



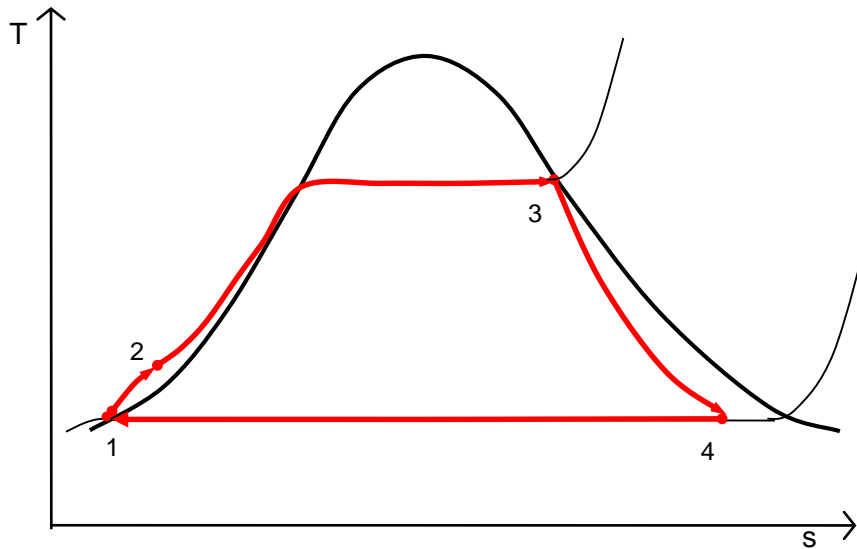
**Aufgabe 1** (1 Punkt)

Wie hoch ist in etwa der Anteil der Gasturbine an der Stromerzeugung in einem GuD-Kraftwerk?

ca. 2/3

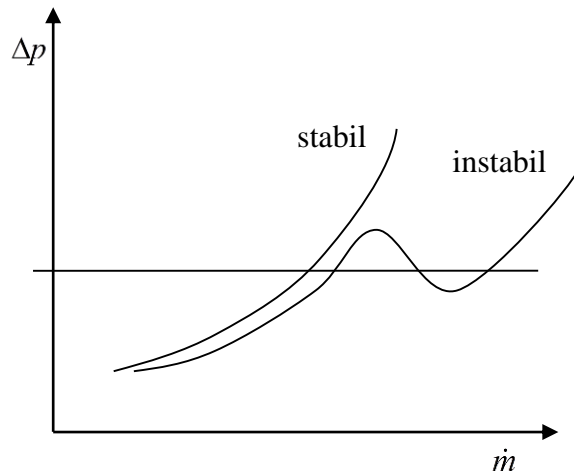
**Aufgabe 2** (1 Punkt)

Stellen Sie qualitativ einen Kernkraftwerks-Siedewasserprozess im T,s-Diagramm dar.



**Aufgabe 3** (1 Punkt)

Stellen Sie qualitativ eine stabile und eine instabile Druckverlust-Kennlinie in einem zwangsdurchströmten Verdampferrohr dar. Kennzeichnen Sie die jeweilige Druckverlust-Kennlinie.



**Aufgabe 4** (1 Punkt)

Welche Aufgaben haben die so genannten „Sammler (Verteiler)“ in Dampferzeugern?

- Ausgleich von dampfseitigen Temperaturunterschieden
- Sicherstellen eines gleichen Eintrittsdrucks für alle abgehenden Heizflächenrohre -> gleicher Druckfluss aller Rohre

### Aufgabe 5 (2,5 Punkte)

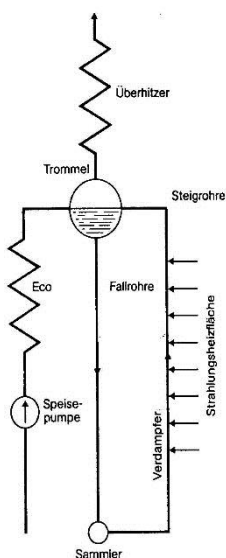
Warum wird bei kombinierten Gas- und Dampfturbinenkraftwerken keine regenerative Speisewasservorwärmung durchgeführt? Warum sind die zulässigen Abgastemperaturen im Kamin eines Gas- und Dampfturbinenkraftwerks in der Regel deutlich geringer als bei einem reinen Dampfkraftwerk?

