

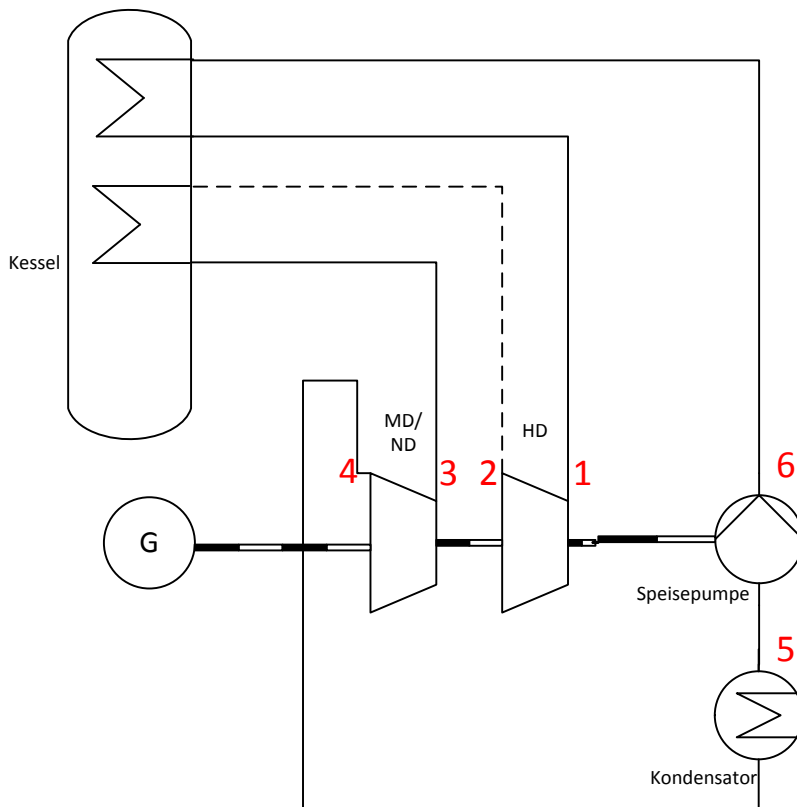
Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Kraftwerke am 23.11.2016

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.

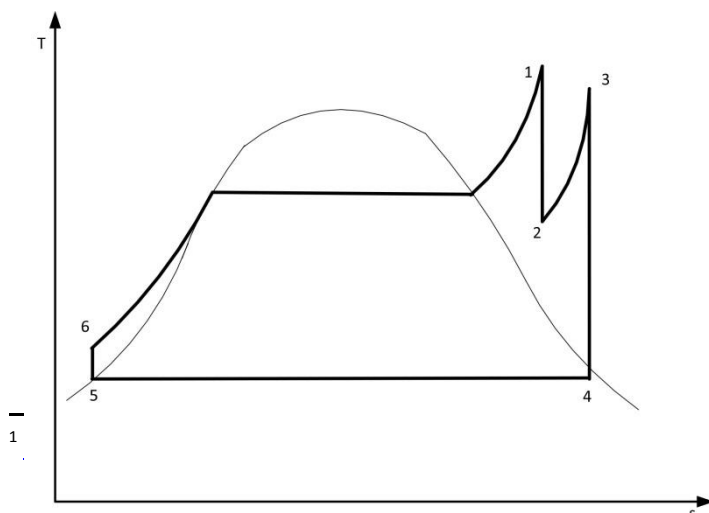
Abhängig vom Rechenweg kann es aber dennoch zu leicht abweichenden Ergebnissen kommen!

1. Dampfkraftwerk

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



b. Skizzieren Sie das **T,s-Diagramm** mit dem Kreisprozess und entsprechender Nummerierung aus a).



- 6-1: isobare Wärmezufuhr
- 1-2: isentrope Entspannung
- 2-3: isobare Wärmezufuhr
- 3-4: isentrope Entspannung
- 4-5: isobare Wärmeabfuhr
- 5-6: isentrope Verdichtung

c. Wie hoch ist die **Temperatur nach dem Zwischenüberhitzer mindestens** um ein **x** von **0,90** nicht zu unterschreiten?

$$T_{3\min} = 430^{\circ}\text{C} \quad (1.1)$$

d. Aus Sicherheitsgründen wird die **Temperatur nach dem Zwischenüberhitzer auf 500°C** festgelegt. Welche **Dampftemperaturen** stellen sich am Austritt der **beiden Turbinenteile** ein und welches **x** ergibt sich **nach der ND-Turbine**?

$$T_2 = 330^{\circ}\text{C} \quad (1.2)$$

$$T'_3 = 500^{\circ}\text{C} \quad (1.3)$$

$$x = 0,93 \quad (1.4)$$

e. Berechnen Sie die spezifische **Arbeit** zur Verdichtung durch die **Speisewasserpumpe**.

