

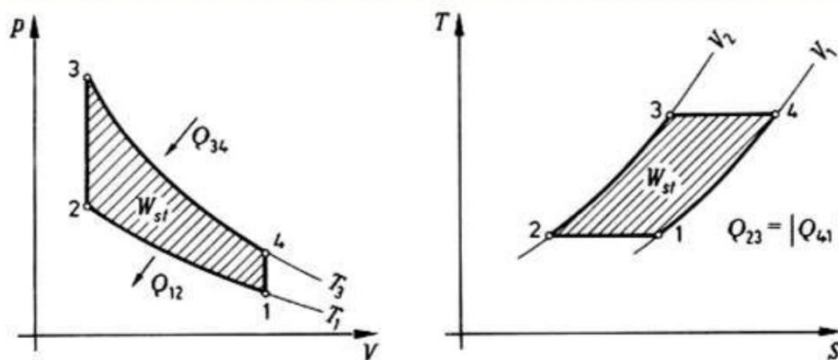
Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Kraftwerke am 08.03.2017

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. Skizzieren Sie das **pV-** und das **TS-Diagramm** und beschriften Sie die relevanten Punkte.



- 1 – 2: Isotherme Kompression
- 2 – 3: Isochore innere Wärmezufuhr von einem Regenerator
- 3 – 4: Isotherme Expansion
- 4 – 1: Isochore innere Wärmeabfuhr an den Regenerator

b. Welcher **Massenstrom** wird im Motor bewegt?

$$\dot{m} = 47,2555 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (1.1)$$

c. Wie groß ist die erforderliche **obere Temperatur**?

Über die Wellenleistung lässt sich das obere Temperaturniveau ermitteln:

$$T_3 = 737,93 \text{ K (464,78}^\circ\text{C)} \quad (1.2)$$

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

$$\eta_{th} = 57,564\% \quad (1.3)$$

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

$$r_w = 0,432 \quad (1.4)$$

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

f. Welches Niveau müsste die **obere Temperatur** unter sonst gleichen Bedingungen mindestens haben, damit der thermische Wirkungsgrad nicht unter 50% fällt?

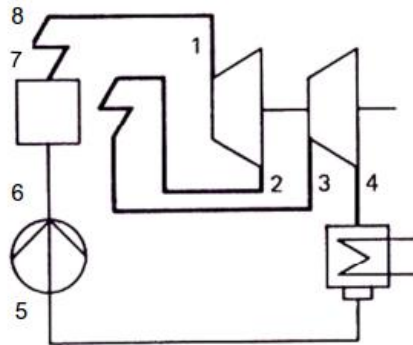
$$T_3 = 626,3 \text{ K (353,15}^\circ\text{C)} \quad (1.5)$$

g. Wie groß ist die **Heizleistung** des Kühlwasserkreislaufs (1 – 2)?