Regenerative Speisewasservorwärmung steigert zwar den Wirkungsgrad des Dampfprozesses, senkt jedoch den Energieumsetzungsgrad im Kessel. Folglich verlässt das Abgas den Kessel mit einer höheren Temperatur. In reinen Dampfkraftprozessen kann die höhere Abgastemperatur zur Vorwärmung der Verbrennungsluft genutzt werden (LuVo). Eine vergleichbare Nutzung der höheren Restwärme ist in einem Gasturbinenprozess nicht sinnvoll oder nicht möglich.

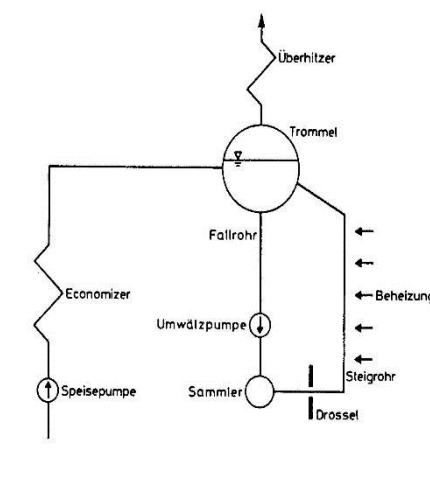
Die minimale Abgastemperatur resultiert aus der Säuretaupunkttemperatur, welche vom Schwefelgehalt des Brennstoffs abhängt. Da Erdgas im Vergleich zu Kohle einen wesentlich geringeren Schwefelgehalt hat, kann die Abgastemperatur entsprechend gesenkt werden.

### Aufgabe 6 (3,5 Punkte)

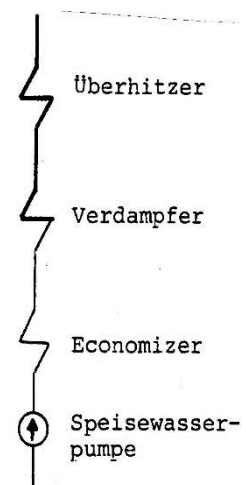
Nennen und skizzieren Sie die drei Hauptkesseltypen. Beschriften Sie die Bestandteile.



Naturumlaufkessel



Zwangumlaufkessel



Zwangdurchlaufkessel

**Aufgabe 7** (7,0 Punkte)

Ein Steinkohlekraftwerk wird aus prozesstechnischen Gründen mit einer Mischung aus den Steinkohlen China ( $H_U = 30998$  kJ/kg) und Walsum ( $H_U = 32022$  kJ/kg) gefeuert. Die Massenströme der beiden Steinkohlen werden zu 16,3 kg/s China und 32,7 kg/s Walsum eingestellt.

Weitere Daten sind:

⇒ Frischdampfdruck:	$p_{FD} = 170$ bar
⇒ Kondensatordruck	$p_K = 0,024$ bar
⇒ Frischdampf Temperatur:	$T_{FD} = 560$ °C
⇒ Frischdampfmassenstrom:	$\dot{m}_{FD} = 1540$ t/h
⇒ Turbinenwirkungsgrad:	$\eta_T = 0,82$
⇒ Pumpenwirkungsgrad:	$\eta_P = 0,93$

Der Zustand des Kondensates (Zustandspunkt 1) liegt auf der Siedelinie.

a) Zeichnen Sie ein Schema des Kreisprozesses mit allen wesentlichen Komponenten und tragen Sie den Kreisprozess qualitativ in ein T,s-Diagramm ein.

Berechnen Sie

- b) den Kesselwirkungsgrad.
- c) die Turbinen- und Pumpenleistung.
- d) den thermischen Wirkungsgrad.

