

### Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Kraftwerke am 01.10.2015

**Hinweis:** Bei den Berechnungen wurden alle Zwischenergebnisse in der technischen Notation<sup>1</sup> (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. Gasturbine mit geschlossenem Kreislauf

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

$$\eta_{thj} = 0,541 \quad (1.1)$$

b. Wie groß sind die **Temperaturen** des Prozesses an den vier Punkten der Zustandsänderungen?

$$T_4 = 308,15 \text{ K} \quad (1.2)$$

$$T_1 = 671,279 \text{ K} \quad (1.3)$$

$$T_2 = 1173,15 \text{ K} \quad (1.4)$$

$$T_3 = 538,534 \text{ K} \quad (1.5)$$

c. Wie groß ist der erforderliche **Wärmestrom** für eine abgegebene Nutzleistung Leistung von 800kW?

$$\frac{dQ_{12}}{dt} = 1,479 \text{ MW} \quad (1.6)$$

d. Welcher **Massenstrom** des Helium-Gases in kg/s ist für diese Leistung erforderlich?

$$\Rightarrow \dot{m} = 0,563 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (1.7)$$

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

$$P_{23} = -1868,62 \text{ kW} \quad (1.8)$$

f. Wie groß ist die technische Verdichterleistung?

$$P_{41} = 1069,230 \text{ kW} \quad (1.9)$$

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

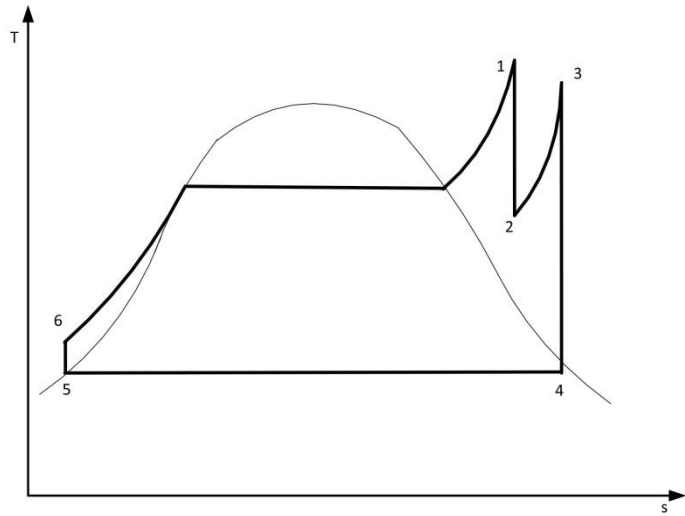
$$r_w = 0,428 \quad (1.10)$$

<sup>1</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Wissenschaftliche\\_Notation](http://de.wikipedia.org/wiki/Wissenschaftliche_Notation)

**2. Dampfkraftwerk**

a. Skizzieren Sie das **T,s-Diagramm** vom Kreisprozess, beschriften Sie die thermodynamisch relevanten Punkte und geben Sie alle relevanten **Zustandsänderungen** an.

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



b. Wie hoch ist der Druck und die Temperatur nach dem **Zwischenüberhitzer mindestens**, um ein **x** von **0,93** nicht zu unterschreiten?

$$\begin{aligned} p_3 &= 20 \text{ bar} \\ T_3 &= 400 \text{ °C} \end{aligned} \quad (2.1)$$

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

$$\eta = 0,365 \quad (2.2)$$

d. Welche **mechanische Nutzleistung** kann mit einer Dampfmenge von 2,4 t/h erreicht werden?

$$\begin{aligned} P_{\text{nutz}} &= [(h_1 - h_2) + (h_3 - h_4) - (h_5 - h_6)] \cdot m = \\ &= \left[ \left( 3501,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 3024,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) + \left( 3248,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 2483,87 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) - \left( 350,728 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 340,48 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \right] \cdot \frac{2,4 \cdot 10^3 \text{ kg}}{3600 \text{ s}} = \\ &= 821,121 \text{ kW} \end{aligned} \quad (2.3)$$

e. Aus Sicherheitsgründen wird die **Temperatur nach dem Zwischenüberhitzer auf 450°C** festgelegt. Welche **Dampftemperaturen** stellen sich am Austritt der **beiden Turbinenteile** ein und welches **x** ergibt sich **nach der ND-Turbine**?

