

### Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Kraftwerke am 29.04.2014

**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. GuD Kraftwerk

a. Bestimmen Sie den gesamten **Gasdurchsatz** in kg/s des Gasprozesses.

$$\dot{m}_{\text{Gasdurchsatz}} = 515,315 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (1.1)$$

b. Bestimmen Sie den **Wirkungsgrad** der **Gasturbine**.

$$\eta_{GT} = 0,283 [28,3\%] \quad (1.2)$$

c. Wie groß ist die spez. **Verdichterarbeit** des **Gasprozesses**?

$$w_{zu} = w_{41} = 282 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (1.3)$$

d. Bestimmen Sie den gesamten **Wirkungsgrad** des **Dampfprozesses** (inkl. Fernwärmeauskopplung).

$$\eta_{DT} = 0,568 [56,8\%] \quad (1.4)$$

e. Bestimmen Sie den **Wirkungsgrad** der gesamten **GuD-Anlage** (inkl. Fernwärmeauskopplung).

$$\eta_{GUD} = 0,52 [52\%] \quad (1.5)$$

f. Bestimmen Sie das **Massenverhältnis** des **Gasturbinenprozesses** zum **Dampfturbinenprozess** und die **benötigte Speisewassermenge** in kg/s des Dampfprozesses.

$$\frac{\dot{m}_{\text{Gasdurchsatz}}}{\dot{m}_{\text{Dampf}}} = 11,512 \quad (1.6)$$

g. Welcher **Massestrom** im **Fernheizkreis** ist erforderlich, damit bei einer Vorlauftemperatur von 100°C und einer Rücklauftemperatur von 60 °C die **eingestellte thermische Leistung** ausgekoppelt werden kann.

$$\dot{m}_{\text{Wasser}} = 346,38 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (1.7)$$

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

## 2. Vergleich Kohlekraftwerke und GuD

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

$$\frac{dm_{\text{Kohle}}}{dt} = \dot{m}_{\text{Kohle}} = 67,091 \frac{\text{t}}{\text{h}} \quad (2.1)$$

b. Welche **Volllaststundenzahl** ergibt sich im Durchschnitt?

$$T_m = 6,707 \cdot 10^3 \frac{\text{h}}{\text{a}} \quad (2.2)$$

c. Welcher **Kohlenstoffmassenstrom** und **Schwefelmassenstrom** ergibt sich im Abgas bei Nennleistung?

$$\dot{m}_c = 16,959 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (2.3)$$

$$\dot{m}_s = 186,360 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (2.4)$$

d. Welcher **Kohlendioxidausstoß** ( $\text{CO}_2$ ) erfolgt bei Nennleistung?

$$\dot{m}_{\text{CO}_2, \text{Kohle}} = 62,172 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (2.5)$$

e. Welcher **Kohlendioxidausstoß** ( $\text{CO}_2$ ) erfolgt bei diesem GuD-Kraftwerk bei Nennleistung?

$$\dot{m}_{\text{CO}_2, \text{Gas}} = 33,124 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (2.6)$$

f. Wie ist das **Verhältnis** der  $\text{CO}_2$  - **Emissionen** der beiden Kraftwerke?

$$\frac{\dot{m}_{\text{CO}_2, \text{Gas}}}{\dot{m}_{\text{CO}_2, \text{Kohle}}} = 53,278\% \quad (2.7)$$

Das GuD-Kraftwerk verursacht nur ca. 53% der Emissionen des Kohlekraftwerks bei gleicher elektrischer Leistung!

## 3. Eigenbedarfsnetz eines Kraftwerkes

a. Wie groß ist die **mechanische Leistung** der **Speisewasserpumpe** bei einem elektrischen Wirkungsgrad des Motors von 97%?

$$P_{\text{mech,ASM}} = 1,163 \text{ MW} \quad (3.1)$$

b. Wie groß ist der **Gesamtkurzschlussstrom** für einen **dreipoligen Kurzschluss** an der Sammelschiene B?

Gerechnet mit  $c = 1,1$

$$I_k'' = 4,992 \text{ kA} \quad (3.2)$$

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

$$U_{BA} = 3102,906 \text{ V} \tag{3.3}$$

$$u_{BA} = 0,776 \rightarrow \text{Einbruch um } 22,4\%$$

d. Wie groß darf die **bezogene Kurzschlussspannung** des **Transformators** höchstens sein, damit beim Anlauf des Motors des Spannungseinbruch an der Sammelschiene B unter 15% bleibt?

$$u_k = 0,07 \rightarrow 7\% \tag{3.4}$$

e. Es soll beim Anlauf des Motors automatisch eine Kondensatorbatterie an der Sammelschiene B zugeschaltet werden. Wie groß muss der **Kapazitätswert** ausgelegt werden, damit der Spannungseinbruch 10% nicht überschreitet?

