Aufgaben zur Wärmelehre

Aufgabe 1 Der Kupferdraht einer Freileitung ist bei 25 °C 200 m lang. Berechne die Längenänderung, die dieser Draht beim Absinken der Temperatur auf −15 °C erfährt. Es ist $\alpha_{Cu} = 1{,}68 \cdot 10^{-5}$ /K. **Lsg:** 134 mm

Aufgabe 2 Eine Wanduhr mit Stahlpendel geht bei 0 °C pünktlich. Wie groß ist die tägliche Abweichung bei 40 °C? ($\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$ /K) **Lsg:** 21 s.

Aufgabe 3 In einem Becherglas befindet sich 300 cm^3 Toluol mit der Temperatur 0 °C. In einem anderen 110 cm^3 Toluol bei 100 °C. Wie groß ist das Gesamtvolumen, wenn wir die Flüssigkeiten zusammengießen? **Lsg:** keine Änderung.

Aufgabe 4 Zur Bestimmung der Wärmekapazität eines Kalorimeters wird es mit 400 g Wasser von 15 °C gefüllt. Beim Zugießen von 600 g Wasser von 60 °C ergibt sich eine Mischungstemperatur von 39 °C. Berechne daraus die Wärmekapazität des Kalorimeters. **Lsg:** 523 j/K.

Aufgabe 5 Aus einer Stahlflasche mit dem Volumen 10 l entweicht durch ein undichtes Ventil Wasserstoff. Bei einer Temperatur von 7 °C zeigt das Manometer einen Druck von 500 N/cm² an. Einige Zeit später zeigt das Manometer bei 17 °C den gleichen Druck. Wieviel Wasserstoff ist entwichen? **Lsg:** 1,48 g

Aufgabe 6 Ein zylindrisches Gefäß, in dem sich ein Gas befindet, wird durch einen Kolben in zwei gleiche Teile geteilt. Volumen und Druck im linken Teil seien $V_1 = 1{,}5$ l, $p_1 = 1500$ mbar und im rechten Teil $V_2 = 1$ l, $p_2 = 2000$ mbar. Die Anfangstemperatur sei in beiden Teilen gleich. Lässt man den Kolben frei, dann verdoppelt sich die absolute Temperatur im linken Teil. Im rechten Teil wird die Temperatur konstant gehalten. Wie groß ist dann das Volumen im linken Teil? **Lsg:** 1,73 l

Aufgabe 7 Ein mit 1000 m^3 Wasserstoff gefüllter Ballon schwebt bei Normaldruck in Bodennähe. Wie groß ist an diesem Tag die Lufttemperatur?
Als Masse der völlig leeren, zusammengefalteten Hülle und des Korbes mit Inhalt wurden bei gleichen Temperatur- und Druckverhältnissen wie beim Start 1100 kg ermittelt. Es wurde eine Balkenwaage mit Wägestücken von vernachlässigbarem Volumen benutzt. Unter Normalbedingungen beträgt die Dichte der Luft 1,293 kg/m³, die von H_2 0,0899 kg/m³. **Lsg:** 25,6 °C

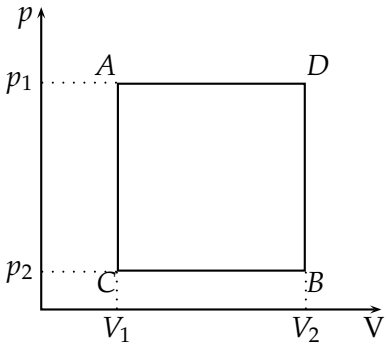
Aufgabe 8 1 kmol Stickstoff unter Normalbedingungen dehnt sich adiabatisch vom Volumen V_1 auf das Volumen $V_2 = 5V_1$ aus. Gesucht sind

a) Die Änderung der inneren Energie des Gases. **Lsg:** $\Delta U = -2{,}69$ MJ

b) Die Arbeit, die bei der Ausdehnung verrichtet wurde. **Lsg:** $\Delta W = \Delta U$

Aufgabe 9 $10^{-2}\,\mathrm{m}^3$ Luft müssen auf ein Volumen von $2 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m}^3$ zusammengedrückt werden. Ist es vorteilhafter, die Luft adiabatisch oder isotherm zu komprimieren? **Lsg:** isotherm

Aufgabe 10



Eine bestimmte Menge Sauerstoff nimmt bei der Temperatur $\vartheta_1 = 27\,°\mathrm{C}$ und dem Druck $p_1 = 8{,}2\,\mathrm{bar}$ das Volumen $V_1 = 3 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m}^3$ ein (A).
In einem zweiten Zustand (B) hat das Gas die Parameter $V_2 = 4{,}5 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m}^3$ und $p_2 = 6\,\mathrm{bar}$.
Das Gas soll vom ersten in den zweiten Zustand
a) auf dem Weg ACB und
b) auf dem Weg ADB übergehen.

