

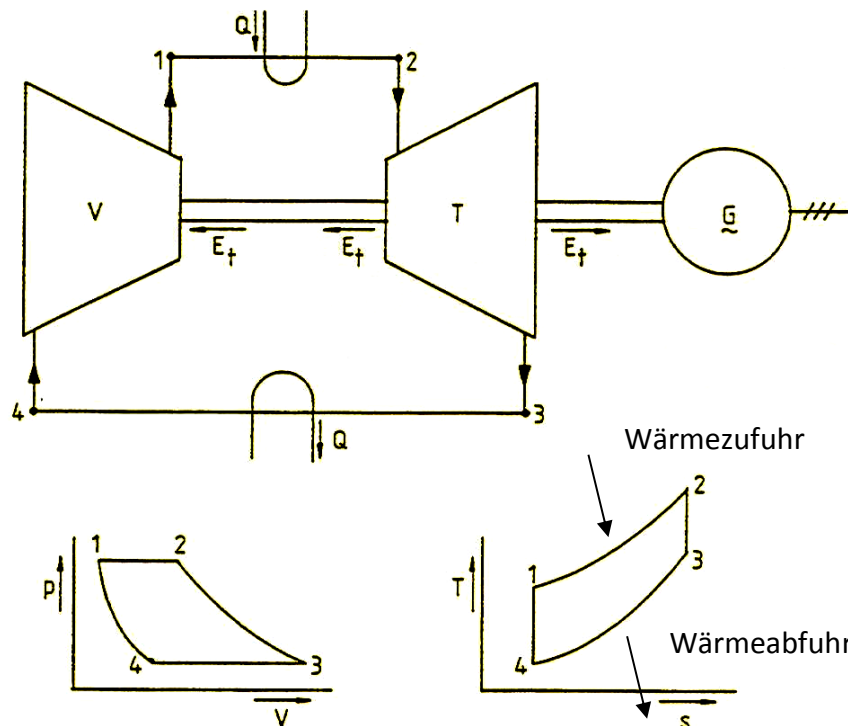
**Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Kraftwerke am 21.01.2016**

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. Gasturbine (25 Punkte)**

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



- 1-2: isobare Wärmezufuhr („Brennkammer“)
- 2-3: isentrope Entspannung mit Abgabe äußerer Arbeit („Turbine“)
- 3-4: isobare Wärmeabfuhr („Ausstoß ins Freie, neue Frischluft“)
- 4-1: isentrope Verdichtung mit Zufuhr von Kompressionsarbeit („Verdichter“)

b. Wie hoch sind die Temperaturen  $T_3$  und  $T_1$  (nach dem Verdichter und nach der Turbine)?

$$T_1 = 616.59 K \quad (4.1)$$

$$T_3 = 675.12 K \quad (4.2)$$

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

c. Wie groß ist die **spezifische Verdichterarbeit** ( $W_{41}/m$  – die dem Verdichter bei keinerlei Verlusten zugeführt werden muss)?

$$\frac{W_{t41}}{m} = 318.142 \text{ kJ/kg} \quad (4.3)$$

d. Wie groß ist die **spezifische Turbinenarbeit**  $W_{23}/m$ ?

$$\frac{W_{t23}}{m} = -708.5 \text{ kJ/kg} \quad (4.4)$$

e. Wie groß ist die **spezifische Nutzarbeit**?

$$\frac{W_{Nutz}}{m} = -390.36 \text{ kJ/kg} \quad (4.5)$$

Das negative Vorzeichen gibt die „abgegebene Nutzarbeit“ an

f. Wie groß ist die **spezifische Wärmezufuhr** und **Wärmeabfuhr**?

Wärmezufuhr:

$$\frac{W_{12}}{m} = 767.908 \text{ kJ/kg} \quad (4.6)$$

Wärmeabfuhr:

$$\frac{W_{34}}{m} = 377.55 \text{ kJ/kg} \quad (4.7)$$

g. Welcher **Massenstrom** ist für eine abgegebene mechanische Leistung von 2,3 MW erforderlich?

$$\dot{m} = 5.892 \text{ kg/s} \quad (4.8)$$

h. Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad** und das **Arbeitsverhältnis**?

$$\eta = 0.5083 \quad (4.9)$$

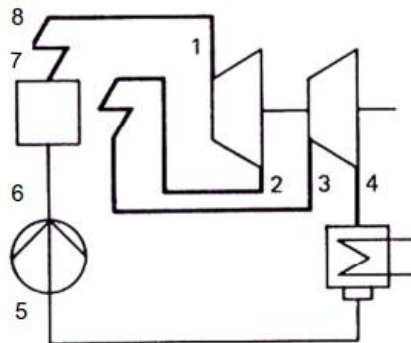
$$r = 0.551 \quad (4.10)$$

i. Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad**, wenn als **Arbeitsmedium Helium** (eiatomiges Gas, 3 Freiheitsgrade) verwendet wird bei sonst gleichen Eckdaten?