$$w_{56} = 9,99 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (1.5)$$

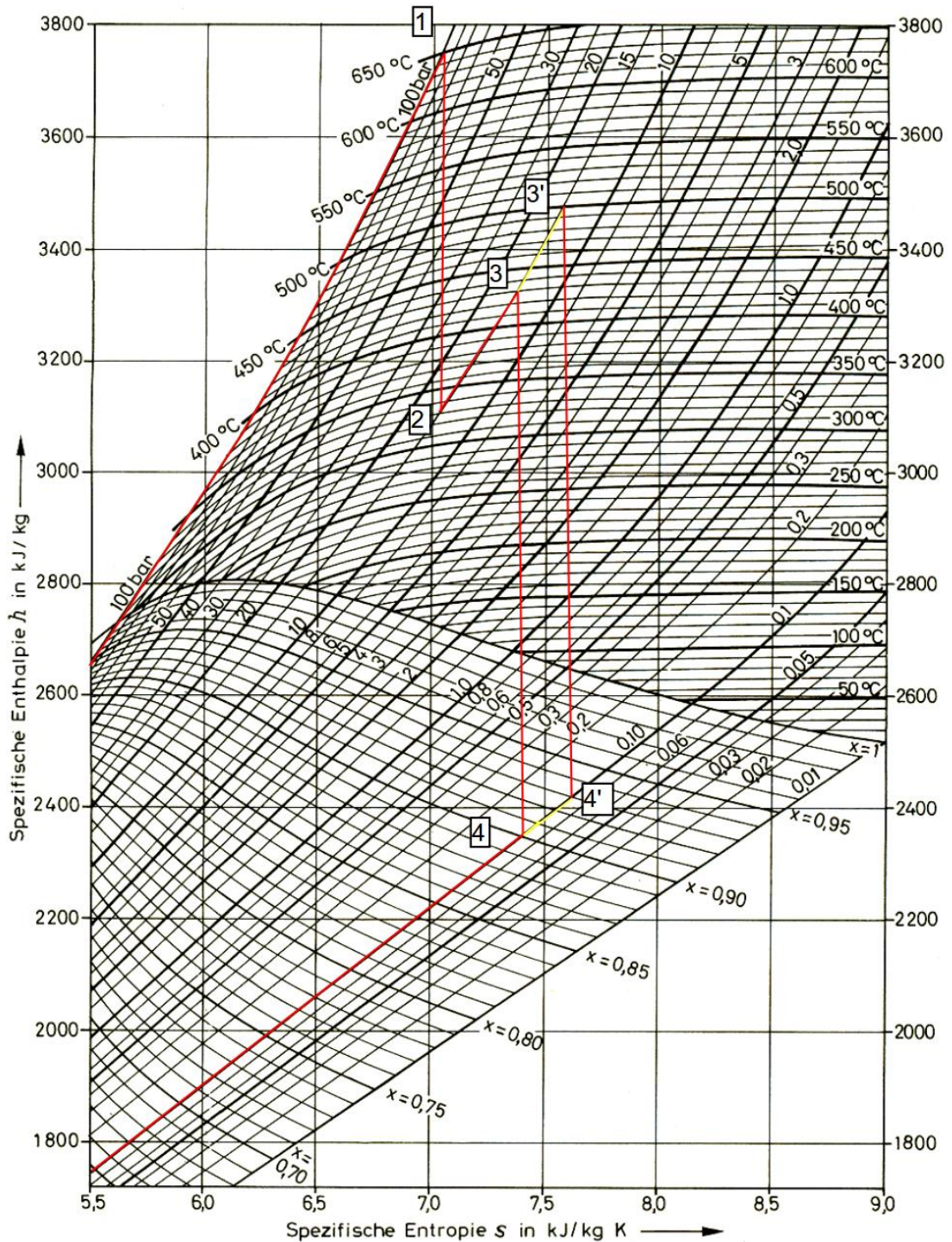
f. Wie groß ist die spezifische **Arbeit** des **Zwischenüberhitzers**?