**Beim Ablesen von Werten aus den Wasserdampf Tafeln ist der naheste tabellierte Wert zu verwenden! Es sind KEINE Interpolationen durchzuführen (Ausnahme ND-Gebiet)!**

**Aufgabe 8** (7,5 Punkte)

Ein einfacher offener Gasturbinenprozess mit einfacher Zwischenüberhitzung sei durch folgende Daten charakterisiert:

- ⇒ Isentroper Wirkungsgrad des Verdichters:  $\eta_{V,s} = 0,90$
- ⇒ Isentroper Wirkungsgrad beider Turbinen:  $\eta_{T,s} = 0,88$
- ⇒ Wärmekapazitäten:  $c_{p \text{ Luft}} = c_{p \text{ RG}} = 1,0 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
- ⇒ Isentropenexponent:  $\kappa_{\text{Luft}} = \kappa_{\text{RG}} = 1,4$
- ⇒ Turbineneintrittstemperatur beider Turbinen:  $T_E = 1200 \text{ }^\circ\text{C}$
- ⇒ Druck nach der ersten Turbine:  $p = 15 \text{ bar}$
- ⇒ Massenstrom der Luft:  $\dot{m}_L = 540 \text{ kg/s}$
- ⇒ Umgebungszustand:  $T_U = 15 \text{ }^\circ\text{C}; p_U = 1 \text{ bar}$
- ⇒ Verdichterdruckverhältnis:  $\Pi = 30$

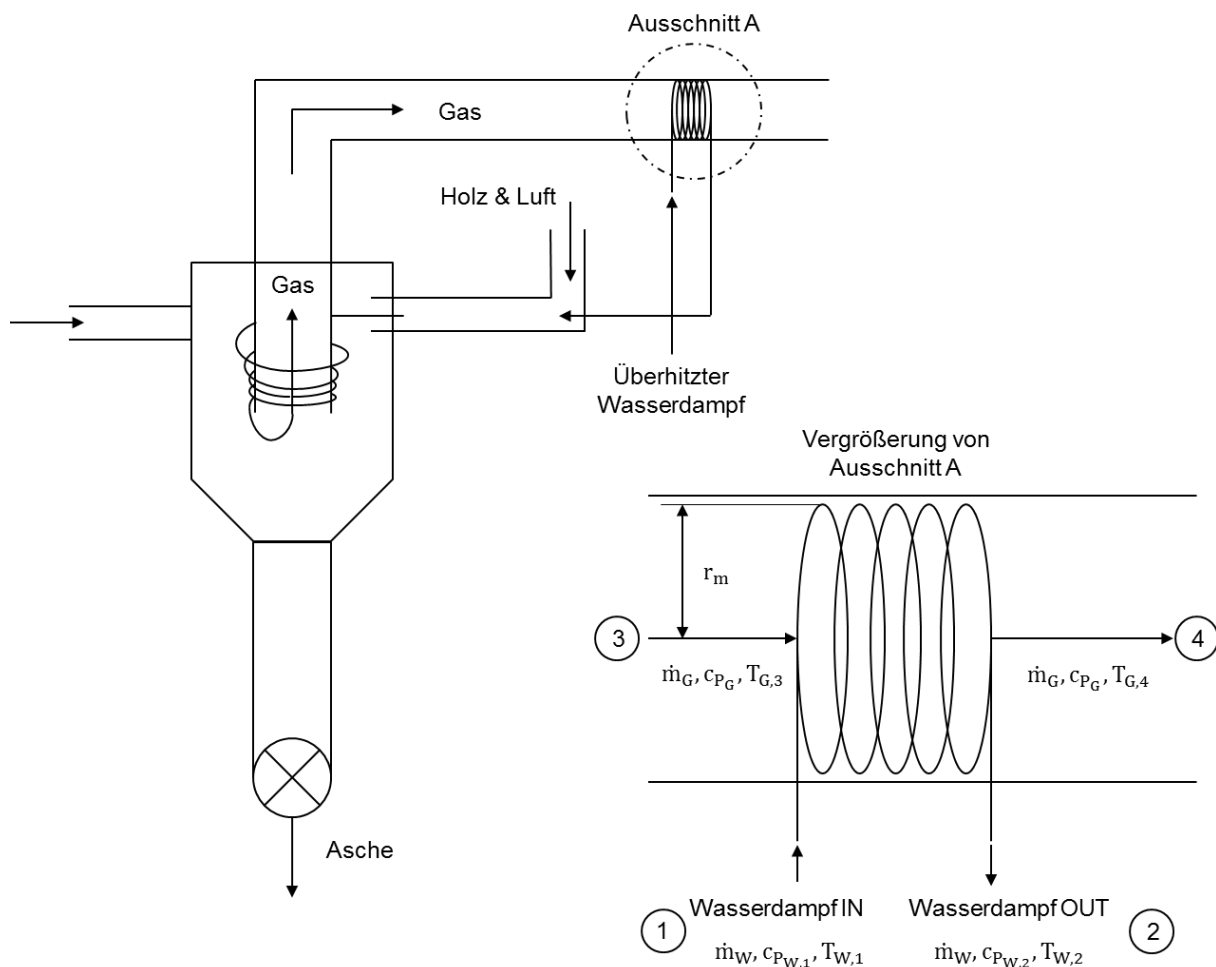
- a) Zeichnen Sie das Anlagenschema des Prozesses.
- b) Zeichnen Sie den Prozess qualitativ in ein h,s-Diagramm.

