



Hochschule
Zittau/Görlitz
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Aufgabensammlung

Technische Thermodynamik

Wärmeübertragung

Fakultät Maschinenwesen

EIPOS

Prof. Dr.-Ing. habil. H.-J. Kretzschmar

Aufgabensammlung

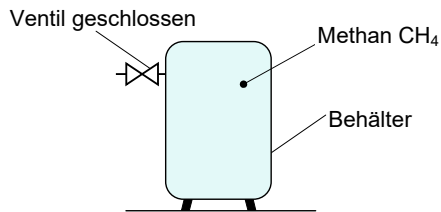
Technische Thermodynamik Wärmeübertragung

	Seite
1. Thermodynamische Zustandsgrößen	2
3. Energiebilanz – I. Hauptsatz der Thermodynamik	8
4. Ideale Gasgemische	23

1. Thermodynamische Zustandsgrößen

Aufgabe 1.1

In einem geschlossenen Behälter mit dem Volumen $V = 8 \text{ m}^3$ befindet sich Methan (CH_4) mit einer Masse $m = 7 \text{ kg}$.



Es sind zu berechnen:

- a) die Dichte ρ ,
- b) das spezifische Volumen v ,
- c) das molare Volumen \bar{v} .

Lösung: a) $\rho = 0,875 \text{ kg/m}^3$ b) $v = 1,143 \text{ m}^3/\text{kg}$ c) $\bar{v} = 18,335 \text{ m}^3/\text{kmol}$

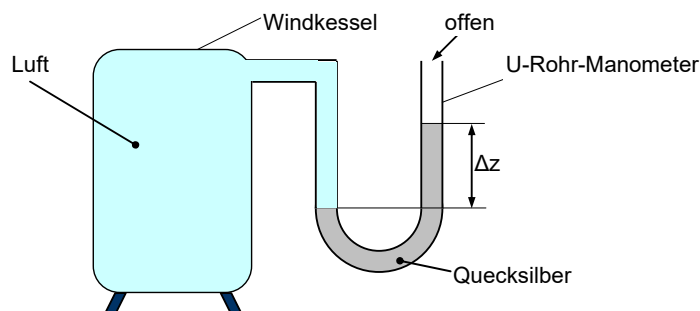
Aufgabe 1.2

Welche Masse m haben $n = 10 \text{ kmol}$ Stickstoff und welches Volumen V im Normzustand, wobei der Stickstoff als ideales Gas betrachtet werden kann ?

Lösung: $m = 280,13 \text{ kg}$, $V = 224,14 \text{ m}_n^3$

Aufgabe 1.3

Ein Windkessel mit dem Volumen $V = 10 \text{ m}^3$ enthält die Masse $m = 20 \text{ kg}$ Luft mit einer Temperatur $\vartheta = 27 \text{ }^\circ\text{C}$. Der Druck im Windkessel wird mit einem U-Rohr-Manometer gemessen, das mit Quecksilber gefüllt ist. Der äußere Luftdruck beträgt $p_u = 1 \text{ bar}$. Die Temperatur des Quecksilbers im U-Rohr-Manometer entspricht der Temperatur der Umgebung und beträgt $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

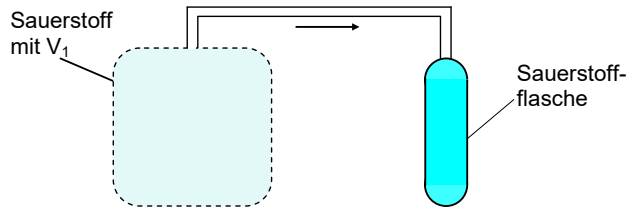


Welche Höhendifferenz Δz wird am Manometer abgelesen? (Die Luft kann mit guter Näherung als ideales Gas betrachtet werden.)

Lösung: $\Delta z = 0,544 \text{ m}$

Aufgabe 1.4

Sauerstoff, der bei einem Druck von $p_1 = 100 \text{ kPa}$ und einer Temperatur $\vartheta_1 = 18 \text{ °C}$ das Volumen $V_1 = 1 \text{ m}^3$ einnimmt, soll von einer Sauerstoffflasche aufgenommen werden.

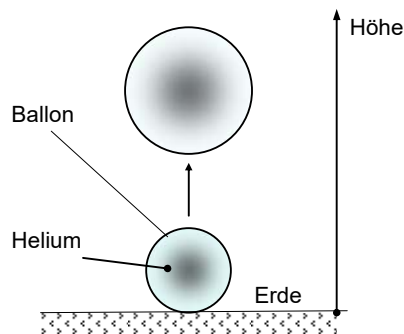


Wie groß ist das Volumen V_2 der Flasche zu bemessen, wenn in ihr der Druck $p_2 = 10 \text{ MPa}$ und die Temperatur $\vartheta_2 = 27 \text{ °C}$ betragen sollen?
 (Der Sauerstoff kann näherungsweise als ideales Gas betrachtet werden.)

Lösung: $V_2 = 0,01031 \text{ m}^3$

Aufgabe 1.5

Ein dehnbarer Ballon wird auf der Erde mit der Masse $m = 50 \text{ kg}$ Helium gefüllt, so dass der Druck $p_1 = 1 \text{ bar}$ und die Temperatur $\vartheta_1 = 15 \text{ °C}$ beträgt.

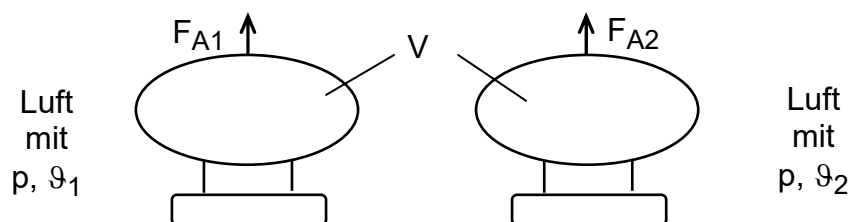


Wie groß ist die Volumenänderung $\Delta V = V_2 - V_1$, wenn das Gas im Ballon in größerer Höhe einen Druck von $p_2 = 80 \text{ kPa}$ und eine Temperatur von $\vartheta_2 = -30 \text{ °C}$ annimmt?
 (Das Helium kann mit guter Näherung als ideales Gas angenommen werden.)

Lösung: $\Delta V = 16,396 \text{ m}^3$

Aufgabe 1.6

Ein Luftschiff mit einem konstanten Volumen von $V = 200000 \text{ m}^3$ gelangt bei einem gleichbleibendem Druck von $p = 90 \text{ kPa}$ von einem Gebiet mit einer Lufttemperatur $\vartheta_1 = 10 \text{ °C}$ plötzlich in ein Gebiet mit der Lufttemperatur $\vartheta_2 = 15 \text{ °C}$. Es kann angenommen werden, dass sowohl der Druck als auch die Temperatur im Luftschiff konstant bleiben. Die atmosphärische Luft darf als ideales Gas betrachtet werden.

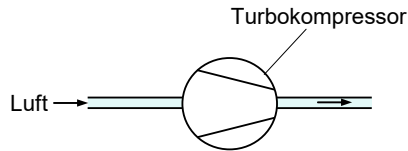


Wie ändert sich die resultierende Auftriebskraft $\Delta F_A = F_{A2} - F_{A1}$ des Luftschiffes?

Lösung: $\Delta F_A = -37,68 \text{ kN}$

Aufgabe 1.7

Ein stationär arbeitender Turbokompressor saugt einen Volumenstrom $\dot{V}_1 = 120 \text{ m}^3/\text{h}$ Luft an und komprimiert sie auf $\dot{V}_2 = 26 \text{ m}^3/\text{h}$, wobei sich der Druck von $p_1 = 0,1 \text{ MPa}$ auf $p_2 = 9 \text{ bar}$ erhöht.

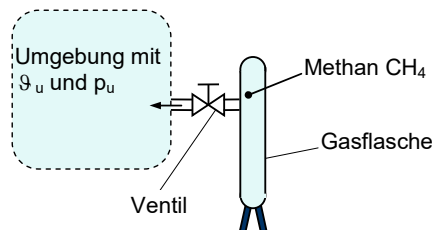


Wie groß ist die Temperatur ϑ_2 der komprimierten Luft, wenn die Ansaugtemperatur $\vartheta_1 = 17 \text{ °C}$ beträgt (Die Luft kann als ideales Gas betrachtet werden.) ?

Lösung: $\vartheta_2 = 292,64 \text{ °C}$

Aufgabe 1.8

In einer Gasflasche befindet sich Methan (CH_4) mit einer Masse $m_1 = 0,5 \text{ kg}$ bei einer Temperatur $\vartheta_1 = 200 \text{ °C}$ und einem Druck $p_1 = 1 \text{ MPa}$. Man öffnet an der Gasflasche ein Ventil und lässt das Methan ausströmen.



Wie groß ist die in der Gasflasche verbleibende Gasmasse m_2 , wenn nach Beendigung des Ausströmvorganges der Zustand in der Flasche gleich dem Umgebungszustand ($\vartheta_u = 27 \text{ °C}$, $p_u = 1 \text{ bar}$) ist?

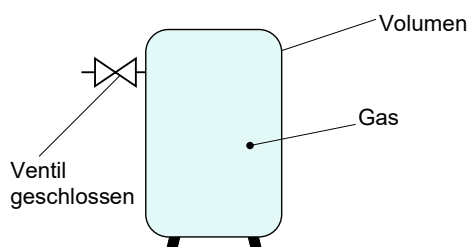
(Methan kann bei den vorliegenden Parametern als ideales Gas betrachtet werden.)

Lösung: $m_2 = 78,8 \text{ g}$

Aufgabe 1.9

Wie groß ist die spezifische Gaskonstante R eines unbekannten Gases, wenn die Masse $m = 1,5 \text{ kg}$ dieses Gases bei einem Druck $p = 1,1 \text{ bar}$ und einer Temperatur $\vartheta = 150 \text{ °C}$ das Volumen $V = 1,711 \text{ m}^3$ einnimmt?

