

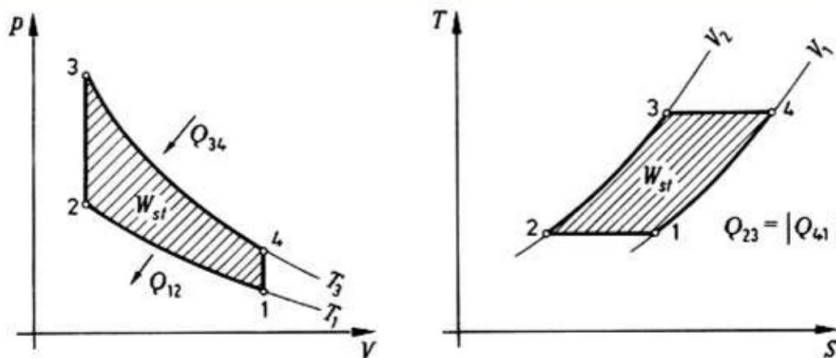
**Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Kraftwerke am 19.04.2016**

Hinweis: Bei den Berechnungen wurden alle Zwischenergebnisse in der technischen Notation<sup>1</sup> (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. Stirlingmotor**

a. Skizzieren Sie das **pV- und das TS-Diagramm** und beschriften Sie die relevanten Punkte.



- 1 – 2: Isotherme Kompression
- 2 – 3: Isochore innere Wärmezufuhr von einem Regenerator
- 3 – 4: Isotherme Expansion
- 4 – 1: Isochore innere Wärmeabfuhr an den Regenerator

b. Wie groß ist die benötigte **Wellenleistung** des Stirlingmotors?

$$P_{\text{Welle}} = 8,247 \text{ kW} \quad (4.1)$$

c. Wie groß ist das **Volumen bei Verdichtung** und welcher **Massenstrom** wird im Motor bewegt?

$$V_2 = 0,432 \text{ ℓ} \quad (4.2)$$

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m} = 45,662 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (4.3)$$

d. Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad**?

$$\eta_{\text{th}} = 50\% \quad (4.4)$$

e. Wie groß ist die benötigte **Heizleistung**?

$$P_{\text{Heiz}} = 16,494 \text{ kW} \quad (4.5)$$

<sup>1</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Wissenschaftliche\\_Notation](http://de.wikipedia.org/wiki/Wissenschaftliche_Notation)

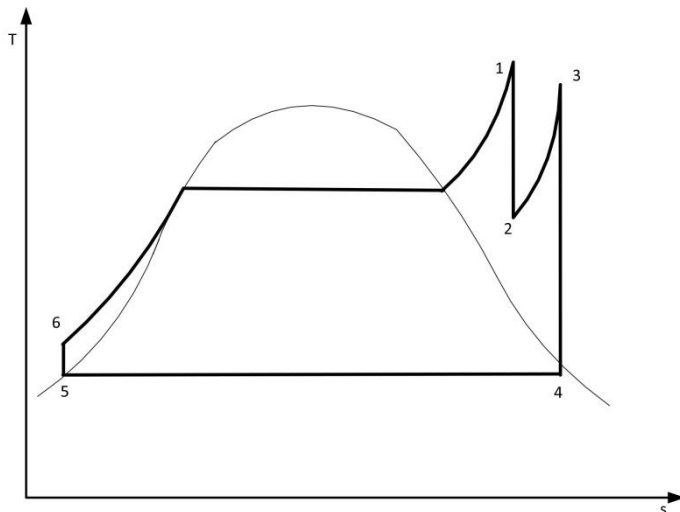
f. Auf welches Niveau müsste die **obere Temperatur** unter sonst gleichen Bedingungen angehoben werden, damit der **Wirkungsgrad auf 55%** ansteigt?

$$T_3 = \frac{T_1}{1 - \eta_{th,Soll}} = \frac{343,15 \text{ K}}{1 - 0,55} = 762,556 \text{ K} \quad (4.6)$$

**2. Dampfkraftwerk**

a. Zeichnen Sie ein Ersatzschaltbild des Dampfkreisprozesses und beschriften Sie die thermodynamisch relevanten Punkte.

b. Skizzieren Sie das **T,s-Diagramm** vom Kreisprozess, beschriften Sie die thermodynamisch relevanten Punkte und geben Sie alle relevanten **Zustandsänderungen** an.



- 6-1: isobare Wärmezufuhr
- 1-2: isentrope Entspannung
- 2-3: isobare Wärmezufuhr
- 3-4: isentrope Entspannung
- 4-5: isobare Wärmeabfuhr
- 5-6: isentrope Verdichtung

c. Wie hoch ist der Druck und die Temperatur nach dem **Zwischenüberhitzer mindestens**, um ein **x** von **0,93** nicht zu unterschreiten?

Aus dem Mollier Diagramm folgt:

$$\begin{aligned} p_3 &= 20 \text{ bar} \\ T_3 &= 400 \text{ °C} \end{aligned} \tag{4.7}$$

d. Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad**?

$$\eta = 0,365 \tag{4.8}$$

e. Welche **mechanische Nutzleistung** kann mit einer Dampfmenge von 2,4 t/h erreicht werden?

$$P_{\text{nutz}} = 821,121 \text{ kW} \tag{4.9}$$

f. 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**?

