

Übungsaufgaben thermische Verfahrenstechnik

Aufgabe 1

Es soll überprüft werden, ob für die ideale Gasgleichung gilt: $\oint dp = 0$

$$p = p(T, V) = \frac{n \cdot R \cdot T}{V}$$

Aufgabe 2

Es soll festgestellt werden, ob die angegebenen differentiellen thermodynamischen Größen dq und ds als Zustandsgrößen vorliegen, indem die Wegunabhängigkeit im T-v-Diagramm untersucht wird.

$$dq = c \cdot dT + \frac{R \cdot T}{v} \cdot dv \quad ds = \frac{c}{T} \cdot dT + \frac{R}{v} \cdot dv \quad c = 1004 \cdot \frac{J}{kg \cdot K} \quad R = 300 \cdot \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$T_1 = T_4 = 200 \text{ K}, \quad T_1 = T_4 = 400 \text{ K}, \quad v_1 = v_2 = 1 \text{ m}^3/\text{kg}, \quad v_3 = v_4 = 3 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Aufgabe 3

Ein Luftstrom von $100 \text{ m}^3/\text{h}$ wird bei Atmosphärendruck $p_0 = 1 \text{ bar}$ und $T = 20 \text{ °C}$ angesaugt und auf 6 bar verdichtet an eine Druckleitung abgegeben. Die Verdichtung soll isotherm und verlustfrei erfolgen. Luft kann als ideales Gas betrachtet werden.

- Wie groß ist das Verhältnis des Endvolumens zum Ansaugvolumen?
- Welche Leistung muß der Verdichter erbringen?
- Wievielt Wärmeenergie muß pro Stunde abgeführt werden, damit der Prozeß isotherm verläuft?

Aufgabe 4

Ein Autoreifen mit dem Volumen $V = 12 \text{ dm}^3$ wird vor Antritt der Fahrt auf $p_1 = 1,9 \text{ bar}$ Überdruck aufgepumpt. Nach der Fahrt hat sich die Temperatur des Reifens von $T_1 = 18 \text{ °C}$ auf $T_2 = 45 \text{ °C}$ erhöht.

Luft ist als ideales Gas zu betrachten. Normaldruck 1 bar

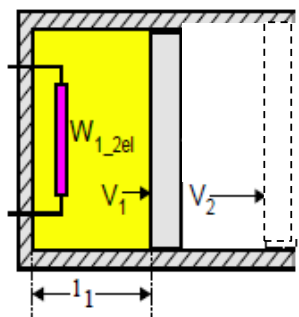
- wie groß ist die Molzahl n und die Masse der Luft im Reifen?
- Welcher Druck herrscht nach der Fahrt im Reifen?
- Wie würde sich der Druck nach der Fahrt ändern, wenn sich sein Volumen infolge Wärmeausdehnung des Gummis um 3% vergrößert hat?

Aufgabe 5

In einem Zylinder mit adiabatischen Wänden, der durch einen reibungsfrei beweglichen Kolben verschlossen ist, befindet sich Luft bei 1 bar und 20 °C mit einem Anfangsvolumen von 5000 cm^3 . Der Querschnitt des Zylinders beträgt 100 cm^2 . Über einen elektrischen Widerstand wird dem Gas Energie zugeführt, wobei sich das Volumen verdoppelt. $c_p = 1,005 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$

Gesucht:

- Druck und Temperatur im Zustand 2
- Änderung der inneren Energie
- Elektrische Arbeit (entspricht Wärmearbeit, nicht mechanische Arbeit)



Aufgabe 6

Das zylindrische Gehäuse eines Stoßdämpfers hat das Volumen von 1,5 l. es sei mit Luft der Temperatur 22 °C und einem Druck von 1 bar gefüllt. Bei einem Stoß wird das Gas bis auf einen Druck von 10 bar komprimierte.

- Auf welches Volumen wird die Luft komprimiert und auf welche Temperatur erwärmt sie sich dabei?
- Wie groß ist die Kompressionsarbeit?