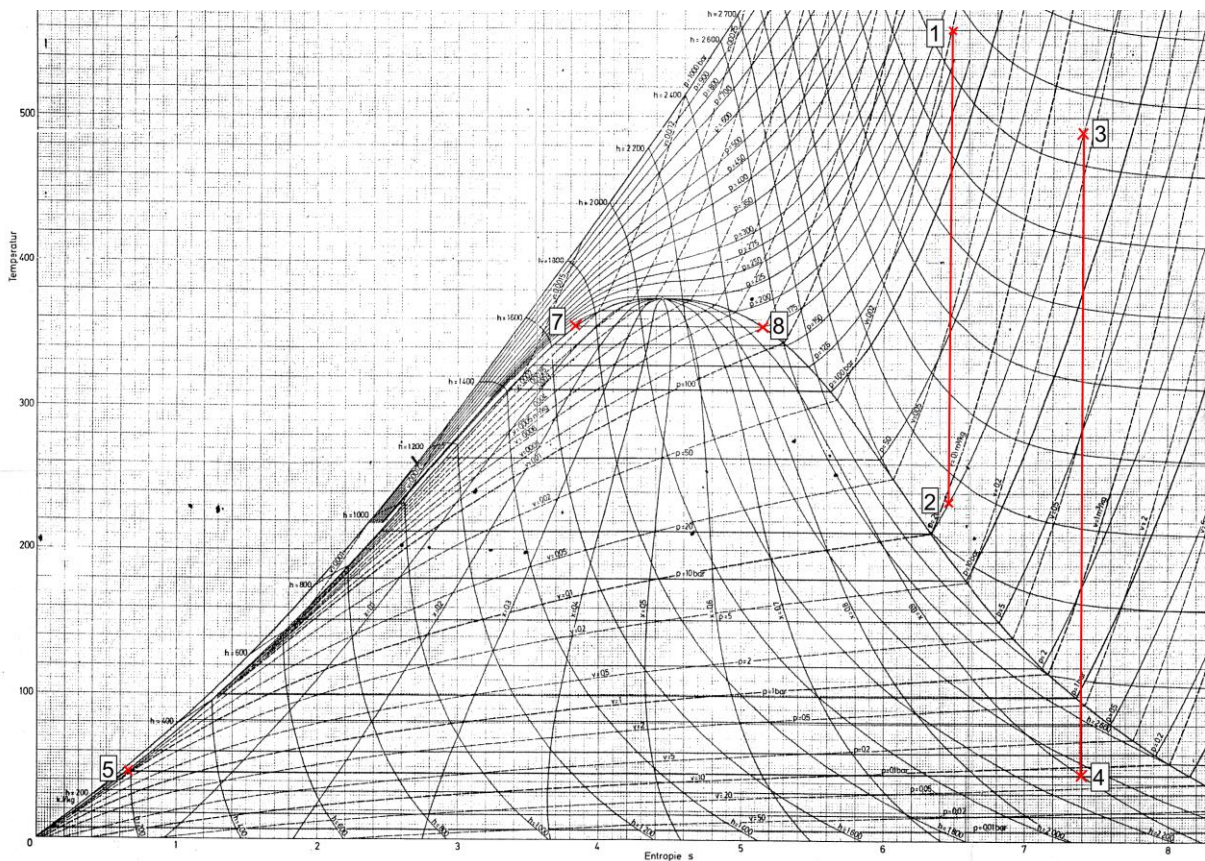
$$-P_{\text{Heiz}} = \dot{W}_{12} = 7,372 \text{ kW} \quad (1.6)$$

2. Dampfkraftwerk

a. Zeichnen Sie ein **Ersatzschaltbild** des **Dampfkreisprozesses** und beschriften Sie die thermodynamisch relevanten Punkte.



b. Zeichnen Sie in das **T,s-Diagramm** die thermodynamischen Zustände nach der Niederdruckturbine und vor der Speisewasserpumpe ein.



c. Wie hoch ist der **Druck** nach der **Speisewasserpumpe**?

$$p_6 = 174,998 \text{ bar} \quad (2.1)$$

d. Wie hoch ist die **Temperatur** nach der Vorwärmung des Wassers?

Aus Tabelle mittels Interpolation oder Diagramm:

$$T_7 = 354,567^\circ\text{C} \quad (2.2)$$

e. Der Dampfstrom wird in der Hochdruckturbine so entspannt das sich danach eine Temperatur von 232°C einstellt. Bestimmen Sie den **Druck** nach der Hochdruckturbine.

Aus dem Diagramm kann durch zeichnen der Isentrope bis zu der Temperatur von 232°C der Druck von 20 bar abgelesen werden.

f. Welche **Temperatur** herrscht nach der Zwischenüberhitzung?

