

**Schriftliche Prüfung aus VO Kraftwerke am 23.01.2017**

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

**1. CO<sub>2</sub> 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 50%. 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 280MW elektrische Leistung erzeugen, davon werden 120 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 Nassschwefelungsverfahren mit 90 % Schwefeldioxid-Abscheidegrad des Kohlekraftwerks unter gegebener thermischer und elektrischer Last an?

Hinweis: Bei diesem Verfahren wird das Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) durch chemische Reaktion mit Kalk in Gips (CaSO<sub>4</sub>·2(H<sub>2</sub>O)) umgewandelt.

**2. Rechtsdrehender Carnot-Prozess (25 Punkte)**

Die Masse  $m = 1$  kg des idealen Gases Luft durchläuft einen Carnot-Kreisprozess. Die untere Temperatur beträgt  $T_U = 25^\circ\text{C}$  und der untere Druck  $p_u = 1$  bar.

Das Druckverhältnis von höchstem zu niedrigsten Druck ist  $p_1/p_3 = 50$ .

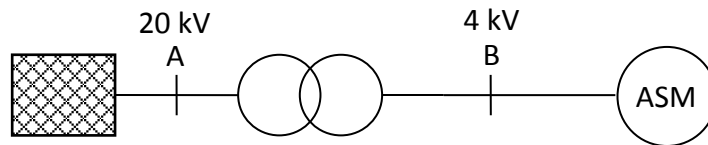
Das Volumenverhältnis  $V_3/V_4 = 3,8$ .

Für Luft gilt weiteres:  $c_p = 1,015$  kJ/(kg K);  $\kappa_{\text{Luft}} = 1,4$ ;  $R = 0,287$  kJ/(kg K).

- a. (3) Skizzieren Sie das **pv-Diagramm** des Carnot-Prozesses und beschriften Sie alle relevanten thermodynamische Zustandspunkte.
- b. (3) Wie groß ist das **Gasvolumen** im Punkt 3?
- c. (3) Wie groß sind **Volumen  $V_4$**  und **Druck  $p_4$** ?
- d. (3) Wie groß ist die **Wärmeabfuhr  $Q_{34}$** ?
- e. (4) Wie groß ist die **Verdichtungsarbeit  $W_{41}$** ?
- f. (4) Wie groß ist die **zugeführte Wärme**?
- g. (3) Wie groß ist die **abgegebene Nutzarbeit**?
- h. (2) Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad** (Carnot Faktor)?

**3. Eigenbedarf eines Wärmekraftwerks (25 Punkte)**

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



Eigenbedarfsnetz-Netz  
 $S_k'' = 150 \text{ MVA}$

Transformator  
 $u_k = 15 \%$

Asynchronmotor  
 $S_N = 1,4 \text{ MVA}$   
 $\cos \varphi_N = 0,85 \text{ ind.}$

$R_N = 0 \Omega$

$\frac{R}{X} = 0$

$\frac{I_a}{I_N} = 5; \cos \varphi_A = 0$

$c = 1,1$

$S_N = 5,5 \text{ MVA}$

$\frac{R_M}{X_M} = 0,1$

- (3) Wie groß ist die **mechanische Leistung** der **Speisewasserpumpe** bei einem elektrischen Wirkungsgrad des Motors von 98%?
- (4) Wie groß ist der **Gesamtkurzschlussstrom** für einen **dreipoligen Kurzschluss** an der Sammelschiene B?
- (6) Wie groß ist der **Spannungseinbruch** an der Sammelschiene B beim Anlauf des Motors?
- (6) Wie groß darf die **bezogene Kurzschlussspannung** des **Transformators** höchstens sein, damit beim Anlauf des Motors des Spannungseinbruch an der Sammelschiene B unter 15% bleibt?
- (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 10% nicht überschreitet?

**4. Heizkraftwerk (25 Punkte)**

Ein Heizkraftwerk arbeitet nach dem **Gegendruckprinzip** und weist **nach dem Kondensator** im Dampfturbinenkreis eine Temperatur von **120,21°C** auf. Die Anlage hat einen Gesamtwirkungsgrad (inkl. Fernwärmeentnahme) von 70,1 % und am Turbinenausgang beträgt das  $x$  0,95.

