

Schriftliche Prüfung aus VO Kraftwerke am 09.10.2018

Name/Vorname: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ Matr.-Nr./Knr.: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

1. Gasturbine (25 Punkte)

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

Daten: Umgebungsluft:  $T=21\text{ °C}$ ;  $p=1013\text{ mBar}$ ;  $\kappa = 1,4$ ;  $c_p = 1,005\text{ kJ/(kg K)}$   
 Verdichtung:  $p_1/p_4=7$   
 Maximale Temperatur im Prozess:  $1140\text{ °C}$   
 Gaskonstante:  $R=287,058\text{ J/kgK}$

a. (2) Zeichnen Sie das **Blockschaltbild des Gasturbinenprozesses** und beschriften Sie die thermodynamisch relevanten Punkte.

Hinweis: Bezeichnen Sie dabei die Frischluftzufuhr als Zustand 4.

b. (4) Wie hoch sind die **Temperaturen  $T_1$  und  $T_3$**  (nach dem Verdichter und nach der Turbine)?

c. Zeichnen Sie das **pv- und das Ts-Diagramm**, indem Sie die folgenden Schritte durchführen:

i. (2) Berechnen Sie die **spezifischen Volumina  $v_1, v_2, v_3, v_4$** .

Hinweis: Im Prozess kann Luft als ideales Gas angenommen werden.

ii. (3) Berechnen Sie die Änderung der **spezifischen Entropie ( $s_{12}$ )**.

Hinweis:  $ds = \frac{dq}{T}$

iii. (2) **Zeichnen Sie die beiden Diagramme** und tragen Sie die berechneten bzw. gegebenen Werte für  $p, v$  und  $T, s$  in die beiden Diagramme ein. Nehmen Sie für  $s_1=0\text{ kJ/kgK}$  an.

d. (2) Wie groß ist die **spezifische technische Verdichterarbeit  $w_{t41}$**  – die dem Verdichter bei Vernachlässigung von Verlusten zugeführt werden muss?

e. (2) Wie groß ist die **spezifische technische Turbinenarbeit  $w_{t23}$** ?

f. (2) Wie groß ist die **spezifische Nutzarbeit**?

g. (3) Wie groß ist die **spezifische Wärmezufuhr und Wärmeabfuhr**?

h. (3) Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad** und das **Arbeitsverhältnis**?

2. Auslegung eines Dampfkraftwerks (25 Punkte)

Ein Dampfkraftwerk soll grob ausgelegt werden. Die Dampfturbine ist zweiteilig. Nach Durchlaufen der ersten Turbine wird der Dampf in einem Zwischenüberhitzer auf die Frischdampf-temperatur zwischenüberhitzt. Die Speisewasserpumpe sitzt auf der gemeinsamen Welle und die von ihr verrichtete Arbeit ist in diesem Beispiel bei allen Rechengängen zu berücksichtigen. Als Vergleichsprozess soll der ideale Clausius-Rankine-Prozess herangezogen werden.

a. (3) Gegeben sind folgende Werte einer Momentaufnahme eines Kohlekraftwerkes. **Vervollständigen** Sie folgende Tabelle, soweit es **ohne Berechnung** möglich ist.

Hinweis: ein Feld kann ohne Bearbeitung der folgenden Teilaufgaben noch nicht befüllt werden!

Nr.	Komponente	Temperatur danach	Druck danach
5	Kondensator		
6	Speisewasserpumpe	46,135 ° C	
7	Vorwärmer	311 ° C	
8	Verdampfer		
1	Überhitzer	500° C	100bar
2	Hochdruckturbine		20 bar
3	Zwischenüberhitzer		
4	Niederdruckturbine		0,1 bar

b. (6) Tragen Sie die **Punkte 1–8** aus obiger Tabelle in das beiliegende **T-s Diagramm** ein. **Vervollständigen** Sie anschließend das T-s Diagramm.

c. (3) Berechnen Sie den **Dampfgehalt** in % vor dem Kondensator.

d. (3) Berechnen Sie die spezifische **Arbeit** zur Verdichtung durch die **Speisewasserpumpe**.

