

Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Kraftwerke am 24.06.2015

Hinweis: Bei den Berechnungen wurden alle Zwischenergebnisse in der technischen Notation¹ (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. Stirlingmotor

a. Wie groß ist die erforderliche **untere Temperatur**?

$$T_1 = 338,517 \text{ K} \quad (1.1)$$

b. Wie groß sind der erforderliche **Volumenstrom in Punkt 3** und die erforderliche **obere Temperatur**?

$$\begin{aligned} \dot{V}_3 &= 0,005 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \\ T_3 &= 735,15 \text{ K} \end{aligned} \quad (1.2)$$

c. Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad**?

$$\eta_{th} = 0,54 \quad (1.3)$$

d. Wie groß ist das **Arbeitsverhältnis**?

$$r_w = 0,422 \quad (1.4)$$

e. Wie groß ist die **Wellenleistung**?

$$P_{Welle} = -P_{st} = 7,974 \text{ kW} \quad (1.5)$$

f. Wie groß ist die **Heizleistung des Kühlwasserkreislaufs (P_{ab})**?

$$P_{ab} = -6,806 \text{ kW} \quad (1.6)$$

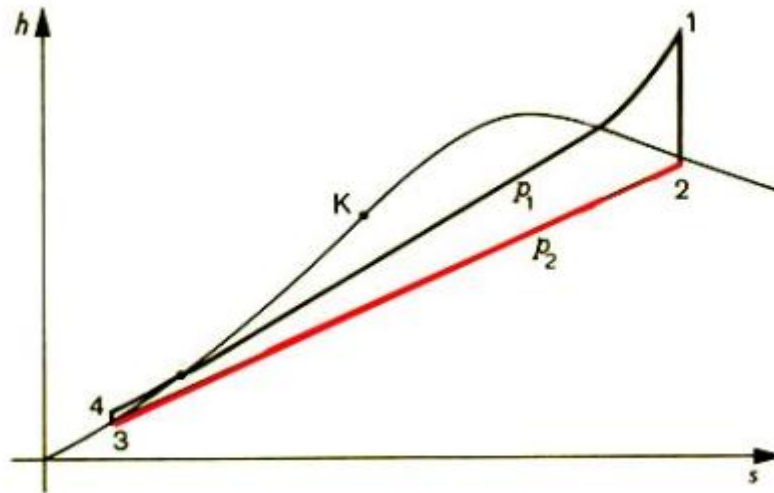
g. Wie **viele Pole** soll der verwendete Generator aufweisen, wenn das Volumen vor der Verdichtung 3,5l beträgt?

$$p = 10 \quad (1.7)$$

¹ http://de.wikipedia.org/wiki/Wissenschaftliche_Notation

2. Heizkraftwerk

- a. Zeichnen Sie das **h-s Diagramm** des Dampfkreisprozesses und **kennzeichnen** Sie jeweils den **Bereich** der **Fernwärmeentnahme** und beschriften Sie die **thermodynamisch relevanten Punkte**.



- b. Bestimmen Sie den **Druck**, die **Enthalpie** und die **Entropie** für alle thermodynamisch relevanten Punkte des Kreisprozesses.

Zustand 2:

$$p_2 = 1 \text{ bar} \quad (2.1)$$

$$h_2 = 2562 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (2.2)$$

$$s_2 = 7,056 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad (2.3)$$

Zustand 1:

$$p_1 = 100 \text{ bar} \quad (2.4)$$

$$h_1 = 3748,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (2.5)$$

$$s_1 = 7,056 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad (2.6)$$

oder mittels Dampftabelle:

$$s_1 = 7,0409 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad (2.7)$$

Zustand 3:

$$p_3 = 1 \text{ bar} \quad (2.8)$$

$$h_3 = 417,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (2.9)$$

$$s_1 = 1,303 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad (2.10)$$

Zustand 4:

$$p_4 = 100 \text{ bar} \quad (2.11)$$

$$h_4 = 427,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (2.12)$$

$$s_4 = 1,303 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad (2.13)$$

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

$$\eta_{ges} = 0,711 \quad (2.14)$$

d. Welche **elektrische Leistung** kann mit der der Kohlemenge von **99 536 kg/h** produziert werden?

$$P_{el} = 249,9 \text{ MW} \quad (2.15)$$

e. Welche **thermische Heizleistung des Fernheizkreises** kann mit der Kohlemenge aus c) ausgekoppelt werden?

$$P_{Heiz} = 398,8 \text{ MW} \quad (2.16)$$

f. Welcher **Massestrom im Fernheizkreis** ist erforderlich, damit bei einer Vorlauftemperatur von 95°C und einer Rücklauftemperatur von 50 °C eine Heizleistung von **450MW** ausgekoppelt werden kann? (Spezifische Wärmekapazität von Wasser ist $c_p = 4,18 \text{ kWs/kgK}$)

$$\dot{m} = 2392 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (2.17)$$

3. Eigenbedarfsnetz eines Kraftwerkes

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

$$S_{mM} = 10,526 \text{ MVA} \quad (3.1)$$

$$I_{mM} = 1,013 \text{ kA} \quad (3.2)$$

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

$$I_A = 5,571 \text{ kA} \quad (3.3)$$

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 $c = 1,1$

$$I_k'' = 33,23 \text{ kA} \quad (3.4)$$

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

$$R_A = 0,112 \ \Omega \quad (3.5)$$

$$X_A = 0,612 \ \Omega \quad (3.6)$$

e. Schätzen Sie den **Spannungseinbruch** an der Sammelschiene BBA ab, wenn alle anderen Lasten abgeschaltet sind und der Motor für die Kesselspeispumpe 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.

$$\underline{U}_{ABB} = (5,117 - j0,196) \text{ kV} \quad (3.7)$$

$$u_{BBA} = 0,854 \quad (3.8)$$

Die Spannung bricht von 108% um 22,6% auf 85,4% ein, also damit um 14,6% unter 100%.

4. Vergleich Kohlekraftwerke und GuD

a. Welche **Brennstoffzufuhr** [in kg/s] ist für das Fahren unter Nennleistung pro Stunde notwendig?

$$\dot{m}_{\text{Brennstoff}} = 22,727 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 8182 \text{ kg/h} \quad (4.1)$$

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

$$T_m = 6107 \text{ h/a} \quad (4.2)$$

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

$$\dot{m}_C = 20,682 \text{ kg/s} \quad (4.3)$$

$$\dot{m}_S = 0,227 \text{ kg/s} \quad (4.4)$$

d. Welcher **Kohlendioxid**ausstoß (CO_2) erfolgt bei Nennleistung?

$$\dot{m}_{\text{CO}_2\text{-Kohle}} = 75,833 \text{ kg / s} \quad (4.5)$$

e. Welcher **Kohlendioxid**ausstoß (CO_2) erfolgt bei diesem Kraftwerk bei Nennleistung?

$$\dot{m}_{\text{CO}_2\text{-Gas}} = 40,394 \text{ kg / s} \quad (4.6)$$

f. Wie ist das **Verhältnis der** CO_2 - Emissionen der beiden Kraftwerke?

$$\frac{\dot{m}_{\text{CO}_2\text{-Gas}}}{\dot{m}_{\text{CO}_2\text{-Kohle}}} = 0,533 \quad (4.7)$$