Berechnen Sie unter der Annahme, dass der Einfluss der Brennstoffmenge auf den Abgasmassenstrom zu vernachlässigen ist,

- c) die spezifische Verdichterarbeit und die absolute Verdichterarbeit.
- d) die spezifische Turbinenarbeit und die absolute Turbinenarbeit beider Turbinen.
- e) die elektrische Leistung des Gasturbinenprozesses.
- f) den thermischen Wirkungsgrad des Gasturbinenprozesses.
- g) den thermischen Wirkungsgrad des Gasturbinenprozesses für den Fall, dass die Brennkammerzwischenüberhitzung abgeschaltet wird.

**Aufgabe 9:** (5,5 Punkte)

In einer schwedischen Versuchsanlage zur Vergasung von Holzpulver wird das Brennstoff-Luft-Gemisch mit überhitztem und somit trockenem Wasserdampf in einen Zyklon eingedüst. Der unter hohem Druck stehende Wasserdampf wird durch das aus dem Zyklon abgeführte Gas in einem spiralförmigen Wärmetauscher überhitzt. Der spiralförmige Wärmetauscher befindet sich vollständig in dem Gasrohr.



- Bestimmen Sie die Temperatur  $T_{G,4}$  des Gases nach der Überhitzung des Dampfes. Beschreiben Sie die Gastemperatur nur unter Verwendung der in der Skizze (Vergrößerung von Ausschnitt A) aufgeführten Daten.
- Bestimmen Sie die notwendige Anzahl  $N$  der Windungen der Überhitzerspirale als Funktion der im Folgenden gegebenen Werte. Skizzieren Sie dazu ein Stück des Wasserdampfrohres und tragen Sie die gegebenen Größen ein.

Beachten Sie die für beide Aufgabenteile angegebenen **Hinweise** auf der nächsten Seite!

**Gegebene Größen:**

⇒ Mittlerer Radius einer Spiralwindung	$r_m$
⇒ Wärmeübergangskoeffizient (innen)	$\alpha_i$
⇒ Wärmeübergangskoeffizient (außen)	$\alpha_a$
⇒ Wärmeleitfähigkeit des Wasserdampfrohres	$\lambda$
⇒ Mittlere Temperatur des Gases	$T_{G,m}$
⇒ Mittlere Temperatur des Wasserdampfes	$T_{W,m}$
⇒ Mittlere Temperatur der Rohraußenwand	$T_{a,m}$
⇒ Mittlere Temperatur der Rohrinne wand	$T_{i,m}$
⇒ Außendurchmesser des Wasserdampfrohres	$d_a$
⇒ Innendurchmesser des Wasserdampfrohres	$d_i$
⇒ Wärmestrom vom Gas auf den Wasserdampf	$\dot{Q}$

