

Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Kraftwerke am 04.03.2015

Hinweis: Bei den Berechnungen wurden alle Zwischenergebnisse in der technischen Notation¹ (Format ENG) dargestellt und auf drei Nachkommastellen gerundet. Für die weitere Rechnung wurde das gerundete Ergebnis verwendet.

Abhängig vom Rechenweg kann es aber dennoch zu leicht abweichenden Ergebnissen kommen!

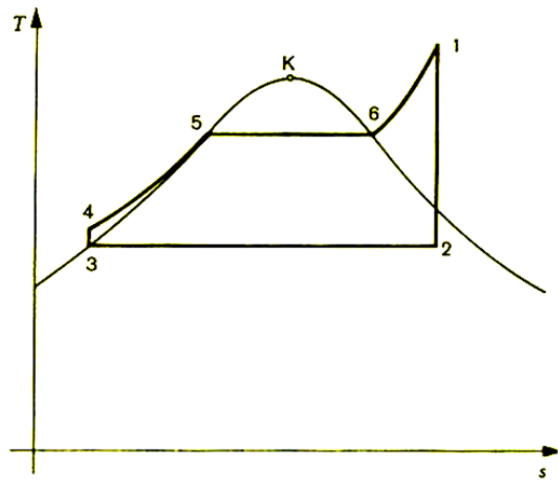
1. Heizkraftwerk

a. Bestimmen Sie den **Gesamt-Wirkungsgrad** des Gegendruck-Heizkraftwerkes (inkl. Fernwärmeauskopplung).

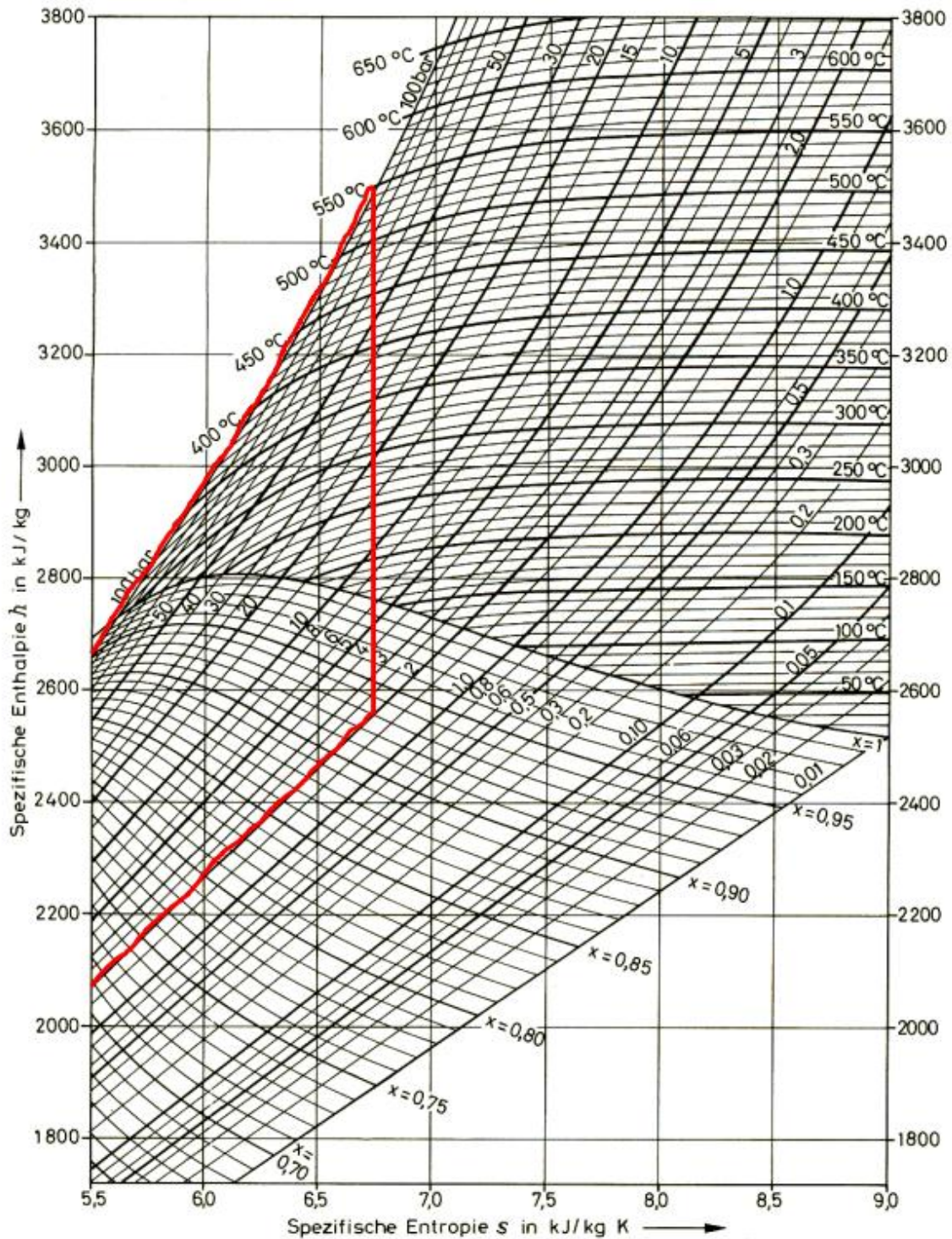
Der Gesamtwirkungsgrad wird anhand folgender Formel berechnet:

