

Schriftliche Prüfung aus VO Kraftwerke am 25.04.2017

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

1. Gasturbine (25 Punkte)

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

Daten: $p_3 = p_4 = 1 \text{ bar}$ und $p_1 = p_2 = 11 \text{ bar}$
 Ansaugtemperatur $t_4 = 25^\circ\text{C}$
 Maximale Prozesstemperatur $t_2 = 1200^\circ\text{C}$
 Spezifische Wärmekapazität: $c_p = 1,015 \text{ kJ}/(\text{kg K})$
 $\kappa_{\text{Luft}} = 1,4$

- (2) Skizzieren Sie das **Blockschaltbild** einer Gasturbine und beschriften Sie die relevanten thermodynamischen Punkte.
- (1) Welche relevanten thermodynamischen **Zustandsänderungen** kommen in der Gasturbine vor?
- (2) Skizzieren Sie das **pV-** und das **TS-Diagramm** und beschriften Sie die relevanten thermodynamischen Punkte (passend zum Blockschaltbild) in den Diagrammen.
- (3) Wie hoch sind die **Temperaturen T_3 und T_1** (nach dem Verdichter und nach der Turbine)?

Die folgenden Teilaufgaben **können** ohne Lösung der Teilaufgaben a-d bearbeitet werden. Verwenden Sie dann ab hier folgenden Wert: $T_3 = 742,5 \text{ K}$ und $T_1 = 591,5 \text{ K}$.

- (2) Wie groß ist die **spezifische Verdichterarbeit** (W_{41}/m – die dem Verdichter bei keinerlei Verlusten zugeführt werden muss)?
- (2) Wie groß ist die **spezifische Turbinenarbeit** W_{23}/m ?
- (2) Wie groß ist die **spezifische Nutzarbeit**?
- (3) Wie groß ist die **spezifische Wärmezufuhr** und **Wärmeabfuhr**?
- (2) Welcher **Massenstrom** ist für eine abgegebene mechanische Leistung von 2,5 MW erforderlich?
- (3) Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad** und das **Arbeitsverhältnis**?
- (3) Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad**, wenn ein **Arbeitsmedium mit den Eigenschaften wie Helium** (einatomiges Gas, 3 Freiheitsgrade) verwendet wird bei sonst gleichen Eckdaten?

2. GuD Kraftwerk (25 Punkte)

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

| Gasturbine GT | | Dampfturbine DT | |
|------------------------|------------|---|-----------|
| Spez. Verdichterarbeit | 325 kJ/kg | Spez. Turbinenarbeit | 688 kJ/kg |
| Spez. Turbinenarbeit | 745 kJ/kg | Spez. Kompressionsarbeit -Speisewasserpumpe | 18 kJ/kg |
| Spez. Wärmezufuhr | 1035 kJ/kg | Spez. Wärmeauskopplung Fernwärme | 410 kJ/kg |
| Spez. Wärmeabgabe | 615 kJ/kg | Wärmezufuhr der DT = 70% Wärmeabgabe der GT | |

Massen- und Stoffänderungen in der Brennkammer sollen vernachlässigt werden. Die Massenverhältnisse des Gasturbinenprozesses mit dem Dampfturbinenprozess sind im Verhältnis 4:1. Der elektrische Wirkungsgrad des Generators ist 97%.

Heizwert-Erdgas: $H, V = 35\,800 \text{ kJ}/\text{m}^3$

- (4) Zeichnen Sie das **Ersatzschaltbild** des kombinierten Gas- und Dampfprozesses und **beschriften** Sie die Symbole.
- (3) Bestimmen Sie den **elektrischen Wirkungsgrad** der **Gasturbine**.
- (5) Bestimmen Sie den **Wirkungsgrad der Dampfturbine mit und ohne Fernwärmeauskopplung**.
- (5) Bestimmen Sie den **Wirkungsgrad der gesamten GuD-Anlage mit und ohne Fernwärmeauskopplung**.
- (4) Welche **Brennstoffmenge** (m^3/h) ist für eine elektrische **Gesamtleistung** (GuD) von **200 MW** nötig?
- (4) Welche **Brennstoffmenge** (m^3/h) muss bei der Gasturbine erfolgen, um eine **effektive Fernwärmeauskopplung von 65 MW** zu erzielen?

3. Abgasstrom eines Kohlekraftwerks (25 Punkte)

Das Fernheiz-Kraftwerk Mellach (Stmk) verfügt über eine elektrische Leistung von 246 MW bei einem Gesamtwirkungsgrad (elektrisch) von 40%.

Die verwendete Steinkohle hat ein spezifisches Volumen von 1,35 t/m³ und einen Heizwert von 33 MJ/kg.