Gesucht sind jeweils: die dem Gas zugeführte Wärme **Lsg:** a) 1,55 kJ; b) 1,88 kJ, die vom Gas bei der Ausdehnung verrichtete Arbeit **Lsg:** a) $-0{,}92\,\mathrm{kJ}$; b) $-1{,}25\,\mathrm{kJ}$ und die Änderung der inneren Energie **Lsg:** jeweils 0,63 kJ

Aufgabe 11 Eine ideale Wärmemaschine, die nach dem Carnot-Prozess arbeitet, erhält bei jedem Zyklus von einem Wärmeerzeuger 2514 J. Die Temperatur des Wärmeerzeugers beträgt 400 K, die Temperatur des Kühlers 300 K. Gesucht sind die Arbeit, die von der Maschine in einem Zyklus verrichtet wird und die Wärmemenge, die in einem Zyklus an den Kühler abgegeben wird. **Lsg:** $-630\,\mathrm{J}$ bzw. $-1880\,\mathrm{J}$

Aufgabe 12 Ein Mol eines idealen Gases hat anfangs die Zustandsgrößen p_1, V_1 und T_1. Es werden nacheinander folgende Zustandsänderungen durchgeführt:

- Temperaturerhöhung auf $T_2 = 2T_1$ bei konstantem Volumen.
- Volumenvergrößerung auf $V_3 = 4V_1$ bei konstantem Druck.
- Rückführung in den Anfangszustand p_1, V_1, T_1 in einem polytropen Prozess, für den $pV^n = \text{const}$ gilt.

a) Bestimme p_2, T_3 und n. **Lsg:** $2p_1$; $8T_1$; $-0{,}5$

b) Bestimme die Arbeit für jeden Teilschritt und den gesamten Zyklus.
Lsg: 0; $6p_1V_1$; $-\frac{14}{3}p_1V_1$

c) In welchen Phasen nimmt das Gas Wärme auf bzw. gibt es Wärme ab?
Lsg: $Q_{12} > 0$; $Q_{23} > 0$; $Q_{31} < 0$

d) Skizziere das p-V-Diagramm des Kreisprozesses.

Aufgabe 13 Eine bestimmte Menge Helium vergrößert bei konstantem Druck $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{Pa}$ ihr Volumen vom Ausgangswert $V_0 = 3\,\mathrm{l}$ auf den doppelten Wert.

a) Berechne die dafür notwendige Wärmezufuhr. **Lsg:** 1523 J
Hinweis: Helium als Edelgas ist einatomig.

b) Wie groß wäre die Wärmezufuhr für ein zweiatomiges Gas? **Lsg:** 2128 J.

Aufgabe 14 Im Volumen V_0 eines Gefäßes befindet sich bei der Temperatur T_0 eine bestimmte Menge Gas bekannter Molmasse. Berechne, welche Arbeit für das Komprimieren dieser Gasmenge m auf ein Volumen V_1 notwendig ist und wie sich bei diesem Prozess seine Temperatur ändert, wenn bei dieser Zustandsänderung das Gas dem Gesetz $pV^n = \text{const}$ folgt, wobei $1 < n < \kappa$ ist.

Lsg: $W = \frac{m}{M} \cdot \frac{RT_0}{1-n}\left(1 - \left(\frac{V_0}{V_1}\right)^{n-1}\right)$ und $T_1 = T_0\left(\frac{V_0}{V_1}\right)^{n-1}$

Aufgabe 15 Ein ideales Gas wird so erwärmt, dass sein Druck stets dem Volumen proportional ist. Wie groß ist bei diesem Vorgang die molare Wärmekapazität?

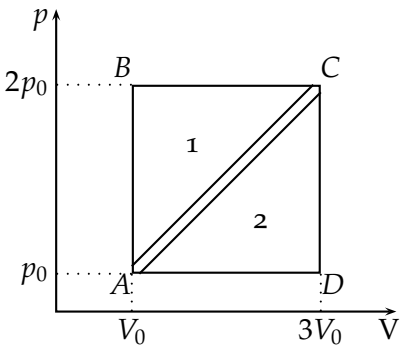
Lsg: $C = \frac{1}{2}R(i+1) = \frac{1}{2}(C_V + C_p)$; i : Freiheitsgrade

Aufgabe 16 In einem Behälter mit dem Volumen 20 m^3 befindet sich 26 kg Luft bei 0 °C und 1 bar.

