

## Schriftliche Prüfung aus „Energieübertragung und Kraftwerke“, am 10. Juni 2012

Name/Vorname: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ Matr.-nr./Knr.: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

**1. Gasturbine (25 Punkte)**

Eine offene Gasturbine arbeitet mit Luft nach dem Joule-Prozess.

Daten:  $p_3 = p_4 = 1 \text{ bar}$  und  $p_1 = p_2 = 12 \text{ bar}$   
 Ansaugtemperatur  $t_4 = 30^\circ\text{C}$   
 Maximale Prozesstemperatur  $t_2 = 1100^\circ\text{C}$   
 Spezifische Wärmekapazität:  $c_p = 1,015 \text{ kJ}/(\text{kg K})$   
 $\kappa_{\text{Luft}} = 1,4$

- a) (4) Skizzieren Sie das pV- und das TS-Diagramm und beschriften Sie die relevanten Punkte
- b) (4) Wie hoch sind die Temperaturen  $T_3$  und  $T_1$  (nach dem Verdichter und nach der Turbine)?
- c) (2) Wie groß ist die spezifische Verdichterarbeit ( $W_{41}/m$  – die dem Verdichter bei keinerlei Verlusten zugeführt werden muss)?
- d) (2) Wie groß ist die spezifische Turbinenarbeit  $W_{23}/m$ ?
- e) (2) Wie groß ist die spezifische Nutzarbeit?
- f) (3) Wie groß ist die spezifische Wärmezufuhr und Wärmeabfuhr?
- g) (2) Welcher Massenstrom ist für eine abgegebene mechanische Leistung von 2,3 MW erforderlich?
- h) (3) Wie groß ist der thermische Wirkungsgrad und das Arbeitsverhältnis?
- i) (3) Wie groß ist der thermische Wirkungsgrad, wenn als Arbeitsmedium Helium (eiatomiges Gas, 3 Freiheitsgrade) verwendet wird?

**2. Gaskraftwerk (25 Punkte)**

Ein mit Erdgas betriebenes Kraftwerk soll eine elektrische Leistung von 180MW erzeugen können. Der Gesamtwirkungsgrad (el. Leistung zu thermischer Kesselleistung) der Anlage beträgt 38%.

- a) (5) Wie groß ist die thermische Kesselleistung und der notwendige Brennstoffvolumenstrom?
- b) (5) Welcher Mindestluftvolumen ist bei stöchiometrischer Verbrennung erforderlich?
- c) (3) Welches Luftvolumen pro Sekunde ist erforderlich, wenn der Kessel mit einer Luftüberschusszahl von  $\lambda=1,8$  betrieben wird?
- d) (12) Welcher Abgasstrom entsteht und wie groß sind die Masseanteile der einzelnen Komponenten?

Molmassen (alle in kg/kmol): C: 12; H: 1; O: 16; N: 14  
 Avogadro:  $V_m = 22,4136 \text{ Liter pro mol bei Normalbedingungen}$   
 Heizwert-Erdgas:  $H_{u,V} = 35800 \text{ kJ/m}^3$   
 Luft:  $\sim 21\% \text{V O}_2; \sim 79\% \text{V N}_2$

**3. Stirlingmotor (25 Punkte)**

Ein Stirlingmotor soll zur Stromerzeugung eingesetzt werden. Es wird ein 10-poliger Generator verwendet. Als thermische Quelle wird ein Holzofen verwendet, in den der obere Zylinderteil hineinragt. Die untere Temperatur wird durch einen Warmwasserkreislauf für die Zimmerheizung verwendet, dessen mittlere Temperatur am unteren Teil des Stirlingzylinders 60°C beträgt. Der Druck ist dabei 1 bar = 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup>. Es wird eine Wellenleistung von 9 kW benötigt.