**Hinweise zu Aufgabe 9:**

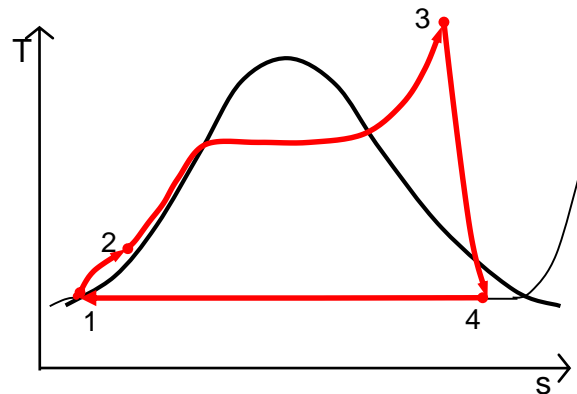
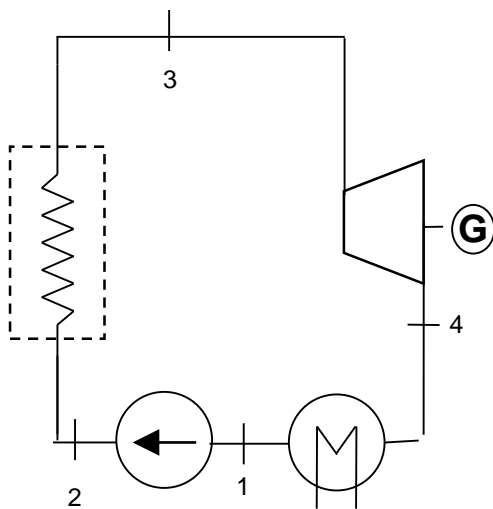
- ⇒ Aufgrund der großen Temperaturunterschiede vor und nach der Überhitzung des Dampfes kann keine konstante Wärmekapazität angenommen werden. Die Wärmekapazitäten des Wasserdampfes vor und nach der Überhitzung sind auf die Referenztemperatur  $T_{ref}$  bezogen. (z.B.  $c_{p_{W,1}}|_{T_{ref}}^{T_1}$ )
- ⇒ Die Wärmekapazität des Gases kann als konstant angenommen werden.
- ⇒ Das Rohr, in dem das Gas strömt, ist nach außen adiabat.
- ⇒ Strahlung kann vernachlässigt werden.



## Lösungen

### Aufgabe 7 (7,0 Punkte)

a)



b)

$$h_1 = h'(0,025 \text{ bar}) = 88,45 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{2s} = 99,79 \text{ kJ/kg}; \quad h_2 = 98,80 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 3456,9 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_K = 0,925$$

c)

$$h_{4s} = 1898,75 \text{ kJ/kg}; \quad h_4 = 2179,22 \text{ kJ/kg}$$

$$P_T = -547 \text{ MW}$$

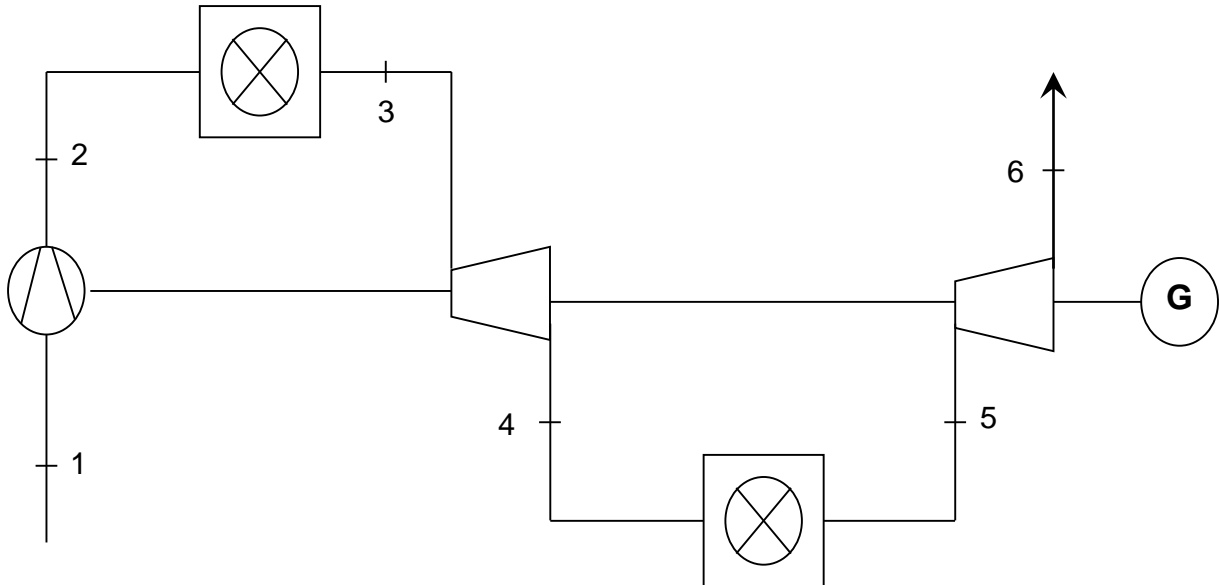
$$P_V = 5,63 \text{ MW}$$

d)