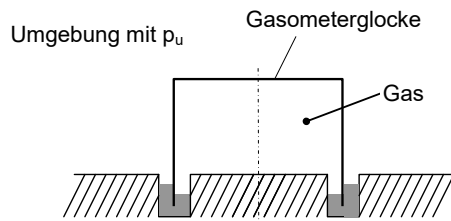
(Das Gas kann mit guter Näherung als ideales Gas betrachtet werden.)



Lösung: $R = 0,2965 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

Aufgabe 1.10

Eine Gasometerglocke fasst das Volumen $V = 30000 \text{ m}^3$ Gas ($R = 0,68 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$) bei einer Temperatur von $\vartheta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Die Masse der Gasometerglocke ist so bemessen, dass in der Glocke ein Überdruck von $\Delta p_{\text{üb}} = 3 \text{ kPa}$ herrscht. Der Umgebungsdruck beträgt $p_u = 100,8 \text{ kPa}$. Die Gasometerglocke hat einen Durchmesser von $d = 40 \text{ m}$.

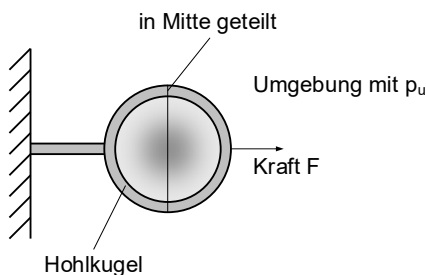


- a) Welche Gasmasse m befindet sich unter der Gasometerglocke ?
 b) Wie groß ist die Masse m_{Gl} der Gasometerglocke?

Lösung: a) $m = 15621 \text{ kg}$ b) $m_{\text{Gl}} = 384424 \text{ kg}$

Aufgabe 1.11

Eine in der Mitte geteilte Hohlkugel mit einem mittleren Durchmesser von $d = 1,0 \text{ m}$ wird bei einem äußeren Luftdruck von $p_u = 100 \text{ kPa}$ auf ein 90 %-iges Vakuum evakuiert.

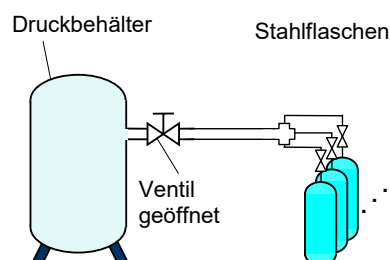


Wie groß muss die Kraft F mindestens sein, um die Kugelhälften voneinander lösen zu können?

Lösung: $F = 70,69 \text{ kN}$

Aufgabe 1.12

Ein Druckbehälter von $V_{\text{Beh}} = 8 \text{ m}^3$ enthält Sauerstoff, der als ideales Gas angesehen werden kann, mit einem Druck von $p_1 = 22 \text{ MPa}$.

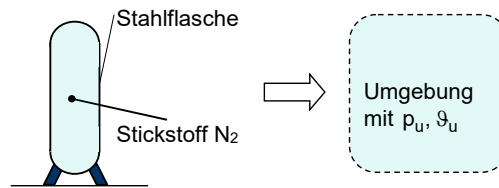


Wie viel Stahlflaschen von je $V_{\text{Fl}} = 0,1 \text{ m}^3$ mit einem Druck von $p_2 = 15 \text{ MPa}$ lassen sich aus dem Druckbehälter isotherm ohne Hilfsenergie abfüllen, wobei der Druck p_2 am Ende sowohl in den Stahlflaschen als auch im Druckbehälter herrscht ?

Lösung: $n = 37$

Aufgabe 1.13

In einer Stahlflasche mit dem Volumen $V_1 = 40 \text{ l}$ befindet sich Stickstoff, der als ideales Gas angesehen werden darf, bei $p_1 = 15,2 \text{ MPa}$ und $\vartheta_1 = 12 \text{ °C}$.

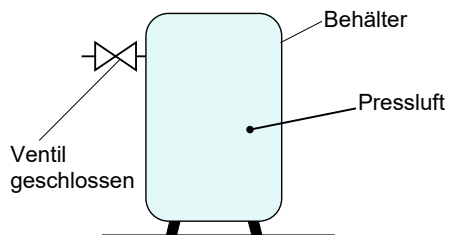


Welches Volumen V_2 würde der Stickstoff bei Umgebungsparametern $\vartheta_u = 20 \text{ °C}$ und $p_u = 99,32 \text{ kPa}$ einnehmen ?

Lösung: $V_2 = 6,293 \text{ m}^3$

Aufgabe 1.14

In einem geschlossenen Behälter befindet sich Pressluft mit $p = 4,8 \text{ MPa}$ und $\vartheta = 12 \text{ °C}$. Die Luft kann mit guter Näherung als trocken angesehen werden.



- Ermitteln Sie die Dichte, das spezifische Volumen und die spezifische isobare Wärmekapazität, wobei Luft bei den vorliegenden Parametern als reales Fluid zu betrachten ist !
- Ermitteln Sie die gleichen Eigenschaften, indem Sie annehmen, dass Luft als ideales Gas berechnet werden kann und diskutieren Sie die Abweichungen !
- Berechnen Sie den Realgasfaktor z_{real} und schätzen Sie ein, ob Luft im vorliegenden Zustand als ideales Gas berechnet werden darf !

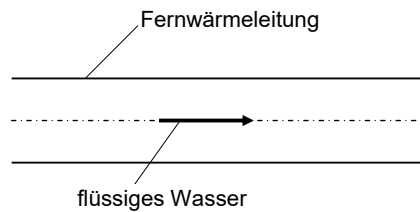
Lösung: a) $\rho = 59,381 \text{ kg/m}^3$ $v = 0,01684 \text{ m}^3/\text{kg}$ $c_p = 1,0926 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

b) $\rho^{ig} = 58,632 \text{ kg/m}^3$ $v^{ig} = 0,017056 \text{ m}^3/\text{kg}$ $c_p^{ig} = 1,0043 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

c) $z_{\text{real}} = 0,9874$

Aufgabe 1.15

Flüssiges Wasser hat in einer Fernwärmeleitung den Druck $p = 21,5 \text{ bar}$ und die Temperatur $\vartheta = 150 \text{ °C}$.



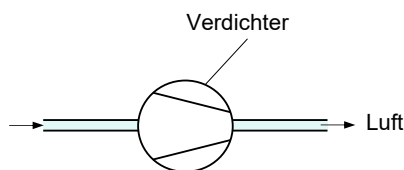
- a) Ermitteln Sie die Dichte und die spezifische isobare Wärmekapazität, wobei Wasser mit guter Genauigkeit als inkompressibel angesehen werden kann !
 b) Vergleichen Sie diese Werte mit denen aus der Wasserdampf tabel !

Lösung:

	a) $\rho^{if} = 917,01 \text{ kg/m}^3$	c _p ^{if} = 4,3103 kJ/(kg·K)
	b) $\rho = 917,95 \text{ kg/m}^3$	c _p = 4,3048 kJ/(kg·K)

Aufgabe 1.16

Luft verlässt einen Verdichter mit $\vartheta = 312 \text{ °C}$ und $p = 1 \text{ MPa}$.



Ermitteln Sie unter Annahme, dass die Luft bei dem vorliegenden Druck als ideales Gas und trocken betrachtet werden kann:

- a) die spezifische isobare Wärmekapazität c_p ,
 b) die mittlere spezifische isobare Wärmekapazität $c_p \Big|_{T_0}^T$,
 c) die spezifische isochore Wärmekapazität c_v ,
 d) die spezifische Enthalpie h ,
 e) die spezifische innere Energie u .
 f) Überprüfen Sie durch Berechnung des Realgasfaktors z_{real} die Vereinfachung "Ideales Gas". Entnehmen Sie das dafür benötigte tatsächliche spez. Volumen der Luft bei den vorliegenden Parametern der Tab. 6 der Stoffwertsammlung !

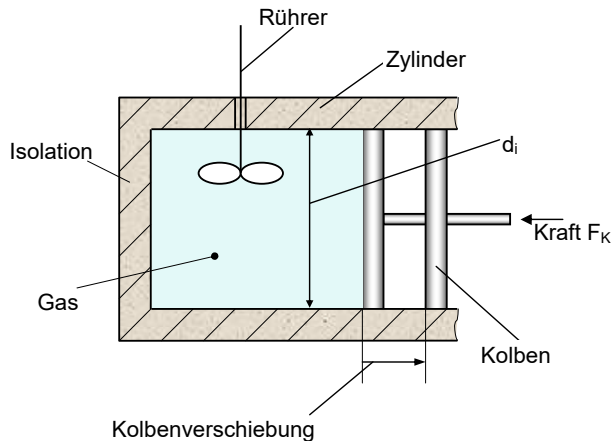
Lösung:

	a) $c_p^{ig} = 1,0477 \text{ kJ/(kg·K)}$	b) $c_p \Big _{T_0}^T = 1,0203 \text{ kJ/(kg·K)}$
	c) $c_v^{ig} = 0,7606 \text{ kJ/(kg·K)}$	
	d) $h^{ig} = 318,38 \text{ kJ/kg}$	
	e) $u^{ig} = 150,38 \text{ kJ/kg}$	
	f) $z_{\text{real}} = 1,0037$	

3. Energiebilanz – I. Hauptsatz der Thermodynamik

Aufgabe 3.1

In einem gut isolierten Zylinder befindet sich ein Gas, auf das ein reibungsfrei beweglicher Kolben mit einer konstanten äußeren Kraft $F_K = 1,25 \text{ kN}$ wirkt. Der Kolben wird um $0,4 \text{ m}$ nach außen verschoben. Der Innendurchmesser d_i des Zylinders beträgt 10 cm . Über einen Rührer wird dem Gas außerdem eine Wellenarbeit $W_{W12} = 2,5 \text{ kJ}$ zugeführt. Der Umgebungsdruck entspricht näherungsweise dem Normdruck.



