

Schriftliche Prüfung aus VO Kraftwerke am 21.01.2016

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 $p_1 = p_2 = 12 \text{ bar}$
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_{t41}/m – die dem Verdichter bei keinerlei Verlusten zugeführt werden muss)?
- d. (2) Wie groß ist die **spezifische Turbinenarbeit** W_{t23}/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** (einatomiges Gas, 3 Freiheitsgrade) verwendet wird bei sonst gleichen Eckdaten?

2. Dampfkraftwerk (25 Punkte) TABELLE UND DIAGRAMM

Ein Dampfkraftwerk mit einer zweiteiligen Dampfturbine und Zwischenüberhitzung soll grob ausgelegt werden. Die Speisewasserpumpe sitzt auf der gemeinsamen Welle und die von ihr verrichtete Arbeit ist in diesem Beispiel bei allen Rechengängen zu berücksichtigen.

Gegeben sind die folgenden Daten:

Austrittsdruck nach Turbine 2: **0,1 bar**

10% Wassergehalt im Dampf

Spezifische Arbeit der Speisewasserpumpe: **17,67 kJ/kg**

Nach der Vorerwärmung beträgt die Entropie: **3,84 kJ/kgK**

Eintrittstemperatur in die Hochdruckturbine: **560°C**

Druckverluste in den Rohr- und Wärmetauschsystemen sind zu vernachlässigen.

Hinweis: Die Lösungen können tlw. aus dem T,s-Diagramm gewonnen werden. Werte für weitere Berechnungen/Bestimmungen sind aus den Dampftabellen zu entnehmen.

- a. (3) Zeichnen Sie ein **Ersatzschaltbild** des **Dampfkreisprozesses** und beschriften Sie die thermodynamisch relevanten Punkte.
- b. (2) Zeichnen Sie in das **T,s-Diagramm** die thermodynamischen Zustände nach der Niederdruckturbine und vor der Speisewasserpumpe ein.
- c. (3) Wie hoch ist der **Druck** nach der **Speisewasserpumpe**?
- d. (3) Wie hoch ist die **Temperatur** nach der Vorwärmung des Wassers?
- e. (3) Der Dampfstrom wird in der Hochdruckturbine so entspannt das sich danach eine Temperatur von 232°C einstellt. Bestimmen Sie den **Druck** nach der Hochdruckturbine.
- f. (3) Welche **Temperatur** herrscht nach der Zwischenüberhitzung?
- g. (3) Wie groß ist die spezifische **Arbeit** des **Zwischenüberhitzers**?
- h. (5) Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad** des Kraftwerkes?

3. CO₂ Vergleich (25 Punkte)

Zur Erzeugung von elektrischer Energie stehen zwei Kraftwerkstypen zur Auswahl:

KW1: Kohlekraftwerk mit Entstickung und Entschwefelung mit einem Gesamtwirkungsgrad der elektrischen Energieumwandlung von 40%. Die eingesetzte Kohle hat einen eingesetzten Heizwert von 31MJ/kg. Chemische Zusammensetzung der eingesetzten Kohle (Massenprozent):

Kohlenstoff: 96% Wasserstoff: 3% Schwefel: 1%

KW2: Gas- und Dampfkraftwerk (GUD) mit einem Gesamtwirkungsgrad der elektrischen Energieumwandlung von 52%. Der Heizwert von Erdgas beträgt von 33,5MJ/kg. Chemische Zusammensetzung des eingesetzten Erdgas (Massenprozent):

Kohlenstoff: 88% Wasserstoff: 12%

Atom und Molekulargewichte:

H: 1 C: 12 O: 16 S: 32 Ca: 40

Das auszuwählende Kraftwerk soll 200MW elektrische Leistung erzeugen, davon werden 100 MW zur Beheizung von Wohnungen mit einem elektrischen Heizwirkungsgrad von 92% verwendet.

- a. (8) Wie groß sind die **stündlichen Kohlendioxidausstöße** beider Kraftwerke?
- b. (2) Wie groß ist die zu deckende **thermische Last**?