Aufgabe 7



Es befindet sich Stickstoff in der links abgebildeten Gasflasche. Stickstoff kann als ideales Gas betrachtet werden; isochore Zustandsänderung:

$V = 50 \text{ l}$; $T_1 = 20 \text{ °C}$; $p_1 = 100 \text{ bar}$ die Temperatur ändert sich auf $T_2 = 40 \text{ °C}$.

Berechnen Sie die Entropieänderung ΔS und zeichnen Sie das TS-Diagramm.
gegeben: $c_{p,m} = 29 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$

Aufgabe 8

Um wieviel Grad weicht der Siedepunkt bei einem Luftdruck von 950 mbar vom Normalsiedepunkt (100 °C, 1013,25 mbar) ab? Berechnung mittels Clausius-Clapeyron- Gleichung und Antonine-Gleichung

Aufgabe 9

Trockene Luft hat etwa folgende Zusammensetzung in mol %

Stickstoff: 78,1

Sauerstoff: 20,93

Argon: 0,93

Kohlendioxid: 0,03

Man berechne die Zusammensetzung in Massenprozent und Partialdrücke beim Gesamtdruck von $p = 1 \text{ bar}$

Aufgabe 10

Welcher Druck herrscht über einer Mischung aus Benzol (1) und Toluol (2) für die Zusammensetzung $x_1 = 0,4$ bei der Temperatur 20 °C?

Zur Berechnung benutzen Sie die Antoine-Gleichung.

Aufgabe 11

Berechnen Sie das Dampfdruckdiagramm des Systems Benzol (1) und Toluol (2) für 40 °C (6 Werte) und zeichnen Sie das Dampfdruckdiagramm.

Sättigungsdampfdrücke mittels Antoine-Gleichung ermitteln.

Aufgabe 12

Es liegt eine wässrige Ammoniaklösung mit 4 mol% NH₃ bei 20 °C vor. Bei 20°C betrage der Gesamtdruck über der Mischung 6500 Pa, der Sättigungsdampfdruck reinen Wassers bei dieser Temperatur 2200 Pa. Bestimmen Sie für eine wässrige Lösung mit 5 mol% NH₃ bei 20 °C:

- Die Partialdrücke beider Komponenten (Henry'sche Konstante!)
- Die Zusammensetzung des Dampfes

Aufgabe 13

Ein Außenluftstrom von 7,23 kg/s trockene Luft mit $\varphi_1 = 80 \%$ und $p = 950 \text{ mbar}$ soll (isobar) von $\vartheta_1 = 5 \text{ °C}$ auf $\vartheta_2 = 20 \text{ °C}$ erwärmt werden. Rechnerisch und mittels h-x-Diagramm bestimmen Sie:

- Wie groß ist die relative Luftfeuchte der erwärmten Luft?
- Wie groß sind die spezifischen Enthalpien für beide Zustände?
- Welche Wärmeleistung wird benötigt?

Aufgabe 14

In einer Mischkammer mischen sich 40 Prozent Außenluft von 20 °C und 40 % relativer Luftfeuchtigkeit mit 60 % Umluft von 50 °C und 80 % Luftfeuchtigkeit isobar bei einem Druck von 1 bar. Die Luftmassenströme beziehen sich auf trockene Luft. Bestimmen Sie für die Mischluft die Temperatur, relative Feuchte, Enthalpie und Feuchtegehalt sowohl rechnerisch als auch mittels h-x-Diagramm.