Punkt 3 wird aus dem Diagramm durch den Schnittpunkt der Isobaren (bei 20bar) und der Isentropen der thermodynamischen Zustandsänderung 3-4 gewonnen. Temperatur im Punkt 3: 490°C.

g. Wie groß ist die spezifische **Arbeit** des **Zwischenüberhitzers**?

$$w_{23} = 566,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (2.3)$$

h. Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad** des Kraftwerkes?

$$\eta = 43,46\% \quad (2.4)$$

3. Eigenbedarf eines Wärmekraftwerks

- a. Wie groß ist der **Gesamtkurzschlussstrom** für einen **dreipoligen Kurzschluss** an der Sammelschiene B?

$$I_{KT}'' = 4,797 \text{ kA} \quad (3.1)$$

- b. Wie groß ist der Spannungseinbruch an der Sammelschiene B beim Anlauf des Motors?

$$u_{BA} = \frac{U_{BA}}{U_{NB}} = 0,747 \rightarrow \text{Einbruch um } 25,3\% \quad (3.2)$$

- c. Wie groß darf die **bezogene Kurzschlussspannung** des **Transformators** höchstens sein, damit beim Anlauf des Motors der Spannungseinbruch an der Sammelschiene C unter 14,4% bleibt?

$$u_k = 0,0198 \approx 2 \% \quad (3.3)$$

- d. Wie viele Transformatoren gleichen Typs müssten zum vorhandenen Transformator parallel geschaltet werden damit der Spannungseinbruch an der Sammelschiene B 14,4% nicht überschreitet?

$$\begin{aligned} Z_{T//} &= Z_{T14,4\%} = 0,176 \Omega \\ \frac{Z_T}{x} &= Z_{T14,4\%} \rightarrow x = \frac{Z_T}{Z_{T14,4\%}} = 3,03 \end{aligned} \quad (3.4)$$

Es müssten noch zwei Transformatoren zum vorhanden Transformator parallel geschaltete werden. Der Spannungsabfall liegt in der vorgegebenen Größenordnung wenn insgesamt drei Transformatoren parallel geschaltet werden.

- e. Es soll beim Anlauf des Motors automatisch eine Kondensatorbatterie an der Sammelschiene B zugeschaltet werden. Wie groß muss der Kapazitätswert ausgelegt werden, damit der Spannungseinbruch 15% nicht überschreitet?

$$C = 0,729 \text{ mF} \quad (3.5)$$

4. Verbrennung im Gaskraftwerk

a. Wie groß sind die **thermische Kesselleistung** und der notwendige **Brennstoffvolumenstrom**?

$$P_{th} = 384,615 \text{ MW} \quad (4.1)$$

$$\dot{V}_{CH_4} = 10,743 \frac{m^3}{s} \quad (4.2)$$

b. Welcher **Mindestluftvolumen** ist bei stöchiometrischer Verbrennung erforderlich?

$$\dot{V}_{Luft,min} = 102,251 \frac{m^3}{s} \quad (4.3)$$

c. Welches **Luftvolumen pro Sekunde** ist erforderlich, wenn der Kessel mit einer Luftüberschusszahl von $\lambda=1,8$ betrieben wird?

$$\dot{V}_{Luft} = 184,051 \frac{m^3}{s} \quad (4.4)$$

d. Welcher **Abgasstrom** entsteht und wie groß sind die **Masseanteile der einzelnen Komponenten**?

$$\dot{m}_{CO_2} = 21,076 \frac{kg}{s} \quad (4.5)$$

$$\dot{m}_{H_2O} = 17,244 \frac{kg}{s} \quad (4.6)$$

$$\dot{m}_{O_2,\lambda} = 24,525 \frac{kg}{s} \quad (4.7)$$

$$\dot{m}_{N_2,\lambda} = 3,153 \frac{kg}{s} \quad (4.8)$$

$$\dot{m}_{Abgas} = 65,998 \frac{kg}{s} \quad (4.9)$$

e. Berechnen Sie die Stromkennzahl und den Gesamtwirkungsgrad des Entnahme-Kraftwerks bei einer Auskopplung von 100MW thermischer Leistung und gleichbleibender elektrischer Leistung.

$$s = 1,5 \quad (4.10)$$

$$\eta_{ges} = 65\% \quad (4.11)$$