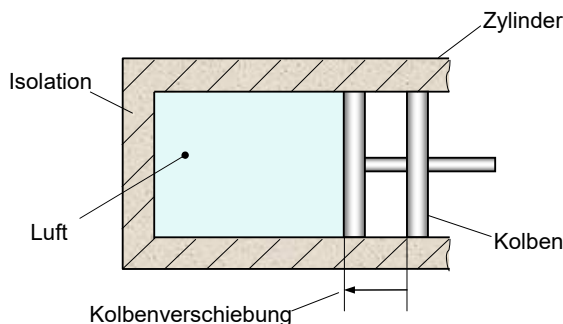
- Berechnen Sie die äußere Nutzarbeit am Kolben W_{N12} , wird sie zu- oder abgeführt?
- Ermitteln Sie die Volumenänderungsarbeit W_{V12} !
- Wie groß ist die Änderung der inneren Energie des Gases $U_2 - U_1$?

Lösung: a) $W_{N12} = -0,5 \text{ kJ}$ (abgeführt) b) $W_{V12} = -0,818 \text{ kJ}$
 c) $U_2 - U_1 = 1,682 \text{ kJ}$

Aufgabe 3.2

In einem gut isolierten Zylinder mit reibungsfreiem Kolben befindet sich Luft mit einer Temperatur von $\vartheta_1 = 20 \text{ °C}$. Durch Zufuhr einer Volumenänderungsarbeit steigt die Temperatur der Luft auf $\vartheta_2 = 120 \text{ °C}$.

Die Luft kann mit guter Näherung als ideales Gas berechnet werden.

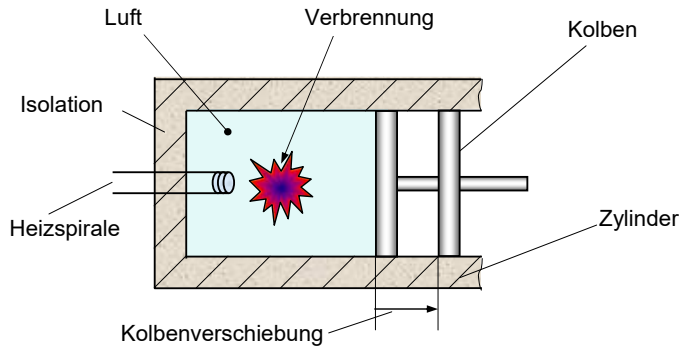


Wie groß ist die der Luft zugeführte spezifische Volumenänderungsarbeit w_{V12} ?

Lösung: $w_{V12} = 72,10 \text{ kJ/kg}$

Aufgabe 3.3

In einem gut isolierten Zylinder befindet sich Luft. Durch Verbrennung in der eingeschlossenen Luft wird die Wärme $Q_{12} = 10 \text{ kJ}$ zugeführt. Gleichzeitig wird durch Volumenvergrößerung eine Volumenänderungsarbeit $W_{V12} = -16 \text{ kJ}$ abgeführt. Zusätzlich wird im Zylinder in der Zeitspanne $\Delta t = 180 \text{ s}$ eine Heizspirale mit einer Leistung $P_{el12} = 200 \text{ W}$ betrieben.

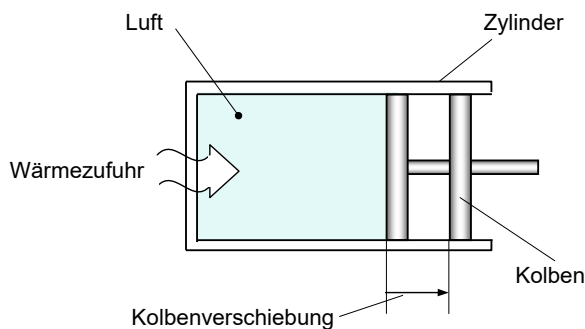


- a) Berechnen Sie die durch die Heizung zugeführte elektrische Arbeit W_{el12} !
 b) Wie groß ist die Änderung der inneren Energie $U_2 - U_1$ der Luft ?

Lösung: a) $W_{el12} = 36 \text{ kJ}$ b) $U_2 - U_1 = 30 \text{ kJ}$

Aufgabe 3.4

Der Zylinder einer Kolbenmaschine ist mit Luft gefüllt. Über die Zylinderwände wird eine Wärme $Q_{12} = 243,1 \text{ kJ}$ zugeführt, so dass sich die Luft um $\Delta T = 100 \text{ K}$ erwärmt. Gleichzeitig dehnt sich die Luft unter Druckänderung aus. Dabei wird eine Volumenänderungsarbeit $W_{V12} = -200 \text{ kJ}$ abgeführt. Die Luft kann mit guter Näherung als ideales Gas mit c_v , $\kappa = \text{const}$ berechnet werden.

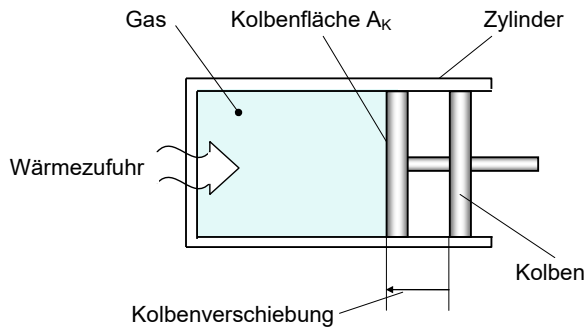


Welche Luftmasse m befindet sich im Zylinder ?

Lösung: $m = 600,5 \text{ g}$

Aufgabe 3.5

Einem mit Gas gefüllten Zylinder wird die Wärme $Q_{12} = 14,8 \text{ kJ}$ zugeführt. Die Änderung der inneren Energie beträgt dabei $U_2 - U_1 = 21,3 \text{ kJ}$. Der Kolben mit einer Fläche von $A_K = 700 \text{ cm}^2$ verringert das Innenvolumen, indem er um 50 cm reibungsfrei verschoben wird. Der barometrische Luftdruck ist mit $p_u = 100 \text{ kPa}$ bekannt.

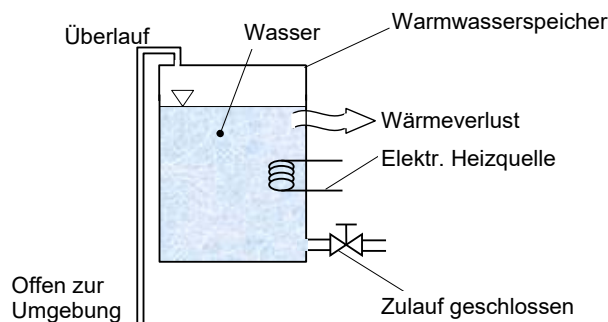


- a) Wie groß ist die Volumenänderungsarbeit W_{V12} ?
 b) Welche äußere Nutzarbeit W_{N12} ist an der Kolbenstange zuzuführen ?

Lösung: a) $W_{V12} = 6,5 \text{ kJ}$ b) $W_{N12} = 3,0 \text{ kJ}$

Aufgabe 3.6

In einem Warmwasserspeicher steht das enthaltene Wasser unter Umgebungsdruck, der als konstant angenommen werden kann. Im Speicher befinden sich $V_1 = 80 \text{ l}$ Wasser mit einer Anfangstemperatur $\vartheta_1 = 15 \text{ °C}$, das als ideale Flüssigkeit angesehen werden kann.



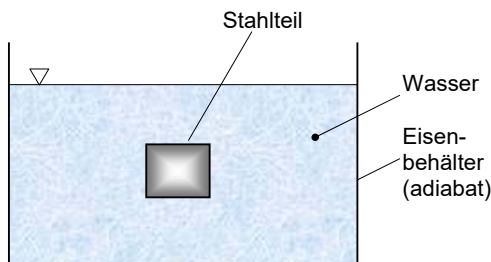
In welcher Zeit Δt wird das Wasser auf $\vartheta_2 = 70 \text{ °C}$ erwärmt, wenn

- a) eine elektrische Heizquelle mit einer Leistung $P_{el} = 3200 \text{ W}$ bei Vernachlässigung der Wärmeverluste zur Verfügung steht ?
 b) nur $\eta = 97 \%$ der angegebenen Heizleistung von $P_{el} = 3200 \text{ W}$ aufgrund von Wärmeverlusten zur Erwärmung genutzt werden können ?

Lösung: a) $\Delta t = 5745 \text{ s} = 95,76 \text{ min}$
 b) $\Delta t = 5923 \text{ s} = 98,72 \text{ min}$

Aufgabe 3.7

Ein Stahlteil mit einer Masse $m_{\text{St}} = 6,5 \text{ kg}$ und einer Temperatur $\vartheta_{\text{St1}} = 1000 \text{ °C}$ wird in einem adiabaten, mit Wasser gefülltem Eisenbehälter bei $p = \text{const}$ abgekühlt. Die Masse des Wassers beträgt $m_{\text{W}} = 10 \text{ kg}$ und die des Behälters $m_{\text{B}} = 2 \text{ kg}$. Die Anfangstemperaturen von Wasser und Behälter betragen $\vartheta_{1\text{W}} = \vartheta_{1\text{B}} = 10 \text{ °C}$. Nach dem Eintauchen des Stahlteils stellt sich nach vollständigem Temperatúrausgleich eine Temperatur von $\vartheta_2 = 80 \text{ °C}$ ein. Die mittleren spezifischen Wärmekapazitäten sind für Wasser $c_{\text{pW}} = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ und für den Behälter $c_{\text{pB}} = 0,456 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$. Beim Eintauchen tritt keine Wasserverdampfung auf.

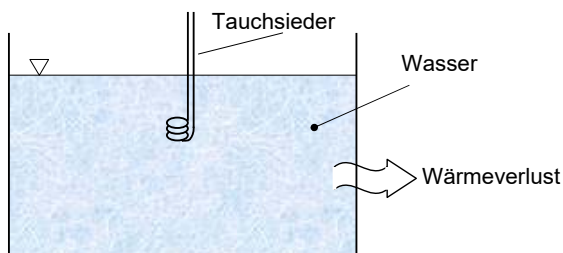


Wie groß ist die mittlere spezifische isobare Wärmekapazität des Stahlteils c_{pSt} im Temperaturbereich zwischen $\vartheta = 80 \text{ °C}$ und $\vartheta = 1000 \text{ °C}$?