$$\eta_{HKW} = 0,748 \quad (1.1)$$

b. 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.



¹ http://de.wikipedia.org/wiki/Wissenschaftliche_Notation



c. Welche Kohlemenge in t/h, unter Berücksichtigung des Heizwerts von 33 MJ/kg, ist für eine **Heizleistung des Fernheizkreises von 200 MW** erforderlich?

$$\dot{m}_{\text{Kohle}} = 43,034 \frac{\text{t}}{\text{h}} \quad (1.2)$$

d. Welche **elektrische Leistung** kann unter Berücksichtigung der Kohlemenge aus Punkt c) produziert werden?

$$P_{\text{el}} = 95,069 \text{ MW} \quad (1.3)$$

e. Welcher **Massestrom im Fernheizkreis** ist erforderlich, damit bei einer Vorlauftemperatur von 110°C und einer Rücklauftemperatur von 65 °C die Heizleistung aus Punkte c.) ausgekoppelt werden kann (Spezifische Wärmekapazität von Wasser ist $c = 4,18 \text{ kWs/kgK}$)?

$$m = 1063,264 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (1.4)$$

f. Bestimmen Sie den Gesamt-Wirkungsgrad des Kondensations-Kraftwerkes im Fall dass keine Fernwärmeauskopplung stattfindet und die Dampfturbine auf einen Kondensationsdruck von 0,1 bar abgearbeitet wird.

$$\eta_{KW} = 0,312 \quad (1.5)$$

2. Carnot-Prozess

a. Wie groß ist die Masse m die den Prozess durchläuft?

$$m = 1,169 \text{ kg} \quad (2.1)$$

b. Bestimmen Sie alle fehlenden thermodynamischen Zustandsgrößen des Carnot Prozesses (Temperatur, Druck und Volumen).

$$T_1 = T_2 = 644,763 \text{ K} \quad (2.2)$$

$$T_3 = T_4 = 298,15 \text{ K}$$

$$p_4 = 3,496 \cdot 10^5 \text{ Pa} \quad (2.3)$$

$$p_2 = 14,872 \cdot 10^5 \text{ Pa} \quad (2.4)$$

$$V_4 = 0,286 \text{ m}^3 \quad (2.5)$$

$$V_2 = 0,145 \text{ m}^3 \quad (2.6)$$

c. Wie groß ist die Wärmeabfuhr Q_{34} ?

