

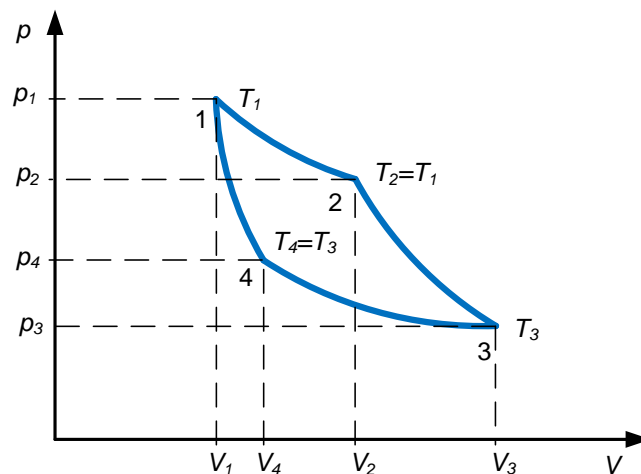
Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Kraftwerke am 02.03.2016

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. Rechtsdrehender Carnot-Prozess

a. Skizzieren Sie das pv-Diagramm des Carnot-Prozesses und beschriften Sie alle relevanten thermodynamische Zustandspunkte.



- Isotherme Expansion (1-2)
- Isentrope Expansion (2-3)
- Isotherme Kompression (3-4)
- Isentrope Kompression (4-1)

b. Wie groß ist das Gasvolumen im Punkt 3?

$$V_3 = 0,856 \text{ m}^3 \quad (1.1)$$

c. Wie groß sind Volumen V_4 und Druck p_4 ?

$$V_4 = 0,225 \text{ m}^3 \quad (1.2)$$

$$p_4 = 3,8 \text{ bar} \quad (1.3)$$

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

$$-W_{34} = Q_{34} = -114,235 \text{ kJ} \quad (1.4)$$

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

$$W_{41} = 232,786 \text{ kJ} \quad (1.5)$$

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

f. Wie groß ist der zugeführte Wärmebetrag?

$$-W_{12} = Q_{zu} = 242.528 \text{ kJ} \quad (1.6)$$

g. Wie groß ist die abgegebene Nutzarbeit?

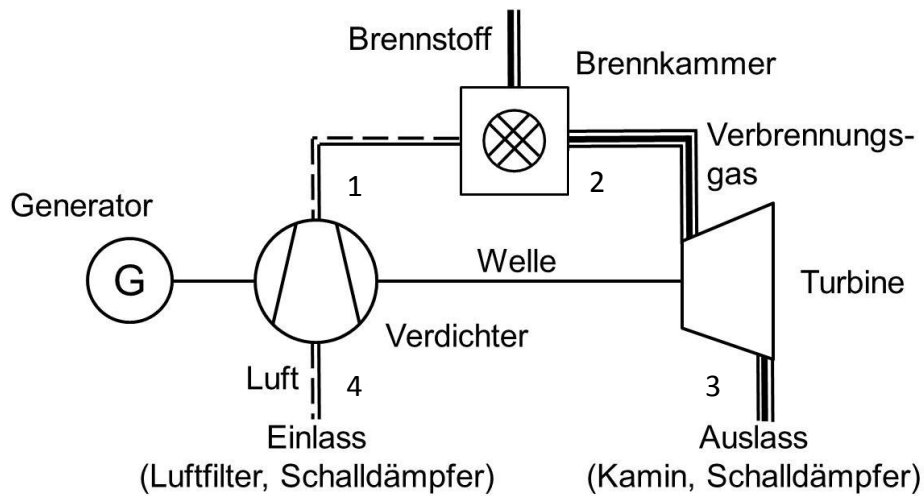
$$W_{id} = 28,293 \text{ kJ} \quad (1.7)$$

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

$$\eta_c = 0,52 \quad (1.8)$$

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)?

$$T_2 = 1072,927 \text{ K} \tag{1.9}$$

$$T_4 = 293,136 \text{ K} \tag{1.10}$$

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

$$T_3 = 615,338 \text{ K} \tag{1.11}$$

$$T_1 = 511,123 \text{ K} \tag{1.12}$$

d. Wie groß ist die **spezifische Verdichterarbeit W_{41}/m** , die dem Verdichter bei keinerlei Verlusten zugeführt werden muss?

$$w_{t41} = W_{t41} / m = 221,257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \tag{1.13}$$

e. Wie groß ist die **spezifische Turbinenarbeit W_{23}/m** ?

$$w_{t23} = W_{t23} / m = -464,453 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \tag{1.14}$$

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

$$w_{id} = W_{id} / m = 243,196 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \tag{1.15}$$