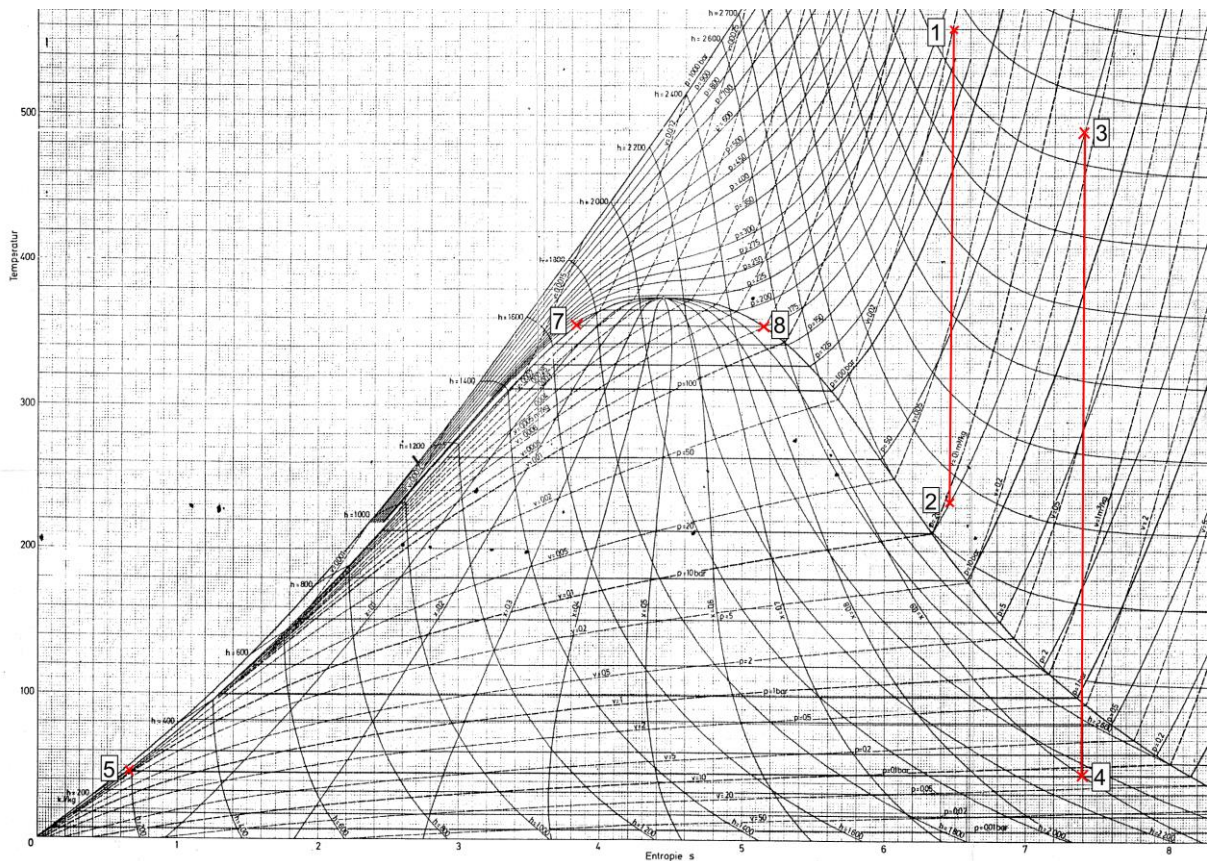
$$\eta' = 0.631 \quad (4.11)$$

2. Dampfkraftwerk

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



b. Zeichnen Sie in das **T,s-Diagramm** die thermodynamischen Zustände nach der Niederdruckturbine und vor der Speisewasserpumpe ein.



c. Wie hoch ist der **Druck** nach der **Speisewasserpumpe**?

$$p_6 = 174,998 \text{ bar} \quad (4.12)$$

d. Wie hoch ist die **Temperatur** nach der Vorwärmung des Wassers?

Aus Tabelle mittels Interpolation oder Diagramm:

$$T_7 = 354,567^\circ\text{C} \quad (4.13)$$

e. Der Dampfstrom wird in der Hochdruckturbine so entspannt das sich danach eine Temperatur von 232°C einstellt. Bestimmen Sie den **Druck** nach der Hochdruckturbine.