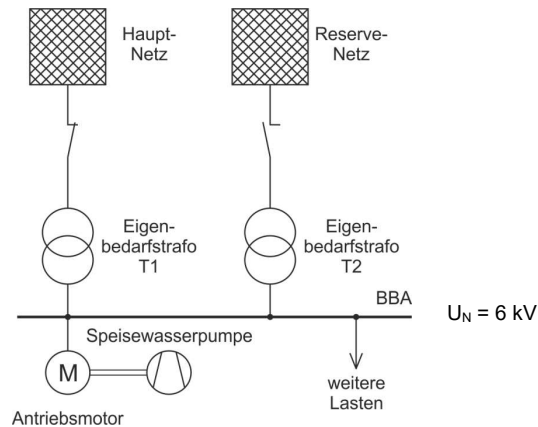
Hinweis: im Fall, dass die Werte aus der Dampftabelle nicht abgelesen werden können, können die nächstgelegenen aus der Dampftabelle herangezogen werden

e. (5) Berechnen sie den **Wirkungsgrad** des Kreisprozesses mit Zwischenüberhitzung.

f. (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.

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

Gegeben ist folgendes vereinfacht dargestelltes Eigenbedarfssystem eines Kraftwerkes.



Hauptnetz:  $S''_k = 100 \text{ MVA}$ ;  $c_{\max} = 1$ ;  $R_{\text{Netz}} = 0$

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

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

Motor:  $U_N = 6 \text{ kV}$ ;  $\eta = 0,95$ ;  $\cos \varphi = 0,85$ ;

Beim Anlauf:  $\cos \varphi_A = 0,18$

Weitere Lasten (Motorgruppe):  $\cos \varphi_{EB} = 0,85$ ;  $I''_{KEB} = 2,4 \text{ kA}$

- Bestimmen Sie die **Scheinleistung** und den **Bemessungsstrom** des Antriebsmotors für die Kesselspeisepumpe. Berücksichtigen Sie dabei, dass der Motor aus Gründen der Redundanz auf die doppelte Wellenleistung ausgelegt ist.
- Der Anlaufstrom des Antriebsmotors bei Nennbedingungen sei  $I_{\text{Anlauf}} = 3,81 \text{ kA}$ . Bestimmen Sie das **Anlaufstromverhältnis**  $\frac{I_A}{I_N}$ .
- Berechnen Sie die **wirksamen Impedanzen der Betriebsmittel** für einen **dreipoligen Kurzschluss** an der Sammelschiene BBA (Resistanz und Reaktanz).
- Schätzen Sie den **Gesamtkurzschlussstrom** für einen **dreipoligen Kurzschluss** an der Sammelschiene BBA mit der Berücksichtigung des Kurzschlussstrombeitrages der Motoren ab, wenn aus dem Hauptnetz gespeist wird.
- Schätzen Sie die **verkettete Spannung 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. Kohlekraftwerk mit Entschwefelung (25 Punkte)**

Ein Fernheiz-Kraftwerk verfügt über eine elektrische Leistung von 280 MW bei einem Wirkungsgrad (elektrisch) von 40% und benötigt im Durchschnitt pro Jahr 400.000t Steinkohle (Heizwert: 30 MJ/kg)

- Welche **Brennstoffzufuhr** ist für das Fahren unter Nennleistung notwendig?
- Welche **Volllaststundenzahl** ergibt sich im Durchschnitt?

Die verwendete Steinkohle habe einen durchschnittlichen Schwefelgehalt von  $a_s = 1\%$

- Welcher **Schwefelmassenstrom** ergibt sich im Abgas bei Nennleistung?

Das Kraftwerk verfügt über eine Rauchgasentschwefelungsanlage (REA), welches ein Nassentschwefelungsverfahren mit 90 % Schwefeldioxid-Abscheidegrad verwendet und das Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) durch chemische Reaktion mit Kalk in Gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ ) verwandelt.

Atom und Molekulargewichte:

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

- Welche **Gipsmenge** und **Volumen** fällt pro Stunde bei Volllast an ( $\rho_{\text{Gips}} = 2,3 \text{ t/m}^3$ )?
- Wie viele **LKW-Fahrten** sind **pro Jahr** nötig, um die, bei oben angegeben Jahresbedarf an Steinkohle, anfallende Gipsmenge abzutransportieren (Nutzlast eines LKW = 20t)?