Aufgabe 15

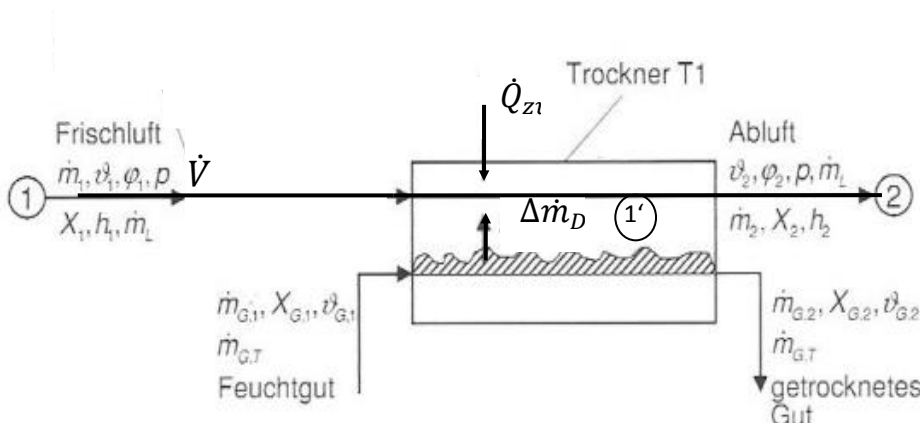
Die Abbildung unten zeigt einen kontinuierlich arbeitenden Konvektionstrockner. Folgende Betriebsdaten sind bekannt:

Betriebsdruck $p = 1 \text{ bar}$, wasserfeuchtes Gut $\dot{m}_{G1} = 2000 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$ mit Anfangsfeuchte $x_{G1} = 0,8 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$ und Endfeuchte $x_{G2} = 0,1 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$. Das Gut tritt mit $\vartheta_{G1} = 20 \text{ °C}$ ein und verläßt ihn mit $\vartheta_{G2} = 40 \text{ °C}$.

Die benötigte Frischluft wird mit $\vartheta_1 = 15 \text{ °C}$ und der rel. Feuchte $\varphi_1 = 80 \%$ zugeführt. Die Abluft darf eine max. rel. Feuchte von $\varphi_2 = 60 \%$ aufweisen bei $\vartheta_2 = 40 \text{ °C}$.

$$c_{pG} = 1,25 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{kg} \cdot \text{K}}, \quad c_{pW} = 4,19 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

- gesucht: a) Frischluftbedarf \dot{V} und anzusaugenden Gesamtmassenstrom \dot{m}_1 an Frischluft
 b) Spezifischer Luftbedarf $\frac{\dot{m}_L}{\Delta \dot{m}_D}$
 c) Wärmebedarf des Trockners \dot{Q}_{zu}



Aufgabe 16

Eine Betonwand mit der Fläche $A = 200 \text{ m}^2$ ist 120 mm dick. Der Wärmeleitkoeffizient beträgt $\lambda = 0,928 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.

- Welcher Wärmestrom fällt durch die Wand, wenn die Oberflächentemperaturen $T_{W1} = 17 \text{ }^\circ\text{C}$ und $T_{W2} = -7 \text{ }^\circ\text{C}$ beträgt?
- An welcher Stelle x in Wand ist $T_W = 0 \text{ }^\circ\text{C}$?

Aufgabe 17

Milch soll von einer Temperatur $\vartheta_1' = 38 \text{ }^\circ\text{C}$ auf die Temperatur $\vartheta_1'' = 8 \text{ }^\circ\text{C}$ abgekühlt werden. Es steht ein Gegenstromwärmeaustauscher (Austauschfläche $A = 13 \text{ m}^2$) mit Kühlwasser einer Temperatur $\vartheta_2' = 4 \text{ }^\circ\text{C}$ und mit einem Massenstrom von $\dot{m}_2 = 1,5 \text{ kg/s}$ zur Verfügung.

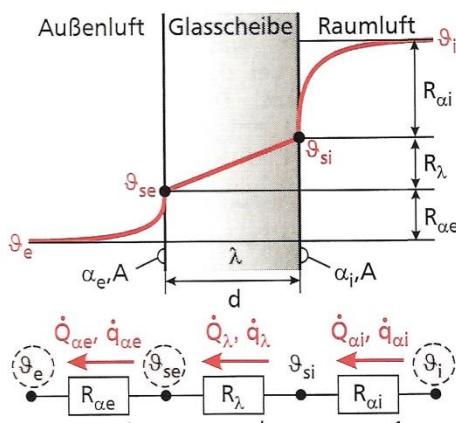
$c_{p1} = 3,94 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$, $\dot{m}_1 = 1,0 \text{ kg/s}$, $c_{p2} = 4,18 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$

- Welcher Wärmestrom wird der Milch entzogen?
- Mit welcher Temperatur tritt das Kühlwasser aus?
- Wie groß ist die logarithmisch gemittelte Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta_{\log}$?
- Wie groß ist der Wärmedurchgangskoeffizient k ?