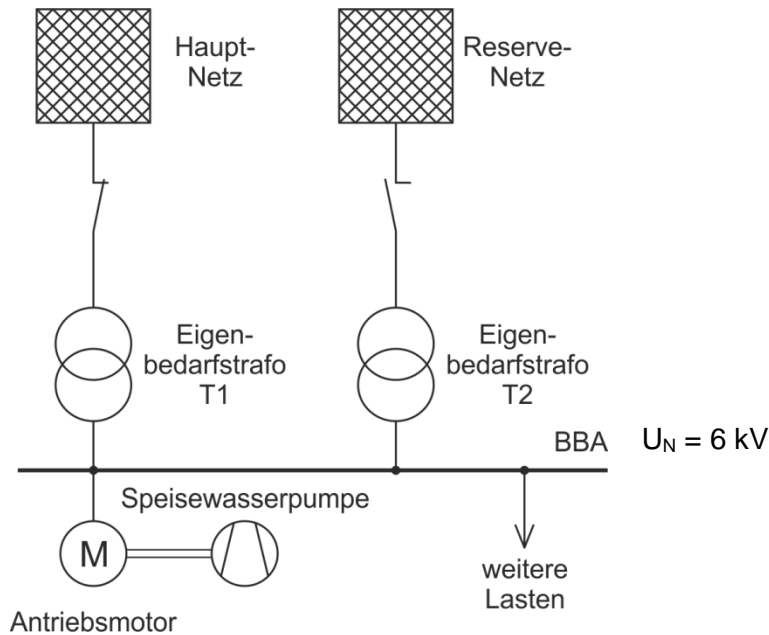
Das Kohlekraftwerk (KW1) soll nun die thermische Last durch eine Fernwärmeauskopplung decken. Dadurch reduziert sich die zu erzeugende elektrische Leistung des Kraftwerks um 100 MW. Der Wirkungsgrad der elektrischen Energieumwandlung beträgt 35%.

- c. (5) Welche **Brennstoffzufuhr** ist für die elektrische und thermische Energieerzeugung notwendig? Wie groß ist der **Gesamtwirkungsgrad** des Kraftwerks?
- d. (5) Wie groß ist jetzt der **stündliche Kohlendioxidausstoß** des Kohlekraftwerks?
- e. (5) Welche **stündliche Gipsmenge** und **Volumen** ($\rho_{\text{Gips}} = 2,3 \text{ t/m}^3$) fallen bei dem Nassentschwefelungsverfahren mit 90 % Schwefeldioxid-Abscheidegrad des Kohlekraftwerks unter gegebener thermischer und elektrischer Last an?

Hinweis: Bei diesem Verfahren wird das Schwefeldioxid (SO₂) durch chemische Reaktion mit Kalk in Gips (CaSO₄ 2(H₂O)) umgewandelt.

4. Eigenbedarf eines Kraftwerks (25 Punkte)

Gegeben ist folgendes vereinfacht dargestelltes Eigenbedarfssystem eines Kraftwerkes.



Trafo T1 und T2: $S_N = 30 \text{ MVA}$; $u_k = 15\%$

Speisewasserpumpe: $P_{FWP} = 4,5 \text{ MW}$ (mechanische Wellenleistung im Normalbetrieb)

Motor: $U_N = 6 \text{ kV}$; $\eta = 0,95$; $\cos \varphi = 0,88$; $I_A/I_N = 6$

Beim Anlauf: $\cos \varphi_A = 0,17$

Weitere Lasten: $S_{NEB} = 5 \text{ MVA}$; $\cos \varphi_{EB} = 0,91$; $I''_{KEB} = 4 \text{ kA}$

- (5) 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.
- (4) Bestimmen Sie den **Anlaufstrom** des Antriebsmotors bei Nennbedingungen und damit den Kurzschlussstrombeitrag.
- (6) 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.
- (5) Berechnen Sie die **Resistanz** und die **Reaktanz** des anlaufenden Motors.
- (5) 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 110% geregelt. Vernachlässigen Sie dazu den resistiven Anteil der Trafoimpedanz.