

Schriftliche Prüfung aus VO Kraftwerke am 21.11.2017

Name/Vorname: _____ / _____ Matr.-Nr./Knz.: _____ / _____

1. Gasturbine mit geschlossenem Kreislauf (25 Punkte)

Ein Joule-Prozess soll berechnet werden. Eine Gasturbine mit geschlossenem Kreislauf arbeitet mit Helium als Arbeitsmedium. Das Druckverhältnis ist $\frac{p_1}{p_4} = 7$. Die Anfangstemperatur ist $T_4 = 37^\circ\text{C}$. Die zugeführte Wärmemenge wird derart eingestellt, dass eine höchste Temperatur $T_2 = 920^\circ\text{C}$ nicht überschritten wird. Helium kann als einatomiges ideales Gas betrachtet werden.

Hinweis: $\frac{c_p}{c_v} = \kappa = 1 + \frac{2}{f}$; $c_p = 5,23 \text{ kJ}/(\text{kg K})$ für Helium

- a. (4) Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad**?
- b. (5) Wie groß sind die **Temperaturen** des Prozesses an den vier Punkten der Zustandsänderungen?
- c. (3) Wie groß ist der erforderliche zugeführte **Wärmestrom** für eine abgegebene Nutzleistung Leistung von 850kW?
- d. (4) Welcher **Massenstrom** des Helium-Gases in kg/s ist für diese Leistung erforderlich?
- e. (3) Wie groß ist die **Turbinenleistung**?
- f. (3) Wie groß ist die technische **Verdichterleistung**?
- g. (3) Wie groß ist das **Arbeitsverhältnis**?

2. Auslegung eines Wasserkraftwerks (25 Punkte)

Ein Wasserkraftwerk mit einer Fallhöhe von 1.100m und einer mittleren Wassermenge Q von $9 \text{ m}^3/\text{s}$ wird mit einer Pelton-turbine in einem 50 Hz-Netz projiziert.

- a. (4) Welche **elektrische Leistung** weist das Kraftwerk auf, wenn die folgenden Wirkungsgrade vorgegeben sind:

Hydraulischer Wirkungsgrad der Turbine	$\eta_H = 93\%$
max. Turbinenwirkungsgrad	$\eta_T = 91\%$
Generatorwirkungsgrad	$\eta_G = 98\%$
Eigenbedarf	$\epsilon = 2,5\%$

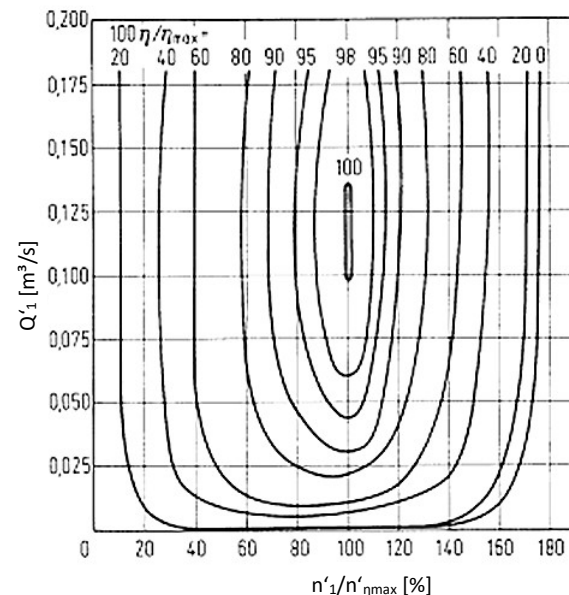
- b. (5) Welche **Polpaarzahl** müsste ein Synchrongenerator aufweisen, damit die Turbine, deren Kennfeld unten gegeben ist, verwendet werden kann?
- c. (4) Welchen **Durchmesser** hat diese Turbine für einen optimalen Betrieb?
- d. (3) Welche **Drehzahl** wäre für diese Turbine optimal?