Aufgabe 18

Ein Fenster mit einer 5 mm starken Einfachverglasung hat eine Fläche von $1,2 \text{ m}^2$. Im Winter wird mit einer Außentemperatur $\vartheta_e = -10 \text{ }^\circ\text{C}$ auf eine Innentemperatur $\vartheta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ geheizt. An der Außenseite der Scheibe herrscht bei stationären Bedingungen eine Oberflächentemperatur von $\vartheta_{se} = -3,14 \text{ }^\circ\text{C}$. Der äußere Wärmeübergangskoeffizient beträgt $\alpha_e = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$, der innere Wärmeübergangskoeffizient $\alpha_i = 7,69 \text{ W/m}^2\text{K}$.

- Welche Wärmestromdichte \dot{q} fließt durch die Fensterscheibe nach außen?
- Welche Oberflächentemperatur ϑ_{si} weist die Fensterscheibe an der Innenseite auf?
- Welche Wärmeleitfähigkeit λ weist die Glasscheibe auf?



Aufgabe 19

Ein Mol des idealen Gases Luft ($M = 29 \text{ g/mol}$, $c_v = 0,717 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$, $R = 8,314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$) wird vom Zustand 1 ($p_1 = 1 \text{ bar}$, $\vartheta_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$) **isotherm** verdichtet (Zustand 2) und danach **isochor** auf $\vartheta_3 = 180 \text{ }^\circ\text{C}$ erhitzt (Zustand 3). Der Druck beträgt dann $p_3 = 10 \text{ bar}$. (reversible Zustandsänderungen)

- Skizzieren Sie das Diagramm $p = p(V)$ mit den Zustandspunkten
- Berechnen Sie bei diesem Prozeß die mechanische Arbeit W_{13} vom Zustand 1 nach Zustand 3
- Berechnen Sie bei diesem Prozeß die Wärme Q_{13} vom Zustand 1 nach Zustand 3

Aufgabe 20

Bestimmen Sie die innere Energie $U(T,V)$ des realen Gases. Verwenden Sie zur Beschreibung des realen Gases die van der Waals-Gleichung $p = p(T,V)$.

Aufgabe 21

Bestimmen Sie isotherme Expansionsarbeit eines idealen Gases für:

- einen reversiblen Prozeß vom Eingangsdruck $p_i = 25,0 \text{ bar}$ und einem Anfangsvolumen $V_i = 4,5 \text{ l}$ zu einem Enddruck von $p_f = 4,5 \text{ bar}$.
- einen einstufigen irreversiblen Prozeß bei einem konstanten Druck von $p_b = 4,5 \text{ bar}$ bis zum Endvolumen V_f .
- einen zweistufigen irreversiblen Prozeß bei einem konstanten Druck von $p_c = 11,0 \text{ bar}$ bis V_c erreicht ist und danach eine zweite Expansion bei einem konstanten Außendruck $p_f = 4,5 \text{ bar}$ bis zum Endvolumen V_f .
- Skizzieren Sie das Diagramm $p = p(V)$

Aufgabe 22

Eine Blasensäule wird mit Luft und Wasser, bei einem Gasanteil von $\varepsilon = 25 \text{ \%}$ bei $T_1 = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ und einer Füllhöhe von $H = 2,5 \text{ m}$ betrieben. Nach einer Weile erhöht sich betriebsbedingt die Temperatur des Luft/Wasser-Gemisches auf $T_2 = 45 \text{ }^\circ\text{C}$. Um welchen Betrag ΔH erhöht sich die Füllhöhe der Blasensäule, wenn sich die Temperaturendeckung nur auf den Gasanteil beziehen soll und jeweils der gleiche Atmosphärendruck vorliegt. Bestimmen Sie ferner die neue Füllhöhe H_{neu} der Blasensäule.