

## Schriftliche Prüfung aus VO Kraftwerke am 19.11.2019

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  $\frac{p_1}{p_4} = 10$ . Die Anfangstemperatur ist  $T_4 = 50^\circ\text{C}$ . Die zugeführte Wärmemenge wird derart eingestellt, dass eine höchste Temperatur  $T_2 = 1100^\circ\text{C}$  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

- (4) Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad**?
- (5) Wie groß sind die **Temperaturen** des Prozesses an den vier Punkten der Zustandsänderungen?
- (3) Wie groß ist der erforderliche **Wärmestrom** für eine abgegebene Nutzleistung Leistung von 1 MW?
- (4) Welcher **Massenstrom** des Helium-Gases in kg/s ist für diese Leistung erforderlich?
- (3) Wie groß ist die **Turbinenleistung**?
- (3) Wie groß ist die technische **Verdichterleistung**?
- (3) Wie groß ist das **Arbeitsverhältnis**?

**2. Auslegung eines Dampfkraftwerks (25 Punkte)**

Bei der Auslegung eines Dampfkraftwerks soll eine einteilige (ohne Zwischenüberhitzung - ZÜ) und zweiteilige Dampfturbine (mit ZÜ) analysiert werden.

Die Eintrittstemperatur des Frischdampfes in die Turbine beträgt  $600^\circ\text{C}$ . Im Fall der zweiteiligen Turbine wird der Dampf wieder auf  $600^\circ\text{C}$  zwischenüberhitzt bei einem Druck von 20 bar. Das Kondensat hat für beide Auslegungsvarianten einen Druck von 0,2 bar, die Speisewasserpumpe verdichtet das Kondensat auf 100 bar.

Die Speisewasserpumpe sitzt auf der gemeinsamen Welle und die von ihr verrichtete Arbeit ist in diesem Beispiel bei allen Rechengängen zu berücksichtigen. Druckverluste in den Rohr- und Wärmetauschsystemen sind zu vernachlässigen.

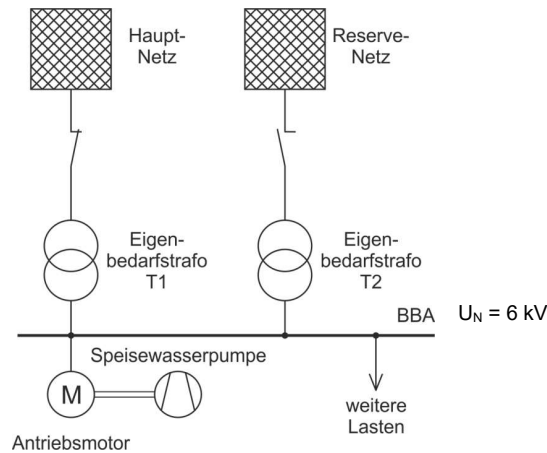
- (3) Skizzieren Sie das **T,s-Diagramm** des Kreisprozesses für beide Auslegungsvarianten und **kennzeichnen** Sie für beide Fälle jeweils die **Fläche der Wärmezufuhr und Wärmeabgabe** ein!
- (4) Wie groß ist die **Dampfnässe** in % vor dem Kondensator im Fall der **einteiligen** und der **zweiteiligen** Ausführung der Dampfturbine?
- (7) Wie groß ist der **Wirkungsgrad** des Dampfkraftwerks für **beide Auslegungsvarianten**?
- (2) **Zeichnen** Sie in das beiliegende h-s Diagramm die **beiden Arbeitsprozesse** ein, soweit diese im Wertebereich des vorgegebenen Diagramms liegen.

Für die folgenden Unterpunkte sei die Dampfturbine zweiteilig ausgeführt, die oben berechneten Größen für diese Auslegungsart können weiterverwendet werden.

- (5) Welche **Speisewassermenge** in kg/h ist für die Verbrennung von 21,23 kg/s Steinkohle notwendig, unter der Berücksichtigung des Kesselwirkungsgrades von 97%? Der Heizwert von Steinkohle beträgt 33 MJ/kg.
- (4) Welche elektrische Leistung kann mit dieser Dampfmenge erzielt werden? Der Generatorwirkungsgrad beträgt 98%.

### 3. Eigenbedarfsnetz eines Kraftwerkes (25 Punkte)

Gegeben ist folgendes vereinfacht dargestelltes Eigenbedarfssystem eines Kraftwerkes.



Trafo T1 und T2:  $S_N = 29 \text{ MVA}$ ;  $u_k = 12\%$ ;  $P_k = 0 \text{ W}$

Speisewasserpumpe:  $P_{FWP} = 5 \text{ MW}$  (mechanische Wellenleistung im Normalbetrieb)

Motor:  $U_N = 6 \text{ kV}$ ;  $\eta = 0,96$ ;  $\cos \varphi = 0,87$ ;  $I_A / I_N = 5,5$   
Beim Anlauf:  $\cos \varphi_A = 0,18$

Weitere Lasten:  $S_{NEB} = 5 \text{ MVA}$ ;  $\cos \varphi_{EB} = 0,9$ ;  $I''_{KEB} = 4,3 \text{ kA}$

- Bestimmen Sie die **Scheinleistung** und den **Nennstrom** des Antriebsmotors für die Kesselspeisepumpe. Berücksichtigen Sie dabei, dass der Motor aus Gründen der Redundanz auf die doppelte Wellenleistung ausgelegt ist.
- Bestimmen Sie den **Anlaufstrom** des Antriebsmotors bei Nennbedingungen und damit den **Kurschlussstrombeitrag**.
- Schätzen Sie den **Gesamtkurzschlussstrom** für einen **dreipoligen Kurzschluss** an der Sammelschiene BBA ab, wenn entweder aus dem Haupt- oder aus dem Reservenetz gespeist wird. Nehmen sie dazu an, dass die Kurzschlussleistung des Haupt- bzw. Reservenetzes unendlich groß ist.
- Berechnen Sie die **Resistanz** und die **Reaktanz** des anlaufenden Motors.
- Schätzen Sie den **Spannungseinbruch** an der Sammelschiene BBA ab, wenn alle anderen Lasten abgeschaltet sind und der Motor für die Kesselspeisepumpe anläuft. Vor Zuschaltung des Motors wird dabei die Spannung an der Sammelschiene BBA über den Stufensteller des speisenden Trafos auf 108% geregelt.

### 4. 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:  $H_{i,V} = 35\,800 \text{ kJ/m}^3$

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