

Schriftliche Prüfung aus VO Kraftwerke am 10.11.2015

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

1. Stirlingmotor (25 Punkte)

Ein Stirlingmotor soll zur Stromerzeugung in einem 50 Hz Netz eingesetzt werden. Es wird ein 6-poliger Generator mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 97% verwendet. Als thermische Quelle dient ein Holzofen, in den der obere Zylinderteil hineinragt. Die untere Temperatur wird durch einen Warmwasserkreislauf für die Zimmerheizung verwendet, so dass die mittlere Temperatur am unteren Teil des Stirlingzylinders 70°C beträgt. Der Druck ist dabei 1 bar = 10^5 N/m^2 . Der Stirlingmotor soll eine elektrische Leistung von 8 kW abgeben.

Daten des Motors:

Volumen nach Expansion: $V_1 = 2,7$ LiterVerdichtungsverhältnis: $\varepsilon = 6,25$

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.

- a. (6) Skizzieren Sie das **pV- und das TS-Diagramm** und beschriften Sie die relevanten Punkte.
- b. (3) Wie groß ist die benötigte **Wellenleistung** des Stirlingmotors?
- c. (5) Wie groß ist das **Volumen bei Verdichtung** und welcher **Massenstrom** wird im Motor bewegt?
- d. (3) Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad**?
- e. (3) Wie groß ist die benötigte **Heizleistung**?
- f. (5) Auf welchem Niveau müsste die **obere Temperatur** unter sonst gleichen Bedingungen angehoben werden, damit der **Wirkungsgrad auf 55%** ansteigt?

2. GuD Kraftwerk (25 Punkte)

Die Abnahmetests an einem Gas- und Dampfkraftwerk (GuD) mit Fernwärmeauskopplung ergaben folgende spezifische Energiemengen:

Gasturbine (GT)		Dampfturbine (DT)	
Spez. Turbinenarbeit	453 kJ/kg	Spez. Turbinenarbeit	368 kJ/kg
Spez. Wärmezufuhr	604 kJ/kg	Spez. Kompressionsarbeit Speisewasserpumpe	20 kJ/kg
Ungenutzte spez. Wärmeabgabe an Umwelt	181 kJ/kg	Spez. Wärmeauskopplung Fernwärme	1300 kJ/kg
Spez. Wärmeabgabe für den Dampfprozess	252 kJ/kg	Wärmezufuhr der DT	2901 kJ/kg

Heizwert-Erdgas: $H_{u,v} = 37\,350 \text{ kJ/m}^3$

Erdgasverbrauch: $30\,000 \text{ m}^3/\text{h}$

c_p (Wasser): $4,2 \text{ kJ}/(\text{kg K})$

- (4) Bestimmen Sie den gesamten **Gasdurchsatz** in kg/s des Gasprozesses.
- (3) Bestimmen Sie den **Wirkungsgrad** der **Gasturbine**.
- (2) Wie groß ist die spez. **Verdichterarbeit** des **Gasprozesses**?
- (3) Bestimmen Sie den gesamten **Wirkungsgrad** des **Dampfprozesses** (inkl. Fernwärmeauskopplung).
- (5) Bestimmen Sie den **Wirkungsgrad** der gesamten **GuD-Anlage** (inkl. Fernwärmeauskopplung).
- (4) Bestimmen Sie das **Massenverhältnis** des **Gasturbinenprozesses** zum **Dampfturbinenprozess** und die **benötigte Speisewassermenge** in kg/s des Dampfprozesses.
- (4) 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.

3. Abgasstrom eines Kraftwerks (25 Punkte)

Das mit Erdgas betriebene Kraftwerk Simmering mit einer elektrischen Nennleistung von

$$P_{el} = 700 \text{ MW}$$

weist bei voller elektrischer Leistungsabgabe im Abgasstrom folgende Masseanteile der einzelnen Komponenten auf (Fernwärmeauskopplung sei 0 MW):

$$\dot{m}_{\text{CO}_2} = 98,422 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} = 80,527 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{\text{O}_2} = 114,527 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{\text{N}_2} = 1141,693 \text{ kg/s}$$

Hinweise:

Molmassen (alle in kg/kmol): C: 12; H: 1; O: 16; N: 14

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

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

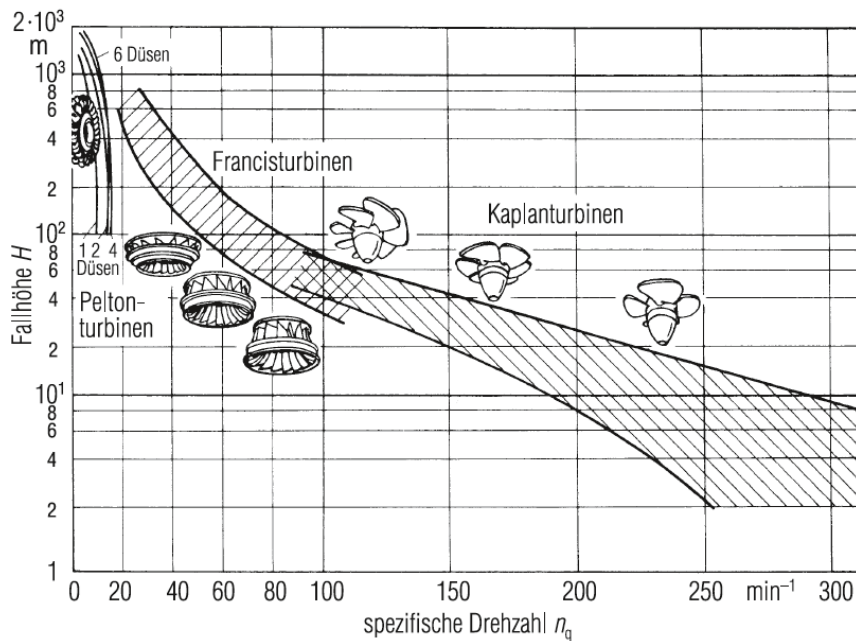
Zusammensetzung Luft: $\sim 21\%_v \text{ O}_2; \sim 79\%_v \text{ N}_2$

- (6) Wie groß ist der **Luftvolumenstrom** \dot{V}_{Luft} in $[\text{m}^3/\text{s}]$, welcher der Verbrennung zugeführt wird?
- (6) Mit welcher **Luftüberschusszahl** λ wird der Kessel betrieben?
- (6) Wie groß ist der Brennstoffvolumenstrom \dot{V}_{CH_4} in $[\text{m}^3/\text{s}]$?
- (4) Wie groß ist die thermische **Kesselleistung** P_{th} in $[\text{MW}]$?
- (3) Wie groß ist der **elektrische Wirkungsgrad** in $[\%]$?

4. Auslegung einer Turbine für ein Wasserkraftwerk (25 Punkte)

Es soll eine Turbine für ein Wasserkraftwerk ermittelt und dimensioniert werden. Die Turbine soll einen Nenn-Volumenstrom $Q_N = 88,8 \text{ m}^3/\text{s}$ über eine Fallhöhe H von 40 m abarbeiten. Dabei soll ein Turbinen-Generatorsatz mit einer synchronen Drehzahl von 211 min^{-1} angetrieben werden.

- a. (4) Wie groß ist die **spezifische Drehzahl** der Turbine?
- b. (3) 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:**



- c. (4) Wie groß ist der **Turbinenwirkungsgrad** bei einer mechanischen Turbinenleistung $P_t = 29,17 \text{ MW}$, wenn der hydraulischer Wirkungsgrad $\eta_H = 93\%$ beträgt?
- d. (4) Welche **elektrische Leistung** weist der Turbinen-Generatorsatz auf, wenn die folgenden Wirkungsgrade gegeben sind:

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

- e. (4) Wie groß ist der **Durchmesser** der Turbine für **einen optimalen Betrieb bei Nennleistung** und gegebener Drehzahl (d.h. Auslegung über n_1')?

