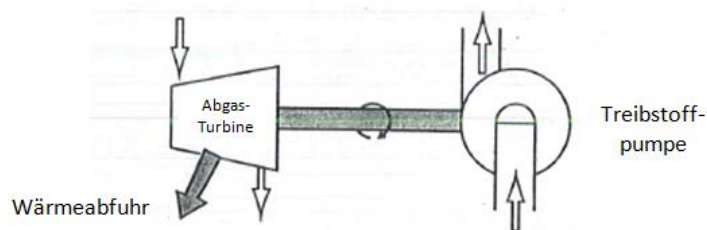


**Aufgabe 1 (10 Punkte):** Die Treibstoffpumpe einer Hochtemperatur-Brennstoffzelle soll mittels Abgas aus der Brennstoffzelle angetrieben werden. Heißes Abgas tritt in eine Turbine mit 1000K ein und verlässt sie mit 400 K. Der Massenstrom des Abgases beträgt 10 g/s. Der Wärmeverlust an die Umgebung beträgt 1 kW. Der Treibstoff ist Kerosin ( $\rho = 820 \text{ kg/m}^3$  bei  $20^\circ\text{C}$ ). Er tritt in die Pumpe mit  $20^\circ\text{C}$  ein und verlässt sie mit derselben Temperatur. In der Pumpe wird der Druck von 100 kPa auf 1000 kPa erhöht. Nehmen sie vereinfacht an bei dem Abgas handele es sich um Stickstoff (ideales Gas mit konstanten Wärmekapazitäten  $c_{p,N_2} = 1,098 \text{ kJ/kgK}$ ). Kinetische und potentielle Energien können vernachlässigt werden.

Bestimmen Sie:

- Die Leistung der Turbine. (4 P.)
- Den Massenstrom an Kerosin durch die Turbine. (6 P.)



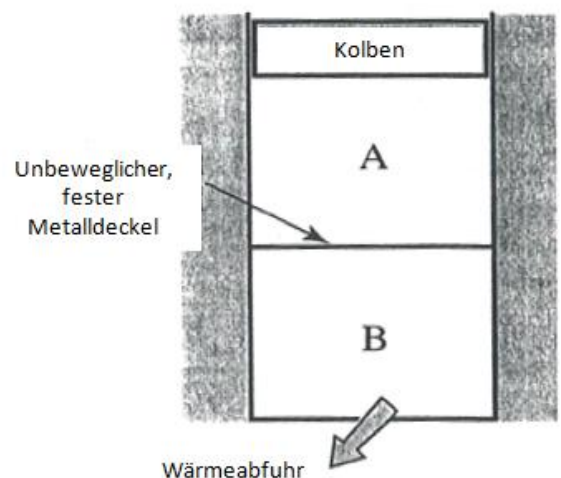
**Aufgabe 2 (30 Punkte):** Ein Kolben-Zylinder-System enthält das Kühlmittel R-134a. Das System ist in zwei Bereiche durch eine feste, unisolierte Metallplatte getrennt. Da die Platte aus Metall ist (hohe thermische Leitfähigkeit), ist der Wärmeaustausch zwischen den beiden Bereichen so groß, dass es keinen Temperaturunterschied gibt ( $T_A = T_B$ ). Der Kolben im Bereich A kann sich frei bewegen und enthält zu Beginn  $1 \text{ m}^3$  Kühlmittel bei 200 kPa mit einer relativen Feuchte  $x_{A1}$  von 80%. Bereich B enthält auch  $1 \text{ m}^3$  Kühlmittel bei derselben Temperatur aber nur bei 100 kPa.

In einem 2-Phasen-Prozess wird Bereich B nun Wärme entzogen. Im ersten Schritt (1→2) wird der Bereich B soweit herab gekühlt, dass das Kühlmittel im Bereich A komplett flüssig ist. Im zweiten Schritt (2→3) wird der Bereich B soweit abgekühlt, bis das Kühlmittel im Bereich B zu kondensieren beginnt. Kinetische und potentielle Energien können vernachlässigt werden.

