

## Schriftliche Prüfung aus VO Kraftwerke am 01.10.2015

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

**1. Gasturbine mit geschlossenem Kreislauf (25 Punkte)**

Ein Joule-Prozess soll berechnet werden. Eine Gasturbine mit geschlossenem Kreislauf arbeitet mit Helium als Arbeitsmedium. Das Druckverhältnis ist  $\frac{p_1}{p_4} = 7$ . Die Anfangstemperatur ist  $T_1 = 35^\circ\text{C}$ . Die zugeführte Wärmemenge wird derart eingestellt, dass eine höchste Temperatur  $T_2 = 900^\circ\text{C}$  nicht überschritten wird. Helium kann als einatomiges ideales Gas betrachtet werden.

Hinweis:  $\frac{c_p}{c_v} = \kappa = 1 + \frac{2}{f}$ ;  $c_p = 5,23 \text{ kJ}/(\text{kg K})$  für Helium

- a. (4) Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad**?
- b. (5) Wie groß sind die **Temperaturen** des Prozesses an den vier Punkten der Zustandsänderungen?
- c. (3) Wie groß ist der erforderliche zugeführte **Wärmestrom** für eine abgegebene Nutzleistung Leistung von 800kW?
- d. (4) Welcher **Massenstrom** des Helium-Gases in kg/s ist für diese Leistung erforderlich?
- e. (3) Wie groß ist die **Turbinenleistung**?
- f. (3) Wie groß ist die technische **Verdichterleistung**?
- g. (3) Wie groß ist das **Arbeitsverhältnis**?

**2. Dampfkraftwerk (25 Punkte)**

Ein Dampfkraftwerk soll grob ausgelegt werden. Die Dampfturbine ist zweiteilig. Nach durchlaufen der ersten Turbine wird der Dampf in einem Zwischenüberhitzer in seiner Temperatur angehoben. 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:

Eintrittstemperatur des Frischdampfes in die Turbine 1: **550° C** bei **100 bar**.

Austrittstemperatur nach Turbine 1: **300 °C**

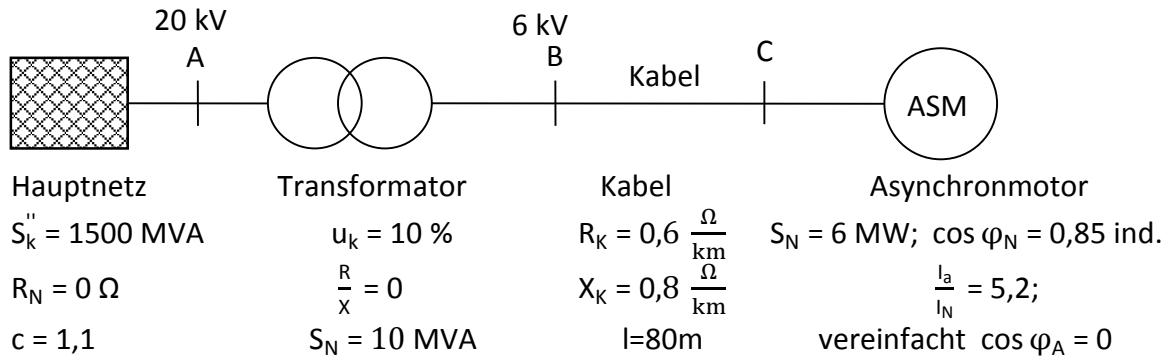
Austrittsdruck nach Turbine 2: **0,5 bar**

Druckverluste in den Rohr- und Wärmetauschsystemen sind zu vernachlässigen.

