

**Schriftliche Prüfung aus VO Kraftwerke am 08.03.2017**

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

**1. Stirlingmotor (25 Punkte)**

Ein Stirlingmotor soll zur Stromerzeugung eingesetzt werden. Es wird ein 4-poliger Generator verwendet. Als thermische Quelle wird ein Holzofen verwendet, in den der obere Zylinderteil hineinragt. Die untere Temperatur wird durch einen Warmwasserkreislauf für die Zimmerheizung verwendet, dessen mittlere Temperatur am unteren Teil des Stirlingzylinders  $40^{\circ}\text{C}$  beträgt. Der Druck ist dabei  $1\text{ bar} = 10^5\text{ N/m}^2$ . Es wird eine Wellenleistung von  $10\text{ kW}$  benötigt.

Daten des Motors:

Volumen bei Verdichtung:  $V_2 = V_3 = 0,3\text{ Liter}$ Volumen bei Expansion:  $V_1 = V_4 = 1,7\text{ Liter}$ 

Das im Motor befindliche Arbeitsmedium Luft soll durch seine spezielle Gaskonstante  $R = 287,2\text{ J}/(\text{kg K})$  bei  $0^{\circ}\text{C}$  und  $1\text{ bar}$  dargestellt werden.

- a. (6) Skizzieren Sie das **pV- und das TS-Diagramm** und beschriften Sie die relevanten Punkte.
- b. (3) Welcher **Massenstrom** wird im Motor bewegt?
- c. (4) Wie groß ist die erforderliche **obere Temperatur**?
- d. (3) Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad**?
- e. (3) Wie groß ist das **Arbeitsverhältnis**?
- f. (3) Welches Niveau müsste die **obere Temperatur** unter sonst gleichen Bedingungen mindestens haben, damit der thermische Wirkungsgrad nicht unter  $50\%$  fällt?
- g. (3) Wie groß ist die **Heizleistung** des Kühlwasserkreislaufs (1 – 2)?

**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**

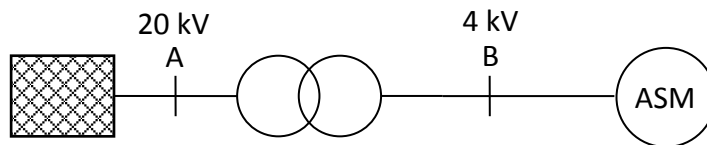
Druckverluste in den Rohr- und Wärmetauschsystemen sind zu vernachlässigen.

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. Eigenbedarf eines Wärmekraftwerks (25 Punkte)

Ein Asynchronmotor wird durch das Eigenbedarfsnetz eines Wärmekraftwerks für den Antrieb einer Speisewasserpumpe versorgt.



Eigenbedarfsnetz-Netz	Transformator	Asynchronmotor
$S_k'' = 100 \text{ MVA}$	$u_k = 6 \%$	$P_N = 1,3 \text{ MW}; \cos \varphi_N = 0,85 \text{ ind.}$
$R_N = 0 \Omega$	$\frac{R}{X} = 0$	$\frac{I_a}{I_N} = 5; \cos \varphi_A = 0$
$c = 1,1$	$S_N = 1,8 \text{ MVA}$	

- (6) Wie groß ist der **Gesamtkurzschlussstrom** für einen **dreipoligen Kurzschluss** an der Sammelschiene B ( $c=1,1$ )?
- (4) Wie groß ist der **Spannungseinbruch** an der Sammelschiene B beim Anlauf des Motors?  
Es werden drei unterschiedliche Spannungseinbruch-Begrenzungsmaßnahmen an der Sammelschiene B untersucht:
- (6) Wie groß darf die **bezogene Kurzschlussspannung** des **Transformators** höchstens sein, damit beim Anlauf des Motors der Spannungseinbruch an der Sammelschiene B unter 14,4% bleibt?
- (3) Wie **viele Transformatoren** gleichen Typs müssten zum vorhandenen Transformator parallelgeschaltet werden damit der Spannungseinbruch an der Sammelschiene B 14,4% nicht überschreitet?
- (6) Es soll beim Anlauf des Motors automatisch eine Kondensatorbatterie an der Sammelschiene B zugeschaltet werden. Wie groß muss der **Kapazitätswert** ausgelegt werden, damit der Spannungseinbruch 15% nicht überschreitet?

## 4. Verbrennung im Dampfkraftwerk (25 Punkte)

Ein mit Erdgas betriebenes Kraftwerk soll eine elektrische Leistung von 150MW erzeugen können. Der Gesamtwirkungsgrad (el. Leistung zu thermischer Kesselleistung) der Anlage beträgt 39%.

- a. (5) Wie groß ist die **thermische Kesselleistung** und der notwendige **Brennstoffvolumenstrom**?
- b. (5) Welcher **Mindestluftvolumen** ist bei stöchiometrischer Verbrennung erforderlich?
- c. (3) Welches **Luftvolumen pro Sekunde** ist erforderlich, wenn der Kessel mit einer Luftüberschusszahl von  $\lambda=1,8$  betrieben wird?
- d. (8) Welcher **Abgasstrom** entsteht und wie groß sind die **Masseanteile** der **einzelnen Komponenten**?

Zur Auskopplung von Fernwärme wird die Anlage um eine Anzapfung der Dampfturbine erweitert.

- e. (4) Berechnen Sie die **Stromkennzahl** und den **Gesamtwirkungsgrad** des Entnahmekraftwerks bei einer Auskopplung von 100MW thermischer Leistung und bei gleich bleibender elektrischer Leistung, sowie gleich bleibendem elektrischem Gesamtwirkungsgrad ~~aus Punkt a.~~

Molmassen (alle in kg/kmol):            C: 12; H: 1; O: 16; N: 14

Avogadro:                                     $V_m = 22,4136$  Liter pro mol bei Normalbedingungen

Heizwert-Erdgas:                           $H_{i,V} = 35800$  kJ/m<sup>3</sup>

Luft:     $\sim 21\%V$  O<sub>2</sub>;  $\sim 79\%V$  N<sub>2</sub>

**TS-DIAGRAMM EINFÜGEN**