Aus dem Mollier Diagramm folgt:

$$T_2 = 300 \text{ °C}$$

$$T_4 = 81,32 \text{ °C}$$

$$x \approx 0,953$$

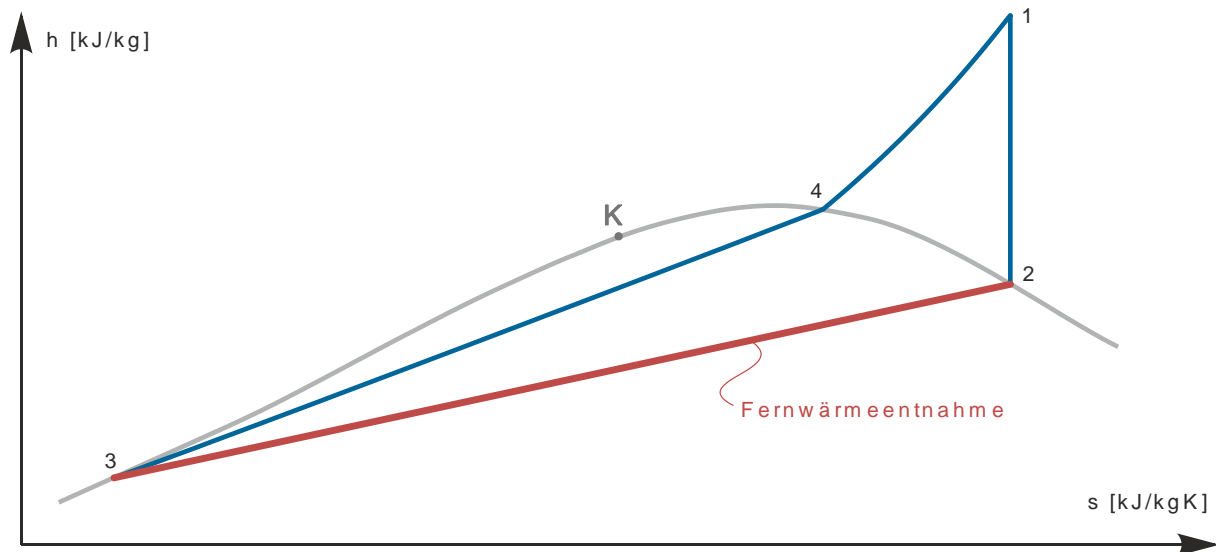
$$(4.10)$$

g. Wie groß ist die **spezifische Arbeit** des Zwischenüberhitzers im Punkt e)?

$$w_{23} = 333,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

### 3. Heizkraftwerk

- a. Zeichnen Sie das **h-s Diagramm** von diesem Dampfkreisprozess und **kennzeichnen** Sie jeweils den **Bereich der Fernwärmeentnahme**.



- b. Bestimmen Sie **Enthalpie, Druck, und Temperatur** am Turbinenausgang.

$$p_2 = 1,2 \text{ bar}$$

$$T_2 = 104,78 + 273,15 = 377,93 \text{ K}$$

$$h_2 = h_2'' = 2683,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (4.11)$$

$$s_2 = s_2'' = 7,2918 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

- c. Bestimmen Sie den **Gesamtwirkungsgrad** der Anlage (inkl. Fernwärmeauskopplung).

$$\eta_{HKW} = 0,714 \quad (4.12)$$

- d. Welcher **Massestrom im Fernheizkreis** ist erforderlich, damit bei einer Vorlauftemperatur von  $100^\circ\text{C}$  und einer Rücklauftemperatur von  $60^\circ\text{C}$  eine thermische Leistung von  $250 \text{ MW}$  ausgekoppelt werden kann.

$$P = 1488,095 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (4.13)$$

- e. Bestimmen Sie für diesen Betrieb den **Gesamtwirkungsgrad** der Anlage.

$$\eta_{KW} = 0,342 \quad (4.14)$$

#### 4. Auslegung einer Turbine für ein Wasserkraftwerk

- a. Welche **Wassermenge**  $Q$  in  $[m^3/s]$  ist für eine elektrische Leistung von 50 MW erforderlich, wenn die folgenden Wirkungsgrade vorgegeben sind:

$$Q = 7,158 \frac{m^3}{s} \quad (4.15)$$

- b. Welche **Polpaarzahl** müsste ein Synchrongenerator aufweisen, damit die Turbine, deren Kennfeld unten gegeben ist, verwendet werden kann?

$$p_{n=982,667 \text{ min}^{-1}} = \frac{3000 \text{ min}^{-1}}{982,667 \text{ min}^{-1}} = 3,053 \quad (4.16)$$

Somit wird die nächstgelegene Polzahl von  $p = 3$  gewählt.

- c. Welchen **Durchmesser** hat diese Turbine für einen optimalen Betrieb?

$$D = 1,382 \text{ m} \quad (4.17)$$

- d. Welche **Drehzahl** wäre für diese Turbine optimal?

Wie sich aus den Berechnungen von Punkt e. zeigt, ist die Drehzahl von  $1.000 \text{ min}^{-1}$  der Turbine nahe am idealen Wert, wenn der spezifische Durchfluss sich im Bereich von  $q'_t = 0,125 \frac{m^3}{s}$  bewegt!

Wurden hier andere Werte gewählt und basierend darauf andere Durchmesser ermittelt, ergeben sich entsprechend leicht andere Werte für die Drehzahl, indem man in Gl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** oben einsetzt.

- e. Welcher **Turbinenwirkungsgrad** würde sich bei sonst gleichen Parametern einstellen? (in das Kennfeld einzeichnen!)

$$\eta_T = 0,819 \quad (4.18)$$

- f. Welche **elektrische Leistung** würde sich mit diesem Wirkungsgrad ergeben?

$$P_{el} = 45,499 \text{ MW} \quad (4.19)$$