- a. (3) Skizzieren Sie das **T,s-Diagramm** vom Kreisprozess, beschriften Sie die thermodynamisch relevanten Punkte und geben Sie alle relevanten **Zustandsänderungen** an.
- b. (3) Wie hoch ist der Druck und die Temperatur nach dem **Zwischenüberhitzer mindestens**, um ein **x** von **0,93** nicht zu unterschreiten?
- c. (6) Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad**?
- d. (3) Welche **mechanische Nutzleistung** kann mit einer Dampfmenge von 2,4 t/h erreicht werden?
- e. (4) Aus Sicherheitsgründen wird die **Temperatur nach dem Zwischenüberhitzer auf 450°C** festgelegt. Welche **Dampftemperaturen** stellen sich am Austritt der **beiden Turbinenteile** ein und welches **x** ergibt sich **nach der ND-Turbine**?
- f. (3) Wie groß ist die **spezifische Arbeit** des Zwischenüberhitzers im Punkt e)?
- g. (3) Zeichnen Sie in das **gegebene h-s Diagramm** beide Arbeitsprozess ein, soweit diese im Wertebereich des vorgegebenen Diagramms liegen.

3. Eigenbedarf eines Kraftwerks (25 Punkte)

Ein Asynchronmotor eines Wärmekraftwerks wird für den Antrieb der Speisewasserpumpen durch das Haupt- und Reservenetz versorgt. Für die Berechnungen des Eigenbedarfsnetzes soll nur das Hauptnetz herangezogen werden.



- a. (3) Wie groß ist die **mechanische Leistung** der **Speisewasserpumpe** bei einem elektrischen Wirkungsgrad des Motors von 98%?
- b. (6) Wie groß ist der **Gesamtkurzschlussstrom** für einen **dreipoligen Kurzschluss** an der Sammelschiene C unter Berücksichtigung des Kurzschlussstrombeitrags des Motors (entspricht dem Anlaufstrom)? Ist eine 11kA Schaltanlage ausreichend?
- c. (6) Wie groß ist der **Spannungseinbruch** an der Sammelschiene C beim Anlauf des Motors?

Hinweis: Vernachlässigen Sie den Widerstandsbelag des Kabels für die weiteren Unterpunkte.

- d. (6) Wie groß darf die **bezogene Kurzschlussspannung** des **Transformators** höchstens sein, damit beim Anlauf des Motors des Spannungseinbruch an der Sammelschiene C unter 10% bleibt?
- e. (4) Eine alternative Maßnahme zur Spannungsbegrenzung beim Anlauf des Motors stellt das automatische Zuschalten einer **Kondensatorbatterie** an der Sammelschiene C dar, die die Gesamtreaktanz verringert. Wie groß muss dann die **resultierende Gesamtreaktanz** beim Anlauf des Motors sein, damit der Spannungseinbruch am Sammelschiene C 10% nicht überschreitet?

**4. 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 38%. 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 220MW elektrische Leistung erzeugen, davon werden 110MW<sub>el</sub> zur Beheizung von Wohnungen mit einem elektrischen Heizwirkungsgrad von 93% verwendet.