Lösung: $c_{\text{pSt}} = 0,501 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

Aufgabe 3.8

$V_1 = 1 \text{ l}$ Wasser wird mit einem Tauchsieder bei konstantem Druck von $\vartheta_1 = 10 \text{ °C}$ auf $\vartheta_2 = 100 \text{ °C}$ erwärmt. Infolge des Wärmeverlustes an die Umgebung werden zur Erwärmung des Wassers nur $\eta = 80 \%$ der elektrischen Leistung P_{el} des Tauchsieders genutzt. Das Wasser kann mit guter Näherung als ideale Flüssigkeit behandelt werden.

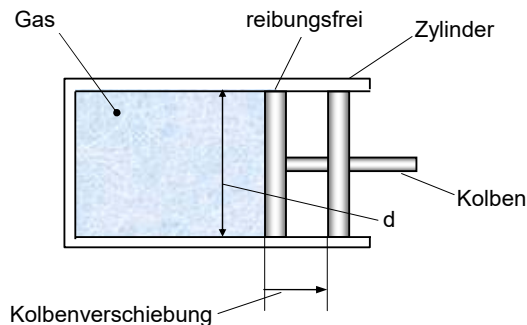


- Welche elektrische Leistung P_{el} muss der Tauchsieder haben, wenn das Wasser in einer Zeit von $\Delta t = 15 \text{ min}$ erwärmt werden soll ?
- In welcher Zeit Δt läuft diese Erwärmung bei gleichem Wirkungsgrad ab, wenn ein Tauchsieder mit einer elektrischen Leistung $P_{\text{el}} = 1000 \text{ W}$ verwendet wird ?

Lösung: a) $P_{\text{el}} = 523,5 \text{ W}$ b) $\Delta t = 471 \text{ s} = 7,853 \text{ min}$

Aufgabe 3.9

In einem Zylinder mit einem reibungsfrei beweglichen Kolben (Durchmesser $d = 0,6 \text{ m}$) befindet sich ein Gas mit einem konstanten Druck $p = 0,5 \text{ MPa}$. Durch eine Wärmezuführung von $Q_{12} = 300 \text{ kJ}$ erfolgt eine Volumenvergrößerung, so dass sich der Kolben um $0,5 \text{ m}$ nach außen verschiebt.



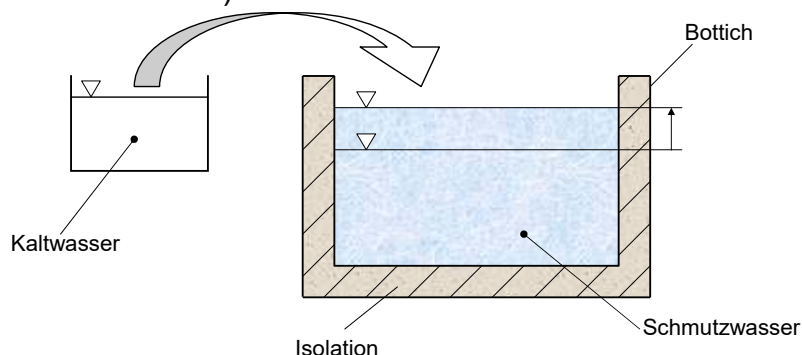
- a) Welche Volumenänderungsarbeit W_{V12} wird vom Gas geleistet ?
b) Wie groß ist die Änderung der inneren Energie $U_2 - U_1$?

Lösung: a) $W_{V12} = -70,69 \text{ kJ}$ b) $U_2 - U_1 = 229,31 \text{ kJ}$

Aufgabe 3.10

In einem unter konstantem Atmosphärendruck stehenden, gut isolierten Bottich befinden sich 120 l Schmutzwasser mit einer Temperatur $\vartheta_{1s} = 95 \text{ °C}$. Um die Temperatur auf den für die Einleitung in das Abwassersystem geforderten Wert $\vartheta_2 = 60 \text{ °C}$ zu bringen, muss kaltes Wasser beigemischt werden. Das zur Verfügung stehende kalte Wasser besitzt eine Temperatur $\vartheta_{1w} = 12 \text{ °C}$.

(Für das Schmutzwasser können in erster Näherung die Stoffwerte von reinem Wasser verwendet werden. Wasser darf bei den vorliegenden Parametern als inkompressibel angesehen werden.)



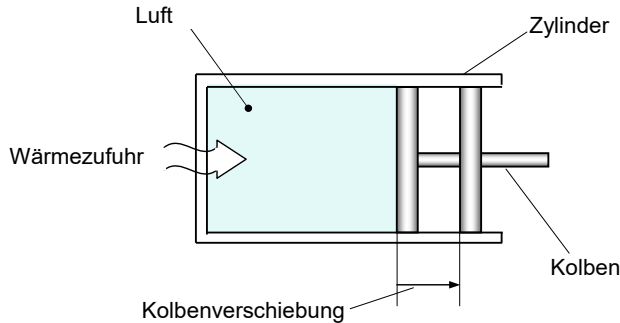
- a) Wieviel Liter kaltes Wasser müssen beigemischt werden (Berechnung über Enthalpien) ?
b) Führen Sie die Berechnung von a) mit konstanten Werten für c_{pm} und ρ_m , ermittelt bei der Mischungstemperatur 60 °C durch !
c) Welcher relative Fehler in % wird bei b) im Vergleich zu a) begangen ?

Lösung: a) $V_{1w} = 84,5 \text{ l}$ b) $V_{1w} = 87,5 \text{ l}$ (für Näherung $c_{pm}, \rho_m = \text{const}$)

$$c) \frac{V_{1w}(c_{pm}, \rho_m = \text{const}) - V_{1w}}{V_{1w}} \cdot 100 \% = + 3,6 \%$$

Aufgabe 3.11

Luft mit $V_1 = 0,5 \text{ m}^3$ und $\vartheta_1 = 20 \text{ °C}$ leistet bei konstantem Druck $p = 0,3 \text{ MPa}$ in einem Zylinder eine Volumenänderungsarbeit $W_{V12} = -30 \text{ kJ}$. Außerdem wird Wärme zugeführt. (Die Luft darf mit guter Näherung als ideales Gas berechnet werden.)



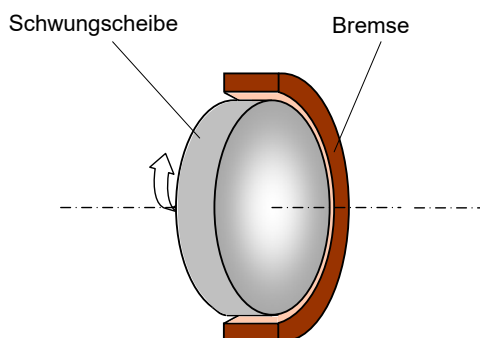
Es sind zu ermitteln:

- die Masse m der Luft,
- das Volumen V_2 der Luft am Ende des Vorgangs,
- die Endtemperatur ϑ_2 ,
- die zuzuführende Wärme Q_{12} .

Lösung: a) $m = 1,782 \text{ kg}$ b) $V_2 = 0,6 \text{ m}^3$
c) $\vartheta_2 = 78,63 \text{ °C}$ d) $Q_{12} = 105,16 \text{ kJ}$

Aufgabe 3.12

Eine mit unbekannter Drehzahl n rotierende Schwungscheibe wird durch Bremsen zum Stillstand gebracht. Ein Anteil von 30 % der kinetischen Energie der Scheibe führt dabei zur Erhöhung der Energie der Bremsteile. Die Masse der Bremsteile beträgt $m = 12 \text{ kg}$. Die mittlere spezifische Wärmekapazität der Bremsteile wird mit $c_{pm} = 0,5024 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ angegeben. Die Schwungscheibe besitzt ein Massenträgheitsmoment $\Theta = 1465,8 \text{ J}\cdot\text{s}^2$.

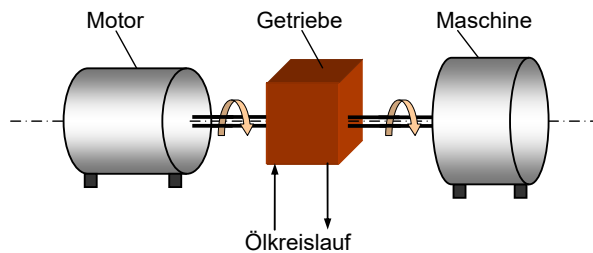


Wie hoch war die Drehzahl der Schwungscheibe vor dem Bremsvorgang, wenn beim Bremsen die Temperatur der Bremsteile im Durchschnitt um $\Delta \vartheta = 400 \text{ K}$ steigt ?

Lösung: $n = 16,668 \text{ s}^{-1}$

Aufgabe 3.13

Einem Getriebe wird von einem Motor die Leistung 250 kW zugeführt. An das Getriebe ist eine Maschine angeschlossen. Zur Kühlung werden durch das Getriebe beim stationären Betrieb stündlich 1000 kg Öl gepumpt, das sich dabei um $\Delta \vartheta = 20 \text{ K}$ erwärmt. Die mittlere spezifische Wärmekapazität des Öls beträgt $c_{pm} = 1,675 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$. Die Geschwindigkeit des Öls ist an Ein- und Austrittsöffnung des Getriebes näherungsweise gleich. Die beiden Öffnungen liegen auf gleicher Höhe. Das Getriebe kann als ideal wärmeisoliert und das Öl mit guter Näherung als ideale Flüssigkeit angesehen werden.

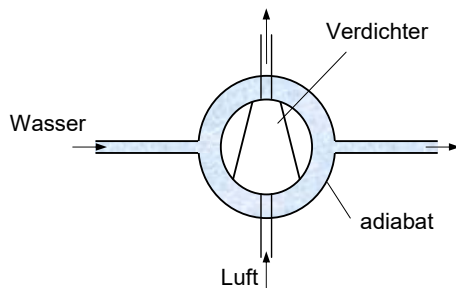


- Erstellen Sie eine Prinzipskizze und tragen Sie die gegebenen und gesuchten Größen an!
- Welche Leistung P_G steht an der Getriebeabtriebswelle zum Antrieb der Maschine zur Verfügung?
- Wie groß ist der Getriebewirkungsgrad η_G ?