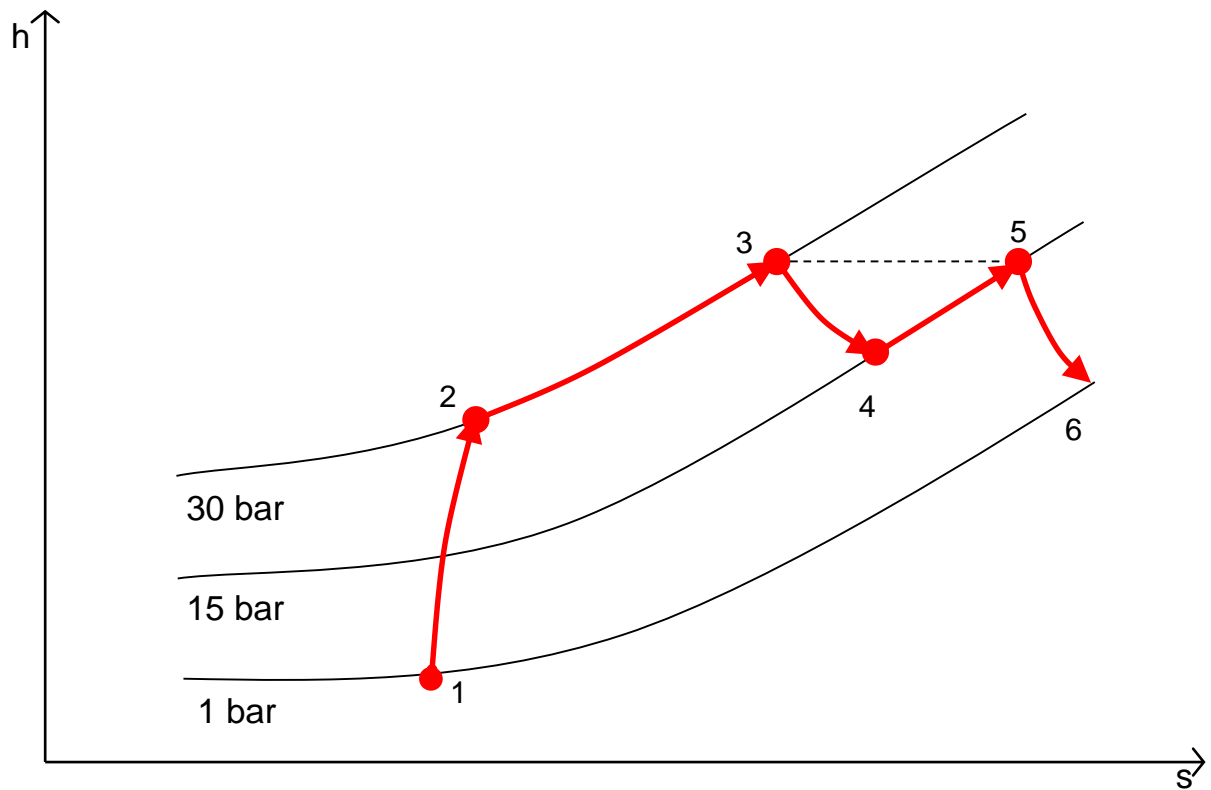
$$\eta_{th} = 0,384$$

**Aufgabe 8** (7,5 Punkte)

a)



b)



c)

$$T_1 = 288,15 \text{ K}$$

$$T_{2s} = 761,47 \text{ K}; \quad T_2 = 814,06 \text{ K}$$

$$a_v = 525,912 \text{ kJ/kg}$$

$$A_v = 283,99 \text{ MW}$$

d)

$$T_3 = 1473,15 \text{ K}$$

$$T_{4s} = 1208,48 \text{ K}; \quad T_4 = 1240,30 \text{ K}$$

$$a_{T1} = -232,91 \text{ kJ/kg}$$

$$A_{T1} = -125,77 \text{ MW}$$

$$T_5 = 1473,15 \text{ K}$$

$$T_{6s} = 679,55 \text{ K}; \quad T_6 = 774,78 \text{ K}$$

$$a_{T2} = -698,37 \text{ kJ/kg}$$

$$A_{T2} = -377,12 \text{ MW}$$

e)

$$P_{el} = A_{T1} + A_{T2} + A_v = -218,90 \text{ MW}$$

f)

$$\eta_{th} = 0,4544$$

g)

$$T_5 = T_4$$

$$T_{6s} = 572,11 \text{ K}; \quad T_6 = 652,28 \text{ K}$$

$$a_{T2} = -587,95 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{zu} = 659,09 \text{ kJ/kg}$$