Diese Luftmenge könnte bei konstantem Volumen mit 185 kJ auf 10 °C erwärmt werden. Der Behälter hat ein Ventil, welches nur nach außen, und zwar bei dem kleinsten Überdruck Luft ausströmen lässt. Welche Wärmemenge ist jetzt nötig, damit am Ende des Vorgangs im Behälter Luft von 10 °C vorhanden ist? **Lsg:** 255 kJ

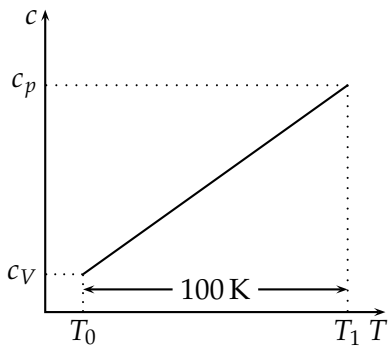
Hinweis: Suche die Funktion, nach welcher die vorhandene Luftmasse von der erreichten Temperatur abhängt. Das Verhältnis der spezifischen Wärmemengen ist bei Luft $\kappa = c_p/c_v = 1{,}4$

Aufgabe 17



Es sollen zwei Kreisprozesse ABCA und ACDA in einem einatomigen idealen Gas betrachtet werden. Welcher hat den größeren Wirkungsgrad und wie groß ist das Verhältnis der Wirkungsgrade?
Lsg: $\eta_2 > \eta_1$; $\eta_2 : \eta_1 = 23 : 21$

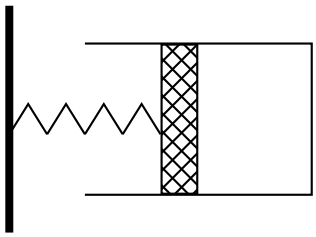
Aufgabe 18



Ein ideales Gas der Masse $m = 1\,\mathrm{kg}$ und der molaren Masse $\mu = 0{,}25\,\mathrm{kg/mol}$ durchläuft eine Zustandsänderung, bei der es um $\Delta T = T_1 - T_0 = 100\,\mathrm{K}$ erwärmt wird und bei der sich die spezifische Wärme wie in der Skizze gezeigt ändert. (c_v und c_p sind die spezifischen Wärmen bei konstantem Volumen bzw. konstantem Druck). Berechne die vom Gas verrichtete Arbeit. **Lsg:** $-16620\,\mathrm{J}$

Aufgabe 19 n_1 Mol eines einatomigen idealen Gases und n_2 Mol eines zweiatomigen idealen Gases werden zusammengegeben. Das Gemisch stellt wieder ein ideales Gas dar. Für adiabatische Zustandsänderungen des Gemisches gilt: $pV^\kappa = \text{const}$, wobei $\kappa = \frac{11}{7}$ ist. Gib das Verhältnis $n_1 : n_2$ an. **Lsg:** 3

Aufgabe 20



In einem Zylinder mit dicht schließendem, beweglichen Kolben (Fläche A, vernachlässigbare Masse) ist eine bestimmte Menge Helium eingeschlossen (Volumen V_0). An der äußeren Kolbenfläche ist eine Feder mit der Federkonstanten D befestigt. Anfangs ist die Feder entspannt und der Druck außerhalb und innerhalb des Kolbens ist p_0. Es wird nun folgender Kreisprozess durchgeführt:

1. Erwärmung des Gases bis sich dessen Volumen verdoppelt hat.
2. Abkühlung des Gases auf den ursprünglichen Druck bei festgehaltenem Kolben.
3. Entfernung der Feder, so dass der Kolben frei beweglich wird und weitere Abkühlung des Gases, bis der Anfangszustand wieder erreicht ist.

Wie groß ist der thermische Wirkungsgrad dieses Kreisprozesses? Diskutiere die hergeleitete Formel!

Aufgabe 21 Wir betrachten den folgenden Kreisprozess mit einem idealen einatomigen Gas als Arbeitsmittel:

1. lineare Expansion vom Zustand $p_0 = 32\,\mathrm{Pa}$, $V_0 = 8\,\mathrm{m}^3$, T_0 zum Zustand $p_1 = 1\,\mathrm{Pa}$, $V_1 = 64\,\mathrm{m}^3$, T_1.
2. adiabatische Kompression zum Ausgangszustand.

Bestimme den thermischen Wirkungsgrad dieses Kreisprozesses und vergleiche mit dem thermischen Wirkungsgrad eines Carnot-Prozesses mit denselben Maximal- und Minimaltemperaturen. **Lsg:** $\eta = 52\%$; $\eta_C = 89\%$