Wirkungsgrade:

Kesselwirkungsgrad:	85,0%
Turbinen- und Generatorwirkungsgrad:	91,0%
Heizungswirkungsgrad (Wärmetauscher):	80,0%

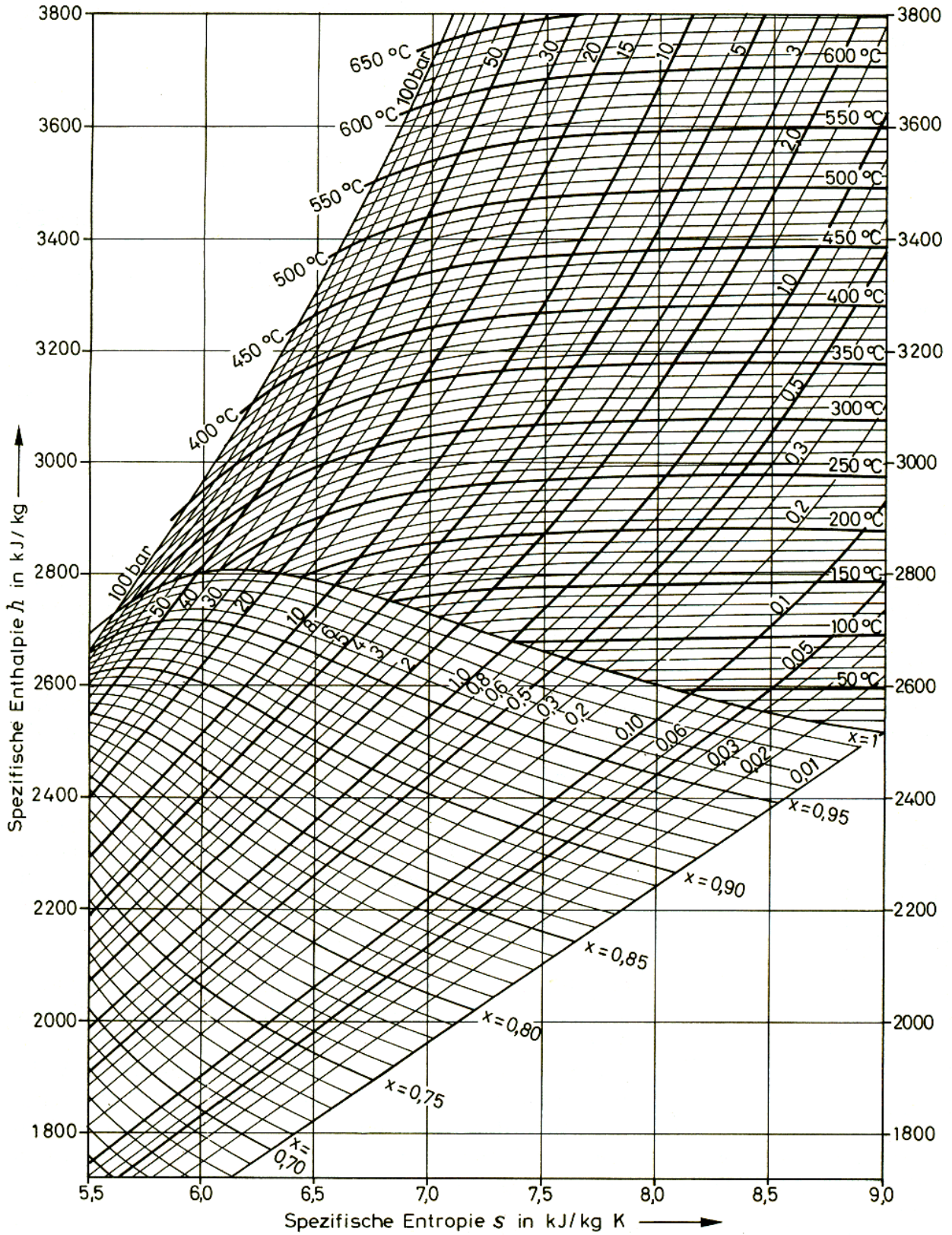
Die Arbeiten der Pumpen im Dampfkreislauf sind vernachlässigbar. Die Entspannung in der Dampfturbine kann als ideal adiabat angesehen werden.

- (6) Zeichnen Sie das **h-s Diagramm** sowie das **p-v Diagramm** des Dampfkreisprozesses und **kennzeichnen** Sie jeweils den **Bereich** der **Fernwärmeentnahme**  
Hinweis: die Turbinenarbeit wird ausschließlich beim isentropen Übergang verrichtet, die Fernwärmeentnahme findet ausschließlich beim isobaren Übergang statt
- (5) Bestimmen Sie **Enthalpie, Druck und Temperatur** am **Turbinenausgang**.
- (10) Bestimmen Sie **Enthalpie, Temperatur und Druck** am **Turbineneingang**,
- (4) Welcher **Massestrom im Fernheizkreis** ist erforderlich, damit bei einer Vorlauf-temperatur von 120°C und einer Rücklauf-temperatur von 70 °C eine thermische Leistung von 300 MW ausgekoppelt werden kann.

*Hinweis:*  $c_{p(\text{Wasser})} = 4,2 \text{ kJ}/(\text{kg K})$

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

Diagramm für Beispiel 4



Mollier-Diagramm