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

$$\eta_{th} = 0,426 \tag{1.16}$$

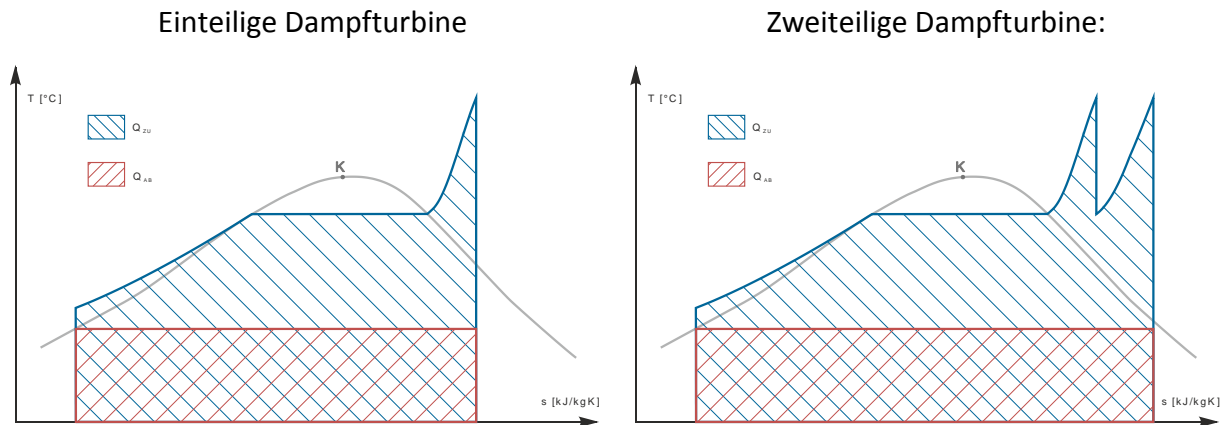
$$r_w = 0,524 \tag{1.17}$$

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

$$\dot{m} = 839,165 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (1.18)$$

3. Auslegung eines Dampfkraftwerks

a. Skizzieren Sie das **T,s-Diagramm** des Kreisprozesses für beide Auslegungsvarianten und **kennzeichnen** Sie für beide Fälle jeweils die **Fläche der Wärmezufuhr und Wärmeabgabe** ein!



b. Wie groß ist die **Dampfnässe** in % vor dem Kondensator im Fall der **einteiligen** und der **zweiteiligen** Ausführung der Dampfturbine?

Aus dem Mollier-Diagramm ist ersichtlich, dass der Dampfgehalt vor dem Kondensator der einteiligen Turbine ca. 86% beträgt und der Dampfgehalt vor dem Kondensator der zweiteiligen Turbine ca. 97,2 % beträgt. Die Dampfnässe ergibt sich dementsprechend zu:

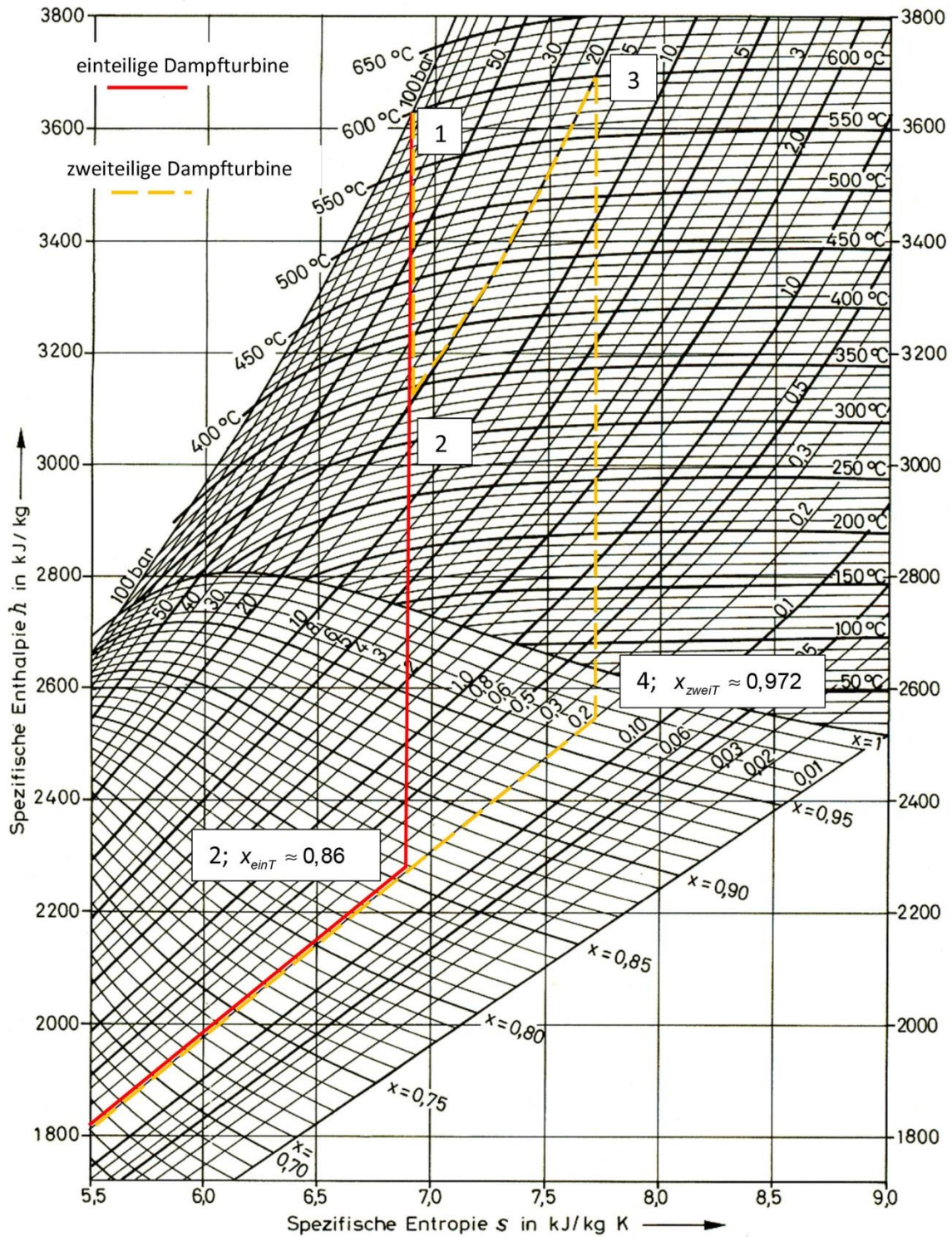
Dampfnässe einteiliger Turbine:

$$1 - x_{einT} = 1 - 0,86 = 0,14 \quad [14\%]$$

Dampfnässe zweiteiliger Turbine:

$$1 - x_{zweiT} = 1 - 0,972 = 0,028 \quad [2,8\%]$$

(1.19)



c. Wie groß ist der **Wirkungsgrad** des Dampfkraftwerks für **beide Auslegungsvarianten**?

Einteilige Dampfturbine:

$$\eta = 0,397 \quad (1.20)$$

Zweiteilige Dampfturbine:

$$\eta = 0,419 \quad (1.21)$$

d. **Zeichnen** Sie in das beiliegende h-s Diagramm die **beiden Arbeitsprozesse** ein, soweit diese im Wertebereich des vorgegebenen Diagramms liegen.

Siehe das Mollier-Diagramm aus Punkt b.

e. 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.

$$\dot{m}_{sp} = 171,828 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 618580,8 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (1.22)$$

f. Welche **elektrische Leistung** kann mit dieser Dampfmenge erzielt werden? Der Generatorwirkungsgrad beträgt 98%.

$$P_{el} = 276,199 \text{ MW} \quad (1.23)$$

4. Abgasstrom eines Kohlekraftwerks

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

$$\dot{m}_{\text{Brennstoff}} = 67,091 \frac{\text{t}}{\text{h}} \quad (1.24)$$

b. Welcher **Volumenstrom** ergibt sich für Punkt a.?

$$\dot{V}_{\text{Brennstoff}} = 49,697 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (1.25)$$

c. Welcher wasser- und aschefreier **Massen- und Volumenstrom** der Brennstoffkomponenten ergibt sich bei Nennleistung?

$$\begin{aligned} \dot{V}_{\text{wasserundaschefrei}} &= 45,423 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \\ \dot{m}_{\text{wasserundaschefrei}} &= 17,034 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \end{aligned} \quad (1.26)$$

d. Bestimmen Sie die **Massenströme der Abgaskomponenten**.



$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{wasserundaschefrei}} &= m_w \\ \dot{m}_{\text{CO}_2} &= 2,9 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \\ \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} &= 8,278 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \\ \dot{m}_{\text{SO}_2} &= 0,307 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \end{aligned} \quad (1.28)$$

$$\frac{\dot{m}_{\text{O}_2}}{32} = 1,379 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (1.29)$$

$$\dot{m}_{\text{N}_2\lambda} = 145,206 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (1.30)$$

e. Bestimmen Sie die **Verbrennungstemperatur**.

$$\Delta T = 2627,777 \text{ K} \quad (1.31)$$