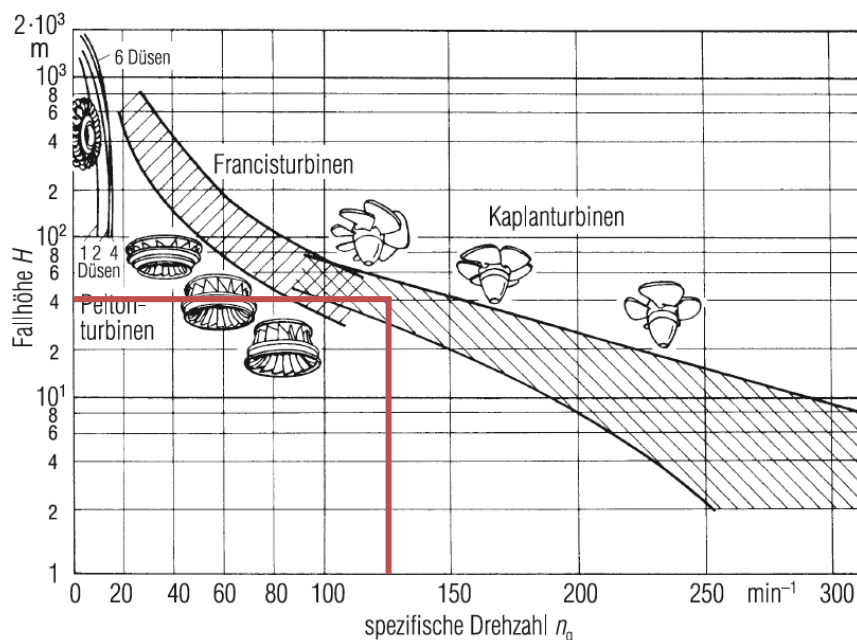
$$C = 0,864 \text{ mF} \tag{3.5}$$

**4. Auslegung einer Turbine für ein Wasserkraftwerk**

a. Wie groß ist die **spezifische Drehzahl** der Turbine?

$$n_q = 125,00 \text{ min}^{-1} \tag{4.1}$$

b. Welcher **Turbinentyp** soll für das Kraftwerk verwendet werden? Benutzen Sie die untere Abbildung und das Ergebnis von Unterpunkt a. für Ihre Argumentation. **Zeichnen** Sie ihre Auswahl **in die Abbildung** ein:



➔ Auswahl: Kaplan-turbine

c. Wie groß ist der **Turbinenwirkungsgrad** bei einer mechanischen Turbinenleistung  $P_t = 29,17 \text{ MW}$ , wenn der hydraulischer Wirkungsgrad  $\eta_H = 93\%$  beträgt?

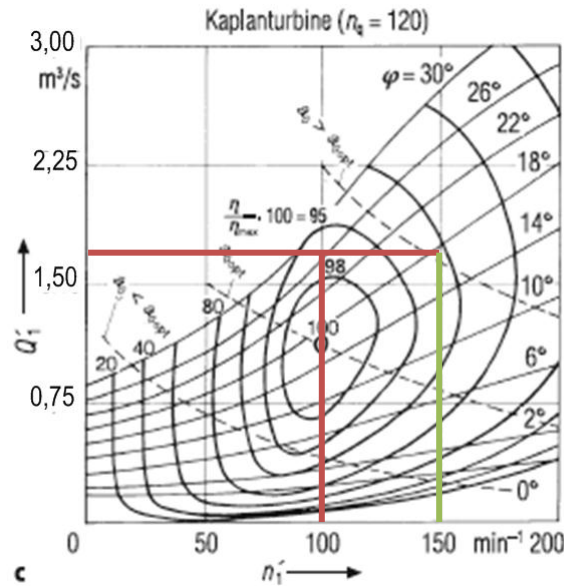
$$\eta_t = 90\% \tag{4.2}$$

d. Welche **elektrische Leistung** weist der Turbinen-Generatorsatz auf, wenn die folgenden Wirkungsgrade gegeben sind:

Generatorwirkungsgrad	$\eta_G = 98\%$
Eigenbedarf	$\varepsilon = 2,5\%$

$$P_{el} = 27,87 \text{ MW} \quad (4.3)$$

e. Wie groß ist der **Durchmesser** der Turbine für **einen optimalen Betrieb bei Nennleistung** und gegebener Drehzahl (d.h. Auslegung über  $n_1'$ )?



Aus Diagramm:  $n_1' \approx 100 \text{ min}^{-1}$  (= Punkt mit maximal möglichem Wirkungsgrad)

$$\frac{D}{m} = 3,00 \quad (4.4)$$

$$Q_1 = 1,56 \quad (4.5)$$

Es ergibt sich bei dieser Drehzahl ein Wirkungsgrad von ca. 96,5% des maximal möglichen Wirkungsgrades (rote Linien in Muscheldiagramm)!

f. Aufgrund eines Bestellfehlers wird ein Generator mit 2/3 der ursprünglichen Polpaarzahl geliefert. Um welchen **Faktor** ändert sich der **Turbinenwirkungsgrad** bei sonst gleichen Parametern?

n erhöht sich um den Faktor 1,5  $\rightarrow n_1' = 150 \text{ min}^{-1} \rightarrow$  Diagramm (grüne Linie)

$$\Rightarrow \eta_{T,neu} = 94,3\% \cdot \eta_{T,alt} \quad (4.6)$$

Der Turbinenwirkungsgrad nimmt um 5,7% ab!