$$-W_{34} = Q_{34} = -125,214 \text{ kJ} \quad (2.7)$$

d. Wie groß ist die Verdichtungsarbeit W_{41} ?

$$W_{41} = 290,724 \text{ kJ} \quad (2.8)$$

e. Wie groß ist die **zugeführte Wärme** Q_{12} ?

$$-W_{12} = Q_{12} = Q_{zu} = 270,104 \text{ kJ} \quad (2.9)$$

f. Wie groß ist die abgegebene Nutzarbeit?

$$W_{id} = 144,89 \text{ kJ} \quad (2.10)$$

g. Wie groß ist der thermische Wirkungsgrad (Carnot Faktor)?

Bestimmen des Wirkungsgrades aus den Wärmemengen:

$$\eta_c = 0,536 \quad (2.11)$$

3. Eigenbedarf eines Wärmekraftwerks

a. Wie groß ist der **Gesamtkurzschlussstrom** für einen **dreipoligen Kurzschluss** an der Sammelschiene B?

Gerechnet mit $c = 1,1$

$$I_{KT}'' = 4,797 \text{ kA} \quad (3.1)$$

b. Wie groß ist der Spannungseinbruch an der Sammelschiene B beim Anlauf des Motors?

$$u_{BA} = 0,747 \rightarrow \text{Einbruch um } 25,3\% \quad (3.2)$$

c. Wie groß darf die **bezogene Kurzschlussspannung** des **Transformators** höchstens sein, damit beim Anlauf des Motors der Spannungseinbruch an der Sammelschiene C unter 14,4% bleibt?

$$u_k = 0,0198 \approx 2 \% \quad (3.3)$$

d. Wie viele Transformatoren gleichen Typs müssten zum vorhandenen Transformator parallel geschaltet werden damit der Spannungseinbruch an der Sammelschiene B 14,4% nicht überschreitet?

Es müssten noch zwei Transformatoren zum vorhanden Transformator parallel geschaltete werden. Der Spannungsabfall liegt in der vorgegebenen Größenordnung wenn insgesamt drei Transformatoren parallel geschaltet werden.

e. 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?

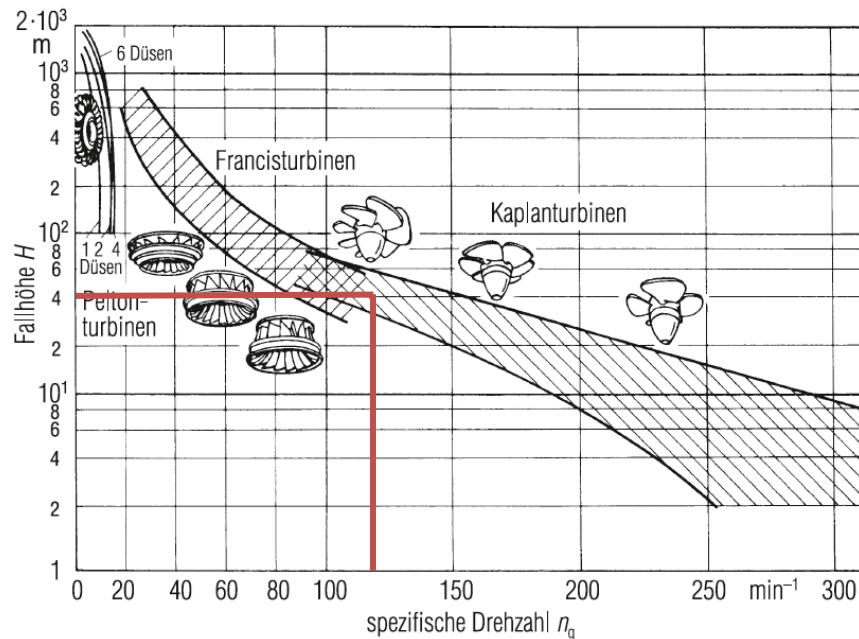
$$C = 0,729 \text{ mF} \quad (3.4)$$

4. Auslegung einer Turbine für ein Wasserkraftwerk

a. Wie groß ist die **spezifische Drehzahl** der Turbine?