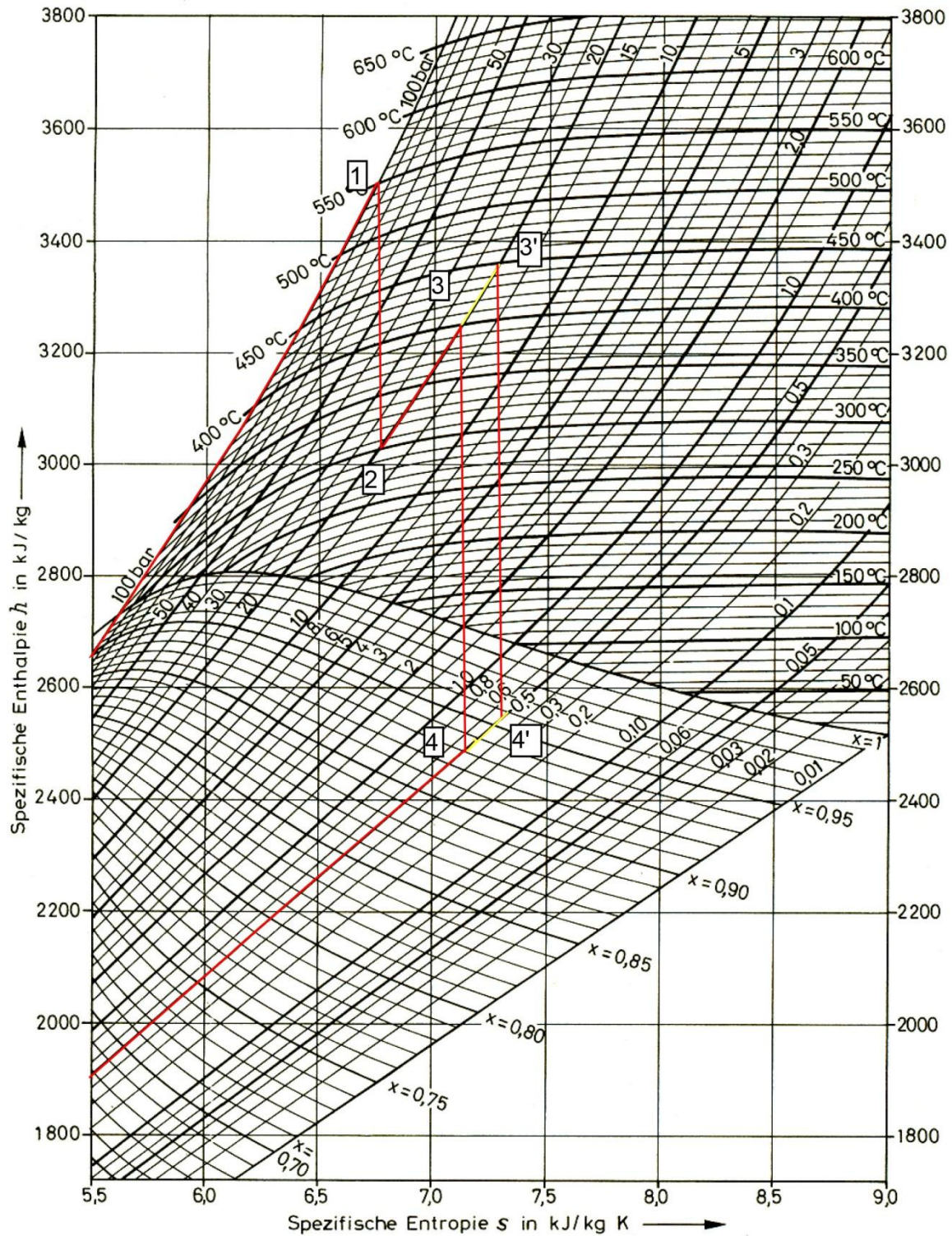
$$\begin{aligned} T_2 &= 300 \text{ °C} \\ T_4 &= 81,32 \text{ °C} \\ x &\approx 0,953 \end{aligned} \quad (2.4)$$

f. Wie groß ist die **spezifische Arbeit** des Zwischenüberhitzers im Punkt e)?

Aus der Dampftabelle folgen die neuen kalorischen Zustandsgrößen für Punkt 3:

$$w_{23} = 333,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (2.5)$$

g. Zeichnen Sie in das **gegebene h-s Diagramm** beide Arbeitsprozess ein, soweit diese im Wertebereich des vorgegebenen Diagramms liegen.



### 3. Eigenbedarf eines Kraftwerks

- a. Wie groß ist die **mechanische Leistung** der **Speisewasserpumpe** bei einem elektrischen Wirkungsgrad des Motors von 98%.

$$P_{\text{mech,asm}} = 4,998 \text{ MW} \quad (3.1)$$

- b. Wie groß ist der **Gesamtkurzschlussstrom** für einen **dreipoligen Kurzschluss** an der Sammelschiene C unter Berücksichtigung des Kurzschlussstrombeitrags des Motors (entspricht dem Anlaufstrom)? Ist eine 11kA Schaltanlage ausreichend?

$$I_k'' = 11,714 \text{ kA} \quad (3.2)$$

Die 11kA Schaltanlage ist nicht ausreichend.

- c. Wie groß ist der **Spannungseinbruch** an der Sammelschiene C beim Anlauf des Motors?

$$\frac{U_{NC}}{U_{Ges}} = 0,282 \quad (3.3)$$

- d. Wie groß darf die **bezogene Kurzschlussspannung** des **Transformators** höchstens sein, damit beim Anlauf des Motors des Spannungseinbruch an der Sammelschiene C unter 10% bleibt?

$$u_k = 0,0105 \quad (3.4)$$

- e. Eine alternative Maßnahme zur Spannungsbegrenzung beim Anlauf des Motors stellt das automatische Zuschalten einer **Kondensatorbatterie** an der Sammelschiene C dar, die die Gesamtreaktanz verändert. Wie groß muss dann die **resultierende Gesamtreaktanz** beim Anlauf des Motors sein, damit der Spannungseinbruch am Sammelschiene C 10% nicht überschreitet?

$$X_{ges} = 4,504 \Omega \quad (3.5)$$

### 4. CO<sub>2</sub> Vergleich

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

KW1:

$$\dot{m}_{\text{CO}_2} = 65,74 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (4.1)$$

KW2:

$$\dot{m}_{\text{CO}_2} = 42,38 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (4.2)$$

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

$$Q = 102,3 \text{ MW} \quad (4.3)$$

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

$$\dot{m}_{\text{Kohle}} = 33,617 \frac{\text{t}}{\text{h}} \quad (4.4)$$

$$\eta_{\text{ges}} = 0,733 \quad (4.5)$$

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

$$m_{\text{CO}_2} = 709,95 \cdot 10^3 \frac{\text{t}}{\text{a}} \quad (4.6)$$

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.

$$\dot{m}_{\text{gips}} = 1806,903 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (4.7)$$

$$\dot{V}_{\text{gips}} = 0,786 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (4.8)$$