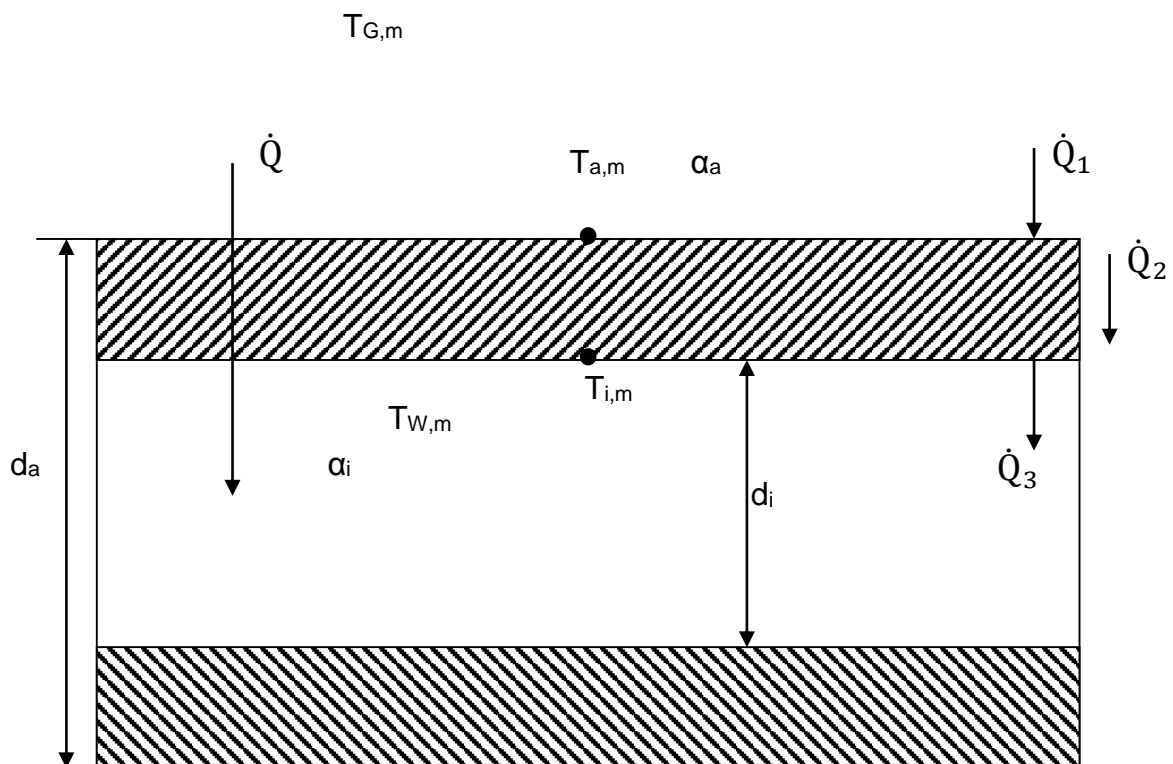
$$\eta_{th} = 0,4475$$

**Aufgabe 9:** (5,5 Punkte)

a) Wärmebilanz (Wasserdampf und Gas)

$$\rightarrow T_{G4} = T_{G3} + \frac{\dot{m}_W}{\dot{m}_G \cdot c_{pG}} \left( c_{pW2} (T_{W1} - T_{ref}) - c_{pW1} (T_{W2} - T_{ref}) \right)$$

b)



$$\dot{Q} = \dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 = \dot{Q}_3$$

mit  $\dot{Q}_1$

$$l = \frac{\dot{Q}_1}{\pi \cdot d_a \alpha_a (T_{a,m} - T_{G,m})}$$

$$N = \frac{l}{2\pi r_m} = \frac{\dot{Q}}{2\pi^2 r_m d_a \alpha_a (T_{a,m} - T_{G,m})}$$