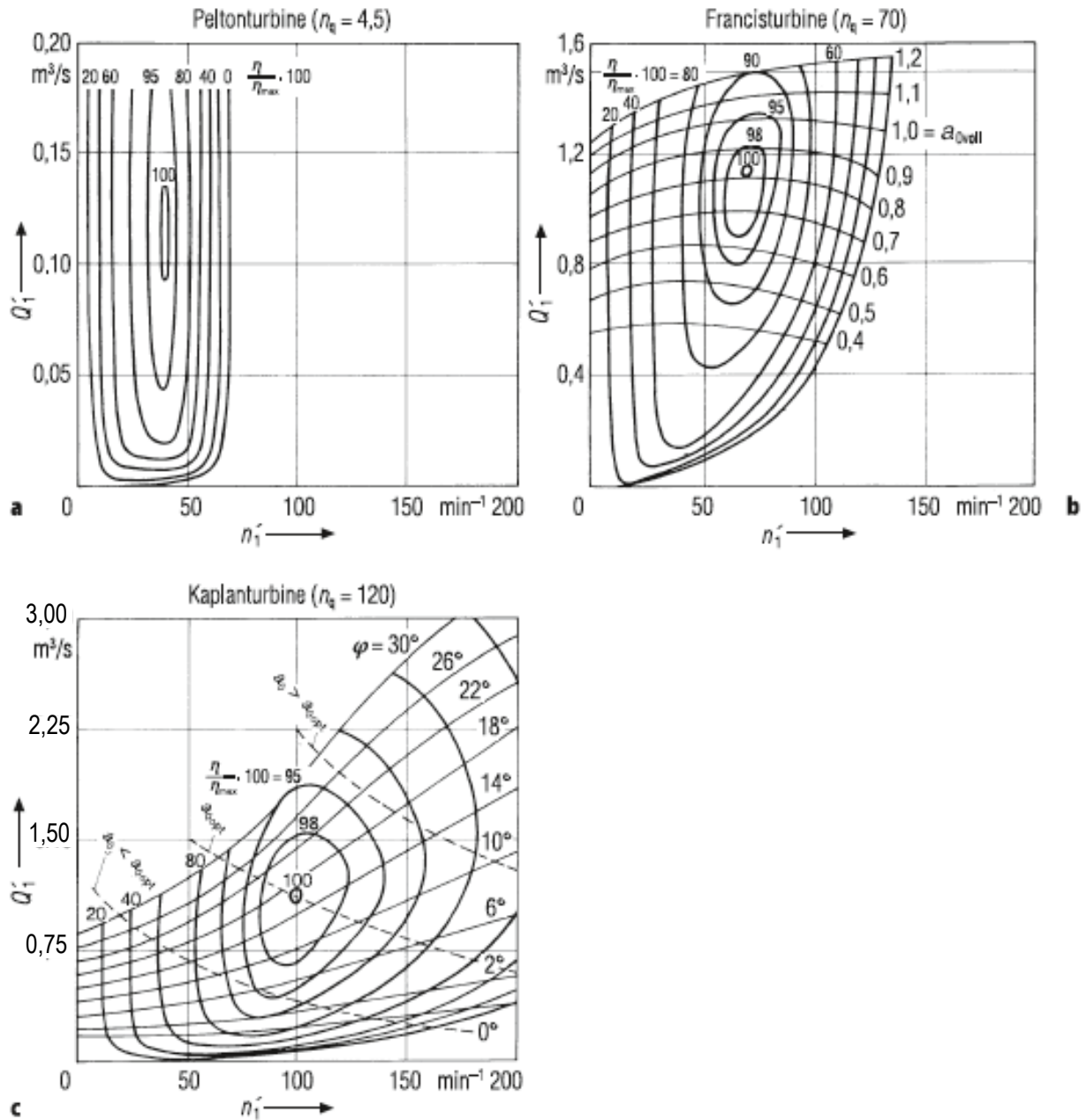
Hinweis: Verwenden Sie die beigelegten Muschelkurven.

- f. (6) Aufgrund eines Bestellfehlers wird ein Generator mit $2/3$ der ursprünglichen Polpaarzahl geliefert. Um welchen **Faktor** ändert sich der **Turbinenwirkungsgrad** bei sonst gleichen Parametern?

Hinweis: Verwenden Sie die beigelegten Muschelkurven.

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

Diagramme und Hilfestellungen für Beispiel 4



Formeln:

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

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

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