Aufgrund eines Bestellfehlers wird ein 8-poliger ($p = 4$) Synchrongenerator installiert.

- e. (6) Welcher **Turbinenwirkungsgrad** würde sich bei sonst gleichen Parametern einstellen? (in das Kennfeld einzeichnen!)
- f. (3) Welche **elektrische Leistung** würde sich mit diesem Wirkungsgrad ergeben?

Wasserturbinen-Kennfeld einer Pelton-turbine

$n_q = 16 \text{ min}^{-1}$, $n'_{\eta \max} = 46 \text{ min}^{-1}$



Hilfestellungen:

$$n_q = n \cdot \frac{\sqrt{\frac{Q}{\text{m}^3/\text{s}}}}{\left(\frac{H}{\text{m}}\right)^{3/4}}$$

$$Q_1 = \frac{Q}{\sqrt{\frac{H}{\text{m}} \left(\frac{D}{\text{m}}\right)^2}}$$

$$n_1 = \frac{n}{\sqrt{\frac{H}{\text{m}}}} \left(\frac{D}{\text{m}}\right)$$

3. Stirlingmotor (25 Punkte)

Ein Stirlingmotor soll zur Stromerzeugung eingesetzt werden. Es wird ein 4-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 80°C beträgt. Der Druck ist dabei $1\text{ bar} = 10^5\text{ N/m}^2$. Es wird eine Wellenleistung von 10 kW benötigt.

Daten des Motors:

Volumen bei Verdichtung: $V_2 = V_3 = 0,2\text{ Liter}$

Volumen bei Expansion: $V_1 = V_4 = 2,3\text{ Liter}$

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

- (6) Skizzieren Sie das **pV- und das TS-Diagramm** und beschriften Sie die relevanten Punkte.
- (3) Welcher **Massenstrom** wird im Motor bewegt?
- (4) Wie groß ist die erforderliche **obere Temperatur**?
- (3) Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad**?
- (3) Wie groß ist das **Arbeitsverhältnis**?
- (3) Welches Niveau müsste die **obere Temperatur** unter sonst gleichen Bedingungen mindestens haben, damit der thermische Wirkungsgrad nicht unter 50% fällt?
- (3) Wie groß ist die **Heizleistung** des Kühlwasserkreislaufs (1 – 2)?

4. Abgasstrom eines Gaskraftwerks (25 Punkte)

Ein mit Erdgas betriebenes Kraftwerk weist im Abgasstrom folgende Masseanteile der einzelnen Komponenten auf:

$$\dot{m}_{\text{CO}_2} = 6,53\text{ kg/s} \quad c_p = 1,085\text{ kJ/kgK}$$

$$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} = 4,22\text{ kg/s} \quad c_p = 2,073\text{ kJ/kgK}$$

$$\dot{m}_{\text{O}_2} = 3,12\text{ kg/s} \quad c_p = 1,015\text{ kJ/kgK}$$

$$\dot{m}_{\text{N}_2} = 38,35\text{ kg/s} \quad c_p = 1,096\text{ kJ/kgK}$$

Hinweise:

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: $H_{i,V} = 35800\text{ kJ/m}^3$

Luft: $\sim 21\%V\text{ O}_2; \sim 79\%V\text{ N}_2$

- (4) Wie groß ist der **Luftvolumenstrom** $\dot{V}_{\text{Luft}} [\text{m}^3/\text{s}]$, welcher der Verbrennung zugeführt wird?
- (4) Mit welcher **Luftüberschusszahl** λ wird der **Kessel** betrieben?
- (5) Wie groß ist der **Brennstoffvolumenstrom** $\dot{V}_{\text{CH}_4} [\text{m}^3/\text{s}]$?
- (4) Wie groß ist die **thermische Kesselleistung** P_{th} in $[MW]$?
- (3) Welche **Verbrennungstemperatur** stellt sich ein?
- (5) **Wie ändert sich die Verbrennungstemperatur**, wenn die Luftüberschusszahl auf $\lambda = 2,3$ erhöht wird?