Lösung: b) $P_G = -240,69 \text{ kW}$ c) $\eta_G = 0,963$

Aufgabe 3.14

In einem stationär arbeitenden, nach außen adiabaten Kompressor mit Wasserkühlung wird Luft verdichtet. Dabei erhöht sich der Enthalpiestrom der Luft um $\dot{H}_{2L} - \dot{H}_{1L} = 17 \cdot 10^4 \text{ kJ/h}$ und der Enthalpiestrom des zur Kühlung dienenden Wassers um $\dot{H}_{2W} - \dot{H}_{1W} = 1 \cdot 10^4 \text{ kJ/h}$. Die Änderungen der kinetischen und potentiellen Energien des Luft- und Wasserstromes können vernachlässigt werden.

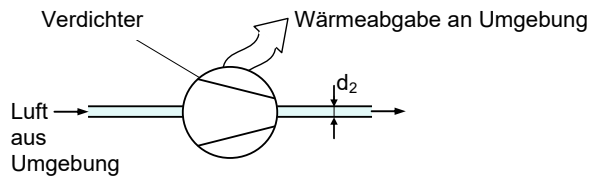


Welche technische Antriebsleistung P_{t12} besitzt der Kompressor?

Lösung: $P_{t12} = 50 \text{ kW}$

Aufgabe 3.15

Ein stationär arbeitender Kompressor verdichtet $\dot{m} = 1 \text{ kg/s}$ Luft aus der Umgebung mit $\vartheta_1 = 10 \text{ °C}$ auf $p_2 = 0,4 \text{ MPa}$ und $\vartheta_2 = 120 \text{ °C}$, wobei durch Kühlung außerdem der Wärmestrom $\dot{Q}_{12} = -5 \text{ kW}$ an die Umgebung abgegeben wird. Die Luft verlässt den Verdichter in einer Rohrleitung mit dem Durchmesser $d_2 = 0,16 \text{ m}$. Die Eintrittsgeschwindigkeit c_1 kann gegenüber der Austrittsgeschwindigkeit c_2 vernachlässigt werden. Die Luft kann bei den vorliegenden Parametern mit guter Näherung als ideales Gas berechnet werden.

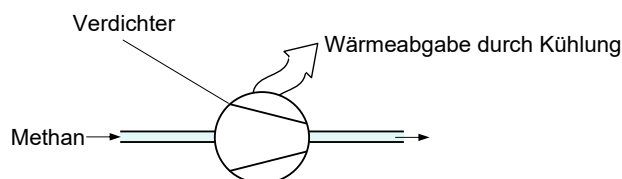


- Mit welcher Geschwindigkeit c_2 strömt die Luft aus dem Verdichter ?
- Welche Antriebsleistung P_{t12}^{st} besitzt der Verdichter ?

Lösung: a) $c_2 = 14,03 \text{ m/s}$ b) $P_{t12}^{\text{st}} = 115,95 \text{ kW}$

Aufgabe 3.16

In einem stationär arbeitenden, gekühlten Kompressor tritt $\dot{m} = 10 \text{ kg/s}$ Methan mit einer mittleren Strömungsgeschwindigkeit $c_1 = 170 \text{ m/s}$ und der Temperatur $\vartheta_1 = 20 \text{ °C}$ ein. Am Austritt wurde der Zustand des Methans mit $c_2 = 100 \text{ m/s}$ und $\vartheta_2 = 100 \text{ °C}$ bestimmt. Außerdem wird durch die Kühlung eine spezifische Wärme $q_{12} = -10 \text{ kJ/kg}$ abgeführt. Das Methan kann mit guter Näherung als ideales Gas berechnet werden.



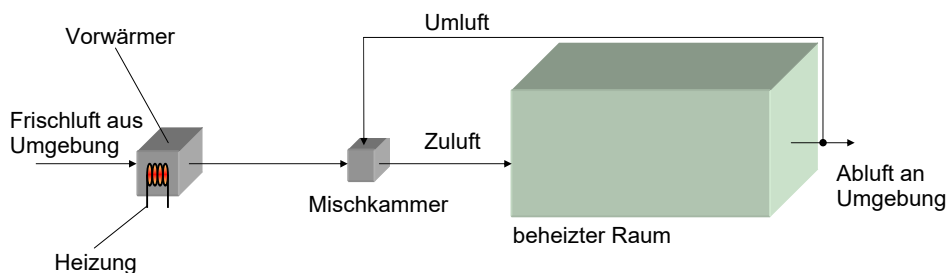
- Wie groß ist die Antriebsleistung P_{t12}^{st} des Kompressors ?
- Ermitteln Sie die Antriebsleistung P_{t12} ohne Berücksichtigung der Änderung der kinetischen Energie !
- Welcher relative Fehler in % wird dabei begangen ?

Lösung: a) $P_{t12}^{\text{st}} = 1861,6 \text{ kW}$ b) $P_{t12} = 1956,1 \text{ kW}$ (ohne $\Delta \dot{E}_{\text{kin}}$)

$$\text{c) } \frac{P_{t12} - P_{t12}^{\text{st}}}{P_{t12}^{\text{st}}} \cdot 100\% = + 5,08 \%$$

Aufgabe 3.17

In einer stationär arbeitenden Luftheizungsanlage (vgl. Bild) wird der Umgebung ein Frischluftstrom \dot{m}_F entnommen und im Vorwärmer auf die Temperatur ϑ_V aufgeheizt. Diesem Frischluftstrom wird dann isobar in der Mischkammer der Umluftstrom \dot{m}_U mit der Temperatur $\vartheta_U = 22\text{ °C}$ zugemischt. In den zu beheizenden Raum strömt der Zuluftstrom \dot{m}_Z mit der Mischtemperatur $\vartheta_Z = 30\text{ °C}$. Die Änderungen der kinetischen Energie der Luftströme können vernachlässigt werden. (Die Luft kann als ideales Gas mit konstanter spezifischer Wärmekapazität, näherungsweise bei ϑ_Z ermittelt, berechnet werden.)

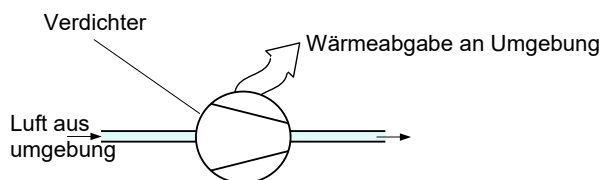


- Wie groß ist das Verhältnis der Masseströme der Umluft zur Frischluft \dot{m}_U/\dot{m}_F , wenn die Temperatur $\vartheta_V = 100\text{ °C}$ beträgt?
- Auf welche Temperatur ϑ_V muss die Frischluft vorgewärmt werden, wenn aus hygienischen Gründen gefordert wird, dass der Zuluftstrom \dot{m}_Z zu 50 % aus Frischluft besteht?

Lösung: a) $\dot{m}_U / \dot{m}_F = 8,75$ b) $\vartheta_V = 38\text{ °C}$

Aufgabe 3.18

Ein Kompressor verdichtet stationär $\dot{V}_1 = 800\text{ m}^3/\text{h}$ Luft mit $v_1 = 0,80\text{ m}^3/\text{kg}$. Die spezifische Enthalpie der Luft steigt dabei um $\Delta h = 60\text{ kJ/kg}$. An die Umgebung werden $q_{12} = -40\text{ kJ/kg}$ abgeführt. Die Änderung der kinetischen Energie des Luftstromes kann vernachlässigt werden.

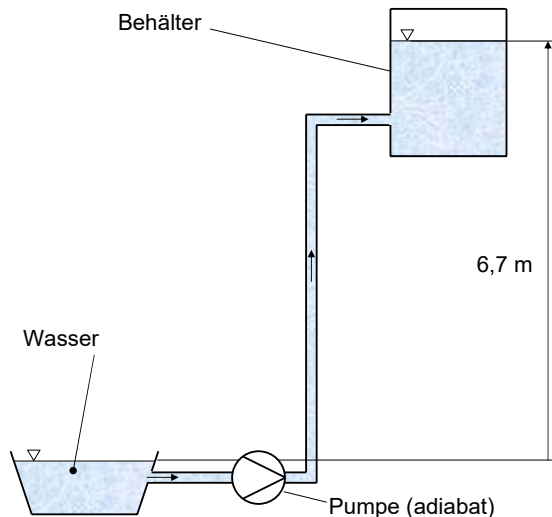


Welche Antriebsleistung P_{112} hat der Kompressor?

Lösung: $P_{112} = 27,78\text{ kW}$

Aufgabe 3.19

Eine als adiabat anzusehende Pumpe fördert aus einem Behälter $\dot{m} = 2 \text{ kg/s}$ Wasser mit einer mittleren Temperatur von 20 °C in einen um $6,7 \text{ m}$ höher gelegenen Behälter in stationärer Betriebsweise. Aufgrund innerer Reibung in der Pumpe erwärmt sich das Wasser dabei um $0,1 \text{ K}$. Die Änderung der kinetischen Energie des Wasserstromes kann vernachlässigt werden. Das Wasser darf mit guter Näherung als ideale Flüssigkeit mit $c_{pm} = \text{const}$, ermittelt bei der mittleren Temperatur, betrachtet werden.

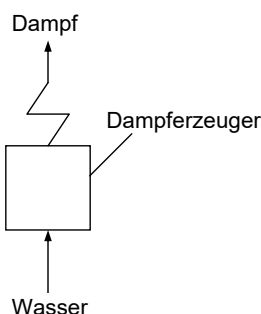


Wie groß ist die Leistung P_{t12}^{st} der Pumpe ?

Lösung: $P_{t12}^{\text{st}} = 0,968 \text{ kW}$

Aufgabe 3.20

In einen bei konstantem Druck $p = 160 \text{ bar}$ stationär arbeitenden Dampferzeuger wird ein Wasserstrom $\dot{m} = 70 \text{ t/h}$ mit der Temperatur $\vartheta_1 = 50 \text{ °C}$ eingespeist. Die Temperatur des austretenden Dampfes beträgt $\vartheta_2 = 540 \text{ °C}$. Kinetische und potentielle Energieänderungen können vernachlässigt werden. (Lösen Sie die Aufgabe mit der Wasserdampf tabel.)