$$n_q \approx 120 \text{ min}^{-1} \quad (4.1)$$

b. Welcher **Turbinentyp** soll für das Kraftwerk verwendet werden? Benutzen Sie die untere Abbildung und das Ergebnis von Unterpunkt a. für Ihre Argumentation. **Zeichnen** Sie ihre Auswahl **in die Abbildung** ein:



➔ Auswahl: Kaplan-turbine

c. Wie groß ist der **Turbinenwirkungsgrad** bei einer mechanischen Turbinenleistung $P_t = 34,782 \text{ MW}$, wenn der hydraulischer Wirkungsgrad $\eta_H = 94\%$ beträgt?

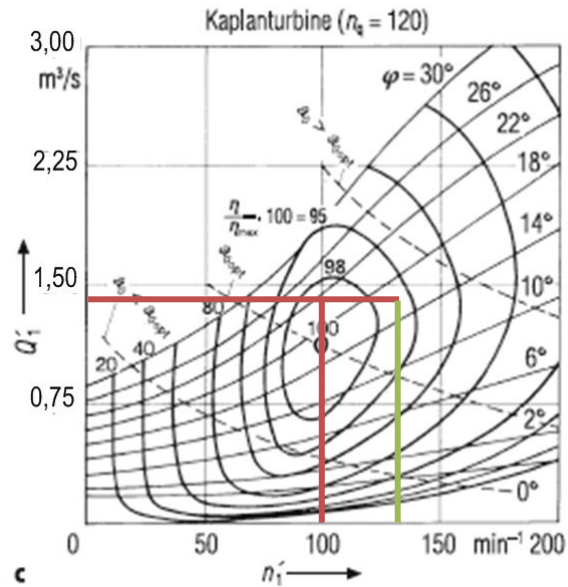
$$\eta_t = 0,91 = 91\% \quad (4.2)$$

d. Welche **elektrische Leistung** weist der Turbinen-Generatorsatz auf, wenn die folgenden Wirkungsgrade gegeben sind:

Generatorwirkungsgrad $\eta_G = 97\%$
 Eigenbedarf $\varepsilon = 2\%$

$$P_{el} = 33,064 \text{ MW} \quad (4.3)$$

e. Wie groß ist der **Durchmesser** der Turbine für **einen optimalen Betrieb bei Nennleistung** und gegebener Drehzahl (d.h. Auslegung über n_1')?



Aus Diagramm: $n_1' \approx 100 \text{ min}^{-1}$ (= Punkt mit maximal möglichem Wirkungsgrad)

$$\frac{D}{m} = 3,373 \quad (4.4)$$

$$Q_1 = 1,44 \quad (4.5)$$

Es ergibt sich bei dieser Drehzahl ein Wirkungsgrad von ca. 98,5% des maximal möglichen Wirkungsgrades (rote Linien in Muschediagramm)!

f. Aufgrund eines Bestellfehlers wird ein Generator mit $3/4$ der ursprünglichen Polpaarzahl geliefert. Um welchen **Faktor** ändert sich der **Turbinenwirkungsgrad** bei sonst gleichen Parametern?

n erhöht sich um den Faktor 1,33 $\rightarrow n_1' = 133 \text{ min}^{-1} \rightarrow$ Diagramm (grüne Linie)

$$\eta_{T,\text{neu}} \approx 97,46\% \cdot \eta_{T,\text{alt}} \quad (4.6)$$

Der Turbinenwirkungsgrad nimmt um 2,54% ab!

Kleine Abweichungen im Endergebnis aufgrund von Ablesefehler sind in diesem Beispiel möglich.