

Schriftliche Prüfung aus VO Kraftwerke am 21.06.2017

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

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: $p_2/p_1=7$
 Maximale Temperatur im Prozess: 1140 °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}/m** – die dem Verdichter bei Vernachlässigung von Verlusten zugeführt werden muss?

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

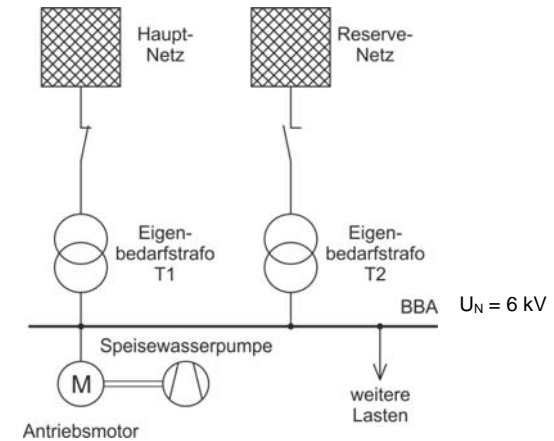
f. (2) Wie groß ist die **spezifische Nutzarbeit**?

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

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

2. Eigenbedarf eines Kraftwerks (25 Punkte)

Gegeben ist folgendes vereinfacht dargestelltes Eigenbedarfssystem eines Kraftwerkes.



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

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

a. (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.

b. (4) Bestimmen Sie den **Anlaufstrom** des Antriebsmotors bei Nennbedingungen und damit den **Kurschlussstrombeitrag**.

c. (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.

d. (5) Berechnen Sie die **Resistanz** und die **Reaktanz** des anlaufenden Motors.

e. (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 108% geregelt. Vernachlässigen Sie dazu den resistiven Anteil der Trafoimpedanz.

3. Heizkraftwerk (25 Punkte)

Ein Heizkraftwerk hat einen Frischdampfdruck von 100 bar bei einer Temperatur von 550°C. Die Dampfturbine arbeitet bei einem Gegendruck von 2 bar.

Wirkungsgrade:

Kesselwirkungsgrad:	85,0%
Turbinen- und Generatorwirkungsgrad:	90,0%
Heizungswirkungsgrad (Wärmetauscher):	87,0%

Die Speisepumpe sitzt auf der gemeinsamen Welle und die von ihr verrichtete Arbeit ist in diesem Beispiel bei allen Rechengängen zu berücksichtigen. Die Entspannung in der Dampfturbine kann als ideal adiabat angesehen werden.

Hinweis: Die Fernwärmeentnahme findet ausschließlich beim isobaren Übergang statt.

- Bestimmen Sie den **Gesamt-Wirkungsgrad** des Gegendruck-Heizkraftwerkes (inkl. Fernwärmeauskopplung).
- Zeichnen Sie in das **Mollier-Diagramm** den Arbeitsprozess ein, soweit er im Wertebereich des vorgegebenen Diagramms liegt und skizzieren Sie das **T,s-Diagramm** des Kreisprozesses.
- Welche Kohlemenge in t/h, unter Berücksichtigung des Heizwerts von 33 MJ/kg, ist für eine **Heizleistung des Fernheizkreises von 200** erforderlich?
- Welche **elektrische Leistung** kann unter Berücksichtigung der Kohlemenge aus Punkt c) produziert werden?
- Welcher **Massestrom im Fernheizkreis** ist erforderlich, damit bei einer Vorlauftemperatur von 110°C und einer Rücklauftemperatur von 65 °C eine thermische Leistung von 200 MW ausgekoppelt werden kann (Spezifische Wärmekapazität von Wasser ist $c = 4,18 \text{ kWs/kgK}$)
- Bestimmen Sie den **Wirkungsgrad** des Kondensations-Kraftwerkes im Fall dass **keine Fernwärmeauskopplung** stattfindet und die Dampfturbine auf einen Kondensationsdruck von **0,1 bar** abgearbeitet wird.

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 (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)?