Zeigen Sie den Prozess in einem T-v-Diagramm unter Berücksichtigung der Sättigungslinien. (5 P.)

Bestimmen Sie:

- Die Masse in jedem Bereich (kg). (8 P)
- Die Volumenänderungsarbeit im Schritt 1→2 (kJ). (4 P)
- Die Temperatur im Punkt 3 ( $^\circ\text{C}$ ) (3 P)
- Die Wärmeabfuhr im gesamten Prozess (kJ) (10 P)

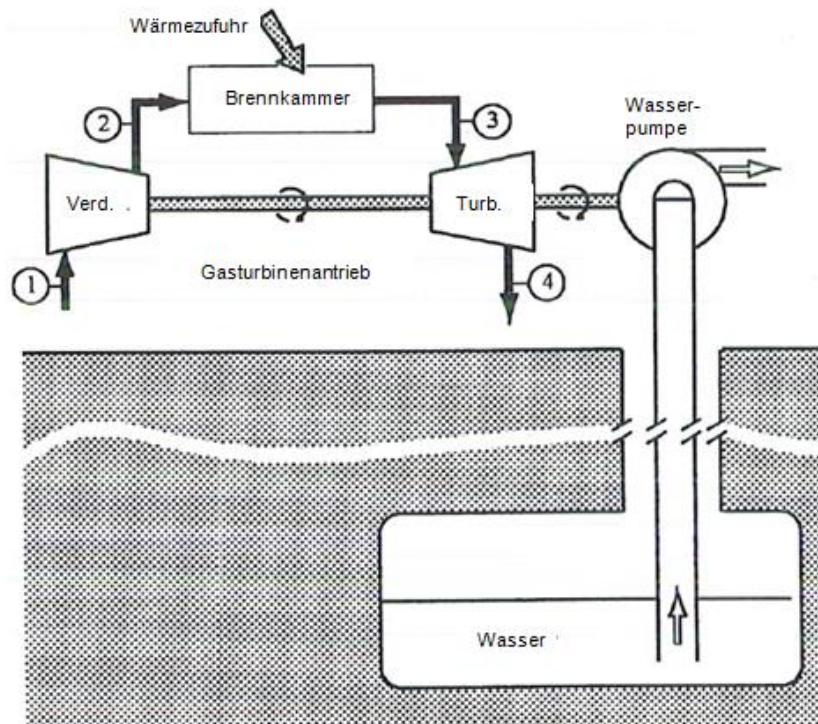


Unterscheiden sich Werte um weniger als 1% von Tabellenwerten, können Sie diese benutzen. Andernfalls müssen Sie interpolieren.

**Aufgabe 3 (10 P.):** Eine Gasturbine (Standard-Luft-Zyklus,  $\eta_{th} = 1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{\frac{k-1}{k}}$ ) wird benutzt, um eine Pumpe anzutreiben. Die Pumpe pumpt Wasser (10 kg/s) aus einem 300 Meter tiefen Reservoir. Das Druckverhältnis der Gasturbine  $r$  beträgt 9. Kinetische Energien können vernachlässigt werden.

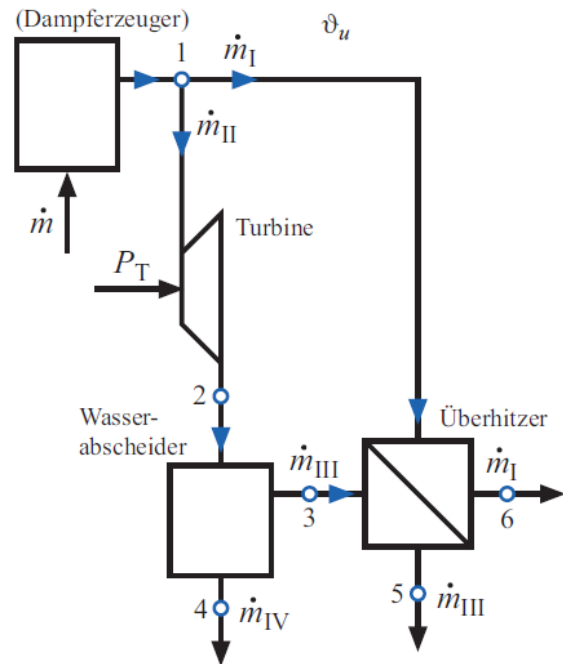
Bestimmen Sie:

- Die Leistung, die benötigt wird, um die Pumpe anzutreiben. (5 P.)
- Den Wärmestrom, der der Gasturbinen zugeführt werden muss. (5 P.)



#### Aufgabe 4 (40 Punkte):

Im Wasserdampfkreislauf eines Kraftwerkes (siehe Skizze) wird Sattdampf des Zustandes 1 erzeugt und in zwei Teilströme I und II verzweigt. Der Teilstrom II expandiert in einer Turbine mit isentropem Wirkungsgrad  $\eta_{s,T}$  von 80% auf den Zustand 2. Anschließend wird davon in einem Wasserabscheider der Flüssigkeitsanteil unter Druckverlust abgetrennt, so dass sich ein Zustand  $\tilde{2}$  beim Druck  $p_3$  einstellt. Den Flüssigkeitsabscheider verlassen daher ein Sattdampfstrom III und ein Flüssigkeitsstrom IV mit diesem Druck. Der Sattdampfstrom III wird noch bei konstantem Druck in einem Überhitzer durch den Teilstrom I des ursprünglichen Sattdampfes auf den Zustand 5 überhitzt. Der Teilstrom I soll dabei gerade vollständig kondensieren, Zustand 6.



Annahmen: Turbine, Wasserabscheider und Überhitzer seien gegenüber der Umgebung wärmeisoliert. Der Druckverlust in den Rohrleitungen und im Überhitzer sowie die kinetischen und potentiellen Energien seien vernachlässigbar.

Gegeben:  $\dot{m} = 10 \text{ kg/s}$ ;  $\eta_{s,T} = 80\%$ ;  $p_1 = 800 \text{ kPa}$ ,  $p_2 = 325 \text{ kPa}$ ;  $p_3 = 300 \text{ kPa}$ ;  $x_1 = x_3 = 1$ ;  $x_4 = x_6 = 0$ ;  $T_5 = 800 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $T_U = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Ges.:

- Skizzieren Sie qualitativ die Zustandspunkte 1, 2,  $\tilde{2}$ , 3 bis 6 in einem h,s-Diagramm unter Berücksichtigung der Sättigungslinien. Berücksichtigen Sie dabei, dass der Druckverlust im Wasserabscheider  $p_2 - p_3$  gegenüber dem Druckabfall in der Turbine  $p_1 - p_2$  klein ist. (8 P)
- Welche Art von Zustandsänderung setzen Sie für den Prozess  $2 \rightarrow \tilde{2}$  an? (2 P)
- Bestimmen Sie den Dampfgehalt bei Zustand  $\tilde{2}$ . (10 P)
- Bestimmen Sie das Verhältnis der beiden Massenströme  $\dot{m}_{\text{III}}/\dot{m}_{\text{IV}}$ , die den Wasserabscheider verlassen. (2 P)
- Bestimmen Sie das Verhältnis der beiden Massenströme  $\dot{m}_I/\dot{m}_{\text{III}}$ , die den Überhitzer durchströmen. (6 P)
- Bestimmen Sie den Massenstrom  $\dot{m}_{\text{II}}$  durch die Turbine. (3 P)
- Bestimmen Sie die an der Turbinenwelle abgreifbare Leistung  $P_T$ . (2 P)
- Bestimmen Sie die Entropieproduktion des Wasserabscheiders. (7 P)