = 0,851 \quad (2.7)$$

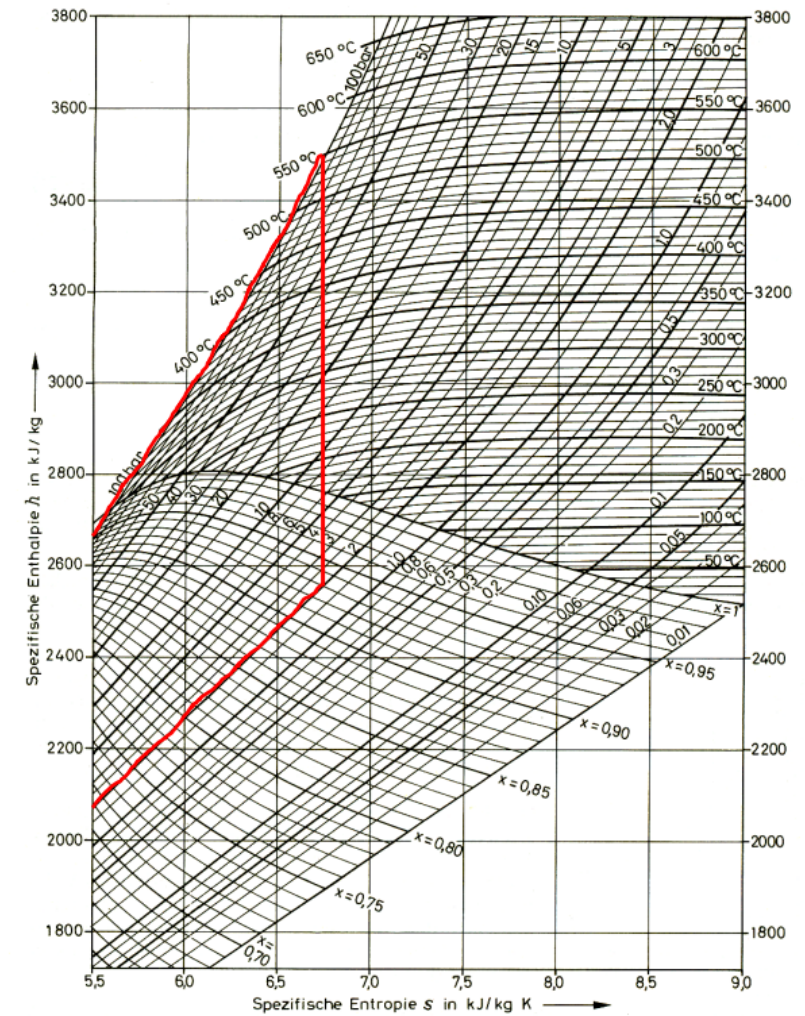
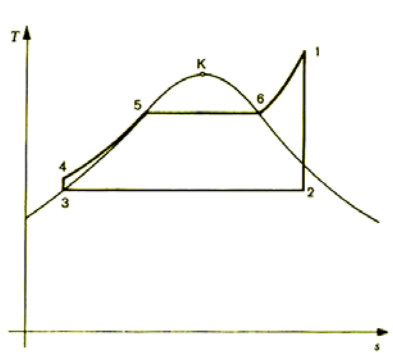
Die Spannung bricht von 108% auf 85,1%.

3. Heizkraftwerk

i. Bestimmen Sie den **Gesamt-Wirkungsgrad** des Gegendruck-Heizkraftwerkes (inkl. Fernwärmeauskopplung).

$$\eta_{HKW} = 0,748 \quad (3.1)$$

j. Zeichnen Sie in das **Mollier-Diagramm** den Arbeitsprozess ein, soweit er im Wertebereich des vorgegebenen Diagramms liegt und skizzieren Sie das **T,s-Diagramm** des Kreisprozesses.



k. Welche Kohlemenge in t/h, unter Berücksichtigung des Heizwerts von 33 MJ/kg, ist für eine **Heizleistung des Fernheizkreises von 200 MW** erforderlich?

$$P_{th} = 43,034 \frac{t}{h} \quad (3.2)$$

l. Welche **elektrische Leistung** kann unter Berücksichtigung der Kohlemenge aus Punkt c) produziert werden?

$$P_{el} = 95,069 \text{ MW} \quad (3.3)$$

m. Welcher **Massestrom im Fernheizkreis** ist erforderlich, damit bei einer Vorlauftemperatur von 110°C und einer Rücklauftemperatur von 65 °C die Heizleistung aus Punkte c.) ausgekoppelt werden kann (Spezifische Wärmekapazität von Wasser ist  $c = 4,18 \text{ kWs/kgK}$ )?

$$\dot{m} = 1063,264 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (3.4)$$

n. Bestimmen Sie den Gesamt-Wirkungsgrad des Kondensations-Kraftwerkes im Fall dass keine Fernwärmeauskopplung stattfindet und die Dampfturbine auf einen Kondensationsdruck von 0,1 bar abgearbeitet wird.

$$\eta_{\text{KW}} = 0,312 \quad (3.5)$$

#### 4. Kohlekraftwerk mit Entschwefelung

a. Welche **Brennstoffzufuhr** ist für das Fahren unter Nennleistung notwendig?

$$\dot{m}_{\text{Kohle}} = 23,333 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (4.1)$$

b. Welche **Volllaststundenzahl** ergibt sich im Durchschnitt?

$$t_{\text{Vollast}} = 4761,973 \text{ h} \quad (4.2)$$

c. Welcher **Schwefelmassenstrom** ergibt sich im Abgas bei Nennleistung?

$$\dot{m}_s = a_s \cdot \dot{m}_{\text{Kohle}} = 0,01 \cdot 23,333 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 0,233 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (4.3)$$

d. Welche **Gipsmenge** und **Volumen** fällt pro Stunde bei Volllast an ( $\rho_{\text{Gips}} = 2,3 \text{ t/m}^3$ )?

$$\dot{m}_{\text{gips}} = 4057,695 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (4.4)$$

$$\dot{V}_{\text{gips}} = 1,764 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (4.5)$$

e. Wie viele **LKW-Fahrten** sind **pro Jahr** nötig, um die, bei oben angegeben Jahresbedarf an Steinkohle, anfallende Gipsmenge abzutransportieren (Nutzlast eines LKW = 20t)?

$$\text{Fahrten} \approx 967 \text{ LKW} \quad (4.6)$$