- Daten des Motors:
- Wellenleistung: 9 kW
  - Untere Temperatur  $T_1 = T_2 = 60^\circ\text{C}$
  - Volumen bei Verdichtung:  $V_2 = V_3 = 0,4$  Liter
  - Volumen bei Expansion:  $V_1 = V_4 = 2,7$  Liter

Das im Motor befindliche Arbeitsmedium Luft soll durch seine spezielle Gaskonstante  $R = 287,2 \text{ J}/(\text{kg K})$  bei 0°C und 1 bar dargestellt werden.

- a) (6) Skizzieren Sie das pV- und das TS-Diagramm und beschriften Sie die relevanten Punkte.
- b) (3) Welcher Massenstrom wird im Motor bewegt?
- c) (4) Wie groß ist die erforderliche obere Temperatur?
- d) (3) Wie groß ist der thermische Wirkungsgrad?
- e) (3) Wie groß ist das Arbeitsverhältnis?
- f) (3) Wie groß ist die Heizleistung des Kühlwasserkreislaufs (1 – 2)
- g) (3) Wie groß ist die gesamte Heizleistung der Feuerungsanlage?

**Formelzusammenstellung und Kennzahlen:**

Poissonsche Gleichungen:  $\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^\kappa$  und  $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$

Molmassen (alle in kg/kmol):

C: 12; H: 1; O: 16; N: 14;

Avogadro:  $V_m = 22,4136$  Liter pro mol bei Normalbedingungen

Heizwert-Erdgas:  $H_{u,v} = 35800 \text{ kJ}/\text{m}_N^3$

**4. Kurzschlussstrom (25 Punkte)**

In einem 20kV-Netz ist von einem maximalen dreipoligen Kurzschlusswechselstrom von  $I''_{k3p} = 8 \text{ kA}$  auszugehen. Die Impedanz der Fehlerschleife ist  $R = 0,03\Omega$ ,  $X = 1\Omega$ .

Der Kurzschluss wird innerhalb von 0,2s abgeschaltet. Der Kurzschlusswechselstrom klingt innerhalb von 0,2 Sekunden auf 33,3% seines Anfangswertes ab ( $I_{k3p} = 0,333 I''_{k3p}$ ).

Das 20-kV-VPE-Kabel, über das der Kurzschlussstrom fließt hat einen Querschnitt von  $A = 35 \text{ mm}^2$  Al. Nehmen Sie für das VPE-Kabel mit Alu-Leiter eine thermische Nennstromdichte von  $S_{thr}(1s) = 94 \text{ A}/\text{mm}^2$  an

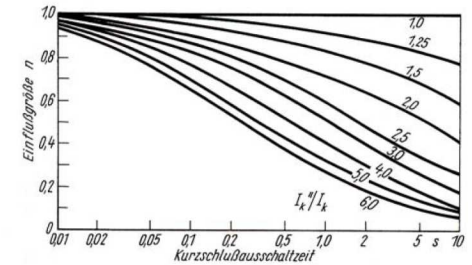
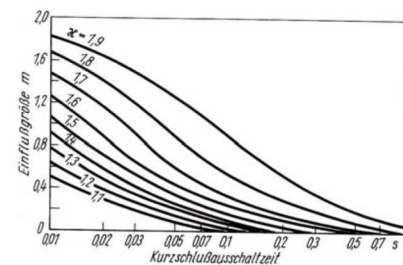
- a) (5) Bestimmen Sie den Stoßfaktor  $\kappa$

Hinweis  $\kappa = 1 + e^{-tR/L}$

Der Stoßfaktor beschreibt den Zusammenhang zwischen dem maximalen Stoßkurzschlussstrom und dem Anfangskurzschlusswechselstrom

- b) (3) Wie groß sind die Faktoren  $m, n$

Entnehmen Sie die Werte den unteren Abbildungen UND zeichnen Sie in den Abbildungen ein, wo Sie die Werte abgelesen haben.



- c) (4) Wie groß ist der thermische Kurzzeitstrom (0,2 s)
- d) (4) Welche thermische Stromdichte ergibt sich
- e) (9) Wie groß muss der Kabelquerschnitt sein, damit das Kabel nicht thermisch überlastet wird