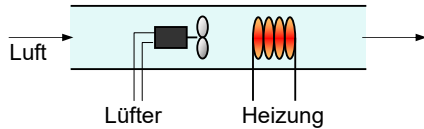


Welcher Wärmestrom \dot{Q}_{12} ist dem Wasser zuzuführen ?

Lösung: $\dot{Q}_{12} = 62,009 \text{ MW}$

Aufgabe 3.21

Ein stationär arbeitender Heizlüfter besitzt eine Heizleistung von $\dot{Q}_{12} = 2 \text{ kW}$ und eine Lüfterleistung $P_{t12} = 200 \text{ W}$.

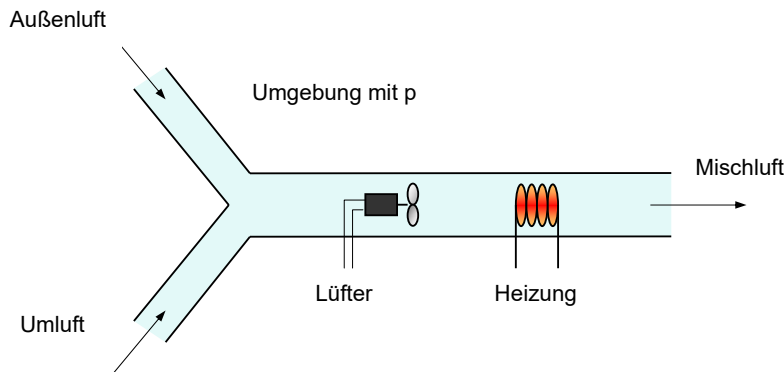


Welchen Luftmassenstrom \dot{m} mit einer Eintrittstemperatur von $\vartheta_1 = 10 \text{ °C}$ kann der Heizlüfter auf $\vartheta_2 = 40 \text{ °C}$ erwärmen? Die Änderung der kinetischen Energie kann auf Grund der geringen Austrittsgeschwindigkeit vernachlässigt werden (Die Luft darf bei den vorliegenden Parametern mit guter Genauigkeit als ideales Gas berechnet werden.).

Lösung: $\dot{m} = 262,72 \text{ kg/h}$

Aufgabe 3.22

In einem Lüftungssystem werden $\dot{V}_{1A} = 300 \text{ m}^3/\text{h}$ kalte Außenluft mit einer Temperatur $\vartheta_{1A} = -10 \text{ °C}$ mit $\dot{m}_{1U} = 200 \text{ kg/h}$ Umluft der Temperatur $\vartheta_{1U} = 35 \text{ °C}$ bei einem Druck $p = 0,11 \text{ MPa}$ stationär gemischt. Die Mischluft wird anschließend von einem Lüfter mit einer Leistung $P_t = 1 \text{ kW}$ durch einen Elektroheizer gefördert und verlässt diesen mit einer Temperatur $\vartheta_2 = 40 \text{ °C}$ (Die Luft kann mit guter Genauigkeit als ideales Gas betrachtet werden.).



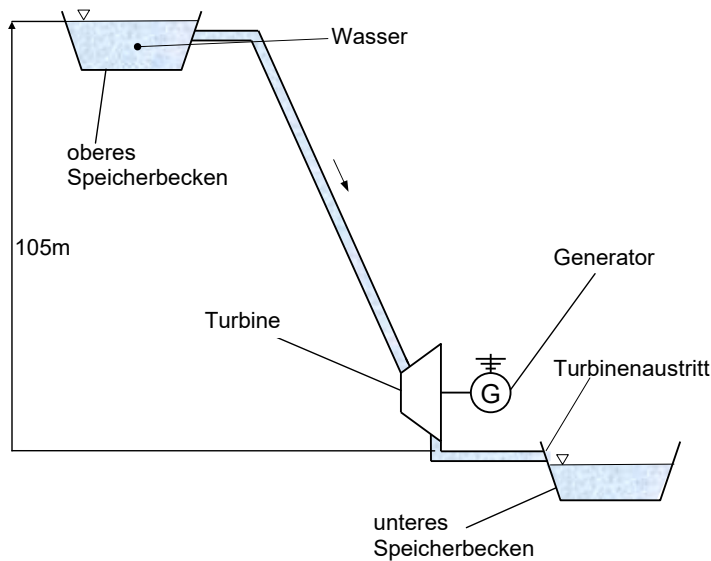
a) Welcher Massenstrom \dot{m}_2 Luft wird durch den Elektroheizer gefördert?

b) Welche Leistung \dot{W}_{el} besitzt der Elektroheizer?

Lösung: a) $\dot{m}_2 = 0,1769 \text{ kg/s}$ b) $\dot{W}_{el} = 5,373 \text{ kW}$

Aufgabe 3.23

Die Turbine eines Wasserkraftwerkes wird stationär von $\dot{m} = 10^4 \text{ kg/s}$ Wasser mit einer mittleren Temperatur von 12°C durchströmt. Die Wasseroberfläche im Speicherbecken liegt 105 m über dem Turbinenaustritt und bleibt während des Betriebes der Turbine näherungsweise unverändert. Während die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers im Speicherbecken vernachlässigbar klein ist, beträgt sie am Turbinenaustritt $c_2 = 5 \text{ m/s}$. Die Temperatur des aus der Turbine austretenden Wassers ist auf Grund innerer Reibung in der Turbine um $0,1 \text{ K}$ höher als die Temperatur des eintretenden Wassers im Speicherbecken. Das Wasser kann mit guter Näherung als ideale Flüssigkeit mit $c_{pm} = \text{const}$, ermittelt bei der mittleren Temperatur, berechnet und die Turbine als adiabat betrachtet werden.

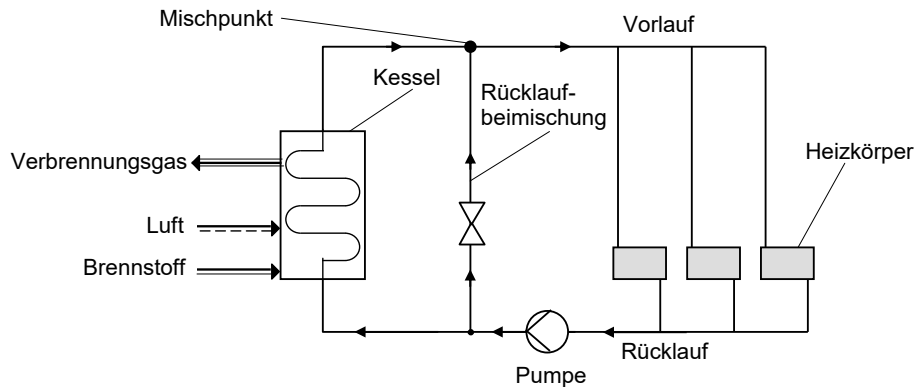


- a) Wie groß ist die Leistung P_{t12}^{st} der Turbine ?
b) Welche Turbinenleistung P_{t12}^{st} ergibt sich, wenn die Temperaturänderung ΔT des Wassers in der Berechnung nicht berücksichtigt wird ?

Lösung: a) $P_{t12}^{\text{st}} = -5,979 \text{ MW}$ b) $P_{t12}^{\text{st}} = -10,172 \text{ MW}$ (ohne ΔT)

Aufgabe 3.24

Die Rücklaufbeimischung einer Heizungsanlage ist so eingestellt, dass dem aus dem Kessel kommenden $\dot{m}_{1K} = 430 \text{ kg/h}$ Wasser mit einer Temperatur $\vartheta_{1K} = 85 \text{ °C}$ Rücklaufwasser $\dot{m}_{1R} = 120 \text{ kg/h}$ mit einer Temperatur $\vartheta_{1R} = 55 \text{ °C}$ stationär beigemischt wird. Das Wasser mit der unbekanntem Mischungstemperatur ϑ_2 bildet den Vorlauf der Heizungsanlage. Dabei kann der Verlustwärmestrom der Rücklaufbeimischung im Vergleich zu den Energieströmen der Fluidströme vernachlässigt werden. (Das Wasser ist bei den vorliegenden Parametern als inkompressibel anzusehen.)

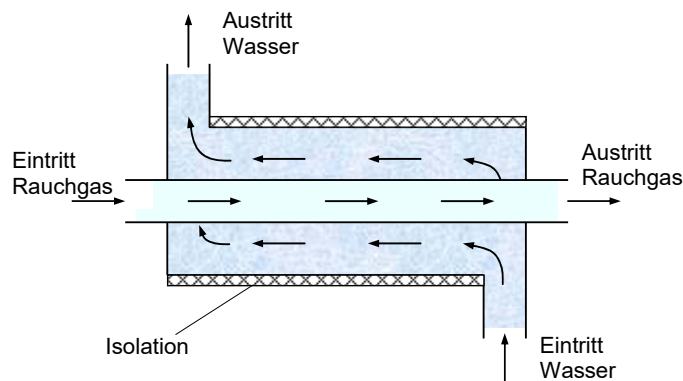


- Wieviel kg/s gemischtes Vorlaufwasser stehen zur Verfügung?
- Berechnen Sie die spezifische Enthalpie h_2 des Vorlaufwassers !
- Ermitteln Sie die Mischungstemperatur ϑ_2 !

Lösung: a) $\dot{m}_2 = 0,1528 \text{ kg/s}$ b) $h_2 = 328,52 \text{ kJ/kg}$ c) $\vartheta_2 = 78,47 \text{ °C}$

Aufgabe 3.25

In einem nach außen gut wärmeisolierten Wärmeübertrager soll Wasser mit einer Eintrittstemperatur $\vartheta_{1W} = 70 \text{ °C}$ um 40 K mit Hilfe von Rauchgas stationär erwärmt werden. Das Rauchgas besitzt einen Massestrom $\dot{m}_R = 1100 \text{ kg/h}$ und kühlt sich dabei von $\vartheta_{1R} = 550 \text{ °C}$ auf $\vartheta_{2R} = 300 \text{ °C}$ ab. (Das Rauchgas darf mit guter Näherung als ideales Gas mit $c_{pR} = 1,3 \text{ kJ/(kg K)} = \text{const}$ und das Wasser als ideale Flüssigkeit berechnet werden.)



