

### Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Kraftwerke am 22.06.2016

**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. Beispiel 1: Gasturbine mit geschlossenem Kreislauf (25 Punkte)

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

$$\eta_{thj} = 0,603 \quad (0.1)$$

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

$$T_4 = 50^\circ\text{C} = 323,15 \text{ K} \quad (0.2)$$

$$T_1 = 813,96 \text{ K} \quad (0.3)$$

$$T_2 = 1000^\circ\text{C} = 1273,15 \text{ K} \quad (0.4)$$

$$T_3 = 505,45 \text{ K} \quad (0.5)$$

c. Wie groß ist der erforderliche **Wärmestrom** für eine abgegebene Nutzleistung Leistung von 1 MW?

$$\frac{dQ_{12}}{dt} = 1,658 \text{ MW} \quad (0.6)$$

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

$$\dot{Q}_{12} = 0,690 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (0.7)$$

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

$$P_{23} = 2627,133 \text{ kW} \quad (0.8)$$

f. Wie groß ist die technische Verdichterleistung?

$$P_{41} = 1771,186 \text{ kW} \quad (0.9)$$

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

$$r_w = 0,361 \quad (0.10)$$

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

**2. Beispiel 2: Abgasstrom eines Gaskraftwerks**

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

$$\dot{V}_{Luft} = 39,984 \frac{m^3}{s} \quad (0.11)$$

b. Mit welcher Luftüberschusszahl  $\lambda$  wird der Kessel betrieben?

$$\lambda = 1,4 \quad (0.12)$$

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

$$\dot{V}_{CH_4} \approx 3 \frac{m^3}{s} \quad (0.13)$$

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

$$P_{th} = 107,4 \text{ MW} \quad (0.14)$$

e. Welche Verbrennungstemperatur stellt sich ein?

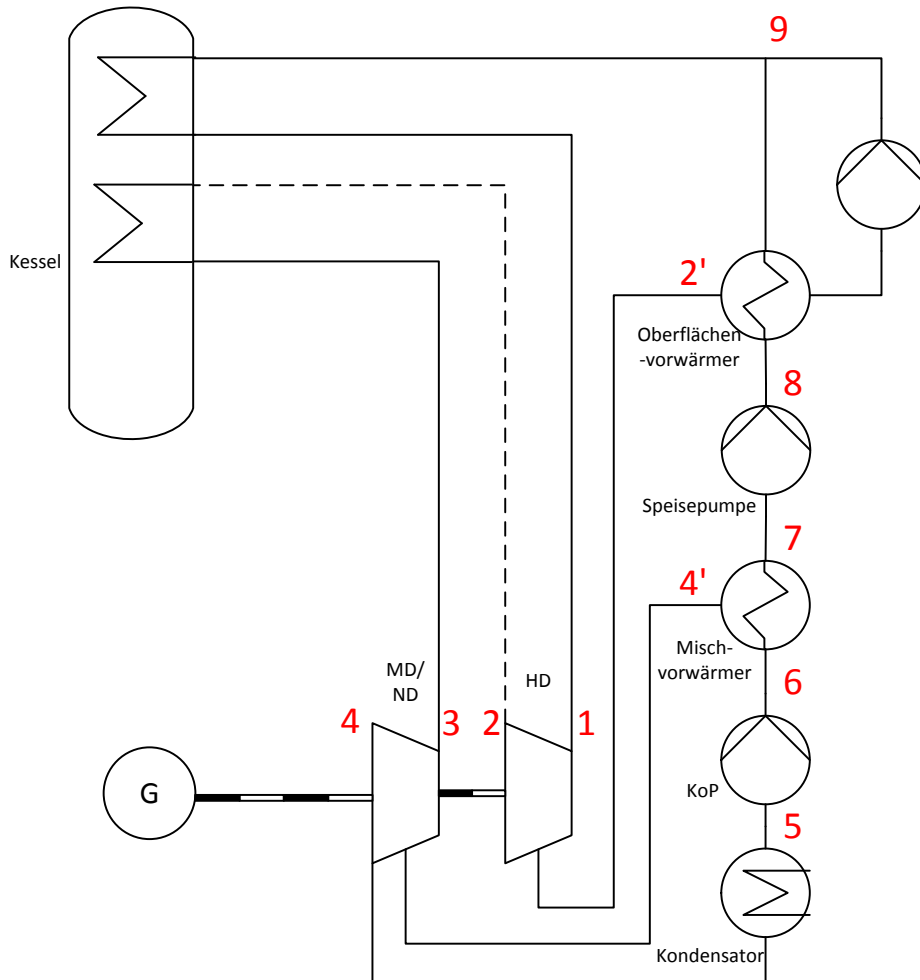
$$\Delta T = 1706,226 \text{ K} \quad (0.15)$$

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

$$\Delta T = 1046,157 \text{ K} \quad (0.16)$$

**3. Beispiel 3: Dampfkraftwerk (25 Punkte)**

a. (5) Zeichnen Sie ein **Ersatzschaltbild** des **Dampfkreisprozesses** und beschriften Sie die thermodynamisch relevanten Punkte in Übereinkunft mit dem gegebenen TS-Diagramm.