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

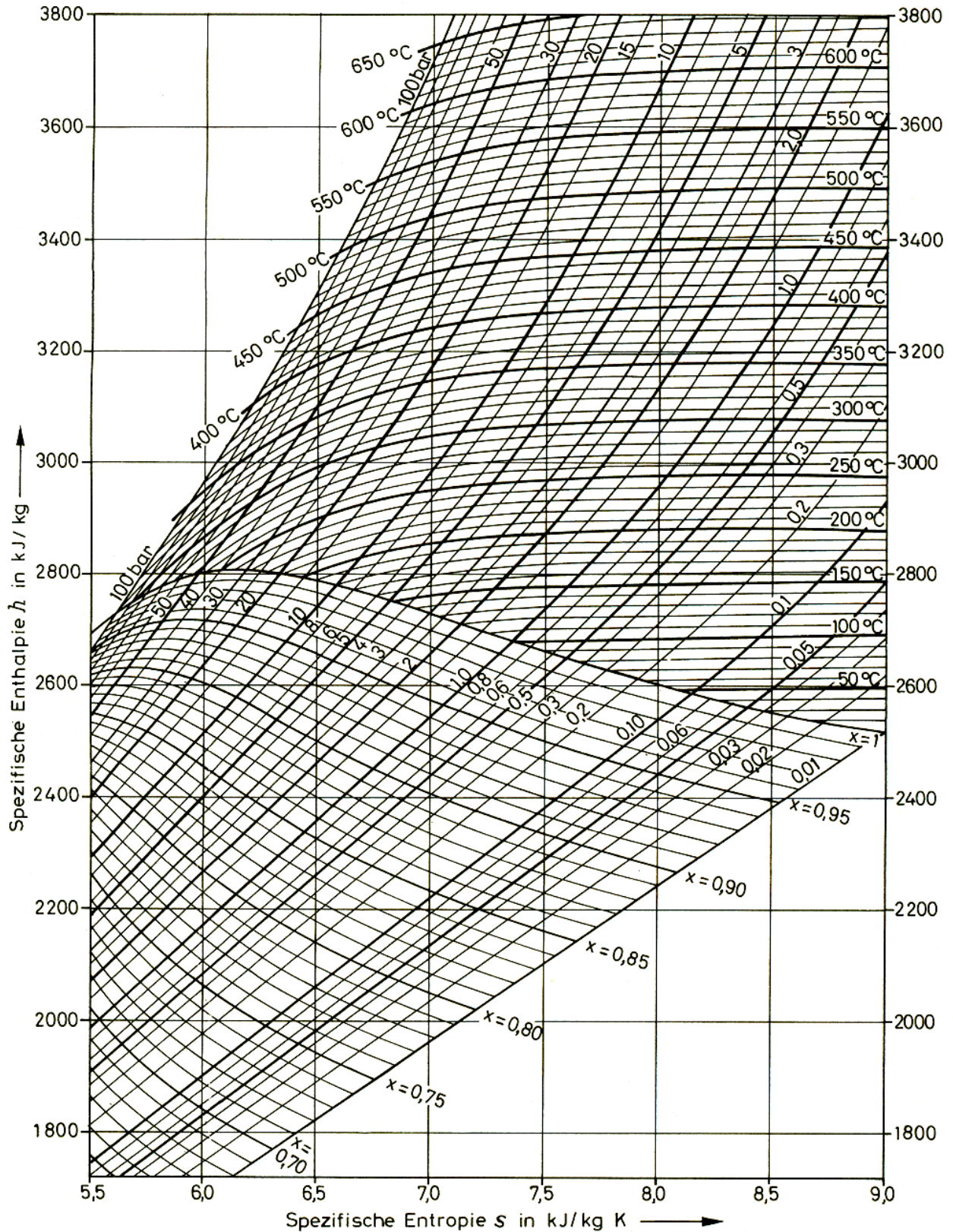
Das Kohlekraftwerk (KW1) soll nun die thermische Last aus Punkt b) durch eine Fernwärmeauskopplung decken. Dadurch reduziert sich die zu erzeugende elektrische Leistung des Kraftwerks um 110MW.

- c. (5) Welche **Brennstoffzufuhr** ist für die elektrische und thermische Energieerzeugung notwendig? Wie groß ist der **Gesamtwirkungsgrad** des Kraftwerks?
- d. (5) Wie groß ist der **jährliche Kohlendioxidausstoß** des Kohlekraftwerks (bei der Fahrweise aus Punkt c.)), wenn die Vollaststundendauer des Kraftwerks 6000h/a beträgt?
- e. (5) Welche **stündliche Gipsmenge** und **Volumen** ( $\rho_{\text{Gips}} = 2,3 \text{ t/m}^3$ ) fallen bei einem Entschwefelungsverfahren bei dieser Fahrweise des Kraftwerks an? Der Schwefel wird durch Einsprühen einer Kalklösung gebunden.

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

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

**Diagramm für Beispiel 2**



**Mollier-Diagramm**