Aus dem Diagramm kann durch zeichnen der Isentrope bis zu der Temperatur von 232°C der Druck von 20 bar abgelesen werden.

f. Welche **Temperatur** herrscht nach der Zwischenüberhitzung?

Punkt 3 wird aus dem Diagramm durch den Schnittpunkt der Isobaren (bei 20bar) und der Isentropen der thermodynamischen Zustandsänderung 3-4 gewonnen. Temperatur im Punkt 3: 490°C.

g. Wie groß ist die spezifische **Arbeit** des **Zwischenüberhitzers**?

$$w_{23} = 566,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (4.14)$$

h. Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad** des Kraftwerkes?

$$\eta = 43,46\% \quad (4.15)$$

### 3. CO<sub>2</sub> Vergleich

a. Wie groß sind die **stündlichen Kohlendioxidausstöße** beider Kraftwerke?

KW1:

$$m_{\text{CO}_2} = 56,774 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (2.1)$$

KW2:

$$m_{\text{CO}_2} = 37,044 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (2.2)$$

b. Wie groß ist die zu deckende **thermische Last**?

$$Q = 92 \text{ MW} \quad (2.3)$$

c. Welche **Brennstoffzufuhr** ist für die elektrische und thermische Energieerzeugung notwendig? Wie groß ist der **Gesamtwirkungsgrad** des Kraftwerks?

$$\dot{m}_{\text{Kohle}} = 33,181 \frac{\text{t}}{\text{h}} \quad (2.4)$$

$$\eta_{\text{ges}} = 0,672 \quad (2.5)$$

d. Wie groß ist jetzt der **stündliche Kohlendioxidausstoß** des Kohlekraftwerks?

$$m_{\text{CO}_2} = 116,795 \frac{\text{t}}{\text{h}} \quad (2.6)$$

e. Welche **stündliche Gipsmenge** und **Volumen** ( $\rho_{\text{Gips}} = 2,3 \text{ t/m}^3$ ) fallen bei dem Nassentschwefelungsverfahren mit 90 % Schwefeldioxid-Abscheidegrad des Kohlekraftwerks unter gegebener thermischer und elektrischer Last an?

$$\dot{m}_{\text{gips}} = 1605,140 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (2.7)$$

$$\dot{V}_{\text{gips}} = 0,698 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (2.8)$$

#### 4. Eigenbedarf eines Kraftwerks

- a. Bestimmen Sie die **Scheinleistung** und den **Nennstrom** des Antriebsmotors für die Kesselspeisepumpe. Berücksichtigen Sie dabei, dass der Motor aus Gründen der Redundanz auf die doppelte Wellenleistung ausgelegt ist.

$$S_{rM} = 2 \cdot \frac{P_{FWP}}{\eta \cdot \cos \varphi} = 2 \cdot \frac{4,5 \text{ MW}}{0,95 \cdot 0,88} = 10,766 \text{ MVA} \quad (2.9)$$

$$I_{rM} = \frac{S_{rM}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{10,766 \cdot 10^6 \text{ VA}}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3 \text{ V}} = 1,036 \text{ kA} \quad (2.10)$$

- b. Bestimmen Sie den **Anlaufstrom** des Antriebsmotors bei Nennbedingungen und damit den Kurzschlussstrombeitrag.

$$I_A = \frac{I_A}{I_R} \cdot I_{rM} = 6 \cdot 1,036 \text{ kA} = 6,216 \text{ kA} \quad (2.11)$$

- c. Schätzen Sie den **Gesamtkurzschlussstrom** für einen **dreipoligen Kurzschluss** an der Sammelschiene BBA ab, wenn entweder aus dem Haupt- oder aus dem Reservenetz gespeist wird. Nehmen sie dazu an, dass die Kurzschlussleistung des Haupt- bzw. Reservenetzes unendlich groß ist.

$$I_k'' = 32,008 \text{ kA} \quad (2.12)$$

- d. Berechnen Sie die **Resistanz** und die **Reaktanz** des anlaufenden Motors.

$$R_A = 0,095 \ \Omega \quad (2.13)$$

$$X_A = 0,55 \ \Omega \quad (2.14)$$

- e. Schätzen Sie den **Spannungseinbruch** an der Sammelschiene BBA ab, wenn alle anderen Lasten abgeschaltet sind und der Motor für die Kesselspeisepumpe anläuft. Vor Zuschaltung des Motors wird dabei die Spannung an der Sammelschiene BBA über den Stufensteller des speisenden Trafos auf 110% geregelt. Vernachlässigen Sie dazu den resistiven Anteil der Trafoimpedanz.

$$u_{BBA} = 0,834 \quad (2.15)$$