

Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Kraftwerke am 10.10.2017

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. Carnot Prozess (25 Punkte)

a. Wie groß ist die Masse m die den Prozess durchläuft?

$$m = 1,169 \text{ kg} \quad (1.1)$$

b. Leiten Sie allgemein mithilfe der Beziehung $\kappa = \frac{dH}{dU} = \frac{Vdp}{-pdV}$ und $\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}$ eine Gleichung für $T_1 = f(T_2, p_1, p_2)$ für die **isentrope Zustandsänderung** ($dS = dQ = 0$) her.

$$\frac{dH}{dU} = \frac{Vdp}{-pdV} = \kappa$$

$$-\kappa \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} = \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (1.2)$$

$$\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^\kappa = \frac{p_1}{p_2}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2} \cdot \frac{T_2}{T_1} \quad (1.3)$$

$$\left(\frac{p_1}{p_2} \cdot \frac{T_2}{T_1}\right)^\kappa = \frac{p_1}{p_2}$$

$$T_1 = T_2 \cdot \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad (1.4)$$

c. Bestimmen Sie alle fehlenden thermodynamischen Zustandsgrößen des Carnot Prozesses (Temperatur, Druck und Volumen).

$$T_1 = 644,763 \text{ K} \quad (1.5)$$

$$p_4 = 3,496 \cdot 10^5 \text{ Pa} \quad (1.6)$$

$$p_2 = 14,872 \cdot 10^5 \text{ Pa} \quad (1.7)$$

$$V_4 = 0,286 \text{ m}^3 \quad (1.8)$$

$$V_2 = 0,145 \text{ m}^3 \quad (1.9)$$

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

d. Wie groß ist die Wärmeabfuhr Q_{34} ?

$$-W_{34} = Q_{34} = -Q_{ab} = -125,214 \text{ kJ} \quad (1.10)$$

e. Wie groß ist die Verdichtungsarbeit W_{41} ?

$$W_{41} = 290,724 \text{ kJ} \quad (1.11)$$

f. Wie groß ist die **zugeführte Wärme** Q_{12} ?

$$-W_{12} = Q_{zu} = 270,104 \text{ kJ} \quad (1.12)$$

g. Wie groß ist die abgegebene Nutzarbeit?

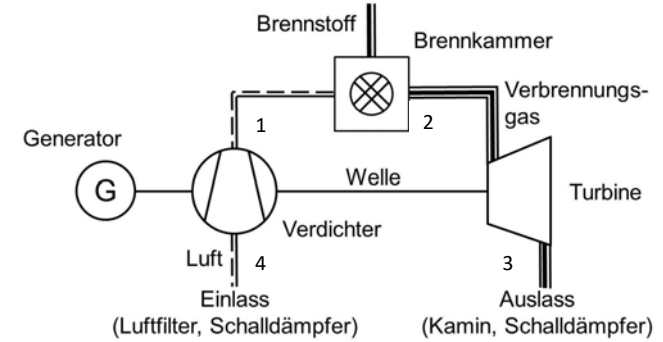
$$W_{id} = 144,89 \text{ kJ} \quad (1.13)$$

h. Wie groß ist der thermische Wirkungsgrad (Carnot Faktor)?

$$\eta = 0,538 \quad (1.14)$$

2. Gasturbine

a. Zeichnen Sie das **Ersatzschaltbild** eines offenen Gasturbinen-Prozess und **beschriften** Sie die Symbole und die thermodynamisch relevanten Punkte.



b. Wie hoch sind die **Temperaturen T_2 und T_4** (maximale Prozesstemperatur und Ansaugtemperatur)?

$$p \cdot V = 1072,927 \text{ K} \quad (1.15)$$

$$p \cdot V = 93,136 \text{ K} \quad (1.16)$$

c. Wie hoch sind die **Temperaturen T_3 und T_1** (nach dem Verdichter und nach der Turbine)

$$T_3 = 615,338 \text{ K} \quad (1.17)$$

$$T_1 = 511,123 \text{ K} \quad (1.18)$$

d. Wie groß ist die **spezifische Verdichterarbeit** w_{i41} /m, die dem Verdichter bei keinerlei Verlusten zugeführt werden muss?

$$w_{i41} = 221,257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (1.19)$$

e. Wie groß ist die **spezifische Turbinenarbeit** w_{i23} /m?

$$w_{i23} = -464,453 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (1.20)$$

f. Wie groß ist die **spezifische Nutzarbeit**?

$$w_{i41} = 243,196 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (1.21)$$

g. Wie groß sind der **thermische Wirkungsgrad** und das **Arbeitsverhältnis**?

$$\eta_{th} = 0,426 \quad (1.22)$$

$$r_w = 0,524 \quad (1.23)$$

h. Wie hoch ist der **Gasdurchsatz in kg/s** durch die Turbine wenn 200MW elektrischer Leistung erzeugt werden sollen? Der Generatorwirkungsgrad beträgt 98%.