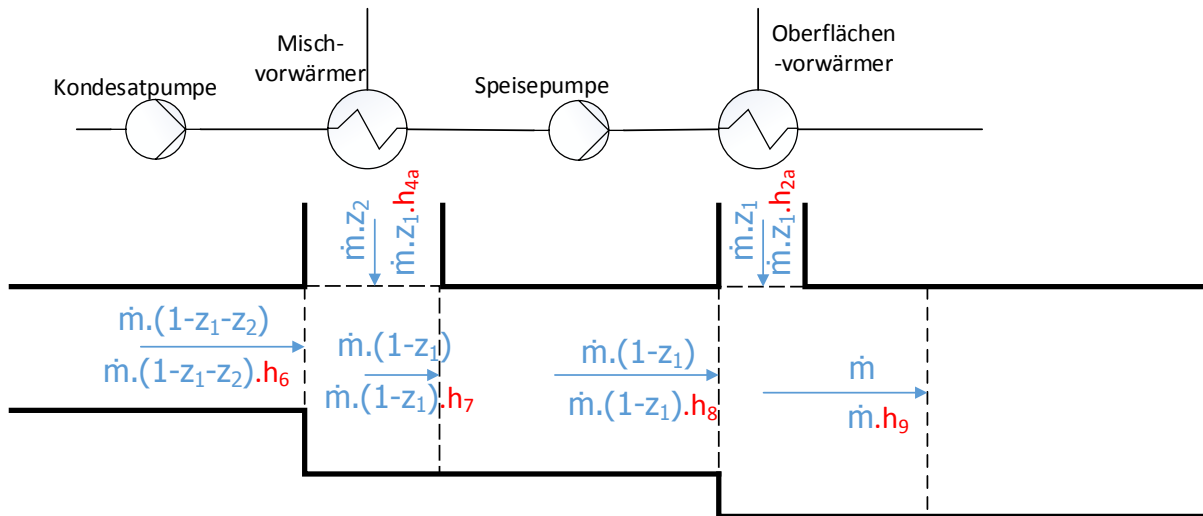


b. (4) Berechnen Sie den Wirkungsgrad des Dampfturbinenprozesses ohne Berücksichtigung der Speisewasservorwärmung.

$$\eta = 0,377$$

(0.17)

c. (3) Die Abzapfung eines Teils des Dampfes führt zu einem verringerten Massenstrom im weiteren Prozess. Vollenden Sie das Blockschaltbild in Abbildung 2, sodass sämtliche Massenströme (über den Pfeilen), sowie Leistungen (unter den Pfeilen) in den jeweiligen Zuständen ersichtlich werden.



d. (5) Leiten Sie anhand des Blockschaltbilds aus Abbildung 1 ein Leistungsgleichgewicht für den Mischvorwärmer, sowie den Oberflächenvorwärmer her. Berechnen Sie anhand der beiden Leistungsgleichgewichte die Anteile der Abzapfungen  $z_1$  und  $z_2$ .

Mischvorwärmer:

$$z_1 = 0.165 \quad (0.18)$$

Oberflächenvorwärmer:

$$z_2 = 0.113 \quad (0.19)$$

e. (8) Berechnen Sie den Wirkungsgrad des Dampfturbinenprozesses mit Berücksichtigung der Speisewasservorwärmung.

$$\eta = 0.399 \quad (0.20)$$

#### 4. Beispiel 4: Eigenbedarf eines Kraftwerks

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

$$P_{\text{mech,asm}} = 4,123 \text{ MW} \quad (0.21)$$

- 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?

Gerechnet mit  $c = 1,1$

Gesamt-Kurzschlussstrom<sup>2</sup>:

$$\dot{I}_k = 12,232 \text{ kA} \quad (0.22)$$

Die 11kA Schaltanlage ist nicht ausreichend.

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

$$\Delta u = 0,216 \rightarrow \text{Einbruch um } 21,6\% \quad (0.23)$$

- 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?

$$u_k = 0,0409 \rightarrow 4,09\% \quad (0.24)$$

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

$$X_{\text{ges}} = 2,629 \Omega \quad (0.25)$$

---

<sup>2</sup> Vernachlässigt wurde dabei, dass die drei Strombeiträge nicht notwendigerweise exakt gleiche Phasenlage haben. Durch die Addition der Beträge liegt das Ergebnis als Abschätzung also auf der sicheren Seite, als dass die maximalen Kurzschlussströme bei genauer Rechnung z.B. mit einem Netzberechnungsprogramm niedriger liegen können.