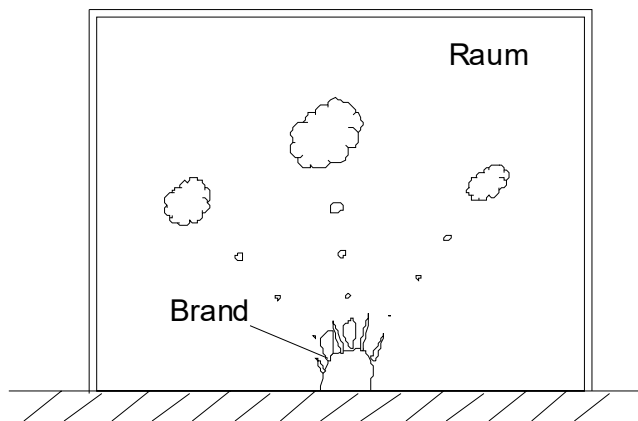
- Welcher Massestrom Wasser \dot{m}_W kann erwärmt werden ?
- Welcher Wärmestrom $|\dot{Q}_{12}|$ wird vom Rauchgas an das Wasser übertragen ?

Lösung: a) $\dot{m}_W = 0,590 \text{ kg/s}$ b) $|\dot{Q}_{12}| = 99,31 \text{ kW}$

Aufgabe 3.26

In einem geschlossenen Raum mit der Grundfläche von 40 m^2 und der Höhe von 4 m befindet sich vor Ausbruch eines Brandes Luft mit einer Temperatur $\vartheta_1 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$. Nach einer Zeit von 10 min nach dem Brandausbruch beträgt die Temperatur im Raum bereits $\vartheta_2 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$. Der Druck der Raumlufte beträgt 1 bar und kann als konstant bleibend angesehen werden.

(Für die folgenden Berechnungen kann näherungsweise der Anteil Rauchgas in der Luft vernachlässigt werden. Die durch die Fugen der Türen und Fenster nach außen strömende Masse Luft darf ebenfalls vernachlässigt werden. Die Luft kann mit guter Näherung als ideales Gas mit $c_p, \kappa = \text{const}$ berechnet werden.)

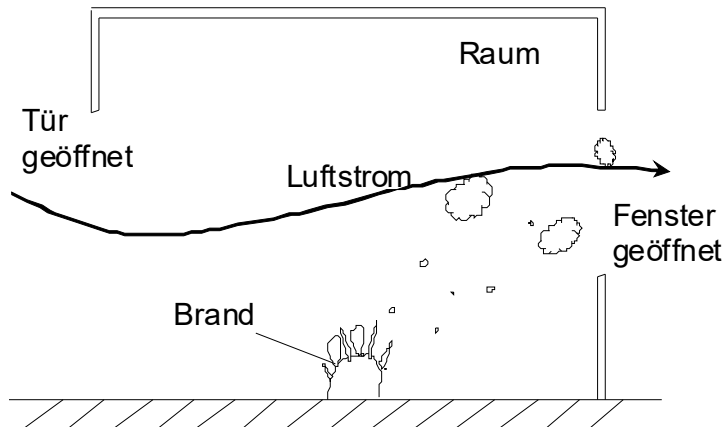


- Welche Masse Luft m_1 befindet sich vor Ausbruch des Brandes im Raum ?
- Welche Wärme Q_{12} führte der Brand der Raumlufte zu ?
- Wie hoch war dabei der zugeführte mittlere Wärmestrom \dot{Q}_{12} ?
- Welche Raumlufteemperatur ϑ_2 wird nach einer Zeit von $\Delta t = 15 \text{ min}$ erreicht.
- Wie hoch war dabei der durch den Brand insgesamt zugeführte mittlere Wärmestrom \dot{Q}_B , wenn von \dot{Q}_B nur 70% der Raumlufte zugeführt wurden und der verbleibende Anteil zu einer Erwärmung der Wände und des Fußbodens im Raum führte ?

Lösung: a) $m_1 = 196,82 \text{ kg}$ b) $Q_{12} = 5933,25 \text{ kJ}$ c) $\dot{Q}_{12} = 9,89 \text{ kW}$
d) $\vartheta_2 = 55,0 \text{ }^\circ\text{C}$ e) $\dot{Q}_B = 14,13 \text{ kW}$

Aufgabe 3.27

Durch einen Raum mit einem Brand strömt Luft mit einer Eintrittstemperatur von $\vartheta_1 = 20\text{ °C}$. Das Volumen des Raumes beträgt 60 m^3 . Durch den Brand wird der durchströmenden Luft ein Wärmestrom von $\dot{Q}_{12} = 5\text{ kW}$ zugeführt, so dass sie den Raum mit einer Temperatur von $\vartheta_2 = 50\text{ °C}$ verlässt. Im betrachteten Zeitraum kann der Vorgang als stationär angenommen werden. Die Luft ist mit guter Genauigkeit als ideales Gas berechenbar. Der Luftdruck im Raum beträgt $0,1\text{ MPa}$ und kann als konstant angenommen werden.



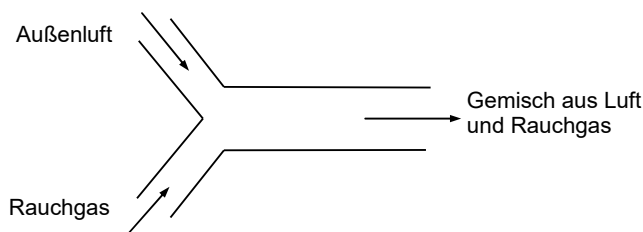
- Ermitteln Sie den Massestrom \dot{m} der Luft, der den Raum durchströmt und den Wärmestrom aufnimmt !
- Welcher Volumenstrom \dot{V}_1 gelangt in den Raum, welcher stündlichen Luftwechselzahl λ entspricht er ?

Lösung: a) $\dot{m} = 596,78\text{ kg/h}$ b) $\dot{V}_1 = 502,27\text{ m}^3/\text{h}$ $\lambda = 8,37\text{ 1/h}$

Aufgabe 3.28

In einem Rauchabzugssystem werden $\dot{V}_{1L} = 300\text{ m}^3/\text{h}$ kalte Außenluft mit einer Temperatur $\vartheta_{1L} = -10\text{ °C}$ mit $\dot{V}_{1R} = 800\text{ m}^3/\text{h}$ Rauchgas der Temperatur $\vartheta_{1R} = 60\text{ °C}$ bei einem konstanten Druck $p = 0,1\text{ MPa}$ stationär gemischt. Die Wärmeabgabe des Rauchabzugsystems an die Umgebung kann vernachlässigt werden.

(In erster Näherung dürfen die Eigenschaften des Rauchgases wie die von Luft berechnet werden. Die Luft ist mit guter Genauigkeit als ideales Gas berechenbar.).



- Welcher Massestrom \dot{m}_2 des Gemisches aus Luft und Rauchgas verlässt das Rauchabzugssystem ?
- Ermitteln Sie die Austrittstemperatur des Gemisches ϑ_2 !

Lösung: a) $\dot{m}_2 = 1233,49\text{ kg/h}$
 b) $\vartheta_2 = 37,49\text{ °C}$

4. Ideale Gasgemische

Aufgabe 4.1

Ein Gasgemisch besteht aus den folgenden Massen: $m_{N_2} = 2,5 \text{ kg}$; $m_{O_2} = 1,75 \text{ kg}$;

$m_{H_2} = 0,85 \text{ kg}$; $m_{CO_2} = 0,2 \text{ kg}$. Der Gesamtdruck beträgt $p^* = 755 \text{ kPa}$

(Das Gemisch kann bei den vorliegenden Parametern als ein ideales Gasgemisch betrachtet werden.).

Zu berechnen sind für die enthaltenen Gase:

a) die Masseanteile ξ_i ,

b) die Molanteile ψ_i ,

c) die Partialdrücke p_i !

Lösung: a) $\xi_{N_2} = 0,4717$ $\xi_{O_2} = 0,3302$ $\xi_{H_2} = 0,1604$ $\xi_{CO_2} = 0,03774$

b) $\psi_{N_2} = 0,1565$ $\psi_{O_2} = 0,0959$ $\psi_{H_2} = 0,7396$ $\psi_{CO_2} = 0,0080$

c) $p_{N_2} = 118,2 \text{ kPa}$ $p_{O_2} = 72,4 \text{ kPa}$ $p_{H_2} = 558,4 \text{ kPa}$ $p_{CO_2} = 6,0 \text{ kPa}$

Aufgabe 4.2

Für trockene Luft mit einem Gesamtdruck $p^* = 100 \text{ kPa}$ und der Zusammensetzung

$\psi_{N_2} = 78,09 \%$, $\psi_{O_2} = 20,95 \%$, $\psi_{Ar} = 0,93 \%$, $\psi_{CO_2} = 0,03 \%$ sind zu berechnen:

a) die molare Masse M^* ,

b) die Gaskonstante R^* ,

c) die Masseanteile ξ_i der Gemischpartner,

d) die Partialdrücke p_i der Gemischpartner!

Lösung: a) $M^* = 28,964 \text{ kg/kmol}$ b) $R^* = 0,2871 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$

c) $\xi_{N_2} = 0,7553$ $\xi_{O_2} = 0,2315$ $\xi_{Ar} = 0,0128$ $\xi_{CO_2} = 0,00046$

d) $p_{N_2} = 78,09 \text{ kPa}$ $p_{O_2} = 20,95 \text{ kPa}$ $p_{Ar} = 0,93 \text{ kPa}$ $p_{CO_2} = 0,03 \text{ kPa}$

Aufgabe 4.3

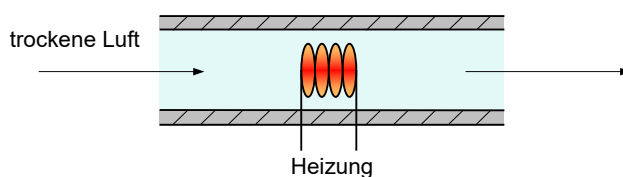
Trockene Luft mit der Zusammensetzung nach Aufgabe 4.2 hat eine Temperatur

$\vartheta_1 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$.

a) Berechnen Sie die spezifische isobare Wärmekapazität c_{p1}^* !

b) Ermitteln Sie die spezifische isochore Wärmekapazität c_{v1}^* !

c) Welche spezifische Wärme q_{12} muss bei isobarer Erwärmung auf $\vartheta_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ zugeführt werden (Näherung: die spezifische isobare Wärmekapazität des Zustandes 1 darf als konstant angenommen werden.) ?