Chemische Analyse Steinkohle (Massenprozent):

Wassergehalt: 3% Aschegehalt: 5,6%

Elementaranalyse des wasser- und aschefreien Brennstoffs (Massenprozent):

C: 84,7% H₂: 5,4% O₂: 9% S: 0,9%

Zusammensetzung Luft (Volumsprozent):

O₂: ~21% N₂: ~79% Luftdichte: ~1200g/m³ V_m = 22,4136 Liter/mol

Spezifische Wärmekapazitäten in kJ/(kg·K) bei konst. Druck 1 bar und 800°C:

CO₂: 1,085 H₂O: 2,073 O₂: 1,015 N₂: 1,096 SO₂: 1,096

| Chemische Formel | H | H ₂ | C | N | O | H ₂ O | N ₂ | O ₂ | S | CO ₂ | SO ₂ |
|--------------------------|---|----------------|----|----|----|------------------|----------------|----------------|----|-----------------|-----------------|
| Molekulargewicht [g/mol] | 1 | 2 | 12 | 14 | 16 | 18 | 28 | 32 | 32 | 44 | 64 |

- a. (3) Welche **Brennstoffzufuhr** ist für das Fahren unter Nennleistung pro Stunde notwendig?
- b. (3) Welcher **Volumenstrom** ergibt sich für Punkt a.?
- c. (5) Welcher wasser- und aschefreier **Massen- und Volumenstrom** der Brennstoffkomponenten ergibt sich bei Nennleistung?

Hinweis: Das spezifische Volumen von Steinkohle soll vereinfachend gleich bleiben.

- d. (10) Bestimmen Sie die **Massenströme der Abgaskomponenten**.

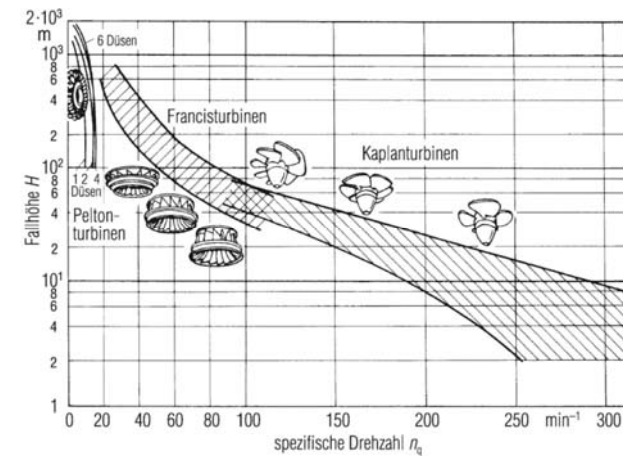
Hinweis: Bei der Verbrennung werden keine Stickoxide gebildet und Annahme einer stöchiometrischen Verbrennung.

- e. (4) Bestimmen Sie die **Verbrennungstemperatur**.

4. Auslegung eines Wasserkraftwerks (25 Punkte)

Es soll eine Turbine für ein Wasserkraftwerk ermittelt und dimensioniert werden. Die Turbine soll einen Nenn-Volumenstrom Q_N = 103,62 m³/s über eine Fallhöhe H von 40 m abarbeiten. Dabei soll ein Turbinen-Generatorsatz mit einer synchronen Drehzahl von 187,5 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 = 34,782 MW, wenn der hydraulische Wirkungsgrad η_H = 94% beträgt?
- d. (4) Welche **elektrische Leistung** weist der Turbinen-Generatorsatz auf, wenn die folgenden Wirkungsgrade gegeben sind:

Generatorwirkungsgrad η_G = 97%
 Eigenbedarf ε = 2%

- e. (4) Wie groß ist der **Durchmesser** der Turbine für **einen optimalen Betrieb** bei Nennleistung und gegebener Drehzahl (d.h. Auslegung über n₁)?

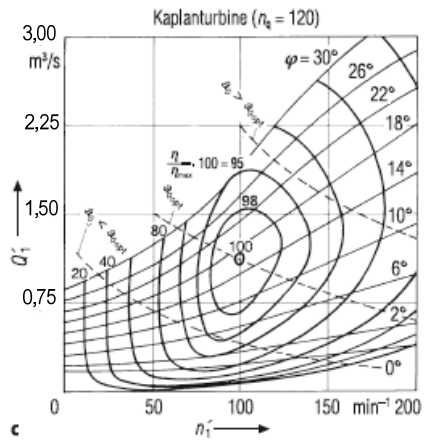
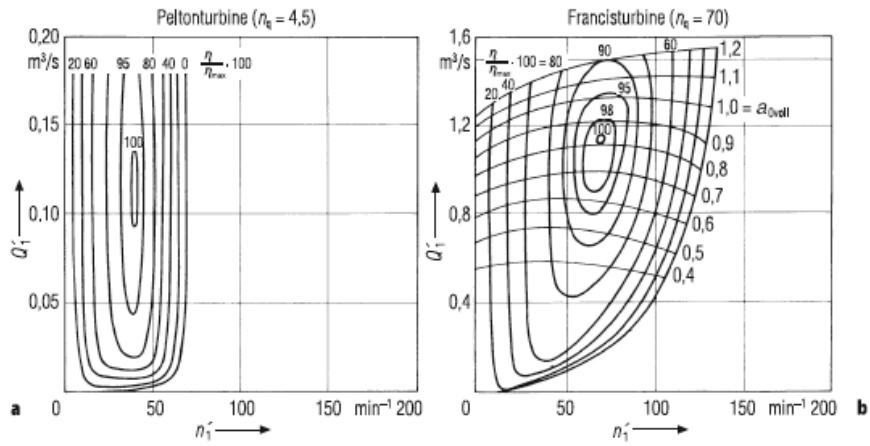
Hinweis: Verwenden Sie die beigelegten Muschelkurven.

- f. (6) Aufgrund eines Bestellfehlers wird ein Generator mit 3/4 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:

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

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

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