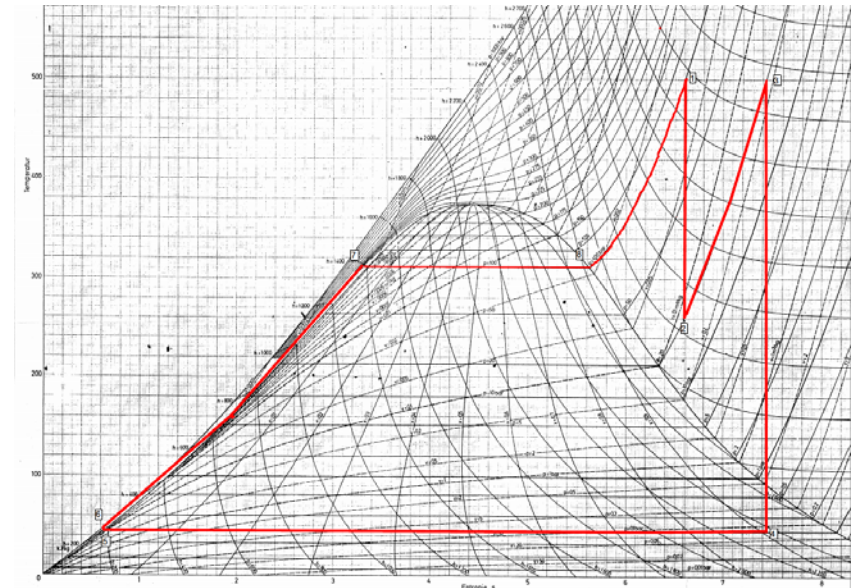
$$\dot{m} = 839,165 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (1.24)$$

3. Auslegung eines Dampfkraftwerks

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

Nr.	Komponente	Temperatur danach	Druck danach
5	Kondensator	45,81° C	0,1 bar
6	Speiswasserpumpe	46,135 ° C	100bar
7	Vorwärmer	311 ° C	100bar
8	Verdampfer	311 ° C	100bar
1	Überhitzer	500° C	100bar
2	Hochdruckturbine		20 bar
3	Zwischenüberhitzer	500° C	20 bar
4	Niederdruckturbine	45,81° C	0,1 bar

b. Tragen Sie die **Punkte 1–8** aus obiger Tabelle in das beiliegende **T-s Diagramm** ein. **Vervollständigen** Sie anschließend das T-s Diagramm.



c. Berechnen Sie den **Dampfgehalt** in % vor dem Kondensator.

$$x = 0,905 \quad (1.25)$$

d. Berechnen Sie die spezifische **Arbeit** zur Verdichtung durch die **Speiswasserpumpe**.

$$w_{s6} = 10,093 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (1.26)$$

e. Berechnen sie den **Wirkungsgrad** des Kreisprozesses mit Zwischenüberhitzung.

$$\eta = 42,1 \% \quad (1.27)$$

f. 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.

$$\dot{m}_{\text{SpWasser}} = 654466 \frac{\text{t}}{\text{h}} \quad (1.28)$$

4. CO₂ Vergleich

a. Wie groß sind die **stündlichen Kohlendioxidausstöße** beider Kraftwerke?

KW1:

$$\dot{m}_{\text{CO}_2} = 65,74 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (1.29)$$

KW2:

$$\dot{m}_{\text{CO}_2} = 42,38 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (1.30)$$

b. Wie groß ist die zu deckende **thermische Last**?

$$Q = 102,3 \text{ MW} \quad (1.31)$$

c. Welche **Brennstoffzufuhr** ist für die elektrische und thermische Energieerzeugung notwendig? Wie groß ist der **Gesamtwirkungsgrad** des Kraftwerks?

$$\dot{m}_{\text{Kohle}} = 3,617 \frac{\text{t}}{\text{h}} \quad (1.32)$$

$$\eta_{\text{ges}} = 0,733 \quad (1.33)$$

d. Wie groß ist der **jährliche Kohlendioxidausstoß** des Kohlekraftwerks (bei der Fahrweise aus Punkt c.)), wenn die Vollaststundendauer des Kraftwerks 6000h/a beträgt??

$$m_{\text{CO}_2} = 709,95 \cdot 10^3 \frac{\text{t}}{\text{a}} \quad (1.34)$$

e. 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.

$$\dot{m}_{\text{gips}} = 806,903 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (1.35)$$

$$\dot{V}_{\text{gips}} = 0,786 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (1.36)$$