Lösung: a) $c_{p1}^* = 1,0037 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ b) $c_{v1}^* = 0,71666 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ c) $q_{12} = 20,075 \text{ kJ/kg}$

Aufgabe 4.4

$\dot{V}^* = 76 \text{ m}^3/\text{min}$ eines idealen Brenngasgemisches mit $\vartheta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ und $p^* = 91 \text{ kPa}$ strömen in ein Reaktionsgefäß. Das Gas hat folgende Zusammensetzung: $\psi_{\text{H}_2} = 0,48$, $\psi_{\text{CH}_4} = 0,3$, $\psi_{\text{CO}} = 0,1$, $\psi_{\text{C}_2\text{H}_4} = 0,06$, $\psi_{\text{CO}_2} = 0,04$, $\psi_{\text{N}_2} = 0,02$.

Es sind zu berechnen:

- die Molmasse M^* des Gemisches,
- die Masseanteile ξ_i der Gemischpartner,
- der Massestrom \dot{m}^* des Gemisches !

Lösung: a) $M^* = 12,585 \text{ kg/kmol}$
 b) $\xi_{\text{H}_2} = 0,0769$ $\xi_{\text{CH}_4} = 0,3824$ $\xi_{\text{CO}} = 0,2226$
 $\xi_{\text{C}_2\text{H}_4} = 0,1337$ $\xi_{\text{CO}_2} = 0,1399$ $\xi_{\text{N}_2} = 0,0445$
 c) $\dot{m}^* = 0,595 \text{ kg/s}$

Aufgabe 4.5

Die Analyse des Verbrennungsgasgemisches einer Anlage ergab: $\psi_{\text{CO}_2} = 0,118$; $\psi_{\text{CO}} = 0,012$; $\psi_{\text{O}_2} = 0,075$; $\psi_{\text{N}_2} = 0,795$. Es sind für das Modell ideales Gasgemisch zu berechnen:

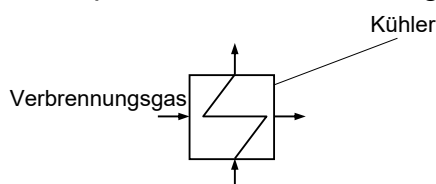
- die Molmasse M^* ,
- die Dichte ρ^* bei $\vartheta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ und $p^* = 0,1 \text{ MPa}$,
- die Dichte ρ_i der Einzelgase jeweils im Normzustand !

Lösung: a) $M^* = 30,20 \text{ kg/kmol}$ b) $\rho^* = 1,239 \text{ kg/m}^3$ c) $\rho_{\text{CO}_2,n} = 1,964 \text{ kg/m}^3$;
 $\rho_{\text{CO},n} = 1,250 \text{ kg/m}^3$; $\rho_{\text{O}_2,n} = 1,428 \text{ kg/m}^3$; $\rho_{\text{N}_2,n} = 1,250 \text{ kg/m}^3$

Aufgabe 4.6

In einen Kühler strömen $\dot{n}^* = 46 \text{ mol/h}$ Verbrennungsgasgemisch (ideales Gasgemisch) mit einer Temperatur $\vartheta_1 = 1300 \text{ }^\circ\text{C}$ und der Zusammensetzung $\psi_{\text{CO}_2} = 0,084$, $\psi_{\text{O}_2} = 0,070$, $\psi_{\text{N}_2} = 0,846$. Der abgegebene Wärmestrom beträgt $\dot{Q}_{12} = -0,267 \text{ kW}$. Näherungsweise darf die spezifische isobare Wärmekapazität bei Eintrittstemperatur für die Berechnung der Zustandsänderung verwendet werden.

Mit welcher Temperatur verlässt das Abgasgemisch den Kühler?

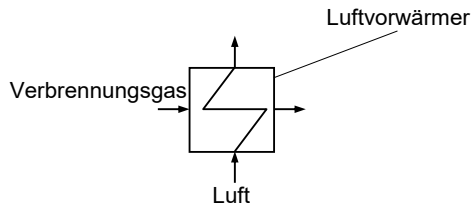


Lösung: $\vartheta_2 = 737,79 \text{ }^\circ\text{C}$

Aufgabe 4.7

Ein ideales Verbrennungsgasgemisch einer Dampfkesselanlage mit der Zusammensetzung $\psi_{\text{CO}_2} = 0,1200$, $\psi_{\text{SO}_2} = 0,0005$, $\psi_{\text{N}_2} = 0,8075$, $\psi_{\text{O}_2} = 0,0500$, $\psi_{\text{H}_2\text{O}} = 0,0220$ (Wasserdampf) kühlt sich in einem Luftvorwärmer von $\vartheta_1 = 300 \text{ °C}$ auf $\vartheta_2 = 160 \text{ °C}$ ab. Der Massestrom beträgt $\dot{m} = 3 \text{ kg/s}$.

Berechnen Sie den dabei abgegebenen Wärmestrom \dot{Q}_{12} !

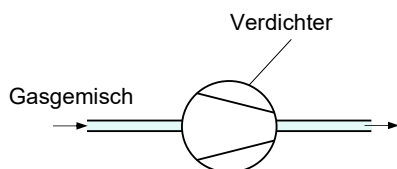


Lösung: $\dot{Q}_{12} = -443,81 \text{ kW}$

Aufgabe 4.8

Ein adiabater Verdichter mit einem isentropen Wirkungsgrad $\eta_S = 0,7$ komprimiert ein ideales Gasgemisch der Zusammensetzung $\psi_{\text{He}} = 0,40$, $\psi_{\text{N}_2} = 0,35$, $\psi_{\text{O}_2} = 0,25$ vom Zustand $p_1^* = 100 \text{ kPa}$, $\vartheta_1 = 50 \text{ °C}$ auf den Enddruck $p_2^* = 0,6 \text{ MPa}$. Zu berechnen sind für die Näherungen $c_{\text{pmi}}^{\text{ig}} = \text{const}$, $\kappa_j = \text{const}$:

- die Austrittstemperatur T_2 ,
- die aufzuwendende spezifische technische Arbeit w_{t12} ,
- die spezifische Entropieproduktion s_{12}^{irr} bei der Verdichtung ,
 der spezifische Exergieverlust e_{V12} für die Umgebungstemperatur $T_u = 273,15 \text{ K}$!



Lösung: a) $T_2 = 684,36 \text{ K}$ b) $w_{t12} = 479,77 \text{ kJ/kg}$
 c) $s_{12}^{\text{irr}} = 0,2290 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ d) $e_{V12} = 62,54 \text{ kJ/kg}$

Aufgabe 4.9

Die als ideal zu betrachtenden Gase N_2 , O_2 , Ar , CO_2 werden bei konstanter Temperatur und konstantem Druck adiabatisch gemischt. Das Gemisch hat danach die Zusammensetzung: $\xi_{\text{N}_2} = 0,7552$, $\xi_{\text{O}_2} = 0,2314$, $\xi_{\text{Ar}} = 0,0119$, $\xi_{\text{CO}_2} = 0,0015$ und darf als ideal angesehen werden.

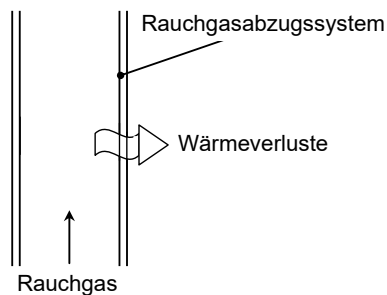
Berechnen Sie die spezifische irreversible Mischungsentropie Δs_{irr}^* !

Lösung: $\Delta s_{\text{irr}}^* = 0,1632 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$

Aufgabe 4.10

In ein Rauchgasabzugssystem strömen $\dot{V}_1^* = 300 \text{ m}^3/\text{h}$ Rauchgas mit der Temperatur $\vartheta_1 = 60 \text{ °C}$ stationär ein. Das Rauchgasgemisch besteht aus den Molanteilen $\psi_{\text{N}_2} = 78 \text{ %}$ Stickstoff und $\psi_{\text{CO}_2} = 22 \text{ %}$ Kohlendioxid. Auf Grund von Wärmeverlusten verlässt das Rauchgas das Rauchgasabzugssystem mit einer Temperatur $\vartheta_2 = 50 \text{ °C}$. Der Druck im Rauchgasabzugssystem beträgt $p^* = 0.1 \text{ MPa}$ und kann als konstant angenommen werden.

(Das Rauchgas kann mit guter Genauigkeit als ideales Gasgemisch mit $c_{p_i}, \kappa_i = \text{const}$ betrachtet werden.).



- Berechnen Sie die molare Masse M^* und die spezifische Gaskonstante R^* des Rauchgasgemisches !
- Ermitteln Sie die Masseanteile ξ_{N_2} des Stickstoffes und ξ_{CO_2} des Kohlendioxides im einströmenden Rauchgas !
- Welche Dichte ρ_1^* hat das eintretende Rauchgasgemisch ?
- Ermitteln Sie die mittlere spezifische Wärmekapazität c_p^* des Rauchgasgemisches !
- Berechnen Sie den Massestrom \dot{m}^* des Rauchgasgemisches !
- Welchen Wärmestrom \dot{Q}_{12} gibt das Rauchgasgemisch ab ?

Lösung:

a) $M^* = 31,53 \text{ kg/kmol}$	$R^* = 0,2637 \text{ kJ/(kg K)}$
b) $\xi_{\text{N}_2} = 69,29 \text{ %}$	$\xi_{\text{CO}_2} = 30,71 \text{ %}$
c) $\rho_1^* = 1,1384 \text{ kg/m}^3$	d) $c_p^* = 0,9712 \text{ kJ/(kg K)}$
e) $\dot{m}^* = 0,0949 \text{ kg/s}$	f) $\dot{Q}_{12} = -921,3 \text{ W}$