$$w_{23} = 357,82 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (1.6)$$

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

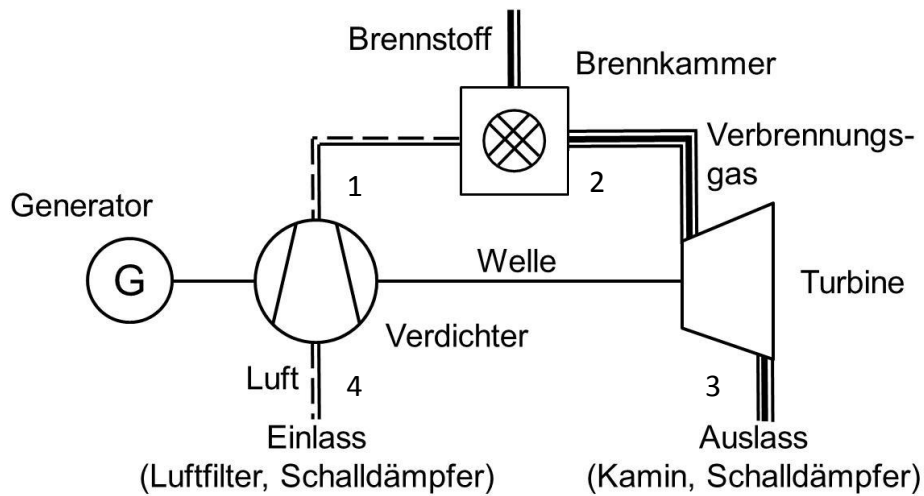
$$r_w = 0,994 \quad (1.7)$$

h. Zeichnen Sie in das **gegebene h-s Diagramm** den Arbeitsprozess ein, soweit er im Wertebereich des vorgegebenen Diagramms liegt.



2. Gasturbine

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



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

$$T_2 = 1072,927 \text{ K} \quad (2.1)$$

$$T_4 = 293,136 \text{ K} \quad (2.2)$$

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

$$T_3 = 615,338 \text{ K} \quad (2.3)$$

$$T_1 = 511,123 \text{ K} \quad (2.4)$$

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

$$w_{t41} = 221,257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (2.5)$$

Wie groß ist die **spezifische Turbinenarbeit w_{23}/m** ?

$$w_{t23} = -464,453 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (2.6)$$

Wie groß ist die **spezifische Nutzarbeit**?

$$w_{id} = 243,196 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (2.7)$$

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

$$\eta_{th} = 0,426 \quad (2.8)$$

$$r_w = 0,524 \quad (2.9)$$

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

$$P_{el} = 839,165 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (2.10)$$

3. Abgasstrom eines Dampfkraftwerks

a. Wie groß ist der **Sauerstoffvolumenstrom** \dot{V}_{O_2} [m^3/s], welcher der Verbrennung zugeführt wird?

$$\dot{V}_{O_2, ges} = 92,658 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (3.1)$$

b. Mit welcher **Luftüberschusszahl** λ wird der Kessel betrieben?

$$\lambda = 1,7 \quad (3.2)$$

c. Wie groß ist der **Brennstoffvolumenstrom** \dot{V}_{CH_4} [m^3/s]?

$$\dot{V}_{CH_4} = 27,251 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (3.3)$$

d. Wie groß ist die **thermische Kesselleistung** P_{th} in [MW]?

$$P_{th} = \dot{V}_{CH_4} \cdot H_u = 27,251 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 35,8 \cdot 10^6 \frac{\text{Ws}}{\text{m}^3} = 975,593 \text{ MW} \quad (3.4)$$

e. Welche **Verbrennungstemperatur** stellt sich ein?

$$\Delta T = 1434,975 \text{ } ^\circ\text{K} \quad (3.5)$$

f. Wie ändert sich die **Verbrennungstemperatur** wenn die Luftüberschusszahl auf $\lambda = 2,4$ erhöht wird?

$$\Delta T = 1085,810 \text{ } ^\circ\text{K} \quad (3.6)$$

4. Eigenbedarfsnetz eines Kraftwerks

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.

$$S_{rM} = 9,569 \text{ MVA} \quad (4.1)$$

$$I_{rM} = 0,921 \text{ kA} \quad (4.2)$$

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

$$I_A = 4,697 \text{ kA} \quad (4.3)$$

c. Schätzen Sie den **Gesamtkurzschlussstrom** für einen **dreipoligen Kurzschluss** an der Sammelschiene BBA ab, wenn entweder aus dem Haupt- oder aus dem Reservenetz ge-

speist wird. Nehmen sie dazu an, dass die Kurzschlussleistung des Haupt- bzw. Reserve-netzes unendlich groß ist.

Gerechnet mit $c = 1,1$

$$I_k' = 39,41 \text{ kA} \quad (4.4)$$

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

$$R_A = 0,125 \ \Omega \quad (4.5)$$

$$X_A = 0,726 \ \Omega \quad (4.6)$$

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 110% geregelt. Vernachlässigen Sie dazu den resistiven Anteil der Trafoimpedanz.

$$U_{BBA} = 0,941 \quad (4.7)$$

Die Spannung bricht von 110% um 15,9% auf 94,1% ein, also damit um 5,9% unter 100%.